

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 88-2218-E-009-039

執行期限：87 年 8 月 1 日至 88 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

軟弱砂岩可能受到環境條件影響而弱化，造成強度下降或變形性增加。本研究對極軟弱砂岩施以弱化模擬，分別利用反覆乾溼循環以及滲流來模擬軟弱砂岩所受之弱化環境因素，並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。本研究嘗試以微觀方法來量測軟弱砂岩組構，探討軟弱砂岩因外在條件引起之弱化過程，微觀組構可能之改變與其對巨觀力學特性之影響。為控制滲流並正確決定試體滲透性，本研究研製一微流量幫浦，藉由伺服馬達強制控制流經試體之微流量，透過強制流量之方式來控制滲透試驗之進行，經量測試體兩端之水壓差即可正確決定試體之滲透性。軟弱砂岩受不同弱化程度之影響，其尺寸、形狀及排列方式並無顯著變化。然就微觀組構改變結果分析，隨著弱化程度增大，大顆粒漸崩解變小，而其稜角也變較不明顯。比較不同弱化試體單軸壓縮試驗結果，發現未受弱化試體受軸壓破壞後試體具有較明顯破壞面，而經弱化過的試體破壞時則較破碎，且隱約呈現試體之強度、模數、與波速皆隨弱化程度增高而有減低的趨勢。

關鍵詞：軟砂岩、微觀組構、力學模式、依時性行為、滲透性

Abstract

Very weak sandstone may degrade when it is exposed to an unfavorable environmental condition. Its degradation usually results in a reduction in strength and stiffness. This study attempts to investigate the microstructure change of very weak sandstone subjected to degradation. The degradation process was simulated by controlled seepage and wet-dry cycles. This study develops a permeability apparatus for determining the permeability and controlling the seepage through a specimen of soft rock. This apparatus includes a flow pump with the capability of applying back pressure to a specimen. After degradation, wave-velocity measurement and unconfined compression tests were carried out. Their microscopic features were also examined. Image processing enables the interpretation of the micro-features (e.g., grain-particle, void, and infill).

Comparing the microstructure and mechanical properties of specimens, it was found that the strength of the very weak sandstone decreases significantly after degradation, probably due to an increase in micro-fissures. It was noted that large particles tend to break into smaller ones, and the particles' angularity tends to decrease. These changes may contribute to the decrease in material's strength.

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

permeability
二、緣由與目的

台灣西部地區的土木工程建設有不少是在丘陵山麓地帶，而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。本省中北部(桃園至台中)麓山帶出露的地層，除未固結的紅土礫石層、台地堆積層與河床沖積層以外，係以上新世之卓蘭層及上新-更新世之頭嵙山層為主，地質年代上均屬年輕岩層。此等岩層普遍具有固結差、膠結不良、強度不高、孔隙率大、透水性高、遇水極易軟化的特性，在此等岩層上開發建設，若未考慮此等岩層特殊之工程特性，可能忽略可能造成之工程問題，甚至將遭遇潛在的工程危險。

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組構變化關係密切。本研究即嘗試以微觀方法量測組構的方式，探討軟弱砂岩因為外在條件可能引起之弱化過程，微觀組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，為了觀察顆粒組構如何影響巨觀的力學性質，本研究乃嘗試透過材料切片直接觀測軟弱砂岩的微組構特

性，並配合力學試驗與波速量測以得岩石材料的巨觀性質，試圖解釋及尋找兩者之間的相關性。為探討弱化影響，分別利用反覆乾溼循環以及滲流來模擬軟弱砂岩之自然弱化環境因素。又因此等材料滲透係數不高，且深受試體飽和度之影響，為求正確控制滲流並確切決定材料滲透性，乃研製一微流量幫浦，藉由伺服馬達強制控制流經試體之微流量，以強制流量之方式來控制滲透試驗之進行，由量測試體兩端之水壓差即可正確決定試體之滲透性。

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，探討岩樣受反覆乾溼循環以及強制滲流的弱化模擬之下，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。結果簡要說明如下。

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，再以一具單眼相機或 CCD 照相獲得影像，再輸入成原始數位圖檔。接著利用影像處理技巧將原始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，發現顆粒在前幾前乾溼循環的弱化過程中，其尺寸、形狀及排列方式並未有顯著的變化。就微觀組構改變之結果來分析，隨著弱化程度增加，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[1,2]。

由比對微觀觀測結果與巨觀性質的相關性(圖1)，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(圖2)。孔隙趨向穩定後，單壓強度繼續減少原因推測為顆粒內部漸崩解為較小顆粒，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]。

本研究亦以強制滲流來進行弱化模擬，因此等材料滲透係數並不高，材料滲透係數又深受試體飽和度之影響，若沿用傳統定水頭或變水頭滲透試驗方法，一則費時長，二則試體飽和度難以控制，造成試驗結果不可靠。為能確實測定材料滲透性質，乃研製一微流量幫浦，藉由伺服馬達強制控制流經試體之微流量，以強制流量之方式來控制滲透試驗之進行(圖3與圖4)，由量測試體兩端之水壓差即可正確決定試體之滲透性。微流量幫浦控制流量之方式乃藉由控制一特別設計之軸桿之移動速度(速度範圍介於 $7.8 \times 10^{-2} \sim 7.8 \times 10^{-6}$

cm/s)，此一軸桿出入端剖面面積刻意令其不同(即軸桿出入端剖面面積並非相等)，因為出入端剖面面積差額很小($A=1.28 \text{ cm}^2$)，伺服馬達之速度又可精確控制，便可強制流量控制於 $10^{-1} \sim 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{s}$ 之範圍。在固定流量的條件下，藉測定試體兩端之水頭差，便可由達西公式計算得試體之滲透係數(圖5)。實驗中可控制試體之圍壓與反水壓。即因為此一系統可以控制圍壓與反水壓，實驗中便可藉由測控圍壓與反水壓，來檢測孔隙水壓係數B值，藉以控制試體之飽和度。

本研究嘗試用不同定流量來求得軟弱砂岩的滲透係數，每一個定流量可得到一個試體兩端的水頭差，經由記錄的水頭差可計算其滲透係數。在不同流量下可以得到大坑黃色粗顆粒砂岩的滲透係數在 $6 \sim 9 \times 10^{-5}$ 之間。比較未經過滲流與經歷過滲流後試體分別之微觀照片對比(圖6)，可發現在滲流後有部分的孔隙變大，並產生許多崩解的小顆粒[2]。

四、計畫成果自評

本計畫之目標在於探討極軟弱砂岩的微觀組構如何影響巨觀力學性質。實際執行之研究內容接近原計畫目標。本研究中研製一特別適用於極軟弱砂岩之滲透試驗儀器，探討極軟弱砂岩之正確滲透性及滲透對微觀組構影響，此研發滲透試驗儀器非常具有實用性。本研究並嘗試透過岩樣切片來直接觀測軟弱砂岩的顆粒結構以了解其組構特性。由比較微觀組構與巨觀性質，對極軟弱砂岩受弱化之影響已具初步瞭解。

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] 陳恆祐，『軟岩之滲透性質及滲流對微組構之影響』，國立交通大學土木工程系碩士論文，民國八十八年六月。

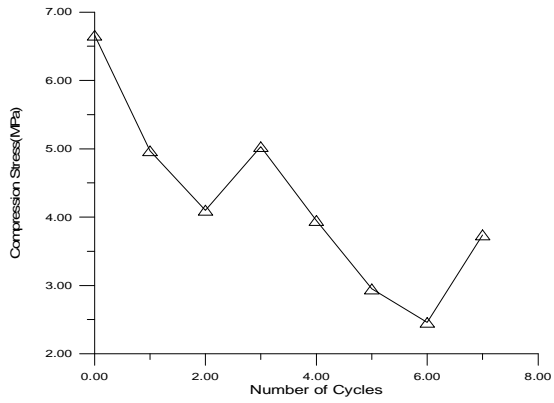


圖 1. 乾濕弱化循環數對單軸壓縮強度圖

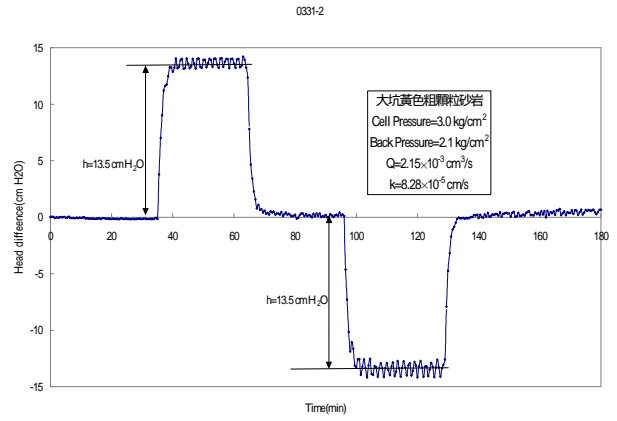


圖 5 強制流量所產生之水頭差

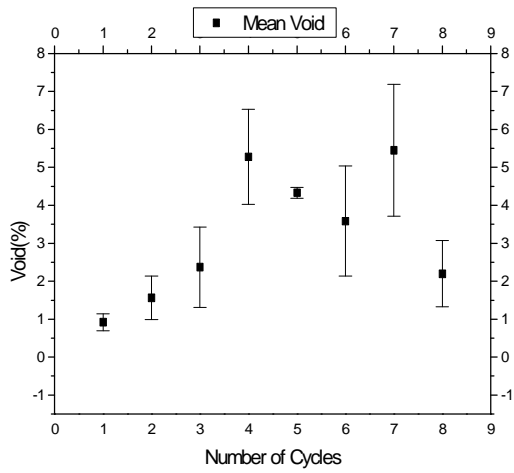


圖 2 乾濕弱化循環數對孔隙比圖

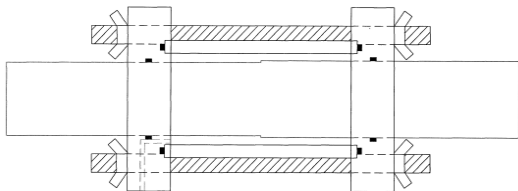


圖 3 Flow Pump 示意圖

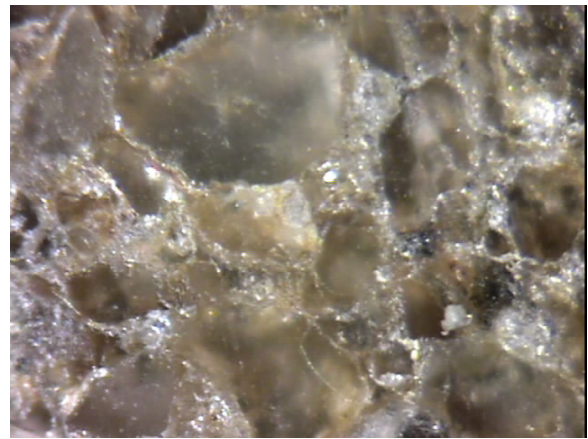


圖 6(a) 滲流前微結構

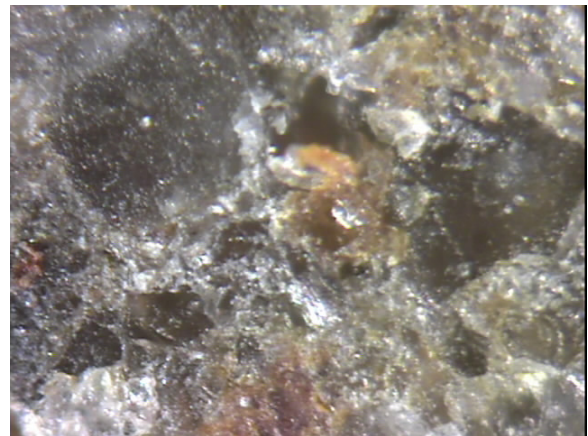


圖 6(b) 滲流後微結構

圖 4 強制流量定水頭滲透試驗示意圖