

## 第四章 地質鑽探與現地試驗結果

本章針對本研究的試驗與分析結果做綜合討論，內容分為四部分，第一部分針對地質鑽探結果作說明，第二部分說明孔內造影之量測結果；第三部分說明孔內震波量測結果，第四部份針對數值地形模型分析討論。最後總結以上成果，在第五章探討梨山崩積地層的組成分類與形成機制。

### 4.1 地質鑽探結果與滑動面判釋

梨山地區地層主要分為新鮮板岩、風化板岩、軟弱層黏土以及回填土四個部分。新鮮板岩通常為滑動體下方之不動層，滑動體本身主要由破碎板岩塊夾雜黏土所構成，黏土成分之軟弱層則夾於風化板岩層中，此軟弱層為滑動體之滑動介面所在，而滑動體頂部則多為崩積殘餘土或工程填方。

本研究鑽探採用之超泥漿<sup>®</sup>穩定液對梨山崩積地層的鑽探取樣有相當好的成效，N-1、N-2 兩孔之提取率幾近 100%，圖 4.1 為梨山崩積地層之軟弱層岩心照片與過去鑽探之岩心照片(工研院能資所，1993)比對結果，顯示本次鑽探取樣對於含黏土之軟弱層，並未因為鑽探水洗而流失。茲將地質鑽探柱狀圖列於附錄 A，而其中分類方法於 5.1 節說明。

由 N-1、N-2 兩孔鑽探結果推估滑動面深度。其中 N-1 孔之軟弱層分別位於 15.7~18.9m(厚 3.2m)及 26.2~27.1m(厚 0.9m)兩處，而由岩心狀況判斷 N-1 孔並未鑽至新鮮岩盤。N-2 孔之軟弱層分別位於 26.15~29.80m(厚 3.65m)及 52.8~56.8m(厚 4m)兩處，新鮮岩盤則在地表下 67.8m 以下。N-1 孔與 N-2 孔兩孔軟弱層延展結果顯示有上下兩層軟弱

層。由 N-2 來看，若新鮮岩盤為不動層，則上覆崩積層可由兩層軟弱層劃分為三個崩體，其分區狀況如圖 4.2 所示。以 N-1、N-2 鑽探結果比對過去資料(圖 4.3)，修改滑動弧如圖 4.4，顯示在弱風化板岩至新鮮板岩 (W3-Rf)之間尚存在一軟弱帶。

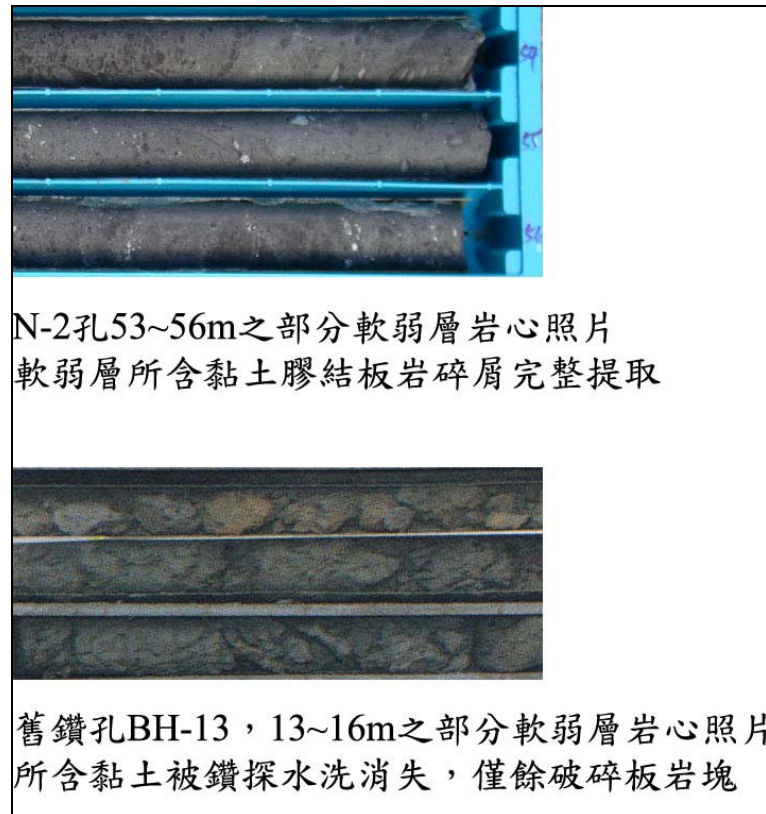


圖 4.1 軟弱層取樣改善結果

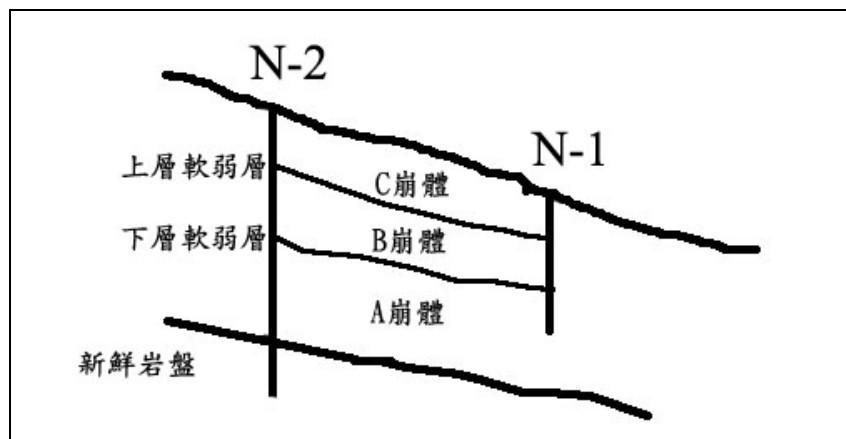


圖 4.2 崩體分區示意圖

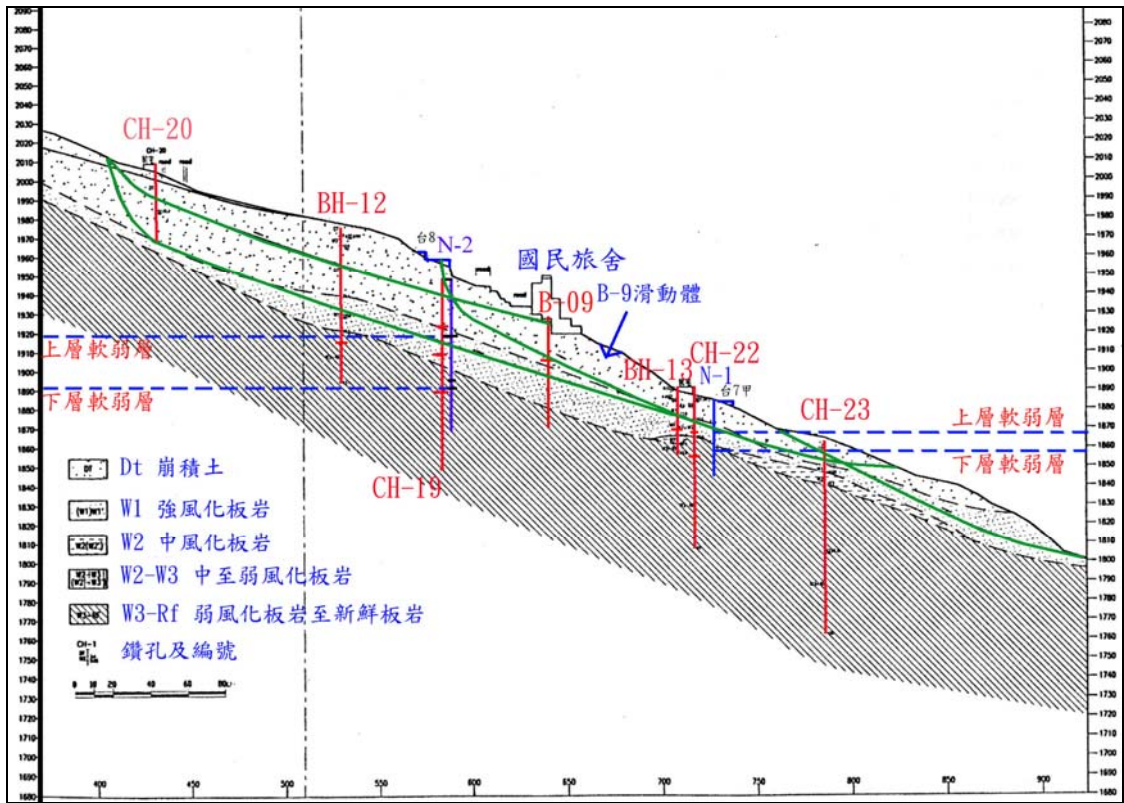


圖 4.3 B-9 滑動體舊滑動弧位置

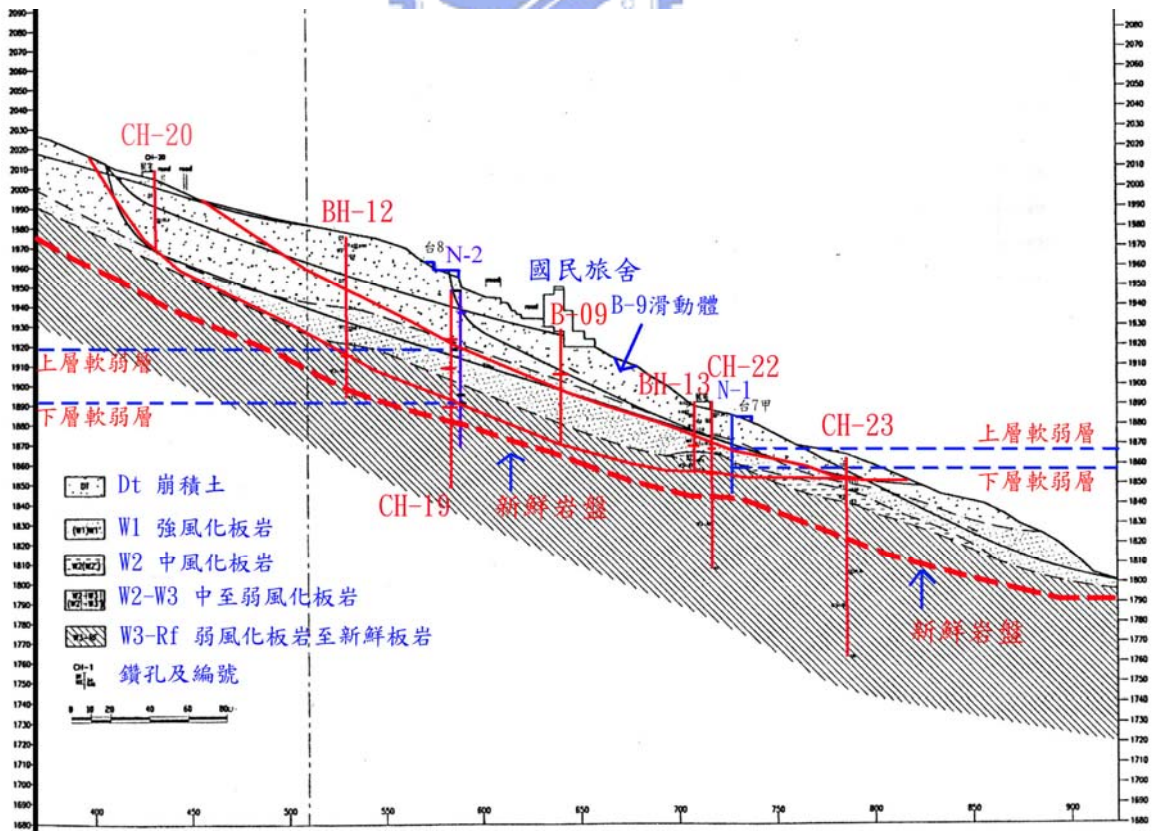


圖 4.4 由 N-1、N-2 鑽探結果推估 B-9 滑動體新滑動弧位置

N-1 孔東側有一舊有鑽孔 CH-22，內裝設人工量測管內傾斜儀編號 MIN-9，圖 4.5 為 MIN-9 測得之位移變化量與鑽孔深度比對圖，並與 N-1 鑽孔相互比較結果。由 MIN-9 監測結果來看，在地表下 22 m 以及地表下 29 m 有較明顯的位移產生。相對於 N-1 孔鑽探結果，N-1 孔上下兩層軟弱層之深度與監測資料位移顯著之深度應屬相同之滑動面。

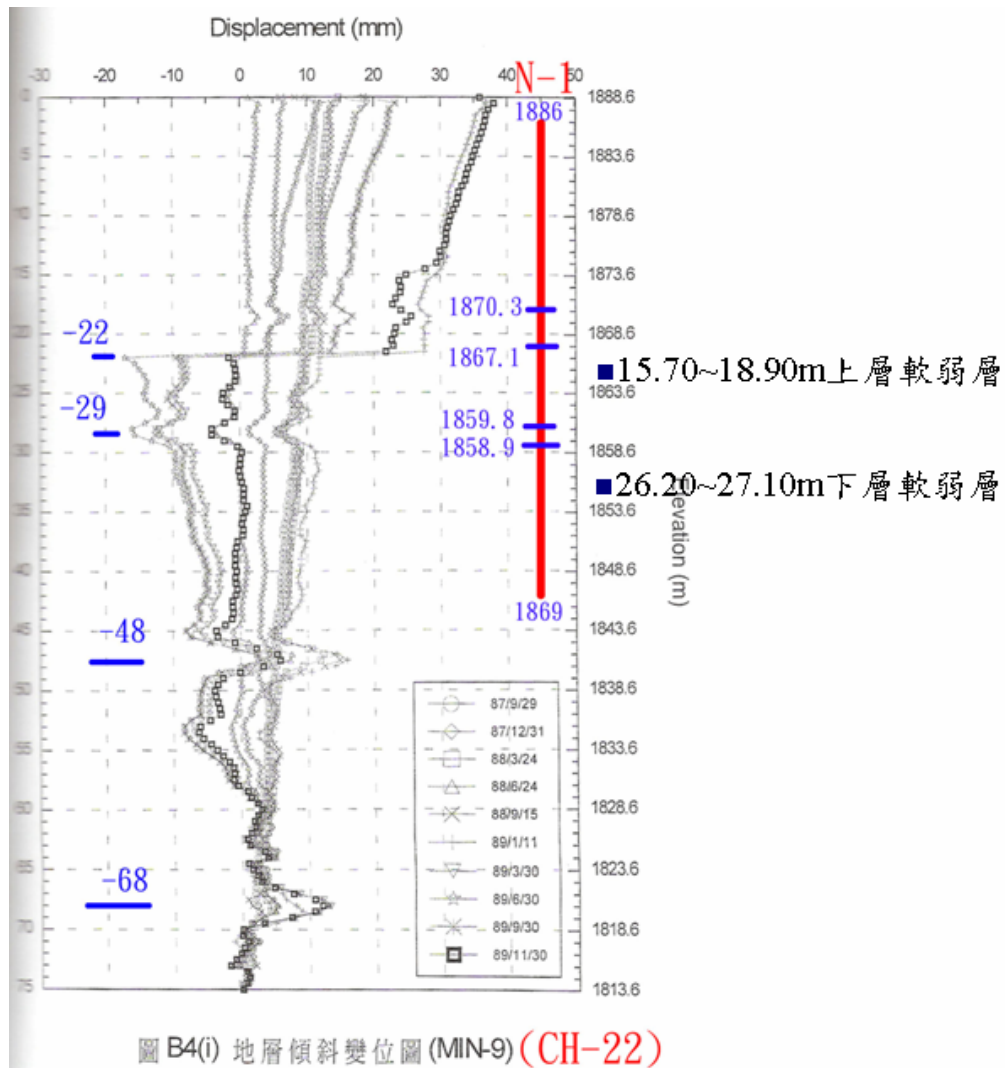


圖 4.5 B-9 滑動體下邊坡管內傾斜儀監測結果(修改自富國技術工程，2001)

## 4.2 現地孔內造影結果與討論

本節先針對試驗施作情況做說明，再針對施作結果與岩心判釋作比較，最後歸納位態統計資料。

### 4.2.1 孔內造影試驗施作情況

本研究針對梨山崩積地區 B-9 滑動體 N-1 與 N-2 兩孔進行孔內造影試驗。梨山崩積地區由於風化板岩岩性破碎且劈理發達，而孔內造影必須以裸孔方式進行，若施測途中遇破碎段而擾動孔壁使得破碎岩塊滑落孔內，則試驗儀器將有卡孔的危險。首先在鑽探過程中嚴密監工並與鑽探領班討論掌握地層狀況，再由提取之岩心破碎狀況研判推估孔壁破碎情況，有卡孔危機之試驗段應有保護措施。



#### N-1 孔

N-1 孔在鑽探途中鑽至 18.60~18.90m 之處遇一破碎帶(圖 4.6)，此段滿佈板岩碎塊而無黏土膠結，而使得鑽進至此處時鑽探迴水不斷流失，歷經停鑽並灌漿固結孔內裂隙之後，方能繼續鑽進。而從提取岩心之初步判斷孔壁破碎程度，認為 18.60~18.90m 此一區間有崩坍的危險而決定加以保護，亦即待鑽探全程結束抽拔鑽桿時，將鑽桿底端留置於地表下 20.6m 處加以保護。施作當日地下水位位於地表下 19.4m 處，則 N-1 孔孔內聲波造影資料量測範圍由地表下 19.4m 至地表下 38.8m。

#### N-2 孔

由於 N-1 孔施作孔內造影的順序在 N-2 孔之前，依 N-1 孔施作狀況

研判，超泥漿®穩定液對破碎板岩孔壁之保護性甚佳，所以對於 N-2 孔的施作範圍增加，將鑽桿底端停置至地表下 10.35m 處，而地下水位則停滯在地表下 26.30m 處，則 10.35m~26.30m 的區間雖無孔內水，但可由孔內光學造影補足此段資料。則 N-2 孔施作孔內聲波造影施作深度由地表下 26.30m 至地表下 77.50m；孔內光學造影施作深度由地表下 1.55m 至地表下 75.00m。茲將 N-1、N-2 兩孔孔內造影施作概況列於表 4.1 說明。

表 4.1 孔內造影施作概況

孔位	地下水位	鑽桿保護深度	量測資料範圍	
N-1	-19.40m	-20.60m	聲波式	-19.40m~-38.80m
N-2	-26.30m	-10.35m	聲波式	-24.25m~-77.50m
			光學式	-1.55m~-75.00m

#### 4.2.2 孔內造影影像資料與岩心判釋比對

由於孔內影像資料相當龐大，本節列舉差異度較高之處解釋。主要比對部分有(1)不連續面位態，(2)軟弱層，以及(3)膠結物，以下針對各項分別說明。藉此探討由孔內造影試驗分類崩積地層的可行性。

##### (1) 不連續面位態

在孔內造影影像資料中對於不連續面的種類判定，一般為分析軟體之操作者的主觀判定，挑選不連續面時，首先由影像資料與岩心照片初步比對判釋，而在梨山崩積地層中組成岩石皆為板岩，岩性單調而無法判斷層面所在，且單由孔內造影資料並無法完全區別劈理面與節理面，此時必須直接觀察鑽探之岩心狀況來輔助孔內造影位態的挑選。傳統岩心判釋由於進行鑽探時鑽桿自由旋轉的原因，無法獲得正確的走向資料，僅能由量取岩心裂面角度來獲得傾角資訊。而孔內造影儀內建羅盤儀，可在施測時不

受到儀器轉動的影響而正確紀錄走向資料。圖 4.7 為 N-1 孔 28.0~29.0m 之孔內聲波造影位態資料與岩心比對結果。由圖 4.7 中 A 區間來看，岩心資料顯示為較完整岩塊內出現一劈理產生的明顯裂面，而由聲波造影亦可容易挑選出。B 區間由岩心資料可觀察到數組劈理間距甚密的狀況，但由聲波造影則出現的劈理面只有一條。C 區間岩心出現為一高角度節理，但在聲波造影之結果沒有反應出。綜合以上比對結果可知，岩心上劈理密集出現的區段，其岩心還沒被鑽出時，原本的劈理面間隙可能相當小，而岩心取樣之後解壓，造成岩心上劈理面裂面趨於明顯。

針對梨山崩積材料以聲波造影與光學造影分別對不連續面位態的判釋結果以圖 4.8 為例，聲波造影之結果其裂隙輪廓明顯，但在光學造影影像中則裂隙輪廓模糊，其主要原因與鑽探使用之迴水有關。本研究為顧及在崩積地層中鑽探岩心取樣品質，並且於鑽探完畢後維持孔壁的自立性以供孔內造影之施作，使用超泥漿<sup>®</sup>高分子穩定液作為鑽探迴水，超泥漿<sup>®</sup>與水拌合後黏性甚高，雖然超泥漿<sup>®</sup>本身為無色透明，但因鑽探產生之岩屑可能被超泥漿<sup>®</sup>包裹而附著於孔壁上，使得光學造影的效果不佳，而聲波造影由超音波能量回傳大小來描繪孔壁，所以不受雜質之影響。

由於不連續面位態資料量龐大，茲將位態挑選影像資料列於附錄 B，位態分布統計情形則留待 4.2.3 節說明。

## (2) 軟弱層

軟弱層內含灰色黏土夾灰色板岩碎屑，可由聲波造影之聲波振幅與來回走時反應孔壁軟硬狀況，而光學式在孔內清晰可視的情況下亦可直接觀察軟弱帶的分布情況。圖 4.9 為 N-2 孔 54.0~56.0m 軟弱黏土層之孔內造

影與岩心照片比對結果，可看出聲波造影可由振幅探測出軟弱層內夾薄層岩塊，而光學造影則難以看出；聲波振幅色調顏色較深處，表示回傳之聲波能量較低，反應此段有極軟弱黏土層分布，但若岩心上有較細顆粒分布，則造影影像將無法精確的顯示細顆粒，而光學造影影像亦難以顯示。由以上結果判斷，孔內造影在軟弱層界定上的表現可以區別大範圍的分層，但對軟弱層內部細微顆粒分布情況無法反應。

### (3) 膠結物

聲波造影可由岩塊與土壤其硬度的不同，反應聲波反射振幅的大小差別，藉此描繪出岩塊和土壤的膠結狀況；而光學造影也可藉由影像直接判釋。圖 4.10 為 N-2 孔 53.0~54.0 m 的岩塊土壤膠結情況與岩心比對結果，可知藉著聲波的反射能量反應顆粒膠結狀況比光學影像更容易。但聲波造影之資料影像並無法反應孔壁真實的色調，而由光學造影可觀察出不同色調的表現，如圖 4.10 中石英脈的分布狀況。

由以上三點結果可知，孔內造影可以輔助崩積地層岩心判釋，而聲波造影與光學造影各有其優缺點。聲波造影對於崩積地層中位態的解析、軟弱層的分布情況以及膠結物，皆有良好的解析度，而光學造影則受限孔內水的清晰度，但光學造影可反應孔壁真正的色調表現，如白色石英脈的分布，而聲波造影則無法分辨。





圖 4.6 N-1 孔 18.60~18.90m 破碎帶狀況

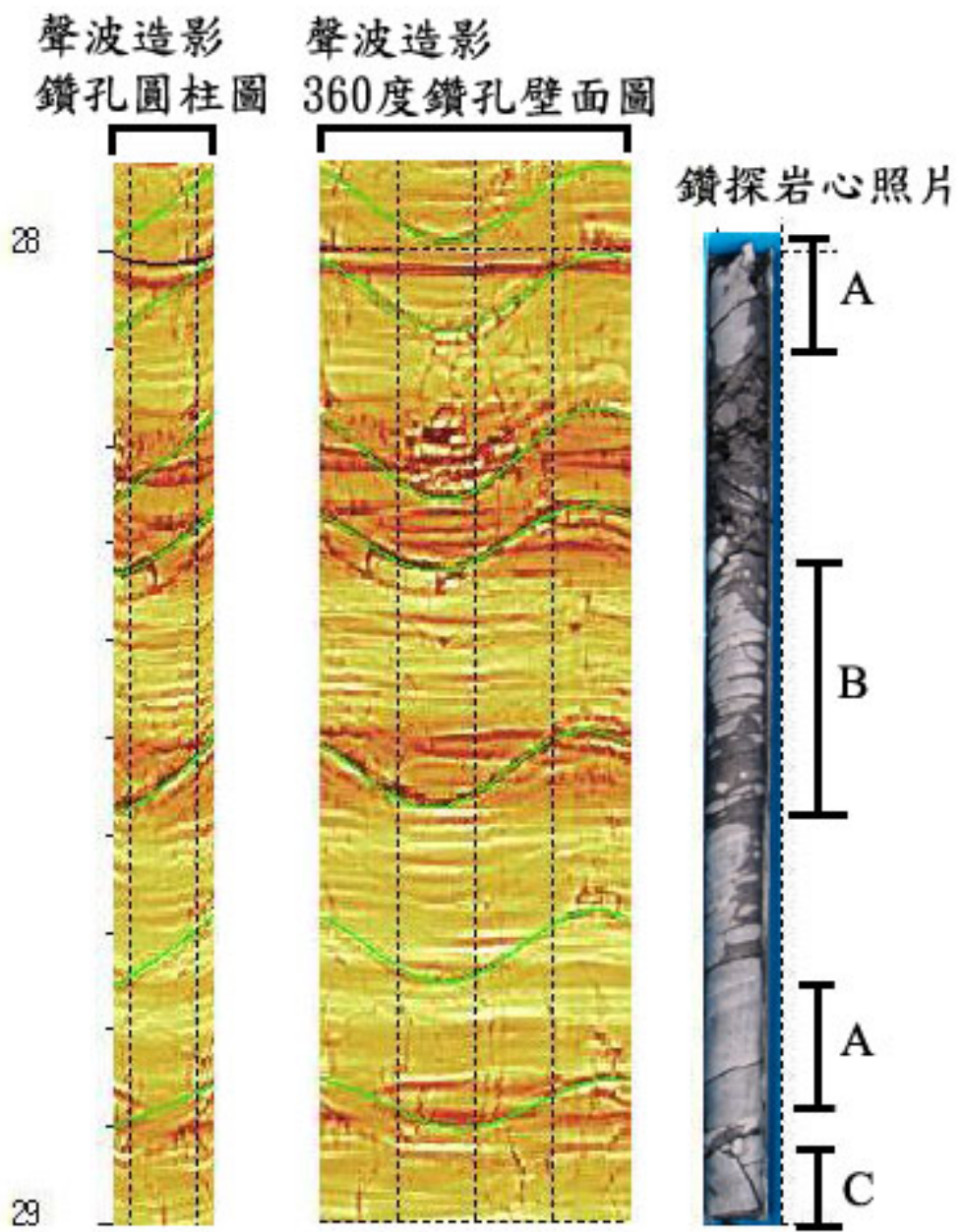


圖 4.7 N-1 孔 28.0~29.0m 孔內聲射造影結果與岩心比對

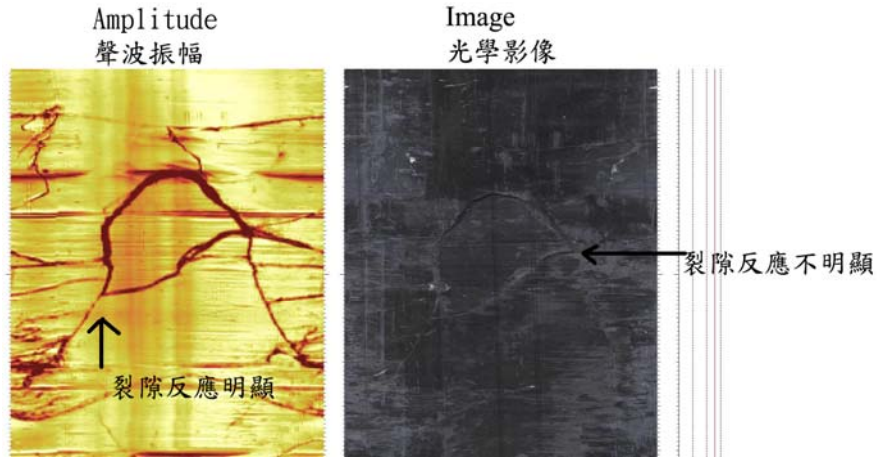


圖 4.8 聲波式與光學式孔內造影對於裂隙的表現比較

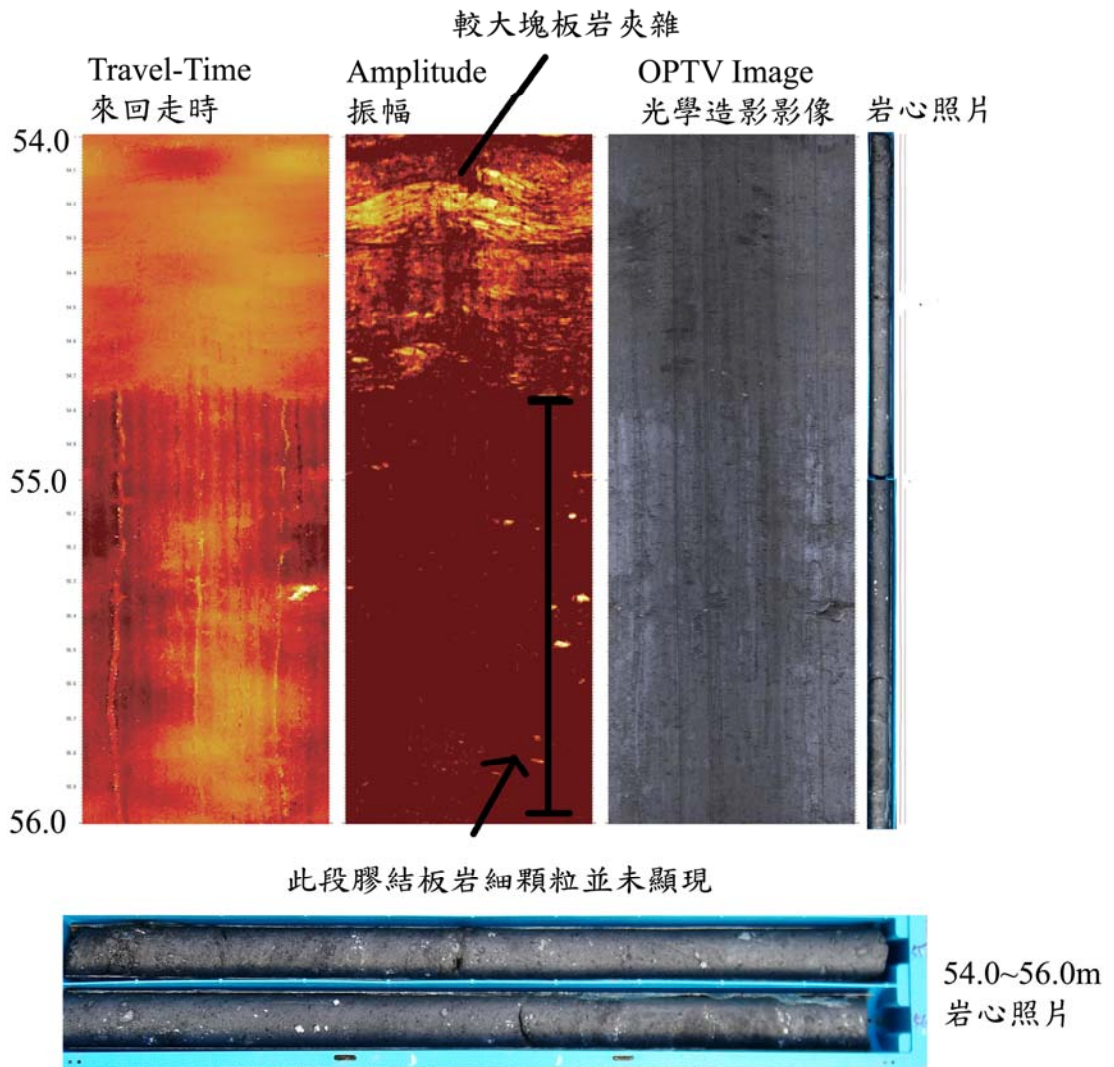


圖 4.9 N-2 孔 54.0~56.0 m 軟弱層造影與岩心比對結果

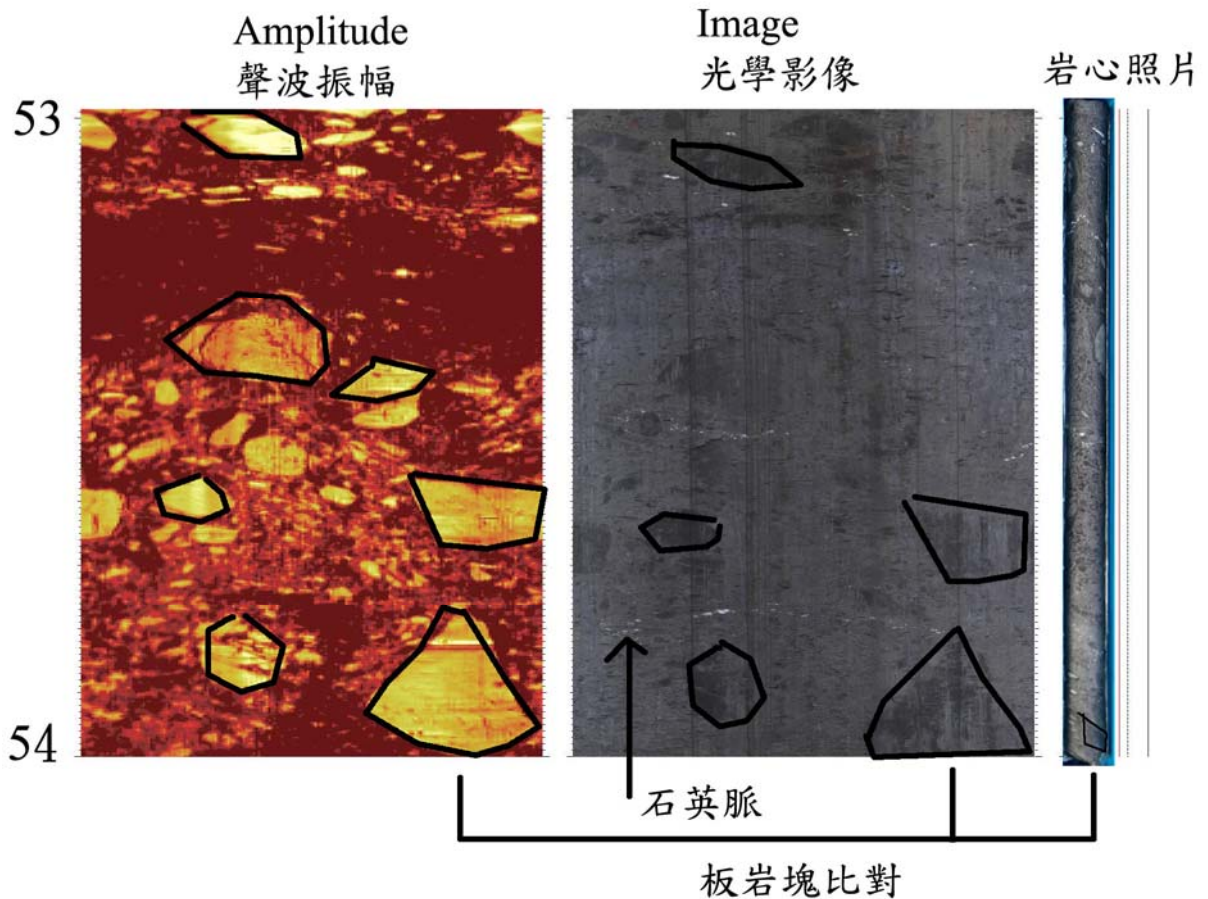


圖 4.10 N-2 孔 53.0~54.0 m 膠結情況造影與岩心比對結果

### 4.2.3 位態資料挑選與分層位態統計結果

孔內造影量測資料必須匯入專用解析軟體「RGLDIP」程式進行分析。聲波式資料由來回走時與振幅的分佈狀況為挑選資料參考的依據，而光學式資料則直接由孔壁影像直接判讀。圖 4.11 為 N-1 孔 27.10~33.00 m 聲波造影位態資料挑選成果例。劈理面位態資料標註為「Primary-structure」，節理面資料則標註為「Fracture」。

各崩體分區位態資料之立體投影圖統計結果如圖 4.12~圖 4.16。分析的過程首先由鑽探岩心判釋結果先進行初步大範圍分層，由圖 4.2 之崩體分區示意圖來看，以含黏土之軟弱層為分區邊界，因為此區並無位態資

料，且為滑動面所在位置；N-2 孔 67.80~80.00 m 為含節理面之板岩塊視為新鮮岩盤，則 N-1 孔與 N-2 孔位態資料涵蓋範圍如表 4.2 與表 4.3 所示，分區統計之平均劈理位態結果列於表 4.4。

由劈理位態統計結果顯示，新鮮岩盤平均劈理位態為  $N57^{\circ}E/46^{\circ}SE$ 。由下邊坡之 N-1 孔量測到的 A 崩體平均劈理位態為  $N53^{\circ}E/35^{\circ}SE$ ，而由上邊坡之 N-2 孔量測到的 A 崩體平均劈理位態則為  $N68^{\circ}E/34^{\circ}NW$ ，上下邊坡呈現傾向相反的現象。由下邊坡 N-1 孔量測到的 B 崩體平均劈理位態為  $N68^{\circ}E/32^{\circ}SE$ ，而由上邊坡之 N-2 孔量測到的 B 崩體平均劈理位態為  $N76^{\circ}E/42^{\circ}SE$ ，其位態大略一致。C 崩體由於僅量測到三筆位態資料，資料數量太少，並不進行統計。



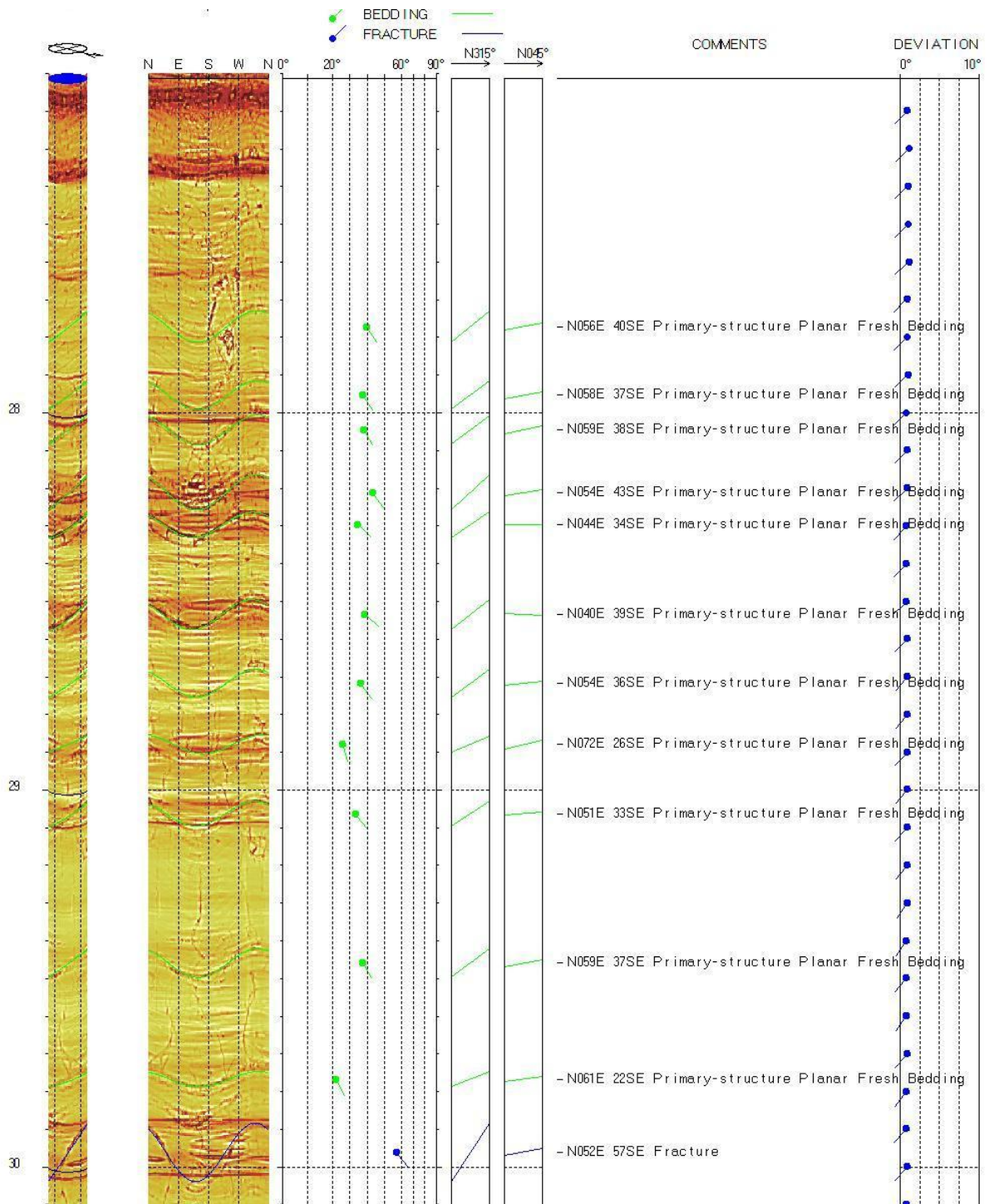


圖 4.11 N-1 孔 27.1~30.1 m 孔內聲波造影資料挑選結果

表 4.2 N-1 孔位態資料分區說明

深度(m)	分類代碼	層差(m)	區間描述	劈理位態資料筆數	說明
0~2.20	BF	2.20	回填土 與風化板岩	0	C 崩體
2.20~13.70	SY'	11.50			
13.70~15.70	SG'	2.00			
15.70~18.90	C	3.20	軟弱帶	0	滑動介面
18.90~23.70	SG	4.80	風化板岩	12	B 崩體
23.70~26.20	SJ	2.50			
26.20~27.10	C	0.90	軟弱帶	0	滑動介面
27.10~30.85	SJ	3.75	風化板岩	42	A 崩體
30.85~40.00	SG	9.15			

表 4.3 N-2 孔位態資料分區說明

深度(m)	分類代碼	層差(m)	岩性描述	劈理位態資料筆數	說明
0~13.17	BF	13.17	回填土 與風化板岩	3	C 崩體
13.17~17.75	SY'	4.58			
17.75~26.15	SG'	8.40			
26.15~29.80	C	3.65	軟弱帶	0	滑動介面
29.80~38.50	SG'	8.70	風化板岩	35	B 崩體
38.50~41.35	SJ	2.85			
41.35~42.40	SG'	1.05			
42.40~44.10	SJ	1.70			
44.10~52.80	SG'	8.70			
52.80~56.80	C	4.00	軟弱帶	0	滑動介面
56.80~59.35	SG'	2.55	風化板岩	30	A 崩體
59.35~63.47	SJ	4.12			
63.47~64.40	SG	0.93			
64.40~66.75	SJ	2.35			
66.75~67.80	SG	1.05			
67.80~80.00	SJ	12.20	新鮮板岩	12	不動層

表 4.4 N-1 與 N-2 孔劈理位態分區統計結果

孔位	深度(m)	平均劈理位態	說明
N-1	27.10~40.00	$N53^{\circ}E/35^{\circ}SE$	A 崩體
	18.90~27.10	$N68^{\circ}E/32^{\circ}SE$	B 崩體
N-2	67.80~80.00	$N57^{\circ}E/46^{\circ}SE$	新鮮岩盤
	52.80~67.80	$N68^{\circ}E/34^{\circ}NW$	A 崩體
	26.15~52.80	$N76^{\circ}E/42^{\circ}SE$	B 崩體

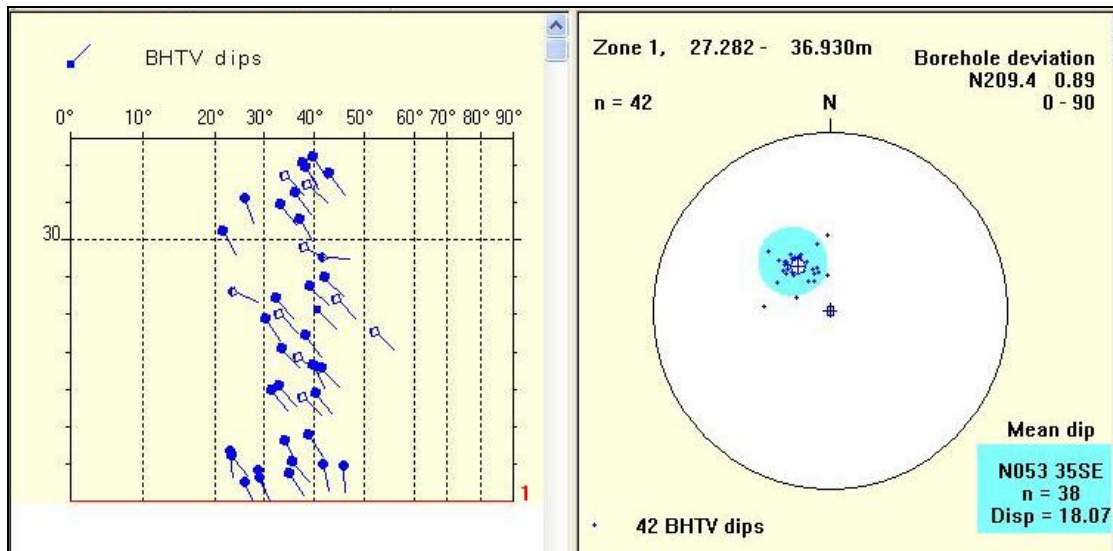


圖 4.12 N-1 孔 27.10~40.00 m(A 崩體)劈理位態立體投影圖

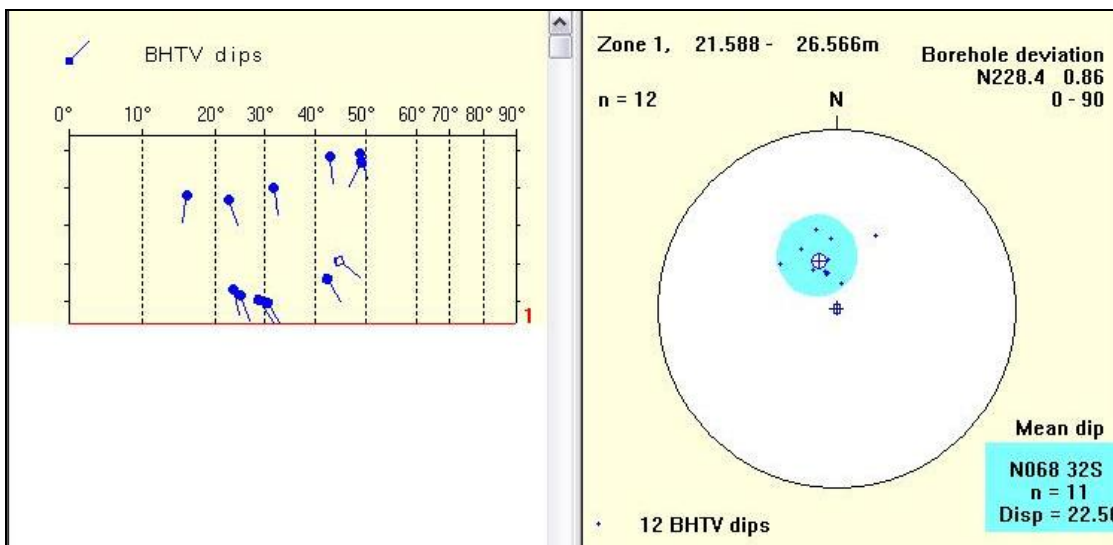


圖 4.13 N-1 孔 18.90~26.20 m(B 崩體)劈理位態立體投影圖

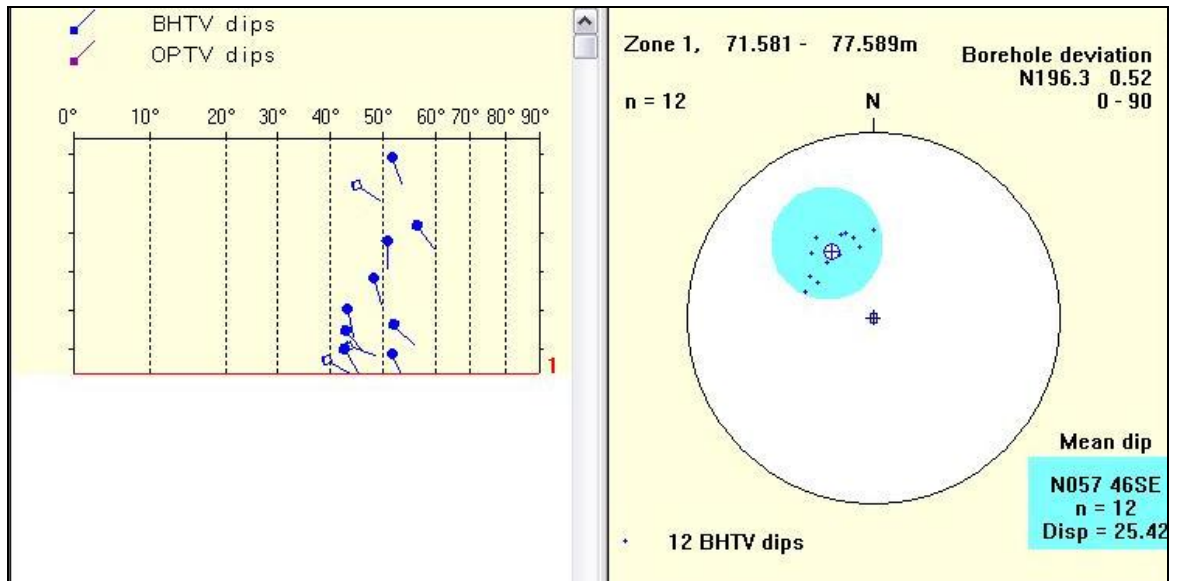


圖 4.14 N-2 孔 67.80~80.00 m(新鮮岩盤)劈理位態立體投影圖

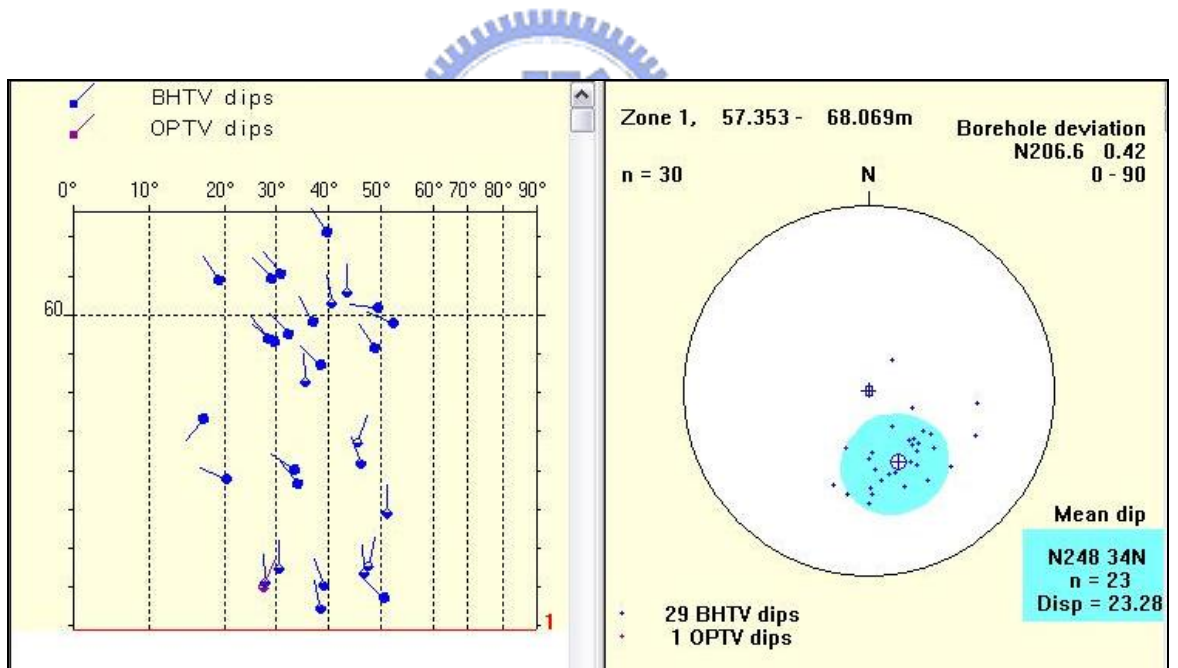


圖 4.15 N-2 孔 52.80~67.80 m(A 崩體)劈理位態立體投影圖



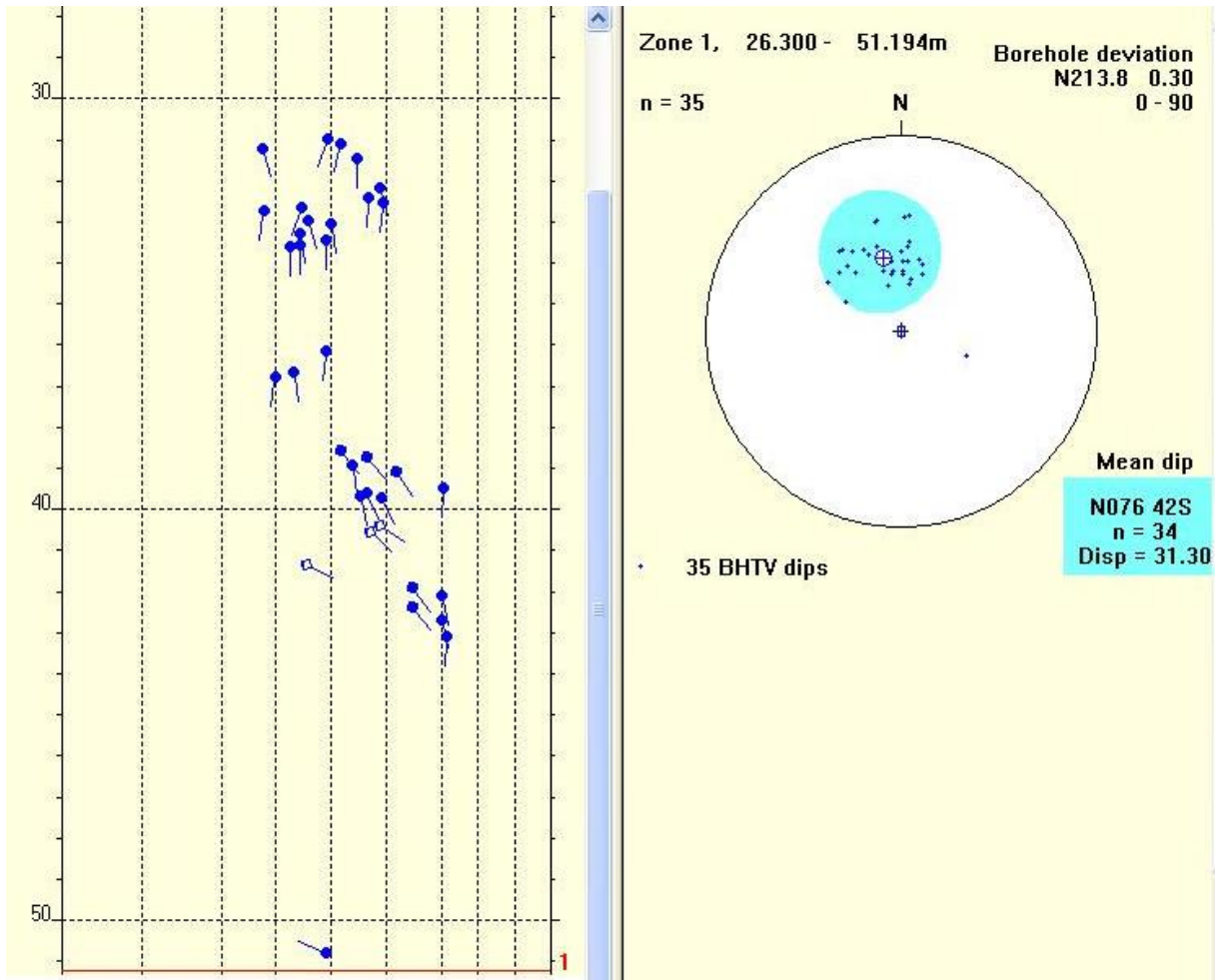


圖 4.16 N-2 孔 26.15~52.80 m(B 崩體)劈理位態立體投影圖

## 4.3 現地孔內震波量測結果與討論

### 4.3.1 波速量測結果

本研究針對梨山崩積地區之 B-9 滑動體 N-1 孔位施作懸垂式孔內 P-S 波量測。N-1 孔深為 40 m，考慮鑽探後孔底埋沒與探測管部分連結總長度共 5 m 兩項因素，則試驗施作深度定為地表下 4.0 m 至地表下 30.0 m。施作前埋置 2.5 英吋孔徑之 PVC 管，在管壁處約間隔 0.5 cm 鑽一小孔，再以不織布包紮後埋放於孔內，PVC 管與鑽孔孔壁間填滿粗砂並於孔口灌漿以固定 PVC 管，PVC 管埋設完成後方行施測。由於試驗過程中孔內必須充滿水為介質，N-1 孔於試驗施作當日，其地下水位面約在 19.5 m 處，故加水使其地水位暫時上升以供試驗施作。

本研究進行孔內震波量測時，每次量測之間距設為 1 m，因此在量測深度自 4 m 至 30 m 理應共計 27 個資料點，但能夠挑選出 P 波之初達波與 S 波波幅反向之資料點僅 20~30 m 之間共 11 點，再經式(4-1)的計算方式，將地層深度相對應之波速列於表 4.6 所示，P 波波速介於 1220(m/s)~2174(m/s)之間，而 S 波波速介於 360(m/s)~1020(m/s)之間。

### 4.3.2 波速資料討論

圖 4.17 為每筆施測深度與所得之 P 波波形對照圖，垂直方向敲擊之結果 V1、V2 在地表下 4~20 m 的波形資料相當不明顯，地表下 20~24 m 的 P 波速度較為一致，地表下 25~30 m 則是另一 P 波波速相似區，較地表下 20~24 m 為快。

圖 4.18 為每筆施測深度與所得之 S 波波形對照圖，水平方向敲擊之 H1、H2 在深度 4~20 m 雖然有波型資料呈現，但應非 S 波，為管波(pipe

Wave)的成分居高，其可能原因在於放置 PVC 管時，水泥砂漿由 18.60~18.90 m 處之裂隙流失，以致回填不確實或回填品質較差而產生較多的孔隙，又或是施作實驗前充填之孔內水在試驗施測期間流失，而回到原先地下水面之位置。H1 在地表下 20~30 m 處，P 波之初達波在 5ms 左右出現，H2 在地表下 20~30 m 處，P 波初達波也在 5ms 左右出現，但波形的能量小於 H1。S 波出現在 17ms 附近，波型反向明顯。

將 20~30 m 之 P 波波速、S 波波速資料以及岩心判釋結果相互比對如圖 4.19 所示。由圖 4.19 可看出，整體波速隨者深度的增加而提高，但增加的幅度不大，26.20~27.10 m 處之灰色黏土夾灰色板岩碎屑(C)，此軟弱層之波速有突然偏低的現象。

表 4.5 N-1 孔位 P-S Logging 量測波速統計表

Depth(m)	$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)
20.0	1785.7	963.0
21.0	1666.7	709.6
22.0	2173.9	359.5
23.0	1639.3	1019.6
24.0	1562.5	839.3
25.0	1851.9	779.4
26.0	1219.5	595.6
27.0	1428.6	724.9
28.0	1886.8	899.6
29.0	1369.9	643.2
30.0	1960.8	552.7

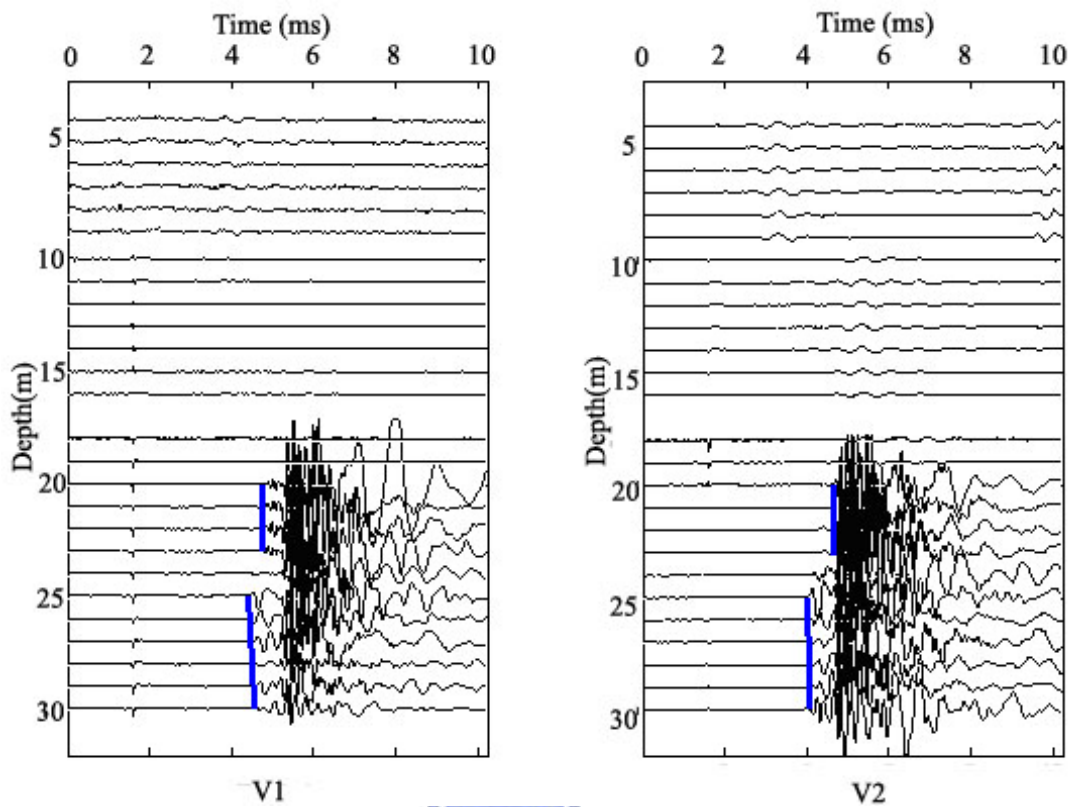


圖 4.17 N-1 孔 P 波波形訊號與深度比對圖

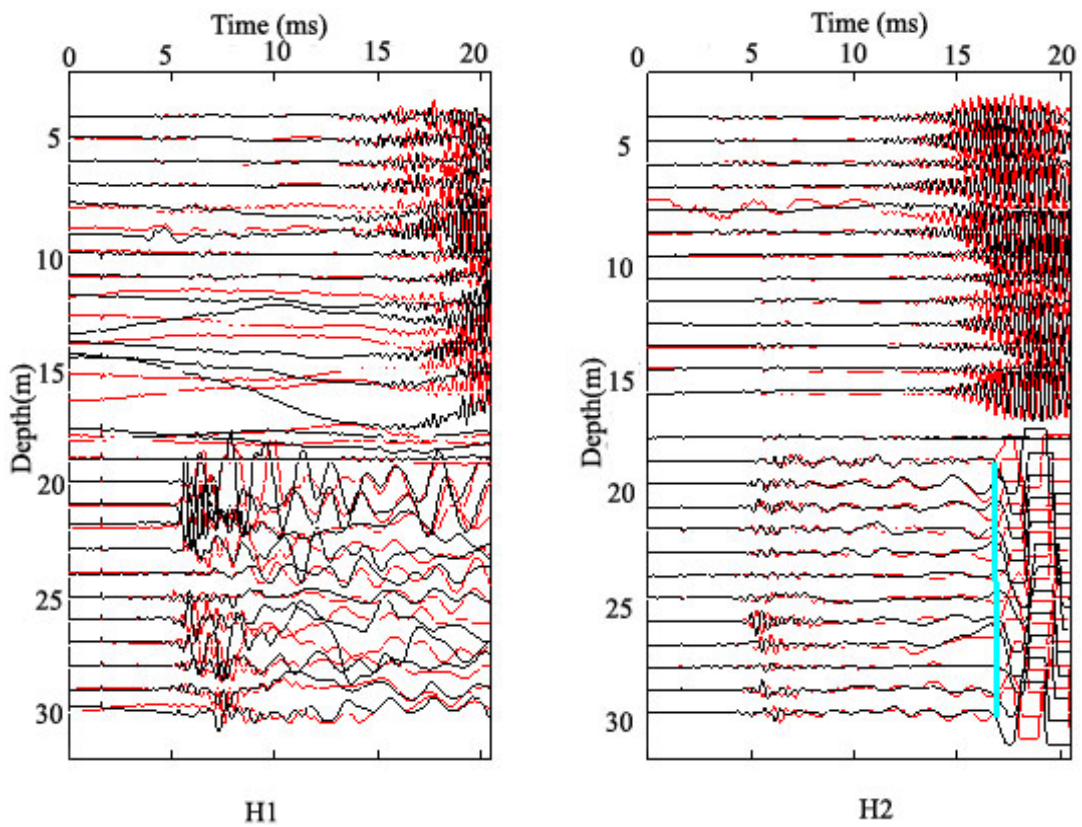


圖 4.18 N-1 孔 S 波波形訊號與深度比對圖

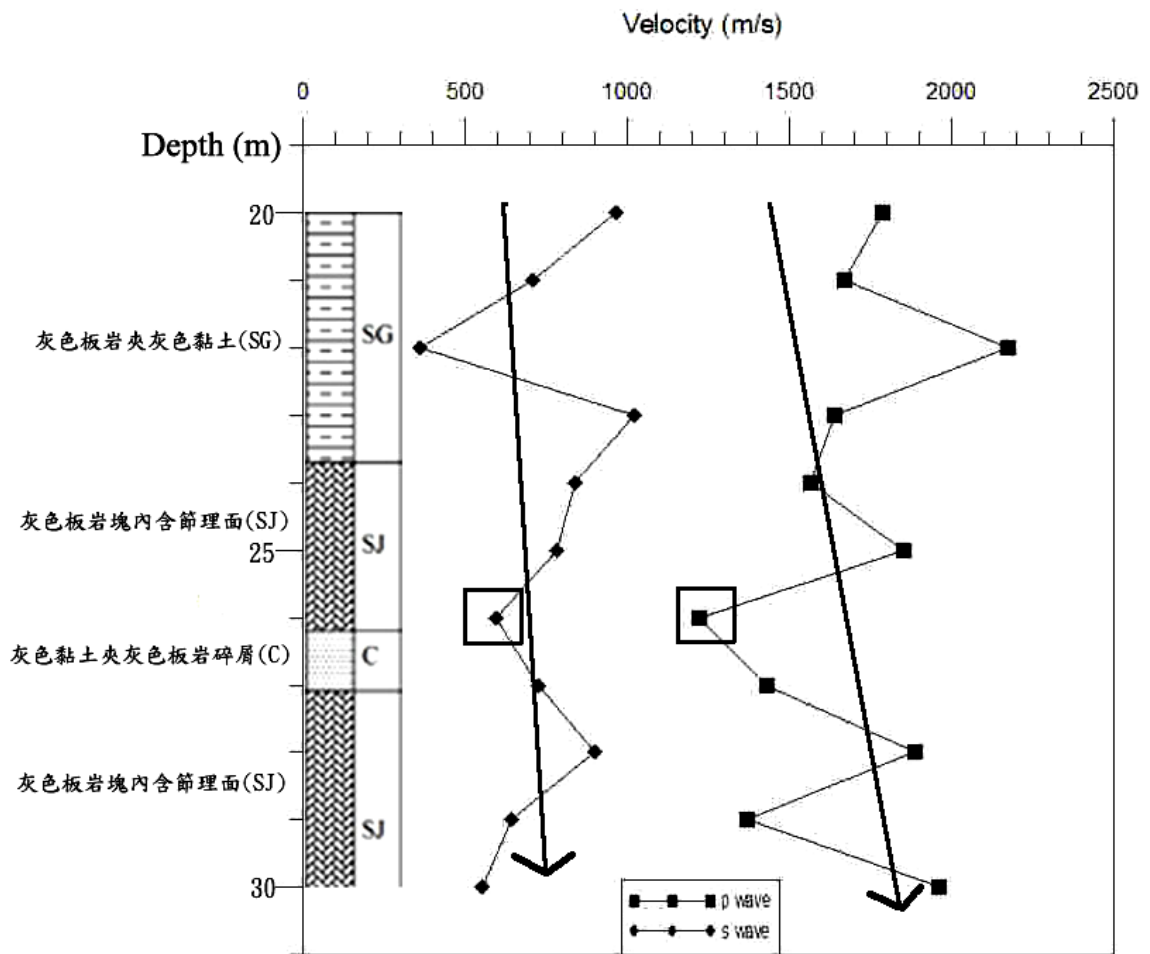


圖 4.19 P-S 波波速資料與岩心判釋比對結果