

# 斜坡 岩土工程 手冊

香港特別行政區政府  
土木工程署  
土力工程處

# 斜坡 岩土工程 手冊

香港特別行政區政府  
土木工程署  
土力工程處

©香港特別行政區政府

英文版：

首刊，1979年11月版

再印刷，含少許修正版，1981年11月版

第二版本，1984年5月版

再印刷，1991年6月版

第二次印刷，1994年3月版

再印刷，1997年6月版

中文版：

首刊，1998年3月版

編寫單位：

香港九龍何文田公主道101號

土木工程署大樓

土木工程署土力工程處

這份刊物於下列地方發售：

香港金鐘道66號

金鐘道政府合署低座地下

政府刊物銷售處

海外郵購訂單應寄往：

香港灣仔

駱克道188號

兆安中心28字樓

政府新聞處

政府刊物銷售組

香港價格：港幣90元

海外價格：美金20元（包括平郵費用）

以外幣支票或其他票據付款，每票須附加銀行費用港幣50元或美金6.5元。

支票、銀行匯票或郵匯，抬頭必須寫明「香港特別行政區政府」。

## 中文本初版序言

土力工程處出版的刊物獲本地及海外建造業人士參考援引的情況與日俱增，而本處亦不時接獲本地及內地業者的要求，希望我們為土力工程處各種刊物出版中文本。本處已察覺到中文及英文並重的趨勢，並且較喜歡閱讀中文的讀者正逐漸增多。斜坡岩土工程手冊是最早由本處翻譯成中文的土力工程處刊物之一，當中就本港的斜坡設計、建造、維修以及地盤平整工程等方面應採用的作業標準提供了指引。這份中文本不僅為本地建造業人士帶來方便，同時亦有助向內地業者推廣本處所訂定的斜坡安全標準。

這份手冊的中文翻譯工作由馬碩宜先生(九七年十月前)及陳健碩先生(九七年十月後)統籌領導，譯稿初版則由輝固(香港)有限公司根據與土力工程處所訂顧問合約，委託王鍾琦教授、周維垣教授及陸培炎教授擬備。本處又成立了一個工作小組，負責審訂譯本。工作小組由陳潤祥先生(九五年六月至九六年九月)及彭沛來博士(九六年十月後)擔任主席，班志捷博士出任秘書，而成員則包括張鍾雄先生、關世洪先生、江純敏博士(於九六年三至六月由孫向榮博士替代；九六年七月至九七年四月由王錦垣博士替代)以及梁斌鰲先生。負責最後校訂工作的主要有歐偉長先生，以及張鍾雄先生、關世洪先生、梁斌鰲先生、潘偉強先生、杜國豪先生和王啓明先生。此外，尚有不少土力工程處人員及本港岩土工程業人士提供了寶貴的意見。在此衷心多謝他們作出的貢獻。

自從1984年開始發行本手冊的英文版第二版本以來，香港對於斜坡勘察，設計與維修的認識和了解，有了相當大的提高。為得到更新的資料和指引，讀者可參考下列出版刊物：

- GCO (1987). Guide to Site Investigation (Geoguide 2). Geotechnical Control Office, Hong Kong, 359 p.
- GCO (1988). Guide to Rock and Soil Descriptions (Geoguide 3). Geotechnical Control Office, Hong Kong, 186 p.
- GCO (1990). Review of Design Methods for Excavations (GCO Publication No. 1/90). Geotechnical Control Office, Hong Kong, 187 p.
- GEO (1993a). Guide to Retaining Wall Design (Geoguide 1). (Second edition). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 258 p.
- GEO (1993b). Review of Granular and Geotextile Filters (GEO Publication No. 1/93). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 141 p.
- GEO (1995). Guide to Slope Maintenance (Geoguide 5). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 91 p.
- GEO (1996). Pile Design and Construction (GEO Publication No. 1/96). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 348 p.



GEO (1997). Geotechnical Manual for Slopes - Guidance on Interpretation (GEO Circular No. 5/97). Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, 7 p.

讀者可向土力工程處的技術秘書索取GEO Circular No. 5/97；地址：香港九龍何文田公主道101號，土木工程署大樓，土木工程署土力工程處。（電話：(852) 2762 5087，傳真：(852) 2715 0501，電子郵件：tsgeo@netvigator.com）。

本處歡迎業內人士就這份中文譯本提出意見，俾便本處作出修訂，令日後的版本更臻完善。



土力工程處處長  
麥隆禮  
一九九八年三月

## 前言

此斜坡岩土工程手冊，提供了適用於香港的斜坡設計、施工、維修、場地整理等方面的作業標準。

為使使用本手冊的有關人仕，能對本手冊作出探討和評論，本手冊的第一次版，在 1979 年 11 月以草稿的形式出版。為了補充修正第一次版的不足之處，四年後出版這第二次版，其內容具有岩土工程的最新標準、作業要求，並包括了自 1979 年以來曾改進的作業技術。

第二次版是通過廣泛諮詢政府及私人的專業機構後，再由土力工程處進行編訂的。它大部份以第一次版為基礎，只在原有章節上作了少量修改。故此，此新版本在很大程度上，歸功於第一次版的編訂執行組成員。第一次版仍是根據 Binnie & Partners (Hong Kong) 為土力工程處編訂的起草本，在他們的指導下制訂的，特別需要提及的是 P. Lumb 教授，S. Mackey 教授，R.O. Maher 先生，P.S. Molyneux 先生，D.J. Sweeney 先生，P.J. Thompson 先生和 A.J. Vail 先生等，他們對這項早期的工作，義務貢獻了大量時間和精力。

這本手冊並非教科書，所以不擬提供此課題上的完整配套處理法則。凡屬岩土工程一般常識上的資料，均已刪除，內容僅著重於香港特有的斜坡問題，及一些需作較多闡釋的問題上。

由於簡略單行本的局限，很難恰如其份地，處理如本手冊所涵蓋的這樣一個廣泛課題，所以土力工程處設想在一定期間內，以一系列的「岩土工程指南」來取代本手冊，本手冊中各章的內容，將分別各以一本指南詳盡加以論述。

有必要強調的，本手冊僅是一本指導性文件，因此它的建議並非強制性的。有時，手冊提供的指導也許不夠充分、不確切，設計人員必須適當地使用其他可行方法。在這個版本的使用期間，一定會有改良的設計與施工方法，可取代本版本所提供的，為了知識上的改進，希望工程從業人員能繼續向土力工程處，提供改良本手冊的建議。

土力工程處處長  
白能達  
一九八四年五月

## 目錄

	頁碼
標題頁	1
中文本初版序言	3
前言	5
目錄	6
1. 香港地質	15
1.1 岩石	15
1.2 土	16
2. 場地勘察	19
2.1 引言	19
2.2 資料研究	19
2.2.1 現有地圖及平面圖	19
2.2.2 文件與記錄	20
2.2.3 航空照片判釋	20
2.3 現場研究	21
2.3.1 目測檢察	21
2.3.2 工程地質測繪	21
2.3.3 岩土描述	22
2.3.4 節理測度	23
2.3.5 地面排水	24
2.4 地下勘察技術	24
2.4.1 要求	24
2.4.2 探井與探槽	24
2.4.3 手挖沉箱	24
2.4.4 斜坡表面剝除	24
2.4.5 動力觸探	25
2.4.6 土層鑽探	25
2.4.7 岩層鑽探	26

	頁碼	
2.4.8	影響高品質岩層鑽探的因素	27
2.4.9	回填	28
2.4.10	取樣	29
2.4.11	岩芯的處置及貯存	30
2.4.12	鑽孔記錄	31
2.4.13	儀器測試	32
2.5	現場測試技術	32
2.5.1	標準貫入試驗	32
2.5.2	壓印器測試	33
2.5.3	荷蘭錐試驗	33
2.5.4	旁壓儀	34
2.5.5	平板載荷試驗	34
2.5.6	十字板試驗	34
2.5.7	滲透試驗	34
2.5.8	土中滲透試驗	35
2.5.9	壓水或呂容 (Lugeon) 試驗	36
2.5.10	地球物理方法	37
2.6	記錄	38
2.6.1	岩石節理測度	38
2.6.2	工程地質圖	38
2.6.3	探井、土層鑽孔及岩層鑽孔柱狀圖	38
2.6.4	滲透試驗	38
3.	室內試驗	39
3.1	引言	39
3.2	土的分類試驗	39
3.2.1	總則	39
3.2.2	含水量	39
3.2.3	阿太堡界限	40
3.2.4	比重	40
3.2.5	粒徑分布	40
3.3	土的化學含量	41
3.3.1	硫酸鹽含量	41

	頁碼
3.3.2 酸度	41
3.4 壓實試驗	41
3.5 滲透試驗	42
3.6 固結試驗	42
3.7 抗剪強度量測	42
3.7.1 總則	42
3.7.2 試件的選擇	43
3.7.3 剪切試驗類型	43
3.8 土的三軸試驗	44
3.8.1 試驗步驟	44
3.8.2 試驗結果的判釋	44
3.9 土的直剪試驗	45
3.9.1 試驗步驟	45
3.9.2 試驗結果的判釋	46
3.10 岩石節理的強度試驗	46
3.10.1 直剪試驗設備	46
3.10.2 試件的製備與試驗方法	46
3.10.3 試驗結果的判釋	47
3.11 完整岩石的強度試驗	47
3.11.1 無側限壓縮試驗	47
3.11.2 三軸壓縮試驗	47
3.12 試驗結果的表述	48
4. 地下水	49
4.1 引言	49
4.2 徑流、滲入及地下水補給	49
4.2.1 水平衡	49
4.2.2 徑流	50
4.2.3 滲入	50
4.2.4 地下水流的類型	50
4.3 孔隙壓力	51
4.3.1 正孔隙壓力	52
4.3.2 負孔隙壓力	52

	頁碼
4.3.3 孔隙壓力的量測	52
4.3.4 孔隙壓力分佈的確定	53
4.4 設計水位	53
4.4.1 總則	53
4.4.2 觀測的水壓反應值外推法	54
4.4.3 浸濕帶方法	55
4.4.4 影響地下水條件的其它因素	57
4.4.5 岩石中的地下水	58
4.5 地下排水措施	58
4.5.1 總則	58
4.5.2 水平排水管	59
4.5.3 排水廊道	59
4.5.4 豎井	60
4.5.5 排水截槽	60
4.5.6 排水扶垛	60
4.6 濾層	61
4.6.1 粒狀濾料	61
4.6.2 過濾纖維	62
5. 斜坡設計	65
5.1 引言	65
5.2 安全系數	65
5.2.1 新造斜坡	65
5.2.2 現有斜坡	66
5.2.3 天然斜坡	66
5.2.4 臨時工程	67
5.3 穩定性分析	67
5.3.1 崩塌形式	67
5.3.2 輸入的數據	67
5.3.3 分析方法	69
5.3.4 三維效應	69
5.3.5 建議的分析方法	70
5.3.6 穩定性分析的可靠性	70

	頁碼
5.3.7 敏感性分析	71
5.4 削土斜坡的設計	71
5.4.1 斜坡剖面	71
5.4.2 穩定性的改善	72
5.4.3 岩石斜坡的處理	72
5.4.4 銷釘的設計	73
5.4.5 岩石錨栓的設計	73
5.4.6 孤石及落石的控制	74
5.5 填土斜坡的設計	74
5.5.1 新填土斜坡	74
5.5.2 現有填土斜坡的處理	75
5.5.3 填石斜坡	75
6. 斜坡上的基礎	77
6.1 引言	77
6.2 淺基礎	77
6.2.1 承載力及沉降	77
6.2.2 斜坡穩定性	78
6.3 深基礎	78
6.3.1 側向荷載	78
6.3.2 斜坡穩定性	79
7. 擋土結構	81
7.1 引言	81
7.2 擋土牆承受的力	81
7.2.1 土壓力	81
7.2.2 水壓力	82
7.2.3 附加荷載	82
7.2.4 施工荷載	82
7.3 擋土牆的穩定性	83
7.3.1 基底摩擦力	83
7.3.2 承載力	83
7.3.3 安全系數	83

	頁碼
7.3.4	帶抗滑鍵的擋土牆 84
7.3.5	板式擋土結構 84
7.3.6	開挖範圍外的沉降 84
8.	地表排水與保護 87
8.1	引言 87
8.2	集水參數 87
8.2.1	徑流 87
8.2.2	集水面積 88
8.2.3	匯集時間 88
8.2.4	設計強度 89
8.3	排水系統詳細設計 89
8.3.1	一般的設計考慮 89
8.3.2	斜坡排水的平面布置 90
8.3.3	排水渠類型 90
8.3.4	排水渠設計 91
8.3.5	排水方向改變 91
8.3.6	排水渠的交匯 91
8.4	植被保護措施 92
8.4.1	一般的設計考慮 92
8.4.2	植被的接續 92
8.4.3	植被對斜坡的影響 92
8.4.4	斜坡上植被的限制 93
8.4.5	植被的種類 94
8.5	剛性保護措施 94
8.5.1	一般的設計考慮 94
8.5.2	灰泥 95
8.5.3	噴射混凝土 95
8.5.4	砌石 96
9.	施工 97
9.1	施工控制 97
9.2	臨時工程 97



	頁碼
9.3 場地平整及取土區	98
9.4 開挖	99
9.4.1 程序	99
9.4.2 方法	99
9.4.3 振動的影響	100
9.4.4 支護	101
9.4.5 排水	101
9.4.6 排水渠、溝和井的開挖	101
9.4.7 管線設施的開挖	102
9.5 填土	102
9.5.1 總則	102
9.5.2 填石的壓實	103
9.5.3 填土的壓實	103
9.5.4 壓實控制	104
9.5.5 原位密度的量測	104
9.5.6 含水量量測	105
9.6 表面保護	106
9.6.1 草被	106
9.6.2 樹木與灌木叢	107
9.6.3 灰泥	107
9.6.4 噴射混凝土	108
9.6.5 砌石	108
9.6.6 不透水層表面的種植	108
9.7 管線設施	108
10. 現場監測儀器	111
10.1 引言	111
10.1.1 規劃現場監測儀器	111
10.1.2 校準、安裝及讀數	111
10.2 地下水位與孔隙壓力	112
10.2.1 地下水位的量測	112
10.2.2 孔隙壓力的量測	112
10.2.3 開啟式水力(Casagrande)測壓計	113

	頁碼
10.2.4 封閉式水力測壓計	114
10.2.5 氣壓式測壓計	114
10.2.6 電測測壓計	114
10.2.7 負孔壓的量測	115
10.2.8 測壓計的位置	115
10.3 地表位移	115
10.3.1 位移的重要性	115
10.3.2 結構開裂	115
10.3.3 岩土斜坡	116
10.3.4 測量	116
10.3.5 攝影測量	116
10.4 地下位移	117
10.4.1 測斜儀	117
10.4.2 滑動指示儀	117
10.4.3 延伸儀	118
10.4.4 沉降儀	118
10.5 荷載與應力	118
10.5.1 用於岩石錨栓及錨桿的壓力盒	118
10.5.2 土壓力盒	118
11. 維修	119
11.1 引言	119
11.2 檢查頻度	119
11.3 檢查報告	119
11.3.1 技術檢查	119
11.3.2 工程檢查	120
11.4 維修	120
11.4.1 測試儀器	120
11.4.2 斜坡及斜坡護面	120
11.4.3 地表排水	121
11.4.4 地下排水	122
11.4.5 管線設施	123
11.5 通道	123

	頁碼
12. 資料來源	125
12.1 引言	125
12.2 海外岩土工程資料來源	125
12.2.1 亞洲岩土工程資料中心 (Asian Information Center for Geotechnical Engineering) (AGE)	125
12.2.2 岩土工程文摘 (Geotechnical Abstracts) 及 岩土索引 (Geodex)	125
12.2.3 其它海外服務	126
12.3 本地岩土工程資料	127
12.3.1 關於香港的出版資料	127
12.3.2 土力工程處的岩土工程資料庫	127
12.3.3 香港政府部門	128
12.3.4 其它本地資料來源	128
12.4 管線設施的資料	129
12.5 本章所述機構的地址	129
參考文獻	133
香港文獻	145
表	157
表的目錄	159
表	161
圖	187
圖的目錄	189
圖	193
照片圖	259
照片圖的目錄	261
照片圖	265
辭彙	283
辭彙	285

## 第一章 香港地質

### 1.1 岩石

香港地區，主要有兩種火成岩石：即花崗岩和火山岩。粗粒的花崗岩分布於九龍、香港島中部、太平山的較低地帶、沙田、荃灣以及青山等地區，然而，部份這些地區則覆蓋有坡積物、沖積物和新近海相沉積物。細粒火山岩通常分布在太平山中及高部地帶、香港島南部以及新界的大部份地區。此外，也有沉積岩分布在香港北部的小部份地區，其中的一些沉積岩更經已質變。在大嶼山北部以及青衣，則有大量的長石斑岩岩脈入侵於花崗岩和火山岩中。在許多低窪的地區，則普遍存在新近的、海相和河口相的沉積物。

Allen & Stephens (1971) 的報告，詳盡描述了香港地區的岩石及岩系，所有堆積物的分佈，示於其所附的 1:50 000 地圖中（怎樣取得此地圖，詳見第 12 章說明）。必須注意的是，這份地圖，將會由土力工程處的地質重新測繪計劃內新繪的大比例地圖所取代。

花崗岩的形成年代比火山岩為新，以岩基或形狀不規則的岩幹形式侵入火山岩。花崗岩通常具有較寬的節理，節理典型間距為 0.5~2.0 m，片狀節理則常常出現在較近地面的地方。

雖然不同的花崗岩的組成、顏色均有不同，但是在外觀上常是相似的，通常均由長石、石英、角閃石、黑雲母等所組成。在接觸火山岩的地方，花崗岩有時呈細粒狀，其接觸面較常明顯，且易劃分。

花崗閃長岩是花崗岩序列之一，它沿東北至西南方向，經大埔侵入火山岩中，並且入侵了赤柱半島的花崗質岩層中。

火山岩序列則包括了多種岩質，有熔化重結晶的凝灰岩（熔結凝灰岩）、細粒凝灰岩、粗粒凝灰岩，以及粗面安山岩質、流紋岩質的熔岩流等，其中的一些更已質變，凝灰岩是最常見的。火山岩通常具有密布的節理，節理典型間距為 50~200 mm，但在較粗粒的火山岩中，節理的間距可達 3 m。

侵入花崗岩和火山岩中的，有一般不超過數米的，不同寬度的粒玄岩岩脈。在火山岩中，此等岩脈有時是沿著一個、或兩個界面被剪裂、錯斷，但這情況在花崗岩中卻很少見到。岩脈傾向與區域性的斷裂傾向是一致的，一般都是很陡的。

上面提及的多種岩石中，很多都會在一些地方被錯斷、剪裂的，而斷裂則多沿區域性斷裂走向分佈。斷裂帶可以是垂直的或微傾斜的，並可能風化至離地面有相當的深度；斷裂帶的寬度是有變化的，可達數米。在斷裂的附近，岩石可能被擠碎，不然則節理密佈。表示在香港地質圖（Allen & Stephens, 1971）上的斷裂，是根據航空照片判釋劃定的，除地質圖上的各斷裂外，還有很多已知存在的斷裂及岩脈，並未在這地質圖上標出。

## 1.2 土

在香港的天然斜坡上，從工程觀點上可作土來看待的物質，有從化學、物理風化所產生。土可由原地風化岩（化學風化）、坡積岩屑（物理風化）所組成，坡積岩屑乃近代、或古代特別多雨的情況下，運移並覆蓋在斜坡上的。坡積土的厚度很少超過 30 m，但就原地風化岩土而言，土層的深度超過 60 m 的並不罕見。

Ruxton & Berry (1957) 探討了香港花崗岩的風化情況，對於這種複雜而又重要的岩石，形成及其性質作了極佳的介紹，並提出了整個風化剖面的四重區劃法，關於這意念，在圖 1.1 中以修正的形式作了說明。此法對於風化花崗岩的初步現場描述是有用的，但對於工程上、或其它岩類描述上，則有不足的地方，第 5.3.2 節將就這問題作進一步的討論。

照片圖 1.1~1.12 中所示的，乃根據 Ruxton & Berry (1957) 所劃分的風化花崗岩、風化火山岩的各風化實例。

花崗岩風化特徵之一，是岩石品質並非常隨深度增加而有所提高，這對工程建設來說是重要的。因為在表層硬質岩石下面，可存有厚厚的土層，更不可將花崗岩孤石誤判為凸起的基岩。

花崗岩風化產生的土一般是砂質的；而從火山岩風化產生的土，無論是原地風化的，或坡積作用下衍生的，都趨於粉質的。

許多天然土坡，都具有不穩的情況，尤以狹窄的、淺層的滑動崩塌形式出現為最，產生的泥石，更可流至很遠，特別當沿排水線路出現時，更為明顯。

是否母岩原地風化土，一般可通過岩石的殘留節理、原有的結晶組織分辨得到。風化至新鮮岩石之間，深度差距變化極大，是與節理形式、間距以及地下水位的位置等有關，在較密節理的岩石中，此變化可在少少數百毫米內出現。未經風化的火山岩中的節理面上，常覆有一種在土層中殘留節理也存在的黏土礦物。在乾旱季節期間，地下水位常處在岩層，而不在土層中。在風化程度中等的岩石中（即長石已變成黏土礦物，但岩塊卻不能用手捏碎），很多時節理是微張的，這就形成了一個比對於上覆土層，下卧未經風化的岩石層，都更具滲透性的一個區帶。

火山岩和花崗岩，經化學風化產生了敘永石和高嶺石黏土礦物，在風化後期，後者有更多的出現（Parham, 1969; Lumb & Lee, 1975）。Lumb (1965) 並論述了香港殘積土的工程特性。

坡積土是一種非均質物質，是一種含未經風化、或不同風化的岩屑（其顆粒小自幾毫米，大至數米）的黏質及粉質土，這是母岩經物理分解及向斜坡下方運移的結果。

沖積土一般由不同比例的亞圓形礫石、砂、粉土、黏土等組成，出現於平緩河谷底。在石崗、元朗、上水的河谷地區，可發現大量此類的沖積物。

區分坡積物、風化岩、沖積物與填土有時是相當困難的，這問題 Huntley & Randall (1981) 作了詳盡的討論。照片圖 1.13~1.14 中，展示了一些填土、坡積物的典型實例。

---

[空白頁]

## 第二章 場地勘察

### 2.1 引言

與斜坡工程建設有關的場地勘察，主要可分成兩個部份，它們是：

- (a) 地表研究，
- (b) 地下勘察。

從地表研究、施工記錄，以至從場地附近的建築物表現中，俱可獲得許多有用的資料。地表研究是場地勘察的第一階段，評估過地表研究的結果後，才可以計劃那地下勘察的工作。

地表徵狀調查，可分為兩個主要階段：

- (a) 資料研究階段，
- (b) 現場研究階段。

資料研究，應在詳細現場研究前進行，但工程師該在勘察的初段，儘早檢察場地。資料研究後，則可擬定現場研究方案，特別著眼於有可能出現問題的地方。

有關斜坡建造的場地勘察，一般要求可見表 2.1，該表乃根據斜坡高度、斜坡現有坡角、斜坡場地的風險級別等，提供了所需要尋索的資料和專家建議。

表2.2列明表2.1中要求的勘察內容，這兩個表只作指引之用。

下列參考資料，為本章多方面提供了有用的資料和指引：

- (a) Code of Practice for Site Investigation, BS 5930 (British Standards Institution, 1981)，及
- (b) Report of the International Association of Engineering Geology Commission on Site Investigation (International Association of Engineering Geology, 1981).

### 2.2 資料研究

#### 2.2.1 現有地圖及平面圖

地形圖、地形平面圖可用於辨別地貌、排水系統的型態，也可對場地上會出現的岩土有所提示。覆蓋整個香港地區比例為 1 : 100 000、1 : 50 000 和 1 : 20 000 的地圖及



平面圖，均由香港地政署出版。有關詳細情況及更大比例的地圖，可查閱第 12 章。

從地質圖中，可以獲取影響場地的岩土和地質構造資料。地質圖在場地勘察中是極為有用的，不過，一般來說，既是按個別的露頭、鑽孔資料繪製而成，其中的許多內容都會是推測性的，而非實況，這一點使用者應當緊記，故此，地質圖的判釋應是土力工程師的責任。Institution of British Civil Engineers (1976) 編寫的 *Manual of Applied Geology for Engineers* 中，有對地質圖的使用、判釋作了有用的討論。Allen & Stephens (1971) 編制可單獨購買的 1:50 000 地質圖，則替代了以往的地質測繪，然而，更詳盡的地質繪圖，則正在土力工程處編制中。

### 2.2.2 文件與記錄

在勘察的初段，有用的岩土資料，常可在該區的發展記錄中找到，此等記錄包括了各方面如場地平整、場地勘察、鑽井、打樁、地基、斜坡過去的穩定性等等。這些資料一般會由土力工程處，或由進行公共發展勘察的地政工務科屬下各署有關部門保存，此等記錄也可能由公共或私人發展的顧問建築師、工程師保存。不過，舊發展項目的記錄，則可能是不全的或是已不存在。場地勘察承建商和香港大學，也可能保存著一些可用的資料。過時的報紙，也可能記錄了一些對個別場地有用的資料（見第 12 章）。

有時，也可從當地居民中，獲得某些失穩事例的詳情，儘管這些事故的描述是合理地準確，但時間細節上則往往是不可靠的。

在場地勘察規劃的早段，應要求各公用事業公司，提供有關區內的詳細供應管線設施。在工程有所需要時，得以臨時或永久性地更改其行走路線。

### 2.2.3 航空照片判釋

航空及陸地的黑白、彩色或彩色紅外線照片，對於工程應用上是有用的。此外，還有幾種遙感圖片（包括衛星圖像和雷達圖像），也可應用於工程規劃中（Institution of Civil Engineers, 1976）。不過，在香港則只有黑白航空照片可供使用，只因在 1964 年、1967 年、1973 年後的每一年，都有航空測繪，提供了覆蓋香港全部地區的 1:20 000 至 1:25 000 黑白照片。還有的是只覆蓋市區的不同比例航空照片，通常為比例 1:4 000 至 1:8 000 的。1924 年後的早期航空照片也有，但覆蓋面不全。

也有 1964 年全香港地區的航空照片鑲嵌圖，其比例為 1:25 000；覆蓋市區的，其比例更達 1:6 000。所有的航空照片以及部份地面照片，均可從地政署取得。

航空照片的立體分析，除可作地形、地貌辨別外，還可從中推斷出一些地質資料、場地歷史等。航空照片判釋 (API)，在香港的最重要作用之一，就是從不同年份的航空照片中，重組過往某場地、某發展區可能進行過的施工序列，特別重要的當然是用於對地表水文的勘察、挖填方區（包括填海區）的分野等。在某些情況下，更可從照片上看到施工的方法。

許多地質特徵，都可以通過航空照片判釋來鑒別，例如岩石的類型、構造不連續面、地表沉積（坡積物和人工填土）、斜坡的不穩定性等等。地貌和地表排水系統形態，通常是與地質有關的。圖 2.1 為顯示有若干主要構造，及岩性特徵的香港島部份地區的地質圖和航空照片，圖中的主要航攝特徵有構造上的不連續面，如斷層、岩脈、節理密集區等，這通常亦表示會出現有與深層風化，和地下水聚集有關的弱岩帶。坡積物是由岩屑物堆積後繼續風化而形成，一般以扇形、或凸透鏡形體沿地表水流線出現，它也可通過航空照片判釋來確定，坡積物經常與異常的地下水文有關。老滑坡、地表排水系統形態以及某些滲流情況，均可通過立體判釋觀察確定之。不過，彩色紅外線照片對這方面來說，比黑白照片更為有效。

航空照片判釋的另一個用處，能以坡角、地質組成物、地形、沖蝕、不穩定性等一些特徵標誌，將土地系統地分劃成各種「土地單元」。照片圖 2.1 展示，由航空照片判釋確定的，有系統土地單元地形劃分實例。其在香港的應用實例，見 Brand 等（1982）的討論。

地質、地貌徵狀的確定，有助於規劃、分析地下勘察以至設計等的工作。有關航空照片判釋，於地質及地貌勘察上的更多資料，可參考 Van Zuidam & Van Zuidam-Concelado（1979）和 Cooke & Doornkamp（1974）的論文。

## 2.3 現場研究

### 2.3.1 目測檢察

與場地及其周遭勘察的同時，地形及地表水系的地域性形態查考，對地下土層結構也能提供有價值的資料。

規則而又非天然性的地形，表示有人造斜坡的存在，這些地形包括了截頭窪谷和脊壟、平面形斜坡等。平面型的填土斜坡一般是傾斜  $30^{\circ}$  至  $40^{\circ}$ ，至於削土斜坡則是  $50^{\circ}$  至  $60^{\circ}$ 。若有下塌和沉降出現，則顯示場地上可能存有填土。陡峭坡地的舊開發區，雖然其場地的一邊是挖方，另一邊是填方，不過，單憑地形而言，地形的總體影響尚不足以令它們被界定為人造斜坡。植被，特別是在舊斜坡上的，能使肉眼鑒別人造斜坡的工作變得困難，甚至不可能。

過往場地平整中建造的牆，有可能是挖方的護面，也有可能是擋土牆，牆的傾斜度或能顯示它所屬的形式。對於所有的舊牆，都應注意留心其狀況，當該牆為新工程的一部份，或該牆受到擬建項目影響時，更應如此。

### 2.3.2 工程地質測繪

對於大面積的或具困難的場地，建議進行全面的地質測繪和地表勘察。至於如何繪制所收集的數據，可參照 Geological Society of London Working Party Report（1972）中的 Preparation of Maps and Plans in Terms of Engineering Geology，不過其建議須作增

刪，以適合香港的實際情況。International Association of Engineering Geology (1976) and Institution of Civil Engineers (1976)，提供更多有關工程地質測繪方面的資料。

出露的岩土，除了應以一般通用的名稱記錄在地質圖外，更應詳盡地在場地數據記錄表中描述它們，以便日後可比較連繫地下勘察的結果。描述香港岩土的各方法，於第 2.3.3 節中說明之。

### 2.3.3 岩土描述

土、石的良好描述，是場地勘察最重要的成功因素之一。故只應由合格而有經驗的人員負責完成。

目前已有許多描述岩土的方案，下列的有關刊物可作參考：International Association of Engineering Geology (1981)、International Society for Rock Mechanics (1978, 1981) 和 British Standards Institution (1981) 等。不過，可惜的是它們使用的術語均有所不同，而且同一術語的定義也不一樣，因此，岩土工程報告中，清楚說明採用的岩土描述體系和術語是十分重要的。

Ruxton & Berry (1957) 和 Hencher & Martin (1982)，在香港風化岩的描述上作了某方面的討論。至於 Huntley & Randall (1981) 和香港土力工程處 GCO (1982a)，則分別討論了表工堆積物劃分方法與坡積物分類法。

岩土描述適用於均質的小試樣，與適用於非均質成層或成帶的岩土體描述是有所不同，這一認識是重要的。在岩體中，其組成的各成份材料可能有很大程度上的差異，故應分別地加以詳盡描繪。

風化一詞是描述岩體分解成土質的過程，具有化學分解，和機械崩解雙重作用的一個術語。如照片圖 1.1 至 1.6 中所示，香港許多岩體受風化的影響，可達相當的深度。典型的風化，是沿不連續面深入岩體內部的，岩體的相鄰部位可能有不同的分解程度，故此，描述小試樣的風化程度，與描述如圖 1.1 中所示的成層、成帶的岩體風化程度是有所差別，這認識是重要的。

良好的描述，關鍵在於一個有系統的描述，其內容包括下列各項目。

岩土描述可包括：

- (a) 顏色，
- (b) 粒徑及其它組構特點，
- (c) 風化程度，
- (d) 微裂隙度(剝落)，

- (e) 強度，
- (f) 土、石名稱，及
- (g) 其它特性，如水解性等。

岩土體描述可包括：

- (a) 硬塊體的尺寸、稜角、百分比及分佈，
- (b) 不連續面的間距及特徵，及
- (c) 地質構造。

各類指標試驗，當可加強對土、石的客觀描述。其中最有用的是 Schmidt 錘、點荷載 (Broch, 1978; Brook, 1980) 和袖珍貫入儀等試驗，水解性試驗也是簡單而有用的。要留意的是，此等指標試驗會因不同的含水量、微裂隙或節理的存在，以及操作人員在選取代表性試點，或試驗過程中操作技術的參差而有所影響。

不少岩石，有其岩石的風化分類。表 2.3 列出了適用於大多數香港花崗岩和火山岩的一種分類法，該分類是源於 Moye (1955) 的劃分法，依據香港的實況 (Hencher & Martin, 1982) 進一步發展起來的。火山岩和花崗岩岩芯的風化等級實例，見照片圖 2.2 至 2.26；其相應的鑽孔柱狀圖，可見圖 2.2 至 2.7。

適用於香港其它類型岩石的風化分類，還沒有出版。當遇到這類岩石時，建議可使用表 2.3 中的類似術語，但需修正其定義，得以適用於個別不同的場地。

#### 2.3.4 節理測度

特別在削坡中，像節理這類的不連續面，常影響著岩體的工程特性。若有岩石露頭的出現，則應作節理測度，以便評估由節理引發的不穩性所帶來的後果。

International Society for Rock Mechanics (1978)，討論了節理測度的器具及方法；Hoek & Bray (1981) 論述了如何分析其量度的結果。應用普遍的數據篩選統計法作分析時，務要小心，不要忽略了一些出現少但具關鍵性的節理 (Beattie & Lam, 1977; Brand 等, 1983)。更進一步的討論見第 2.6 節，其中更有節理記錄表樣式，及赤平投影圖可供參攷。

節理量度，只能由有經驗的土力工程師負責，土力工程師除了執行量度外，也要在分析完畢後，再到現場詳盡地驗察那被確定為關鍵的不連續面的特性。至於在施工時，斜坡或挖面亦應再受查驗，以確定會否遺漏了一些在測度中未被發現，而卻會導致不穩定情況產生的節理組。

### 2.3.5 地面排水

地面勘察的同時，所有的河流、渠道、溝壑、明溝、集水井、涵洞等，與其大小尺寸、具體情況，應詳註在岩土工程場地圖上，這等資料對評估場地的地面排水特徵，對調整及改進現有地面排水措施以滿足發展項目的需要時，將會證明是有用的。

## 2.4 地下勘察技術

### 2.4.1 要求

地下勘察的要求為：

- (a) 查明構成及影響場地的岩土範圍，
- (b) 取得場地岩土特性的有關資料，及
- (c) 研究場地的地下水體系。

當制定勘察孔的位置及儀器安裝方案時，應考慮上述要求。此等勘察應在有經驗的檢查人員、或有關的稱職人員全時間監督下進行，並同時受工程地質專家或土力工程師密切監督，對於大型勘察來說，更必要有工程地質專家或土力工程師作全時間的監督。

### 2.4.2 探井與探槽

探井與探槽均可以是小型的人工挖井，也可以是機械開挖的寬槽，它們容許有關人仕在現場查驗土層，取得不擾動塊狀試樣。探井應予適當支護以防坍塌，也不應讓積水存留在探井、探槽內。當描繪完畢挖露的地層，或完成勘察工作後，探井應進行回填，填土並應適當地分層壓實。

### 2.4.3 手挖沉箱

在香港的工程建設中，當樁墩需建築在深度達 30 m 或超過 30 m 的岩上，手挖沉箱是一個普遍採用的方法。沉箱也可直接應用於場地勘察中，此方法與探井、探槽具有相同的優點。當沉箱在殘積土中，處於地下水位以下時，除非採取有效的降水措施，不然，其使用雖不至危險卻會受到很大的限制。

### 2.4.4 斜坡表面剝除

通過仔細的斜坡面檢查，當可獲得有用的資料。然而，許多斜坡都護有一灰泥薄層（一種貧土水泥混合物），故作斜坡面層描繪前，剝除部份護坡面層是必須的。剝除

帶的寬度應不少於 500 mm，並應一直延伸至斜坡的最高處，也應經過具有不同地面特徵的地方，例如突出的孤石、可見的滲流等等。剝除和描繪工作，通常是需安設輕型棚架來進行的。

#### 2.4.5 動力觸探

一種稱為 GCO 觸探的手動觸探，正在越來越普遍地被使用，基本上它是一個較大的 Mackintosh 觸探。觸探儀錘重 10 kg，落距 300 mm，錘頭直徑 25 mm，錐尖角度為 45°，使用時繪錄每貫入 100 mm 的錘擊數，探頭有能力貫入全風化花崗岩達 25 m。勘察現有斜坡時，可先以大量這種觸探來獲取地下的剖面概況，這有利於確定擬挖探井、鑽孔的位置。這種觸探，也可顯示地下填土層的壓實狀況、填土層厚度等。當深度大於 5 m 時，須作探杆重量修正。另一種微型的 GCO 觸探頭，已用於表土鑒別上，這種較細的觸探與足尺觸探頭，在單位面積衝擊能量上是相同的。

#### 2.4.6 土層鑽探

僅適用於土和軟性岩石，各鑽探方法有如下的適用及局限性：

(1) 手搖螺紋鑽 只適用於地下水位以上，疏鬆土質的淺層鑽孔，及探井裏進行的鑽孔。此方法不適用於含粗礫石、卵石或漂石的土。

(2) 噴射鑽探 此法是利用高速水力成孔的。放置探孔套管，可使用此法。但通常卻不能應用此法，獲得合格品質的試樣。因高水壓的關係，此法不適用於因飽和度、水壓增加，而可能導致斜坡失穩的地方。該法非常適用於，礫質土中的水井建造、測壓計裝設或硬層定位。當遇到硬層、漂石或卵石時，鑽進便會中止。此法在香港並不普遍。

(3) 沖洗鑽探 此法一般可用一台具卷揚機並三腳架的鑽機來操作。孔底的地層，先受鑿頭作用沖擊，然後碎屑物再以水經鑽杆，低壓沖至地面。一般情況下，需用探孔套管支護孔壁。由水沖洗至地面的碎屑土，已失去原有的特性及稠度。孔內可作標準貫入試驗，並可使用開口或活塞取樣器取樣。鑽孔使用的水壓，均低於噴射鑽探所用的，因此，滲入斜坡中的水，能導致失穩的機會較少。此法適用於砂土、粉土及黏土，此法在香港也不普遍。但是，在旋轉式鑽探中，它則廣泛地應用於軟土的成孔鑽進上。

(4) 鋼繩沖擊鑽探 此法只需用一台卷揚機加三腳架，或使用旋轉式鑽機上的卷揚機便可進行。鑽進上，乾黏性土中則用黏土切土器，礫質土層中或地下水位以下的地方則用殼式鑽頭，鑿頭則用於貫穿硬土層或穿越孤石。在地下水位以下，或在具有坍塌可能的土層中則需使用套管護壁。此等方法取出的擾動樣本，只適宜作土層劃分、土分類試驗等。孔內也可進行標準貫入試驗，及使用開口或活塞取樣器取樣。此法適用於各土類以至風化岩，不過通過孤石所需的沖擊，則是費時和昂貴的。

(5) 旋轉沖擊鑽探 若要於任何類型的土、石層迅速成孔，可使用氣動的鑽機，而鑽進過程中需用水清洗孔底，及使鑽頭降溫。雖然不能從中取得試樣，但可從貫入的

速率、沖水的顏色判斷土層的變化。

當此法與 Lutz 電測鑽探參數記錄設備結合時，是一種經濟快捷的有效勘察技術。一些能顯示岩土為何類物料的參數，例如沖擊振動、貫入速率等，均可以隨深度自動記錄之。不過此試驗，常需以鑽孔柱或其它直接勘察資料，校正其分析結果。

灌漿孔、爆破孔一般多用這方法成孔的，安裝觀測井用的鑽孔，也可用此法。若沒有 Lutz 參數記錄儀時，它也可成爲一種觸探工具，用於尋索填土層基底或基岩面，只需加插一些控制性鑽孔便可以了。

#### 2.4.7 岩層鑽探

在香港，要取得岩芯試樣，最普遍是採用旋轉鑽探式的方法。鑽孔通常是垂直的，但亦可傾斜至  $45^\circ$ ，而不會產生重大的困難。至於鑽探長的傾斜孔或水平孔，則需要作特殊的考慮，特別要做到有效的方向控制以及減少坍塌的發生。在香港，曾鑽過有 200 m 長的傾斜和水平鑽孔。McFeat-Smith (1982) 描述了，鑽探中遇到的一些實際問題。孔向偏斜，特別在垂直面上是常見的，這是由於鑽杆的重量，及岩石強度不均所造成，通過使用剛度強的鑽孔平台，達成符合第 2.4.8 節中所述的各規定，並使用 3 m 長的岩芯管以及如 Coates 等人 (1977) 所述的連續取芯方法，是可以減低偏斜的。需作定向的長孔，建議約每隔 20 m，就需監測鑽孔的方向，在這方面，香港有多種監測儀器是可以應用的，其中包括試管/化學的、機械羅盤、鑽孔攝影機等。然而適用於水平至  $45^\circ$  傾斜的鑽孔，則只有後者兩種方法。

鑽機宜採用液壓式的，沖洗介質可以是水、壓縮空氣、氣體泡沫、或泥漿。不具分解性的泥漿，不可應用於需作滲透試驗，或需安裝測試儀器的鑽孔中。鑽孔的直徑，視乎那需要試驗的岩芯的大小，或安裝測試儀器的型號來決定。各種規格的套管、岩芯管、岩芯尺寸等見表 2.4。

選取正確岩芯管是很重要的，選擇錯誤可導致岩芯受損或受擾動。岩芯管的類型及其局限性如下：

- (a) 單層岩芯管繞岩芯旋轉，而岩芯本身與鑽液間沒有任何的保護。岩芯採取率很少能滿足要求，故不應於一般場地勘察中使用。
- (b) 雙重岩芯管有一固定在軸承上的內管，不會隨鑽機鋼繩旋轉，故適用於未經風化、微至中度風化的岩石。
- (c) 三重岩芯管可在其它方法無效時，或需採取高品質岩芯的情況下使用。三重管在內管中，再有一可卸式內襯套，它能部份地保護岩芯免受鑽液的影響，以及防止岩芯在取出、搬運過程中受損。

- (d) 非伸縮性三重管，適用於未經風化至中度風化的岩帶，及一些較堅硬的強風化岩層。
- (e) 伸縮性三重管，適用於較軟的強風化岩，及所有的全風化岩和殘積土。其內管當穿越軟物質時，會伸出於鑽頭前起保護作用；然而在堅硬物質中，當鑽壓增加時卻會回縮。

當鑽孔只用來安裝測試儀器，或用作現場試驗時，可採用非取芯法。最常用的是旋轉式鑽孔，通過土層時用沖洗鑽進法，通過岩層時則用雙重管取芯。採用牙輪岩石鑽頭，以及旋轉沖擊技術可都是有效的，但在香港並不普及。重型柴油錘引動的錘擊鑽探，對含有孤石或其它障礙物的填土或坡積層尤其有效。

較軟質的岩體中若雜有鵝卵石，會令所有的鑽探都產生困難，因為鵝卵石會隨著鑽頭一起轉動，沖蝕基質，減弱了鑽頭的有效性。但這問題可通過使用大直徑的三重岩芯管，並氣沫沖洗克服之。

目前，在香港採取土質試樣，最常用是 Mazier 型伸縮性三重管，其最內管為一塑料內襯套，可承托用於標準室內三軸試驗直徑 73 mm 的岩芯。當需鑽越岩層時，Mazier 型岩芯管常與 Craelius T2-101 型雙重岩芯管一並使用。Brenner & Phillipson (1979)、Forth & Platt-Higgins (1981) 和 Brand & Phillipson (1984) 描述了香港慣常使用的岩芯管、沖洗介質，以及它們對各地下岩層的適用性等。

在香港，對需要採取較高品質岩芯試樣的認識日益增加，導致了技術規格、標準的改進與提高，此情況在軟土的高品質岩芯取樣中更為明顯。一並使用大直徑三重管 (100 mm)、氣沫沖洗，已証實能成功取得作辨別、強度試驗用的高品質岩芯試樣 (Phillipson & Chipp, 1981)。

#### 2.4.8 影響高品質岩層鑽探的因素

能否成功取得高品質的岩芯，除了適當地選擇岩芯管、沖洗介質外，設備、技術等各方面的因素都是有影響的。鑽機應是液壓式，並能驅動所需尺寸的金剛石或碳化鎢鋼鑽頭，鑽至所需深度。鑽機的重量，應能提供鑽頭有 12 kN 的力而又不會使鑽機位移，如果鑽機的重量不足的話，應將鑽機穩妥地錨固。鑽機應能提供 50 至 1250 rpm 速率的穩定轉數，鑽軸降距至少有 600 mm。有刻度的剛性標尺應平行固連於液壓鑽機軸，以便量度貫入深度及估量貫入的速率。

坍塌性的地層，應用探孔套管護壁。套管和鑽杆的選取尺寸，應與使用的岩芯管相配套。所有套管、鑽杆應是畢直的且具良好狀況，使用前更應徹底洗淨。保證能連續地採取岩芯，應準備有短的鑽杆，使每一岩芯的進尺正好是一個完整的鑽軸降程。也應備有不超過鑽軸降程的短探孔套管，在有需要時，讓每次取芯進尺後套管得以跟進。



爲了使量測具一致性，及保證鑽探設備能有效率地運作，應採用下列通用鑽探技術：

- (a) 在鑽孔附近建立一個固定標記，作一切深度量度的標準點。
- (b) 每次採取岩芯前和採取岩芯後，都應量度鑽孔的深度。
- (c) 每次採取岩芯後，以岩芯管及鑽杆的總長度檢驗鑽孔深度。
- (d) 鑽杆在孔口盤內總是居中的。
- (e) 鑽機的定位，須能使鑽杆保持在鑽孔的中心。
- (f) 在微至中度風化岩石中鑽探，每次岩芯長度通常限制在 1.5 m 內；在更高風化的岩石中，每次取芯長度應少於鑽軸的最大降距。當岩石的採取率不足 80% 時，應即採取措施以增大岩芯的採取率，例如，減少每次取芯的長度、改換岩芯管等。如果知道岩芯失損的原因，當記錄說明之。
- (g) 若遇上岩質由硬變軟時，應立時拆去非伸縮性岩芯管，並換上可伸縮性岩芯管。
- (h) 從鑽孔中小心提出鑽杆及岩芯管，免受震動。
- (i) 每次取芯後，沖洗岩芯管及沉澱管。
- (j) 當需用探孔管套時，可順暢地用旋轉方式鑽進，但不可超越岩芯管的深度，及
- (k) 所有器械及部件都得有良好的、清潔的、保持潤滑的保養。不然，按生產廠家的指引保養。

理想的是鑽探組內，包括一名具有上述方法進行高品質鑽探有經驗的鑽探員，此外，鑽探組還應包括一名記錄員，負責讀數及記錄數據。鑽探組成員能否稱職地、忠誠地完成各階段鑽探的全部操作，對成功進行高品質的鑽探來說，是極爲重要的。

#### 2.4.9 回填

所有勘察孔必須回填，以防止表水進入了土、石中而致穩定性低減。岩石中的鑽孔，可用水泥加膨潤土之類的灌漿進行回填。在大直徑鑽孔中，灌漿裡可加進填充物料。

土層中的鑽孔，儘管在某些情況下可以夯土回填，但通常都應做灌漿的，未有夯實的回填土是不可取的，因其鑽孔仍具較高的滲透性。在完成回填幾天以後，應檢查灌漿在孔內的沉降，有必要的話應再回填至地面。用泥土回填的鑽孔，可能需要長時間的保固。

#### 2.4.10 取樣

決定勘察中應取試樣的品質，須考慮到地層的性質及其需要測度的特性（表 2.2），然後定規合宜的取樣方法。

應記住的一點，地層整全的表現，往往由其存在的孤石、弱面及不連續面所決定。因此，一個完整樣本，未必能夠代表岩土的全體。在選擇取樣方式時，應弄清楚所要測定的是地層的岩土整體特性，或者只是那完整樣本的特性。

表 2.5 中列出了不同用途下，所要求的試樣品質等級、取樣方法等。對香港的某些泥土類別，如坡積土或填土，取樣是困難的。在某些情況下，它們的最好試樣亦僅達 2 級標準。至於 3、4、5 級試樣，一般只算為擾動試樣罷了。

(1) 品質 1 級試樣 對於細粒黏質土，只能用薄壁取樣器取樣，取樣器最好是固定活塞式，其面積比不超過 10%，內間隙比不超過 1%（面積比和內間隙比的定義，見圖 2.8），長度則不超過 8 倍試樣直徑。對於香港的殘積土，薄壁取樣器則過於單薄，故不能以此取得 1 級試樣，不過，因為此土土質並不靈敏，2 級試樣也能獲取可接受的強度與壓縮性參數。相反，在沖積土及海相沉積土中，則可用此取樣器取得 1 級試樣，至於殘積土的 1 級試樣，則須從塊狀試樣中得取得。

從香港各典型土類迄今試鑽的結果看來，相當於 1 級試樣的最高品質迴轉岩芯試樣，可用大直徑三重岩芯管（MLC），加氣沫沖洗採取。

(2) 品質 2 級試樣 次高等級的迴轉岩芯試樣（2 級），可通過 H 型或 N 型三重（MLC）岩芯管、或 Mazier 三重管並 T2-101 mm 雙重岩芯管加水沖沖洗取得。此法對取得為制定地質柱狀圖和室內試驗所需的試樣是有用的，特別是適用於 IV 與 V 級的原地風化岩。不過，這些試樣僅可從具若干黏性的泥土中取得。

2 級試樣也可從細粒黏性土中，用厚壁或薄壁取樣器取得，但其終端面積比不得超過 25%，內間隙比不得超過 2%。取樣器中應有一些超進尺的空檔，還應具裝有倒球閥的出口，以利於取樣器壓入時空氣和水的排出，並提升時在土樣上方產生真空。取樣器的最小內徑應為 38 mm，但較適合的內徑則為 76 mm。取樣器的壓入，該使用孔下錘或震動連杆，而非用孔上錘擊法。當鑽孔處於地下水位以下時，則應用水力平衡法（即保持孔中水位略高於地下水位）。

(3) 品質 3 級試樣 3 級試樣適用作岩土的結構研究。3 級試樣的取樣器，亦應符合 2 級試樣取樣器的一般要求，但卻可使用自由落錘，水力平衡也僅需在高滲透性土層中使用。在標準貫入試驗中採取的對開管試樣，則是 3 級試樣。

(4) 品質 4 級試樣 4 級試樣為受嚴重擾動的試樣，含水量已於鑽探過程中受到更改。該等試樣可以是探孔、探井、取樣器口內的棄土。最少重量為 0.5 kg，大體積試樣則至少應有 10 kg。如果存放在剛性容器中，試樣應填滿整個容器；如果存放在柔性容器中，在密封前則應盡量將空氣排出。

(5) 品質 5 級試樣 5 級試樣乃是任何土層、岩層鑽孔的氣沖或水沖沖屑。

所有試樣，應在容器內外用標籤清楚標明下列有關資料：

- (a) 合約名稱，
- (b) 場地名稱或代號，
- (c) 孔號、孔位及鑽孔角度，
- (d) 試樣編號，
- (e) 取樣日期，
- (f) 試樣的簡單描述，
- (g) 試樣頂部及底部於地面下的深度，
- (h) 試樣的位置及方向(探井取樣)。

試樣容器應能防氣漏、防入水，原狀試樣上下兩端須齊修，容器壁應用布擦淨、擦乾，試樣可用剛熔的臘薄封數層。微晶質臘的收縮比石臘小，故用微晶質臘能更好地密封試樣，或另可選擇 'o' 型密封圈。試樣與封蓋間的空間應用鋸末、砂或其它適合的材料填塞，端蓋可用防水膠帶或封臘密封。運去作室內試驗的岩土試樣應儘快小心運送，並保護試樣，免受震動及氣候影響。

#### 2.4.11 岩芯的處置及貯存

岩芯處置的各個環節，包括密封、包裝、運送都須非常小心，岩芯處置不善，可破壞整個鑽探，特別從岩芯管取出岩芯時更應如此。如使用三重管的話，內管應用液壓推出。以壓縮空氣推出岩芯，控制上是會有困難的，應避免使用。開拆岩芯管，特別是在拆卸刃口靴時，應少用錘子，因為這無疑會擾動岩芯的，最好是將岩芯管固定在地面三腳架上，用扳手小心拆卸。

如須用錘子敲出楔塊，則應使用帶皮墊的木錘。岩芯應按正確次序，放置在適合岩芯尺寸的特制岩芯箱內，岩芯箱可以是木制或電鍍金屬的，最好的是成模塑料，得以裝放對開式的管套。岩芯箱的尺寸，應以便於搬動為限。

風化岩芯在放進岩芯箱前，應用聚乙烯管、聚乙烯紙或鋁箔包裹密封。岩芯每段兩端，放置標明岩芯深度的木塊，以防岩芯在箱中滾動。如某段岩芯需從箱中取出的話，應以一塊合宜長度的木塊補空。至於試驗用的試樣，則應於岩芯管取出岩芯時挑選，並應置於堅固的密閉容器中。

岩芯箱及塑料管內的單段岩芯，內外都應清楚標出下列內容：

- (a) 合約名稱，
- (b) 場地名稱或代號，
- (c) 孔號、孔位及鑽孔角度，
- (d) 鑽探日期及方法，
- (e) 每段岩芯頂部和底部的深度。

對所有岩芯拍照是可取的，並應儘早在取芯後，及在描述並選取、運送試樣前做妥。

岩芯箱應在有蓋的情況下存放，存放的位置應利於尋找，並查驗時利於搬動。在對開式塑料管或聚乙烯筒中的岩芯，可單段存放在波紋板制作的樣品架上。

#### 2.4.12 鑽孔記錄

從勘探孔中取得的土、石，應按第 2.3.3 節裡建議的方法描述之。對不需用作試驗的土樣，可擠出套管外，擊開，以便直接觀察其組織結構。當試樣部份風乾時，組織結構則最為清晰。

編制鑽孔最終柱狀圖，須參照鑽探員的記錄，並應由有經驗的合格人員來負責。探井及土層、岩層鑽孔柱狀圖的式樣，將在第 2.6.3 節中討論。

至於岩芯，應量度其岩石採取率、岩石質量指標、裂隙頻度等。柱狀圖上應標出剪切帶，及別的不連續面的位置、水平深度，其它細節如方向、填充物、粗糙度等也應列明。如不連續面對是項工程是重要的話，得考慮繪制一份詳盡的裂隙柱狀圖。

下列術語通用於岩芯描述上：

- (a) 總岩芯 採取率，定義為  $\left(\frac{\text{取得的岩芯長度}}{\text{進尺長度}}\right) \times 100\%$ 。對

於任何岩芯，採取率不足 100% 時，就意味採取時，失掉了部份最弱的地方，失掉的部位、其水平深度應盡可能準確地標明。

- (b) 實心岩 芯採取率的定義為，取得的全直徑實心岩芯段長度佔此岩芯段進尺長度的百分比。
- (c) 岩石質量指標 (RQD) 是沿岩芯中軸線長度大於 100 mm 的岩芯段的長度，佔此岩芯段進尺長度的百分比。如果所有的岩芯都採得，且每段的長度都大於 100 mm，則 RQD = 100%。計算 RQD 時，由鑽探所造成的任何岩芯斷裂、損壞都不該理采。
- (d) 裂隙指數 的定義為，在任意長度上每米岩芯所具有的裂隙數目，通常就以一岩芯進尺段作計算。如在一岩芯段上，裂隙出現的多寡有明顯變化的話，例如在斷裂處，則應分段計算其裂隙指數。裂隙指數，或有說明是以岩芯的最大、最小、平均長度來作計算的 (Franklin 等，1971)。岩芯採取率、裂隙指數的定義如圖 2.9 中所示。

第 2.6 節中提供了，在柱狀圖上表示上述指標的方法。水位、鑽探回水、探孔套管尺寸以及其它資料，也應表示在柱狀圖上。

#### 2.4.13 儀器測試

在勘察期間，可能需要安裝測試儀器以量度孔壓、應力、相對位移等。關於測試儀器的各類型，並其適用性、局限性以及安裝方法將在第 10 章中介紹。勘察孔中安裝的測壓計，及其所得的地下水位數據，提供了寶貴的設計資料，然而，所增的費用對整個勘察成本而言是不多的。

雖然，在一個鑽孔內，安裝兩個或多個測壓計是可行的，但要成功地完成卻是困難的，只推薦在極仔細的監督下才可進行。

### 2.5 現場測試技術

岩石的強度、變形持性、滲透性等，可通過場地勘察中的不同現場試驗得之。本節所討論的多個試驗，細節可從 United States Bureau of Reclamation (1974) 中查到。至於施工控制用的各項試驗，則將在第 9 章中討論。

#### 2.5.1 標準貫入試驗

對於粒狀土，此試驗乃粗略比較其密度的一個最常用方法。英國標準 BS 1377 (1975)，描述了此試驗的程序。Nixon (1982) 最近對這個試驗，及其結果的判釋上作了檢討。此試驗的結果，很易受到試驗時技術質素的影響，因此，當進行試驗以及判釋其結果時，應注意下列各點：

- (a) 探孔套管不可超越鑽孔底部。在地下水位以下進行試驗時，應維持孔內水力平衡，
- (b) 使用大直徑鑽杆（BW 型或同類型），或用帶鑽杆扶正器的較小直徑鑽杆，以減少錘擊能量流失，
- (c) 使用自動自由落錘來貫入取樣器，因為卷揚提升式貫入的準確度，非常容易受操作技術所影響。

N 值定義為，將標準對開式取樣器貫入土中 300 mm 所需的錘擊數。在進行這試驗前，先將探頭打入 150 mm，以穿越孔底的擾動土層。操作人員除須記錄每貫入 75 mm 的正式錘擊數外，也要記錄貫入這擾動土層每 75 mm 的錘擊數。

應當注意到，運積土的 N 值，與其一些地基設計參數、相對密度、抗剪強度等的經驗關係並不適用於風化岩。例如，孤石便會產生不代表整個岩土體的高 N 值。

據目前已有的認識，風化岩中的 SPT 結果，僅能在強度比對上，提供一粗略指引。

BS 1377 (1975) 建議，如 50 次錘擊的貫入深度低於 300 mm 時，試驗可以終止，並只須錄取其貫入深度。但在香港，卻不常理會錘擊數大小，試驗都會繼續，直到貫入了 300 mm 為止，這樣做是會損壞試驗設備的。只要記錄準確，大於 50 的 N 值，大致可以根據最初 50 擊的貫入深度來估量之。

### 2.5.2 壓印器測試

壓印器用於不連續面的方位及間隙測定上。該儀器有一中央支承杆，及一段通過該杆的氣壓膨脹式橡皮封塞，在這封塞上，有兩個襯托有彈性泡沫材料的不銹鋼殼片，當試驗時它們由熱塑薄膜包裹。當橡皮封塞充氣後，兩不銹鋼片則被壓向孔壁，此時，熱塑膜受力進入鑽孔的空隙及裂隙中，產生永久的變形 (Hinds, 1974)。

測試時，把該儀器放進鑽孔不同的深度，將封塞充氣，即獲得熱塑薄膜在鑽孔壁封塞段的印模。這項測試，需借助一枚放進鑽孔裡的羅盤來確定其方位，該羅盤在壓印同時，以化學灌漿固定之。

### 2.5.3 荷蘭錐試驗

荷蘭式圓錐觸探儀，乃具套筒的探杆上，安裝有面積為 10 cm<sup>2</sup>、錐角為 60° 的圓錐探頭，以錐尖去量度以穩定速率貫入土層時的貫入阻力，以套筒，或叫摩擦筒去量度側壁摩擦阻力。通常是每隔 200 mm，便須讀數一次，但用電測圓錐觸探，則可連續地記錄錐尖阻力、側壁摩擦阻力。其試驗程序在 BS 5930 (1981) 和 ASTM (1982e) 中都有敘述。此等阻力值，可用於計算承载力、密度等。不過，當遇上比圓錐探頭還大的顆粒時，卻會大大影響此等試驗的結果，因此，雖然此法非常適用於海相沉積，卻不適用於香港的風化岩。

#### 2.5.4 旁壓儀

用Menard旁壓儀，可取得土、石的強度及變形指標（BS 5930, 1981）。該儀器具有一個可在鑽孔裡，徑向擴張的探頭。探頭的體積變動，可由地面上一個連接於探頭的體積量表測定，藉此可得出壓力 - 體積變化曲線，更可轉化成應力 - 應變曲線。從試驗中，可得知反映極限承載力的極限壓力值，也可取得用於快速沉降估計的變形模量。

此法經常在 AX、BX、或 NX 型鑽孔中，相隔 1 米地近行。探頭在粒狀土中，要以對開式套管保護，免受損壞。放下探頭處的鑽孔如有尺寸過大，或孔壁不大平整的情況出現，要分析其試驗結果就可不容易了。

一種適用於土層測試，稱為 Camkometer 的自鑽式旁壓儀經已發明（Windle 和 Wroth, 1972），但目前並不適宜在香港的風化岩中使用。

#### 2.5.5 平板載荷試驗

平板載荷試驗，可用於評估土、軟質岩的強度和變形指標，並可在探井或大直徑鑽孔裡進行。標準方法在 BS 5930（1981）、ASTM（1982a）中都有敘述，此試驗極易受載荷板下的孤石影響。至於從試驗預估原尺寸結構物性狀的精確度，則取決於試驗所使用的載荷板大小，雖然，一般用直徑 300 mm 的載荷板就足夠了，但對粗粒土而言，則需要更大的載荷板。施加於載荷板上的荷載，可由壓重塊、或由帶反力梁的千斤頂提供。由於所需的設備比較笨重，在陡峭斜坡上使用會有困難，因此，此法只適用於平坦場地上的地基設計。

#### 2.5.6 十字板試驗

十字板可測定，軟至硬質黏土、粉土的不排水抗剪強度，標準方法在 BS 1377（1975）、ASTM（1982b）中都有所敘述。如土中含有礫石或別的大顆粒，試驗結果就會顯得很不規則。十字板在香港，只限使用於海相沉積中。

#### 2.5.7 滲透試驗

地下排水設計、以浸濕帶深度作斜坡穩定性評估等方面，是需要知曉有關岩土體的滲透系數的。至於要確定上層滯水水位形成地方，只需比較各深度的滲透性便可，取得其絕對值是不需要的。

完整岩土、不連續面的滲透性，都對岩土整體的滲透性具有影響。香港的完整未風化火成岩的滲透性是很低的，滲流僅由不連續面所控制。

完整殘積土、風化岩，比完整未風化岩具更大的滲透性，故此，這些岩土中的不連續面對岩土整體的滲透性，產生較小的影響。室內試驗（第 3 章），當能夠精確地提供試驗土樣本身的滲透系數，但此等試樣，通常都是不含大不連續面的完整密致岩土，

因此，它們是不能代表岩土體的。由室內試驗獲得的土樣滲透系數，可能比該土樣原來所處的土體的滲透系數低 10 至 1 千倍；由室內試驗確定的岩樣滲透性，通常更與岩體的滲透性不產生任何關係。

仔細進行的地下水位以下的現場鑽孔滲透試驗，可得出可與其真正數值同級的大約數值。在地下水位以上，若將試驗結果，以外推法估計其穩定流的值，其準確度是有疑問的，因為流水所經的土體，有可能永遠不會是完全飽和的。然而，這試驗，卻能更精確地模擬水入滲土體時的情況。

用室內或現場試驗確定的滲透系數，以設計地下排水工程、或評估浸濕深度時，通常會假定岩土體是均勻的。試區內並未出現的薄不透水層、或薄高透水性不連續面，均能令這些計算產生嚴重誤差，取得的岩芯，須仔細查驗是否具有此等特徵，以防這種情況的出現。如果有此等特徵的話，其出現的位置，便應清楚標明於鑽孔柱狀圖中，以便適當調整設計，得以顧及這些特徵對地下水體系的影響。

由壓水試驗確定的呂容 (Lugeon) 值 (第 2.5.9 節)，可用於估計大約灌漿量，及灌漿後所低減的滲透性。岩體中滲透性的變化，可以通過壓水試驗得之，滲透系數的絕對值，在一定的條件下是能夠獲得的。

## 2.5.8 土中滲透試驗

滲透系數 ( $k$ )，可通過鑽孔或測水管測壓計，用升、降水頭或恆定水頭試驗計算得之，採用的方法，當會對測試土的本身天然滲透特性有所影響的。試驗時若水流進土中，鑽孔內水中所含的細顆粒會被帶入土中，這就減低了土的滲透性，要減少這種影響，只能使用清潔的水。偶爾，若孔內水位下降得太快時，當水從土進入鑽孔中，土中細顆粒則會被帶走，出現管湧現象，得出的  $k$  值便會過高。

地下水位以下，進行土的滲透試驗時，可用下列公式 (Hvorslev, 1951) 計算滲透系數  $k$ ：

(a) 升、降水頭試驗：

$$k = \frac{A}{FT} \text{ 或 } k = \frac{A}{F(t_2 - t_1)} \log_e \frac{H_1}{H_2} \dots \dots \dots (2.1)$$

(b) 恆定水頭試驗：

$$k = \frac{q}{FH_c} \dots \dots \dots (2.2)$$

式中  $A$  = 測水管或探孔套管的截面面積 (如鑽孔是斜的，則用水平面積)，  
 $F$  = 形狀系數，取決於孔底情況，其規定見 BS 5930 (1981)，  
 $H_1$ 、 $H_2$  = 分別相對於在  $t_1$ 、 $t_2$  時刻的地下常水位 ( $H_0$ ) 以上、或以下的水頭，



$q$  = 流量，

$H_c$  = 於恆定水頭試驗時，地下常水位以上或以下的水頭。

上列名詞的定義見 BS 5930 (1981)，試驗表格樣式及計算見第 2.6.4 節說明。恆定水頭試驗，可得出比變水頭試驗更精確的結果，但變水頭試驗操作則較簡單。

當試驗是在地下水位以下進行時，此等穩態方程式是適宜作滲透系數計算的。不過在香港，地下水位以上的滲透系數是常需量度的，在這情況下，穩態方程式只適用於當試驗時間是非常長（即接近於無限長）的時候。因此，該用恆定水頭試驗：試驗時鑽孔中的水位保持不變，在不同的時間，量度可保持該水位的流量，流量 ( $q$ ) 與時間  $t$  的倒數關係應給出一條直線，並用外推法確定所求的  $q$  值，即當：

$$\frac{1}{\sqrt{t}} = 0 \text{ (即 } t = \text{無限大)}$$

跟着可用 Hvorslev (1951) 常水頭公式 2.2 計算  $k$  值。水頭 ( $H$ ) 從測壓計濾層區中央，或從未下套管的試驗段中央算起。

### 2.5.9 壓水或呂容 (Lugeon) 試驗

若水流只在岩體中的一些裂隙或節理出現時，應以此試驗來量測其滲透性，結果則用呂容值表達之。1 呂容定義為，在 10 個大氣壓（約 1 MPa）及壓力延續 10 分鐘的情況下，每米長的 NX 型鑽孔中每分鐘可吸水 1 公升。1 呂容大約相等於滲透系數  $1 \times 10^{-7}$  m/s。

此試驗在鑽孔內，用單封或雙封封塞，封堵鑽孔一段來進行測試的，為了減少端部效應，試驗段長度，一般最少應為孔徑的 10 倍。將水加壓泵入試驗段，讓地層經過一段時間飽和後，便可錄下穩定的流速，試驗須通過一系列不同的加壓，但壓力不應大於上覆壓力，否則會發生水力劈裂。在某些情況下，垂直裂縫在岩土中，可會在壓力低於上覆壓力很多的情況下發展開來，它可由所有試驗均需繪制的水流與壓力曲線圖中的不連續點得知。

Pearson & Money (1977) 提出了一些改進方法，能區分試驗系統內出現的毛病，如封塞漏水、由岩體水力特性引起的非平衡效應等。仔細校正在壓水試驗中使用的儀器是必要的，以計算由摩擦產生的壓力失損 (Dick, 1975)。必須對每一個壓力試驗裝置（水泵、封塞、閥門及旁路管、壓力計和流量計等）進行校正，校正時需使用不同長度的鑽杆並改變流速。

至於以小於 1 MPa（常為 50~500 kPa）壓力，進行試驗所得到的  $q/H$  曲線，需要外推至水流壓力為 1 MPa 方可，可是此外推法，會因在較高壓力下層流與紊流能量失損的不同而出現誤差。低水頭試驗雖會傾向高估呂容值，然而在香港，經常是別無選擇地使用低壓力的。若是使用了低壓力時，所使用的壓力範圍，應與呂容值同時明列。NX 型以上的鑽孔，直徑改動對呂容值的影響是不大的。

如試驗段的節理或不連續面的形態，能非常近似地代表岩體的話，則岩體的滲透系數，可以下列公式計算：

(a) 如  $L > 12r$ ，則

$$k = \frac{q}{2\pi LH} \log_e \frac{L}{r} \dots \dots \dots (2.3)$$

(b) 如  $10r > L > r$ ，則

$$k = \frac{q}{2\pi LH} \sinh^{-1} \frac{L}{2r} \dots \dots \dots (2.4)$$

式中  $k$  = 滲透系數，  
 $H$  = 水流與壓力水頭圖的梯度，  
 $L$  = 試驗段長度，  
 $r$  = 鑽孔半徑。

#### 2.5.10 地球物理方法

地球物理勘探，都是推斷性的方法，基於那些可量度的物性上的差異，通過推斷，得出工程師所感興趣的地下條件變化。故制定勘探方案及判釋試驗結果，需要有經驗的地球物理專家負責。

以免判釋上出現錯誤，所有的地球物理勘探，都應加進控制鑽孔，控制鑽孔越多，則鑽孔與鑽孔間地球物理剖面的判釋也就越優越。

地震折射法，已成功應用於詳盡評估大面積的風化深度上，然而，有孤石、及有沿節理面的風化出現時，此法可能並不十分理想。獲取大型場地上覆蓋著岩層的軟土剖面，此法最為成功。使用此法的話，在勘探的初段應檢查其準確性，如發現此法不適合，則應停止使用。

地震折射法從一分佈的拾震器組，以各地層界面所折射的地震波到達的最早時間，繪出不同梯度關係於時間與震源距的一系列直線，通過這些梯度，確定每個界面的深度。不過當軟弱層上，覆蓋有硬層時；或當層厚與勘探的總深度，相對太薄時，問題便會出現，控制性鑽孔，或能幫助克服其中的一些問題。故使用前，應加以查証有關地震法適用可否。

在某些情況下，要克服由交通車流或建築施工所造成的噪聲、環境振動是不可能的，但通過使用信號增強地震儀，及恰當地選擇進行的時間，或能在城區獲得可接受的信噪比。

電阻法、地震反射法也有應用於工程方面的，但它們卻不適用於香港的地基及斜坡勘察。其它的地球物理方法，例如磁法、電磁法、重力法、核法以及熱法等等，主要

在礦產勘探中具應用價值，而少見應用於香港工程中，以目前的發展階段，它們倘不該應用於斜坡勘察中。Institution of Civil Engineers (1976) 提供了關於地球物理方法的進一步資料。

## 2.6 記錄

在場地勘察工作中，良好記錄是必要的。本節附有報表、柱狀圖、地圖等實例，以示如何記錄有關的資料，它們無意被視為標準格式，只是一些作業典範。這些式樣是根據三份 Geological Society Working Party Reports (1970, 1972, 1977) 制訂的，並作了必要的修改，以適合在香港應用。

### 2.6.1 岩石節理測度

節理測度進行時（第 2.3.4 節），可依據圖 2.10 和圖 2.11 中的格式記錄數據。除了量度傾角和傾向外，還應按表格中的提示，記錄現場強度估值、節理間距、粒徑大小等等。圖 2.10 和圖 2.11 中的表格，經已填妥以供參攷。節理測度結果，可如 Hoek & Bray (1981) 所述，繪制在一張赤平極射投影圖上，2.12 便是一個典型例子。

### 2.6.2 工程地質圖

一個地區岩土工程測繪所得的資料，可以地圖的形式繪制出來，資料的表達方式，當與是項工程的性質，及負責測繪的工程地質專家或土力工程師的選擇有關。但表達的資料，應具有使用者能易於閱讀的形式。

### 2.6.3 探井、土層鑽孔及岩層鑽孔柱狀圖

有關適用於柱狀圖中，代表香港各類岩土的圖例符號見圖 2.13，符號可聯合使用，以表達混合類的岩土。只要使用上是一致的，並於圖例中加以說明，另類的符號也可使用。圖 2.14 至 2.18 給出了一些探井、鑽孔的柱狀圖實例，以示場地勘察資料的各種記錄方式；表 2.6 中則列出了一些柱狀圖的繪製要點。

### 2.6.4 滲透試驗

抽水（壓水）試驗，和升、降水頭滲透試驗的現場記錄和計算表例，見圖 2.19 至 2.21。

## 第三章 室內試驗

### 3.1 引言

本章論及土、石的室內試驗，一些試驗在其它章節中有詳細的敘述時，本章就不作重述，同時，有關討論則僅限於香港的土、石問題上。若該等試驗沒有合適現成參考資料時，便會作較詳細的敘述。

保證室內試驗的試件能真正代表現場的岩土是重要的，為此，第 2.3.3 節中對岩石的描述及分類須特別留意。

### 3.2 土的分類試驗

#### 3.2.1 總則

分類試驗包括含水量、液塑限、比重、粒徑分析等測定，能把具有相似性質的土，劃分為同一類別（美國墾務局，United States Bureau of Reclamation, 1974）。然而，對於香港地區的土，用液塑限及比重於分類上，作用是很有限的，粒徑分析或可提供較多的資料。含水量、比重也可用於其它泥土性質的計算上，例如，壓縮性、乾密度、飽和度等。濾層設計方面，則需用到粒徑分析了。

對於泥土含有某些的礦物，在每個試驗時均需特別小心描述。在香港泥土中，最常見的礦物是埃洛石，但其含量似不顯著。

#### 3.2.2 含水量

確定含水量的標準方法，在英國標準 BS 1377 (1975) (試驗 1 (A)) 中有所敘述，其附屬的方法 (試驗 1 (B) 及 1 (C))，側僅適用於現場試驗 (見第 9 章)。

另一種含水量速測法是利用微波爐，但是，在這種方法使用前，必需與試驗 1 (A) 的含水量作校正，而且每隔一定的時間，更須對微波爐進行校正。

若土中含有埃洛石黏土、石膏、方解石等，如在標準溫度 105°~110°C 下烘乾，會出現脫水或損失結晶水。如懷疑有大量這些礦物存在的話，其對含水量測定上的影響，可從不同溫度的烘乾來估量之。

烘乾的試件在潮濕的環境下，會非常容易再吸水的，因此，在量重前，將試件放入乾燥器中冷卻是重要的。

### 3.2.3 阿太堡界限

英國標準 BS 1377 (1975) 中，敘述了阿太堡 (Atterberg) 界限試驗，其中介紹了那經  $425 \mu\text{m}$  試篩篩取的、作液限測試的兩種方法 (試驗 2 (A) 及 2 (B))。錐貫入儀法 (試驗 2 (A)) 比碟式 (Casagrande) 法 (試驗 2 (B)) 更可取，因為它除了容易操作外，且由試驗人員所造成的誤差較小。這兩種方法俱可使用，對於香港土來說，這兩種方法很少作過比較連繫試驗。除非沒有足夠試樣得以進行試驗 2 (A) 或 2 (B)，否則不應使用一點法 (試驗 2 (C))。

對於含有較大份量埃洛石黏土的土樣，預先乾燥後再濕潤的作法是不適宜的，因為乾燥試件與天然試件，會有不同的試驗結果。非預先乾燥的試驗，對各種土類都適用。如試件經受乾燥，則應在試驗報告中說明之。

### 3.2.4 比重

英國標準 BS 1377 (1975) 中試驗 6，敘述了確定比重的標準方法。當土中含有粉粒及黏粒時，要烘乾的試件從真空狀態下去除空氣是困難的。標準方法之外，尚有三種改進試件排氣的方法：

- (a) 試件在天然含水量下進行試驗，不用烘乾試件，
- (b) 在大氣壓下煮沸水、土混合物，然後置入真空中，
- (c) 使用火水代替蒸餾水 (該法不得與 (a) 或 (b) 聯合使用)。

當用 (a) 方法時，或者懷疑土樣在排氣中有失損時，試驗結束前，必須仔細收集剩餘的土樣，烘乾並精確稱量。

### 3.2.5 粒徑分布

英國標準 BS 1377 (1975) 試驗 7A 中，敘述了濕篩粗粒土的標準方法。用英國標準試篩  $63 \mu\text{m}$ ，先通過濕篩製備試件，除去粉粒及黏粒，然後剩餘的粗粒試件則通過乾篩進行試驗。那些在大顆粒間含有大量黏粒的泥土，就需要另行分散之。

對於香港土，不推薦使用乾篩法 (試驗 7 (B))，因為黏粒能有黏附於大粒徑顆粒上的。

英國標準 BS 1377 (1975) 中 (試驗 7 (C) 和 7 (D))，敘述了適用於細粒土粒徑分析上的吸管法和比重計法，雖然在英國標準 BS 1377 中首選吸管法，但比重計法 (試驗 7 (D)) 卻適用於大多數的香港土。

### 3.3 土的化學含量

#### 3.3.1 硫酸鹽含量

香港土的天然硫酸鹽含量是微不足道的，因此，僅需在地下水受到工業污水或其它污染源染污的情況下，及此等污染可導致水泥加固土、混凝土內的水泥受到硫酸鹽侵蝕，才進行硫酸鹽試驗。英國標準 BS 1377 (1975) 中試驗 9，敘述了總硫酸鹽含量的確定方法；試驗 10 敘述了，土中地下水溶物硫酸鹽含量的測定方法。須注意到，英國標準所引用的英國建築研究所文摘 (Building Research Station Digest)，已被 BRE (Building Research Establishment, 1981) 文摘 250 所取代，因此，特別是在確定水溶性硫酸鹽濃度時，應參考此新出版的資料。

總硫酸鹽含量超過土重的 0.2%、或在地下水中含量超過 300 ppm 時，則具侵蝕性 (BRE 文摘 250)。要注意硫酸鹽含量，是會隨季節或其它情況而有所變化，試驗的結果只於具體的取樣時間、取樣條件下才適用。

在沖洗鑽探以及旋轉式鑽探中使用的水，有能改變地下水中的化學性質，因此，從這些鑽探方法中取得的地下水試件，其試驗值可能不代表實際的情況。

#### 3.3.2 酸度

土和地下水中的酸度，影響金屬的銹蝕速度，及降低混凝土的品質。

英國標準 BS 1377 (1975) 中試驗 11A，敘述了用 pH 值儀確定酸度的標準電測法，它適用於水中懸浮的土樣或地下水水樣；試驗 11B 中附錄的熱量計法，也能給出可以接受的結果。取樣與試驗之間若有時間上的耽誤，pH 值可會發生變化，故此，應於現場測量此值。

與硫酸鹽一樣，香港土的酸度也是微不足道的。當土懷疑可能受到了污染時，才需進行這項試驗。

### 3.4 壓實試驗

通過如英國標準 BS 1377 (1975) 試驗 12 中所述的標準壓實試驗，以確定填土的乾密度與含水量的關係。

不少香港土，在壓實試驗中較易破碎，其程度可通過試驗前、後試件的粒徑分析確定之。英國標準在那壓實試驗的敘述中，提供了另一個方法，可適用於易碎的土質，當適當地儘量使用此法，良好的作業，一般要求在任何時間都採用此法。

### 3.5 滲透試驗

土、石試件的滲透性可通過變水頭、或恆定水頭試驗測量之，Akroyd (1969) 提供了詳細的試驗方法。

室內試驗使用的原狀土試件通常比較細小，其為完整的試件，比其含殘留節理或其它不連續面的機會高。因此，試驗中量得的滲透值可能低於實際現場值，其差額有時可達 2~3 個數量級。正確地進行現場試驗（第 2 章），結果一般會比室內試驗，更接近岩土的真正滲透系數。

岩層的地下水，一般只沿不連續面流動。可是，室內滲透試驗，通常是在完整石樣上進行，其試驗結果與岩體的滲透性便毫無關係了。現場試驗，是獲得岩體滲透性的唯一方法（第 2 章）。

### 3.6 固結試驗

此試驗用以確定在施加壓力下，包括填土在內的細粒土的壓縮性及固結速率。通常需用原狀土試件進行試驗，但對填土來說，再壓實試件也可使用。

小試件的一維固結試驗（英國標準 BS 1377，1975。試驗 17），僅適用於細粒土上。至於含有砂及礫石的香港土，可在大尺碼的固結儀、或三軸儀中進行試驗。從三軸固結試驗、或三軸試驗固結階段獲得的體積模量，與一維壓縮系數  $m_v$  之間或有滿意的連繫關係。上述的壓縮系數、固結系數的計算，Akroyd (1969) 和 Bishop & Henkel (1976) 中有所敘述。

### 3.7 抗剪強度量測

#### 3.7.1 總則

有效分析斜坡的穩定性，必須能準確確定具代表性的岩土抗剪強度。雖然在某情況下，現場試驗可得出很滿意的結果，但室內強度試驗迄今仍最為普遍，然而，室內試驗的抗剪強度值取決於許多測試因素，特別是試件質量、試件尺寸、測試方法等等。

飽和度影響土的抗剪強度，而在現場飽和度卻是隨時間變化的。因為非飽和試件在評估試驗數據時會有困難，建議一般在作剪切試驗前，應將試件飽和，以測定其最小抗剪強度。只有當在室內能夠模擬與設計相關的現場飽和度及荷載條件時，才可使用非飽和試件。

香港土的抗剪強度應以有效應力斷定之，可以通過排水剪切試驗，或以能準確量度破壞時孔壓的不排水剪切試驗來完成。

岩土的抗剪強度包線，若在寬濶的應力範圍下，一般是非線性的，因此，抗剪強度試驗，最理想能在與現場設計情況相若的應力範圍下進行。對於香港現有的淺層滑動

面，其正應力都是相當低的，在這種低應力下進行的室內剪切試驗，會產生若干試驗上的困難，尤其是在低的側限壓力下進行的三軸試驗，結果分析上非常容易產生錯誤。

儘管岩體的強度，在某種程度上取決於完整岩石的強度，但在絕大多數情況下，岩石斜坡的穩定性是取決於不連續面的強度的。在這種情況下，室內直接測定那沿不連續面的抗剪強度是必要的，在第 3.10 節中再予以強調說明。

即使是土，若試件含有如殘留節理這樣的不連續面時，試件的方向可會是重要的。在室內試驗時土樣受破壞，不一定會沿著與現場相同的破壞面，當破壞在現場可能沿著不連續面出現時，這情況在擺置室內試件時必須加以考慮。在香港，土中的殘留節理含有粉土或黏土，因此殘留節理常常是土體中最弱的一環。

### 3.7.2 試件的選擇

製備土、石試件作試驗，應從能代表現場情況的原狀試樣中取得，這是重要的，該使用塊狀試樣或高品質岩芯試樣，並所有試樣該從場地正確的標高取之。較大的試樣較能代表現場岩土，取樣時會受到較小的擾動，此等試樣容易製備高質量的試件。

用於各室內剪切試驗的試件，應大至可以減卻邊界影響。試件的最小尺寸，通常至少達試件中最大顆粒直徑的 6 倍。用於三軸試驗的試件直徑，一般至少達 70 mm；至於直剪試驗，通常用 60 mm、100 mm 的方形試件，其厚度為 20 mm，但也有達 300 mm 的方形剪切盒的。

土中含有的礫石或卵粒顆粒，常能妨礙製備真正具代表性的試件。試件每每需從基質的素土中製備，這樣則淪為整個土體最小剪切強度的量測，已有資料(Holtz & Gibbs, 1956; Holtz, 1960) 表明，土體的強度隨著土中大顆粒比例的增加而增加。另一方面，製備極弱質土試件則經常是困難的，製成的試件，傾向代表原狀試樣的較強部分。

### 3.7.3 剪切試驗類型

對於香港土，最常用於測定抗剪強度的是三軸試驗，它可控制施加於試件的各主應力、排水條件，也能準確測定飽和試件中的孔隙水壓力。

直剪試驗（剪切盒），正越來越多地用於測定香港土的抗剪強度上，它比三軸試驗更簡單、經濟，但它只能部分控制排水條件，且不能量測孔壓。無論怎樣，一般相信在低應力範圍下，直剪試驗比三軸試驗具明顯的優點。

不連續面的抗剪強度，由直剪試驗確定之；岩石完整試件，通常作無側限壓縮方法試驗，雖然若有三軸壓力室時，也可作高壓三軸試驗。



### 3.8 土之三軸試驗

#### 3.8.1 試驗步驟

土之三軸試驗，在 Bishop & Henkel (1976) 一書中有詳細的敘述。

香港土的抗剪強度包線，可通過以下方法確定：

- (a) 固結排水試驗 (CD)，或
- (b) 測孔壓的固結不排水試驗 (CU)。

在常規試驗中，一般多用不排水試驗，因為它完成的時間比排水試驗快，且可從試驗的應力路徑中獲得一些有用的數據。

可使用單階級、或多階級 CU 試驗，但多階段 CD 試驗則不予推薦，因為試件產生的應變或會過巨。即使對於 CU 試驗，如每一試驗階段的破壞應變過大的話，在抗剪強度評估時會產生顯著的誤差。

在三軸試驗中，不應作濾紙邊界排水，因它會使強度量測上出現錯誤，且對於香港土，一般都是無需使用的。正如一般的作法，必須做橡皮膜校正。

反壓飽和，只能通過向試件施以小量有效應力來達到。極低飽和度的試件是很難達至飽和的，這情況下，可先以脫氣水以低水力梯度向試件作滲透，直至土樣停止冒泡為止，然後才施以反壓，完成飽和。

具孔壓監測的排水試驗應變速率所產生的孔隙水壓，波幅必須是微不足道的，在任何情況下，此波幅都不應大於有效側壓的 5%。對於不排水試驗，選用的應變速率，應能保持孔隙水壓在試件內全然均布，其應變速率應每小時不超過 2%。

對於不排水試驗，破壞可定義為最大偏應力、或最大斜度 ( $\sigma_1'/\sigma_3'$ )；對於完全排水的試驗，這兩準則會同時間發生。

#### 3.8.2 試驗結果的判釋

為方便判釋，建議將 CU 三軸試驗的結果繪制成  $p'$ - $q$  應力路徑圖 (圖 3.1)，其中  $p' = (\sigma_1' + \sigma_3')/2$ 、 $q = (\sigma_1' - \sigma_3')/2$  (Lambe & Whitman, 1969)。應力路徑圖的形狀，反映出試件受剪時是趨於受壓縮、或受剪脹。利用  $p'$ - $q$  圖，從通過一組應力路徑的外邊界切線，可繪出最合理的強度包線。

對於 CD 試驗， $p'$ - $q$  應力路徑圖是無意義的。排水試驗中，量度實際體積變化，應在整個剪切過程中進行。

三軸試驗確定的強度包線，常是非線性的。有時在臨界壓力區內，強度包線明顯地出現折點，這是因為土的應力-應變性狀，取決於受剪時的側壓。在三軸試驗剪切中，受低側壓的試件趨於剪脹，受高側壓的試件則趨於壓縮。這種不同的應力-應變性狀，可通過應力路徑不同的形狀清楚地表示出來（圖 3.1）。在香港土中，臨界壓力可看為類似於沉積物的過往最大壓力。

強度包線若非線性時，設計所用的一段包線，必須是正確設計應力範圍內的，這一點需緊記。

整理三軸試驗數據時，特別是在低應力下，應留意如下的誤差來源：

- (a) 試件在高應變下，趨於腹鼓形變，抗剪強度會被高估。
- (b) 剪切試驗前試件飽和過程受到的擾動，可令試件出現未料到的體積變化。硬質（密實）的在飽和時趨於膨脹，這常導致強度降低；極弱（疏鬆）的偶爾或會壓縮，給出誤導的高抗剪強度。

從香港土的實驗顯示，三軸試驗傾向「均化」測出的強度，故三軸試驗在區分密實、疏鬆土質方面，不是靈敏度高的工具，特別對香港適切的低應力範圍內尤其如此。在大多數情況下，以飽和試件進行的三軸試驗，會低估現場的抗剪強度。

### 3.9 土的直剪試驗

#### 3.9.1 試驗步驟

Akroyd (1969)、美國材料試驗學會 ASTM D3080 - 72 (1982d)、Head (1982) 等文獻，都對直剪試驗(剪切盒)有詳細的描述。

抗剪強度，可於土體中任何預設平面測定之，所需的是在正確方向把試件削整。

雖然直剪試驗的試件不能達到完全飽和，但在試驗前，讓試件在水中較長時間充分浸泡，可使試件達到較高的飽和度。這試件浸泡過程，大概最能反映土在現場被穩定滲透的情況。

試件浸泡，應將試件放進剪切盒內的水中，浸泡時間的長短，可根據所屬土類的測試結果決定之，對於風化花崗岩（V 級和 VI 級），一般浸泡 12 小時就夠了。斷定試件浸泡時會膨脹或會壓縮，需量測試件在浸水時的體積變化。

剪切試驗的水平位移速率，須保證能達至充份排水，每分鐘 0.08 mm 的最大速率，用於排水試驗 20 mm 厚的香港土試件是適合的。試驗過程中，剪切力、上下剪切盒的相對位移、試件頂部蓋板的垂直位移等均應準確量測。

### 3.9.2 試驗結果的判釋

對於一組物性相類似的試件，其強度包線可通過抗剪量度強度與所加正應力的關係確定之，這關係一般是非線性的。

作剪應力、正應力的計算時，它們應作修正以針對試驗過程中剪切面積的改變。

### 3.10 岩石節理的強度試驗

岩石斜坡的穩定性，通常取決於不連續面的強度，因此，不連續面的試驗是重要的。當受到斜坡幾何形狀的牽制，剪切面要穿越完整岩石時，則完整岩石的試驗亦會是重要的（見第 3.11 節）。

#### 3.10.1 直剪試驗設備

確定香港岩石不連續面的抗剪強度，有三種剪切盒的主要設計，現分別描述如下：

第一種是改良的室內土剪切盒，可用於確定岩石不連續面的抗剪強度，並適用於香港一般用到的低正應力條件。這標準剪切盒能提供達 3 kN，作用於 60 mm 見方試件上的垂直荷載，約等於上覆 35 m 厚岩石產生的壓力。改進是以兩條聚四氟乙烯片，固定在土剪切盒上半盒的兩旁，及延長鵝頸管以保持向導正確，這樣能防止不連續面凸處與凸處接觸時剪切盒的翹動，且避免試件擠向盒的邊緣。

第二種是由 Golder & Associates，專為岩石試驗而設計的直剪盒，並已成功應於香港，Hencher & Richards (1982) 有詳細的介紹。這種剪切盒的一個優點是，正應力是通過一靜荷載系統施加的。

第三種是 Robertson Research Ltd. 剪切盒，用於提供岩石不連續面抗剪強度的指標值，而不是其精確值 (Ross-Brown & Walton, 1975; Hoek & Bray, 1981)。不過在低壓力下，量度剪切力和正應力的壓力計的精度，與施加的壓力可大小相若，這令所得結果的準確性產生疑問。在粗糙、剪脹的節理下，要保持正應力恆定也是個重大難題。

#### 3.10.2 試件的製備與試驗方法

岩石剪切試驗，於國際岩石力學學會文獻 (ISRM, 1974) 中有所規定，更新的資料，可在加拿大礦坑斜坡手冊 (Canadian Pit Slope Manual) (Gyenge & Herget, 1977) 中找到，建議使用這兩份資料所推介的試驗方法。

要找出現場抗剪強度，必要將破壞前、破壞後的情況作詳細描述。應將不連續面用低角度光源拍攝下來，以突出其凹凸形狀；應備製注釋圖解，以示其試驗後所受到的

破壞及覆蓋面層的特性、礦物性；也應繪製粗糙度剖面圖，以示不連續面的特徵，儘管這些特徵在計算中不會用到。

整個試驗應作完備記錄，包括垂直、水平位移的完整記錄，這在測定抗剪強度峰值時尤其重要。

可用多次剪法試驗：即單一試件受剪於一系列遞增的正壓，這可避免由數個具不同節理條件（例如，風化程度、粗糙度等）的試件，獲取平均抗剪強度時所產生的困難。

岩石剪切試驗並無特定標準，且經常需作判釋的，故此，試驗和判釋均應由有經驗人仕負責。

### 3.10.3 試驗結果的判釋

判釋試驗結果，並評估現場抗剪強度，建議用 Hencher & Richards (1982)、Richards & Cowland (1982) 的方法。

值得強調的是，現場強度的評估可分兩個步驟進行：第一，實驗數據因應上半塊試件的垂直位移作出修正，提供一個以不連續面為平坦但具天然肌理的基礎抗剪強度，剔除了主要粗糙度的全部效應；第二，根據粗糙度測繪、不連續面強度、室內試驗損傷的觀察等，確定現場粗糙度的影響，然後，加於那室內測定的基礎抗剪強度上。

## 3.11 完整岩石的強度試驗

無側限壓縮（單軸）、三軸壓縮試驗是最適合作標準試驗的，本節只討論這兩種方法。Jaeger & Cook (1976) 提供了這兩種方法，及其它方法的資料。

### 3.11.1 無側限壓縮試驗

無側限壓縮試驗，可找出岩石的抗壓強度、彈性模量、及泊松比。試驗應根據國際岩石力學學會 (ISRM, 1979)、或美國材料試驗學會 (ASTM, 1982c) 的標準進行，無論如何，須清楚說明是以何種標準進行試驗。試驗的條件是嚴格的，特別是在有關試件製備的容許誤差上。

應只以完整試件進行試驗，試件若有不連續面破壞或其它瑕疵，應捨棄其試驗結果。

### 3.11.2 三軸壓縮試驗

岩石的三軸試驗源於土的三軸試驗，其原理是相同的，但岩石三軸試驗的設備剛性較大，Gyenge & Herget (1977) 對試驗方法作了詳細討論。

作低壓試驗，可用輕油為壓力室液。試件必須是光滑圓柱體，兩端端面須機械精確磨平，且須垂直於長軸線。

Hoek 三軸壓力室，可用於 E (21.5 mm) 至 N (60.8 mm) 尺碼的標準岩芯，在 Hoek & Bray (1981) 一書中有所介紹。

### 3.12 試驗結果的表述

提交良好的岩土試驗記錄是非常重要的，英國標準 BS 1377 (1975) 的附錄 B、及 Akroyd (1969) 一書中，提供了所描述的試驗的典型數據及計算表格。

三軸試驗的一個數據表示方法，見圖 3.2、3.3 和 3.4 中所示。

## 第四章 地下水

### 4.1 引言

香港在暴雨期間發生的斜坡崩塌事故，說明了降雨及後隨地下水，對斜坡穩定性的影響。在作斜坡分析及設計時，需具地下水條件的有關知識，要改善斜坡的穩定性，地下水體系往往是唯一能夠經濟地改動的天然參數。本章敘述了降雨對地下水影響的評估方法，其中大部分內容涉及土層中的地下水流，岩石中的地下水流則只在第 4.4.5 節中討論。

水以下列方式影響斜坡的穩定性：

- (a) 產生正的、或負的孔隙壓力，改變了岩土中的應力條件，
- (b) 改變了斜坡岩土的體積密度，
- (c) 產生內外侵蝕，
- (d) 改變了斜坡岩土的礦物組成。

### 4.2 徑流、滲入及地下水補給

#### 4.2.1 水平衡

無論是以固態、液態、或氣態（水蒸氣）形式出現，水總是通過改變其狀態不斷循環運動於陸地、海洋、與空氣間，這種連續的運動就是水文循環（圖 4.1）。

就香港斜坡的穩定性而言，水文循環的陸地部分，特別在陡峭的集水區域內，是最受關注的。流進水文系統的是降雨，在香港，降雨會極其強烈的；從系統流出的，可以是水徑流、蒸發、及地下潛流。系統中加增的貯量，乃是降雨進入地下水系中，作為補給的那部分。以上的要素構成了水量平衡程式，即：

$$\text{降雨量} = \text{蒸發量} + \text{徑流量} + \text{地下潛流量} + \text{土中含水量的變化} \\ + \text{地下水貯量的變化}$$

對於斜坡的穩定性，地下水文的變化是具關鍵性的，正因為在平衡方程式裡，此等要素除改變了地下水位以上土的飽和度外，更改變了地下水本身水位的高低。

地下水貯量可以有正的、或負的變化，這取決於水量平衡方程式中的流入、流出各要素，例如，降雨少且蒸發量超過流入量時，土中的含水量將會減少，最終導致土中水份缺失。土中水份缺失是指，以毫米表示，能使土恢復至持水容量的水量；持水容量乃是，土出現自由排水前，土中可保持的最大水量。當降雨量超過了系統的流出量，土

中水份缺失將會減少，直至土變得完全飽和為止。之後，地下水貯量會是正的，並對地下水產生了補給。

#### 4.2.2 徑流

徑流是那從集水區流進河流、湖泊、或海洋的部分降雨，它由地表和地下水徑流所組成，地下水徑流是降雨由雨水滲入土中，下達地下水位，然後再滲進河流的。任一特定集水區的徑流量取決於多個因素，例如：土及基岩的情況和特徵、降雨強度及歷時時間、斜坡坡角、表面覆蓋情況、集水區先前狀況等。徑流量或徑流深度，可通過量測集水區河流中的水流計算之。徑流系數或徑流百分率定義為，從集水區流出的降雨量，佔整個集水區的降雨總深度之百分比。

為了確定流出集水區的降雨量，從而得知降雨滲進地下的比例，水務署分析了若干集水區的暴雨記錄（香港政府，1968）。指數 $\Phi$ 表示集水區上的一個降雨量，降雨若超出這個指數，以後的降雨則以徑流出現。對於短歷時的暴雨， $\Phi$ 值受匯水區滯流、充灌天然窪地、滲入、前期降雨等因素影響。隨著暴雨持續時間的加增，滲入效應便起主導作用，直至土變成完全飽和為止。

水務署計算了在 8 個天然集水區內 43 次暴雨的 $\Phi$ 值，從而得出了長歷時暴雨的極限 $\Phi$ 值為 3 mm/h（圖 4.2）。研究人員曾試用不同的曲線擬合技術作數據分析，得出相對於極限 $\Phi$ 值的徑流在 50%~70% 之間。因此，假設以極限速率滲入，且降雨量中有 50% 流走，降雨強度至少須要等於兩倍飽和滲透系數，才可產生上述情況。

對於歷時長的降雨， $\Phi$ 值降低至約 3 mm/h；對於歷時短的降雨， $\Phi$ 值可高達 80 mm/h（圖 4.2），而這種強度的降雨在香港卻是常見的。

降雨滲入、或流出集水區的多寡，取決於上述許多的變量，然而，一個地區的地表覆蓋情況也會影響徑流的多寡。有植被的土質斜坡，對地面水流和徑流的妨礙，遠遠大於灰泥護面的斜坡。同樣地，由混凝土鋪築的城區，排入溝渠的徑流量，會佔降雨的絕大部分。

#### 4.2.3 滲入

滲入定義為，水經過地層孔隙或裂縫，從地面跑進岩土中的過程（即土的吸水）。可進一步將滲入分為：提供非飽和帶含水量的部分，補給飽和地下水系統的部分。一部分地下水系統的補給，可經由地下水徑流而失去；而非飽和帶的補給，也可因蒸騰或蒸發作用而損失。當土中存在有非飽和帶時，就可以說有土中水份缺失。補給該非飽和帶以減少水份缺失，直到土變成完全飽和為止，土中水份缺失那時就等於零了。

#### 4.2.4 地下水流的類型

地下水在岩土中不同的流動方式，乃取決於地層的性質。導水的岩土單元稱為含

水層，不同類型的含水層，具不同類型的地下水流，例如粒間水流、裂隙水流、管狀水流等。

粒間水流是岩土裡顆粒與顆粒間的地下水流，那適用於均質、各向同性、均勻顆粒介質的達西（Darcy）理論，最能符合這類型的水流。實際上，大多數的含水層卻同時出現有粒間流（或均勻流），及流經土層中裂隙及管狀通道的捷徑流。地下水流在通過岩土體中的裂隙、管狀通道、節理時流速最快，這對地下水位會產生重大的影響，繼而影響到斜坡的穩定性，在香港風化岩石中此等特徵是常見的。

因此，含水層可簡單地定義為，常態水頭、或水力梯度下導水的可滲透含水地層。至於隔水層，雖含有孔隙水，但即使在相當大的水頭下，其滲透能力也不能大至可導水的。弱透水層一詞，則用於描述只具有有限導水能力的地層。

含水層中的地下水，不僅表現與此單元內，顆粒或裂隙結構有關的粒間流和捷徑流的特性，更會表現出層間流和非層間流的特質。層間流內，通常地下水受頂部不透水層（隔水層）的限制，因此，含水單元是完全飽和的，測壓管水頭高於或等於隔水層底邊的高度。對於非層間流，地下水並未完全充滿可含水的地方，含水層中存有一個自由水面（水位）。在香港，含水層通常是非承壓的。

含水層的水位可以是主要水位，也可以是上層滯水水位。主要水位乃完全飽和帶的表面，重力作用下水在帶內側向流動的。天然斜坡中的主要水位，一般與地面等高線平行。主要水位以上的岩土，通常是非完全飽和的。當地下水面以上的岩土受滲入時，主要水位受到補給，主要水位往往亦向河流、海洋排放。

底層滲透性會局部減少的地方，當上方有補給時，上層滯水水位便會發生於主要水位以上的地方。上層滯水水位可能是暫時的，隨著暴雨迅速形成，迅速消失；它也可能是恆久的，隨著季節性降雨量而反應變化。

土、石內的地下水流會明顯地不同，這不一定是由於土、石在岩石性狀上的差異，而可能是由於其含水間隙上的差異。不同岩性但卻具相似滲透性的兩個相鄰的石、或土單元，可看作為一個含水層單元，因為流過含水層的水，是分辨不出具相同水力性質的單元的。土中水流，通常較多是粒間流類型，但是，當水流過土中的裂隙、管狀通道、乾縮裂縫時，可能出現裂隙或管狀水流。岩石中的水流可會是粒間流，但在大多數情況下，水流是沿寬度、形式、方向變化不定的節理，或其它不連續面流動。流經斷裂破碎帶的水流可以很大。在裂隙岩石中，量測地下水的特性是困難的，因為這些條件會隨深度、橫向迅速發生變化（第 4.4.5 節）。當測壓計置於多節理的岩石中，水頭、流速都會是高的，雖然相鄰的非裂隙岩石的滲透性可能是極低的。在暴雨期間，岩石中的節理可能被水充灌，對岩體產生高水壓，從而產生不利穩定性的影響。

### 4.3 孔隙壓力

地下水可劃分為正、負孔隙壓力區，分界線為地下水位，此處的壓力正等於大氣



壓力。地下水位，一般經由開口測水管的水位確定。兩區內的孔隙壓力變化，會以不同形式影響斜坡的穩定性，圖 4.3 是降雨導致兩區孔壓變化的示意圖。

#### 4.3.1 正孔隙壓力

大氣壓力常被看作為基點零壓力，因此，正孔隙壓力出現在水位以下。假若沒有流動地下水的話，孔隙壓力則為靜止水壓力，測壓計在正孔隙壓力區內，任意深度量得的水位將與地下水位無異；如果出現任何流水（穩定流或瞬變流）的話，測壓計在正孔壓區內量度的水位，將不再與地下水位一致。正孔隙壓力的加增，會使有效應力減少，從而減低抗剪強度（見第 5 章）。在暴雨過後，正孔隙壓力可以迅速增加，其增加速率取決於許多因素，包括降雨強度、地表特徵、集水面積、土的滲透性等。

#### 4.3.2 負孔隙壓力

負孔隙壓力區在地下水位以上，該區的孔隙壓力均低於大氣壓力，水通過毛細管作用，存在於地下水位以上的土體。地下水位至飽和毛細管水頭間（即持續毛細管飽和區），土是飽和的，在該區內，負孔隙壓力在無水流的情況下，是靜止水壓力，且深度的變化是線性的。該區之上的土是部分飽和，且負孔隙壓力不一定隨深度作線性變化，見圖 4.3。土層最上部是與空氣接觸的吸濕區，該區的孔隙氣體與大氣連通，並且壓力與大氣壓力相等。

土中的飽和毛細管水頭高度，主要與土的粒徑有關，它決定了最大負孔隙壓力的大小。除黏性土外，土顆粒越細，則飽和毛細管水頭越高，負孔隙壓力也越大。高負孔隙壓力增加了土體中的有效應力，因而改善斜坡的穩定性。未擾動的香港土樣室內試驗中，曾量度過高值的負孔隙壓力（Wong, 1970）。地表的降雨滲入，可能會迅速減少負孔隙壓力，在半山區超過 10 m 的深度下，曾量測過低減至零的孔隙壓力。

#### 4.3.3 孔隙壓力的量測

正孔隙壓力，可用安裝在鑽孔的開口測水管、或測壓計量測之。對測水管水位觀察作分析時，場地內地層情況的了解是重要的。一般很難估計觀察到的水位是主要水位，或是上層滯水水位，憑多個不同深度的測水管或測壓計的水位觀察，可估計主要水位位置，及地下水是否處於靜止、或流動狀態。

在降雨期間、或降雨後，斜坡面上滲流的現場觀察，對地下水水位的位置能提供有用的資料，但是，必須小心區別那是地下水滲流或只是坡面徑流。

量測負孔隙壓力，不比量測正孔隙壓力那般普遍。量測負孔隙壓力的儀器是張力計，張力計在香港使用上，已證明是成功的。有關這方面的資料，及其它孔隙壓力測量儀器，可以在第 10 章中找到。

不同的斜坡，地下水體對降雨的反應都極不相同，從無反應的以至大且即時的反應都有。要準確評估某地點孔隙壓力的可能最大上升值，建議安裝測壓計，並作定時監測，在暴雨期間及暴雨後更應如此。

#### 4.3.4 孔隙壓力分佈的確定

以測壓計作現場量測，是一個直接確定現有孔隙壓力分佈的方法。不過在許多情況下，進行大規模量測是不可能的，故不得不用其他方法，以少許觀測資料來評估整體的分佈。可用的多種方法中，包括有解析法、數值法、模擬法、圖解法等。

流網構造是一個常用的圖解法，用於穩定流情況的評估。它假定土體均質，是一個相當粗糙的方法，但它卻能展示一個有用的整體概況圖像。許多書本裡對流網構造都有解釋，例如 Todd (1980) 及 Cedergren (1977) 等，這基本方法可應用於二維均質土上，然而，香港土通常不具這種情況。無論如何，在評估孔隙壓力分佈時，流網構造被認為是有用的第一步。流網法只可用於正孔隙壓力區，對地下水位以上滲入的影響，是不會理會的。

多種物理模擬方法，可用於確定斜坡的流網、孔隙壓力分佈上，Todd (1980) 對此也有所敘述。此等方法最初為解決不同的問題而設計，因此，它們都有不同的適用範圍及局限性，其中一些只適用於二維問題上，另一些則只限應用於穩態地下水流。對於斜坡，電模擬、黏滯流等模擬都有應用的地方。最簡單的電模擬法只需用導電紙，但它僅適用於穩態二維流。可是，這方法對於快速、廉價地獲取初步設計資料是非常有用的。除導電紙方法外，所有的模擬，都是專為現場具體情況而設的，不能作一般性的使用。

有限差分、或有限元的數值分析法，為取得斜坡孔隙水分佈，提供了強有力的方法，亦是唯一能對瞬變流進行完全模擬的方法。如有足夠的電腦設備，並有現成標準軟件程式，它們即能提供有用的設計資料。

### 4.4 設計水位

#### 4.4.1 總則

降雨滲入，對斜坡穩定性的減低幅度，取決於多項因素，包括地下水位的初始位置、降雨強度及歷時、地下水集水區的前期降雨、地質、孔隙率、飽和度、地形、土地使用情況等。

設計香港的斜坡，建議使用十年重現期降雨所產生的地下水條件。要估計十年重現期降雨所產生的水位，有兩種主要方法：第一種是有賴於良好現場記錄的孔壓資料分析，包括降雨前、降雨期間、降雨後的資料；第二種是求解浸濕帶（100% 飽和區）方程式，取決於孔隙率、滲透系數、斜坡土的初始及最終飽和度、十年重現期預計降雨中直接滲入斜坡後上方所佔的百分比率等。

通過孔壓記錄，確定水位可有多種方法，包括了地下水位與降雨的統計關係、含水層體系的地下水模擬、測得的水壓力外推分析等。土力工程處（1982a），對每一種方法都作了討論。

不同的含水層體系，由於各自的蓄水特徵，對降雨的反應會有明顯的不同，或會對強烈降雨呈迅速反應（暴雨反應），或雨季期間其水位會漸次上升（季節反應）。暴雨反應那部分升降於每一次的特大暴雨，季節反應那部分一般在雨季開始時最低，雨季結束後一段時間達至峰值。圖 4.4 顯示典型的測壓計水位反應。

因為含水層的反應具這般的可變性，建議於分析斜坡穩定性時，憑現場測壓計水位確定地下水狀態。缺乏測壓計資料的場地，粗略估計地下水位則可用浸濕帶分析。這兩種水位預測的方法，在第 4.4.2 節以及第 4.4.3 節中有簡略的介紹。

#### 4.4.2 觀測的水壓反應值外推法

觀測到的水壓反應外推，最能滿意地預測設計的水位。該法在土力工程處（1982a）的資料中有詳細描述，並應參考之，此處僅作簡略介紹。

在此方法中，先找出十年重現期降雨所產生的上升水位，然後加到那十年重現期降雨前的典型地下水位上。得出的地下水位便可應用於計算斜坡的穩定性。

如圖 4.4 中所示，測壓計對降雨的反應有兩種方式：

- (a) 暴雨反應，
- (b) 季節反應。

對主要有暴雨反應的測壓計，十年重現期暴雨的水位上升值，應加到暴雨前的典型地下水位上。不同的測壓計，會敏感於不同的暴雨歷時，這與水位上升的延遲、上升速率、衰減速率等有關。每一個測壓計，設計人員應估計其暴雨臨界歷時。

對有季節反應的測壓計，十年降雨重現期的季節水位上升值，應加到雨季開始時的典型地下水位上。

一些測壓計同時表現有暴雨和季節反應，可根據情況選擇最合適的方法：或將十年重現期暴雨的水位上升值，加到典型雨季水位上；或將典型暴雨的水位上升值，加到十年重現期上升的季節水位上。

恆久上層滯水位出現的地方，可用上述方法計算。如上層滯水位是短暫的話，存水的地質邊界則作為基點水位。

要成功地預測十年重現期降雨（暴雨或季節雨）所產生的水位，測壓計反應的完整記錄是重要的，記錄須足夠頻密，以便能夠區分暴雨、季節反應。若測壓計對暴雨的

反應是迅速的話，監測應連續地進行，最佳以水位測量器由技術員進行量度，若然不能的話，在測壓計裡加上吊桶，也是一個好的折衷辦法。

對一個特定的含水層，要建立降雨與測壓計反應的適當關係算式，需對那含水層的反應作多年的監測，明顯地，測壓計反應的記錄越完整，所建立的算式也就越精確。不過，絕少場地會有大量的孔壓數據，故此，對水位的監測，只能建議時間儘可能地長、工作儘可能地仔細。預測十年重現期降雨可能產生的水位前，理想的監測期，至少包括兩個雨季及一個旱季。

這方法的主要假設，是水壓反應與總降雨量成正比。無論怎樣，重要的是記住，許多其它降雨及與降雨有關的因素是會影響孔壓水位的，其中包括：

- (a) 暴雨歷時，
- (b) 暴雨期間的降雨分布，
- (c) 前期地下水條件，
- (d) 先前暴雨的附加效應，
- (e) 暴雨來臨和季節水位波動的時間差距。

#### 4.4.3 浸濕帶方法

設計階段中的穩定性分析，若沒有足夠的測壓計讀數時，可用浸濕帶方法粗略估計地下水位，須認識到這方法估計的水位只是近似值，因它並沒有考慮斜坡上方的滲入，和水在斜坡內的非垂直流動，更因為它非常依賴於孔隙率、滲透系數、飽和度、徑流量等一些通常是未知的因素。因此，有必要在初段儘早安裝測壓計，以驗證所計算出來的設計水位。

此方法假設，即使降雨停止，在重力下浸濕帶垂直下降，直至達到主要水位，或一個也許是非常薄的低滲透區。對於後者，上層滯水水位將在低滲透區上形成，孔隙壓力將變成正的。

下降的浸濕帶到達主要水位時，主要水位面將會升高，孔隙壓力隨即增加。上層滯水水位的厚度，或主要水位的升高，大致等於下降浸濕帶的厚度；如假設浸濕帶內的土非完全飽和，其厚度則須作相應的減低。疊加了下降浸濕帶的滯水或主要水位，應是一個平均雨季後觀測得到的最高水位。在缺乏測壓計記錄時，此最高水位可從相鄰的斜坡或擋土結構，觀測到的滲流痕跡或污漬的最高位置估計之。

必須強調的，這方法只適用於由降雨滲入引發的地下水位上升，並未有考慮到傾斜地面、下坡水流、含水層反應差異等的影響。如降雨強度足以造成極限速率的滲入，浸濕帶的厚度將取決於暴雨的歷時長短。

若將逕流考慮在內，設計暴雨的降雨強度，應等於斜坡表面泥土飽和滲透系數的兩倍 (Lumb, 1962)。如第 4.2.2 節中所述，倍數 2 是基於大集水區的測量結果，對於較小集水區，特別是那陡峭的，50% 作為逕流可能是不合適的 (Nassif & Wilson, 1975)。相對於某選定重現期並具那平均降雨強度的暴雨歷時，可由 Bell & Chin (1968) 和 Peterson & Kwong (1981) 繪制的最大可能降雨曲線中取得，此等降雨估值的重現期達一千年，歷時則由瞬間至 31 天。應注意這些曲線，是從尖沙咀的皇家香港天文台這地方觀測到的數據推演出來的，最近，皇家香港天文台，提出了這些曲線可能不適用於別的地方，建議以最近有關場地的自動雨量計數據再作獨立分析，不過此等做法，僅是針對風險特別高的斜坡而言。圖 8.3 給出了香港雨量計的分佈情況。

浸濕帶厚度，也與土體初始及最終飽和度的差成反比。故此，如初始飽和度比乾旱時為高，在一連串暴雨後，較厚的浸濕帶很可能會產生。

初始飽和度可在現場確定之，但這取決於取樣前的降雨量、取樣的方法。儘管開挖、取樣時的蒸發是厲害的，及擾動會影響到飽和度計算時必須用到的密度值，試樣最好還是從探井中採取，並取出後就立即進行含水量試驗。更加複雜的是，含水量也會隨深度發生變化，因此，飽和度應在土剖面的上部幾米，以頻密的間距測定之。

由大雨引起的浸濕帶，將在重力作用下從地面向下延伸。沒受保護的斜坡，降雨量、滲入、浸濕前鋒深度等的關係如下 (Lumb, 1962, 1975)：

$$h = (Dt)^{0.5} + \frac{kt}{n(S_f - S_o)} \dots \dots \dots (4.1)$$

式中 h = 浸濕前鋒深度，  
 D = 擴散系數，  
 k = 滲透系數，  
 n = 孔隙率，  
 S<sub>o</sub> = 初始飽和度，  
 S<sub>f</sub> = 最終飽和度，  
 t = 降雨歷時。

Lumb (1975) 建議將上式簡化成近似算式：

$$h = \frac{kt}{n(S_f - S_o)} \dots \dots \dots (4.2)$$

簡化是假設在強烈及長歷時降雨後，擴散作用可不用理會。估計浸濕帶厚度的參數有降雨強度及歷時、逕流量、滲透性、飽和度等。圖 4.5 提供了上式的圖解實例，顯示飽和度，即 (S<sub>f</sub> - S<sub>o</sub>) 值的變化，對浸濕帶厚度的顯著影響。圖中還可看出滲透系數越低，其相應的浸濕帶厚度就越大，造成這看似矛盾的原因是：雖然低滲透性土達致飽和所需的降雨強度較小，但在任一重現期中，具該降雨強度的降雨歷時則會較長，這便造成較厚的浸濕帶了。

近似滲透系數，可通過壓入土中的雙環套滲入試驗得之，試驗在探井或淺層沉箱的底部進行，最理想的是試驗隨深度連續地進行，以便提供一個完整的數據剖面。水從刻度瓶加進內環及兩環的空間裏，從刻度隨著時間量得瓶流出的水量。這穩態水流便可用於確定那滲透系數，合宜的現場滲透儀如圖 4.6 所示，其典型試驗結果見圖 4.7。

上述近似算式所作的各個假設，得出的一個滲透模型是極其簡略的。例如，當土層中存有一比上覆、下臥土體還低滲透性的極薄帶時，該帶對滲透則起著節流閘的作用，浸濕帶以上，正孔隙壓力會加大，然而浸濕帶以下，卻難以達到完全飽和。另外，如果地表的滲透性低於下臥層時，則地表起著節流作用，飽和帶無法發展。當土層剖面存在著不同的飽和度時，分析上也會出現類似的困難。

#### 4.4.4 影響地下水條件的其它因素

在局部地域內，降雨以外的其它因素可能重大地影響地下水條件，分析測壓計資料、估計最高地下水位作穩定性分析時，應考慮此等因素。載水設施是會發生水滲漏的，而電纜管道（例如電話或電力的）則會輸送那來自滲漏的水，這在香港具相當的重要性，因為此等水泄漏，會導致局部地下水位上升，從而影響斜坡的穩定性。抽水、降水、深基礎施工、新造削土斜坡等也能影響地下水條件。

在香港常見的七種類型載水設施有：

- (a) 水庫，
- (b) 淡水管道，
- (c) 鹹水管道，
- (d) 污水管，
- (e) 雨水管，
- (f) 集水溝渠，及
- (g) 輸水隧道。

上述設施產生滲漏，可通過地下水樣化學分析確定之（土力工程處，GCO, 1982a）。然而，化學分析不能確定滲漏量，也不能說明滲漏會否對斜坡穩定性產生實質的影響。

地下抽水所產生的影響也該仔細地考慮，如抽水停止並地下水位回升的話（例如在場地重建的情況下），基於抽水下所作的斜坡設計便有不足。確定斜坡穩定性分析用的最高地下水位時，該評估附近水井抽降帶來的影響，不過，在此等分析上，建議作未有水位下降的假設。

地下水位也會受施工的影響：臨時降水、板樁牆建造等。此外，永久性基礎或地窖，對地下水流可能產生阻水作用（土力工程處，GCO, 1982a），當分析孔壓數據時，應考慮此等因素。

地表護面也影響地下水條件，沒有裂縫的灰泥或噴射混凝土護面，一般能保護地面免受直接滲入，但同時卻減少坡面的蒸發率。這種複合影響，對孔隙吸力的改變具延遲作用：因有地表護面，原有的吸力在雨季時只會漸進地減少；由於蒸發率低，吸力在旱季亦只會緩慢地增加。

#### 4.4.5 岩石中的地下水

岩體的滲透性，受控於不連續面的幾何形態，包括它們的間距、方向，它們本身的寬度、形狀、間隙填充度、粗糙度等。這些因素在很小距離內都會有所變化，造成觀測、分析上的困難。

土中地下水位的評估，一般只要求測壓計安放在自由排水濾料短段中。如該技術應用於岩石時，記錄到的，是接連測壓計濾料段的節理的孔隙壓力，這孔隙壓力對於設計來說，可能不是最關鍵性的。

檢驗剖面，對於解釋測水管的觀測結果，可能幫助不大。因為緊密節理雖具高水壓，但水流流量少，甚至所有滲流都會被蒸發掉，給人以表面乾燥的印象（Coates, 1970; Hoek & Bray, 1981）。岩石中的壓力反應，可能完全不同於上覆土中的，所以在土層及岩層中，分別安放測壓計、測水管常是必要的。

儘管有上述不足之處，測水管系統對岩體中的地下水分佈，還能提供有用的資料，雖然如上所述，裂隙水壓力分析是非常困難的。

石坡淺層的張開節理，帶出了另一個不同的問題：短時間的極強降雨，會使此等節理充水。存在有張開節理的出露岩面，有理由假定這些節理會充水滿至地面，故此，有關的單個塊體的穩定性分析是必要的（關於估計的最差地下水條件，見第 5.3.2 節）。

### 4.5 地下排水措施

#### 4.5.1 總則

地下排水降低了地下水位，令穿越地下水位的潛在滑動面的抗滑安全系數得以提高。本節討論的有水平排水管、排水廊道、排水豎井、截水槽、排水扶垛等，所有這些措施都可降低水位的。

對任何地下排水系統，監測都是重要的。施工前，安裝測壓計測定孔隙壓力，為了觀察排水的果效，更應在施工期間、施工結束後繼續測讀測壓計。測壓計的長期讀數，可顯示由淤積、密封失效、抽水機故障等引起的效率失損。

地下排水管排出的水量，與其滲透系數、水力梯度成正比。安置了排水管，地下水位將降低，水力梯度亦會減少，因此，排水管流量，將從初始值逐步減少到穩態值，這樣的水流減少不表示排水管失效。在低滲透性的岩土中，排水管中可能看不到流水，排水管的排水作用在這情況下仍是有效的，只因到達出口處流水已被蒸發掉罷了。

在岩體中，地下水流一般都限於節理內，因此，任何排水系統必須能接連這些節理。

置排水管於地下水位以上時，當考慮設置不透水內襯，以使排水不對岩土造成回灌，無內襯的排水管通過非完全飽和區時，所產生的滲漏，會減少附近的孔隙吸力而降低了穩定性。

所有重力式排水管道，為防回流，集水室的出水口應低於排水管道的內底。

#### 4.5.2 水平排水管

水平排水管的主要優點是安裝較快、簡便，還有它們是靠重力排水的。鑽孔孔徑通常用 75 mm~100 mm，鑽進用上升坡度 10%，套管乃開孔或槽坑式。建議排水管放置濾層，防止沖刷、淤塞。在設計長的排水管前，必須考慮到施工、及後維修的問題。Choi (1977)、Kenney 等 (1977) 和 Prellwitz (1978) 討論了水平排水系統的設計方法，必須注意到，大多數的方法都是建基於理想的條件下的（即物料均質、各向同性及穩態排水）。

施工期間，使用測壓計監測排水效果，從而調整排水管的間距及數量，取得所希望達到的下降水位。還有，排水系統及後的表現須予監測，以便恰當地評估它的持續有效性。對於很長的排水管，淤塞或會真的出現，為了避免管道淤積，應每隔一段固定的時間（可能一年一次）進行沖淤。

Tong & Maher (1975) 敘述了一些水平排水管施工上的設計，以灌漿獲得不透水排水管內底。

#### 4.5.3 排水廊道

排水廊道（橫井），是坡面後開挖降低地下水位的隧道，由於造價高，僅作控制大型斜坡的水位，而又別無可行替代方案時方才應用。

由於施工的擾動，排水廊道的有效橫截面積，一般都大於開挖面本身。如有需要時，通過內部鑽孔，放置徑向排水管，可進一步增大其有效橫截面積。為了保持一定的靈活性，方便設置徑向排水管，開始時就有必要考慮這可能性，確保廊道能充分容納有關的鑽孔器械。



在強風化的岩石中建造排水廊道，需用鋼筋混凝土內襯形式的永久支撐，永久性內襯應環繞妥善設計的排水濾層，與被排水物建立良好的水力連接，亦需在內襯設置排水孔，排出濾層中的水。

人造斜坡排水廊道的最佳位置、尺寸的討論，可從 Sharp (1970) 以及 Sharp 等 (1972) 論文中查到。

#### 4.5.4 豎井

開始挖掘工程前，先建好豎井以作排水。永久性排水豎井，可能的話，應通過水平排水管系統、排水廊道，在重力下排水。某些情況下，需要井中抽水以保持水位下降，設有備用發電，在電力出現故障時可茲使用是重要的。

因為水井與水井間的地下水位，比水井處高，所以，斜坡整體降水所需的水井深度可能大於斜坡的高度。對於特高斜坡或特深的開挖，另一選擇是採用高低水井分級抽水。

要決定環繞開挖工程的水井位置及間距，先要確定那地方的區域水流特性、補給來源，更要考慮降水對地下水文環境的影響。在極端的情況下，設置井線外的地下水補給控制系統會是適當的。

Johnson (1982) 敘述了水井、井管濾網、抽水機等的設計。

#### 4.5.5 排水截槽

排水截槽，用於截斷流向斜坡的淺層地下水，若它們能設在不透水的淺層上，則最為有效。

排水截槽有一不透水帶、或薄膜在下向處作截流，截槽頂部用不透水材料回填。斜坡上方的徑流，應集聚到地表排水渠中，水渠的設計應滿足第 8 章中的要求。回填的自由排水材料，需達至第 4.6 節中所述的濾層設計標準。開孔管的孔眼大小、槽坑管的槽坑尺寸、開縫管的縫隙寬度等，應基於回填濾層的粒徑設計之（與槽坑尺寸相關的濾層級配詳情，見第 4.6.1 節）。

對於部分開孔、開槽的水管，安放時應將孔口、槽口置於橫斷面的頂部，以減少流經其底部濾層的水量。如使用多孔隙管，敷設時應儘可能緊密接連，以防止濾層細粒物料進入管中。在核驗斜坡的穩定性時，一個保險的方法，可假設排水截槽已造成了一個張性裂隙。

#### 4.5.6 排水扶垛

在土質、或風化岩斜坡，只需淺層排水的，可用排水扶垛，Hutchinson (1977)

提供了設計的暫行性依據。用符合第 4.6 節的自由排水物料回填溝體，同時溝體用不透水材料封面，以防地表徑流收集至溝中。在排水扶垛中安置的孔隙管、開孔管、槽坑管等，都應符合第 4.5.5 節中的要求。

## 4.6 濾層

### 4.6.1 粒狀濾料

級配濾料是一種緊靠土層鋪設，當水流流經土層與濾層界面時，其級配能防止細顆粒移離的物料。濾料應比那土層的土具更好的滲透性，且能級配至鋪設時不發生分離現象。濾料用來防止細顆粒跑進地下排水管溝，最易受到侵蝕的，則是粗粒粉土和細砂。

適用於香港土的一般濾層設計標準細則，見表 4.1。作濾層設計時，基土粒徑分佈應依據第 3 章所敘述的方法求得，但不宜使用分散劑。當基土中含有較大百分比的礫石或更大顆粒時，濾層應以細顆粒部分設計之。

美國陸軍工程師團 (United States Army Corps of Engineers, 1953) 的標準，當適用於粉質土，實驗發現在較低水頭下，美國陸軍工程師團的混凝土砂，可作所有粉土及更細粒土的濾層。英國標準 BS 882 第 2 區天然砂的級配，非常類似美國陸軍工程師團混凝土砂的級配，如圖 4.9 中所示，載於圖中還有可與此砂配合的自由排水材料的級配。經碎石生產的 BS 882 第 2 區的砂具不可接受的級配，因該標準容許達 20% 的砂小於  $150\ \mu\text{m}$  篩徑 (見表 4.1 中規則 6)。

當像碎石的較粗顆粒自由排水材料與濾層配合使用時，較粗顆粒材料的級配，應符合表 4.1 中的濾層設計標準，以保護濾層免受侵蝕。當濾層用於兩個粒徑變化都是很大的材料之間，如風化火山質岩與填石，濾層可能需要有兩個或兩個以上的濾帶了。

當濾層用於保護非連續級配的土，設計上也會出現困難的。某些粒徑缺少了、或缺失了時，則只可根據較細的顆粒去設計濾料，層狀土也是這般的。

濾料級配的設計，可很方便地用表格形式計算之，見表 4.2 中一個計算的實例，此例載有美國陸軍工程師團 (US Army Corps of Engineers) 混凝土砂的排水材料的級配包線範圍 (圖 4.9)。

應當注意到，濾料級配包線範圍，儘管可設計至符合所有的濾層設計規則，但這並不保證製成的濾料也能符合此等法則。製造出完全落在特定包線範圍內的濾料，但濾料本身卻不符合表 4.1 中的第 7 項規定 (均勻系數) 是可能的，如濾料的均勻系數超過 20 時，這濾料就會有問題，因為可會出現分離現象，若要使用這樣的濾料，在鋪設時應特別小心，以減少分離。

濾層材料應由堅硬耐用的石子組成，並在鋪設時應充分壓實。

純粹作過濾用的濾帶，乃被保護土直接與自由排水材料接觸的地方，最小寬度需足以令在鋪設時不出現濾材分離，當用機械鋪設時，建議最小濾層厚度為 450 mm，對

於厚度小於 450 mm，有必要用人工鋪設，確保其完整性。當濾帶兼作排水時，濾帶的厚度應能讓被保護土自由排水，同時並能容讓預計的最大地下水流通過。

當濾層中安放有開孔的、或開槽的排水管時，濾料顆粒大小須不足以進入排水管的孔眼、槽坑、或開口接縫中。排水管的兩端也應密封，以防止濾料進入管中 (Spalding, 1970)。

與槽坑、孔眼大小相關的濾層級配，美國陸軍工程師團 (US Army Corps of Engineers, 1955) 的標準為：

(a) 對於槽坑：

$$\frac{D_{85F}}{\text{槽坑寬度}} > 1.2 \dots \dots \dots (4.3)$$

(b) 對於圓孔：

$$\frac{D_{85F}}{\text{圓孔直徑}} > 1.0 \dots \dots \dots (4.4)$$

其中 D85F 為，容許 85% 濾料通過的篩之尺寸。

與管口相關的濾層粒徑，美國墾務局 (United States Bureau of Reclamation, 1973) 的標準為：

$$\frac{\text{最靠近水管的濾料的 } D_{85}}{\text{排水管的 } \text{最大孔徑}} \geq 2 \dots \dots \dots (4.5)$$

以上各式已實証能代表一個合理的級配範圍，即範圍內濾層能有滿意的表現。

#### 4.6.2 過濾纖維

迄今，香港長期使過濾纖維作永久排水的經驗不多，故建議過濾纖維僅應用於微、低風險情況下，如表 5.2 所示。有兩種情況可作例外：情況一，纖維僅需作用於罕有的暴雨；情況二，對纖維的使用，至少能夠作 5 年的監測，並且當纖維不能正常作用時，能予以更換。

最常用的過濾纖維是由合成材料製造的，可分為三大類型：無紡纖維、紡織纖維、和編織纖維。所有纖維都存在着下列各問題：

- (a) 受陽光、紫外光的影響而退化，
- (b) 堵塞，

- (c) 受壓時滲透性減少，
- (d) 與土中化學物發生反應導致分解，
- (e) 微生物在纖維上生長，
- (f) 在工程中形成弱面。

上述問題如能通過設計、施工、品質控制等得到克服，過濾纖維則非常有用，並能縮減工程的施工時間。

Rankilor (1981) 總匯了過濾纖維的設計標準。重要的是明白織物本身並不直接濾土，它只是兩邊粒徑不同的土的支承界面，令土本身建立內部過濾層。

等效孔徑小於  $150 \mu\text{m}$  的纖維，及厚層的無紡纖維均易受堵塞。某些情況下，因纖維能夠承受拉應力，故能提高斜坡的穩定性。

---

[空白頁]

## 第五章 斜坡設計

### 5.1 引言

本章探討香港土質和岩石斜坡的崩塌形式，敘述分析它們穩定性的適當方法，還討論到削土、填土斜坡的設計，及對不穩斜坡的處理。關於施工而影響斜坡穩定的問題，則在第9章中處理。

一般作法是從數值穩定性分析中，以安全系數來評定斜坡的穩定性。然而，眾所周知，任何場地勘察，只能粗略地釐定影響斜坡的因素，特別是殘積土，因在小的區域內其特性可有很大的變化，而且在暴雨期間及其後它的孔隙壓變化也非常急速，所以，在某些情況下，僅用一種分析方法是難以得出滿意的結果，事實上，香港存在着一些多年來一直穩妥的斜坡，然而它們的安全系數卻是小於1的。在某些情況下，對香港情況了解充分下而作的經驗性技術判斷，往往比「傳統的」數值分析來得重要，這尤其適用於天然斜坡，及舊有且經歷了多次特大暴雨，仍能保持穩固的斜坡、擋土結構物。

訂定某工程、屋宇項目的適當安全系數時，應對影響這新工程，或受這新工程影響的所有新建的、經改造的、及現有的斜坡進行評估，防止可能的崩塌，通常這亦包括了對工程相連地區外的斜坡，斜坡崩塌形成的泥石流的可能體積和流動距離，對人命和財物的影響等亦是重要的考慮。

現有斜坡的分析、新斜坡的設計，可使用其中一種已知的工程分析方法，配以定量岩土特性和預測孔隙壓力分佈來分析穩定性。有些時候，非分析性方法可能更為恰當，但這方法應十分小心運用，評估前應對該斜坡進行徹底檢查，掌握該斜坡在一段頗長時間內的具體表現。當然，理想的作法是，同時使用分析性和非分析性的方法。

本章以下論述香港斜坡穩定性的傳統分析方法。

### 5.2 安全系數

斜坡崩塌安全系數廣泛被定義為：沿臨界滑動面，土的與平衡所需的之平均抗剪強度比（Bishop, 1955）。

#### 5.2.1 新造斜坡

適切的設計安全系數，關係於斜坡崩塌對人命、經濟上引致損失的大小。表 5.1 給出了設計新造斜坡的推薦安全系數，此等安全系數乃是相對於，十年重現期降雨量所導致的地下水文條件。人命的風險類別，反映崩塌所造成人命損失的可能性；經濟的風險類別，則反映崩塌時經濟上可能損失的大小。此等類別共分三個等級（即微風險的、低風險的、和高風險的），表 5.2 和表 5.3 載有每一風險類別等級的典型實例。

應強調的是，經濟風險等級下的安全系數、斜坡崩塌範例只僅作指引之用，這些概括性的陳述，不能包括每一種斜坡崩塌情況。設計人員須因應斜坡發生崩場所引起的可能經濟失損，與更高安全要求下而有所增加的施工費用之間，選取一個可以接受的平衡點。

即使在罕有的地下水條件下，人命風險類別的崩塌是不允許的。除了那十年重現期降雨的安全系數為 1.4 外，具高人命風險的斜坡，在預測的最差地下水條件下的安全系數應有 1.1。設計人員在決定此等條件時，當考慮在第 5.3.2 節中說明的各因素。

在取土區或場地平整工程中，設計斜坡時採用的安全系數，應按該地區未來的用途而定，並應在設計中，預留該地區隨後發展的預計附加荷載。如果土地以後的用途尚未決定的話，就應當假定其為居住區。

### 5.2.2 現有斜坡

分析現有斜坡決定所需的善後或預防工程時，該斜坡的歷來表現對設計者會大有幫助。例如，與未開闢的場地相比，現有斜坡可提供詳細檢查地質的機會，還可獲得更真確的地下水資料，因此，對善後或預防工程，設計人員可更有信心採用比新造斜坡（第 5.2.1 節所建議的）更低的安全系數。只要有詳細地質和岩土勘探（包括對斜坡過去的保養、地下水記錄、降雨記錄、斜坡監測記錄等的調查），表 5.4 的安全系數可應用於善後和預防工程的設計上，當然要求荷載條件、改造的基本形式、地下水文等，要與現有斜坡的相若。然而，設計人員在善後或預防工程中，往往因應某些特殊環境採用新造斜坡的標準（第 5.2.1 節）。

設計斜坡的善後或預防工程，可假設該現有斜坡對最差的已知荷載和地下水條件，具最小的安全系數 1.0。設計人員若選擇這假定作為反演分析的基礎時，可參看 Leroueil & Tavenas (1981) 說明這方法易生問題的地方。對於已崩塌或有破壞跡象的斜坡，必須查明事故的起因，並在善後工程設計上處理之。

現有穩定斜坡要作巨大改動，或它的穩定性受新建工程影響，它的安全系數應達表 5.1 所列的。

### 5.2.3 天然斜坡

通常天然斜坡很大面積都接近極限平衡狀態，因此預防工程會是很昂貴及困難的。對於天然斜坡，為了穩定性些微改進而作出大型的後削工程是不適當的，在此情況下，避免對天然斜坡、植被的擾動，及避免建造昂貴的預防或保護工程，可將建築物選址在遠離崩塌泥石的區域。

天然斜坡不必具表 5.1 所載的安全系數，若：

- (a) 斜坡未受擾動（例如：迄今以至將來都不被開挖，植被不被清除，不因天然排水體系變化加增荷載、滲

入)，以及

- (b) 經過仔細的檢查，未有出現斜坡不穩、嚴重表面侵蝕的跡像。

評估天然斜坡時，應經常注意是否有潛在不穩的孤石。

#### 5.2.4 臨時工程

臨時工程的安全系數，應與新建的永久工程相同，但卻可在施工中的人命風險類別、施工期間可能出現的地下水情況作出恰當的抉擇。

### 5.3 穩定性分析

#### 5.3.1 崩塌形式

在設計中選擇穩定性分析方法，須考慮斜坡的可能崩塌形式，所選用的方法應能模擬這崩塌形式。

香港的土、填土、坡積物的斜坡崩塌，普遍都是十分淺薄的，乃取決於風化層、暴雨入滲的深度。其崩塌面通常近於平面，或大部分只稍呈凹陷。

當其密度低於臨界值，被剪切時土體的結構可能出現崩坍，且當土體處於飽和或近似飽和時，孔隙壓力能快速地增加，在這種情況下，絕少有預警崩塌的徵兆。液化時所產生的泥石流，即使在相當平坦的地面，也能高速移動一個很長的距離。乾密度低於臨界值的土，成因可能是填土未得到充分壓實、崩積土疏鬆狀態下堆積、原地風化作用等。

就工程特性而言，強風化和全風化岩石的表現與土相似，因此斜坡評估時，應儘量在岩體中選取多個相異的潛在破壞面進行分析，沿殘留節理的崩塌也當予以考慮。風化較輕的岩石出現的崩塌，總是受控於節理體系的。圖 5.1 示香港的風化岩石、泥土的典型崩塌剖面。

#### 5.3.2 輸入的數據

斜坡穩定性分析，需要有地形、地質、抗剪強度、地下水文、外加荷載等的詳盡資料。

(1) **地形** 一張精確的場地平面圖是必須的，標明勘察鑽孔的位置、節理測量的區域、擬分析的剖面位置等。剖面必須詳盡地測量，繪出的圖精確度應達 0.1 m。1 比 100 的比例一般是合適的。但高度小於 10 m 的斜坡，可能需用 1 比 50 或 1 比 20 的較大比例，以便獲得作穩定性分析的精確尺寸。



(2) 地質 風化深度、崩積或填土層的存在、新鮮和風化岩石的結構等，應根據地表、地下勘察結果進行評估（第 2 章）。

進行穩定性分析，通常憑地質資料分為工程特性相似的岩土層、帶。當涉及風化岩時，倫敦地質學會（Geological Society of London）（1972）、國際工程地質協會（International Association of Engineering Geology）（1981）、或英國標準局（British Standards Institution）（1981）所推薦的其中一個分區法則，也許都適用。然而，有時對特定的場地，建立一套個別地質分區法則，可能更為合適。

作分析用的場地地質各細部，通常是基於少量資料作判釋的，沒有一致性，故此，在穩定性分析中須考慮多種可能性。應繼續在施工過程中估量地質條件，如地質條件與分析的假設不符時，應即修改設計。設計中假設的地質結構，該載於斜坡剖面圖上。

(3) 抗剪強度 通常以有效應力參數  $c'$  及  $\phi'$ ，表示斜坡岩石的抗剪強度，乃通過代表性基質材料（殘積土和風化岩）、不連續面試樣的試驗來確定，試驗須在相應於現場的應力條件下進行，試件須予以飽和，除非有現場測試、觀測的直接證據顯示，現場岩土在降雨設計條件下，不會變成飽和或接近飽和的，參考第 3.7 節。

非飽和抗剪強度常較飽和的為高。可是，除非斜坡已有效阻擋了直接、間接的滲入，否則雖有植被及面層的保護，在 10 年重現期降雨時，斜坡可能達致接近飽和的狀態。所以，設計時，一般不應依賴土的吸力作為斜坡長期穩定的一個要素。

斜坡的護坡面層必須經常維修以保持效用。從環保角度，以植被作為防止地表沖刷的保護層，比剛性地表材料（灰泥和噴射混凝土）更為可取。

(4) 地下水 場地勘察至勘察完成後，通過安裝、測讀測壓計及觀測滲流痕跡，以評估地下水的情況。在觀測期間獲得的地下水位，不一定代表在設計暴雨內發生的最高水位，所以，必須估計斜坡中地下水位受降雨和其它因素影響而加增的幅度，參考第 4.4 節。

斜坡應按 10 年重現期降雨所導致的地下水條件設計之。此外，屬於高人命風險類別的斜坡，應核驗其穩定性受更高地下水位影響的敏感度，這需要設計人員考慮預測的最差地下水情況。其中最惡劣的情況，可會是供水系統大量滲漏、濾水層或排水系統堵塞、異常暴雨（重現期大於 10 年）、雨水充灌張力裂縫或開口節理等。10 年重現期降雨量和最差情況下所得的地下水位，均應表示在斜坡的剖面圖上。

檢驗斜坡土層剖面變化、斜坡上方集水區，當注意到具不同滲透性的土層間界面上形成瞬態滯水的可能性。滯水水位可能形成於崩積層、填土層與下臥土層之界面上，不同程度的風化帶之間，或風化帶與崩積層之內。這種瞬態滯水情況，形成和消散通常都頗快，也許很難從滲流觀察或測壓計量測察覺得到。

對於岩石斜坡，暴雨期間張力裂縫和開口節理的充水，會產生最大的水壓。作用於節理上的最大水壓位於張力裂縫底部，且漸次減少至節理露出斜坡面的地方，那裡的

水壓近於零。在岩體內各節理測壓計測得的水壓，僅與測壓計底部濾層相交的節理有關，故當濾層與單一的節理相交時，測壓計的壓力才可可靠。

管道設施例如污水管、雨水管、供水管路等的滲漏，可能導致斜坡飽和及地下水位上升。管道槽坑通常應按第 9 章的建議施工，若有擬建管道系統的資料，或有任何影響斜坡之可能滲漏時，均須在設計中予以考慮。

(5) **外加荷載** 各種可能影響斜坡穩定的荷載：如交通、建築物基礎、擋土牆、棄土區、輸電塔架、爆破、打樁等等必須包括在分析內，並對這些荷載的安全系數作適當的處理。如需考慮外加荷載，則分析的方法應能將其包括在內。

在香港斜坡穩定性分析中，一般不用考慮地震力。

### 5.3.3 分析方法

土質斜坡設計中，有多個穩定性分析方法可用，雖然有些是基於塑性極限理論、變形理論，但大多數方法都是根據極限平衡理論的。岩石斜坡的分析方法較少，幾乎全部都是極限平衡的方法。較為人們熟悉的土質、岩石斜坡的分析方法及水壓力，均列於表 5.5 和 5.6 中，表中載有它們的優點和局限性，並且對它們的應用範疇提出了建議，表中列出的參考資料，並不一定是原著參考文獻，只是在對設計有詳盡闡述的書籍和論文中容易查到的文獻而已。

Lumsdaine & Tang (1982) 綜述了香港普遍使用的分析方法，敘述了發生計算誤差的源由，並比較了簡化和精確法所得的結果。

### 5.3.4 三維效應

大多數穩定性分析都假設了，平面斜坡上一個無限寬度的滑動面，這個假設對該面的中間部分是合理的，但該面的兩端卻受端壁剪力的影響，由此引致整體穩定性難以定量的過低評價。Hovland (1977) 分析了兩種情況：一為兩端錐形的圓柱滑體，二為有兩個滑動面的楔形體。在第一種情況中，他表明了三維效應有助於提高安全系數 10%~50%，這取決於圓柱體的寬度和坡高的比例，最大差距出現於當圓柱段已不再存在的時候；在楔形體情況中，當土的  $c/\gamma H$  大於 1.0 時，其值增達 50%，然而，對於低黏聚力的土，其差距卻減少，對於無黏聚力的土，其安全系數更減少約 5%。Hutchinson 等 (1973) 通過考慮在 Etruria Marl 滑坡側邊的土壓力，表明三維情況下其安全系數可增達 16%。

斜坡面的曲率，對斜坡的整體穩定也有影響。凹面斜坡理論上比凸面斜坡穩定，然而，凸面斜坡的排水較好，具較低的孔隙水壓力，故可以減低安全系數上的差距，這種影響對節理岩體最為明顯。露天礦場的經驗 (Piteau & Jennings, 1970; Hoek & Bray, 1981) 說明，曲率半徑小於斜坡高度的凹面斜坡，其坡角可比常規穩定性分析方法預估的陡  $10^\circ$ ，而凸面斜坡坡角比預估的緩  $10^\circ$ 。當其曲率半徑大於斜坡高度的 2 倍時，曲率的影響可忽略不計。

土質斜坡內的孤石、漂石，能夠增加滑動體的強度和密度（Holtz & Gibbs, 1956; Holtz, 1960），常規方法分析中，一般不能定量其對安全系數的影響。

### 5.3.5 建議的分析方法

(1) 初步設計及微風險的斜坡 對初步設計或微風險類別的斜坡，由於輸入資料普遍不足，故很少使用需時較長的複雜分析。Hoek 圖（Hoek & Bray, 1981）無限斜坡法、滑塊計算法等，對快速評估土坡的穩定性是極為有用的。

(2) 低及高風險的斜坡 非圓弧分析法如 Janbu（1972）、Morgenstern & Price（1965）的方法，被推薦為香港大多數土質斜坡的分析方法。儘管如此，滑塊法或 Bishop（1965）的圓弧分析法，有時可能更為合適。

為剪切強度參數和孔隙壓力而作的一些假設，往往令如 Morgenstern & Price 方法般較精確但複雜的計算方法不值得使用。Janbu 常規法對大多數情況來說，具足夠精度，除某些情況下（見表 5.5），可被推薦作一般的使用。

如需更精確的方法，可考慮其中一種較複雜的計算方法，例如 Janbu 精確法或 Morgenstern & Price 法，這兩種方法達到的精確度頗相似，雖然前者由於方程式不夠嚴密而遇有數值方面的困難。儘管如此，這些困難仍能以改用不同的條分來克服。Janbu 精確法比 Morgenstern & Price 法具優點，它不像後者那樣需用計算機，可用手算進行分析。

這兩種方法對一些特殊情況是有用的，例如：當剪切面穿越兩種或以上不同的岩土、當可以取得高質素的輸入數據時、或需對崩塌進行反演分析等。

岩石斜坡穩定性分析的方法不多（見表 5.6）。岩石斜坡的主要崩塌類型有轉動、滑移、傾倒等破壞，或此等類型的組合。轉動破壞，無論是圓弧或非圓弧的，都能發生在節理多或破碎的岩體內，這情況下，可用土質斜坡分析的條分法進行分析。Hoek & Bray（1981）提供了詳細的岩石斜坡分析方法。

### 5.3.6 穩定性分析的可靠性

土的強度、地下水條件、其它輸入資料的設計值的不確性，在一般的穩定性分析中並沒有直接處理。分析用的各個參數固有的變異性，及試驗數據不可避免地不足，令最後計算得到的安全系數具偏低的可靠性，真正的安全度可能遠遠小於或大於其計算值。

理論上，將所有參數看成隨機變量，可估算出一個設計的崩塌概率，然後根據這個概率評價其可靠性。實際上，卻很少能夠有充足數據，支持一個全面的概率分析，但是，總可以估算出安全系數的平均值（ $F$ ）和它的標準差（ $S_F$ ）。根據這些或可訂定一個標準化的可靠性指數（ $R_F$ ），該指數是平均與單位安全系數的差除以標準差：

$$R_F = \frac{(F-1)}{S_F} \dots \dots \dots (5.1)$$

圖 5.2 表示可靠性指數的意義，以崩塌概率表達之。

即使不把可靠性指數理解為崩塌概率，可靠性指數亦是有用的，特別是用於比較不同的設計方案時。如兩個設計的平均安全系數是一樣的，但可靠性指數則不同，對於具較大的 $R_F$ 值的設計會是較安全的；相反，如果兩個設計的平均安全系數不同，但可靠性指數則一樣，那麼，這兩個設計都會是同樣安全的。

目前有幾種方法，可計算隨機變量函數的平均值和標準差（Lumb, 1974），但常規工作中，泰勒（Taylor）級數是最為簡單、方便的方法。

一般來說，目前觀測到的資料，尚未足夠確定孔隙水壓力的可能範圍。所以，最好是訂定若干個定量孔隙水壓力值的可靠性指數，再以工程判斷來查驗此等孔壓值，確定每種水力條件下的安全系數是否足夠。

### 5.3.7 敏感性分析

處理斜坡土層變異性，除了第 5.3.6 節敘述的統計法外，另一種方法是使用不同的  $c'$  和  $\phi'$  值、地下水條件，重覆作斜坡穩定計算，然後評估這些參數變異對安全系數的影響。如有必要時，可基於測試和觀察所得的參數值的頻率分，採用較保守或較進取的設計準則。

## 5.4 削土斜坡的設計

### 5.4.1 斜坡剖面

削土斜坡應按表 5.1 中的安全系數設計之。斜坡的整個高度，可按同一坡角進行開挖，也可按斜坡內岩石的變化開挖不同坡角，若岩石上覆土層，斜坡坡度岩石部分可比土層部分陡峭。每隔一定間距，可設坡級，如設置坡級，就應校核整體及坡級間斜坡的穩定性。在香港，崩塌經常發生在斜坡最高台級以上的地方，因為那處斜坡的風化最為嚴重，且斜坡頂部以上天然地層最易受雨水入滲。

如斜坡在新鮮或風化岩石處開挖，而暴露的節理傾斜於開挖面，此時可採用平行於節理傾向的連貫坡面，這種坡面，比設置坡級、中間分段較陡的坡面更為安全、經濟（見圖 5.3）。在設計階段，應考慮岩坡最終開挖面如何形成，要達到可接受的岩面標準，當用控制性爆破技術。

坡級必須至少 1.5 m 寬，垂直間距不應超過 7.5 m。附排水溝的中間坡級，其主要優點，在於減低坡面上的徑流量和速度，從而減少雨水滲入及坡面沖刷。寬的坡級能攔截高處滑下的泥石，減低坡腳結構物的損壞。它們有利於維修進出，可是，除非排水

和坡面有完善保固，雨水的滲入可能因此有所增加。在具不利節理的岩土中修建坡級，可會減低斜坡的穩定性。

土、石削坡的開挖施工，將在第 9 章中討論。

#### 5.4.2 穩定性的改善

若初步分析表明，擬建削坡的穩定性不足的話，設計人員該首先研究，改善開挖形體可否減低削坡的高度、坡角，這在設計的早段，可能是最經濟的辦法。否則，可由加設擋土結構、內排水減低永久地下水位、錨栓和錨杆、或此等的組合進行改善。

擋土結構的設計及應取的安全系數，將在第 7 章討論，施工方法則在第 9 章討論。

水平排水管或排水廊道，在初始地下水位高於可能崩塌面時，方才收效。當斜坡的安全受控於這類設施時，此設施於整個斜坡存在期須受監測。水平排水管和排水廊道的設計及維修，分別在第 4 章和第 11 章中討論。

施力於潛在不穩的岩體、土體上，加增了潛在破壞面上的正應力，也把不穩定體捆固於穩定體上。該力可以直接施加，也可以通過擋土結構，要保證斜坡的整體穩定性可通過使用地錨。錨杆設計的指引，載於「預應力地錨標準規範」(Brian-Boys & Howells, 1984)。局部不穩的地區進行修繕，可用錨栓（見第 5.4.3 和第 5.4.5 節）。

#### 5.4.3 岩石斜坡的處理

大規模開挖後，大多數岩石斜坡需進行某種的處理，以確保持續穩定。表 5.7 列明了各種不同的穩定措施與應用範圍，圖 5.4 指出了使用這些方法的典型處景。

(1) 清除 開挖後，應立即把鬆散的塊石或孤石從挖面上移走，移走潛在不穩的塊石時要小心，不可用爆破，免使岩面進一步鬆離。

(2) 扶壁 支撐不穩岩石的扶壁，可以是混凝土、砌石重力結構，可加錨固提高其穩定性。扶壁背後，應設置排水，以免水壓在被覆蓋的裂隙中上升。

(3) 補隙 從坡面向內整削露出岩面的軟弱夾層。削槽須用一種合適的瀝料回填，並用砌石或鋼筋混凝土保護，以防止軟弱岩土受侵蝕。在香港岩石中，這些軟弱夾層常出現於節理、斷層、岩脈風化的地方。這種貫穿性風化表示會有水流的出現，應在護面上設置排水孔，以保證夾層得到充分排水，不會有高水壓發生。岩石的孔穴、危石、張開節理等均可按同樣的方法進行處理。如有需要，混凝土、砌石護面須錨栓到夾層上下的較堅硬岩石上。

(4) 噴射混凝土 噴射混凝土（詳見第 9 章）可作軟弱區、強破裂岩石的保護面。當需噴射混凝土在錨栓或其它支撐間，在噴射前，岩面上應以銷釘、錨栓固定那加固鋼絲網。在需要的地方，設置足夠排水孔以防止護面後水壓上升。

(5) **岩石銷釘** 岩石銷釘是沒受張拉的鋼筋，通常直徑 25 mm~32 mm、長 1 m~3 m，於岩石鑽孔內作全長度灌漿。用來加固密距節理的岩石，及用於錨固鋼筋、混凝土、砌石、小塊岩石等。岩石銷釘的設計，將在第 5.4.4 節討論。

(6) **岩石錨栓** 岩石錨栓適用於局部區域的穩固，但不可作為斜坡的主要支撐系統。一般為受張拉的鋼筋，由一個短的堅固岩石錨固段，和一個用作張拉的未裹握段構成。錨栓頭部做成螺紋，並螺帽固定。張拉力通常由千斤頂系統，與壓在岩面的鋼板作用下施加的，對於軟弱或嚴重破裂的岩石，可能需要加上混凝土襯墊。一般岩石錨栓直徑為 25 mm~40 mm、長為 3 m~6 m，張拉工作荷載可高達 100 kN。岩石錨栓的設計，將在第 5.4.5 節討論。

#### 5.4.4 銷釘的設計

銷釘錨固的不連續面位移時，應力在銷釘內產生。硬質岩不連續面內，剪脹在粗糙面錯位時發生。當不連續面兩邊具足夠裹握長度，銷釘內將出現張力及剪力，這些力大小有賴於不連續面的粗糙度、銷釘與不連續面間的夾角、達峰值抗剪強度和峰值剪脹量必需的相對位移等。

Sage (1977) 和 Bjurstrom (1974) 給出了銷釘的簡化設計方法。

對於高低碳鋼的鋼銷釘，最大拉應力應限制在極限拉伸保證強度的 50% 內。半徑當留有 2 mm 的餘量作為防銹蝕之用，包圍銷釘應有至少 6 mm 厚的水泥灌漿。除非有雙層防銹保護，否則不適宜使用預應力鋼筋做銷釘。

#### 5.4.5 岩石錨栓的設計

岩石錨栓，通過增加正應力以加強抗剪強度，實質加固了不連續面。

堅固岩石中的錨栓錨固，可用裹握方式，也可用機械裝置，例如扭矩固定螺栓。裹握長度應按拔拉安全系數 2.0 進行設計。永久螺栓的機械錨固初步安裝後，須灌漿以提供所需的裹握長度。施加應力可高達極限拉伸保證應力的 50%，且以 1.5 倍工作荷載測試，表明所安裝的錨栓具良好表現。

若用預應力鋼筋作岩石錨栓，應具雙重防銹蝕保護，對高低碳鋼鋼筋，如在半徑上留有 2 mm 的防銹蝕餘量，用單一防護也可足夠。對於永久性錨栓，自由長度段的單一防銹蝕保護，應包括灌漿、一個潤滑油護套，或其它合適的保護方法。杆頭的防銹蝕保護該仔細考慮，所達的保護質量應與錨栓其餘部分一致。該特別注意防銹蝕保護系統的細節設計及現場監督，使受銹蝕的風險儘量減低。對錨栓灌漿，灌漿層的最小厚度為 6 mm。

持續不連續面出現時，需在錨栓間使用繫梁防止崩塌，這些繫梁可以是有槽孔的結構槽梁，槽孔的開設應切合錨栓間距，或者，繫梁可以是場鑄的混凝土梁。

計算防止斜面上塊石滑動所需的錨栓荷載，可參考 Hoek & Bray (1981) 的附錄 3。計算錨栓荷載所用的抗剪強度，應合適於被錨固的節理。

#### 5.4.6 孤石及落石的控制

潛在不穩定的孤石，當發覺對斜坡下方的擬建開發構成威脅時，有多種措施可加以改善。

(1) 孤石移走 在散佈孤石的坡腳進行開發前，將不穩的孤石移去，太大的，可用爆破或機械方法將其破碎成小塊，以便移走。

(2) 孤石破碎及再安置 孤石從斜坡上移走若不經濟時，一個方法就是將孤石破碎後，將碎塊再度安置在斜坡上。

(3) 孤石原地穩固 有若干方法可以使用，包括混凝土基層加固、塊石灌漿形成約束扶壁、銷釘及錨栓、鋼絲網噴射混凝土或鋼錨鏈錨定，護面加排水防孤石基土侵蝕等技術。

要除掉削土面、天然陡坡上所有的岩石和孤石崩落，在經濟上可能是不切實際的。在這種情況下，應取措施以減少此等崩落對人命、財物的威脅。圖 5.5 乃 Fookes & Sweeney (1976) 提出的一些控制岩石崩落的方法，可在坡腳設柵欄，配合吸收能量的集石坑，以攔截設計限度內的孤石 (Ritchie, 1965)；或者，可使用如石籠結構的可變形牆來消耗孤石的運動能量。場地如允許的話，可用保護土堤將滾落的孤石引導到不會造成危害的地方。

### 5.5 填土斜坡的設計

#### 5.5.1 新填土斜坡

填土斜坡應按表 5.1 的安全系數進行設計，使用設計密度的填土試樣的抗剪強度參數。如在填土斜坡上設置坡級，這些坡級至少寬 1.5 m、垂直間距不超過 7.5 m，應設置護面和排水以防侵蝕（見第 8 章和第 9 章）。

填土的地基須仔細整理，除去植被、表層土和其它不適合的東西。如果合宜的話，地基應挖階級使填土鎖於斜坡上，任何不穩妥的物料必須移走。

填土與天然地層間，可能需要一個符合第 4 章濾層設計標準的自由排水層，以消除引致斜坡不穩的高孔隙壓力出現的可能性。填土時如發現有泉水或滲漏蹤跡，應設恰當排水，將水流收集並排放到填土外的地方。所留意防止那排水措施成爲滲入源。

### 5.5.2 現有填土斜坡的處理

穩定疏鬆填土的斜坡，消除滑流發生的可能性，須將不少於 3 m 深的表層挖除，代之以不小於英國標準最大乾密度 95% 的壓實填土。在舊有和新壓實填土間可設排水系統，以防水壓在壓實層後方產生。或者，在某些情況下，所需的現場密度可借助動力壓實技術來達到。

修復斜坡的最簡單方法，是移走滑動的岩土，並根據穩定分析的安全坡角重造斜坡，但由於可用土地的限制，這做法不一定可行。在這種情況下，不佔用周圍的土地，設計中可用擋土結構以取較平坦的斜坡和提高整體穩定性。

當斜坡須回填恢復至原來剖面，填土前，應挖除崩塌的岩土，較陡崩塌面應挖階級，設置排水措施以處理地下水流，坡體可用壓實填土、水泥加固土、貧混凝土、砌石、填石等重新建造。

### 5.5.3 填石斜坡

良好級配、自由排水的填石斜坡，一般在降雨時不會引起飽和或地下水上升，因此，表 5.1 和 5.4 中所列的安全系數，是不適用於填石體內的潛在崩塌面的。常規的抗剪強度試驗並不適用於碎石填充材料，如果填石的級配良好並經壓實，再加上地基穩妥，填石材料的估量休止角可作為斜坡的安全坡度。Leps (1970) 提交了若干填石材料的三軸試驗資料。

填石下可能需要設置濾層，以防淘空和細粒土進入填料。地基整理與填土斜坡相同。



---

[空白頁]

## 第六章 斜坡上的基礎

### 6.1 引言

斜坡上或鄰近斜坡的結構物基礎設計，須處理結構物與斜坡間的相互作用，有兩條準則是必須考慮的：

- (a) 鄰近斜坡對地基承載力、沉降的影響，
- (b) 地基對該等斜坡穩定性的影響。

第一條準則認為由於鄰近的斜坡，地基的承載力（水平和垂直向）會明顯地減少（Vesic, 1975; Poulos, 1976; Schmidt, 1977）。第二條準則是重要的，因為影響斜坡的穩定性計有：斜坡上或鄰近斜坡的基礎開挖、斜坡上或斜坡上方基礎所施加的荷載、基礎施工引致的地下水文臨時或永久性變化等。

香港典型基礎類型有擴展基礎、沉箱（手挖及機械成孔）和樁基礎（沖擊、鑽孔、預制、灌注等）。擴展基礎、手挖沉箱最為普遍，因施工時無需在陡峭山坡上操作困難的重型機械。輕荷載時用淺基礎（擴展基礎），持力層較深、或任何附加的基礎荷載會影響斜坡的穩定時用深基礎（樁基）。

### 6.2 淺基礎

#### 6.2.1 承載力及沉降

淺基礎斜坡上的極限承載力，是低於其平面上的極限承載力。Vesic (1975) 提供包括了地面坡度因素的一般性淺基礎極限承載力程式。圖 6.1 中給出了地面坡度因素的適當值，該圖引自 Geoguide 1（土力工程處，GCO, 1982b），以作下列情況的參考：

- (a) 斜坡頂上的地基承載力估計的特殊問題指引，
- (b) 影響承載力的其它因素的討論。

在斜坡不同標高處建造淺基礎時，高處的可能對低處的產生額外荷載，在設計時須考慮這額外荷載。

一般情況下，承載力計算並沒有顧及斜坡土體已處於受力狀態，因此，評估受基礎荷載影響的斜坡整體穩定性是重要的。可是，從一個考慮了基礎荷載影響的穩定性分析中得到的可接受的斜坡安全系數，並不意味著那基礎的沉降是可接受的。

## 6.2.2 斜坡穩定性

作為一般規則，如坡角大於  $\phi/2$ ，受基礎影響的斜坡便須檢驗其穩定性 (Vesic, 1975)。如是，則基礎可視作為一等效線荷載，或一具水平及垂直向壓力載的附加荷載。

地基的回填可能作工粗劣，因此穩定性分析應考慮張性裂縫在基礎上坡邊旁的形成可能性。

岩石斜坡上或上方的淺基礎，分析穩定性時應處理方向不利的不連續面的潛在不穩定性，在這方面可參考 Hoek & Bray (1981) 的分析方法。

斜坡上或斜坡附近淺基礎的施工開挖，以及支撐斜坡坡腳的建築物的拆除，都會損害斜坡的穩定性，作分析時，應考慮這兩種影響。為了減少短期的斜坡不穩定性，開挖規模應盡細小並應妥善支護。

## 6.3 深基礎

### 6.3.1 側向荷載

水平應力在整個土質斜坡中是變動的，對於深基礎的水平荷載，基礎上坡的大於下坡的。可是，具合適安全系數的斜坡，水平荷載的差異是可忽略的 (Schmidt, 1977)，大多數深基礎設計不必處理這差異。

但是，有顯著地移的地方(即基礎上方或下方的斜坡有崩塌，或基礎前面的斜坡有開挖等)，或地移很小(即蠕變)但基礎的剛度卻很大時，能夠傳到基礎上側向荷載會是大的。

於單樁因地移而承受側向荷載的分析上，有多種方法可用，Wang & Yen (1974) 及 Ito & Matsui (1977) 使用極限平衡法，且建議如何處理密間距樁之間的成拱作用。Poulos & Davis (1980) 使用有限差分法，但這些方法都非常依賴於正確確定樁周土層的應力—應變特性 (De Beer, 1977)。

情況許可下，深基礎上應避免側向荷載，可由下列措施達致：

- (a) 基礎施工前，加固潛在不穩定斜坡；或
- (b) 環狀基礎設置環狀套筒。

環狀套筒是基礎與圍繞的土之間的一個充裕空間，移動時使它們不發生相互影響，空間可以是空的，也可填放適宜的可壓縮材料。空間須足以容納預計的地移及基礎本身的變位。

在空的空間，若需使用內襯支護泥土時，內襯須能防止地下水、地表水進入及能防止空間被泥土填滿，內襯與基礎間的頂塞設計，應以不能傳遞荷載為準。

如空間是由可壓縮材料填充的，寬度設計應考慮材料本身的壓縮度，特別是那由施工時現澆混凝土產生的。

在上述情況下，那環境基礎的套筒宜偏心放置，其中心置於基礎中心的上坡方向。

### 6.3.2 斜坡穩定性

深基礎對斜坡的穩定性產生不利影響，計有：

- (a) 傳遞垂直或水平荷載給斜坡，
- (b) 基礎施工開挖過程中，除掉了對斜坡的支撐，
- (c) 基礎引起的地下水文臨時或永久性的變化。

爲了防止垂直荷載傳到斜坡上，深基礎的深度應低於斜坡內任何潛在崩塌面之下；爲了防止水平荷載傳到斜坡上，應設置環狀套筒，套筒可以環繞基礎偏心設置，其中心位於基礎中心的下坡方向。不能採用上述措施，且基礎荷載可能傳到斜坡上時，該考慮此等荷載對斜坡穩定性的影響，然而，這個評估卻不容易，因穩定性分析用的方法（極限平衡法），與找出土壓力的方法（彈性理論法）並不相容。

當沉箱或樁密距放置時，總體的滲透性可能會減少，導致基礎上坡的地下水位上升（Pope & Ho, 1982），設計中須考慮到這可能性，所作的任何假設，都應在基礎完成後通過安裝及測讀測壓計檢驗之。

樁和沉箱可用於支護斜坡，Gould（1970）及 Fukuoka（1977）提供了這用途的樁和沉箱的設計方法。

— — —  
[空白頁]

## 第七章 擋土結構

### 7.1 引言

本章考慮作用於擋土牆上的土壓力。許多重點僅在此扼要說明，因為更詳盡的內容可見 Geoguide 1 : Guide to Retaining Wall Design (土力工程處, GCO, 1982b)。本章不包含地層錨杆設計，但在 Model Specification for Prestressed Ground Anchors (Brian-Boys & Howells, 1984) 中提供了許多錨杆系統方面 (例如安裝、驗收試驗、安全系數和監測) 的指導。

在實際應用中，常根據數值穩定性分析得到的安全系數來確定擋土牆的穩定性，本章介紹「經典」的分析方法。

### 7.2 擋土牆承受的力

#### 7.2.1 土壓力

在大多的教科書中都有列舉出計算土壓力的方法，例如 Terzaghi & Peck (1967)。在 Geoguide 1 中討論了有關這些方法的限制。要動用極限被動土壓力就需要擋土牆產生很大的位移。從設計上考慮，被動土壓力應不超過計算極限被動土壓力的 50%。或者根據 Geoguide 1 對板牆設計的建議，通過用恰當的抗剪強度及擋土牆摩擦力的分項系數來確定被動土壓力。

如果在擋土牆與受支撐的土之間產生相對位移，則在確定作用於擋土牆上壓力時，可考慮擋土牆的摩擦影響。

作用於擋土結構上力的大小受到土與結構相互作用的影響，由 Wu (1975) 建議的所需擋土牆位移以產生不同的壓力情況，已在 Geoguide 1 中引述。

在幾種出版物中提供了主動土壓力及被動土壓力的設計曲線，值得一提的是 NAVFAC DM-7 (1971)，其設計曲線已納入 Geoguide 1 中。

擋土牆設計用的主動條件是假設受支撐的土產生位移，這可能是無法接受的，因為土體產生位移有可能損壞鄰近現有的結構物或設施 (加拿大國家研究院, National Research Council of Canada, 1975)，在這種情況下設計的擋土牆必須能夠防止被支護土體產生的位移 (見第 7.3.6 節)。

當在擋土牆設計中要利用被動壓力的效應時，應考慮到以後在被動區內開挖的可能性，如果出現這種情況，設計擋土牆時應忽略被動土壓力。

關於香港原地風化岩的靜止土壓力系數值，只有很少的資料可以利用。但在 Geoguide 1 中提供了一些指導。

## 7.2.2 水壓力

作用於無充分排水擋土牆上的水壓力可能會比主動土壓力大得多。在實際中雖然緊靠擋土牆背面常設有排水溝，但是防止水壓力產生的最有效方法是在回填土與原位土之間設置傾斜的排水溝（Cedergren, 1977）。

如果設計的傾斜排水溝能夠排走全部的水流，則由地面垂直接入排水溝的降雨滲入就不會在土中產生孔隙水壓力，也不會在擋土牆上產生水壓力。相對來說，對於由擋土牆上方的平台滲入垂直排水溝的降雨，一定會有水平向的分流，因此會產生正孔隙水壓力。在上述情況下，排水溝中的孔隙壓力為零，但在土體中為正孔隙水壓力，如是降低了抗剪強度、增大了主動土壓力或者減低了被動土壓力，有關這方面的更詳細內容，包括流網圖，在 Geoguide 1 中已有介紹。

應考慮這些孔隙壓力的影響，包括將總水壓力當作另外的力作用到分析楔體上，關於這方面的詳細指導見 Geoguide 1。

在排水溝與原位土之間的低滲透性壓實回填土可能會嚴重阻塞地下水流，結果令擋土牆的某種分析和設計不能適用。如果在擋土牆後面不能提供充分的排水，例如地下連續牆、地下室牆以及板樁牆，那麼所設計出來的擋土牆必須能夠承受施工後任何可能產生的水壓力。在擋土牆背後有水壓力作用，在擋土牆的基底也有相應的上浮水壓力，這些力都必須包含在穩定性分析中，因為它們減少了法向應力，從而減少了抗滑強度。

圖 7.1 表示出牆後排水的典型布置，當進行詳細設計時應仔細考慮排水材料的長期有效性。擋土牆頂部的排水溝能防止徑流進入牆與回填土之間的裂隙中，牆後排水溝的不透水基層能防止排水溝中的水滲入到基礎中。

擋土牆上方管線設施的敷設應根據第 9 章的要求進行，因為泄漏進入回填土中會引致水壓力上升，這將會導致擋土牆破壞。

## 7.2.3 附加荷載

Geoguide 1 的表 4 列出了在香港由鄰近道路交通產生的附加荷載值大小，表中還給出包括這些荷載以及建築荷載、堆料荷載以及施工機械荷載在內的設計方法。

## 7.2.4 施工荷載

擋土牆的回填土通常應用輕型壓實機械分薄層進行壓實，這樣可避免由重型壓實機械所產生的較大荷載。但是，如果使用重型壓實機械，在設計擋土牆時就必須考慮這種施工荷載。在 Geoguide 1 的第 3 章討論了由壓實而產生的側向壓力，並指出有關由壓實機械產生的側向壓力的評估方法。強夯回填土會使側向壓力遠遠大於靜止土壓力。

擋土牆設計還應考慮施工時可能產生的非正常荷載，這些荷載可能是由運土機械、混凝土配料攪拌設備或者擋土牆上方的起重機產生。

## 7.3 擋土牆的穩定性

### 7.3.1 基底摩擦力

基底摩擦角的數值取決於擋土牆的材料以及採用的施工方法。對於無抗滑鍵的擋土牆，適宜的基底摩擦角值為  $2/3\phi'$ 。然而，當能確認基底開挖工程是在旱季施工，而在開挖後馬上鋪設適當的墊層，以避免擾動及影響下臥土層，以及工程是在有專業人員監督的情況下進行時，便可充份採用一個較為接近  $\phi'$  的基底摩擦角值。

### 7.3.2 承載力

與擋土牆傾覆破壞有緊密相關的問題是承載力的確定，作用於擋土牆背上的力在牆基底下產生非矩形應力分布，其最大壓力不應超過由承載力和沉降所確定的可容許土壓力。有多種方法可用於確定承載力，但用不同的方法得出的承載力值常常有很大的變化。在 Geoguide 1 第 6.4 節中介紹的 Vesic (1975) 方法考慮了斜坡坡角、基礎形狀、基礎的深度以及荷載偏心。

Geoguide 1 還包含了關於節理岩石容許承載力的指導。

### 7.3.3 安全系數

由於地基承載力不足，或者作為較大型斜坡破壞的一部分，擋土牆可能產生滑動破壞或傾覆破壞。擋土牆的破壞也可能由擋土牆本身的結構損毀造成，對於砌石擋土牆更是如此。

設計採用的各項安全系數必須能適用於所考慮的破壞模式，Geoguide 1 — Guide to Retaining Wall Design (土力工程處，GCO, 1982b) 提供了可採用的各項安全系數的定義。對於主要由重力和基底摩擦力產生抗滑平衡外力的重力式擋土牆，其安全系數應符合表 7.1 中的要求。下列兩種情況給予的建議最低安全系數值：

- (a) 由工程地質及岩土工程勘察而提供設計參數的新擋土牆設計，以及
- (b) 現有擋土牆的分析以及擋土牆的善後和防護工程設計。

設計新擋土牆，應參考第 5 章斜坡設計中列出的與人命風險有關的綱要指南。

當分析現有重力式擋土牆以確定所需的善後或預防工程時，擋土牆以前的表現能為設計人員提供很大的幫助。例如，要調查現有擋土牆周圍的地質情況，會比對進行調查未開發的場地更有條件，能獲得更確實的地下水資料。因此，設計人員能夠有信心去採用數值低於表 7.1 中所規定對新擋土牆所採用的安全系數來計劃善後或預防工程。如果作了精確的結構、地質及岩土工程勘察（其中包括擋土牆維修歷史、地下水記錄、降雨記錄以及擋土牆監測記錄的全面調查），只要荷載條件、改建後擋土牆的基本形狀以



及地下水體系與現有擋土牆實質上保持一致，則表 7.1 中的較低安全系數可用於設計善後及預防工程。但是，在某些特殊環境下，會令設計人員採用新擋土牆的標準（見表 7.1）來設計善後及預防工程。

設計重力式擋土牆的善後及防預工程時，可以假定在最壞的荷載及地下水條件下現有擋土牆的最小安全系數為 1.0。而已破壞或有破壞跡象的擋土牆，必須明確地查明這些破壞的原因，並應在設計善後工程時考慮這些因素。

#### 7.3.4 帶抗滑鍵的擋土牆

在可能的情況下，應避免使用深抗滑鍵，因為在抗滑鍵的施工過程中常常使地基變鬆、變軟，而地基土是用於提供被動阻力及抗剪強度的。雖然複合斷面擋土牆設計可能需要較少的材料，但它的施工時間較長，常比增加寬基底以提供抗滑力的簡式擋土牆的造價為高。

當用帶淺抗滑鍵的擋土牆時，Huntington（1957）建議在對其作分析時採用有效應力參數，假定滑動發生在通過鍵下土的水平面上，主動土壓力和被動土壓力都隨擋土牆深度的加深而增加。

#### 7.3.5 板式擋土結構

作用於擋土結構上的土壓力主要取決於土的側向變形量，擋土牆的柔性、側向支護特性（例如錨固或支撐）以及施工方法本身都會強烈地影響土壓力。

這類擋土牆的設計條件取決於支承點產生荷載的方式。牆體由於變形而施加荷載予支承，無論是樓板式支撐、橫撐或非預應力錨杆，都可以根據 Peck（1969）為支撐式開挖而提出的壓力分布規則進行設計。這些規則已列入 Geoguide 1 中，它們是根據施工時量測支撐上的荷載而確定的，取代了以前由 Terzaghi & Peck（1967）提出的規則。但是這些規則並不是為香港那樣類型的土而定的。

如果荷載作用在支承（例如由預應力錨固或支撐產生），而擋土牆被推向支護的岩土，則擋土牆上的壓力取決於支承施加的荷載，其壓力以主動土壓力為低限，被動土壓力為高限。在通常情況下，要對施加於這類擋土的荷載進行設計，以防止損壞鄰近的結構。Geoguide 1 提供了有關這類擋土牆的設計指南。

#### 7.3.6 開挖範圍外的沉降

在第 7.2.1 節中提及關於防止鄰近建築物沉降的永久性擋土牆的設計；除非臨時工程是同樣的精心設計和施工，否則嚴重的地面位移仍可能出現。對於用非預應力及預應力錨固和傾斜支撐支護的各種土中的開挖工程，Peck（1969）提供了有關周圍出現沉降的詳細情況。O'Rourke 等（1976）擴展了該項工作。Peck 認為地面位移在很大程度上取決於受支護的土。同時還認為，在安裝和拆除一個良好設計、施工的臨時支撐系統時，

如果選取了良好的施工技術，那麼在密實砂中以及較硬的黏質粒狀土中的地面位移是微不足道的。拙劣的施工技術甚至能使最好的設計失效，故須要對臨時支撐工程的施工進行嚴密的監督。由 Peck (1969) 和 O'Rourke 等 (1969) 提供的資料已列入 Geoguide 1 中；但是，這些資料是根據北美的經驗得出來的，只能作為對香港土的概略指導。

香港的地下鐵路施工對香港的土層狀況提供了一些資料，已有不少文獻發表。Geoguide 1 對此作了進一步的討論。

[空白頁]

## 第八章 地表排水與保護

### 8.1 引言

本章討論地表水對斜坡穩定性的影響，敘述適用於斜坡地表排水系統及地表保護的設計方法。

地表排水及地表保護的主要目的，是減少由大暴雨引起的滲入量及侵蝕，以增加斜坡的穩定性。斜坡排水系統應匯集斜坡上的徑流以及斜坡上方匯水區的徑流，將其引導至斜坡範圍以外的合適排水點。對於由易受沖蝕的岩土斜坡或易被滲入而減弱其強度的斜坡，應用地表保護措施。這兩種措施經常一起使用，以作為預防或善後工程設計的一部分。

除植被地表保護外，各種技術已成功地在香港應用多年。但是，設計方法主要是經驗性的，應小心應用。目前還沒有一個絕對的設計指南，而參考當地類似斜坡的先例，對設計有極大的幫助。尤其重要的是，設計時應考慮現有排水工程對未來場地發展的影響。

### 8.2 集水參數

#### 8.2.1 徑流

集水區的徑流決定於眾多因素，其中包括：

- (a) 降雨強度，
- (b) 集水區的面積及形狀，
- (c) 排水斜坡的坡度及長度，
- (d) 植被或栽種特徵及範圍，
- (e) 地表情況及地下土層的特徵。

根據單位流量曲線圖（Linsley 等，1982）確定的徑流，在許多國家已被証實是成功的。在香港，該方法曾被用於小集水區的排水系統設計，但與用代表雨量與徑流的峰值綜合經驗公式以作設計的方法相比，沒有任何實質性的優點。在香港通常用「理性法」，因為該方法使用起來既簡單又直接，對於相對較小的集水區，它能得出滿意的結果（Tin, 1969），其公式為：

$$Q = \frac{KiA}{3600} \dots \dots \dots (8.1)$$

式中  $Q$  = 最大徑流 (litres/sec) ，

- $i$  = 設計平均降雨強度 (mm/hr) , 取決於匯集時間 ,  
 $A$  = 匯水面積 ( $m^2$ ) , 及  
 $K$  = 徑流系數。

徑流系數不能準確確定。斜坡排水的建議  $K$  值為 1.0 , 使用該值一般會高估徑流量 , 特別是對於具有天然植被的斜坡 , 因此會導致設計過大的排水系統。可是 , 這附加的排水能力對於考慮淤積而作的寬限是有用的 , 因為淤積問題非常普遍。無論如何 , 排水系統的設計仍應盡量減少淤積 , 及防止泥石可能造成的堵塞。

### 8.2.2 集水面積

集水面積是由繪有等高線的地形平面圖確定的。集水面積定義為所設計的排水系統中匯集點構成的面積。當考慮天然集水區時 , 其邊界由地形輪廓線確定 , 地表徑流方向與等高線成直角。如果集水區的水文條件受到引水道或管道排水設施的影響 , 就必須考慮這些設施的效應。對於引水道情況 , 流到引水道下游河流的集水面積通常是減少的 , 但應考慮任何溢洪道流向引水道的水流。由於鄰近地區的分流 , 河流的排水設施的建造可能會大大增加集水區域 , 在確定集水面積時應考慮這情況。

若設計的排水系統中有多個上游子集水區 , 最大徑流應直接用理性方程式確定 , 其面積是匯集於此點的整個集水區的總面積 , 而不是每一個子集水區的最大徑流的總和。

### 8.2.3 匯集時間

匯集時間定義為在地表水由集水區邊界至設計的排水系統中匯集點的最大流經時間。通常這與集水區最遠部分的流線相對應 , 但對於諸多集水區來說 , 在邊界上沒有一個完好定義的遠點。較好的方法是核對大量不同流線的計算 , 因為匯集時間決定於平均的斜坡梯度以及流線的長度。對於天然集水區 , 用下列公式計算匯集時間 , 它是根據 Bransby-Williams 原有公式改進而得 :

$$t = 0.14465 \left[ \frac{L}{H^{0.2} A^{0.1}} \right] \dots \dots \dots (8.2)$$

- 式中  $t$  = 匯集時間 (min) ,  
 $A$  = 集水面積 ( $m^2$ ) ,  
 $H$  = 從集水區最高點至設計匯集點的平均坡降 (m/100 m) , 及  
 $L$  = 在自然流線上設計斷面與集水區某一點之間的距離 (m) , 從該點水流需經最長的時間到達設計斷面。

圖 8.1 中的諾模圖可用於快速求解 8.2 式 , 該圖列舉了諾模圖應用的一個實例。最低匯集時間應為 1 分鐘。需用匯集時間確定設計降雨強度。

應特別注意其河道已被疏通和取直的集水區。在這些情況下，匯集時間將比由 Bransby-Williams 公式得出的匯集時間短得多；其計算應是用 Bransby-Williams 公式，在最遠子集水區至排水溝渠所計算的匯集時間，再加上在水流峰值時，排水溝渠中水流的流經時間。

建於城區的斜坡，必須考慮天然集水區內現有排水系統的效應，以確定斜坡上方地區的水流峰值，這可能是較複雜的。

#### 8.2.4 設計強度

因為平均降雨強度隨歷時增加而減少，最大的徑流出現在暴雨歷時等於匯集時間的情況下。對於任何指定的頻率重現期，其最大降雨強度可以通過該地區的降雨強度與歷時關係曲線確定。圖 8.2 列出了根據皇家天文台和京士柏公園資料繪制的降雨強度與歷時關係曲線，這是由 Peterson & Kwong (1981) 根據 Cheng & Kwok (1966) 的資料而提出的報告。多年來，這些曲線被認為在香港地區具有代表性。最近，皇家天文台建議這些曲線在不同地點應用的有效性，應通過不同的數據分析確認，這些數據應取材自最接近場地的自動記錄雨量計觀測站。天文台以及土力工程處的雨量計觀測站分布情況見圖 8.3。在香港地區其它地點目前還沒有關於圖 8.2 中的數據。對於較小集水區的一般斜坡排水設計，不必進一步分析附近雨量計的資料，建議繼續使用圖 8.2。但是，對於大型的排水設計，例如涵洞、溝壑，建議以盡可能靠近場地的降雨資料進行分析。

如果排水系統未能應付徑流的流量，較陡斜坡的穩定性會受到影響，在較陡斜坡上的所有排水工程應根據 200 年重現期的暴雨進行設計。雖然施工時的臨時排水應根據十年重現期暴雨設計，但當施工期延續幾個雨季時，設計參數應增大。

### 8.3 排水系統詳細設計

#### 8.3.1 一般的設計考慮

從造價及維修方面考慮，在新斜坡的設計中，應盡量減少地面排水渠的數量及長度。地面排水的要求主要決定於斜坡的幾何形狀。當設計涉及平台或坡級時，需設地面排水以防止在低窪點出現積水、滲入或局部沖蝕。在硬質岩中開挖台階則例外。但在決定不設地表排水渠之前，應仔細評價低處的匯集水流在斜坡更低處造成破壞的問題。當設計新排水渠而其排水通過現有排水口時，排水口的容量以及它對場地以外的沖蝕風險應視為設計工作的一部分，進行核查。

不應在斜坡上以及斜坡上方設置欄柵和沉砂池。在斜坡可能受地表沖蝕的情況下，應慎重地在斜坡腳或其它方便於檢查和維修的地方建造沉砂池。排水渠的徑流應通過沉砂池及經欄柵過濾，以防止排水溝渠連接的暴雨排水道被岩土堵塞。由於枝條和浮渣能迅速阻塞欄柵，欄柵應有足夠的開口，以便在局部被堵塞時還能通過最大的水流。在正常情況下，應假定 50% 的欄柵開口會被堵塞。對於覆蓋有較密植被的斜坡下部，假定 75% 的欄柵開口被堵塞可能會更適當。圖 8.4 表示典型的沉砂池設計安排。應該注

意，嚴格按照圖 8.4 中的第五條註解設計，可能得出在很多情況下不切實際的大容量的沉砂池。該註解是指在平均水流條件下的可接受設計容量，僅作參考。對處於較陡地帶由易受沖蝕土形成的斜坡，在用於建造沉砂池的土地面積可能不足而影響其容量時，需加強定期的維修清理工作。如果場地受到嚴格的限制以致於不能設置沉砂池，則可在斜坡排水渠的底腳設置集淤井，其設置應便於人工或機械清淤。

在暴雨時，大的岩石及漂石隨山谷溪流下，它們可能阻塞或損壞斜坡排水系統。如果水道有岩石或漂石，則應設置沉岩池（圖 8.5 中已表示出一個實例），同時應設置合適的便道以便於維修。排水渠的阻塞或損壞會增加局部的滲入，如果不及時檢查，可能會導致大面積的漸進破壞。

在設計人員提交的移交記錄中，應包括有關淤泥、岩屑沉殿池以及欄柵的檢查和維修的指示（見第 11 章）。

### 8.3.2 斜坡排水的平面布置

應以最直接的導向將徑流導離斜坡的易受損區，特別是斜坡坡頂的後方。在較大的斜坡上，徑流應被引入多個階梯形渠道，而不應匯集到一個或兩個渠道。受斜坡阻截的水流應直接引至斜坡以下。當需改變水流方向，重新匯入流道時，應在斜坡腳處進行。

在易受沖蝕影響的斜坡上，建議採用人字型排水系統的設置（如圖 8.6 中所示）。對於不易受沖蝕影響的岩石斜坡，灰泥護面斜坡、砌石斜坡等，應使用坡級加梯形渠道系統，其中的坡級納入斜坡設計中。如果這些斜坡在建造時沒有設置坡級，地表排水通常只設置在斜坡頂及斜坡腳處，不過在大崩塌面上的善後工程中，斜坡面的小平台上通常設有不規則間距及方向的排水溝。

### 8.3.3 排水渠類型

斜坡的排水渠應是開口的混凝土襯的 U 形渠或者半圓渠，管導不應用於斜坡排水系統中。

不應使用填有自由排石料的混凝土襯排水槽以及自由排水石料環包的多孔管組成的無襯排水槽（稱為法國式排水）。前者由於自由排水石料的存在，排水槽的運水能力將嚴重減少。後者環包無襯排水槽的礫料產生了一個滲入源，只有在排水溝周圍的土層不能夠繼續接受水滲入時，多孔管才會排水。對於這兩種情況，自由排水石的表面最後會被有機泥石及表層土阻塞，而在表層土的草及其它植物可生根。因此，排水系統就會失效。

在斜坡的頂部可用排水截槽以阻斷部份水流從更高山坡滲入而流入斜坡。當有淺的不透水層時，排水截槽最有效，排水槽的開挖應在可能出現崩塌面的上方，以避免開挖形成張性裂縫（見第 4 章）。

### 8.3.4 排水渠設計

排水渠的最小坡度由可沖走粉土的流速確定。對於兩年至少出現一次的水流峰值，其流速不應低於 1.3 m/s。

排水渠的尺寸與其坡度有關，它可以從圖 8.7 中確定。大於 600 mm 的排水渠可以用 Ackers (1969) 繪制圖進行設計。亦可假設最大容許流速為 4 m/s，粗糙系數為 0.013，用 Manning 公式計算：

$$V = \frac{1}{n} [R^{0.67} S^{0.5}] \dots \dots \dots (8.3)$$

式中  $V$  = 流速 (m/s)，  
 $n$  = 粗糙系數，  
 $R$  = 平均水力深度 =  $\frac{A}{P}$ ，  
 $A$  = 過水橫截面面積 (m<sup>2</sup>)，  
 $P$  = 過水周邊長度 (m)，  
 $S$  = 排水渠坡度。

階梯形渠道不能特別有效地消散能量，但似乎沒有其它更實用的選擇。階梯形渠道中的水流為紊流，所以必須留有充分的超高以容許濺水和曝氣。圖 8.8 中顯示的階梯形渠道設計對濺水留有寬限，至今，這種設計在香港用於減少流速是最有效的。當缺乏試驗資料時，階梯形渠道的尺寸和渠底坡度可以流速 5 m/s 通過最小斷面（在每一梯級的頂部）的假定，再用圖 8.7 確定。在斜坡的頂部，水流速度較低，水流橫斷面面積較大，但濺水及曝氣較小，因此，用於階梯渠道的斷面也可用於跨越窄的坡級。

### 8.3.5 排水方向改變

排水方向的任何改變會影響到溝渠中的流態。當水流速度大約為 2 m/s 的溝渠需改變方向時，應通過不小於 3 倍溝渠寬度的轉彎半徑來實現。如果流速大於 2 m/s，其轉彎半徑應相應增大，或者，提供足夠的超高以容納水面的抬升 (Chow, 1959)。

當階梯形渠道跨越坡級時，可能形成水躍。必須限制水躍在溝渠以內。因此，階梯形渠道的濺水容許量可以擴展至橫跨坡級。

### 8.3.6 排水渠的交匯

當設計斜坡排水時，最大的問題是處理排水渠的交匯。交匯無可避免會導致紊流和濺水，而為此建造的集水室又容易受到碎屑堵塞。除在坡腳因無掩蓋的深溝渠會導致危險之外，應避免使用集水室。

在交匯處，較小溝渠應在主排水渠的中心處匯入，且應在主溝渠的倒拱之上，溝



渠應加深至一額外的超高寬限，以容納紊流、濺水以及回水效應。

當溝渠穿過坡級匯入階梯形渠道時，溝渠應設置漸變彎道導入階梯形渠道中。

如果在某些特別的交通處或渠道方向改變處出現過大的濺水和紊流，應考慮設置擋水隔牆，如圖 8.9 所示，或者設置集水井，如圖 8.10 所示。

所有溝渠的頂部應與斜坡表面平齊（圖 8.11），在可能的情況下應設置護坦，其排水方向朝向溝渠，以便將濺水再排回溝渠。護坦特別適用於階梯形渠道中（圖 8.8）。

在設計匯集地下排水的所有地表排水渠時，應防止浸沒地下排水出口。如果未能達致這一要求，應設計獨立的地下排水出口系統。

## 8.4 植被保護措施

### 8.4.1 一般的設計考慮

人造斜坡上的植被有助於控制沖蝕，且起到重要的美化環境作用。由於以上優點，香港越來越多斜坡使用植被保護。植被對斜坡穩定性的影響是由力學因素和水文因素產生的複雜作用，這些穩定因素是難以量化的。至今還沒有固定的植被設計準則，但近年本地對各種植被的經驗已迅速增加，參考這些寶貴經驗定能幫助設計人員。

在某些情況下，要建立和保持有效的斜坡植被保護是困難的，這必須在設計中作出謹慎的考慮。儘管如此，設計人員應考慮將植被作為所有土和風化岩石（岩石風化等級為 IV、V、VI 級）的工程斜坡的基本保護方法。斜坡的硬性保護措施，只應用於當斜坡坡角、位置或保持低滲入率等特殊要求而妨礙了植被的使用，即使是在這情況下，用剛性保護和植被保護相結合的措施也是可行而具有優越性的。

### 8.4.2 植被的接續

在香港近期，用於人造斜坡上的植被主要是草被，而不是灌木或樹木。作為一般性準則，不應在孤立場地種植單種植物。在香港的天然斜坡上，因氣候條件所致，植被表現出一個傾向於闊葉混生林地的自然體系。為了在較短的時間內獲得工程斜坡上的最好植被覆蓋，除了種植草被以外還應種植灌木和樹木。為了有助於植被的自然演變，應考慮提供適當的植被管理技術。

### 8.4.3 植被對斜坡的影響

斜坡植被有利於控制沖蝕，及有助於提高環境質量，這些優點已得到廣泛認可。但是，植被對斜坡穩定作用過程的整體效應不能簡單地分為不利或有利，植被對斜坡穩定性的影響列入表 8.1 中，其影響大致分為水文因素或力學因素。應注意，純粹水文因

素的影響是難於精確地定量的，因為這種影響取決於地面上和地面下的水文循環的諸多複雜因素的相互作用（Kirkby, 1978）。

在其它地方，詳細的研究結果支持了植被的純有利作用，主要是通過根部建立加固作用（Prandini 等，1977; Gray, 1978; Gray & Megahan, 1981; Gray & Leiser, 1982）。在香港，傳統的觀點是以滲入量的限制作為壓倒一切的考慮，這就導致廣泛使用灰泥護面或者其它的剛性保護措施。隨著灰泥護面產生不利環境效應意識的增強，現已清楚地認識到需要對有關植被對本地斜坡加固效應作詳細研究。

直至有進一步的本地研究資料可以利用之前，建議在有植被保護的新斜坡設計中，不計算由植被產生的有利影響，設計應考慮直接的滲入作用。對具有灌木和樹木覆蓋的現有斜坡進行穩定性分析時，可用表 8.1 進行研究和定量，Gray (1978)，Schiechl (1980) 和 Gray & Leiser (1982) 指導了評估這些因素的合適方法。當能清楚地表明直接地表滲入因素（而非斜坡以上匯水面積的滲入）是控制穩定性的關鍵，及斜坡穩定性不能通過把坡度放平得到改善時，那麼，為了減少滲入，應考慮用剛性的地表保護。

#### 8.4.4 斜坡上植被的限制

在新建斜坡上成功地建立植被，關鍵在於種植時間、坡度、位置以及斜坡岩石的組成幾個因素。

香港的種植季節，大致上都是高溫和多雨的。如圖 8.12 中所示。草的最佳種植季節是在 3 月至 5 月，但是，在 2 月初至 9 月末種植比在冬季種植通常更易成活。灌木和樹的最佳種植季節是 4 月至 6 月，如有需要，種植時間也可相應地擴展到從 3 月至 8 月下旬。如果需要在以上種植季節以外的時間種植，應經常澆水。或者，可以將種植推遲到下一季節，在間歇期中使用臨時的控制沖蝕措施。

斜坡的坡度對建立的植被的努力有重要的影響，表 8.2 中給予一般性的指導。當計劃將植被種植在特別陡峭的斜坡上或者種植在特別困難的場地上時，應徵求林業人員、園藝工作者或者園景建築師的意見。為了減少風中拔根的危險，在較陡斜坡上，應選擇種植成長後高度低的樹種。在受限制城區的斜坡上，為了限制植被的高度，種植草和灌木較為適合。

斜坡上的岩石也可能對建立斜坡植被產生直接的影響，因為肥沃性、濕度以及對根的入土阻力，都取決於岩石的組成。作為一般的準則，常規種植技術可用於土及全風化岩中的各種植被。在微風化岩中，建立植被會變得困難，尤其是灌木和樹，需要考慮使用專門技術，例如在挖坑用回填土種植或者在斜坡上的平台上用回填土種植。通常樹木不應種植在陡峭的岩石斜坡上，因為樹根可能會沿著節理把石劈開而導致斜坡不穩。香港的各種岩石應被視為是比較貧瘠的，在種植時應添加合適的肥料，見第 9 章的討論。

對於斜坡的位置，受保護的朝北的斜坡一般比極為朝南的斜坡更易種植。植被會受到暴露於鹽水、嚴重空氣污染或水污染、波浪或流水沖蝕以及人行交通等方面的不利影響。如果這些因素存在則應加以控制，或者考慮改變坡面保護的類型。

#### 8.4.5 植被的種類

在新建斜坡上的種植應先由草被開始，具體的草種選擇應使其覆蓋能有力地控制斜坡表面的沖蝕，選擇草種應考慮的其它因素是維修較少、在旱季具有低的山火風險以及與其它斜坡植被種類的相容性。由於沒有普遍適用於香港的所有斜坡的草種，因此常常需要專家建議去選擇適合每項工程的草種。表 8.3 中列出了最常用草種的名稱及特性。種植技術將在第 9 章中討論。

灌木和樹木的栽種應在草被建立起來後才開始，從而獲得穩定的植被覆蓋層。種植應在 3 月至 8 月期間的幾個雨天後進行（圖 8.12）。最近已獲得在本地種植灌木和樹木的大量經驗，最成功使用的灌木和樹木的種類見表 8.4 和表 8.5。雖然所有列出的種類都已証實適用於香港的削坡和填土坡，但它們的習性以及對極端場地條件的適應程度是有明顯差異的，如表中所示。表中所列出種植用的灌木和樹木的種類在本港地區都可提供。使用這兩個表不意味著所有能用的種類都在其中，也不意味著不能用其它種類，對於某些特殊的場地使用其它的種類也會是適合的。

斜坡上的栽種通常應既有灌木又有樹木，而且包括多個樹種的混合。典型的栽種計劃是 75% 為樹木，25% 為灌木，每個種類應限制不超過總栽種量的 30%。樹木通常用幼苗或枝條栽種，見第 9 章的討論。灌木一般應成組地栽種，而不應任意分散地栽種在樹木的之間。

在擬定一份種植計劃時，園景專家的幫助可以是非常有用的。對於較難種植的場地或非常規的場地，例如靠海的場地或者任何需要種植設計的場地，應在項目的早期就徵詢園景專家的建議。第 12 章提出了這一些資料來源，更進一步的指導可在 Schiechl (1980), Gray & Lieser (1982) 以及市政總署 (1971, 1974, 1977) 的出版資料中查到。

### 8.5 剛性保護措施

#### 8.5.1 一般的設計考慮

斜坡上使用剛性地表保護主要是用作減少降雨滲入以及防止斜坡岩石的沖蝕。通過減少滲入，剛性保護面能夠保護斜坡內部分飽和的土的負孔壓，或者限制潛在破壞面上正孔隙水壓力的產生，從而增加了斜坡的穩定性。為了達到以上作用，對於護面材料必須考慮以下三方面：

(1) 滲透性 地表保護層的滲透性越低，減少滲入的作用就越大。剛性地表保護限制滲入的作用可以通過量測降雨前後飽和度的變化進行評估，它依賴於與下臥土層相對的面層材料的滲透性。這方面在第 4 章中有較詳細的考慮。

(2) 耐久性 由於溫度變化、濕潤及乾燥效應、保護層對下臥層岩石的鍵合較差等引起的面層開裂和剝落，保護層的有效性會明顯地減少。但是，目前只有很少關於各種類型剛性護面設計壽命的資料。除了材料類型和施工質量外，設計壽命主要取決於保護面層的厚度。

(3) 強度 護面材料的強度對防止流水沖刷是重要的，它也間接影響耐久性和滲透性。因為強度容易量測，所以強度指標在材料的技術指標中是最常用的。

因為大面積的剛性護面對周圍景觀產生不良的視覺效應，故建議最好的地表保護形式是用植被覆蓋，在任何可能的地方都應用植被。在要求剛性護面的情況下，為減少它對環境產生的不良效應可以在護面設置護樹環以植樹。如第9章中所介紹，在其中種植樹木。作為一般性準則，用於種植環的面積應限制為斜坡面積的一個很小的百分比，以保持表層的整體性，盡量減少滲入。種植環應在整個斜坡面上均勻地分佈。具有淺層擴展根系的樹木可能導致剛性護面的開裂，通常應避免採用。對於特殊的種植設計要求應徵詢有關專家的建議。

### 8.5.2 灰泥

灰泥是香港斜坡建造中常用的一種地表保護材料。由於環境的原因，灰泥作為永久性的斜坡保護措施現正減少，但它仍廣泛地用於某些斜坡上，例如施工場地的臨時斜坡以及現有的陡峭斜坡。

對於永久性工程，典型的灰泥護面厚度為40~50 mm，但對於臨時性措施可稍微減少。除了排水孔所需的開口或樹木種植圍（見第9章）以外，灰泥應覆蓋整個被保護斜坡的表面。一個好的方法是將灰泥護面延伸到斜坡頂以外一定距離，與攔截上方徑流的地面排水渠相接。它可減少斜坡灰泥護面後的滲入，亦為地面排水渠的維修提供了安全的工作空間。

當從被保護面上觀察到有水滲出，或由於暴雨可能導致滲流的發生（例如低谷被明削斜坡截去一部分）時，應提供適當的排水措施以防止灰泥護面下水壓力的形成，目前一般的作法是每隔1.2 m的中心距離向各方設置直徑50 mm的排水孔。但是，對於這種排水措施，建議在鋪設灰泥護面前應檢查斜坡面而加以定位，不應盲目使用。

應當認識到，灰泥護面在防止滲入方面的有效性會隨著年期的增加而減少。對於具有高人命風險的斜坡，應定期檢查地表保護層的老化跡象，在必要時進行更換（見第11章）。

### 8.5.3 噴射混凝土

通過噴射砂漿斜坡面上對斜坡進行保護是灰泥抹面的一種替代方案。對於大面積的斜坡面，使用噴射混凝土比灰泥更快、更經濟。據報導，如果使用得當，低水灰比的噴射混凝土是相對地不滲水的。但是，用噴射水泥砂漿（噴射混凝土含有細骨料）比常規砂漿更為不透水（Tynes & McCleese, 1974）。

對於噴射混凝土的設計考慮類似於灰泥。在香港，噴射混凝土最常用於明挖岩石斜坡，在這種情況下，特別重要的是排水孔應設置在露出滲流跡象的岩石節理處。

#### 8.5.4 砌石

將各種斜坡表面保護方法與砌石相結合在香港得到廣泛的應用，其應用範圍從毛石乾砌到漿砌石。最常用的型式是毛石抹漿護面（石頭鋪砌），典型的厚度為 200~300 mm，在石塊的背部常常設置有混凝土薄層。砌石層是對控制沖蝕最耐久和最有效的護面型式。最近由土力工程處（GCO）對砌石支撐結構的研究表明，高質量的石頭鋪砌有著擋土牆的作用，它所提供的支護作用有助於保持斜坡的穩定性。但是，這種效應還沒有被詳細地研究，因此砌石層對斜坡的穩定能力不應在新斜坡的設計中考慮，也不應在現有斜坡的穩定性評估中考慮。好的鋪砌作法是將砌石設置在自由排水材料層上，在砌石結構的底部，以及在觀察到或者懷疑有滲流的砌塊間設置排水孔。

## 第九章 施工

本章探討施工方面對斜坡安全的影響，或對用來維護斜坡穩定的結構物的影響。

### 9.1 施工控制

在整個施工期間，設計人員應有足夠代表常駐地盤，其重要性值得重複申明。尤以於岩土工程為甚，它的成功在很大程度上取決於駐地盤從事監察工作的土力工程師或工程地質學家的經驗。設計人員是沒有履行他的職責，如果他沒有向客戶說明要保證永久工程的品質以及臨時工程的安全以符合他的意圖，僅僅依賴合同中的條款所規定承建商的義務是不夠的。代表設計人員駐地盤的人數將取決於工程項目的規模和複雜程度。對於小規模工程，可以只派一名工程督察，而對於大型工程，則應派一名駐地盤工程師，數名助理工程師和監察人員。在填土工程中，駐地盤人員還應包括具有進行必要的現場試驗和室內試驗經驗的人員。

地盤人員應熟悉設計中所假設的條件。假使現場情況與假設的條件有顯著的不同，必須立即知會設計人員以留意這些變化。設計人員還應經常到地盤視察，以確定設計條件的不變。

在工程進行中，地盤人員應對工程進展和施工中遇到的情況作詳細記錄。每周應拍攝工程進度照片，在開工前，就攝影的地點應徵得工程師的同意，需要時還要作補充。應對照片註明日期、天氣情況，拍攝時間和值得留意的地方，尤其當這些照片不是一般的工程進度照片的一部份。對所有的試驗應附有系列編號、詳細的試驗地點，天氣情況，試驗日期和時間。隨著工程進展，還應作竣工圖。

### 9.2 臨時工程

寶珊道的崩塌事故（香港政府，1972）顯示，施工活動會對斜坡穩定性有決定的影響。十分明顯，在設計臨時工程時，應盡量減少它們對鄰近斜坡和結構物的影響。在設計臨時工程時，應當注意它們在施工期間可能出現的情況，假使工程延續到雨季，在設計中必須包括足夠的地盤排水措施，且對地下水位的變化作出設計寬限（例如：地下水位的變化將影響在開挖支撐上的荷載）。施工的方法必須確保對鄰近斜坡和結構物的影響減到最低。

臨時工程的設計和施工必須不會重大地改變永久工程設計中所假設的條件。如果改變了條件，就必須修改永久工程的設計以附合新的情況。

在臨時工程的設計中所用的安全系數應反映施加於公眾、施工人員和結構物的風險，例如，當一座住有人的建築物可能受到一條臨時路堤崩塌的威脅，在設計防止這條臨時路堤崩場所用的安全系數就應與設計一條永久性路堤相同。然而，當臨時路堤的崩塌不會對公眾構成威脅時，就可以按較低的安全系數進行設計（見第 5 章表 5-1）。應

權衡崩塌的後果與用較低安全系數所獲得的經濟效益之間的得失。用較低的安全系數時，在監測工程表現和維修方面，工程監察人員的責任就會較大。

在整個施工過程中，應由一位有經驗的工程師或技術員對所有的臨時工程進行定期檢查。應當把任何結構物或斜坡中出現的損壞跡像記錄下來，採取措施以減少損壞。當情況比設計中所假設的條件更差時，就應當複核設計及相應地修改。

### 9.3 場地平整及取土區

在山坡上平整一塊很大的平地可大量增加雨水滲入地下。在開發前，雨水可從陡峭的斜坡上迅速引走，以致雨水滲入的持續時間幾乎與暴雨的歷時相等。在平坦的地面，水窪會增加地下水滲入的量和歷時，可引致地下水位上升，從而在靠近滲入點或較遠的地方引起斜坡崩塌。

最大的風險出現在正等候進一步發展的、開敞的、既無地表防水保護面又無排水設施的地台上。一旦完成拓展，平整場地的大部分面積上可會有路面覆蓋或保護，因此雨水的滲入會減至最少。對於沒有建議立即發展的地區，應當在地表鋪面層，使斜坡向排水溝傾斜，從而使地表水儘快從四周的斜坡上流走。沿著進場道路和地台的邊緣也應修築臨時土堤。因此，在設計這些地區時，需要考慮開挖斜坡的局部穩定性及排水系統在各個開發階段的容量及足夠性。

在設計中用的安全系數應取決於該地區將來的用途。當有關負責部門不能說明該地區將來的用途時，應假設在鄰近斜坡的地台上會建造住宅樓房。如果該區將來是作為休憩用地，用較低的安全系數或會是適當的，因為不太可能在暴雨期間或在暴雨過後立即使用該地區。

作為平整土地或進場道路工程一部份的填土區，應適當地堆填，按第 9.5 節中的標準進行壓實。

需要強調，場地平整的外觀對周圍環境影響的重要性。景觀設計應是整個設計的一部分，包括考慮平整地面的標高、地形、土地的特性、排水、地表保護以及對斜坡穩定和鄰近地區的綜合影響。草皮植被應比其它方法優先採用。

在施工過程中應仔細檢查斜坡，提供必要的資料和記錄以驗證設計中的假設。在場地平整竣工後應監測測壓計，以提供竣工後地下水位的資料。

在場地平整竣工以後，還應對斜坡和排水系統進行定期的監測、檢查和維修。當某一地區的職責移交給另一部門時，應由原負責單位正式遞交一份包括場地勘察、室內試驗、設計和施工數據的報告，同時對應繼續維持監測的項目的範圍和作用作出清晰說明。

## 9.4 開挖

### 9.4.1 程序

關於開挖工程的計劃必須考慮香港的季節性暴雨，它一般從每年的四月開始並於十月結束。高斜坡的開挖，和相應的排水工程以及坡面保護工程應最好在十月動工，在次年四月完成。假使開挖工程必須在雨季中進行，必須在開挖進行的同時對已開挖的坡面加以保護及排水。在開挖區的坡頂設置的排水系統可作為初步的措施。必要時，應修築臨時管道，把已完工的排水系統中的水流排出。如果在斜坡坡面和坡頂的溝槽必須在雨季開挖時，施工時應格外小心。理想的方法是應把它們分成若干小段來開挖和回填。應時常採取預防措施，以防止溝槽積水。

### 9.4.2 方法

在殘積土和全風化岩區中進行開挖，可用常規的大體積開挖方法，但必須注意防止已平整的斜坡表面的疏鬆，從而引起嚴重的表面沖蝕與淤塞，應合適地用輕型運土設備或用手削土。

在強風化的花崗岩內，會遇到孤石。如果需要將它們清除，就應在開挖過程中進行。不應將它們裸露在坡面上直至開挖完成後才予以清除，因為那時會很難接近它們，且會威脅已完成斜坡下面的任何仍在進行的工程。對孤石進行切割時，可用打眼插楔劈裂法或水力劈裂法。如果要用爆破把它們切割成規定的斜坡剖面，所用的炸藥不應過量。因為過量的爆炸會使孤石過份疏鬆，以致從開挖面上鬆脫。

當孤石威脅到現有建設而需要將它們切割，必須採取預防措施，以便在切割時保護這些建設。可以用鋼絲網或竹棚來保護，但這些設計必須考慮崩落下來的碎塊所經的路線和衝擊。

在微風化岩或新鮮岩石中，一般須要用爆破來開挖，如果不適當控制爆破則會導致岩體破裂，及節理全面疏鬆和張開。為了防止爆破損傷，可在岩體中進行預裂（Langefors & Kihlstorm, 1978; Hoek & Bray, 1981）。預裂的措施首先是沿著最終開挖面，鑽出一排間距較密和小直徑的鑽孔。為了保持鑽孔的準確度，在兩個台階之間預裂面的高度一般不應超過 15 m。在香港的岩體中，用孔徑為 75 mm 和孔距 700 mm 的預裂孔布置證明是有效的。這個意見可作為初步安排，至於對每個不同地方，還應用試驗來決定最有效的布置。在這些鑽孔內裝入輕度炸藥筒，炸藥筒的直徑要略小於鑽孔直徑的一半。一排預裂孔應同時引爆，同一排孔之間不應有滯後期，在主爆破開挖前爆破。預裂爆破應沿著最終開挖面形成平整的爆破平面，在設計爆破的強度時，應注意減少對基岩的振動。為了進一步限制爆破對最終爆破面的損傷，有必要降低主開挖面上緊靠著預裂面的炸藥孔所承擔的爆破範圍、間距和炸藥用量。預裂裂面可用作以後爆破的通氣道，但它並不會保護預裂孔後面的岩石免受振動。在節理發達而且是張開的並傾斜於預裂線的硬質岩體中，預裂爆破並非那麼有效。



光面爆破法或後裂爆破法是代替預裂爆破的另一種方法，一系列爆破孔是在主爆破之後被引爆。這種方法是經常用來清理重型爆破後所留下的破裂面，但此法對於產生光滑的破裂面方面效果一般較預裂爆破法差。

當完成開挖後，不管用上述兩種方法中的哪一種，都應清除所有岩面上的疏鬆塊體。

在開挖工程期間，設計人員必須經常巡視現場，以檢驗那些外露岩面較設計中假設的情況為差。在風化岩區可能存在殘餘的節理。在開挖中，當發現主要節理面傾向於開挖面，及與水平面的傾角大於 $20^\circ$ 時，必須通知設計負責人。在殘餘節理面的充填物的抗剪強度往往較風化岩體的抗剪強度為低，因而岩體的崩塌常常沿著這些面非常迅速地發展。當開挖岩體時，應通過對外露的節理系統的檢驗與在斜坡穩定分析和設計中所假設的節理系統進行對比。當發現有差異時，應複核設計，在必要時，應進行修改。應量測在原設計分析中未曾發現的隨機節理或組合節理，如果它們形成潛在的不穩定塊體時，則應進行加固。在開挖過程中，對滲流的徵兆也應注意，同時應和設計中所假設的地下水位進行比較。

當斜坡上的超挖區的坡度小於 1 : 1.5 時，可用合適的填土壓至英國標準 (BS 1377, 試驗 12) 的最大乾密度的 95%。填土下的原坡面上應做台階，逐層水平鋪設，應確保在坡面上填土壓實達到所須的標準。當需要修補陡於 1 : 1.5 的超挖斜坡，應使用水泥加固土或混凝土，應留意地下水的排水和滲漏。

#### 9.4.3 振動的影響

施工作業如爆破、打樁或者搬運重型裝置等都可引起場地振動，甚至空氣振蕩。場地振動對鄰近建築物、斜坡的穩定措施和擋土牆結構都會造成損壞，並對居民產生不適的感覺。空氣振蕩可能在可聽見範圍內 (20 到 20000 Hz) 或者在產生激蕩的範圍內 (低於 20 Hz)。可聽見範圍的聲頻將引起人們的投訴，但空氣激蕩可導致建築物的損壞，主要是門窗玻璃的破碎 (DuPont, 1980)。

場地振動曾經由 Langefors 和 Kihlstorm (1978 年) 等人研究過，並建立了質點峰值速度和結構破壞之間的關係 (Hoek & Bray, 1981)。過去曾經把振幅看作爆破效應的量測指標，但是已經發現質點的峰值速度與場地振動之間具有較好的相互關係。

目前在香港的工程實踐中，一般把質點速度的峰值限制在 25 mm/s 以內，而對於配水庫、雷達裝置等特別敏感的結構則限制在 13 mm/s 以內。任何爆破計劃都必須遞交勞工署礦務部批准。

在打樁和爆破作業時監測振動是十分重要的，這需要一台品質良好的示波儀 (地振速度計)，以量測並記錄三個相互正交方向的振速。應在施工以前以及在施工期間定時對鄰近建築物進行詳細的損毀監測，以便對任何損壞作出評估。

可以通過限制定時爆破裝藥劑量，及小心設計爆破孔的總體佈置和引爆次序來有效地控制在爆破中產生的場地振動和空氣振蕩（DuPont, 1980）。

#### 9.4.4 支護

基坑支擋設計已由土力工程處（1982b）詳述。在支護系統作用力的分析方法中，假設支護系統產生某程度的屈服，因此受支撐的岩土會有位移。如果位移會危及鄰近建築物和斜坡的穩定，並產生損壞，那麼，這樣的支護系統設計或會是不可接受的。支護系統的設計和施工須能防止土體產生明顯的位移。

Dismuke（1975）對開挖支護用的各種方法進行了詳盡的討論，介紹了典型的設計計算。

#### 9.4.5 排水

降雨對降低香港斜坡穩定性的影響已有許多文獻記載（Lumb, 1962, 1975）。因此，為大型的開挖提供足夠的排水措施是至關重要。在開挖工程開始前，應在開挖邊坡的頂部設置用混凝土襯砌的排水溝，如第八章所述，以便把雨水徑流從邊坡上部引走。如果工程作業計劃延伸到雨季，臨時排水措施應包括適當建造的沉沙池以避免沉沙池的水滲入土中。在設置沉沙池的地方，必須定期清洗乾淨及移走泥沙，使它們不會被其後的降雨再次沖入排水系統內。

應防止在開挖面留有積水。在開挖地基、地窖和管道設施坑道時，最好的辦法是由泵將水從細小的及用混凝土襯砌的集水井中抽走，以減少從挖方底部滲入的水份。整個平整場地的開挖面和所有的臨時排水設施都應通向用混凝土襯砌的表面排水渠，使雨水排入河流或暴雨排水渠。排水溝應按第八章定的設計標準進行設計。

臨時工程的施工可導致地下水位的降低。因為這樣會引起鄰近建築物的沉降，應考慮地下水位降低的潛在影響，這種影響在細顆粒海相沉積土中較殘積土和風化岩石為大。

堆放回填開挖材料的位置，必須不干擾現存用於穩定鄰近斜坡的地表排水溝。雖然堆料場地最初時期可能不影響鄰近的工程，但由於降雨和一般施工運輸造成的侵蝕可引起土料移動。這點在最初計劃堆放場地時必須牢記。

#### 9.4.6 排水渠、溝和井的開挖

如果可能，排水設施的開挖不應在雨季中進行。如果這是不可避免，開挖應從排水設施的最低點向最高點逐漸進行，且分段施工。每完成一段，在其鄰近部分開挖之前，就應進行襯砌。這將有助於防止侵蝕和溝渠底部的滲水。開挖出來的棄土，應運到一個不影響排水設施的地方。

### 9.4.7 管線設施的開挖

在斜坡面或斜坡上方開挖溝槽，會使地表水滲入山坡。最終可引起斜坡崩塌。在坡腳開挖溝槽也會破壞斜坡的穩定，所以不應准許。溝槽如用疏鬆的土回填將同明槽一樣地容易把水從地表滲入土中，水流將沿著溝槽的回填土側流。除非不可避免，否則不應在雨季在斜坡上開挖溝槽。當在雨季中進行開挖，明槽的兩側應利用沙包、混凝土砌層或者壓實的小型土堤加以保護以防止地表徑流由斜坡表面滲入溝槽內。應使用水泵在低處抽水使槽底處於乾的狀態，在停工時應派人日夜負責水泵的保養和運作。完工後溝槽應分層回填，每層土厚度不能超過 150 mm，每層土應壓實，其最大乾密度不應小於英國標準規定的 95%（參見 9.5.1 節和 9.5.5 節）。

當排水渠或排水管不用混凝土包裹的情況下，溝槽的第一層回填土應小心鋪設壓實。這層回填土應完全不摻有大石塊或可以貫入的岩層，以免損壞這些設施。

## 9.5 填土

### 9.5.1 總則

秀茂坪於 1972 年（香港政府，1972）和 1976 年的災難性滑坡說明在斜坡內，由於疏鬆回填土再加上遇到持久的大雨做成的危險性。在液化時，填料會以高速滑到很遠。因此，在斜坡的破壞可能危及人命的地方，即使對於便道和棄土堆這些臨時性填土工程也應按對待永久工程的標準來進行設計和施工（見第五章）。

如有可能，施工計劃應儘量將填土工程安排在旱季中進行，在旱季時，比較容易控制填土的含水量。

對所有填土，無論在斜坡內或表面，在香港的基本要求是壓實至不小於英國標準最大乾密度的 95%（見第三章）。在某些特殊情況下，例如在填土平台不會在現在及將來用來支撐建築結構時，其壓實度可以降低到英國標準的 90%。條件是填土的周邊區是壓實到 95%（見圖 9.1）。

在斜坡表面進行填方時，表面上的樹木、樹幹、灌木林、草及灌木叢、孤石、散填料和各種雜物都應鏟除。然而，對於不需要移動的樹，必需慎重保存和保護它們不受傷害。表土應堆在一起，供將來造園工程之用。應把主根和直徑大於 40 mm 的根生物挖出，挖深至少 450 mm。挖後的孔內應填入適當的材料適當壓實。

對於很軟的平坦土地，應考慮使用土工織物。可是必須注意在填築第一層回填料時，不要將織物破損，或可用堆石料形成一個較穩定的面層，在它上面可進一步填土和壓實。

建議在天然土表面，在壓實到需要的密度前應將 200 mm 深的表層土翻鬆。在傾斜的地面應切割成水平階地，其寬度應滿足壓實機的作業要求。當回填不斷增加時，這將在斜坡上形成一系列向上增展的台階。所有障礙物應予移除，以方便壓實機的操作。

在大範圍填土作業時，應先進行填築試驗以決定填土的可能厚度，在使用預期的設備下可否壓實到所需的標準。試驗的結果應按圖 9.2 畫出從而估計合適的厚度與壓實機的來回趟數。這便於工程督察進行施工控制，但是監控現場的密度試驗（第 9.5.5 節）必須定期進行，以便校核在現場是否已達到設計密度。如果填土的方式與條件或壓實設備有改變，那就應做補充試驗，以保證壓實機的來回趟數可達到所要求的乾密度和最初壓實試驗一致。

每次試驗的結果與試驗地點都應記錄在標準頁上，這是常規品質控制的一部分（一個合適的標準記錄頁式樣見圖 9.3）。每個工作更送至現場的填料體積應記入記錄內。記錄應清楚，及記下當試驗不合格時所採取的措施。

### 9.5.2 填石的壓實

填石應主要是堅硬耐久的材料，其中定級為 III 級的材料以重量計不應超過 25%，不得含有定級為 IV、V 和 VI 級的石料。堅實而新鮮的花崗岩是理想的堆石材料，因為它們在填鋪過程中不易被壓碎。

對堆石而言，振動通常是最為有效的壓實方法。然而，攤鋪材料的方法最終決定它的有效性。振動波通過石塊間的接觸點上傳播。因此在石填料有離析和出現大空隙的地方會產生較嚴重的阻尼作用。

### 9.5.3 填土的壓實

填土中不應混有礫石、岩石、或一些如表土、樹根、樹樁、或垃圾等不適當的材料。在壓實前的平整填土層時，應將填土塊粉碎。

在攤鋪之後，應儘快進行壓實。在任何情況下，填土的速度不應超過壓實機的作業速率所容許的工作量和壓實能力。填土施工時應使場地保持足夠的排水條件。一個適當地平整和碾壓的表面能有利於排水防止積水。必須不允許在填土的表面出現起伏不平。應在夜晚停工或下雨前，把攤鋪在土堤上的填土碾壓，以減少因降雨而導致工程的延誤。受雨水影響的填土，應在重新開始壓實前，予以乾燥處理或者從土堤表面上移走。

在土堤邊緣上，受鋪設機和壓實機的影響使攤鋪填土和壓實變得困難。因此，應先把土堤做得大些，然後再削切到設計的剖面。超過的部份，亦應壓實到和其餘的土堤同一的標準，以保證削切後的土體表面有充分壓實。在暴露的土堤面上應做密度試驗，以便校核土堤表面材料的密度是否合乎設計要求。當未能得到滿意的結果時，應停止作業。當在斜坡邊緣進行填土時，壓實機應向前行駛，如實際可行的話，應向上山方向行駛。但在壓實機回後時，切勿太接近斜坡邊緣。

在壓實填土時，必須小心，不要使用不適合地盤環境的壓實機，以損壞鄰近的結構或埋設的公用設施。Ingold (1979) 曾研究壓實對擋土牆的影響，並注意到，過量碾壓可以引致土壓力超過設計所預計的。

#### 9.5.4 壓實控制

最有效的施工品質控制方法，是在填料運到地盤之前，收集所有必要的試驗資料。粒徑分佈、阿太堡（Atterberg）界限、最優含水量，最大乾密度以及其它需要的特性資料都必須在土料鋪設前知道。特別重要的是由堆料場取樣試驗時，必須小心鑒定個別土樣的採取地點。應從同一個料堆中獲取幾個土樣，以避免只靠一個樣本的試驗結果去決定土料的取捨。任何土料變化的跡像都應立即予以記錄。土料顏色、結構、含水量、粒徑分佈等的改變，都是土料品質可能不合要求的像徵，立即報告這些變化是試驗人員的職責。土料品質的變化是不一定從顏色的變化反映出來。

當用碎石料時，發生重大品質變化的機會會降低，因此，試驗的數量通常可以相應地減少。進而言之，大多數碎石料應按規範生產，這樣可保證統一的品質。

壓實應在接近或具有最優含水量（OMC）的情況下進行，而嚴格的作業控制對保證該條件的實現是必要的。在整個面積上的每層填土都應由合適的噴水器在土層上均勻地洒水。爲了防止下層已壓實的土料變得乾燥，應定期洒水，或蓋上膠布單，或進一步填土。如果填料變得過分潮濕，或可以摻進乾料加以攪拌。對混有高粉土含量的風化火山岩，含水量控制可以是最關鍵的因素，因此，目標含水量的變化範圍應受到限制。量測含水量的方法在 9.5.6 節中討論，然而，只要壓榨一個材料試件就可粗略地估計材料的最優含水量。如果材料崩解，那就通常表示比最優含水量爲乾。如果在手上擠出水來，那就表示材料比最優含水量爲濕。如果材料聚合在一起又擠不出水，則表示該材料相當接近最優含水量。

壓實設備的表現是估計填土中含水量的另一種方法。例如，如果填土太乾，土層表面會容易裂開，在振動情況下更容易發生。太多的含水量在壓路機的碾壓下填土將如海綿體一樣，造成高孔隙壓力，即使再增加碾壓次數也不會起作用。

#### 9.5.5 原位密度的量測

(1) 砂土置換法 該方法在英國標準（BS 1377）（1975）（試驗 15（A）& 15（B））中敘述，這兩種試驗的區別僅在於設備的大小。第二種方法比較適合粗粒土。這方法是精確的，但需要十分小心。砂土的校準對濕度很敏感，因此，應當每天校核。爲了達至含水量與自然濕度相平衡，應把砂土在烘箱中烘乾，存放一周。如果要重新使用砂土，在再使用之前，應重新烘乾與篩分，以清除混入的泥土。當壓實機在附近操作時，試驗就不應進行。

(2) 密度計（ASTM D-2167 63T） 密度計可以很簡單及更快地測定密度。該設備包括一個連在量筒上，可加壓的橡皮球，其中局部充水。零讀數的標定是先將量筒放在一個光滑的平面上，然後加壓，直到記錄量筒內最小的體積。開挖一個大小適當的具有儘可能光滑的四壁及半球底面的小洞，小心地由小洞內將土取出。將從小洞內取出的土進行稱重，且從中取一個可量測含水量的試樣。然後將設備放在小洞之上，加壓，然後記錄量筒中最小的體積。從兩次記錄體積的差別可得出小洞的體積。由該體積、含水量和由從小洞取出的土重，就可算出土的密度。

該方法不適合於試驗滲透性十分低的黏土和易壓縮的土，因為試驗孔在加壓後會變形。使用這種設備時很麻煩而且容易漏水。

(3) **環刀法** 在填土中，可使用薄壁環刀取土樣進行試驗（BS 1377 試驗 15 (D)），環刀可以打入或頂入土中。量測土樣的重量，已知環刀的容積，就可以計算土的密度。在取樣的過程中，可以改變填土的密度，填土中的礫石則可以擾動試樣使密度的計算產生誤差。不推薦這方法為正常的壓實控制方法。

(4) **水置換法** 這方法適合於測定含有礫石、漂石、弧石和岩石等的天然或壓實粗礫土的現場乾密度。此法和砂土置換法相類似，但測試一個較大的範圍，應用一張塑料布單將水充於開挖好的坑中。通常需要對開挖出來的土料在現場做粒徑分析。

### 9.5.6 含水量量測

(1) **標準法** 測定含水量的最好方法是使用烘乾法（BS 1377，試驗 1 (A)），但這方法的缺點在於要等 24 小時才有結果。因此，要等 24 小時才能決定填土是否還需進一步壓實以達到規範的要求。

可以用微波爐測定含水量，但這方法需要獨立的校準，以確保土樣溫度受到足夠的控制。也可以把試樣攤鋪在大金屬盤上，直接用煤氣爐加熱，但熱力並不均勻。如果使用 BS 1377 的快速法，會更快得到結果（見下面）。

(2) **快速法** 在現場使用的兩種快速法見於 BS 1377（試驗 1 (B) 和 1 (C)）。它們不如標準法那麼精確，且不能用於含大量的含水高嶺土、石膏、石灰質、或有機物質的土。但是它們一般適合用於香港的土。使用快速含水量測定器，還可快速地測定土的含水量。當電石和土中水份產生化學反應時，測定所釋放的乙炔氣體的壓力，可用來求得含水量。然而，這方法並不足以可靠地用於嚴格的控制。

任何應用於施工控制的快速法應間中和標準烘乾法相校核，並且應做一條率定曲線以表明兩種方法所測得的含水量之間的關係。用來決定乾密度的含水量是從率定曲線上所得到的等量烘乾法的含水量。

也可以使用 Hilf 方法來進行快速的壓實控制（美國墾務局，United States Bureau of Reclamation, 1974）。使用同樣的置換技術由填土中取樣，其結果用於壓實控制是足夠的，但是應用烘乾法測定含水量試驗所獲得的密度來校核。現時的證據顯示這方法可能高估了相對壓實程度。圖 9.4 為一張典型的用於現場的表格。

其它方法，包括核同位素儀，需要更進一步的研究才可在香港有信心地應用。

## 9.6 表面保護

### 9.6.1 草被

當草被和地表排水系統一併使用時，可成爲一種有效的控制沖蝕措施。草被也可先行種植以幫助後來種植扎根更深的灌木和樹。在新建斜坡上植草，必須考慮斜坡的實際情況、草的種類及種植季節，如第八章所述。

在香港已採用若干種植草被的技術。它們包括噴植草法、幼苗移植、鋪草皮和撒播種籽法。

(1) **噴植草法** 噴植草法是把草籽、肥料和掩護料通過水溶液進行噴撒。通常加上一種綠色示蹤染料及偶爾加上用以穩定泥土的化合物。這種植被技術的相對優點，就在於可以使用很多不同種類的種籽，可以很快又便宜地用於面積大或陡的斜坡。

一個典型的噴植草的成份見於表 9.1。用量的上限應用於困難的場地。除了表 9.1 所列的初始階段的用量外，也推薦隨後的加噴化肥。在正常情況下隨後化肥的用量爲初次用量的一半。對困難場地，應進行兩次重復施肥。應在下種最少兩個月後才進行施肥，但應在生長季節內施加（三月至九月）。由於加鋪表土不會和噴植草作業一起進行，故在施肥計劃中應考慮對特別貧瘠的土壤追加施肥。

如在新形成的斜坡上有嚴重沖蝕的可能，那應使用表 9.1 中列出掩護料的用量上限，且應使用一種臨時防沖蝕人工織物。在噴植草噴撒完後，應在整個斜坡上鋪設人工織物。當草被已開始生長時（一般約需時六周），它就可以減少雨水的沖擊和侵蝕。應小心地選用合適的防沖蝕人工織物，既可達到這個目的而又不致抑制草被的生長。

(2) **幼苗移植法和鋪草皮法** 幼苗移植法和鋪草皮法就是直接使用葉系和根系發育良好的草皮來種植。鋪草皮法是將連續的草被鋪在斜坡上，而幼苗移植法是將草分成單棵或小捆種入土內，保持 70 mm 到 150 mm 的間距。這些方法的優點在於通常可得到可靠的結果，特別是當植草的時間一定要在正常植草期間之外進行。由於使用方法較慢，加之種植材料，在數量方面和品種挑選方面都有限制，故此項技術的應用受到限制。在種植草皮時，抑制不該有的廢藤草也是很麻煩的。

在幼苗移植和鋪草皮以前，應先把表土鋪在斜坡表面。用這種方法植草雖有助草皮的生長，但在草生長好以前，會增加斜坡受到沖蝕的機會。因此，在較陡的斜坡上，應限制表土的厚度，且應考慮一個更爲全面的化肥實施方案以代替鋪設表土。

在種植以前應特別注意適當的草皮運輸與堆放方式。在種植時可同時施肥（NPK 化肥量大約  $60 \text{ g/m}^2$ ，見表 9.1 註釋 4），在其後的生長季節，再按初期施肥量的一半再施一次化肥。

當在陡於 1:1.5 的斜坡上進行幼苗移植或鋪草皮時，應用小短樁來加固在斜坡上的植被。防沖蝕控制薄膜是很少和幼苗移植或鋪草皮同時使用的，但當有嚴重沖蝕可能性時，使用薄膜可能是有用的。

(3) **撒播種籽法** 撒播種籽法就是在一個準備好的土表面用手或機械撒播草籽。這方法通常多用於補種或維修小面積或者孤立的區域。應小心使種籽均勻地撒播在準備好的土表，否則會導致不可靠的結果。

### 9.6.2 樹木與灌木叢

在斜坡上種植灌木叢和樹木可以增加斜坡的穩定性，在相當程度上增加斜坡的美感。在香港的斜坡上，曾經很成功地種植樹齡為一到二年的樹苗。灌木林的種植較不普遍，但是，在不希望種植高大樹木的地方，或者在困難場地需要作先期植被的地方，或者在希望獲得品種多樣植被的地方，灌木林倒能提供一種有效的植被。

樹苗或灌木可以在斜坡上挖坑栽種，如圖 9.5 和 9.6 所示。挖好的樹坑在雨季不應留空。在回填土前，對每棵樹應用開挖的土混以 50 到 100 g 的化肥，混合泥炭苔蘚、樹葉堆肥、或其它有機物回填，將有助植物的成長。栽種樹苗應保持約 1.5 m 到 2 m 的間距，與排水溝或其它設施的距離不應小於 1 m。

某些灌木能成功地用種籽種植，儘管它們要經過若干年才能形成有效的保護面。如第八章所述，樹木和灌木叢應較早地在生長季節栽種以利於扎根，並減少用水。

### 9.6.3 灰泥

灰泥是一種水泥—石灰穩定土，用作保護開挖表面以防止沖蝕和滲入的材料。建議的灰泥批盪按重量的成份為：一份水泥，三份水化石灰和 20 份黏質風化花崗岩或火山土。這些土不應含野草、樹根、腐植土或其它有機物。

水泥和石灰應在乾的情況下拌和然後將土加入。應在滿足所須的和易性的前提下，在拌和料中加入最少量的水。如水灰比太高，有可能出現嚴重開裂。

在現有斜坡上鋪抹灰泥以前，應先將所有植物、表土和樹根除去，且將斜坡面削平。在鋪灰泥時，為穩定它們在位，應用直徑 25 mm、長 300 mm 的竹竿打入坡面，直至竹竿頭露出表面 25 mm，竹竿間距為 1.5 m 並交錯地排列。然後，應抹兩層灰泥，每層厚度不小於 20 mm。應用抹刀在基層的表面適當地刻成槽狀或者做成粗糙面使第二層咬合。此項鋪層應在第一層已經初凝而沒有過分延遲時鋪抹。每層相隔 24 小時的延遲通常是合適的。因為要把灰泥鋪成不透水表層，應儘可能將鋪層壓實，最後，斜坡面應予以鋪抹粉光以增進逕流。

粉光的灰泥層能引起日光的強烈反射，因此造成的閃光會引致人們的不適。為了減少這個影響，在上層灰泥層中可加入顏料。適合的顏料有二氧化錳或氧化鐵粉末，這些顏料按水泥重量的 3% 加入上層灰泥。日光反射的程度取決予表面的光滑程度，而使用木抹子來代替鐵抹子或可減少日光反射。



對灰泥而言，一般鋪設時沒有一定整齊規格的施工縫，然而應小心確保上下層的施工縫不在同一位置。當整齊的鋪抹區域形成時，應在每個區域間做閉合的接縫。灰泥用於保護臨時開挖面時，其鋪設厚度應不小於 20 mm。

#### 9.6.4 噴射混凝土

噴射混凝土方法的一般原理在土工手冊（美國墾務局，1974）中進行了討論，且噴射混凝土作業規範草稿已由 Association of Gunite Contractors 出版（1978）。

在斜坡上噴射混凝土是保護斜坡的另一方法。按規範，所用的材料與常規混凝土所用的一致。雖然，它們所用的骨料要經過特殊的選擇，不僅要滿足最終坡面的需要而且要在泵送混凝土時防止混凝土的離析。一般情況下，骨料的<sup>最大</sup>顆粒尺寸用於斜坡保護應不超過 10 mm。在需要的時候可鋪設鋼絲網或提供鋼纖維。

在香港，必須小心地考慮在斜坡表面所噴射砂漿因變乾而引起收縮裂縫的問題。當設計噴漿料的成份滿足了離析和強度的要求後，應按此設計並參照將來斜坡噴漿時的情況，製備試驗板。應評定它的耐久性、抗滲性和收縮性等性能，且有需要時，應重新設計混合料以滿足所有要求。已噴射的砂漿應有不少於七天的養護。噴射混凝土的表面一般比較粗糙，因此，其反射特性小於灰泥。實際上，較少有刺目的問題發生。在噴射混凝土完成後，應清除表面上反彈出來的材料。

應在噴射面設置排水設施（如排水孔），特別是在噴射護坡面之前有滲水的地方。

#### 9.6.5 砌石

各種富美感的砌石護坡方法在香港已被採用。

應在厚度至少為 75 mm 並能自由排水的碎石層上或礫石層上砌築石塊，所使用的碎石或礫石應符合濾層設計的標準（見第四章）。應用 1：3 的水泥砂漿在石塊間填縫，以防止在石塊間滲水和雜草叢生而影響徑流。在砌石牆的牆腳處，應設排水孔以使墊層材料排水。

#### 9.6.6 不透水層表面的種植

以改進大面積的灰泥和混凝土的外貌，應容許在特別整治好的種植槽上有選擇地種樹和灌木叢。這些種植槽應按圖 9.6 的方式施工。在 8.4.1 節和 9.6.2 節提供另外一些與此有關的資料。

#### 9.7 管線設施

將管線（如裝有電纜、電話線的管道）和導管（輸水管、煤氣管或污水管）放在

接近斜坡的頂部是拙劣的工程做法。必須採取一切可能的辦法以防止滲漏影響斜坡的穩定。按一般規定，所有排水、管線設施和其它管道都不應放置在與坡頂的距離小於斜坡的垂直高度處。這是一個最低的標準，但應針對每一個案作具體考慮。

某些情況下，當無法將管線放在坡頂區之外，此時，斜坡就應按第五章安全系數進行設計，考慮斜坡受管道漏水的影響。作為一個代替方案，管線設施可放置在一個密封的槽、管道系統或套筒內，安排排水到適當的表面排水渠或自然溪流中。應設計管道系統的排水量等同預計的漏流量。建議應每六個月檢測由管道排出的流量一次。

---

[空白頁]

## 第十章 現場監測儀器

### 10.1 引言

在現場安裝儀器，是爲了在設計和施工控制上，及長期監測工程表現方面提供具體的參數資料。在香港最常用的儀器是用於量測孔隙水壓力。也有使用儀器量測斜坡在施工時及施工後的位移和應力，但使用範圍較爲有限。

#### 10.1.1 規劃現場監測儀器

仔細規劃和設計監測儀器的方案是必要的，它應包括：

- (a) 確定目標、危險警報水平和應變計劃，
- (b) 確定儀器類型、數量、安裝位置以及量測的頻度，
- (c) 人員組織、儀器購置、安裝、監測、數據處理和報告，  
及
- (d) 其它因素，例如儀器的可接近程度及其對施工所造成的影響。

表 10.1 列出了根據 Franklin (1977) 的工作而編制的流程圖，概略地劃分了計劃儀器監測方案的不同階段。

在任何方案中，預計儀器數量時應預留一定的儀器失效率。當選擇使用儀器的類型時，規劃人員應嘗試在監測系統中採用不同類型的儀器進行核對，避免使用同一類型的儀器。

靈敏度高的儀器價格通常較昂貴，其使用範圍可能會受到限制，而可靠性有時比不上靈敏度低的儀器。當要監測的斜坡或結構物的潛在狀況是未認知時，安裝較多價廉、可靠、但靈敏度較低的儀器是較爲適合的。重要的是從整體精確度來判斷儀器系統，而不是根據單一部件所標示的靈敏性去判斷。

#### 10.1.2 校準、安裝與讀數

儀器在場地情況下的可靠性通常比其絕對精確度更重要，最重要的是儀器不但能在安裝前校正，且能在監測系統的使用期間適時校準。當預計儀器的使用期長達數年時，不能忽略儀器零位漂移的可能性，特別在使用電測儀器時更是如此。包括探測裝置、電子部件和記錄儀在內的整個系統，應作爲一個整體單元校準。所有儀器，特別是那些對天氣和重力變化敏感的儀器，必須就地校準。探頭型儀器較容易校準，但它們不適用於需要連續監測的情況。

儀器應由完全熟練的技術人員安裝，他們需具有關影響儀器運行因素的詳細知識。製造商的安裝說明書通常是不夠詳細的，安裝儀器尤其是複雜的儀器最好是在有經驗的儀器工程師監督下進行。應在需要監測前預先將儀器安裝好，以便檢查儀器的零位漂移和背景噪聲水平，從而建立以後觀測的基準數據。應好好地保護儀器，避免受腐蝕、潮濕、其它侵蝕性介質的侵蝕以及人為的破壞。

儀器應由能勝任的合適人員有系統地測讀，他們應懂得每種儀器的作用。測讀的頻度將取決於儀器所監測的目標的變化情況及性質，在惡劣天氣情況下的讀數通常是最關鍵的。例如，安裝在風化花崗岩中的測壓計，在暴雨期間以及暴雨之後可能要求在一整天測讀數次。讀數應記錄在標準的現場記錄表中，其中包括有關儀器觀測的可能讀數範圍。當有任何讀數顯示情況出現明顯變化時，應立即查驗。雖然在某些情況下全面檢查儀器是不可能的，但當出現了異常讀數時，應檢查儀器的效能。

所有的儀器讀數應標繪在以時間為橫坐標的圖中，以便能夠容易地評估變異的意義。圖 10.1、圖 10.2 和圖 10.3 舉出了典型的繪圖實例。

## 10.2 地下水位與孔隙壓力

### 10.2.1 地下水位的量測

由於鑽探沖水影響了地下水體系，在鑽探過程中（第 2 章）從鑽探孔中量測到的地下水位是不可靠的。要使觀測可靠，應先讓地下水位穩定，這可能需要在鑽探完成後再過幾天，然後才可以在一開口鑽孔中量測水位，但反應時間是非常慢的，且地表水滲入孔中可能使鑽孔成爲一個回灌井。取代將套管留在鑽孔中的另一選擇，可在鑽孔中安裝一根小直徑的測水管，用從原孔取出的土沿測水管周圍回填鑽孔，在這種測水管中觀測到的地下水位比在鑽探時所量測到的更可靠，在不使用其它測試儀器的任何鑽孔都應安裝測水管。測水管的裝置可以改良爲使用一條在最底部 1 m 至 2 m 處開孔管，用濾料回填鑽孔。鑽孔頂部 0.5 m 至 1 m 應用膨潤土與水泥回填防止滲水。

較小的測水管的反應時間比標準鑽孔套管較快。可是，如果鑽孔穿過多於一個含水帶，則在含水帶之間可能會出現流水，令從測水管中量測到的水位變得無意義了。如果圍繞測水管的濾層長度是有限的，且只與某一特定的岩土帶密封相連通，這種裝置便充當一粗略且反應非常慢的開啟式水壓計（第 10.2.3 節）。在合適的位置安裝測壓計是可取的，因爲由此獲得的數據比較容易解釋。

### 10.2.2 孔隙壓力的量測

測壓計用於量測孔隙壓力。它是由一個以多孔元件（測頭）與岩土分離的空穴以及在量測空穴水壓的裝置共同組成（Hanna, 1973; Vaughan, 1974）。

孔隙壓力的量測要求將測壓計測頭置於鑽孔內的砂濾層中，密封定位到需要量測孔隙壓力的特定地層中。將砂濾層的上方，有時連下方，用膨潤土密封，然後以灌漿回

填鑽孔。濾砂層的長度至少應為孔徑的四倍，優選長度為 600 mm 至 1 m，用於密封測壓計於鑽孔內的灌漿，其滲透性與周圍土相比應相同或較低。

一般適用於土的灌漿是由一份水泥，一份膨潤土和六份水混合而成。在岩石中鑽孔時如記錄到大量流失水的位置，混合成合可能需要調整以避免灌漿於大量岩石。應檢查使用的灌漿量，且要與準備灌漿的鑽孔容積比較。鑽孔中的測壓計，如密封欠佳將造成水在不同高程間流動，並且可能使地表水滲入測壓計中，這樣，量測得的讀數至多說明其水位高度，但更有可能的是鑽孔會成為一集水井，使讀數沒有意義。

用濕的粉狀膨潤土做膨潤土球，儘管提放都有困難，但可在鑽孔中形成理想的密封。壓縮了的膨潤土團粒能脹大很多倍，它比普通膨潤土球的投放容易得多。但是，它可能會非自然地長時間減低滲透性土中的孔隙壓力，因此，應小心使用。

選擇測壓計的類型取決於預計的水壓力、讀數地點的可接近性、使用壽命以及要求的反應時間。香港土通常具有充分的滲透性，當選擇測壓計時不必考慮反應時間。表 10.2 中列出了不同類型測壓計的優缺點。

### 10.2.3 開敞式水力 (Casagrande) 測壓計

開敞式水力測壓計包括一個通常外徑為 40 mm，長為 300 mm~600 mm 的多孔測頭，及一條內徑一般為 20 mm 的測水管 (圖 10.4)。測水管的頂部應保持在地面以上，加蓋，並且應設置有排水和鎖蓋的保護箱以免損壞 (Clayton 等, 1982)。在行車道上以及在行人道上安裝測壓計時，必須將它安裝在地面以下，同時為防止地表水進入測壓計，帶蓋保護箱的排水是非常重要的。

這種類型測壓計的反應時間相對較慢，但當岩石的滲透系數大於  $10^{-7}$  m/s 時，影響並不嚴重。在該滲透系數下，對於具有 150 mm × 600 mm 的砂濾層以及測水管直徑 20 mm 的測壓計，其反應時間大約為 1.5 小時。反應時間與土的滲透系數成反比。如果孔隙壓力暫時降至大氣壓以下，則測壓計中止讀數，但因它是自動去氣的，無需維修就能重新良好地運作。直徑小於 12 mm 的測水管可能不是自動去氣的 (Vaughan, 1974)。這種開敞式水力測壓計，除了是比某些類型的測壓計更容易受到損壞以外，其長期可靠性是非常好的。

電測水深儀是最常用的量測水位的方法。當水位較接近地面時，一種簡單的方法是將小直徑的聚乙烯管放進測水管內，然後向小管吹氣。當管的末端浸水時，可以感覺到和聽到吹氣的阻力及氣泡變化。

用於自動記錄的氣泡系統是第二種方法的延伸。用一根小直徑的氣管連於測壓計測頭，用很小的氣流通過氣管到達其測頭以使每分鐘產生幾個氣泡。量測的氣體壓力等於測水管中氣泡管末端以上的水頭高度。通過使用電子壓力傳感器和掃描閥數據收集系統，該方法可用於自動記錄大量的測壓計壓力 (Pope 等, 1982)。

在香港用於記錄測水管中瞬時水位的常用方法是用繩繫的吊桶 (Brand 等,

1983)。這種測壓計吊桶 (Halcrow 吊桶) 以選定的深度間隔繫在加重的尼龍繩上，置於正常基本水位以上。最高瞬時水位通過提升繩繫吊桶至地面並記錄充水吊桶的上限讀取。用該方法記錄的水位精度取決於吊桶的間距。在安裝關鍵性的測壓計時，建議吊桶之間間距為 0.5 m~1 m。

當有自流水壓力出現時，量測壓力可使用布氏 (Bourdon) 壓力計，或者使用直接固定在測水管上的水銀氣壓計，還可間接使用一帶頂蓋的雙管，以形成一個可排氣的封閉系統。

#### 10.2.4 封閉式水力測壓計

帶有低進入氣壓陶瓷濾層的雙管封閉式水力測壓計，可以如安裝開敞式測壓計一樣安裝在濾層砂中。在一個安裝完善的系統中水頭損失是微不足道的，所以水頭可以通過相當遠的距離測讀。如果使用布氏 (Bourdon) 壓力計或水銀氣壓計量測壓力，就需要一個永久性的儀表房。也可使用便攜式測壓系統，這種系統用壓力傳感器以及便攜式去氣元件，使用這種系統不需要設置儀表房。為了避免產生氣穴，壓力傳感器和連接管不可比測壓水位高出 7 m (Penman, 1978)。在斜坡上，測壓計的測頭可以安裝在與水平面成  $10^{\circ}$  ~  $15^{\circ}$  角的鑽孔中，但在灌漿時需使用堵塞以確保鑽孔完全密封。

這種測壓計的反應時間比開敞式測水管為快，但其反應時間取決於量測壓力的方法。這種封閉式系統不能自動去氣，為了保持系統良好地運作，需要定時人工去氣或者自動去氣。

#### 10.2.5 氣壓式測壓計

這種測壓計由帶柔性隔膜的多孔測頭組成，柔性隔膜控制氣壓閥。當氣壓系統的壓力等於測壓計孔穴中的壓力時，氣壓閥開始作用。測壓計的尖端可以像管式測壓計一樣安裝在砂濾層中。由於這種氣壓式測壓計在安裝後不能去氣 (Clayton 等, 1982)，故在香港土中的用處很有限，它不應使用在非飽和或存在負孔隙壓力的土中。氣壓式測壓計的長期可靠性在香港還沒有得到驗證。

#### 10.2.6 電測測壓計

電測測壓計不適用於不完全飽和土，因此在香港土中使用很有限。它由柔性膜隔離的多孔測頭組成，柔性膜的變形通過振動鋼弦或電阻應變計進行量測 (Hanna, 1973)。它對孔隙壓力的變化反應迅速。這種測壓計與氣壓式測壓計具有相同的去氣問題，且校正容易漂移 (隨時間變化)，安裝後就不能進行檢驗。

振動鋼弦系統比電阻系統較可靠，電測電阻系統的主要缺點是零位漂移，振動鋼弦系統的使用壽命為中等，電阻系統的使用壽命常常很短。

### 10.2.7 負孔壓的量測

相對於大氣壓力而言，孔隙吸力是負孔隙水壓力。在零至負一個大氣壓的範圍內，可以使用封閉式水力系統直接量測孔隙吸力（Bishop 等，1961）。

在香港可用於量測斜坡穩定性分析的孔隙吸力，張力計是最適用的裝置。典型張力計真空表的量測範圍一般為 0~-80 kPa。這意味著如果陶瓷測頭在儀表下的垂直距離是 3 m，則在測頭處孔隙壓力的有效量測範圍為 30~-50 kPa。當要求在更深處量測負孔壓，可以開挖沉箱，穿過沉箱壁安裝張力計（Sweeney, 1982）。張力計的可靠性取決於土與陶瓷測頭要接觸得好以及在系統中完全排出空氣。因此，在安裝時達成良好的接觸是重要的，以便在張力計套管與土之間不會形成水向下滲透的優先通道。

由於氣穴存在，張力計不能用於量測大於一個大氣壓的吸力。如要量測大於一個大氣壓的吸力，可以使用濕度計（Richards, 1971）。

### 10.2.8 測壓計的位置

在香港大多數的斜坡崩塌是沿著明顯的地質邊界淺層滑動。來自地表的水滲入能夠導致產生不同滲透系數岩土界面間滯水水位，造成斜坡崩塌。因此，重要的是在岩土體滲透系數發生變化的深度安裝測壓計，以便能顯示滯水水位。為了確定永久性地下水位，在更深的範圍內安裝測壓計是有用的。

## 10.3 地表位移

### 10.3.1 位移的重要性

在香港土中滑坡的發生通常是沒有徵兆的，因此，位移量測是很少有用的。但是，與擋土結構、錨固系統以及岩土斜坡有關的位移和變形量測可以是重要的。量測地表位移的方法在第 10.3.2 節至 10.3.5 節中討論，地下位移將在第 10.4 節中討論。

### 10.3.2 結構開裂

在裂縫處應設置顯示器以監測在安裝後裂縫是否有進一步移位，顯示器還應顯示出裂縫位移的大小及方向。所有的顯示器都應標明安裝的日期。

適合於監測牆體連續位移的最簡單的顯示器是由劃過裂縫的一條或多條直線組成。兩條相互成直角的直線就能顯示出劃線牆在牆平面內的任何位移。

用砂漿或環氧樹脂跨過裂縫黏貼的玻璃片是普遍及容易安裝的顯示器，但它們不能清楚顯示相對位移的方向。玻璃常常由於黏貼砂漿的收縮而破碎，或遭受人為破壞，因此不推薦使用玻璃片。



圖 10.5 出示了一種更堅固的顯示器，它可用於量測漸進的位移。上層金屬條的位移可以透過下層板上的刻度線進行量測，這些刻度線在安裝顯示器後隨記錄了的距離而偏移。和牆面正交的位移可能損壞金屬條，且妨礙連續讀數。為了解決這一問題，距離第一個顯示器的較短距離內可以設置第二個顯示器，將上層的金屬條黏貼到裂縫的另一邊，用測隙規量測這兩塊底板的間隙，就可確定和牆面正交的位移。

機械式變形儀（即測隙儀）可用於精確的量測。將兩個測點分別固定在裂縫兩邊的結構面上，用特定的定位鋼筋固定兩點間的距離。儀表由帶兩個圓錐形測點的殷鋼樑組成，其中的一個測點固定在樑的一端，另一個測點在楔形刃口上移動。用分度儀記錄變形量，位移量測由一個簡單的杠杆系統放大。溫度補償透過殷鋼參照棒進行。使用這種儀器能夠得到極高的精度，其精度大概高於對裂縫位移的顯示要求。在參照對比性研究中使用的游標分度儀是較簡單的一種方法，其精度對於這種形式的顯示通常是足夠的。

### 10.3.3 岩土斜坡

在第 10.3.2 節中討論的方法也適用於在原岩或微風化岩石中節理位移的量測。但是，固定式儀器並不適用於中等風化岩石及更弱的岩土。

鋼測標可用於顯示相對位移，將鋼標栓放入節理兩邊的岩石鑽孔中，用環氧樹脂灌漿。通常使用三個鋼標栓，兩個在節理的一邊，一個在節理的另一邊。在土坡上監測沿裂縫的位移，應將標栓固定於設置在裂縫兩邊的混凝土標座上。為求儀器定位精確，標栓應是中心成孔的，或者有圓錐形座更佳。一邊測標點至裂縫或節理另一邊兩測點的距離用游標測徑器或機械式延伸儀量測。測標相對高程的變化可以通過橫跨兩測標的水平尺來確定。

測隙儀的支座可代替鋼標栓。

### 10.3.4 測量

相對位移可以用精密測量技術進行評估，如果利用位移影響區以外的一個固定基準面，就可量測絕對位移。重要的是測量用的儀器誤差須低於位移測量要求的最低精度。測得的位移量常常是很小的，因此採用的參考點應考慮測量儀器的精確定位。Burland & Moore (1974)、Cheney (1974) 和 Hanna (1973) 敘述了適宜的參考點。

### 10.3.5 攝影測量

位移的量測可以通過攝影經緯儀或某些其它類型的精密攝影儀攝取的立體照片進行。從同一基準線上並平行於研究面或斜坡的兩個固定站攝取一系列的照片。攝影儀的軸線應與基線相互平行成正交。在可能的情況下，應在斜坡的頂部和底部安裝固定的地面控制點，且至少應有兩個控制點出現在每對立體照片的每張照片上。如果不能建立固定的地面控制點，那麼必須精確測量用於每對照片的控制點。位移量測的精度依賴於

地面控制測量的精度。陡峭斜坡比低緩斜坡更適宜採用攝影測量法，因為其精度會隨著攝影儀聚焦平面的距離而改變。

Ross-Brown & Atkinson (1972) 和 Ross-Brown 等 (1973) 敘述了在地質測繪中有關攝影測量技術、設備以及應用。攝影測量已用於顯示壩體的位移 (Moore, 1973) 以及用於測繪節理位移 (Moore, 1974; Burland 等, 1977)。

## 10.4 地下位移

### 10.4.1 測斜儀

測斜儀可以用於評估擋土結構本身的位移或者擋土結構後方的位移，有時可用於評估填土斜坡以及明挖斜坡的崩塌前位移。它由放入測頭內的傾斜測量儀組成，測頭在開槽的或方形的套管中移動以保證水平位。常見測斜儀用惠斯登 (Wheatstone) 電橋量測傾角，而其它類型的測斜儀採用攝影法，振動鋼弦或電阻應變計測量傾角。以伺服加速器制造的測斜儀正日漸增多應用於高精度的工作上。

在香港最常使用的測斜儀套管是鋁管。套管與周圍土之間的回填，通常用水泥膨潤土灌漿，應與周圍土具有相同的剛度。在可能的情況下，測斜儀套管應安裝在預先灌漿的鑽孔中，套管中加入潔淨的淡水以克服安裝時的浮力。套管的內部應每月用淡水沖洗一次，並量測沖洗水的 pH 值。如果沖洗水的 pH 值是呈鹼性，表示有灌漿液滲漏入套管中或者存在有侵蝕性鹼物質，應再沖洗套管，直到水呈中性為止。

當安裝測斜儀以顯示斜坡的位移時，使套管軸線與斜坡面成直角是方便的。側斜儀基座的設定應透過地面測量確認。應讀取測斜儀的雙面讀數，並應記錄平均讀數。圖 10.6 舉出了測斜儀記錄圖表的例子。

### 10.4.2 滑動指示儀

滑動面的位置可以用簡單的儀器確定。最常使用的其中一種滑動面指示儀是由兩根相同的、長度較短的杆組成，安裝在鑽孔中的一支富彈性的管內。一根杆放在管底，另一根放在管頂。通過提升套管底部的杆以及降低頂部的另一根杆，直到兩杆不能通過套管為止，就能找到出現剪切的地帶。這種測試儀也可作為一個較粗畧的測斜儀，使用一系列不同長度的杆，借助剛好能通過套管的杆長對管的曲率進行評估。

其它可以利用的方法有剪切條法，它是由一系列並聯的電阻組成。剪切條開裂的深度通過量測電阻確定。第二種類型是由放在較大直徑金屬管內，與薄玻璃管相連的氣泡管裝置組成。當剪切弄碎玻璃管時，令氣泡連續進入地下所需的氣體壓力會減少。日本管式應變計有裝入聚乙烯管中的箔式應變計，其變形和剪力可以通過記錄這些儀器的應變變化值進行監測。

### 10.4.3 延伸儀

延伸儀由錨固在鑽孔中不同位置的張拉鋼絲或鋼杆組成，沿著安裝延伸儀的孔量測錨固點相對於一基準面的位移數據。延伸儀最適用於量測擋土結構本身的變形、擋土結構後方的變形以及受錨固應力作用或受開挖影響的岩土變形。

在每一個延伸儀鋼杆頂部與底部間的相對位移可以用千分表量測，或者使用線性位移傳感器進行遙距讀數。更簡單的張拉鋼絲延伸儀是將鋼絲連於滑輪上，以重量保持恆定的張力。作為另一選擇，張力可以透過測頭中的彈簧懸臂杆維持，用千分表或傳感器量測懸臂杆的撓度。

在狹窄的情況下，保護鋼絲型延伸儀的張力系統是困難的。帶有可移式測頭的鋼杆式引伸儀較少會受到損壞。延伸儀的讀數會受到金屬熱膨脹的影響，精確的量測，應進行溫度校正。

### 10.4.4 沉降儀

Hanna (1973) 對沉降儀（在填土施工時安裝或者在鑽孔中安裝）、遙距測讀式水力計以及剖面計都作了描述。

## 10.5 荷載與應力

### 10.5.1 用於岩石錨栓及錨桿的壓力盒

本節僅考慮適合於對岩石錨桿及錨栓荷載進行長期顯示的壓力盒。

錨桿荷載可以通過定時量測將錨頭頂離其底座所需要的力來確定，也可用位於錨頭與承壓板之間的壓力盒來連續地顯示。表 10.3 列出了可以使用的壓力盒類型以及其優劣點。

### 10.5.2 土壓力盒

在香港不太需要量測土質斜坡中的土壓力。在大型開挖中，壓力盒專門用於量測土與擋土結構間的接觸壓力。有效應力可以通過安裝孔壓計和壓力盒去計算。應非常小心地選擇壓力盒的類型和安裝位置，因為將壓力盒安裝在土中會導致壓力周圍應力的再分布，其誤差取決於壓力盒的幾何尺寸。Hanna (1973) 列出了可以使用的壓力盒類型的詳細內容及使用這些壓力盒時可能遇到的問題。

## 第十一章 維修

### 11.1 引言

要保持經完善設計和施工的斜坡的持續穩定，定期檢查與維修至為重要。雖然負責設計的人員不可能確保其維修方案在施工後會確實執行，但精心的設計及細節能減少日後需要的維修工程，也能減少維修的人力資源。

當移交一項開發項目時，設計人員應提供與斜坡有關的數據資料。這些資料將作為斜坡維修記錄的基本資料。設計人員應根據表 11.1 作一份維修計劃。該計劃應包括如何維修安裝在斜坡的儀器以及讀取數據，亦應列出斜坡或擋土牆在按設計的正常情況下，儀器可能錄到的讀數範圍。如果在開發項目的使用期內，測試儀器的讀數顯示實際情況比設計考慮的情況嚴重時，進行監測的人員應建議業主去諮詢專家的意見。測試儀器的讀數應記錄在標準的記錄表上，圖 11.1 舉出了這些記錄圖表的一個實例。斜坡的業主應任命一位維修主任，由其負責實施維修檢查以及建議的修繕工程。

斜坡維修並不包括地錨監測，這應由有關專家負責；監測斜坡以確定設計假定，也不是斜坡維修的範圍，這應由設計人員負責。

### 11.2 檢查頻度

對於存在已久的斜坡，維修主任可能須要篩選其管理的所有斜坡，根據目前的崩塌會造成的後果，來確定檢查的頻度。若根據維修斜坡的數量來製定檢查的頻度，這做法是不合理的。如第 11.3 節所敘，檢查應由技術員級以及工程師級水平人員進行。表 11.1 建議兩級人員檢查的時限。如果能進行頻密的斜坡檢查，且完成隨後的預防工程，則毋須趕在兩個雨季間的短時期內，試圖進行維修檢查以及防護工程，在短時間內進行該兩項工作是比較困難的。

### 11.3 檢查報告

恰當地記錄所有的檢查是必要的，且應有一個系統以執行檢查人員建議的善後工程，預防工程或者詳細勘察。假若有斜坡數據資料庫，則檢查記錄應加入其中，作為斜坡歷史記錄的一部份。檢查人員必須核查上一次檢查提出的建議是否已完全執行。檢查人員應在適當的地點拍攝照片作為記錄。圖 11.2、11.3 和 11.4 舉出了三頁維修檢查記錄的實例。

#### 11.3.1 技術檢查

技術檢查的目的是確保斜坡不會惡化。它也可用於鑒定斜坡的人命風險類別是否需要提升。給技術人員列出檢查指引是重要的，指引應突出關鍵點，例如必須檢查坡頂

以及坡級，這份指引應由維修主任負責編寫。有一點十分重要，就是如果檢查人員發現斜坡有問題，應立刻通知維修主任。例行的修補應如期進行，不得拖延。

### 11.3.2 工程檢查

由工程師進行的維修檢查，其目的不單只對技術檢查進行覆核，儘管這是附帶的優待，工程師的工作範圍主要是考慮周圍環境的變化對斜坡的影響，例如，在附近路面上增加的行人使用量，以判斷是否需要對斜坡的人命風險類別進行調整。工程師亦應考慮斜坡及擋土牆體系的整體狀況，任何破壞的成因，和尋找在設計完成後產生的不穩情況。如果工程檢查發現需要作例行的維修工作，那麼這就表示技術檢查沒有作好。

當斜坡的技術條件複雜、有崩塌歷史或者人命風險類別較高，工程師可向工程地質學家或岩土工程師諮詢。當改善工程需要進行勘察時，應向維修主任說明。

## 11.4 維修

### 11.4.1 測試儀器

最常安裝於斜坡的連續性監測儀器是測壓計（第 10 章）。為了確保測壓計的精度和可用性，必須防止水以及其他外來物質進入測水管。在每次檢查時，檢查人員亦應檢查測試儀器的地面保護箱。所有的測水管都應有緊密的管蓋，且所有的地面保護箱都應有足夠的排水措施。在必要時應更換管蓋以及清理排水管。

檢查人員應檢驗其餘安裝於斜坡的測試儀器，以確保儀器在製造商規定的條件下運作。

### 11.4.2 斜坡及斜坡護面

對於所有的斜坡，檢查人員都應檢查是否有顯示斜坡破壞的位移跡象。但是，在某些地方，坡積物斜坡、填土斜坡以及土質斜坡則跟岩石斜坡有著不同的檢查和維修要求。因為土質斜坡很少顯示出漸進破壞的跡象（當斜坡達飽和後，發生的滑動是非常迅速的），所以檢查以及隨後的維修應主要為了防止水的滲入。除了草被以外，其它的地面保護形式一般都是剛性的，因此容易開裂。檢查時應詳細記錄裂縫的位置、長度、寬度以及相對的位移。對於新裂縫應在合適的地點設置監測器（見第 10 章敘述）或者儀表量測點。在檢查草被覆蓋的斜坡時，應記錄沖蝕痕跡的位置、深度以及範圍。

岩石斜坡沿節理的位移能夠顯出漸進破壞的跡象。當節理表現為張性時，應設置監測器或儀表量測點監測其漸進位移。密節理的岩石可能表現出整體惡化，而不沿任何單一節理或系列節理顯出位移的跡象，在每次檢查時拍攝這種岩面的彩色照片將有助於評估斜坡情況的惡化範圍。對個別塊石或孤石周圍的沖蝕應作記錄。

在檢查時，應記錄所有斜坡上的以及附近的滲流跡象。還應記錄來自滲流源、排水孔以及水平排水斜管的水流情況，在可能的情況下，應檢查能顯示內部沖蝕的固體物質遷動情況。開裂的管線設施對滲流的影響見第 11.4.3 節。

如果斜坡護面設計容許的話，在斜坡上植被，從審美和結構上看都是有益的。工程師應檢查樹附近剛性護面在樹根作用下損壞的跡象，必要時應修補或更換。亦應檢查岩石斜坡上，在樹或灌木附近受到根系楔體作用已失穩的塊石。

所有斜坡的例行維修應包括除去不相宜的植物。在修補開裂的剛性護面時應沿裂縫線開槽，用適合的混合材料回填。在傾斜的坡面上開槽時，若能做到即使原護面與修補面之間出現收縮縫，也不會導至水的滲入，便是良好的方法。

由塊石加水泥砂漿鋪砌的護面，其裂縫通常沿著塊石間的接縫處發展。應清理和修補受到影響的接縫。

應剝除受地下水流潛蝕的剛性斜坡護面，並應查明水流源，然後截斷水流或者用水平排水斜管將水流引出地面，再鋪好護面。

應修整受到沖蝕的草被斜坡，如有需要可用填土。填土應水平成層，並壓實到不小於第 5.5.2 節要求的密度，而不是平行於斜坡來分層。在必要時，應將受沖蝕區整平和分坡級，被免填土靠在過高的垂直坡面上。如果受沖蝕的坡面其垂直高度大於 600 mm，就需要這樣處理。在填土之前，應除去在沖蝕區集中出現的疏水物料。修整後的斜坡面應再種植草被，在草被生長前，要使用保護膜防止斜坡進一步的沖蝕，並適當地施肥。詳細說明見第 9 章。

對於岩石斜坡通常不全部作護面。但是，斜坡可能需要局部護面以防止水進入張開的節理。雖然護面或頂部覆蓋層要防水侵入，但不可以防止滲流流出，這一點必須注意，必要時要設置排水孔。

當發現沒有設置排水孔的斜坡有滲流跡象時，便應調查滲流的來源及提供充足的排水。

### 11.4.3 地表排水

若想減少排水系統日後的日常維修工作，便要在檢查後，詳細記錄要改善的地方的特徵。檢查記錄應包括：

- (a) 溝渠和集水井損壞以及開裂的位置、範圍，
- (b) 溝渠和集水井淤塞的位置、範圍，
- (c) 溝渠和集水井正在惡化的位置、範圍，

- (d) 建設工程的詳細情況，這些工程可能在物業範圍以外，其產生的淤泥和岩屑能堵塞被檢查的排水系統。

除了正式的維修檢查外，在雨季期間加倍注意地表排水系統很有好處。如果排水系統可能受到源於附近工程場地沖土的堵塞，則應採取防護措施。如第 8.3.1 節所述，在斜坡排水匯入其它排水渠系以前，宜設置攔污柵以及沉砂池或者集水坑。應與普通集水井和溝渠一道定期清除攔污柵、沉砂池以及集水坑內的物質，應將這些物料卸置在不會被隨後的暴雨再沖回排水系統的地方。

溝渠中的裂縫應用水泥砂漿或者合適的塑性封堵混合料修補。如果溝渠由於沉降而開裂，則應清除該沉降段，且用合適的方法重建，使其不易進一步沉降破壞。用砂漿修補沉降的溝渠僅是臨時措施。當發現溝渠正在沉降時，可以使用柔性封堵劑將裂縫修補，但大型修補工程不應在雨季進行。以瀝青或環氧物為基質的絕大多數柔性封堵劑都要求被封堵的材料是乾的。應按照製造商的使用說明施工，否則會嚴重限制這些封堵劑的有效性。

當需要重建某段溝渠時，該工程只應在旱季進行，在這個季節可以安全地拆除現有的溝渠。所有重建溝渠都應根據第8章的建議建造。若重建的溝渠的容量增加了，就可能需要重新建造修補段下游的所有渠溝。

一般不應使用管道作為斜坡上的地表排水。對於已經使用的管道，若發現有滲漏，或者需作更換時，在可能的情況下應按照第8章的要求建造溝渠，以取代管道。

#### 11.4.4 地下排水

在一般情況下，地底下水平排水斜管的有效性會隨時間而減低。當分析水平排水斜管所記錄的流量時，應記住由於排水管降低了地下水位以及穩定流態的形成，初期的高排水量將會隨後減少。因此，重要的是在每次檢查時記錄下每個排水管的流量，並建立與該地區降雨量以及測壓計讀數的關係，安裝測壓計應作為任何地下排水系統整體的一部分。當記錄到的流量增加時，應檢查排水以分析是否有管線設施漏水的任何跡象。如果有滲漏，應通知相應的公用事業公司，要求其查找及補漏。應檢查排水管水流是否有固體物質流失的跡象，如有必要，應進行化學分析以便確定滲漏來源。

如果測壓計的讀數顯示地下水位上升，但同時水平排水斜管的流量減少，這就意味著排水系統的有效性正在降低。利用合適設計的壓縮空氣和射水沖洗排水管，有可能恢復排水系統的部分功能。在一般情況下，不應對水平排水斜管施加水壓以試圖清洗水平排水斜管周圍的過濾材料，因為水滲入斜坡可能會導致斜坡崩塌。如果沖洗排水管後不能將該系統的有效性提高到可接受的水平，那就需要增設排水管。在可能的情況下，水平排水斜管的例行維修應包括除去排水口的堵塞物和排水管內的淤積物以及清洗或更換內部濾層。

應檢查排水廊道結構損壞的跡象，還應記錄流入水流的位置和流速，將其與總的排出水量進行比較。當水流量增加，但並非直接由降雨引起時，應檢查廊道的排水，以

找出有否污水管及輸水管滲漏的跡象。比較以前的水流流入位置和流速，可能顯示出導致水流量增加的滲漏源的大概位置。對於設置在排水廊道內的徑向排水孔應使用檢查水平排水斜管的同樣方法去檢查。應檢查設置在排水廊道內的水流量測試裝置，確定其操作正常。且還應檢查V型測槽的量測楔邊，如發現雜質或軟泥附著楔邊，應予以清除。亦應清除V型測槽上游的消力池中淤積的砂和粉土。

如果排水廊道出現損壞的跡象，應徵詢專家的建議，在獲得專家建議之前，不應作出修繕措施。

#### 11.4.5 管線設施

雨水管、污水管以及輸水管道是最可能影響斜坡穩定性的管線設施。但是，其它的管線例如電話線槽、電纜槽以及廢棄管道也能將水引入斜坡，從而降低斜坡的穩定性。在例行檢查中，應檢查所有管線設施的滲漏或水流跡象。當發現有滲漏或水流時，應根據第9章的敘述處理設施管道。檢查記錄應包括描繪一份顯示斜坡附近所有管線設施位置和性質的圖。如懷疑在斜坡附近的輸水管道和污水管有滲漏，並可能導致斜坡不穩，應要求有關的機構檢測輸水管道和污水管。

#### 11.5 通道

所有的坡級、溝渠和排水廊道都應設置通道以便檢查和維修。所有新斜坡的設計都應包括設置合適的通道。為避免閒人闖入及破壞，通道應安裝鎖閘。



---

[空白頁]

## 第十二章 資料來源

### 12.1 引言

本章匯集了與本手冊內各大範疇有關的主要資料來源。它涉及海外的地質及岩土工程資料來源，以及香港本地的地質、岩土工程、地形、水文以及氣象資料來源。就海外資料來源而言，本章只會涉及在香港最易接觸到的主要資料中心，而非旨在提供完整的資料。但在本地資料來源方面，載述範圍則較為全面。

本章所述機構的詳細名稱及地址，按字母順序載於第 12.5 節。

### 12.2 海外岩土工程資料來源

從海外的代理機構，可以獲得不少有關地球科學和岩土工程領域的資料服務。其中一些代理機構的服務範圍廣泛，而另一些則只限於提供已出版物的印本。提供這類服務的各大機構大多參加了於 1976 年在曼谷舉行的岩土工程信息資料系統研討會。該研討會的論文集 (Brand & Brenner, 1976) 提供了有關服務的詳細情況。

#### 12.2.1 亞洲岩土工程資料中心 (Asian Information Center for Geotechnical Engineering) (AGE)

AGE 成立於 1973 年，以低價格提供全球岩土工程資料服務，著重於亞洲地區。它由曼谷的亞洲理工學院 (Asian Institute of Technology) 運作。按年訂閱的會員可收到一些定期出版物。季刊 Current Awareness Service 收錄所有最近出版的雜誌、書籍、會議報道等的內容目錄。而 Asian Geotechnical Engineering Abstracts (半年刊) 則包括了亞洲出版文獻的摘要。總計 3 卷的收藏目錄載列了 AGE 收藏的全部地質和岩土工程出版物的名錄。AGE News 季刊向會員介紹世界各地的岩土工程活動情況。

AGE 的會員亦會收到 AGE Digest。該文摘以印刷方式載錄了貯存在 AGE 電腦數據庫中的 3 萬個條目。無論任何出版條文，均可輕易地透過其完善的關鍵詞檢索系統從數據庫中查閱得到 (若以 AGE Digest 查閱則較慢)。從 AGE 還可購買到該數據庫的電腦磁盤。

AGE 向其會員提供文獻目錄及參考資料的服務。它亦會以空郵方式，把其豐富收藏中的部分出版資料印件寄給會員及非會員。

#### 12.2.2 岩土工程文摘 (Geotechnical Abstracts) 及岩土索引 (Geodex)

岩土工程文摘 (Geotechnical Abstracts) 及岩土索引 (Geodex) 二者組成一個完整的岩土工程資料檢索系統，並得到國際土力學及基礎工程學會 (International Society

for Soil Mechanics and Foundation Engineering) 的認可。該系統以一個簡單的「透孔」卡片系統作為運作基礎，藉以檢索載於一系列印刷小冊子中的書籍和論文等的摘要代碼。

該系統的摘要由岩土工程文摘出版，它在德國土力學及基礎工程學會 (German National Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering) 的支持下運作。每月從世界各地發表的論文中選出 128 篇來出版摘要。這些論文摘要可以單篇文字形式或通過 Geodex 使用。喜歡使用傳統文件卡的人士，亦可選用文件卡版本。

岩土索引檢索系統已使用多年。在 1969 年岩土工程文摘開始出版之前，岩土索引是以單獨文件卡的形式製作論文摘要。該系統非常全面，囊括了世界各地的岩土工程文獻。自 1969 年以來，岩土索引一直使用人工文摘檢索系統來整理岩土工程文摘。目前該系統使用 347 個打孔關鍵詞卡，在岩土工程文摘索引中使用的每一個關鍵詞都有對應的詞卡。在揀出有關岩土工程問題的幾張關鍵詞卡後，只需將之疊在一起，便可找出符合所選取的關鍵詞的出版物文摘。

岩土工程文摘以及岩土索引檢索系統可通過年度訂閱獲取，而且可以二擇其一或二者並選。岩土工程文摘每年出版 12 期，岩土索引卡系統每 4 個月更新一次，訂閱者會收到根據前 4 個月的岩土工程文摘更新的卡片組。

自 1982 年以來，岩土工程文摘還每月出版名為新岩土工程題目 New Geotechnical Titles 的刊物，它分類列出最近出版的文獻，這項作為“當前動態”的服務，自動送給每一位岩土工程文摘訂戶。

### 12.2.3 其它海外服務

除了上述的資料系統之外，並沒有其他世界性的英文岩土工程資料檢索系統可供訂閱。然而，全球的一些著名圖書館可按讀者的要求，提供某些已發表論文的複印本。

英國圖書館有非常廣泛的收藏資料，並且可以提供快捷的航空郵寄服務。它與英國幾乎所有的大型圖書館均已聯網，因此能夠找到幾乎所有英國有的出版資料。

在英國，其他著名的岩土工程資料來源為英國地質調查局 (British Geological Survey)、倫敦地質學會 (Geological Society of London) 以及英國土木工程師學會 (Institution of Civil Engineers)。另外還有許多著名的大學圖書館。

挪威岩土工程研究院 (Norwegian Geotechnical Institute) 以及瑞典岩土工程研究院 (Swedish Geotechnical Institute) 有較好的岩土工程文獻的收藏。挪威岩土工程研究院除了具有可能是全球最好的岩土工程圖書館外，還保存有唯一的太沙基 (Terzaghi) 文集，其中包括太沙基的所有原始手稿以及項目報告，同時亦存有大量其他岩土工程先驅者的歷史資料。

法國道橋中央研究院 (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, France) 以及澳大利亞 CSIRO 的應用岩土力學研究所 (Division of Applied Geomechanics) 也具有較好的岩土工程圖書館。

## 12.3 本地岩土工程資料

### 12.3.1 關於香港的出版資料

針對香港的地質以及岩土工程情況，已經有 600 多篇文獻發表。這些文獻已列入最近由土力工程處編訂的香港地質及岩土工程文獻目錄 (Brand, 1984)，並可按要求索閱。在本手冊的第 149 頁選列了這些香港文獻中比較重要的文獻目錄。

除了一般讀者能容易獲得的出版資料外，在香港還有大量“未出版”的資料可以利用，它們在岩土工程勘察與設計領域內是有價值的。

在大會堂公眾圖書館內設有參考文獻部，其中存有大量已出版的香港地質及岩土工程資料，也存有一些未發表的報告。它還保存有相當有意義的香港文集。遺憾的是，查閱者不能直接查閱存放的文獻，而必須先從卡片式目錄系統找出想查閱的文獻。該圖書館設有投幣式複印機以服務公眾。

香港大學、香港中文大學以及香港理工大學都有大型的圖書館。特別是前兩所大學的圖書館收藏有一般的地質及岩土工程資料。一般讀者須得到特別許可後才可使用這三個圖書館，但真正有需要的訪客要獲得該項許可通常並不困難。香港大學保存有著名的香港資料集，其中有大量未出版的資料，還有大量有關地質以及岩土工程課題的碩士、博士學位論文。在大學圖書館有投幣式複印機供一般性使用。

香港歷史檔案處是香港政府永久檔案的中央存放處。它主要保存 1945 年以後的檔案，但也保存有一些早期的資料。它分類保存 1860 年以後的地圖及照片，同時保存有幾乎完整的香港政府憲報、藍皮書、立法局會期內的文件、部門年報、條例、規例以及香港立法局議事錄。立法局會期內的文件具有特別的重要性，因為它們包括了 1889 年以來的工務司的年度報告，這些報告能提供有關崩塌以及修補工程的資料。由香港歷史檔案處保存的詳盡的報紙資料也具有很大的價值。

### 12.3.2 土力工程處的岩土工程資料庫

土力工程處設有岩土工程資料庫，當中保存有大量關於香港的已出版以及沒有出版的資料。有興趣的讀者可以查閱這些資料，也可以利用複印設備。

列入香港地質及岩土工程文獻目錄 (Brand, 1984) 的每篇「短」論文的全文內容都存入土力工程處的岩土工程資料庫，同時存有「長」篇論文的題目及目錄。這些資料分年度訂裝成卷出版，且以作者姓氏字母排序。某些長篇論文的全文內容也可以在岩土工程資料庫中獲得，但它們是分開存放的。將來出版資料時，也會將之加入岩土工程資料集內。

岩土工程資料庫還存有大量「沒有出版」的文獻，它們直接涉及香港地質及岩土工程，其中包括滑坡、顯示鑽孔柱狀圖和室內試驗結果的場地勘察報告、以及由政府部門和顧問工程師就範圍廣泛的各種大小建築和土木工程項目所作的實情報告及繪圖。

存於岩土工程資料庫的文獻，可通過一個簡單的地圖參考系統，按地理位置找尋出來。電腦化的檢索系統目前也在計劃中。

### 12.3.3 香港政府部門

幾個政府部門都擁有對香港岩土工程有價值的資料，但要獲取這些資料並不容易。不過，對於有真正需要的索閱者，通常可以作出安排。

每個政府部門都存有本身所管理項目的檔案。需要使用這些項目資料進行設計或施工的人員，通常可以得到已完工項目的設計報告和記錄圖紙的複印本。

建築物條例執行處保存有私人開發項目的詳細記錄資料，保留時間為完工後大約7年，超過該時間後，這些檔案資料就會轉存到香港歷史檔案處。經建築物條例執行處秘書處的同意，可以查閱某份具體的記錄資料，但查閱者須提供物業的地址以及地段編號。

路政署存有香港大多數道路設計和施工的記錄資料。它還存有有關廢棄的第二次世界大戰防禦隧道的排水平面圖和位置平面圖，以及對它們進行修補的詳細資料。土木工程署的土木工程處保存有海港工程以及某些主要排水和污水管的記錄圖則。

水務署保存有由它管理的所有項目設施的記錄資料，其中包括輸水管、集水溝以及水塘。水務署在主要的集水區設有詳細的河道水流測量系統，有關的資料於有關雨量及徑流的年報中出版。

地政總署保存有整個香港地界的記錄資料，通過預約可以查閱這些資料。地政總署還負責出版地形圖以及航空照片，公眾可以從地政總署的銷售發行點購買。表 12.1 和 12.2 列出了目前可供選購的航空照片以及地圖目錄。

香港天文台長期地收集了詳細的天氣資料，並按月和按年出版降雨量記錄，供公眾使用。

政府總部圖書館存有某些資料，在歷史的觀點看這些資料是有用處的。其中包括有立法局會期內的交件、行政報告、統計摘要以及立法局會議記錄。政府新聞處的照片館和參考文獻館保存有整套的舊照片、報紙剪輯的微縮膠卷以及其他有用的資料。

政府印製的出版物可以在政府刊物銷售處購買。

### 12.3.4 其他本地資料來源

本地出版的某些報紙收集有好的照片，可按要求索閱。本地還有幾個有趣的舊照片私人收藏集。

有時向附近居民查詢過去某一特定事件的詳細情況可能是有用處的。用這種方式

常常能夠獲得較好的有關崩塌等情況的定性描述，但像發生的具體時間等細節往往是不可靠的。

#### 12.4 管線設施的資料

對於新斜坡、擋土牆以及場地平整的設計，或者對於維修或預防工程的展開，有關管線設施的資料常常是重要的。在香港與管線設施有關的主要私人公司以及政府部門的地址列在第 12.5 節。

#### 12.5 本章所述機構的地址

這一節按字母順序列出本章所述機構的地址。

Asian Information Center for  
Geotechnical Engineering,  
Asian Institute of Technology,  
P.O. Box 4, Klong Luang,  
Pathumthani, 12120, Thailand.  
(Tel.: 5239300)

British Library, Lending Division,  
Boston Spa, Wetherby,  
West Yorks LS23 7BQ, England.  
(Tel.: 0937 843434)

China Light & Power Company Ltd,  
147 Argyle Street, Kowloon.  
(Tel.: 2678 8111)

City Hall Public Library, City Hall  
Public Library, City Hall, Connaught Road  
Central,  
Hong Kong.  
(Tel.: 2921 2555)

Civil Engineering Office,  
1st & 15th floors,  
Civil Engineering Building,  
101 Princess Margaret Road,  
Homantin, Kowloon, Hong Kong.  
(Tel.: 2762 5111)

British Geological Survey,  
Library Services,  
Exhibition Road,  
London SW7 2DE,  
England.  
(Tel.: 01-589-9441)

Buildings Department,  
12th-18th floors, Pioneer Centre,  
750 Nathan Road, Kowloon.  
(Tel.: 2626 1616)

Chinese University of Hong Kong  
Library,  
12th Mile, Taipo Road,  
Shatin, New Territories.  
(Tel.: 2609 6969)

CSIRO Division of Applied  
Geomechanics, Kinnoult Grove, Syndal,  
P.O. Box 54, Mount Waverley,  
Victoria, Australia.  
(Tel.: 03-2326111)

Geodox International Inc,  
P.O. Box 279,  
Sonoma, California 95476, USA.

Geological Society of London,  
Burlington House,  
London W1V 0JU, England.  
(Tel.: 01-7345673)

Geotechnical Engineering Office,  
15th floor, Civil Engineering Building,  
101 Princess Margaret Road,  
Homantin, Kowloon, Hong Kong.  
(Tel.: 2762 5111)

Government Publications Centre,  
Ground floor, Low Block,  
Queensway Government Offices,  
66 Queensway, Hong Kong.  
(Tel.: 2537 1914)

Hong Kong and China Gas Company Ltd,  
363 Java Road,  
North Point, Hong Kong.  
(Tel. : 2963 3388)

Hong Kong Telecom,  
39th Floor,  
Hong Kong Telecom Tower,  
Taikoo Place, Quarry Bay,  
Hong Kong.  
(Tel.: 2888 2888)

Institution of Civil Engineers,  
Library,  
5 Great George Street,  
London SW1P 3AA, England.  
(Tel.: 01-9393611)

Lands Department,  
Murray Building, 1st-2nd Floors,  
Garden Road, Hong Kong.  
(Tel.: 2848 2198)

Public Records Office,  
2 Murray Road, Hong Kong.  
(Tel.: 2462 3739)

Geotechnical Abstracts,  
38 Römerstr., 5000 Köln 50,  
West Germany.  
(Tel.: 0221-353893)

Geotechnical Information Unit,  
Geotechnical Engineering Office,  
12th floor, Civil Engineering Building,  
101 Princess Margaret Road,  
Homantin, Kowloon, Hong Kong.  
(Tel.: 2762 5147)

Highways Department,  
5th floor, Homantin Government Offices,  
88 Chung Hau Street,  
Homantin, Kowloon.  
(Tel.: 2762 3333)

Hong Kong Electric Company Ltd,  
44 Kennedy Road,  
Hong Kong.  
(Tel.: 2843 3111)

Hong Kong Polytechnic Library,  
Yuk Choi Road, Hung Hom,  
Kowloon.  
(Tel.: 2766 6863)

Laboratoire Central des Ponts et  
Chaussées,  
Service IST-Publications,  
58 Boulevard Lefebvre,  
75732 Paris, Cedex 15, France.  
(Tel.: 1-5323179)

Norwegian Geotechnical Institute,  
P.O. Box 40, Tåsen,  
Oslo 8, Norway.  
(Tel.: 472-230388)

Swedish Geotechnical Institute,  
S-58101 Linköping, Sweden.  
(Tel.: 4613-115100)

University of Hong Kong Library,  
Pokfulam Road, Hong Kong.  
(Tel.: 2859 2202)

Water Supplies Department,  
Immigration Tower,  
7 Gloucester Road,  
Wanchai, Hong Kong.  
(Tel.: 2829 4500)



[空白頁]

## 參考文獻

- Ackers, P. (1969). Charts for the hydraulic design of channels and pipes. Hydraulics Research Station, Wallingford, Hydraulics Research Paper no. 2, 46 p.
- Akroyd, T.N.W. (1969). Laboratory Testing in Soil Engineering. Soil Mechanics Ltd., London, 249 p.
- Allen, P.M. & Stephens, E.A. (1971). Report on the Geological Survey of Hong Kong. Hong Kong Government Press, 107 p. plus 2 maps.
- Association of Gunite Contractors (1978). Code of Practice for the Spraying of Concrete, Otherwise Known as Gunite or Shotcrete. Association of Gunite Contractors, UK. 4 p.
- ASTM (1982a). Standard test method for bearing capacity of soil for static load on spread footings. Test designation D1194-72 (1977). Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, part 19, pp 256-258.
- ASTM (1982b). Standard method for field vane shear test in cohesive soil. Test designation D2573-72 (1978). Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, part 19, pp 399-402.
- ASTM (1982c). Standard test method for unconfined compressive strength of intact rock core specimens. Test designation D2938-79. Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, part 19, pp 457-460.
- ASTM (1982d). Standard method for direct shear test of soils under consolidated drained conditions. Test designation D3080-72 (1979). Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, part 19, pp 487-491.
- ASTM (1982e). Standard method for deep, quasi-static, cone and friction-cone penetration tests of soil. Test designation D3441-79. Annual Book of Standards, American Society for Testing and Materials, part 19, pp 524-531.
- Beattie, A.A. & Lam, C.L. (1977). Rock slope failures - their prediction and prevention. Hong Kong Engineer, vol. 5, no. 7, pp 37-40. (Discussion, vol. 5, no. 9, pp 27-29).
- Bell, G.J. & Chin, P.C. (1968). The probable maximum rainfall in Hong Kong. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Memoir no. 10, 145 p.
- Bishop, A.W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. Géotechnique, vol. 5, pp 7-17.
- Bishop, A.W. & Henkel, D.J. (1976). The Measurement of Soil Properties in the Triaxial Test. Edward Arnold, London, 227 p.

- Bishop, A.W., Kennard, M.F. & Penman A.D.M. (1961). Pore pressure observations at Selsset Dam. Proceedings of the Conference on Pore Pressure and Suction in Soils, London, pp 91-102.
- Bishop, A.W. & Morgenstern, N.R. (1960). Stability coefficients for earth slopes. Géotechnique, vol. 10, pp 129-150.
- Bjurstrom, S. (1974). Shear strength of hard rock joints reinforced by grouted untensioned bolts. Proceedings of the Third International Rock Mechanics Congress, Denver, Colorado, vol. 2B, pp 1194-1199.
- Brand, E.W. (1984). Bibliography on the Geology and Geotechnical Engineering of Hong Kong to December 1983. Geotechnical Control Office, Hong Kong, 59 p.
- Brand, E.W., Borrie, G.W. & Shen, J.M. (1983). Field measurements in Hong Kong residual soils. Proceeding of the International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Zurich, vol. 1, pp 639-648.
- Brand, E.W. & Brenner, R.P. (Editors) (1976). Proceedings of the Workshop on Géotechnical Information Systems, Bangkok, 91 p.
- Brand, E.W., Burnett, A.D. & Styles, K.A. (1982). The Geotechnical Area Studies Programme in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 107-123.
- Brand, E.W., Hencher, S.R. & Youdan, D.G. (1983). Rock slope engineering in Hong Kong. Proceedings of the Fifth International Rock Mechanics Congress, Melbourne, vol. 1, pp C17-C24.
- Brand, E.W. & Phillipson, H.B. (1984). Site investigation practice in Hong Kong. Site Investigation Manual, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, in press.
- Brenner, R.P. & Phillipson, H.B. (1979). Sampling of residual soils in Hong Kong. Proceedings of the International Symposium on Soil Sampling, Singapore, pp 109-120.
- Brian-Boys, K.C. & Howells, D.J. (1984). Model Specification for Prestressed Ground Anchors. Geotechnical Control Office, Hong Kong, 86 p.
- British Standards Institution (1975). Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes. (BS 1377 : 1975). British Standards Institution, London, 143 p.
- British Standards Institution (1981). Code of Practice for Site Investigation. (BS 5930 : 1981). British Standards Institution, London, 147 p.

- Broch, E. (1978). Estimation of strength anisotropy using the point load test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, and Geomechanics Abstracts, vol. 20, pp 181-187.
- Brook, N. (1980). Size correction for point load testing. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, and Geomechanics Abstracts, vol. 17, pp 231-235.
- Building Research Establishment (1981). Concrete in sulphate-bearing clays and ground waters. Building Research Establishment Digest no. 250, 4 p.
- Burland, J.B., Longworth, T.I. & Moore, J.F.A. (1977). A study of ground movement and progressive failure caused by a deep excavation in Oxford clay. Géotechnique, vol. 27, pp 557-592.
- Burland, J.B. & Moore, J.F.A. (1974). The measurement of ground displacement around deep excavations. Proceedings of the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, London, pp 52-69.
- Cedergren, H.R. (1977). Seepage, Drainage and Flow Nets. (Second edition). John Wiley & Sons, New York, 534 p.
- Cheney, J.E. (1974). Techniques & equipment using the surveyor's level for accurate measurement of building movement. Proceedings of the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, London, pp 85-99.
- Cheng, S. & Kwok, W.H. (1966). A statistical study of heavy rainfall in Hong Kong, 1947-1965. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 27, 27 p.
- Choi, E.C.C. (1977). Seepage around horizontal drains - two- and three-dimensional finite element analysis. Hong Kong Engineering, vol. 5, no. 9, pp 35-39.
- Chow, C.T. (1959). Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill Book Co., New York, 680 p.
- Clayton, C.R.I., Simons, N.E. & Mathews, M.C. (1982). Site Investigation. Granada Publishing, London, 424 p.
- Coates, D.F. (1970). Rock Mechanics Principles. Mines Branch Monograph no. 874, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, Canada, 454 p.
- Coates, D.J., Carter, P.G. & McFeat-Smith, I. (1977). Inclined drilling for the Kielder tunnels. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 10, pp 195-205.
- Cooke, R.U. & Doornkamp, J.C. (1974). Geomorphology in Environmental Management. Clarendon Press, Oxford, 413 p.

- De Beer E. (1977). Piles subjected to static lateral loads. Proceedings of the Specialty Session on the Effect of Horizontal Loads on Piles, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp 1-4.
- Dick, R.C. (1975). Insitu measurement of rock permeability : Influence of calibration error on test results. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, vol. 12, no. 3, pp 193-211.
- Dismuke, T.D. (1975). Cellular structures and braced excavations. Foundation Engineering Handbook, edited by H.F. Winterkorn & H.Y. Fang, pp 445-480. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- DuPont (1980). Blasters Handbook. (Sixteenth edition). E.I. du Pont Nemars & Co., Wilmington, Delaware, 494 p.
- Fookes, P.G. & Sweeney, M. (1976). Stabilisation and control of local falls and degrading rock slopes. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 9, pp 37-55.
- Forth, R.A. & Platt-Higgins, P.M. (1981). Methods of investigation of weathered rocks in Hong Kong. Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, vol. 2, pp 159-166. (Discussion, vol. 3, pp 1387).
- Franklin, J.A. (1977). Some practical considerations in the planning of field instrumentation. Proceedings of the International Symposium on Field Measurements in Rock Mechanics, Zurich, vol. 1, pp 3-13.
- Franklin, J.A., Broch, E. & Walton, G. (1971). Logging the mechanical character of rock. Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy, vol. 80, pp A1-A9.
- Fukuoka, M. (1977). The effects of horizontal loads on piles due to landslides. Proceedings of the Specialty Session on the Effect of Horizontal Loads on Piles, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp 27-42.
- Geological Society of London (1970). The logging of rock cores for engineering purposes : Geological Society Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 3, pp 1-24.
- Geological Society of London (1972). The preparation of maps and plans in terms of engineering geology : Geological Society Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 5, pp 295-381.
- Geological Society of London (1977). The description of rock masses for engineering purposes : Geological Society Engineering Group Working Party Report. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 10, pp 355-389.
- Geotechnical Control Office (1982a). Mid-levels Study : Report on Geology, Hydrology and Soil Properties. Hong Kong Government Printer, 265 p. plus 54 drgs.

- Geotechnical Control Office (1982b). Geoguide 1 : Guide to Retaining Wall Design. Hong Kong Government Printer, 154 p.
- Gould, J.P. (1970). Lateral pressures on rigid permanent structures. Proceedings of the Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth-retaining Structures, Ithaca, New York, pp 219-269.
- Government of Hong Kong (1968). Design floods in Hong Kong. Water Authority, Public Works Department, Report HS7, 60 p.
- Government of Hong Kong (1972). Final Report of the Commission of Inquiry into the Rainstorm Disasters, 1972. Hong Kong Government Printer, 91 p.
- Gray, D.H. (1978). Role of woody vegetation in reinforcing soils and stabilising slopes. Proceedings of the Conference on Soil Reinforcement and Stabilisation Technology in Engineering Practice, Sydney, pp 253-306.
- Gray, D.H. & Leiser, A.T. (1982). Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Van Nostrand Reinhold Company, New York, 271 p.
- Gray, D.H. & Megahan, W.F. (1981). Forest vegetation removal and slope stability in the Idaho Batholith. United States Department of Agriculture, Forest Service, Research Paper INT-27, 23 p.
- Gyenge, M. & Herget, G. (1977). Pit Slope Manual, Supplement 3-2 - Laboratory Tests for Design Parameters. CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology), CANMET Report 77-26, 74 p.
- Hanna, T.H. (1973). Foundation Instrumentation. Trans Tech Publications, Clausthal, 372 p.
- Head, K.H. (1982). Manual of Soil Laboratory Testing. Rentech Press, London, 747 p.
- Hencher, S.R. & Martin, R.P. (1982). Description and classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong. vol. 1, pp 125-142.
- Hencher, S.R. & Richards, L.R. (1982). The basic frictional resistance of sheeting joints in Hong Kong granite. Hong Kong Engineer, vol. 11, no. 2, pp 21-25.
- Hinds, D.V. (1974). A method of taking an impression of a borehole wall. Imperial College Rock Mechanics Research Report no. 28, 10 p.
- Hoek, E. & Bray, W.J. (1981). Rock Slope Engineering. (Third edition). Institution of Mining and Metallurgy, London, 358 p.

- Holtz, W.G. (1960). Discussion to session "Testing Equipment, Techniques, and Errors". Proceedings of the ASCE Research Conference on Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder, Colorado, pp 997-1002.
- Holtz, W.G. & Gibbs, H.J. (1956). Triaxial shear tests on previous gravelly soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol. 82, no. SM-1, pp 1-22.
- Hovland, H.J. (1977). Three dimensional slope stability analysis method. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, pp 971-986.
- Huntington, W.C. (1957). Earth Pressures and Retaining Walls. John Wiley & Sons, New York, 534 p.
- Huntley, S.L. & Randall, P.A. (1981). Recognition of colluvium in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 12, pp 13-18.
- Hutchinson, J.N. (1977). Assessment of the effectiveness of corrective measures in relation to geological conditions and types of slope movement. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, no. 18, pp 131-155.
- Hutchinson, J.N., Somerville, S.H. & Petley, D.J. (1973). A landslide in periglacially disturbed Etruria Marl at Bury Hill, Staffordshire. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 6, pp 377-404.
- Hvorslev, M.J. (1951). Time lag and permeability in groundwater observations. US Army Waterways Experiment Station, Bulletin no. 36, 50 p.
- Ingold, T.S. (1979). The effects of compaction on retaining walls. Géotechnique, vol. 29, pp 265-283.
- Institution of Civil Engineers (1976). Manual of Applied Geology for Engineers. Institution of Civil Engineers, London, 375 p.
- International Association of Engineering Geology (1976). Engineering Géological Maps. UNESCO Press, Paris, 79 p.
- International Association of Engineering Geology (1981). Report of the International Association of Engineering Geology Commission on Site Investigations. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, no. 24, pp 186-226.
- International Society for Rock Mechanics (1974). Suggested methods for determining shear strength. International Society for Rock Mechanics, Committee on Field Tests, Document no. 1, 23 p.
- International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, and Geomechanics Abstracts, vol. 15, pp 319-368.

- International Society for Rock Mechanics (1979). Suggested methods for determining the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, and Geomechanics Abstracts, vol. 16, pp 135-140.
- International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, and Geomechanics Abstracts, vol. 18, pp 85-100.
- Ito, T. & Matsui, T. (1977). The effects of piles in a row on slope stability. Proceedings of the Specialty Session on the Effect of Horizontal Loads on Piles, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp 81-86.
- Jaeger, J.C. & Cook, N.G.W. (1976). Fundamentals of Rock Mechanics. Chapman and Hall, London, 585 p.
- Janbu, N. (1972). Slope stability computations. Embankment Dam Engineering : Casagrande Volume, edited by R.C. Hirschfield & S. J. Poulos. John Wiley & Sons, New York, pp 47-86.
- Johnson, E.E. (1982). Groundwater and Wells. Johnson Division, Universal Oil Product Company, St. Paul, Minnesota, 440 p.
- Kenney, T.C. Pazin, M. & Choi, W.S. (1977). Design of horizontal drains for soil slopes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 103, pp 1311-1323.
- Kirkby, M.J. (Editor) (1978). Hillslope Hydrology. John Wiley & Sons, Chichester, U.K., 389 p.
- Lambe, T.W. & Whitman, R.V. (1969). Soil Mechanics. John Wiley & Sons, New York, 553 p.
- Langefors, U. & Kihlstorm, B. (1978). The Modern Technique of Rock Blasting. (Third edition). John Wiley & Sons, New York, 438 p.
- Leps, T.M. (1970). Review of shearing strength of rockfill. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol. 96, pp 1159-1170.
- Leråueil, S. & Tavenas, F. (1981). Pitfalls of back-analyses. Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, vol. 1, pp 185-190.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A. & Paulhus, J.L.H. (1982). Hydrology for Engineers. McGraw-Hill Book Co., New York, 508 p.
- Lumb, P. (1962). The effect of rainstorms on slope stability. Proceedings of the Symposium on Hong Kong Soils, Hong Kong, pp 78-87.



- Lumb, P. (1965). The residual soils of Hong Kong. Géotechnique, vol. 15, pp 180-194.
- Lumb, P. (1974). Applications of statistics in soil mechanics. Soil Mechanics - New Horizons, edited by I.K. Lee, pp 44-111. Newnes-Butterworth, London.
- Lumb, P. (1975). Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 8, pp 31-65.
- Lumb, P. & Lee, C.F. (1975). Clay mineralogy of the Hong Kong soils. Proceedings of the Fourth Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Kuala Lumpur, pp 141-150.
- Lumsdaine, R.W. & Tang, K.Y. (1982). A comparison of slope stability calculations. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 31-38.
- McFeat-Smith, I. (1982). Geotechnical feasibility study and site investigation for the Western Aquaduct Tunnels, Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 171-187.
- Moore, J.F.A. (1973). The photogrammetric measurement of constructional displacements of a rockfill dam. Photogrammetric Record, vol. 7, pp 628-648. (Reprinted as Building Research Establishment Current Paper CP 34/74, 1974, 16 p.).
- Moore, J.F.A. (1974). Mapping major joints in the Lower Oxford Clay using terrestrial photogrammetry. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 7, pp 57-67.
- Morgenstern, N.R. & Price, V.E. (1965). The analysis of the stability of general slip surfaces. Géotechnique, vol. 15, pp 79-93.
- Moye, D.G. (1955). Engineering geology for the Snowy Mountains Scheme, Journal of the Institution of Engineers, Australia, vol. 27, pp 287-298.
- Nassif, S.H. & Wilson, E.M. (1975). The influence of slope and rainfall intensity on runoff and infiltration. Hydrological Sciences Bulletin, vol. 20, no. 4.
- National Research Council of Canada (1975). Canadian Manual of Foundation Engineering. (Draft for public comment). Associate Committee on the National Building Code, National Research Council of Canada, Ottawa, 318 p.
- NAVFAC DM-7 (1971). Design Manual - Soil Mechanics, Foundations and Earth Structures. Department of the Navy, Naval Facilities Engineering Command, Washington DC, 223 p.
- Nixon, I.K. (1982). Standard penetration test - State-of-the-art report. Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, vol. 1, pp 3-24.

- O'Rourke, T.W., Cording, E.J. & Boscardin, H. (1976). Ground movements related to braced excavations and their influence on adjacent buildings. US Department of Transportation, Report DOT-TST 76T-23, 137 p.
- Parham, W.E. (1969). Halloysite-rich weathering products of Hong Kong. Proceedings of the International Clay Conference, Tokyo, vol. 1, pp 403-416.
- Pearson, R. & Money, M.S. (1977). Improvements in the Lugeon or packer permeability test. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 10, pp 221-239.
- Peck, R.B. (1969). Deep excavations and tunneling in soft ground. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, state-of-the art vol., pp 147-150.
- Penman, A.D.M. (1978). Pore pressure and movement in embankment dams. Water Power and Dam Construction, vol. 30, no. 4, 35 p.
- Peterson, P. & Kwong, H. (1981). A design rainstorm profile for Hong Kong. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 58, 30 p.
- Phillipson, H.B. & Chipp, P.N. (1981). High quality core-sampling - recent developments in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 4, pp 9-15.
- Piteau, D.R. & Jennings, J.E. (1970). The effects of plan geometry on the stability of natural slopes in rock in the Kimberley area of South Africa. Proceedings of the Second international Rock Mechanics Congress, Belgrade, vol. 3, paper 7-4, 7 p.
- Pope, R.G. & Ho, C.S. (1982). The effect of piles and caissons on groundwater flow. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 11, pp 25-27.
- Pope, R.G., Weeks, R.C. & Chipp, P.N. (1982). Automatic recording of standpipe piezometers. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 77-89.
- Poulos, H.G. (1976). Behaviour of laterally loaded piles near a cut slope. Australian Geomechanics Journal, vol. G6, no. 1, pp 6-12.
- Poulos, H.G. & Davis, E.H. (1980). Pile Foundation Analysis and Design. John Wiley & Sons, New York, 397 p.
- Prandini, L., Guidicini, C., Bottura, J.A., Pancano, W.L. & Santos, A.R. (1977). Behaviour of the vegetation in slope stability : a critical review. Bulletin of the International Association of Engineering Geology, no. 16, pp 51-55.
- Prellwitz, R.W. (1978). Analysis of parallel drains for highway cut-slope stabilization. Proceedings of the Sixteenth Annual Engineering Geology and Soils Engineering Symposium, Boise, Idaho, pp 153-180.

- Rankilor, P.R. (1981). Membranes in Ground Engineering. John Wiley & Sons, New York, 377 p.
- Richards, B.G. (1971). Psychrometric techniques for field measurements of negative pore pressure in soils. Proceedings of the First Australia - New Zealand Conference on Geomechanics, Melbourne, vol. 1, pp 387-394.
- Richards, L.R. & Cowland, J.W. (1982). The effect of surface roughness on the field shear strength of sheeting joints in Hong Kong granite, Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 10, pp 39-43.
- Ritchie, A.M. (1963). Evaluation of rockfall and its control. Highway Research Board, Record no. 17, pp 13-28.
- Ross-Brown, D.M. & Atkinson, K.B. (1972). Terrestrial photogrammetry in open-pits : I - description and use of the phototheodolite in mine surveying. Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, vol. 81, pp A205-A213.
- Ross-Brown, D.M. & Walton, G. (1975). A portable shear box for testing rock joints. Rock Mechanics, vol. 7, no. 3, pp 129-153.
- Ross-Brown, D.M., Wickens, E.H., & Markland, J.T. (1973). Terrestrial photogrammetry in open-pits : II - an aid to geological mapping. Transactions of the Institution of Mining & Metallurgy, vol. 82, pp A115-A130.
- Ruxton, B.P. & Berry, L. (1957). Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 68, pp 1263-1292.
- Sage, R. (1977). Pit Slope Manual, Chapter 6 - Mechanical Support. CANMET (Canada Centre for Mineral and Energy Technology), CANMET Report 77-3, 111 p.
- Sarma, S.K. (1979). Stability analysis of embankments and slopes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 105, pp 1511-1524. Schiechl, H. (1980). Bioengineering for Land Reclamation and Conservation. University of Alberta Press, Edmonton, 404 p.
- Schmidt, H.G. (1977). Large diameter bored piles for abutments. Proceedings of the Specialty Session on the Effect of Horizontal Loads on Piles, Ninth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp 107-112.
- Sharp, J.C. (1970). Drainage characteristics of Subsurface galleries. Proceedings of the Second International Congress on Rock Mechanics, Belgrade, vol. 3, paper no. 6-10, 8 p.
- Sharp, J.C. Hoek, E. & Brawner, C.O. (1972). Influence of groundwater on the stability of rock masses; 2 - drainage systems for increasing the stability of slopes. Proceedings of the Institution of Mining & Metallurgy, vol. 81, pp A113-A120.

- Spalding, R. (1970). Selection of materials for sub-surface drains. Road Research Laboratory, U.K., Report LR 346, 28 p.
- Sweeney, D.J. (1982). Some insitu soil suction measurement in Hong Kong's residual soil slopes. Proceedings of the Seventh Southeast Asia Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 91-106.
- Terzaghi, K. & Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice. John Wiley & Sons, New York, 729 p.
- Tin, Y.K. (1969). Stormwater drainage design in Hong Kong. Sewage and Drainage Advisory Unit, Civil Engineering Office, Hong Kong Government, Technical Report no. 6, 16 p.
- Todd, D.K. (1980). Groundwater Hydrology. (Second edition). John Wiley & Sons, New York, 535 p.
- Tong, P.Y.L. & Maher, R.O. (1975). Horizontal drains as a stabilizing measure. Journal of the Engineering Society of Hong Kong, vol. 3, no. 1, pp 15-27.
- Tregear, T.R. & Berry, L. (1959). The Development of Hong Kong and Kowloon as Told in Maps. Hong Kong University Press, 35 p. plus 1 map.
- Tynes, W.O. & McCleese, W.F. (1974). Investigation of shotcrete. US Army Waterways Experiment Station, Technical Report C-74-5, 38 p. plus 10 figs. & tables.
- United States Army Corps of Engineers (1953). Filter experiments and design criteria. US Army Waterways Experiment Station, Technical Memoir no. 3-360, 55 p.
- United States Army Corps of Engineers (1955). Drainage and Erosion Control - Subsurface Drainage Facilities for Airfields. Part 13, chapter 2, Engineering Manual, Military Construction, Washington, 15 p.
- United States Bureau of Reclamation (1973). Design of Small Dams. (Second edition). US Government Printer, Washington, 235 p.
- United States Bureau of Reclamation (1974). Earth Manual. (Second edition). US Government Printer, Washington, 810 p.
- Urban Services Department (1971). Hong Kong Shrubs. Hong Kong Government Printer, 113 p.
- Urban Services Department (1974). Hong Kong Herbs and Vines. Hong Kong Government Printer, 114 p.
- Urban Services Department (1977). Hong Kong Trees. (Second edition). Hong Kong Government Printer, 2 volumes, 170 p.

- Van Zuidam, R.A. & Van Zuidam-Cancelado, F.I. (1979). Terrain analysis and classification using aerial photographs. ITC Textbook of Photo-Interpretation, vol. 7, chapter 6. International Institute for Aerial Survey and Earth Science (ITC). Netherlands, 310 p. plus 23 p. supplement.
- Vaughan, P.R. (1974). The measurement of pore pressure with piezometers. Proceedings of the Symposium on Field Instrumentation in Geotechnical Engineering, London, pp 411-422.
- Vesic, A.S. (1975). Bearing capacity of shallow foundations. Foundation Engineering Handbook, edited by H.F. Winterkorn and H.Y. Fang, pp 121-147. Van Nostrand Reinhold, New York.
- Wang, W.L. & Yen, B.C. (1974). Soil arching in slopes. Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 100, pp 61-78.
- Windle, D. & Wroth, C.P. (1972). The use of a self-boring pressuremeter to determine the undrained properties of clays. Ground Engineering, vol. 10, no. 6, pp 37-46.
- Wong, K.K. (1970). Pore Water Suction in Hong Kong Soils by Psychometric Measurements. MSc(Eng) Thesis, University of Hong Kong, 180 p.
- Wu, T.H. (1975). Retaining walls. Foundations Engineering Handbook, edited by H.F. Winterkorn & H.Y. Fang, pp 402-413. Van Nostrand Reinhold, New York.

## 香港文獻

This Bibliography contains selected references to useful publications on the geology and geotechnical engineering of Hong Kong. A more comprehensive list is given by Brand (1984).

Allen, P.M. & Stephens, E.A. (1971). Report on the Geological Survey of Hong Kong. Hong Kong Government Press, 116 p. plus 2 maps.

Anderson, M.G., McNicholl, D.P. & Shen, J.M. (1983). On the effect of topography in controlling soil water conditions, with specific regard to cut slope piezometric levels. Hong Kong Engineer, vol. 11, no. 11, pp 35-41.

Beattie, A.A. & Attewill, L.J.S. (1977). A landslide study in the Hong Kong residual soils. Proceedings of the Fifth Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Bangkok, pp 177-188.

Beattie, A.A. & Chau, E.P.Y. (1976). The assessment of landslide potential with recommendations for future research. Hong Kong Engineer, vol. 4, no. 1, pp 27-44. (Discussion, vol. 4, no. 2, pp 55-62).

Beattie, A.A. & Lam, C.L. (1977). Rock slope failures - their prediction and prevention. Hong Kong Engineer, vol. 5, no. 7, pp 27-40. (Discussion, vol. 5, no. 9, pp 27-29).

Beattie, A.A. & Mak, B.L. (1982). Design and construction of an anchored-buttruss caisson retaining wall. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 465-480. (Discussion, vol. 2, pp 277-278).

Bell, G.J. & Chin, P.C. (1968). The probable maximum rainfall in Hong Kong. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Memoir no. 10, 154 p.

Berry, L. & Ruxton, B.P. (1960). The evolution of Hong Kong Harbour basin. Zeitschrift für Geomorphologie, vol. 4, no. 2, pp 97-115 (plus 7 plates).

Boonsinsuk, P. & Young, R.N. (1982). Analyses of Hong Kong residual soil slopes. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 463-483.

Bowler, R.A. & Phillipson, H.B. (1982). Landslip preventive measures - a review of construction. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 10, pp 13-31.

Brand, E.W. (1981). Some thoughts on rain-induced slope failures. Proceedings of the Tenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, vol. 3, pp 373-376.

- Brand, E.W. (1982a). Analysis and design in residual soils. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 89-143.
- Brand, E.W. (1982b). Moderator's Report on slope stability with special reference to residual soils. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 2, pp 27-57.
- Brand, E.W. (1984). Bibliography on the Geology and Geotechnical Engineering of Hong Kong to December 1983. Geotechnical Control Office, Hong Kong, 59 p.
- Brand, E.W., Borrie, G.W. & Shen, J.M. (1983). Field measurements in Hong Kong residual soils. Proceedings of the International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Zurich, vol. 1, pp 639-648.
- Brand, E.W., Burnett, A.D. & Styles, K.A. (1982). The Geotechnical Area Studies Programme in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 107-123.
- Brand, E.W., Hencher, S.R. & Youdan, D.G. (1983). Rock slope engineering in Hong Kong. Proceedings of the Fifth International Rock Mechanics Congress, Melbourne, vol. 1, pp C17-C24.
- Brand, E.W. & Hudson, R.R. (1982). CHASE - An empirical approach to the design of cut slopes in Hong Kong soils. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 1-16. (Discussion, vol. 2, pp 61-72 and 77-79).
- Brand, E.W. & Phillipson, H.B. (1984). Site investigation practice in Hong Kong. Site Investigation Manual, International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, in press.
- Brand, E.W., Phillipson, H.B., Borrie, G.W. & Clover, A.W. (1983). In-situ direct shear tests on Hong Kong residual soils. Proceedings of the International Symposium on Soil and Rock Investigations by In-situ Testing, Paris, vol. 2, pp 13-17. (Discussion, vol. 3, pp 55-56).
- Brand, E.W., Premchitt, J. & Phillipson, H.B. (1984). Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, in press.
- Brand, E.W., Styles, K.A. & Burnett, A.D. (1982). Geotechnical land-use maps for planning in Hong Kong. Proceedings of the Fourth Congress of the International Association of Engineering Geology, New Delhi, vol. 1, pp 145-153.
- Brenner, R.P. & Phillipson, H.B. (1979). Sampling of residual soils in Hong Kong. Proceedings of the International Symposium on Soil Sampling, Singapore, pp 109-120.

- Brimicombe, A.J. (1982). Engineering site evaluation from aerial photographs. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 2, pp 139-148.
- Bryant, J.M. (1982). Engineering geological applications of aerial photograph interpretation in Hong Kong. Proceedings of the Fourth Congress of the International Association of Engineering Geology, New Delhi, vol. 1, pp 155-166.
- Burnett, A.D. & Styles, K.A. (1982). An approach to urban engineering geological mapping as used in Hong Kong. Proceedings of the Fourth Congress of the Association of Engineering Geology, New Delhi, vol. 1, pp 167-176.
- Buttling, S. (1983). Slurry trench stability in Hong Kong - a state of the art review. Hong Kong Engineer, vol. 11, no. 4, pp 49-51.
- Carlyle, W.J. (1965). Shek Pik Dam. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 30, pp 557-588. (Discussion, vol. 35, 1966, pp 145-169).
- Chappell, B.A. & Tonge, W.A. (1975). Investigations for the Aberdeen Tunnel. Tunnels & Tunnelling, vol. 7, no. 6, pp 52-54.
- Chappell, B.A. & Tonge, B. (1976). Design parameters for Aberdeen tunnel, Hong Kong. Proceedings of the Symposium on Exploration for Rock Engineering, Johannesburg, vol. 1, pp 181-188.
- Chen, T.Y. (1969). The Severe Rainstorms in Hong Kong during June 1966. Supplement to Meteorological Results, 1966. Royal Observatory, Hong Kong, 82 p.
- Cheng, T.T. & Yerg, M.C. (1979). The severe rainfall occasion, 16-18 June 1972. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 51, 108 p.
- Chipp, P.N., Clare, D.G., Henkel, D.J. & Pope, R.G. (1982). Field measurement of suction in colluvium covered slopes in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 49-62.
- Chiu, T.N. & So, C.L. (Editors) (1983). A Geography of Hong Kong. Oxford University Press, Hong Kong, 299 p.
- Choi, Y.L. (1974). Design of horizontal drains. Journal of the Engineering Society of Hong Kong, vol. 2, no. 4, pp 37-49.
- Davies, R.V. & Henkel, D.J. (1980). Geotechnical problems associated with the construction of Chater Station, Hong Kong. Proceedings of the Conference on Mass Transportation in Asia, Hong Kong, paper J3, 31 p.
- Davis, S.G. (1949). Hong Kong in Its Geographical Setting. Collins, London, 226 p.



- Davis, S.G. (1952). The Geology of Hong Kong. Government Printer, Hong Kong, 231 p. plus 14 plates & 3 maps.
- Dunnicliff, J.D. (1968). Instrumentation of the Plover Cove main dam. Géotechnique, vol. 18, pp 283-300 (plus 2 plates).
- Eastaff, D.J. (1964). Some aspects of Stage 1 of the Plover Cove water scheme : Influence of geology on the design of Stage I. Proceedings of the Engineering Society of Hong Kong, vol. 18, pp 5.33-5.38.
- Elliott, S.G., Ford, S.E.H. & Oules, J. (1967). Construction of the Plover Cove dams. Proceedings of the Ninth International Congress on Large Dams, Istanbul, vol. 4, pp 85-110.
- Endacott, G.B. (1962). Reclamation in Hong Kong : a retrospective view. The Far East Engineer, vol. 3, no. 4, pp 50-53.
- Endacott, G.B. (1963). Some early problems of water supply in Hong Kong. The Far East Engineer, vol. 4, no. 1, pp 54-58 and 80.
- Endicott, L.J. (1980). Aspects of design of underground railway structures to suit local soil conditions in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 8, no. 3, pp 29-38.
- Endicott, L.J. (1982). Analysis of piezometer data and rainfall records to determine groundwater conditions. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 9, pp 53-56.
- Engineering Society of Hong Kong (1969). The Hong Kong water resources survey. Proceedings of the Engineering Society of Hong Kong, vol. 23, pp 2.1-2.16 (plus 2 drgs).
- Flintoff, W.T. & Cowland, J.W. (1982). Excavation design in residual soil slopes. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 539-556.
- Foott, R. (1982). Moderator's Report on settlement. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 2, pp 353-363. (Discussion, pp 369).
- Ford, S.E.H. & Elliott, S.G. (1965). Investigation and design of the Plover Cove Water Scheme. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 32, pp 255-293. (Discussion, vol. 35, 1966, pp 342-358).
- Forth, R.A. & Platt-Higgins, P.M. (1981). Methods of investigation of weathered rocks in Hong Kong. Proceedings of the International Symposium on Weak Rock, Tokyo, vol. 2, pp 159-166. (Discussion, vol. 3, pp 1387).

- Fredlund, D.G. (1981). The shear strength of unsaturated soil and its relationship to slope stability problems in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 4, pp 37-45 (Discussion, vol. 10, 1982, no. 1, pp 41-42 and no. 6, pp 57-59).
- French, B. & Squire, S. (1980). Physical Geography for Hong Kong. (Second edition). Oxford University Press, Hong Kong, 192 p.
- Gardiner, T.L. (1965). Blasting in Hong Kong ; a Guide for Users of Explosives. Government Press, Hong Kong, 88 p.
- Geological Society of Hong Kong (1983). Proceedings of the Meeting on the Surficial Deposits of Hong Kong, Hong Kong, edited by W.W.S. Yim & A.D. Burnett. Geological Society of Hong Kong, in press.
- Geotechnical Control Office (1979). Geotechnical Manual for Slopes. (First edition). Hong Kong Government Printer, 242 p. plus 19 plates & 1 drg. (Reprinted with corrections, 1981).
- Geotechnical Control Office (1982a). Mid-levels Study : Report on Geology, Hydrology and Soil Properties. Hong Kong Government Printer, 265 p. plus 54 drgs.
- Geotechnical Control Office (1982b). Geoguide 1 : Guide to Retaining Wall Design. Hong Kong Government Printer, 154 p.
- Goudy, A.P. (1965). Shek Pik submarine pipeline, Hong Kong water supply. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 30, pp 531-555. (Discussion, vol. 35, 1966, pp 145-169).
- Government of Hong Kong (1972a). Interim Report of the Commission of Inquiry into the Rainstorm Disasters, 1972. Hong Kong Government Printer, 20 p.
- Government of Hong Kong (1972b). Final Report of the Commission of Inquiry into the Rainstorm Disasters, 1972. Hong Kong Government Printer, 91 p.
- Government of Hong Kong (1974). Buildings Ordinance (and Building Regulations). Laws of Hong Kong, Chapter 123, revised edition 1974. Hong Kong Government Printer, 292 p. (Many amendments up to 1983).
- Government of Hong Kong (1977). Report on the Slope Failures at Sau Mau Ping, August 1976. Hong Kong Government Printer, 104 p. plus 8 drgs.
- Grace, H. & Henry, J.K.M. (1957). The planning and design of the new Hong Kong airport. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, vol. 7, pp 275-305 (plus 2 plates & 2 drgs). (Discussion, pp 305-325).
- Greenway, D.R., Anderson, M.G. & Brian-Boys, K.C. (1984). Influence of vegetation on slope stability in Hong Kong. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, in press.

- Guilford, C.M. & Chan, H.C. (1969). Some soils aspects of the Plover Cove marine dam. Proceedings of the Seventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Mexico City, vol. 2, pp 291-299.
- Hencher, S.R. & Martin, R.P. (1982). The description and classification of weathered rocks in Hong Kong for engineering purposes. Proceedings of the Seventh South-east Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 125-142. (Discussion, vol. 2, pp 167-168).
- Hencher, S.R. & Martin, R.P. (1984). The failure of a cut slope on the Tuen Mun Road in Hong Kong. Proceedings of the International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St Louis, Missouri, in press.
- Hencher, S.R., Massey, J.B. & Brand, E.W. (1984). Application of back analysis to some Hong Kong landslides. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, in press.
- Hencher, S.R. & Richards, L.R. (1982). The basic frictional resistance of sheeting joints in Hong Kong granite. Hong Kong Engineer, vol. 11, no. 2, pp 21-25.
- Ho, D.Y.F. & Fredlund, D.G. (1982a). Increase in strength due to suction for two Hong Kong soils. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 263-295.
- Ho, D.Y.F. & Fredlund, D.G. (1982b). A multistage triaxial test for unsaturated soils. Geotechnical Testing Journal, vol. 5, pp 18-25.
- Hong Kong Joint Group of the Institutions of Civil, Mechanical and Electrical Engineers (1962). Proceedings of the Symposium on Hong Kong Soils, edited by P. Lumb. Hong Kong Joint Group, Hong Kong, 149 p. plus 18 drgs.
- Hong Kong Water Authority. (Annual). Hong Kong Rainfall and Runoff. Hong Kong Water Authority, vol. 1 (1966), vol. 2 (1967) ... vol. 18 (1983).
- Hudson, R.R. & Hencher, S.R. (1984). The delayed failure of a large cut slope in Hong Kong. Proceedings of the International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, St Louis, Missouri, in press.
- Hunt, T. (1982). Slope failures in colluvium overlying weak residual soils in Hong Kong. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 443-462.
- Huntley, S.L. & Randall, P.A. (1981). Recognition of colluvium in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 12, pp 13-18.
- Insley, H. & McNicholl, D. (1981). Groundwater monitoring of a soil slope in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 63-75.

- Kennard, R.M., Harman, P.T. & Boyd, M. (1982). Reinforced earth in an Hong Kong context. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 497-513.
- Koo, Y.C. (1982a). Relict joints in completely decomposed volcanics in Hong Kong. Canadian Geotechnical Journal, vol. 19, pp 117-123.
- Koo, Y.C. (1982b). The mass strength of jointed residual soils. Canadian Geotechnical Journal, vol. 19, pp 225-231.
- Koo, Y.C. (1982c). The influence of relict joints on slopes in weathered water-laid volcanics in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 23-30.
- Koo, Y.C. & Lumb, P. (1981). Correlation between rainfall intensities and groundwater levels in the natural slopes of Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 10, pp 49-52.
- Lai, K.W. (1981). A note on the seismogeology of Hong Kong. Hong Kong Baptist College Academic Journal, vol. 8, pp 147-164.
- Lai, K.W. & Taylor, B.W. (1983). The classification of colluvium in Hong Kong. Proceedings of the Meeting on the Geology of Surficial Deposits in Hong Kong, Hong Kong, in press.
- Lam, H.K. (1980). Earthquakes. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 28, 55 p.
- Lau, R (1972). Seismicity of Hong Kong. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 33, 30 p. (Reprinted with revisions, 1977).
- Lawson, C.R. (1982). Geotextile Filter Studies on Hong Kong Decomposed Granite Soils. ICI Fibres, Interim Report, 57 p.
- Leach, B. (1982). The development of a groundwater recharge model for Hong Kong. Journal of Hydrological Sciences, vol. 4, pp 469-491.
- Leach, B. & Herbert, R. (1982). The genesis of a numerical model for the study of the hydrogeology of a steep hillside in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 15, pp 243-259.
- Lee, P.K.K. & Ma, K.O. (1982). The use of decomposed granite in reinforced earth structures. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 515-527. (Discussion, vol. 2, pp 273-274).
- Lo, C.P. (1978). Landslide mapping with the CPI plotter. Photogrammetric Record, vol. 9, pp 377-389.

- Lumb, P. (1962a). General nature of the soils of Hong Kong. Proceedings of the Symposium on Hong Kong Soils, Hong Kong, pp 19-32 (plus 1 drg).
- Lumb, P. (1962b). Effect of rain storms on slope stability. Proceedings of the Symposium on Hong Kong Soils, Hong Kong, pp 73-87.
- Lumb, P. (1962c). The properties of decomposed granite. Géotechnique, vol. 12, pp 226-243 (plus 2 plates).
- Lumb, P. (1964). Multi-stage triaxial tests on undisturbed soil. Civil Engineering and Public Works Review, vol. 59, pp 591-595.
- Lumb, P. (1965). The residual soils of Hong Kong. Géotechnique, vol. 15, pp 180-194. (Discussion, vol. 16, 1966, pp 78-81 and 359-360).
- Lumb, P. (1966). The variability of natural soils. Canadian Geotechnical Journal, vol. 3, no. 2, pp 74-97.
- Lumb, P. (1972). Landslides in Hong Kong. Proceedings of the First International Symposium on Landslide Control, Kyoto, pp 91-93.
- Lumb, P. (1974). Application of statistics in soil mechanics. Soil Mechanics - New Horizons, edited by I.K. Lee, pp 44-111. Newnes-Butterworths, London.
- Lumb, P. (1975a). Slope failures in Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 8, pp 31-65.
- Lumb, P. (1975b). Spatial variability of soil properties. Proceedings of the Second International Conference on the Application of Probability and Statistics in Soil and Structural Engineering, Aachen, vol. 2, pp 397-421.
- Lumb, P. (1977). The marine soils of Hong Kong and Macau. Proceedings of the International Symposium on Soft Clay, Bangkok, pp 45-58. (Published under the title Geotechnical Aspects of Soft Clays, edited by R.P. Brenner & E.W. Brand, Asian Institute of Technology, Bangkok, 1977).
- Lumb, P. (1979). Statistics of natural disasters in Hong Kong, 1884-1976. Proceedings of the Third International Conference on the Applications of Statistics and Probability to Soil and Structural Engineering, Sydney, vol. 1, pp 9-22.
- Lumb, P. (1980). Natural disasters involving slope failures. Paper presented at the Research Seminar on Soil and Rock Structures, Leura, Australia, 17 p.
- Lumb, P. (1983). Engineering properties of fresh and decomposed igneous rocks from Hong Kong. Engineering Geology, vol. 19, pp 81-94.

- Lumsdaine, R.W. & Tang, K.Y. (1982). A Comparison of slope stability calculations. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 31-38.
- Malone, A.W. (1982). Moderator's Report on retaining walls and basements. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 2, pp 249-271. (Discussion, vol. 2, pp 275-280).
- Malone, A.W. & Shelton, J.C. (1982). Landslides in Hong Kong 1978-1980. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 425-442.
- McFeat-Smith, I. & Lumb, P. (Editors) (1982). Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong. Southeast Asian Geotechnical Society, Bangkok, 2 volumes, 1408 p.
- Millburn, R. (1961). The Kowloon Foothills Road investigation and design. The Far East Engineer, vol. 2, no. 3, pp 12-19 and 51-59.
- Moh, Z.C., Chiang, Y.C. & Ou, C.D. (1979). Design and construction of a high retaining scheme. Proceedings of the Sixth Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Singapore, vol. 1, pp 233-236.
- Morgenstern, N.R. (1978). Mobile soil and rock flows. Geotechnical Engineering, vol. 9, pp 123-141.
- Morgenstern, N.R. (1980). Factors affecting the selection of shear strength parameters in slope stability analysis. Proceedings of the International Symposium on Landslides. New Delhi, vol. 2, pp 83-93.
- Nash, J.M. & Dale, M.J. (1983). Geology and hydrology of natural tunnel erosion in superficial deposits in Hong Kong. Proceedings of the Meeting on the Geology of Surficial Deposits in Hong Kong, Hong Kong, in press.
- O'Rourke, G.B. (1972). A cutting failure in Hong Kong granite. Proceedings of the Third Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Hong Kong, pp 161-169. (Discussion, pp 398-399).
- Peterson, P. & Kwong, H. (1981). A design rain storm profile for Hong Kong. Royal Observatory, Hong Kong, Technical Note no. 58, 34 p.
- Phillipson, H.B. & Chipp, P.N. (1981). High quality core sampling - recent developments in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 9, no. 4, pp 9-15.
- Phillipson, H.B. & Chipp, P.N. (1982). Air foam sampling of residual soils in Hong Kong. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 339-356.

- Pike, J.K. & Kwok, M.K. (1977). Landforms, Weather and Climate. Greenwood Press, Hong Kong, 131 p.
- Pope, R.G., Weeks, R.C. & Chipp, P.N. (1982). Automatic recording of standpipe piezometers. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 77-89.
- Randall, P.A. & Taylor, B.W. (1982). Engineering geology in the Mid-levels Study, Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 189-204.
- Richards, L.R. & Cowland, J.W. (1982). The effect of surface roughness on the field shear strength of sheeting joints in Hong Kong granite. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 10, pp 39-43.
- Ridley-Thomas, W.N. (1982). The application of engineering geophysical techniques to site investigations in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 205-226.
- Rodin, S., Henkel, D.J. & Brown, R.L. (1982). Geotechnical study of a large hillside area in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 5, pp 37-45.
- Royal Observatory. (Monthly). Monthly Weather Summary. Royal Observatory, January 1976.
- Ruxton, B.P. (1960). The geology of Hong Kong. Quarterly Journal of the Geological Society of London, vol. 115, pp 233-260 (plus 2 plates & 1 map).
- Ruxton, B.P. & Berry, L. (1957). Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong. Bulletin of the Geological Society of America, vol. 68, pp 1263-1291 (plus 1 plate).
- Shen, J.M. & Howat, M.D. (1982). Discussion on "The shear strength of unsaturated soil and its relationship to slope stability problems in Hong Kong" by D.G. Fredlund. Hong Kong Engineer, vol. 10, no. 1, pp 41-42. (Discussion, vol. 10, no. 6, pp 57-59).
- Slinn, M.A. & Greig, G.L. (1976). The design and some constructional aspects of Tuen Mun Road. Hong Kong Engineer, vol. 4, no. 2, pp 37-50. (Discussion, vol. 4, no. 3, pp 69-72).
- So, C.L. (1971). Mass movements associated with the rainstorm of June 1966 in Hong Kong. Transactions of the Institute of British Geographers, no. 53, pp 55-65.
- So, C.L. (1976). Some problems of slopes in Hong Kong. Geografiska Annaler, vol. 58a, no. 3, pp 149-154.
- So, C.L. (1978). Problems of slope instability : the Hong Kong experience. Phillipine Geographical Journal, vol. 22, 180-187.

- Starr, D.C. & Finn, P.S. (1979). Practical aspects of rock slope stability assessment in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 7, no. 10, pp 49-56.
- Starr, D.C., Stiles, A.P. & Nisbet, R.M. (1981). Rock slope stability and remedial measures for a residential development at Tsuen Wan, Hong Kong. Quarterly Journal of Engineering Geology, vol. 14, pp 175-193.
- Styles, K.A. (1982). Aerial photograph interpretation - terrain classification. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 2, pp 149-158.
- Styles, K.A. (1983). Delineation of Colluvial Deposits in Hong Kong using the Technique of Terrain Classification. Proceedings of the Meeting on the Geology of Surficial Deposits in Hong Kong, Hong Kong, in press.
- Styles, K.A., Burnett, A.D. & Cox, D.C. (1982). Geotechnical assessment of the terrain for land management and planning purposes in Hong Kong. Proceedings of the First International Symposium on Soil, Geology and Landforms : Impact on Land Use Planning in Developing Countries, Bangkok, pp F16.1-F16.9.
- Styles, K.A., Hansen, A., Dale, M.J. & Burnett, A.D. (1984). Terrain classification methods for development planning and geotechnical appraisal : a Hong Kong case. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, in press.
- Sweeney, D.J. (1982). Some in situ soil suction measurements in Hong Kong's residual soil slopes. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 91-106. (Discussion, vol. 2, pp 93-96).
- Sweeney, D.J. & Robertson, P.K. (1979). A fundamental approach to slope stability problems in Hong Kong. Hong Kong Engineer, vol. 7, no. 10, pp 35-44.
- Taylor, B.W. & Randall, P.A. (1983). Engineering geology of colluvium in Hong Kong. Proceedings of the Meeting on the Geology of Surficial Deposits in Hong Kong, Hong Kong, in press.
- Tong, P.Y.L. and Maher, R.O. (1975). Horizontal drains as a slope stabilising measure. Journal of the Engineering Society of Hong Kong, vol. 3, no. 1, pp 15-27.
- Tregear, T.R. (1958). A Survey of Land Use in Hong Kong and the New Territories. Hong Kong University Press, 79 p.
- Tregear, T.R. & Berry, L. (1959). The Development of Hong Kong and Kowloon as Told in Maps. Hong Kong University Press, 35 p. plus 1 map. (Reprinted with revisions from Far Eastern Economic Review, vol. 25, 1958, pp 33-36, 65-69, 97-100, 131-135, 168-169, 201-203, 289-293 and 321-323).



- Vail, A.J. (1972). A report on the Po Shan landslide. Final Report of the Commission of Inquiry into the Rainstorm Disasters 1972, pp 48-70. Hong Kong Government Printer.
- Vail, A.J. (1984). Two landslide disasters in Hong Kong. Proceedings of the Fourth International Symposium on Landslides, Toronto, vol. 1, in press.
- Vail, A.J. & Attewill, L.J.S. (1976). The remedial works at Po Shan Road. Hong Kong Engineer, vol. 4, no. 1, pp 19-27.
- Walker, L.K., Chandler, B.C. & Lumb, P. (1972). Site investigation of a deeply weathered soil profile. Proceedings of the Third Southeast Asian Conference on Soil Engineering, Hong Kong, pp 73-78. (Discussion, pp 392-393).
- Wong, H.Y. (1978). Soil strength parameter determination. Hong Kong Engineer, vol. 6, no. 3, pp 33-39. (Discussion, vol. 6, no. 6, pp 37-38 and vol. 6, no. 7, pp 34).
- Wong, H.Y. (1982). An evaluation of various methods of triaxial testing and analysis for residual soils in Hong Kong. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference, Hong Kong, vol. 1, pp 901-913.
- Woodburn, J.A. (1982). The use of terrain analysis in transmission line location. Proceedings of the First International Symposium on Soil, Geology and Landforms - Impact on Land Use Planning in Developing Countries, Bangkok, pp E8.1-E8.26.
- Workman, D.R. & Yim, W.W. S. (1982). A bibliography of Hong Kong geology to 1982. Annals of the Geographical, Geological & Archaeological Society, University of Hong Kong, no. 10, pp 41-58.
- Yong, R.N., Sweere, G.T.H., Sadana, M.L., Moh, Z.C. & Chiang, Y.C. (1982). Composition effect on suction of a residual soil. Proceedings of the ASCE Specialty Conference on Engineering and Construction in Tropical and Residual Soils, Honolulu, pp 296-313.

表

[空白頁]

## 表目錄

表號		頁號
2.1	場地勘察指南	161
2.2	場地勘察內容	162
2.3	香港風化花崗岩及火山岩的風化等級	163
2.4	香港常用的岩芯管、探孔套管和鑽桿的類型	164
2.5	試樣質量等級	165
2.6	柱狀圖註釋	166
4.1	用於香港的濾層設計標準	167
4.2	濾層設計計算規範	168
5.1	十年重現期降雨量下新造斜坡的推薦安全系數	169
5.2	各人命風險類別的斜坡崩塌範例	170
5.3	各經濟風險類別的斜坡崩塌範例	170
5.4	十年重現期降雨量下，現有斜坡分析、斜坡善後與預防工程用的推薦安全系	171
5.5	土質斜坡穩定性分析方法	172
5.6	岩質斜坡穩定性分析方法	173
5.7	岩石斜坡的穩定措施	174
7.1	在十年重現期降雨量下重力式擋土牆安全系數推薦值	175
8.1	植被對斜坡穩定性的影響	176
8.2	植被種植的坡度限制	176
8.3	香港常用草種的特徵	177
8.4	香港常用灌木的特徵	178

表號		頁號
8.5	香港常用樹木的特徵	179
9.1	典型的噴植草種植混合量	180
10.1	規劃監測方案的簡要流程圖	181
10.2	測壓計類型	182
10.3	壓力盒	183
11.1	維修檢查的時限	184
12.1	可從地政總署獲得的航空照片的摘要	184
12.2	地圖目錄	185

表 2.1 - 場地勘察指南

類別	風險類別	成形的斜坡分類				場地附近天然坡的坡角		
		特徵	填土 土坡 削土	石坡	擋土 牆	0°~20°	20°~40° 場地勘察描述	大於 40°
微	a. 人命損失。 b. 經濟損失。	高度 > 7.5 m	> 5 m	< 7.5 m	< 3 m	評估周邊的地質及地形以考慮其穩定性。目標在建成場地的、準備築堤上用的岩石。	與 0°~20°情況相同。但需作較詳細的地質及地形探測。對較陡斜坡,則需要土層和岩石節理的強度參數。探測對場地有影響的水文特徵。	與 20°~40°情況相同。勘查場地外地區,處於場地上方的土層、岩體、孤石的不穩定性。
	a. 預期不會產生(無住人房屋)。 b. 結構破壞輕微。支路上的通道受阻。	坡角 > 50°	> 30°	---	---	專家建議 - 要求(A)	專家建議 - 要求(B)	專家建議 - 要求(B)
低	a. 損失很小(僅小型住房受到影響)。 b. 結構破壞明顯。唯一的通道受阻。	高度 > 15 m	> 10 m	> 7.5 m	< 6 m	場地及周遭的地質及地形探測。用於地基及削土斜坡的土層和岩石節理的強度參數。坡度大於 1:3 的築堤,回填土的再壓密強度參數。削土斜坡的地下水位資料。	與 0°~20°情況相同。探測對場地有影響的水文特徵。	與 20°~40°情況相同。場地外勘察範圍需擴大至足以能對場地以上、以下的斜坡進行分析。
	a. 較大的損失。 b. 住宅及工業建築物受嚴重破壞。地域性主幹道路受阻。	高度 > 60°	> 30°	---	---	專家建議 - 要求(B)	專家建議 - 要求(B)	專家建議 - 要求(C)
高	a. 住宅及工業建築物受嚴重破壞。地域性主幹道路受阻。	高度 > 60°	> 30°	> 15 m	> 6 m	詳細的場地及周遭地區地質及地形探測。地基及削土斜坡的土層和岩石節理的強度參數。填土再壓密強度參數。削土斜坡的地下水位資料。	與 0°~20°情況相同。探測對場地有影響的水文特徵。局部擴大勘察範圍到場地以外,足以能對場地上、以下的斜坡進行分析。	與 20°~40°情況相同。更廣泛地擴大勘察範圍足以能對場地上、以下的斜坡進行分析。
		坡角 > 30°	> 30°	---	---	專家建議 - 要求(B)	專家建議 - 要求(C)	專家建議 - 要求(C)

註:

- 本表僅提供一般性的指引。不同的場地必須根據其不同特點,決定是否採用本表所建議的勘察內容,或須加入其它條件進行更詳細的勘查。
- 本表對場地勘察只作了一般要求上的說明,表 2.2 對如何滿足上述要求給與更詳細的解說。
- 對於有不穩定孤石的斜坡,需要有經驗的土力工程師或工程地質專家參與提供意見。
- 風險類別應根據該地區的目前情況及將來的發展可能性進行評定。
- 建成斜坡的分類,可根據其坡高、坡角的其中任何一項的最高風險類別來釐定。
- 專家建議的要求:
  - 不必要有經驗的土力工程師或工程地質專家參與。
  - 有經驗的土力工程師或工程地質專家是否參與,取決於場地和已開發區、或可開發區的距離。
  - 必須要有經驗的土力工程師或工程地質專家參與。

表 2.2 - 場地勘察內容

風險類別	鄰近天然坡地的坡角		
	0° ~ 20°	20° ~ 40°	大於 40°
微	B1 D E1 G1	B1 C1 D E1 G1 G3	A B1 C1 D E1 F1 G1 C2 E2 G3
低	A B1 C1 D E1 F1 G1 C2 E2 G2 G3	A B1 C1 D E1 F1 G1 B2 C2 E2 F2 G2 G3	A B1 C1 D E1 F1 G1 B2 C2 E2 F2 G2 E3 G3
高	A B1 C1 D E1 F1 G1 C2 E2 G2 E3 G3	A B1 C1 D E1 F1 G1 B2 C2 E2 F2 G2 E3 G3	A B1 C1 D E1 F1 G1 B2 C2 E2 F2 G2 E3 G3
<p>A. 查考有關地面攝影照片、航空攝影照片、地質圖等。</p> <p>B. 1. 地形、地質、地面排水特徵測量； 2. 水文特徵測量。</p> <p>C. 1. 測繪地表特徵； 2. 測繪地質結構。</p> <p>D. 布置適當的勘探孔，如探井或土層、岩層鑽孔等。</p> <p>E. 1. 採取質量 4 級試樣}參見表 2.5 ； 2. 採取質量 3 級試樣}參見表 2.5 ； 3. 採取質量 1 級或 2 級試樣}參見表 2.5 。</p> <p>F. 1. 測量地下水位； 2. 測量岩土滲透性。</p> <p>G. 室內試驗 1. 岩土分類； 2. 填土密度； 3. 岩土節理強度。</p>			
<p>註： (1) 此表僅作指引之用。</p> <p>(2) 十字板試驗適用於海相粉土及其它細粒土質。在場地勘察階段，就當考慮需否安裝位移、孔壓的長期間觀測儀器（見第 10 章）。</p> <p>(3) 當鋼材、混凝土附近疑有腐蝕性水/土時，則需對其作化學試驗。</p>			

表 2.3 - 香港風化花崗岩及火山岩的風化等級<sup>(1)</sup>

等級	描述	典型鑒別特徵 <sup>(2)</sup>
VI	殘積土	由岩石原地風化而成的泥土，組織結構全被破壞。
V	全風化岩	岩石完全風化，但組織結構尚存。 N Schmidt 錘無回彈 <sup>(3)</sup> 。 在水中立即水解 <sup>(4)</sup> 。 地質鎬能容易壓進表層。
IV	強風化岩	大片岩塊用手可捏斷。 N Schmidt 回彈正值可達 25。 在水中不容易水解。 地質鎬不能壓進表層。 手壓貫入儀的強度指數大於 250 kPa <sup>(5)</sup> 。 可從表面剝下單個顆粒。
III	中度風化岩	完全色變。 岩石仍具有一定強度，55 mm 直徑的岩芯用手不能捏斷。 N Schmidt 回彈值為 25~45。 岩質不鬆脆。
II	微風化岩	沿不連續面色變。 強度接近於新鮮基岩值。 N Schmidt 回彈值大於 45。 地質錘敲一擊以上才能折斷岩塊試件。
I	新鮮岩	未見風化痕跡，無色變。

註：

- (1) 本表源於 Moya(1955) 和 Hencher & Martin(1982)。
- (2) 含水量、微裂隙可能影響上述特性。
- (3) N Schmidt 錘回彈數值是以水平錘打而取得的，乃於同一位置，十次錘打中五個較大值的平均值。若無回彈時其值則為零。此試驗不適用於描述岩芯的。
- (4) 對已飽和的試樣，水解的可能性較小。
- (5) 殘留在風化粗粒岩中的石英粒，能導致手壓貫入儀強度有偌大的數值變化。須避開受擾動過的、脆性的地方取值。並應以十次讀數的平均值，再除以 2 作為該強度指數。



表 2.4 - 香港常用的岩芯管、探孔套管和鑽桿的類型

名稱	岩芯管					探孔套管			鑽桿		備註
	類型	回縮器	內襯套	鑽頭外徑 (mm)	岩芯直徑 (mm)	尺碼	外徑 (mm)	內徑 (mm)	尺碼	外徑	
N 型	雙重管	無	無		54	NW	89	76	NW	67	
H 型					76	HW	114	102	HW	89	
P 型					92	PW	140	128	HW	89	
						SW	168	156	HW	89	
						106	118	106	HW	89	單獨使用
TNW	薄壁雙重管	無	無	75.6	61.5	NW	89	76	NW	67	
T2-76				76	62	NW	89	76	NW	67	單獨使用
T2-101				101	84	PW	140	128	NW	67	與 mazier 連用
T6-101				101	79	NW	89	76	NW	67	單獨使用
Mazier	三重管	有	76 mm 外徑塑料襯	101	72	PW	140	128	NW	67	可使用 HW 型套管，但不于推薦
HMLC 水	三重管	有或無	開合式鋼內襯套	88 91	64 64	HW HW	114 114	102 102	NW NW	67 67	
氣/泡沫						106	118	106	NW	67	單獨使用
4C-MLC (SMLC) 水	三重管	有或無	開合式鋼內襯套	139 145	101 101	SW SW	168 168	156 156	HW HW	89 89	
氣/泡沫											

註：  
 (1) 目前經常使用的是平接式套管及鑽桿 (W 系列)，外平接式系統 (X 系列) 已不再使用。  
 (2) 本表並未包括所有型號，更不應理解為不考慮其它認可的系統。

表 2.5 - 試樣質量等級

質量等級	用途	可獲得的土性指標	典型取樣方法
1	原狀土室內試驗數據	總強度參數 有效強度參數 壓縮性 密度與孔隙率	水壓平衡活塞薄壁取土器。三重岩芯管，並以氣體泡沫作沖洗介質。塊狀試樣
2	非靈敏原狀土的室內試驗數據	含水量 組織結構 重塑土特性	壓入或打入薄壁或厚壁取土器，並以水壓平衡。水沖三重岩芯管
3	組織結構查驗及室內試驗數據	含水量 重塑土特性 組織結構	壓打或打入薄壁或厚壁取土器，在高滲透性土中，用水壓平衡。標準貫入器襯套試樣
4	重塑土室內試驗數據，土層劃分	重塑土特性	塊體及罐裝試樣
5	粗略土層劃分	無	回水沖屑

表2.6 - 柱狀圖註釋

A. 探井柱狀圖
<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 繪畫探井各側面的柱狀圖。記錄各測面的方向，最佳能以平面草圖示之。</li> <li>(2) 柱狀圖應註明地下水位的記錄日期、時間。</li> </ul>
B. 土層鑽孔柱狀圖。
<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 在(a)上午開鑽前、(b)午休後、及(c)當日工作結束時，分別記錄地下水位。</li> <li>(2) 柱狀圖中，採取原狀土樣的鑽孔段，應以陰影畫線方式表示取樣百分率，並記錄打入取土器時所需的擊數。</li> <li>(3) 標準貫入試驗結果以N值表達。</li> <li>(4) 所有現場試驗結果都應表示在柱狀圖中。</li> </ul>
C. 岩層鑽孔柱狀圖
<ul style="list-style-type: none"> <li>(1) 目測估計回水量及顏色。</li> <li>(2) 鑽進速率，有需要時，可用數值或圖示的便捷方法表達之，但所用的方法須在柱狀圖上說明。</li> <li>(3) 岩芯採取率可用圖示或數值表示，也可兩者合用。</li> <li>(4) 可載岩芯上量度得到的各種裂隙指標。表示在柱狀圖上的，有岩石質量指標(RQD)和平均裂隙間距。其它指標（未有表示的）計有：某段每米長度上裂隙數目，一般用圖示；實體岩芯採取百分率，包括其數值及最大、最小、平均的岩芯長度，一般用圖示或數值表達。</li> <li>(5) 設備的詳細情況可用圖示，也可用文字說明。</li> </ul>

表 4.1 - 用於香港的濾層設計標準

規則編號	濾層設計規則	要求
1	$D_{15F_C} < 5 \times D_{85S_f}$	穩定性 (即濾層中的孔隙必須小至足以防止顆粒從被排水的岩土中滲出)
2	$D_{15F_C} < 40 \times D_{15S_f}$	
3	$D_{50F_C} < 25 \times D_{50S_f}$	
4	不應有不連續級配	
5	$D_{15F_f} > 5 \times D_{15S_C}$	滲透性 (即濾層須比被排水的岩土的滲透性高出很多)
6	通過 $75 \mu m$ 篩的顆粒不超過全重的 5%，而這些顆粒為無黏性	
7	均勻系數 $4 < \frac{D_{60F}}{D_{10F}} < 20$	分離性 (即在鋪設前、後及過程中，濾料都不得被分離、污染)
8	最大粒徑不得超過 75 mm	
<p>註： (1) 對於均質土（即 <math>\frac{D_{60S}}{D_{10S}} &lt; 4</math>），規則 2 中標準為 <math>20 \times D_{15S_f}</math>。</p> <p>(2) 本表中，<math>D_{15F}</math> 為 15% 的濾料粒徑（即容 15% 重量的濾料通過的篩之尺寸）。同樣地，<math>D_{85S}</math> 為容 85% 重量的基土通過的篩之尺寸。下角標 c 代表包線範圍的粗粒段，而 f 代表細粒段。</p>		

表 4.2 - 濾層設計計算規範

濾層設計規則	被保護土 (mm)		濾料 (mm)	
$D_{15F_c} < 5 \times D_{85S_f}$	$D_{85S_f} = 1.0$		$D_{15F_c} < 5$	
$D_{15F_c} < 40 \times D_{15S_f}$	$D_{15S_f} = 0.18$		$D_{15F_c} < 7.2$	
$D_{50F_f} < 5 \times D_{15S_c}$	$D_{50S_f} = 0.48$		$D_{50F_c} < 12$	
$D_{15F_f} > 5 \times D_{15S_c}$	$D_{15S_c} = 0.35$		$D_{15F_f} > 1.75$	
均勻系數	D10	D60	均勻系數	
$4 < \frac{D_{60F_f}}{D_{10F_f}} < 20$	1.4	6.0	4.3	可行
$4 < \frac{D_{60F_c}}{D_{10F_c}} < 20$	4.0	16.5	4.1	可行
註： (1) 在本算例中，被保護土層是採用圖 4.9 的美國陸軍工程師團(USCE)砂濾料(A)。排水材料的計算級配也如圖 4.9 所示。 (2) 計算中採用的濾層設計規則如 4.1 中所示。				

表 5.1 - 十年重現期降雨量下新造斜坡的推薦安全系數

經濟 風險		人命 風險	按人命損失十年重現期降雨量下的推薦 安全系數		
			微	低	高
按經濟損失十年重現期 降雨量下的推薦安全系數	微		> 1.0	1.2	1.4
	低		1.2	1.2	1.4
	高		1.4	1.4	1.4

註：

- (1) 人命風險高的斜坡，除十年重現期降雨量下，安全系數須具 1.4 外，還要在最差地下水文條件下，取 1.1 安全系數。
- (2) 載於本表的安全系數為推薦值。就經濟失損而論，可按特殊情況採用更高或更低的安全系數。

表 5.2 - 各人命風險類別的斜坡崩塌範例

範例	人命風險		
	微	低	高
(1) 崩塌影響郊野公園及不常用的露天遊樂場	✓		
(2) 崩塌影響低交通流量的道路	✓		
(3) 崩塌影響倉庫(無危險品)	✓		
(4) 崩塌影響經常使用的露天場地及遊樂設施(例如露天活動區、運動場、停車場等)		✓	
(5) 崩塌影響高流量的人行道、汽車道		✓	
(6) 崩塌影響公眾等候場所(例如鐵路站台、公共汽車站、加油站等)		✓	
(7) 崩塌影響使用中的建築物(例如住宅、學校、商廈、工廠等)			✓
(8) 崩塌影響儲存危險品的建築物			✓

表 5.3 - 各經濟風險類別的斜坡崩塌範例

範例	經濟風險		
	微	低	高
(1) 崩塌影響郊野公園	✓		
(2) 崩塌影響鄉間(B)的、支線的、局部或地區分流性的非唯一通路	✓		
(3) 崩塌影響露天停車場	✓		
(4) 崩塌影響鄉間(A)的、主要分流性的非唯一通路		✓	
(5) 崩塌對公用事業服務(例如電力、供水、煤氣等)造成短暫影響		✓	
(6) 崩塌影響城市、鄉間主要車道或幹線通路			✓
(7) 崩塌對公用事業服務造成長時間的影響			✓
(8) 崩塌對建築物造成嚴重的結構性破壞			✓
註： 上述例子僅供參考，設計人員自己必須判斷其經濟風險大小，並須在潛在的經濟風險，與採用更高安全系數時加增的工程造價間作一平衡。			

表 5.4 - 十年重現期降雨量下，現有斜坡分析、斜坡善後與預防工程用的推薦安全系數

人命風險	按人命損失十年重現期降雨量下的推薦安全系數		
	微	低	高
	>1.0	1.1	1.2
註： <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) 表中安全系數為最小值，它僅可用於那已進行過嚴謹地質和岩土研究，屹立時間已相當長，而且荷載條件、地下水文、改動後基本坡形等與其現存的相若的斜坡中；</li> <li>(2) 善後與預防工程設計中如採用反演分析法，於最不利的已知荷載和地下水條件下，現有斜坡可假定具最小安全系數 1.0 ；</li> <li>(3) 斜坡崩塌或受損，引起的原因必須特別查明，並在善後工程設計中加以處理。</li> </ol>			



表 5.5 - 土質斜坡穩定性分析方法

方法	崩塌面	假定	優點	局限性	參考文獻	建議
無限斜坡法	直線	用任意的垂直條塊替代整個斜坡	簡單手算法	破壞面假定通常是近似的，該法僅適用於長高比大的滑面且可略去端部效應	Lambe & Whitman (1969)	適用於長斜坡，尤其是岩層上覆薄層風化土上的斜坡
滑塊法	兩條或兩條以上的直線	滑體可分為兩塊或多塊，每塊的平衡以塊間力獨立處理之	滑體分為 2 ~ 3 塊時，手算適用	沒有考慮條塊的變形，其結果敏感於塊間力與水平面的夾角，及塊間界面的傾斜角度	Lambe & Whitman (1969)	可用於斜坡內，或斜坡下有軟弱夾層，及斜坡處於堅硬層上
Bishop 法	圓弧	對每一條塊取力和力矩平衡。精確法於每一條塊兩側的豎向力設數值直至滿足所有力平衡方程為止，而簡化法假設作用在每一條塊兩側的豎向合力為零	簡化法與有限單元變形法的結果有較好的吻合 (F 平均值在 8% 以內)。有現成電腦程式	圓弧滑動面對於香港的斜坡一般並不適用，但大半徑的圓弧有時卻可採用	Bishop (1955)	可用於可假定為圓弧的破壞面
Bishop 和 Morgenstern 圖解法	圓弧	用簡化的 Bishop 法，取平均 $F_0$ 值	使用簡便，比 Hoek 圖解法更精確	僅適用於均質土及坡度小於 27° 的斜坡	Bishop & Morgenstern (1960)	有限的適用性
Hoek's 圖解法	圓弧	整體地處理滑動體。下限解，假設正應力集中在一點	有坡角 10° ~ 90° 圖解，使用非常簡單	僅使用於均質土及五種特定的地下水條件	Hoek & Bray (1981)	對初步計算及細小低風險斜坡，十分有用
Janbu 法	非圓弧	綜合法處理在每一條塊的力和力矩平衡。必須對塊間力的作用線作出假定。常規法不處理條塊間的豎向力，F 計算值需修正以處理豎向力	可用真確的剪切面，常規法可通過編程計算機或手算進行	已發表的 $f_0$ 系數只適用於均質岩土，對於由多種岩土組成的斜坡，常規法會導致較大的誤差，通常低估了安全系數。綜合法無上述局限	Janbu (1972) 常規法在 Hoek & Bray (1981)	對香港的大多數土質斜坡，十分有用。須注意常規法的局限性
Morgenstern 和 Price 法	非圓弧	處理每一條塊的力和力矩平衡，類似 Janbu 綜合法	比 Janbu 法更精確。有現成電腦程式	無簡化方法，需用電腦計算，通常耗時非常	Morgenstern & Price (1965)	對於強度和孔隙壓力都不能精確知悉的香港土，通常不必如此地精細計算。最適用於斜坡的反演分析
Sarma 法	非圓弧	Morgenstern & Price 法的改進，以地震力減少迭代次數	運算時間大大減少而無損精確度	並未有現成電腦程式，但可用計算機計算	Sarma (1979)	可作為 Morgenstern & Price 法的替代方法

表 5.6 - 岩質斜坡穩定性分析方法

方法	崩塌面	假定	優點	局限	參考文獻	建議
平面崩塌	單一滑動面，有張力裂隙	滑動面和張力裂隙走向均與斜坡面平行。具鬆脫面，以致側向邊界無阻力	簡單的分析法，可加進張力裂隙內及滑動面上的水壓力	力矩在分析中未被考慮。對於可能發生傾倒的較斜陡坡，會給出過大的安全系數	Hoek & Bray (1981)	對於可假設為平面崩塌時是有用的，例如片狀節理
楔形崩塌	兩組節理面構成一個三維楔體	節理面的交切線傾斜度比岩石面平緩，仍在岩面中出露。兩個節理面在滑動時接觸保持良好	分析中可加進張力裂隙和水壓力。有現成的單考慮摩擦力圖表	未有考慮力矩	Hoek & Bray (1981)	方便。圖表可作初步評估之用
傾倒崩塌	梯級狀交錯節理	分析中假設一些塊體會滑動，一些會傾倒。不考慮水壓力		局限於合適幾何形狀的幾種簡單情況	Hoek & Bray (1981)	除偶爾有用外，還未能作為岩石斜坡的一個設計工具



表 7.1 - 在十年重現期降雨量下重力式擋土牆安全系數推薦值

崩塌形式	在十年重現期降雨量下推薦的安全系數	
	新建擋土牆	現有擋土牆的修繕與防治
滑動	1.5	1.25
傾覆	2.0	1.5
	對於砌石牆，合力作用點應落在牆底邊 1/3 的中央部份內	
承載力	3.0	如現有數值低於 3.0，保持現有數值。對於以斜坡為趾的擋土牆，斜坡的整體穩定性必須足夠
斜坡崩塌	參見第 5.2 節	
<p>註：</p> <p>(1) 當已經進行了嚴謹的結構分析，地質分析以及岩土分析，或者當擋土牆已存在相當長的時間，或者當維修後擋土牆的荷載條件，地下水動態以及基本型式都與現有的擋土牆基本保持一致，則對現有擋土牆的修繕與防治工程可採用本表中安全系數的最小值。</p> <p>(2) 如果在修繕與防治工程的設計中採用反演分析法，在已知的最不利荷載及地下水情況下，可假定現有擋土牆有最小的安全系數值 1.0。</p> <p>(3) 對已受破壞或已損壞的擋土牆，其破壞或損壞的原因必須查明，並在修繕工程的設計中加以考慮。</p>		

表 8.1 - 植被對斜坡穩定性的影響

有利因素	類別
樹冠阻擋雨水，包括蒸發水份	H
由根的吸收和蒸散作用，削減了土中含水量，增加了土的吸力	H
樹根的力學加固作用	M
由樹的支護作用及樹幹間土的成拱作用	M
大（重）樹對斜坡產生的荷載*	M
樹可阻止鬆動弧石的滾落	M
不利因素	
大（重）樹對斜坡產生的荷載*	M
會使水滲入斜坡內產生一定的入滲量	H
樹根楔體作用使面層的岩石和弧石發生鬆動，在颱風下樹會翻根	M
圖例：	
H	水文作用
M	機械作用
*	該作用對斜坡穩定性可能是有利的，也可能是不利的，取決於具體場地條件(參見 Gray, 1978)

表 8.2 - 植被種植的坡度限制

坡角	植被種類	
	草	灌木或樹木
0° - 30°	容易種植，可以採用常規的種植技術	容易種植，可以採用常規的種植技術
30° - 45°	幼苗移植或鋪草皮變得困難，通常採用水種籽法	種植變得困難
大於 45°	需要特別考慮	一般須種植在平台上

表 8.3 - 香港常用草種的特徵

草種名稱	植物學名	高度 (m)	特徵
美州雀稗草	雀稗草	0.3-0.5	根系發達，強壯，能有效防止沖刷，可與灌木和樹木共生，對各種場地有廣泛的適應性，耐陰抗旱，耐踩，早期生長速度較慢。
狗牙草	狗牙草	0.3	根系發達，能有效防止沖刷，對各種場地有廣泛的適應性，冬季變成棕色。
野牛草	栗草屬睫狀草	0.7-1.5	根系發達，強壯，耐火耐旱，可生長在瘦土中。
地毯草	地毯草	0.1-0.2	根系淺，但能有效防止沖刷，通常由幼苗移植或鋪草皮進行種植，喜潮濕，冬季變成棕色。
百足草	假儉草	0.2	可生長在瘦土中，容易種植，能有效防止沖刷。
無芒虎尾草	無芒虎尾草	0.5-1.0	成團生長*，具侵佔性，耐火，一般情況下不宜使用。
黑麥草	毒麥屬多年生草	0.1-0.9	發芽快，早期生長好，適宜冬季播種，在很熱的天氣不能存活。
彎葉畫眉草	畫眉草屬苦烏草	0.5-0.9	成團生長*，具侵佔性，阻礙其它草種生長，冬季變成棕色，可引起火災，一般情況下不宜使用。
圖例：			
* 成團生長是指從同一根系中長出一簇根的草，其防沖刷的效果不如非成團生長的草種。			
註： 本表中所有草種都是多年生草種			

表 8.4 - 香港常用灌木的特徵

灌木種類		生長率			對極端場地的適應性				市區環境	鄉村環境
學名	常用名	快	中	慢	岩質場地	濕土場地	開擴場地	遮蔭場地		
軟枝黃蟬	黃蟬花		✓						✓	
假連翹	假連翹	✓							✓	
香港大頭茶	大頭茶		✓		✓		✓			✓
木槿	芙蓉		✓						✓	
野牡丹				✓	✓	✓	✓	✓		✓
夾竹桃	夾竹桃	✓							✓	
車輪梅屬	香港山楂			✓	✓			✓		✓
杜鵑	杜鵑		✓		✓		✓		✓	✓
桃金娘	玫瑰番石榴			✓	✓		✓			✓
黃花夾竹桃	黃花夾竹桃		✓						✓	
腫柄菊	墨西哥向日葵	✓			✓		✓			✓

註： 本表和表 8.5 中的專用名詞定義如下：

- (a) 濕土場地：全年大多數時間的地下水位都接近地面。
- (b) 開擴場地：西向至南向（傾向）的多風場地。
- (c) 遮蔭場地：建築物遮蔭或場地陡峭朝北。
- (d) 鹽漬場地：通常距海邊 100m 內的海岸場地。
- (e) 抗颶風：在颶風中能抵抗枝條的折斷，即使折斷也能再生。
- (f) 耐火燒：在火燒後能夠再生

表 8.5 - 香港常用樹木的特徵

樹木種類		高度		生長率			對極端場地的適應性					抗 颶 風	耐 火 燒
學名	常用名	大 於 7 米	小 於 7 米	快	中	慢	岩 質 場 地	濕 土 場 地	開 擴 場 地	遮 蔭 場 地	鹽 霧 場 地		
台灣相思樹	台灣相思樹		✓	✓			✓		✓			✓	✓
大葉合歡	山槐	✓		✓			✓	✓	✓			✓	
管螺屬赤楊	日本赤楊	✓		✓									
羊蹄甲	羊蹄甲		✓		✓								
木麻黃	馬尾松	✓		✓			✓	✓	✓			✓	✓
牛尾松	長葉鐵木	✓			✓		✓		✓			✓	✓
朴樹	中國樸樹	✓				✓				✓		✓	
毛葉桉		✓		✓			✓		✓			✓	✓
銀合歡屬白頭	銀合歡		✓	✓			✓		✓			✓	✓
愛氏松*	愛氏松	✓			✓		✓	✓	✓				
紅膠木	布里斯班黃楊	✓		✓			✓	✓	✓			✓	✓
圖例：													
* 由於松樹的枯萎線齒癬群病害，在某些場所可能受到侵害													
註： (1) 專用名詞定義見表 8.4													
(2) 本表所列樹種既適用於削坡也適用於填土斜坡，具有充分的樹根系統，能抵抗颶風時翻根。													



表 9.1 - 典型的噴植草種植混合量

用量 <sup>(2)</sup> (g/m <sup>2</sup> )	混合物組成 <sup>(1)</sup>
25 - 30	草種 <sup>(3)</sup>
100	肥料 <sup>(4)</sup> (NPK)
170 - 250	掩護料
<p>註：</p> <p>(1) 也可包含染色劑和土穩定劑。</p> <p>(2) 用量的計算應根據斜坡面的面積，而不是斜坡面積的水平投影或垂直投影。</p> <p>(3) 經常採用主要以狗牙草和美洲雀稗草為主的三種混合（見表 8.3）。</p> <p>(4) 該用量適用於氮、磷、鉀肥配合比為 15 : 15 : 15 的情況，採用其它配合比的肥料時，用量應作調整。並建議追肥。</p>	

表 10.1 - 規劃監測方案的簡要流程圖

1 場地狀況 警報水平 及 應變措施	2 一般監測規劃	3 詳細監測規劃
<p>項目闡明 地理位置；地質條件；地下水；應力；施工程序</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>場地狀況 機理；關鍵位置；大小；速率</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>應變規劃 確定危險警報的水平；超過警報水平後的措施計劃</p>	<p>參考條件 監測目的；預算</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>監測內容 位移；水；壓力；荷載</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>監測地點 確定關鍵位置及深度；訂定優先次序</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>監測時間 項目歷時；測讀頻度；報告頻度</p>	<p>人員 人員數目；職責分配；聯絡及報告途徑</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>測試儀器 選擇儀器；儀器標定；詳細布置</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>安裝 確定安裝位置、時間和程序</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>監測 確定詳細監測程序</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>數據處理 草擬及印製數據表及圖表；制定計算程序</p> <p style="text-align: center;">↓</p> <p>報告 確定報告要求、時間、內容及責任</p>

表 10.2 測壓計類型

	類型	範圍	反應速度	去氣性能	遙距讀數	長期可靠性	其它		建議
							優點	缺點	
正 壓	開啟式 水力測壓計 (Casagrande)	大氣壓至測水管頂面的壓力	慢	自去氣	通常不能，但當有 Halcrow 吊桶或氣泡系統時可以	極好	價廉，測讀及維修方便，可現場量測滲透性	人為破壞後常常無法修復	除需快速的反應或遙距讀數外，該類型作為正壓力範圍測量的首選
	封閉式水力測壓計 (低進氣壓力)	任何正壓力	中	可去氣	可	取決於壓力量測系統 1) 末壓力計極好 2) 布氏壓力計在潮濕環境中差； 3) 壓力傳感器中等，但易於更換	價格頗低，可現場量測滲透性	通常需儀器房，需定期去氣；無蓋管道易受齧齒動物的破壞	適宜於用於遙距讀數和量測自流水壓力
	封閉式水力測壓計 (高進氣壓力)	從一個負大氣壓至任何正壓力	中	可去氣	可	同上	價格頗低，可在低滲透性土中現場量測滲透性	同上。當測負壓時特別需要經常去氣	適用於低負壓
	氣壓式	任何正壓力	快	不可去氣，僅部份自去氣	可，對遠距離有水頭損失	中至差，但只有極少長期監測經驗可以借鑒	價格頗低，無需儀器房	無法檢驗孔隙水或孔隙空氣的壓力是否量測到	只適用於測頭恒久在地下水以下以及無高負壓發生的情況
負 壓	電潮振動鋼弦式	任何正壓力	快	同上	可，但需專用電纜	信號質量隨時間減弱，儀器壽命大約十年。得不到檢驗的儀器，其可靠性值得懷疑。		同上。價格高，零位易漂移，且不能檢驗	一般不推薦使用
	電阻式	任何正壓力	快	同上	可，但因有傳導損失，需小心	差		同上	不推薦使用
	張力計	從一個負大氣壓至正壓力	中至快	可去氣	可	良好	價廉，測讀及維修方便	損壞後常常無法修復，需定期去氣	作為測負孔壓的首選
	濕度計	低於一個負大氣壓	不穩定	無關	僅用於短程	儀器壽命，至二三年，很少長期監測經驗可借鑒		在 0 ~ -1 大氣壓下讀數不準確	僅處於研究階段

表 10.3 - 壓力盒

類型	長期可靠性	遙距讀數	其它		建議
			優點	缺點	
水力壓力盒	良好	不能用分度儀，可用線性位移傳感器	操作簡便	如果壓力盒或水力管洩漏，系統會受到破壞。壓力計需永久連接	如果使用傳感器，非常適用於長期監測
液壓千斤頂	除壓力計受到銹蝕外，一般都良好	不能，需靠近量測	簡單的水力系統	讀數不連續。必須一直用千斤頂加壓到錨頭開始移動。很難恰到好處地提升錨頭，常常產生較大的位移	不太適用於長期的定時監測。可移動式千斤頂適用於非經常性的試驗
光彈式壓力盒	良好	不可	價廉，安裝方便，更換容易	讀數需經訓練。僅限於小荷載情況。	適用於岩栓及小型錨杆
電測壓力盒 (振弦式)	中等 (10年內)	可	遙距讀數不受環境影響	價格頗昂貴。標定值可能會漂移，但可重新標定	非常適用於要求遙距讀數的情況
電測壓力盒 (電阻式)	差	不可 (在幾米內可以)	簡單，容易讀數	同上。應變計極易受到銹蝕	不適宜長期使用

表 11.1 - 維修檢查的時限

檢查人員	建議的時限	
	高人命風險類別的斜坡	微或低人命風險類別的斜坡
技術人員	6 個月	1 年
工程師	2 年	5 年
註： (1) 對人命產生高風險、低風險或微風險的斜坡類別劃分見第 5 章的規定； (2) 對某些產生高人命風險的斜坡，或需要徵求土力工程師的意見。		

表 12.1 - 可從地政總署獲得的航空照片的摘要

航攝年份	備註
1924, 1945, 1949, 1950, 1954, 1956, 1959, 1961, 1962, 1963	照片由 RAF 航攝，只覆蓋香港部份地區
1963, 1964, 1967	照片由 Hunting Survey Ltd 航攝，覆蓋全香港
1968, 1969, 1970	照片由 Crown Lands and Survey Office 航攝，只覆蓋香港部份地區
1972 以後	照片每年由地政署航攝，覆蓋全香港

表 12.2 - 地圖目錄

	組別	範圍面積	圖則張數	每張價目 (1984) (港元)
大比例(基本的)圖 1:600(1 英寸代表 50 英尺) 1:1 200(1 英寸代表 100 英尺) 1:1 000(代替 1:600 和 1:1 200 系列)	HPIC	香港 新界及離島 九龍 香港島 新界及離島	140 約 1000 126 192 1132	10.00 10.00 10.00 10.00 10.00
中比例尺(推導的)圖 1:2 500 1:5 000 1:7 500 街道圖 1:15 000	HP2.5C HP5C SM7D SM15D	市區 市區 新界 城區及新界 城鎮 城區	73 20 11 22 2(1 張香港 島, 1 張九 龍)	10.00 10.00 10.00 10.00 10.00
地形圖 1:10 000 1:20 000 1:50 000 1:100 000	L884 HM20C HM50CL HM100CL	全境(已過 時) 全境 全境 全境	62 16 2 1	2.00-3.00 10.00 16.00 6.00
特用圖 1. 香港導遊地圖 2. 郊區地圖 (a) 香港島 (b) 新界西 (c) 大嶼山及離島 (d) 西貢及清水灣 3. 地質報告及地圖/僅地圖 4. 香港街道與地方指南 i) 第 I 集 ii) 第 II 集 5. 香港年鑑附圖	TM100CL CM25C CM50C CM35C CM25C	全境       香港島及離 島;九龍及新 界	1 1 1 1    6	8.50 10.00 10.00 10.00 10.00 60.00/16.00 20.00 20.00 2.00
雜項 空中攝影圖片—可專門訂購 已核准的城市規劃圖				16.00 不劃一

---

[空白頁]





---

[空白頁]

## 圖目錄

圖號		頁號
1.1	花崗岩風化剖面圖	193
2.1	顯示某些主要構造和岩石特徵的地質圖及航空照片	194
2.2	照片圖2.2 ~ 2.14所示的鑽孔岩芯柱狀圖之一	195
2.3	照片圖2.2 ~ 2.14所示的鑽孔岩芯柱狀圖之二	196
2.4	照片圖2.2 ~ 2.14所示的鑽孔岩芯柱狀圖之三	197
2.5	照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之一	198
2.6	照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之二	199
2.7	照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之三	200
2.8	取土器比例指標之定義	201
2.9	岩芯採取率與裂隙指數	201
2.10	岩體測繪描述表例	202
2.11	不連續面測繪數據表例	203
2.12	赤平投影圖實例	204
2.13	用於柱狀圖的圖例	205
2.14	探井柱狀圖 - 實例 1	206
2.15	探井柱狀圖 - 實例 2	207
2.16	探井柱狀圖 - 實例 3	208
2.17	鑽孔柱狀圖實例 (第一頁)	209
2.18	鑽孔柱狀圖實例 (第二頁)	210
2.19	吸水試驗現場記錄表例	211
2.20	吸水試驗計算表例	212

圖號		頁號
2.21	變水頭滲透試驗結果及計算表例	213
3.1	固結不排水 (CU) 三軸試驗的典型應力路徑及強度包線	214
3.2	土的三軸試驗土性資料實例	215
3.3	三軸試驗圖線資料實例	216
3.4	三軸試驗 $p' - q'$ 應力路徑圖實例	217
4.1	水文循環的簡化圖示	218
4.2	香港集水區的 $\Phi$ 值	219
4.3	由降雨引起的地下水位、飽和度(s)、孔隙水壓力(u)的典型變化	220
4.4	典型的測壓計反應	221
4.5	十年重現期降雨量下滲透性和飽和度對浸濕帶厚度的影響	222
4.6	雙環恆定水頭現場滲水試驗儀器	223
4.7	現場滲水試驗典型實驗結果	224
4.8	排水截槽	225
4.9	適用於粉土和更細粒土的砂濾層級配	226
5.1	香港風化岩、土的典型崩塌剖面	227
5.2	崩塌概率與可靠性指數的關係	228
5.3	岩石具不利節理下挖置平台的影響	228
5.4	穩固岩石斜坡的各種方法	229
5.5	落石防治措施	230
6.1	承載力數據	231
7.1	擋土牆排水詳細設計	232

圖號		頁號
8.1	Bransby - Williams 公式的快速圖解法	233
8.2	香港在不同降雨量重現期下降雨歷時與強度關係曲線	234
8.3	香港雨量計分布圖	235
8.4	典型的沉砂池設計	236
8.5	典型的攔石池設計	237
8.6	支渠與主渠交匯平面圖	238
8.7	溝渠快速設計圖	239
8.8	階梯形溝渠典型設計	240
8.9	在坡腳處的階梯形溝渠與U形溝渠交匯典型設計	241
8.10	集水井典型設計	242
8.11	U型溝渠典型設計	243
8.12	香港種植季節	244
9.1	一般填土區採用雙壓實標準的典型設計	245
9.2	典型的壓實試驗結果	245
9.3	壓實填土密度試驗記錄表	246
9.4	Hilf 法快速壓實控制現場記錄表	247
9.5	灌木及樹木幼苗的栽種	248
9.6	不透水斜坡面上護樹環的詳細圖	248
10.1	測壓計數據記錄例子	249
10.2	裂縫監測器數據記錄例子	250
10.3	錨固荷載數據記錄例子	251
10.4	開敞式水力 (Casagrande) 測壓計	252

圖號		頁號
10.5	裂縫顯示器	252
10.6	測斜儀數據記錄例子	253
11.1	用於斜坡維修的測壓計讀數記錄表實例	254
11.2	斜坡維修檢查記錄表一之實例	255
11.3	斜坡維修檢查記錄表二之實例	256
11.4	斜坡維修檢查記錄表三之實例	257

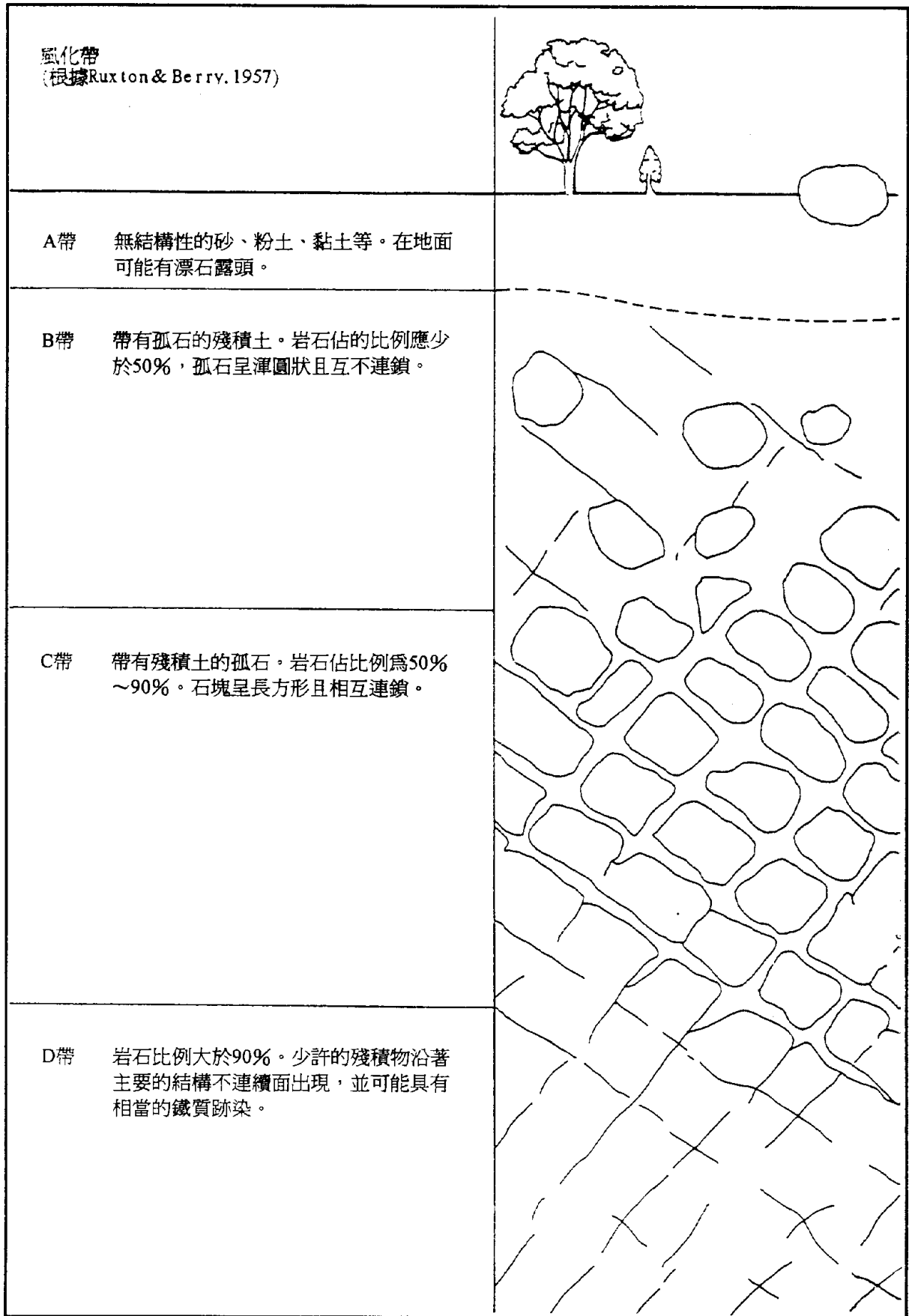


圖 1.1 - 花崗岩風化剖面圖

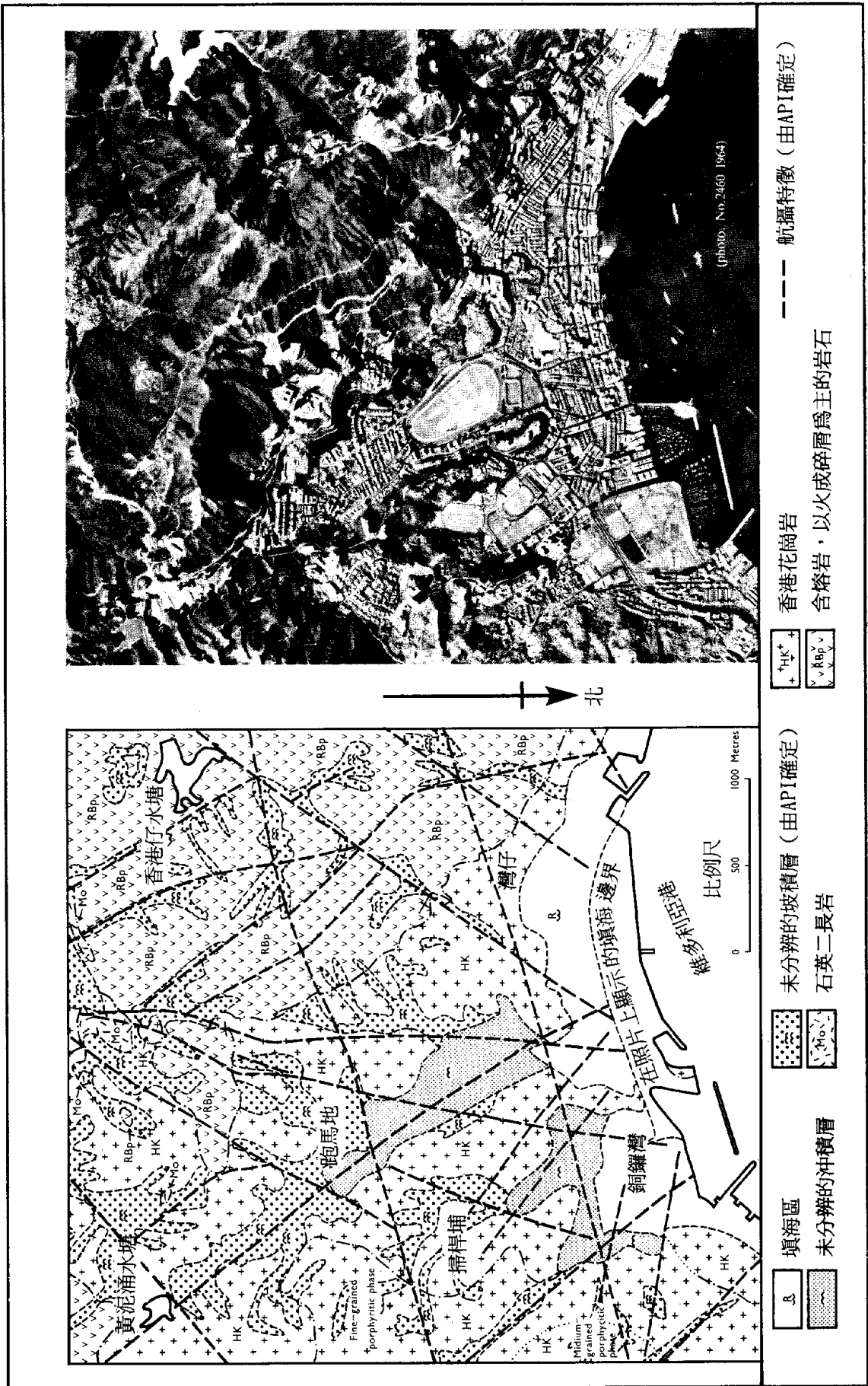


圖 2.1 - 顯示某些主要構造和岩石特徵的地質圖及航空照片

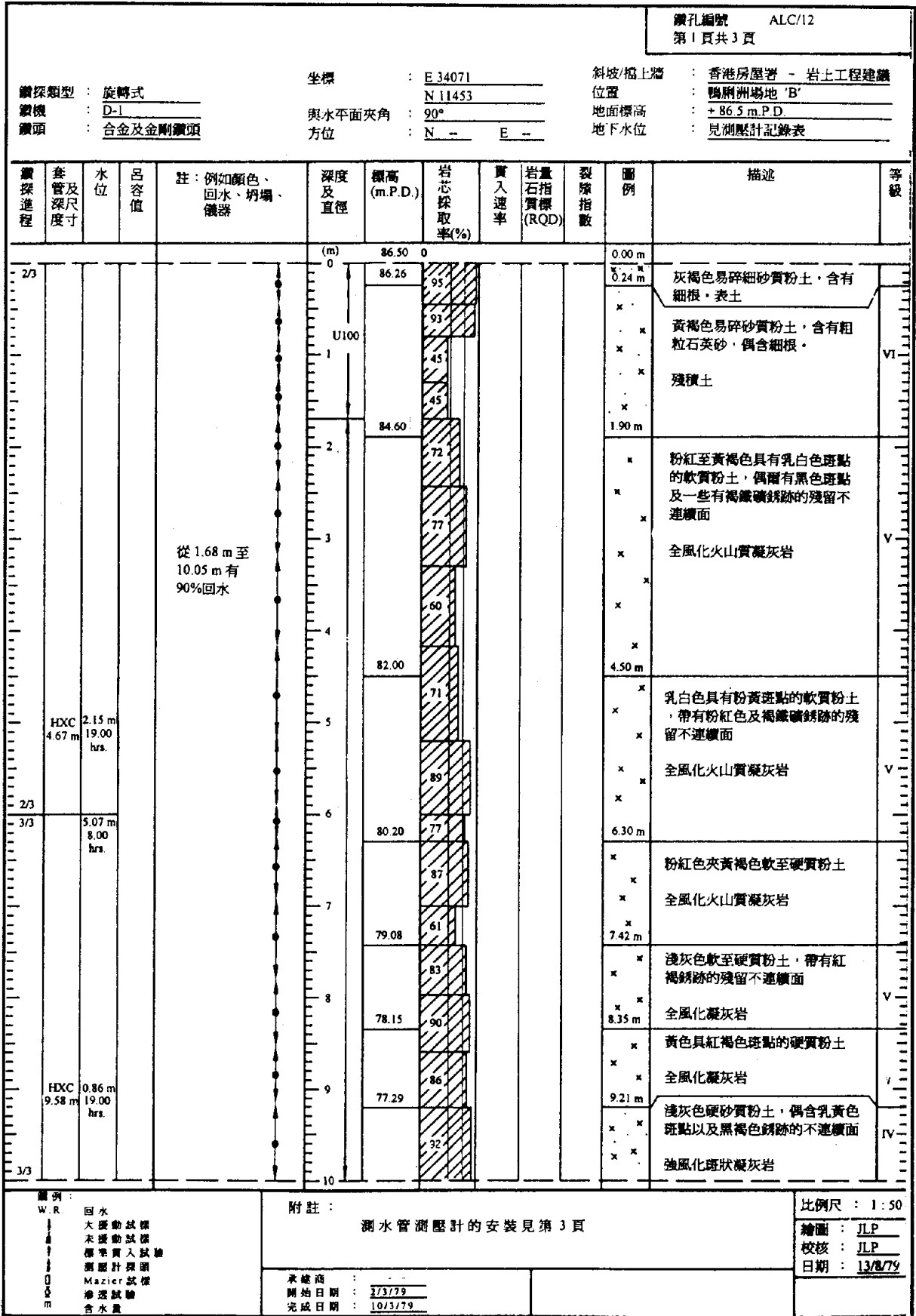


圖 2.2 - 照片圖 2.2 ~ 2.14 所示的鑽孔岩芯柱狀圖之一



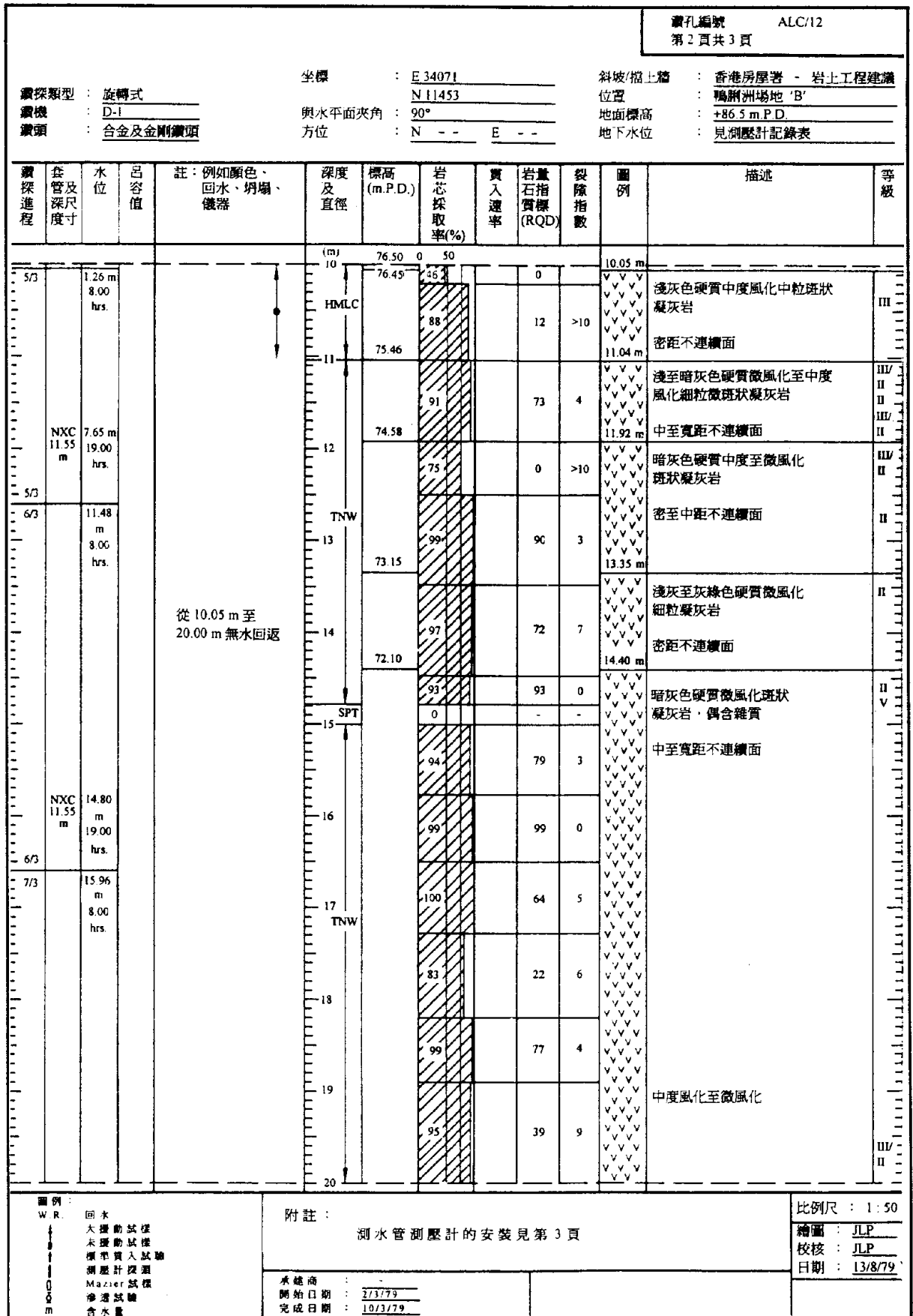


圖 2.3 - 照片圖2.2 ~ 2.14所示的鑽孔岩芯柱狀圖之二

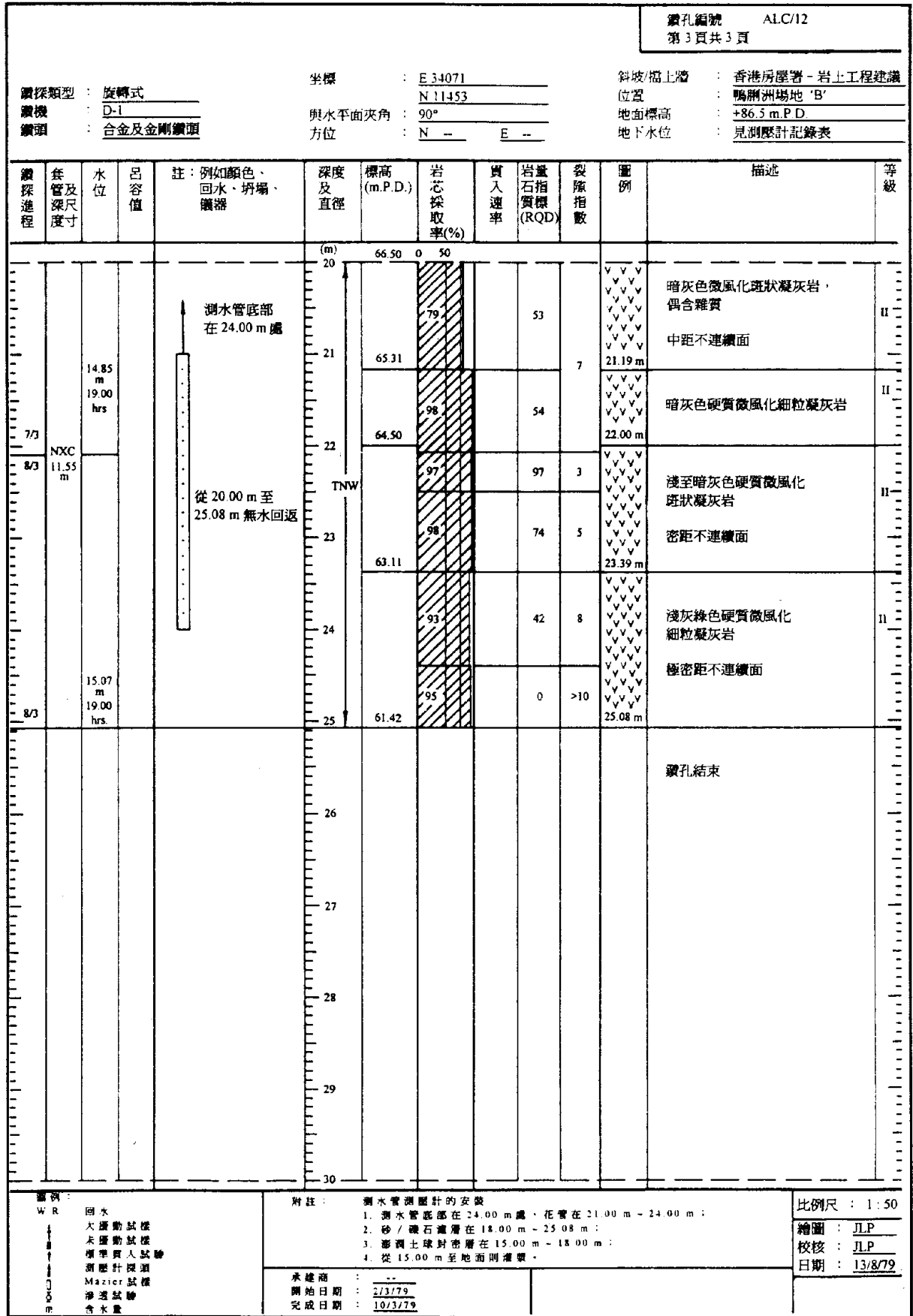


圖 2.4 - 照片圖 2.2 ~ 2.14 所示的鑽孔岩芯柱狀圖之三

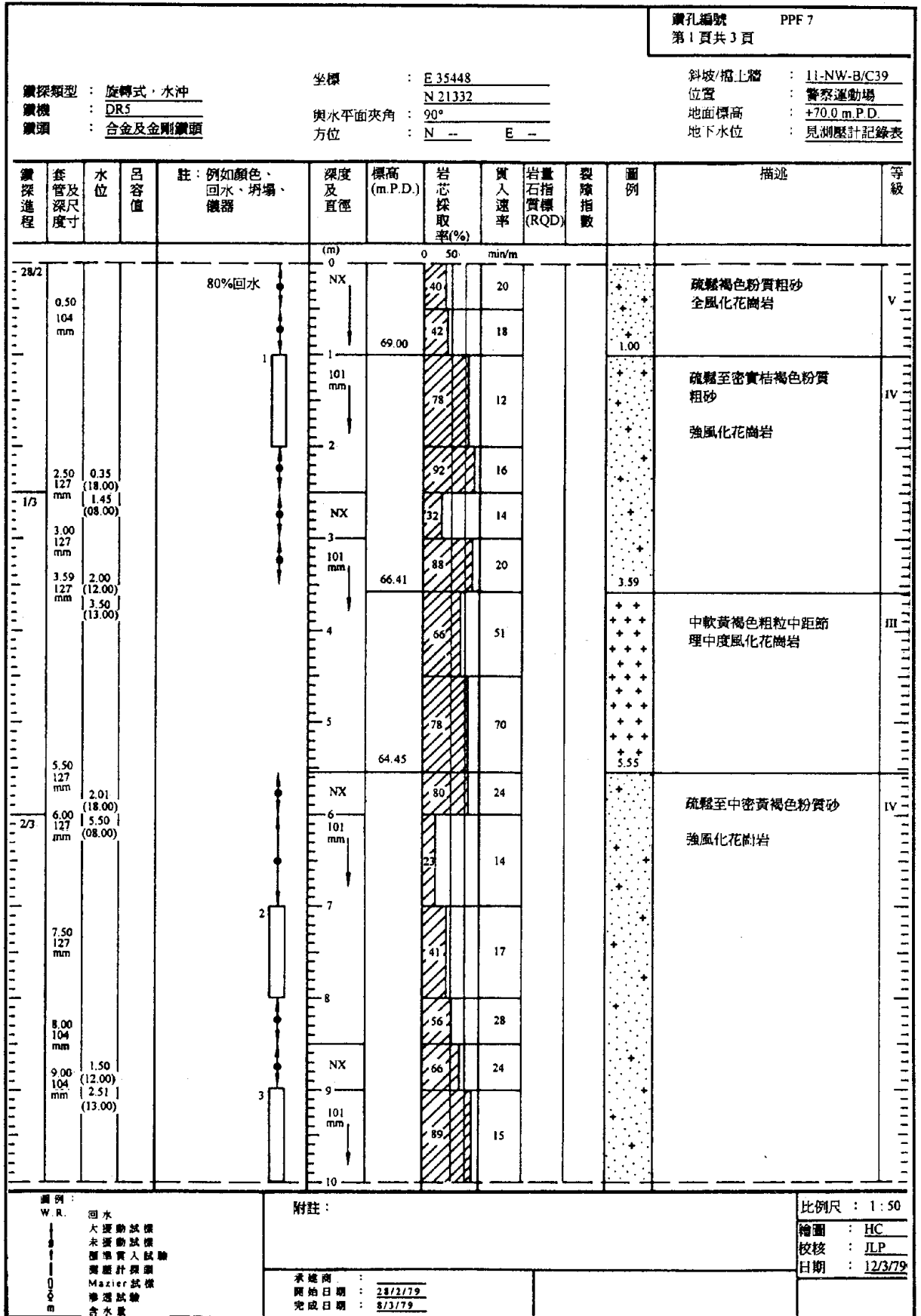


圖 2.5 - 照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之一

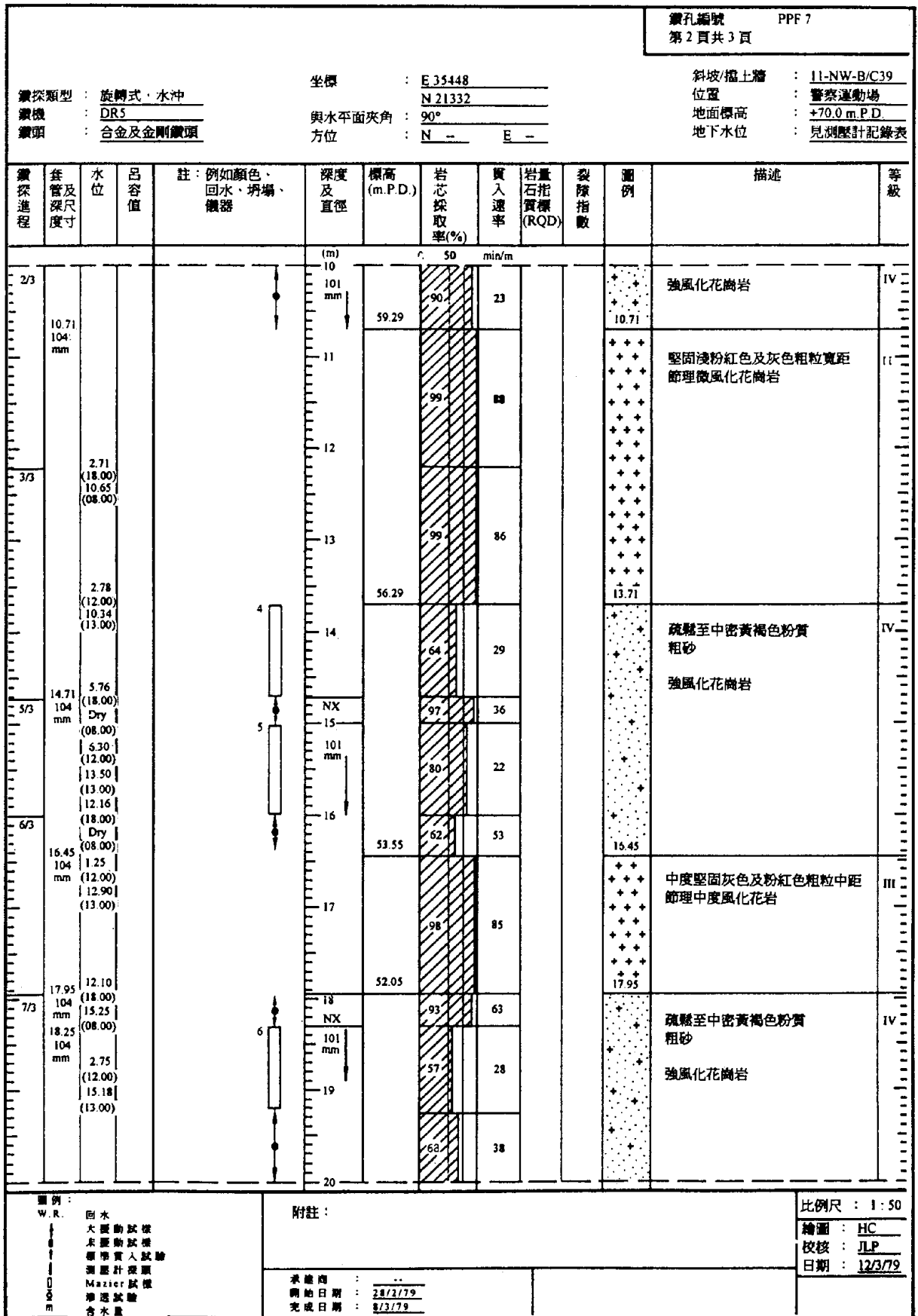


圖 2.6 - 照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之二

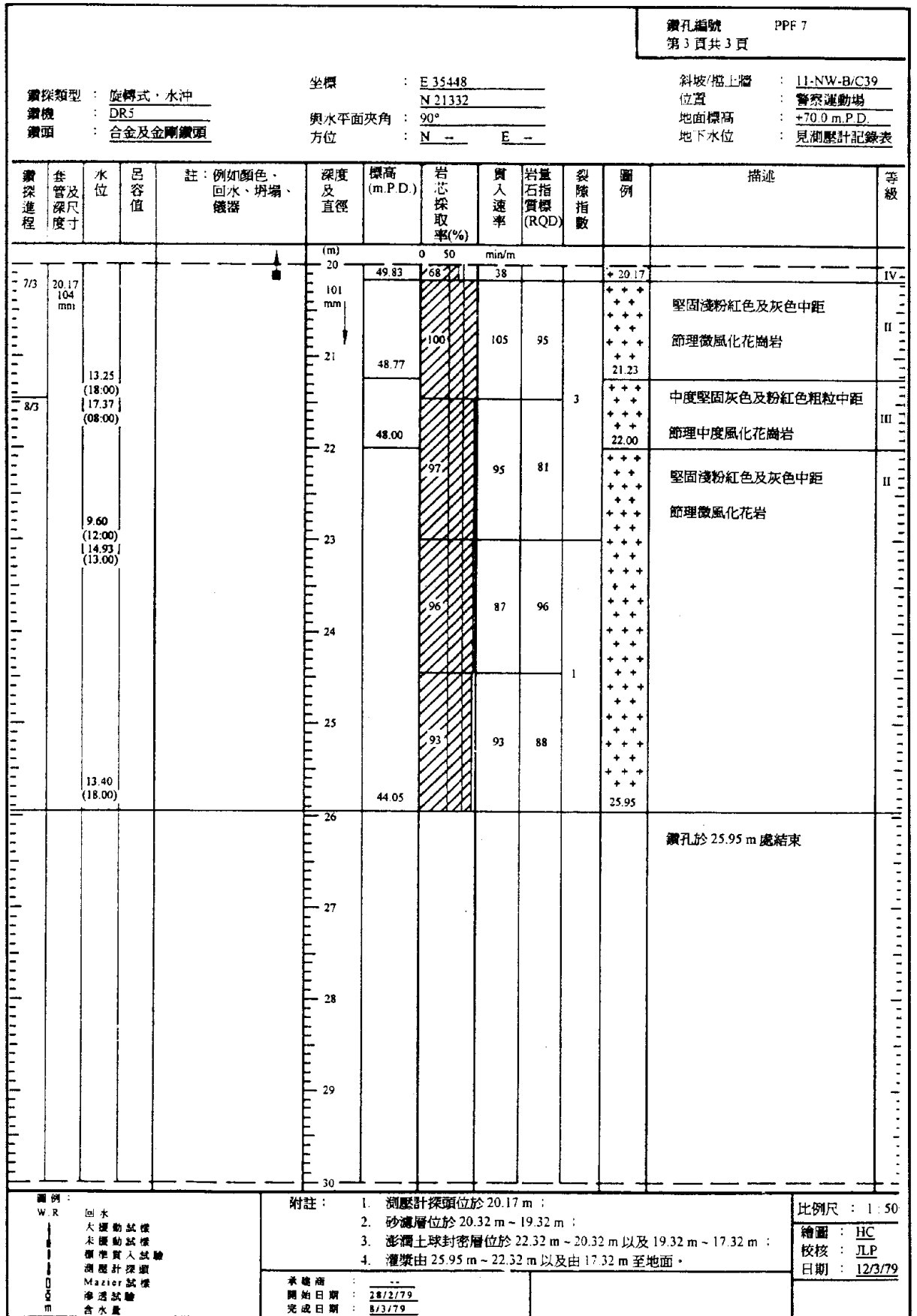


圖 2.7 - 照片圖2.15 ~ 2.26所示的鑽孔岩芯柱狀圖之三

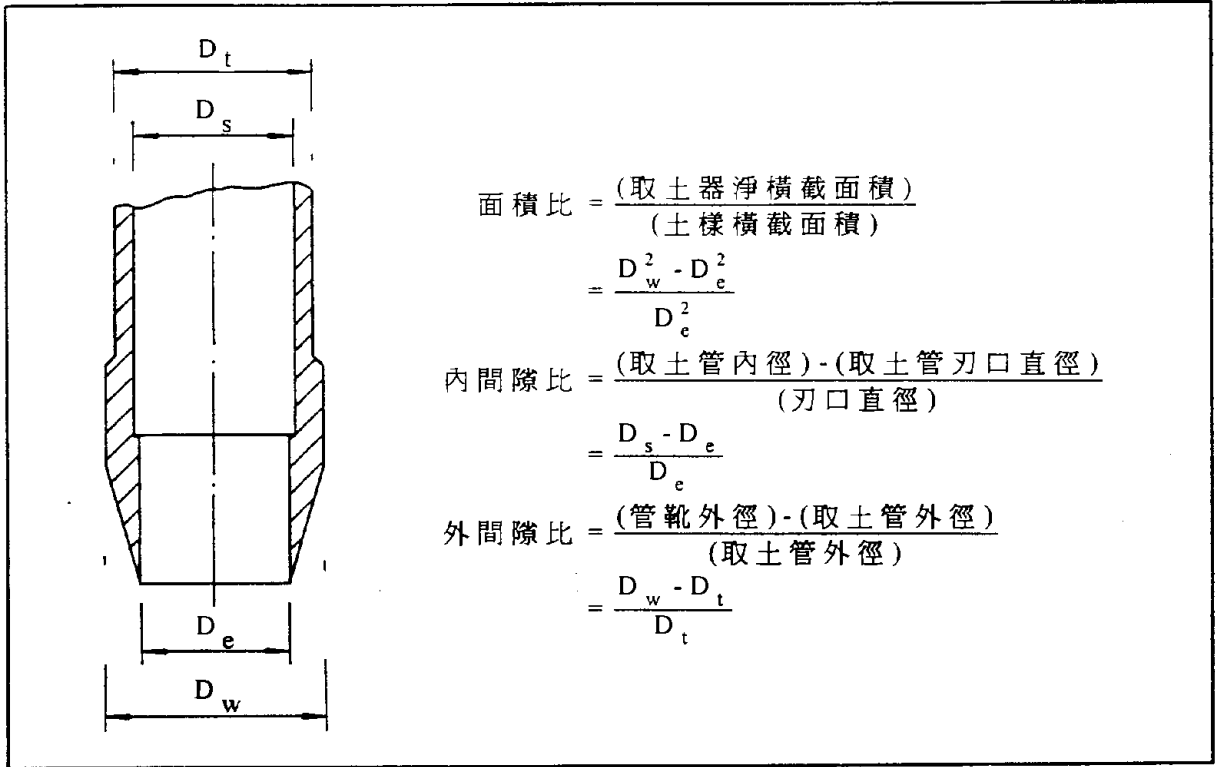


圖 2.8 - 取土器比例指標之定義

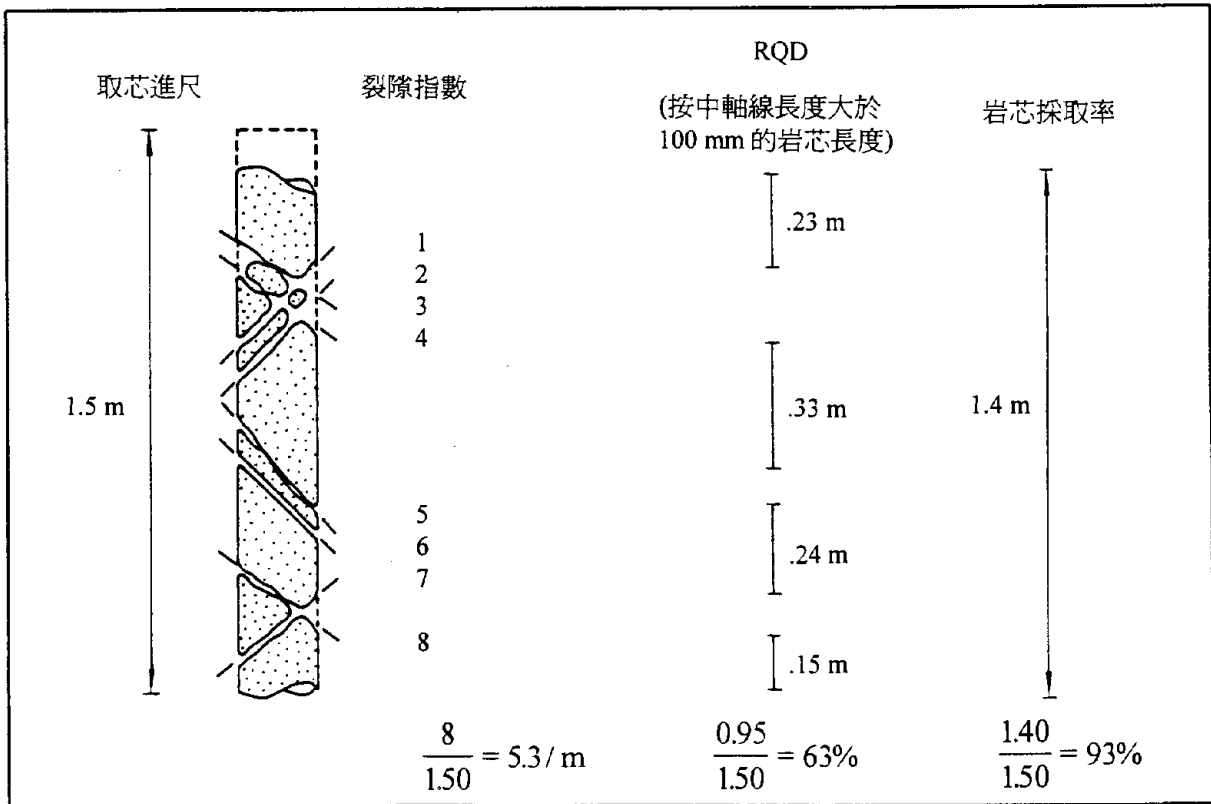


圖 2.9 - 岩芯採取率與裂隙指數

<b>一般資料</b>																									
序號 <b>7489</b>	日期 <b>1,0,0,3,7,6</b>																								
場地 <b>A,N,Y,W,H,E,R,E</b>	測繪人 <b>A,C</b>																								
定位方法 <b>3</b> 坐標或縫測 (米) 1. 坐標定位 2. 縫測 3. 由地圖/繪圖/照片																									
向北或縫測 <input type="text"/>	向東 <input type="text"/>																								
標高 <input type="text"/>																									
<b>場地面積</b>																									
場地類型 <b>2</b>	場地面積 <b>1</b>																								
1. 天然露頭 2. 施工開挖 3. 隧道 4. <1 m <sup>2</sup> 5. 測線測量	不連續面數據 <b>1,2</b> 補充報表頁數 0. 無 1. 有																								
草圖 <b>1</b>	照片 <b>1</b>																								
斜坡 傾角 <b>8,0</b>	備註 <b>32 m 高，有不穩定跡象，已出現楔體破壞</b>																								
傾向 <b>1,0,0</b>																									
<b>岩石資料</b>																									
顏色 <b>119</b>	岩石類型 <b>花崗岩</b>																								
1. 淺粉紅色的 2. 深粉紅色的 3. 黃色的 4. 褐色的 5. 橄欖色的 6. 綠色的 7. 藍色的 8. 灰色的 9. 灰色 10. 黑色	描述岩石的 適當術語 <b>微風化， 節理面為中風化</b>																								
粒徑 <b>2</b>	抗壓強度 <b>4</b>																								
1. 極粗 (>60 mm) 2. 粗 (2-60 mm) 3. 中粗 (60μ - 2 mm) 4. 細 (2-100μ) 5. 極細 (<2μ)	1. 極低 - 可用手捏斷 2. 低 - 用錘在重擊下可碎裂 3. 較高 - 用錘可刻痕 4. 高 - 雜擊一下可碎裂 5. 極高 - 需多錘才能碎裂																								
主要不連續面數目 <b>3</b>	確定不連續面間距的測線測量																								
風化情況 <b>2</b>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>測線</th> <th>內插</th> <th>測線長(m)</th> <th>裂隙數</th> <th>間距</th> <th>備註</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>測線 1</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>6,0</td> <td>4,7</td> <td>2,3 斜 坡 底</td> </tr> <tr> <td>測線 2</td> <td>0,0</td> <td>1,0</td> <td>4,8</td> <td>4,0</td> <td>2,3 斜 坡 級</td> </tr> <tr> <td>測線 3</td> <td>8,0</td> <td>1,0,0</td> <td>3,2</td> <td>5,0</td> <td>2,3 斜 坡 中 線</td> </tr> </tbody> </table> 不連續面間距：1. 超寬 (<2 m) 4. 中寬 (60-200 mm) 7. 極窄 (<6 mm) 2. 極寬 (600 mm-2 m) 5. 中窄 (20-60 mm) 3. 寬 (200-600 mm) 6. 窄 (6-20 mm)	測線	內插	測線長(m)	裂隙數	間距	備註	測線 1	0,0	1,0	6,0	4,7	2,3 斜 坡 底	測線 2	0,0	1,0	4,8	4,0	2,3 斜 坡 級	測線 3	8,0	1,0,0	3,2	5,0	2,3 斜 坡 中 線
測線	內插	測線長(m)	裂隙數	間距	備註																				
測線 1	0,0	1,0	6,0	4,7	2,3 斜 坡 底																				
測線 2	0,0	1,0	4,8	4,0	2,3 斜 坡 級																				
測線 3	8,0	1,0,0	3,2	5,0	2,3 斜 坡 中 線																				
塊體尺寸 <b>2,3</b>	岩體資料																								
1. 塊狀的 (>8 m <sup>3</sup> ) 2. 大 (0.2-8 m <sup>3</sup> ) 3. 中 (0.008-0.2 m <sup>3</sup> ) 4. 小 (0.0002-0.008 m <sup>3</sup> ) 5. 極小 (<0.0002 m <sup>3</sup> )	結構 <b>1</b> 1. 塊狀的 2. 片狀的 3. 柱狀的																								
風化情況 <b>2</b>																									
1. 新鮮 2. 微風化 3. 中度風化 4. 強風化 5. 全風化 6. 殘積土																									

圖 2.10 - 岩體測繪描述表例

一般資料

序號    場地         日期       測繪人   不連續面數據第  頁共   頁

不連續面的特徵與方位

鍵測或編號	傾角		持續長度	張開度	充填物	粗糙度	波長	波幅	水	備註
	傾角 (以度表示)	傾向 (以度表示)								
1 1 3	2 5 6	1 7 8	3 5	4 4	4 4	2	1 5 0	2 0	0 5 1	
1 1 4	2 8 6	3 1 3	1 5	5 2	-	-	5 0	1 0	0 4 1	
1 1 5	2 8 6	2 3 5	9	7 2	-	-	2 0	-	- 1	
1 1 6	2 6 6	1 7 6	7	6 6	5	5	4 0	-	- 1	
1 1 7	2 8 4	2 4 6	4 3	4 4	2	2	1 2 0	2 0	0 5 1	爆破孔顯示有 50 mm 的位移
1 1 8	2 5 5	1 4 9	2 4	5 2	-	-	3 0	1 5	1 0 1	
1 1 9	1 4 4	6 4	2 5 0	3 4	4	4	2 0 0	3 0	0 8 2	
1 2 0	2 9 0	1 4 4	1 9	7 6	5	5	2 0	0 5	0 5 1	
1 2 1	2 8 2	2 3 4	3 3	4 2	-	-	1 0 0	1 5	0 3 1	
1 2 2	2 8 1	2 3 2	4	7 2	-	-	2 0	-	- 1	
1 2 3	2 6 2	1 4 4	1 3	5 2	-	-	5 0	1 0	0 5 1	
1 2 4	1 8 0	2 6 3	1 8 0	3 4	4	4	2 0 0	4 5	2 0 3	

- 類型
0. 斷層帶
  1. 斷層
  2. 節理
  3. 劈理
  4. 片理
  5. 剝切縫
  6. 裂隙
  7. 張性裂縫
  8. 基理
  9. 層理

- 傾角、傾向 (以度表示)
- 持續長度 (以 m 表示)
- 張開度
1. 寬 (>200 mm)
  2. 中寬 (60-200 mm)
  3. 中窄 (20-60 mm)
  4. 窄 (6-20 mm)
  5. 極窄 (2-6 mm)
  6. 超窄 (<2 mm)
  7. 緊密

- 充填物特征
1. 乾淨
  2. 表面沾污
  3. 無黏性
  4. 黏性
  5. 膠結
  6. 方解石
  7. 氣泥石、滑石
  8. 其它、說明

- 充填物硬度
- 岩石強度
1. 軟
  2. 較軟
  3. 硬
  4. 堅硬
  5. 軟
  6. 中硬
  7. 硬
  8. 極硬

- 粗糙度
1. 光亮
  2. 極度
  3. 小滑
  4. 粗糙
  5. 有極波紋
  6. 有小斜紋
  7. 很粗糙

- 波動
- 波長及幅值用 m 表示
1. 乾
  2. 滲流
  3. 微流動 < 0.1 l/s
  4. 流動 0.1 - 1 l/s
  5. 大流動 > 1 l/s

圖 2.11 - 不連續面測繪數據表例



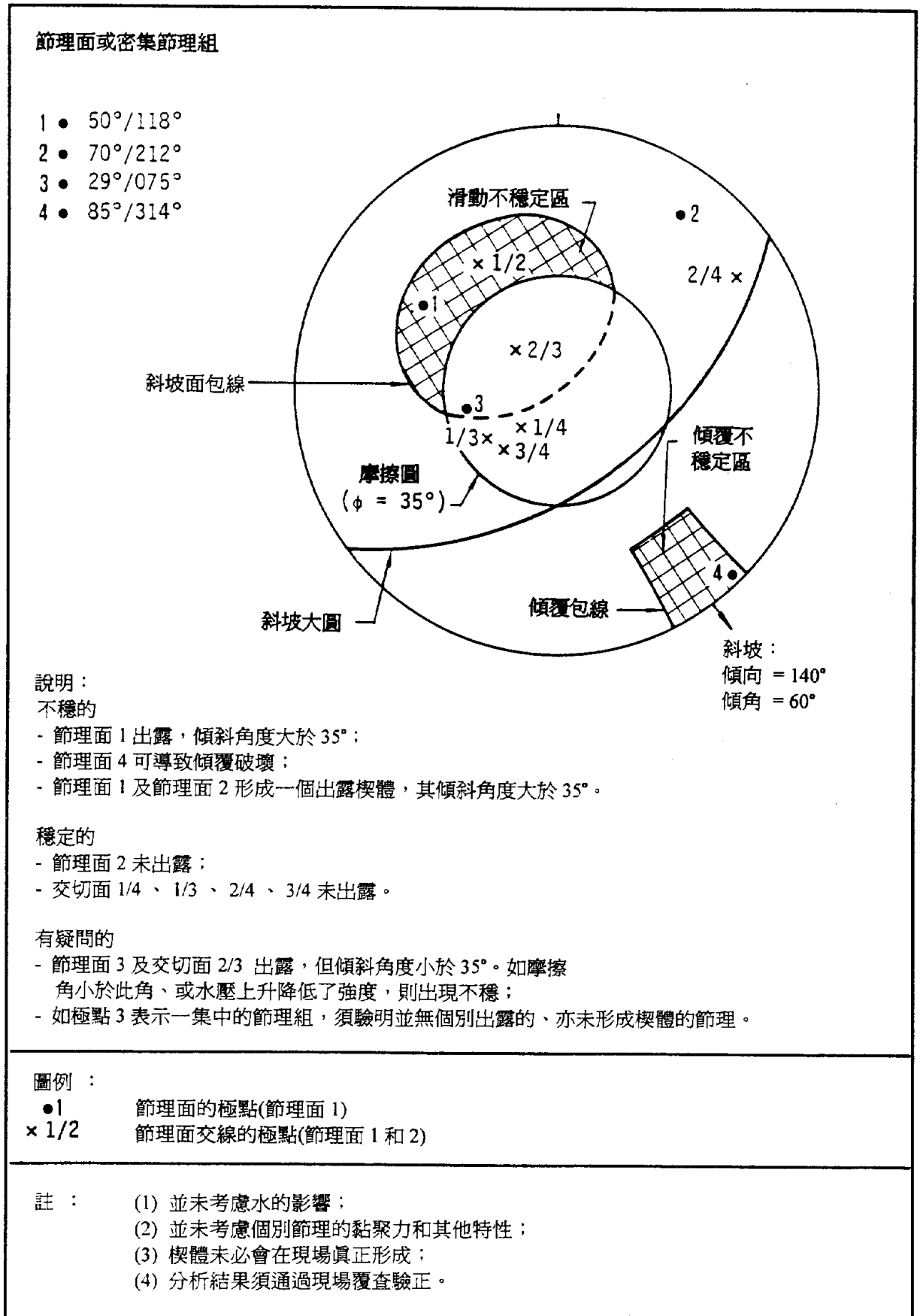


圖 2.12 - 赤平投影圖實例

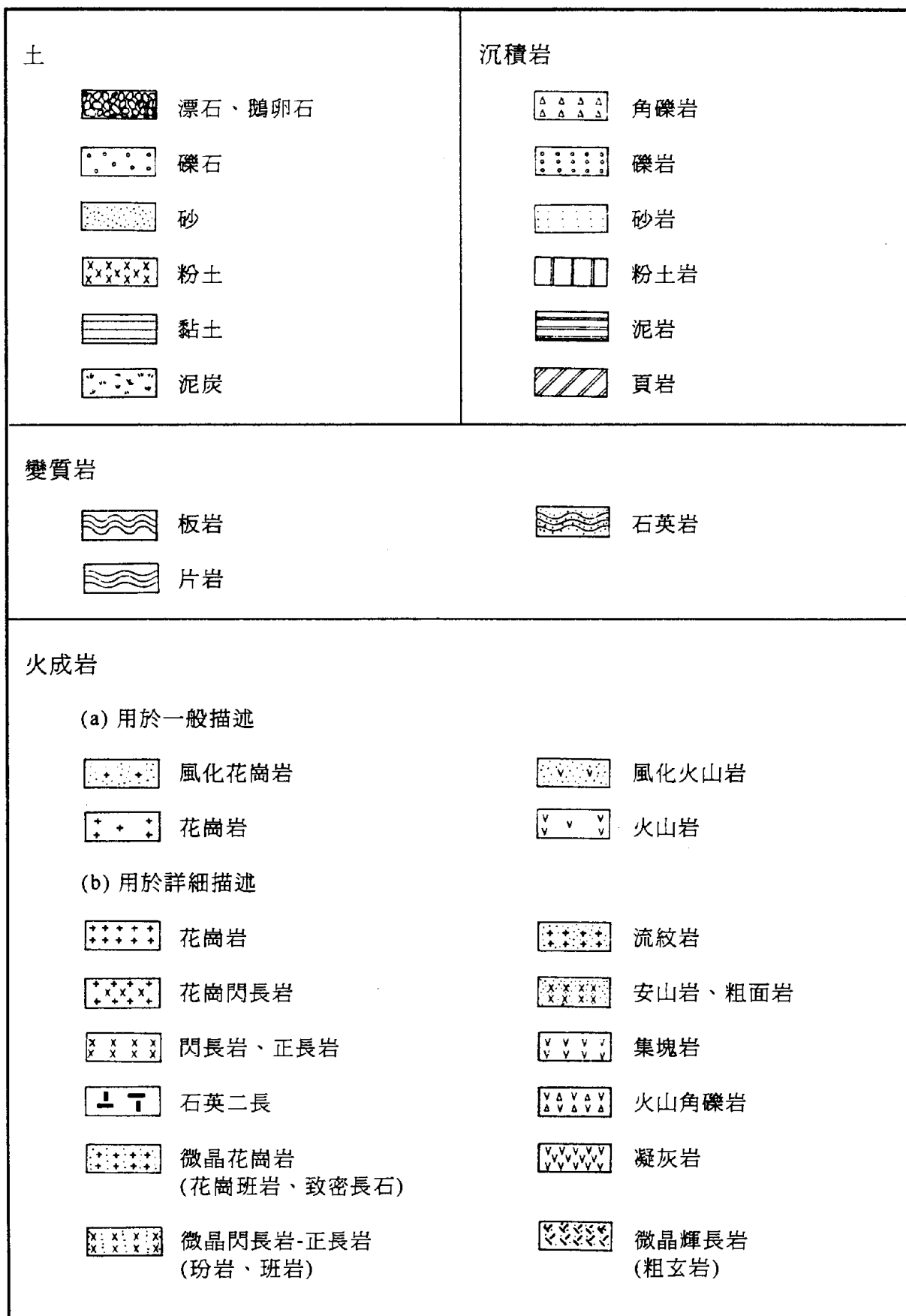


圖 2.13 - 用於柱狀圖的圖例

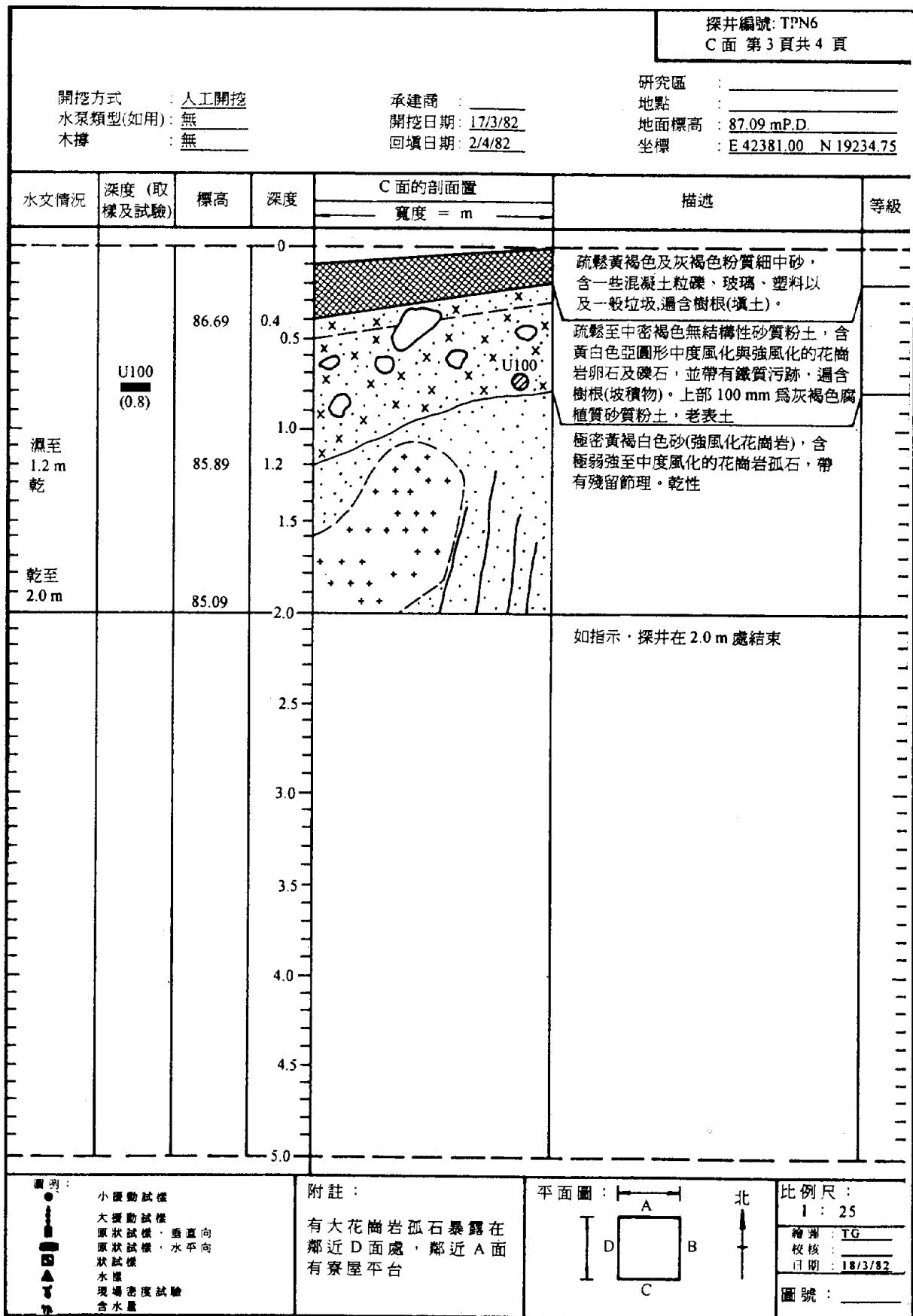


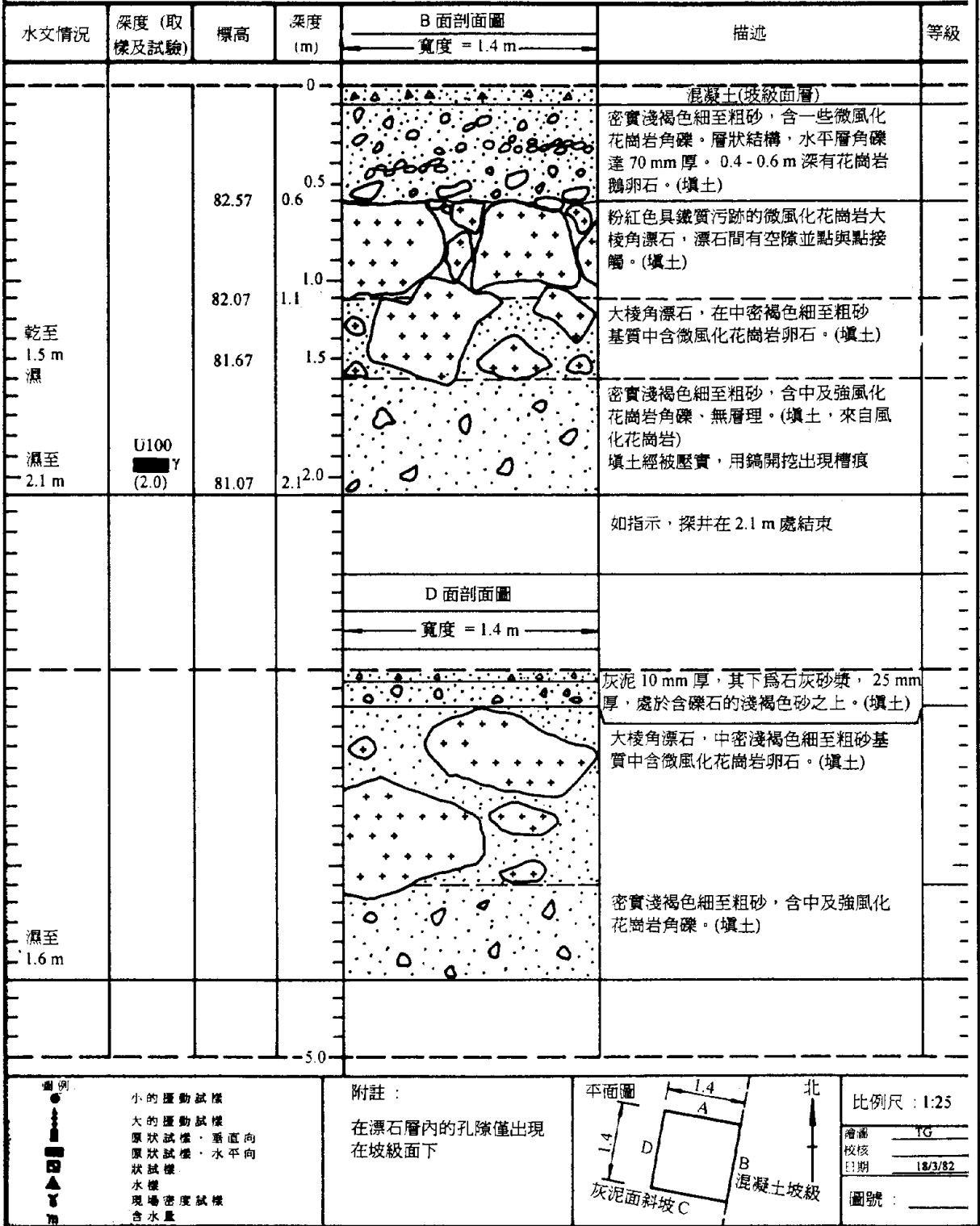
圖 2.14 - 探井柱狀圖 - 實例 1

探井編號 : TPN 9  
B 面及 D 面 第 2 頁共 2 頁

開挖方式 : 人工開挖  
水泵類型(如用): 無  
木樁 : 無

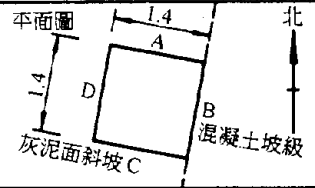
承建商 : \_\_\_\_\_  
開挖日期 : 16/3/82  
回填日期 : 2/4/82

研究區 : \_\_\_\_\_  
地點 : \_\_\_\_\_  
地面標高 : \_\_\_\_\_  
坐標 : E 42376.14 N 19198.55



- 圖例:
- 小的擾動試樣
  - 大的擾動試樣
  - ⊙ 原狀試樣, 垂直向
  - ⊠ 原狀試樣, 水平向
  - 狀試樣
  - ▲ 水樣
  - ▽ 現場密度試樣
  - ⊕ 含水量

附註:  
在漂石層內的孔隙僅出現在坡級面下



比例尺 : 1:25

繪圖	TG
校核	B
日期	18/3/82

圖號 : \_\_\_\_\_

圖 2.15 - 探井柱狀圖 - 實例 2

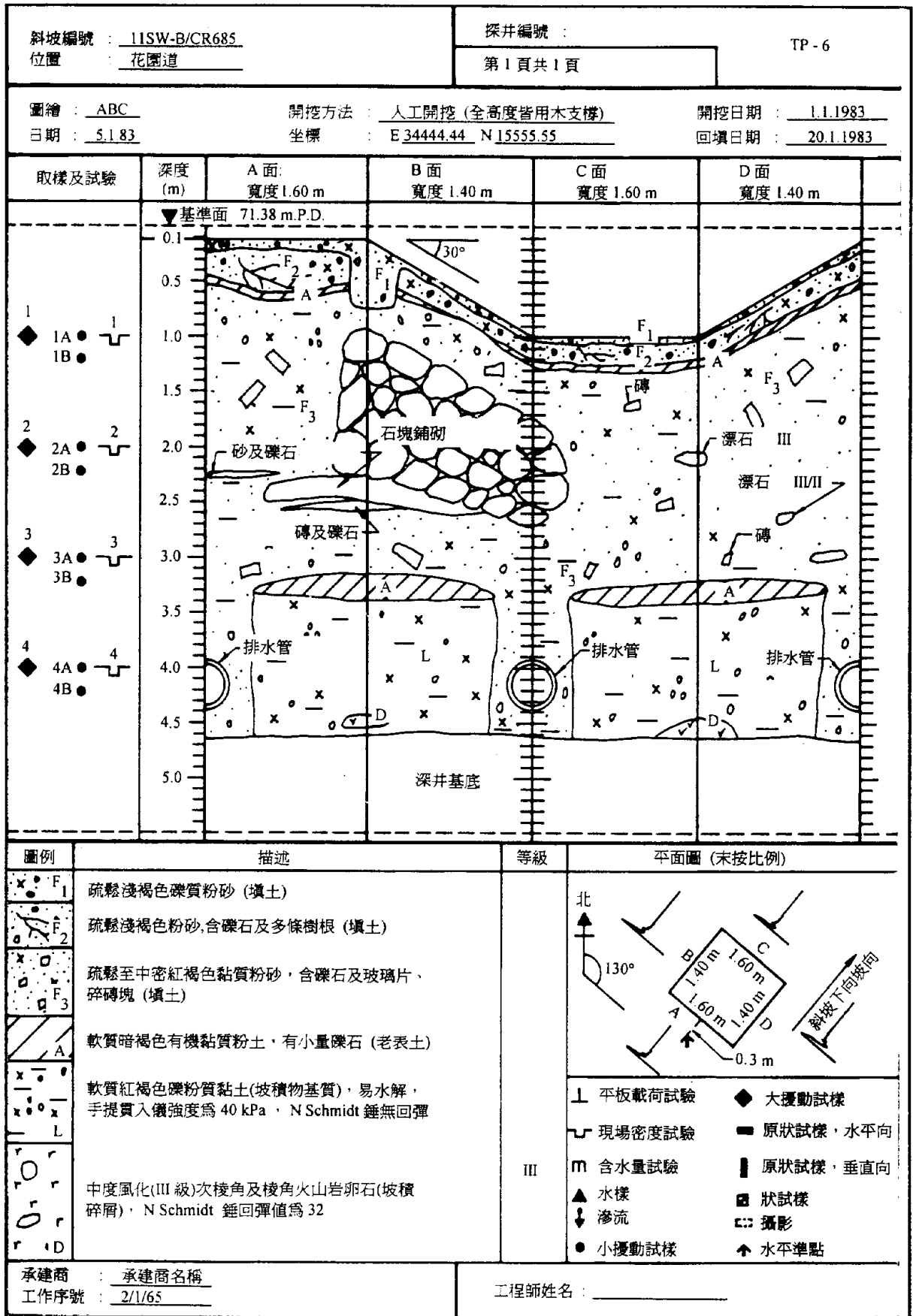


圖 2.16 - 探井柱狀圖 - 實例 3

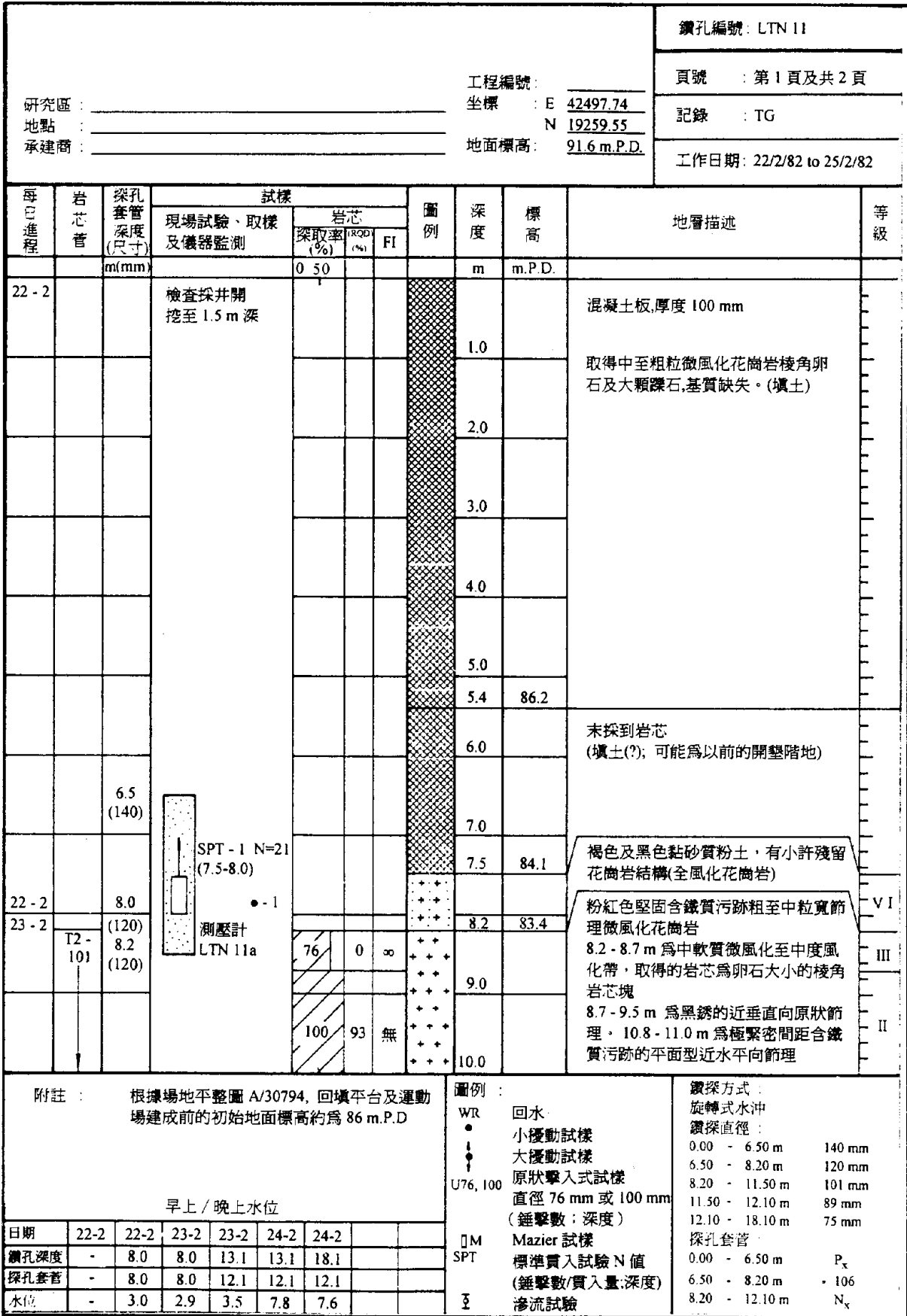


圖 2.17 - 鑽孔柱狀圖實例 (第一頁)

每日進程		岩芯管	探孔管深度 (尺寸)	試樣			圖例	深度	標高	地層描述	等級
				現場試驗、取樣及儀器監測	岩芯						
			m(mm)	0	50			m	m.P.D.		
		T2-101			100	100	無	11.0	80.6	微風化花崗岩(詳見第1頁)	II
					38		3.75			11.0 - 11.5 m 以及 11.8 - 12.1 m 未採到岩芯。2 號罐裝試樣為粉紅色砂，含粉土，殘留花崗岩結構(全風化花崗岩)	V
					無	-	-	12.1	79.5		
23-2		TNW	12.1 (89)		86	35	6.0	12.5	79.1	硬質粉紅色粗至中粒以寬節理為主微風化至新鮮(13.2 m 以下)花崗岩。12.5 - 12.8 m 為中至強風化帶,取得的岩芯為棱角卵石。在 13.1 m 處有邊緣為 III 級風化的次水平節理。在 12.95 m、13.2 m 以及 14.8 m 處有平面型光滑密閉 40°節理。在 15.0 - 15.5 m 處有閉合節理帶,為起伏型的、光滑至粗糙、具黑色銹跡。15.0 - 17.1 m 無節理	II
24-2					89	73	1.11	12.8	78.8		III/IV
					100	100	無	14.0			II
					100	100	無	15.0			
					100	78	5.0	16.0		在 17.1 - 17.6 m 處有次垂直向原狀節理,有綠泥石脈填充物,厚度為 1 - 2 mm。在 17.1 m 及 17.2 m 處有起伏型、鐵質污跡、密閉、次水平向節理。在 18.0 m 處有平面型光滑密閉節理,有高嶺土覆蓋物	I
					100	97	1.29	17.0			
24-2			12.1 (89)		100	100	無	18.1	73.5		
										在 18.1 m 深鑽孔結束	
附註：測壓計 LTN 116 安裝在地面以下 17.5 m 處，10.5 - 18.1 m 有砂濾層，8.5 - 10.5 m 有膨潤土封層；測壓計 LTN 11a 安裝在地面以下 8.0 m 處，6.5 - 8.5 m 有砂濾層，4.5 - 6.5 m 有膨潤土封層。從地面至 4.5 m 處以水泥膨潤土灌漿。 早上 / 晚上水位								圖例： WR 回水 ● 小擾動試樣 ○ 大擾動試樣 U76, 100 原狀擊入式試樣 直徑 76 mm 或 100 mm ( 錘擊數；深度) M Mazier 試樣 SPT 標準貫入試驗 N 值 ( 錘擊數/貫入量；深度) 滲流試驗		鑽探方式： 旋轉式方沖： 鑽探直徑： 0.00 - 6.50 m 140 mm 6.50 - 8.20 m 120 mm 8.20 - 11.50 m 101 mm 11.50 - 12.10 m 89 mm 12.10 - 18.10 m 75 mm 探孔套管： 0.00 - 6.50 m P <sub>x</sub> 6.50 - 8.20 m 106 8.20 - 12.10 m N <sub>x</sub>	
日期											
鑽孔深度											
探孔管											見第一頁
水位											

圖 2.18 - 鑽孔柱狀圖實例 (第二頁)

現場吸水試驗數據							
				鑽孔號	T3	試驗號	4
試驗日期		24/11/75		試驗人		MKF	
壓水器類型(刪去不適用者)		單壓水器/雙壓水器		試驗段深度		由19.81 m至22.86 m	
氣壓 / 水力 / 機械				試驗時孔深		33.84 m	
壓水器壓力				試驗時探孔套管情況		-	
試驗段中央深度(由鑽孔中線量度)				儀表距地面高度		1.32 m	
地下水位深度(由鑽孔中線量度)				21.34 m			
第1次 儀表壓力 124 kPa							
時間 (分鐘)	0	5	10	15		平均流量 (l/min)	
流量表 讀數(1)	218.6	229.3	239.9	250.7			
測深尺							
進水量 (l)	10.7	10.6	10.8			2.14	
第2次 儀表壓力 248 kPa							
時間 (分鐘)	0	5	10	15		平均流量 (l/min)	
流量表 讀數(1)	281.8	296.4	311.2	326.3			
測深尺							
進水量 (l)	14.6	14.8	15.1			2.96	
第3次 儀表壓力 372 kPa							
時間 (分鐘)	0	5	10	15		平均流量 (l/min)	
流量表 讀數(1)	255.9	276.6	297.5	318.5			
測深尺							
進水量 (l)	20.7	20.9	21.0			4.17	
第4次 儀表壓力 248 kPa							
時間 (分鐘)	0	5	10	15		平均流量 (l/min)	
流量表 讀數(1)	54.5	69.9	85.4	101.1			
測深尺							
進水量 (l)	15.4	15.5	15.7			3.10	
第5次 儀表壓力 124 kPa							
時間 (分鐘)	0	5	10	15		平均流量 (l/min)	
流量表 讀數(1)	377.3	388.6	400.0	411.5			
測深尺							
進水量 (l)	11.3	11.4	11.5			2.28	

圖 2.19 - 吸水試驗現場記錄表例



吸水試驗						
			鑽孔號 T3		試驗號 4	
試驗日期 <u>24/11/75</u>		試驗段深度		由19.81 m 至 22.86 m		
壓水器類型(刪去不適用者)		試驗時孔深		<u>33.84 m</u>		
單壓水器/雙壓水器		試驗段孔徑		<u>102 mm</u>		
氣壓 / 水力 / 機械		鑽孔與水平面夾角		<u>90°</u>		
壓水器壓力 _____		探孔套管情況		<u>-</u>		
		岩石類型		<u>II 級花崗岩</u>		
試驗段圖例 <u>3.05 m</u>	流量	儀表壓力		摩擦水頭失損		總水頭
	q 公升/分鍾	單位： <u>kPa</u>	水頭 m	於基本管路 中 m	於其它的鑽 桿或管路中 m	h (2+3 + 6 - 7 - 8) m
(1)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
地下水水位距地 面深度 <u>21.34 m</u>	2.14	124	12.6	微	↗	35.26
	2.96	248	25.2			47.86
	4.17	372	37.8			60.46
壓力計離地面 高度 <u>1.32 m</u>	3.10	248	25.2	↘	↖	47.86
	2.28	124	12.6			35.26
由圖中： $q/h = 3.4/54$				試驗人		計算人
$L = \frac{100}{lh} q = 2.06 \quad \text{呂容單位}$ 其中L為試驗段長度(m)				_____		<u>MKF</u>
註：如有未知深度的、低於試驗段的地下水位，深度則取至試驗段中央。						

圖 2.20 - 吸水試驗計算表例

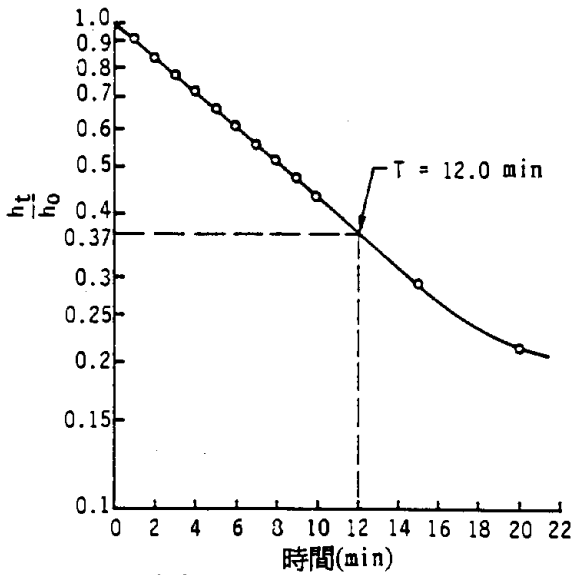
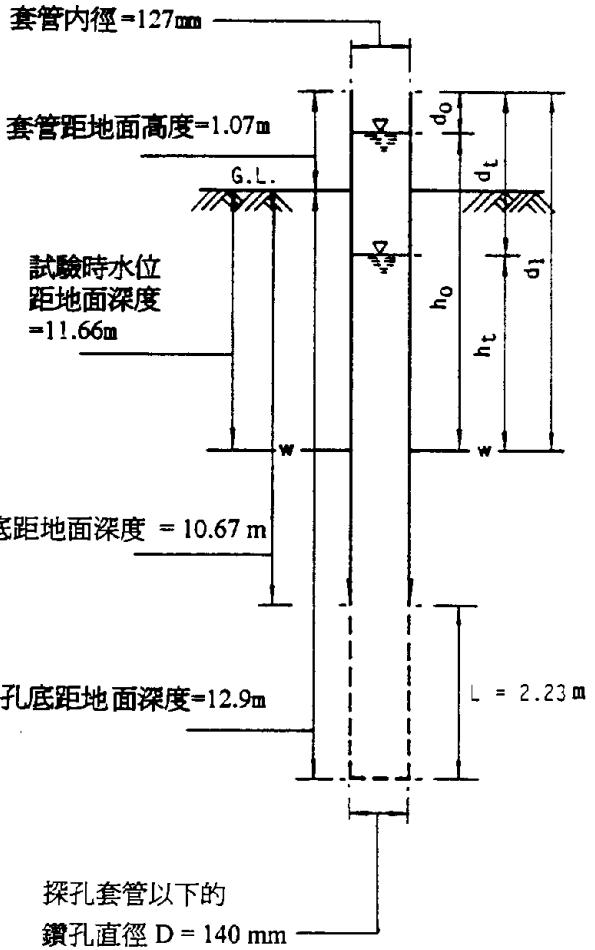
變水頭滲流試驗

現場數據：

土層鑽孔 ..... 日期 .....  
 岩層鑽孔 07 ..... 記錄人 ABC .....

時間	經過 時段 分 秒	探孔套管 頂端距水 面深度 = $d_t$	$h_t =$ ( $d_1 - d_t$ )	$\frac{h_t}{h_0}$
	0	9.601 m	3.129 m	1.000
	1 0	9.854	2.876	0.919
	2 0	10.109	2.621	0.838
	3 0	10.300	2.430	0.777
	4 0	10.484	2.246	0.718
	5 0	10.668	2.062	0.659
	6 0	10.826	1.904	0.608
	7 0	10.985	1.745	0.558
	8 0	11.100	1.630	0.521
	9 0	11.227	1.503	0.480
	10 0	11.366	1.364	0.435
	15 0	11.824	0.906	0.290
	20 0	12.065	0.665	0.212

試驗只能用清潔水。  
 鑽孔時曾否加過水？ 是/否



計算：

$$K = \frac{A}{FT}$$

其中： $A = \frac{0.140^2 \pi}{4} = 0.01539 \text{ m}^2$

$F = 2.5$  (根據英國標準 B.S. 5930 : 1981 的圖 7 中 d 項情況)

$T = 12 \text{ min} \times 60 = 720 \text{ sec}$

因此： $K = \frac{A}{FT} = \frac{0.01539}{2.5 \times 720} = 8.5 \times 10^{-5} \text{ m/s}$

圖 2.21 - 變水頭滲透試驗結果及計算表例

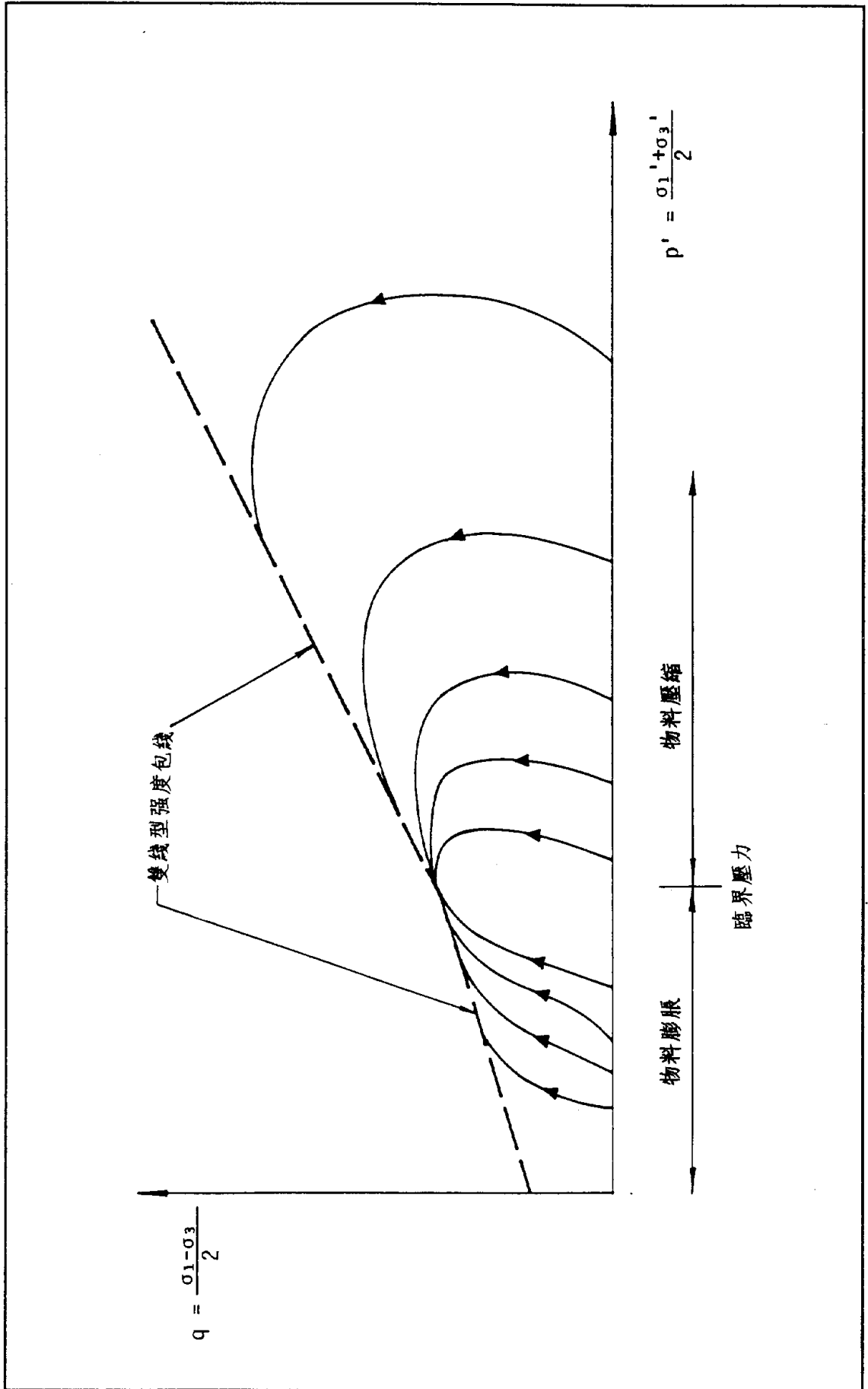


圖 3.1 - 固結不排水 (CU) 三軸試驗的典型應力路徑及強度包綫

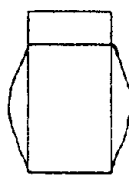
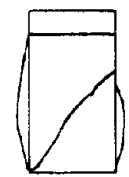
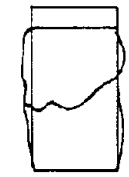
三軸壓縮試驗 --- 土性撮要							
測孔壓單級固結不排水							
工程項目	參考號			鑽孔號 A			
試樣編號, 類型及標稱直徑	2/M/76			深度 5.7-6.3			
試件號	1		2		3		
有效圍壓 $\sigma_3$ kPa	35		70		115		
	試驗前	試驗後	試驗前	試驗後	試驗前	試驗後	
試件直徑 mm	76.0		76.0		76.0		
試件長度 mm	152.0		152.0		152.0		
試件體積 $\text{cm}^3$	689.54	664.71	689.54	667.04	689.54	670.94	
試件濕重 g	1302.1	1308.1	1313.7	1313.7	1318.7	1318.1	
試件乾重 g	1024.1		1031.9		1037.1		
水分質量 g	278.0	284.0	281.8	282.0	281.6	281.0	
含水量 %	27.1	27.7	27.3	27.3	27.2	27.1	
濕密度 $\text{Mg/m}^3$	1.89		1.91		1.91		
乾密度 $\text{Mg/m}^3$	1.49	1.54	1.50	1.55	1.50	1.55	
比重	2.69		2.68		2.66		
空隙比	0.811	0.746	0.791	0.732	0.769	0.721	
飽和度 %	90.0		92.5		94.0		
飽和含水量 %	30.2		29.5		28.9		
試件破壞示意圖							
土的描述	紅、褐及黑色含較多黏粒的粉土/砂		紅、褐及黑色含較多黏粒和粉粒的砂		紅、褐及黑色, 含礫質及較多黏粒的粉質砂		
黏聚力 $c'$ (kPa)	3.1						
內摩擦力 $\phi'$ ( )	36.6						
液限 (%)							
塑限 (%)							
重量百分比 (%)	礫粒	2-60 mm	3	3	16		
	砂粒	0.06-2 mm	41	41	40		
	粉粒	0.002-0.006 mm	36	32	23		
	黏粒	< 0.002 mm	20	24	21		

圖 3.2 - 土的三軸試驗土性資料實例

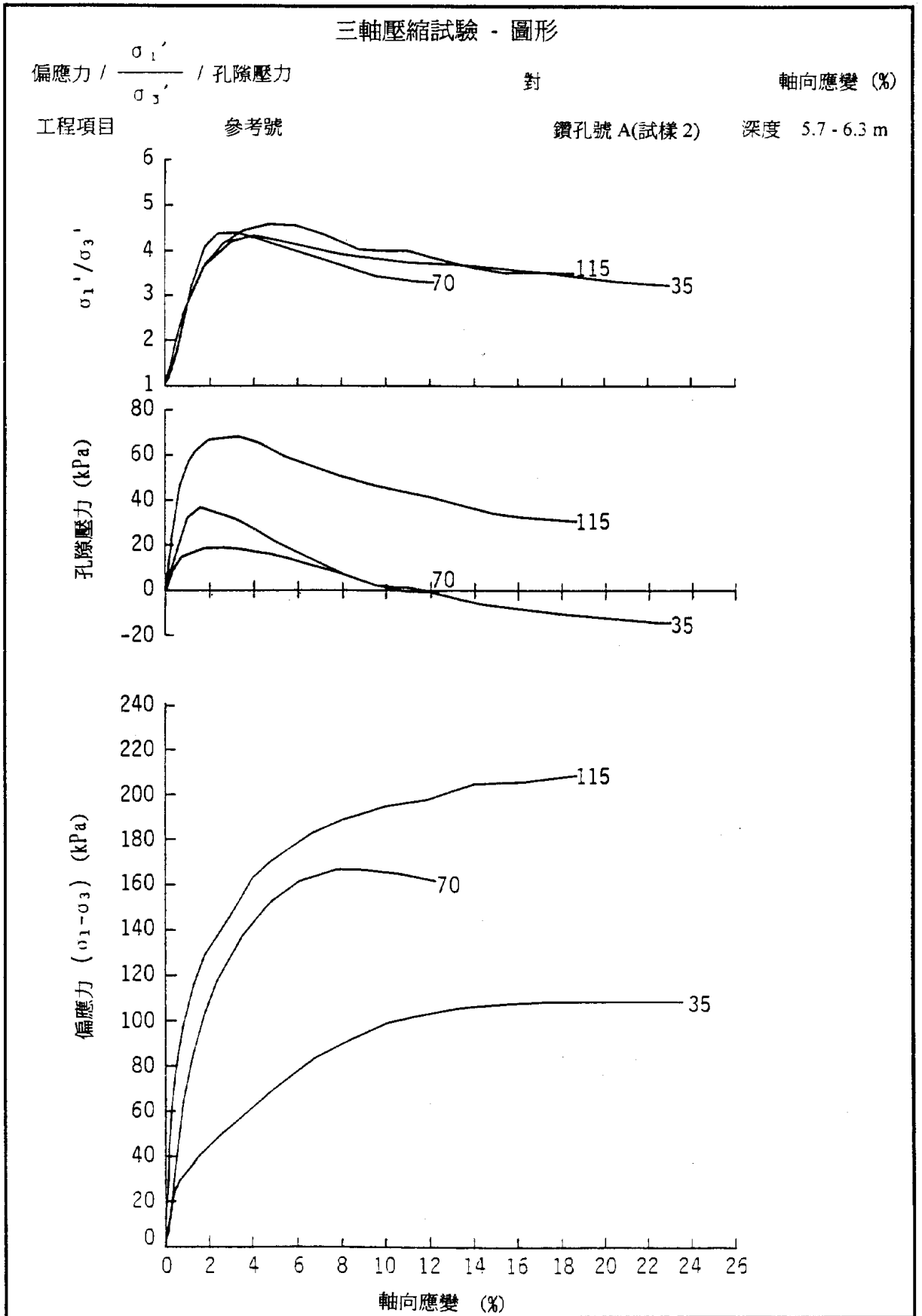


圖 3.3 - 三軸試驗圖線資料實例

三軸壓縮試驗 - 應力路徑圖

工程項目

測孔壓固結不排水  
參考號

鑽孔號 A(試樣 2)

單級

深度 5.7-6.3 m

鑽孔號	試件號	深度 (m)	$(\sigma_1 - \sigma_3)_e$	$\sigma_{3e}'$	$\sigma_{1e}'$	$\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)_e}{2}$	$\frac{(\sigma_1' + \sigma_3')_e}{2}$	破壞應變 (%)	$\gamma_d$ Mg/m <sup>3</sup>	天然含水量 %	飽和含水量 %	$B = \frac{\Delta U}{\Delta \sigma_3}$
A	1	5.7	110	49	159	55	104	23.03	1.49	27.1	30.2	1.00
	2	6.0	168	64	232	84	148	8.33	1.50	27.3	29.5	0.99
	3	6.3	210	83	293	105	188	17.35	1.50	27.2	28.9	0.98

註： e = 終點

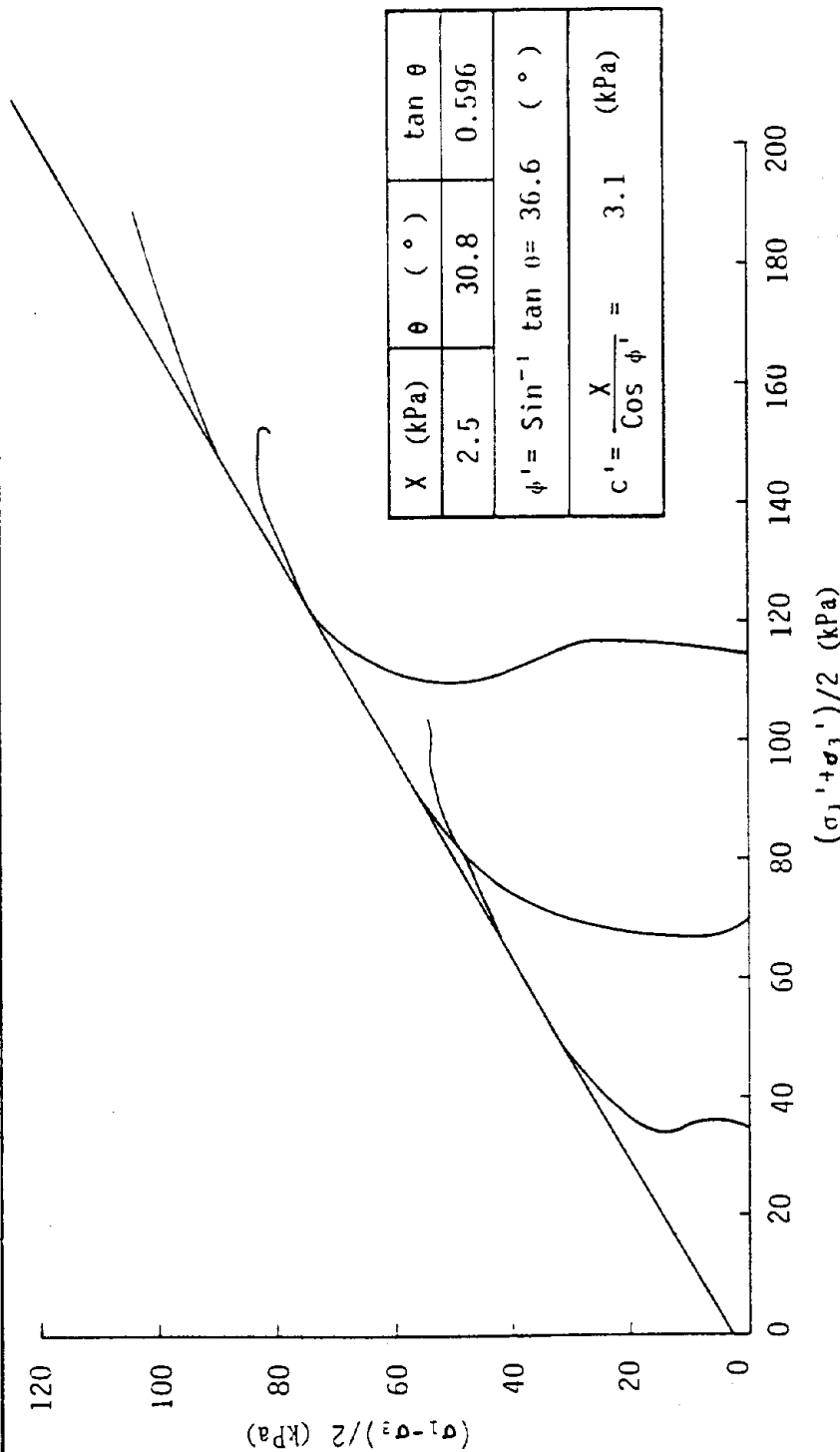


圖 3.4 - 三軸試驗 p' - q' / 應力路徑圖實例

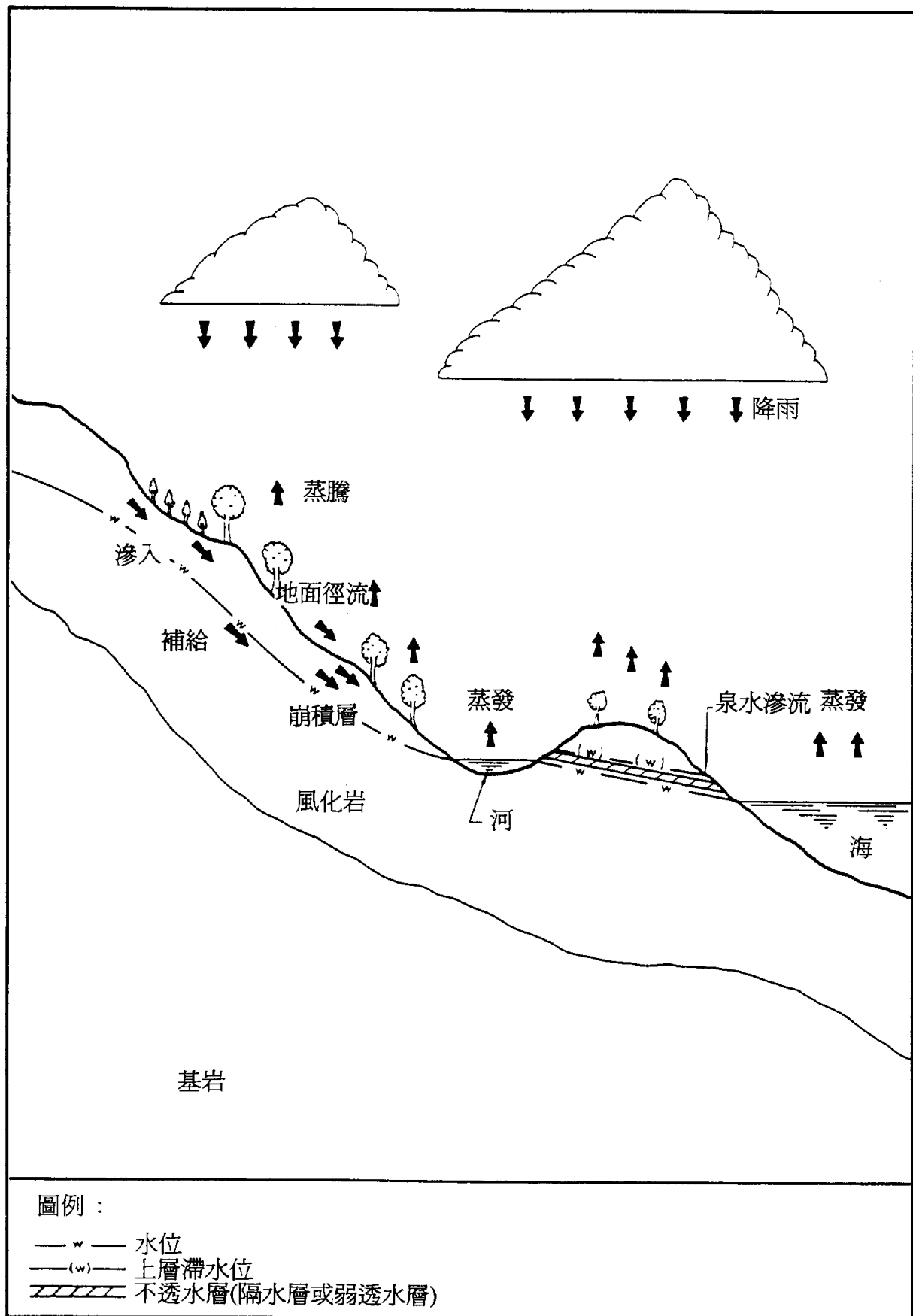


圖 4.1 - 水文循環的簡化圖示

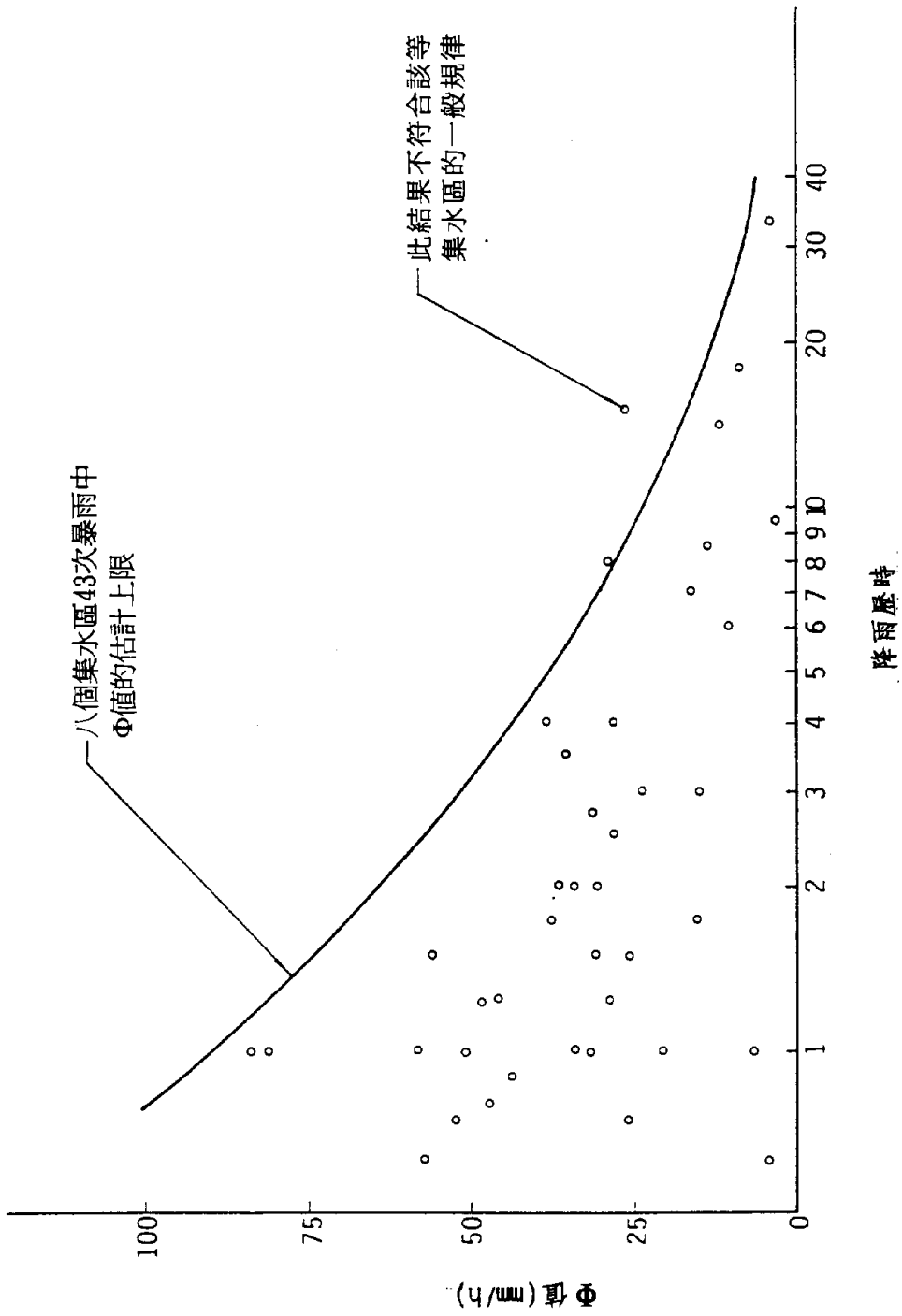


圖 4.2 - 香港集水區的Φ值



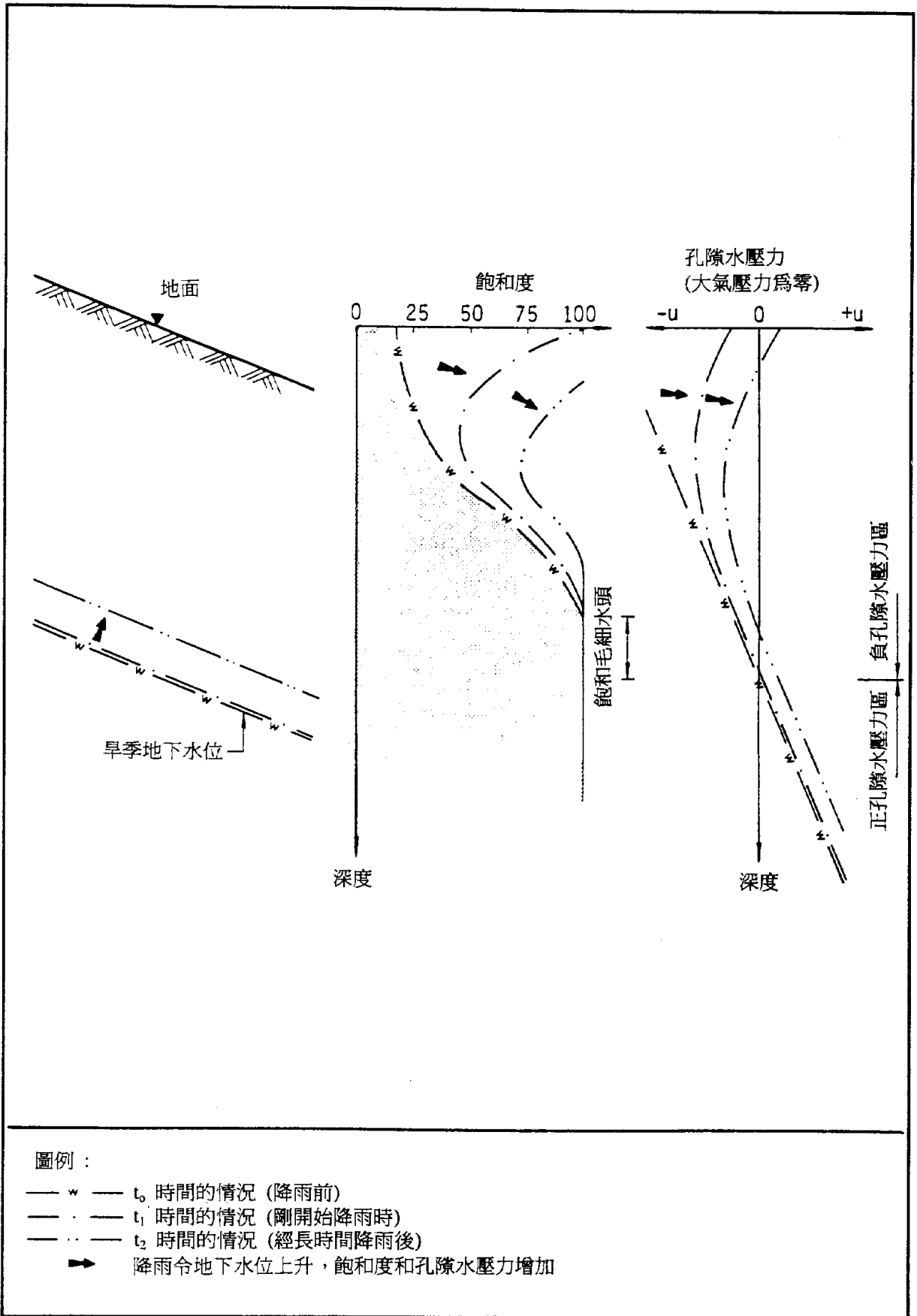


圖 4.3 - 由降雨引起的地下水位、飽和度(s)、孔隙水壓力(u)的典型變化

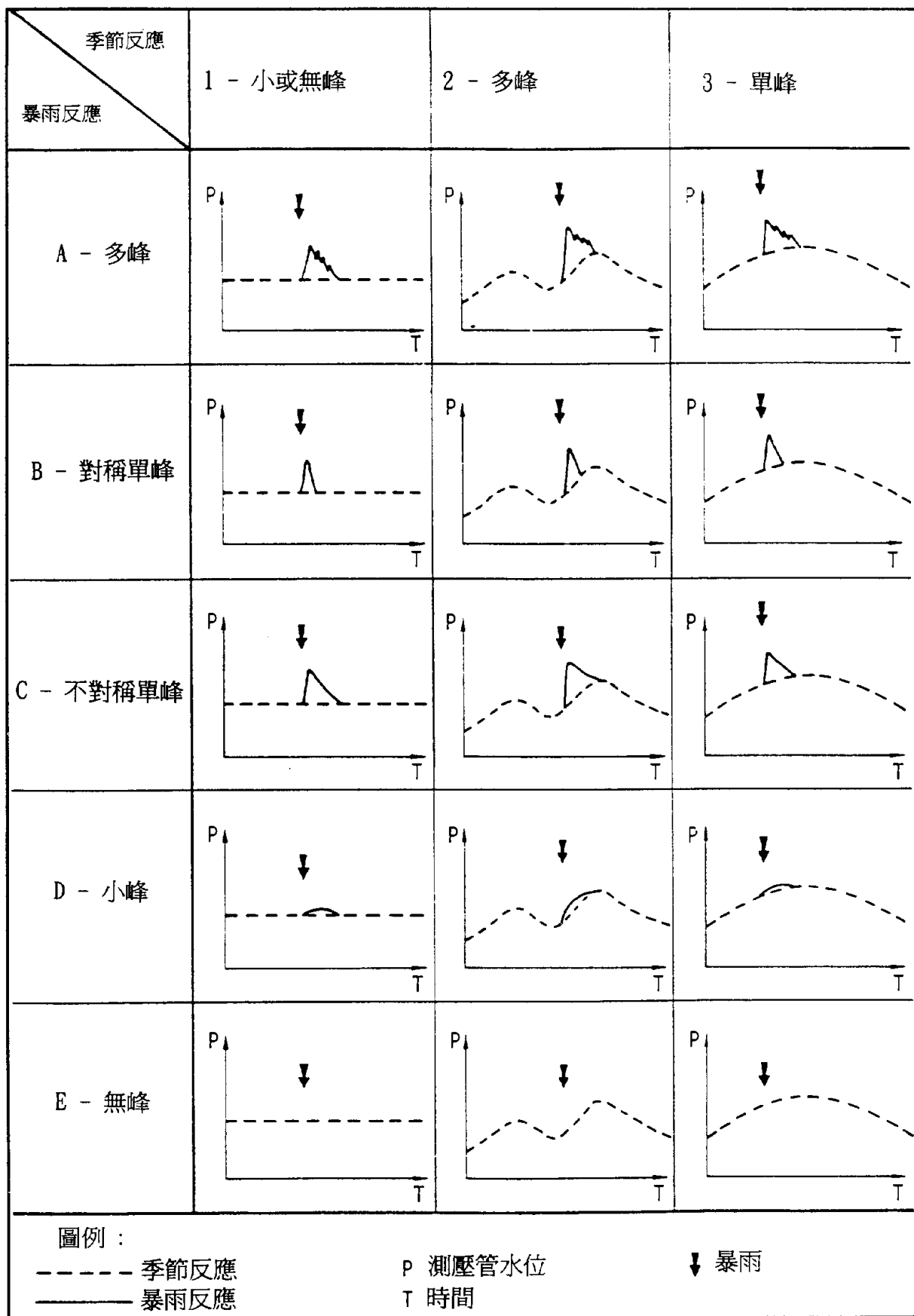
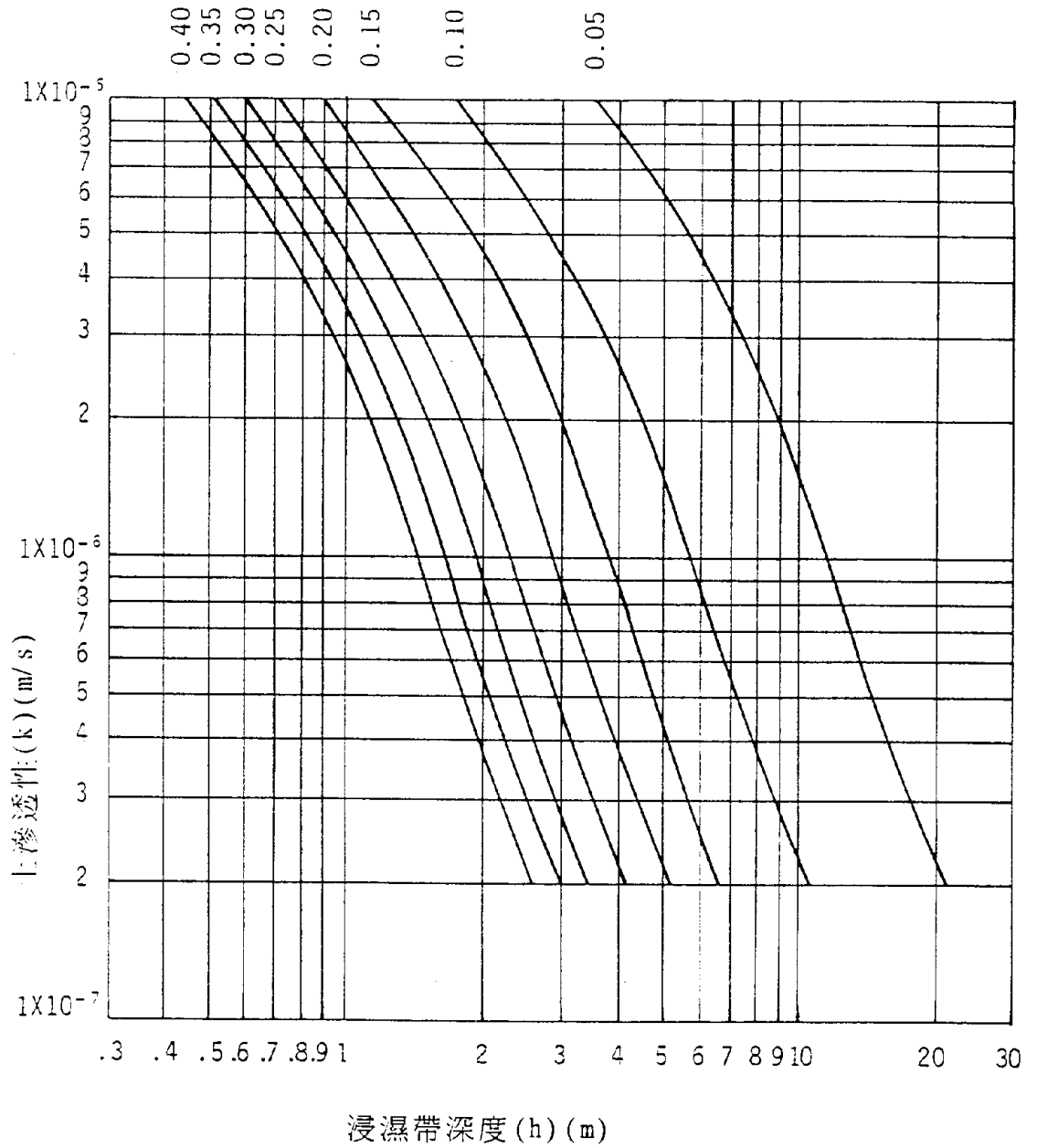


圖 4.4 - 典型的測壓計反應



註： (1) 本圖按50%徑流量，40%孔隙率繪製；  
 (2) 圖中乃不同飽和度 ( $S_f - S_o$ ) 的曲線。

圖 4.5 - 十年重現期降雨量下滲透性和飽和度對浸濕帶厚度的影響

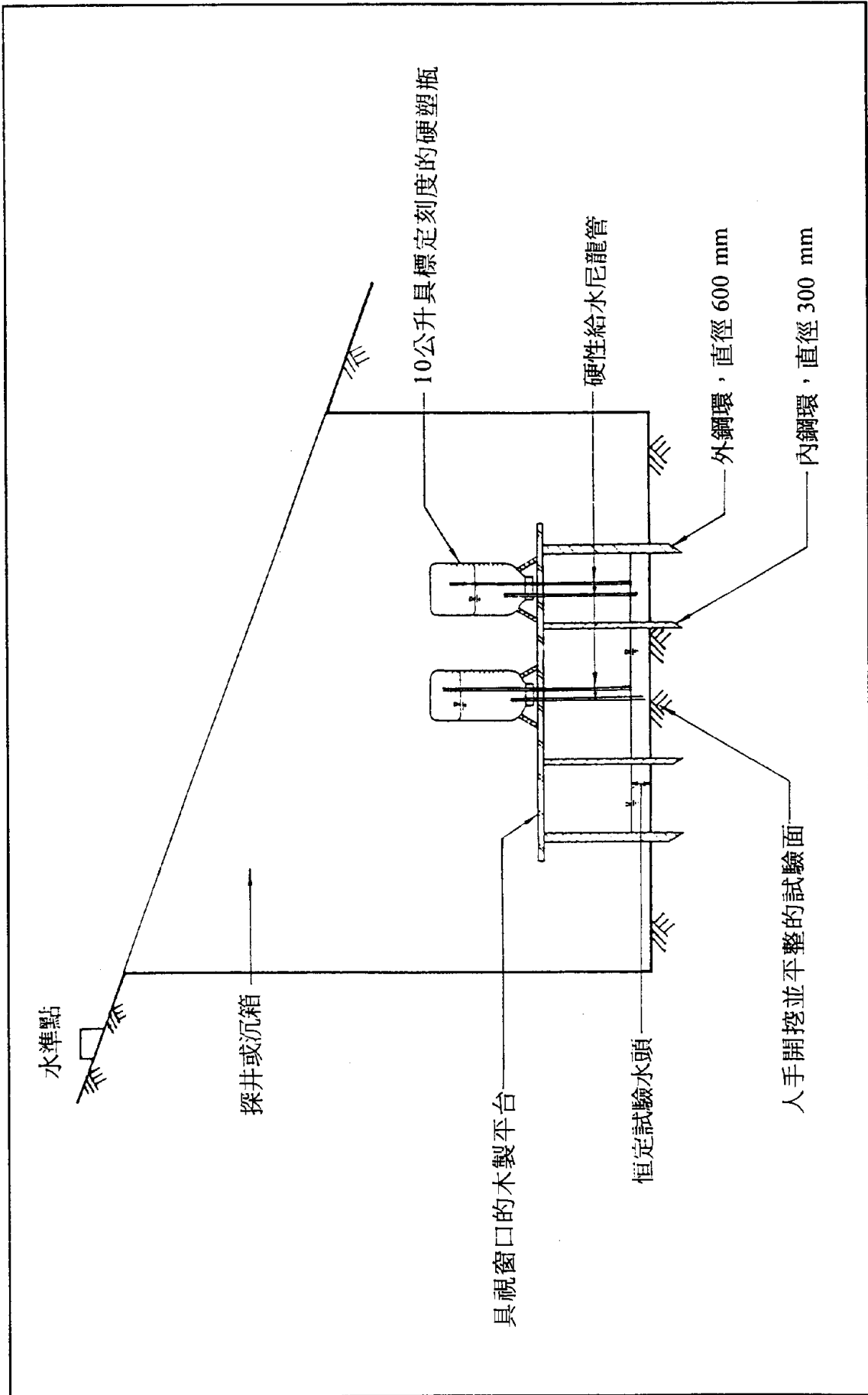


圖 4.6 - 雙環恆定水頭現場滲水試驗器

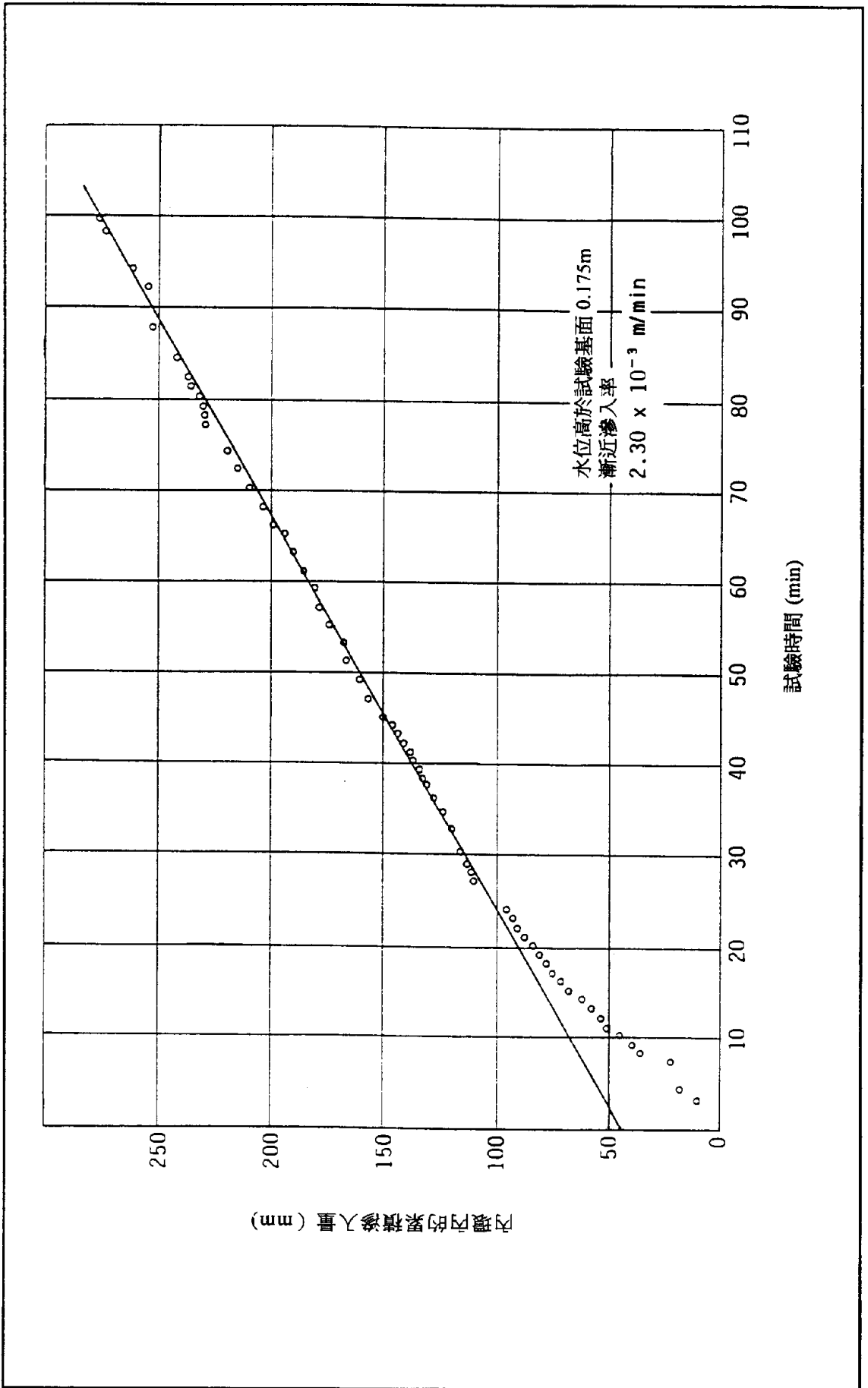


圖 4.7 - 現場滲水試驗典型實驗結果

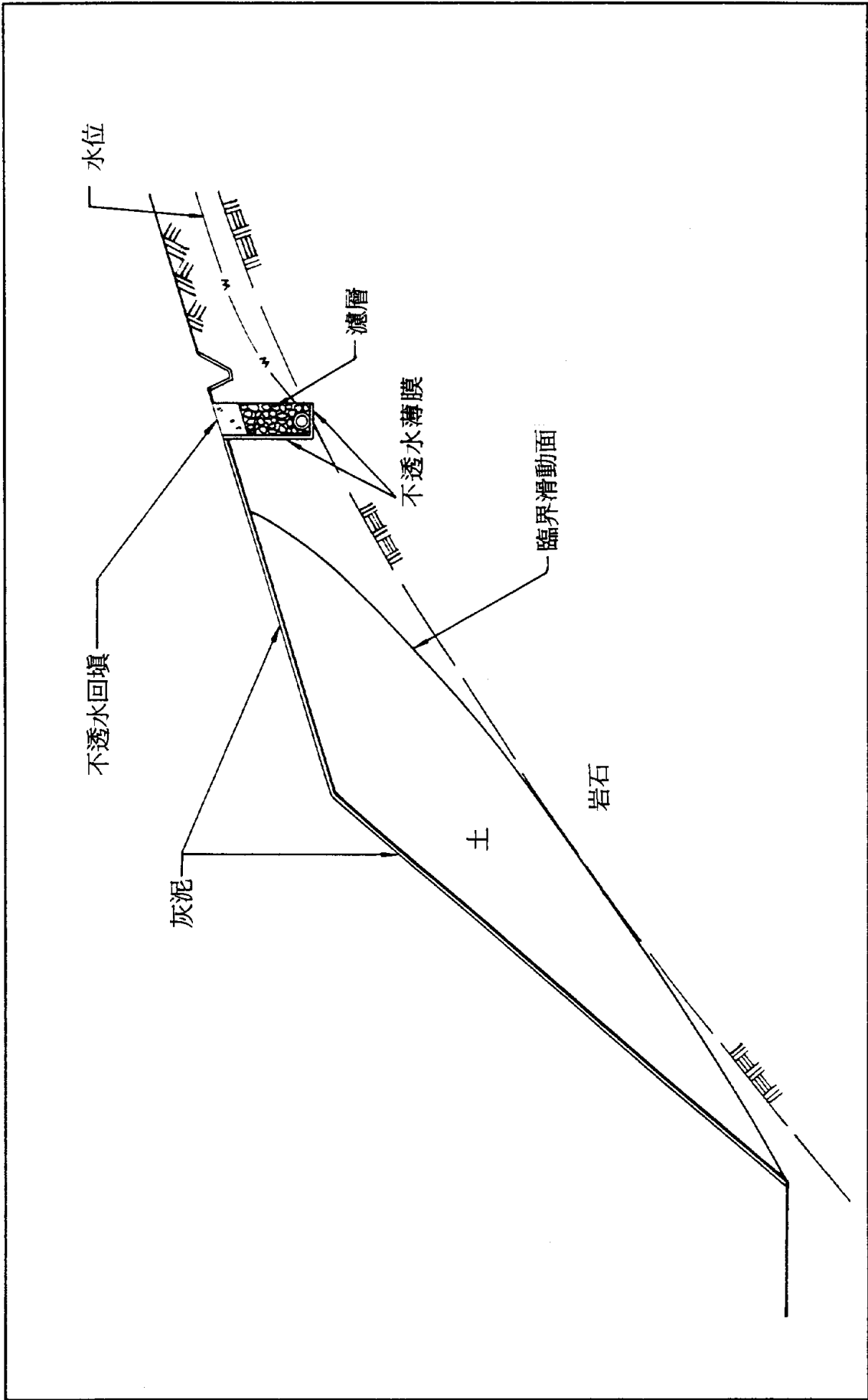
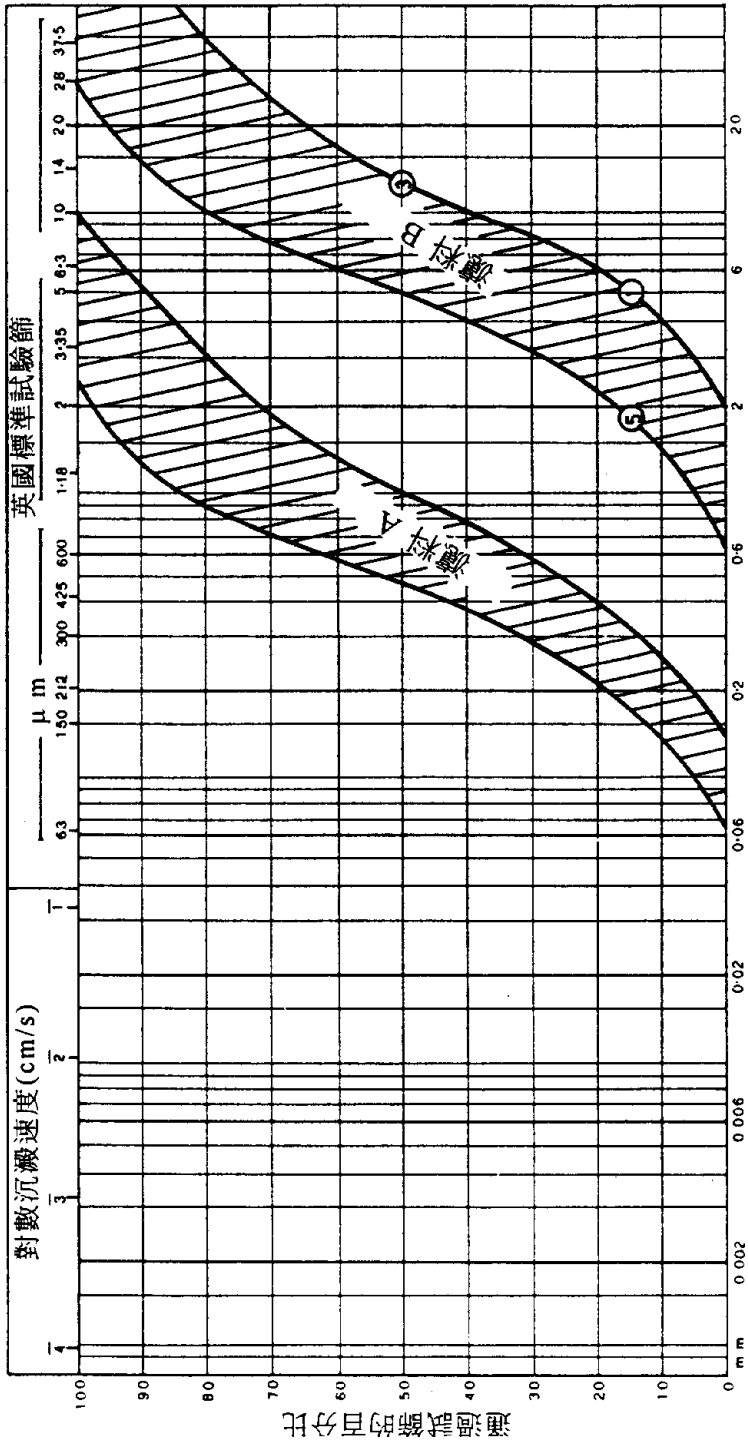


圖 4.8 - 排水載槽



註： (1) 濾料A - 包線範圍表示的是美國陸軍工程師團的混凝土砂，此砂可作粉土及更細粒土的濾層，英國標準BS 882中第2區天然砂的級配與美國陸軍工程師團的混凝土砂非常相似；  
 (2) 濾料B - 包線範圍表示的是與砂濾料(A)關連的排水材料，是根據表4.1中的濾層設計規則繪出的，在級配曲線上的數字表示該點是按那一項濾層設計規則算出的。

圖4.9 - 適用於粉土和更細粒土的砂濾層級配

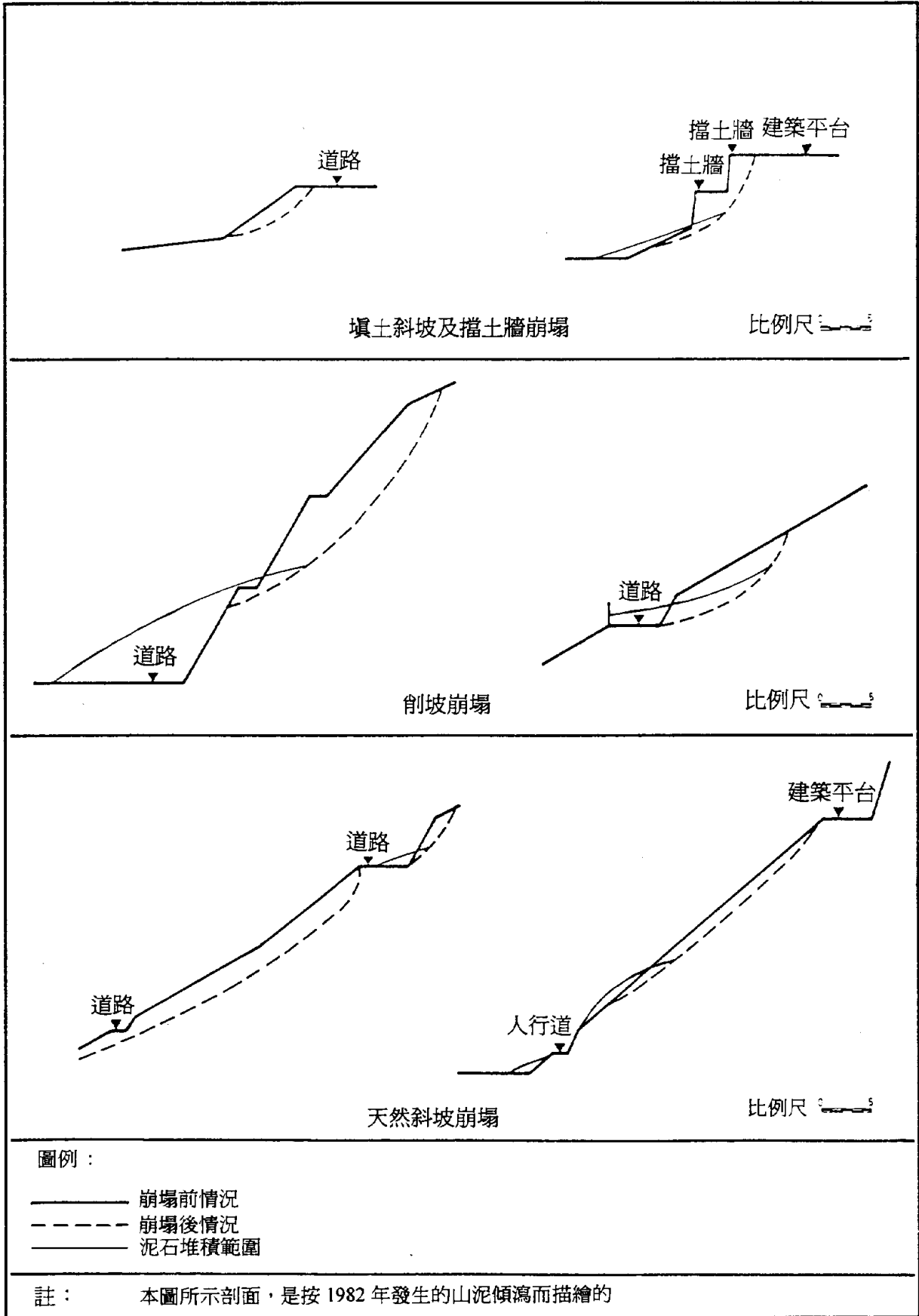


圖 5.1 - 香港風化岩、土的典型崩塌剖面



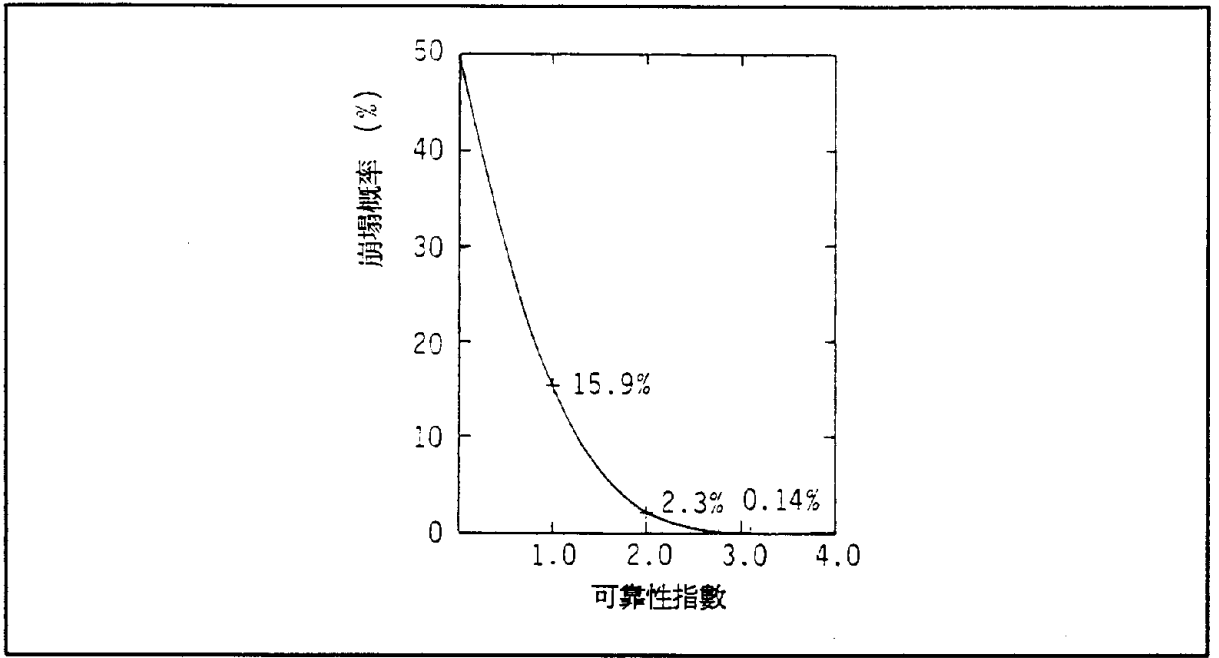


圖 5.2 - 崩塌概率與可靠性指數的關係

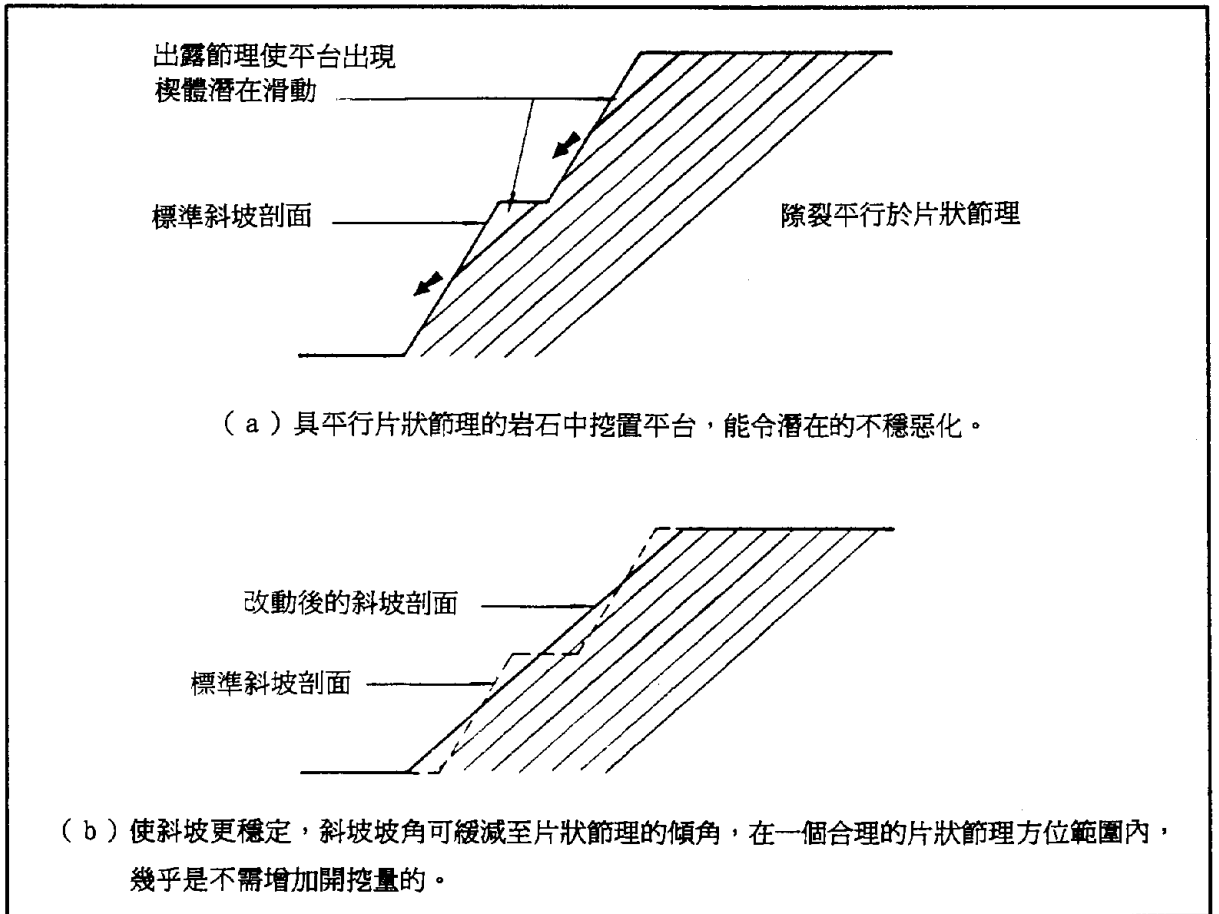


圖 5.3 - 岩石具不利節理下挖置平台的影響

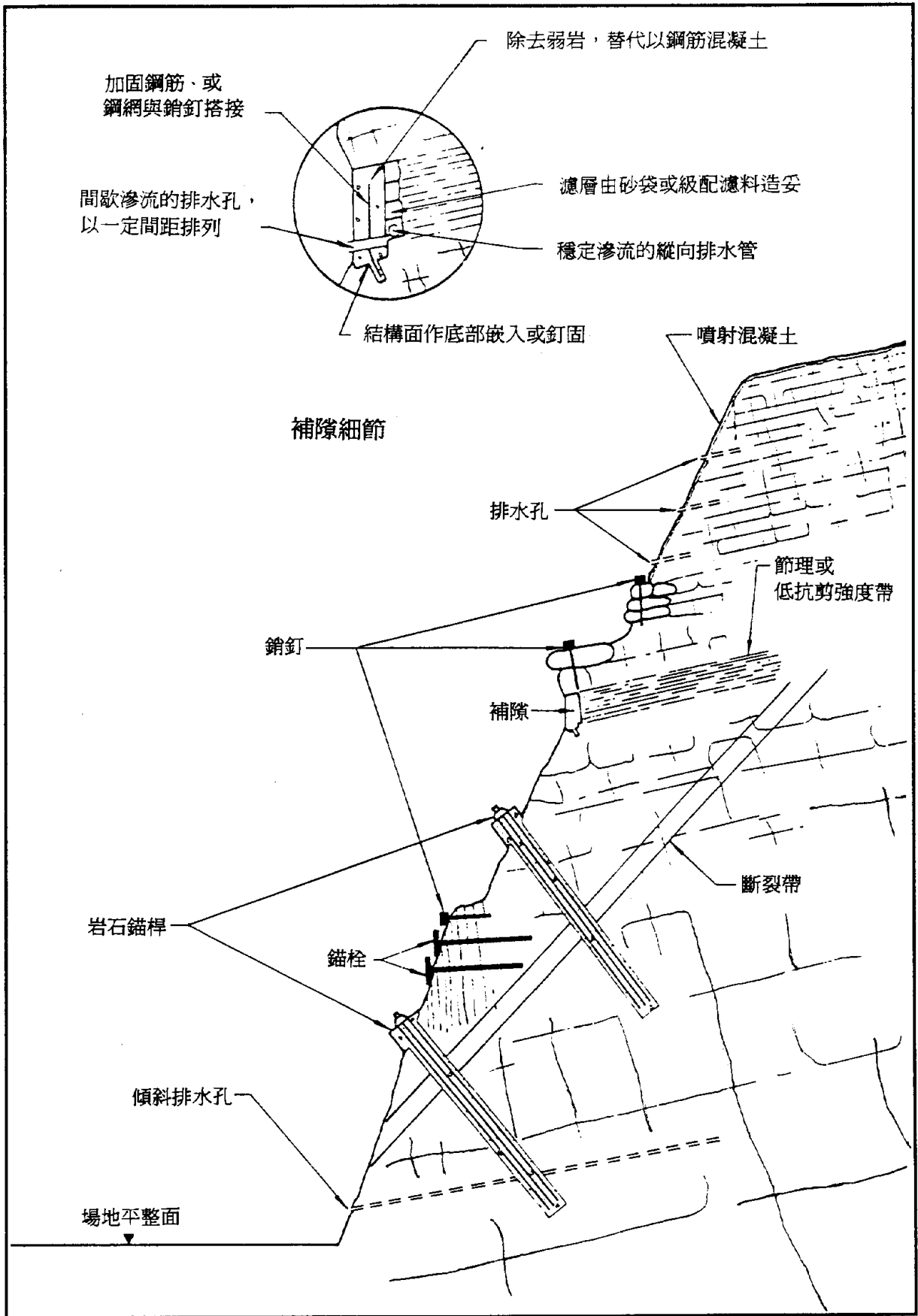


圖 5.4 - 穩固岩石斜坡的各種方法

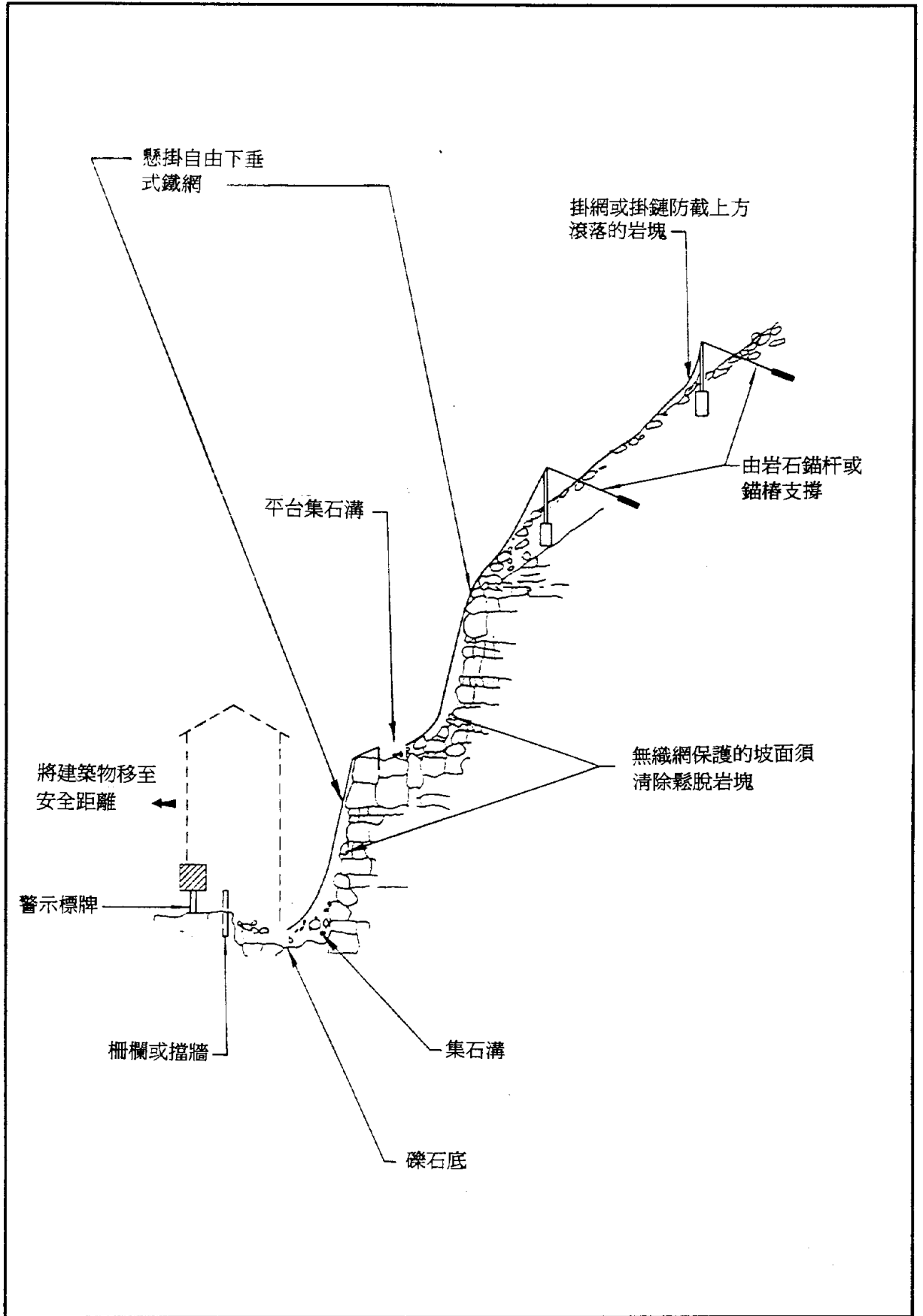


圖 5.5 - 落石防治措施

$$q_{ult} = cN_c S_c i_c t_c g_c + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma i_\gamma t_\gamma g_\gamma + qN_q S_q i_q t_q q_q$$

形狀系數

$$S_c = 1 + \frac{B}{L} \cdot \frac{N_q}{N_c}$$

$$S_\gamma = 1 - 0.4 \frac{B}{L}$$

$$S_q = 1 + \frac{B}{L} \tan\phi'$$

傾向系數

$$i_c = i_q - \frac{1-i_q}{N_c \tan\phi'}$$

$$i_\gamma = \left[ 1 - \frac{H}{V + BLc \cot\phi'} \right]^{m+1}$$

$$i_q = i_\gamma \frac{m}{m+1}$$

式中： $m = \frac{2 + \frac{B}{L}}{1 + \frac{B}{L}}$  (除非荷載的傾向在B方向)

$$H_{max} = V \tan\phi' + A_c$$

傾斜系數

$$t_c = t_q - \frac{1-t_q}{N_c \tan\phi'}$$

$$t_\gamma = t_q = [1 - \alpha \tan\phi']^2$$

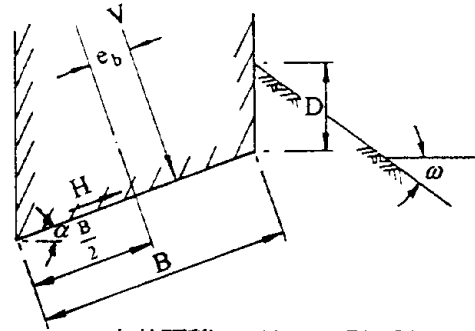
式中： $\alpha$ 以弧度計

地面坡度系數

$$g_c = g_q - \frac{1-g_q}{N_c \tan\phi'}$$

$$g_\gamma = g_q = [1 - \tan\omega]^2$$

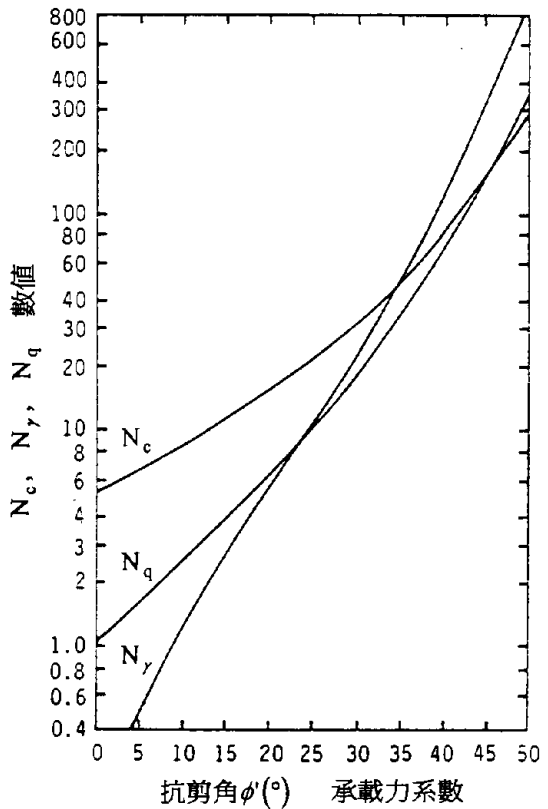
式中： $\alpha < 45^\circ$ ,  $\omega < 45^\circ$  及  $\omega < \phi$



有效面積  $A' = B' L'$

式中  $B' = B - 2e_b$

$L' = L - 2e_l$



- 註：
- (1) 本表數據僅適用於  $D \leq B$  的淺基礎；
  - (2) 對於  $\omega \geq \frac{\phi'}{2}$ ，須驗算斜坡的整體穩定性；
  - (3) 對非均質土、土的壓縮性、尺度等對承載力的影響，應參考 Vesic (1975)；
  - (4) 當基礎處於斜坡頂部時，可參考 GCO (1982b)。

圖 6.1 - 承載力數據

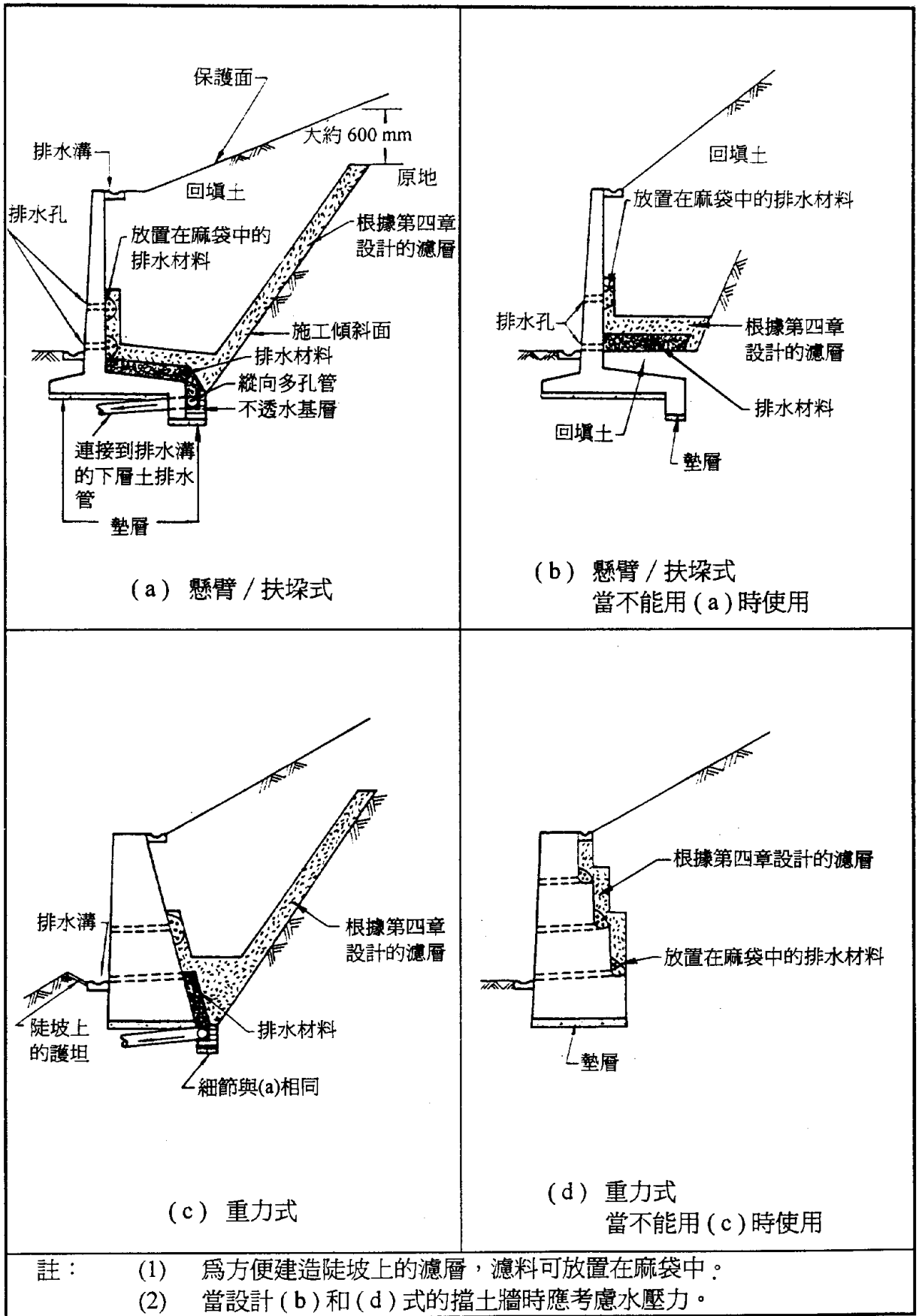
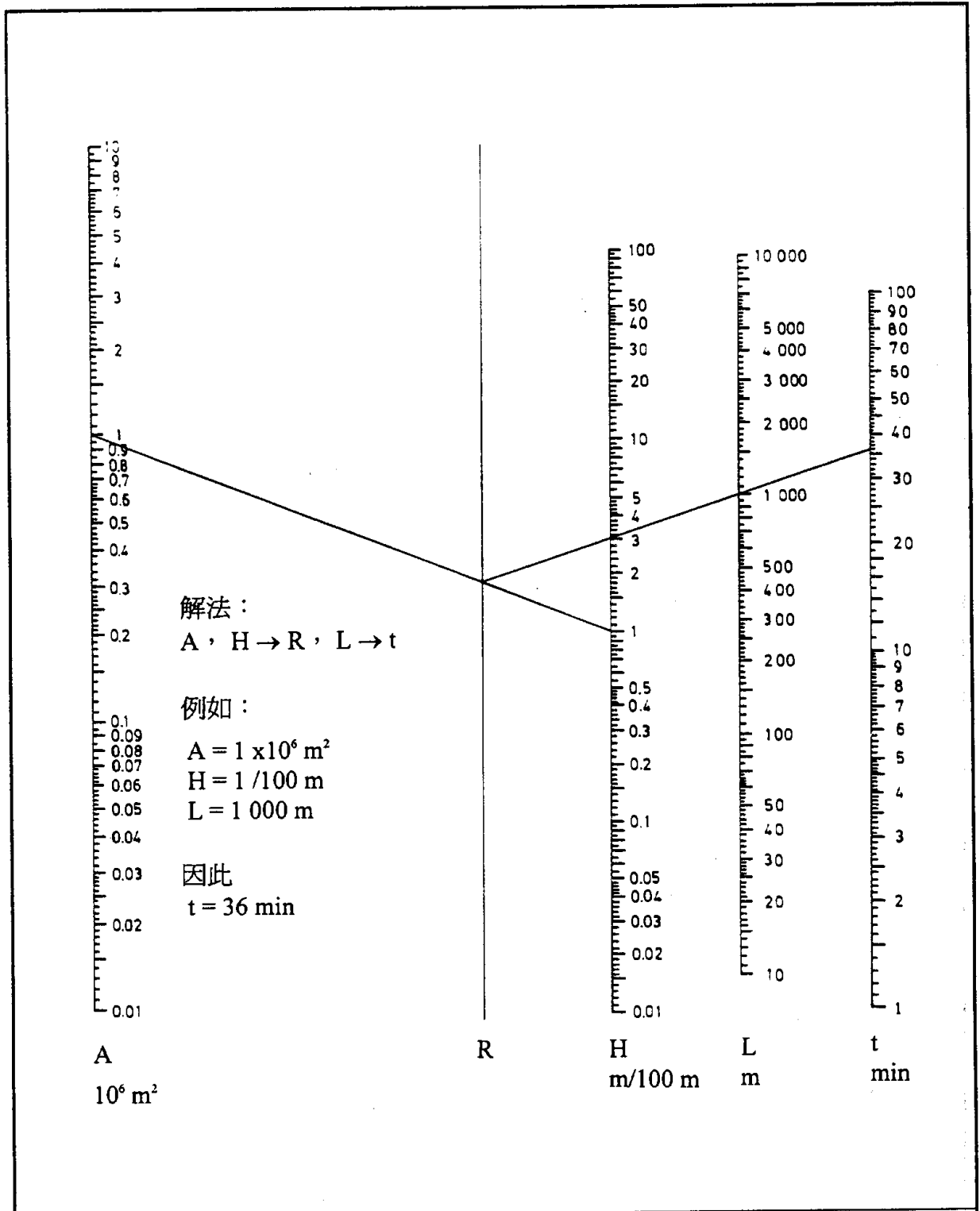


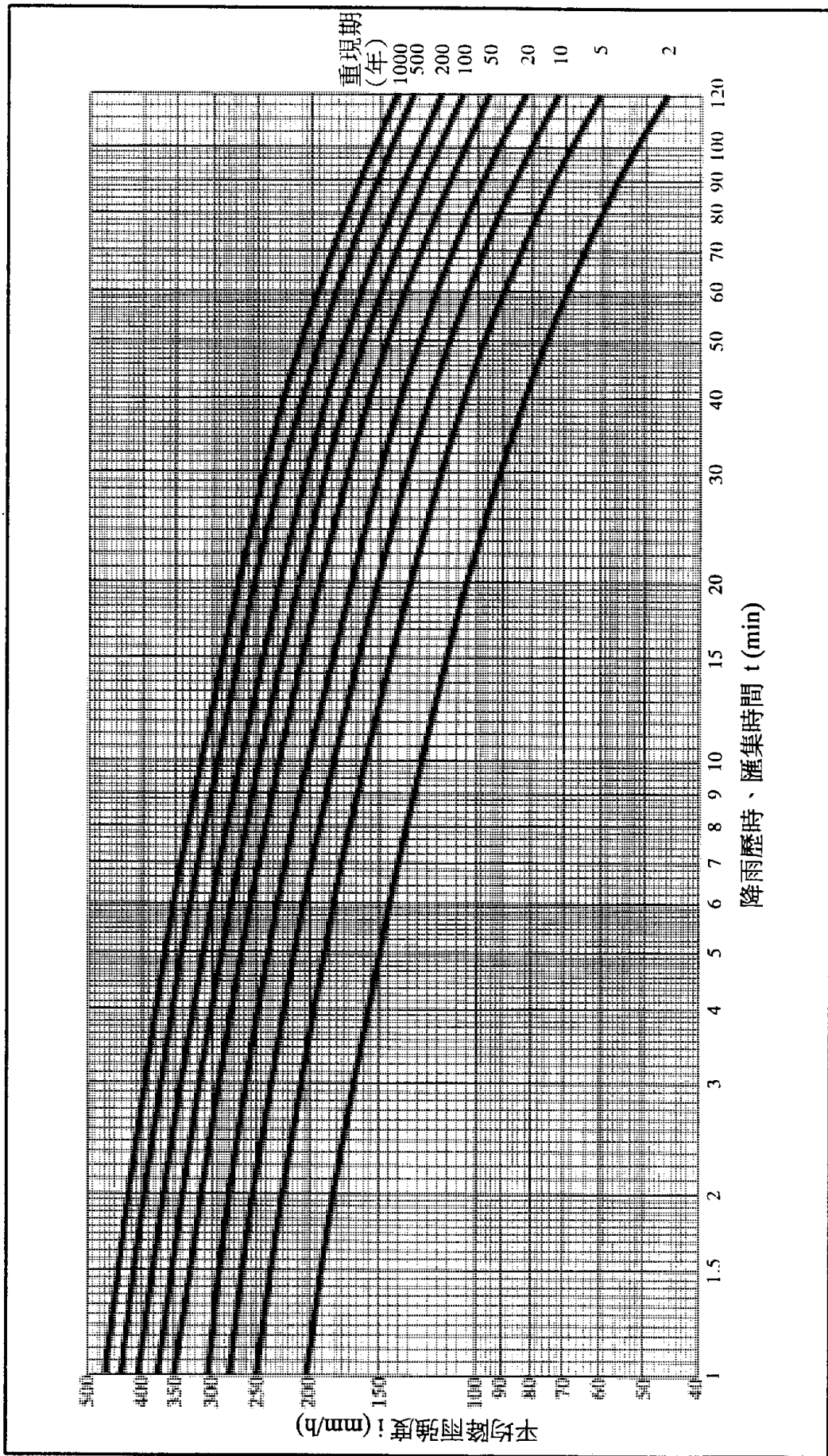
圖 7.1 - 擋土牆排水詳細設計



圖例：

- t 匯集時間 (min)
- H 坡度 (m/100 m)
- A 集水面積 (m<sup>2</sup>)
- L 集水邊界至設計剖面的距離 (m)，此距離的 t 值最大。

圖 8.1 - Bransby - Williams 公式的快速圖解法



註： 降雨強度 - 歷時關係曲線取自 Peterson & Kwong (1981) — 香港暴雨設計概述，香港皇家天文臺，技術報告第 58 號。  
數據來自 1947 - 1980 年(天文臺)的傾斜虹吸管記錄以及 1952 - 1980 年(京士柏公園)的瞬時降雨率記錄。

圖 8.2 - 香港在不同降雨量重現期下降雨歷時與強度關係曲線

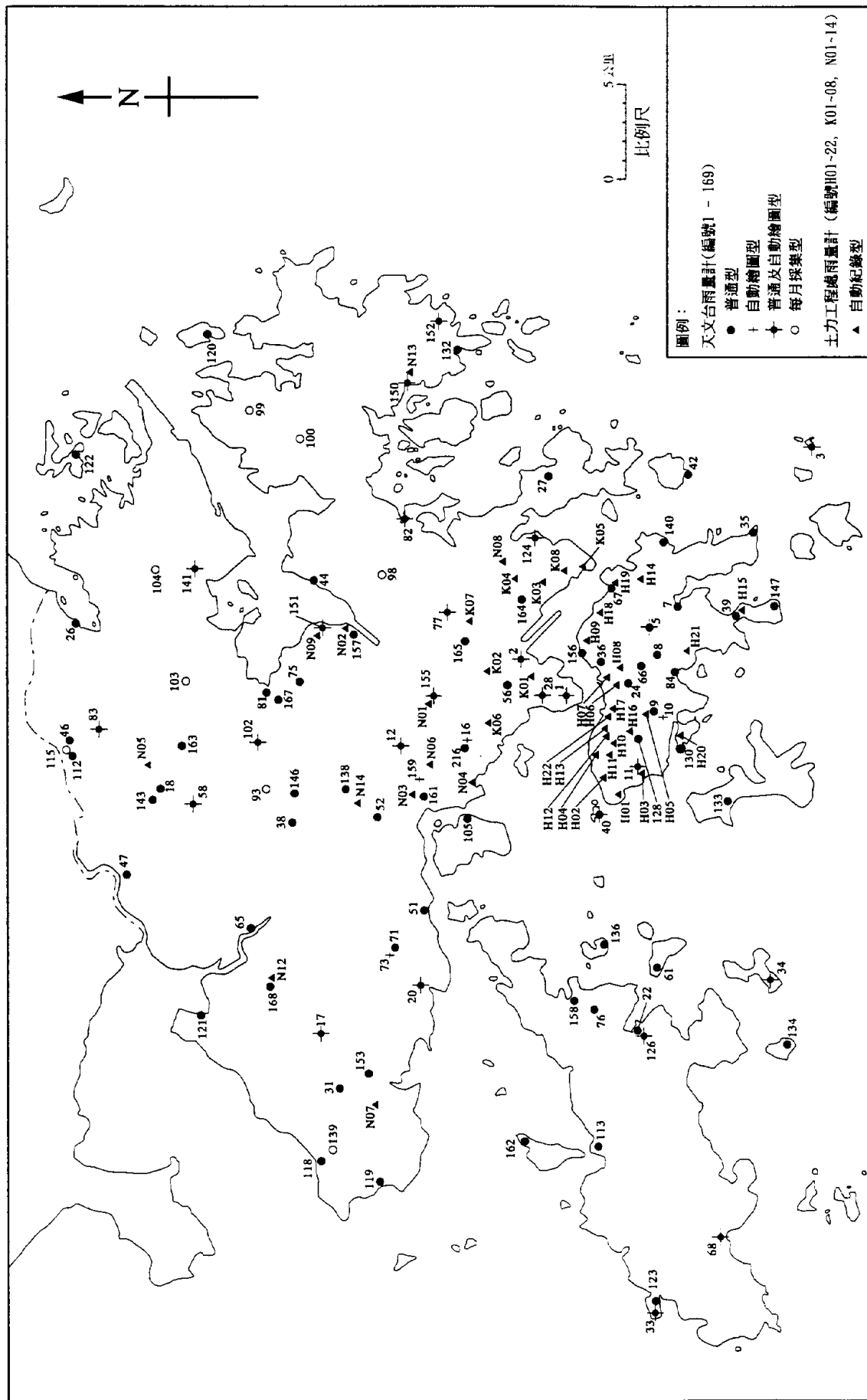


圖 8.3 - 香港雨量計分布圖



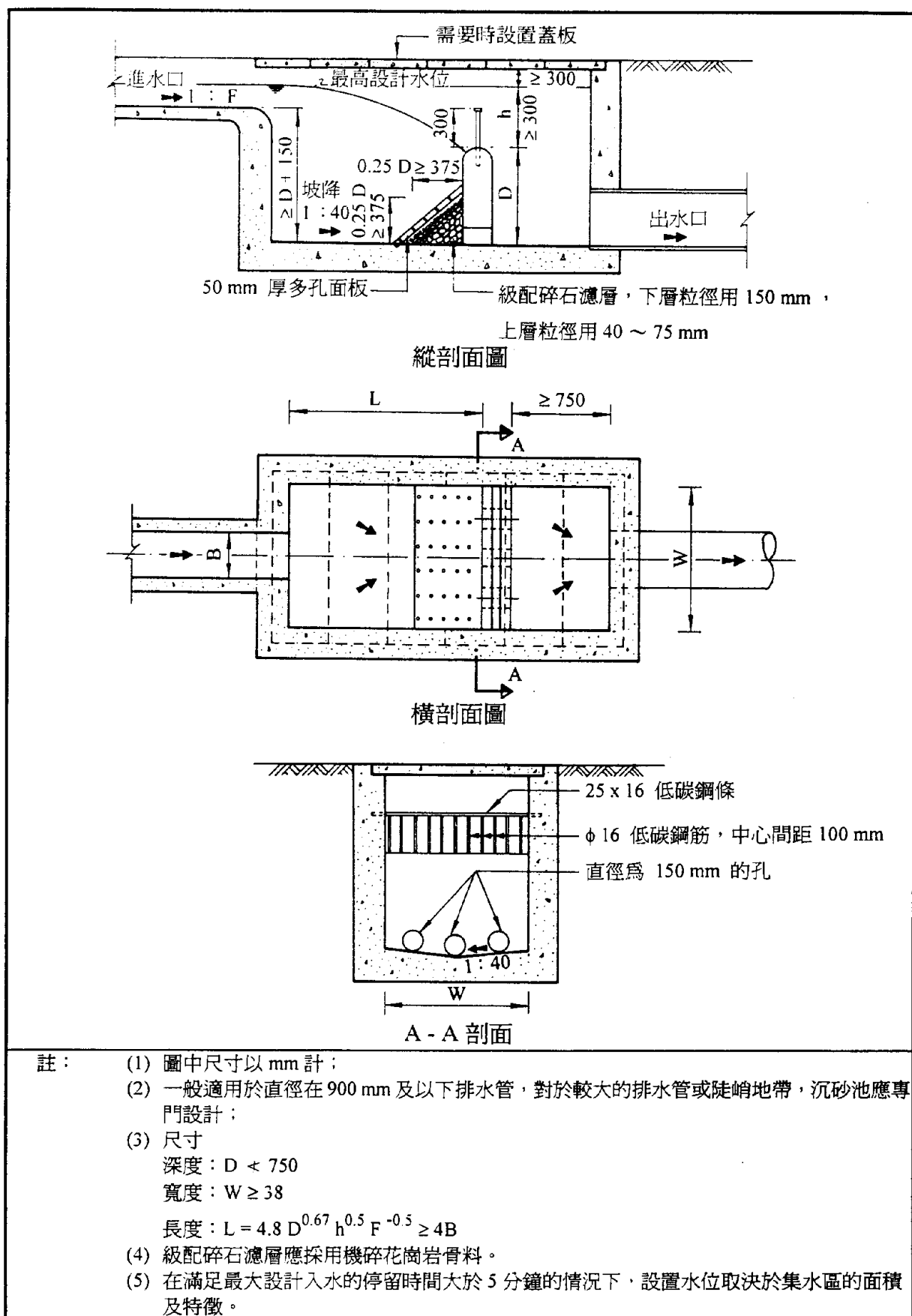


圖 8.4 - 典型的沉砂池設計

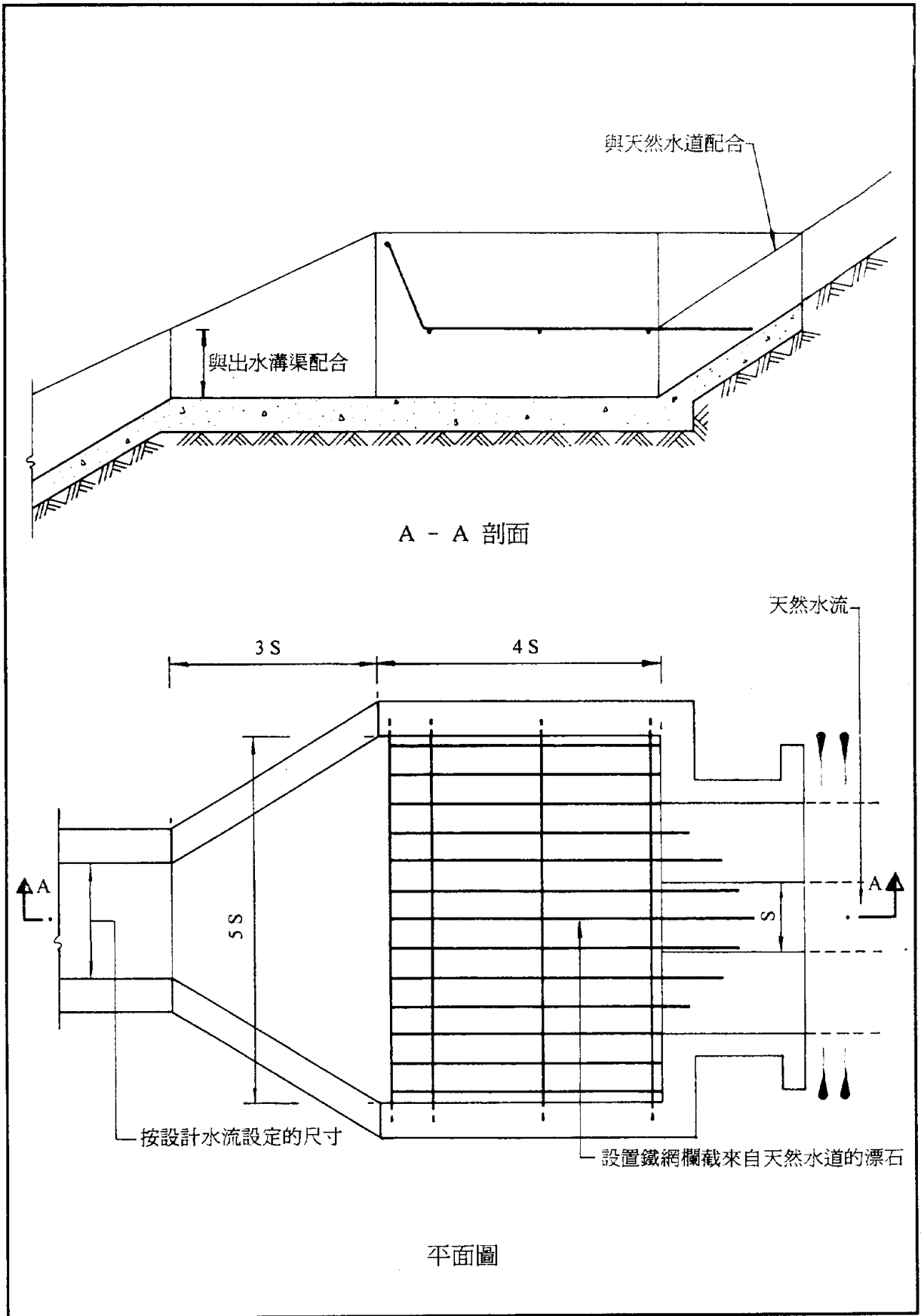
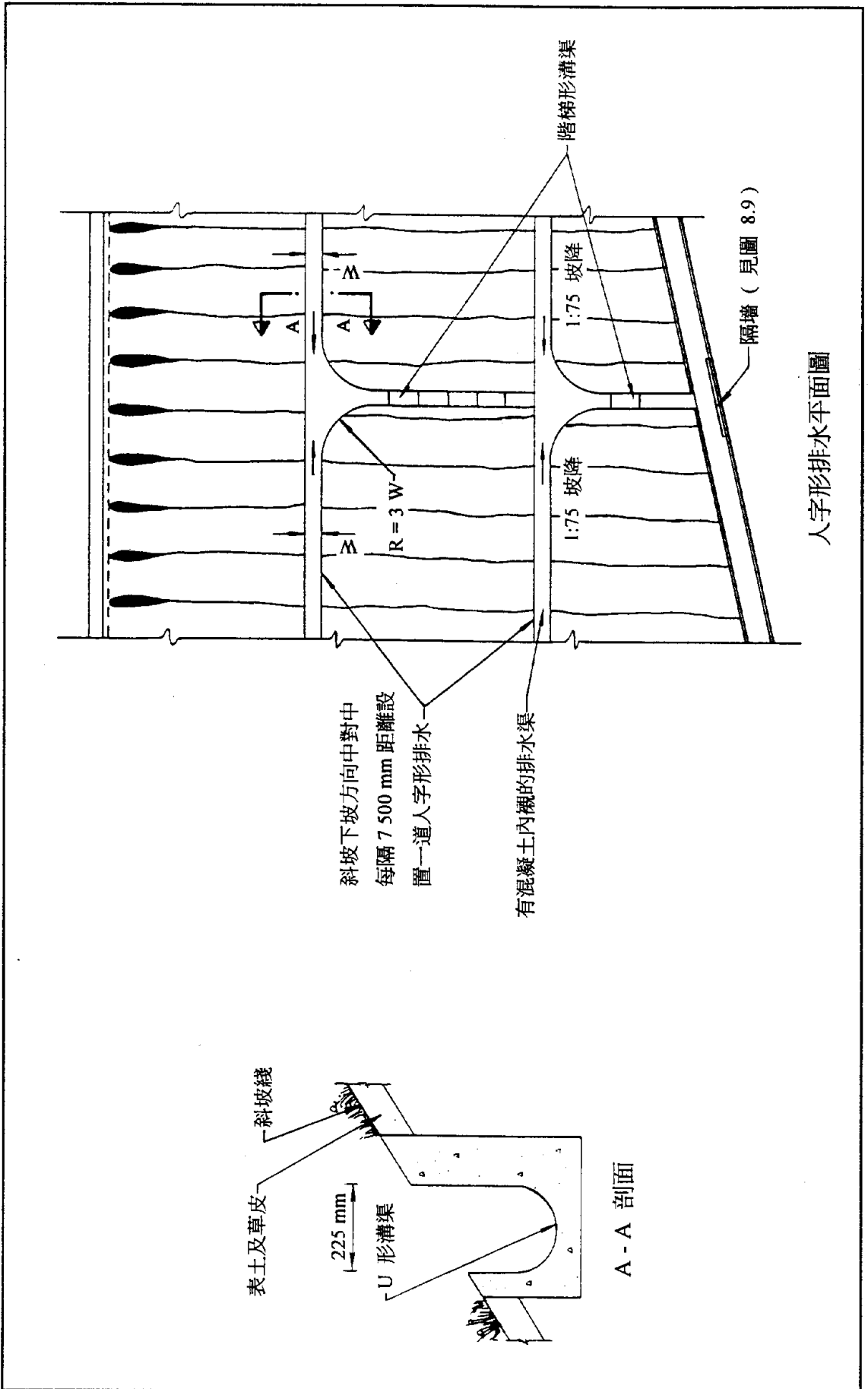


圖 8.5 - 典型的攔石池設計



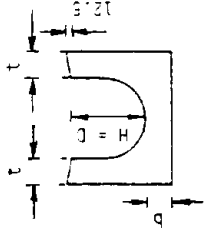
人字形排水水平面圖

圖 8.6 - 支渠與主渠交匯平面圖

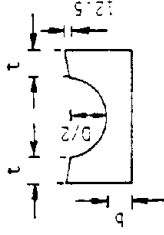
溝渠尺寸

虛綫實綫

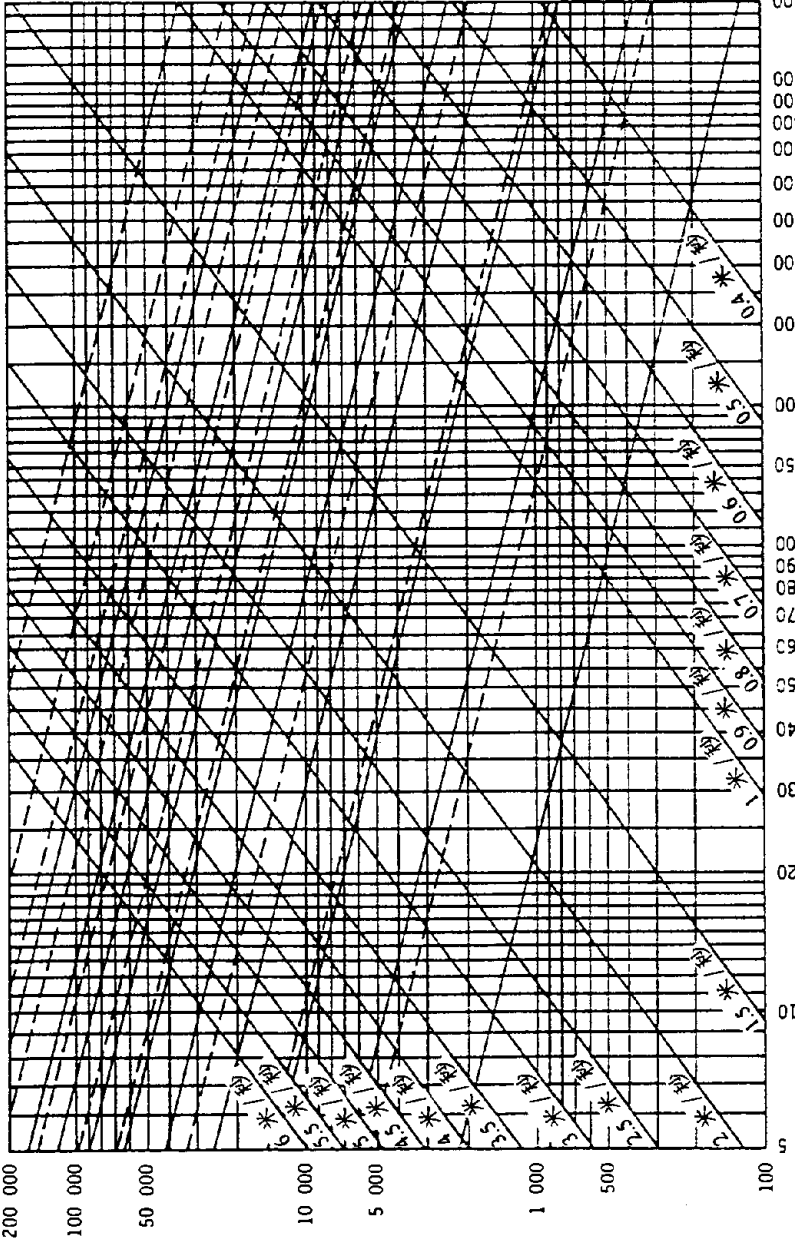
- 900U
- 750U
- 675U
- 600U
- 525U
- 450U
- 375U
- 300U
- 225U
- 150U
- 900HR
- 750HR
- 675HR
- 600HR
- 525HR
- 450HR
- 375HR
- 300HR
- 225HR
- 150HR



U形溝渠 (U)



半圓形溝渠 (HR)

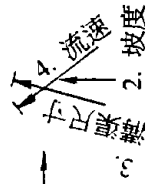


用圖進行設計的方法

(a) 普通溝渠解

1. 徑流

2. 坡度



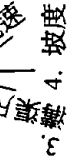
例如：

1. 已知徑流量 = 4 000 litre/min.
2. 已知坡度 = 1:40
3. 求得溝渠的尺寸 = 225 U 或 300 HR
4. 求得流速 = 2.2 m/sec. (.4 m/sec. ∴ OK)

(b) 階梯形溝渠解

2. 徑流

3. 流速



例如：

1. 已知流速 = 5m/sec.
2. 已知徑流量 = 20 000 litre/min.
3. 求得溝渠的尺寸 = 300 U
4. 求得坡度 = 1:14

圖 8.7 - 溝渠快速設計圖

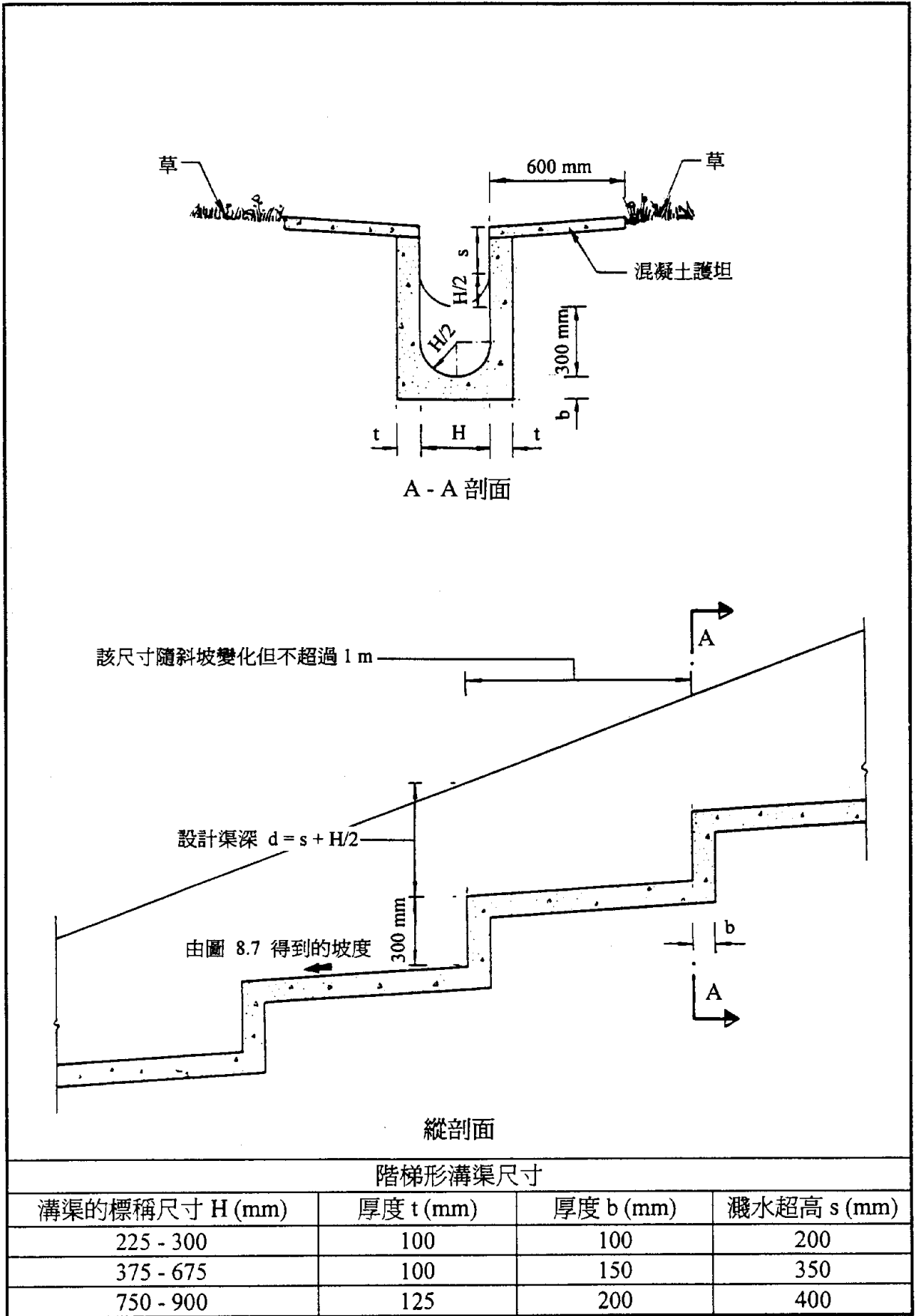
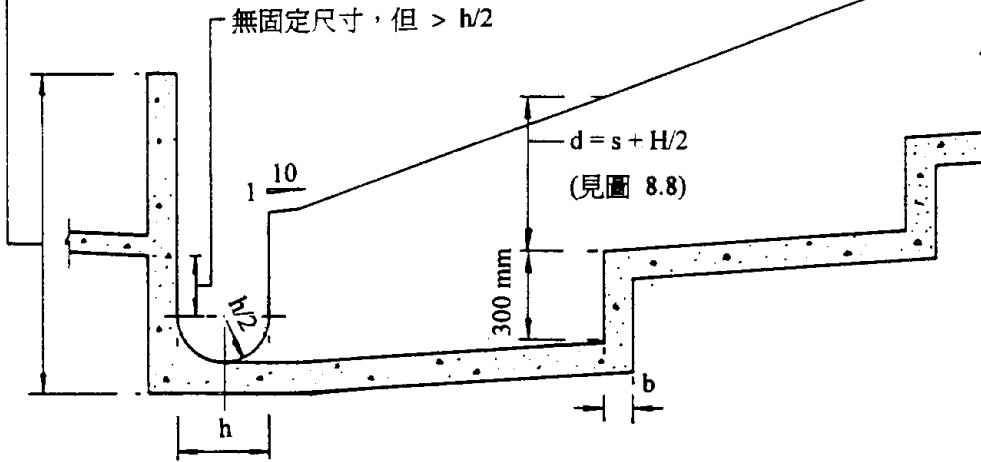
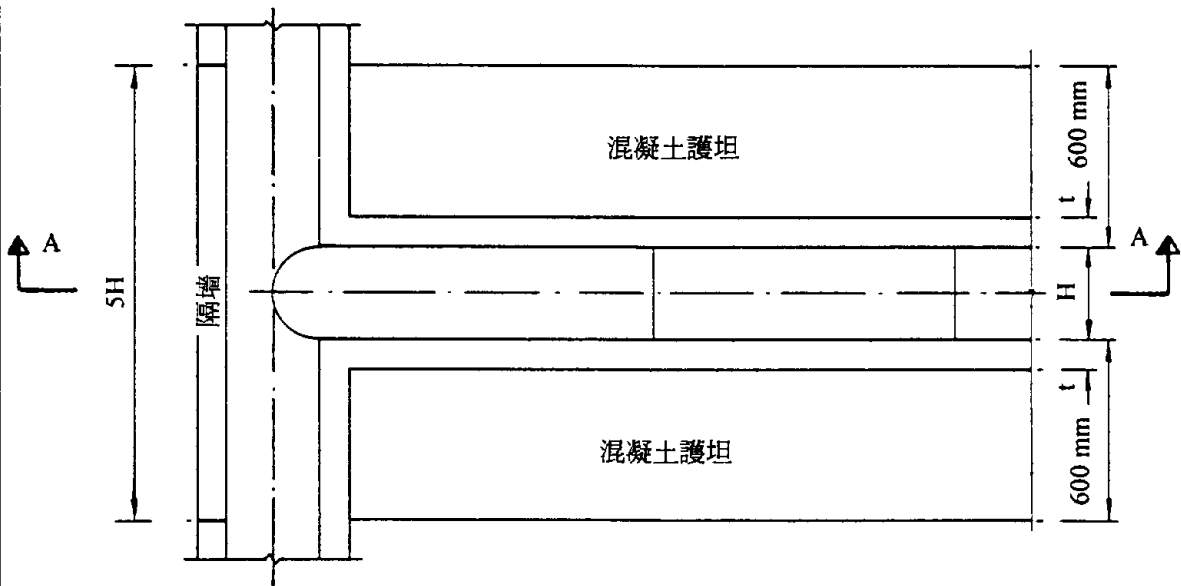


圖 8.8 - 階梯形溝渠典型設計

從階梯形溝渠最低底面計算，  
 最小尺寸為  $d + 450 \text{ mm}$



A - A 剖面



平面圖

圖 8.9 - 在坡腳處的階梯形溝渠與U形溝渠交匯典型設計

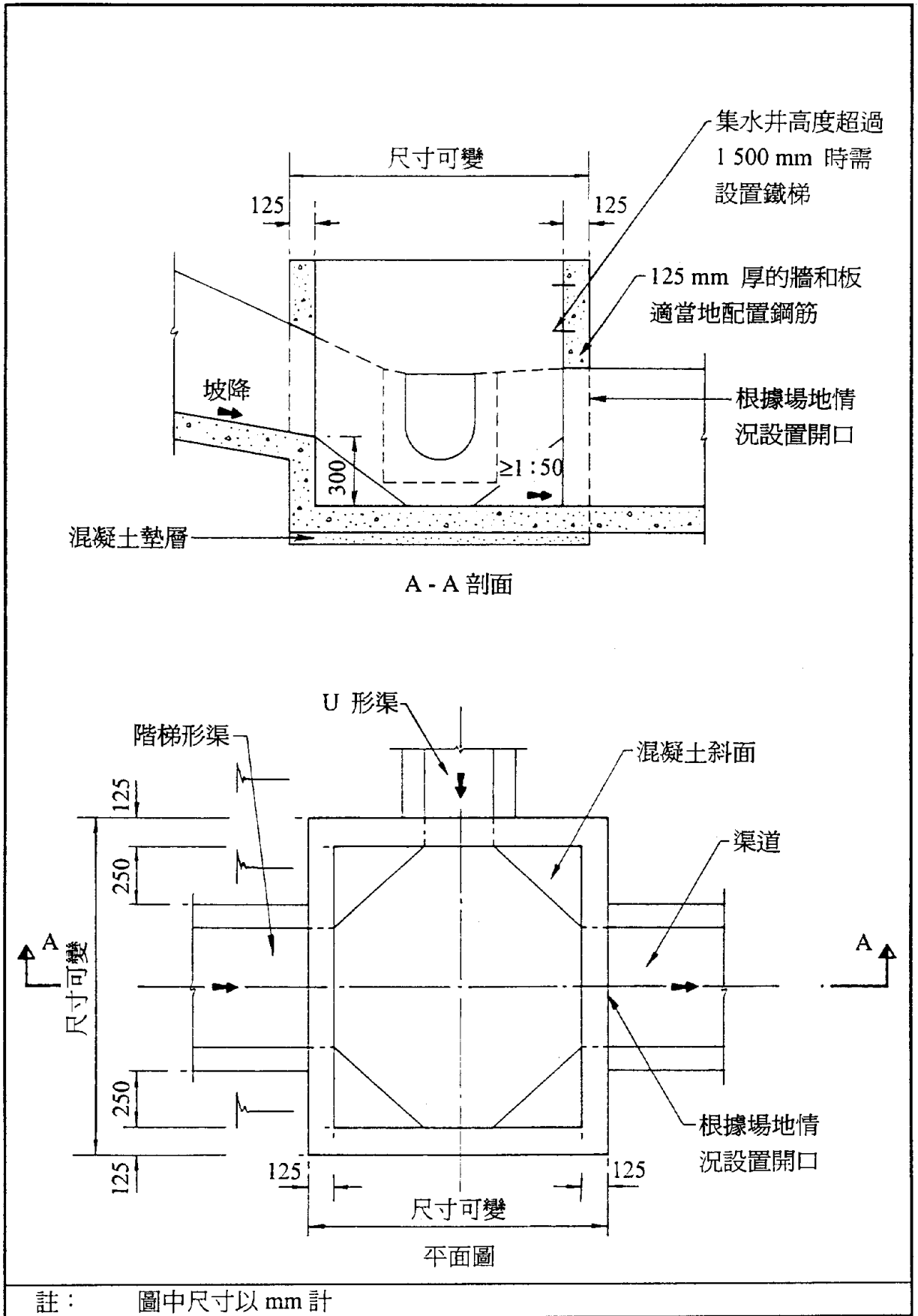
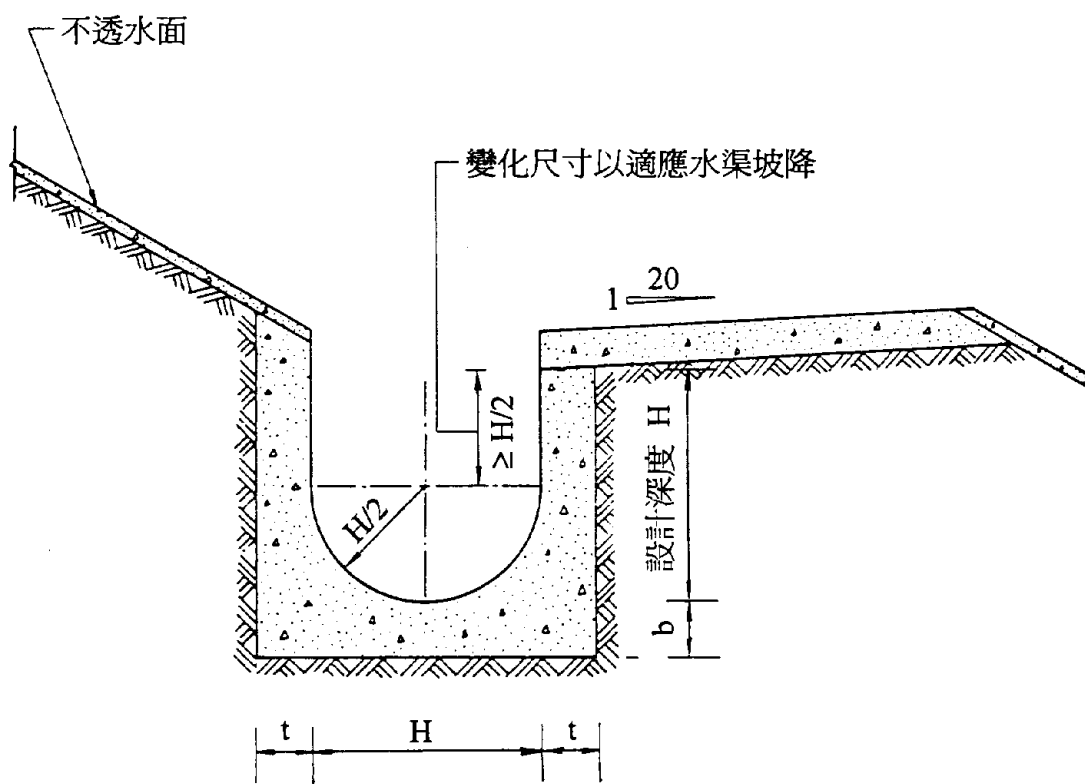


圖 8.10 - 集水井典型設計



U 型溝渠尺寸

溝渠的標稱尺寸 H (mm)	壁厚 t (mm)	底厚 b (mm)
225 - 600	150	150
675 - 1200	175	225

圖 8.11 - U型溝渠典型設計



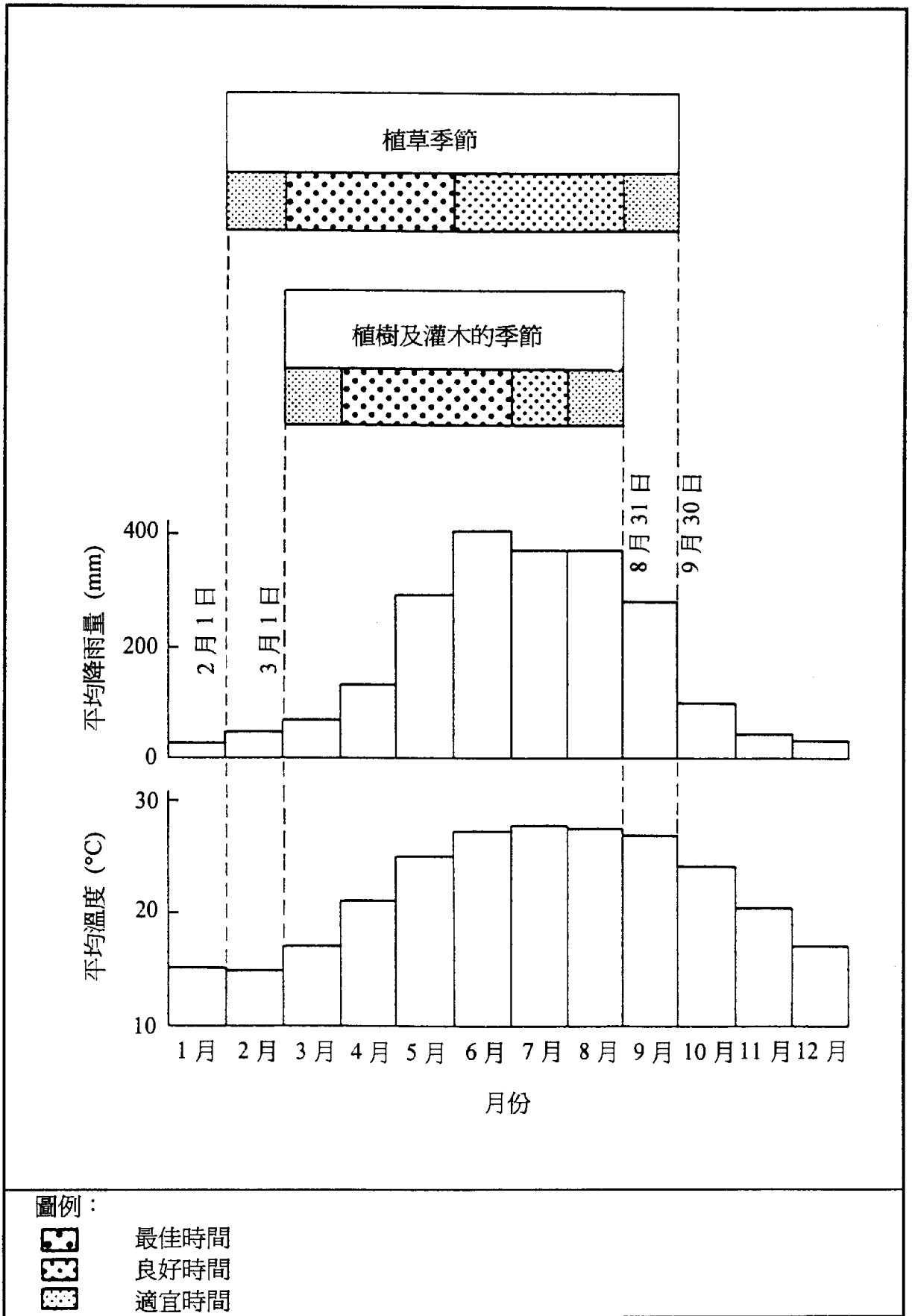


圖 8.12 - 香港種植季節

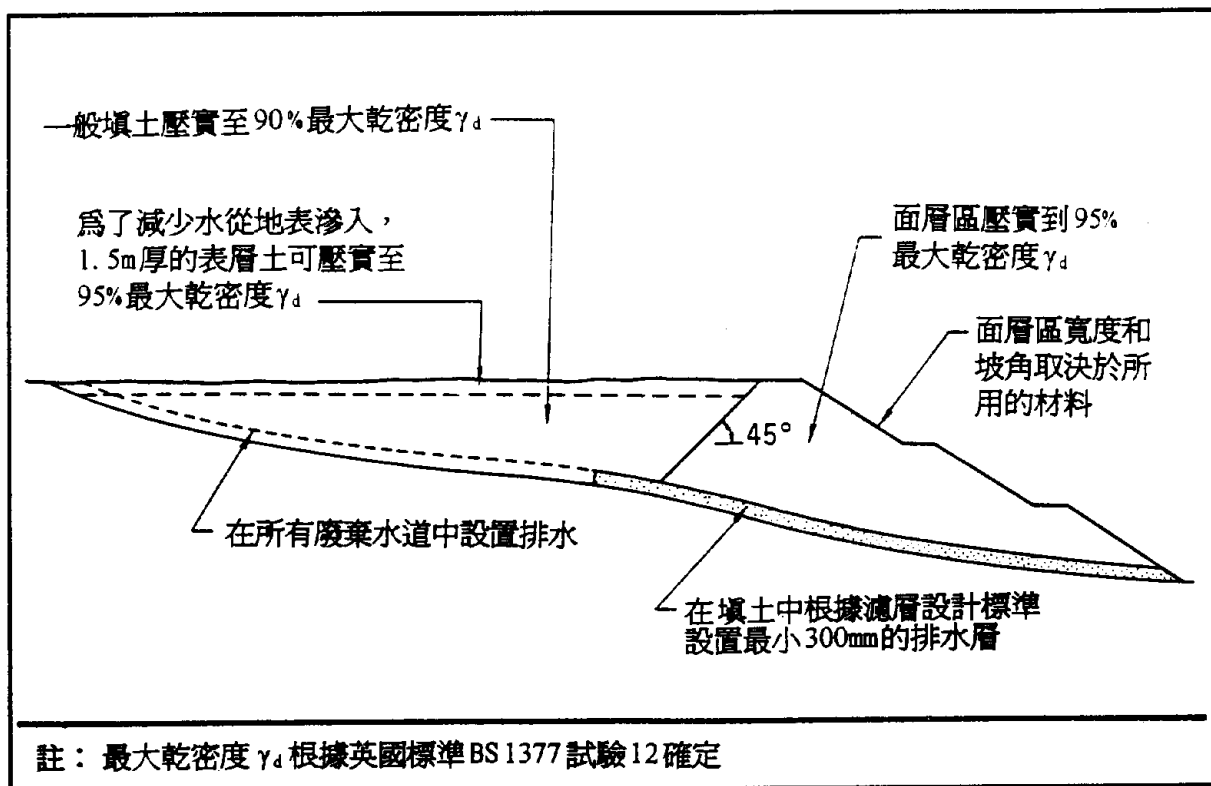


圖 9.1 - 一般填土區採用雙壓實標準的典型設計

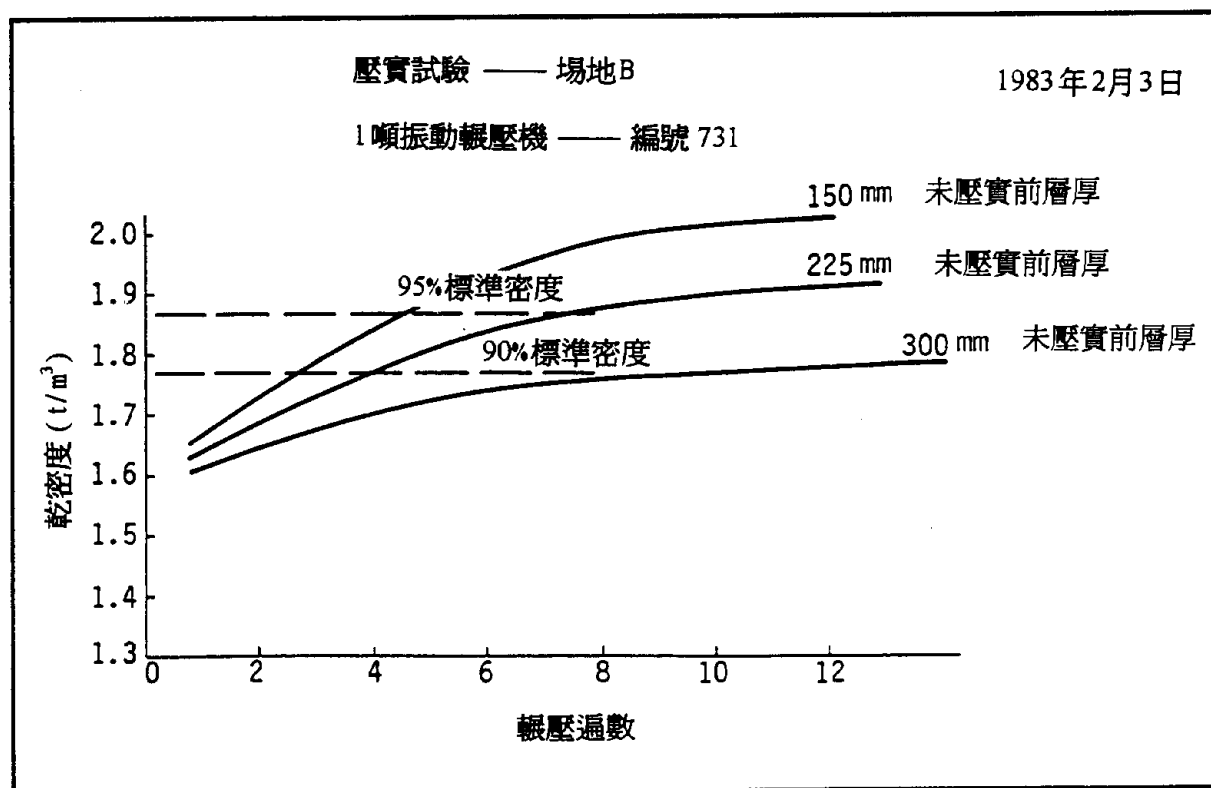
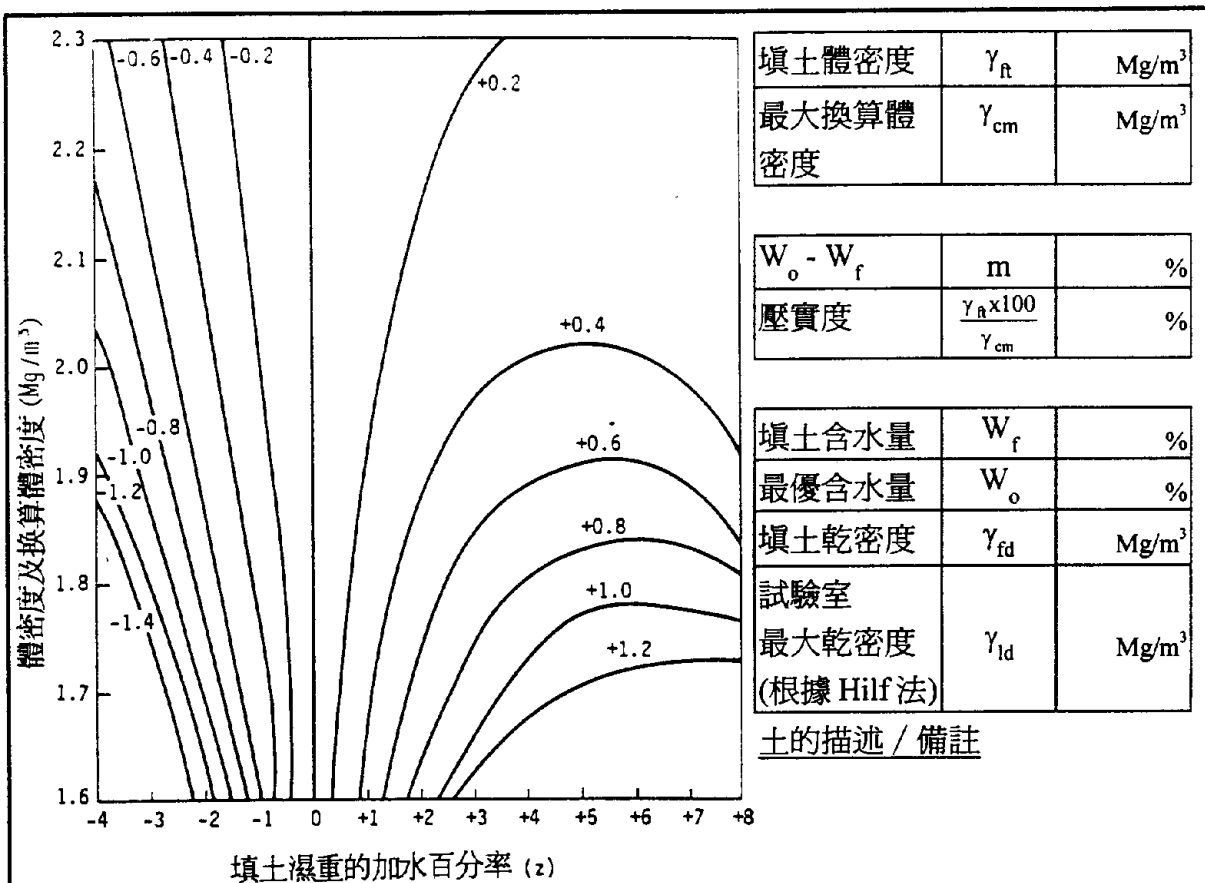


圖 9.2 - 典型的壓實試驗結果

填土壓實記錄																		
項目 填土位置	規範要求：										自 至							
	(a) 相對壓實度 (b) 含水量 ( $W_o - W_i$ ) + % 至 %					(%)					控制方法 (a) 常規方法 <input type="checkbox"/> (b) 快速壓實 <input type="checkbox"/>		接受或 不接受	備註				
日期	現場密度試驗			室內壓實 試驗號	(2) 類型	壓實機械			密度(Mg/m <sup>3</sup> )			含水量(%)						
	平面 圖號	位置號	層號			(1) 方法	來源	壓實層厚度 (mm)	輾壓 遍數	(3) 輾壓機 類型	現場體 密度 $\gamma_n$	現場乾 密度 $\gamma_{cd}$	最大乾 密度 $\gamma_{cd}$	相對壓 實度 (%)	現場含 水量 $W_i$	最優含 水量 $W_o$	相對含 水量 $W_o - W_i$	
19																		
註：(1) SR - 砂置換法 RB - 橡皮球法 WR - 水置換法																		
(2) 土的統一分類																		
(3) PN - 充氣輪胎 ST(V) - 鋼滾筒 SF(V) - 羊足輾 說明輾壓機淨重																		

圖 9.3 - 壓實填土密度試驗記錄表



填土體密度	$\gamma_{ft}$	Mg/m <sup>3</sup>
最大換算體密度	$\gamma_{cm}$	Mg/m <sup>3</sup>

$W_o - W_f$	m	%
壓實度	$\frac{\gamma_d \times 100}{\gamma_{cm}}$	%

填土含水量	$W_f$	%
最優含水量	$W_o$	%
填土乾密度	$\gamma_{fd}$	Mg/m <sup>3</sup>
實驗室最大乾密度 (根據 Hilf 法)	$\gamma_{ld}$	Mg/m <sup>3</sup>

土的描述 / 備註

換算體密度的確定			
加水率 (z)	%	0	
模 + 基座 + 試樣的質量	g		
模 + 基座的質量	g		
試樣質量	g		
模的體積	cm <sup>3</sup>		
體密度 $\gamma_b$	Mg/m <sup>3</sup>		
換算體密度 $\gamma_c$	Mg/m <sup>3</sup>		

填土含水量的確定	
濕土 + 容器重	g
乾土 + 容器重	g
容器重	g
水量損失	g
乾土重	g
含水量 $W_f$	%

$$\text{換算體密度} = \frac{\gamma_{bulk}}{\left(1 + \frac{z}{100}\right)}$$

$$\text{最優含水量 } W_o = W_f + Z_m \left( \frac{100 + W_f}{100} \right)$$

圖 9.4 - Hilf法快速壓實控制現場記錄表

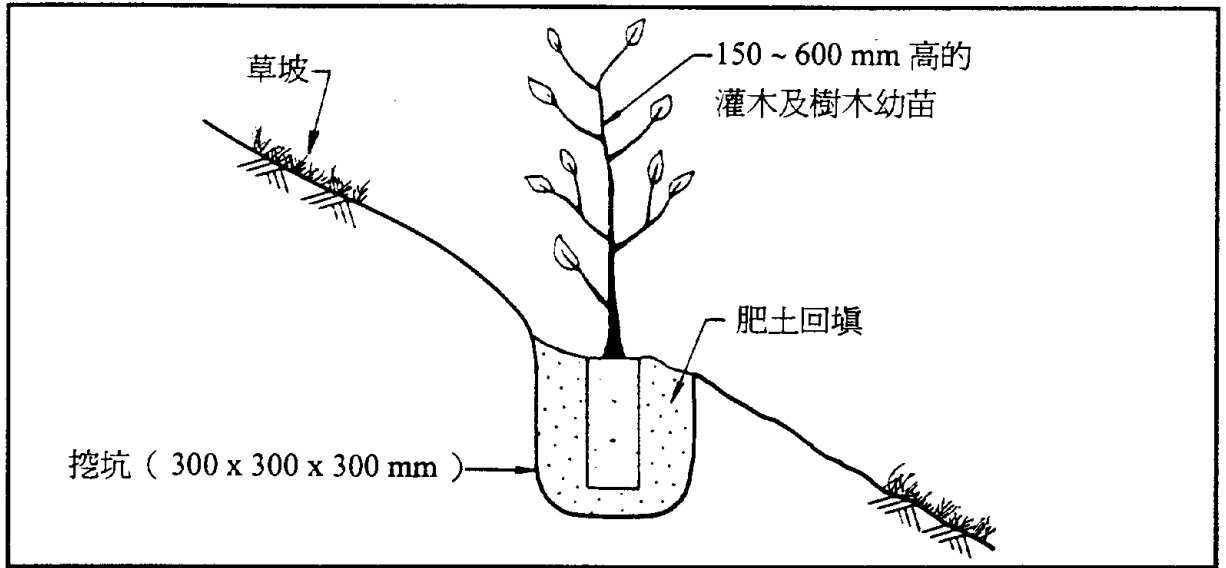


圖 9.5 - 灌木及樹木幼苗的栽種

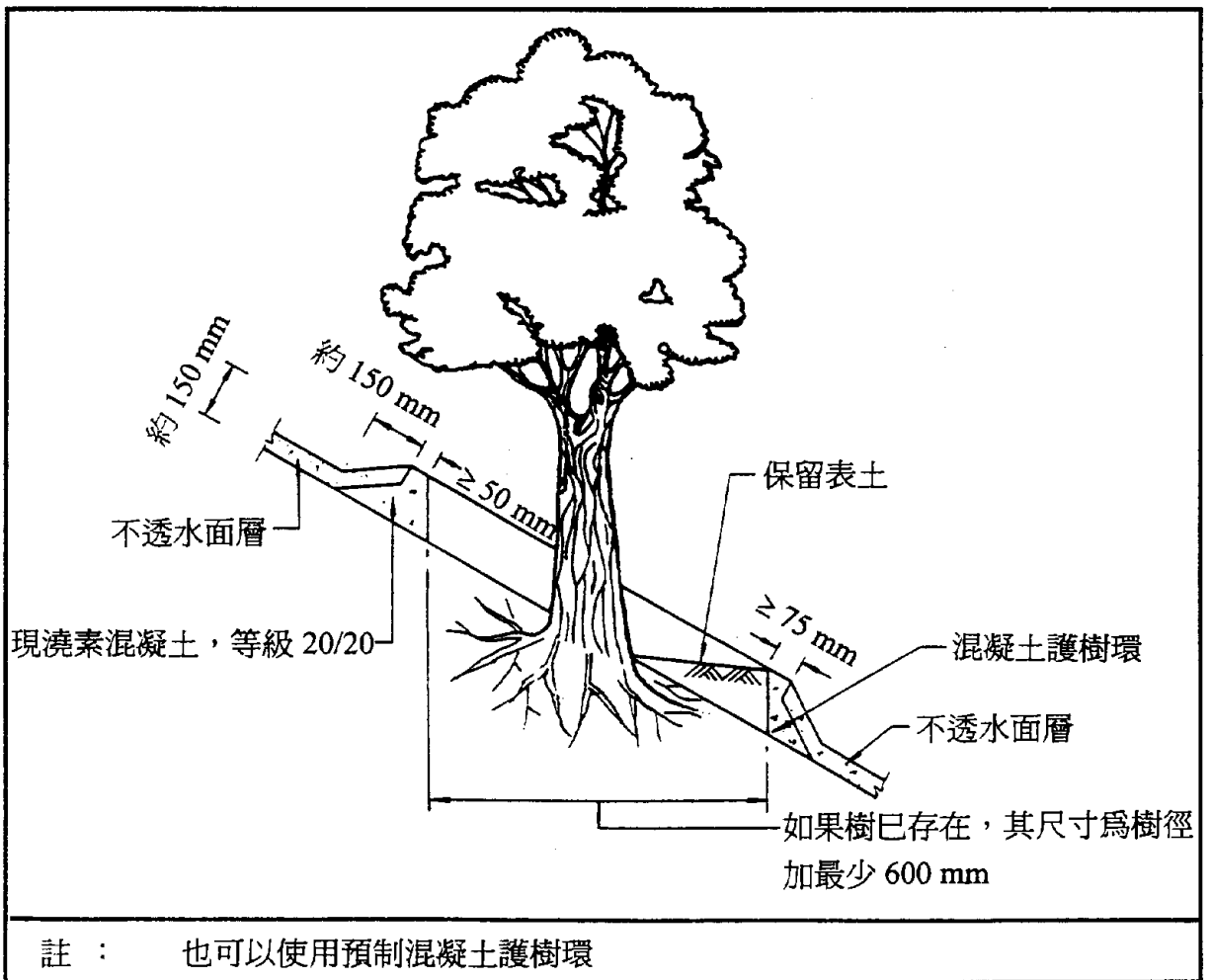
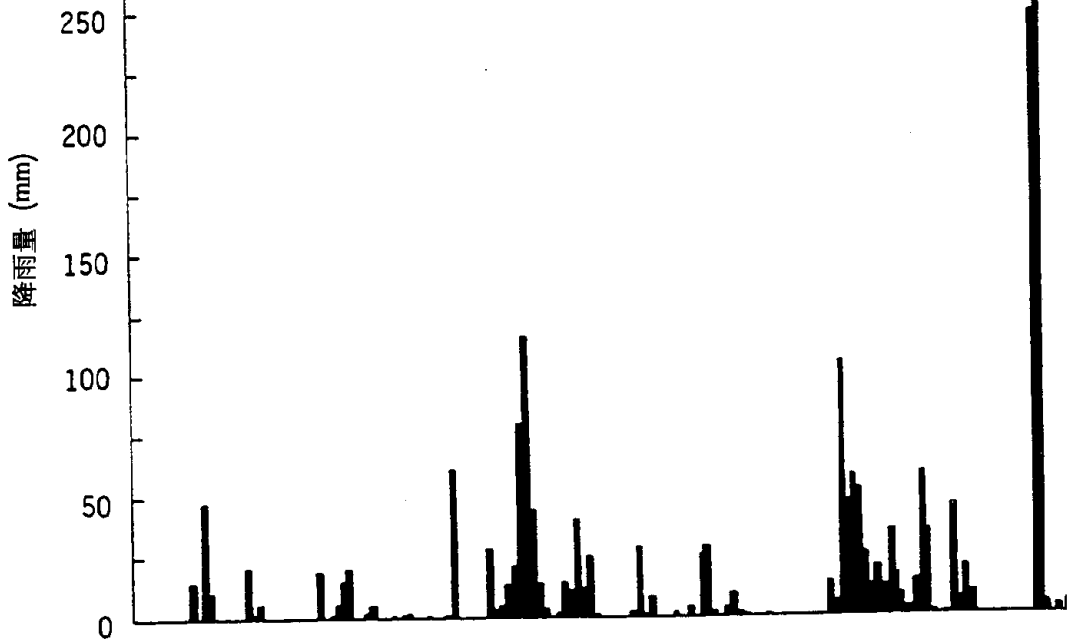
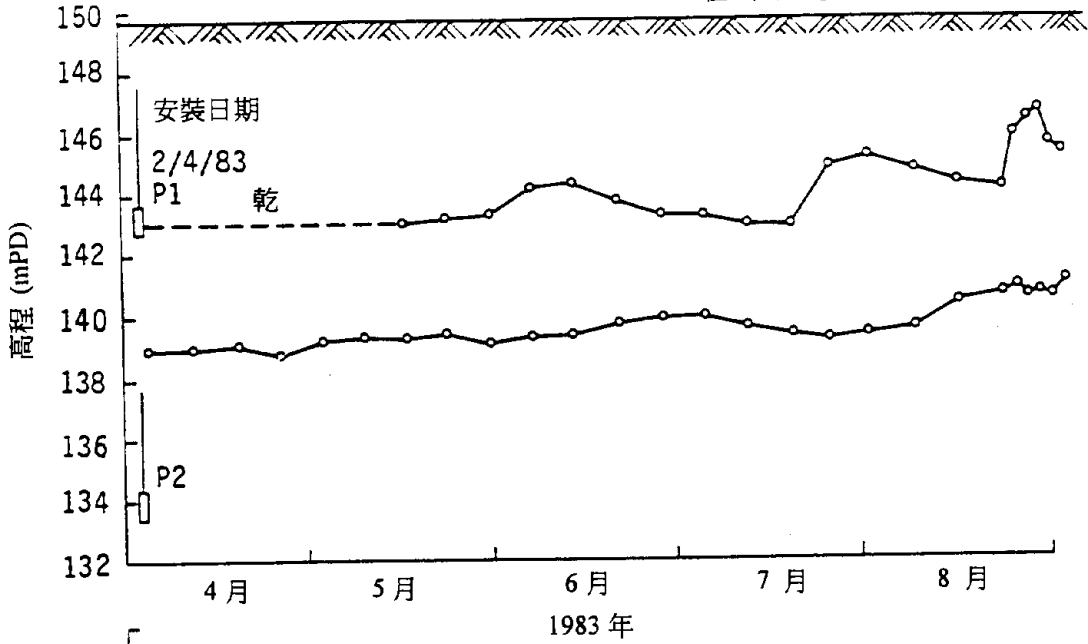


圖 9.6 - 不透水斜坡面上護樹環的詳細圖

場地 ..... 路

在  $P_1$  及  $P_2$  以上的地面



圖例：

- 觀測的孔壓反應值
- 測壓計測頭位置

圖 10.1 - 測壓計數據記錄例子

場地 ..... 街道

裂縫監測器編號 3

牆 : 長 75 m , 高 3.2 - 6.4 m

裂縫 : 距左端 25.4 m , 離地面高度 2.7 m 處

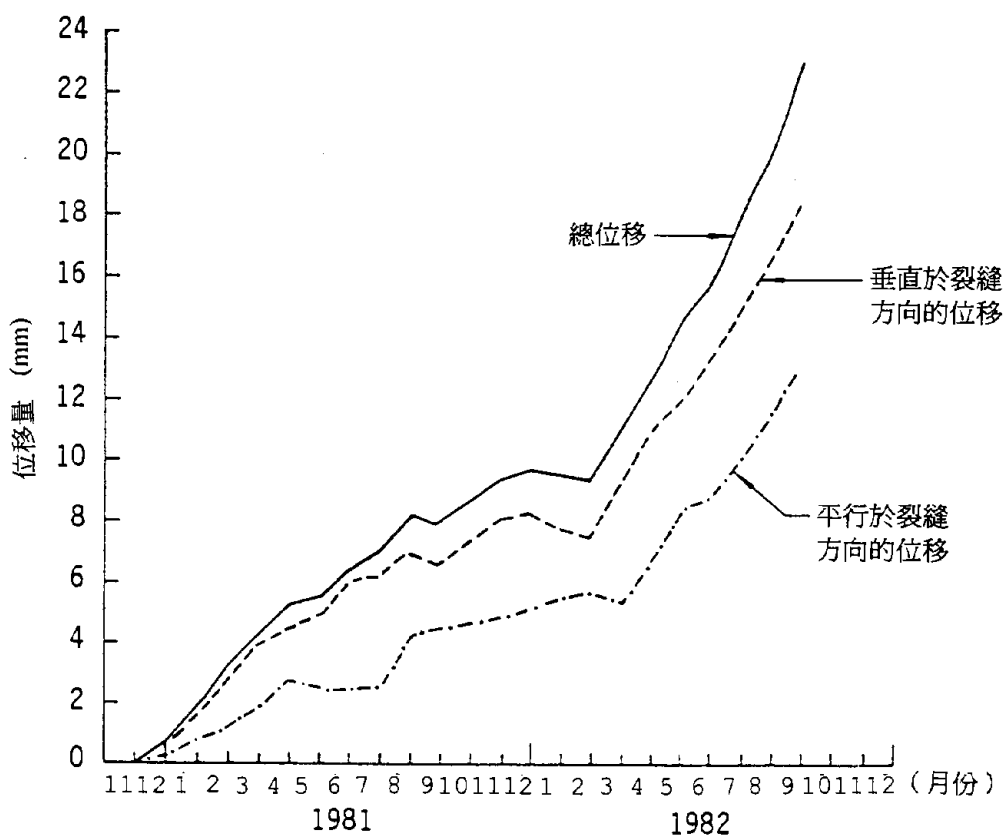
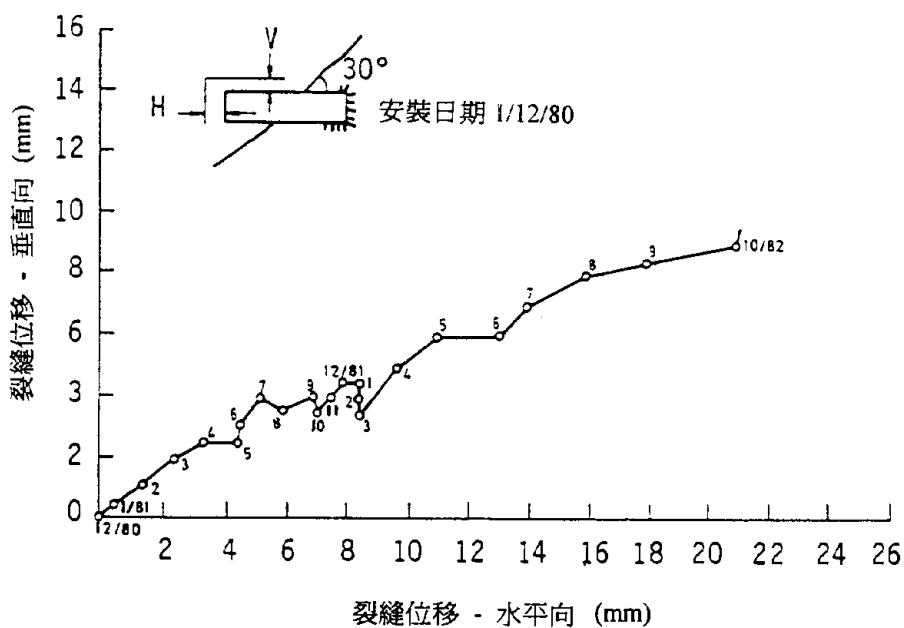


圖 10.2 - 裂縫監測器數據記錄例子

場地：Blank 路

錨固：編號 C4

自由長度 22.5 m

錨固長度 6.0 m

鋼索：7 根，12.5 mm

壓力盒：振動鋼弦式

Deakin 編號 738241

承載力 1 000 kN

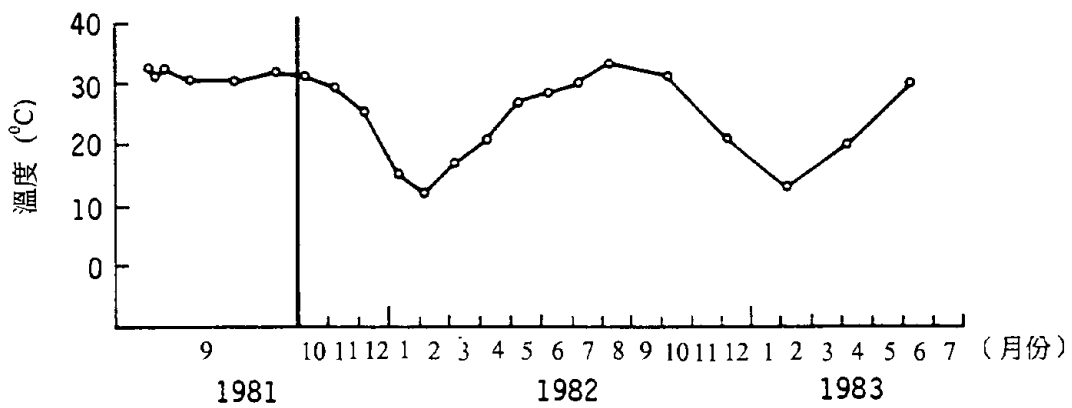
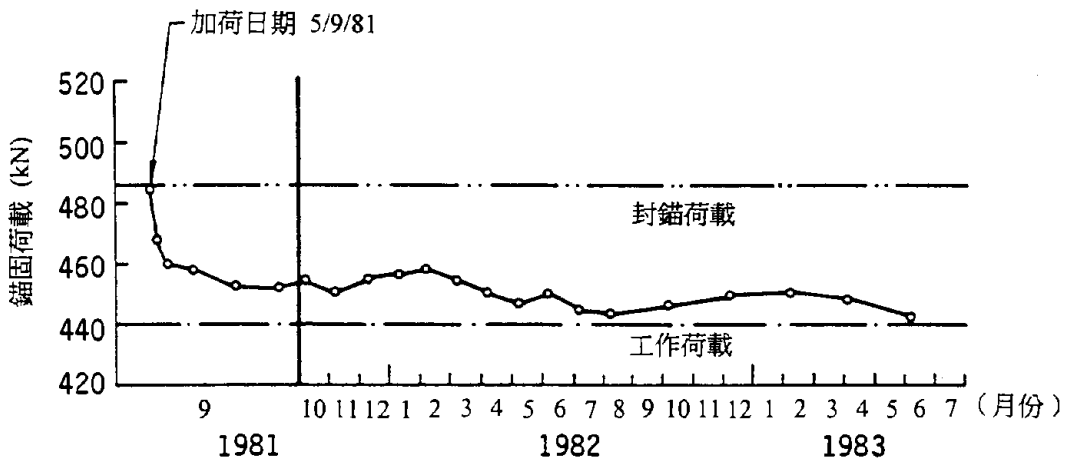


圖 10.3 - 錨固荷載數據記錄例子



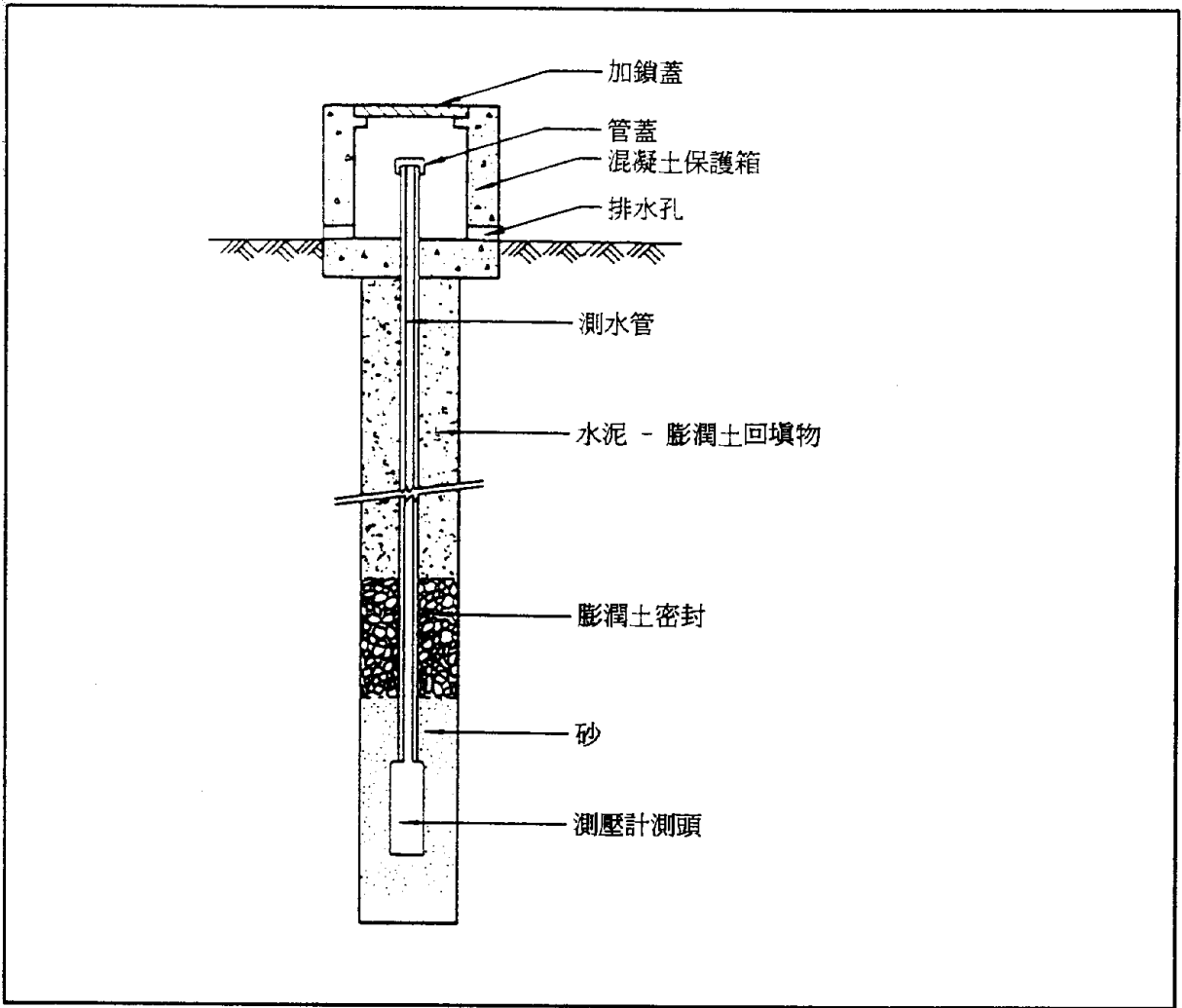


圖 10.4 - 開啟式水力 (Casagrande) 測壓計

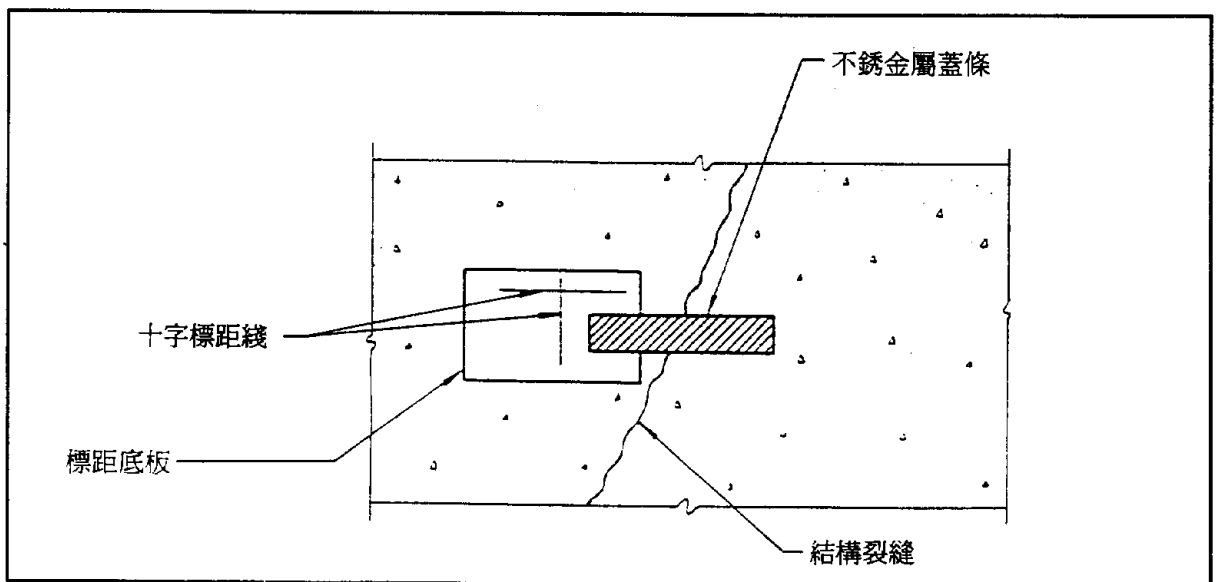
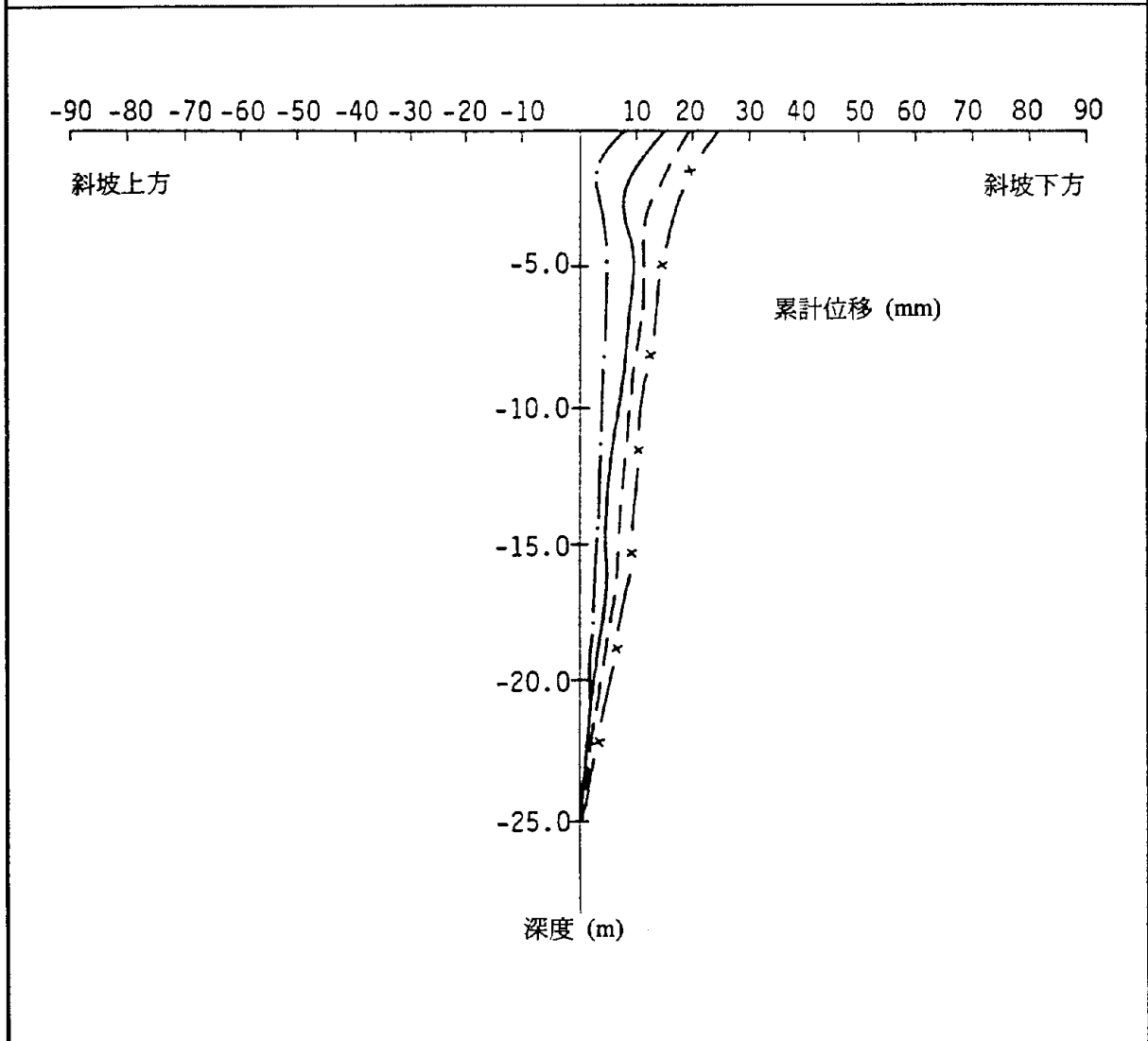


圖 10.5 - 裂縫顯示器

工程項目	:	軸向位移	:	{ 垂直於擋土牆 <input checked="" type="checkbox"/> 平行於擋土牆 <input type="checkbox"/>
場地	:	擋土牆A	測斜儀編號	: A1
測斜管的基準面標高	:	m.P.D.	觀測員	:
首次觀測日期	:			



圖例：

--- x ---	40241	( 2. 1.83)
- - - - -	40231	(22.12.82)
—————	40221	(15.12.82)
- . . . .	40211	( 9.12.82)

註：

- (1) 測斜儀引導軸方向參見監測索引圖；
- (2) 位移剖面圖的測量是相對於初測剖面進行的；
- (3) 圖例代碼表示如下：第 1 位數代表測斜儀編號，第 2、3 和 4 位數代表觀測次數，第 5 位數代表軸向符號（1 為 AB 軸，2 為 CD 軸）。

圖 10.6 - 測斜儀數據記錄例子



斜坡維修檢查	
斜坡位置	第 1 頁共 3 頁
斜坡編號	天氣
視察人員	地點
風險類別	日期
上次檢查日期	低的 / 中等 / 高的
檢查時限適當嗎?	是 / 否
以前的風險類別	低的 / 中等 / 高的
過去建議已執行了嗎?	是 / 否
總結	
需要大型工程	是 / 否
需要小型工程	是 / 否
需要勘察	是 / 否
斜坡滿意	是 / 否
通道	
有良好的維修通道嗎?	是 / 否
公眾是否不易進入通道?	是 / 否
檢察人員曾否到達坡頂、坡腳以及坡級?	是 / 否
意見	
測試儀器：	
已檢驗了所有的測試儀器嗎?	是 / 否
已繪制了所有的測試結果嗎?	是 / 否
所有的讀數都可接受嗎?	是 / 否
需要新的測試儀器嗎?	是 / 否
意見	
附註：	這檢查記錄須與斜坡記錄表同時使用

圖 11.2 - 斜坡維修檢查記錄表一之實例



斜坡維修檢查		
斜坡位置	第 3 頁共 3 頁	
相關擋土牆的情況  擋土牆有任何的位移嗎？ 擋土牆最近有沉降嗎？ 擋土牆最近有裂縫嗎？ 擋土牆最近有傾斜嗎？ 擋土牆牆身最近有隆起變形嗎？ 排水孔的排水能力足夠嗎？ 排水孔通暢嗎？ 砂漿接逢 / 護條合格嗎？ 擋土牆受植物的不良影響嗎？  意見	所需工程	
	小型	大型
管線設施與排水		
管線設施對斜坡有不良影響嗎？	是 / 否	
有任何管線設施需要檢測嗎？	是 / 否	
已通知相應的管理機構了嗎？	是 / 否	
泛論及評語		
需要鞏固斜坡以滿足目前的風險類別嗎？	是 / 否	
建議		
	簽字	

圖 11.4 - 斜坡維修檢查記錄表三之實例

---

[空白頁]

# 照片圖



[空白頁]

## 照片圖目錄

照片圖 編號		頁碼
1.1	A 帶中的花崗岩殘積土	265
1.2	A 帶中的火山岩殘積土	265
1.3	B 帶中殘留節理清晰的風化花崗岩	266
1.4	B 帶中殘留節理清晰的風化火山岩	266
1.5	具有殘留節埋及孤石的風化花崗岩典型 B 帶露頭： A 帶缺失	267
1.6	火山岩 B 與 D 帶交接處：C 帶缺失	267
1.7	沿節理強烈風化的花崗岩：C 帶	268
1.8	顯示風化火山岩 B 帶上覆 D 帶的削土斜坡：A 帶和 C 帶缺失	268
1.9	節理上有輕微銹跡的花崗岩：中右部可見到爆破遺留的 裂隙：D 帶	269
1.10	沿節理面有銹跡的火山岩：D 帶	269
1.11	D 帶中的新鮮花崗岩	270
1.12	D 帶中的新鮮火山岩	270
1.13	土層平行於斜坡的花崗岩質填土	271
1.14	無結構性土基質中具有漂石的火山岩質坡積物	271
2.1	斜側方拍攝的照片展示如何以航空照片判釋作土地評 價	272
2.2	火山岩質殘積土（VI 級），0 - 0.24 m 全風化火山岩（V 級），0.24 - 4.20 m	273

照片圖 編號		頁碼
2.3	全風化火山岩 ( V 級 ) , 4.20 - 9.21 m 強風化火山岩 ( IV 級 ) , 9.21 - 10.05 m 中度風化火山岩 ( III 級 ) , 10.05 - 11.04 m	273
2.4	微風化火山岩 ( II 級 ) , 11.04 - 17.33 m	274
2.5	微風化火山岩 ( II 級 ) , 17.33 - 23.39 m	274
2.6	微風化火山岩 ( II 級 ) , 23.39 - 25.08 m	275
2.7	火山岩質殘積土 ( VI 級 ) , 細部 A	275
2.8	全風化火山岩 ( V 級 ) , 細部 B	275
2.9	全風化火山岩 ( V 級 ) : 細部 C	276
2.10	具有銹跡不連續面的全風化火山岩 ( V 級 ) : 細部 D	276
2.11	中度風化火山岩 ( III 級 ) : 細部 E	276
2.12	微風化火山岩 ( II 級 ) 中的全風化夾層 ( III 級 ) : 細部 F	277
2.13	微風化火山岩 ( II 級 ) : 細部 G	277
2.14	微風化花崗岩 ( II 級 ) 中的中度風化夾層 ( III 級 ) : 細部 H	277
2.15	全風化花崗岩 ( V 級 ) , 0 - 1.00 m 強風化花崗岩 ( IV 級 ) , 1.00 - 3.59 m 中度風化花崗岩 ( III 級 ) , 3.59 - 4.65 m	278
2.16	中度風化花崗岩 ( III 級 ) , 4.65 - 5.55 m 強風化花崗岩 ( IV 級 ) , 5.55 - 10.71 m	278
2.17	微風化花崗岩 ( II 級 ) , 10.71 - 13.71 m	278
2.18	強風化花崗岩 ( IV 級 ) , 13.71 - 16.45 m 中度風化花崗岩 ( III 級 ) , 16.45 - 17.95 m	279

照片圖 編號		頁碼
2.19	強風化花崗岩（IV 級），17.95 - 20.17 m 微風化花崗岩（II 級），20.17 - 21.23 m 中度風化花崗岩（III 級），21.23 - 21.48 m	279
2.20	中度風化花崗岩（III 級），21.48 - 22.00 m 微風化花崗岩（II 級），22.00 - 24.48 m	279
2.21	微風化花崗岩（II 級），24.28 - 25.95 m	280
2.22	強風化花崗岩（IV 級）：細部 A	280
2.23	中度風化花崗岩（II 級）：細部 B	280
2.24	強風化花崗岩（IV 級）：細部 C	281
2.25	微風化花崗岩（II 級）變至中度風化花崗岩（III 級）： 細部 D	281
2.26	微風化花崗岩（II 級）中的強風化夾層（IV 級）：細 部 E	281

— —  
[空白頁]

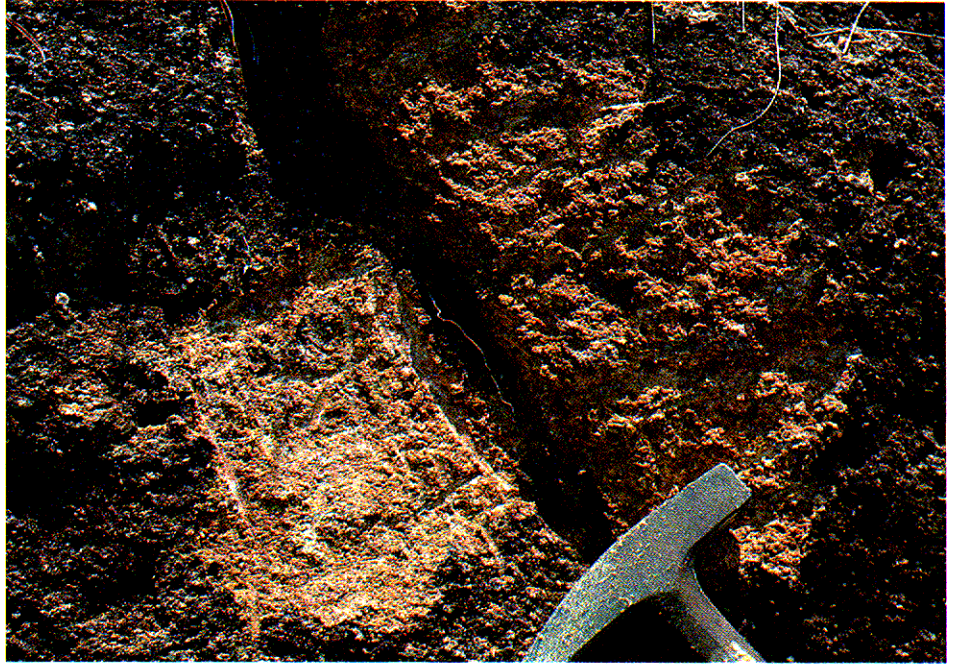


照片圖 1.1 - A 帶中的花崗岩殘積土



照片圖 1.2 - A 帶中的火山岩殘積土





照片圖 1.3 - B 帶中殘留節理清晰的風化花崗岩



照片圖 1.4 - B 帶中殘留節理清晰的風化火山岩





照片圖 1.5 - 具有殘留節埋及孤石的風化花崗岩典型 B 帶露頭：A 帶缺失



照片圖 1.6 - 火山岩 B 與 D 帶交接處：C 帶缺失





照片圖 1.7 - 沿節理強烈風化的花崗岩：C 帶



照片圖 1.8 - 顯示風化火山岩 B 帶上覆 D 帶的削上斜坡：  
A 帶和 C 帶缺失





照片圖 1.9 - 節理上有輕微銹跡的花崗岩：中右部可見到  
爆破遺留的裂隙：D 帶



照片圖 1.10 - 沿節理面有銹跡的火山岩：D 帶





照片圖 1.11 - D 帶中的新鮮花崗岩



照片圖 1.12 - D 帶中的新鮮火山岩



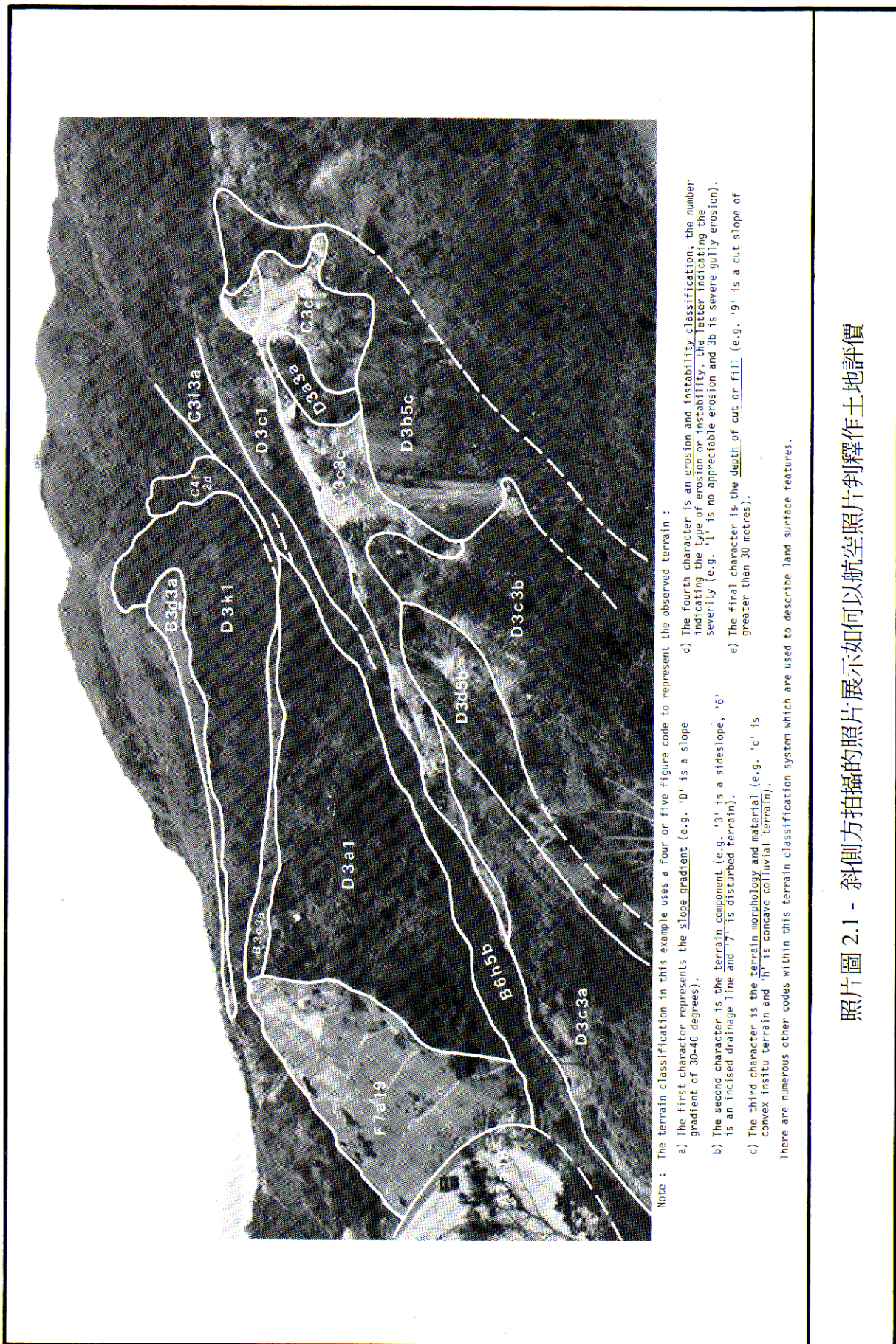


照片圖 1.13 - 土層平行於斜坡的花崗岩質填土



照片圖 1.14 - 無結構性土基質中具有漂石的火山岩質坡積物





Note : The terrain classification in this example uses a four or five figure code to represent the observed terrain :

- a) The first character represents the slope gradient (e.g. 'D' is a slope gradient of 30-40 degrees).
  - b) The second character is the terrain component (e.g. '3' is a sideslope, '6' is an incised drainage line and '7' is disturbed terrain).
  - c) The third character is the terrain morphology and material (e.g. 'c' is convex in situ terrain and 'h' is concave colluvial terrain).
- There are numerous other codes within this terrain classification system which are used to describe land surface features.
- d) The fourth character is an erosion and instability classification; the number indicating the type of erosion or instability, the letter indicating the severity (e.g. '1' is no appreciable erosion and '3b' is severe gully erosion).
  - e) The final character is the depth of cut or fill (e.g. '9' is a cut slope of greater than 30 metres).

照片圖 2.1 - 斜側方拍攝的照片展示如何以航空照片判釋作土地評價





照片圖 2.2 - 火山岩質殘積土 (VI 級), 0 - 0.24 m  
全風化火山岩 (V 級), 0.24 - 4.20 m



照片圖 2.3 - 全風化火山岩 (V 級), 4.20 - 9.21 m  
強風化火山岩 (IV 級), 9.21 - 10.05 m  
中度風化火山岩 (III 級), 10.05 - 11.04 m





照片圖 2.4 - 微風化火山岩 (II 級), 11.04 - 17.33 m



照片圖 2.5 - 微風化火山岩 (II 級), 17.33 - 23.39 m





照片圖 2.6 - 微風化火山岩 (II 級), 23.39 - 25.08 m



照片圖 2.7 - 火山岩質殘積土 (VI 級), 細部 A



照片圖 2.8 - 全風化火山岩 (V 級), 細部 B





照片圖 2.9 - 全風化火山岩 ( V 級) : 細部 C

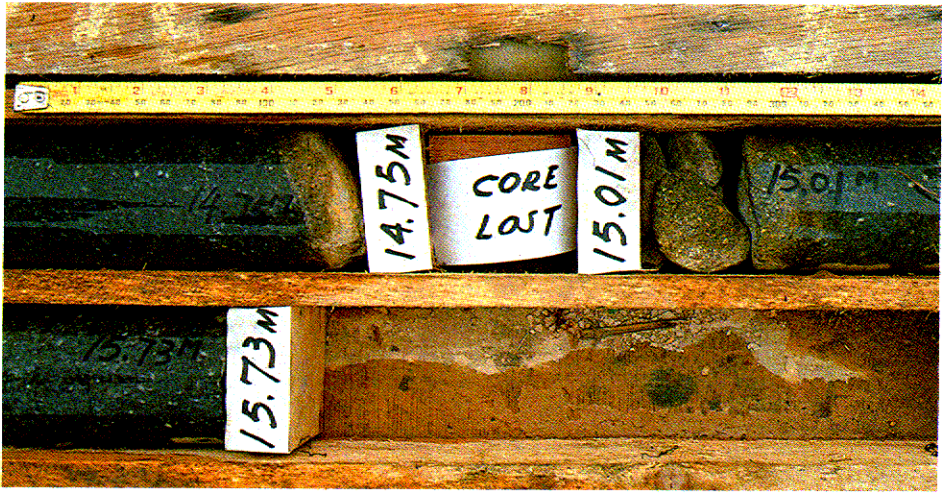


照片圖 2.10 - 具有銹跡不連續面的全風化火山岩 ( V 級) : 細部 D



照片圖 2.11 - 中度風化火山岩 ( III 級) : 細部 E

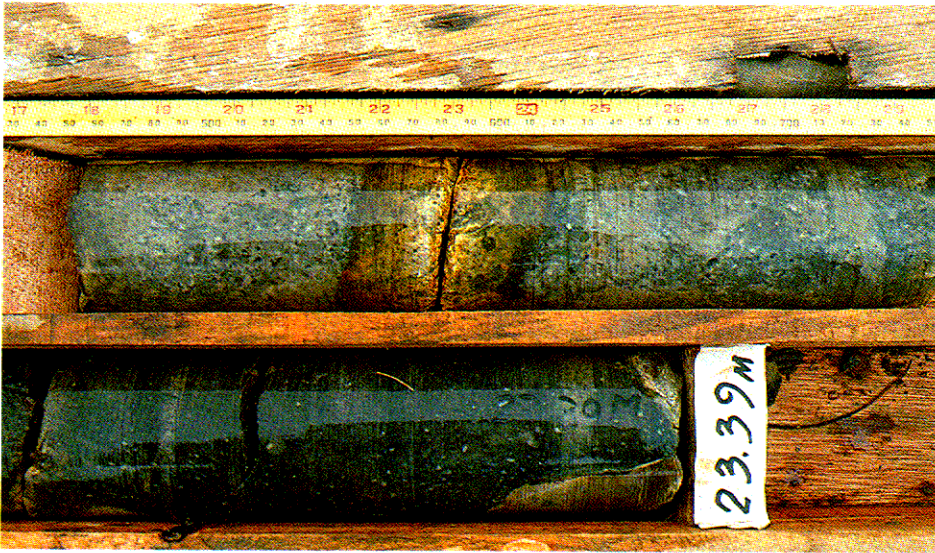




照片圖 2.12 - 微風化火山岩（II 級）中的全風化夾層（III 級）：細部 F



照片圖 2.13 - 微風化火山岩（II 級）：細部 G



照片圖 2.14 - 微風化花崗岩（II 級）中的中度風化夾層（III 級）：細部 H





照片圖 2.15 - 全風化花崗岩 (V 級), 0 - 1.00 m  
 強風化花崗岩 (IV 級), 1.00 - 3.59 m  
 中度風化花崗岩 (III 級), 3.59 - 4.65 m



照片圖 2.16 - 中度風化花崗岩 (III 級), 4.65 - 5.55 m  
 強風化花崗岩 (IV 級), 5.55 - 10.71 m



照片圖 2.17 - 微風化花崗岩 (II 級), 10.71 - 13.71 m





照片圖 2.18 - 強風化花崗岩 (IV 級), 13.71 - 16.45 m  
 中度風化花崗岩 (III 級), 16.45 - 17.95 m



照片圖 2.19 - 強風化花崗岩 (IV 級), 17.95 - 20.17 m  
 微風化花崗岩 (II 級), 20.17 - 21.23 m  
 中度風化花崗岩 (III 級), 21.23 - 21.48 m



照片圖 2.20 - 中度風化花崗岩 (III 級), 21.48 - 22.00 m  
 微風化花崗岩 (II 級), 22.00 - 24.48 m





照片圖 2.21 - 微風化花崗岩（II 級），24.28 - 25.95 m



照片圖 2.22 - 強風化花崗岩（IV 級）：細部 A



照片圖 2.23 - 中度風化花崗岩（II 級）：細部 B





照片圖 2.24 - 強風化花崗岩（IV 級）：細部 C



照片圖 2.25 - 微風化花崗岩（II 級）變至中度風化花崗岩（III 級）：細部 D



照片圖 2.26 - 微風化花崗岩（II 級）中的強風化夾層（IV 級）：細部 E

---

[空白頁]

# 辭彙



---

[空白頁]

## 辭彙

<b>A</b>	
Accuracy	準確度
Acidity	酸度
Active earth pressure	主動土壓力
Active fault	活斷層；活動斷裂
Adhesion	黏著力
Adverse geological conditions	不良地質情況
Aerial Photograph (vertical or oblique)	航空照片（垂直或傾斜的）
Aerial Photograph Interpretation (API)	航空照片判釋
Air voids	氣隙；氣孔
Alluvial (sand,silt,clay)	沖積（砂，粉土，黏土）
Allowable bearing capacity	容許承载力
Alluvium	沖積物
Analytical	分析；解析
Anchoring	錨固
Andesite	安山岩
Angle of shearing resistance	抗剪角
Angle of internal friction	內摩擦角
Angle of repose	休止角
Anisotropy	各向異性
Anticline	背斜（層）
Apparent cohesion	表觀黏聚力；似黏聚力
Artesian water	承壓水；自流水
Assess/Assessment	評估
Atmospheric water	大氣水
Atterburg Limits	阿太堡界限
Auger	螺旋鑽
Automatic rain gauge	自動雨量計
Avalanche	山崩
Axial load	軸向荷載
Axial strain	軸向應變
Axial stress	軸向應力
<b>B</b>	
Back analysis	反演分析
Back pressure	反壓；反壓力；倒壓

Backfill	回填土；回泥
Basalt	玄武岩
Batholith	岩基
Batter	傾斜
Bearing capacity	承载力
Bearing capacity factor	承载力系数
Bearing pile	承重樁
Bedrock	基岩
Bedrock map	基岩地質圖
Bentonite	膨潤土
Berm (on a slope)	坡級；坡台
Biotite	黑雲母
Bitumen	瀝青
Blasting	爆破
Block sample (of a soil)	狀樣品；塊樣
Blockage of drains	排水堵塞；渠導淤塞；渠道堵塞
Bolting	栓固
Borehole	鑽孔
Boring	(土層) 鑽探
Borrow area	取土區；挖泥區
Bottom heave	坑底隆起；底鼓
Boulder	孤石；漂石；漂礫；散石；礫石
Boulder fall	礫石下墜；孤石崩落；孤石下墜
Boulder fence	防石欄
Boundary condition	邊界條件
Bracing	支撐
Breccia	角礫岩
Building (Administration) Regulations	建築物(管理)規例
Building (Construction) Regulations	建築物(建造)規例
Building Authority	建築事務監督
Building Ordinance	建築物條例
Bulk sample (of soil)	體樣
Bulk shrinkage	體縮
Buoyant unit weight	浮容重
Buttress (in slope works)	扶牆；扶壁；支撐牆；支壁(斜坡工程)
<b>C</b>	
Cable percussion boring	鋼繩沖擊鑽探

Caisson	沉箱；挖孔樁
Caisson wall	挖孔樁擋土牆；沉箱擋土牆
Calibrate/Calibration	校定；校正；校準
California Bearing Ratio (CBR)	加州承載比
Calorimetric method	量熱法
Capillary height	毛細上升高度
Capillary water	毛細管水
Casing	套管
Cast-in-place pile (cast-insitu pile)	灌注樁
Catalogue of Slopes	斜坡目錄；斜坡紀錄冊
Catchment	集水區
Catchment area	流域面積；集水面積；匯水面積；集水區
Catchpit	集水井
Cavitation	空化作用；空蝕作用
Cavity (in the ground)	溶洞
Cell pressure (in triaxial testing)	圍壓
Cement mortar	水泥砂漿
Cement stabilized soil	水泥加固土
Channel	溝渠；渠道
Channel of flow	水流匯聚；引集水流
Chunam	灰泥；朱南
Chunam cover	灰泥護面；朱南護面
Chunam plaster	灰泥批蕩；朱南批蕩
Clay	黏土
Clay loam	黏壤土
Clay mineral	黏土礦物
Clayey silt	黏質粉土；黏質粉砂
Cobble	卵石；鵝卵石
Coefficient of compressibility	壓縮系數
Coefficient of fissuration	裂隙系數
Coefficient of permeability	滲透系數
Coefficient of secondary consolidation	次固結系數
Coefficient of uniformity	均勻系數
Cofferdam	圍堰
Cohesion	黏聚力；內聚力
Cohesive soil	黏性土

Collapse (e.g. of a slope or retaining wall)	崩塌 (例: 斜坡或擋土牆)
Collector well	集水井
Colluvial soil	坡積土
Colluvium	坡積物
Compaction (of soil)	壓實; 夯實 (土壤)
Compaction test (on soil)	壓實試驗 (土壤)
Completely decomposed (weathered) granite	全風化花崗岩 (層)
Completely decomposed (weathered) volcanics (volcanic rock)	全風化火山岩 (層)
Compressibility (of soil or rock)	壓縮性 (土壤或岩石)
Compression index	壓縮指數
Compression test	壓縮試驗
Computer	電腦
Concrete buttress	混凝土扶壁; 混凝土支壁
Cone penetration test (CPT)	圓錐觸探試驗; 靜力觸探試驗
Confined aquifer	層間含水層
Confine flow	層間流
Confining pressure (in triaxial testing)	圍壓; 側壓 (三軸試驗)
Conglomerate	礫岩
Consequence	後果
Very high consequence	非常嚴重的後果
High consequence	嚴重的後果
Moderate to high consequence	中等至嚴重程度的後果
Moderate consequence	中等程度的後果
Low to moderate consequence	輕微至中等程度的後果
Low consequence	輕微後果
Consequence of failure	崩塌後果; 破壞後果; 失穩後果
Consistency test	稠度試驗
Consolidated	已固結的
Consolidated drained direct shear test	固結排水直剪試驗
Consolidated drained triaxial compression test	固結排水三軸壓縮試驗
Consolidated isotropically	各向同性固結
Consolidated undrained triaxial compression test	固結不排水三軸壓縮試驗
Consolidation	固結
Constant head test	恆定水頭試驗
Construction load	施工荷載

Contaminated	受污染
Core barrel	岩芯管；岩芯鑽管
Core recovery	岩芯回收率；岩芯採取率
Corehole	岩芯鑽孔
Counterfort drain	排水扶垛
Crack	裂縫
Creep	蠕變；蠕動
Crest (of a slope)	頂部
Critical (situation)	關鍵
Critical (state)	臨界
Cross-section	剖面
Cushion	墊層
Cut slope (soil cut slope, rock cut slope)	削坡（削土坡，削石坡）
Cut-off drain	排水截槽
<b>D</b>	
Dam	壩
Dangerous slope	危險斜坡
Dangerous terrain	危險地勢
Data sheet	數據表；資料記錄表
Dead-load test (on soil)	恒載試驗；靜荷載試驗
Debris	岩屑；泥石
Debris flow	泥石流；岩屑流
Decomposed (weathered) granite	風化花崗岩
Decomposed (weathered) volcanics (volcanic rock)	風化火山岩
Deeply weathered	深層風化
Degree of consolidation (of a soil)	固結度（土）
Degree of saturation (of a soil)	飽和度（土）
Delta	三角洲
Densometer	密度計；比重計
Dentition (on a rock slope)	補隙（在石坡上的）
Design assumption	設計假定
Design strength	設計強度
Desk study	資料研究；室內研究；資料搜查
Detailed geotechnical investigation	岩土工程詳細勘察（勘探）
Detailed geotechnical stability study	岩土穩定性詳細研究
Determine/Determination	確定；測定

Deviator stress	偏應力
Diaphragm wall	地下連續牆
Differential settlement	差異沉降（沉降差）
Dike	堤；岩脈；岩牆
Dilatancy	膨脹性
Dilate	膨脹
Diluvial fan	洪積扇
Diluvial soil	洪積土
Diorite	閃長岩
Dip angle	傾角
Dip direction	傾向
Direct shear equipment	直剪儀
Direct shear test	直剪試驗
Displacement	位移
Distressed	有破壞跡象的
Disused tunnel	廢棄隧道
Ditch	截水溝
Documents	文獻
Dolomite	白雲岩
Dowel pile	樁釘樁；定位樁
Dragdown	負摩擦力
Drain	排水渠；排水管
Drainage channel	排水溝；排水渠
Drainage gallery	排水廊道
Drainage line	水流線；排水路線
Drainage path	排水徑
Drainage system	排水系統
Drawdown (of groundwater)	水位下降
Dredging	疏濬；挖泥
Drillhole	鑽孔
Drilling	岩芯鑽探；鑽探
Drillrod	鑽桿
Dry density (unit weight)	乾容重；乾容重
Dry-sieving	乾篩
Dutch cone test	荷蘭錐試驗
Dye	染色
Dynamic compaction	動力壓實；動力夯實；強壓夯

<b>E</b>	
Earth anchor	土錨
Earth crust	地殼
Earth pressure	土壓；土壓力
Earth pressure at rest	靜止土壓力
Earthfill slope	填土斜坡
Effective overburden pressure	有效覆蓋壓力
Effective stress	有效應力
Embankment	堤；路堤
End bearing pile	端承樁
End resistance	樁端阻力
Engineering analysis	工程分析
Engineering properties	工程性質
Environmental factor (in slope engineering)	環境因素（影響斜坡的）
Eolian deposit	風積土
Epoxy resin	環氧樹脂
Equation	公式
Equilibrium condition	平衡條件；平衡狀態
Erosion	沖刷；侵蝕
Excavation works	開挖工程；挖掘工程
Excess pore water pressure	超孔隙水壓力
Expansive soil	膨脹土
Exploration	勘探
Exploratory point	勘探點
Exposed site	空曠場地
Extensometer	伸延測量計；伸長計；延伸儀(計)
Extreme rainstorm	罕見暴雨；特大暴雨；極大暴雨
<b>F</b>	
Factor of safety (global , partial)	安全系數（整體；單元）
Factor of safety against overturning	抗傾覆安全系數
Factor of safety against sliding	抗滑安全系數
Failure	破壞；崩塌；故障
Failure scar	崩塌痕跡（殘痕）
Failure surface	破壞面
Failure type	破壞類型
Fall (in drainage channels)	坡降（排水渠）



Falling head permeability test	降落水頭滲透試驗；變水頭透水試驗
Fault	斷層；斷裂
Fault breccia	斷層角礫岩
Fault zone	斷裂帶；斷層帶
Feldspar	長石
Feldspar porphyry dykes	斑狀長石岩脈
Field inspection	現場視察(檢查)；實地視察(檢查)
Field sheet	現場記錄表
Fill	填土；填料；填塞
Fill slope	填土坡；填土斜坡
Filter	反濾層；過濾層
Fine gravel	細礫
Fine sand	細砂
Fines (silt- and clay-sized particles)	細粒土
Fissure water	裂隙水
Fissured clay	裂隙黏土
Flood plain	泛濫平原
Flooding	洪水泛濫；水浸；灌水
Flow (of water)	流動；流水
Flow line	流線
Flow monitoring	水流監測
Flownet	流網
Fold	褶曲
Fossil landslide	古滑坡
Fossil stream channel	古河道
Foulwater sewer	污水管；污水陰溝
Foulwater system	污水排放系統
Foundation (soil/rock support, substructure)	地基；基礎（地基：承托面；基礎：結構）
Foundation soil	地基土
Fracture	斷裂；破裂；裂隙
French drain	盲溝
Frequency	頻率
Friction pile	摩擦樁
<b>G</b>	
Gabbro	輝長岩

GCO probe	GCO 輕型動力觸探；GEO 輕型勘探桿
General shear failure	整體剪切破壞
Geographical mapping	地理測繪
Geoguide	岩土指南
Geological map	地質圖
Geological mapping	地質測繪；地質勘察
Geological memoir	地質紀要
Geological profile	地質剖面
Geological survey	地質調查
Geology	地質學；地質
Geomembrane	土工膜
Geomorphologic map	地貌圖
Geomorphology	地貌學
Geophysical exploration	地球物理勘探
Geostatic stress	地應力
Geosynthetics	土工合成材料
Geotechnical approval	岩土工程當局的批准
Geotechnical control	岩土工程控制
Geotechnical design	岩土工程設計
Geotechnical engineer	岩土工程師；土力工程師
Geotechnical engineering	岩土工程（土力工程）
Geotechnical investigation	岩土工程勘察
Geotechnical Manual for Slopes	斜坡岩土工程手冊
Geotechnical specialist	岩土工程專家
Geotechnical study	岩土工程研究/調查
Geotextile	土工織物
Gneiss	片麻岩
Grab dredger	抓斗式挖泥船
Grading analysis (of a soil)	級配分析；顆粒分析
Grain size	粒徑
Granite	花崗岩
Granitic rock	花崗質岩石
Granodiorite	花崗閃長岩
Granular	顆粒狀的
Gravel	礫石
Gravel pack	填礫
Gravelly sand	礫砂

Ground investigation	場地勘探；探土
Ground profile	地形；地形剖面
Ground stress	地應力
Ground treatment	地基處理
Groundwater	地下水
Groundwater catchment	地下水流域
Groundwater conditions	地下水條件；地下水情況（狀況）
Groundwater connectivity test	地下水連通實驗
Groundwater depletion	地下水量枯竭
Groundwater discharge	地下水流量；地下水溢流
Groundwater divide	地下水分水嶺
Groundwater drainage works	地下水排水工程
Groundwater flow direction	地下水流向
Groundwater level	地下水位
Groundwater monitoring	地下水監測
Groundwater movement	地下水運動
Groundwater pressure measurement	地下水壓力測量
Groundwater regime	地下水體系
Groundwater table	地下水位
Grouting	灌漿
Gully	沖溝
Gully erosion	沖溝侵蝕
Gunite	噴凝土；噴漿
Gypsum	石膏
<b>H</b>	
Halloysite	多水高嶺石；敘永石
Hand augering	手動螺旋鑽
Hazard	危險；事故；災害
Hazard assessment	危險性評估；災害評估
Hazard potential	潛在危險性
Heterogeneity	非均質性
Herringbone drain	梳式排水渠；魚骨式排水渠
Heterogeneous material	非均質物質
High permeability	高透水性；高滲透性
High risk	高風險
Highly decomposed (weathered) granite	高度風化花崗岩（層）

Highly decomposed (weathered) volcanics	高度風化火山岩 (層)
History of instability	過去不穩定歷史 (紀錄)
Homogeneity	均質性
Homogeneous layer	均質層
Horizontal displacement	水平位移
Horizontal drain	排水斜管
Hornblende	角閃岩；角閃石
Hydraulic fill	水力填土；水力沖填土
Hydraulic fracturing	水力致裂法
Hydraulic gradient	水力梯度
Hydro-chemistry	水化學
Hydrogeology	水文地質學
Hydrology	水文學
Hydrometer	比重計
Hydroseeding	草籽植草 (法)；噴草；噴植草
<b>I</b>	
Igneous rock	火成岩
Illite	伊利石
Impermeable layer	不透水層
Impervious boundary	不透水邊界
Impression packer survey	壓印器測試
Inclined shaft	斜井
Inclinometer	傾斜儀；測斜儀
Inclusion (in a soil)	包含物
Infiltration	滲入；滲濾；滲透；滲水
Infiltration test	滲透試驗；滲水試驗；滲入試驗
Infiltrometer	滲透儀
Initial consolidation (compression)	初始固結 (壓縮)
Injection test	注入試驗
Insitu density	原位密度
Insitu stress	原位應力；現場應力
Insitu test	原位試驗；現場試驗；實地試驗
Inspection	檢察；檢查；視察
Instability	不穩定性
Instrumentation	儀器；儀器測試
Intact rock	完整岩石

Interpretation	解釋；判釋
Introduction	前言；序論
Investigation	勘察；調查；勘探；勘測；勘查
Isotropy	各向同性
<b>J</b>	
Jet boring	噴射鑽探
Joint	接縫；節理（地質）；接合
Jointing	節理（作用）；接合；填縫
<b>K</b>	
Kaolin	高嶺土
Kaolinite	高嶺石
Karst	岩溶（喀斯特）
Key (in a retaining wall)	鍵槽（在擋土牆中）
<b>L</b>	
Laboratory	試驗室
Laboratory testing	室內試驗；實驗室試驗
Laminar flow	層流
Landform unit	地貌單元
Landscape	景觀；園景；風景
Landslide	滑坡（山泥傾瀉）
Landslide disaster prevention	滑坡災害防治（山泥傾瀉災害防治）
Landslide hazard	滑坡危險（山泥傾瀉危險）
Landslide study	滑坡研究（山泥傾瀉研究）
Landslip	滑坡（山泥傾瀉）
Landslip debris	滑坡碎屑；滑坡泥石
Landslip hazard	滑坡危險（山泥傾瀉危險）
Landslip Preventive Measures Programme	防止山泥傾瀉計劃
Landslip preventive works	滑坡（山泥傾瀉）防治工程
Landslip scar	崩塌殘痕；滑坡殘痕
Landslip surface	滑動面（山泥傾瀉面）
Landslip warning system	滑坡（山泥傾瀉）警報系統
Lateral load	橫向荷載
Lateritic soil	紅土
Law	定率

Leaching	淋濾（溶濾）作用
Leakage	滲漏
Life and property	人命和財物
Liquefaction	液化
Liquefaction index	液化指數
Liquefaction of sand	砂土液化
Liquefaction potential	液化勢；液化可能性；液化潛力
Liquid Limit (LL)	液限
Limit equilibrium	極限平衡
Load cell	壓力盒；加載盒；測力儀
Location plan	位置圖
Logging	記錄
Long-term stability	長期穩定性
Lugeon test	呂容試驗
<b>M</b>	
Macro-structure	宏觀結構
Magmatic rock	岩漿岩
Maintenance	維修；保養
Maintenance works	維護工程
Maintenance office/department	維修部門
Major landslide	大型滑坡；大型的山泥傾瀉
Major works	重大工程
Man-made slope	人造斜坡（邊坡）
Manhole	沙井；檢查孔；檢查井
Marble	大理岩
Margin of safety	安全度；安全因素；安全限度
Marine mud (silt/clay)	海積淤泥；海泥
Marine sand	海積砂；海砂
Marine sediment	海相沉積物
Marl	泥灰岩
Marsh soil	沼澤土
Masonry retaining wall	砌石擋土牆；結石擋土牆
Masonry wall	砌石牆
Mass concrete wall	（大體積）混凝土（擋土）牆
Mass of moisture	水分質量
Material property	材料性質
Material strength	材料強度

Matric suction	基質吸力
Maximum principal effective stress	最大有效主應力
Measure/Measurement	量測
Medium sand	中砂
Metamorphic rock	變質岩
Meteorological factor	氣象因素
Method of slices	條分法
Mica	雲母
Micro-structure	微觀結構
Microfracturing	微(觀)斷裂
Microrelief	微地貌
Minor landslip	小型滑坡；小型山泥傾瀉
Minor works	小工程
Modulus of compressibility	壓縮模量
Modulus of deformation	變形模量
Modulus of elasticity	彈性模量
Mohr-Coulomb envelope	莫爾包一庫倫絡線
Moisture content	含水量
Montmorillonite	蒙脫土；蒙脫石
Mortar	水泥砂漿；灰漿；灰泥
Mud (silt/clay)	泥漿；淤泥
Mud avalanche	土崩
Mudflow	泥流
Mudslide	泥滑；泥塌
<b>N</b>	
Natural slope	天然斜坡
Natural hillside	天然山坡
Negative pore water pressure	負孔隙壓力；負孔壓
Negative skin friction	負摩擦力
Negligible amount	微量
Negligible consequence	微不足道後果
Normal fault	正斷層
Normal stress	正應力
Normally consolidated soil	正常固結土
<b>O</b>	
Oedometer	固結儀；滲壓儀

Offshore engineering	近海工程
On-site monitoring	現場監測
Organic soil	有機土
Open hydraulic (Casagrande) piezometer	開啟式水力孔壓計
Open joints	張開節理；裂開節理
Optimum moisture content (OMC)	最優含水量
Over-coring method	套鑽法
Overbreak	超挖
Overburden	覆蓋層
Overburden pressure	覆蓋壓力
Overconsolidated soil	超固結土
Overflow	溢流；漲溢
Overhanging rock	懸垂岩石；懸石
Overturning	傾覆；倒轉
<b>P</b>	
Packer test	壓水試驗
Packer permeability test	壓水試驗；壓水滲透試驗
Particle size distribution (PSD)	粒徑分布
Partially penetrating well	非完整井
Partially weathered rock	部份風化岩層
Particle size	粒徑（粒度）
Passive earth pressure	被動土壓力
Peat	泥炭；腐葉土；腐植土
Pebble	圓礫；小卵石
People and property	人民和財產
Perched water	上層滯水
Perched water level (table)	上層滯水位
Percussion drilling	衝擊鑽探
Permeability	滲透性；滲透
Permeability coefficient	滲透系數
Permeability test	滲透試驗
Permeable	透水；透水的
Pervious layer	透水層
Photogrammetry	攝影測量學
Photolineament (Photogeological lineament)	航攝地質線；航攝地質特徵
Photo-mosaics	航空照片鉸嵌圖



Pier	墩；碼頭
Piezocone	孔壓靜力觸探
Piezocone test	孔壓靜力觸探試驗
Piezometer	測壓計
Piezometric head	測壓 (管) 水頭
Piezometric response	孔壓反應
Pile	樁
Pile cap	樁帽；樁承台
Pile group	樁群
Piling works	打樁工程
Piping	管湧；土體侵蝕
Plastic limit (PL)	塑限
Plasticity chart	塑性圖
Plasticity index (PI)	塑性指數；可塑性指數
Plate bearing (loading) test	平板承載試驗
Pneumatic piezometer	氣壓式測壓計
Point load index	點荷載指標
Point load test	點荷載試驗
Poisson's ratio	泊松比
Pore pressure	孔壓
Pore pressure distribution	孔隙壓力分布
Pore pressure measurement	孔壓量測
Pore suction	負孔壓
Pore water	孔隙水
Pore water pressure	孔隙水壓力
Porosity	孔隙率
Positive pore pressure	正孔隙壓力
Post-construction monitoring	營運期監測；完工後監測
Potentially dangerous	可能危險；潛在的危險
Potentially unstable	可能不穩定；潛在的不穩定
Preconsolidation pressure	前期 (先期) 固結壓力
Preferential flow paths	優先流槽；優選流徑
Preloading	預壓法
Pressure transducer	壓力傳感器
Pressuremeter test	旁壓試驗 (橫壓試驗)
Prestressed ground anchor	預應力地錨
Preventive work	預防工作
Primary consolidation	主固結

Principal effective stress	有效主應力
Probability of failure	破壞概率
Probe	探頭（探測器，探針）
Proctor compaction tests	普氏壓實試驗
Program (for computers)	（電腦）程序
Public safety	公眾安全
Pumping test	抽水試驗
PVC	聚乙烯
<b>Q</b>	
Quartz	石英
Quaternary	第四紀（年代）；第四紀（地層）
Quicksand	流砂
<b>R</b>	
Rainfall intensity	雨量強度；降雨強度
Rainfall record	雨量記錄
Raingauge	雨量計
Recharge well	回灌井
Recompacted fill	再壓實填土；再夯實填土
Reinforced earth/fill	加筋土；填土
Relative density	相對密度
Relief	地貌；地形
Relict joint	殘留節理
Remedial works	善後工程；修葺工程；修繕工程
Remote sensing technique	遙感技術
Remoulded clay	重塑黏土
Remoulded properties	重塑土特性
Remoulding	重塑
Residual soil	殘積土
Residual stress	殘餘應力
Restoration works	修復工程
Retaining wall	擋土牆
Retrogressive landslide	牽引式滑坡
Return period	重現期
Reverse fault	逆斷層
Rhyolitic lava flow	流儀岩的溶岩流
Rigid protection measure	剛性保護措施

Rising head test	上水頭試驗
Risk *	
Very high risk	非常高風險
High risk	高風險
Moderate to high risk	中等至高風險
Moderate risk	中等風險
Low to moderate risk	低至中等風險
Low risk	低風險
Risk Categorisation System *	風險分類系統（法）
Risk category *	風險類別
Risk of landslip *	山泥傾瀉（滑坡）風險
Risk-to-life category *	人命風險類別
註： "Risk" 斜坡的風險類別，決定於一旦崩塌時可引致人命或財產破壞，和 山 坡是否危險無關。	
Rock	岩石
Rock anchor	岩石錨桿
Rock bolt	岩石錨栓
Rock cavern	岩洞
Rock dowel	岩石銷釘
Rock fall fence	防石欄；防石圍牆；防墜石圍欄
Rock joint	岩石節理
Rock mass	岩體
Rock mechanics	岩土力學；岩石力學
Rock Quality Designation (RQD)	岩石質量指標
Rock quality index	岩石質量系數
Rock structure	岩石結構
Rock texture	岩石構造
Rockfill slope	填石坡；堆石坡
Rotary drilling	旋轉式鑽探；迴轉鑽探
Rotary percussion boring	旋轉沖擊鑽探
Runoff	逕流；溢出
Rupture	破裂；斷裂
<b>S</b>	
Salt spray	鹽漬
Sampler	取樣器
Sand	砂；沙
Sand pocket	砂袋；袋狀砂體

Sand trap	沉砂池；截砂池
Sandboil	噴水冒砂
Sandstone	砂岩
Sandy loam	砂壤土壩母
Sandy silt	砂質粉砂；砂質粉土
Saprolite	風化土
Satellite photograph	衛星象片
Saturation	飽和
Scaling (of loose rocks)	剝除鬆動岩石；去除鬆石
Scar	痕跡
Schist	片岩
Scouring	沖刷
Scree	岩屑堆；山石堆
Secondary consolidation	次固結
Sedimentary rock	沉積岩
Sedimentary soil	沉積土
Seepage	滲漏；滲水；滲流
Seismic waves	地震波
Sensitivity analysis	靈敏度分析
Service conduit	設施管道
Servo-accelerometer	伺服加速度儀
Settlement	沉降；沉積；地陷
Settlement gauge	沉降測量儀；沉降儀
Shale	頁岩
Shallow foundation/footing	淺基礎
Shear box test	剪切盒試驗
Shear strength	抗剪強度
Sheet erosion	片狀侵蝕；表面侵蝕
Sheet pile	板樁
Sheet retaining structure	板式擋土結構
Shoring works	支撐工程；橫撐板工程
Shotcrete/Shotcreting	噴射混凝土；噴漿
Shrinkage limit	縮限
Signs of distress	破壞跡象；損壞跡象
Silt	粉土；粉砂
Siltation	淤積
Silty clay	粉質黏土
Silty sand	粉砂；粉質砂

Single grained structure	單粒結構
Single/Multi-stage	單/多級；單/多階級
Site	場地；地盤；工地；地點
Site formation works	場地平整工程；地盤平整工程；地盤開拓工程
Site investigation	場地勘察
Site measurement	實地量度；現場量度
Site observation	現場觀察
Skin friction of pile	樁的表面摩擦力
Slab foundation	板式基礎
Slaking	(濕化) 崩解性
Slate	板岩
Slickenside	擦痕面
Slide cliff/Slip cliff	滑坡後壁
Slide crack	滑坡裂痕
Slide mass/Sliding mass	滑坡體；滑動土體
Slide resistant pile	抗滑樁
Slide tongue	滑坡舌
Sliding bed	滑坡床
Sliding plane	滑動面
Sliding zone	滑動帶
Slip circle	滑弧
Slip indicator	滑坡指示器
Slip surface	滑動面
Slope	斜坡；邊坡
Slope crest	坡頂
Slope protection	護坡工程；護坡
Slope stability	斜坡穩定性
Slope toe	坡腳
Slope wash	坡積物；坡積土；斜坡侵蝕
Slurry	泥漿
Socketed pile	嵌岩樁
Soft clay	軟黏土
Soil improvement	土質改良
Soil moisture deficit	土中水份缺失
Soil nail/Soil nailing	土釘；泥釘
Soil suction	土壤毛管吸力；土的負孔隙壓力
Soldier pile	支護樁

Specific gravity	比重
Spillage	溢出
Spirit level	氣泡水平儀
Split spoon sampler	對開式勺型取土器
Sprayed concrete	噴凝土；噴漿；噴射水泥漿
Spread footing	擴展基礎；獨立基礎
Stability analysis	穩定性分析
Stability assessment	穩定性評估
Standpipe	測水管
Standpipe piezometer	開敞式測壓計
Standard Penetration Test (SPT)	標準貫入試驗
Steady state	穩定狀況；穩定狀態
Steep slope	陡峭山坡；陡峭斜坡；陡坡
Stepped channel	梯級渠；階梯型溝渠
Stereoplot	立體測圖；赤平極射投影
Stereoscopic	立體的
Stone pitching	砌石護面；砌石護坡
Stone tie	加固條石
Stormwater system	雨水排放系統
Stratigraphy	地層
Strength characteristics	強度特性
Strength parameter	強度參數
Stress path	應力軌跡；應力路徑
Strike	走向
Strike-slip fault	平移斷層；走滑斷層
Structural cracking	構造破裂
Subsidence	沉陷；下陷
Substructure	基礎；下部結構
Subsurface	地下；下層面
Subsurface runoff	地下逕流
Suction	吸力
Suction force	吸力；負壓力
Sulphate content	硫質含量；含硫量
Superficial deposit	表工沉積物；表工沉積；地表沉積
Surcharge load	附加荷載
Surface channel	排水明渠；地面排水溝；地表渠道
Surface drainage	地面排水；地表排水
Surface drainage channel	排水明渠；地表排水渠/溝

Surface drainage system	地面 (地表) 排水系統
Surface erosion	地表沖刷；表面侵蝕
Surface infiltration	地面入滲
Surface protection	表面防護；護面
Surface runoff	地表逕流；表面流量
Surface water	地表水；地面水
Survey	測量
Survey plan	測量圖
Swelling soil	膨脹土
Syenite	正長岩
Syncline	向斜
<b>T</b>	
Tangent pile	支護樁
Telltale	指示器；監測器
Temporary works	臨時設施 (工程)
Tension crack	張裂；張力裂縫
Tensiometer	張力計；拉力計
Terrain evaluation	地形評估
Terrestrial	陸相的；地球的
Test	試驗；測試
Test trench	探槽
Tieback	錨桿；錨固
Tilting	傾斜
Topographic map	地形圖
Topographic survey	地形測量
Trachyandesitic	粗面安山岩的；粗粒安山岩的
Trajectory of boulder fall	墜石落徑
Transcurrent fault	平移斷層
Transient flow	瞬態的 (水) 流
Translational failure	滑動式崩塌
Transported soil	運積土
Tree ring	樹木環；護樹環
Trench excavation	挖溝；挖坑
Trial	試驗；測試
Trial pit	探井；試井
Triaxial compaction test	三軸壓實試驗
Triaxial test	三軸試驗

Trimming	削制
Turbulent flow	紊流
Turfing	植草皮
<b>U</b>	
Unconfined compression test	無側限壓縮試驗
Underlying layer	下臥層
Underpinning	基礎托換；基礎加固
Undisturbed soil	未擾動土；原狀土
Unified Soil Classification System	土的統一分類法；統一土壤分類法 (制)
Uniformity coefficient	均勻系數
Unit weight	容重
Unsaturated sample	不(非)飽和試樣
<b>V</b>	
Valley	山谷；河谷
Vane shear test	十字板剪切試驗
Varved clay	帶狀黏土；成層黏土；紋泥
Vegetation cover	植物覆蓋層；植被
Vegetation protection measures	植被；護被措施
Vegetation species	植被種類
Vegetation succession	植被接續
Vertical well	豎井；重直井
Vein (in a rock)	紋理；岩脈
Visual assessment	目測評估
Visual examination	目測；目檢
Visual inspection	目測檢查
Void(s)	孔隙；空隙
Void(s) ratio	孔隙率；孔隙比
Volcanic rocks	火山岩
<b>W</b>	
Wash boring	沖洗挖探(鑽探)
Washout (of slope surface material)	(坡面物) 沖蝕；沖刷沖走
Water abundance	富水性
Water content	含水率；含水量
Water cycle	水循環



Water divide	分水嶺
Water head	水頭；水壓
Water pressure	水壓；水壓力
Water table	水位
Water-bearing structure (in the ground)	(地下) 含水構造
Weathered crust	風化殼
Weathered zone	風化帶
Weathering	風化作用
Weathering grade	風化度
Weathering profile	(岩層) 風化剖面
Weephole	排水孔；疏水孔
Well point method	井點法
Wick drain	排水板
Wet-sieving	濕篩
Wetting band approach	浸濕帶法
<b>Z</b>	
Zone of aeration	充氣帶（包氣帶）