

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—總計畫 Mechanical Behavior of Very Weak Sandstone and Shale

計畫編號：NSC 87-2218-E-009-041

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：潘以文、黃安斌、廖志中

李煜舫

田永銘

國立交通大學土木工程學系

中華大學土木工程學系

國立中央大學土木工程學系

一、中文摘要

台灣北、中部麓山帶地區出露之地層(如上新世之卓蘭層及上新-更新世之頭嵛山層)常含極軟弱之砂岩、頁岩層,或其互層,地質年代上甚為年輕,一般強度在『極軟弱至軟弱』之範圍。由於此等岩層膠結不良,不易取樣,亦使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,有鑑於此類地層常發生大地工程災害,探究其原因乃因對於此類地層之力學特性與力學行為等並未完全掌握。本研究計畫因此分由以下五個子計畫之研究進行整合性之研究。

(一) 極軟弱岩石取樣與現地試驗技術之研發

(二) 自然岩層之力學性質與行為

(三) 極軟弱砂岩之材料弱化機制與依時性力學行為

(四) 重模材料之力學行為

(五) 互層岩體之力學行為

本整合性計畫預計共進行三年,本報告提出第一年度研究工作成果。

關鍵詞：砂岩層、頁岩層、年輕之地層、

極軟弱岩石、軟岩、力學行為、工程性質

ABSTRACT

The outcrops in the northern and central foothill regions of Western Taiwan (e.g., the Pliocene Cholan Formation and the Pliocene-Pleistocene Toukoshan Formation) often contain very weak sandstone, shale, and their alternated formation. The strengths of these young formations lie within the "very weak" and "extremely weak" range. Because of their marginal behavior, these materials should be treated together with rock mechanics and soil mechanics. In general, their mechanical behavior is not well understood.

This research aims to study the key issues relevant to the engineering properties, engineering behavior, and engineering analysis concerning the young formations in three years. The grouped research project includes five topics as follows.

1. Techniques of Sampling and In-situ Test for Very Weak Rocks
2. Mechanical Behavior of Very Weak Rocks
3. Degradation Mechanism and Time-dependent Behavior of Very Weak Sandstones
4. Mechanical Behavior of the Reconstituted Very Weak Rocks
5. Mechanical Behavior of Interbedded Rock Masses

This report summarizes the first-year research results of the three-year project.

Keywords: Sandstone, Shale, Young

Formation, Very Weak Rocks, Soft

Rocks, Mechanical Behavior,

Engineering Properties

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,除未固結之紅土礫石層、台地堆積層、河床沖積層等以外,係以上新世之卓蘭層及上新-更新世之頭嵛山層為主。卓蘭層以砂頁岩互層及砂岩夾薄頁岩層組成。頭嵛山層又可分為二種岩相,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)。而本省西南部麓山帶地區亦有性質相類似之六雙層砂頁岩互層。此等岩層在地質年代上均屬於甚為年輕之地層,普遍具有固結差,膠結不良、遇水極易軟化之特性。

由於此等岩層膠結不良,再加上國內岩層取樣時多採用水為介質,以致使鉆探取得之岩樣,普遍

含水量均過高(失真),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~ 150 kg/cm²)。而由於厚層砂岩內常夾薄層之頁岩(香山相)或常形成砂頁岩互層(卓蘭層、六雙層),取樣過程欲明確鑑別薄頁岩層之存在亦十分困難。

有鑑於此類地層常發生大地工程災害,探究其原因乃是對於此類地層之力學行為、力學特性、材料組成律等未完全掌握,而未採用適合之分析方法及施工方法所致。本整合型計畫因此嘗試探討以下問題:如何取得完整不擾動的試體?如何獲得足具代表性之岩石性質(包含自然及岩石之岩相組成,剪力強度,應力-應變行為,透水性,波速,依時行為,砂頁岩界面的力學特性)?其弱化機制如何?力學行為如何?如何估計岩石經重模後材料之力學特性及最佳之夯實方法?工程分析所需之力學參數如何研訂?

為探討這些問題,因此組成研究群,分由以下五個子計畫進行整合性之研究:

- (一) 極軟弱岩石取樣與現地試驗技術之研發
- (二) 自然岩層之力學性質與行為
- (三) 極軟弱砂岩之材料弱化機制與依時性力學行為
- (四) 重模材料之力學行為
- (五) 互層岩體之力學行為

三、結果與討論

A. 軟弱岩石取樣與現地試驗技術研發

台灣中北部麓山帶地區出露之地層多屬極軟弱年輕之砂岩層普遍具有固結差,膠結不良之特性。岩層取樣過程對岩樣本身之組織構造可能已造成破壞。岩石力學實驗室得到之單壓強度結果一般均甚為散亂。側壓儀試驗是一種現地試驗的方法,因為無需取樣,應該可以避免許多與取樣相關之困難。作者在四個試驗場址進行了一系列之現地預鑽式側壓儀試驗(PMT)來評估使用此種方法決定軟弱岩石工程性質之成效。結果顯示無論從 PMT 結果之特性或理論之解釋來看,所進行試驗之軟岩應該偏向於高凝聚性緊密土壤材料之行為。但是室內三軸與直接剪力試驗結果則顯示軟岩偏向於摩擦性材料之行為。發生此現象之可能原因為,三軸與直接剪力試驗中都對試體施加一圍壓或正向壓力。除鑽探過程中岩心之擾動與弱化之外,這些室內試驗過程中之加壓可能進一步破壞岩心內之膠結而使其改變成摩擦性材料之行為。而單向壓縮試驗與現地之 PMT 試驗中之岩體未受此加壓程序之破壞,則仍保持部份之凝聚性[1-2]。

B. 自然岩層之力學性質與行為

由於極軟弱岩層膠結不良,鉆探取得之岩樣,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力學性質與行為,皆無法反應現地岩石之力學性質與行為。此外,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,例如岩石力學所採用的類似不排水三軸試驗,可能無法完全適用於透水性高之軟弱,膠結疏鬆砂岩,而一般採用的土壤三軸試驗儀器,由於其軸向及圍壓加載能力不足,更無法適用於一般之軟弱砂岩。

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),單剪試驗機,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。研究內容包括研發軟岩用多功能實驗機,及利用岩石試驗機(MTS 815)進行部分力學性質和行為試驗[3-5]。

C. 材料弱化機制與依時性力學行為

軟砂岩於特殊外在條件下材料可能弱化,使強度下降或變形性增加。又因此材料之強度與變形性受其依時性力學行為之影響,工程上採用的設計參數亦應考慮時間效應之影響。本研究即針對砂岩在模擬乾溼循環弱化的過程中,嘗試以微觀方式量測組織的變化,探討微觀現象與巨觀力學性質之間的關係。以乾溼循環模擬弱化後的試體進行單壓試驗及波速量測,並製成岩樣切片觀察微組織變化。將軟弱砂岩微觀組織變化與巨觀力學性質交叉比對,推測岩石單軸壓縮強度下降,可能因細顆粒填充物析出並導致裂隙的增加造成的。隨著乾溼循環次數的增加,強度逐漸降低,而斷面孔隙的大小則趨向較為固定,由微觀量測推論大顆粒可能逐漸崩解為小顆粒,顆粒本身的稜角也變的較不明顯,顆粒間較易滑動所致。

本研究又改良傳統呆重式潛變試驗設備,使其適於進行控制應變速率之載重試驗型態。由試驗發現,尖峰強度與初始彈性模數隨破壞時間增加或應變速率減少而下降。比較所擷取之聲射累計數發現,應變速率愈低累計聲射事件數愈高,反映潛變效應造成材料累積損壞增加而影響力學性質,似宜以連體損壞力學模式之概念來描述之。本研究因而嘗試以連體損壞力學理論為基礎,加入時間因素導出依時性力學模式,來詮釋並預測軟岩材料受加載速率影響之強度及變形性。由該模式對試驗結果之模擬與比較,可看出確實可合理描述極軟弱砂岩與

應變率相關之應力應變行為[6-8]。

D. 重模材料之力學行為

本研究目的在探討膠結疏鬆的軟弱岩層用為回填材料時，可能之行為與工程特性。本年度成果提出新竹地區頭嵙山層香山相極軟弱年輕砂、頁岩的重模物理性質與力學行為。研究的內容包含極軟弱砂、頁岩的重模混合配比中泥質含量與含水量的變化，針對一定的夯實程度分析探討其物理性質與力學行為等特性。

經研究結果得知，在重模軟弱砂、頁岩之物理性質方面，依土壤分類法可分別為SM與CL-ML，屬於黃棕色粉質細砂岩與灰棕色頁岩類，其比重約在2.64與2.61間。由標準夯實試驗結果得知，隨著重模混合配比中泥質含量的提高，有增加最大乾單位重的趨勢，其中最佳含水量約在10.95%和13.58%之間，最大乾單位重則分別在1.74和1.82 g/cm³間。

重模材料滲透係數k值隨泥質含量的提高(含量0%-60%)，有明顯降低的趨勢($k=10^{-3}-10^{-7}$)；並在最佳含水量之濕側約2%的含水量處，k值即成現一穩定數值。根據無圍壓縮試驗結果顯示，單壓強度隨著泥質含量(0%-100%)的提高，則有明顯升高的趨勢(0.2-4.0 kgf/cm²)；然泥質含量較多時，於最佳含水量的濕側增加2%的含水量，卻使單壓強度降低約50%，而泥質含量較少時則約降低20%。另一方面單壓強度亦隨著最大乾單位重的提高而有增加的趨勢，相反地隨孔隙比的提高而遞減[9-10]。

E. 互層岩體之力學行為

岩石由於層理或次生面理的發育，造成岩石在不同方向有力學性質之異向性(anisotropy)。由於在自然界不易取得膠結不良、岩性軟弱的天然岩石，且現地砂頁岩互層的規模通常遠大於實驗室試體，因此很難自現地取得數量足夠之試體以進行力學試驗。本研究採用水泥、石英砂、高嶺土等材料調配不同的配比製作類岩材料。根據模型相似律。

選擇強度比 (σ_c / σ_t) 、模數比 (E / σ_c) 、應力應變行為作為模擬材料以進行相關之試驗研究。

本研究亦參考天然軟弱砂頁岩互層的強度，取用天然砂岩及天然頁岩，以不破壞其原有碎屑顆粒為原則，搗碎後，使用模擬材料的配比，製作厚度為3mm薄砂頁互層試體，並以一系列力學試驗，探討其力學性質。本研究嘗試利用直接剪力試驗及單壓試驗，以量測互層岩體的界面性質，配合理論的分析探討軟弱砂頁岩互層力學行為。由實驗結果得知，互層岩體受界面接合程度影響甚大，完全接合所得的理論與試驗值會有很大的差異[11-13]。

四、計畫成果自評

本計畫為三年期整合性計畫之總計畫；此整合性計畫之研究分成五個子題。本研究計畫因此結合不同專長之研究人員，分由以下五個子計畫之研究進行整合性之研究。

- (一) 極軟弱岩石取樣與現地試驗技術之研發
- (二) 自然岩層之力學性質與行為
- (三) 極軟弱砂岩之材料弱化機制與依時性力學行為
- (四) 重模材料之力學行為
- (五) 互層岩體之力學行為

本整合性計畫預計共進行三年，本報告提出第一年度研究工作成果。此整合性計畫參與計畫共同主持人共五名，以群體研究，相互支援的方式進行整合性研究工作，第一年業以儘量達到資源整合與經驗交流之目標，且在各研究子題上均大致達到了預期之目標。

五、參考文獻

- [1]林文森(1998)：「軟弱岩石中之側壓儀試驗」，碩士論文，國立交通大學土木工程系，新竹。
- [2]黃安斌、林文森、孫一鴻、彭瑞國，(1998)：「軟弱岩石中之側壓儀試驗」1998岩盤工程研討會論文集，第159-168頁，新竹交通大學，民國八十七年。
- [3]陳賀瑞，中北部地區極軟弱砂岩之物理與力學性質之初步探討，國立交通大學土木工程研究所，民國八十六年。
- [4]柳政男，軟岩多功能儀器研發與軟砂岩基本性質之探討，國立交通大學土木工程研究所，民國八十七年。
- [5]陳賀瑞及廖志中，軟弱砂岩受壓下之應力應變行為，1998岩盤工程研討會論文集，第169-179頁，新竹交通大學，民國八十七年。
- [6]林聖諭，『軟砂岩之微觀結構及其對力學性質之影響』，國立交通大學土木工程系碩士論文，民國八十七年六月。
- [7]黃亦敏，『受速率影響之極軟弱軟砂岩之力學

行為及其模式』，國立交通大學土木工程系碩士論文，民國八十七年六月。

[8] 李忠彥，『軟砂岩弱化之力學行為及連體損壞力學之初步探討』，國立交通大學土木工程系碩士論文，民國八十六年六月。

[9] 宋銘峰，「人造軟弱互層岩體之製作及界面力學性質量測」，碩士論文，國立中央大學土木工程研究所，中壢（1998）。

[10] 田永銘、宋銘峰、梁至仁，「軟弱互層岩體製作及界面力學性質量測」1998 岩盤工程研討會論文集，新竹，第 191-200 頁（1998）。

[11] 劉益詮，「重模極軟弱砂、頁岩之物理性質與力學行為之初步研究」，私立中華大學土木工程學系碩士論文，（預計民國 88 年 6 月）。

[12] 游松裕，「重模極軟弱砂、頁岩之三軸力學行為探討」，私立中華大學土木工程學系碩士論文，（預計民國 88 年 6 月）。

[13] 李煜齡、劉益詮、游松裕，「重模極軟弱砂、頁岩之物理性質與力學行為之研究」，第八屆大地工程學術研究討論會，（預計民國 88 年 8 月）