

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 極軟弱年輕砂頁岩層之力學行為 (III) 子計畫 (二) 極軟弱岩石之力學性質與行為

### Mechanical Properties and Behavior of Very Weak Rocks

計畫編號：NSC 89-2211-E-009-038

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：廖志中 執行機構：交通大學 職稱：教授

#### 一、中文摘要

極軟弱岩石，其組成之岩石普遍具有固結差，膠結不良，遇水極易軟化之特性。台灣中北部地區年輕地層，如卓蘭層級頭嵛山層，涵蓋甚多此類岩石。此類岩石由岩石力學實驗室得到之力學性質與行為，皆無法反應現地岩石之力學性質與行為。由於軟岩之力學性質與土壤或一般之中等強度或高強度岩石有異。是故亦無法完全採用土壤或岩石力學之實驗設備加以求得。

因此，本研究子計畫除於實驗室利用現有之土壤、岩石試驗機(三軸、直剪、單張、壓密...)外，並利用自行研發之軟岩用多功能實驗機(可從事CU、CD、壓密、透水、超音等試驗)及改良直接張力夾等，從事一系列之指標性質試驗及力學性質和行為試驗。以求得軟岩真正之力學性質、指標性質、強度破壞準則、與組合律模式。本研究計畫分三年進行。本報告針對第三年度研究成果所提出，內容包括軟岩用三軸試驗系統修改，小應變量測系統建立，超音波探頭夾具製作及試驗，現地波速試驗，透水試驗，三軸試驗，最後並提出代表性之軟砂岩力學特性及破壞準則。

**關鍵詞：**卓蘭層，頭嵛山層，三軸試驗，透水試驗，指標性質，力學性質，強度破壞準則。

#### Abstract

The outcrops in the northern and central regions of Western Taiwan (e.g., the Pliocene Cholan Formation and the Pliocene-Pleistocene Toukoshan Formation) often contain very weak rocks. The rocks are composed of the poorly cemented sandstone, shale, and interbeds of very thin sandstone and shale. The mechanical properties and behaviors of these rocks are between soils and rocks in the geotechnical spectrum. These properties are not easy to be obtained by employing conventional techniques (e.g. soil or rock tests). In this report, a new hydraulic pressure system for the soft rock triaxial cell was developed. Additionally, a series of experiment results (un-drained triaxial compression tests, permeability tests, ultrasonic tests) were reported. Following the experimental work, the typical mechanical properties, and strength failure criteria for the soft rocks were also presented. **Keywords:** Cholan, Toukoshan Formation, Soft Rocks, Index properties, Mechanical Properties, Failure Criteria

#### 二、緣由與目的

台灣中北部(桃園至台中)麓山帶地區出露之地層，係以上新世之卓蘭層及上新-

更新世之頭嵙山層為主。卓蘭層以砂頁岩互層及砂岩夾薄頁岩層組成。頭嵙山層又可分為二種岩相，即由礫岩組成之火災山相及由厚層砂岩、粉砂岩與頁岩組成之香山相（或通霄砂岩）[1]。此等岩層膠結不良，岩層取樣時，大部分岩樣本身之組織構造其實皆已受到破壞，因此由岩石力學實驗室得到之單壓強度結果一般均甚為散亂（介於 20 至 150Kg/cm<sup>2</sup>），依國際岩石力學協會之定義乃屬於『極軟弱至軟弱』之岩石[2]。

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頁岩面上產生各種形態之大規模岩層滑動[3]。此外，由於此等介乎土壤及岩石間之地質材料之性質與工程行為仍非十分確定，岩體之性質、力學之行為、岩壓之估計、合適之支撐等問題，均仍需進一步研究。

因此，結合其他研究計劃，針對此本土且不易決定之軟岩力學特性加以深入探討。本研究計畫為完成研究目的-力學行為，而自行研發一多功能軟岩用三軸室、及改良以往之研究所得之張力夾具[4]等等。並由上述儀器進行一系列試驗，其試驗結果用以提出真正的頭嵙山香山相或卓蘭層軟岩之室內材料力學性質（彈性係數，單軸強度，剪力強度...），強度破壞準則，組合律模式，以及上述力學性質與指標性質的關係。

### 三、結果與討論

本年度依研究計劃書共完成下列五項主要成果，分別敘述如下：

- (一) 完成一適合軟弱岩石之三軸圍壓系統：本研究計畫第一年研製之油壓缸易於加壓開始階段產生小量脈衝，致使進行 20kg/cm<sup>2</sup> 以下圍壓之三軸試驗不穩定，本年度以三油壓缸平衡方式加以改良已可成功完成小圍壓下之三軸試驗。進行力學試

驗。

- (二) 完成超音波探頭夾具製作及現地波速試驗：為比較岩石材料及現地之波速，並探討軟岩取樣擾動性之影響本研究進室內軟岩超音波量測，並於孔內利用 P-S logger 進行 P 及 S 波之波速量測，並進行單壓試驗，上述三種結果並計算得楊氏模數值加以比較。試驗結果顯示新竹縣寶山某工址之軟岩單軸壓縮試驗結果計算得之楊氏模數(E)介於 59 至 720Mpa 間。而室內超音波試驗結果得之楊氏模數(E)及剪力模數(G)分別為 2600 至 12000Mpa 間及 1400 至 8700Mpa 間。至於 P-S logging 試驗之結果楊氏模數(E)介於 260 至 2300Mpa 間，而剪力模數(G)則介於 87 至 820Mpa 間，經由以上之結果比較可知，室內單壓試驗之 E 值比現地試驗之 E 值低很多，其可能之原因為試體的擾動及解壓或 LVDT 變形量測誤差或試體受水軟化之影響。圖一為典型孔內 P-S logger 進行 P 及 S 波之波速量測之結果。為進行受壓下室內超音波試驗，本年度亦已完成完成超音波探頭夾具製作。
- (三) 完成現地及室內透水試驗及分析：本研究在新竹縣寶山鄉某預定工址附近，利用部份改良(壓力與流量連續控制系統)之透水試驗儀器進行現地透水試驗。為探討軟弱岩層現地與室內透水性之差異，本研究亦利用陳恆祐(1999)發展之室內定流量系統，進行岩心透水試驗。陳恆祐(1999)[5]研製之定流量系統可以利用反水壓來增加試體的飽和度，使試體本身及整個試驗系統沒有空氣存在及為與現地岩層性質一致利用圍壓來模擬現地覆土壓力之情

況。此室內透水試驗為取至鑽孔編號 B-2-1 之岩樣，雖其與現地透水試驗鑽孔編號 B-2 之孔位不相同，但兩孔沿走向方向僅相差 10 公尺，因此甚易比對得相同岩層。鑽孔編號 B-2 其在深度 3.2~7.0 m 的現地透水試驗與配合的鑽孔編號為 B-2-1 其深度在 10.4~13.5 m 的室內透水試驗，結果分別為 40.9 lugeon (約  $4.0 \times 10^{-4}$  cm/s) 與  $3.0 \times 10^{-4}$  cm/s，其滲透係數值現地試驗略大於室內試驗，不過差距不大。其可能的原因是此段的現地透水試驗 (3.2~7.0m) 屬於同一地層的黃棕色膠結不良砂岩，能夠表示同一種岩性的透水性，惟現地透水試驗段可能含層面或節理，而室內試驗為完整的試體，故現地透水試驗的滲透係數略大於室內透水試驗。另外，鑽孔編號 B-2 其在深度 7.0~12.4m 的現地透水試驗，與鑽孔編號 B-2-1 深度在 15.3~15.7 m 的室內透水試驗結果分別為 14.13 lugeon (約  $1.4 \times 10^{-4}$  cm/s) 與  $9.0 \times 10^{-6}$  cm/s，兩者相差約 10 倍。其主要的原因可能是此段 (7.0~12.4 m) 的現地透水試驗有破碎的黃色泥岩、灰色泥岩、黃棕色泥質砂岩與灰色泥質砂岩的互層，水容易沿著層面或破碎帶流出；而室內透水試驗採用 15.3~15.7 m 完整的灰色泥質粉砂岩試體，所以現地透水試驗的結果比室內透水試驗結果大。

- (四) 完成小應變量測系統建立：為量測三軸試驗時極小之應變值，本計畫前二年以室內 LVDT 進行量測，但當應變值小於 0.001 實則不穩定，本年度則由裝設於試體中段的二個 Proximity

Transducer System 加以量測軸向應變 ( sensitivity = 200mV/mil; 美國 BENTLY NEVADA )，其範圍在 2mm 內，且此系統可線性將 output 電壓輸出在在 0V~20V。Proximity Transducer System 反應試體變形輸出一電壓訊號，先經由 Hp 電表 ( HP 34401 Multimeter ) 量取電壓後，再經由 HP 擷取卡直接將訊號轉為數位後由電腦處理和記錄。使用此量測系統我們可量測至 0.0001 的應變量。

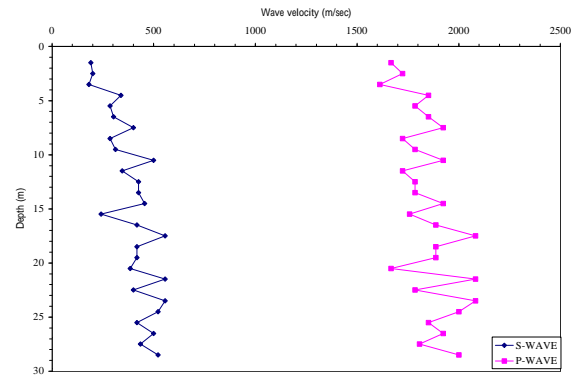
- (五) 完成完成新竹縣寶山某工址軟岩之三軸試驗等及強度破壞準則：本研究綜合三軸試驗、單壓試驗及直接張力試驗之結果，以常用 Mohr-Coulomb 及 Hoek-Brown 之強度破壞準則加以檢討其適用性。二種皆尚適用於軟岩，圖二為其中之一三軸試驗結果。

#### 四、計畫成果自評

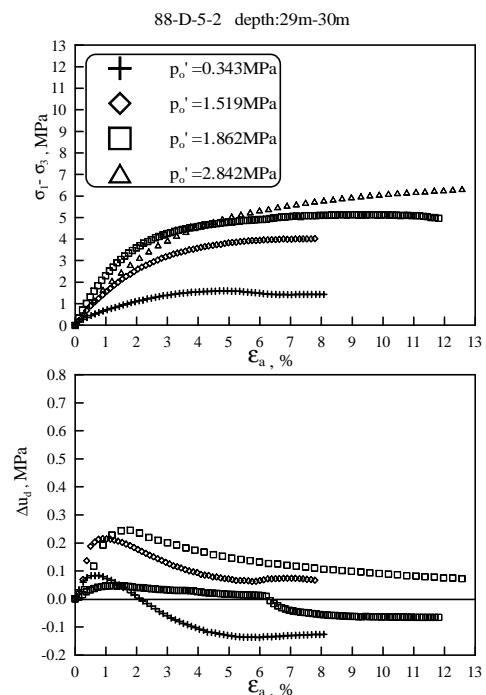
本研究計劃為三年期之研究，針對台灣地區軟弱砂岩之力學行為加以探究，以提供土木工程分析、設計之參考。原定計畫主要目標(第三年)為軟岩用三軸試驗系統修改，小應變量測系統建立，超音波探頭夾具製作及試驗，現地波速試驗，透水試驗，三軸試驗，最後並提出代表性之軟砂岩力學特性及破壞準則。延續上年度之成果及經一年之努力，階段性目標大多已完成，詳細成果可見於本校本年度之碩士論文(蘇誌宗[6])、本年度發表於北美岩石力學研討會及本年度將發表於 2000 年岩盤工程研討會之論文[7,8]。由於已完成自行研發之軟岩用多功能實驗機及進行一系列之試驗後，實驗結果與研究群之現地試驗結果顯示具有創新性，結果準備投稿至國際期刊。

## 五、參考文獻

- [1] 何春蓀，台灣西部麓山帶地質，地工技術，第二十期，第 80-98 頁，民國 76 年。
- [2] Johnston, I.W. “Soft Rock Engineering” in *Comprehensive Rock Engineering*, Vol.1, pp.367-393, 1993.
- [3] 蘇英豪，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，民國 83 年。
- [4] Liao, J.J., Yang, M.-t., and Hsieh, H.-Y, “Direct Tensile Behavior of a transversely Isotropic Rock,” *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* No. 5, pp. 847-849, 1997.
- [5] 陳恆佑，軟弱岩石之滲透性質及滲流對微組織構之影響，國立交通大學土木工程研究所，民國八十八年。
- [6] 蘇誌宗，軟弱岩之層現地力學及水力性質，國立交通大學土木工程研究所，民國八十九年。
- [7] Huang, A.B., Liao, J.J., Pan, Y.-W., Cheng, M.H., Hsieh, S.Y., and Peng, J.K.(2000), “Charac terization of Soft Rocks in Taiwan,” *Proceedings of the 4<sup>th</sup> North American Rock Mechanics Symposium*, July 31-August 3, Seattle, U.S.A., pp. 83-90.
- [8] 廖志中、林忠義、黃安斌、潘以文、蘇誌宗、徐世定 (2000), “軟弱岩層之現地透水特性,” 2000 岩盤工程研討會論文集，民國 89 年 11 月，台中。



圖一、典型孔內 P 及 S 波之波速量測之結果



圖二、代表性三軸試驗結果