

軟弱砂泥岩互層岩盤之
公路邊坡整治案例探討
**CASE HISTORIES OF STABILIZATION OF
HIGHWAY SLOPES IN SOFT SANDSTONE AND
MUDSTONE INTERBEDDED FORMATION**

顏東利，陳俊樺，秦中天，張文城
T. L. Yen, C. H. Chen, C. T. Chin and W. Chang

原著載於地工技術雜誌第 72 期
1999 年 4 月, 第 13~22 頁

*Reprinted from Sino-Geotechnics,
Taipei, Taiwan
April, 1999, No. 72, pp.13~22*

軟弱砂泥岩互層岩盤之公路邊坡整治案例探討

顏東利、陳俊樺、秦中天

亞新工程顧問股份有限公司

張文城

交通部臺灣區國道新建工程局

摘要

本文主要係藉由探討台灣北部麓山帶卓蘭層公路邊坡工程之五個整治案例，說明軟弱砂泥岩互層邊坡因砂岩與泥岩不同之工程特性、互層狀況與受褶皺等地質構造影響而常發生之穩定問題，並介紹使用於此種岩盤之邊坡穩定工法，包括預力地錨、擋土排樁、土牆、平衡荷重式填土與岩釘，最後並對砂泥岩互層邊坡工程之調查設計與施工重點提出歸納建議，以作為將來類似地形及地質條件之邊坡工程設計參考。

關鍵字：褶皺、順向坡、泥岩、殘餘強度、邊坡坍塌、邊坡整治。

CASE HISTORIES OF STABILIZATION OF HIGHWAY SLOPES IN SOFT SANDSTONE AND MUDSTONE INTERBEDDED FORMATION

YEN TUNG LIH

CHEN CHUN HUA

CHIN CHUNG TIEN

Moh and Associates, Inc. Consulting Engineers

CHANG WINSON

Taiwan Area National Expressway Engineering Bureau

ABSTRACT

This paper presents case histories on the stabilization of 5 highway slopes resting on Cholan Formation of the Western Foothill area in Northern Taiwan. Instabilities caused by the soft sandstone and mudstone interbedded strata, the engineering characteristics and geological structure such as folds are described. Stabilization measures include ground anchor, pile wall, soil buttress, counterweight fill and soil nails were applied in this rock formation. Considerations for design and construction of slopes in sandstone and mudstone formations are summarized for reference of future designs.

KEY WORDS : folds, dip-slope, mudstone, residual strength, landslide, slope stabilization.

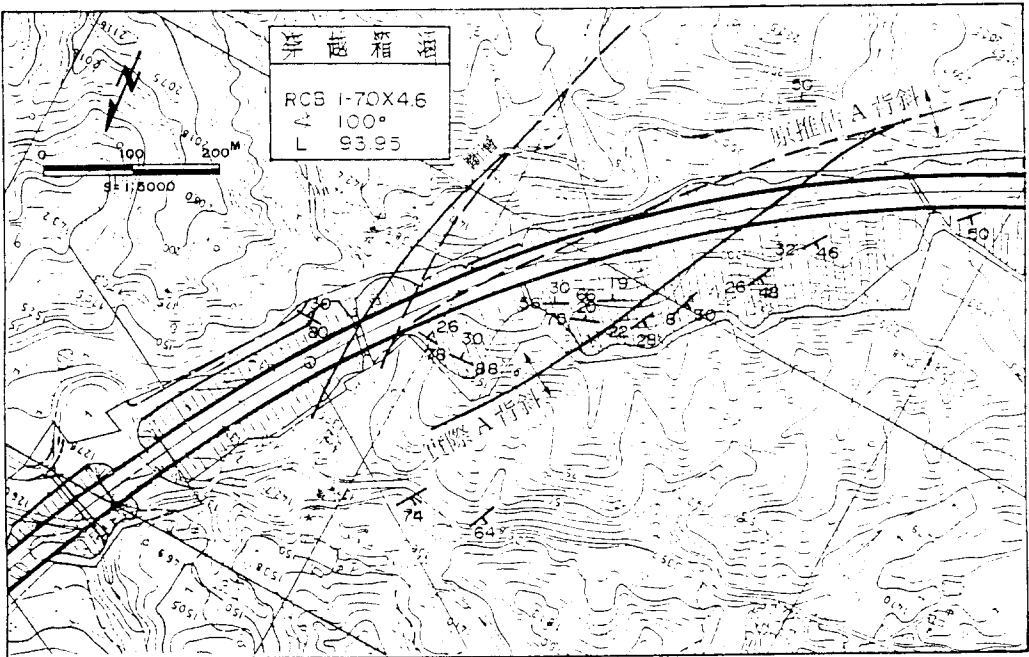
一、前言

近年來由於社會經濟之快速成長，以及公共建設之增加，台灣地區有限之平原地區已逐漸不敷使用，因此麓山帶地區之開發與利用已成為必然之趨勢。台灣中央山脈西麓山帶之地層多為砂岩、頁岩、泥岩及其互層所組成之軟弱岩盤，如上新世之卓蘭層與更新世之頭嵙山層香山相等，於此種地層興建公路或進行坡地開發工程，經常發生開挖或填土邊坡坍塌之問題，因此了解邊坡坍塌之原因並選擇適當之整治措施實為大地工程設計之重要課題。本文係以北部某公路新建工程中邊坡坍塌整治之實際案例，說明軟弱砂泥岩互層岩盤之邊坡問題與整治對策，並建議其調查、設計與施工之重點。

二、區域地質概況及泥岩工程性質

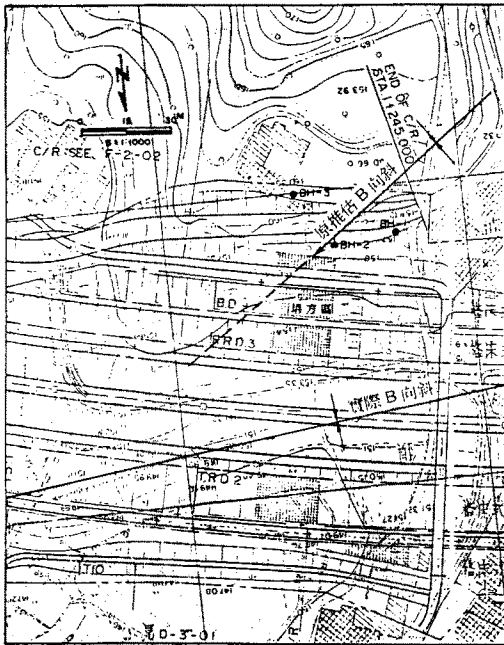
2.1 區域地質概況

本文所探討之公路位於臺灣西部麓山帶之北部，沿線所出露之地層由老至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。本文所探討邊坡整治案例之地層主要由卓蘭層之砂岩與泥岩互層及其上覆之崩積層所組成，其中泥岩厚度大多不超過1公尺；崩積層之組成物則包括表土、受擾動之風化砂岩、紅土及礫石。與案例相關之主要地質構造線包括A背斜與B向斜構造。A背斜位於路線南側且穿越部份路段(圖一)，大約呈東北—西南走



圖一 案例一路塹與A背斜構造之相關位置

向，向西南傾沒，其西北翼岩層傾角較陡(約60度以上)，而東南翼傾角較緩(約30度以下)，為一不對稱之背斜構造。B向斜構造之走向亦大致呈東北—西南方向(圖二)，其西北翼岩層傾角較陡，東南翼較緩，導致本公路位於B向斜軸西北側之邊坡大部份屬於順向坡，且路線經過多處舊崩塌區，產生許多邊坡失穩問題。



圖二 案例二路塹與B向斜構造之相關位置

2.2 岩石之物理與工程性質

一般而言，泥岩之強度遠低於砂岩，尤其當地下水滲至泥岩後，將破壞其顆粒間之膠結與鍵結，發展複水層(Double Layer)而增加顆粒間之斥力，致使泥岩產生膨脹與強度明顯降低之軟化情形(李德河等，1988)。此外，泥岩之透水性亦遠低於砂岩，由於泥岩之阻水作用使地下水長存於砂岩中，不易向下入滲至泥岩層，以致泥岩之表面易軟化而成為不穩定之弱

面，使邊坡沿此弱面發生坍塌。

依據調查結果，本公路沿線泥岩之基本物理性質統計如表一所示，其粉土含量超過50%，於土壤分類上屬低塑性黏土。依據岩石單軸壓縮試驗結果之統計，砂岩與泥岩之單壓強度平均分別約23.4與10.1 kg/cm²。另外根據試驗室以岩心預切成二片岩樣在不浸水情況下進行之岩石反覆直接剪力試驗結果顯示：砂岩之有效凝聚力為零，尖峰摩擦角大多介於33至44度之間，殘餘摩擦角則介於25至36度之間；泥岩之有效凝聚力為零，尖峰摩擦角介於29至35度之間，而殘餘摩擦角則介於22至27度之間。

表一 本公路沿線泥岩之基本物理性質
(王建元與顏東利，1996)

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	33± 8
	塑性限度	20± 3
	塑性指數	13± 6
土壤顆粒比重		2.64± 0.04
自然含水量，%		14.2± 4.2
濕土單位重，t / m ³		2.21± 0.06
乾土單位重，t / m ³		1.94± 0.05
乾燥狀態孔隙比		0.44± 0.07
飽和度，%		80± 20

三、整治案例探討

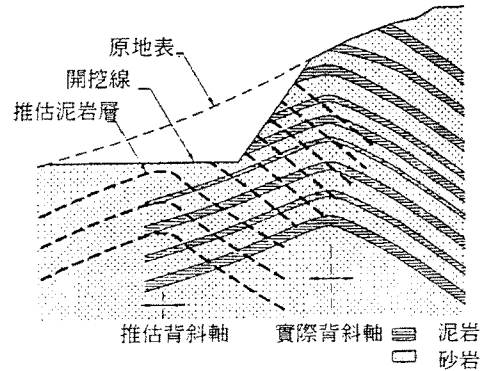
本公路行經丘陵地區，因考慮挖填平衡而無法避免邊坡開挖及溪谷回填，全線有相當多之路段為開挖之路塹及回填之路堤。沿線分佈許多舊崩塌地、溪谷與水池，地層主要為極軟弱之砂泥岩互層岩盤，其地形及地質等自然條件均極不利於

邊坡之穩定。由於設計階段之地質鑽探孔極為有限，地表之植生非常茂密，且多為相當厚之風化岩層或崩積層所覆蓋，因此沿線良好之地層露頭(Outcrop)極少，使得地表地質調查之精度嚴重受限，因此設計時建議於施工階段應對全線之地質狀況及大地工程設計之假設條件進行檢核，以檢討原設計之安全性及經濟性。本工程於施工之初期，即依據沿線開挖後所顯現之實際地質狀況，包括岩盤之岩性、位態、地質構造、不連續面性質及滲水情形等，進行全面之地質檢核及設計檢討；於後續之施工期間，並由專業之大地工程師及地質師長駐工地，全程參與監造工作，最後終得克服不利之地形及地質條件，使全線如期順利通車。

3.1 案例一(背斜構造對高路塹邊坡之影響)

本案例路段之路塹為6階，總高度約60公尺之邊坡，高距比(V:H)採1:1.5。依據規劃設計階段之地質調查，推測A背斜軸以極小之角度與路線相交(圖一)，故原先研判此路段之西北側開挖邊坡均為逆向坡(圖三)，設計時全部採格床式護坡與植生作為邊坡保護措施。惟於邊坡開挖至第二、三階之間時，因連日降雨導致大規模之坍滑(照片一)。依據施工階段之地質檢核結果，背斜軸之實際位置應向西偏約20度，即由右側開挖邊坡之第三、四階坡附近穿過(圖一)，因此位於背斜軸東南翼之邊坡應為順向坡(傾角約20~30度)，而位於西北翼之邊坡方屬逆向坡(圖三)。研判本路段之岩盤因受褶皺所產生之張力裂隙及節理之影響而特別破碎，且褶皺所引起砂岩及泥岩之層間滑動使泥岩之剪力強度降低，因此於連續降雨後發生邊坡坍

滑。經詳細檢討本路段之地質狀況及坍滑原因後，採用預力地錨、擋土排樁、橫向地下排水管、噴凝土及土釘作為穩定設施，其中地錨之預力為80噸，排樁之直徑為1.5公尺、長度為12公尺，排水管之長度為20公尺。完工後之情形如照片二所示。



圖三 背斜位置偏差引致之邊坡問題示意圖(鄭富書等, 1994)



照片一 案例一坍滑情形(背斜軸位置如虛線)



照片二 案例一整治完工後情形(拍攝角度與照片一相同)

3.2 案例二(向斜構造對路塹邊坡之影響)

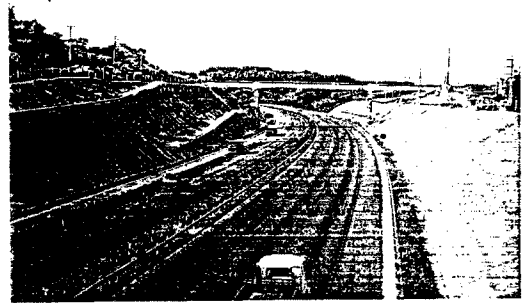
本案例路段之兩側多為水田，且緊鄰老舊之灌溉渠道。依據規劃設計階段所進行之地質調查結果，推測B向斜軸與路線約以45度之交角相交(圖二)，因此原設計考量公路南側邊坡主要為逆向坡，而北側邊坡為斜交坡，岩盤之傾角平緩(約僅5度)，設計時採用格床式卵石護坡，惟於施工過程中路塹兩側邊坡相繼發生坍塌現象。依據施工階段之地質全面檢討結果，B向斜之實際位置應較原推估位置稍為偏北(圖二)，且向斜軸與路線之交角僅約10度，因此本路段兩側之邊坡大多屬於順向坡，且右側邊坡之傾角較陡，實際約為8至12度。研判本路段發生順向坡滑動之原因包括：泥岩因褶皺之影響而降低強度；地下水往向斜軸匯集，使地下水壓升高；緊鄰坡頂之老舊水圳及水管漏水；坡頂路權外之整地破壞地表植被，使雨水大量入滲等。依據施工階段之地質檢討及穩定分析結果，本路段採用擋土排樁、預力岩錨、橫向排水管與噴凝土作為邊坡整治措施，並於路基增設排水盲溝(如圖四所示意)，其中地錨之預力為80噸，排樁之直徑為1.5公尺、長度為13公尺，排水管之長度為20公尺。排樁係採用乾式鑽掘方式，其與岩錨均依據泥岩之實際位態，設置於泥岩出露位置之上方，以截斷滑動弱面，發揮其穩定功能。本路段坍塌整治施工情形及完工後之護坡設施分別如照片三、四所示。

3.3 案例三(土牆於順向坡之應用)

本路段邊坡高約15公尺，依據設計階段之地質調查結果，此路段屬舊崩坍區，開挖施工前亦有地滑發生之記錄。此邊坡

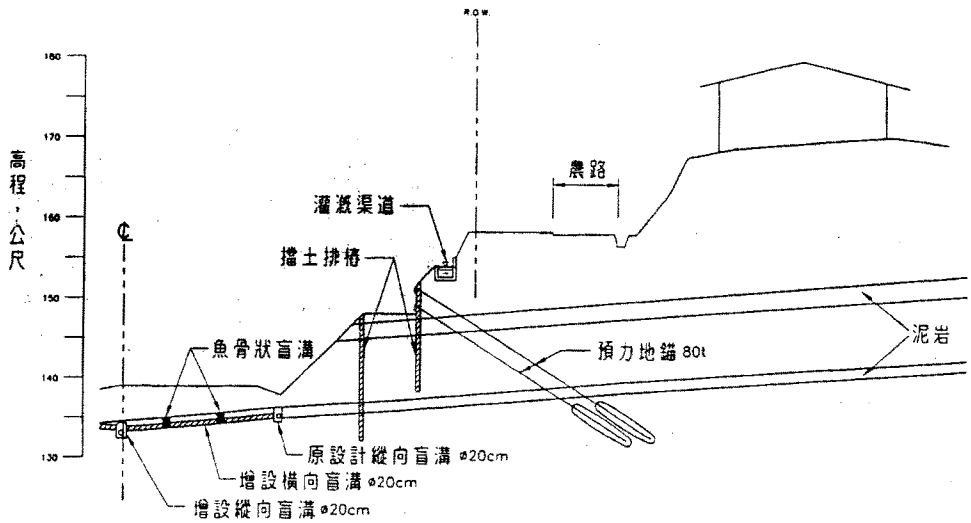


照片三 案例二坍塌整治施工情形(擋土樁已打設，黑色部份為地下水滲水位置)

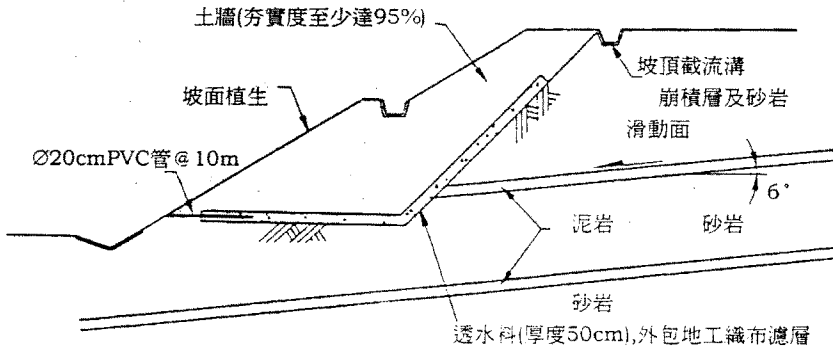


照片四 案例二整治完成後情形

係位於B向斜構造之西北翼，屬順向坡，惟考慮岩層平緩(傾角約5度)，且基於經濟性之考量，原設計僅採格床式卵石護坡。施工期間，當完成第二階約5公尺高之坡面開挖，並已設置格床護坡，正向下進行第一階開挖時，於暴雨過後產生坡面坍塌，坡頂下陷約1公尺。依據施工階段之地質檢核結果，本路段為老舊崩坍區，崩積層土質鬆軟易透水，暴雨期間因雨水入滲，使泥岩軟化，且實際之岩層傾角約6至10度，因此於泥岩開挖出露後發生順向坡之坍塌。考量本路段當時正進行全面之土方工程，施工空間足夠及施工機具可靈活調度，其基本構想為將軟弱之泥岩置換成強度較高之夯實土壤，形成一類似重力式擋土牆之土體，以抵抗邊坡之滑動力。其



圖四 案例二整治措施剖面示意圖

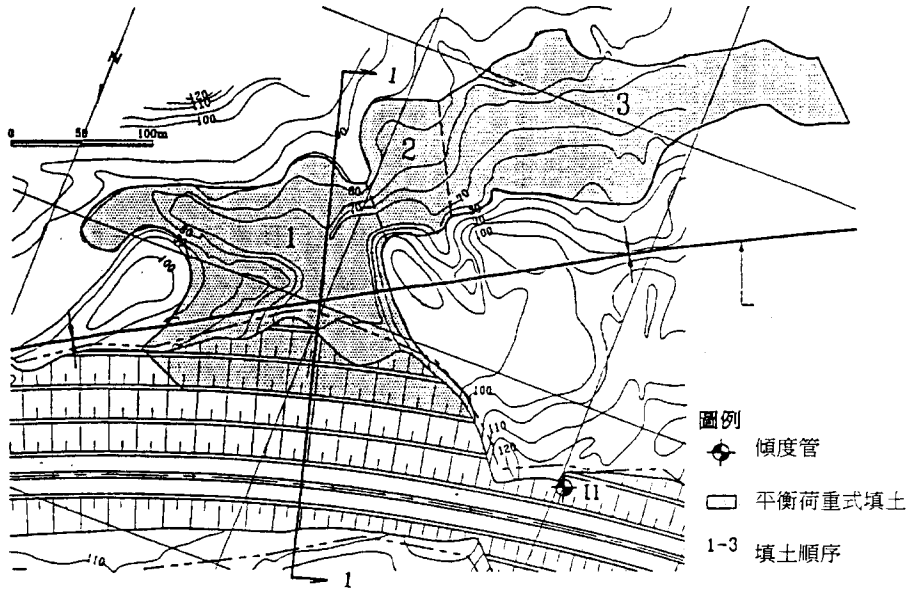


圖五 案例三土牆剖面示意圖(王建元與顏東利, 1996)

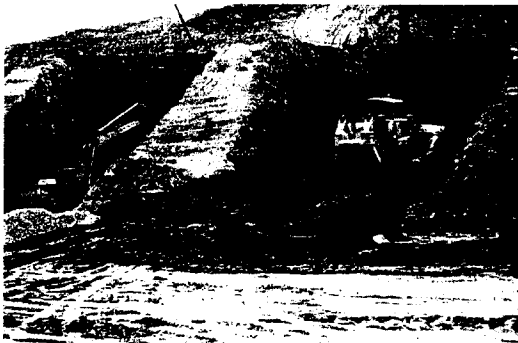
施工之重點依序為：(1)以跳島方式分段進行開挖(照片五)，(2)完全清除坡面出露之泥岩層，(3)於背面及底部設置完善之排水層，(4)嚴格要求填土之滾壓夯實，(5)坡面進行植生護坡並設置排水系統。土牆之主要特色係利用現有崩塌材料進行回填，避免棄土問題，其表面於植生綠化後之外觀與自然邊坡無異(照片六)，較一般RC結構更能符合景觀之要求，且其費用較為經濟，工期一般亦較短。配合現地狀況、地權限制及工期要求，土牆之材料亦可採用石籠或加勁邊坡方式構築(王建元與顏東利, 1996)。

3.4 案例四(高填方順向邊坡之整治)

本路段屬填方路段，填土高度最大約為35公尺，修成四階，每階最大高度為10公尺，坡度採用1:2(V:H)。原地表多窪地、灌溉用蓄水池及舊河道，地層主要由厚層砂岩與泥岩所構成，並夾有砂頁岩與薄泥岩互層之構造，依據航照判釋及地表地質調查等結果，本區係屬古老崩塌區，主要之地質構造為於路線東南側通過之B向斜(圖六)，因此本路段之高路堤係填築於向斜構造之西北翼順向坡上。本路段之路堤填築至約15



圖六 案例四平衡荷重式填土平面位置(WONG ET AL., 1996)



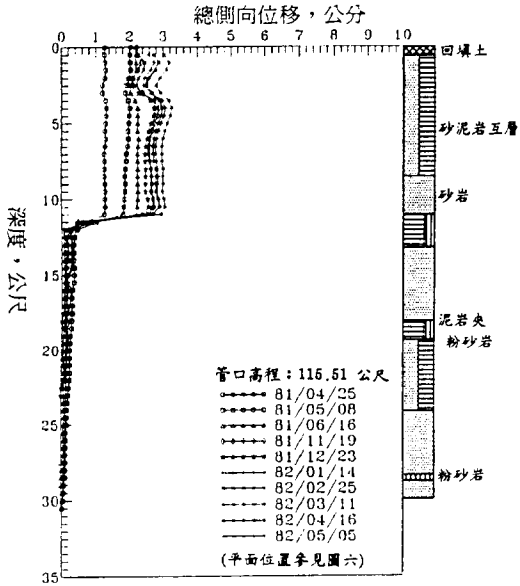
照片五 案例三土牆跳島式分段開挖情形(深灰色部份為泥岩)



照片六 案例三土牆完工後情形

公尺高(高程約98公尺)時，於施工路面及其附近發現多處裂隙，根據傾度管與水壓計之監測與調查結果(代表性之傾度管量測結果示如圖七)顯示，滑動面主要為泥岩弱面。由採自滑動面上之岩樣(包含泥岩滑動面)所進行之岩石反覆直接剪力試驗結果(圖八)顯示，當位移量約為50mm時，其相對應之有效摩擦角約為10度。此外，由本路段邊坡滑動面之剪力強度反推算分析結果顯示，泥岩之有效殘餘摩擦角約僅9.6度左右(Wong et al., 1996)。研判本路段邊坡滑動之主要原因包括：泥岩之強度低、順向岩層、向斜軸之高地下水壓等。

由於滑動面相當深，且滑動力極大，本路段採用於坡趾及溪谷設置平衡荷重式填土(Counterweight Fill)作為整治措施(圖六與圖九)，填土最大高度約達18公尺，填方總計約28萬立方公尺。於設計及施工時考慮之重點依序為：確認向斜構造之正確位置、清除填土前之原有地表植生與軟

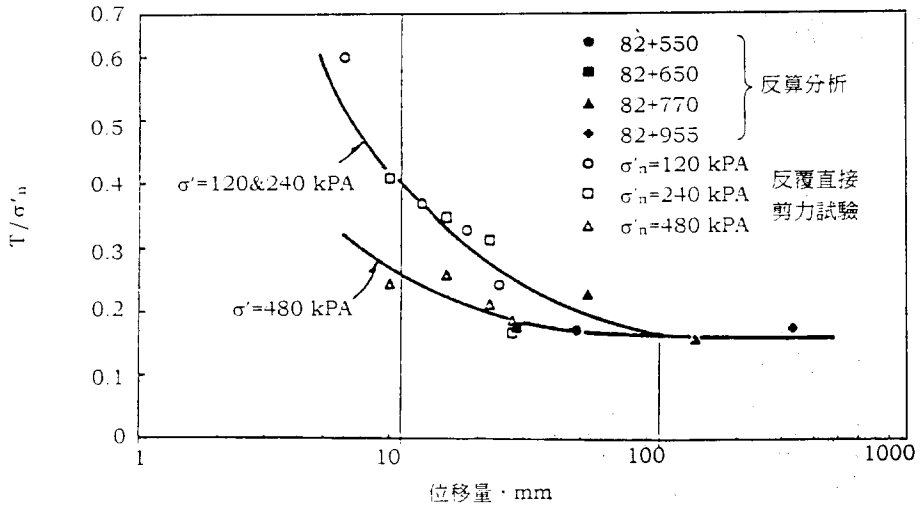


圖七 案例四傾度管之量測結果

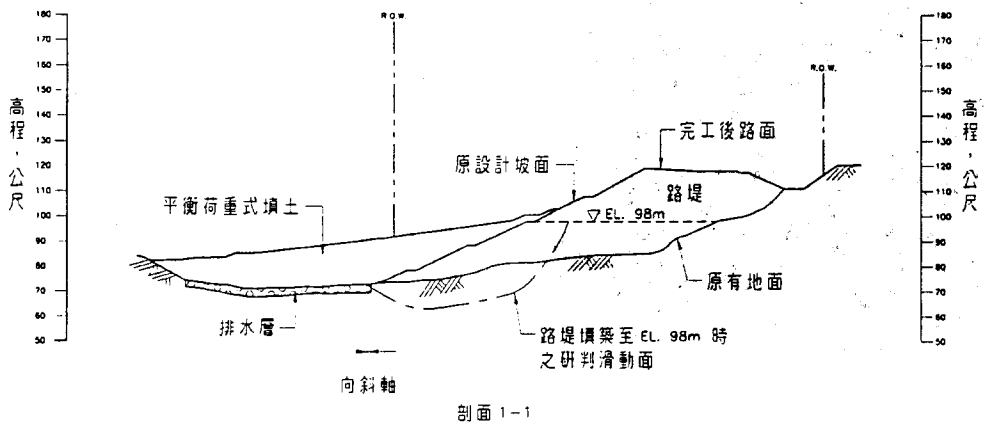
弱土壤、設置完善之地下與地表排水系統、適當地滾壓夯實回填土等。根據傾度管與水壓計之監測結果顯示，本路段於填土整治後邊坡即趨穩定。此工法與案例三同樣具有工程費用低且工期短等優點，惟需大量之土方與足夠之工程用地。

3.5 案例五(順向坡之橋梁基礎)

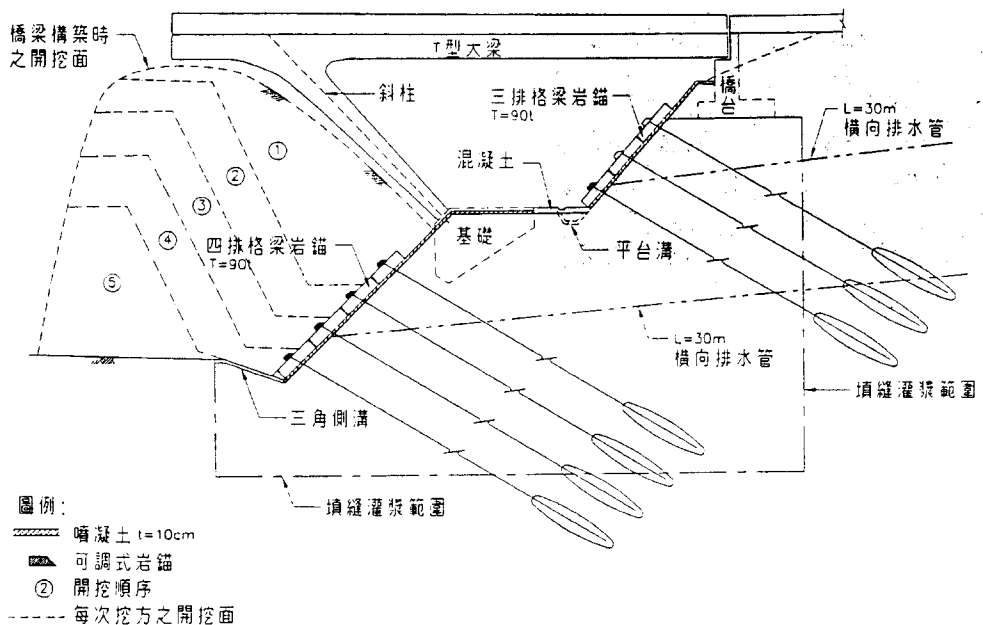
本路段位於B向斜之北側。依據原設計之考量，右側邊坡屬順向坡(傾角約12度)，採用岩錨作為穩定措施，而其左側屬逆向坡，因而只採用格床表面護坡；施工時，先建造橋梁結構再進行土方開挖(圖十)，主要考慮於全段施工進行時，此橋可作為連接路塹兩側之施工或聯絡道之用。惟於橋體完成後，於進行土方開挖時發現右側邊坡有滑動現象，造成坡面有裂痕產生。經地質師現場勘查發現，左側及右側邊坡均有三層泥岩弱面存在，特別是右側坡有一泥岩層恰位於斜橋墩正下方，並有一主要節理通過斜橋墩下方；右側順向坡之傾角實際為14至20度；B向斜軸實際通過左側第一階坡，因此左側坡開挖後形成第一階為輕微逆向坡，第二及第三階坡則為順向坡。於是相關單位立即決定暫停橋體以下之土方開挖，將尚未開挖之兩堆土體留下以維持兩側邊坡之穩定，達到暫時穩



圖八 泥岩剪力強度與位移量之關係(WONG ET AL., 1996)



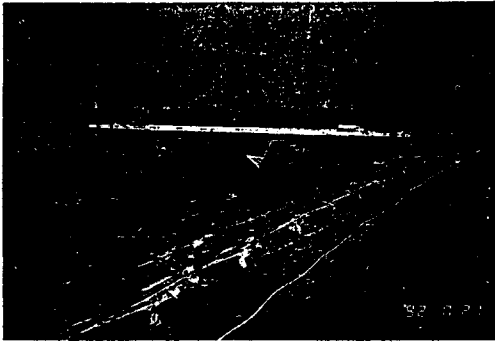
圖九 案例四路堤填築剖面圖



圖十 案例五施工順序與邊坡保護措施示意圖

定之效果(照片七)。此外，立即重新評估該橋兩側邊坡之穩定問題，採取以下之加強措施(林三賢等，1994)：(1)以水泥砂漿填補節理弱面，(2)左側邊坡改採預力地錨格梁護坡，右側邊坡增加地錨數量，(3)橋下第一階坡面採可複拉式岩錨，以便於預力損失時可立即複拉補足預力，(4)第一階坡採由上而下分四階開挖，每一階段採分段式施工，由

橋墩兩側往內開挖施工，並立即於開挖面噴設噴凝土，再打設岩錨，(5)須待上一階岩錨施加預力後始可進行下一階之開挖，並加強此區域之監測系統以隨時提供警訊。經採用前述之處理措施(圖十)後，本路段得以順利完工(照片八)，並配合其它路段完成全線之通車。



照片七 案例五開挖施工情形(保留斜橋墩前方之土體，深灰色部份為泥岩)



照片八 案例五右側邊坡完工後情形

四、結論與建議

依據前述五個邊坡坍塌整治案例之調查、設計與施工經驗，本文可歸納結論與建議如下：

(1) 泥岩因水份入滲軟化與開挖後出露坡面而發生之順向坡滑動，為砂泥岩互層邊坡中最常發生之破壞型式。

(2) 泥岩易因浸水而膨脹，並明顯降低強度，形成破壞弱面。因此設計與施工首要之務為儘量避免水份入滲至泥岩層表面，設計時亦應考慮採用泥岩浸水軟化狀況下之強度進行邊坡穩定分析。若泥岩位於向斜或背斜構造附近，或為崩坍之滑動弱面，則設計時應考慮採用其殘餘強度。

(3) 地質構造之位置對砂泥岩互層邊坡之穩定影響極大，路堤及路塹應儘量遠離向斜或背斜等構造，或使其儘可能與構造垂直相交。設計前之地質調查須有足夠

之精確度，尤其是當邊坡與褶皺等構造距離近、交角小或甚至位置重合時。調查階段若因地表植生或崩積層覆蓋以致岩層露頭不足，建議可採用挖掘槽溝、探查坑或於鑽孔中進行岩心定位 (Core Orientation)(Wyllie, 1992)等方法以提高調查精度。施工期間應依據邊坡開挖所顯現露頭之岩性、位態、地質構造與滲水等資料，驗證設計時之調查結果，並檢討原設計之邊坡穩定措施是否安全經濟。

(4) 除了排水工法之外，於砂泥岩互層岩盤中可採用預力岩錨、擋土排樁、土牆、平衡荷重式填土或岩釘等工法作為邊坡穩定措施，此五種工法均各有其特性及優缺點。設計時應依實際工程性質，並考量費用與工期等條件，選擇最適宜之工法。

誌謝

本文撰寫過程中，承蒙潘國樑博士、王建元先生及亞新工程顧問股份有限公司黃立煌先生與黃清輝先生之寶貴意見，特此申謝。

參考文獻

- 王建元、顏東利(1996)，"土斷面砂泥岩互層邊坡坍塌整治之應用"，1996年岩盤工程研討會論文集，第303-311頁。
- 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防災科技研究報告77-70號。
- 林三賢、蘇英豪、李有恆、顏東利、楊志益(1994)，"π-型跨越橋基礎下之穩定分析處理"，海峽兩岸土力學及基礎工程地工技術學術研討會論文集，西安，第396-401頁。
- 鄭富書、王建元、顏東利、郭文祥(1994)，"軟弱砂泥岩互層岩盤之邊坡問題與穩定工法"，1994年岩盤工程研討會論文集，第399-408頁。
- 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, Taipei*, pp.77-86.
- WYLLIE, D. C. (1992), *Foundations on Rock*, Chapman & Hall, London.