

崩坍地之調查要點及處理對策探討

廖瑞堂 歐章煜

土木水利季刊第十八卷第二期抽印本

中華民國八十年八月

崩塌地之調查要點及處理對策探討

廖瑞堂*

歐章煜**

摘 要

崩塌地發生的原因不外乎不良的自然環境如地質、水文或氣象條件欠佳再加上不當的調查計劃、不當的規劃設計或不當的施工管理所產生；欲充份掌握崩塌的原因並妥善的完成崩塌地整治工作，完備的處理程序極為重要，本文重點即在闡明完備的崩塌地處理程序並針對處理程序中的關鍵要點輔以實際案例加以說明。處理程序中探討的關鍵要點包括下列3項：(1)擬定調查計劃的考量因素及實施各項調查的調查要點。(2)穩定分析時決定滑動面強度參數的方法。(3)決定穩定工法的考慮因素並做概念性的介紹。

一、前 言

臺灣地區由於多山且雨量豐沛，每年5~6月間之梅雨及7~10月間之颱風豪雨是發生崩塌災害之高峰期，近年來更由於大規模之坡地開發工程正如火如荼的進行著，除了不良的自然環境（如地質欠佳、雨量集中）外，再加上人為的疏忽（如不當的地質調查、不當的規劃設計、不當的施工管理）；使坡地災害頻傳，因此每年生命財產之損失甚為可觀。

崩塌地一旦發生或有崩塌徵兆發生時，有些開發單位因不知該採取那些因應措施，以避免崩塌破壞程度之惡化與崩塌範圍之擴大，結果造成更大的災害；有時候又因沒有經過充份調查及周延研判的狀況下，即草率進行另一次處理及整治，往往在未能對症下藥的情況下或整治處理過程欠妥，又引發另一次的崩塌，造成無謂之經費浪費，且延誤治理時效；筆者有鑒於此，乃以本文將崩塌地發生後或已發生崩塌徵兆時之處置方法及整治處理方式，配合實際案例作一整體性的探討。

二、崩塌地處理程序

邊坡若已發生破壞或有破壞徵兆發生時，其完整之處理程序包括下列步驟：

(一)暫停施工：

以避免災害擴大或危及人員與施工機具之安全。

(二)初步現況調查：

現況調查之詳細紀錄對日後崩塌原因之研判及分析非常重要，至於崩塌地現況調查紀錄重點如表一所示。

* 國立臺灣工業技術學院營建系博士班研究生

** 國立臺灣工業技術學院營建系副教授

表一 崩塌現況調查記錄表

(A) 崩塌頂部・位置
<ul style="list-style-type: none"> • 裂縫下陷深度 • 崩塌頂裂縫有無地下水
(B) 崩塌坡趾
<ul style="list-style-type: none"> • 位置 • 有無隆起現象
(C) 崩塌規模
<ul style="list-style-type: none"> • 崩塌區長 • 崩塌區寬 • 高度 • 坡度
(D) 崩塌滑移速度
(E) 地表排水情況
(F) 地下排水情況：坡面有無滲流情況
(G) 附近地質情況：
<ul style="list-style-type: none"> • 地層種類特徵 • 傾角及走向
(H) 可能崩塌影響或擴大之範圍
(I) 崩塌前結構物位置及破壞情況
(J) 繪製崩塌範圍平面圖及縱剖面示意圖

研判項目

1. 崩塌類型：岩坡崩塌、土石流或地滑
2. 滑動面可能深度：
3. 崩塌之可能原因：

(一) 提出緊急處理對策：

一般最常用之緊急處理對策包括坡趾回填土方、打設鋼軌樁、崩塌坡面鋪設塑膠布、裂縫回填水泥砂漿、加強崩塌區內外地表逕流之截排溝或打設地下水排水管排除地下水。

(二) 檢核施工品質、施工程序與設計圖說、規範是否相符，開挖後出露之地層及地下水狀況與原地質調查資料是否一致，並擬定細部調查計劃以確定產生破壞之可能原因。

(三) 細部調查進行：

如遇大型崩塌地其調查計劃可能需分為若干階段進行，因大型崩塌地其地質條件、滑動面之深度、地下水脈之流向均甚為複雜，有必要將其調查分為若干階段，且採較高精度之調查計劃。

(四) 穩定分析：

藉著細部分析以針對不同即進行崩塌地之比較各種(1)選定最佳當評估各及業主雙(2)進行定(3)整治施工崩塌地(4)施工中及邊坡若E監測以正正確，安以上崩後段將針對此

有關崩塌之調查流程項目可參考如下所述。

- (一)地質調查地質調查係要找出瞭解可能建議適當導致錯誤能有效等
- (二)地下水之崩塌地甚大，一，尤其在(三)滑動面之滑動面之選擇有決深則下抗滑樁等多。

藉著細部調查與現況調查結果以了解崩坍地之地質、水文條件及崩坍地破壞行為特性，隨即進行穩定分析以洞察邊坡可能之破壞原因及其破壞之型式。

(c) 針對不同崩壞原因研擬有效可行之處理構想：若在地質、水文及滑動面等重要條件無法有效掌握時，即進行處理整治方案之規劃設計，則常會導致施工中需再度辦理變更設計，甚至於完工後仍難以確保坡地之穩定安全，而引發另一次崩坍。

(d) 比較各種處理方案之可行性、經濟性及施工中之安全性。

(e) 選定最佳處理方案：

當評估各種處理方案之優缺點後，需由設計者及業主充分溝通並選定一最佳處理方案，以減少設計者及業主雙方認知之差距，並避免細部設計階段可能產生之困擾。

(f) 進行定案細部設計

(g) 整治施工

崩坍地之整治需特別注意施工程序及施工排水措施，以免引發另一次之崩坍。

(h) 施工中及完工之監測工作：

邊坡若已產生破壞或瀕臨破壞邊緣，其穩定性必然甚差，不論緊急處理或後續之處理，需配合必要之監測以瞭解處理之效果並確保施工之安全性，利用監測系統同時可校核原設計研判之滑動面位置是否正確，如施工中測得之滑動面位置與原設計有相當出入時，則需修正原設計。

以上崩坍地處理程序雖然瑣碎，但重點集中在崩坍地調查工作、穩定分析及最後的整治工作。本文之後段將針對此三方向的問題，輔以實際案例繼續進行探討。

三、崩坍地之調查重點

有關崩坍地之調查，可依工程之重要性及困難度或其他限制，擬定不同程度之調查計劃，圖一係為完整之調查流程圖，工程人員需視實際崩坍規模，災害之危害性決定調查精度及調查項目，調查精度及調查項目可參考表二及表三所建議。崩坍地之細部調查工作最重要且最常用的有下列三項，其調查重點分別如下所述。

(一) 地質調查

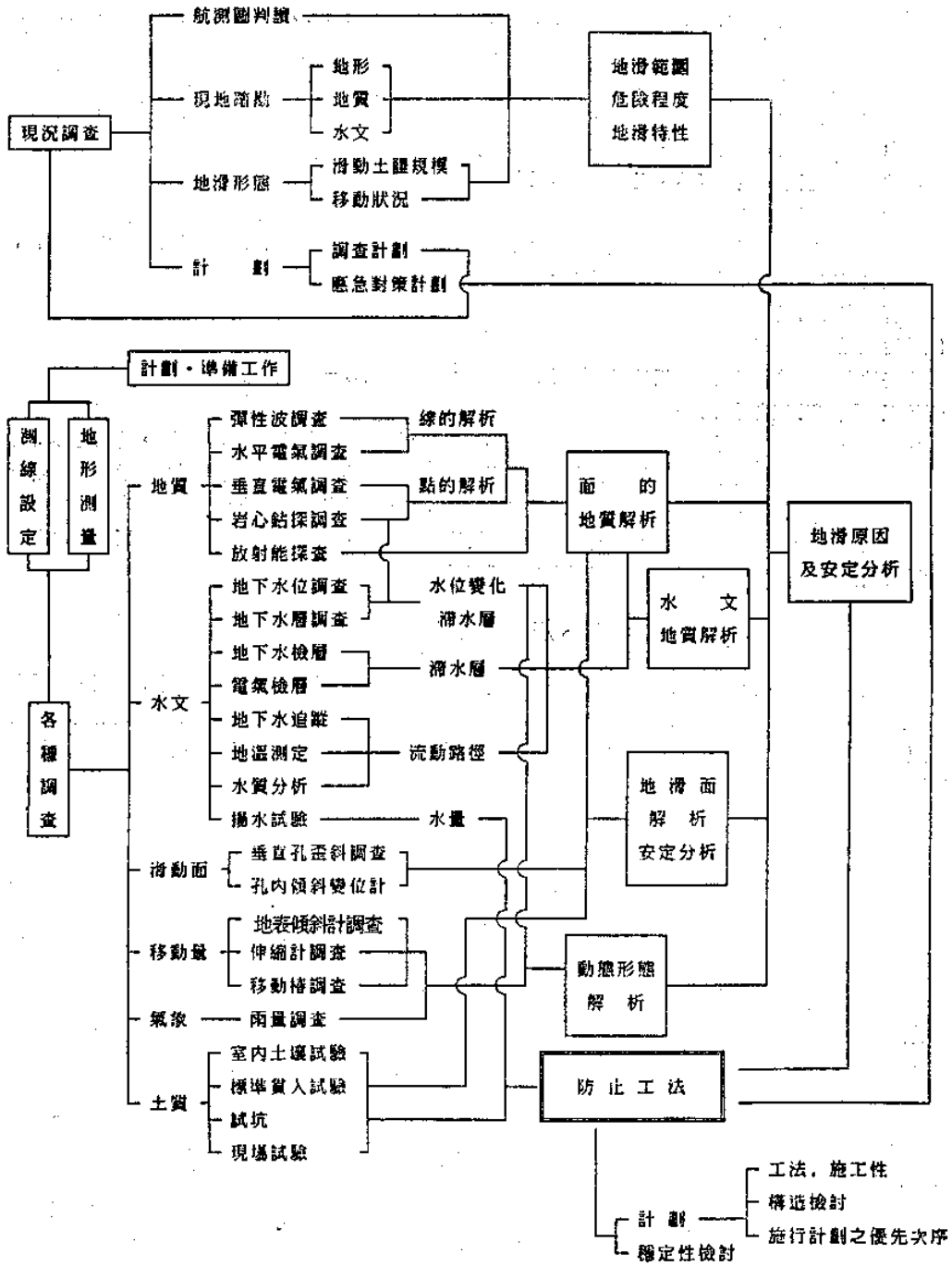
地質調查中最基本的調查有鑽探調查及地表地質調查，鑽探調查除瞭解地層之變化及分佈外，最重要係要找出可能滑動面位置，並在可能滑動面採取樣品携回試驗室進行必要之試驗；但因在鑽探前並不瞭解可能滑動面之位置，僅能依滑動土體之規模及位移量概估其深度，鑽探過程在可能滑動面附近，建議連續取樣以免錯過可能滑動面位置之土、岩樣品。地質鑽探需和地表地質調查相互配合否則可能導致錯誤之研判。同時由於崩坍地層變化甚大，其鑽孔位置及深度常需視實際鑽探結果予以調整，方能有效掌握地層變化之情況。

(二) 地下水之調查

崩坍地常有地下水脈之滲流水，很難有效掌握其地下水脈位置與流向，但地下水對邊坡之穩定性影響甚大，一般常利用鑽探孔安裝水位觀測井或水壓計以瞭解地下水情況，以供做分析及處理之重要參考，尤其在岩層中必需依地層情況調整水壓計之安裝位置，以求得不同層次之地下水壓。

(三) 滑動面之調查

滑動面之調查在崩坍地之處理中佔極重要之角色，滑動面位置之確定對於穩定分析模式及防止工法之選擇有決定性之影響，一般淺層滑動之下滑力較小，可用傳統式擋土牆或其他護坡型式，如滑動面較深則下滑力較大，一般重力式或懸壁式擋土牆往往無法承受如此巨大之下滑力，必需考慮配合地錨或抗滑樁等擋土工法。同時由於傳統式擋土牆極可能位於滑動面內，無法發揮擋土功能，失敗之案例極多。



圖一 地滑調查流程圖

(譯自地すべり對策技術協會：地すべり對策技術設計實施要領 1978)

表二 調查精度及調查項目表

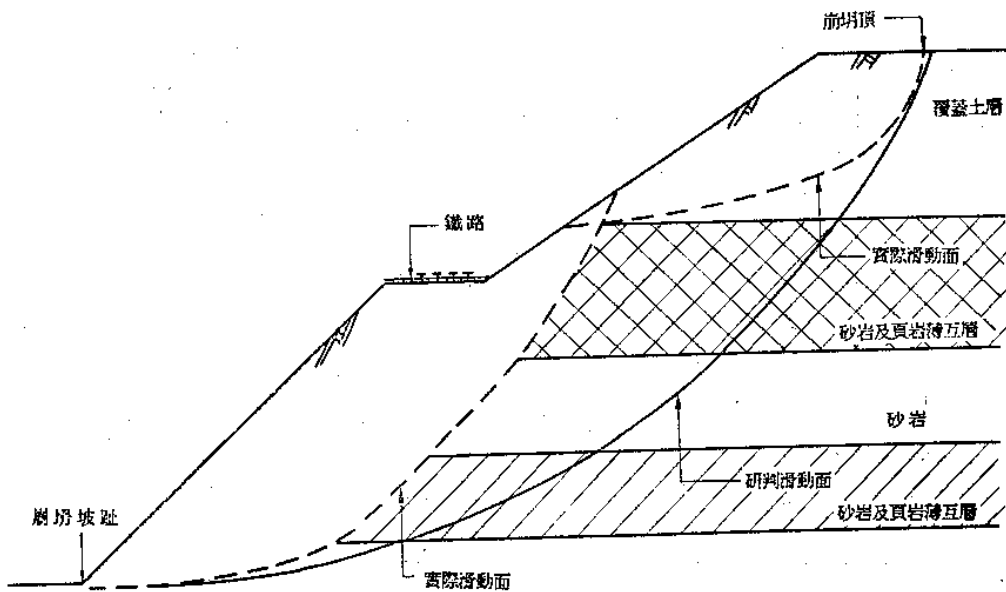
(參考地對すべり對策技術協會 (1978) 加以修正)

項 目	調 查 項 目	使用性	調 查 精 度				
			1 級	2 級	3 級	4 級	5 級
地質調查	1 彈性波探查	△					
	2 水平電氣探查	△					
	3 垂直電氣探查	×	5 項	3 項	2 項	1 項	1 項
	4 岩心鑽探調查	●					
	5 放射能探查	×					
水文調查	6 地下水位調查	●					
	7 地溫測定	×					
	8 地下水檢層	△					
	9 電氣檢層	△	7 項	5 項	4 項	2 項	
	10 地下水追蹤	●					
	11 水質分析	●					
12 揚水試驗	△						
滑動面 及 移動量	13 垂直孔歪斜調查	△					
	14 孔內傾斜變位計調查	●					
	15 地表傾斜計調查	△	5 項	4 項	2 項	1 項	
	16 伸縮計調查	△					
	17 移動槽調查	●					
氣 象	18 雨量調查	●	1 項	1 項	1 項		
土 質	19 土壤及岩石試驗	●					
	20 標準貫入試驗	●					
	21 試抗	△	4 項	2 項	1 項	1 項	1 項
	22 現場試驗	△					
計			22 項	15 項	10 項	5 項	2 項

符號說明：△ 最常用且容易使用
 ● 常使用但實施昂貴或適用性限制較多
 × 較不常使用

表三 調查精度及適用時機建議表

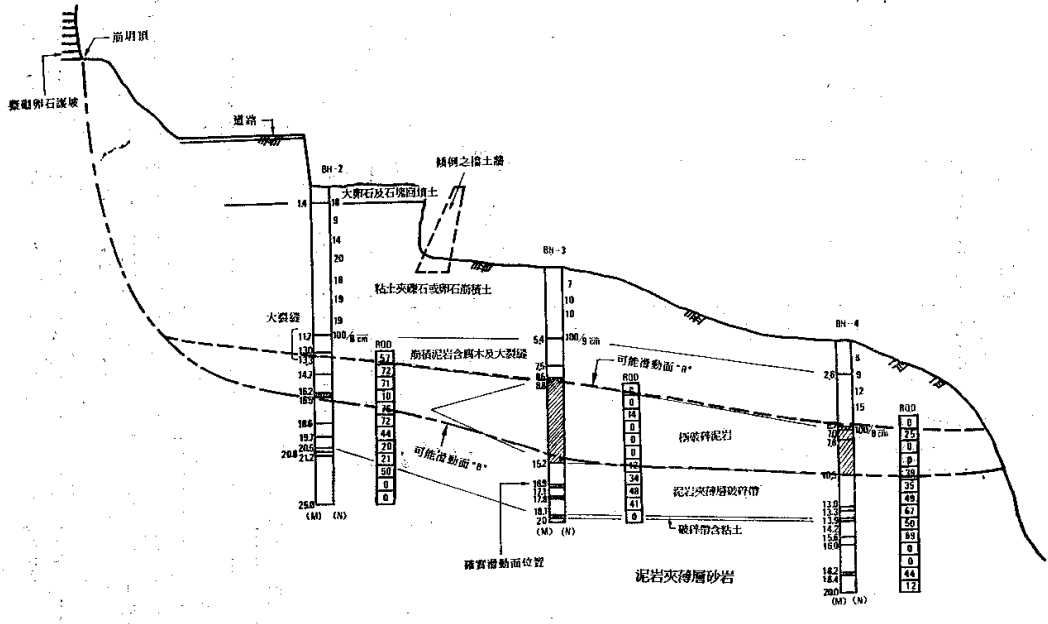
調 查 精 度		1 級	2 級	3 級	4 級	5 級
建議 適用 時機	面積大小	大於10公頃	小於10~20公頃	小於2~10公頃	小於0.5~5公頃	小於0.2~0.5公頃
	對人員生命之威脅性	有立即危險	有立即危險	不會有立即危險	不會有立即危險	不會有立即危險
	對交通及財產之危害	危害性極大	危害性極大	危害性極大	危害性稍大	危害性小



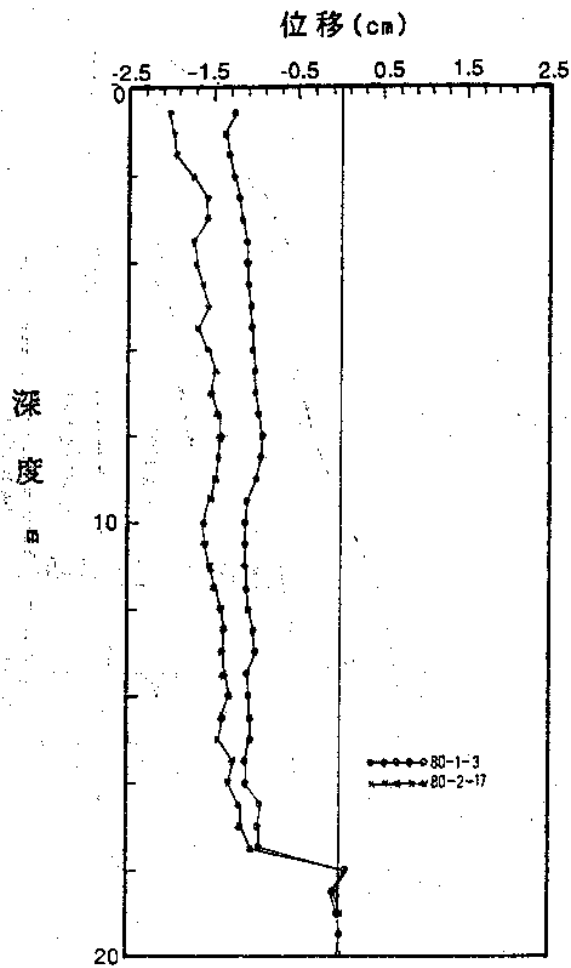
圖二 實際滑動面和研判滑動面誤差示意圖

決定滑動面之位置較常使用的方法有下列三種：

- (1) 由崩坍規模研判：一般崩坍規模越大可能滑動面越深，研判過程我們常以破壞邊坡之坡趾及坡頂位置做為破壞之起迄點畫一圓弧，以估算其滑動面深度，唯該方法純係一經驗法，可能誤差甚大，尤其在大型崩坍地其可能滑動面常有數個，直接研判誤差更大，但由崩坍規模研判滑動面深度，可提供擬定調查計劃及初步規劃之參考。圖二係縱貫鐵路新竹臺地邊緣之崩坍地，該崩坍地之滑動面有2個，其滑動面均位於覆蓋土層和風化岩盤之交界面，若僅由崩坍規模研判其滑動面深度，則可能會造成較大之誤差。
- (2) 由鑽探調查方法研判，利用鑽探取得之岩心及土壤加以研判，較常發生滑動面的地質條件有：
 - (a) 覆蓋土層及岩盤之交界面，尤其當覆蓋土為崩積土時，更易發生崩坍。
 - (b) 岩盤內之破碎帶
 - (c) 軟弱粘土層



圖三 可能滑動面位置



圖四 傾斜變位計觀測結果

(d)砂岩及頁岩互層之順向坡

(e)夾有軟弱粘土薄層

在較單純之崩坍地有時利用鑽探方法即可確定滑動面位置，但在較複雜的地層有時利用本方法仍無法十分確定滑動面的位置。

(3)利用孔內傾斜變位計觀測決定：

國內目前最常用來調查滑動面之方法係利用鑽探孔安裝傾斜變位計 (Slope Indicator) 加以觀測，此一方法係最直接且有效的方法，茲舉一實例加以說明如下：

圖三係嘉義縣某道路邊坡之縱斷面圖，圖中BH-2，BH-3及BH-4為鑽探調查之孔位，圖中每一鑽孔左方之數字係代表孔口下深度，鑽孔右方之數字係代表標準貫入試驗N值，或岩石品質指標 RQD (Rock Quality Designation)，圖四所示為裝設在BH-3孔的傾斜變位計觀測結果。該崩坍地於鑽探完成後研判之滑動面位置初步認為極可能係滑動面A或滑動面B，當初研判最可能

滑動面為滑動面A及滑動面B，其主要原因係BH-2在鑽探過程中在GL-13.0~-13.3M處發現有大裂縫存在，鑽探中均無迴水現象，另外在滑動面A下方之極破碎泥岩層鑽探中大部份均無迴水，故初步認為滑動面A及滑動面B最具滑動潛能；滑動面A在BH-3孔位於GL-8.8M處即覆蓋土和極破碎泥岩之交界面。

滑動面B在BH-3孔位於GL-15.2M處即極破碎泥岩和泥岩夾薄層破碎帶之交界面，但經BH-3觀測結果確實顯示原來預測結果並不正確，由圖四可明顯研判滑動面位於觀測管口下約17.5M處，扣除管口高出地面約0.4M，則滑動面應位於GL-17.1M處即在泥岩的破碎帶中。

由上述例子可充份說明僅由崩坍規模或鑽探調查結果研判滑動面極可能導致錯誤的判斷，採用孔內傾斜變位計觀測決定滑動面位置是一種極有效的方法。

此一方法最大缺點在於觀測期間，如未逢雨季則往往無法量出地層之移動，地層不動則無法研判其滑動面。故一般欲進行傾斜變位計之觀測，建議採較長時間之觀測。

四、崩塌地穩定分析

崩塌地處理是否能成功往往取決於(1)滑動面位置判斷是否正確(2)滑動面的強度參數是否合理(3)是否充份考慮到地下水及地層之可能變化，故欲進行穩定分析時首先就必需充份瞭解崩塌地之整個地質變化及地下水變化情況；至於滑動面之研判在上一節已做了說明不再贅述；有關滑動面強度參數 c, ϕ 取捨是否合理對於穩定分析結果之影響甚鉅，決定滑動面之強度參數 c, ϕ 值常用的有下列幾種方法：

(1)取樣進行試驗室強度模擬試驗

最常用於求取滑動面強度之試驗有直接剪力試驗、三軸強度試驗、或其他模擬破壞之試驗。

(2)經驗法則

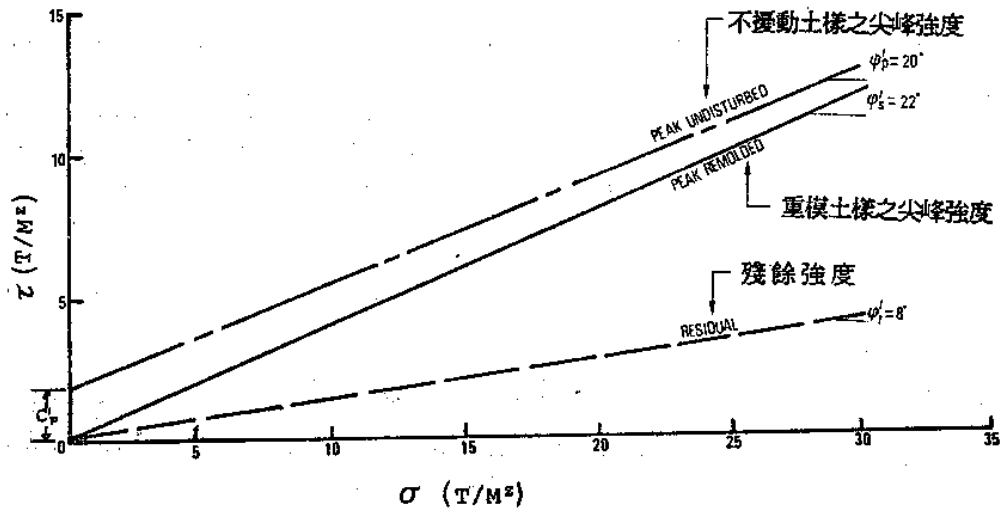
經驗法則累積前人處理崩塌地對滑動面採取不同試驗室試驗或反推分析所得滑動面之強度參數，較著名的如 Barton (1973) 所建議岩石界面之強度可以採用公式(1)加以表示。

$$\tau = \sigma \tan [\phi_r + JRC \cdot \log(JCS/\sigma)] \dots\dots\dots (1)$$

- 其中 σ : 正向應力
- JRC : 為岩石粗糙度因素
- ϕ_r : 殘餘摩擦角
- JCS : 係岩石本身之強度

表四 SKEMPTON (1964) 對挖方邊坡建議之強度

土壤種類	變形之歷史	強 度	
		c'	ϕ'
完整粘土	沒有發生過大變形 (第一次崩坍)	c_p'	ϕ_p'
過壓密葉狀粘土 但不是高度過壓密比或高膨脹性粘土	沒有發生過大變形 (第一次崩坍)	c_s'	ϕ_s'
過壓密葉狀粘土 但是高度過壓密比或高膨脹性粘土	沒有發生過大變形 (第一次崩坍)	0	ϕ_r'
過壓密粘土	曾經發生大變形	0	ϕ_r'



圖五 高塑性粘土之強度 (Skempton 1964)

表五 地層滑動面及力學強度之關係

(玉田文吾 1985)

型態 種類	生成位置	滑動面 之剝離 性	地滑面 有無 線 條	光滑	滑動面 地下水	形 狀	滑動面 傾 角	滑動面 厚 度	強度範圍	試驗方法
剪斷 I 型	滑動面含有粘土層(或泥岩)	不良	無	無	無(但仍有潤滑水)	波狀 平滑面	10~20°	1~5 mm	$C_{cu} > 0$ $\phi_{cu} > 0$	以三軸試驗、一般直剪 C & ϕ 得現場直剪
剪斷 II 型	崩積土與風化岩之界面	稍為良好	無	無	無	平滑面	不定 是 20° 以下	1~2 mm	$C' = 0$ $\phi' > 0$ (15-22°) $C_u > 0$ $\phi_u = 0$	以三軸試驗、一般直剪 C & ϕ 得現場直剪
摩擦 I 型	崩積土、岩盤風化層界面	良好	條痕	玻璃狀 光滑	貯留水*	平滑面	0~3°	無 或 薄	$C_{f1} = 0$ $\phi_{f1} > 0$ (7°~8°)	以直剪模擬試驗求之
摩擦 II 型	崩積土、風化岩盤層界面	良好	條痕	濕潤狀 光滑	濕潤狀	凹凸平滑面	不定 是 20° 以下	1 mm 未滿	$C_{f2} = 0$ $\phi_{f2} > 0$ (9°~10°)	以直剪模擬試驗求之

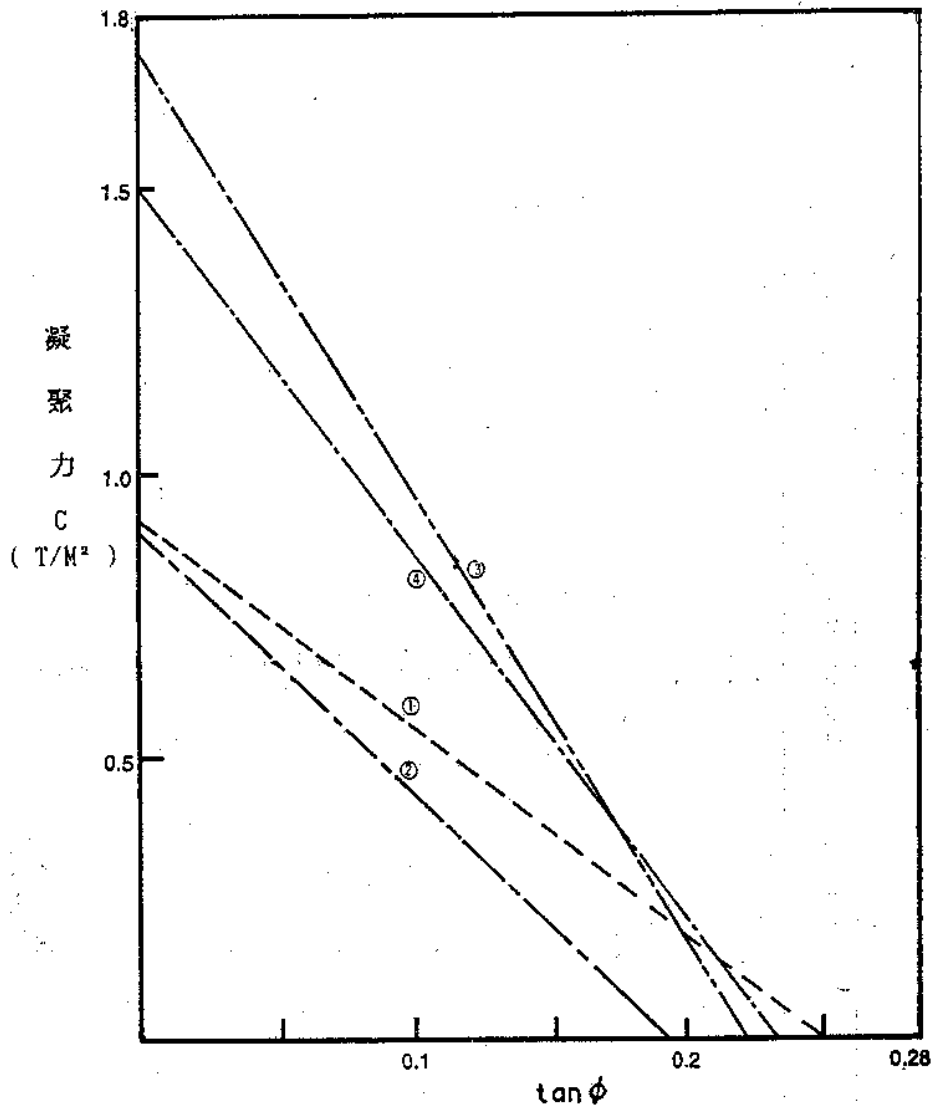
說明

* 貯留水就如 Closed water layer.

至於粘土之挖方邊坡 Skempton (1964) 曾對不同土壤種類及變形歷史的崩坍地提出採用強度參數之建議如表四所示，表中各種強度參數之定義詳見圖五。由表四得知當崩坍地之滑動面發生在過壓密粘土（如泥岩或頁岩之層面間）且有多次崩坍變形之舊崩坍地其滑動面之抗剪強度 $c = 0$ 、 $\phi = \phi_r$ ， ϕ_r 值有時低至 10° 左右。

玉田文吾 (1985) 曾針對崩積土和風化岩盤間界面之滑動面進行一系列之試驗及研究，並依界面性質的不同將滑動面分為剪斷型及摩擦型二大類，其建議之強度參數如表五所建議。

Brunsdan 及 Prior (1984) 綜合多人之研究提出典型地滑之土壤性質及滑動面強度之參考表，如表六所示。



圖六 滑動面強度參數反推分析結果示意圖

表六 典型地滑之材料性質表
(Brunsdan 及 Prior 1984)

Author	Lithology	Clay minerals	CF(%) < 2 μm < 5 μm	W(%)	LL(%)	PL(%)	C' (KN/M ²)	C _v ' (KN/M ²)	φ' (degrees)	φ _v ' (degrees)	
Hutchinson (1970)	London Clay	—	67-71	38-49	85	30					
Skempton and Hutchinson (1979)	Soft Atherfield Clay	—	55	31	72	29		0		12-15	
	Weald Clay	—	60	25	65	26		0		15.5-16.5	
	Gouge (soft)	—	5	34	71	31		0		16	
Prior and Stevens (1972)	Liassic clay and till	Montmorillonite	50-56	41-43	56-63	22-24	0-2	0	24-27	14.5-15.0	
Prior et al.(1971)		Illite									
Prior and Ho(1970)		Kaolinite									
Hutchinson et al. (1974)											
Prior(1974)	Soft			40	43	27	2.1	0	24	14.0	
Hutchinson and Bhandari(1971)	Stiff Fissured Oligocene clay Hamstead Beds	—	67	32-55 50	67-80 66	27-33 28		0		13.5	
Prior and Renwick (1980)	Jurassic clay Shales-mudstones	Illite Kaolinite Motmorillonite	50	55-60	58	23		0		14.0	
Prior and Renwick (1980)	Eocene soft plastic clay and silt	Motmorillonite Kaolinite Illite Chlorite	65-76	Crust 12 60	60	33	0.97	0	12	11	
Prior(1973), Prior and Eve(1975)	Eocene	Chlorite	59	65-80	28-48	63-(273)	25-(55)	0.97	0	12	11
Hansen and Mise (1984)			52 63		61 58	36 31	0.00- 3.35-9.58		20-24		
Sohayda and Prior (1976)	Subaqueous deltaic clays			70 surface 50-60 depth							

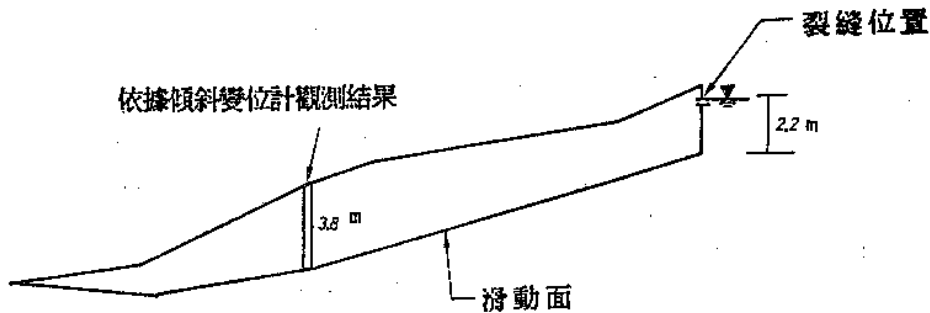
至於國內如洪如江 (1987)，鄭文隆 (1985) 及李德河 (1989) 亦對砂頁岩順向坡或紅土礫石土壤及泥岩邊坡提出一系列研究報告值得進一步參考。

(3)反推分析法 (Back Analysis)

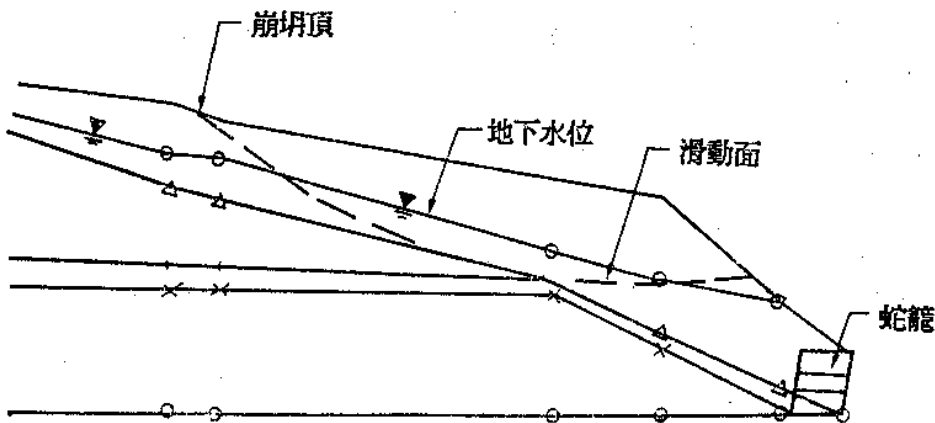
反推分析係假設破壞當時之安全係數小於 1.0，然後進行反推分析以推估滑動面之強度參數，由反推分析所獲得之強度參數雖依破壞時假設之水壓力有顯著變化，但該強度參數仍甚具參考價值。反推分析結果所獲得滑動面之強度參數是 c 及 ϕ 之組合，設計者必需依不同滑動面性質並參考試驗結果及關相經驗再決定最可能之 c ， ϕ 值。

茲以桃園臺地邊緣之崩塌地案例說明滑動面強度參數 c 、 ϕ 的決定過程，該崩塌地面積約 3~4 公頃，坡度約 27° 左右，經鑽探調查及傾斜變位計觀測結果得知其滑動面位於覆蓋土層和風化泥岩之界面，為了取得覆蓋土層和風化泥岩界面之土樣，鑽探過程採取連續取樣方法以免錯過滑動面之土樣，並在崩塌坡趾以試坑取樣方法取得滑動面之土樣，將該土樣送回試驗室進行直接剪力試驗，試驗結果得知滑動面之殘餘剪力強度參數 $c_r=0$ ， $\phi_r=12.5^\circ\sim 23^\circ$ 。

本崩塌地接著進行反推分析，分析時考慮本崩塌區之主要滑動面及本崩塌區附近類似地層崩塌區之滑動斷面，並考慮崩塌時不同地下水位之影響，分析結果如圖六所示。該圖 4 條線代表分析不同斷面或不同地下水位時所獲得滑動面 4 種不同強度參數之組合，例如直線(1)係代表該地區某斷面 (圖七) 經反推分析所得之強度參數組合，直線(4)則為該地區另一斷面 (圖八) 經反推分析所得之強度參數組合。



圖七：圖六之直線(1)分析坡地斷面示意圖



圖八：圖六之直線(4)分析坡地斷面示意圖

根據上述試驗及反推分析結果，並參考本崩坍區之土壤種類及變形歷史，設計時建議該地區滑動面強度參數取 $c = 0$ ， $\phi = 13^\circ$ ，以此做為分析設計之依據。

影響邊坡穩定分析結果的另一次要因素即是分析模式及分析程式的選擇，目前國內邊坡穩定分析最常採用的程式如 STABR、LEASE、SWASE、STABL 等，其中 STABR 及 LEASE 僅能分析圓弧破壞，SWASE 僅能分析複合平面破壞，STABL 除可分析圓弧破壞模式外尚可分析任意形狀之破壞面，STABL 由於功能甚強，已日漸為工程界所採用；在一般情況下分析程式及分析模式之選擇對於邊坡穩定分析結果雖有影響，但其影響程度不及上述所提三種決定性因素大，李建中（1984）、Duncan 及 Wright（1980）均提出類似的結論；值得特別注意的是每一種分析程式或分析模式均有其限制及適用性，在某些特殊的地質或外力條件下，不當的分析模式或分析程式可能會造成較大的偏差，分析時必需以經驗做適當的研判及取捨。

五、崩坍地穩定工法探討

崩坍地處理方法係依據崩坍發生原因，邊坡穩定分析結果及地層情況充份考慮後再決定，崩坍地之處理原則不外乎(1)減少邊坡之下滑力(2)增加抗剪力(3)避開。有關崩坍地之處理方法參見表七及表八所示。唯各種穩定工法各有其適用性，需視現場地質條件，地下水情況，工地施工條件及工程要求而定，不可盲目使用。

一般較常使用之穩定工法包括下列 3 項：

1. 修坡：

修坡包括移除坡頂荷重或挖除不穩定邊坡；修坡必需特別注意是否會引起另一次之崩坍。

2. 排水：

排水包括地表及地下排水措施，減少水壓力造成邊坡之下滑力，將地表水及地下水有效排除。地下排水措施對邊坡穩定性甚有助益，唯地下排水措施有阻塞之可能，在較重要之邊坡地下排水措施有時被視為一種短期穩定之輔助措施。

3. 擋土結構：

擋土結構係提供抵抗邊坡下滑之抵抗力，擋土措施依設計觀點大致可概分為剛性擋土牆，柔性擋土牆，錨拉式擋土牆及抗滑樁等不同型式（周功台、趙基盛 1987）。

六、結 語

崩坍地之處理過程極為重要，不同的案例必需依據其崩坍規模、危害程度及可能崩坍原因擬定不同的調查計劃，然後再針對不同的崩坍原因尋求有效的處理對策；不當的調查方法及處理過程極可能引發另一次的崩坍。

完備崩坍地處理應包括下列三項要點：

- (1) 擬定並實施合理的調查計劃。
- (2) 依據崩坍原因規劃並設計經濟且安全的整治方案。
- (3) 妥善的施工計劃及施工程序。

上述要點若能充份掌握必可有效處理各種類型的崩坍地。

表七 地滑之防止及穩定處理方法(-)
(譯自 Landslids and Engineering Practice 1958)

地滑穩定性影響	處理方法	一般使用		使用之經驗			處理位置	應用與限制
		防止	處理	崩塌	地滑	泥漿流		
沒有影響	I 避免方法							
	A 改線或換位置	○	○	2	2	2	地滑範圍外	假設改線或換位置是經濟則此方法是最適當
	B 架橋	○	○	3	3	3	地滑範圍外	常用於高速公路有陡峻山邊減少挖方平行路中心線
減少下滑剪力	II 開挖							
	A 移除坡頂	○	○	N	1	N	坡頂	深層具粘性土體 (深層滑動)
	B 修平邊坡	○	○	1	1	1	結構物或路上方	岩盤或強度較佳之材料, 但其坡趾只有少許土體移除 (平面或較淺層滑動有效)
	C 邊坡分階	○	○	1	1	1	結構物或路上方	
	D 移除不穩定物質	○	○	2	2	2	全部地滑區域	係屬淺層滑動有效
減少下滑力並增加抗剪力	III 排水							
	A 地表排水	○	○	1	1	1	冠頂之上	對任何形式均重要
	1. 排水溝	○	○	3	3	3	移動土體之表面	岩盤面或利用濾層控制滲流
	2. 表面處理	○	○	1	1	1	移動土體之表面	對任何形式均有效
	3. 植生、護坡	○	○	2	2	2	全部, 冠頂至坡趾	對任何形式均有效
	4. 封閉裂縫	○	○	3	3	N	全部, 冠頂至坡趾	對岩石有效
	5. 封閉節理面及葉面	○	○	N	2	2	截取並引走地下水流	地下水流存於較深之土體內
	B 地下排水	○	○	N	1	3	截取並引走地下水流	地下水流存於較淺之土體內
	1. 水平排水管	○	○	N	3	N	截取並引走地下水流	深層土壤具某程度之透水性
	2. 排水盲溝	○	○	N	3	3	截取並引走地下水流	深層滑動土體, 地下水位於不同層次
	3. 排水坑道	○	○	N	2	3	截取並引走地下水流	主要用於排水溝或集水井之出口
4. 垂直集水井	○	○	N	2	3	截取並引走地下水流		
5. 連續虹吸	○	○	N	2	3	截取並引走地下水流		

表八 地滑之防止及穩定處理方法(-)
(譯自 Landslids and Engineering Practice 1958)

地滑穩定性影響	處理方法	一般使用		使用之經常性評估			處理位置	應用與限制
		防止	處理	崩塌	地滑	泥漿流		
增加抗剪力	IV 擋土結構							
	A 在坡腳擋土	○	○	N	1	1	坡趾及底部	硬土層或岩盤在合理深度
		1. 岩石填方	○	○	N	1	1	坡趾及底部
	2. 土壤填方	○	○	N	1	1	坡趾及底部	在坡腳提供反重力之阻力
	B 格櫟或擋土牆	○	○	3	3	3	坡 腳	小土體滑動或移除支撐可忽略的
	C 打樁	×	○	N	3	N	坡 腳	由樁提供之抗彎力及抗剪力增加滑動面之抗滑力
		1. 在滑動面固定	×	○	N	3	N	坡 腳
2. 沒有固定在滑動面	×	○	N	3	N	坡 腳	由樁提供之抗彎力及抗剪力增加滑動面之抗滑力	
D 在岩盤打岩釘固定	○	○	3	3	N	在道路或結構物上方	岩石以岩釘固定	
E 地錨護坡	○	○	3	3	N	在道路或結構物上方	軟弱斜坡以擋土牆加設地錨錨定在不動層	
主要增加抗剪力	V 雜項方法							
	A 固結滑動土體	×	○	3	3	3	坡腳或坡趾	無凝聚性土壤
		1. 化學或水泥處理	×	○	N	3	N	滑動土體
	(a) 在坡腳	×	○	N	3	N	滑動土體	無凝聚性土壤
	(b) 全體	×	○	N	3	N	滑動土體	無凝聚性土壤
	2. 冰 凍	○	×	N	3	3	整 體	用於短期大量土方之穩定
	3. 電滲法	○	×	N	3	3	整 體	利用減少水量以固化土壤
B 爆 破	×	○	N	3	N	滑動下半部	在岩盤面下有軟弱粘性土，利用爆破置換，短期權宜作法，一般會減少其穩定性	
C 移除坡趾部份土體	×	×	N	N	N	坡 腳		

符號說明：

- ：一般適用於（防止或處理）
- ×
- 1：對處理該類型崩塌地最常用且有效
- 2：對處理該類型崩塌地常用且有效
- 3：對處理該類型崩塌地偶而使用且有效
- N：對處理該類型崩塌地無效

參 考 文 獻

1. 洪如江 (1987) 「砂頁岩順向坡力學性質與穩定性之研究(二)」國科會專題研究計劃成果報告。
2. 李德河 (1989) 「泥岩剪力強度特性研究」國科會防災科技研究報告 77-70 號。
3. 李德河 (1989) 「高雄萬壽山地區坡地災害特性之調查與其整治研究 (1)」國科會防災科技研究報告 77-67 號。
4. 李建中 (1984) 「常用邊坡穩定分析程式之介紹」土工技術雜誌第 7 期 P69~73。
5. 周功台、趙基盛 (1987) 「擋土牆型式之選擇與設計之考慮」土工技術雜誌第 17 期, P15~22。
6. 鄭文隆 (1985) 「紅土礫石材料之室內試驗研究」第一屆大地工程學術研究討論會論文專集。
7. 玉田文吾 (1985) 「地すべり面の種類と力學性質的關係」Journal of Japan Landslide Society Vol. 22-2。
8. 地すべり對策技術協會 (1978) 「地すべり對策技術設計實施要領」Vol. 2。
9. BARTON, N., (1973) "Review of New Shear Strength Criterion for Rock Joints" Engineering Geology Vol. 7. P287~332
10. BROMHEAD, E.N., (1986) "The Stability of Slopes", Surrey University Press, England.
11. BRUNSDEN, D. and PRIOR, D., (1984) "Slope Instability" Wiley, New York, P382~383
12. DUNCAN, J.M. and WRIGHT, S.G., (1980) "The Accuracy of Equilibrium Method of Slope Stability Analysis" Engineering Geology Vol. 5 P 5~17
13. HIGHWAY RESEARCH BOARD SPECIAL REPORT 29 (1958) "Landslides and Engineering Practice". Dept. of Soils, Geology, and Foundations Committee on Landslide Investigations.