

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

總計畫(2/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-009-036-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立交通大學土木工程學系

計畫主持人：廖志中

共同主持人：黃安斌，潘以文，壽克堅，林志平，董家鈞

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 5 月 28 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫期中進度報告

膠結不良沉積石層之大地工程行為 (II) 總計畫 Engineering Performance of Geotechnical Systems In Poorly Cemented Sedimentary Rocks

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC92 - 2211 - E - 009 - 036

執行期間： 92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

計畫主持人：廖志中

共同主持人：潘以文、黃安斌、壽克堅、林志平、董家均

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：國立交通大學土木工程

中 華 民 國 93 年 5 月 27 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

膠結不良沉積石層之大地工程行為 (II) 總計畫

Engineering Performance of Geotechnical Systems in Poorly Cemented Sedimentary Rocks

計畫編號：NSC 92-2211-E-009-036

執行期限：92年8月1日至93年7月31日

主持人：廖志中 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：黃安斌 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：副教授

共同主持人：董家均 執行機構：中央大學 職稱：助理教授

一、中文摘要

台灣西部麓山帶地質區地層，大部分的上新世及更新世的地層組成岩石，由層理明顯、厚度不一的砂岩、頁岩、及砂頁岩互層所組成。砂岩普遍具有膠結不良、遇水極易軟化之特性，工程性質與行為甚難掌握與決定。因此，不僅分析設計時參數的選用不易，施工時常有災害發生。因此，有必要對此膠結不良沉積岩層的大地工程行為，包括工址的探勘，岩石力學性質與行為、基礎工程行為，邊坡工程行為、隧道工程開挖行為、及監測深入探討，以供未來分析、設計、及施工的參考。另外，有鑑於現地試驗的耗時、耗費、困難性，水對膠結不良沈積岩層工程行為的重要影響，及工程地球物理與高科技產品（例如，光纖監測器）於土木工程探勘與監測的未來必然與需要性，本整合性計畫將以三年時間以詳細、準確的工址調查，光纖及TDR監測系統研發及量測，結合模型及現地試驗深入探討膠結不良沈積地層大地工程行為，企盼在未來的數年中以前期研究成果為基礎，提出更進一步的學術創新成果並與工程設計施工結合。本研究團隊針對此類地層的大地工程行為加以探討。共分為六個子計劃：

(一) 膠結不良沉積岩層之深基礎行為

(二) 膠結不良沉積岩層之淺基礎行為

(三) 膠結不良沉積岩層之邊坡行為

(四) 膠結不良沉積岩層隧道開挖之物理模型及數值分析研究

(五) 膠結不良沉積岩層之非破壞性探勘與監測

(六) 膠結不良沉積岩層邊坡受地下水之穩定影響

本報告針對第二年度期中成果加以摘述。

關鍵詞：上新世，更新世、膠結不良沙沉積岩、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 is 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 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 of 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 six sub-projects:

- (1) Performance of deep foundations
- (2) Performance of shallow foundations
- (3) Rock behavior related to slope failure
- (4) Behavior of poorly sedimentary rocks around a cavity
- (5) Field characterization and monitoring
- (6) Effect of ground water on the slope stability

This report presents the summarized results of each sub-project for the mid-term of the second year. The results include model loading tests, model of tunnel excavation, site investigation of the experimental station, fiber optics sensor and TDR application, etc.

Keywords: Pliocene, Pleistocene, foundation engineering, slope stability, in situ test, numerical modeling

二、緣由與目的

台灣中北部麓山帶地區出露之甚多年輕，膠結不良的地層，如卓蘭層、頭嵙山層等[1]。此類岩層，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，歷經近數年之努力，對於此等地層岩石之力學行為與性質已能初步掌握[2,3,4,5]。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[6]，及台中大坑地區常有軟岩邊坡破壞[7]，某水庫導水隧道施工引致抽心現象等。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尚不是完全明瞭。因此，基於對膠結不良沉積岩石力學行為的了解，本研究群自89年度開始針對上述軟岩（膠結不良沉積岩層）之大地工程行為加以研究。89及90已初步完成實驗站工址初步調查，人造岩石製作及測試，模型承載試驗系統建立，現地承載試驗規劃等等。由於本整合性研究為多目標，高度挑戰之研究，自91年度開始再進行三年期的整合性研究。本整合型研究計畫擬達成之目的包括：

1. 利用模型及現地承載試驗觀察及量測的破壞機制及受力行為，推導深、淺基礎在膠結不良沈積岩石中承載值理論，並由實驗加以檢核或修正。
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結果來估算膠結不良沈積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. 由現地邊坡觀察及監測確認膠結不良沈積岩石

(軟弱岩石)邊坡之漸進破壞與潛變之特性及受地下水之影響。

4. 由多功能剪力儀、軟岩用三軸儀、現地傍壓儀、多功能孔內實驗儀探討膠結不良沈積岩的力學行為，並建立完整的此材料的完整力學模式(包括尖峰強度、殘餘強度、小應變下的彈性常數、塑性、黏性等等)。

5. 建立工程分析數值計算程式(包括基礎承載力、邊坡穩定分析、隧道開挖分析等)。

6. 由室內模型試驗建立膠結不良沈積岩層隧道開挖行為及穩定方法建議。

7. 建立高科技且精確的非破壞性探勘及監測技術。研製時域反射(time domain reflectometry, TDR)與光纖變形感應器。結合地表波頻譜分析(spectral analysis of surface wave, SASW)、震測折射、反射及孔內波速量測建立先進的非破壞性探勘分析及量測技術。
本文針對第二年之期中成果提出報告。

三、結果與討論

總計畫及各子計畫的主要期中成果摘錄如下：

(一) 現地試驗場址調查及試驗規劃：去年度針對寶山第二水庫右壩座附近一處施工單位未來不會動用之基地進行調查及規劃，以供未來現地承載試驗使用。本項目已完成試驗場址地質調查，並已完成基地內的地質圖及地質剖面圖。其調查結果顯示此區域具有較厚之砂岩層夾薄砂岩層，層面之走向為N48°E，傾角為29°傾向東南。上半年已完成現地試驗(PMT、PS-Logging、單孔與跨孔震測)，將進一步分析以了解該區之地質特性與力學參數。上半年度之工作重點為準備未來之現場基樁及淺基礎載重試驗。載重試驗基樁內部將使用本計畫前期所研發之光纖光柵變形監測系統來量測承載力之分佈，以及基樁周

圍軟弱岩石變形之分佈。

(二) 淺基礎模型基礎內量測系統安裝及試驗：本項工作已於去年下半年度完成。主要成國敘述如下，圖一為TDR破壞滑動監測試驗結果，顯示波形變化判斷變形之位置，與試驗結果相比對，發現裂縫滑動位置非常接近。基礎內部光纖量測結果顯示量測結果充分反映基礎內部的變形，也間接證明本研究所嘗試方法之高度可行性。

(三) 室內基礎模型試驗(具邊坡形狀)承載試驗：本年上半年度已完成邊坡傾角10°、20°及30°之淺基礎承載試驗，目前除30°條件試驗結果較無一致性外，其餘皆有良好一致性之承載曲線與破壞機制，圖二所示。試驗結果顯示(圖三)，邊坡傾角10°以下其破壞機制與傾角因子較無深切影響，破壞機制為線性階段模型基腳應力集中產生之裂縫所控制成為破壞階段之滑動破壞面；而邊坡傾角20°以上其破壞機制與傾角因子有深切影響，破壞機制為線性階段模型基腳應力集中產生之裂縫成為破壞階段之次要破壞面，而待其破壞面形成後則模型基腳下方迅速形成主要破壞滑動面，造成承載力急劇下降。

(四) 試體破壞行為與扭力傳遞機制：試體固定方式，本年度改用樹脂膠結方式固定試體，效果已大為改良，不再預先出現張力裂縫。目前完成數組固定正向力條件下之扭剪試驗與固定體積條件之扭剪試驗。圖四為試體顯示試體受扭剪後破壞情形。約成45度角之裂紋相當明顯，行為符合試體扭剪破壞模式，因此扭力傳遞機制確定無誤。本計畫同時針對軟岩邊坡漸進破壞機制之模擬數值模式方法加以探討。目前亦同步發展模擬軟岩邊坡漸進破壞之模擬策略與方法。擬考慮可造成軟岩邊坡漸進破

壞之機制包括材料之應變軟化行為、強度之隨機變化、坡腳之侵蝕、水位反覆升降引起平均水位附近材料之弱化、表層軟岩之風化發展等....。

(五) 隧道開挖之物理模型及數值分析：本期研究使用現場直接取回過30號篩之岩屑粒料製作試體。製作過程考慮之配比為砂岩顆粒：石膏：水 = 1：0.25：0.2 與 1：0.25：0.25，但後者之單壓強度未達國際岩石力學協會之定義，故採用前者之配比。對人造岩石進行粒徑分析、單位重及含水量試驗、單壓試驗及三軸試驗等，以分別求得人造岩石的粒徑組成比例、平均濕密度、氣乾含水量、比重、單壓強度、凝聚力(c)與摩擦角(ϕ)等各項參數。圍壓系統及監測設備之組立同前期研究，監測元件包括微型壓力計及同軸纜線(TDR)等，惟對密閉式開挖因同軸纜線之影響讀數過低，於試體增設毛線與麻線以便試驗結束觀察試體內部變位情況。本期研究繼續上一期之模型試驗共進行了三組密閉式開挖之試驗。數值模擬網格的建立是以I-Deas軟體完成，並輸出為ABAQUS input file格式。建立的網格有兩種形式：一為參照人造岩石試體尺寸及試驗機具尺寸繪製；二為參照現地隧道施工藍圖繪製。數值分析可模擬隧道開挖過程中周圍岩層的應力及應變變化。已收集實際隧道開挖的相關監測資料，可進行分析之驗證及比較。本期研究除了探討網格形式的適用性，如元素類型及數目的影響；並進一步檢討材料模式之適用性。

(六) 非破壞性探勘與監測：非破壞性探勘主要針對多頻道表面波震測法進行研究改良，已完成通用性之波場轉換法之推導，可有效分析多頻道震波之頻散曲線，並發覺現有施測與分析程序中之限制，包括受波器

間距所造成之頻率混擾、震測線之有限長度所造成之頻譜分析洩漏、多重模態之影響、近場與遠場效應、空間解析度之限制等，每項問題已提出解決方案，進行試驗方法之改良(Lin et al., 2003; Lin and Chang, 2004; 林志平等, 2004)。監測方面主要應用電磁波域反射法(TDR)研發變形、孔隙水壓、與含水量等監測技術，目前已完成各式導波管(Wave guide)之設計，使其可感應錯動變形、孔隙水壓、及含水量，研究中發覺傳輸線之電阻對於量測之波形及結果影響甚巨，因此進一步推導考慮傳輸線電阻之波傳模式，並完成數值模擬，可完整模擬各種監測訊號之波形，並據以改善各式監測項目資料之分析程序(Lin and Tang, 2003; 林志平等, 2003; 林志平與湯士弘; 2004)。

(七) 邊坡受地下水之穩定影響：以湖口台地為例已完成分析區域之地質、地形與崩塌歷史說明、地下水文條件說明(以監測井與滲流情況為主)以及根據鑽井完成分析剖面製作(以已滑動塊體回推滑動前地形，強度參數以及水壓模式)，目前正積極利用第一年預計完成之異向性傾斜成層軟岩邊坡地下水滲流分析，以及蒐集自現地之地下水位或水壓觀測資料，將觀測值與利用數值模式計算結果進行比較，以進行滲流模式之驗證。地下排水穩定工法有效性之探討將統計並分析各種軟岩邊坡穩定措施成功或失敗之主要因素。預計探討之工程實例將包括中、北部高速公路與高速鐵路之邊坡(均通過膠結不良沉積岩層出露地區)，以探討異向性傾斜成層膠結不良沉積岩層邊坡穩定措施(含排水工法)對於邊坡穩定所發揮之成效。此一部分工作正積極進行案例蒐集整理中。

四、計畫成果自評

本報告為第二年之期中成果，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。綜觀各子計畫的成果，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。目前已有多篇論文為國內外研討會、期刊所接受發表。

Lin, C.-P., Chang, C. C., Chang, T. S., and Cheng, M. S. (2003), " Shear-wave velocities from multi-station analysis of surface wave," 3rd International Symposium on Deformation Characteristics of Geomaterials, Lyon, France, September 22 - 24, 2003.

Lin, C.-P., Chang, T.-S. (2004), "Multi-station analysis of surface wave dispersion," Soil Dynamics and Earthquake Engineering (accepted).

林志平、張宗盛、陳逸龍（2004），”Towards the standardization of Multi-station Surface Wave Method for Site Investigation,” 第十二屆非破壞性檢測技術研討會，中華民國非破壞性檢測協會年度會議，p. 213-221，中華民國 93 年。

Lin, C.-P. and Tang, S.-H., "Development and calibration of a radar extensometer using time domain reflectometry," Geotechnical Testing Journal (in review)

Dong, J.J., Tzeng, J.H., Wu, P.K., Lin, M.L., The Distributed of Pore Water Pressure in Soft Rock Slopes with Hydraulic Anisotropy, 3rd Asian Rock Mechanics Symposium, Kyoto, Japan, 2004. (accepted)

J.J. Liao, J.C. Chang, Y.W. Pan, A.B. Huang, C.P. Lin, Loading Behavior of Shallow Foundation in Poorly Cemented Sandstone, 3rd Asian Rock Mechanics Symposium, Kyoto, Japan, 2004. (accepted)

林志平、湯士弘、葉志翔、楊培熙、盧吉勇（2003），"TDR 山坡地監測系統之研發"，中華民國第十屆大地工程學術研討會，中華民國 92 年。

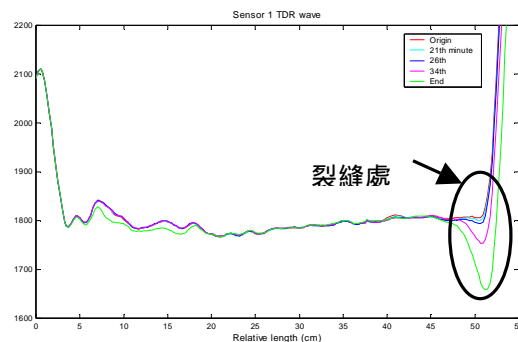
劉英助、張振成、廖志中、潘以文、黃安斌、林志平

4，『膠結不良砂岩之模型淺基礎承載試驗』，第十屆大地工程研討會，台北、三峽，2003。

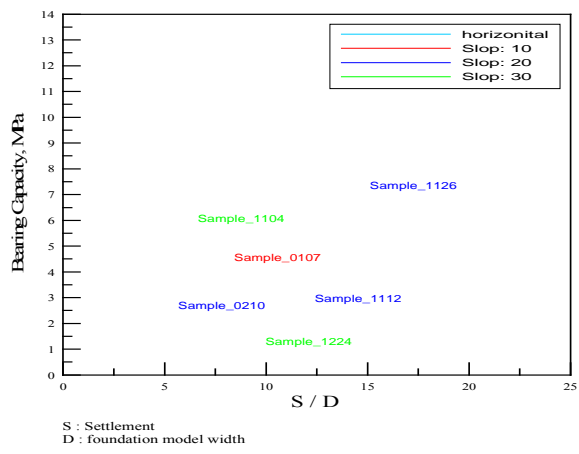
林志平、湯士弘(2004)，「時域反射伸縮計」，中華民國專利公報，pp. 2055-2062，公告編號：587173。

五、參考文獻

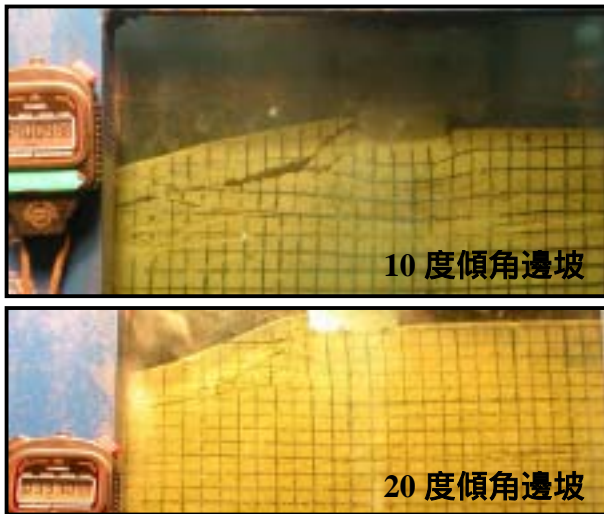
- [1] 何春蓀，台灣西部麓山帶地質，地工技術，第二十期，第 80-98 頁，民國 76 年。
- [2] 廖志中，黃安斌，潘以文，房正國，鄭孟雄，黃惠儀(1999)，”軟弱砂岩之新穎試驗設備，”土木水利，第二十六卷，第一期，第 66-77 頁。
- [3] Huang, A.B., Liao, J.J., Pan, Y.-W., Cheng, M.H., Hsieh, S.Y., and Peng, J.K.(2000), "Characterization of Soft Rocks in Taiwan," Proceedings of the 4th North American Rock Mechanics Symposium, July 31-August 3, Seattle, U.S.A., pp. 83-90.
- [4] Huang, A.B., Fang, C.K., Liao, J.J., and Pan, Y.W.(2002), "Development of a Multiple-Purpose Borehole Testing Device for Soft Rock," Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol. 25, No. 3, pp. 226-232.
- [5] 黃安斌，林志平，廖志中，潘以文，湯士弘，簡旭君，吳政達，葉致翔，盧吉勇，楊培熙(2002)，”先進邊坡監測系統之研發，”土木水利，第二十九卷，第二期，第 65-78 頁
- [6] 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。
- [7] 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。



圖一、TDR 訊號試驗結果



圖二、承載曲線



圖三、10 及 20 度之基礎破壞機制



圖四 試體扭剪破壞情形