

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—子計畫（三）：

軟弱砂岩之弱化機制與力學行為之探討

The Degradation Mechanism and Time-dependent Behavior of Very Weak Sandstone

計畫編號：NSC 87-2218-E-009-040

執行期限：86年8月1日至87年7月31日

主持人：潘以文 國立交通大學土木工程學系

一、中文摘要

台灣中北部麓山帶之軟砂岩，地質年代上屬極年輕的地層，其特性為固結差、膠結不良及強度不高。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構的變化，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構變化。將軟弱砂岩微觀組構變化與巨觀力學性質交叉比對，可知岩石單軸壓縮強度在第一次的乾溼循環後顯著下降，推測應為細顆粒填充物析出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。由試驗結果發現，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。本研究因此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。

關鍵詞：軟砂岩、微觀組構、力學模式、依時性行為、連體損壞力學

Abstract

The outcrops in the northern and central regions of Western Taiwan often contain very weak sandstone which are poorly cemented. This material may degrade when it is exposed to an unfavorable environmental condition. Its degradation usually results in a reduction in strength and an increase of deformability. Also, the strength and stress-strain relations are likely affected by time.

This study attempts to investigate the microstructure change of very weak sandstone. After artificially controlled degradation, specimens were subjected to wave-velocity measurement and unconfined compression. Their microscopic features were also investigated using a microscope and image analysis. The micro-features, including grain-particle, void, and infill are analyzed. By comparing the microstructure and mechanical properties, it was found that the strength of the very weak sandstone decreases significantly after wet-dry cycles. The cause was likely due to the increase in the micro-fissures. From microstructure observation, it was noted that large particles tend to break into smaller particles, and the particles' angularity tends to decrease. These changes may contribute to the decrease of material's strength.

This project also aims to study the time-dependent behavior of the very weak sandstone. Conventional dead-load type apparatus of for rock creep test was modified to enhance rate-controlled tests on very weak rock material. From experimental results, it was observed that both the peak strength and the modulus of the very weak sandstone decrease as the failure-time increases or the strain-rate decreases. A specimen loaded in a lower strain-rate tends to show more acoustic emission which seems implies that the creep effect promotes the micro-damage in the specimen. Consequently, a constitutive model on the basis of the continuum damage mechanics was developed to describe the rate-dependent mechanical behavior of the material. By comparing the

simulated and experimental results of stress-strain relations, the proposed model seems to reasonably capture the rate-dependent behavior of very weak sandstone.

Keywords: very weak sandstone, microstructure, constitutive model, time-dependent mechanical behavior, continuum damage mechanics

二、緣由與目的

台灣中北部之麓山帶地區的地層主要是上新世之卓蘭層以及上新—更新世之頭嵛山層。卓蘭層以砂頁岩互層以及砂岩夾薄頁岩層所組成。頭嵛山層又可以分為兩種岩相，即火炎山相與香山相。火炎山相由礫石組成，香山相則由厚層砂岩、粉砂岩與頁岩所組成。此等岩層在地質年代上均屬甚年輕的地層，所組成的砂岩普遍具有固結差，膠結不良，強度不高，且孔隙率大、透水性良好，遇水易軟化的特性。由於具有上述的特性，在本區的邊坡容易發生在豪雨或開挖後出現各種型態的大規模岩層滑動的情形。而因砂岩強度不高，又易受風化，可能會使基礎承载力及沈陷量不易估計，而發生基礎沈陷造成建築物龜裂，這是軟砂岩易弱化的特性。

砂岩一般均須經過沉積、緩和成岩作用及長時間的固化作用才能形成，而上述岩層中之軟弱砂岩層一般都相當年輕，由於受固化時間極短，膠結相當鬆散，其性質可視為凝聚性的砂土。當其受環境條件或外力條件影響，材料內之膠結可能逐漸喪失或破壞，當膠結完全破壞後，性質則跟砂土一樣。對砂土等無凝聚性的顆粒材料而言，雖然工程上常以相對密度概略區分其工程特性，但試驗證實，即使具有相同相對密度之顆粒亦可能具有不同的力學行為，意即憑藉巨觀力學性質的量測未必能明確解釋此等顆粒材料之力學特性。而沉積岩的基本性質與組成顆粒之成份、大小、形狀、排列方向和堆積及膠結的強弱均有極密切的關係，在材料受環境條件而弱化的過程中，其力學性質極可能與微觀的結構變化關係密切。本研究即嘗試以微觀方法量測結構的方式，探討軟弱砂岩因為外在條件可能引起之弱化過程，微觀結構可能之改變與其對巨觀力學特性之影響。因為軟弱砂岩的力學行為受其結構特性，如孔隙比、顆粒粒徑分佈、堆積構造、顆粒本身性質(大小、形狀、糙度)及膠結種類與含量之影響，而表現出不同的變化，為了觀察顆粒結構如何影響巨觀的力學性質，本研究嘗試透過顆粒材料的切片來直接觀測軟弱砂岩的顆粒結構以了解其結構特性，並配合力學試驗與波速量測以得岩石材料的巨觀性質。由微觀量測的結果，配合力學試驗獲得巨觀力學性質，試圖解釋及尋找兩者之間的相關性。

此外，若考慮長期荷重下之力學行為，則強度與應力應變關係受到潛變等依時性力學行為之影響，也會影響工程上應採用的設計參數。而對於此種軟弱岩石的依時性行為，亦有必要加以掌握與了解。以軟弱岩層中隧道工程為例，為估計岩壓大小、支撐應力等問題都必須進先知道強度與變形性等工程性質。對於工程上強度的設計，過去多使用尖峰應力為設計依據。但由於時間因素會影響岩體的力學行為，考慮時間效應的影響，岩壓與支撐應力亦可能不同。如果使用岩體之長期強度與變形性來做設計參數，可能可以間接地將時間因素納入考量。因此本研究試圖了解軟砂岩的依時性行為，並藉由不同方法，討論影響軟岩依時性工程性質之因素，定義及實驗決定軟岩長期強度及模數，更進一步嘗試對於時間對應力-應變關係之影響納入考量，建立合理力學行為模式，以期能進一步掌握預測軟岩之依時性力學行為，以供未來軟岩中之岩石工程應用。

三、結果與討論

A. 軟弱砂岩微觀組構與巨觀性質

在軟弱砂岩微觀組構的問題上，本研究以微觀試驗方法，探討岩樣受乾溼循環的弱化模擬之下，岩樣顆粒微觀組構的改變情況，並與巨觀試驗的結果交叉比對，以探討微觀組構特性對巨觀力學性質之影響。

A.1 影像取得與處理

攝影微觀影像時，須先將試體以壓平器整平放置在顯微鏡台上，在切片表面塗以立可白修正液標計距焦位置，再將照相設備調成手動曝光時間 2~4 秒以獲得較清楚的影像。

影像處理的目的在將所得到的圖形，應用各式各樣的影像處理軟體使照片更清晰，對比強烈，便於日後分析計量時的要求。影像的處理程序包括以 Photoshop4.0 處理圖檔成較簡化及明顯、清晰顆粒邊緣的圖檔，灰階化後輸出至 UTHSCSA Image Tool3.0 上作各種運算，處理影像的流程含：(a)輸入原始影像；(b)描繪顆粒的邊界；(c)描繪孔隙的外形；(d)影像中的其餘部份判定為填充物。將顆粒、孔隙及填充物等三個圖層合并可見的部份，再進行灰階化，儲存成 Tiff 格式影像，灰階化 8bit 後，成為可供 Image Tool 計算用的影像。分析的流程包括顆粒的幾何運算與顆粒、孔隙及填充物所佔百分比的等計算工作[1]。

分析微觀岩石組構的影像可以得到岩石顆粒的面積、周長、主(次)軸長度、主(次)軸角、長徑比、圓度、圓滑度、類圓直徑及孔隙和填充物所佔的比例[1]。

A. 2 微觀組構特性對巨觀性質之影響

觀察弱化過程岩樣微觀組構的變化時，可看出顆粒在前幾前乾溼循環的弱化過程中，其尺寸、形狀及排列方式並沒有顯著的變化。就微觀組構改變之結果來分析，隨著乾溼循環次數的增加，大顆粒可漸漸的崩解為較小顆粒，而顆粒本身的稜角也變的較不明顯。岩樣之孔隙在前幾個乾溼循環的過程中，呈現顯著的增大，隨著乾溼循環次數的增加，孔隙大小會趨向較為固定，顯示殘餘的石英顆粒及細顆粒填充物具有較佳抵抗弱化的能力[1]。

由比對微觀觀測結果與巨觀性質的相關性，可以發現岩石單軸壓縮強度在第一次的乾溼循環過程中就有明顯的下降，由相對之微觀分析推測應為細顆粒填充物被水帶走後導致裂隙增加造成的。單軸壓縮強度值在前幾次的乾溼循環過程中降低的原因推測是由於岩樣孔隙受弱化而增加。孔隙趨向穩定後，單壓強度繼續減少的原因推測為顆粒內部逐漸崩解為較小顆粒，而形狀也趨向較圓，因此受壓時顆粒間較易產生滑動造成強度減低。後幾次乾溼循環後的單軸壓縮強度減小的比例沒有前幾次大，推測影響軟岩強度降低的因素，孔隙的增加比顆粒性質的改變重要。波速在第一次乾溼循環後有明顯的下降，推測為孔隙增加所導致，而其後的乾溼循環過程波速都大致保持在定值，顯示顆粒性質的改變對波速變化的影響不大[1]。

B. 軟弱砂岩依時性力學行為的探討

在依時性力學行為的探討上，以控制應變速率之方法進行單壓試驗，本研究改進潛變儀，以伺服馬達控制位移速率，可以經濟有效地控制試體之應變速率。藉由應變速率之控制，改進之潛變儀可控制試體之破壞時間 2 小時至 15 天[2]。

極軟弱砂岩試體由鑽心機鑽取時，由於其遇水極易軟化，甚而被水沖散，故本試驗之試體，均改使用泡沫為介質，取代原來以水為介質之方法。泡沫乃使用濃縮液與水調合，再使用空氣打出而成泡沫，所有使用容器及管線連接的方式。泡沫調製過程為先將調和貯液槽（容量為 150 加倫）內注滿 2/3 的水，再將適量濃縮液倒入拌合，待水面產生泡沫即可以使用。將原鑽心機注水之口，改由泡沫注入，於注入前使泡沫水與空氣結合，而成泡沫，再由原注水口噴出，以帶出鑽心機所鑽出之岩屑。空氣則是由空壓機提供。

經控制應變速率之單壓試驗結果，軟砂岩受潛變效應影響，其尖峰強度與初始彈性模數，均隨著應變速率減少或破壞時間增加而下降。本研究所規劃之潛變試驗，有助於定性了解軟岩依時性行為，然因試體來源與數量之限制，加上試體之均質性不佳，使得試體本身之差異性對實驗結果會有相當程度之影響。對於使用岩塊試體，較之以前使用鑽孔

試體，在本研究中有較好的均質性，得到之結果也較佳，故可利用岩塊試體進行潛變試驗。但仍須對試體差異性加以注意。

配合控制應變率之單壓試驗，亦擷取實驗中之聲射訊號，並加以累計分析。由聲射訊號分析發現，當應變速率減少或破壞時間增加，試體之累積聲射數增加。表示由於潛變效應而造成材料內部微損壞之累積，而影響力學性質。此一現象也說明可使用連體損壞力學模式之概念來描述試體之應力應變行為。研究中將連體損壞力學模式加入考慮時間因素，令損壞函數受應變速率影響而變，使其可以適當的描述軟砂岩之強度受應變速率影響之現象。經由與試驗結果之模擬與比較，可看出此模式可合理描述軟砂岩之依時性行為[2-3]。

四、計畫成果自評

本計劃原訂之計畫目標即界定於探討極軟弱砂岩的微觀組構如何影響巨觀力學性質？其依時性力學行為之特性如何？什麼是其合適之力學模式？實際執行之研究內容與原計畫相符程度頗高。本研究嘗試透過顆粒材料的切片來直接觀測軟弱砂岩的顆粒結構以了解其組構特性，並配合力學試驗與波速量測以得岩石材料的巨觀性質。由微觀量測的結果，配合力學試驗獲得巨觀力學性質，試圖解釋及尋找兩者之間的相關性。此外，本研究試圖了解軟砂岩的依時性行為，並藉由不同方法，討論影響軟岩依時性工程性質之因素，定義及實驗決定軟岩長期強度及模數，更進一步嘗試對於時間對應力-應變關係之影響納入考量，建立合理力學行為模式，以期能進一步掌握預測軟岩之依時性力學行為由於本模式只需用甚少的材料參數，即可描述主要之脆性岩石之力學行為特性，因此將來於岩石工程分析工作上具有其潛在之應用價值。

五、參考文獻

- [1] 林聖諭，『軟砂岩之微觀組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。
- [2] 黃亦敏，『受速率影響之極軟弱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。
- [3] 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。