

土牆於軟弱砂泥岩互層邊坡  
崩坍整治之應用  
**APPLICATION OF EARTH BUTTRESS FOR  
SLOPE STABILIZATION IN WEAK  
INTERBEDDED SANDSTONE AND MUDSTONE**

王建元，顏東利  
J. Y. Wang and T. L. Yen

原著載於 1996 岩盤工程研討會論文集  
1996 年 12 月 12~13 日，第 303~311 頁

*Reprinted from 1996 Taiwan Rock Engineering Symposium  
December 12~13, 1996, pp.303~311*

# 土牆於軟弱砂泥岩互層邊坡崩坍整治之應用

王建元、顏東利

亞新工程顧問公司

## 摘 要

軟弱砂泥岩之順向坡滑動係台灣西部麓山帶地區常見的邊坡滑動型式之一，其整治工程設計為工程師於進行山坡地開發與公路等交通工程時經常面對之問題。本文依據台灣北部卓蘭層砂泥岩邊坡之坍滑整治設計與施工案例，介紹土牆(Earth Buttress)作為整治措施之應用。此整治方案主要於坍滑後之邊坡，將泥岩弱面清除，再將挖方回填夯實，形成類似重力式擋土牆結構，以抵抗邊坡之滑動。配合現地狀況、地權限制及工期要求，土牆之材料亦可採用石籠或加勁邊坡方式構築。本文以案例說明土牆在軟弱砂岩及泥岩地層之應用，供後續類似工程之設計及施工參考。

## 一、前 言

台灣為一多山之海島，近來年由於社會經濟之快速成長，以及公共建設之增加，有限的平原地區已不敷使用，因此平原附近之麓山帶地區的開發利用已成為必然之趨勢。台灣西部麓山帶地區之地質，岩性多為砂、泥岩及其互層組成之岩盤，砂岩與泥岩主要由碎屑沈積物連續堆積而成，其成岩過程係顆粒受到壓力與膠結作用而形成。砂岩與泥岩之工程性質差異相當大，其中泥岩之工程特性包括：具消散性、平行層面之抗剪強度低、呈高度異向性、風化快且深、壓縮性大、變形性大、與浸水後具膨脹性且強度明顯降低。而砂岩則為膠結性影響重大，包括強度、變形性、透水性皆受影響；脆性破裂，易產生節理(洪如江，1991)[1]。一般而言，砂岩之強度與透水性均較泥岩高，因此針對砂泥岩互層邊坡而言，砂岩為含水層，而泥岩則為阻水層或不透水層，地下水會破壞泥岩顆粒之膠結與鍵結，發展複水層(Double Layer)而增加顆粒間之斥力，使泥岩發生膨脹與強度明顯降低(李德河等人，1988)[2]，致使邊坡沿此砂泥岩界面之弱面發生崩滑。因此，針對此砂泥岩邊坡之崩坍整治設計，選擇合適之邊坡穩定工法，除能確保邊坡穩定安全及符合經濟效益之外，並能達到景觀及環保之要求，實為大地工程實務上之重要課題。

## 二、土牆之設計構想

土牆(Soil Buttress)之設計構想，係採回填夯實之方式得到一剪力強度較高之土牆，形成柔性之重力式擋土牆結構來抵抗邊坡之滑動。土牆與一般之剛性混凝土重力式擋土牆相較，由於其單位重及剪力強度均較混凝土小，因此其用以抵抗邊坡滑動而所需之尺寸必須較混凝土牆大。土牆一般多用於邊坡坍塌後之整治，主要係考量邊坡坍塌後之地形勢必要重新修整，而利用整坡之同時，將坍塌物(包括土、石)重新回填夯實，與原有邊坡形成一體，除可達整地之目的，亦可達邊坡擋土穩定之功效，其剖面示意參見圖1所示，優缺點歸納如表1所列。

## 三、工程案例介紹

土牆工法(包括內加鋪加勁材料與採用石籠方式)於北部某公路關西至新竹段新建工程(全長共約20公里)構築期間實際應用於軟弱砂泥層邊坡崩坍整治案例，其應用之情形如表2所列，施工之總長度為1040公尺。以下首先介紹本路段之地層狀況及其工程性質，然後分別舉表2中之案例5、案例7及案例8作介紹。

### 3.1 地層狀況及其工程性質

本路段沿線所出露的地層由老而幼分別為上新世晚期之卓蘭層、更新世早期之頭嵙山層、更新世晚期之紅土礫石層、及全新世之河階堆積、河床沖積、崩塌堆積與扇狀堆積等。其中崩坍路段之地層主要由卓蘭層泥岩砂岩互層與其上覆之崩積層所組成，其中泥岩厚度大多不超過1公尺。崩積層物質包括表土、受擾動之風化砂岩、紅土及礫石。本文所介紹之三個崩坍路段由於受到向斜構造之影響，開挖邊坡均為順向坡。

依據調查結果，本路段泥岩之基本物理性質如表3所列，其粉土含量超過50%，在塑性分類上屬於低塑性粘土。至於泥岩之力學性質，根據試驗室以岩心預切成二片岩樣在不浸水之情況下進行之岩石反覆直接剪力試驗結果顯示，泥岩之剪力強度參數有效凝聚力等於零，尖峰摩擦角介於29至35度之間，而殘餘基本摩擦角則介於22至27度之間。另由現場在向斜軸鄰近已崩坍之滑動面上載取之岩樣(包含泥岩滑動面)進行之岩石反覆直接剪力試驗結果如圖2所示(Wong et.al,1996)[3]，剪力強度參數有效摩擦角隨不同之正向應力及位移量而變化，正向應力愈大，則有效摩擦角愈小，且位移量愈大，有效摩擦角亦愈小。當位移量約為50mm時， $\tan \phi'$ 則至臨界值約0.17，相對之有效摩擦角約為10度。此外，由本路段9個崩坍邊坡案例之滑動面剪力強度反推算分析(Back-Analysis)結果顯示，泥岩之有效殘餘摩擦角介於10至17.5度之間。

### 3.2 案例(一)－純土牆

本案例之開挖邊坡原設計為二階格床式卵石護坡，每階坡高10公尺，坡度1:1.5(V:H)，平台寬3公尺。民國80年8月上旬之施工期間，當完成第二階約5公尺高之切坡開挖，並已設置格床卵礫護坡，正進行第一階段開挖時，於暴雨後發生坡面坍塌，開挖坡頂下陷約1公尺。依據調查結果研判，本路段之坍塌原因為開挖坡面泥岩層出露及大雨來襲，雨水入滲坡面至泥岩層而造成。考量本路段當時正進行全面土方工程之施條件(施工空間，施工機具可靈活調度)，邊坡滑動力不大，坡頂無重要結構物等因素，本路段坍塌之整治方案採用純土牆工法。土牆底部寬15公尺，頂部寬3公尺，高度15公尺，開挖面寬度以不超過15公尺為原則，坡面植生係採用噴植法。整治方案剖面示意圖如圖1所示。

### 3.3 案例(二)－石籠方式

本案例之開挖邊坡原設計為一階格床式卵石護坡，坡高10公尺，坡度1:1.5(V:H)，坡頂為寬約6公尺之農路，農路旁為一水圳，水圳外側則為水田。民國81年7月下旬本路段附近之跨越渡槽橋台下方之開挖坡面發生坍塌，當時配合預力岩錨及擋土排樁等整治工程，本路段亦一併變更設計為噴凝土護坡。民國84年6月中旬因坡頂後方之水圳漏水及水田之地表水滲入地層至泥岩層，致本路段已完成之噴凝土護坡坡面產生裂隙，並將坡趾之U型排水溝推擠出約10公分。由於當時此路段已通車，考量本路段之交通仍必須維持，邊坡滑動力不大，以及水圳之漏水與水田之地表水滲入至泥岩層之坍塌原因無法消除等因素，本路段坍塌之整治方案採用土牆工法，並以石籠取代夯實土方材料，除因石籠強度較夯實土方高，可減少土牆斷面尺寸，以維持坡頂農路之交通外，亦因石籠之構築不須較大之施工空間及動員推土機具。土牆之底部寬10公尺，頂部寬1公尺，高度10公尺，開挖面寬度以4至10公尺為原則，坡面植生係採用打樁編柵法。坡頂除設置截流溝外，另於水圳旁增設盲溝，以截除水圳或水田之入滲水。整治方案剖面示意圖如圖3所示。

### 3.4 案例(三)－加勁土牆

本案例之開挖邊坡原設計為二階自由樑卵石護坡，每階坡高10公尺，坡度1:1.5(V:H)，平台寬3尺。民國80年6月下旬的施工期間，本路段於暴雨過後產生滑動，坡頂路面下陷約60公分，地面龜裂並且危及路側民房，當時除於坡頂靠近民房處打設鋼版樁與鋼軌樁作為臨時保護措施外，並採用前述案例(一)所採用之純土牆工法作為整治方案。不料於民國81年8月上旬於坡趾進行排水溝之構築時，由於排水溝之開挖面仍有泥岩弱面出露

，且由於開挖面過長，致使上方已整治完工之土牆再度坍塌，並再度危及坡頂路旁之民房。由於滑動之泥岩弱面較深，其滑動力較大，原整治方案之土牆斷面不足以抵擋下滑力，且考量因路權而無法擴大土牆斷面，以及坡頂附近有民房之路段為減少施工開挖範圍等因素，因此採用於土牆內加鋪地工織物(Geotextile)之加勁方式作為整治方案。土牆底部寬15公尺，頂部寬3公尺，高度15公尺，開挖面寬度以不超過10公尺為原則，坡面植生係採用噴植法。整治方案剖面示意圖如圖4所示。

## 四、設計與施工注意事項

依據土牆工法於北部某公路關西至新竹段新建工程構築期間，實際應用於軟弱砂泥岩邊坡崩坍整治之設計施工經驗，說明設計與施工之注意事項如下：

- (1) 開挖時應採分段跳島開挖方式清除並開挖已坍塌之邊坡至土牆設計背面使土牆有足夠之斷面尺寸，牆背坡度必須考量開挖面之臨時穩定安全。位於土牆下方且可能於坡面及坡趾排水溝臨時開挖面上出露之泥岩弱，必須完全清除。
- (2) 土牆背及底面之排水層能否有效排除牆背之地下水，以維持牆體之設計強度，將是土牆工法設計施工成功與否的關鍵之一。因此牆背面及底面必須設置完善之排水層，以將牆背泥岩層匯集之地下水疏排至牆趾之排水溝，避免地下水滲入土牆內降低土牆之有效抗剪應力。排水層須設置適當之濾層，以避免細粒料滲入並阻塞排水層而影響其排水功能。
- (3) 土牆應分層回填夯實，並符合夯實之要求，以達到分析設計所採用之剪力強度。若因地權限制，使土牆斷面不足時，則可考慮於土牆內鋪設加勁材料(如地工合成材料)，使牆面坡度加大，增加牆體重量，使作用於加勁材料與夯實回填土層間之有效正向應力增加，以提高牆體之強度與穩定效果。若因施工條件(如天候、施工空間)無法進行大規模土方工程時，亦可考慮以石籠取代夯實之土方材料。
- (4) 土牆回填完成後，應立即進行坡面植生保護，並設置坡頂截流溝及坡面跌水溝等水土保持措施及牆頂不透水層回填，以減少地表逕流入滲至土牆內與避免地表逕流沖蝕坡面。

## 五、結論與建議

依據於新竹地區卓蘭層軟弱砂泥岩邊坡崩坍整治案例之設計及施工經驗，綜合歸納

結論與建議如下：

- (1) 砂岩與泥岩工程性質差異相當大。順向坡之泥岩常因浸水軟化而成為一不穩定之滑動弱面。
- (2) 土牆工法之特色主要係利用現有崩塌材料進行回填夯實，避免因向外挖棄土方而造成環境影響問題，且其表面於植生綠化後，外觀與自然邊坡無異，較一般RC結構更能符合景觀之要求。因此在邊坡崩塌之整治方案中為一值得推廣之工法，不僅符合環保需求，且費用較低、工期亦較短。

## 參 考 文 獻

- (1) 洪如江(1991)：初等工程地質學大綱，財團法人地工技術研究發展基金會，台北，第30頁。
- (2) 李德河，許琦、周墩堅(1988)：「泥岩剪力強度特性研究」，行政院國家科學委員會院災科技研究報告77-70號。
- (3) Wong, L.W., Yen, T.L., Wang, J.Y. and Chang, W.C.(1996)：「Residual Strength of Mudstones of the Cholan Formation」，Proceedings of the 3rd Sino-British Geological Conference.

## 誌 謝

本文內容承蒙亞新工程顧問股份有限公司潘國樑博士、秦中天博士與黃立煌先生提供許多寶貴意見，特申謝忱。

表 1 土牆之優缺點比較

優點	缺點
1.就地取材，可利用現有之坍塌後土石材料，作為主要構材。 2.表面可植生綠化，外觀與自然邊坡無異。 3.工期一般較短。 4.工程費用較經濟。	1.回填夯實之土方工程必須有較大之施工空間。 2.天候影響大，雨天無法進行土方回填工程。 3.坡頂有重要結構物時必須特別注意土牆開挖之臨時穩定

表 2 土牆於新竹地區卓蘭層砂泥岩崩坍整治統計結果

案例編號	土牆型式	牆面坡度 V:H	土牆尺寸, m				備註
			底部寬度	頂部寬度	高度	長度	
1	填土	1:1.5	15	5	10	75	坡面一階
2		1:1.5	8	4	10	160	坡面一階
3		1:1.5	30	5	20	100	坡面二階，平台寬3M
4		1:1.5	10	6	15	250	坡面二階，平台寬3M
5		1:1.5	15	3	15	200	坡面二階，平台寬3M
6	石籠	1:1.2	6	2	5	55	坡面一階
7		1:1.5	10	1	10	50	坡面一階
8	加勁填土	1:1.5	15	3	20	150	坡面二階，平台寬3M

表 3 新竹地區卓蘭層泥岩之基本物性質

顆粒大小分佈	砂土(>0.074mm)	0
	粉土(0.005~0.074mm)	64±4%
	粘土(<0.005mm)	36±4%
阿太堡限度	液性限度(LL)	33±8%
	塑性限度(PL)	20±3%
	塑性指數(PI)	13±6%
土壤顆粒比重(Gs)		2.64±0.04
天然含水量(W)		14.2±4.2%
濕土單位重( $\gamma_v$ )		2.21±0.06 t/m <sup>3</sup>
乾土單位重( $\gamma_d$ )		1.94±0.05 t/m <sup>3</sup>
乾燥狀態孔隙比(e)		0.44±0.07
飽和度(S)		80±20%

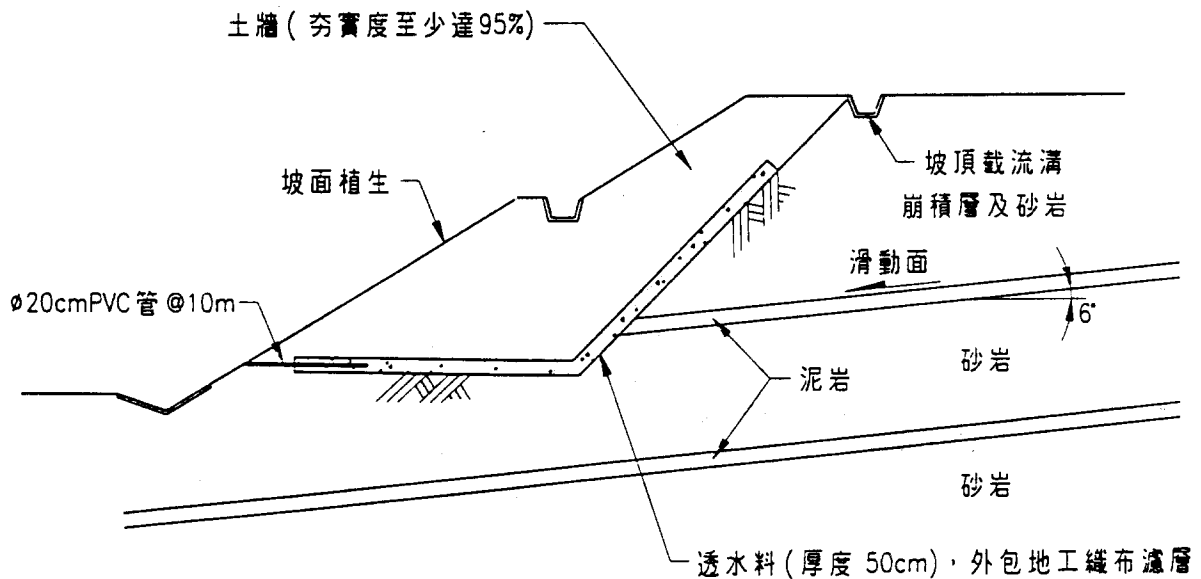


圖 1. 案例 (一) 整治方案剖面示意圖—純土牆

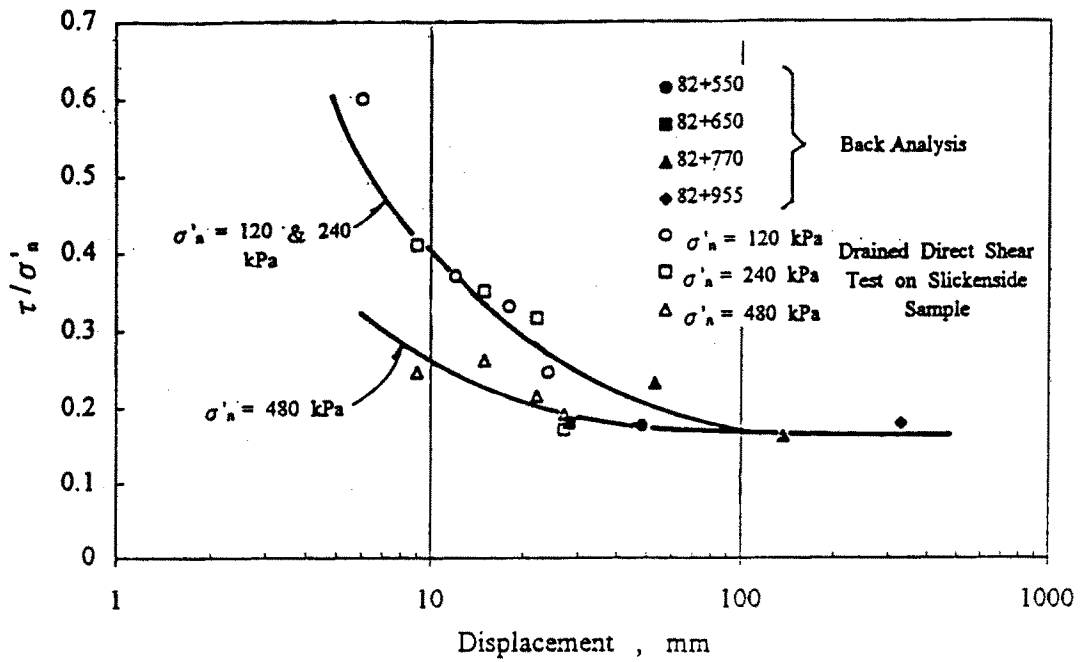


圖 2 . 泥岩之反覆直接剪力試驗結果 ( 摘自 Wong et al.,1996 )

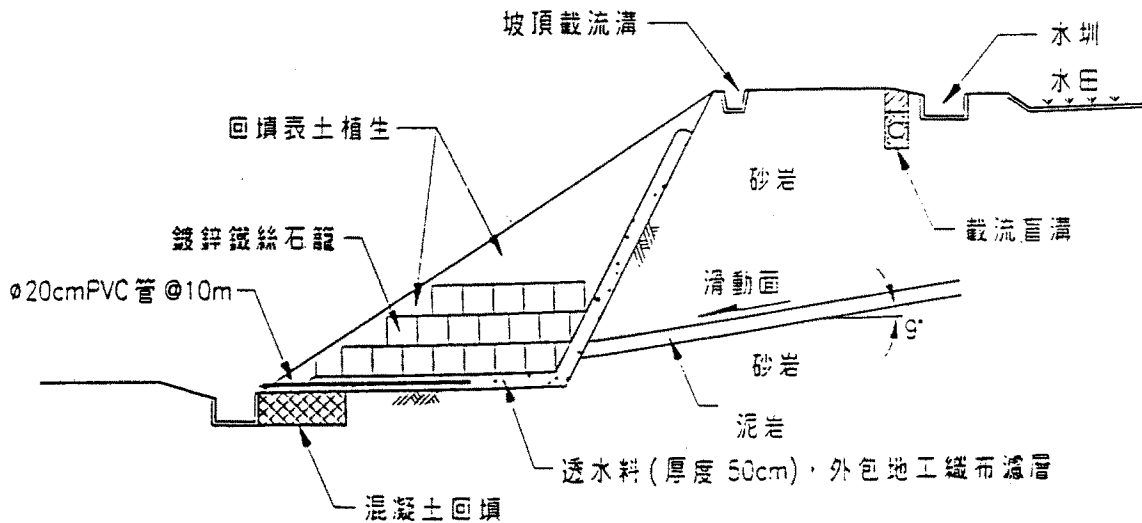


圖 3. 案例 ( 二 ) 整治方案剖面示意圖 - 石籠方式

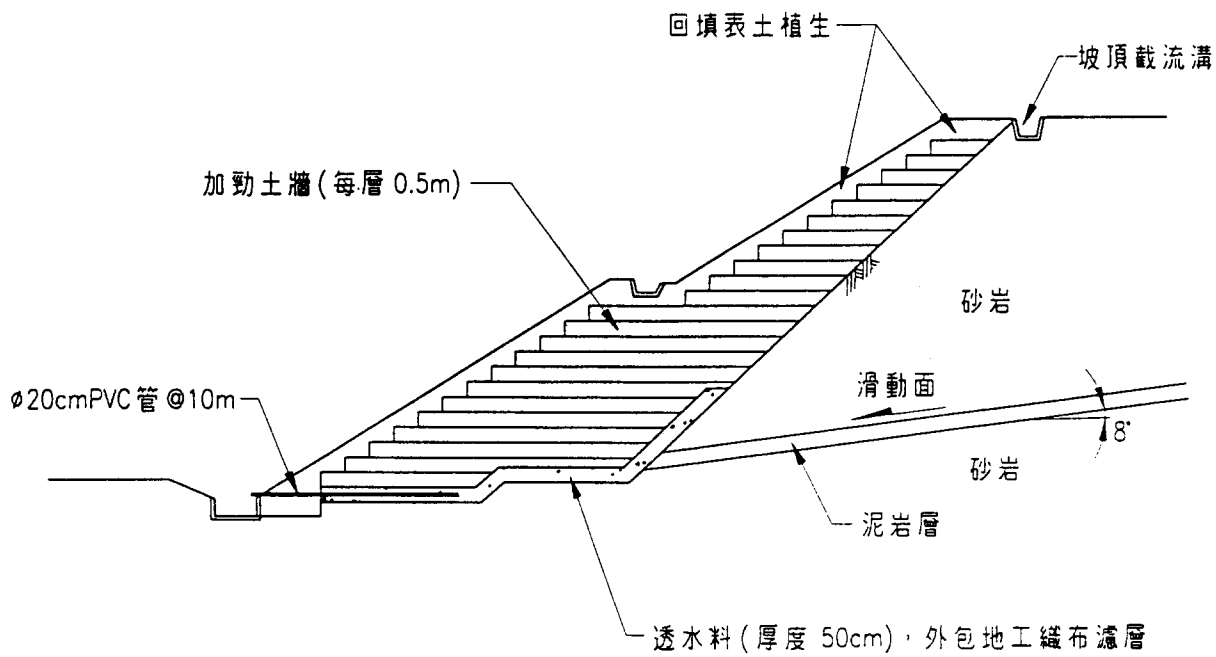


圖 4. 案例 (三) 整治方案剖面示意圖 - 加勁土牆