

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 (II) 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 88-2218-E-009-037

執行期限：87年8月1日至88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，如年輕砂岩、頁岩、及砂頁岩互層，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。因此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。是故無法完全採用土壤或岩石力學之實驗設備加以求得。台灣中北部地區年輕地層，如卓蘭層級頭崙山層，涵蓋甚多此類岩石。

因此，本研究計劃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。本研究計畫擬分三年進行。本報告針對第二年度研究工作成果所提出。內容包括研發軟岩用直接張力夾具及進行軟砂岩之直接及間接張力試驗，並利用上年度完成之軟岩用三軸試驗系統於岩石試驗機(MTS 810)下進行一系列之軟砂岩不透水三軸試驗（量測超額孔隙水壓及小變形），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，頭崙山層，砂岩，頁岩，

砂頁岩互層，指標性質，力學性質，強度破壞準則，組合律模式

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 interbed 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 tensile gripper for soft rocks was developed. Additionally, a series of experiment results (direct tensile tests, Brazilian test, un-drained triaxial compression tests) using conventional rock testing machine (MTS 810) were reported. Following the experimental work, the typical mechanical properties, and strength failure criteria for the soft sandstone were also presented.

Keywords: Cholan, Toukoshan Formation, Sandstone, Shale, 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。頭嵙山層又分為二種岩相，即由礫岩組成之火炎山相及由厚層砂岩、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/cm²)，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。本研究子計畫為完成研究目的-力學行為，而擬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]。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直接張力夾具及附屬之變形量測設備，並以台中大坑地區之卓蘭層砂岩進行一系列之直接張力試驗，探討其張力行為。本研究研製之張力夾具如圖一所示，其中接頭C由雙瓣圓球座組成。本研究之張力夾具並經偏心測試，結果如圖二所示為一穩定之產品。本研究採用台中大坑地區之新鮮砂岩塊，經實驗室鑽取後，進行力學試驗。實驗結果顯示，直接張力試驗得之應力-應變曲線具非線性之關係，在應變量0.1%以下即產生張力破壞。微小應變階段0.005%之變形似乎較具線性，其楊氏模數較壓力狀態之楊氏模數低，顯示軟岩具有材料之雙模數特性。其岩心張力強度介於0.05MPa至0.58MPa之間，單壓強度約為張力強度之15-40倍，而軟岩之張力強度亦因含水量增加而有降低之趨勢，圖三為一本研究典型之軟砂岩張力應力應變曲線，詳細結果可參考文獻[5]。

(二) 完成軟砂岩張應力應變關係模式。本研究以雙曲線模式表現軟砂岩張應力應變關係之力學組成律，並以試驗結果加以標定。關係式如下：

$$\sigma = \frac{\varepsilon}{a_1 + b_1 \varepsilon}$$

其中， σ ：張應力， ε ：應變量， a_1 及 b_1 ：常數，

$$E_{ii} = \frac{1}{a_1}, \quad \bar{\sigma}_u = \frac{1}{b_1}$$

E_{ii} 為應力-應變曲線初始之切線模數， $\bar{\sigma}_u$ 為應變量趨近無限大之極限應力。得到此兩項參數則可完整地描述一條以雙曲線函數模擬的應力-應變關係。本研究採用應力-應變曲線於應變量0.005%內之平均切線模數代表軟砂岩應力-應變曲線之初始切線模數。典型之直接張力應力-應變曲線並無水平漸進段，因此 $\bar{\sigma}_u$ 無法直接由圖得之，本文則以試誤法得到此參數。以試體426B1為例，其 $E_{ti}=535\text{MPa}$ ，故得 $a_1=100/535=0.187$ 。經由試誤法得426B1

雙曲線函數之水平漸進線約為 0.34MPa 左右，因此 $b1=1/0.34=2.941$ 。本試體之應力

應變曲線可表為
$$\sigma = \frac{\epsilon}{(0.187 + 2.941\epsilon)}$$
，其中 $\sigma \leq \sigma_f = 0.092$ [5]。

(三) 完成部分軟砂岩之基本物性及三軸不排水試驗。本研究利用自行設計設計之軟岩用三軸試驗系統，採用台中大坑所取得之岩塊於室內鑽心取得試體，進行一系列之壓密不排水三軸試驗及基本物性試驗。圖四為本研究軟砂岩典型之應力應變及超額孔隙水壓關係圖。綜合所有實驗結果顯示約在 3MPa 圍壓下本研究使用之砂岩試體之裂縫大多已閉合， E_{max} 約為 1500-3500 MPa、 E_{max}/σ_c 值約為 700-2500、 E_{max}/q_{max} 值約為 100-350 (σ_c 為圍壓值， q_{max} 為最大軸差應力)。軟岩之彈性模數隨應變量增大而明顯減小，表示變形性為非線性。在相同有效圍壓下，孔隙率高之試體應力應變屬於延性行為，孔隙率低屬於脆性行為且剪力強度較高。若試體存在細微裂縫則在低圍壓下初始應力應變曲線會有凹口向上的情形。在低圍壓下軟弱砂岩之尖峰強度與殘餘強度隨圍壓上昇而呈線性增加。本項詳細結果可參考文獻[6]。

(四) 完成部分無圍壓下軟砂岩之超音波試驗。本研究採用之軟弱砂岩屬中至細砂，顆粒粒徑介於 2~0.075mm 之間，且膠結不良，孔隙率大，進行超音波試驗困難度很高，不易量測到波形，本試驗進行室內無圍壓超音波 P 波波速試驗，結果顯示 P 波波速約為 1050-1250m/sec 採用彈性理論得其動態 E_d 值約為 3000MPa 至 4000MPa 之間。本研究試體之無圍壓超音波試驗得到之 E_d 大約介於 3000MPa 至 4000MPa 之間，約高於三軸 CU 試驗之 E_{max} ，其原因可能是因為試體進行超音波試驗時已氣乾的緣故，和三軸 CU 試驗之試體條件不同，所以得到的彈性模數較高，建議應於三軸室內施作試體在三軸應力下已飽

和之超音波試驗[5, 6]。

(五) 完成台中大坑地區卓蘭層軟砂岩之強度破壞準則。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。以 DAK A 試驗結果 (有效應力) 為例，得到 Mohr-Coulomb 之 $\phi = 38.4^\circ$ 、 $c = 0.57\text{MPa}$ ，Hoek-Brown 之 $m = 11$ 、 $S = 1$ ，而 Hoek and Brown[7] 原來對砂岩之建議值 $m = 15$ 。比較兩種破壞準則，以 Hoek and Brown 較適於用來描述軟岩之剪力強度。圖五為由 DAK A 三軸試驗、單壓試驗、及直接張力試驗結果顯示之曲線[5, 6]。

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。原定計劃主要目標(第二年)為研發軟岩用直接張力夾具及進行軟砂岩之直接及間接張力試驗，並利用上年度完成之軟岩用三軸試驗系統於岩石試驗機(MTS 810)下進行一系列之軟砂岩不透水三軸試驗(量測超額孔隙水壓及小變形)，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(張志勇及黃惠儀[5, 6])、及本年度發表於第八屆大地工程研討會之一篇論文[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。

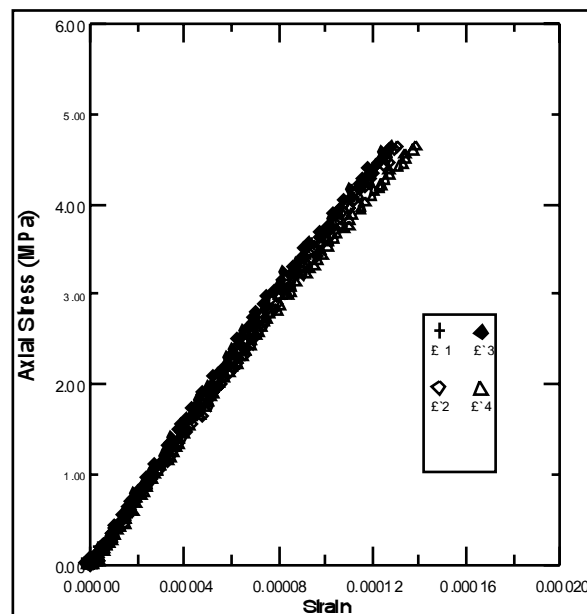
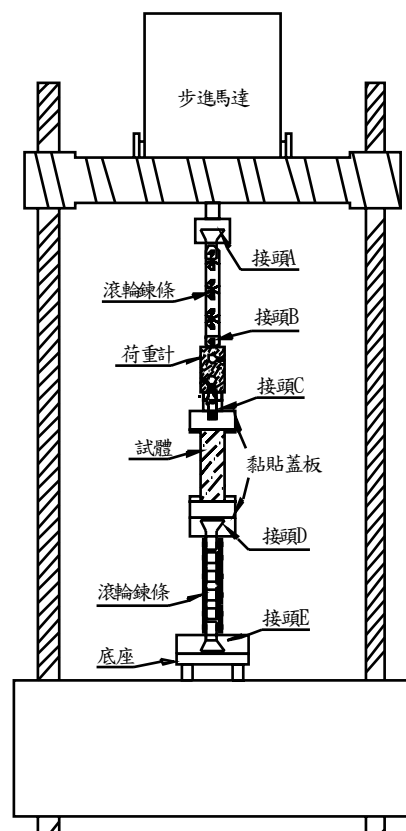
[4] Liao, J.J., Yang, M.-t., and Hsieh, H.-Y, "Direct Tensile Behavior of a transversely Isotropic Rock," *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.* No. 5, pp. 847-849, 1997.

[5] 張志勇，軟弱岩石之張力行為，國立交通大學土木工程研究所，民國八十八年。

[6] 黃惠儀，軟砂岩之三軸試驗，國立交通大學土木工程研究所，民國八十八年。

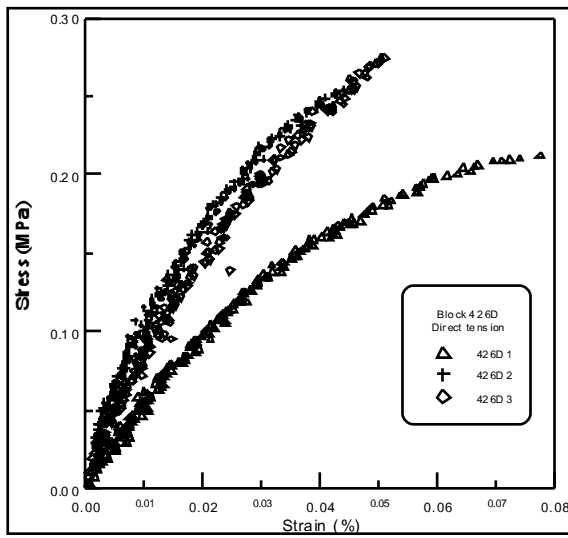
[7] Hoek, E. and Brown, E.T., "Empirical Strength Criterion for Rock Masses," *Journal of Geotechnical engineering Division*, ASCE, Vol. 106, No. GT9, pp. 1013-1035, 1980.

[8] 黃惠儀、柳政男、廖志中、黃安斌、潘以文(1999)，"軟岩用三軸試驗系統研製"，第八屆大地工程學術研究討論會

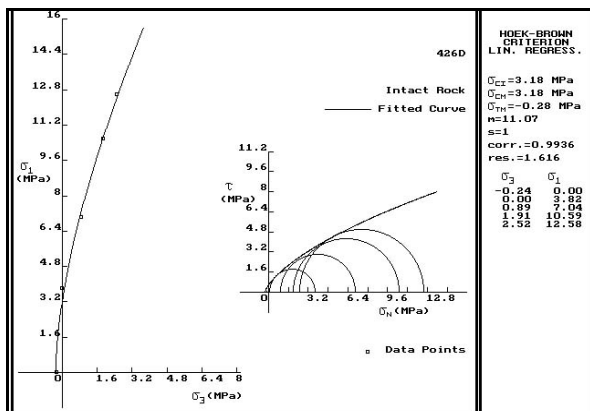
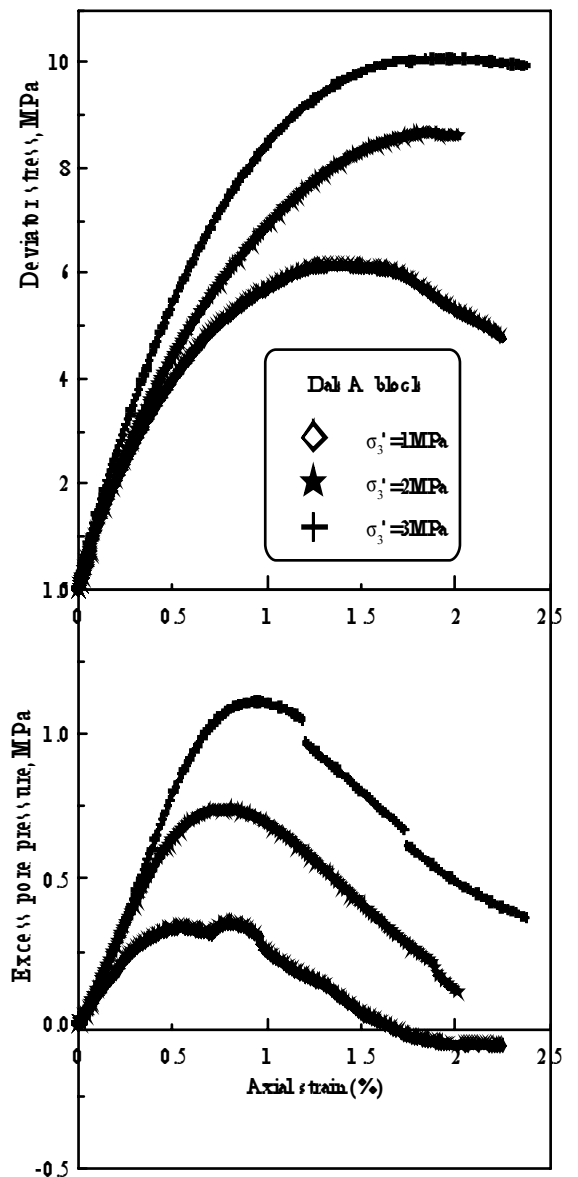


圖一、張力夾具示意圖

圖二、張力夾具偏心標定



圖三、直接張力張應變曲線 (DAK D)



圖五、DAK A 強度破壞準則(Hoek-Brown)

圖四、應力、應變及超額孔隙水壓曲線
(DAK A 三軸不排水試驗)