

極軟弱岩石取樣與現地試驗技術之研發

Development of Sampling and In-Situ Testing Techniques for Very Weak Rocks

計畫編號：NSC89-2211-E-009-036

執行期限：88 年 08 月至 89 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（關鍵詞：軟弱岩石、現地試驗、傍壓儀試驗）

台灣中北部麓山帶地區出露之地層多屬極軟弱年輕之砂岩層普遍具有固結差，膠結不良之特性。岩層取樣過程對岩樣本身之組織構造可能已造成破壞。而且軟弱岩石中或多或少存在有缺陷，如裂縫、互層與節理等。理想的現地力學試驗應該可以量測缺陷對整個岩體的影響，而且可避免取樣擾動之問題。傳統之現地試驗需要使用大型儀器，費用昂貴。作者研發完成一套中型系統，稱為多功能孔內試驗儀，其構想來自於可回收式試驗裝置之概念，再加上 Goodman 千斤頂儀之構想。多功能孔內試驗儀可在 20cm 直徑之孔內施作鑽孔千斤頂試驗、鑽孔剪力試驗、及孔底平板載重試驗。經由這些試驗可決定軟弱岩石之現地橫向與縱向的應力-應變-強度之關係，並且能夠感應到岩石中缺陷或互層的影響。主持人在苗栗縣頭屋鄉飛鳳村建立了一個試驗場站，在此地之軟弱砂岩中完成了一系列之現地試驗包括多功能孔內試驗、PS Logging 以及高壓傍壓儀。本報告敘述此多功能孔內試驗儀系統、試驗程序、結果之分析以及與其他試驗結果之比較。

英文摘要（keywords：weak rocks, in-situ test, pressuremeter test）

The outcrops in the central and northern regions of Western Taiwan often contain poorly cemented, very weak and young rock formations. The rock sampling process is likely to damage the structure that originally existed in the rock mass. Soft rocks are likely to have defects such as crack, bedding and joints. An ideal in situ test rig method should be able to determine the effects of the defects on the behavior of the rock mass, while avoiding the problems of drilling disturbance. Conventional field testing requires large size and

costly equipment. The authors developed a medium sized multiple purpose Borehole Testing Device (BTD). The design of BTD stems from the concept of retrievable test rig with an added function of a Goodman jack. The BTD is capable of performing Goodman jack, borehole shear tests on the side of the borehole and plate bearing test at the bottom of a 200mm diameter borehole. From these tests, the stress-strain and strength relationships of the surrounding rock mass in lateral and vertical directions, with the influence of existing defects, can be determined. The authors established a test station in Miao Li, where a series of BTD, P-S Logging and high stress pressuremeter tests were performed. This paper describes the details of the BTD, its test procedure, interpretation of the test results and discusses comparisons with results of other types of in situ tests.

二、計畫緣由與目的

台灣中北部麓山帶地層主要係以上新世之卓蘭層及上新-更新世之頭嵙山層為主，此種岩性以砂及泥質岩石組成之互層為主，岩石普遍具有固結差及膠結不良之特性，受解壓或經開挖暴露後，易於分解、侵蝕，因強度不高，節理並不發達影響亦不明顯。傳統地質調查方式及試驗方法係基於硬岩而發展，軟弱岩石對鑽探介質甚為敏感，於鑽探過程中受介質沖洗軟化，且因本身膠結不良，易受人為擾動及解壓之影響，而導致岩心本質不佳。使用現地試驗可避免取樣之擾動性問題，而且理想的現地試驗應該可以量測缺陷對整個岩體的影響。要達到這個目的，試驗時受應力影響之材料範圍就必須擴及這些可能存在的缺陷或互層才會得到具有

代表性的結果。相關傳統的現地力學試驗方法均可達到此一要求，像是平板載重試驗和現地直接剪力試驗等。但是傳統這些試驗需要使用大型儀器，價錢非常昂貴，在實際解決工程問題上，常會因此而不加以考慮。作者試圖研發一套中型系統，可在鑽孔內做類似傍壓儀之鑽孔千斤頂試驗(borehole jack test)、鑽孔剪力試驗(borehole shear test)、以及孔底平板載重試驗(plate loading test)。此系統裝置適用於軟弱岩石之現地試驗，不僅可以求取橫向與縱向之應力—應變關係曲線，更可以得到鑽孔側壁剪力行為，而且其試驗應力影響範圍需擴及軟弱岩石之缺陷(defects)。主持人在苗栗縣頭屋鄉飛鳳村建立了一個試驗場站，在此地之軟弱砂岩中完成了一系列之現地試驗包括多功能孔內試驗、PS Logging 以及高壓傍壓儀。本論文敘述此多功能孔內試驗儀系統、試驗程序、結果之分析以及與其他試驗結果之比較。

三、試驗場址地質狀況

苗栗試驗場縣頭屋鄉飛鳳村，本區位於後龍溪流域，在地質分區上屬於台灣西部麓山帶地質區。出露之地層有南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層、頭嵙山層、紅土台地堆積層、階地堆積層和沖積層，土壤多為崩積土。試驗深度內之主要岩層砂岩、粉砂岩、頁岩及泥岩互層。部分地區為紅土以及卵礫石和泥砂所覆蓋。苗栗試驗場有一孔(MB-1) 7m 深之鑽孔，進行 1 組 PMT 及每 0.5m 一組之 P-S Logging 試驗。本文所敘述之現地試驗多選擇在砂岩及頁岩中進行。

四、多功能孔內試驗儀系統介紹

整體構造

多功能孔內試驗為房正國(1999)【2】所研發，本試驗儀器之系統可分為：主體、量測擷取系統、動力系統。多功能孔內試驗儀主體主要由三部分組成，如圖 1 所示，總共高度約 1.9 m，由上至下分別為：上部鑽孔千斤頂試驗裝置、中部傍壓儀放置筒與資料擷取盒、與下部平板載重試驗裝置。可做鑽孔千斤頂試驗(BJT)、孔底平板載重試驗(BPLT)、以及鑽孔剪力試驗

(BST)。平板直徑與鑽孔千斤頂儀(未擴張時)直徑設計為 200mm。ISRM (1981)建議平板之厚度設計應為 20mm，才可以達到剛體平板之要求，因此平板之厚度採用 20mm。本試驗裝置採取長徑比 3，符合 Goodman et al. (1968)建議範圍之最低值，因此鑽孔剪力試驗與孔壁接觸之長度採用 600mm。

上部為鑽孔千斤頂試驗裝置，內部利用或高壓傍壓儀使其膨脹推擠孔壁；此外，在施作平板載重試驗時，可以同時對側壁施作鑽孔剪力試驗，以求得鑽孔側壁剪力與變形之行為。中部為傍壓儀放置筒與資料擷取盒裝置，傍壓儀放置筒的目的在放置與保護傍壓儀，使其橡皮模可以置上部千斤頂試驗裝置的中間部份，使其推擠四片填充板膨脹時不會造成偏心；而擷取盒的目的為放置與保護內部之資料擷取卡。下部為平板載重試驗裝置，利用 300kN 之油壓千斤頂推動平板，同時也推動上部千斤頂試驗裝置，進行鑽孔剪力試驗。

鑽孔千斤頂試驗裝置

鑽孔千斤頂試驗裝置可進行鑽孔千斤頂試驗與鑽孔剪力試驗，主體由四片鋁合金材質之填充板所構成，中間留有直徑 76mm 之孔洞，以便放置高壓傍壓儀，填充板相鄰兩者之間裝設有五條拉力彈簧，在填充板閉合時已預先施予拉力，此目的在於試驗完之後，填充板可以自行回復到原先直徑 200mm。為了避免試驗時，傍壓儀的薄模有被填充板或鑽孔岩壁割破之危險，將一鋼片捲成螺旋狀放入四片填充板的正中央，在膨脹時可填補填充板之間的空隙，試驗完後又可因為拉力彈簧回復到原來的情况。

傍壓儀放置筒與資料擷取盒

上側為傍壓儀放置筒，其長度為 365mm，如此之長度設計才可以讓傍壓儀的薄模位在上部的四片填充板的正中央，加壓膨脹時才會讓力量平衡，填充板向外均勻膨脹。下側為資料擷取盒用來放置類比/數位轉換器與電壓放大器，一方面可以提供量測儀器與資料擷取系統之輸入

電源，另一方面可以把轉換後之數位訊號傳遞到地表，將資料傳入電腦內，並配合資料擷取程式，於試驗進行時可以同時立即在電腦螢幕上顯示所有監測系統之讀數

平板載重試驗裝置

平板載重試驗裝置主要包括一個平板試驗用之 300kN 千斤頂、荷重元轉接管、以及平板之基本配備。平板載重試驗之動力源為一個可受壓 70MPa，推力可達 300kN、揚程 25mm 之油壓制動器，兩條 30m 長兩端為快速接頭之油管，以及一台可加壓到 100MPa 油壓機。試驗時可利用調壓閥來達到穩定壓力，進行多階段加載。油壓機和千斤頂具有進出油口各一，可在試驗後輕易的將平板收回。荷重元轉接管連接荷重元與平板，長度為 220mm，主要功能為有足夠空間可以在平板架設一支線性位移量測器，以量測千斤頂之推進量。平板之直徑為 200mm。

位移量測儀器系統

上部鑽孔剪力試驗架設四支量測範圍 50mm 之線性位移量測器，在其上方架設，分別量測相鄰兩片 x 軸與 y 軸填充板之垂直位移量，推知鑽孔剪力試驗之位移量。平板載重試驗裝置架設一支，利用鋼環將線性量測器固定於底部千斤頂上，線性量測器內之滑桿固定在平板上，量測底部千斤頂推進量。

五、多功能孔內試驗程序

多功能孔內試驗程序主要可分為四個主要步驟：鑽孔、儀器定位、傍壓儀膨脹(鑽孔千斤頂試驗)，以及油壓缸加壓(平板載重試驗與鑽孔剪力試驗同時施作)。

鑽孔

本試驗儀器未擴張前之最大外徑為 200mm，所以採用直徑 = 200mm 鑽孔尺寸之孔洞進行試驗。鑽孔程序考慮 ISRM (1981) and ASTM (1992) 皆對於欲施作鑽孔千斤頂試驗與孔底平板載重試驗之要求。其程序如下：

1. 先使用 BX 鑽頭來鑽孔。(如此可加速步驟 2 之鑽孔速度也可避免步驟 2 所鑽之孔洞

過大)

2. 再使用鑽頭尺寸為 73mm 的鑽頭來擴孔，以施作傍壓儀試驗。鄭孟雄等 (1999)【3】對傍壓儀試驗之程序有詳細之敘述，不在此重複。
3. 傍壓儀試驗完成後用 HX 鑽頭來擴孔。(如此可加速步驟 5 之鑽孔速度也可避免步驟 5 所鑽之孔洞過大)
4. 以鑽頭尺寸為 200mm 的鑽頭來擴孔，直到快達預定施作實驗之深度。
5. 以鑽頭尺寸為 220mm 的鑽頭，來擴孔至預施作實驗之深度之上 1.9 m 處，如此若有剝落之土塊或岩塊掉入鑽孔千斤頂四片填充板膨脹之空隙中，造成填充板無法縮回時，亦能拉出儀器。
6. 將孔底清理乾淨，確定孔底無岩石碎片與泥土。

儀器定位

包括儀器主體之組裝、量測儀器之架設、量測擷取系統與動力系統之接線以及試驗儀器吊至定位其步驟如下所述：

1. 在預定施作實驗之孔洞附近(方便吊放儀器)，將上中下三部份的試驗儀器主體組合，圖 2 顯示組裝完成之儀器系統。
2. 將儀器緩慢吊起，保持其垂直度與穩定性，放入孔洞中，當鑽空千斤頂之四片填充板恰露出地面時先暫停吊入之動作，此時架設線性位移量測器。
3. 將所有線路連接，確定量測擷取系統與動力系統作業正常，一切妥當後，再將試驗儀器吊至預施作實驗之深度。

傍壓儀膨脹

因為鑽孔千斤頂試驗儀器之壓力源為傍壓儀，所以使用傍壓儀之膨脹來進行鑽孔千斤頂試驗。傍壓儀受壓膨脹，推擠鑽孔千斤頂儀器之四片填充板去量測鑽孔側壁之壓力與變形的行為即本步驟之原理，參考 Goodman jack test 施作原理其操作步驟如下：

1. 實驗初始加壓階段壓力間隔為 1 kg/cm^2 ，壓

力超過 10 kg/cm^2 時加壓階段壓力間隔改為 2 kg/cm^2 。

2. 加載 1 分鐘後，立刻加壓至下一階加載狀態，如此一階一階加載，直到所需之壓力值。
3. 到達所需之壓力值時，加載時間改為 10 分鐘或者更長，讓其發生潛變，達到穩定變形後，就接著做平板載重試驗與鑽孔剪力試驗(步驟將在下一節說明)。之後再解壓至零壓力狀況，而解壓階段之壓力間隔、時間與加壓階段相同。

油壓缸加壓

鑽孔千斤頂試驗達預定之壓力時，且在達到穩定變形之後，利用底部油壓缸受壓推動平板下壓(此即平板載重試驗)，而其反作用力也會推動四片填充板向上移動(此即鑽孔剪力試驗)，利用荷重元與線性位移量測器之讀數，來求出力量與變形量之關係，但平板載重試驗部分由於有相對位移所以線性位移量測器之讀數要做修正。操作程序如下：

1. 用油壓機提供壓力，轉動其調壓閥，每階段調壓 5 kg/cm^2 ，變形量穩定後，再加载下一階段載重。
2. 一階一階加載，直到油壓缸伸長達到 2.5 公分之極限、或荷重元受力將要超過 220kN 時，或鑽孔千斤頂之四片填充板滑動造成儀器整體滑動時，即停止試驗。

六、結果分析

在苗栗試驗站試驗岩層走向為北 60° 40° 傾向東南。在此共進行兩組編號分別為 428 與 506 之孔內試驗，其孔底深度都為 4m。為提供參考數據，在孔內試驗區域內也另行鑽 7m 深之鑽孔取岩心做室內試驗以及現地孔內 P-S 波速量測。圖 3 為試驗 0506a 之鑽孔千斤頂試驗，所得到之徑向應力應變曲線， P_{PMT} 為壓力源高壓傍壓儀之壓力，起初徑向應變增加非常迅速，此現像是因為試驗時孔壁直徑大於鑽孔千斤頂試驗儀四片填充板之外徑，加上四片填充板中間供放置傍壓儀之外徑大於傍壓儀外徑所

致。直到徑向應變為 20% 時應變增加速度變非常的緩慢，此現像是因為四片填充板也已接觸到孔壁所致。

鑽孔千斤頂試驗結果，可以利用 Goodman et al. (1968)【4】 and Heuze (1993)【5】所提之公式計算岩體橫向之 x 軸與 y 軸的彈性模數。圖 4 為試驗編號 0506b 孔底平板載重試驗(BPLT)與試驗編號 0506f 鑽孔剪力試驗(BST)之力量與位移之關係曲線，因為省去了傳統平板載重試驗龐大的反力架系統，而改以鑽孔千斤頂儀所提供之抗剪力來當作孔底平板載重試驗之反力來源，所以圖形中曲線之水平部分，是因為此時的所施加之力量大於四片填充板所提供的反力而產生大量的滑動所致。使用底部平板千斤頂所進行多階段加載，得到平板載重試驗之力量-變形關係曲線，亦可利用 Pells (1983)之公式獲得岩體之縱向 z 軸的楊氏彈性模數 $E_{z,p}$ 。圖 5 為試驗編號 0428f-i 之鑽孔剪力試驗之正向應力與抗剪應力之關係曲線，由圖中可看出兩者約呈線性關係，由庫倫破壞理論可推知所試驗之岩層之摩擦角 ϕ 為 42.08° ，陳賀瑞(1997)【6】指出卓蘭層之軟弱砂岩傳統三軸之 c 值約 1.5~3MPa， ϕ 值約介於 $41^\circ \sim 43^\circ$ ，而本試驗是在苗栗天花湖水庫預定地施作，此地區之地層有錦水頁岩、卓蘭層與階地堆積，因此可推知所求之摩擦角 ϕ 應為可接受之值。圖 6 為所有試驗所得之剪力模數隨深度之變化。x 方向為岩層走向方向與 y 向垂直。其中現地孔內波速量測試驗得到之動態彈性模數遠較高壓傍壓儀與多功能孔內試驗儀之鑽孔千斤頂試驗為高，此乃因為波傳振動產生之極小的應變，為一彈性行為，而高壓傍壓儀與多功能孔內試驗儀之鑽孔千斤頂試驗造成之位移量也許已有塑性產生，或是微裂隙增長，因此試驗所得到之變形模數較波速量測者為低。高壓傍壓儀試驗所得之剪力模數與鑽孔千斤頂試驗所得之剪力模數有些出入，造成此結果是因為鑽孔千斤頂試驗結果之解釋採用多個修正因子、並有不同理論

之選擇。但兩實驗隨深度變化之趨勢相似。平板載重試驗所得之剪力模數遠低於其他試驗。

七、參考文獻

房正國、鄭孟雄、黃安斌、廖志中、潘以文 (1999): [軟弱岩石孔內試驗裝置之研發], 第八屆大地工程學術研究討論會, 恆春, pp.1062-1074。

房正國(1999), 「軟弱岩石孔內試驗儀器之研發」, 國立交通大學土木工程系, 碩士論文。

鄭孟雄、房正國、黃安斌、廖志中、潘以文、徐世定、彭瑞國 (1999): [高壓傍壓儀之研發], 第八屆大地工程學術研究討論會, 恆春, pp.1053-1061。

Goodman, R. E., Van T. K. and Heuze F. E. (1968): "Measurement of rock deformability in boreholes," Proceedings of 10th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Austin TX, pp. 523-555.

Heuze, F. E. (1993): "How Do Some Field Tests Really Work? The Case of the NX-Borehole Jack," Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice, & Projects, Vol. 3 Rock testing and site characterization, pp. 683 -692.

陳賀瑞, 1997, [中北部地區極軟弱砂岩之物理與力學性質之初步探討], 碩士論文, 國立文通大學土木工程系, 第86-89頁。

八、圖表

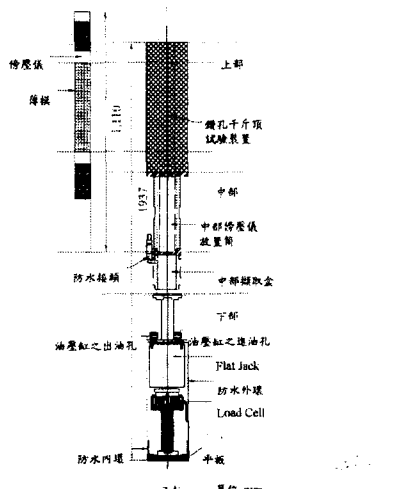


圖 1 多功能孔內試驗儀主示意圖。



圖 2 組裝完成之儀器系統。

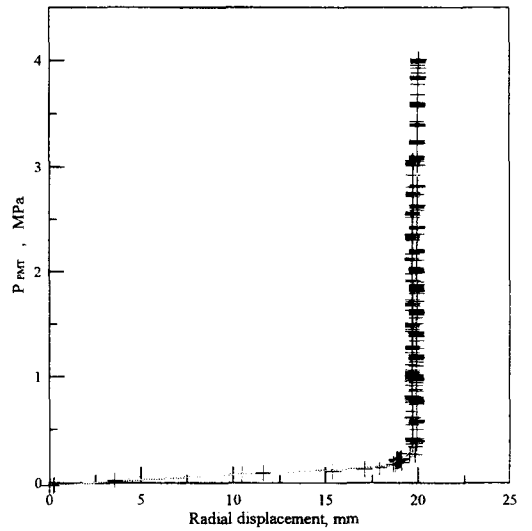


圖 3 0506a 鑽孔千斤頂試驗徑向應力應變曲線

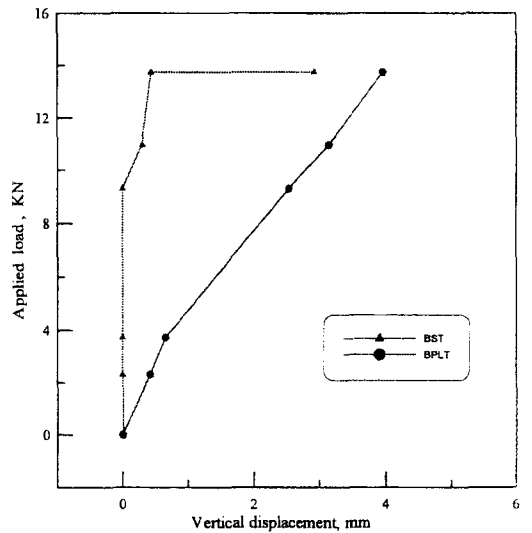


圖 4 0506b 孔底平板載重試驗與 0506f 鑽孔剪力試驗之力量與位移之關係曲線。

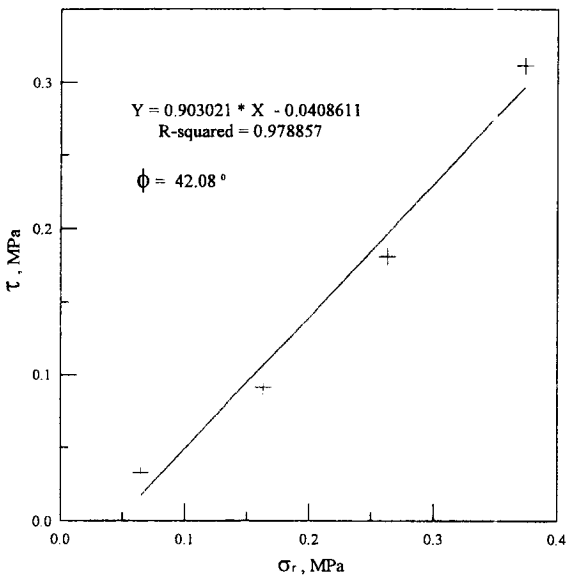


圖 5 0428f~i 之鑽孔剪力試驗之正向應力與抗剪應力之關係圖。

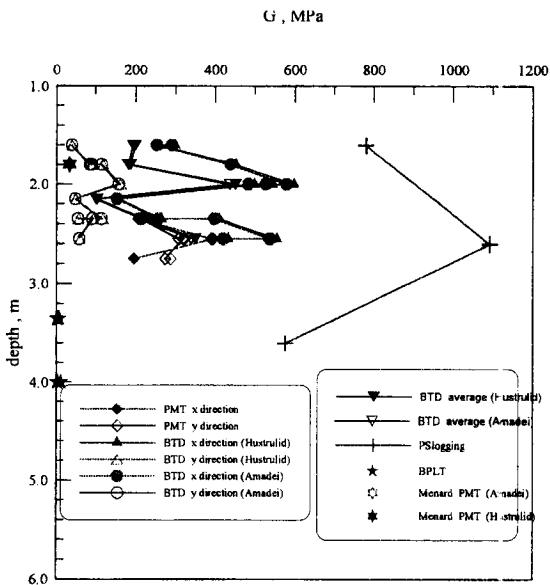


圖 6 各種試驗所得之剪力模數隨深度之變化。