

軟弱砂岩互層岩盤之
邊坡問題與穩定工法

**SLOPE STABILIZATION PROBLEMS FOR
INTERBEDDED SANDSTONE AND MUDSTONE**

顏東利，王建元，鄭富書，郭文祥
T. L. Yen, J. Y. Wang, F. S. Jeng and W. S. Guo

原著載於1994岩盤工程研討會論文集，
1994年12月，399-408頁

*Reprinted from
Proceedings of the 1994 Rock Engineering Symposium in Taiwan,
December 1994,
pp. 399-408*

SLOPE STABILIZATION PROBLEMS FOR INTERBEDDED SANDSTONE AND MUDSTONE

ABSTRACT

This paper describes the slope stability problems for the interbedded sandstone and mudstone formations. The influencing factors include engineering characteristics, faulting and folding conditions. The suitability, merits, limitations and construction considerations for various stabilization measures which include rock anchor, pile wall, earth buttress, counter-filling and rock bolts are provided. Particular attention for considerations on investigation, design and construction are presented.

軟弱砂泥岩互層岩盤之邊坡問題與穩定工法

顏東利 王建元 郭文祥
亞新工程顧問公司
鄭富書
台灣大學土木工程研究所

摘 要

本文主要係依據台灣北部卓蘭層砂泥岩互層邊坡工程之調查、設計與施工經驗，說明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、反荷重填土與岩釘等工法之適用條件、優缺點及設計與施工之注意事項，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，以作為工程實務之參考。

一、前 言

台灣地區近年來由於社會經濟的快速成長，以及公共建設之增加，促使土地利用漸增，平原附近麓山地區的開發利用已成必然之趨勢。砂岩與泥岩互層之岩盤廣佈於中央山脈以西之麓山帶地質區的地層中，例如上新世卓蘭層與更新世之頭料山層香山相之軟弱岩盤等，在公路新建或坡地開發工程中，經常發生開挖與填土邊坡坍塌問題，因此了解邊坡失穩問題與選擇合適之邊坡穩定工法實為大地工程實務的重要課題。

二、軟弱砂泥岩互層岩盤之邊坡穩定問題

砂岩與泥岩之工程性質差異相當大。一般而言，泥岩之強度遠低於砂岩，尤其是當水份滲至泥岩後，將破壞其顆粒之膠結與鍵結，並且發展複水層(Double Layer)而增加顆粒間之斥力，致使泥岩發生膨脹與強度明顯降低之軟化情形(李德河等人,1988)[1]。除了強度之明顯差異之外，泥岩之透水性亦遠低於砂岩，因此在砂泥岩互層之岩盤中，因受泥岩之阻水作用，地下水常於砂岩中，無法向下滲入泥岩層，使泥岩之表面軟化而成為不穩定之弱面，易使邊坡沿此弱面而發生崩滑。

由於砂岩與泥岩之工程性質差異極大，並且在岩盤中又常以互層之複合方式出現，常見之邊坡穩定問題包括如下：

1. 岩盤受地殼運動之影響而傾斜，與地形坡向之關係成為順向或逆向坡。順向坡最常因開挖使泥岩弱面出露(Daylight)而發生平面滑動破壞，尤其是邊坡因開挖等施工活動而破壞地表原本覆蓋良好之植生，或坡頂附近排水溝渠漏水，致地表逕流入滲至泥岩表面，使泥岩浸水軟化時，此種平面破壞更易發生。雖然泥岩弱面出露為平面滑動發生之必要條件(Goodman, 1989)[2]，但若坡趾之砂岩厚度過小或強度不足，則有時雖泥岩弱面並未出露，亦有可能因砂岩破壞而發生平面滑動(圖1a)，洪如江等人(1988)[3]亦曾於砂頁岩互層之順向坡中發現此種類型之破壞。
2. 高傾角之逆向坡開挖施工後，地表逕流易入滲至透水性高之砂岩中，若入滲量過大時，會形成側向水壓力作用在阻水性高之泥岩層上，造成翻倒(Toppling)破壞(圖1b)，此種破壞尤其容易發生在岩盤中正好發育有順向節理時。
3. 由於背斜或向斜構造形成時，砂岩與泥岩可能發生層間滑動(Flexural-Slip)，使泥岩之強度遠低於未擾動時並可能接近殘餘強度，因此在向斜或背斜翼上填土時，易引發泥岩弱面之滑動。
4. 調查階段，常因表土或崩積土之覆蓋等因素而缺乏足夠岩層露頭，導致地質調查精確度不足，極可能造成褶皺構造之位置偏差，以致實際施工時開挖坡面出露之岩層位態與調查時所推估之位態不一致，使設計產生偏差而發生許多邊坡失穩問題。例如背斜軸位置之偏差，將使原推估之逆向坡面變成順向坡面(圖2)，且因背斜軸線附近之岩盤節理較發達且較破碎，這些節理因開挖而形成滑動體之頂部裂隙，更易使砂岩與泥岩之界面發生平面破壞。若向斜軸與路塹之交角較原設計階段所研判之角度為小，甚至路塹恰位在向斜軸上時，則路塹兩側將增加極多順向坡之滑動問題(圖3)。此外，由於地下水會往向斜軸部匯集，使路塹邊坡之地下水壓升高，並因地下水豐沛而使泥岩更易軟化，除增加路基排水之困擾外，亦造成更多之順向坡滑動問題。

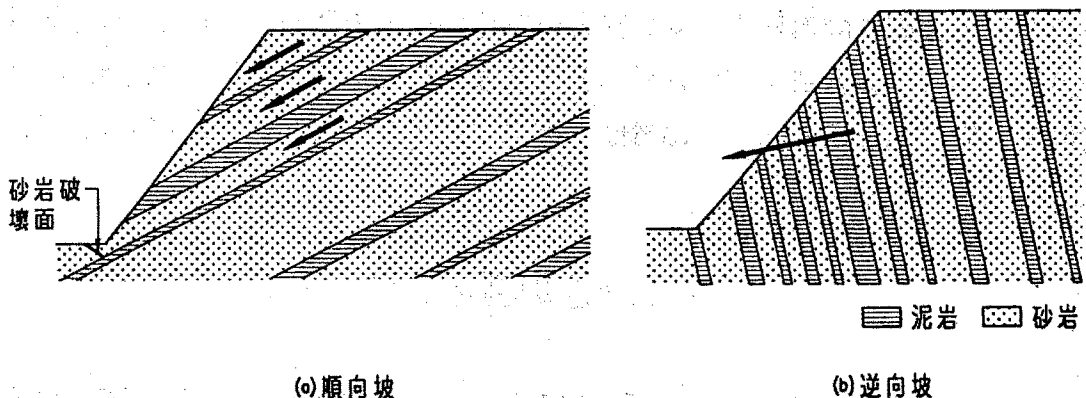


圖 1 順向坡平面破壞與逆向坡翻倒破壞示意圖

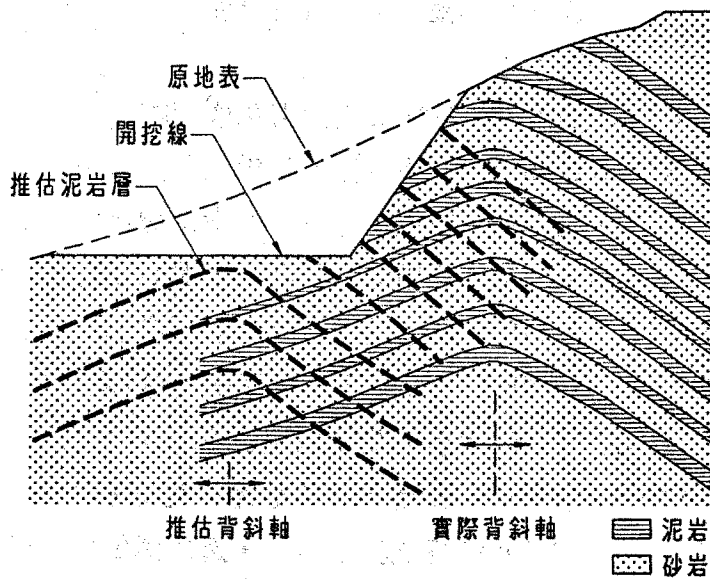


圖 2 背斜軸位置調查偏差之邊坡問題

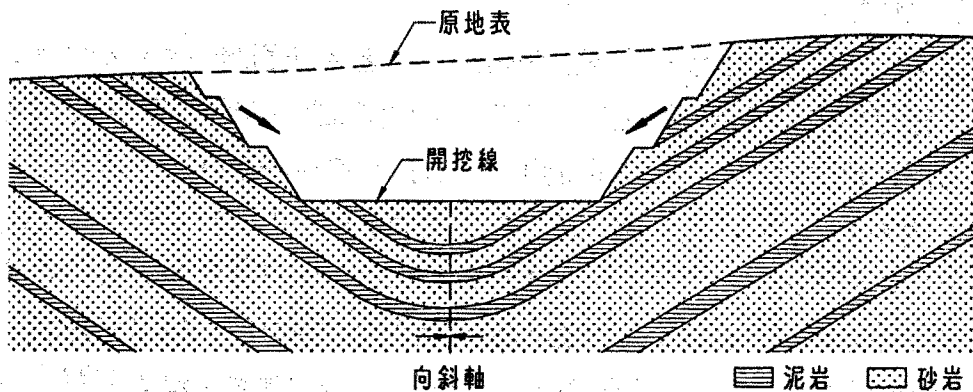


圖 3 向斜軸部路塹之邊坡問題

5. 一般而言，坡面走向與岩層走向之交角若超過20度，將不致有順向坡滑動問題產生 (Wyllie, 1992; 賴典章, 1984)[4][5]。但設計時若疏忽坡面側向之地形變化，例如開挖面外側之地形為一凹地，由於缺乏側向之束制及支撐，此岩層亦可能由凹地處產生順向坡平面滑動。

三、邊坡穩定工程

邊坡穩定之方法一般可分為避開不穩定區、減少滑動力與增加抗滑力三大類。針對砂泥岩互層岩盤之邊坡問題，依據台灣地區北部卓蘭層岩盤邊坡工程之調查、設計與施

工之實務經驗，分別介紹並說明此三類工法如下：

3.1 避開不穩定區

即在工程規劃時避免於已存在或潛在的崩塌區進行邊坡開挖或路堤填築工程，有關砂泥岩互層岩盤之潛在邊坡問題可參考前節之說明，避開之方法包括公路改線或採用高架橋，如果無法避開，則必須考慮採用減少滑動力或增加抗滑力之方式。

3.2 減少滑動力

排水係最常採用來減少邊坡滑動力的方法。排水一般可分為地面排水與地下排水兩種方式，分別說明如下：

3.2.1 地面排水

係於地表將可能滲入坡面之水引開，避免其滲入泥岩而降低泥岩強度或增加側向滑動力。常用之方法包括於坡頂設置截水溝，將邊坡上方之逕流攔截到穩定處之地表排水系統內，或以不透水材料封填坡面之裂隙。此外，坡面植栽亦可減少地面水滲入地下。

3.2.2 地下排水

此法常使用於地下水位較高或坡面大量滲水之區域。淺層的地下排水可採用地下截水盲溝或排水層，至於深層排水，一般最常採用橫向排水管，若欲排除之地下水量過大或太深，則亦可考慮配合使用集水井或排水隧道。橫向地下排水管應依邊坡開挖後之實際砂泥岩分佈、位態與坡面滲水情形，調整其鑽設位置、角度與方向，以發揮其最大效果。

3.2.3 削坡

除了排水之外，削坡亦為減少邊坡滑動力的方法之一，削坡方式包括減緩坡度、降低坡高與將崩坍體冠部之重量減輕等。

3.3 增加抗滑力

邊坡穩定之另一種方法為利用擋土結構以增加邊坡之抗滑力。依據卓蘭層砂泥岩互層岩盤之邊坡工程設計與施工經驗，本文以下分別介紹並說明預力岩錨、擋土排樁、土牆(Earth Buttress)、反荷重填土(Counterweight Fills) 與岩釘等五種邊坡穩定工法之特性、優缺點與設計及施工注意事項，其中擋土排樁、土牆與反荷重填土屬被動式之穩定措施，即設置後需待邊坡發生微量之位移後，才會完全發揮其穩定功能，而預力岩錨則屬主動式，其預力施拉後立即可增加抗滑力，發揮穩定效果。

3.3.1 預力岩錨

此種工法係將錨碇端設置於邊坡之穩固岩盤中，並以抗拉材料(如鋼腱等)連結至邊坡表面之承壓板，藉此拉力所提供之抗滑力以抑制滑動。此工法廣泛使用於無地權限制之順向坡開挖的穩定工程，亦常配合擋土排樁使用，以降低排樁之剪力及彎矩，並減少排樁之側向位移。預力岩錨工法之主要優點為屬主動式加強措施，可立即發生效果，使邊坡之位移量減至最少；而缺點則為須嚴格控制施工品質，否則易因鋼腱或錨頭之銹蝕與預力之損失等問題而嚴重影響其長期之可靠性。

此工法於砂泥岩互層岩盤設計與施工應注意事項說明如下：

1. 岩錨之自由段必須超過潛在泥岩滑動面，並且依據砂岩與泥岩於錨碇段之層厚分別計算其所提供之錨碇力。
2. 岩錨一般係以鋼筋混凝土牆或格樑作為坡面之反力結構，必須避免反力結構底下之坡面遭地表逕流沖蝕，致使岩錨預力喪失。若採用格樑時尤須注意此問題，可考慮先於坡面設置排水系統及噴凝土護坡後，再將格樑施作於噴凝土上。若考慮景觀綠化，可於格樑內以沃土包客土植生，但因客土厚度有限，須考慮長期之養護問題。
3. 邊坡開挖過程中須視泥岩弱面是否出露等實際地質狀況，而採用必要之分階與分段跳島式開挖(圖4)，以免施工中發生邊坡坍塌。
4. 岩錨須打設於泥岩弱面出露位置之上方始可發揮穩定之效果。由於坡面走向與岩層走向經常以夾角相交，因此出露在坡面上的泥岩常呈傾斜態勢，故岩錨之配置應配合邊坡開挖後之泥岩實際出露情形，作適當之調整(圖5)。

3.3.2 擋土排樁

此工法係將基樁貫穿可能之滑動面至穩固之岩盤內，利用樁體之結構強度來抵抗邊坡之滑動力。此工法大多採用鑽掘樁，於地形過於陡峭或施工空間不足情況下，亦可採用手掘式沈箱作為擋土結構(Guo et al., 1987)[6]，有關排樁之設計可參考熊谷鎰等人(1987)[7]與Powell et al.(1990)[8]。擋土排樁法最常使用於有地權限制、坡頂有民房等重要結構物之邊坡。此工法之優點為長期之可靠性較佳，並且可避免於開挖過程中因穩定措施未及時施作而危及坡頂結構物之安全，缺點則為費用較高。

此工法於砂泥岩互層岩盤之設計與施工注意事項說明如下：

1. 排樁應採用乾式鑽掘或手掘方式施工，宜避免採用反循環樁或衝擊樁，以免因外加之鑽掘水大量入滲至岩盤內，或震動而造成邊坡不穩定。
2. 擋土排樁須設置完善之排水設施，以免因阻擋地下水流動，而增加作用在排樁之側向水壓力。有關牆背排水設施之設計，可參考GEO(1993)[9]之建議。

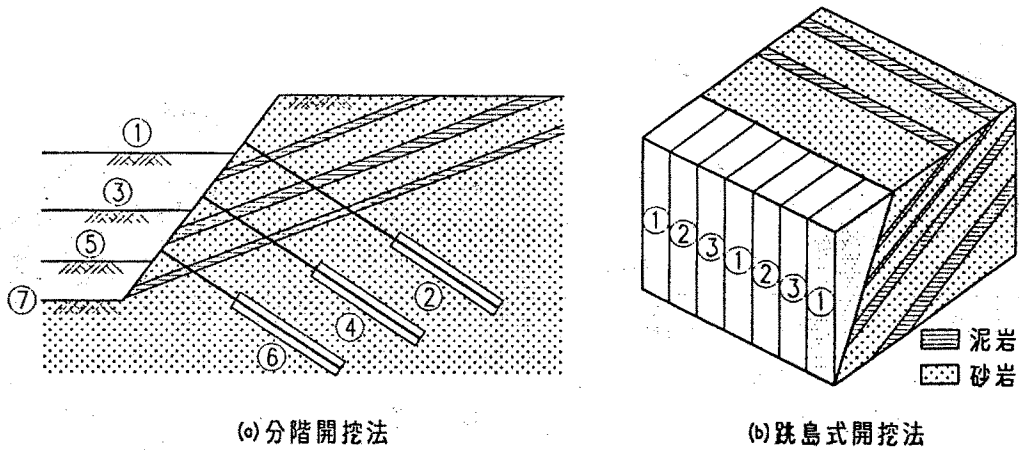


圖 4 順向坡開挖順序示意圖(數字表示施工順序)

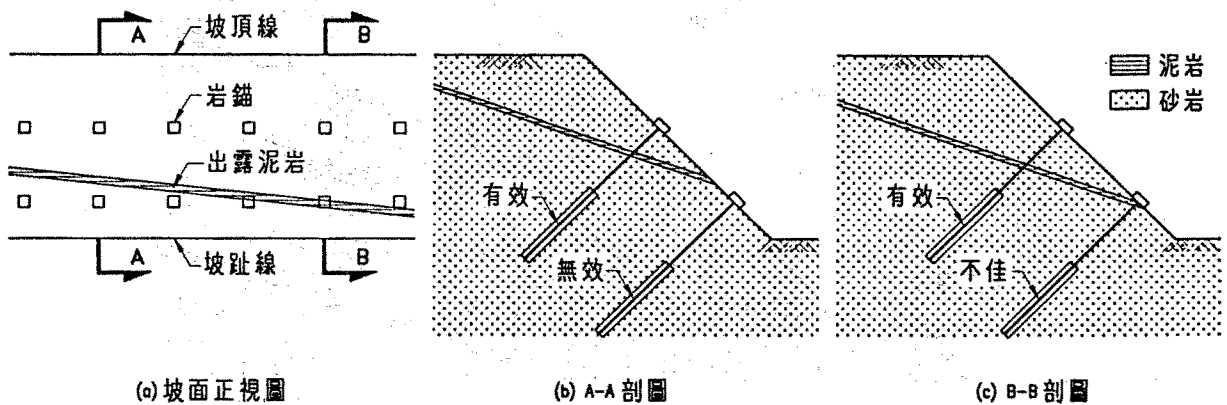


圖 5 岩錨配置及穩定效果示意圖

3. 排樁須設置於泥岩出露位置之上方以截斷弱面，始可有效發揮其穩定作用，在邊坡開挖後排樁配置與岩錨之考量相同，應配合泥岩實際出露情形作適當之調整(圖6)。

3.3.3 土牆

此工法係先開挖邊坡，將泥岩弱面清除，再回填夯實土方，形成類似重力式擋土牆之土體，以截斷滑動面並抵抗邊坡之滑動力(圖7)，本工法最常使用於已發生滑動破壞之邊坡整治工程。土牆之主要優點為其表面於植生綠化後，外觀與自然邊坡無異，較預力岩錨與擋土排樁等具大量混凝土結構物之工法更能符合景觀之要求，且費用較經濟，工期一般亦較短；缺點則為雨天施工不便，受天候影響較大，且需有適當之土方料源。

此工法於砂泥岩互層岩盤之設計與施工注意事項說明如下：

1. 土牆底面下可能於邊坡出露之泥岩弱面必須完全清除，且其背面及底部必須設置完善之排水層，並將地下水疏排至坡趾溝或坡面跌水溝。

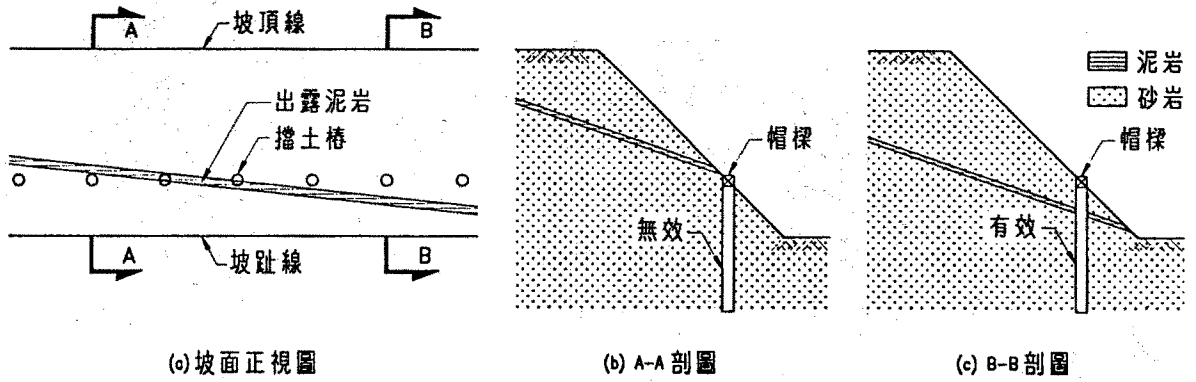


圖 6 擋土排樁配置及穩定效果示意圖

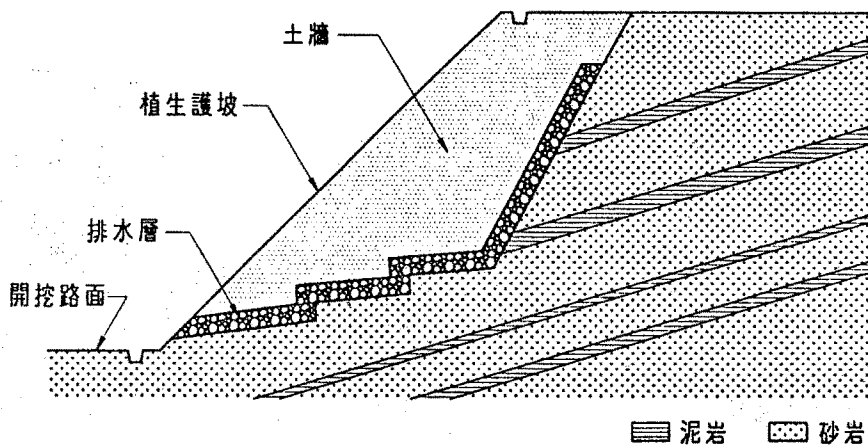


圖 7 土牆示意圖

2. 土牆填築之滾壓夯實必須嚴格要求。若因地權限制，使土牆斷面偏小時，可於土牆內鋪設加勁材料(如地工合成材料)以增加牆體之強度與穩定效果，並可減少施工開挖範圍。
3. 開挖須以跳島式分段進行，以維持牆背邊坡之安全。若坡頂有重要結構物，則土牆開挖前應先設置其他臨時擋土措施。
4. 已完成之土牆須立即進行植生護坡，與設置坡頂截流溝及坡面跌水溝等水土保持措施，以避免雨水沖蝕坡面。

3.3.4 反荷重填土

此工法係於滑動邊坡之坡趾填土作為反荷重，以增加滑動之抵抗力。對於填築於向斜構造砂泥岩互層岩盤上之邊坡，反荷重須填加於向斜軸滑動側之另一翼，始可達到穩定順向坡滑動之效果(圖8)。反荷重填土工法較適用於滑動面深，且滑動力太大之高路堤順向坡滑動。此工法之優點為工程費用低，工期短；缺點則為需大量之土方，且須解決填土區之用地取得問題。

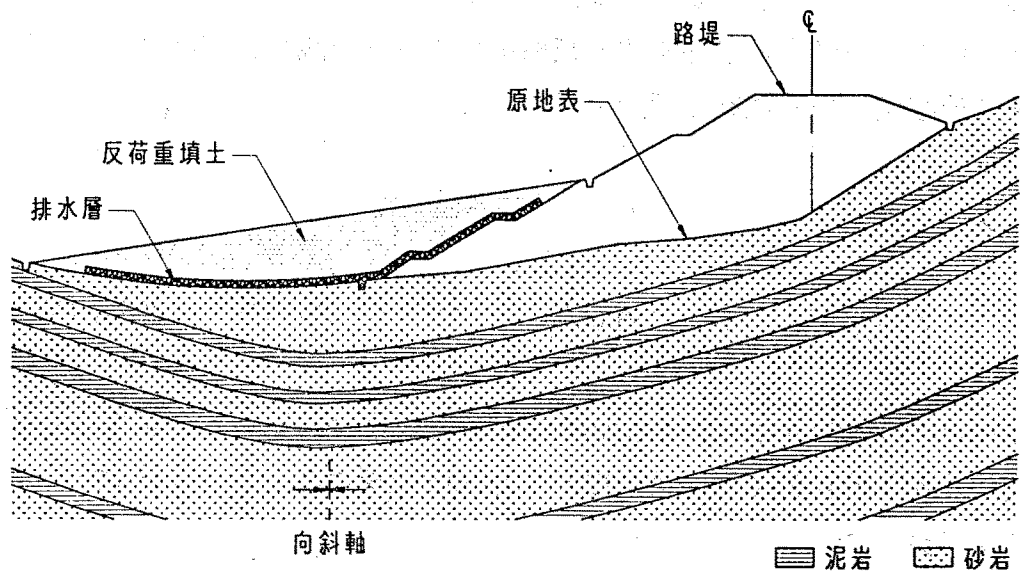


圖 8 反荷重填土示意圖

此工法於砂泥岩互層岩盤之設計與施工注意事項說明如下：

1. 向斜構造位置之調查結果須確實，否則若因調查誤差偏大，而將反荷重填土置於順向滑動側之向斜翼上，反而使順向坡更加不穩定。
2. 填土之前除了原有地表植生、有機土等軟弱土壤必須清除外，底部亦須設置完善之地下排水系統，並將匯集之地下水儘量以重力排水方式疏導至填土區外之排水系統，以免坡趾填土區原有之地表排水系統被截斷或地表逕流入滲而使地下水位升高。
3. 填土必須有適當之滾壓夯實，完成後亦須設置完善之地表排水系統。

3.3.5 岩釘

此工法係於坡面鑽孔，內插鋼筋再灌漿安裝，利用鋼筋之錨碇與加勁效果以抵抗邊坡之滑動破壞。岩釘一般常與施作於坡面之噴凝土或混凝土格樑相連結，其設計與施工可參考Elias et al.(1991)[10]。此工法適用於高傾角有翻倒破壞之虞的逆向坡、淺層滑動之順向坡或因節理發達及破碎程度高而可能發生楔形破壞之邊坡，具有經濟、施工方便之優點，但僅較適合於穩定規模小、滑動面淺與滑動力較小之邊坡。

此工法於砂泥岩互層岩盤之設計與施工注意事項說明如下：

1. 岩釘若作為長期性之穩定措施，則鋼筋必須有足夠厚度之混凝土保護層，且表面宜採鍍鋅或塗環氧樹脂作為二次保護措施，以避免鋼筋銹蝕。此與一般常用於隧道工程之SN岩栓與樹脂岩栓不同。
2. 坡頂若有民房等重要結構物而須嚴格限制其位移量時，岩釘可考慮施加適量之預

力，否則可不施加預力以方便施工，縮短工期。

3. 此工法之開挖順序與岩錨相同，應採用分階與分段跳島式開挖方式，以盡量減少邊坡位移量，並避免施工期間之滑動破壞。

四、結論與建議

本文依據軟弱砂泥岩互層岩盤邊坡之調查、設計與施工經驗，可歸納結論與建議如下：

1. 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盡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。
2. 泥岩因水份入滲軟化與開挖後出露坡面而發生之順向坡平面滑動，為砂泥岩互層邊坡中最常發生之破壞型式。
3. 地質構造對砂泥岩互層邊坡之穩定影響極大，路塹應盡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。調查階段若岩層露頭不足，建議可採用挖掘槽溝或探查坑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，驗證先前之調查結果，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、反荷重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。
5. 泥岩弱面未出露，或坡面與泥岩層走向交角超過20度之開挖邊坡仍有可能發生滑動破壞。設計時仍須考慮坡趾砂岩之厚度與強度，以及開挖坡面旁側之地形變化。
6. 採用岩錨或岩釘工法時，坡面開挖必須配合岩錨或岩釘之位置，採分階開挖施工，必要時更須採分段跳島施工，以避免開挖期間發生邊坡破壞。
7. 擋土排樁與岩錨之設置，須依實際坡面開挖後泥岩層出露之位置而作適當之調整，以有效發揮其穩定效果。
8. 土牆及反荷重填土工法之施工，必須分別確實清除泥岩層及原地表植生或軟弱土層，並同時設置完善之地下排水層，將地下水排出土牆或填土區外，填土亦須確實滾壓夯實。
9. 由於泥岩與頁岩之工程性質相近，本文亦可作為台灣地區中新世至更新世軟弱砂頁岩互層邊坡工程之參考。

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、黃清輝先生與黃立煌先生提供許多寶貴意見，特申謝忱。

參考文獻

- 1.李德河、許琦、周墩堅，「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(1988)。
- 2.Goodman, R.E., Introduction to Rock Mechanics, Second Ed., John Wiley & Sons, New York (1989).
- 3.洪如江、翁作新，「砂頁岩順向坡力學性質與穩定性之研究(二)」，行政院國家科學委員會防災科技研究報告76-40號(1988)。
- 4.Wyllie, D.C., Foundations on Rock, Chapman & Hall, London (1992).
- 5.賴典章，「立體投影圖在岩坡工程上的應用」，地工技術雜誌，第7期，第74-79頁(1984)。
- 6.Guo, W.S., Hsiung, K.I., and Wong, L.W., "Caisson for Slope Stabilization," Proc. of Ninth Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Thailand, Vol. 1, pp.45-56 (1987)。
- 7.熊谷鎰、邱鴻翼、黃立煌，「穩定坡地之沈箱式擋土牆設計」，地工技術雜誌，第17期，第32~44頁(1987)。
- 8.Powell, G.E., Tang, K.W., and Au-Yeung Y.S., "The Use of Large Diameter Piles in Landslip Prevention in Hong Kong," Proc. of Tenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Taipei, pp.197-202(1990)。
- 9.GEO, Guide to Retaining Wall Design, Second Ed., Civil Engineering Department, Hong Kong (1993).
- 10.Elias, V., and Juran, I., Soil Nailing for Stabilization of Highway Slopes and Excavations, FHWA-RD-89-198, Federal Highway Administration (1991)。