第五章　EMD 資料處理結果討論

本研究於臺中古根漢美術館預定地及車籠埔斷層南段之竹山槽溝兩個測區施行震波測勘，各測區之地質環境、設定參數與處理分析結果分述於以下各節。

5.1　臺中古根漢美術館預定地

5.1.1 測勘環境

臺中惠來里遺址從 91 年 5 月臺中衣蝶百貨建築挖掘地下室基地起，即陸續出土陶片等文化遺物，故國立臺中自然科學博物館人類學組於民國 91 年 7 月 4 日開始進行臺中市惠來里遺址試掘，並在隔年 9 月於市府惠民段 144 號抵費地挖掘出距今 1300 年前番仔園文化之墓葬區，其間並陸續發現大量的繩文陶器與玉錛等考古文物。文建會於民國 92 年委託該單位進一步於臺中古根漢美術館預定地進行調查工作（圖 5-1），本研究即選定該地點之停車場作為震測場址（圖 5-2、5-3、5-4），於同一條測線方向上來回施行走離雜波測試各一次（圖 5-5、5-6）。

圖 5-1　臺中惠來里遺址抽樣發掘地點（修改自臺中古根漢美術館、新市政中心預定地及惠來里遺址試掘期末報告）

圖 5-2　臺中市古根漢美術館預定地停車場

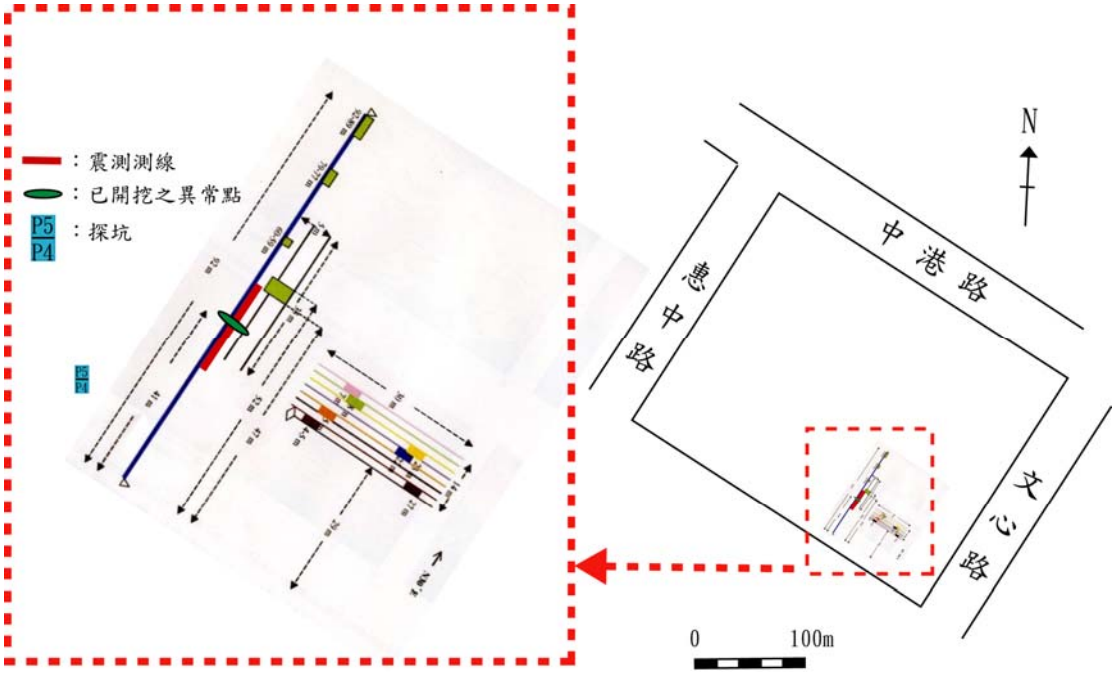

圖 5-3　臺中市古根漢美術館預定地之震測測線分布圖

圖 5-4　臺中市古根漢美術館預定地停車場之測線左右端點

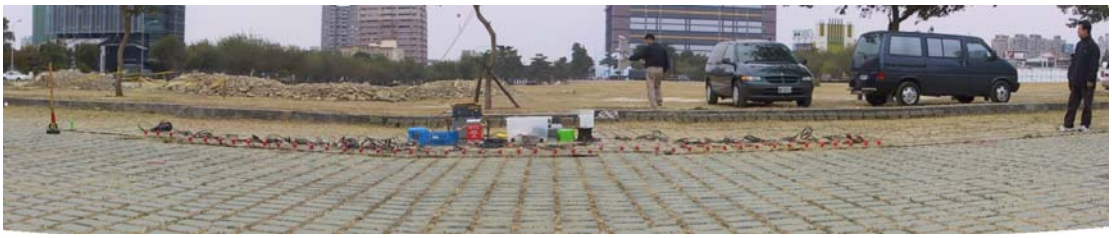

圖 5-5　臺中古根漢美術館預定地之震測測線

圖 5-6　臺中古根漢美術館預定地之震測施測情形

5.1.2　地質概況

臺中自然科學博物館在古根漢美術館預定地開挖數個探坑，其中試挖坑 T5、以及探坑 P4、P5 最為接近測線區，位於測線西側。T5 為 5×5 平方公尺，P4、P5 均為 2×2 平方公尺，且 P5 位於 P4 北側。

探坑 P4、P5 自地表下 1.7 公尺均為回填之工程廢土，清除之後即露出耕土層，中等顆粒細砂、圓度角礫狀大小，不具黏性，

與下層土層分界明顯，約 20 公分；接著是土壤化育層，分為 Bt1、Bt2、Bt3 三層。Bt1 厚約 1 公尺深黃褐色土，為淤泥黏土、中等顆粒細砂、圓度次角礫狀大小、具黏性；Bt2 厚約 12 公分黑色淤泥黏土、中等顆粒細砂、圓度次角礫狀大小、不具黏性；Bt3 厚約 50 公分深灰色砂土，為砂質黏土、不具黏性（圖 5-7、5-8）。而停車場經整地後其地表高度較探坑 P4、P5 低約 0.5 公尺，即第一層回填土深度約在 1.2 公尺左右。

P5 NW

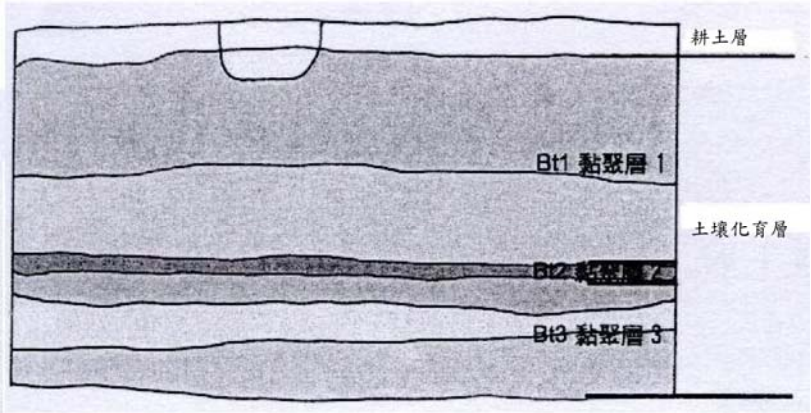

圖 5-7　P5 北牆剖面（摘自臺中古根漢美術館、新市政中心預定地及惠來里遺址試掘期末報告）

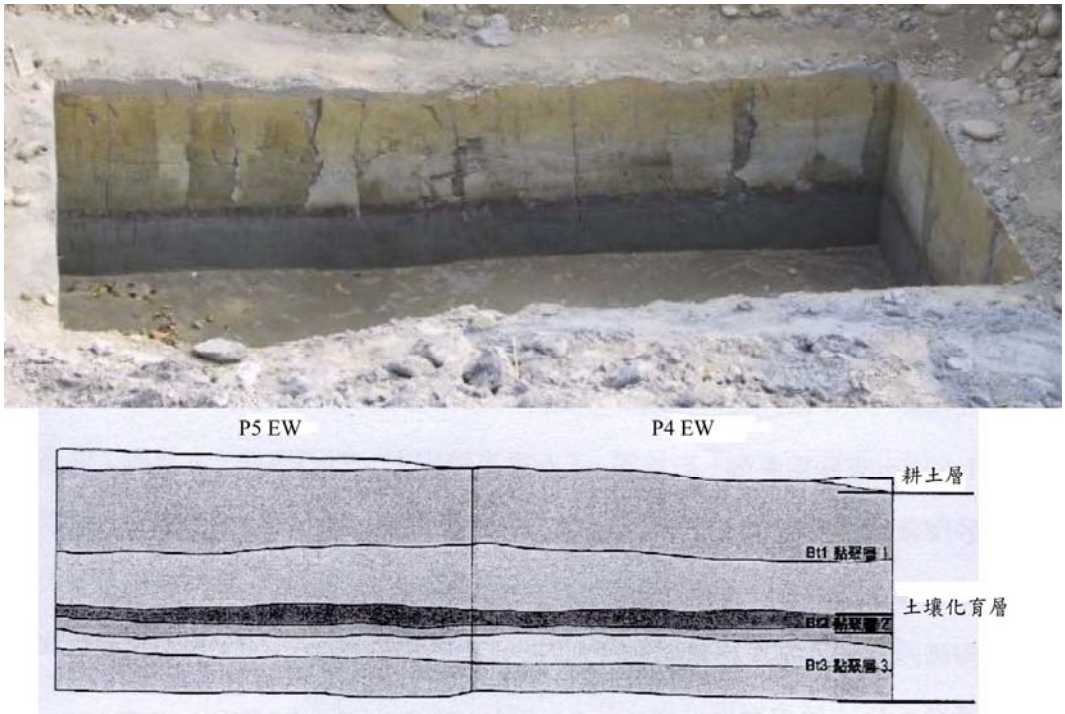

圖 5-8　P5、P4 東牆剖面（圖中之地層模型摘自臺中古根漢美術館、新市政中心預定地及惠來里遺址試掘期末報告）

5.1.3　施測參數

臺中古根漢美術館預定地之布線參數如表 5-1 所示。

走離雜波測試法在測線方向（N30°E）上來回各炸射一次，名為測線 WL1 與 WL2。測線 WL1 之 24 個受波器依序固定不動於 15.4～20 公尺之間，採移動震源方式炸射，震源位置分別為 14.4、9.6、4.8 與 0 公尺處，於地下深度 1.2 公尺的覆蓋面為 7.7～17.2 公尺（圖 5-9）；測線 WL2 之 24 個受波器依序固定不動於 5.6～1 公尺之間，同樣採移動震源方式炸射，震源位置分別為 6.6、11.4、16.2 與 21 公尺處，於地下深度 1.2 公尺的覆蓋面為 3.8～13.3 公尺（圖 5-10）。

炸射方法	走離（Walkaway）
震　　源	7.5 Kg
炸射疊加次數	5 次
近 支 距	1 m
遠 支 距	20 m
受 波 器	40 Hz P 波
受波器間距	0.2 m
頻 道 數	24
採樣點間距	0.25 ms
採樣長度	0.5 sec
測線長度	20 m
地下覆蓋面長度	9.5 m
前置濾波	low-cut：70 Hz high-cut：1000 Hz
移動幾何	炸點移動
記錄檔案數	4

表 5-1　臺中古根漢美術館預定地之野外布線參數設定值

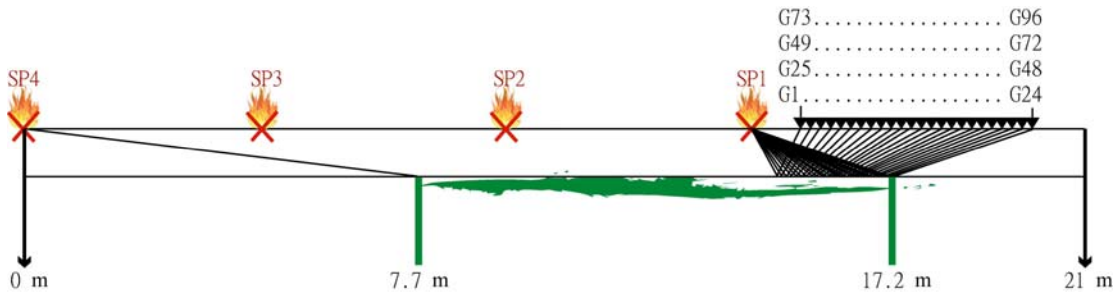

圖 5-9　古根漢 WL1 之地下覆蓋面示意圖

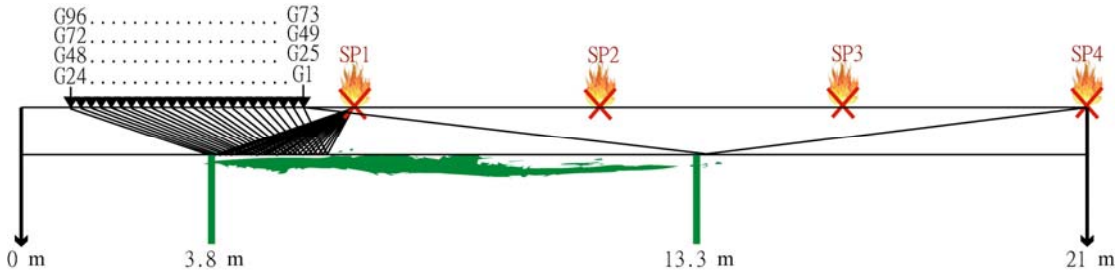

圖 5-10　古根漢 WL2 之地下覆蓋面示意圖

5.1.4　資料解析

野外紀錄先以單一跡線作 EMD 處理，分析 IMFs 在能量上的分布表現。以 walkaway 測線 WL1 之第 18 條跡線為例（圖 5-11）可以看出，利用重鎚作為震源所發出的信號能量是以高頻成分波為主（Baker,2003），而地層的折射與反射信號應位於高頻分量 C1 與 C2 當中，占總能量絕大部分；C3～C6 分量推測應屬於相對低頻的地滾波及環境雜波。

進一步分析該跡線 C1～C6 分量在頻率域上的振幅響應與相位響應（圖 5-12～5-17），其中 C1 分量由振幅響應圖看來主頻帶較寬，其中很可能還包含了空氣波等雜波影響，因為空氣波的特質即屬於較高速的雜波（約 335 m/s 或更高），並且頻帶寬，在震測資料中易造成資料失真；而 C2 分量主頻帶較窄（70～130 Hz，Nyquist 頻率為 2000 Hz）且相位響應較 C1 分量理想（主頻帶區近乎零相位），故本測區嘗試以 C2 分量作為走時曲線圖評估，判斷各測線地層或異常體之信號表現。

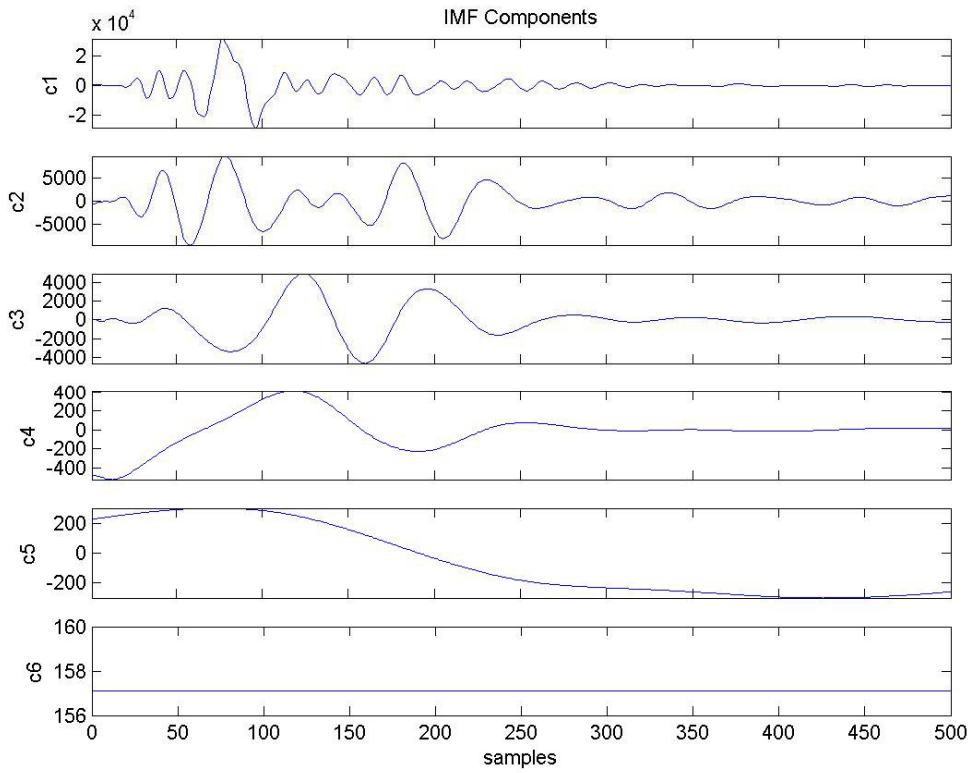

圖 5-11　WL1 測線第 18 條跡線經 EMD 之六個 IMFs

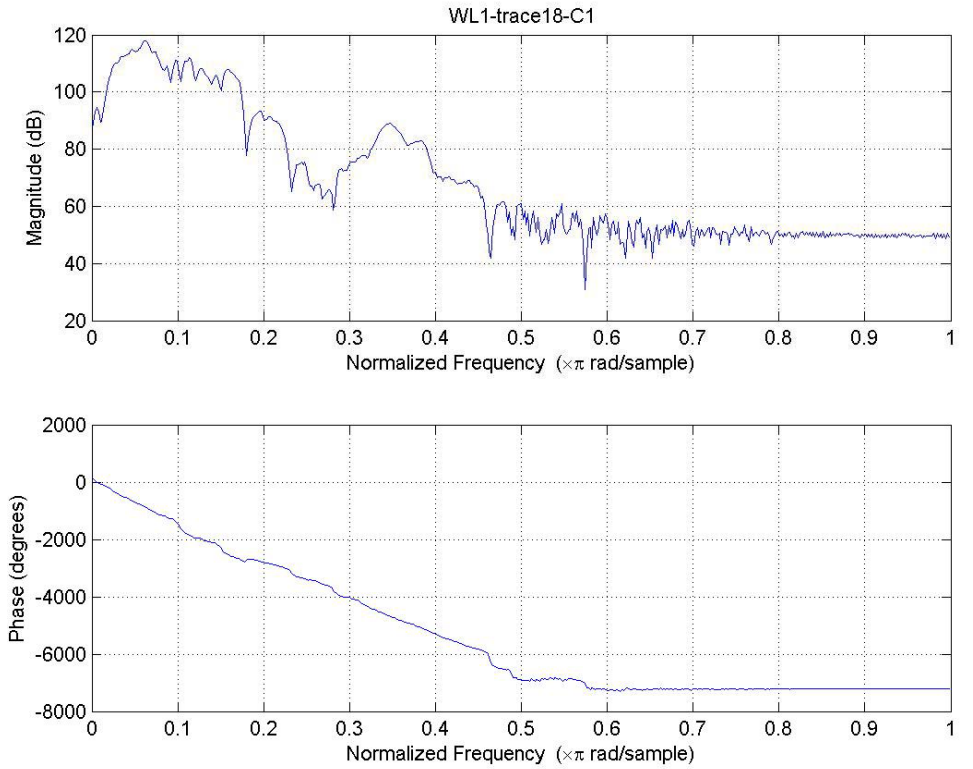

圖 5-12　C1 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

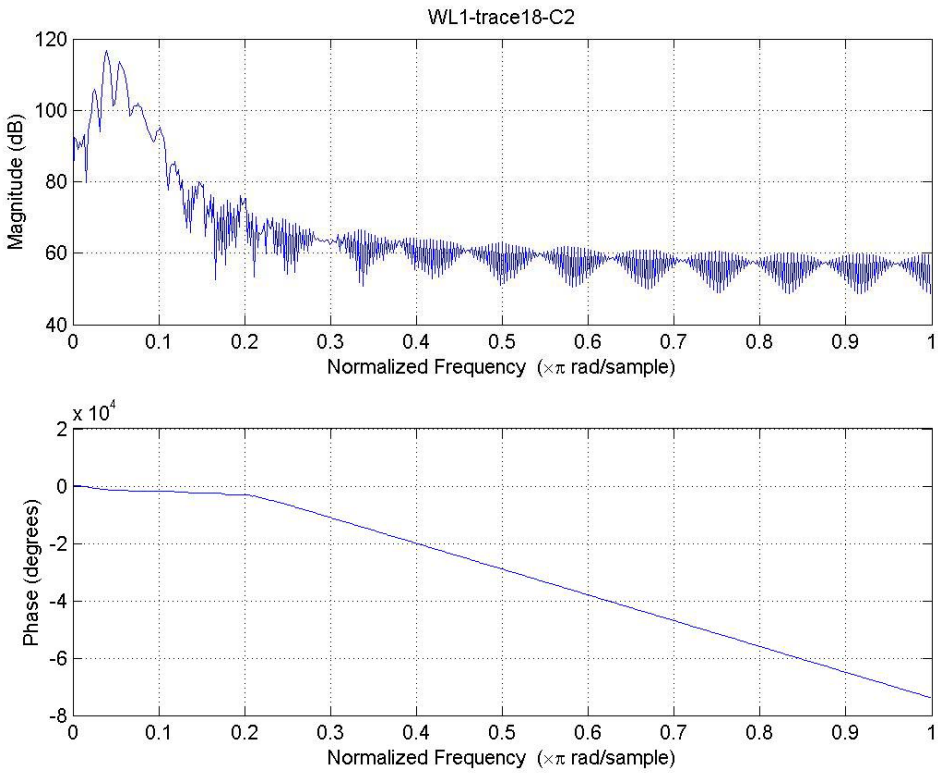

圖 5-13　C2 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

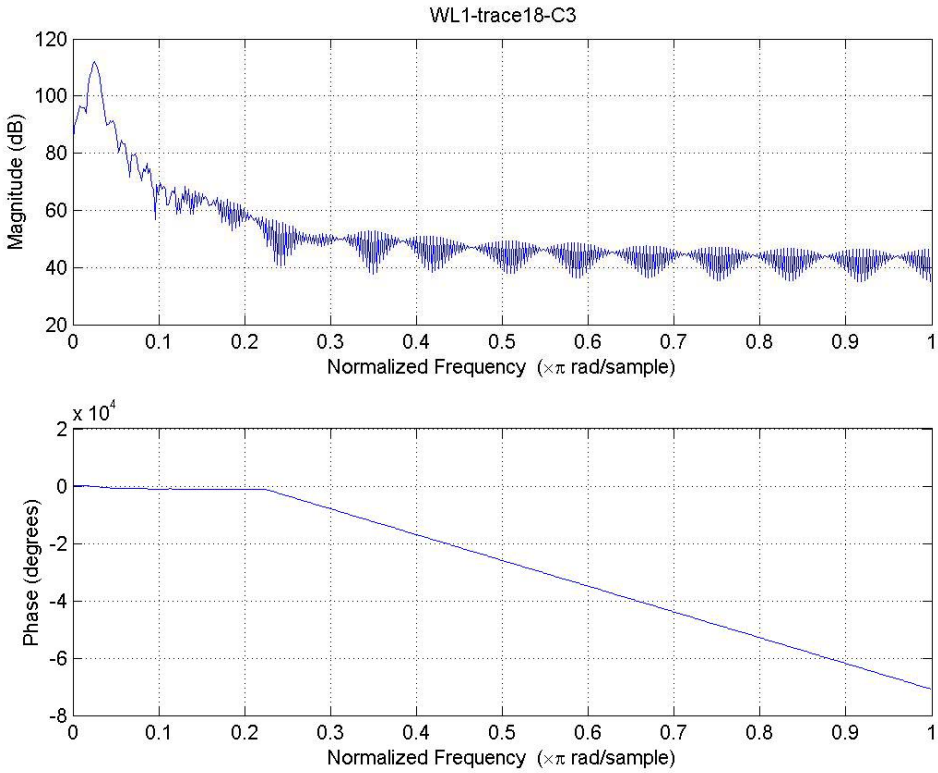

圖 5-14　C3 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

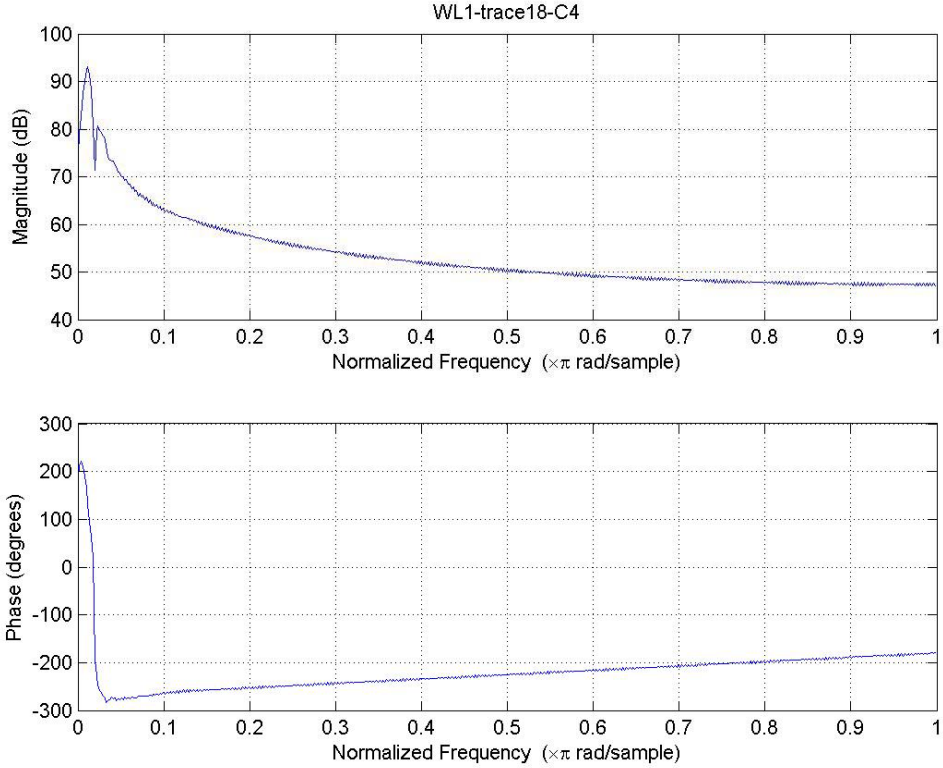

圖 5-15　C4 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

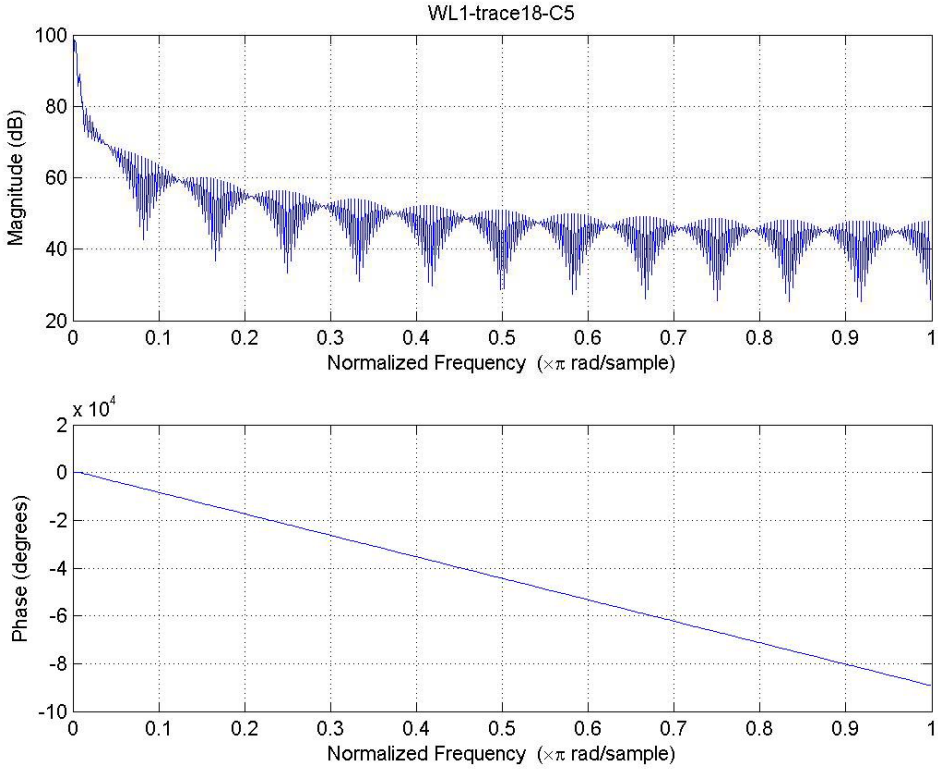

圖 5-16　C5 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

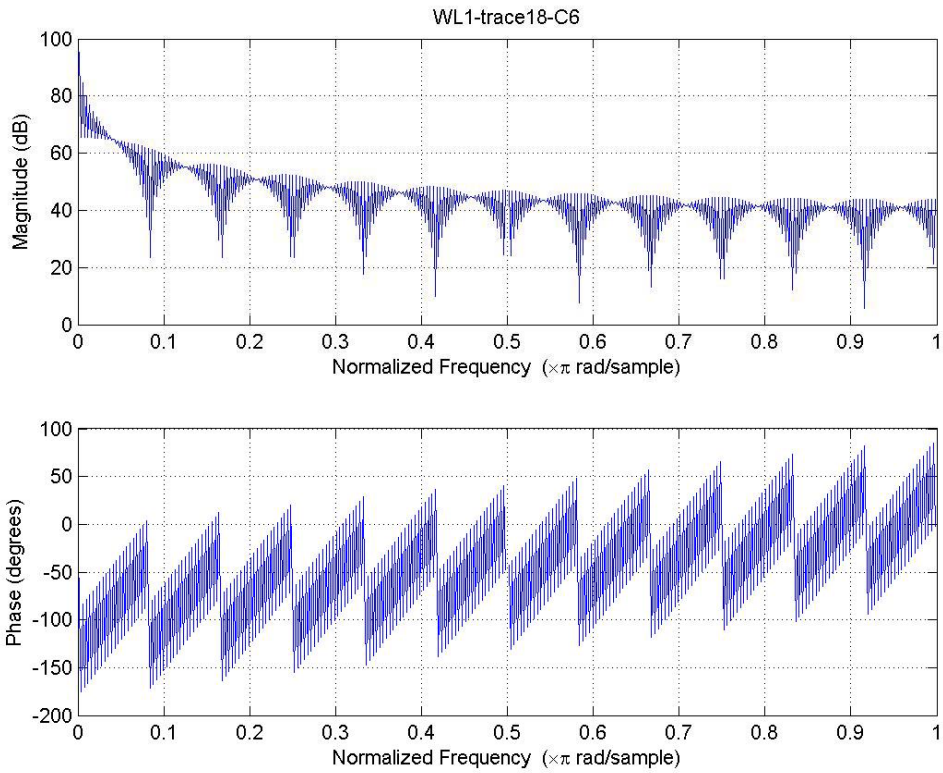

圖 5-17　C6 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

5.1.5　WL1 之 EMD 分析與討論

將測線 WL1 震測信號作 EMD 分析，其中圖 5-18 為 WL1 原始數據，圖 5-19～圖 5-24 依序為經處理後的六個分量。取 C2 分量作為走時曲線圖評估（圖 5-25），從圖中直達波（紅色線段）的斜率可約略計算出第一層的速度為 212 m/s，經由折射波（綠色線段）的斜率可算出第二層速度約為 340 m/s，而第一層的厚度約為 1.01 公尺，與停車場經整地後剖面的第一層深度大致吻合，材料為回填土，其下第二層則為耕土層。

觀察 C2 走時曲線可以明顯發現，在第 63～65 條跡線附近反射波波形（藍色線段）有明顯的改變，與相鄰的跡線有波形不連續的情況，但在原始震測數據（圖 5-18）當中則不見這個現象。其反射來回走時約 65 ms 的炸射幾何，約位在測線 11.7 公尺、地表下 1.01 公尺深處（圖 5-26），本研究繼續對相同測線反向炸射的 WL2 數據作分析，以驗證在同一個幾何位置上是否也有相同的情況存在。

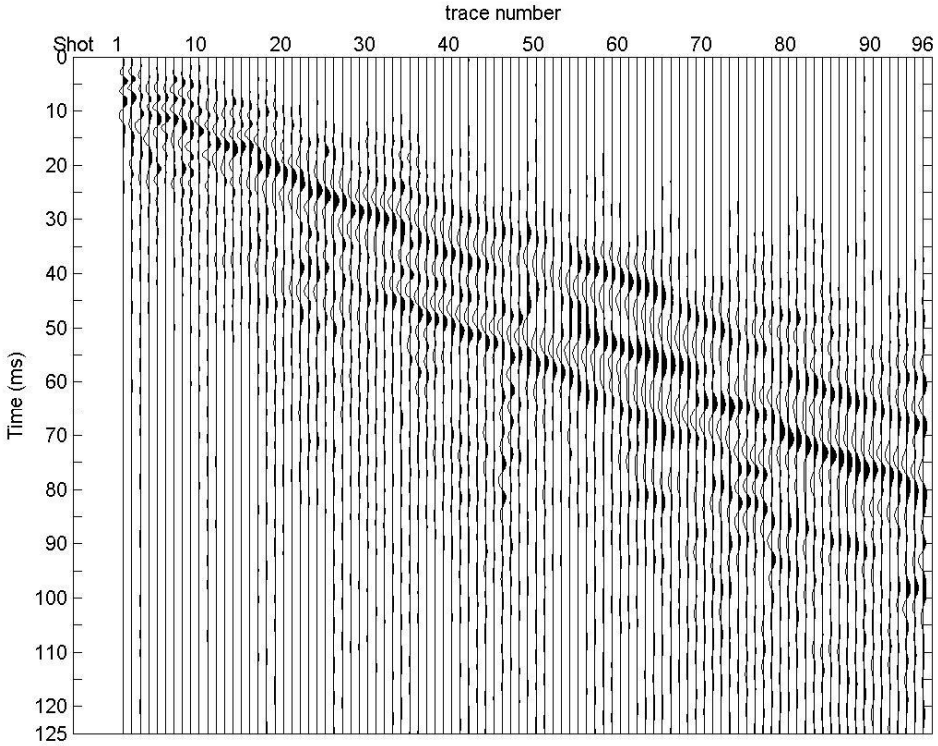

圖 5-18　WL1 之原始震測信號圖

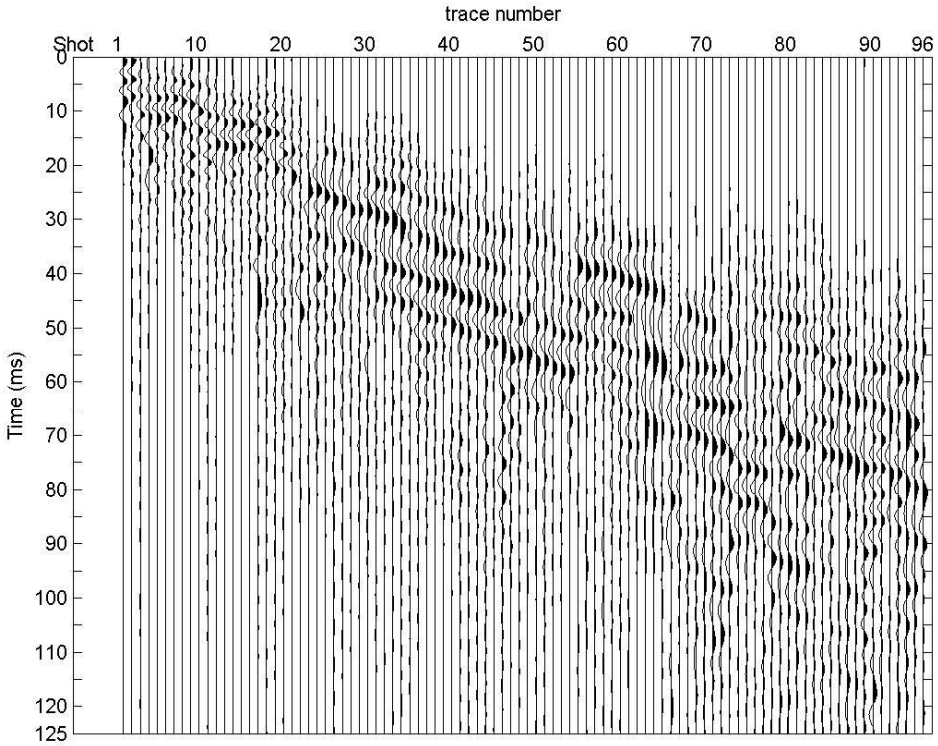

圖 5-19　WL1 經 EMD 之 C1 分量圖

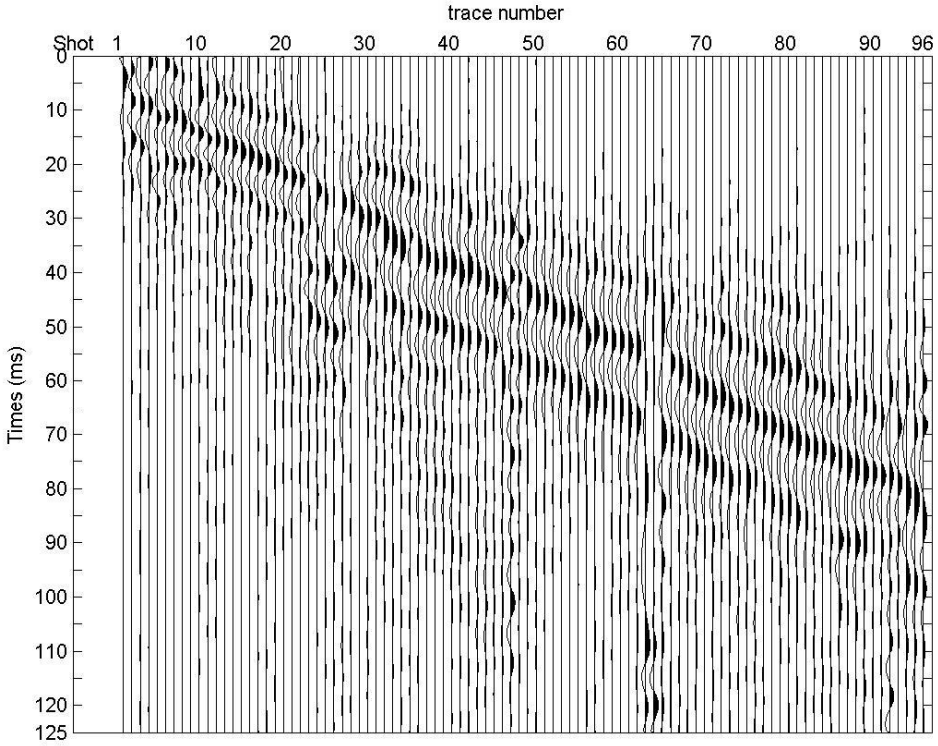

圖 5-20　WL1 經 EMD 之 C2 分量圖

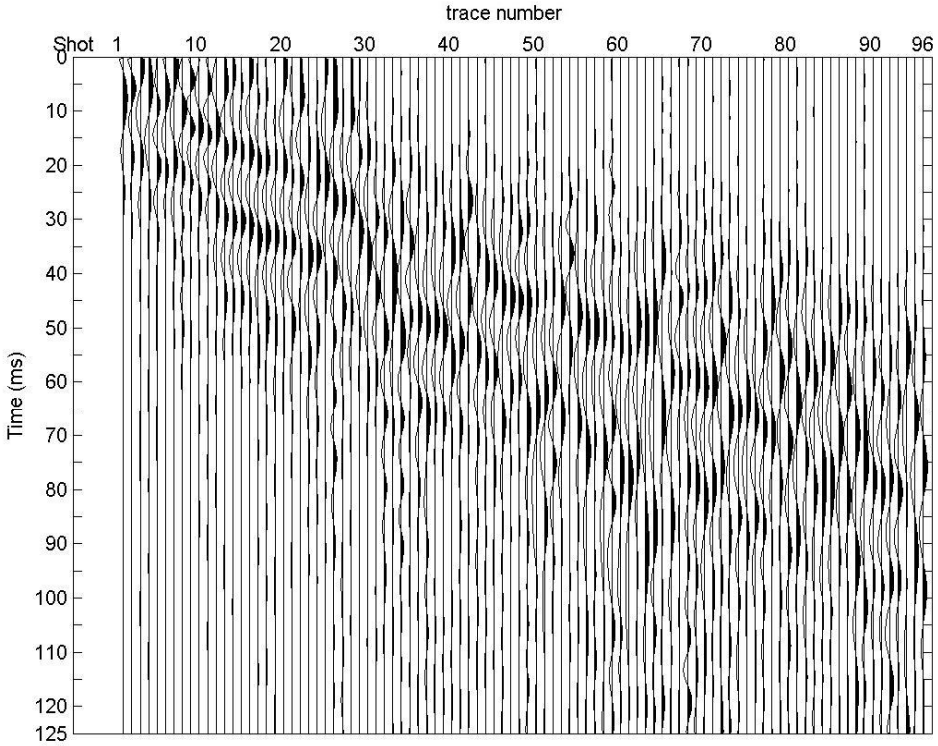

圖 5-21　WL1 經 EMD 之 C3 分量圖

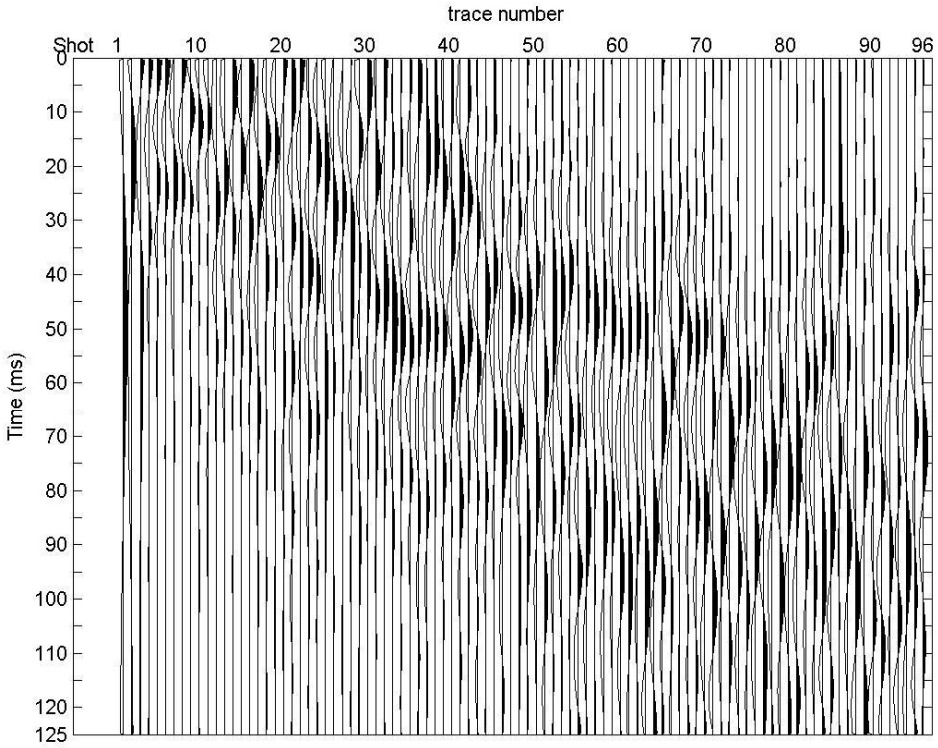

圖 5-22　WL1 經 EMD 之 C4 分量圖

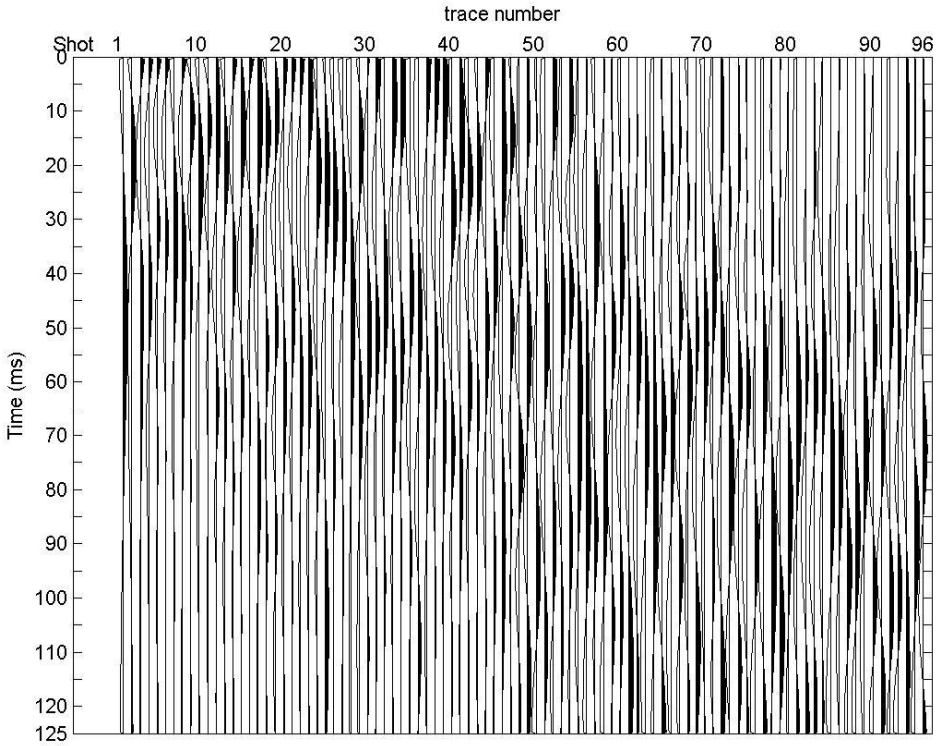

圖 5-23　WL1 經 EMD 之 C5 分量圖

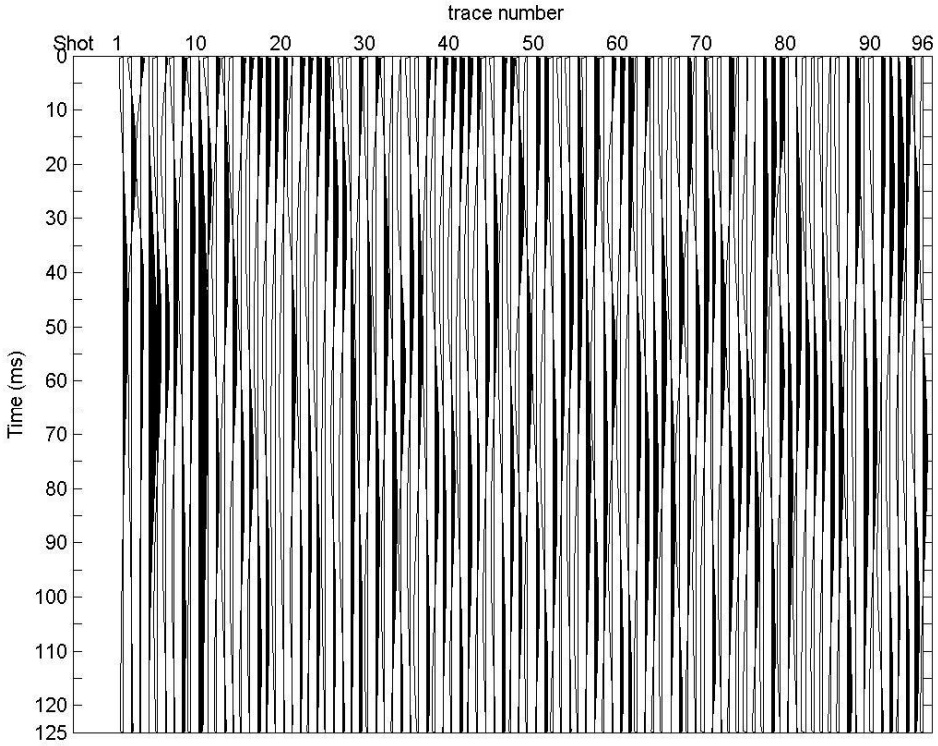

圖 5-24　WL1 經 EMD 之 C6 分量圖

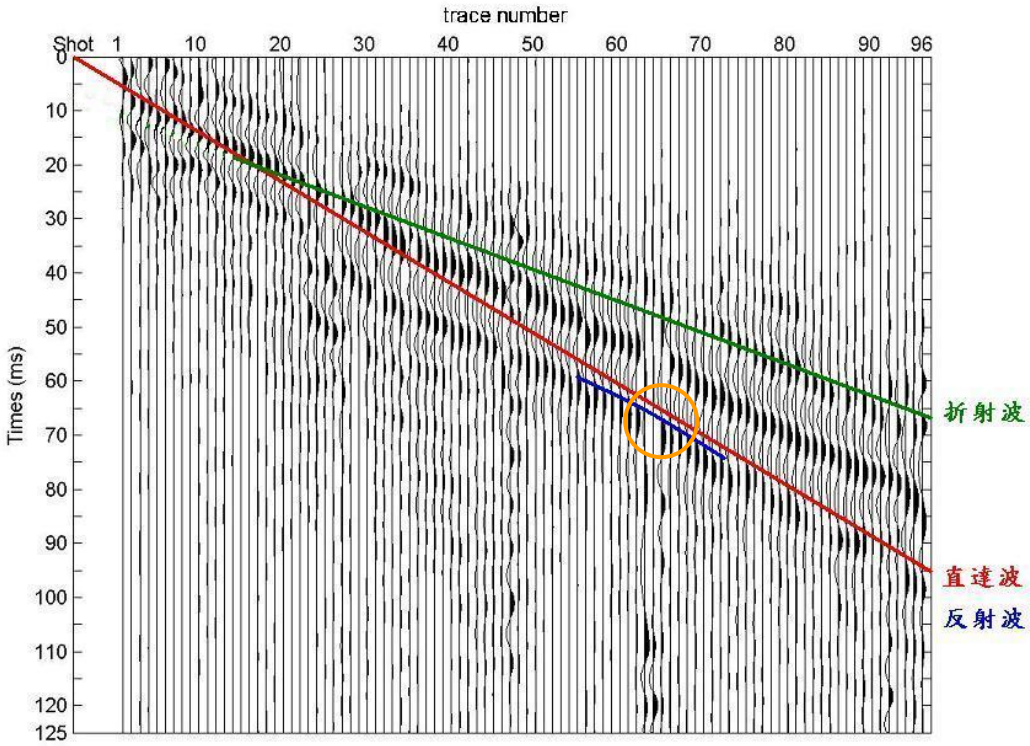

圖 5-25　以 WL1 之 C2 分量作走時曲線評估圖

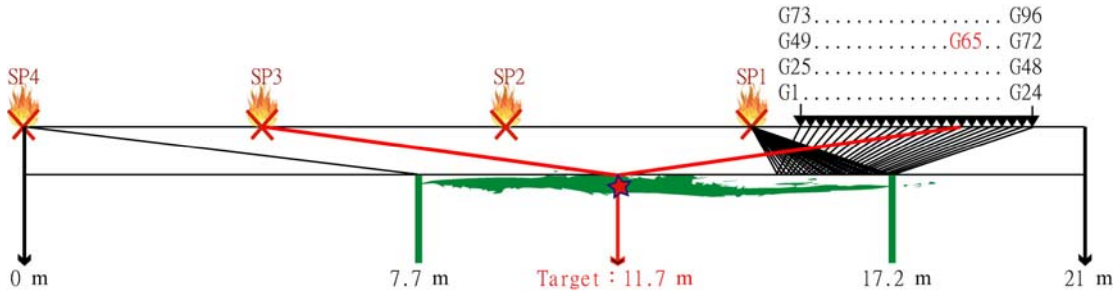

圖 5-26　反射來回走時約 65 ms 有波形不連續現象，其炸射幾何約位在測線 11.7 公尺地下 1.01 公尺深處，推斷很可能有不明地下異常體存在。

5.1.6　WL2 之 EMD 分析與討論

將測線 WL2 震測信號作 EMD 分析，其中圖 5-27 為 WL2 原始數據，圖 5-28～圖 5-33 依序為經處理後的六個分量。取 C2 分量作為走時曲線圖評估（圖 5-34），以直達波（紅色線段）求得第一層的速度為 212 m/s，經由折射波（綠色線段）的斜率可算出第二層速度約為 360 m/s，而第一層的厚度約為 1.22 公尺，與測線 WL1 計算之各類數值接近，也與探坑剖面所呈現之深度大致吻合。

WL1 地下異常點對應到 WL2 幾何位置為第 89 條跡線附近、來回走時約為 90 ms 之處（圖 5-36），但考量其反射能量因支距的增加可能已衰減至不可視，故嘗試以 41.5 ms 自動增益控制（automatic gain control, AGC）來增益其反射能量信號（圖 5-35），圖中藍色線段即為反射波，而其第 90 條跡線也有波形振幅變小的情形。

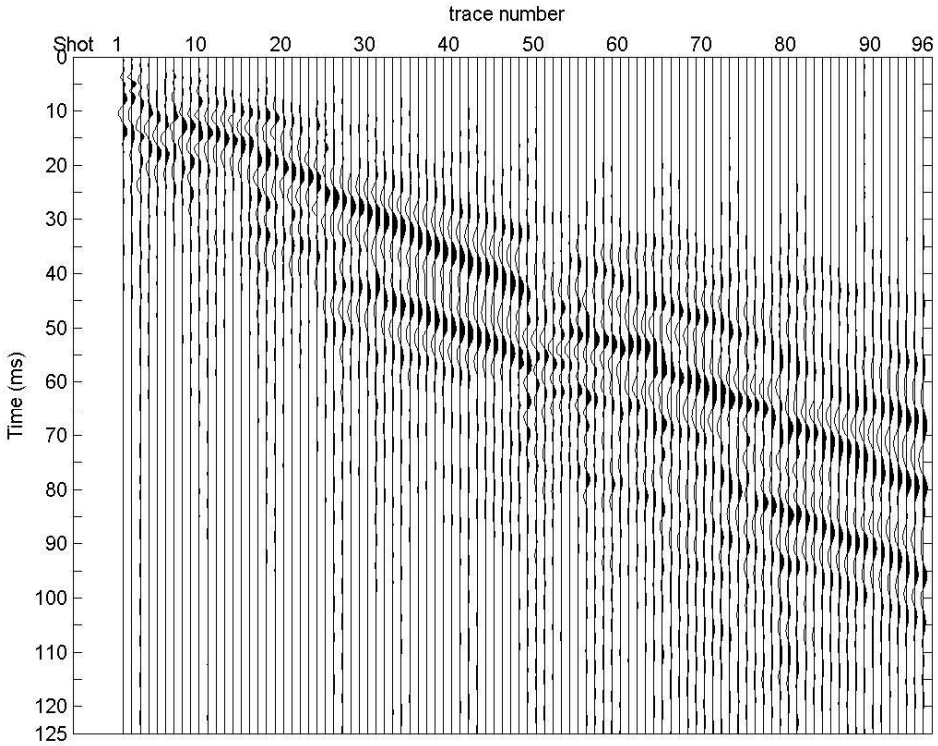

圖 5-27　WL2 之原始震測信號圖

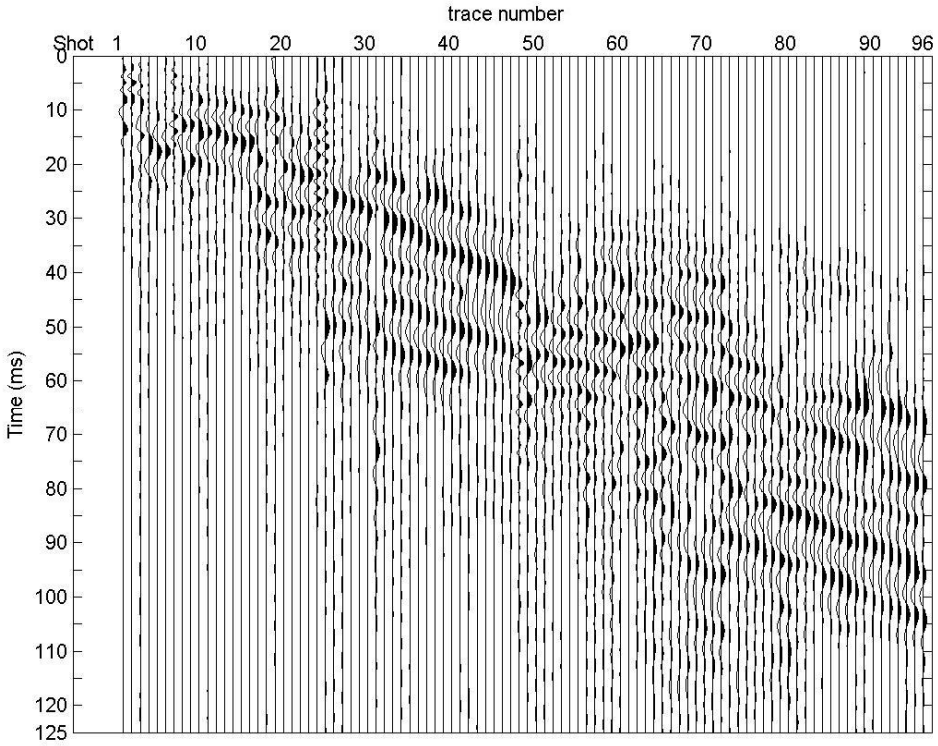

圖 5-28　WL2 經 EMD 之 C1 分量圖

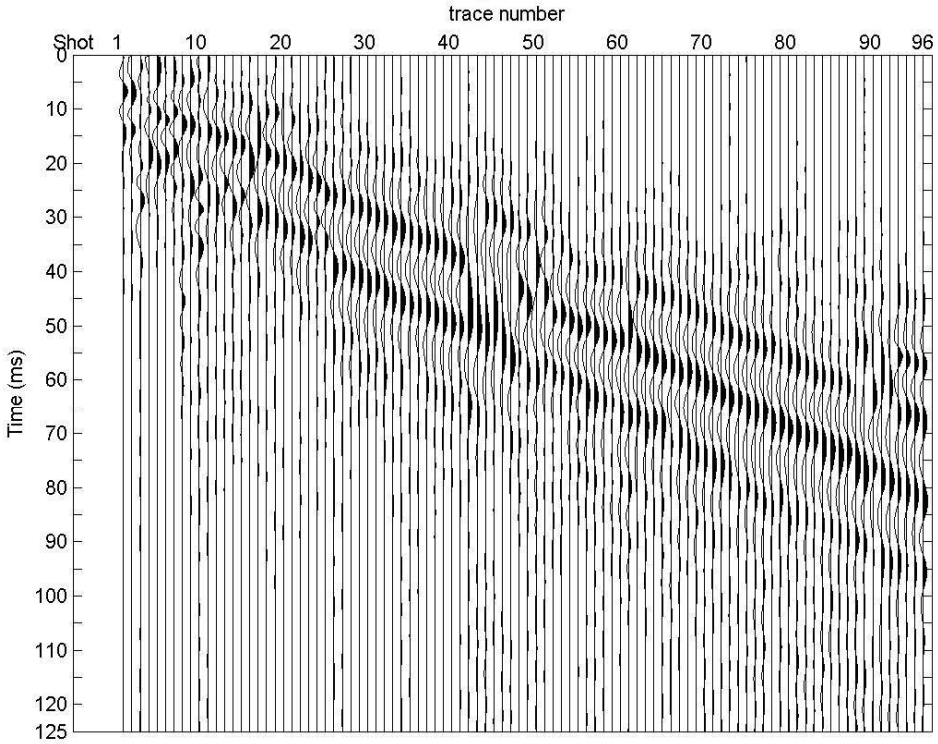

圖 5-29　WL2 經 EMD 之 C2 分量圖

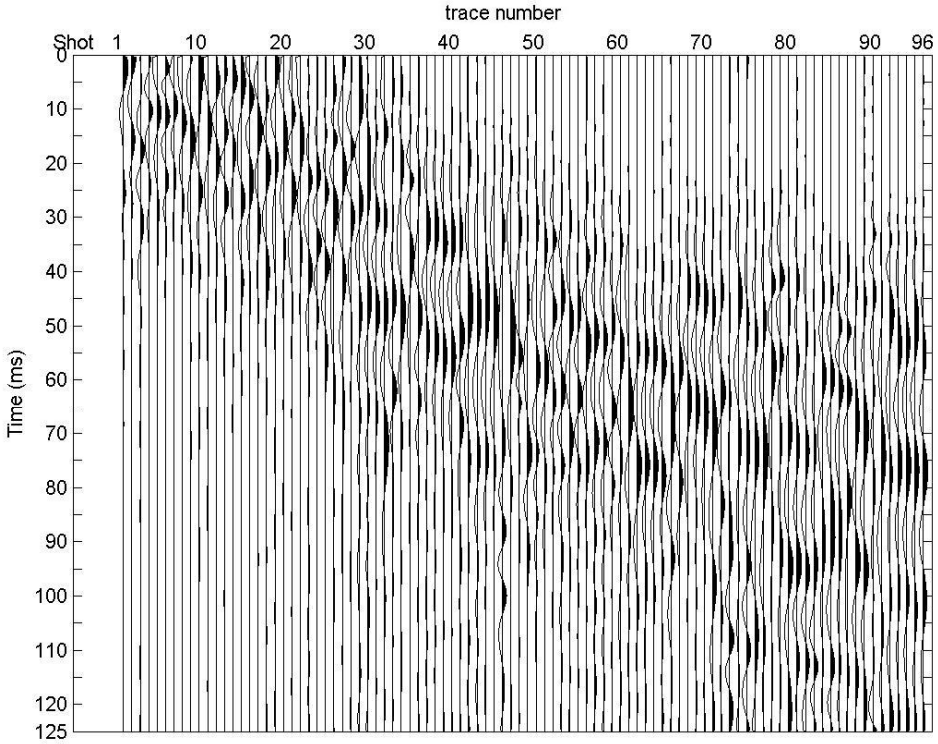

圖 5-30　WL2 經 EMD 之 C3 分量圖

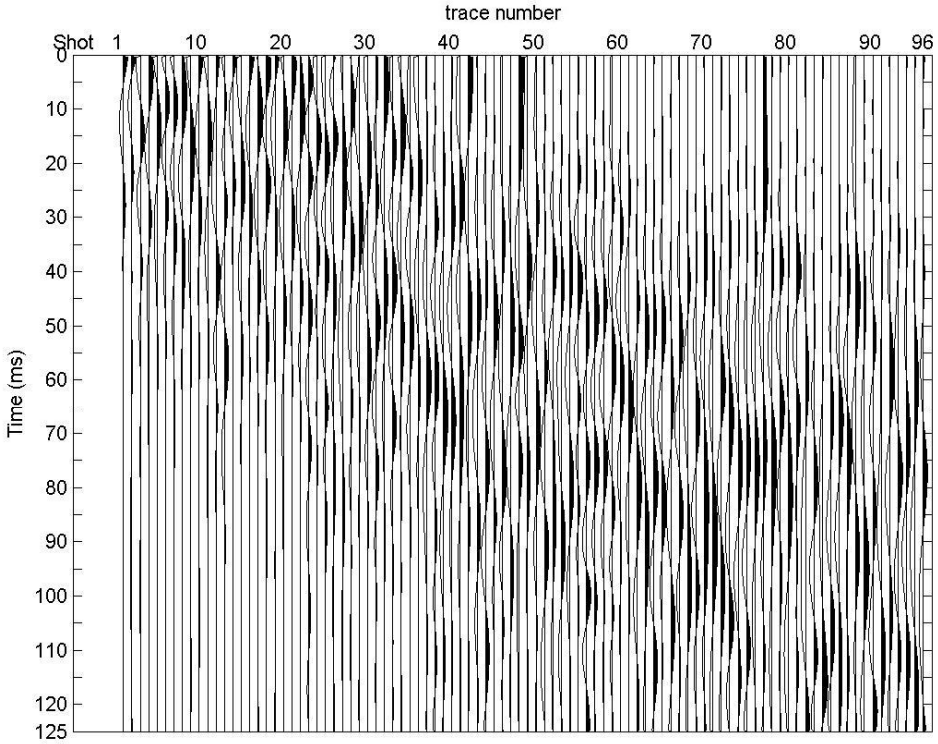

圖 5-31　WL2 經 EMD 之 C4 分量圖

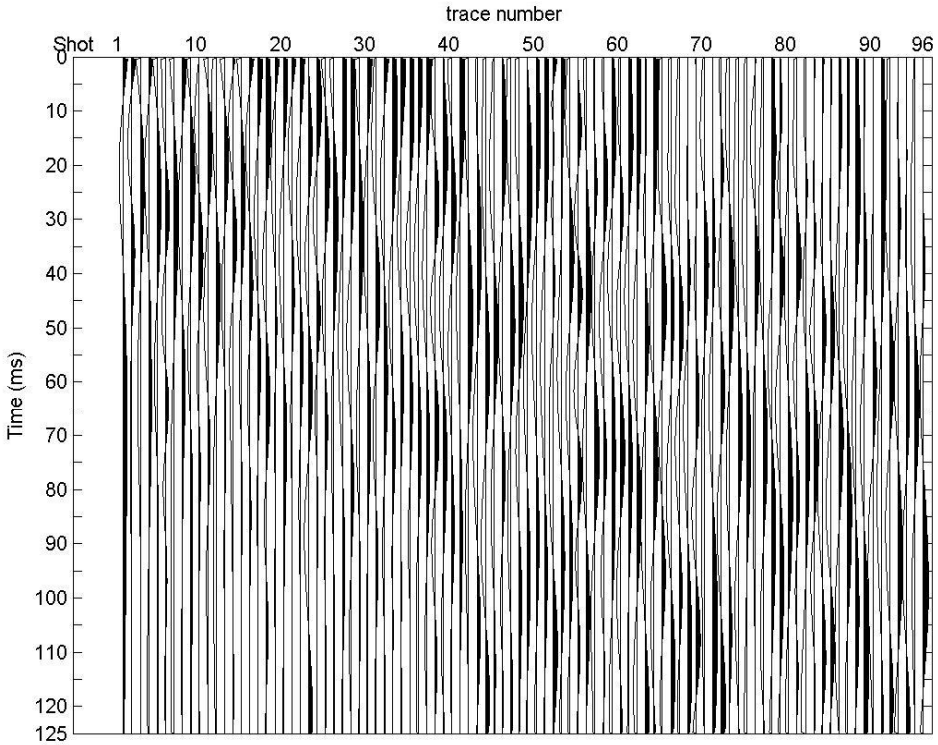

圖 5-32　WL2 經 EMD 之 C5 分量圖

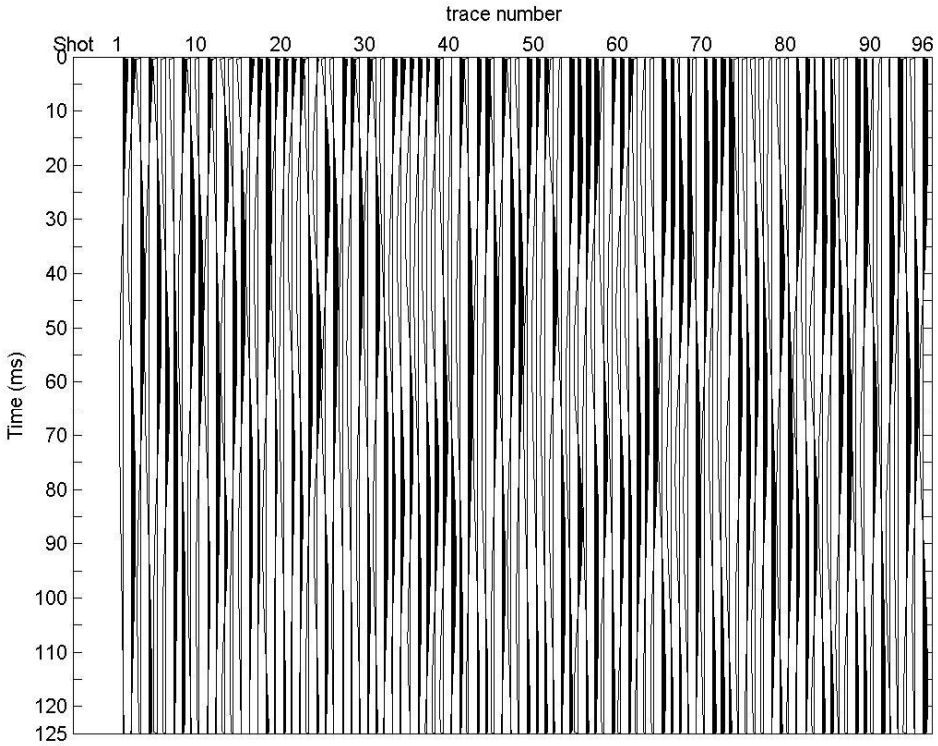

圖 5-33　WL2 經 EMD 之 C6 分量圖

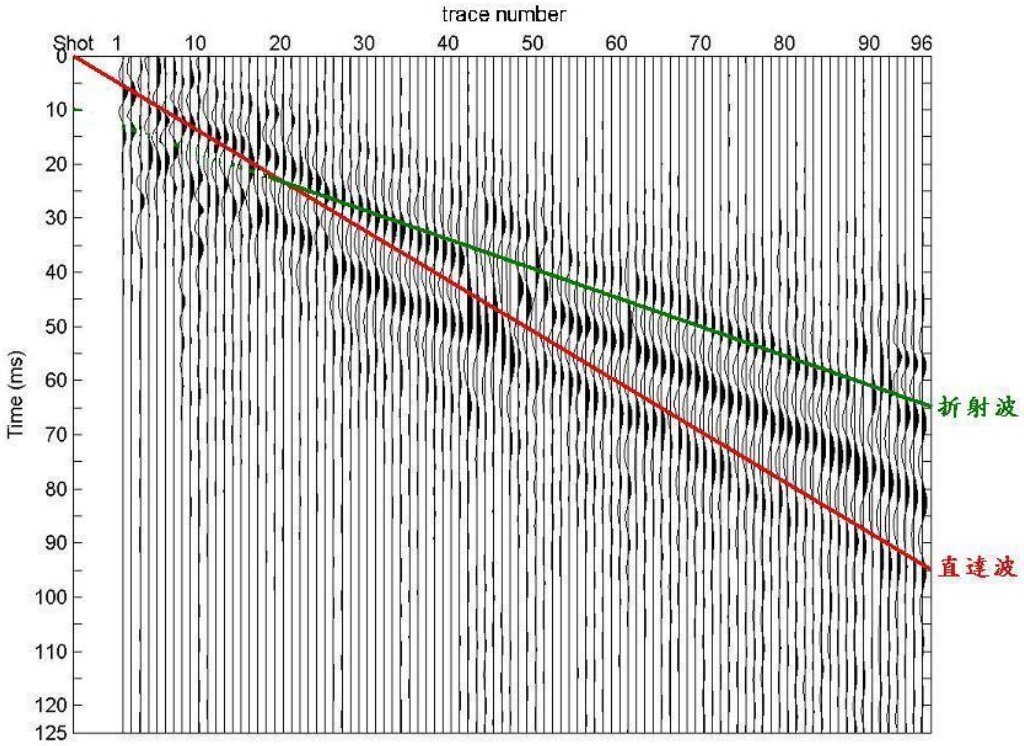

圖 5-34　以 WL2 之 C2 分量作走時曲線評估圖

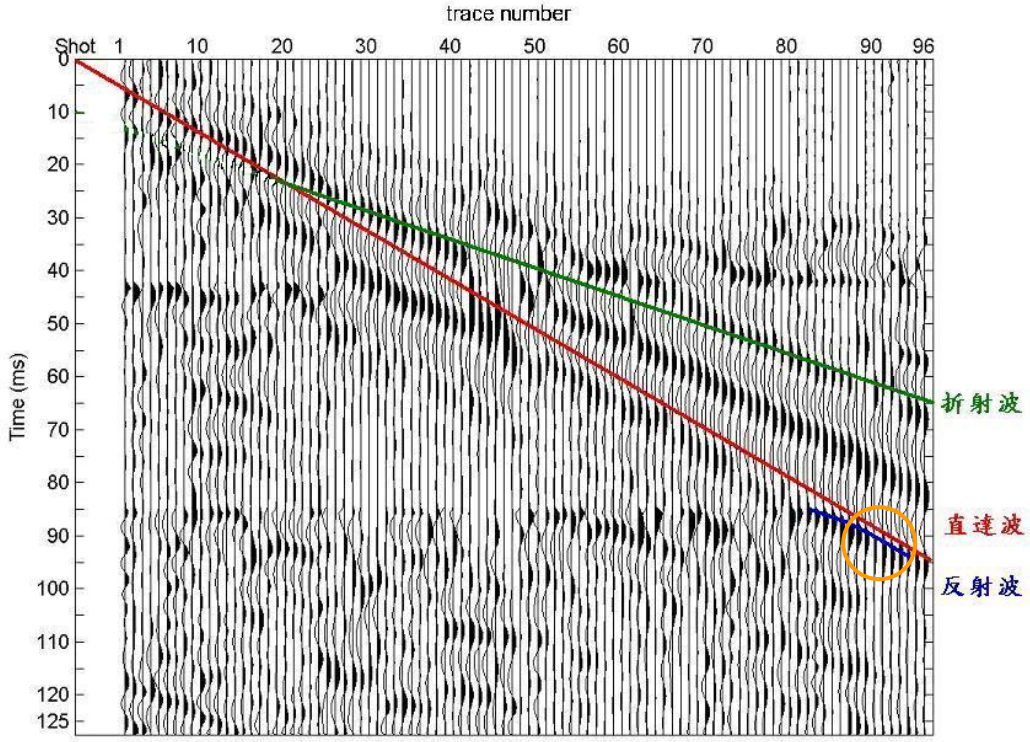

圖 5-35　以 WL2 之 C2 分量作走時曲線評估圖（AGC:42.5 ms）

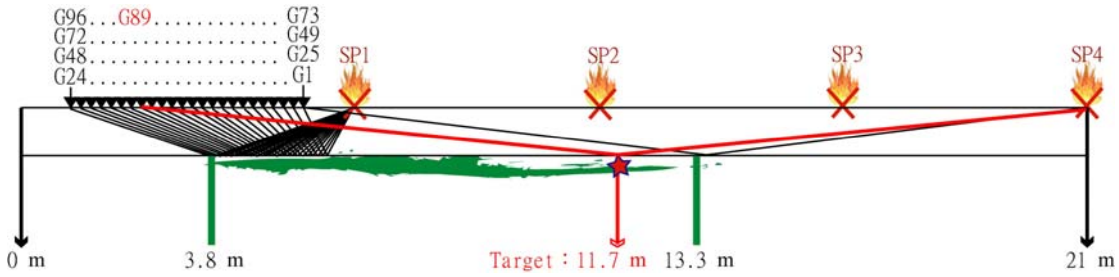

圖 5-36　WL1 地下異常點對應到 WL2 幾何位置，為第 89 條跡線附近、來回走時約為 90 ms 之處。

5.1.7　地下異常試掘結果與討論

本測區同時也進行透地雷達探勘，施測結果一樣具有異常物信號反應，判斷應為埋藏之管線，經開挖後結果亦同，在測線位置 11.75 公尺、深度約 1 公尺處有水管出露（圖 5-37）。

以試掘結果來判斷，之所以造成走時曲線之不連續的情形，推論應為埋設管線之深度恰好非常接近第一層與第二層的界面，且埋設管線時必會翻動管線附近之土層，進而造成該層界面不連續的情況。特別的是，極淺層的走時雜波曲線其實受到了各種雜波干擾甚鉅，諸如首波、地滾波、空氣波、空氣耦合波等，在未經過其他處理步驟之前、單憑 EMD 所得之分量圖與地層剖面作比對即能得到如此效果，其解析度尚稱細膩。

圖 5-37　臺中市古根漢美術館預定地停車場之地下異常試掘（左圖），於測線 11.75 公尺、深度 1 公尺處出露了三根捆綁一起之水管管線（右圖）。

5.2　車籠埔斷層南段之竹山槽溝

5.2.1　測勘環境

本測區為造成 921 集集大地震的車籠埔斷層南段之竹山槽溝，位於濁水溪南岸河拔高約 6 公尺的階地，地處第二高速公路竹山交流道與臺三線道路的交會口（圖 5-38）。本測區在地震後，地表隆起約 1.7 公尺，形成一斷層崖向西傾斜，斷層崖走向約 N28°E（圖 5-39）。本研究選定距離該槽溝南牆外側 5.5 公尺之空地作為震測場址（圖 5-40、5-41），在 N60°E 的測線方向上施行走離雜波測試（圖 5-42）。

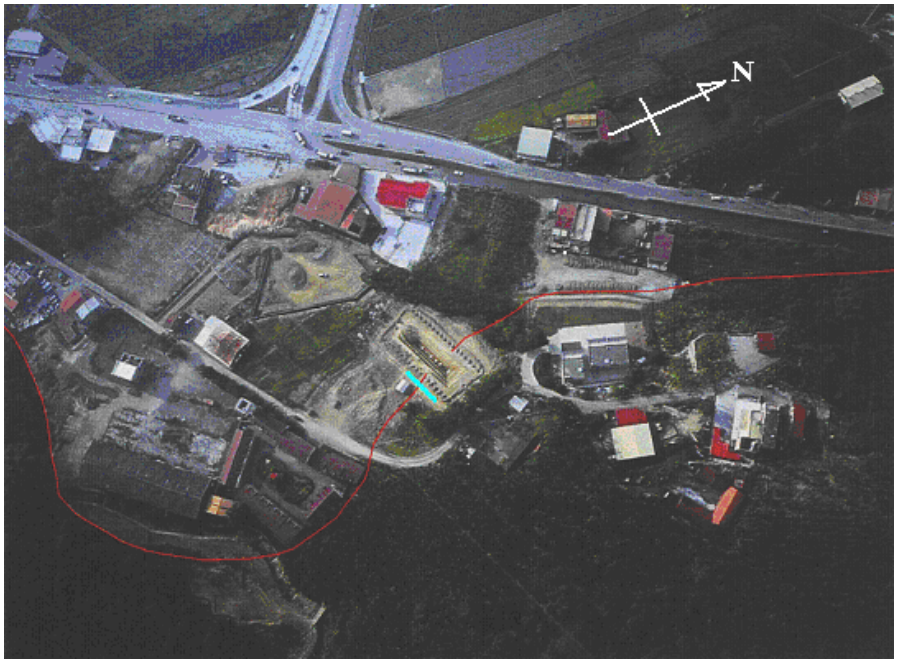

圖 5-38　測區槽溝鳥瞰圖。紅線為 921 地震斷層位置，淺藍線段為震波測勘之測線方向。此圖片道路往右即秀傳醫院，往上為第二高速公路竹山交流道（修改自中央地質調查所網頁）。

圖 5-39　車籠埔斷層南段之竹山槽溝南牆剖面（左圖），紅框圈出者（右圖）即為斷層面，兩側形成拖曳褶皺構造，上盤為背斜，下盤為向斜。

圖 5-40　震測測線場址位於竹山槽溝南牆外側平移 5.5 公尺處，上圖為向北拍攝，左圖則向東拍攝槽溝外側。

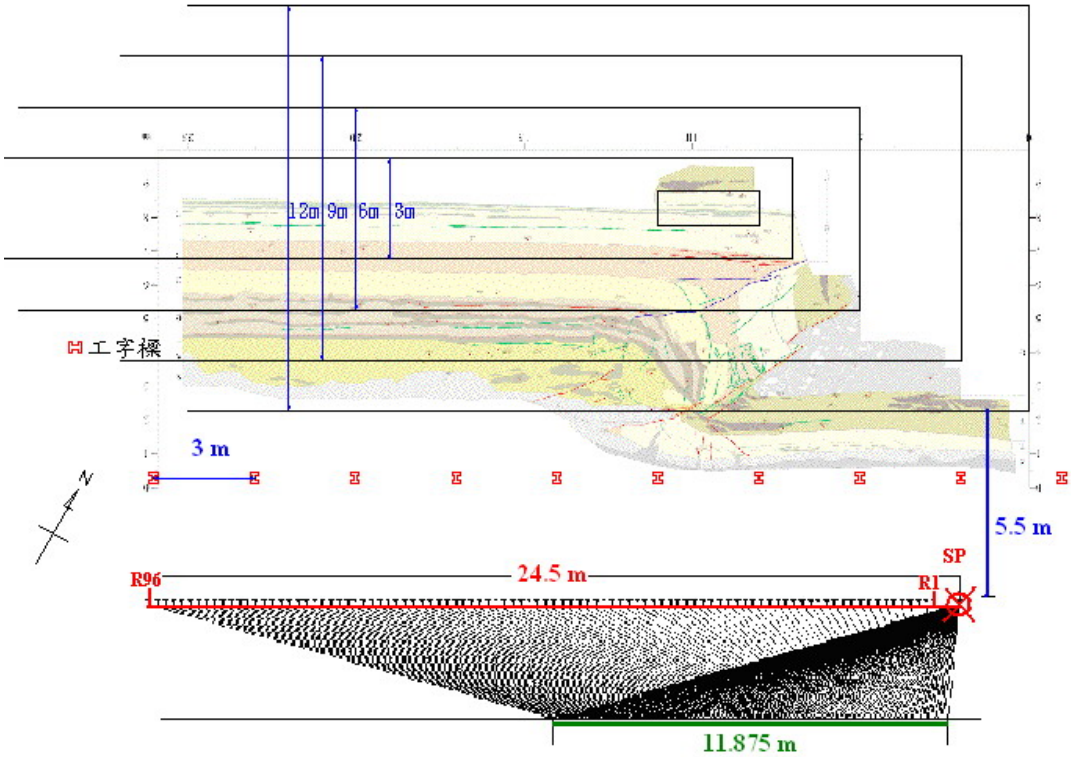

圖 5-41　竹山槽溝之震測測線分布圖（底圖修改自中央地調所報告第 92.7 號）

圖 5-42　竹山槽溝之震測測線（左圖）與施測情形（右圖）

5.2.2　地質概況

測區南牆剖面經開挖出露的地層可分為十一層（陳文山等人，2003），最上方表層屬於回填的碎石層以及耕土之人為擾動

層；其下為砂礫層，砂礫層以下為四層有機土層和三層氾濫平原沉積的粉砂層與泥層互層；再往下為山麓前緣堆積的含礫砂層；最下方則為河道礫石層（圖 5-43）。

南牆剖面是以斷層作用造成的褶皺為主，斷層前緣截切至地表，且在斷層的兩側形成拖曳褶皺（drag fold）構造，上盤因而變形為背斜，下盤則為向斜構造，斷層面角約 33 度。

此測區剖面除了 921 地震所產生的斷層與褶皺構造外，也發現有多錯動距離僅數公分到十數公分的剪切構造，這些剪切構造是前期所形成的，大都位在下盤被拖曳產生褶曲的褶皺翼。從構造及地層的關係來看，這些剪切面多與幾近垂直的層面近乎平行，應在地層已被褶皺成高角度前就已產生，判斷為可能更早之前的古地震事件所造成。

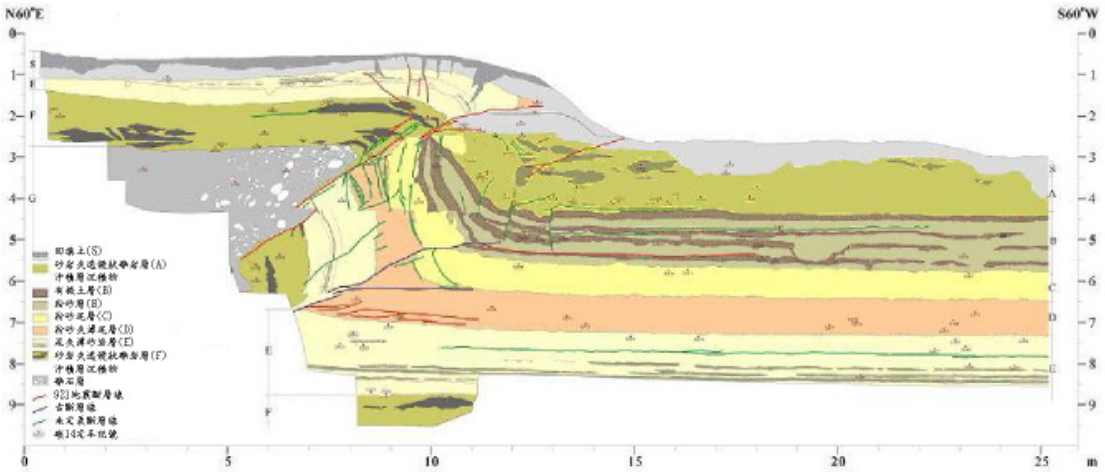

圖 5-43　竹山槽溝之南牆剖面（底圖修改自中央地調所報告第 92.7 號）

5.2.3　施測參數

竹山槽溝之布線參數如表 5-2 所示。以走離雜波測試法在測線方向 N60°E 順向施測，名為測線 WL3。測線 WL3 採移動震源的方式炸射，於地下深度 4 公尺覆蓋面為 11.875 公尺(圖 5-41)。

炸射方法	走離（Walkaway）
震　　源	7.5 Kg
炸射疊加次數	5 次
近 支 距	0.75 m
遠 支 距	24.5 m
受 波 器	40 Hz P 波
受波器間距	0.25 m
頻 道 數	24
採樣點間距	0.25 ms
採樣長度	0.5 sec
測線長度	24.5 m
地下覆蓋面長度	11.875 m
前置濾波	low-cut：70 Hz high-cut：1000 Hz
移動幾何	受波器移動
記錄檔案數	4

表 5-2　竹山槽溝之野外布線參數設定值

5.2.4　資料解析

取測線 WL3 之第 18 條跡線為例（圖 5-44），如同 WL1 的 EMD 信號分析一樣，利用重鎚作為震源所發出的信號能量是以高頻成分波為主，而地層的折射與反射信號落於高頻分量 C1 與 C2 當中，占總能量的絕大部分；C3～C5 分量則應屬於相對低頻的地滾波及環境雜波。

圖 5-45～5-49 為該跡線 C1～C5 分量在頻率域上的振幅響應與相位響應。其中 C1 分量從圖中看來主頻帶較寬；而 C2 分量主頻帶較窄（60～140 Hz，Nyquist 頻率為 2000 Hz）且相位響應較 C1 分量理想，故本測區同樣以 C2 分量作為走時曲線圖評估，判斷地層或異常體之信號表現。

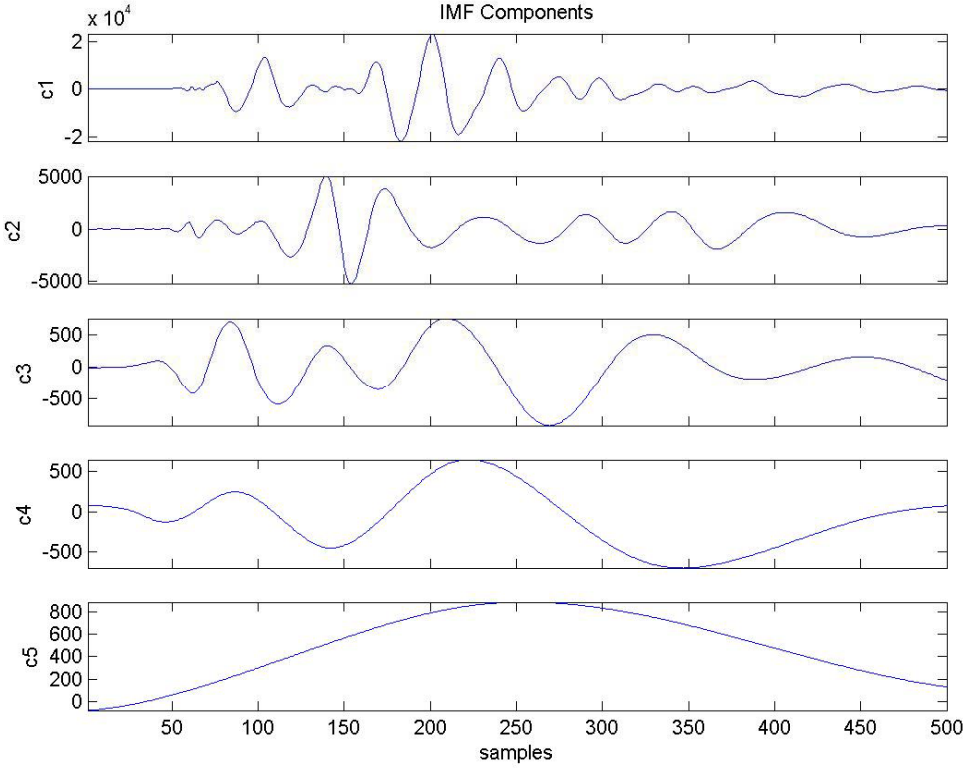

圖 5-44　WL3 測線第 18 條跡線經 EMD 之五個 IMFs

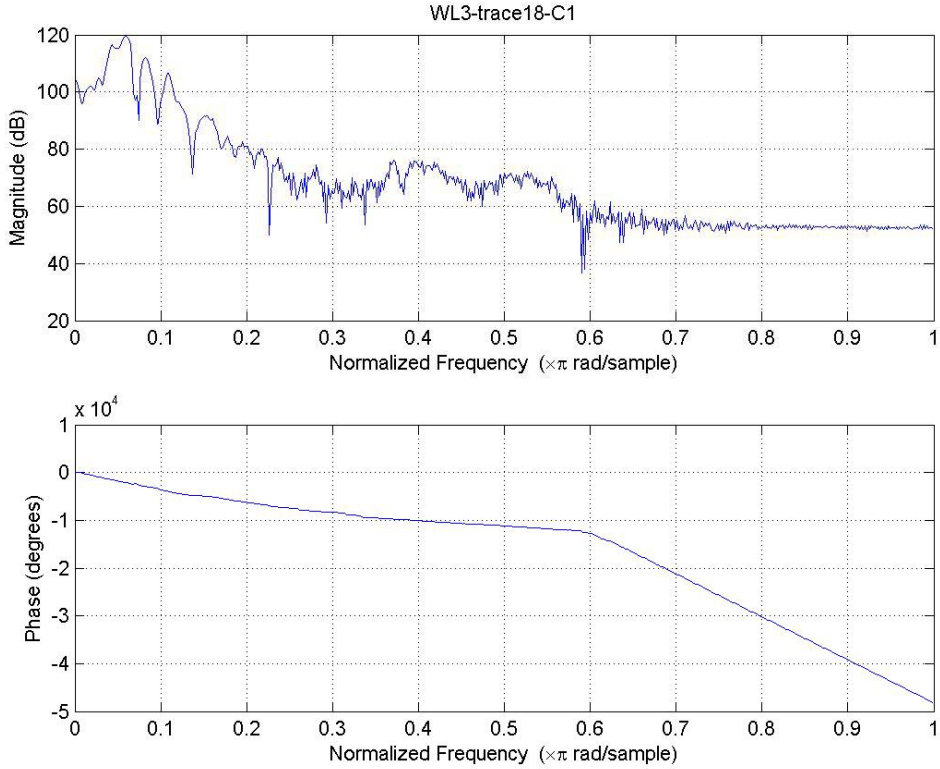

圖 5-45　C1 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

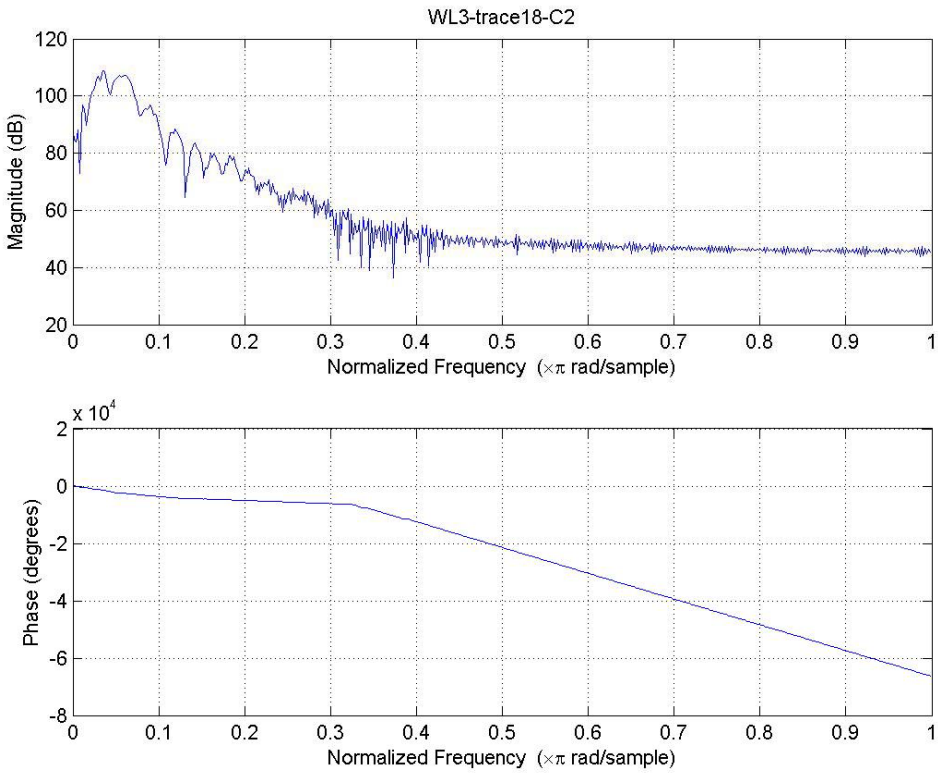

圖 5-46　C2 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

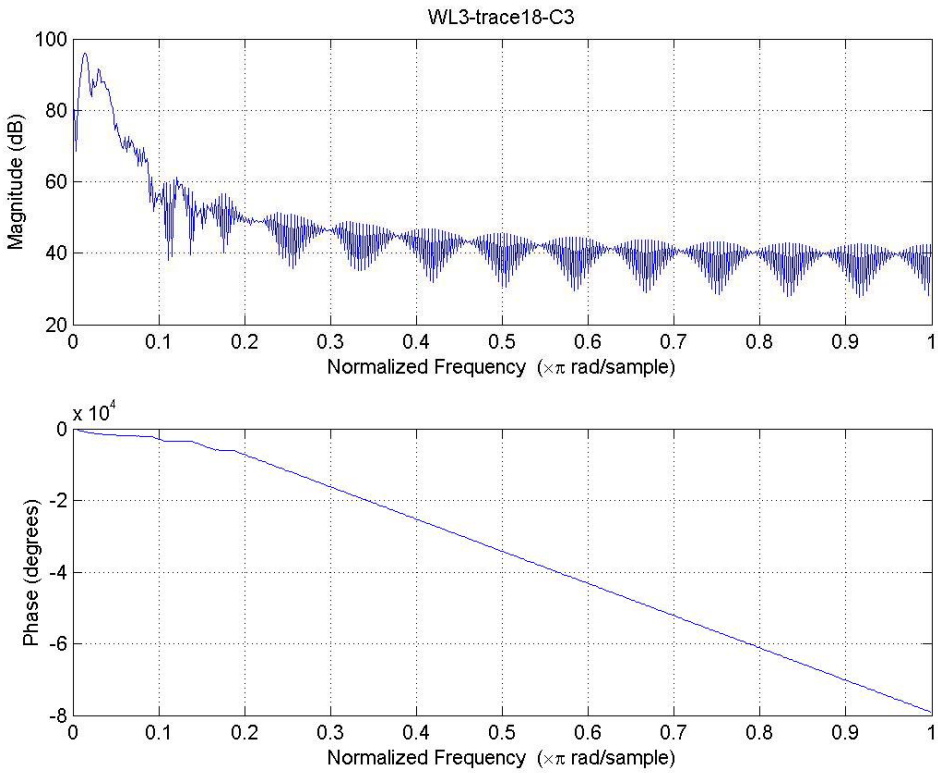

圖 5-47　C3 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

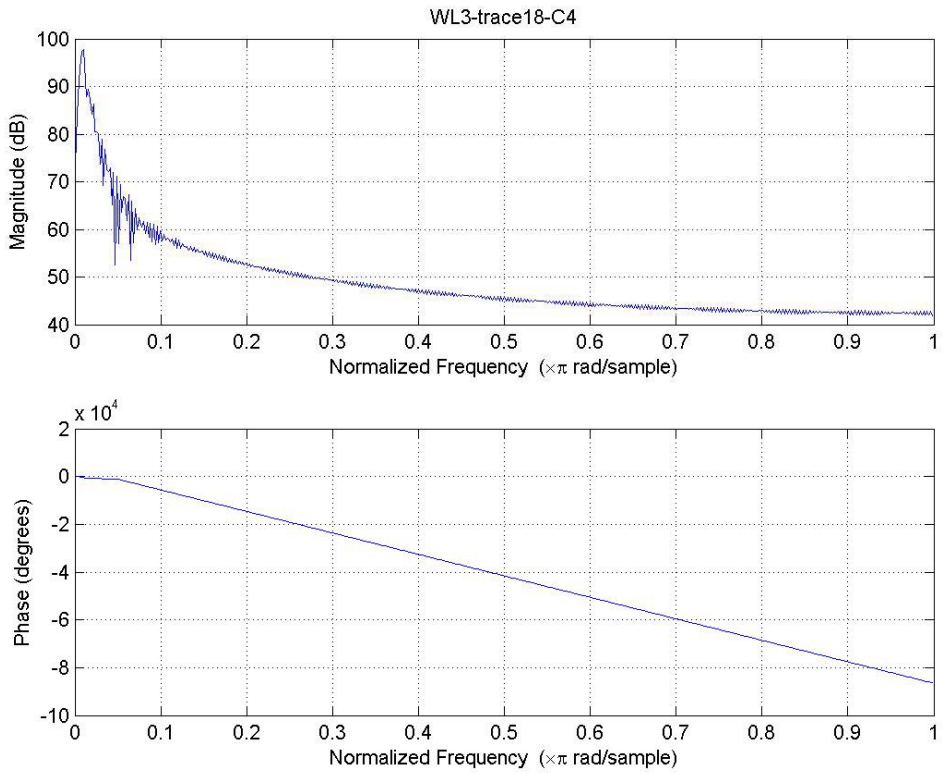

圖 5-48　C4 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

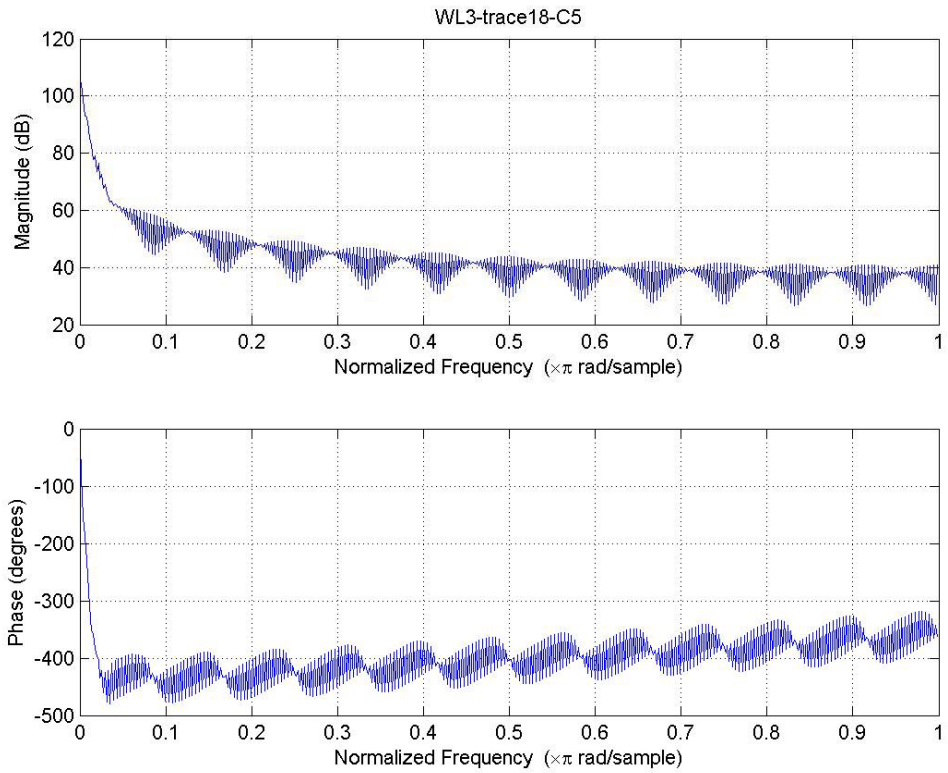

圖 5-49　C5 分量在頻率域上的振幅響應（上）與相位響應（下）

5.2.5　WL3 之 EMD 分析與討論

將測線 WL3 震測信號作 EMD 分析，其中圖 5-50 為 WL3 原始數據，圖 5-51～圖 5-55 依序為經處理後的五個分量。取 C2 分量作為走時曲線圖評估（圖 5-56），從圖中直達波（紅色線段）的斜率可約略計算出第一層的速度為 109 m/s，經由第一層折射波（藍色線段）的斜率可算出第二層速度約為 375 m/s，而第一層的厚度約為 0.82 公尺，從圖 5-43 槽溝南牆剖面圖上判斷應為回填土層面；再經由第二層折射波（綠色線段）的斜率可算出第三層速度約為 525 m/s，厚度約 2.98 公尺，從剖面圖上判斷應為砂岩夾透鏡狀礫岩層與礫石層的界面。

觀察 C2 走時曲線（圖 5-56）可以明顯發現，在第 30～50 條跡線附近第二層折射波波形（綠色線段）有明顯的不連續現象，再對應到槽溝南牆剖面（圖 5-57）的地下覆蓋面，正好通過斷層面一帶的拖曳褶皺構造，在各種不同性質的層面的交錯之下，可能會使震源能量更容易因而散射，無法從走時曲線圖上看到連續的波形。圖 5-58 為實際斷層面的照片，圖中綠色線段即為走時曲線上第二層折射波波形不連續之第 30 條至第 50 條跡線、其所對應到南牆剖面之斷層面部分。

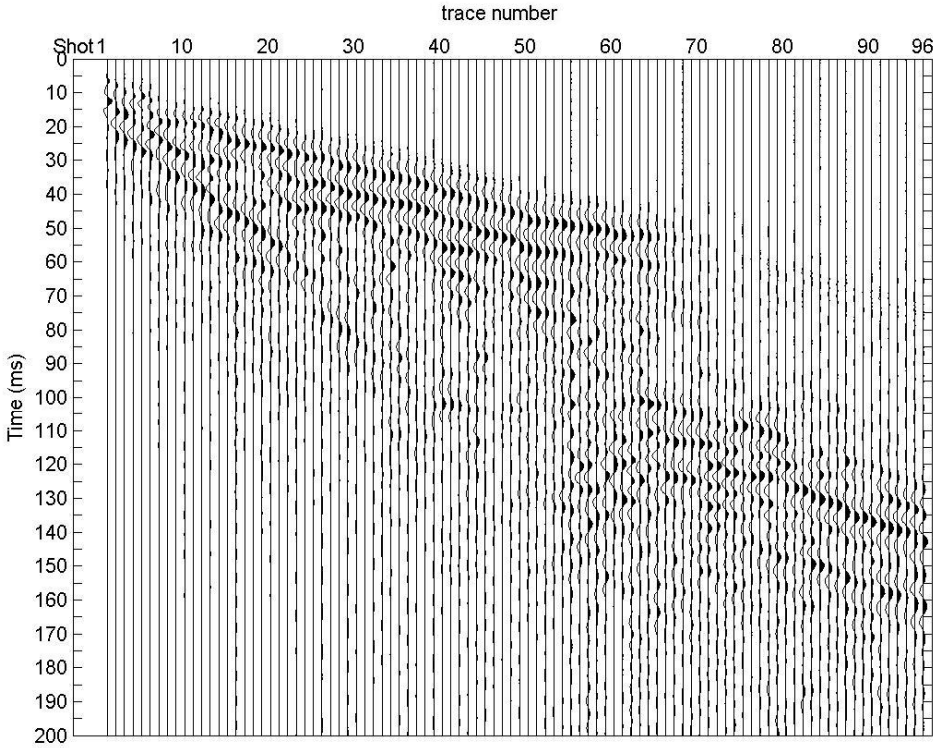

圖 5-50　WL3 之原始震測信號圖

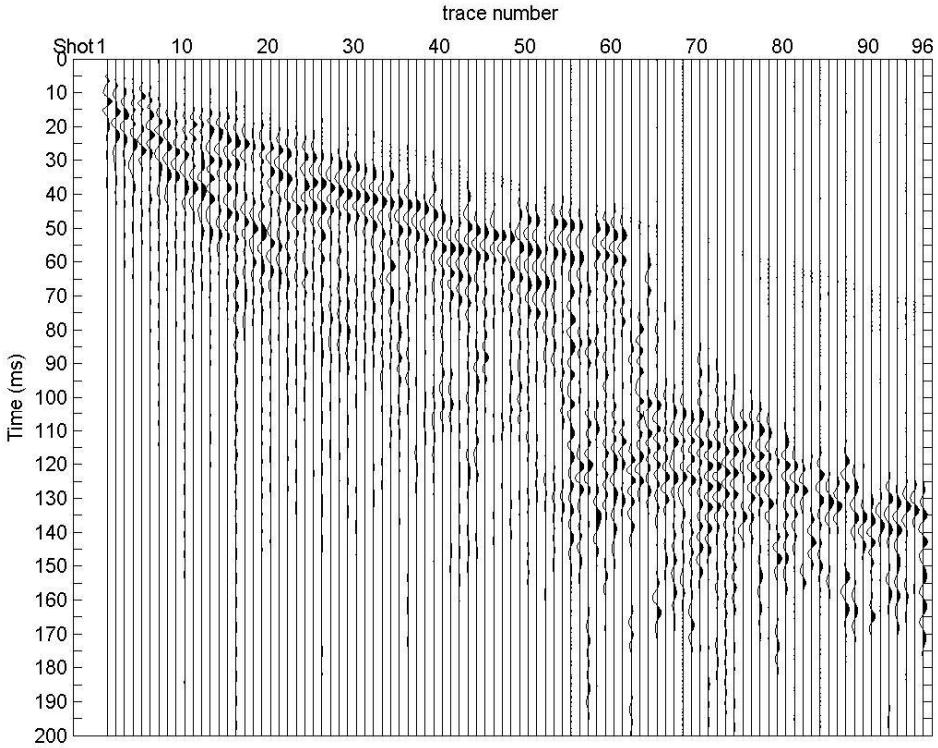

圖 5-51　WL3 經 EMD 之 C1 分量圖

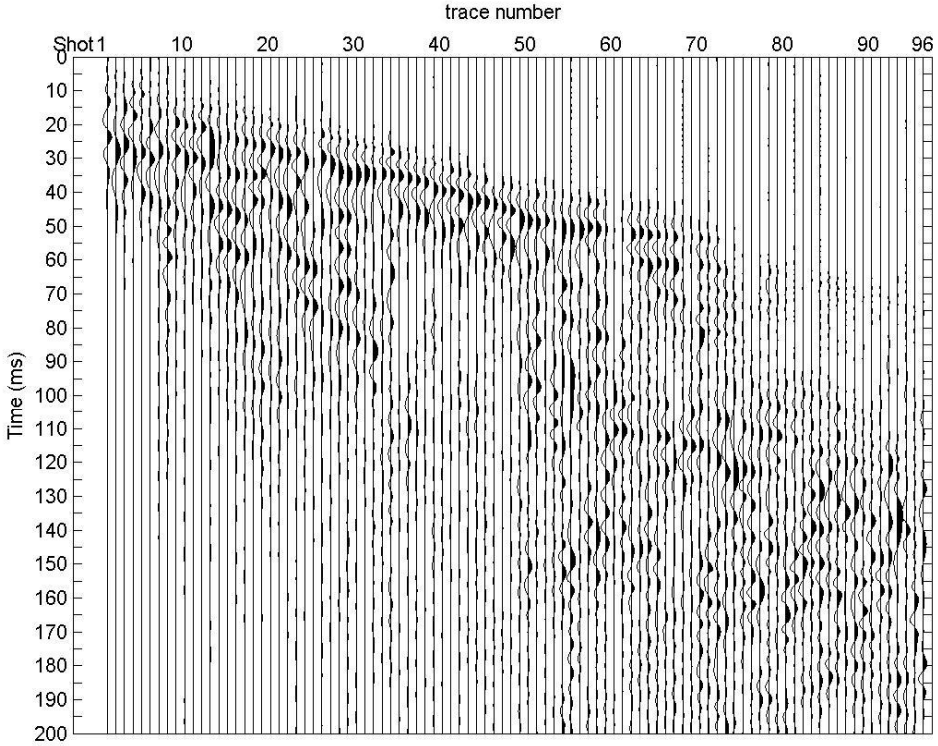

圖 5-52　WL3 經 EMD 之 C2 分量圖

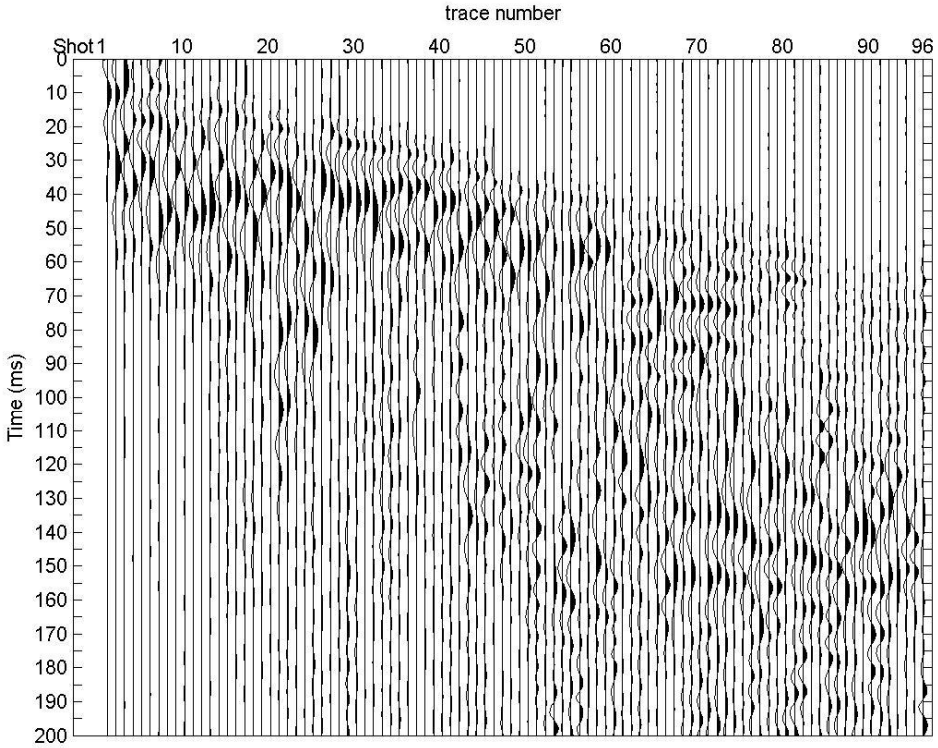

圖 5-53　WL3 經 EMD 之 C3 分量圖

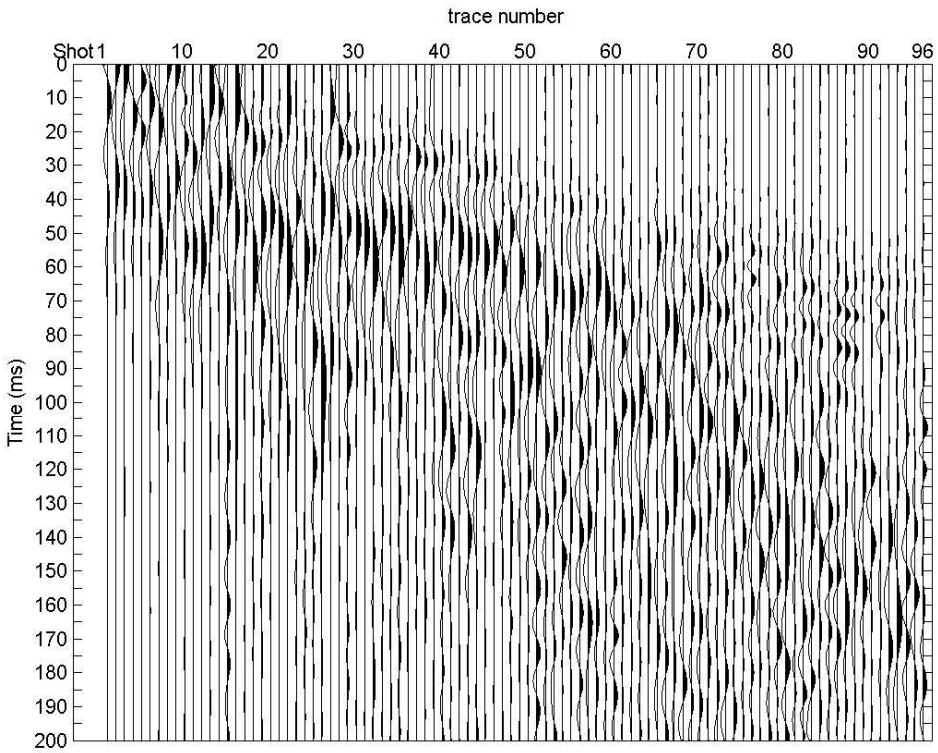

圖 5-54　WL3 經 EMD 之 C4 分量圖

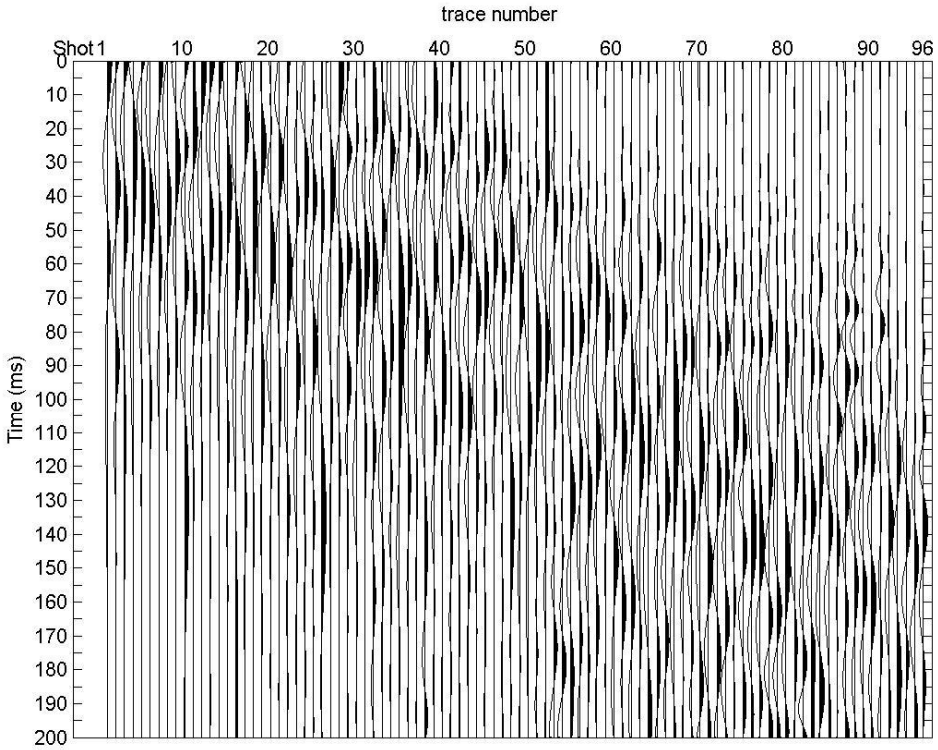

圖 5-55　WL3 經 EMD 之 C5 分量圖

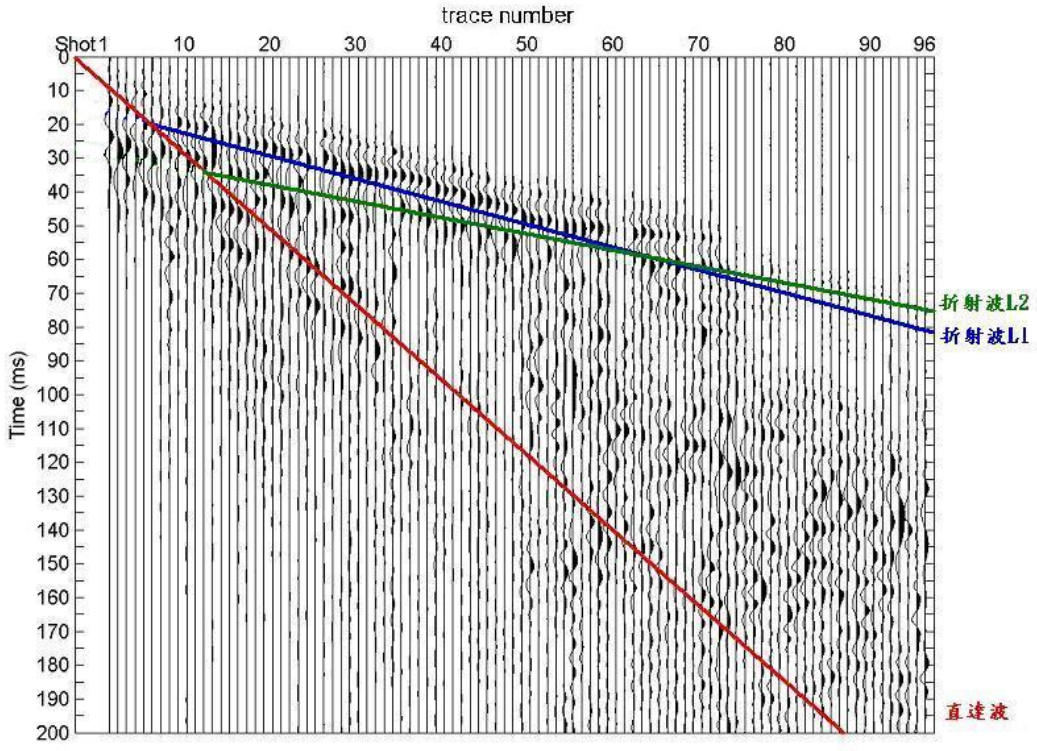

圖 5-56　以 WL3 之 C2 分量作走時曲線評估圖

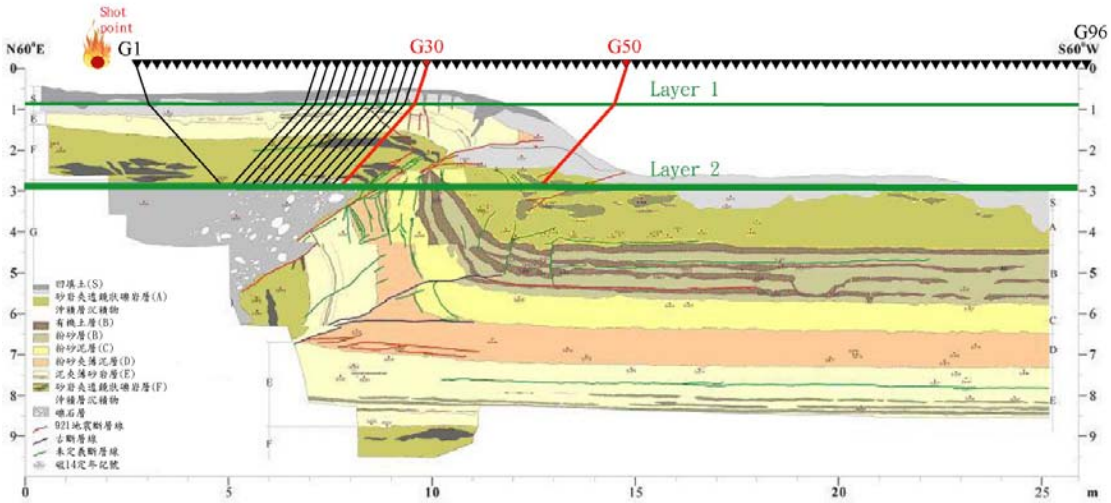

圖 5-57　竹山槽溝 WL3 之折射波路徑地下覆蓋面示意圖

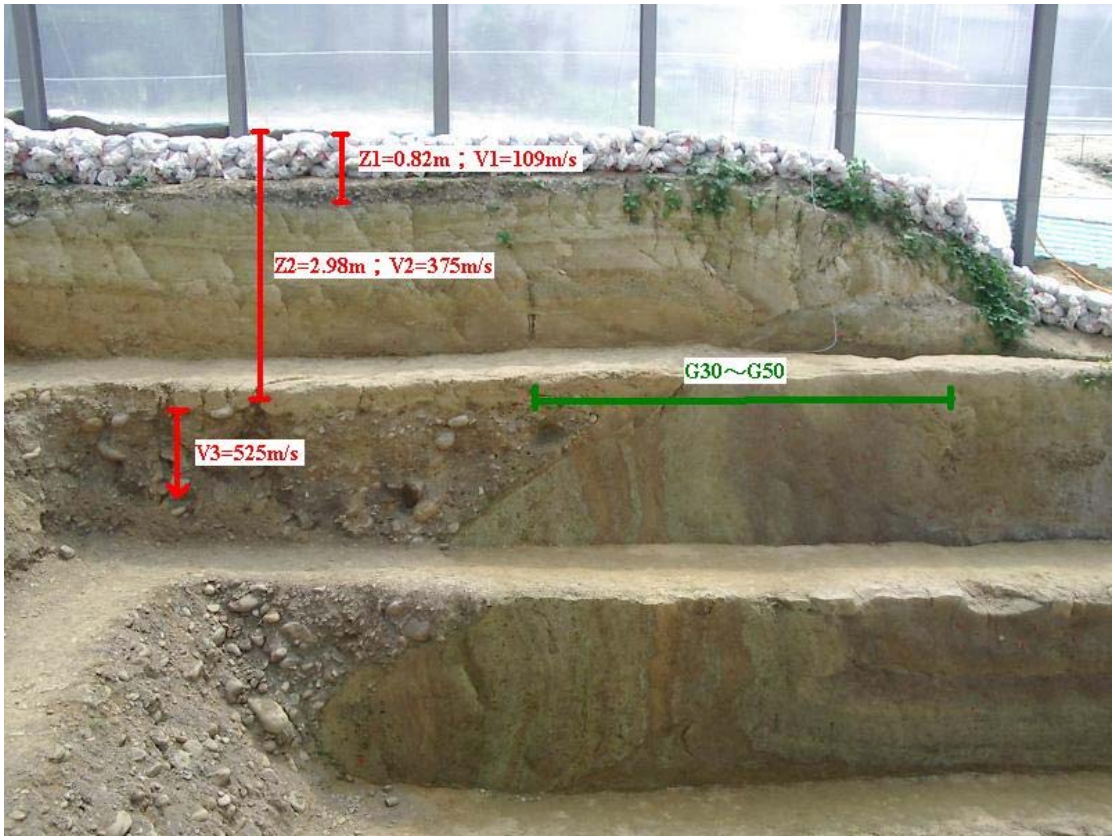

圖 5-58　竹山槽溝 WL3 之折射波路徑通過之斷層面