

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

極軟弱岩石之大地工程行為 (I) 總計畫 Engineering Performance of Geotechnical Systems In Very Weak Rocks

計畫類別： 個別型計畫 & 整合型計畫
計畫編號： NSC89 - 2218 - E - 009 - 102
執行期間： 89 年 8 月 1 日至 90 年 7 月 31 日

計畫主持人：黃安斌
共同主持人：潘以文、廖志中、壽克堅、林志平

本成果報告包括以下應繳交之附件：
赴國外出差或研習心得報告一份
赴大陸地區出差或研習心得報告一份
出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位：國立交通大學土木系

中 華 民 國 90 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

極軟弱岩石之大地工程行為 (I) 總子計畫

Engineering Performance of Geotechnical Systems in Very Weak Rocks

計畫編號：NSC 89-2218-E-009-102

執行期限：89年8月1日至90年7月31日

主持人：黃安斌 執行機構：交通大學 職稱：教授

共同主持人：潘以文 執行機構：交通大學 職稱：教授

共同主持人：廖志中 執行機構：交通大學 職稱：教授

共同主持人：壽克堅 執行機構：中興大學 職稱：教授

共同主持人：林志平 執行機構：交通大學 職稱：助理教授

一、中文摘要

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。卓蘭層以砂岩夾薄頁岩層及砂頁岩互層組成。頭嵙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）；卓蘭層及頭嵙山層香山相等地層甚年輕，砂岩孔隙大、透水性高，材料性質介乎土壤及岩石間。由於取樣不易，早期對其力學性質及行為甚難加以掌握，本研究群在國科會整合性計畫支持下，歷經近三年之努力，對於此等地層岩石之力學行為與性質已能初步掌握。然而，此類地層內之大地工程行為，例如邊坡穩定，基礎承載，及坑室行為一直未被有效掌握。本研究團隊擬針對此類地層的大地工程行為加以探討。共分為五個子計畫：

- (一) 深基礎在軟弱岩石中之行為
- (二) 淺基礎在軟弱岩石中之行為
- (三) 軟弱岩石邊坡中之軟岩行為
- (四) 孔穴周圍軟弱岩石之力學行為

(五) 軟弱岩石之探勘與監測

本計畫將以三年時間進行研究工作，本報告針對各主計畫之第一年度之研究成果加以彙整。

關鍵詞：卓蘭層，頭嵙山層，軟弱岩石、基礎工程、邊坡穩定、現地試驗、數值模擬

Abstract

The outcrops in northern and central foothill regions of Western Taiwan are young or very young according to their geological age. They can be classified as “very weak to weak” rocks. The sandstone or shale that constitute most of these soft rocks are characterized as being poorly consolidated, weakly cemented, and prone to soften when exposed to water unconfined. Under the field conditions these sandstone or shale may behave as a consolidated rock. The same material however could be crushed by fingers or turn into a pile of sand when soaked in water. Because of the young age, the sandstone has relatively large voids and high

permeability. Local deterioration or failure within the rock mass or massive sliding along layers of shale in rock slopes often occur as a result of heavy rainfall or excavation. The behavior of these soil/rock like geomaterials is not well understood. Subjects such as the characteristics of the rock mass, foundation bearing capacities, mechanical behavior, stress in rock mass, suitable support systems for tunnels in these types of weak rock, relevant to foundation and tunnel designs, demand further research.

In three years, this research group intends to continue an earlier collaborated research project on “Mechanical Behavior of Very Weak Sandstones and Shales”, and extend what was accomplished in that endeavor into aspects that are applicable to geotechnical engineering designs. The proposed research includes the following five sub-projects:

- (1) Performance of deep foundations in soft rock
- (2) Shallow foundations in soft rock
- (3) Rock behavior related to slope failure in very soft rock
- (4) Behavior of soft rock around a cavity
- (5) Field characterization and monitoring in soft rock

This report presents the summarized results of each sub-project in the first year. The results include the preparation and the mechanical properties of the artificial weak rock, and the modified material model of poorly cemented sandstone, site investigation of the experimental station, TDR application, etc.

Keywords: Cholan, Toukoshan Formation, foundation engineering, slope stability, in situ test, numerical modeling

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]。此等地層甚年輕，砂岩孔隙大、透水性高，材料性質介乎土壤及岩石間。由於取樣不易，早期對其力學性質及行為甚難加以掌握，本研究群在果科會整合性計畫支持下，歷經近三年之努力，對於此等地層岩石之力學行為與性質已能初步掌握[2]。由於此地層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，例如北二高關西至新竹段施工時曾產生二十多個邊坡滑動皆屬此類型態之邊坡滑動[3]，及台中大坑地區常有軟岩邊坡破壞[4]。此外，大規模之山坡地工程中常於大填方或挖方整平之基地上構築結構物，或由於夯實不良，或由於岩層受風化作用產生軟化現象，常使基礎承载力及沉陷量不易估計，而產生基礎沉陷以致造成房屋龜裂之現象（例如新竹青草湖附近某高級社區）。此外，此等地層內地下坑室開挖後之行為及岩壓之估計、合適之支撐等問題，尚不是完全明瞭。因此，本研究群將於未來三年針對上述軟岩之大地工程行為加以研究

本整合型研究計畫擬達成之目的包括：

1. 深淺基礎在軟弱岩石中承載值理論之推導。
2. 建立使用傍壓儀、多功能軟弱岩石孔內試驗、與傳統室內試驗以及勁度控

制直剪試驗 (stiffness controlled direct shear test) 結果來估算軟弱岩石內深基礎承載值，以及基礎受壓、拉與橫向力時其與位移間關係之方法。

3. 確認軟弱岩石坡之漸進破壞與潛變之特性。軟弱岩石殘餘強度之特性。
4. 孔穴周圍之岩體在受重力或孔穴擴張之情望下，其應力/應變分佈之理論與數值分析。
5. 時域反射 (time domain reflectometry, TDR) 與地表波頻譜分析 (spectral analysis of surface wave, SASW) 之現地試驗技術來決定軟弱岩石之層次、力學特性、以及地層位移監測技術之研發。

三、結果與討論

(一) 實驗站工址調查：本計畫實驗站場址位於交大西南側山坡地，工作內容包括震波探測、地質鑽探、線地試驗、與室內試驗。鑽孔數為4孔總計深度為100m，震波探測共設置兩條測線，測線長度各為 105.07、32公尺。傍壓試驗每一鑽探孔每隔 2.5- 3.0m施作一組，共三十三組，孔內波速量測，每隔半公尺量測一次，共80公尺。室內試驗包括物性試驗、單壓試驗、及三軸試驗。成果豐碩，對於工址的特性已約略可掌握，詳細結果可參考子計劃四的

成果報告。

(二) 人造軟岩試體製作及性質：本項目以目標地層 (卓蘭層) 之岩屑作為模擬材料，使用過200號篩溼篩的方式將研磨過的岩屑分為粗粒料與細粒料水溶液。依配比拌和、灌入模具後，以高壓壓密的方式製作人造軟砂岩試體。經過本研究測試與改良，制訂出製作人造軟砂岩試體的標準製作流程，並以此進行各項物理與力學試驗，製作完成之人造試體單壓強度介於2.5~6.5Mpa 符合 ISRM定義之軟岩強度範圍。再根據模型相似律，本研究之人造試體五個無因次項分別為：模數比介於70~115間，強度比約5~10、卜松比，介於0.17~0.24、破壞應變介於1~2%、內摩擦角約38.7°。本研究之人造試體屬低模數比，破壞應變稍大，其他應力應變行為與天然試體極為相似，應可提供模型試驗之用。詳細結果可參考子計劃二的成果報告。

(三) 軟砂岩力學模式：本研究運用複屈伏面觀念，提出一套三面模式，可以合理考慮軟岩之真實力學行為。對於材料參數之標定，本研究採最佳化方法，將標定材料參數視為一個逆問題，引用基因演算來處理求解。本計劃將三面模式分別融入非線性與彈塑性有限元素分析方法，用以模擬現地傍壓儀以及實驗室三軸實驗，由數值模擬結果與試驗結果之比較驗證此模式之合理性與正確性。本研究採用本整合性研究群實驗站-交通大學光復校區西南側坡地鑽探、實驗取樣，所得的三軸

試驗及旁壓試驗加以模擬及比對。顯示模擬結果與實驗結果接近且合理，因此三面模式可用於未來大地工程分析。本模式亦可以考慮軟岩材料的剪漲效應所造成之排水受剪下體積之膨脹變化與不排水受剪下孔隙水壓變化（如圖6）。將應變軟化力學模式結合數值分析工具可以用來模擬漸進式邊坡破壞發生之機制與過程。詳細結果可參考子計劃二及三的成果報告。

- (四) 環剪試驗儀器研製：本計畫研製了可決定軟岩應變軟化特性與殘餘強度之環剪試驗儀器，此一環剪試驗儀可用以進行大剪應變之剪力試驗，並可用以進行藉應變控制之固定剪應變速率潛變試驗。未來將可利用環剪試驗儀進行一系列環剪試驗。詳細結果可參考子計劃一及三的成果報告。
- (五) 標定槽之修改與400噸反力架之製作安裝及試驗規：經過評估認為交通大學大地工程試驗室現有之標定槽體積過小，不適合研究所需。已另行設計長方體300mm寬500mm長600mm深之試驗槽，使用鋼板與製作。本試驗槽正在加工製作之中。400噸(原規劃為200噸)之油壓缸與壓力元已購置，反力架將採用租用之方法以節省成本。試驗將在交通大學土木結構大樓中進行，試驗時將反力架與試驗槽鎖在強力地板上。本項目將供子計劃一及二試驗用。詳細結果可參考子計劃一之成果報告。
- (六) 時域反射法(TDR)與表面波譜法於軟岩之應用：本年度已完成之工作項目包括(1)軟岩電學性質量測系統之建立、(2)軟岩相對變形量測系統之建立、與(3)表面波譜法試驗與分析系統之建立。詳細結果可參考子計劃五之成果報告。

四、計畫成果自評

本研究計畫為三年期之研究，針對台灣地區軟弱砂岩之大地工程行為加以探究，以提供土木工程分析、設計之參考。綜觀個子計畫的成果，皆能依預定進度執行，研究工作配合及成果的整合亦甚佳，未來繼續執行，應會有甚佳的整合性成果。階段性成果亦可參考個子持人指導之碩士論文[5,6,7,8]。

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] Huang, A.B., Liao, J.J., Pan, Y.-W., Cheng, M.H., Hsieh, S.Y., and Peng, J.K.(2000), "Characterization of Soft Rocks in Taiwan," Proceedings of the 4th North American Rock Mechanics Symposium, July 31-August 3, Seattle, U.S.A., pp. 83-90.
- [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] 董家鈞、廖志中、潘以文(1999)，"臺中大坑地區軟岩邊坡崩滑型態與機制之探討"，第八屆大地工程學術研究討論會論文集，民國88年8月，屏東，1616-1627.
- [5] 鍾峻偉，人造軟岩之研製與性質，國立交通大學土木工程研究所，民國九十年。
- [6] 王慧蓉，軟弱岩石之漸進與屈服模式，國立交通大學土木工程研究所，民國九十年。
- [7] 林景民，軟弱岩石之應力應變與屈服行為，國立交通大學土木工程研究所，民國九十年。
- [8] 陳至揚，光纖光柵感測扭曲儀之研發，國立交通大學土木工程研究所，民國九十年。