

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

子計劃三：膠結不良沈積岩層之邊坡行為(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-009-030-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系

計畫主持人：潘以文

計畫參與人員：劉晉材、吳思鈺

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 24 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

膠結不良沈積岩層之大地工程行為 - 子計畫三：

膠結不良沈積岩層之邊坡行為 (2/3)

Slope Behavior in Poorly Cemented Sedimentary Rock

計畫編號：NSC92-2211-E009-030

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：潘以文 國立交通大學土木工程學系

計畫參與人員：劉晉材、吳思銓 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

年輕軟弱岩盤膠結不良強度低，其邊坡常於豪雨或開挖後常產生各種形態之大小規模岩層滑動破壞。本計畫針對影響軟弱岩石邊坡破壞之材料力學因素加以深入探討。年輕極軟弱岩石中，岩盤內之節理經常較不發達，不少邊坡破壞乃肇因於軟弱岩石之材料力學因素，其邊坡破壞常牽涉到材料弱化、應變軟化導致材料強度降低至殘餘強度、潛變效應、局部應力降伏衍生漸進破壞等材料力學機制。由文獻回饋分析檢討國內卓蘭層砂泥岩互層邊坡之案例，驗證滑動面強度極為吻合殘餘強度。本計畫針對這些因素及其對軟岩邊坡穩定之影響等問題加以探討。

計畫中研製可決定軟岩應變軟化特性與殘餘強度之中空環剪試驗儀器，此一環剪試驗儀可用以進行大剪應變之剪力試驗，可用以進行藉伺服控制之不同型態扭剪試驗。本計畫中已利用環剪試驗儀進行一系列環剪試驗。經由實驗決定之軟岩應變軟化特性與殘餘強度，並配合數值模式考慮軟岩材料之應變軟化力學模式，建立軟岩邊坡數值模擬分析模式，本計畫同時針對軟岩邊坡漸進破壞機制之數值模擬方法加以探討，考慮岩體本身之材料因素與影響岩體外在之環境因素，包含了地下水位變動，岩體風化，坡趾側蝕等因素。期能應用於軟岩邊坡實際問題。

關鍵詞：軟弱岩盤、邊坡破壞、殘餘強度、環剪試驗、漸進破壞

Abstract

Slope failure often occurs in soft rock due to the low strength of the material. This project aims to study the material mechanics of the soft rock relevant to common slope failure in soft rock. Unlike brittle rock, soft rock often contains few joints. Unless for slope failure resulted from structural instability, relevant material characteristics of soft rock related to slope failure may include degradation, strain softening, creep, and local stress failure. This project will investigate these aspects and their effects on slope stability in soft rock.

This project has designed and built a ring shear apparatus appropriate for testing the mechanical behavior and properties of soft rock concerning slope stability problems. Using the ring shear test, both the peak and residual strengths can be obtained. This ring shear apparatus was designed to perform large shearing for soft-rock specimen. A series of experiments were carried out to investigate the degradation and softening behavior of soft rock. Based on the experimental data, the project will establish models for describing the mechanical behavior including degradation and strain softening. Numerical models for the simulation of progressive failure of slope in soft rock were developed. Their applicability in practical slope stability problems was carefully examined through numerical model.

Keywords: Soft Rock; Slope Failure; Residual Strength; Ring shear test; Progressive failure

二、緣由與目的

台灣西部在中北部地區的山地地層大部份都是以年輕的軟弱砂岩分佈。由於此等地層甚年輕，砂岩孔隙大、透水性高，本地區之邊坡常於豪雨或開挖後，於砂岩體內常產生局部之侵蝕破壞或沿泥岩或頁岩面上產生各種形態之大規模岩層滑動。本研究擬針對影響軟弱岩石邊坡破壞之材料力學因素加以深入探討。在年輕極軟弱岩石中，岩盤內之節理經常較不發達，不少邊坡破壞之肇因乃根源於軟弱岩石之材料力學因素。除了偏向於構造不穩定所產生之邊坡破壞（如楔形破壞與翻落破壞），軟弱岩石邊坡破壞常牽涉到材料弱化、因應變軟化材料強度降低至殘餘強度、潛變效應、局部應力破壞衍生漸進破壞等材料力學機制。不少軟岩邊坡破壞發生在軟弱砂泥岩互層之地質條件中，有時候破壞成因是在軟弱泥質岩層因泡水弱化或在累積相當大應變之後，經應變軟化材料強度降低至殘餘強度，失去穩定平衡終於而造成邊坡滑動之加速形成。Wong等(1996)曾以回饋分析檢討國內卓蘭層砂泥岩互層邊坡之案例，驗證滑動面強度極為吻合殘餘強度。

本計畫因此針對這些因素及其對軟岩邊坡穩定之影響等問題加以探討。由現有文獻，若遭遇到軟岩的中空試體幾乎都束手無策，只能採重模方式處理，無法充份代表現地的岩石，本計畫旨在發展適合決定軟岩應變軟化特性與殘餘強度之環剪試驗 (ring shear test) 儀器，已完成儀器之設計與製作。研發此一除扭剪試驗儀可用以進行極大應變之剪力試驗，配合該力學試驗系統之伺服控制，此一環剪實驗儀將可進行應變控制環剪。由於材料力學試驗系統本有完全伺服控制之能力，藉由控制試體之垂直變位，若不准垂直變位發生，隨時伺服控制增或減垂直應力來滿足垂直變位為零，便可作為一套固定體積式的環剪試驗儀。同理，若採用伺服迴路控制方式，隨時檢核垂直應力 (正向應力) 與垂直變位 (正向變位) 之比例，隨時調整正向應力之大小，使正向應力與正向變位之比值保持定值，則可以進行固定勁度之環剪試驗。總而言之，如此之系統將可以進行包括固定正向力，固定體積，與固定勁度三種方式之環剪試驗。除扭剪試驗儀之發展，本計畫同時針對軟岩邊坡漸進破壞機制之數值模擬方法加以探討，考慮岩體本身之材料因素與影響岩體外在之環境因素，包含了地下水位變動，岩體風化，坡趾側蝕等因。素。本年度工作重點在於中空扭轉試驗儀器之研發，已接近完成。研發工作包括軟岩中空試體之製作、邊界條件之控制、伺服控制系統之改良、以及固定正向力，固定體積環剪試驗工作之進行等。

三、結果與討論

中空試體之製作

本計畫原曾經嘗試使用傳統的泡沫取樣，其間發現非常容易失敗，後經嘗試使用乾鑽及特製鑽筒中空試體，業已能克服問題，可成功製作軟岩中空試體，典型鑽出之試體如圖 1 所示，為內徑 4cm，外徑 7.2cm 的中空試體。

儀器設計製作

本計畫設計製作了一套多功能力學試驗系統，系統架構如圖 2，其目標是在同一力學試驗系統上，可分別執行扭剪試驗、單剪試驗、與直剪試驗。本報告僅以扭剪試驗為例，簡要說明儀器設計如下：

1. 試驗機台 (如圖 3a)：其中包括軸向力油壓缸與扭力油壓缸 (如圖 3b)。
2. 『無平面束制』基座

傳統環剪儀均假設儀器上下對心，並未考量上下基座偏心的問題。由於本試驗機器體積龐大，此偏心可能造成試體斷面受不均勻應力與額外之 bending，影響結果甚鉅。由於扭剪試體在試驗過程中不斷旋轉，無法確定之應力將造成解析上的困難，所以本試驗儀選擇將水平面的束制解除。雙向自由運動之上基座如圖 4 所示。本試驗儀中之線性運動均採用 ABBA 生產之自潤式線性軌道，以減少

各部摩擦。各運動部位依衝程、受力狀態不同，選用適當規格之產品，線性軌道如圖 5 所示。

3. 扭力傳遞機制

驅動摩擦力所需位移，遠小於靠材料應變而產生足夠應力抵抗所需之變形。本試驗儀之扭力傳遞，採用摩擦傳遞機制，以求應變損耗之減少，扭力傳遞機制如圖 6 所示。

4. 試體盒

所設計之試體盒乃採橫向束制金屬環來維持 K_0 狀態並允許純扭轉條件，試體置於內、外環圈組之間，內、外環圈組皆是由一組極低磨擦力之滑環所組成 (見圖 7a)。為維持 K_0 狀態，試體與環間的空隙填充石蠟，並確保蠟是否能將試體與環間填滿。本研究將石蠟以隔水加熱的方式融化，並以玻璃針筒採“壓力”注射方式填蠟，效果頗為良好 (見圖 7b)。

5. 試體之固定與扭力傳遞

扭力由底座傳至試體之扭力，由六片嵌入金屬透石之鋼片傳遞。以符合軟岩強度，有效傳遞足夠扭力，如圖 8 所示。

6. 控制系統

控制系統改用類比控制器 MTS458.20，控制與擷取利用同一部 PC 上執行。並以 LABVIEW 寫成操作介面，配合 MTS 油壓系統與資料擷取系統，可以同時執行雙向控制、資料擷取；而得以從事應力、應變與勁度控制試驗，如圖 9 所示。圖 10 為試驗儀組立實況。

試體破壞行為與扭力傳遞機制

前期固定試體方式，係採試體端部嵌入刀片處有明顯張力裂縫，可能影響殘餘強度，本期改用樹脂膠結方式固定試體，效果已大為改良，不再預先出現張力裂縫。目前完成數組固定正向力條件下之扭剪試驗與固定體積條件之扭剪試驗。圖 11 為試體顯示試體受扭剪後破壞情形。約成 45 度角之裂紋相當明顯，行為符合試體扭剪破壞模式，因此扭力傳遞機制確定無誤。

圖 12 顯示試驗結果，此圖中顯示包括不同正向力下之扭力-扭轉角曲線與膨脹曲線，由扭力-扭轉角曲線可觀察到所有試體皆確已達到殘餘強度。

本計畫同時針對軟岩邊坡漸進破壞機制之模擬數值模式方法加以探討。目前亦同步發展模擬軟岩邊坡漸進破壞之模擬策略與方法。圖 13 為其示意圖，擬考慮可造成軟岩邊坡漸進破壞之機制包括材料之應變軟化行為、強度之隨機變化、坡腳之侵蝕、水位反覆升降引起平均水位附近材料之弱化、表層軟岩之風化發展等....。

邊坡漸進式破壞機制模擬

本研究將軟弱岩石邊坡漸進式破壞機制區分為兩大類。第一類為岩體本身之材料因素，包含力學模式中應變軟化的趨勢與材料強度中有隨機變異性的影響。第二類為影響岩體外在之環境因素，包含了地下水位變動，岩體風化，坡趾側蝕等。

軟岩邊坡之漸進式破壞，多由局部邊坡破壞開始。而這些局部破壞，不少乃由於岩石材料強度存在隨機變異性，使邊坡內岩體的應力不能均勻的分布，導致部分區域應力集中，若超過岩體材料之剪力強度時，該區域自然產生局部破壞。

軟弱岩石邊坡發生漸進式破壞機制深受地下水嚴重影響。本研究著重於地下水位高程的變化對軟岩邊坡發生漸進式破壞之影響，並作定性與定量的描述。

暴露於地表岩石受風化作用強度低於未風化時強度，故容易受到各種外在因素影響而產生應力分布不均、應力集中等現象，進而發生局部破壞，誘發漸進式破壞。本研究對因風化作用而使軟岩邊坡強度分布不均，進行模擬。考慮時間效應與垂直深度的影響，風化強度會隨時間衰減，淺層岩體受風化程度遠比深層嚴重，以殘餘土之剪力強度作為岩體在極致風化剪力強度之下限值，但達臨界深度時，則以完整剪力強度為其上限值。

坡腳傾蝕可能源於河川沖刷或路基下陷等，進而觸發漸進式破壞。針對此機制，本研究亦研擬坡趾遭河流側蝕下，坡趾幾何形狀之改變與發展，模擬侵蝕破壞面，考慮側蝕方向的合理性及思考時間對河流側蝕之影響性。

四、計畫成果自評

本計畫設計製作了一套多功能力學試驗系統。就儀器設計而言，本期已改良前期許多出現之缺點，改良控制系統，並已發展成功中空環剪試驗之技術。目前已完成數組固定正向力條件下之扭剪試驗與固定體積條件之扭剪試驗。整體自評，包括儀器研發、製作、與試驗進行工作，皆順利進行，以及軟岩邊坡漸進破壞機制之模擬數值模式研發，實際執行之計劃成果接近原計畫進度。

五、參考文獻

- 蘇英豪 (民國 83 年) 『北二高關西至新竹段沿線邊坡坍塌整治方案彙集報告』，國道建設技術研討會論文集，pp.69-87。
- 顏東利、陳俊樺、秦中天、張文城 (民國 88 年) 『軟弱泥砂岩互層岩盤之公路邊坡整治案例探討』，土工技術，第七十二期，pp.13-22。
- 李程遠 (民國九十二年)，『多功能剪力試驗系統之研發-扭剪部分』，國立交通大學土木工程系碩士論文。民國九十二年六月。
- 曾孝欽 (民國九十二年)，『軟岩用多功能剪力試驗系統之建立-直剪與單剪系統』，國立交通大學土木工程系碩士論文。民國九十二年六月。
- 劉晉材 (民國九十三年)，『軟岩中空環剪試驗之系統研發』，國立交通大學土木工程系碩士論文。民國九十三年六月 (預計)。
- Bromhead, E. N. (1979) "SIMPLE RING SHEAR APPARATUS.", *Ground Engineering*, 12:5, pp.40-44.
- Harris, A.J. and Watson, P.D.J. (1997) "Optimal procedure for the ring shear test", *Ground Engineering*, 30:6, pp. 26-28.

- Ishijima, Y. and Fujii, Y. (1997) "Study of the mechanism of slope failure at Toyohama tunnel, 10 February 1996", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, Proc. of the 1997 36th US Rock Mechanics ISRM Int. Symp. 1997, 34: 3, pp.519.
- Leonards, G.A.; Sotiropoulos, E.S.; Marinos, P.G.; Mourtzas, N.D.; Kountouris, P.J. (1993) "TWO CASE STUDIES OF SLOPE INSTABILITY IN SOFT ROCK" *Geotechnical Engineering of Hard Soils - Soft Rocks*, Proc. of the Int. Symp., Athens, , Greece, A.A. Balkema, pp.1125.
- Negussey, D., Wijewickreme, W. K. D., and Vaid, Y. P. (1988) "CONSTANT-VOLUME FRICTION ANGLE OF GRANULAR MATERIALS." *Canadian Geotechnical Journal*, 25:1, pp.50-55.
- Ohta, H., Ohmori, K., Sakaguchi, K. and Nakamichi, I. (1993) "Long-term behaviour of excavated soft-rock slope" *Doboku Gakkai Rombun-Hokokushu/Proc. of the Japan Society of Civil Engineers*, pp.15-24.
- Sassa, K, Fukuoka, H. and Evans, S. (1996) "Earthquake-induced-landslides: distribution, motion and mechanisms" *Soils and Foundations*, pp. 53-64 .
- Small, C.A. and Morgenstern, N.R. (1991) "Observations of a highwall cut in soft rock, Highvale Mine", *Canadian Geotechnical Conference, Proceedings of the 44th Canadian Geotechnical Conference*, Calgary, , Alberta, Can, pp. 93/1.
- Stark, T.D. and Contreras, I.A. (1996) "Constant volume ring shear apparatus", *Geotechnical Testing Journal*, ASTM, 19, pp. 3-11.



圖 1 典型中空試體

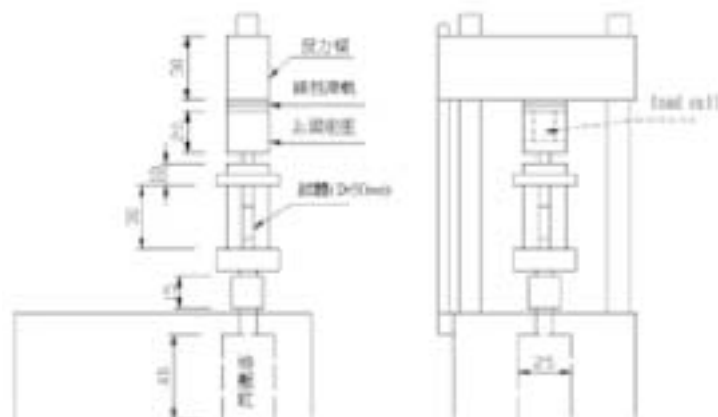


圖 2 系統架構示意圖



圖 3a 試驗機台

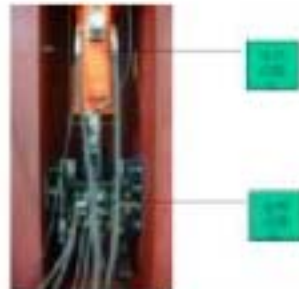


圖 3b 油壓缸



圖 11 試體扭剪破壞情形



圖 4 雙向自由運動基座

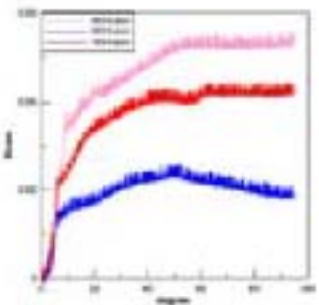
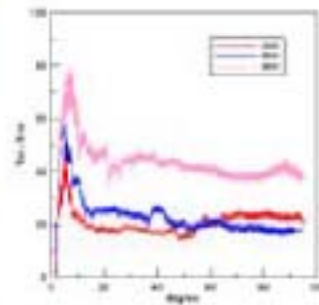


圖 12 不同正向力下扭力-扭轉角曲線與膨脹曲線



圖 5 線性軌道



圖 6 扭力傳遞機制



圖 7 Ko 試體盒

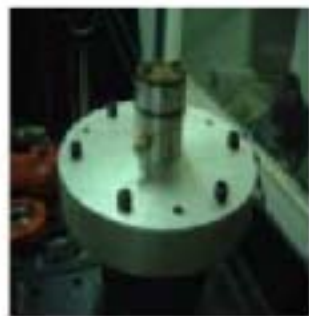


圖 8 試體固定與扭力傳遞



圖 9 操作介面



圖 10 試驗儀組立

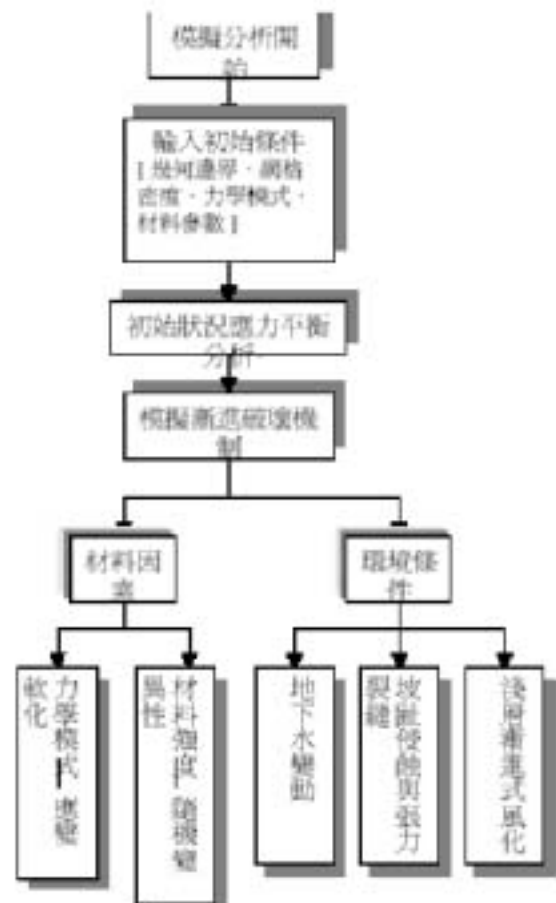


圖 13 軟岩邊坡漸進破壞之模擬機制

