

第三章 地質鑽探與現地試驗

本研究主要分為四部分，第一部分為地質鑽探與現地試驗規劃，而良好的鑽探品質有助於取得品質優良之岩心以供判釋與崩積層材料分類；第二部分為現地孔內造影試驗，以求得研究場址之不連續面位態資料；第三部分為現地孔內震波量測試驗，以求得崩積岩體之震波波速來推估崩積材料之動態性質；第四部分為數值地形模型(DTM)分析，歸納梨山地區數值地形模型分析之坡向、坡速以及坡形的地形指標。最後綜合所有結果初步推論梨山崩積地區的形成機制與崩積體內軟弱層滑動介面形成之原因。

3.1 地質鑽探與現地試驗規劃

3.1.1 研究場址

本研究選擇梨山崩積地區之 B-9 滑動體作為研究場址(圖 3.1)，其選擇考量原因有：

(1)用地取得容易，施工機具進出方便：梨山崩積地區山坡地遍佈私人土地作為果園栽種，而 B-9 滑動體為「國民旅舍」舊址，現闢為景觀平臺，為公有地，隸屬「叁山國家風景區」，對於鑽探孔位之選取之協調較為方便。

(2)有過去滑動體之監測資料：B-9 滑動體以往建構許多監測儀器監控地滑情形，有許多監測資料，茲列於表 3.1 整理。

(3)鑽探可以獲得粉土質黏土層的軟弱層：一般認為梨山崩積地區之滑動介面乃風化板岩塊與岩盤之間的粉土質黏土層，其力學性質與材料結構，為探討其形成原因與滑動體滑動機制的其中一項指標，由於過去鑽探

品質不佳，此軟弱層常因為鑽探回水沖洗而消失殆盡，鑽取此軟弱層施作室內力學試驗有助於釐清其滑動的原因。

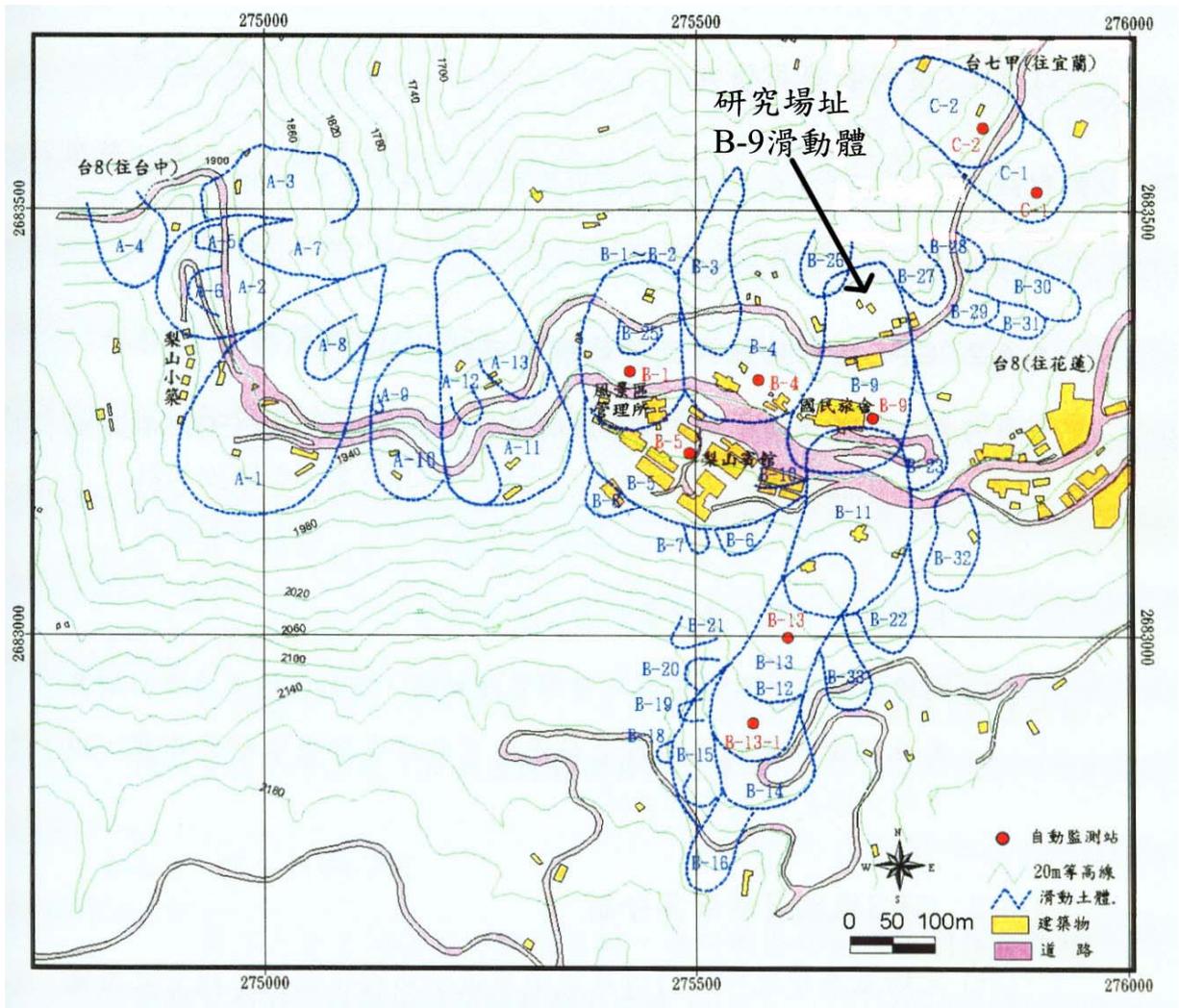


圖 3.1 梨山崩積地區滑動土體分佈圖(修改自水保局二工所，2005)

表 3.1 B-9 滑動體監測儀器列表(整理自富國技術工程，2001)

系統	儀器項目(編號)數量		備註
自動監測	管內傾斜儀一組		資料測讀時間 85/1/28~90/1/31
	地表伸縮儀一組		
	雨量計一組		
	壓力式水位計一組		
人工監測	管內傾斜儀(MIN-9)		台七甲線上邊坡 利用 CH-22 鑽孔設置 資料測讀時間 87/7/7~89/12/15
	水管式地盤傾斜計(T-6)		國民旅舍東側橋下 資料測讀時間 87/6/23~89/12/15
	水管式地盤傾斜計(T-8)		台七甲線上邊坡 資料測讀時間 87/6/23~89/12/15
施工中 安全監測	第四期集水井 (W15)	傾斜儀觀測管一組 水位觀測井一組 建物傾斜儀三組	
	第四期集水井 (W16)	傾斜儀觀測管一組 水位觀測井一組	
	G2 排水廊道	傾斜儀觀測管兩組 水位觀測井四組 建物傾斜儀六組	

3.1.2 鑽探孔位選擇與現地試驗施作項目

為針對梨山崩積層之組成材料特性，鑽探孔位之布設與深度以能夠提取崩積土、風化板岩塊、粉土質黏土之軟弱層，以及新鮮板岩為主要考量條件，依照富國技術工程公司(2001)所繪通過 B-9 滑動體之 Y-4 剖面圖(圖 3.2)來判斷鑽探所需之深度。N-1 孔佈設於 B-9 滑動體下邊坡台七甲線之南側(圖 3.3)，鑽孔深度 40m，預計在 25m 深遇到新鮮岩盤；N-2 孔佈設於 B-9 滑動體上邊坡國民旅舍觀景平臺入口處(圖 3.4)，台八線北側，鑽

孔深度 80m，預計在 52m 深遇到新鮮岩盤。N-1 孔在鑽探後，預計施作懸垂式孔內震波量測以及孔內聲波造影儀；N-2 孔在鑽探完成後，施作孔內聲波造影儀以及孔內光學造影儀，並埋設 TDR 纜線供日後量測之用，茲將 N-1、N-2 兩孔鑽探與現地試驗規劃項目整理列於表 3.2。

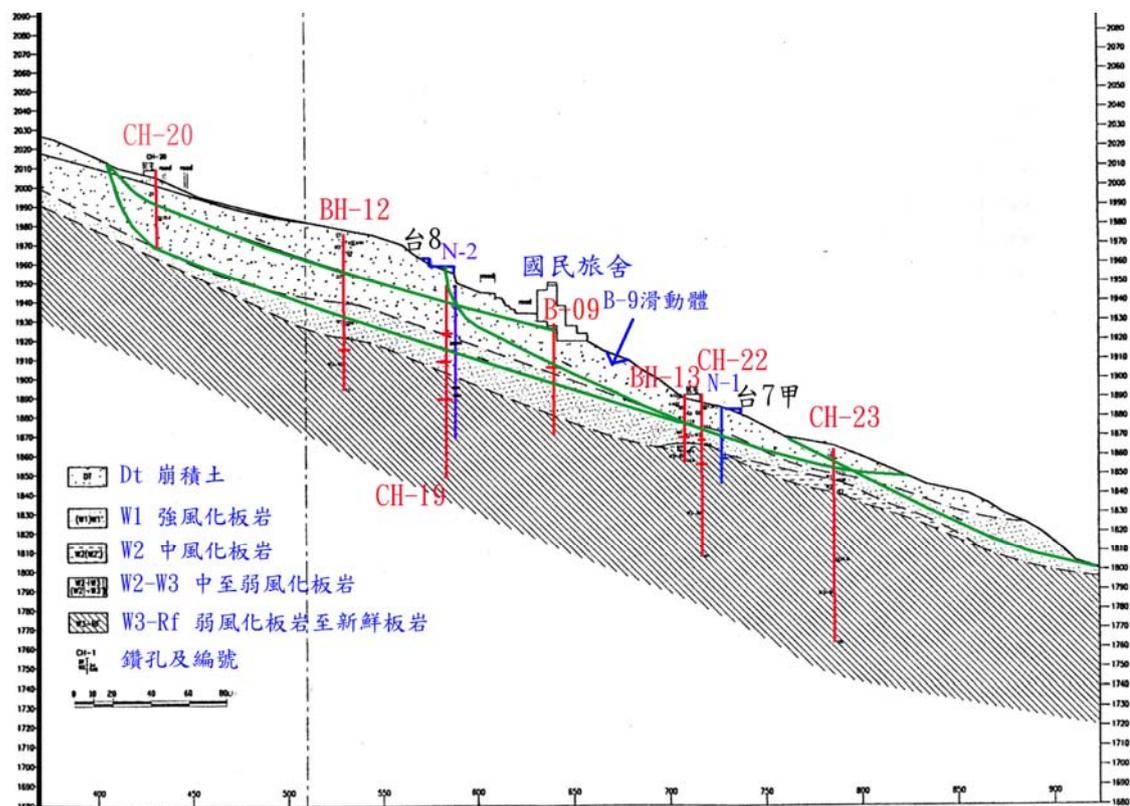


圖 3.2 鑽探規劃示意圖(修改自富國技術工程，2001)

表 3.2 鑽探與現地孔內試驗規劃表

孔位	N-1	N-2
位置	台七甲線南側	台八線北側
孔位高程(m)	1883	1930
岩盤高程(m)	1858	1878
鑽探前推估		
風化層深度(m)	25	52
鑽探前推估		
鑽探深度(m)	40	80
孔內試驗	孔內聲波造影	孔內聲波造影
	懸垂式 P-S 波量測	孔內光學造影
		TDR 纜線埋設



圖 3.3 N-1 孔鑽探前與鑽探施作情形



圖 3.4 N-2 孔鑽探前與鑽探施作情形

3.1.3 鑽探方法

梨山崩積地區岩性為風化程度不同之板岩，其劈理發達、破碎的特性使得鑽探的困難度提高，本研究為確保鑽探岩心品質以供岩心判釋以及室內試驗，與維持孔壁完整性以供現地孔內試驗施作，特別採用超泥漿®為鑽探穩定液，超泥漿®係一種含聚丙烯醯胺的細顆粒粉末型高分子聚合物，用水稀釋後具有極佳的黏滯度與潤滑性，具包覆黏土、泥頁岩，減少其水化膨脹的功效，適用於黏土、頁岩、砂質地層。其對於粉土質黏土層之取樣亦提供相當大的保護性，表 3.3 為超泥漿®高分子聚合物穩定液與一般傳統皂土液之特性比較表。

本研究使用 KH-2L 改良型鑽機，鑽孔孔徑為 HQ(98mm)，搭配旋轉式鑽鑿法進行。取樣方式以鋼索取岩心法(圖 3.5)進行，一般傳統取樣必須起鑽並抽拔鑽桿的動作，而當深度越深時，所需抽拔之鑽桿數量也越多，不但耗時長，而在破碎軟弱之地層中容易增加崩孔的機會。鋼索取岩心法之岩心管內管有一爪狀的矛頭，取樣時只需將鑽進軸最上方鑽桿卸下，由鑽桿管口放入連接鋼索之拋射桿，使拋射桿與鑽桿底部岩心管內管上端之爪狀矛頭接合，利用捲揚機即可吊出內管與取樣器，而免除拆卸鑽桿的繁瑣動作，可加快鑽探速度以及減少鑽孔之擾動，同時因泥漿水持續迴流而增加孔壁的保護性。岩心取樣採用 HQ-3 岩心取樣管，圖 3.6 為外管(97mm)與內管(61mm)部分，內管內部另有兩片分裂式的第三層管，其材料為鋁合金。當裝滿岩心或岩心已堵塞時，將岩心筒內管取出，將分裂式第三層管與岩心緩緩擠出，取出之岩心為幾近未受擾動之原狀。

表 3.3 傳統皂土穩定液與超泥漿®穩定液之比較表

比較項目	傳統式皂土穩定液	超泥漿®穩定液(Neat Vis)
礦物成分	含有蒙托土之天然礦物，呈粉末狀	含高分子量之聚丙烯醯胺及多種介面活性劑之配方所組成，為細顆粒粉末狀
使用配比	5%-8%，依地質情況而定	1:3,000，依地質情況而定
拌合時間	達其功效需拌合 24 小時	拌合後即達到功效，即拌即用
比重	具親水性，鑽掘土壤易水解於皂土穩定液中，致使比重提高	比重近於 1，鑽掘土壤不易水解於超泥漿®穩定液(Neat Vis)中，因此不易提高比重
保護性	利用皂土穩定液中之黏土膠質造壁，以達到穩定開挖壁面之效果，塵泥膜將隨濾過水增加而變厚。	利用超泥漿®穩定液(Neat Vis)中之膠質黏度將土壤顆粒縱橫膠結，以達到穩定開挖壁面之效果，無塵泥膜
場地需求	24 小時之前預先拌合膨脹，因此需設置預拌池，泥砂含於皂土穩定液中不易沈澱，必須設置沈澱池並於回收液中添加沈泥劑、分散劑，泥砂沈澱後，始能提供下次使用	可直接拌合使用，不需設置預拌池，回收液中含砂量極低，可直接置於貯存池中備用，不須設置沈澱池
循環使用	使用 3-4 次後即產生劣化現象，必須棄置	不產生劣化現象，可無限次重覆使用
棄置情形	需經處理且須運送棄置，增加運輸及處理之費用	加入硫酸鋁，將聚合物中的鏈結破壞，使其黏度消失後，即可直接噴灑於地面上或排放入下水道中棄置

(參考自統偉貿易股份有限公司網站(<http://www.tondalee.com.tw>)，2006)

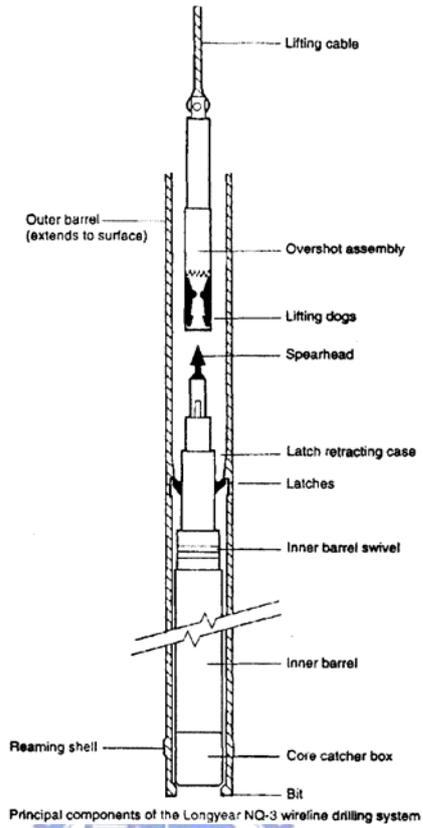


圖 3.5 鋼索式取岩心法裝置示意圖(Longyear NQ-3 wireline coring method)(摘自 Clayton, et al., 1995)

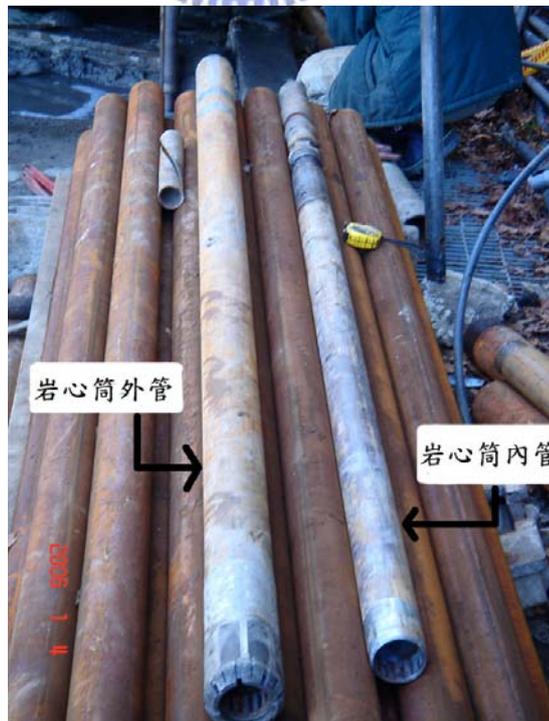


圖 3.6 岩心筒之外管與內管

3.2 現地孔內造影施作方法

本研究使用之孔內造影方法為孔內聲波造影儀以及孔內光學造影儀，以下針對孔內聲波造影儀說明其儀器施作原理以及方法；孔內光學造影儀由於施作方法相同，僅說明儀器構造，其施作方法不再贅述。

3.2.1 試驗儀器

本研究使用之孔內聲波造影儀為英國 Robertson Geologging Ltd.所研發，其主要可分為三個部份，分別為(1)探測器(Sonde)；(2)資料擷取裝置(Micrologger 2)；(3)絞盤(Winch)。茲針對孔內聲波造影儀之各部份儀器說明如下：

(1) 探測器(Sonde)



聲波式探測器總長度 2.31m，直徑 48mm，適合施作之鑽孔孔徑範圍為 67~150mm，其構造如圖 3.7 所示，其主要元件分為三部分，分為電源供給與傳輸裝置(Power supplies and communications)、中心定位裝置(Centralisers)、以及自旋式超音波傳感器(Rotating ultrasonic transducer)。

中心定位裝置為兩組彈簧片，彈簧片與孔壁壁面接觸，使得孔內聲波造影儀與孔位中心保持同心，並使自旋式超音波傳感器中心與孔壁的距離維持固定；電源供給裝置提供自旋式超音波傳感器能源；圖 3.8 為自旋式超音波傳感器之主要感測元件示意圖，其主要規格如下所述：

- (1)聲波頻率：0.5-1.5 MHz
- (2)探頭旋轉速率：> 5 revolutions/second
- (3)發射速率：>90 steps/rev

(4)定位感應器：含 3-axis magnetometer 及 3-axis accelerometer

孔內聲波造影儀施作時，超音波傳感器以固定速率旋轉，將孔壁所反射聲波振幅(amplitude)及走時(travel-time)影像以 360 度展開顯示，並可即時在地面控制程式中看到孔壁聲波影像(圖 3.9)。聲波式解析度可設定為 90 samples/rev、180 samples/rev 以及 360 samples/rev。

光學式探測器總長度 1.43m，直徑為 50mm，適合施作之鑽孔孔徑範圍為 67~150mm，其構造如圖 3.10 所示，其主要元件分為三部分，分別為電源供給與傳輸裝置(Power supplies and communications)、中心定位裝置(Centralisers)、和光源及電荷耦合感光元件(Charge Coupled Device, CCD)。其中感光元件之影像解析度為 768x494 圖元。探測器由側向方向擷取孔壁影像，經由曲面鏡反射(圖 3.11)後由至於軸向之攝影鏡頭攝錄影像，並影像以 360 度展開顯示。



(2) 資料擷取裝置(Micrologger 2)

資料擷取裝置(圖 3.12)是 Robertson Geologging Ltd. 所研發的 Micrologger 2，必須搭配 USB 介面且內有控制孔內聲波造影儀工作用軟體，「HIRAT」之筆記型電腦方能操作。若連接聲波式探測器，其解晰範圍可設定為(90、120、180、360) samples/rev；若連接光學式探測器，其解析範圍則為 360 pixels/rev 和 720 pixels/rev。

(3) 絞盤(Winch)

絞盤(圖 3.13)使用 OYO Co. 出產搭配懸垂式 P-S 波量測系統之絞盤，以紀錄探測器之升降速度。絞盤含有 4 蕊導線的鋼索其長度為

350m，最大上升速率為 20 m/min，最大荷重為 80kg。

3.2.2 試孔之準備

孔內聲波造影儀須以水為介質，因此儀器施放前須先觀察地下水位高度。為了確保儀器工作階段不會受到埋沒等突發事故，地下水位以上孔壁皆應以套管保護，相對地，受套管保護之處則無法提供孔壁資訊。由於本研究兼施作孔內光學造影儀，則地下水位以上孔壁亦可擷取到鑽孔資訊，經由取樣岩心之初步判斷，將套管約略下至崩積殘餘土層部分，套管以下部分接可擷取資料。此外若因環境許可，也可利用外加水源將水位提升，待水位提升且處於穩定狀態之後再行施作。

孔內造影儀施作前，一般先以三臂孔壁狀態探測器(3-arm caliper)(圖 3.14)探測孔壁穩定狀態，三臂如圖 3.14 右下所示可在鑽孔內張開並接觸孔壁，此三臂互為連動，只要任一臂因為孔徑變化而壓縮或伸張，而另外兩臂亦會跟著變化，藉此來記錄孔徑大小來反應鑽孔內有無破碎帶。將三臂孔壁狀態探測器於鑽孔中來回施放一次，便可獲得孔徑變化柱狀圖，以觀察各深度的孔徑是否有發生異常變大的趨勢，通常該處可能伴隨剝落、崩塌，此時須考慮繼續施作或視鑽孔情況將套管下至孔徑異常變化處加以保護。

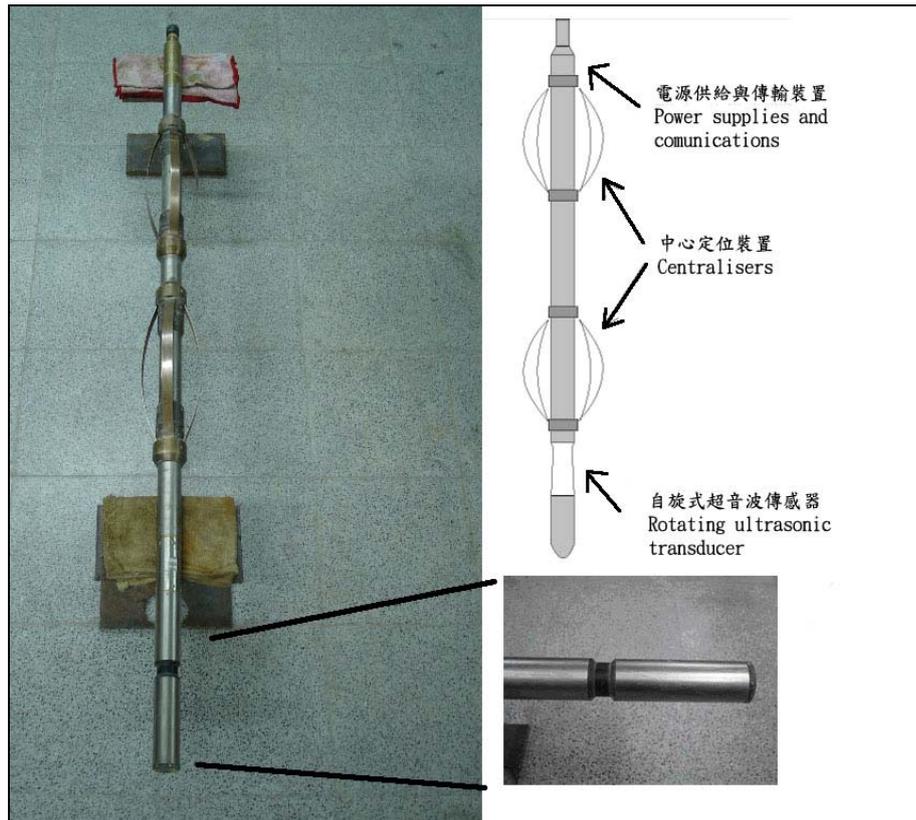


圖 3.7 孔內聲波造影儀與其構造示意圖

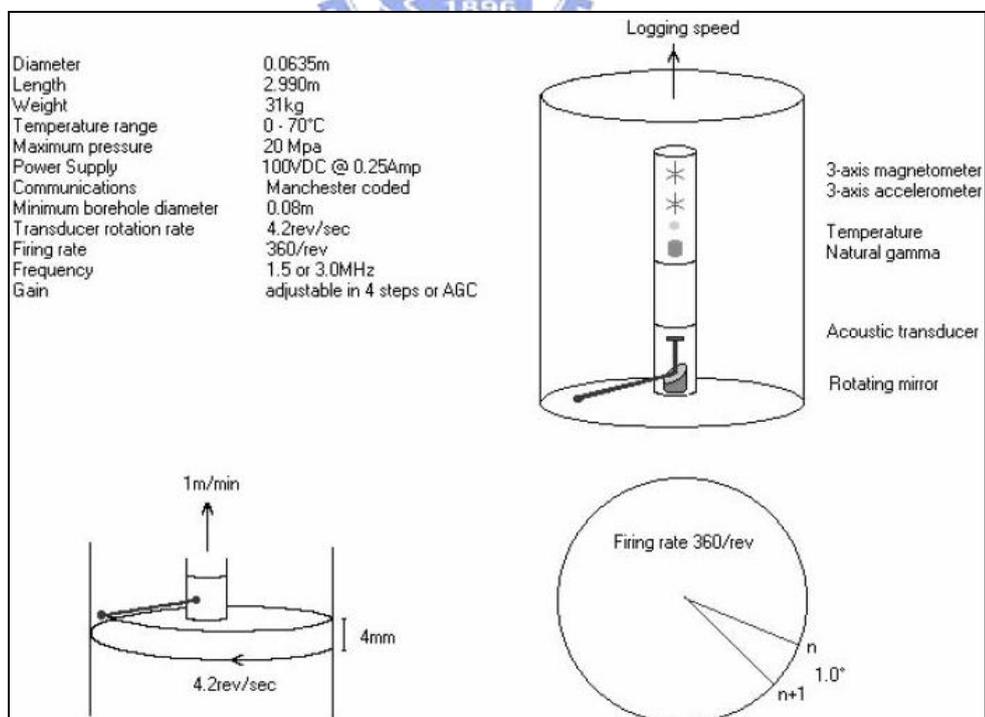


圖 3.8 孔內聲波造影儀自旋式超音波傳感器元件(摘自 Robertson

Geologging Ltd. HIRAT Operating Manual, 2004)

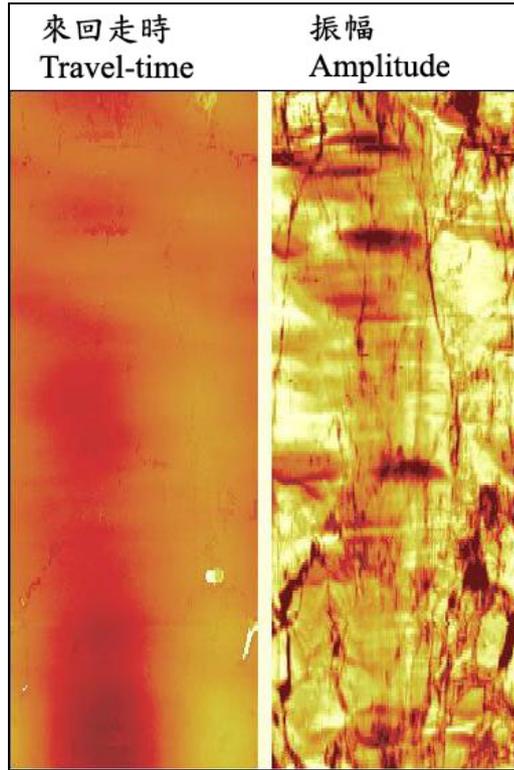


圖 3.9 孔內聲射影像

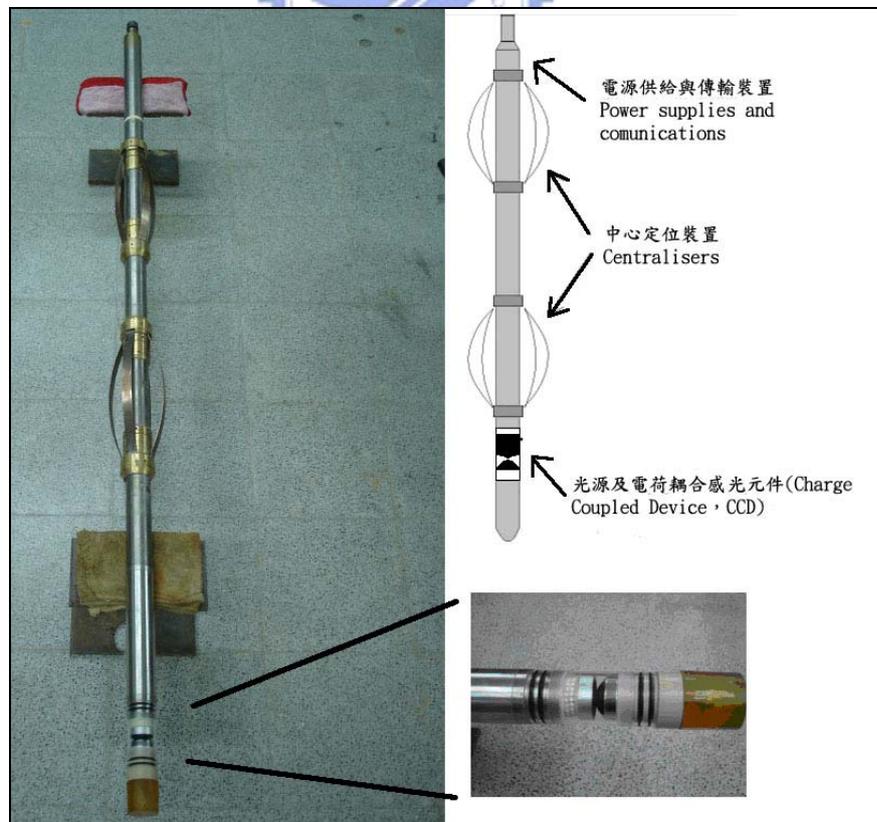
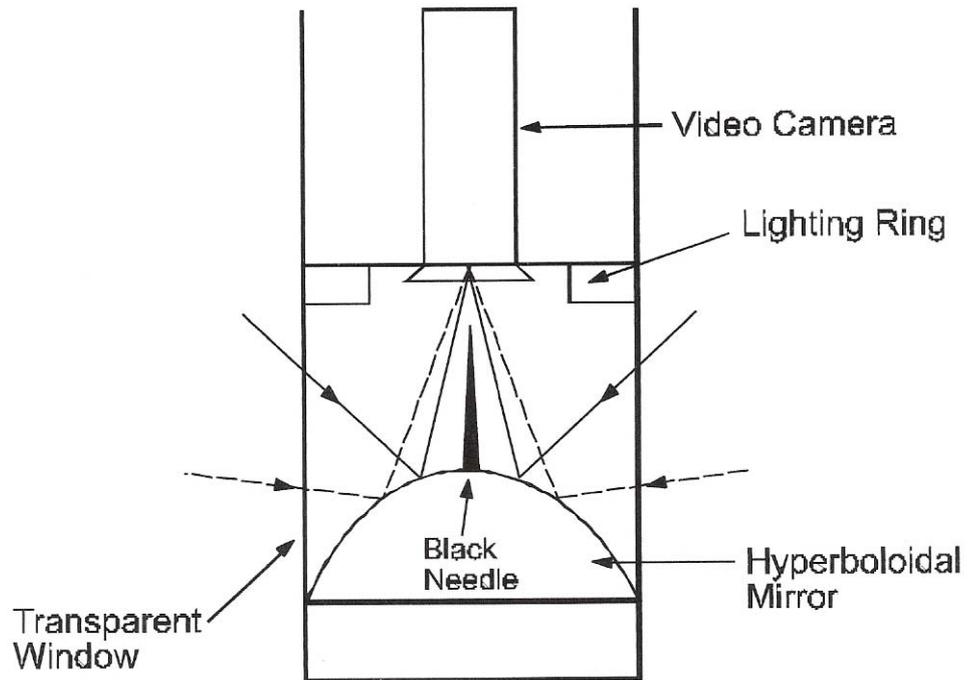


圖 3.10 孔內光學造影儀與其構造示意圖



Optical Televier Functional Arrangement

圖 3.11 孔內光學造影儀投影原理示意圖(摘自 Robertson Geologging Ltd.

DOPTV Operating Manual , 2004)



圖 3.12 資料擷取裝置(Micrologger 2)



圖 3.13 絞盤



圖 3.14 三臂孔壁狀態探測器

3.2.3 試驗方法

本試驗在量測之前先架設三腳架與昇降速度控制裝置(Encoder)(圖 3.15)，將絞盤鋼索連接探測器(Sonde)並由絞盤輔助控制設定探測器之高程原點。絞盤鋼索內含訊號線連接孔內聲波造影儀經由資料擷取裝置(Micrologger 2)與電腦連接，其裝置連接方式如圖 3.16 所示。由於孔內聲波造影儀反射路徑與時間存在相關性，因此在試驗施作之前，須調整孔內聲波造影儀中心定位裝置，使其維持在孔壁中央，量測資料方具可靠性與精確度。開啟訊號接收器與控制用筆記型電腦，並開啟安裝於筆記型電腦內控制孔內聲波造影儀工作的軟體，「HIRAT」。藉由「HIRAT」程式控制孔內聲波造影儀升降與訊號接收，並藉由軟體介面觀測孔內回傳訊號、數位測傾儀傾角與羅盤儀方位等資訊。孔內造影儀下放過程中由於不錄製影像，下放速度可稍微提高，並隨時觀測影像查看有無異常，正式錄製時必須兼顧影像解析度，儀器上拉的速度需設定在儀器解析度容許範圍之內，並由下往上方向施測，聲波式最高解析度為 360 samples/rev，其施測速度約可設定在 2m/min；光學式最高解析度為 720 pixels/rev，其施測速度約可設定在 1m/min。觀察反射訊號回傳至控制程式上畫面與絞盤升降的同步狀況。孔內光學造影儀工作控制軟體為「DOPTV」。

3.2.4 資料分析方法

圖 3.17 為典型孔內聲射造影儀量測所得影像資料，資料擷取裝置分析量測到聲波之來回走時與振幅，將孔壁 360 度資料攤開成平面影像呈現，顏色越深代表接收到的反射訊號能量越低，由顏色深淺程度反應出孔壁裂隙位置。利用儀器附加之資料分析軟體「RGLDIP V6.2」，挑選影像

資料上之構造或裂隙如圖 3.18 所示。挑選方式以點選裂隙曲線的最高點與最低點，分析軟體參考最高點與最低點回歸而產生一個正弦函數圖形，操作者以主觀方式判斷此正弦圖形與裂隙曲線是否密合而決定裂隙的傾角。孔內聲射造影儀內建測傾儀，亦可量測鑽孔之偏斜程度(圖 3.19)，超音波反射能量的大小亦可反應鑽孔孔壁情況(圖 3.20)以及每個深度的鑽孔徑向剖面(圖 3.21)

圖 3.22 為孔內光學造影儀量測所得影像資料，為鑽孔內岩石之實際 360 度影像，亦可經由「RGLDIP」分析軟體，挑選影像資料上之構造或裂隙，由孔內聲波造影儀與孔內光學造影儀挑選之不連續面位態資料可相互疊合分析，之後進入構造與節理統計分析(圖 3.23)



圖 3.15 三腳架與升降速度控制裝置(Encoder)

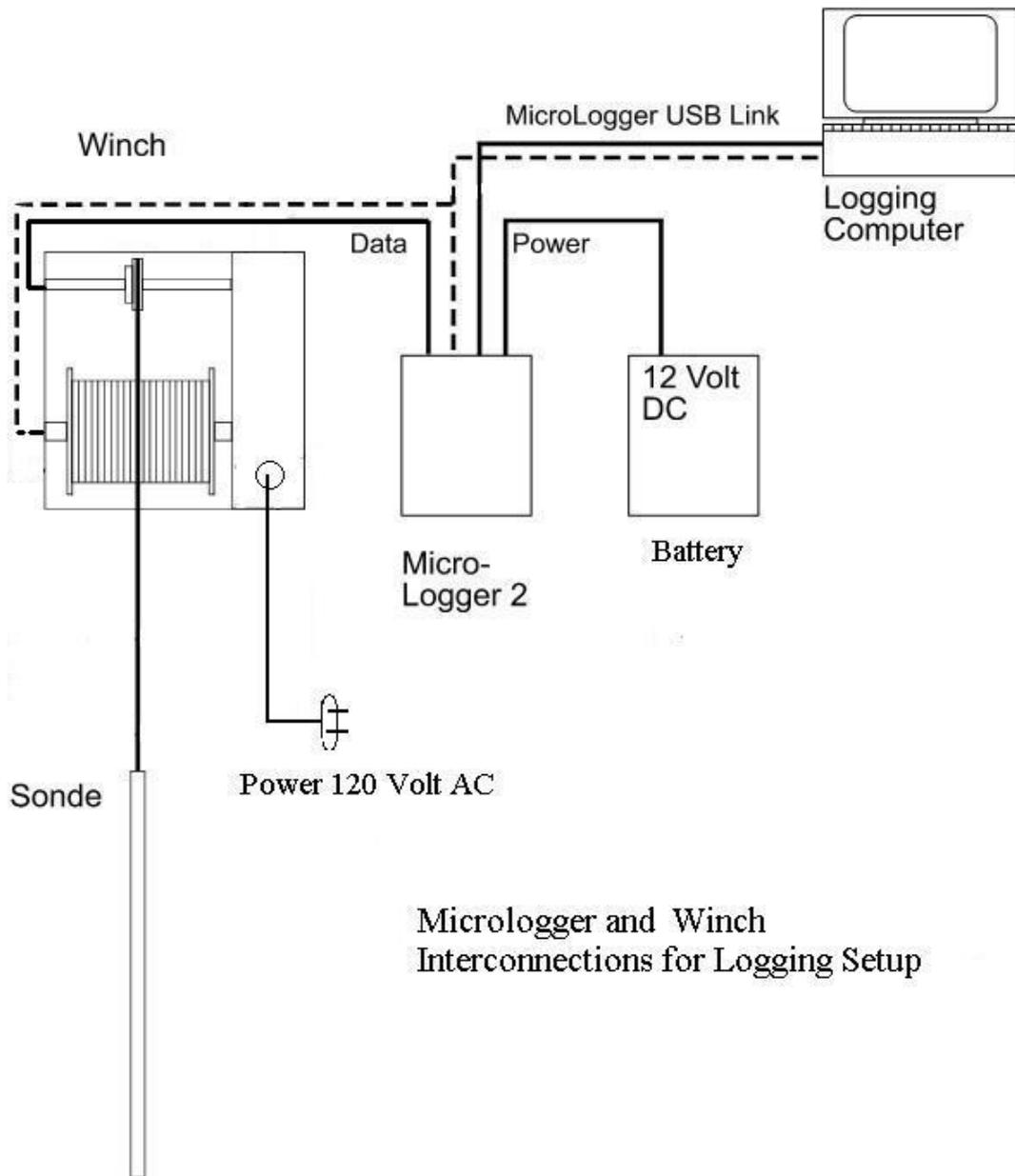


圖 3.16 孔內造影儀裝置連接示意圖(摘自 Robertson Geologging Ltd.

Micrologger 2 Operating Manual , 2002)

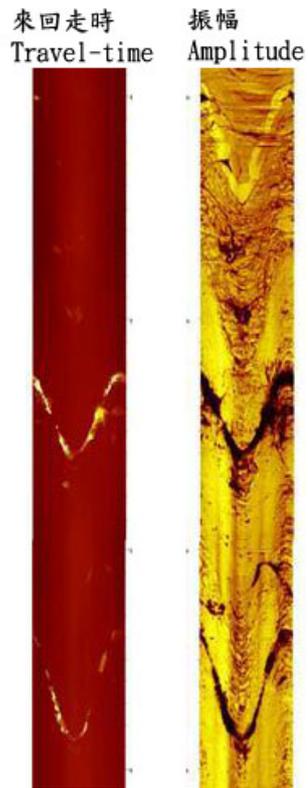


圖 3.17 孔內聲射造影儀量測影像資料

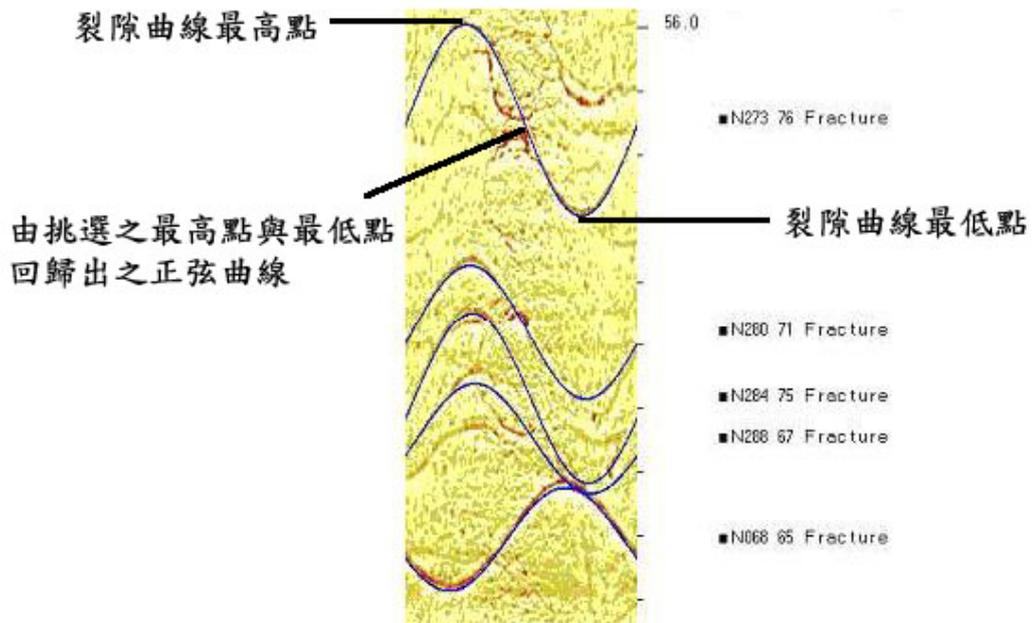


圖 3.18 孔內聲射造影儀資料分析示意圖

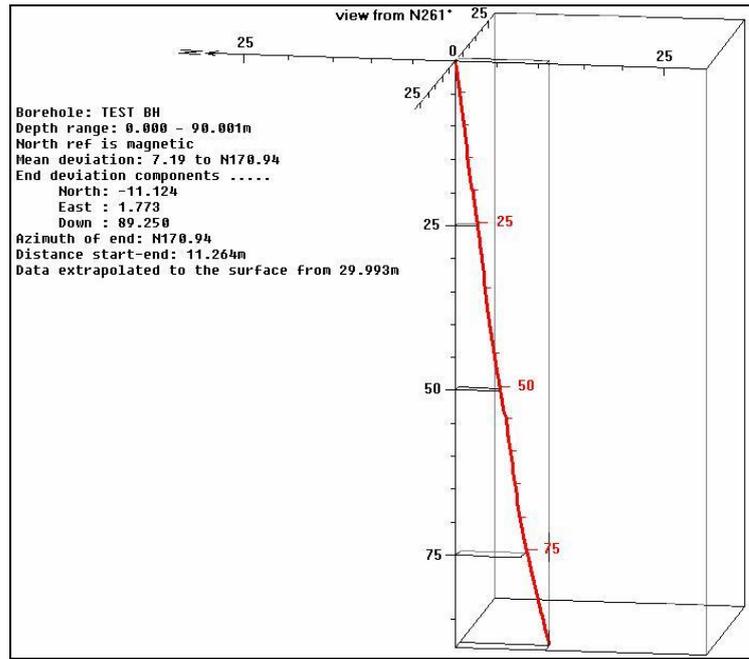


圖 3.19 孔內聲射造影儀鑽孔偏移示意圖(摘自 Siddans and Worthington , 2002)

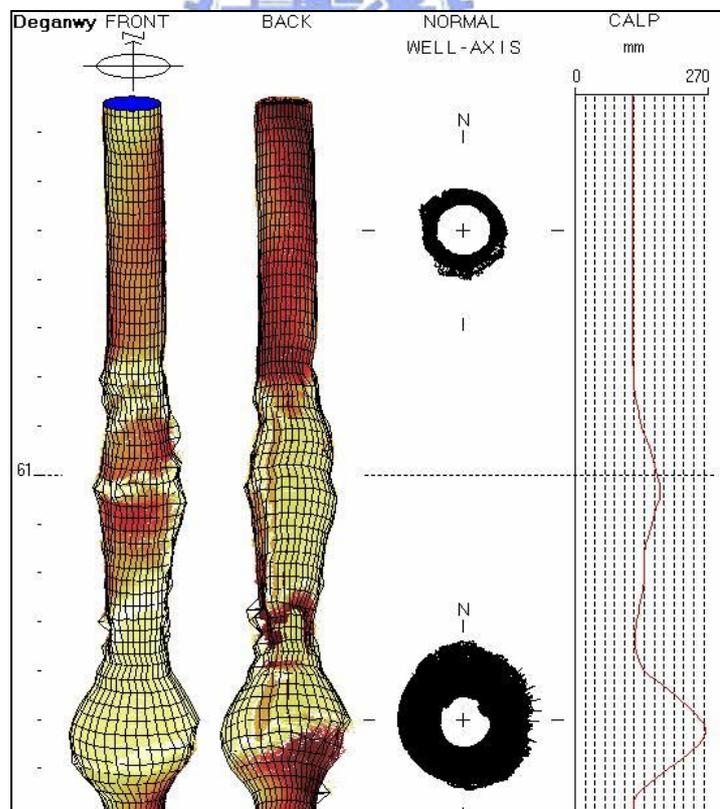


圖 3.20 孔內聲射造影儀孔壁狀況示意圖

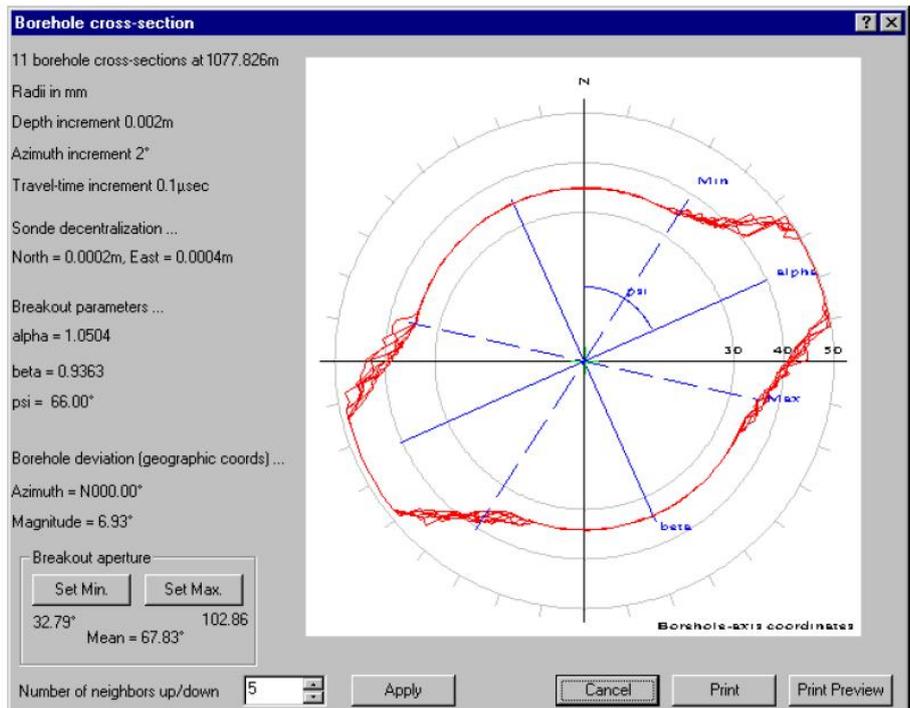


圖 3.21 孔內聲射造影儀鑽孔徑向剖面示意圖(摘自 Siddans and Worthington, 2002)

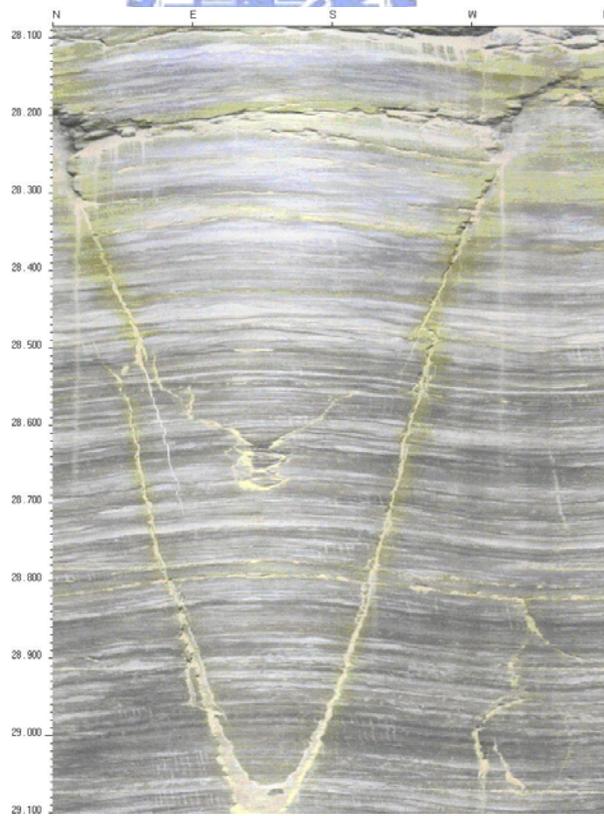
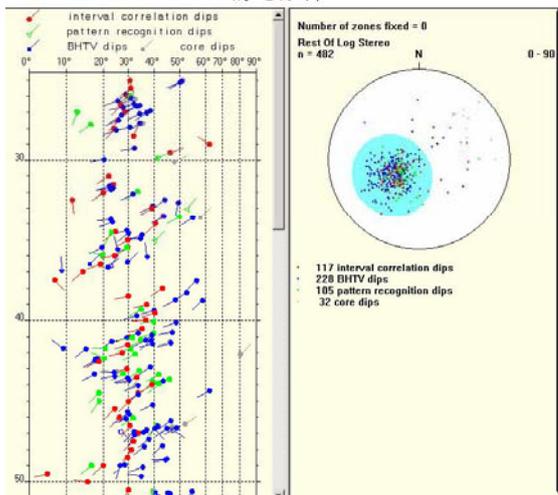


圖 3.22 孔內光學造影儀量測影像資料(摘自 Siddans, 2002)

Structural interpretation
構造分析



Fracture analysis
節理分析

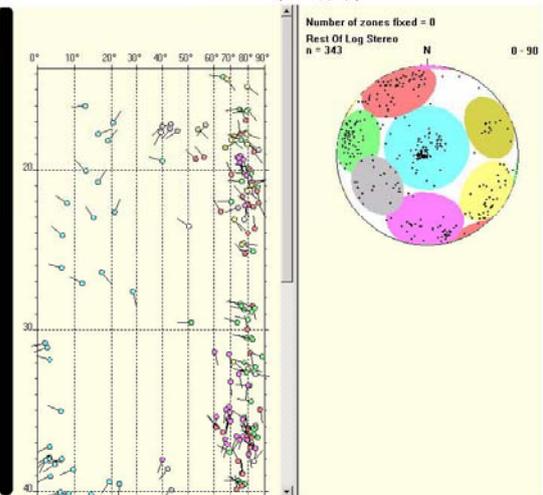


圖 3.23 構造統計分析與節理統計分析



3.3 現地孔內震波量測方法

孔內震波量測方法可直接量測岩體 P 波及 S 波波速，其波速可換算岩體之楊氏彈性模數(E)與剪力彈性模數(G)，對岩體性質掌握有相當大的幫助，本研究之現地孔內震波量測方法主要參考自林忠義(1999)針對軟岩動態性質的研究而施作的懸垂式 P-S 波量測系統試驗方法。

3.3.1 試驗儀器

懸垂式 P-S 波量測系統為 1980 年代中期日本 OYO Co. 所研發，其主要可分為三個部份，分別為(1)含有震源及受波器之探測管(Probe)；(2)控制監測裝置(Suspension PS Log 170)；(3)絞盤(Winch)。各部份儀器說明如下：



(1) 探測管(Probe)

懸垂式 P-S 波量測系統所用之探測管為結合震源、濾波管和兩組受波器所組成的一體化構造(圖 3.24)，其可利用水當介質直接懸吊於孔內量測 P 波和 S 波之波速，而不需將探測管緊靠於孔壁。

受波器是一個三向度受波器(如圖 3.25 所示)，其構造為兩個可接收水準振動之電磁式感應器及一個可接收垂直振動之電磁式感應器。自然頻率為 28Hz，線圈電阻為 570Ω，頻率特性為 200Hz 到 5kHz(-3dB)，其尺寸為直徑 54mm，兩個受波器連結時長度為 3,000mm，重量為 9.2kg(OYO, 1994)。兩組受波器間距 1 公尺，可同時量測 P 波和 S 波的傳遞時間。此種懸吊式受波器的構造幾乎和水的密度相等，因此即使在水中亦可有效量測 S 波。

震源採用間接振動型式產生，如圖 3.26 所示，其原理是利用水準螺線線圈及擊槌在孔內液體中產生一壓力波(pressure wave)，經過孔壁轉換成實體波(P wave 和 S wave)而放射狀地傳播到岩體。當此實體波傳遞到每一個感應器所相對應之孔壁時，在孔內液體中先轉換成壓力波(pressure wave)，再透過受波器接收訊號(Ogura, 1988)。依據試驗條件此種螺線管震源所產生的頻率介於 500~5000Hz 之間。

(2) 控制監測裝置(Suspension PS Log 170)

控制監測裝置是 OYO Co. 製造的 Suspension PS Log 170(圖 3.27)，其主要特色如下：

- (1)尺寸小、重量輕，包含量測控制、CRT、列印、資料儲存等部份。
- (2)取樣範圍從 2~200 μ sec，可控制較高的準確量測能力。在不同的取樣速率下可保持個別量取 P 波和 S 波。
- (3)接收的頻率帶從 5Hz~20kHz，可配合不同試驗條件調整。
- (4)量測控制模式有手動、半自動及自動三種，在手動模式下除了內部的震源外，亦可利用重錘來產生外部訊號。
- (5)為使其雜訊之影響降低，其疊加功能最多可 9 次。
- (6)半自動與自動模式下可自動控制絞盤上升和下降，減少人為操作誤差。
- (7)量測波形資料可同時顯示於螢幕上及列印在感光紙上，並將資料儲存在 3.5-inch 磁片上方便日後進行電腦程式分析。
- (8)可直接利用螢幕上之量測波形資料簡單計算波速。



圖 3.24 受波器與震源(摘自林忠義，1999)

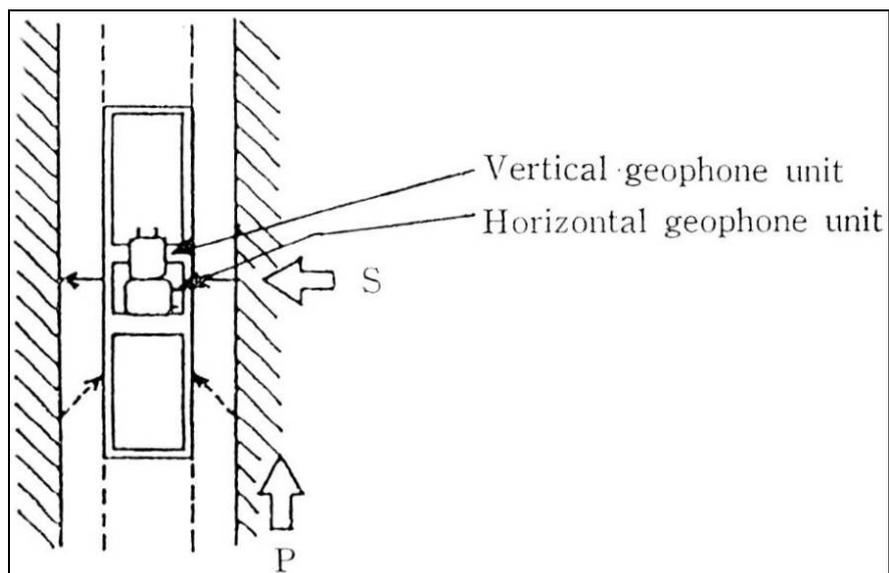


圖 3.25 受波器(Geophone)示意圖(摘自林忠義，1999)

Structure of the source and
Description of the Generated Wave

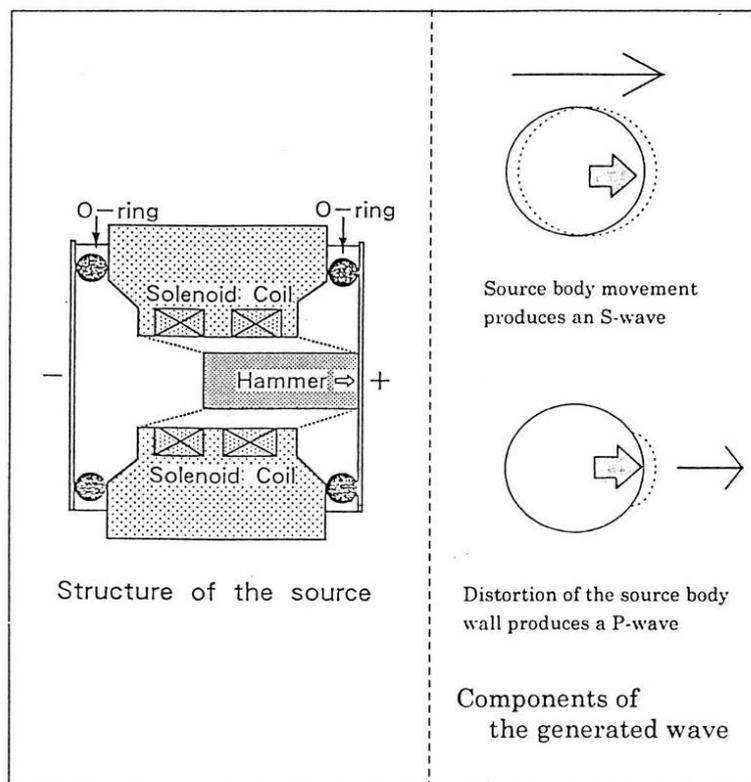


圖 3.26 震源原理示意圖(摘自林忠義，1999)



圖 3.27 控制及監測裝置(Suspension PS Log 170)(摘自林忠義，1999)

(3) 絞盤(Winch)

絞盤(圖 3.13)是含有 4 蕊導線的鋼索其長度為 350m，最大上升速率每分鐘 20m，且最大荷重為 80kg，其利用滑動環來處理 8 個電極。並結合電子傳遞裝置將訊號經由鋼索內部纜線，且用螺旋狀的路徑使其鋼索有系統的上升。

3.3.2 試孔之安裝與準備

懸垂式 P-S 波量測方法可運用在裸孔及有套管之鑽孔。使用裸孔之條件為不易產生坍塌之堅硬岩層，考量崩積地層存在坍塌之危險性，本研究採取在鑽孔加入套管保護之形式施作試驗。根據 Nigbor and Imai(1994)的研究顯示，此種懸垂式 P-S 波量測方法，使用在有套管之鑽孔時，鋼管套

管會產生管波(Tube Wave)的問題影響波速的量測，若使用塑膠(PVC)套管，則管波之影響較小。另外此種懸垂式 P-S 波量測系統不需像其他井測法需將受波器與管壁緊密結合，以水當作試驗時之介質即可。圖 3.27 為 P-S 波量測系統之安裝示意圖。

3.3.3 試驗方法

施測時，首先震源的電子系統在一個方向激發 SH 波震源，由兩個位於與震源運動軸線平行的水準方向受波器記錄其輸出信號。接著震源於相反方向被激發，並再次記錄這些水準輸出信號，產生一個與先前相反極性的 SH 波。最後在第一個方向再次激發震源，此時受波器接收之波形為垂直受波器之 P 波。此三次不同記錄之波形即代表完成一個深度之波速度量測。

另外當每一個震源激發期間需在系統中不同頻道記錄每一個受波器的資料。而本研究所用之 170 型式記錄器有六個頻道(兩個同時記錄頻道)，每一個有 12-bit，1024 個取樣記錄。當六個頻道使用一個共同時間尺度時，可將記錄資料顯示在 CRT 螢幕和由紙卡帶列印出來。為進一步的處理，資料同時儲存在 3.5 英吋磁片上，再配合儀器所附電腦計算軟體，可以快速且準確的得到波速。絞盤控制方式可設定為半自動，由人為判斷獲得最佳品質資料時，再上升絞盤進行下一次的量測。

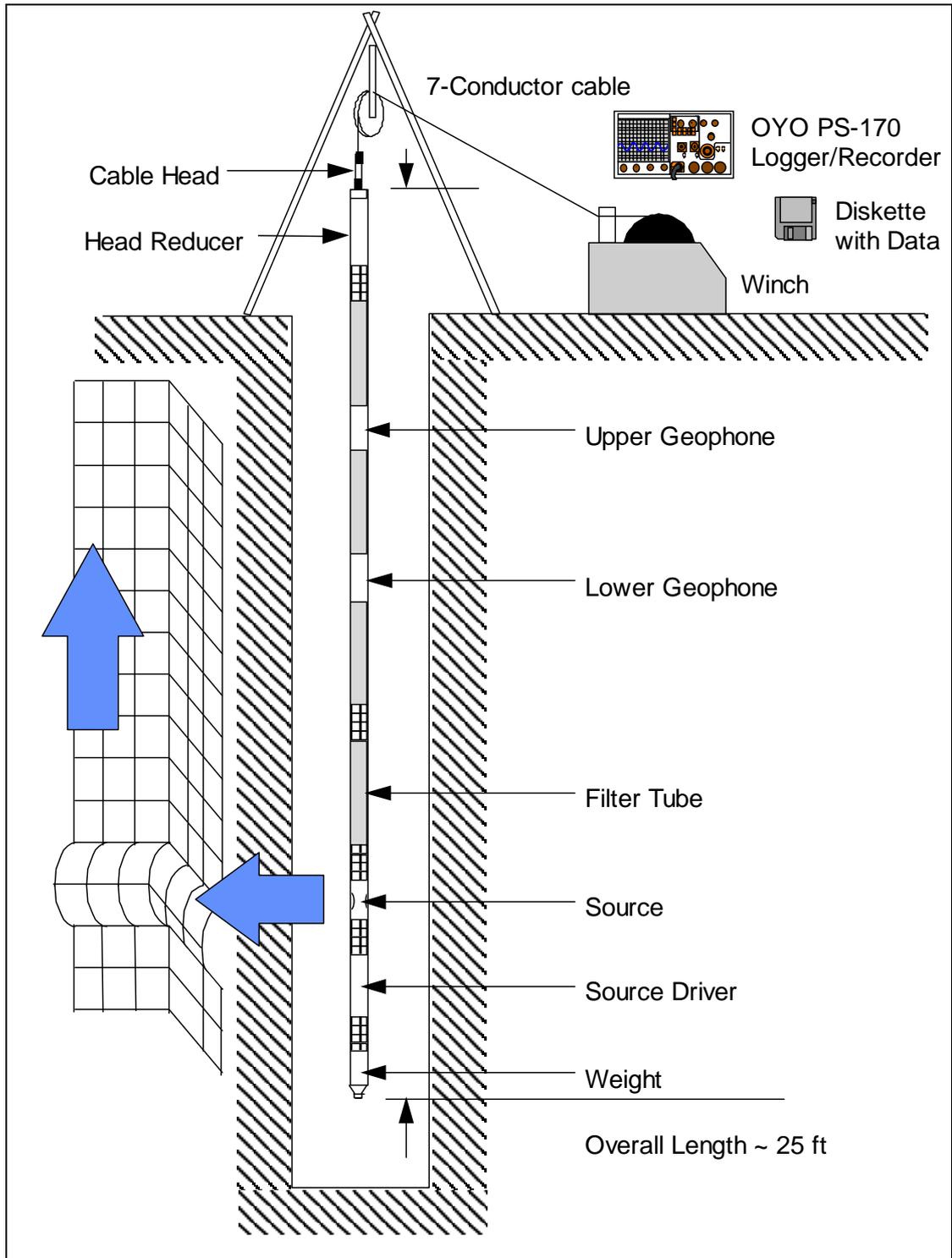


圖 3.28 懸垂式 P-S 波探測示意圖(摘自 Nigbor and Imai, 1994)

3.3.4 資料分析方法

施測懸垂式 P-S 波量測系統所得資料如圖 3.29 所示，其中 H1、/H1 為上部受波器接收之剪力波，且 H1 與 /H1 互為反向之剪力波(SV 波與 SH 波)，而 V1 則為上部受波器接收之壓縮波(P 波)。同理，H2、/H2 為下部受波器接收之剪力波，V2 為下部受波器接收之壓縮波。當懸垂式 P-S 波量測系統在試驗孔內產生一震源時，首先下部受波器會經由水接收地層傳來之震波，隨後上部受波器也同樣接收到震波，因此若要計算各深度之波速值可藉上下兩受波器接收之波傳到達時間差 ΔT 與兩受波器之距離 L，經由式(3-1)便可求得波速值。

$$V=L/\Delta T \dots\dots\dots (3-1)$$

其中 V：波速，單位為 m/s

L：受波器間距，其值為 1 公尺

T：受波器之波傳時間差



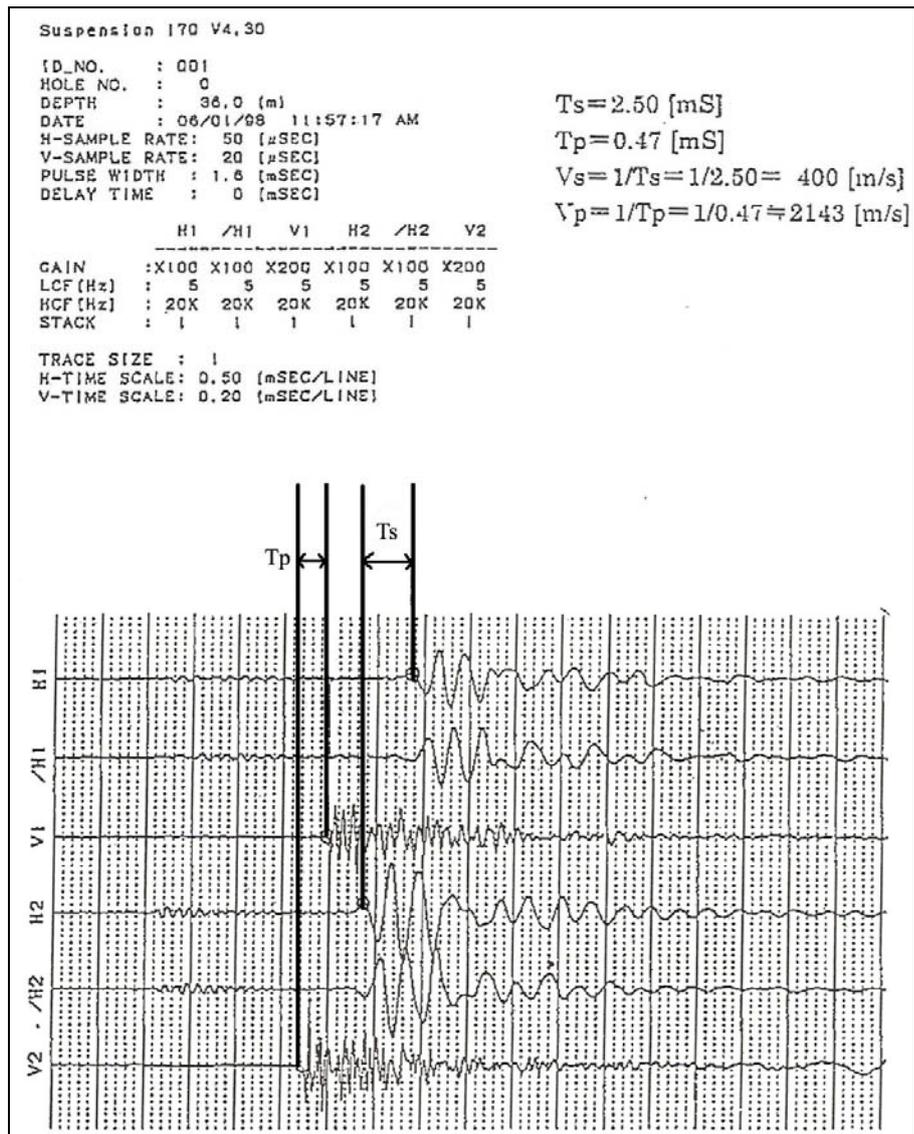


圖 3.29 懸垂式 P-S 波系統量測結果

3.4 數值地形模型(DTM)分析

本研究數值地形模型分析軟體為美國 ESRI 公司之「ArcGIS Desktop 9.X」的地理資訊系統軟體。以下說明模型的建構與使用的分析模組。

3.4.1 模型之建構

本研究數值地形模型建構流程圖如圖 3.30。首先由成大衛星測量中心取得梨山崩積地區 5m×5m 座標資料(圖 3.31)，利用 ArcGIS 軟體匯入先轉換成規則網格，再繪製不規則三角網之 TIN 檔案(圖 3.32)，此 TIN 檔案則為地形分析的主要分析檔案。

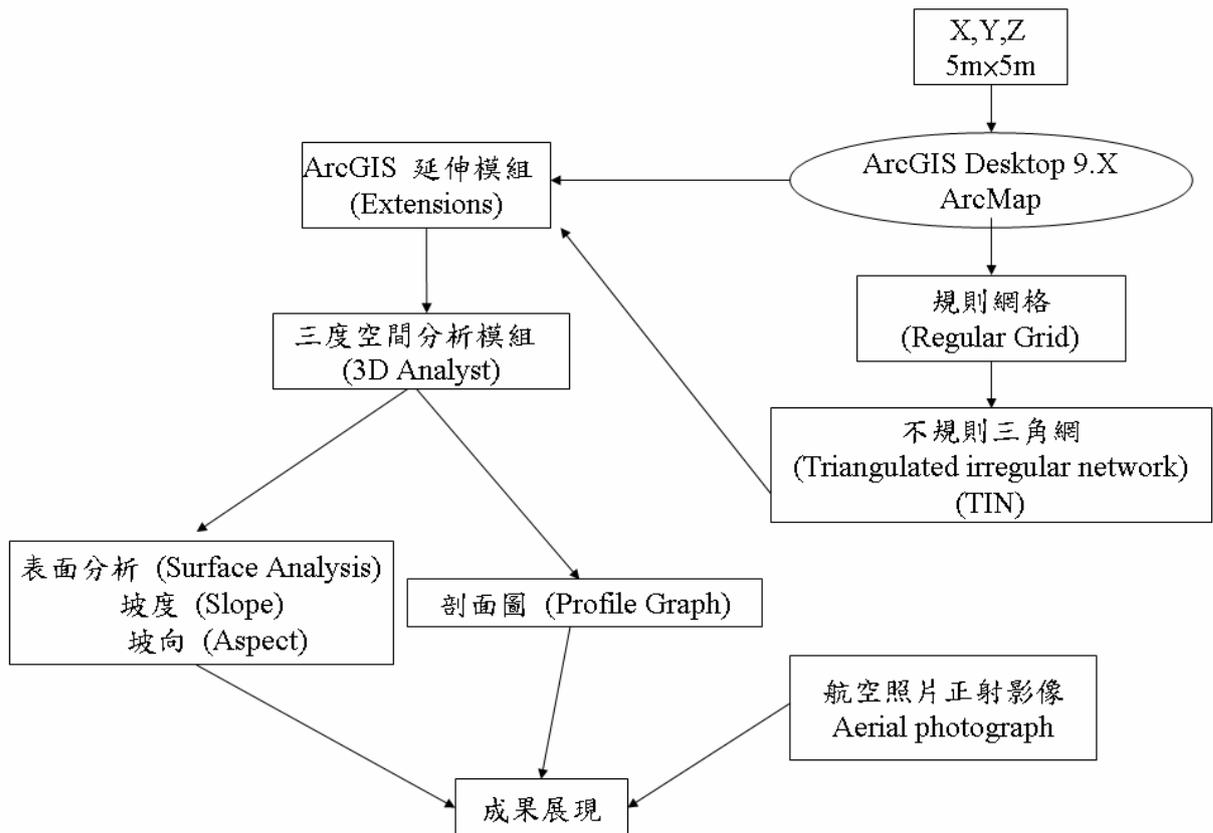


圖 3.30 地形分析流程圖示意圖

	二度分帶座標		地表高程		
	X	Y	Z		
1	272710	2681250	2153.199		
2	272715	2681250	2153.011		
3	272720	2681250	2152.772		
4	272725	2681250	2152.4751	資料涵蓋範圍 由272010,2681250 至277700,2685290 共808,191筆資料	
5	272730	2681250	2152.1421		
6	272735	2681250	2151.501		
7	272740	2681250	2150.8279		
8	272745	2681250	2149.915		
9	272750	2681250	2149.116		
10	272755	2681250	2148.2161		
11	272760	2681250	2147.0149		
12	272765	2681250	2145.3511		
13	272770	2681250	2143.6169		
14	272775	2681250	2141.377		
15	272780	2681250	2139.0339		
16	272785	2681250	2136.5249		
17	272790	2681250	2133.8311		
18	272795	2681250	2130.814		
	●	●	●		
	●	●	●		
	●	●	●		

圖 3.31 5m×5m 二度分帶座標與高程值

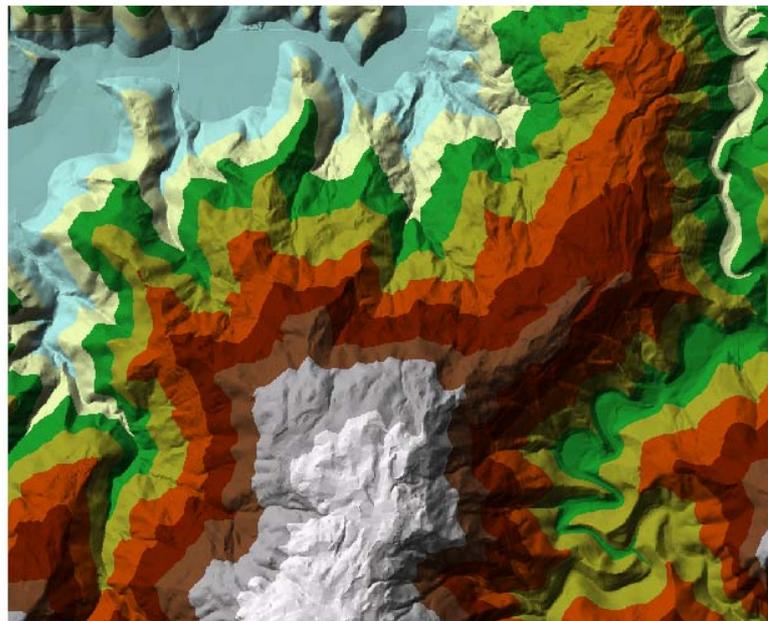


圖 3.32 不規則三角網(TIN)示意圖

3.4.2 分析模組

地形分析模組採用 ArcGIS 軟體之延伸模組(Extensions)，其中包含許多分析模組，此處僅就使用之三度空間分析模組(3D Analyst)做說明。本研究使用三度空間模組內之表面分析與剖面圖的功能。

表面分析(Surface Analysis)之坡度(Slope)、坡向(Aspect)功能由不規則三角網(TIN)檔建構，並以色差之方式表現地表起伏與坡面傾斜方向。剖面圖由自訂畫設之剖面線切割(圖 3.33)，其內定縱座標與橫座標間隔比例不同，需予以調整以展現真正地形面的起伏狀態。

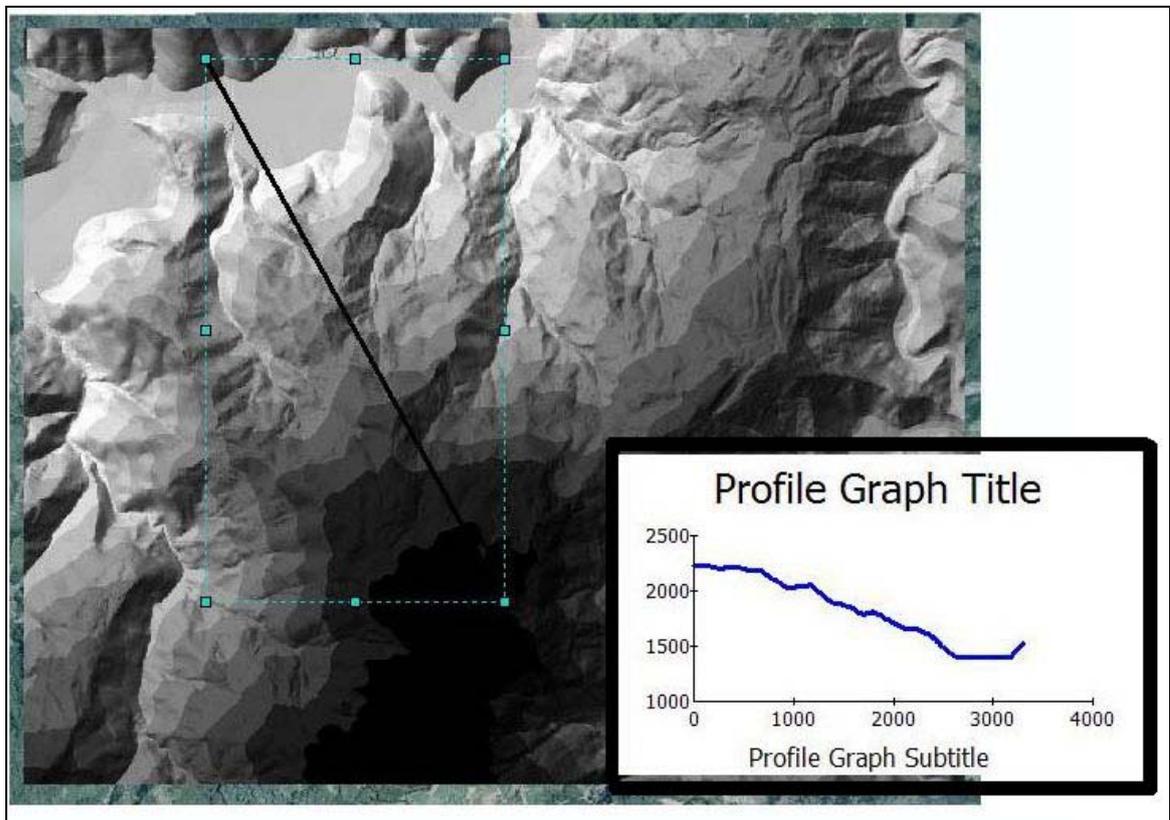


圖 3.33 地形剖面示意圖