

# 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(1/3)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-025-

執行期間：91年08月01日至92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

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 29 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 (I) 總計畫  
**Engineering Performance of Geotechnical Systems  
In Poorly Sedimentary Rocks**

計畫類別：個別型計畫      整合型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-009-025

執行期間： 91年8月1日至92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：國立交通大學土木系

中 華 民 國 92 年 5 月 26 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 (I) 總計畫

### Engineering Performance of Geotechnical Systems

### in Poorly Sedimentary Rocks

計畫編號：NSC 91-2211-E-009-025

執行期限：91年8月1日至92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：助理教授

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屬沉積岩地層，其中大部分的上新世及更新世的地層組成岩石，由節理不發達、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

本報告針對第一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 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 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 first 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、頭嵛山層等[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，自本年度開始將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的影響。
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（包括基礎承载力、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。本文針對第一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：前期已於寶山第二水庫管理中心預定地配合其他計畫完成場址調查。但因管理中心施工無法進行進一步調查及規劃。擇寶山第二水庫又壩做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。本項目前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(圖一)。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。未來將於此試驗場址進行鑽探取樣進行室內基本物性與力學試驗，並於該區配合現地試驗(傍壓儀試驗及波速量測試驗)以了解該區之地質特性與力學參數。
- (二) 淺基礎模型基礎內量測系統安裝及試驗：本研究進行模擬平面應變之基礎承載試驗，目前完成兩個淺基礎承載試驗。兩個破壞模式大致相同，觀察基礎中間位置及基腳皆有張力裂縫產生，於基礎底下有兩條裂縫相交成三角形之主動破壞區，於區內顆粒皆有壓碎、孔隙變小之狀況。第一個試體裂縫發展至觀察窗範圍，並產生沿觀察窗之裂縫形成些許非平面應變狀態；第二個試體裂縫生長有延伸至邊界的情形，另外經過改良發現無類似第一個試體有沿觀察窗之裂縫產生。圖二為其中之一試驗之破壞模式及加壓曲線。第一個試體於基礎內左側上下安裝二條光纖變形計，右側安裝TDR變形計以監測破壞弧。量測結果顯示破壞滑弧於試驗結果中無訊號之反應，檢討結果為因TDR材料過於柔勁無法於造成有效斷面改變，擬於下次試驗中更換直徑6mm的傳輸纜線。基礎內部光纖量測結果顯示基礎沈陷變形隨者加載增加而增大，另外，結果顯示隨者平均應變增加而彈性模數遞減的合理關係。此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) 載重試驗模型基樁之製作：模型基樁載重試驗之目的是研究樁體內部載重之傳遞(load transfer)與基樁受載時樁體周圍軟弱岩石膨脹之行為。本模型基樁之核心使用鋼板加工製作，此核心底部寬30mm。模型基樁之深度250mm，樁體之核心使用10mm厚之鋼板製作。樁體鋼板中心裝有光纖光柵用以量測樁體內部載重之傳遞(load transfer)。樁體之表面使用水泥漿製作，為防止水泥漿與樁體核心鋼板間之滑動，在樁體鋼板表面裝有許多鋼釘。模型樁之寬度為300mm與試體寬度相同。因此本模型基樁模擬一個二維，條形之深基礎。在試體製作完成後將試驗槽橫向500mmx600mm之檔版換成安裝有模型基樁裝面粗糙度形式之模版。使用鋼絲鋸依此模版將模型基樁將佔用之空間挖除。人造軟岩試體挖除後之空間首先放入模型基樁核心(鋼板部分)，剩餘之空間(模型基樁樁面)灌入水泥漿，以模擬混凝土與軟岩間之介面。模型基樁載重試驗時在人造軟岩試體內安

裝黏著有光纖光柵，10mm直徑之德爾林管，以量測基樁受載時人造軟岩試體內部變形之分佈。目前已完成一個模型基樁試驗，圖三為基樁載重試驗所量得載重與沈陷量之關係圖。光纖光柵讀數正在整理分析之中。

- (四) 扭剪試驗及膠結不良岩石邊坡漸進破壞：剪力實驗系統延續去年度之成果加以改良。目前之系統機制下，扭力之施加、傳遞已能執行無誤，而試體以金屬環固定橫向體積後之破壞，也大致如預期惟試體端部嵌入刀片處有明顯張力裂縫，可能影響殘餘強度，仍有改良空間。目前完成兩組固定正向力條件下之扭剪試驗。試體受扭剪後破壞情形顯示，受剪之初，試體產生數十條平行、均佈於試體各高程表面之微裂縫。而後由其中幾條微裂縫發展出縱貫試體全長之裂縫，至上下兩端連結至刀片造成之張力裂縫後試體由外而內剝離、脫落。行為符合試體扭剪破壞模式，因此扭力傳遞機制確定無誤。未來將進行包括固定體積與固定勁度條件之扭剪試驗。除扭剪試驗儀之發展，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膠結不良岩石邊坡漸進破壞之模擬策略與方法。
- (五) 隧道開挖之物理模型及數值分析：物理模型試驗部份，此三維動態物理模型進行推進工程或潛盾開挖之模擬，使用由現場取回之岩屑粒料製作試體。製作過程考慮砂岩顆粒、石膏、水不同比例之配比，使試體強度達到軟弱砂岩之定義範圍。內配備斷面掃描儀架設在管推進試驗機上方，可量測推進過程試體表面的隆起或沉陷。微型土壓計：使用TML PDA-500KPA Pressure Transducer量測試體在推進過程中內部的壓力變化。資料擷取系統：將斷面掃描儀、微型土壓計及資料擷取器DT500之軟體整合於一部PC，以增加工作效率。此外，並使用直徑為1mm的單心同軸纜線(TDR)連接高頻示波器，量測試體內部的變形。現已完成一組試驗，結果整理中。結果除了與數值分析結果比較驗證，並解釋現場施工常見問題。數值分析部份以三維有限元素程式ABAQUS對膠結不良沉積岩層隧道及推進工程開挖穩定進行數值分析。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；二維參照案例隧道施工藍圖繪製。模擬之條件為不同深度下進行管推進試驗對試體表面造成的隆起或沉陷及對周圍土層的影響。
- (六) 非破壞性探勘與監測：由於折射震測與表面波震測在施測上具有高度相似性，本計畫成功結合折射震測與表面波震測，使用相同設備，分別利用走時震測影像法 (ray-tracing tomography) 及多頻道表面波分析 (Muti-channel Analysis of Surface Wave) 推求地層之P波與S波之速度剖面。走時震測影像之分析方法具有高度自由度可模擬各種地層變化，但地層結構之反算分析較不穩定。本研究將進一步針對走時震測影像法及表面波震測之反算分析做進一步之改良研究，以提高非破壞性探勘之可靠度。本研究強調被動式電磁波與光纖監測技術之開發，並輔助模型試驗之行為觀測。在電磁波監測方面主要利用導波管 (Wave guide) 之設計，使其可感應錯動變形、孔隙水壓、及含水量。錯動變形之監測採用一般有線電視之同軸纜線，目前完成剪力變形標定盒之製作 (圖四)，可模擬不同剪力帶寬度，將進行各項監測影響因子之標定試驗。水壓監測方面已完成導波管之



設計與水位量測標定，結果相當良好。

- (七) 邊坡受地下水之穩定影響：本項針對。地下水壓模式對邊坡穩定影響之進行逆分析及探討滲透異向性邊坡地下水壓模式與邊坡穩定之關係。本研究以湖口台地某一已滑動邊坡，由假設水位以及孔隙水壓比 $R_u$ ，作為地下水參數輸入，根據不同水位或水壓給定方式，利用極限平衡STABLE 6程式Janbu block法分別計算安全係數，分析結果發現，地下水位若假設位於砂泥岩交界仍高估了安全係數，亦即真實情況地下水於砂岩層中可能為受壓水層，此一結果與實際地下水觀測結果相接近。另一方面，給定孔隙水壓 $R_u$ 值以介於0.4至0.5間較為合理，亦即地下水流線方向以夾一小角度傾向坡面，此一結果亦與實際地下水觀測結果相接近。根據上述之案例分析，可瞭解膠結不良沉積岩層邊坡穩定分析之水壓模式相當重要，本研究利用有限差分法FLAC程式進行分析，以歸納不同地質構造條件合適之水壓模式，並進一步進行穩定分析，以瞭解不同地質構造如何影響地下水壓模式，並進一步如何影響邊坡之安全係數。初步模擬 $k_h/k_v=10, 100, 與1000$ 時以及主軸傾角 $5^\circ, 10^\circ, 15^\circ, 20^\circ, 30^\circ$ 時之條件，分析結果發現不同地質條件下，滲透異向性邊坡等勢能線有極大之差別，分析結果與Hoke and Bray(1977)所展現異向性滲流邊坡等勢能線一致。另一方面，位於某一可能滑動圓弧上之水壓分布，亦受邊坡滲流異向性影響。於相同 $k_h/k_v$ 值時，主軸傾角增加將造成孔隙水壓下降。因孔隙水壓受軟岩邊坡互層之地質條件控制，因此顯然邊坡穩定性將受到影響，本研究目前正進一步進行滲流異向性邊坡之穩定分析中。

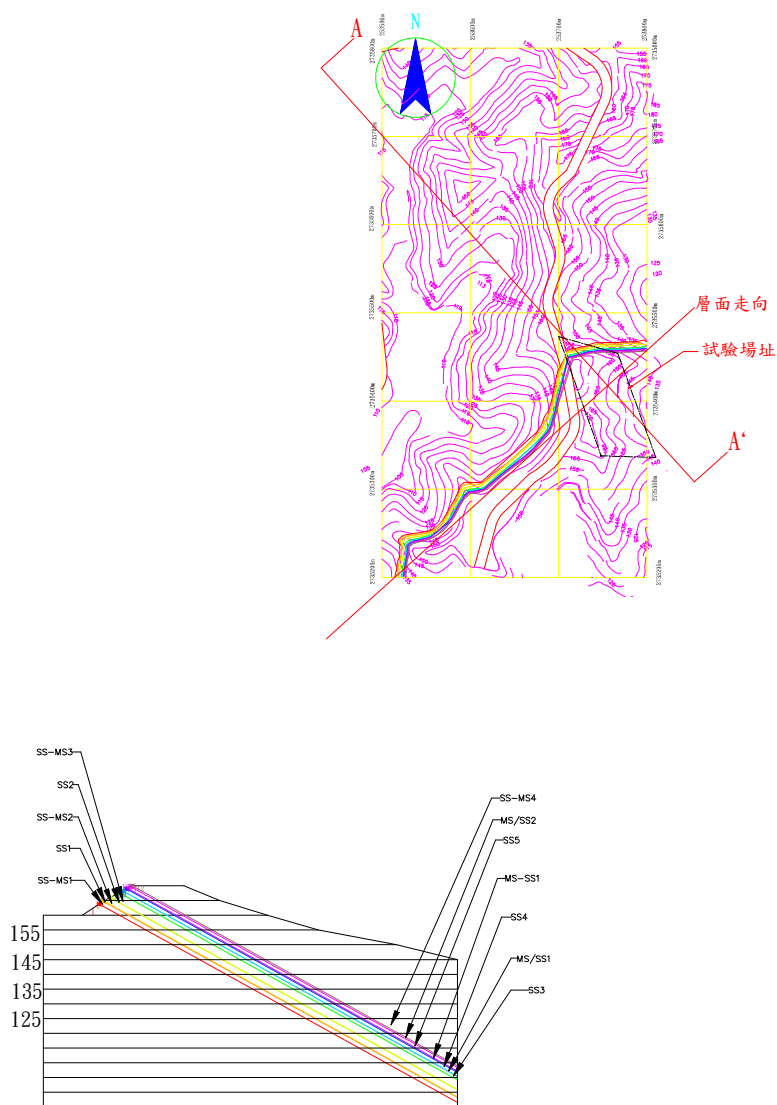
#### 四、計畫成果自評

本報告為第一年之期中成果，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。

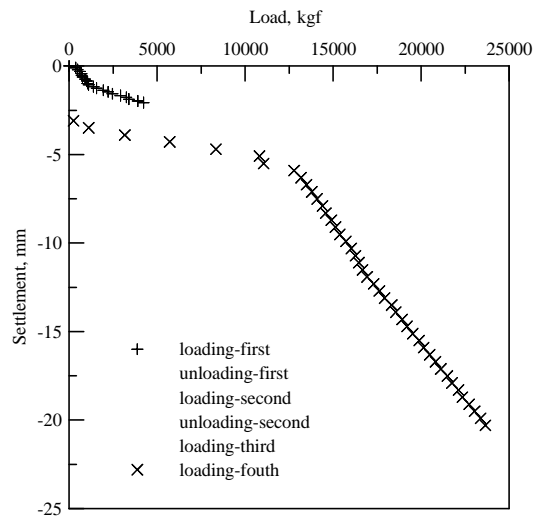
#### 五、參考文獻

- [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 4<sup>th</sup> 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

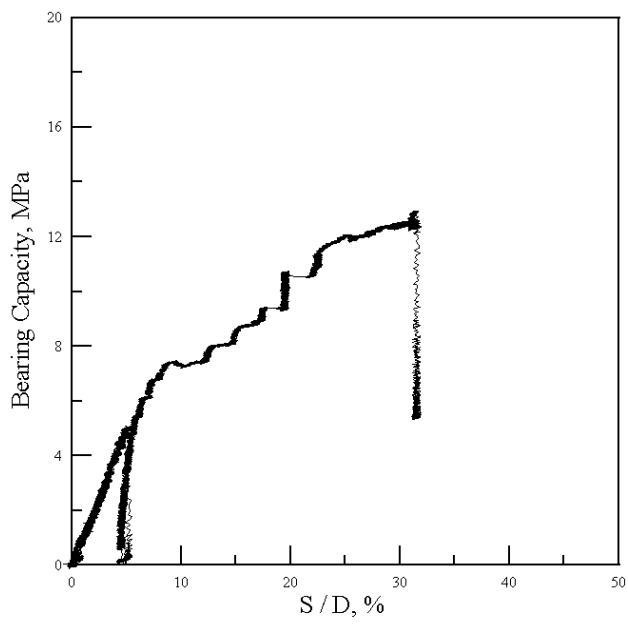
- [6] 蘇英豪，北二高關西至新竹段沿線邊坡坍塌整治方案彙集報告，國道建設技術研討會論文集，pp.69-87，民國 83 年。
- [7] 董家鈞、廖志中、潘以文(1999)，”臺中大坑地區軟岩邊坡崩滑型態與機制之探討”，第八屆大地工程學術研究討論會論文集，民國 88 年 8 月，屏東，1616-1627.



圖一 實驗站地質圖及剖面圖

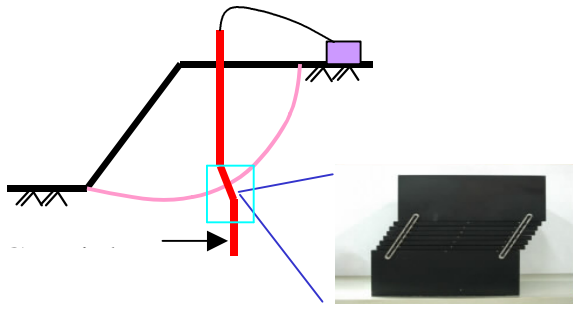


圖三基樁載重試驗載重與沈陷量之關係圖



S: Settlement  
D: foundation model width

圖二淺基礎試驗破壞模式及加壓曲線



圖四 TDR 剪力變形標定盒