

深基礎在軟弱岩石中之行為

Behavior of deep foundations in soft rock

計畫編號：89-2218-E-009-105

執行期限：89年08月至90年07月

主持人：黃安斌 國立交通大學土木工程系 教授

一、中文摘要（軟弱岩石、基樁、模型試驗、直剪試驗、扭剪試驗）

台灣中北部（桃園至台中）麓山帶地區出露之地層，在地質年代上均屬於甚為年輕之地層，屬於『極軟弱至軟弱』之岩石。其組成之砂岩普遍具有固結差，膠結不良、遇水極易軟化之特性，於原地層中尚可如同固結之岩石，然往往以手用力捏擠即成為砂土，經水浸泡後亦成一團砂土。由於此等介乎土壤及岩石間大地工程材料之性質與工程行為仍非十分確定，欲於此類地層內構築結構基礎，岩體之性質、基礎之承載值、力學之行為等問題，在國內外相關文獻報導都有限，仍需進一步研究。本研究為『極軟弱岩石之大地工程行為』整合型研究計畫之子計畫（一），主要目的是延續前三年所執行『極軟弱年輕砂、頁岩層之力學行為』整合型研究計畫之成果，使其與大地工程設計施工結合。本子計畫將專注於軟弱岩石中深基礎之行為分三年執行，其最終目的是提出軟岩內基樁承載力分析與受力沈陷估算之方法。本年度預計完成之工作項目包括（1）軟岩扭剪試驗儀之研發、（2）勁度控制直剪試驗與扭剪試驗、（3）標定槽之修改與200噸反力架之製作安裝、與（4）試驗室模型基樁試驗規畫。本報告簡述本計畫之執行成果。

英文摘要（keywords：weak rock, pile foundation, model testing, direct shear test, rotational shear test）

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 that constitutes part of these soft rocks is often 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. 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 of these types of weak rock relevant to foundation design demand further research. This project is the sub-project (1) of a collaborated research on “Engineering Performance of Geotechnical Systems in Very Weak Rock”. It extends an earlier collaborated research project on “Mechanical Behavior of Very Weak Sandstones and Shales”, conducted in the past three years. The aim of the current research is to expand what was accomplished in the earlier endeavor into aspects that are applicable to geotechnical engineering designs. This sub-project intends to develop methods to determine bearing capacities and load-displacement relationships for deep foundation in soft rock in the next three years. The main objectives set for the coming year include: (1) development of a rotational simple shear device for testing soft rock specimens; (2) conduct controlled stiffness direct shear and rotational simple shear tests on soft rock specimens; (3) modification of a calibration chamber system and set up a 200 ton capacity load frame; and (4) planning for laboratory model pile load tests. This report briefly describes the status of the research.

二、計畫緣由與目的

台灣中北部（桃園至台中）麓山帶地區出露之地層，在地質年代上均屬於甚為年輕之地層，屬於『極軟弱至軟弱』之岩石。其組成之砂岩

普遍具有固結差，膠結不良、遇水極易軟化之特性，於原地層中尚可如同固結之岩石，然往往以手用力捏擠即成為砂土，經水浸泡後亦成一團砂土。由於此等介乎土壤及岩石間大地工程材料之性質與工程行為仍非十分確定，欲於此類地層內構築結構基礎（諸如台北金融大樓基礎），其岩體之性質、基礎之承載值、力學之行為等問題，在國內外相關文獻報導都有限。

86 至 88 年間由潘以文教授擔任總計畫主持人，結合不同專長之研究人員，共同完成了『極軟弱年輕砂、頁岩層之力學行為』整合型研究計畫。其探討之問題包括：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，單軸、三軸強度，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？參與之人員研發出改良式之軟弱岩石取樣與保存技術、適合軟弱岩石使用之高壓旁壓儀試驗儀器、多功能軟弱岩石孔內試驗裝置、改良式之現地透水試驗方法、適合軟弱岩石使用之高壓三軸試驗儀器、以及 suspension P-S Logging 現地波速量測技術之引進。本研究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。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決定試體之滲透性。參與人員已使用這些新開發或引進的試驗技術，進行了一系列之現地取樣、試驗與室內之試驗，提出了決定極軟弱岩石材料力學參數之程序與數值模擬之方法。這些成果已在國內外相關之學術會議中發表，『多功能軟弱岩石孔內試驗裝置』並已獲得專利（黃安斌等，2001）。在未來的數年中本研究小組希望延續前期研究之努力，將現有之研究成果與工程設計施工結合。本子計畫（一）『深基礎在軟弱岩石中之行為』將專注於軟弱岩石內基樁之行為。本計畫在第一年內擬從事之主要研究項目包括：

1. 軟岩扭剪試驗儀之研發。

2. 勁度控制直剪試驗與扭剪試驗。
3. 標定槽之修改與 200 噸反力架之製作安裝
4. 試驗室模型基樁試驗規畫。

三、計畫執行狀況

軟岩扭剪試驗儀之研發

本研究小組於前期之整合性研究計畫中即已購置一雙軸向線性油壓制動器（linear actuator）之加力架。本系統已具有伺服控制之功能以及直剪盒，可用來進行本研究所規劃之勁度控制直剪試驗（stiffness controlled direct shear test）。當初購置此加力架時即已預留空間加裝扭轉式制動器。如前所述，直剪試驗之重大缺點是邊界效應，為解決此一問題，在本地計畫中於現有之加力架上安裝一扭轉式制動器（rotary actuator），並進行相關之機械加工以增加中空扭剪試驗之功能。扭剪試驗在試體受剪方向無邊界，因此沒有邊界效應。圖一顯示加力架之整體組裝情況。圖一所示之 10 噸線性制動器提供試驗時橫向之施力。垂直向之 30 噸線性制動器位於試體正下方，與扭轉式制動器連結在一起。圖二說明垂直向線性制動器與扭轉式制動器之組合。

扭剪環是由 20 個內徑 55mm 外徑 75mm，5mm 厚之不銹鋼環所組成。每一環之上部表面鑲有鋼珠，以減低鋼環扭轉時其接觸面所產生之摩擦力。圖三顯示製作完成之扭剪環，組立於加力架上。試驗時可以依照扭剪（torsional shear）或環剪（ring shear）之需要使用不同數量之扭剪環或與內環（環剪試驗所需）組合在一起來進行試驗。

勁度控制直剪試驗與扭剪試驗

計畫中將使用現有雙軸向線性/扭轉式油壓制動器加力架為人造以及天然軟岩進行勁度控制之直接剪力與扭剪試驗。試驗中都將為試體做局部之垂直向小應變量測，以決定軟岩在小應變下其應力應變關係。直剪試驗是以橫向與垂直向線性油壓制動器配合進行試驗。扭剪試驗則是使用垂直向線性制動器與扭轉式制動器之組合。垂直向線性制動器使用步進馬達控制之伺服控制閥控制，全部試驗之控制與資料擷取使用 PC 與 Labview 軟體配合。此設計避免了使用傳統成本高昂之 MTS 油壓伺服控制閥與控制器。勁度控制試驗所需之變形感應器與壓力元

都已購置完成，現正進行 PC 與 Labview 軟體控制之整合與測試。

標定槽之修改與 200 噸反力架之製作安裝

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。200 噸之油壓缸與壓力元已購置，反力架將採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。

試驗室模型基樁試驗規畫

試驗室內使用模型與人造岩石做試驗有高均勻性與試驗重複性之優點。接收 Burland (1995) 之建議與挑戰，本計畫將在軟岩試體安裝應變感應系統以量測基礎受力時，軟岩試體內應變量之分佈情況。原計畫採用類似 Smith and Burland (1976) 之高精密度岩體鑽孔內多點伸張儀結合傾斜管之觀念製作。主持人近期研發完成使用光纖光柵 (Optic Fiber Bragg Grating, FBG) 之地層扭曲感應系統 (陳志陽, 2001)，其功能遠超過 Smith and Burland (1976) 之方法。此光纖感應系統是將 FBG 黏著在一直徑 5mm 之德爾林桿件上，然後將此桿件埋入試驗槽中人造軟岩內。圖四顯示德爾林桿件與滾輪連結可以在傾斜管內使用之扭曲感應系統。在本研究中將僅使用德爾林桿件。FBG 之優點除了因為使用光傳遞訊號而不受電磁干擾之外，在同一光纖上可以同時安裝最多 100 點之應變量測點。本計畫所使用之 FBG 訊號擷取系統是經由主持人所參與大學發展卓越計畫之經費所購置，可以每秒讀 100 次之速度同時監測 4 條光纖，因此可以滿足試驗之需求。

四、參考文獻

黃安斌、房正國、廖志中、潘以文、2001, "高壓多功能孔內試驗裝置," 中華民國專利, 發明第 130458 號, 專利權人行政院國家科學委員會, 專利期間 90 年 4 月 21 日至 109 年 1 月 3 日。

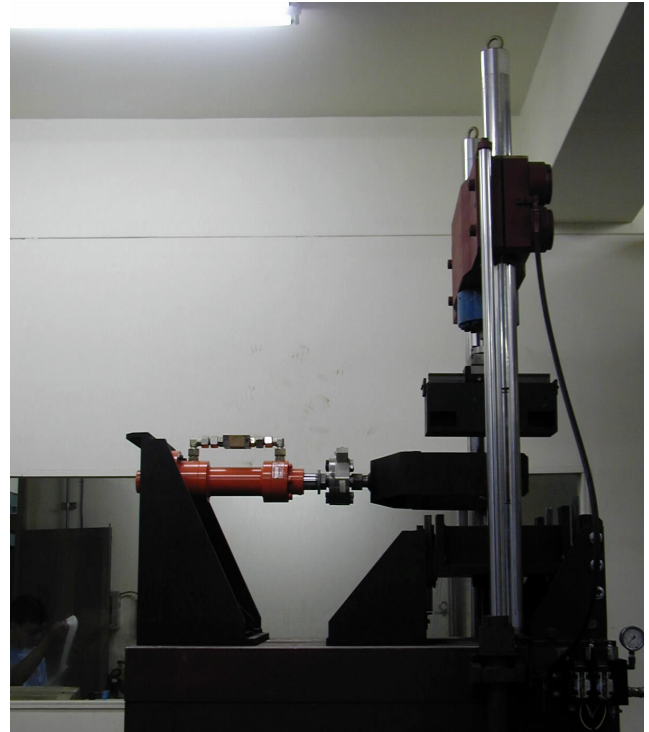
陳至揚, 2001, "光纖光柵感測扭曲儀之研發", 碩士論文, 國立交通大學土木工程系。

Burland, J.B., 1995, "Closing Remarks," Proceedings, First International Symposium on Pre-Failure Deformation of Geomaterials, Sapporo,

Japan, Vol.2, p.703-705.

Smith, P.D.K., and Burland, J.B., 1976, "Performance of a High Precision Multi-Point Borehole Extensometer in Soft Rock," Technical Note, Canadian Geotechnical Journal, Vol.13, pp.172-176.

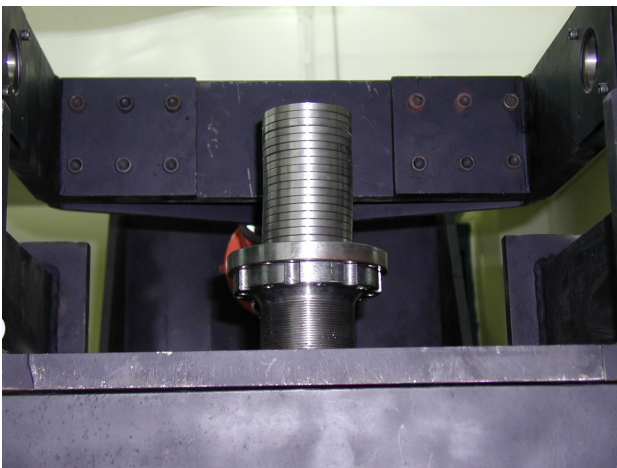
五、圖表



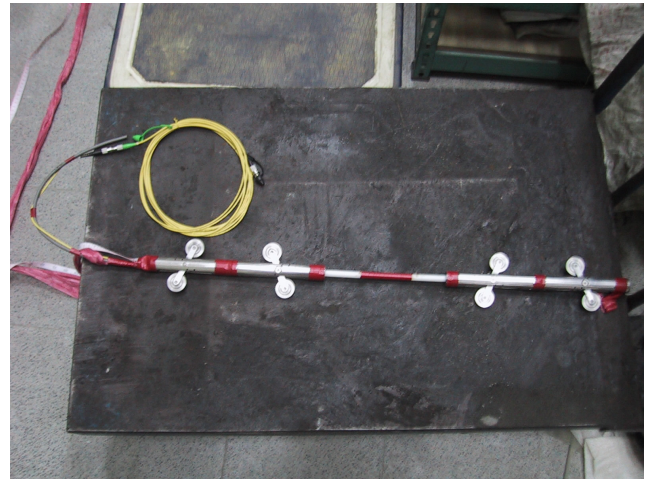
圖一 加力架之整體組裝情況。



圖二 垂直線性制動器與扭轉制動器之組合。



圖三 製作完成之扭剪環。



圖四 光纖光柵感測扭曲儀