

地震時坡地災害破壞模式之探討

廖瑞堂

一、前言

二、山坡地邊坡破壞模式

(一)自然邊坡之破壞

(二)擋土護坡之破壞

(三)斷層位移移起之破壞

三、各種擋土護坡耐震能力初步評估

四、長期整治或補強工法之探討

五、結語

一、前言

921 地震造成台灣重大損失及傷亡，由於引發地震之斷層緊鄰平原與山區之交界處，造成山區道路及山坡地社區受創十分嚴重，地震發生後 30 天仍有甚多山區道路嚴重受損無法搶通，部份搶通路段亦僅是緊急修復而已，後續永久性復建工作仍有漫長之路要走，如何有效復建方能經濟有效，實有必要詳加探討。

本文探討地震時山坡地破壞模式及各種擋土護坡之耐震能力，進而從中尋找後續處理的可能方向及原則，避免後續處理時又「重蹈覆轍」，造成許多無謂的浪費，同時亦可提供其他地區擋土護坡耐震設計之重要參考。

二、山坡地邊坡破壞模式

地震時邊坡之破壞大致可分為以下三種情形類型：

(一)自然邊坡破壞模式

包括順向坡平面破壞、楔型破壞、傾倒崩落破壞、圓弧型破壞等等均是，詳見圖-1 所示。

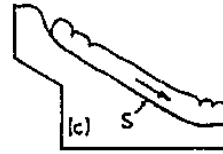
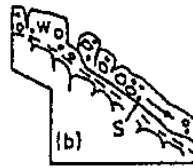
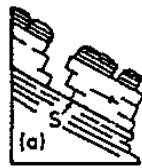
表-1 係自然邊坡各種破壞模式及破壞機率之定性描述，由該表可知地震時邊坡最常發生落石或淺層崩落之破壞，再其次為平面破壞及傾倒破壞。

表-1 自然邊坡各種破壞模式發生機率

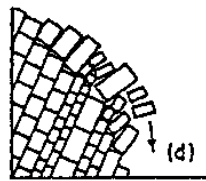
破壞模式	地震時發生機率	暴雨時發生機率
平面破壞	○○	○○○
傾倒破壞	○○	○
落石	○○○	○○
旋轉破壞(圓弧破壞)	○	○○
流動破壞	×	○○
楔型破壞	○	○

符號說明：

- ：甚常發現
- ：常發現
- ：偶而發現
- ×：未發現



平面破壞 (Planar slides)



傾倒破壞 (Toppling failure)



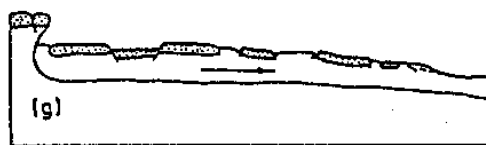
落石 (Rockfall)



旋轉破壞 (Rotational failure)

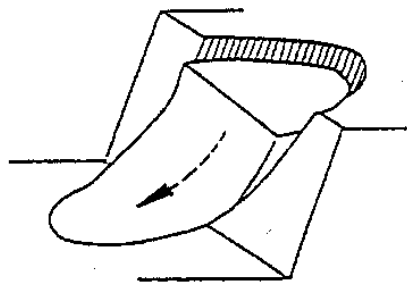
S—滑動面

W—風化層

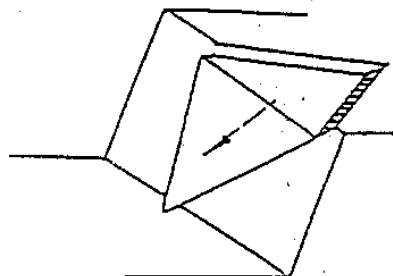


流動破壞 (Flow slide)

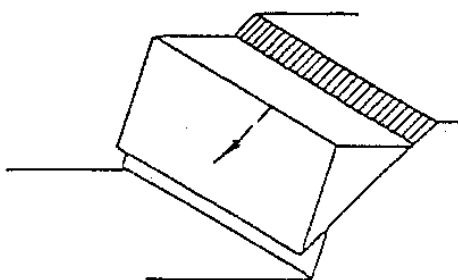
圖-1(a) 常見之邊坡破壞模式 (Chowdhury, 1978)



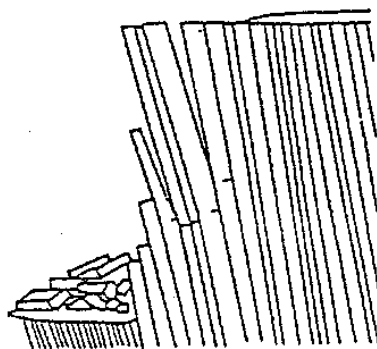
(a) 圓弧形破壞



(c) 楔形破壞



(b) 平面破壞



(d) 傾倒破壞

圖-1(b) 岩石邊坡破壞模式 (Hoek & Bray, 1977)

(二)擋土護坡之破壞

擋土護坡之破壞模式又可分為以下二種：(1)整體穩定問題 (2)擋土構造細部問題，其中整體地層穩定有問題時會導致前述自然邊坡之破壞模式；當細部擋土構造有問題時，可能會發生(a)傾斜 (b)平移 (c)崩潰等現象。

(三)斷層位移引起之破壞

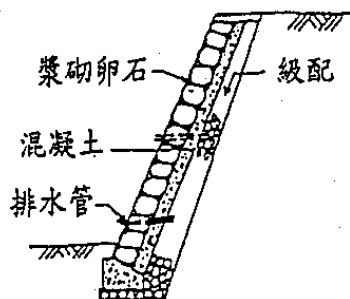
地震時斷層在山坡地引起之地層錯動位移，任何再堅固之擋土構造物都無法抵抗，本次車籠埔斷層沿線有許許多多的邊坡或擋土構造物均受嚴重之破壞。後續修復時，擋土構造物應儘量避開斷層位置。

三、各種擋土護坡之耐震能力初步評估

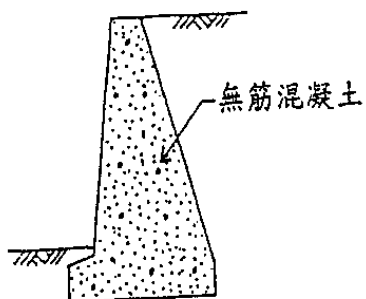
擋土護坡之種類甚多，詳見圖-2 及表-2 所示，各種擋土護坡各有其適用範圍及優缺點，此次 921 地震造成擋土護坡破壞甚為普遍，就初步現場勘災結果就其破壞發生頻率、破壞模式加以評估，結果如表-3 所述，由於未經詳細統計，僅為定性之描述。

根據該表得知此次大地震時，各種擋土護坡之表現如下：

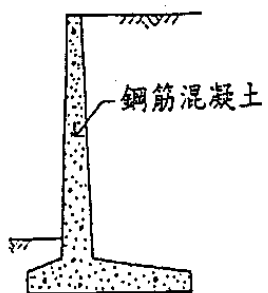
1. 表現最差之擋土護坡為砌石擋土牆及重力式擋土牆護坡，常見整體崩潰破壞或嚴重破壞之情形，只見散落滿地之大卵石或混凝土塊。
2. 蛇籠表現尚可，但由於其耐久性欠佳，甚多蛇籠之鐵絲網均因銹蝕而在地震中開裂，但整體崩潰之案例較少。
3. 懸臂式擋土牆表現尚可，雖然亦有多件傾斜或平移之破壞案例，但其導致之位移量及災害較不嚴重，其破壞主要導因於邊坡整體穩定問題。
4. 錨拉式護坡及加勁擋土牆在此次地震中表現較好，唯可惜仍有多處因設計考量不週或施工品質不良導致之破壞。



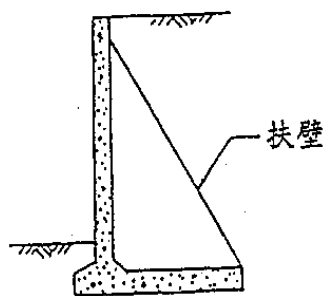
(a) 砌石擋土牆



(b) 重力式擋土牆



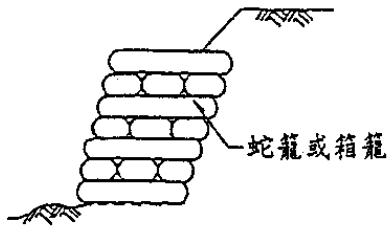
懸臂式擋土牆



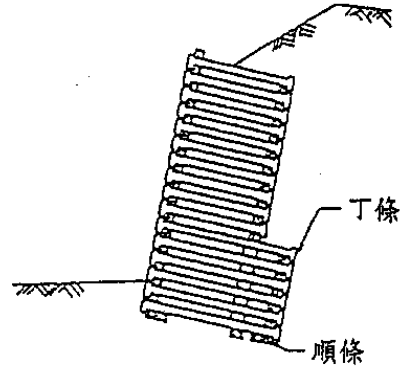
扶壁式擋土牆

(c) R.C 擋土牆

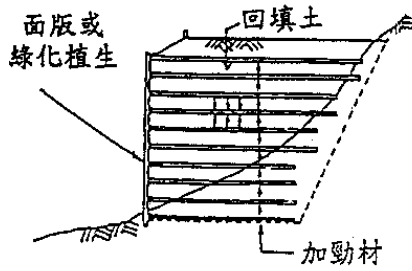
圖-2(a) 常見之擋土護坡型式



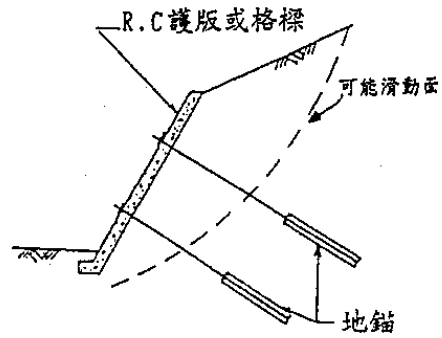
(d) 蛇籠擋土牆



(e) 格床式擋土牆(crib wall)

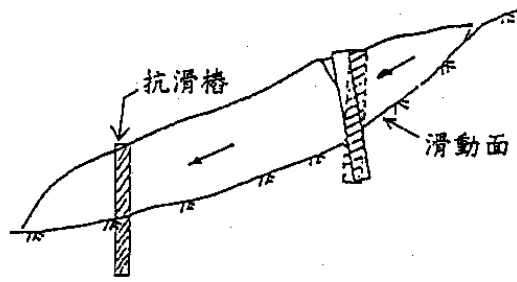


(f) 加勁擋土牆

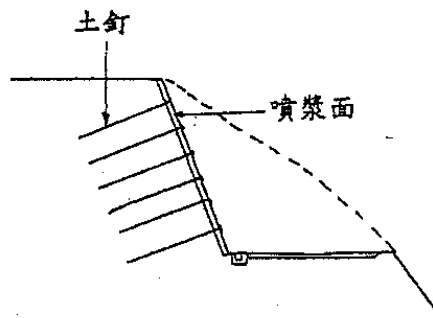


(g) 錨拉式擋土牆

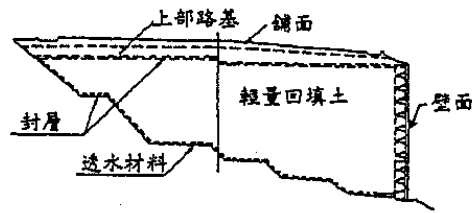
圖-2(b) 常見之擋土護坡型式



(h) 抗滑樁



(i) 土釘工法 (soil nailing)



(j) 輕量回填土工法

圖-2(c) 常見之擋土護坡型式

表-2 各種擋土護坡之適用性及優缺點比較

護坡種類	較佳使用坡高(m)	依剛性分類	優點	缺點	建議使用時機
砌石擋土牆或重力式擋土牆	5m 以下	剛性	施工方便簡單	體積龐大，而需較多混凝土及砂石材料	1. 適合較低矮之邊坡 2. 缺乏技術工時
懸臂式 RC 擋土牆	3~8m	剛性	施工簡單，不需太多砂石級配料	容易受基礎不均勻沈陷	適用一般邊坡
扶壁式 RC 擋土牆	5~15m	剛性	在坡高較高處，可有效減少擋土牆之斷面	1. 施工略為複雜 2. 施工中臨時開挖面較大	適用較高邊坡，坡高超過 10m，則較懸臂式擋土牆為經濟
蛇籠	2~8m	柔性	不易受基礎不均勻沈陷影響	耐久性略差	1. 適用於基礎土壤較為軟弱時 2. 透水性佳
格床式擋土牆	2~12m	半剛性	對不均勻沈陷之忍受度，較一般剛性擋土牆為大	施工複雜，工資成本偏高	1. 需規則美之護坡 2. 透水性佳
加勁擋土牆	3~20m	柔性	施工快速，可忍受較大不均勻沈陷	變形偏大，須注意坡面失火或撞擊之破壞	1. 適合高填方邊坡 2. 坡面可植生綠化
錨拉式擋土牆	不受限制	半剛性	可提供較大之下滑抵抗力	成本較高	1. 已發生災害之邊坡 2. 高挖方邊坡
抗滑樁	10m 以上	剛性	對於深層滑動提供抵抗力	1. 陡坡上不易施工 2. 成本偏高	深層滑動時需採大口徑或配合岩錨工法
土釘工法	3~12m	半剛性	由上而下施工，施工中安全性高	當坡高太大時，其造價偏高	適用於挖方邊坡
輕量回填土工法	不受限制	半剛性	回填土之單位重有效減少，土壓力亦同時減輕	揮發性溶劑可能對某些發泡劑有不利影響	用於軟弱地盤或急斜地之填方邊坡

本表詳見「廖瑞堂(1998)山坡地護坡工程設計」

表-3 921 地震各種擋土護坡破壞模式及耐震能力初步評估

護坡種類	較佳使用坡高 (m)	依剛性分類	破壞模式					耐震能力 初步評估
			傾斜	崩潰	平移	其他	整體穩定問題	
砌石擋土牆	5m 以下	剛性	△	○	△	中間斷裂	○	不佳
重力式擋土牆	5m 以下	剛性	△	○	△		○	不佳
懸臂式或扶臂式 RC 擋土牆	3~15m	剛性	△	×	△		○	較佳
蛇籠	2~8m	柔性	△	△	△	蛇籠鐵絲 開裂	○	尚可
格床式擋土牆	2~12m	半剛性	—	—	—	—	—	—
加勁擋土牆	3~20m	柔性	△	×	△		○	較佳
錨拉式擋土牆	不受限制	半剛性	×	×	△	錨頭拉脫	△	較佳
抗滑椿	10m 以上	剛性	—	—	—	—	—	—
土釘工法	3~12m	半剛性	—	—	—	—	—	—
輕量回填土工法	不受限制	半剛性	—	—	—	—	—	—

72

1. 符號說明：

- ：甚常發現 ×：未發現
△：偶而發現 —：使用甚少，或未見破壞案例

2. 由於抗滑椿、土釘工法及輕量回填土工法，目前使用甚少，故未見破壞案例。

3. 扶臂式擋土牆應與懸臂式擋土牆之行為相似，唯缺乏設計圖外觀上無法研判其是何種類型。

四、長期整治或補強工法之探討

山坡地各種破壞模式之整治及補強應掌握以下原則：

1. 釐清破壞模式及破壞機制以便對症下藥。
2. 儘量減少對自然的改變量。
3. 地表及地下排水需兼顧。
4. 各種工法應考慮其施工性、耐久性及經濟性。

五、結語

- (一)此次地震引發之坡地災害種類甚多，規模甚大，山坡地嚴重受損，除了部份產生明顯破壞外，部份還受嚴重的內傷，明年雨季將是對台灣中部山坡地之嚴重考驗，後續的整治及補強應儘速進行。
- (二)對於崩坍規模甚大之崩塌地或道路宜整體規劃考量，再分期分年進行細部設計及整治，以免造成不必要的浪費。
- (三)對於風險性較高之坡地社區，建議政府有關單位將其納入山坡地 A 級社區之追蹤評估範圍內。