

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(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-024-

執行期間：91年08月01日至92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：李程遠、曾孝欽

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 92 年 5 月 26 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一子計畫三：

膠結不良沈積岩層之邊坡行為 (1/3)

Slope Behavior in Poorly Cemented Sedimentary Rock

計畫編號：NSC91-2211-E009-024

執行期限：91年8月1日至92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：李程遠、曾孝欽 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，其上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。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。軟弱岩石邊坡破壞常牽涉到(1)材料弱化、(2)因應變軟化材料強度降低至殘餘強度、(3)潛變效應、(4)局部應力過度衍生漸進破壞等材料力學機制。本計畫擬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環剪試驗儀器，此一環剪試驗儀將用以進行大剪應變之剪力試驗，並可用以進行藉應變控制之固定剪應變速率潛變試驗。利用環剪試驗儀進行一系列環剪試驗。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，本計畫亦將建立軟岩邊坡分析模式，用以模擬軟岩邊坡經應變軟化材料強度降低至殘餘強度之應力分析與穩定平衡問題，以應用於軟岩邊坡實際問題。

關鍵詞：軟弱岩盤、邊坡破壞、弱化、潛變、殘餘強度、模式

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 (1) degradation, (2) strain softening, (3) creep, and (4) 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. Models for analyzing slope stability appropriate for soft rock will also be investigated. Their applicability in practical slope stability problems will be carefully examined through numerical model.

Keywords: Soft Rock; Slope Failure; Degradation; Creep; Residual Strength; Model

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（1）材料弱化、（2）因應變軟化材料強度降低至殘餘強度、（3）潛變效應、（4）局部應力過度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。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。擬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將用以進行極大剪應變之剪力試驗，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模擬數值模式方法加以探討。

三、結果與討論

儀器設計製作

本計畫設計製作了一套多能力學試驗系統，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 1）：其中包括軸向力油壓缸與扭力油壓缸（如圖 2）。

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 3 所示。固定於反力樑之『無平面束制』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。本試驗儀之扭力傳導，採用摩擦傳導機制，以求應變損耗之減少，扭力傳遞機制如圖 6 所示。

4. 試體盒

傳統試體盒 Bromhead ring shear apparatus 為上下兩片式，使用 0.5-2cm 之薄試體，限制試體破壞面，猶如直剪之限制試體破壞面。本試驗儀使用長形試體，除減少端部效應外，還能讓試體破壞面儘可能自由發展，以長度換取破壞面空間。本計畫所設計之試體盒採橫向束制金屬環來維持 K_0 狀態並允許純扭轉條件，如圖 7 所示。

5. 試體之固定與扭力傳遞

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

6. 扭力計

本計畫所設計試驗儀之扭力計其量測範圍為 1200 lb.-in.、量測誤差小於 1%、扭轉勁度為 1420000 lb.-in./rad.、軸向最大容許承重為 1200 lbs。

7. 操作介面

本計畫所設計試驗儀以 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。多功能力學試驗系統建構流程如圖 11 所示。本計畫執行至今，已完成試驗機制測試流程如圖 12 所示。試體破壞行為與扭力傳遞機制

圖 13 為試體上架（未置於試體盒）照片。圖 14 顯示試體受扭剪後破壞情形。受剪之初，試體產生數十條平行、均佈於試體各高程表面之微裂縫。而後由其中幾條微裂縫發展出縱貫試體全長之裂縫，至上下兩端連結至刀片造成之張力裂縫後試體由外而內剝離、脫落。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 15 顯示實際『加環、灌蠟』測試後試體情況。由於有橫向束制，12 公分長之試體上下相對旋轉 80 度後，試體未見剝離，但約成 45 度角之裂紋相當明顯。

圖 16 顯示初步測試試驗結果，此圖中包括不同正向力下之扭力-扭轉角曲線。

就儀器設計而言，目前之系統機制下，扭力之施加、傳遞已能執行無誤，而試體以金屬環固定橫向體積後之破壞，也大致如預期；惟試體端部嵌入刀片處有明顯張力裂縫，可能影響殘餘強度，仍有改良空間。目前完成兩組固定正向力條件下之扭剪試驗。未來將進行包括固定體積與固定勁度條件之扭剪試驗。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 17 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 。**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，目前之系統機制下，扭力之施加、傳遞已能執行無誤，而試體以金屬環固定橫向體積後之破壞機制，也大致如預期，已測試完成幾組固定正向力之扭剪試驗。整體自評，包括儀器研發、製作、與測試，以及軟岩邊坡漸進破壞機制之模擬數值模式研發，至目前期中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滑整治方案彙集報告』，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』，地工技術，第七十二期，pp. 13-22。
- 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. ; Marinou, 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 試驗機台



圖2 油壓缸



圖3 雙向自由運動基座



圖4 無平面束制基座



圖5 線性軌道



圖6 扭力傳遞機制



圖7 Ko試體盒

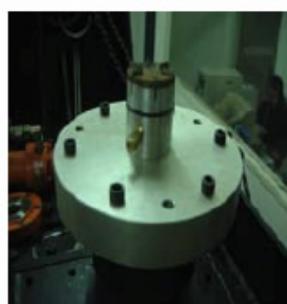


圖8 試體固定與扭力傳遞



圖9 操作介面



圖10 試驗儀組立實況

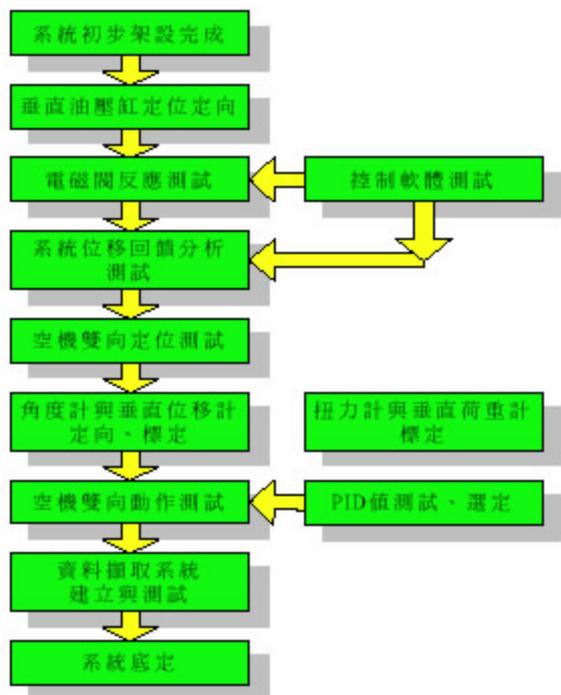


圖11 多功能力學試驗系統建構流程

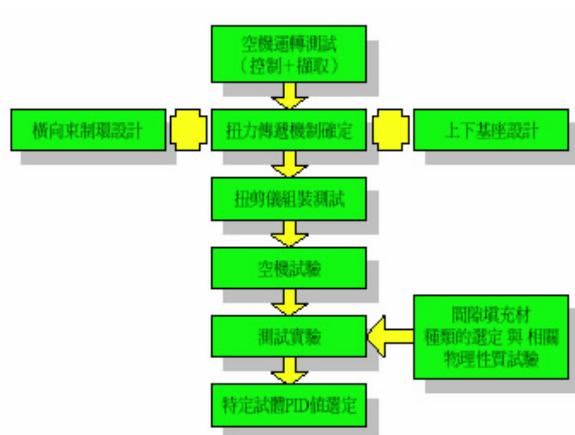


圖12 試驗機制測試流程

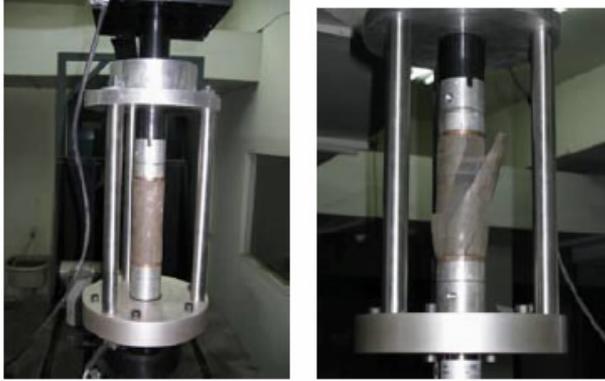


圖13 試體上架（未置試體盒） 圖14 試體扭剪破壞情形



圖15 破壞試體45度裂紋

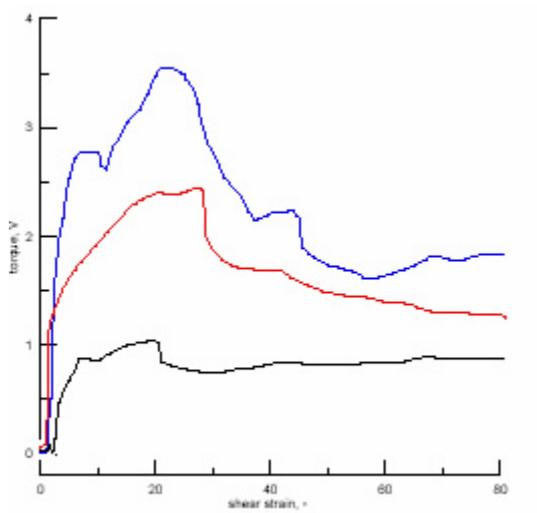


圖16 不同正向力下扭力-扭轉角曲線

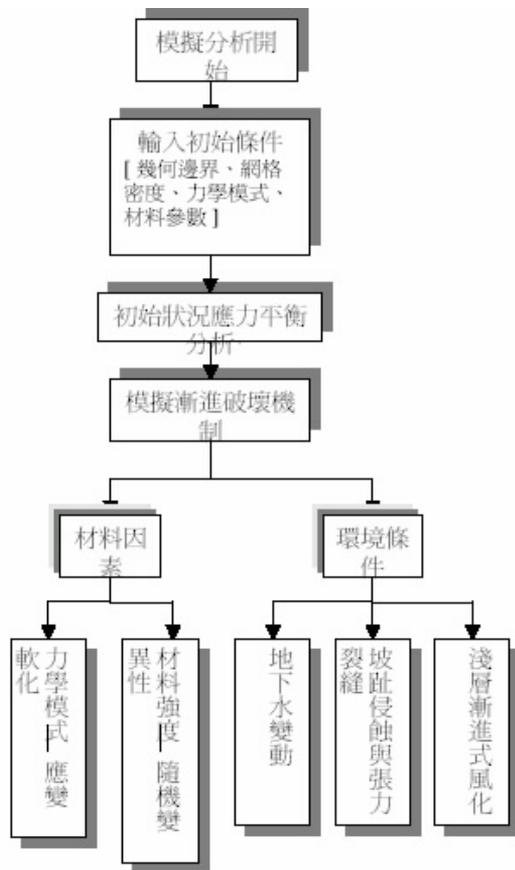


圖17 軟岩邊坡漸進破壞之模擬機制