

蘭陽平原三維淺層地下構造之探討

趙紹錚¹ 黃宏謀² 許智豪³

1. 國立宜蘭大學土木工程學系副教授兼系主任
2. 國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所教授兼工學院院長
3. 國立宜蘭大學建築與永續規劃研究所研究生

摘要

本研究之目的為結合地球物理學家探討淺層地下構造之分層結果與土木工程師所能取得接近地表土層之詳細資料,以求得蘭陽平原完整的三維淺層地下構造。地球物理學家與土木工程師對淺層地下構造探討的方法與結果皆有所差異,然兩者各有其優缺點,故本研究將這兩個領域各自專精的資料相互結合,用來求得蘭陽平原完整的淺層地下構造。本文首先依據黃有志(2003)蘭陽平原上九個測站淺層 S 波速度構造之點資料,及中央地質調查所出版的宜蘭縣數值地質圖所顯示之蘭陽平原邊界的資料,利用三維繪圖軟體來建置蘭陽平原三維淺層地下構造,此部份之結果顯示蘭陽平原淺層地下構造由淺而深可分為三層,分別為沖積層、更新世層與廬山層。然而利用前述的作法只能將淺層地下構造粗略分層,無法顯示各分層(尤其是表層)的詳細構造;反之,土木工程師在探討淺層地下構造時,因受機具與經費的限制,所探討範圍僅為接近地表之土層的詳細構造。有鑑於此,本研究收集宜蘭地區 771 孔鑽探資料,並結合地球物理方式所獲得的粗略分層結果,建置蘭陽平原完整的三維淺層地下構造。本研究的結果可應用於工程防災領域,例如根據本研究的結果,便可利用 SHAKE 程式進行演算,求得沈積層受地震的反應,並據以評估建築物的安全性。

關鍵詞：蘭陽平原、三維淺層地下構造、鑽孔資料、S 波剪力波速、地球物理、土木工程

A Study on Three Dimensional Shallow Subsurface Structure of Lanyang Plain

Sao-Jeng Chao¹ Howard Hwang² Chih-Hao Hsu³

1. Associate Professor and Chairman, Department of Civil Engineering, National Ilan University.
2. Professor, Graduate Institute of Architecture and Sustainable Planning and Dean, College of Engineering, National Ilan University.
3. Graduate Student, Graduate Institute of Architecture and Sustainable Planning, National Ilan University.

ABSTRACT

The purpose of this study presented herein is to obtain the integral three dimensional subsurface structure of Lanyang Plain using the combination of the subsurface data inferred from geophysicist's perspective and the detailed boring log data close to ground surface from civil engineer's perspective. The geophysicists and civil engineers use different methodologies to estimate the subsurface structure, and each of these methodologies has its advantages. Therefore, this study selects the excellent results from the two fields and then combines them to provide a more comprehensive picture of the subsurface structure of Lanyang Plain. This study employs the S-wave velocity measurements from nine survey stations within the Lanyang Plain (Hwang, 2003) and the digital boundary of Lanyang Plain based on the Ilan County geologic map published by the Central Geological Survey, utilizing a three-dimensional cartography software to establish the subsurface structure of Lanyang Plain. The findings confirmed that the strata of Lanyang Plain can be divided into three layers from the top down, namely Alluvium layer, Pleistocene layer, and Lushan Formation layer, respectively. However, the above mentioned methodology is only capable of providing rough-cut subsurface layer information instead of detailed one, in particular for the surface layer. On the other hand, civil engineers can simply explore the surface layer close to the ground level due to machinery capacity and expense limit. In this study, we collect hundreds of representative boring data within the Lanyang Plain and combine the subsurface structure of Lanyang Plain obtained by geophysicist's method to provide a clear picture of the subsurface structure of Lanyang Plain. The findings of this study can be applied to the field of engineering disaster reduction, such as the calculation for the ground response subject to earthquake using the SHAKE computer program and the evaluation of the safety of buildings in a seismic event.

Keywords: Lanyang Plain, Three dimensional subsurface, Boring logs, S-wave velocity, Geophysicist, Civil engineer

一、前言

宜蘭縣三面環山，東臨太平洋。宜蘭縣西北有雪山山脈，南有中央山脈，兩山脈間夾著蘭陽平原。雪山山脈受到輕微的變質作用，主要由板岩和硬頁岩組成；中央山脈脊梁帶主要是由硬頁岩、千枚岩和板岩組成。蘭陽溪流經兩大山脈之間，在牛鬥附近流出山谷，自此淤積作用非常顯著，其支流在流出山谷的地區也都有顯著的沖積扇，形成了蘭陽平原。蘭陽平原形狀似等腰三角形，三個頂點為頭城、三星和蘇澳，各邊長約 30 公里，面積約 360 平方公里，蘭陽平原為第四紀沖積層所覆蓋，土層厚度深淺不一。當地震發生時，地震波會因沖積層的構造而改變，例如地震波的振幅可能變大，頻率內涵也可能改變，因而可能影響建築物的安全，因此蘭陽平原的淺層地下構造是值得探討的議題。

地球物理學家在探討淺層地下構造時，通常利用儀器量測一些物理性質（例如震波、重力、磁力等）來研究淺層地下構造，並將淺層地下構造予以粗略分層，故分層結果無法顯示各層，尤其是表層的詳細構造。相反的，土木工程師在探討淺層地下構造時，因受鑽探機具與經費之限制，鑽孔調查的深度通常僅限於接近地表之土層，調查內容則包括土壤種類、標準貫入試驗值（SPT-N）與地下水位等，亦即土木工程界僅能探討接近地表土層的詳細構造，對於較深土層與岩層的構造無法確定。根據以上的論述，發現地球物理學家與土木工程師對於淺層地下構造所探討的方法與結果皆有所差異，且兩者各有其優缺點，若能將這兩者各自專精的資料相互結合，必然可以更完整的顯示淺層地下構造的狀況。

本研究之目的乃是結合地球物理學家探討淺層地下構造分層的結果與土木工程師所能取得接近地表土層的詳細資料，來求得蘭陽平原完整的三維淺層地下構造。本研究的結果可應用於工程防災領域，例如根據本研究的結果，便可利用 SHAKE 程式進行演算，求得沈積層受地震的反應，然後評估建築物的安全性。

二、利用地球物理方法建置淺層地下構造

近年來蘭陽平原淺層地下構造已逐漸被重視，江新春（1976）在蘭陽平原炸測八條反射剖面，並於羅東附近施炸四條折射剖面，發現蘭陽平原地下沖積層與基盤地層之間，夾有一層呈半透鏡狀之更新世地層。溫國樑與葉永田（1983）根據羅東地區淺層震測的結果，推測地下構造共四層包括表土、沖積層、更新世地層與基盤地層。此外 Huang and Yeh（1990）在羅東強震儀陣列區（簡稱 SMART1），利用微地動速度頻散曲線，推測羅東地區地表至 300 m 深處，大致可以分為兩層。黃有志（2003）在蘭陽平原設置微地動陣列測站，將收集到的微地動觀測資料利用頻率-波數法，逆推求出蘭陽平原上各測站的淺層 S 波速度構造。

2.1 蘭陽平原淺層 S 波速度構造之資料

黃有志（2003）在蘭陽平原設置九個微地動陣列測站（圖 1），各測站座標位置如表 1 所示。每一測點附近皆擺放了 10 組地震儀進行微地動觀測作業，之後將收集到的微地動觀測資料，利用頻率-波數法（Frequency-wave number method，簡稱 F-K）求得表面波頻散曲線，再來逆推淺層 S 波速度構造。黃有志的研究結果顯示蘭陽平原淺層 S 波速度構造有兩個速度界面，較淺的界面稱為速度界面一，較深的界面稱為速度界面二，各測點之淺層 S 波速度構造界面結果如表 2 所示。利用表 2 中各測點的速度介面的深度值，可以計算出蘭陽平原各地層的厚度（表 3）。根據黃有志的研究結果顯示，蘭陽平原淺層地下構造由淺至深可分為三層，第一層為沖積層，第二層為更新世層，第三層為廬山層。然而黃有志利用地球物理方法所求得的结果僅為點資料，無法顯示出蘭陽平原完整的淺層地下構造。

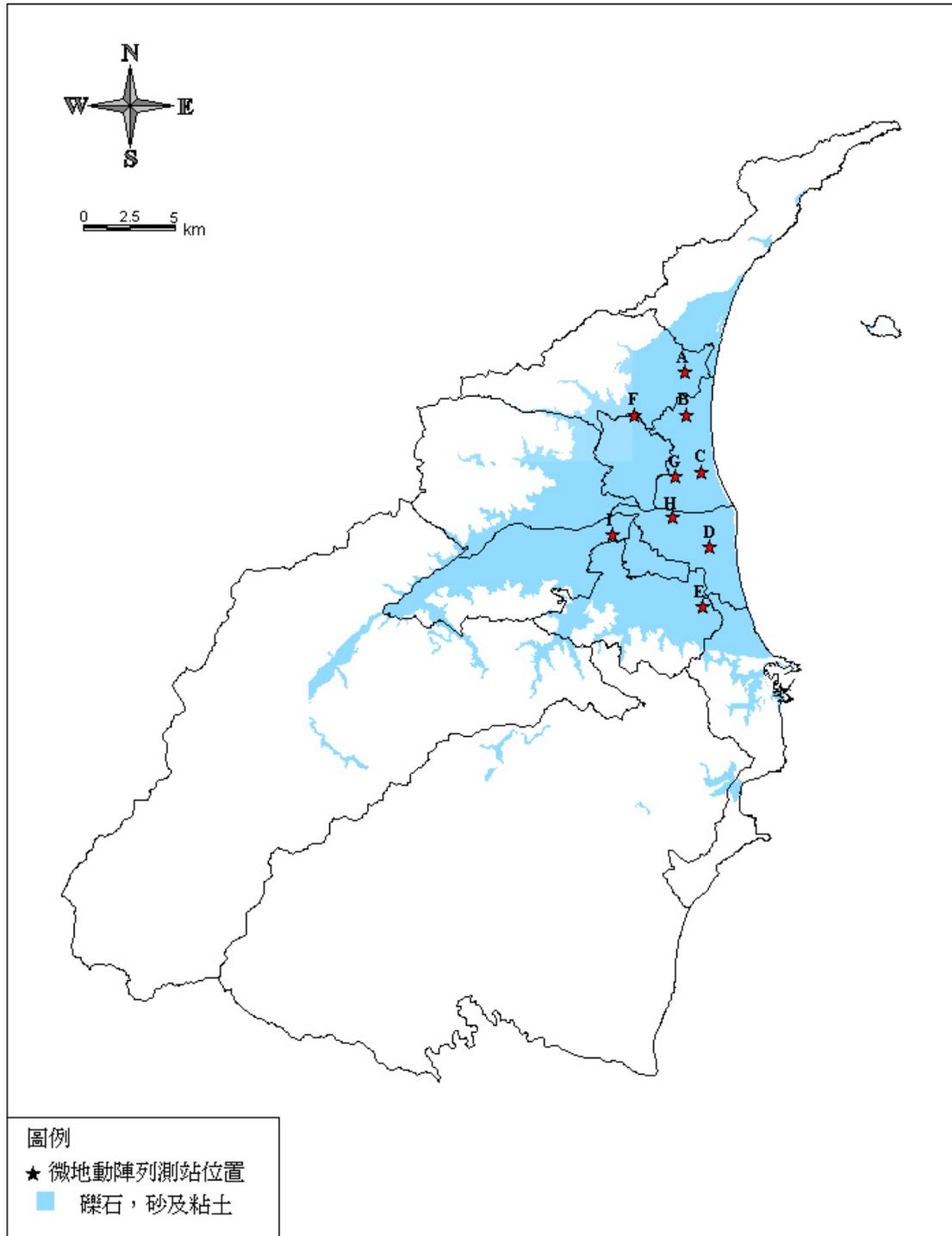


圖 1 蘭陽平原微地動陣列測點分布圖（黃有志，2003）

表 1 蘭陽平原微地動陣列測站位置 (黃有志, 2003)

測點	經度 (度)	緯度 (度)
A	121.78942	24.81372
B	121.79092	24.78258
C	121.80172	24.74242
D	121.80850	24.68961
E	121.80200	24.64664
F	121.75064	24.78331
G	121.78233	24.73928
H	121.77911	24.71033
I	121.73247	24.69864

表 2 各測點淺層 S 波速度構造的界面結果 (黃有志, 2003)

測點	速度界面一			速度界面二		
	Depth (km)	V _s (km/s)		Depth (km)	V _s (km/s)	
A	0.065	0.40	0.70	0.675	0.98	1.75
B	0.055	0.49	0.64	0.575	0.66	1.40
C	0.090	0.33	0.46	0.801	0.90	1.42
D	0.100	0.49	0.91	0.520	0.80	1.54
E	0.100	0.56	0.71	0.530	1.17	1.64
F	0.045	0.25	0.50	0.525	1.14	1.63
G	0.065	0.58	0.59	0.575	0.77	1.50
H	0.095	0.45	0.80	0.715	1.21	1.84
I	0.070	0.51	0.58	0.540	1.08	2.10

表 3 各測站點淺層 S 波速度構造的地層結果 (黃有志, 2003)

測點	地層一 (沖積層)		地層二 (更新世層)		地層三 (廬山層)	
	厚度 (km)	V _s (km/s)	厚度 (km)	V _s (km/s)	厚度 (km)	V _s (km/s)
A	0.065	0.22	0.61	0.81	1.00 ↑	2.05
B	0.055	0.20	0.52	0.65	0.90 ↑	1.71
C	0.090	0.22	0.72	0.76	0.70 ↑	1.91
D	0.100	0.25	0.42	0.69	0.90 ↑	1.88
E	0.100	0.35	0.43	0.92	0.95 ↑	2.26
F	0.045	0.17	0.48	0.76	0.90 ↑	1.88
G	0.065	0.22	0.51	0.66	0.90 ↑	1.70
H	0.095	0.24	0.62	0.87	0.70 ↑	2.33
I	0.070	0.22	0.47	0.86	0.90 ↑	2.14

2.2 蘭陽平原三維淺層地下構造之建置

本研究根據黃有志 (2003) 蘭陽平原淺層 S 波速度構造界面的點資料 (表 2), 並利用三維地形繪圖軟體 SURFER (Golden Software, 2002) 來建置蘭陽平原三維淺層地下構造。本研究建置蘭陽平原三維淺層地下構造的流程如下:

1. 首先根據黃有志在蘭陽平原上九個測站的座標位置(表 1), 建置這九個測站的空間資料, 並將速度界面一之深度值、速度界面二之深度值與相對應之 S 波剪力波速值建置為屬性資料。
2. 利用中央地質調查所出版的宜蘭縣數值地質圖, 決定出蘭陽平原的邊界位置 (圖 2), 並將蘭陽平原邊界部份之速度界面一與速度界面二之深度值皆設定為零。

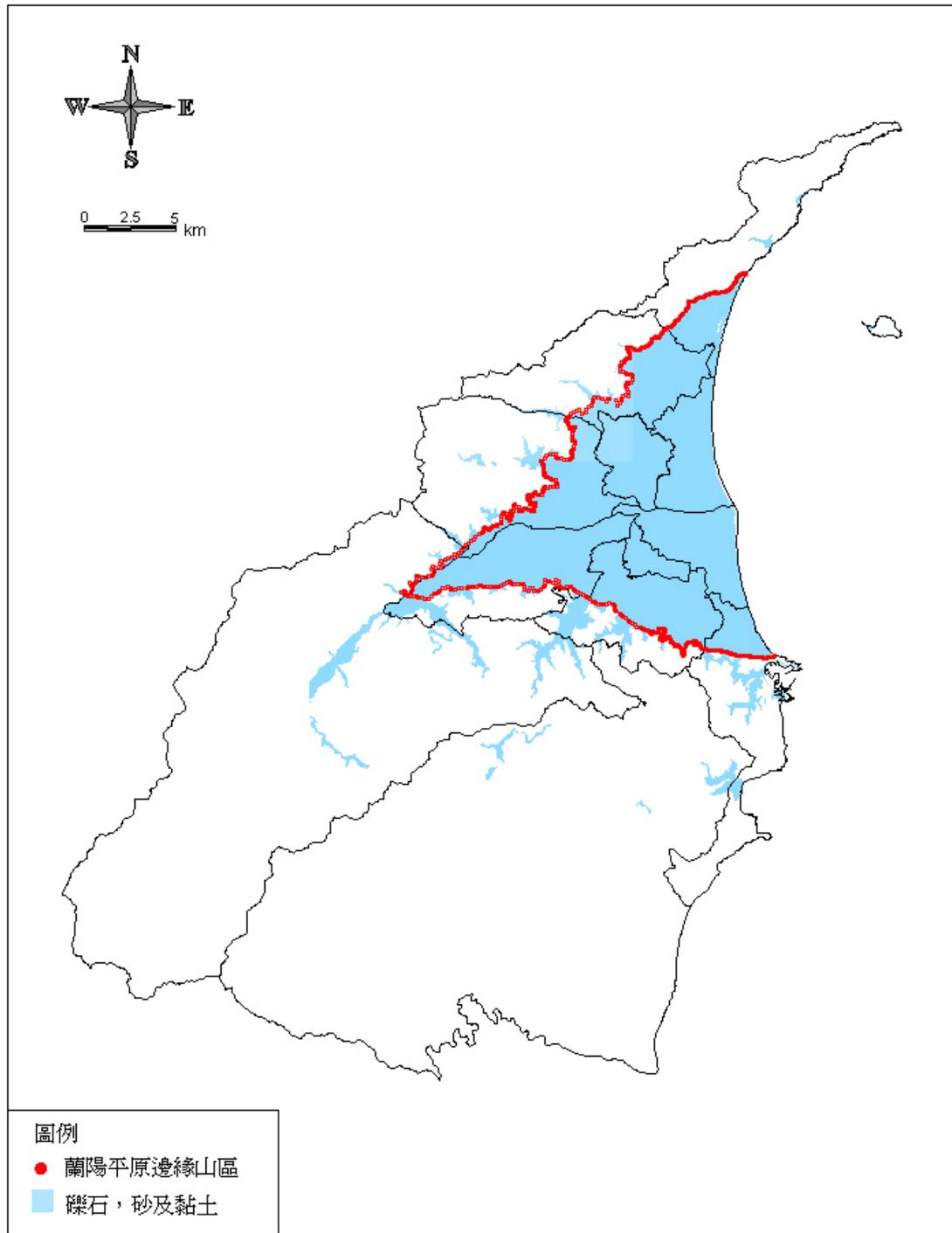


圖 2 蘭陽平原邊界位置

3. 將研究地區(蘭陽平原)進行網格化，網格的間距設定為 300 公尺，因此總計共有 100×100 的網格數目。
4. 利用 SURFER 軟體中的克利金 (Kriging) 演算法進行數值內插，求得網格結點處速度界面一與速度界面二的深度值。

5. 將網格化內插計算所得結果，利用 SURFER 軟體中之繪製等高線 (Contour) 功能，建置蘭陽平原三維淺層地下構造。圖 3 為蘭陽平原速度界面一之等深度線圖，圖 4 為蘭陽平原速度界面二之等深度線圖。

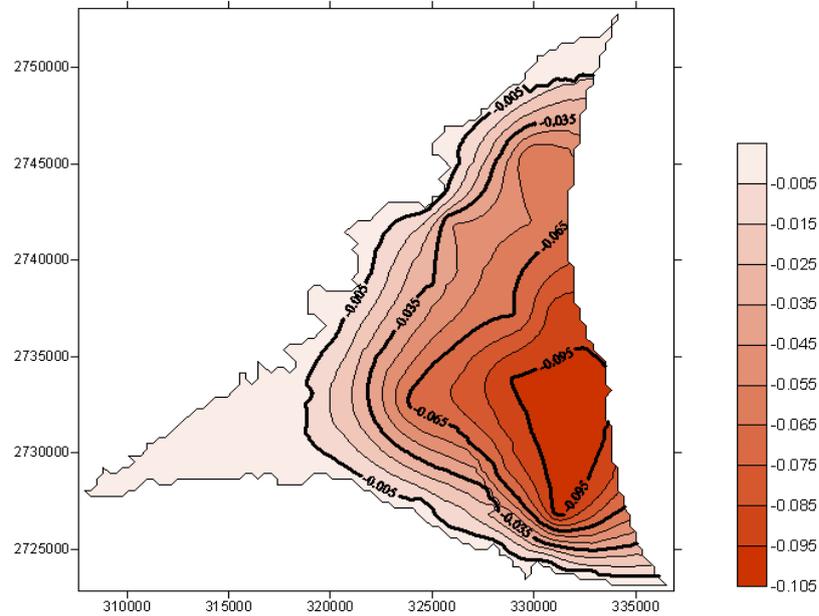


圖 3 蘭陽平原速度界面一之等深度線圖 (單位 : km)

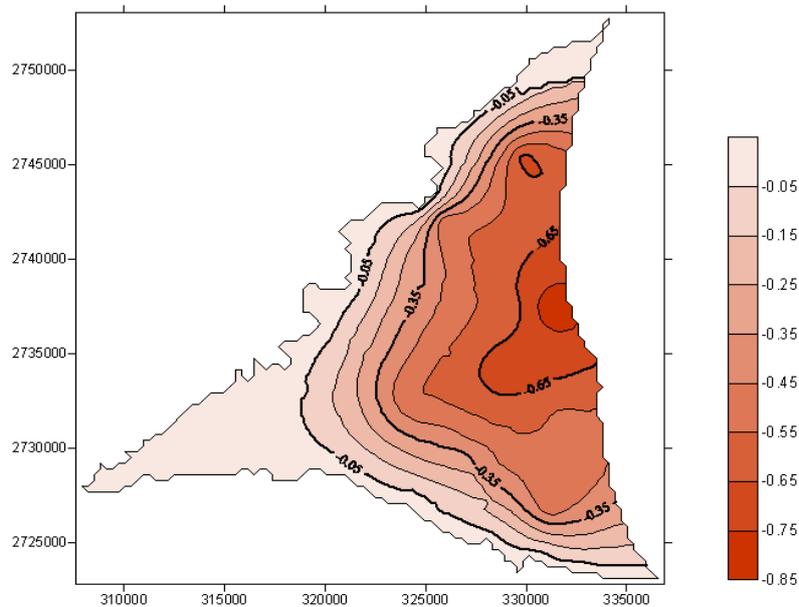


圖 4 蘭陽平原速度界面二之等深度線圖 (單位 : km)

6. 根據本研究所建置出的速度構造面之結果，可以將蘭陽平原由淺至深分為三層，第一層為沖積層，第二層為更新世層，第三層為廬山層。
7. 再者，本研究根據九個測站各地層的 S 波剪力波速值（表 3），得知蘭陽平原內部在同一地層中 S 波剪力波速變化不大，故可將蘭陽平原邊界之 S 波剪力波速值設定為該地層 S 波剪力波速的平均值。本研究可再根據九個測站各地層的 S 波剪力波速值與蘭陽平原邊界之 S 波剪力波速平均值，利用 SURFER 軟體中的克利金（Kriging）演算法進行數值內插，以求得網格結點之 S 波剪力波速值。如此依據網格化內插計算所得結果，可以得到蘭陽平原淺層地下構造中不同地層 S 波剪力波速之分布。

2.3 蘭陽平原剖面

根據本研究所建置之蘭陽平原三維淺層地下構造，在此節於蘭陽平原上繪製四條剖面線（圖 5）。圖 5 中有兩條剖面線涵蓋整個蘭陽平原，分別為東西向剖面 $\overline{AA'}$ 與南北向剖面 $\overline{BB'}$ ，剖面結果顯示於圖 6。此外，為了能與前人提出之相關研究成果進行比較，本研究在羅東地區亦繪製兩條剖面線，分別為東西向剖面 $\overline{CC'}$ 與南北向剖面 $\overline{DD'}$ ，剖面結果顯示於圖 7。

在圖 6 之蘭陽平原東西向剖面 $\overline{AA'}$ 中可知，沖積層由西向東增厚，由員山地區之無厚度，逐漸增加至壯圍濱海地區約達 0.09km 深，更新世層亦由西向東增深，最深處一在壯圍地區，深度超過 0.8 km。在蘭陽平原南北向剖面 $\overline{BB'}$ 中則可知，蘭陽平原沖積層最大厚度處略為向南偏，然更新世層最深處則位於蘭陽平原較為中央之處。

在圖 7 之羅東地區東西向剖面 $\overline{CC'}$ 中可知，沖積層在羅東地區由西向東增厚，最大厚度約為 0.08 km，更新世層亦由西向東漸深，深度約達 0.6 km，基盤地層則為廬山層。在羅東地區南北向剖面 $\overline{DD'}$ 中可知，沖積層在羅東地區由北向南增厚，更新世層亦由北向南漸深，最深處超過 0.6 km。

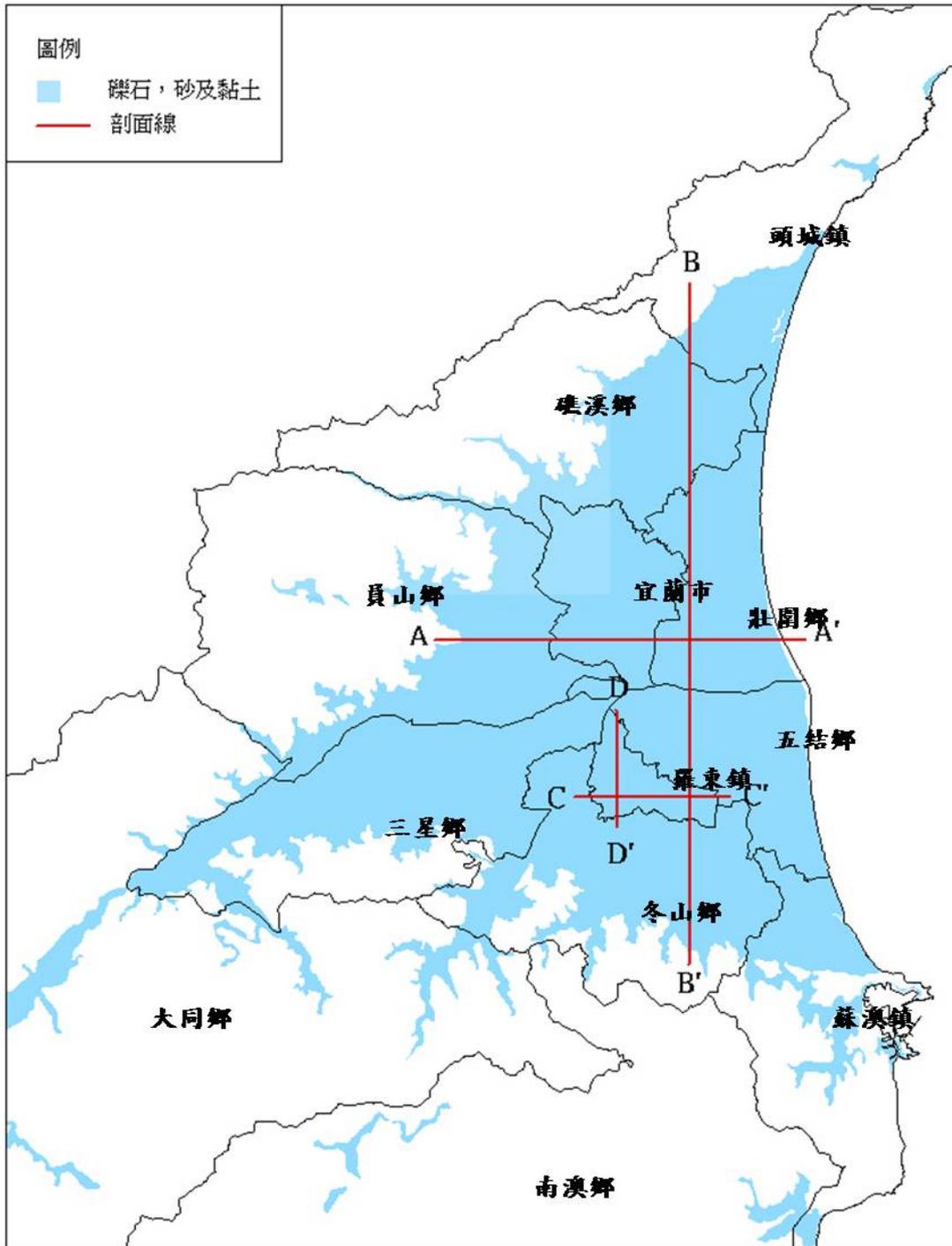


圖 5 蘭陽平原剖面線位置圖

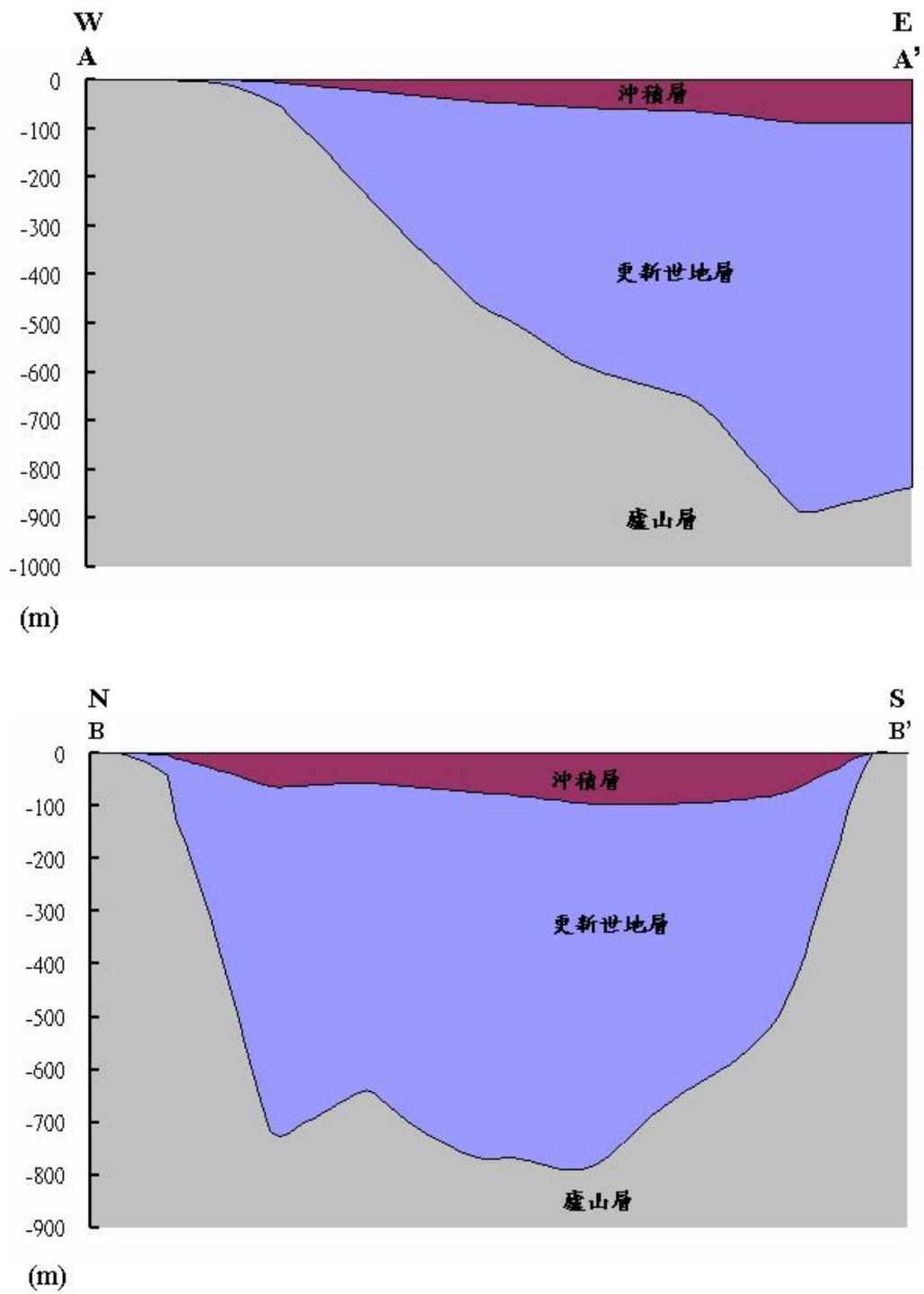


圖 6 蘭陽平原 $\overline{AA'}$ (東西向)與 $\overline{BB'}$ (南北向)剖面之淺層地下構造

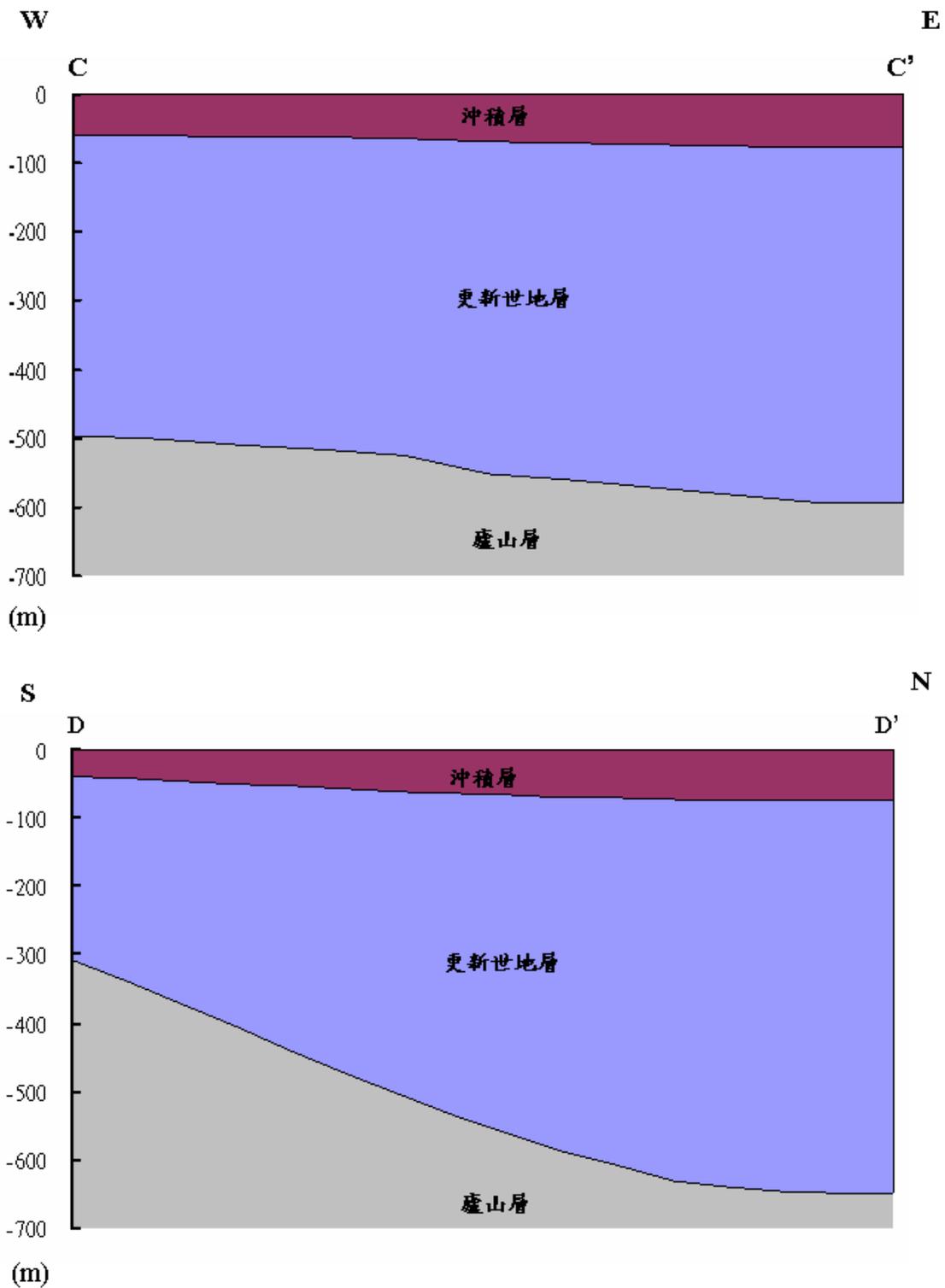


圖 7 羅東地區 $\overline{CC'}$ (東西向) 與 $\overline{DD'}$ (南北向) 剖面之淺層地下構造

2.4 研究結果與前人相關研究結果之比較

2.4.1 江新春 (1976) 之相關研究

蘭陽平原淺層地下構造最早開始之研究工作為江新春 (1976) 在蘭陽平原上炸測八條反射剖面,並在羅東地區附近炸測四條折射剖面,再由震測線的結果求得蘭陽平原淺層地下構造。江新春將蘭陽平原由上而下分為三層,最上層為無反射帶 (沖積層),土層的厚度為 0.3 km, S 波剪力波速為 0.28 km/s 至 0.92 km/s。中層為反射密集帶 (更新世),平原中心厚度為 1.499 km, S 波剪力波速為 1.04 km/s 至 1.15 km/s。下層為反射絮亂帶 (岩盤), S 波剪力波速為 1.91 km/s。

由本研究所得之蘭陽平原剖面結果 (圖 6) 與江新春 (1976) 的研究結果相互比較如下:江新春提出地層分層中最上層為 0.3 km 厚的沖積層,而此深度於本研究則位於更新世層中。江新春提出更新世層厚度為 1.499 km, S 波波速為 1.04 km/s 至 1.15 km/s,與本研究成果厚度約為 0.6 km, S 波剪力波速為 0.65 km/s 至 0.92 km/s 的更新世層相比之下差距甚大。由以上比較得知,在地層厚度與 S 波剪力波速之比較上,本研究結果與江新春 (1976) 之研究結果皆相差甚大。

2.4.2 溫國樑與葉永田 (1983) 之相關研究

溫國樑和葉永田 (1983) 在羅東地區炸測反射剖面,利用淺層震測結果推測地下構造的結果如下:表土層厚度約 0.003 km 至 0.018 km, S 波波速約為 0.248 km/s 至 0.439 km/s。沖積層厚度約 0.03 km 至 0.06 km, S 波波速約為 0.808 km/s 至 0.981 km/s,更新世層厚度約 0.17 km 至 0.54 km, S 波波速約 1.04 km/s 至 1.15 km/s,基盤地層廬山層, S 波波速約為 1.732 km/s 至 2.31 km/s,溫國樑和葉永田推測之羅東地區剖面結果如圖 8 所示。

由本研究之羅東地區剖面結果 (圖 7) 與溫國樑與葉永田 (1983) 的剖面結果進行比較如下:本研究之結果雖然無法明顯看到表土層與沖積層的分層,但沖積層之厚度為 0.06 km 上下,此與溫國樑與葉永田之推測相近,然而本研究沖積層 S 波波速約為 0.26 km/s 則與溫國樑與葉永田沖積層 S 波波速為 0.981 km/s 卻相差甚多。本研究羅東地區之更新世層厚度約為 0.48 km, S 波波速為 0.62 km/s,溫國樑與葉永田更新世層之厚度約達 0.54 km, S 波波速可為 1.15 km/s,地層厚

度相差不多，但 S 波波速卻仍是相差甚多。由以上比較結果得知，在土層厚度方面，本研究與溫國樑和葉永田 (1983) 之研究結果相近，但於 S 波剪力波速部分，研究結果則相差甚大。

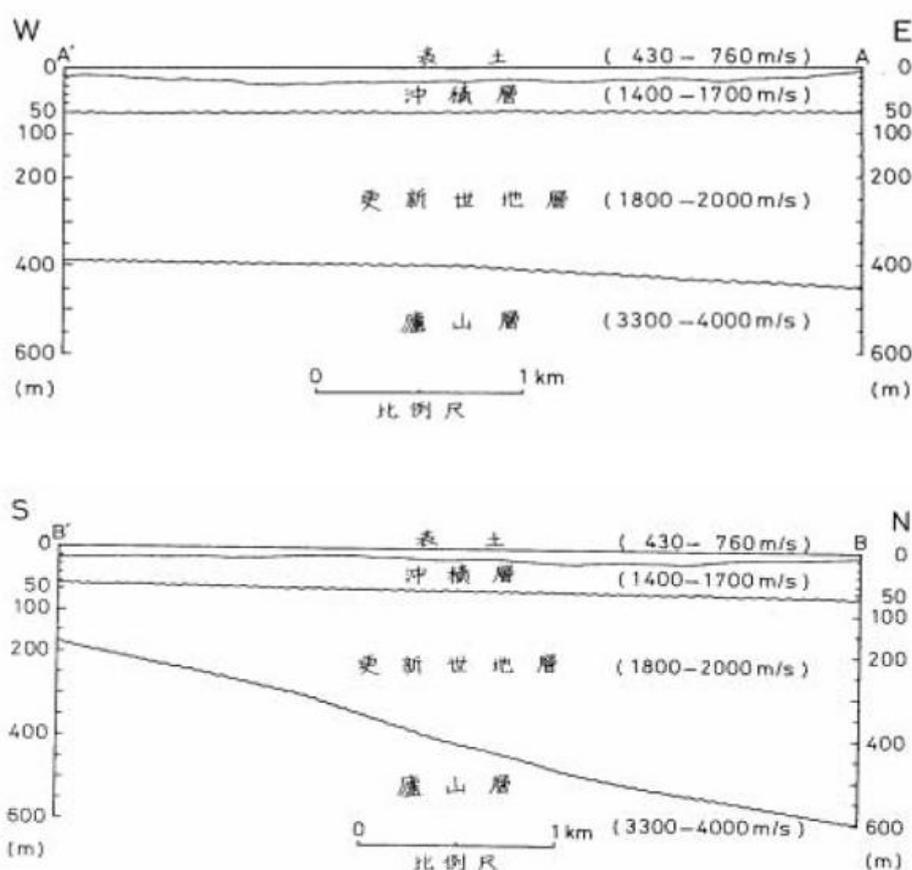


圖 8 羅東地區東西、南北向剖面地下淺層地下構造 (溫國樑與葉永田, 1984)

2.4.3 Huang and Yeh (1990) 之相關研究

Huang and Yeh (1990) 在羅東強震儀陣列區 (簡稱 SMART1)，利用微地動速度頻散曲線，推測地表至 0.3 km 左右之地層分層情形，結果顯示第一層厚度約為 0.11 km，S 波剪力波速約為 0.38 km/s 至 0.5 km/s，第二層厚度約 0.2 km，S 波剪力波速約 0.7 km/s 至 0.85 km/s。

本研究之羅東地區剖面結果 (圖 7) 與 Huang and Yeh (1990) 研究結果進行比較如下: Huang and Yeh 沖積層厚度約為 0.11 km，S 波剪力波速約為 0.38 km/s 至 0.5 km/s，本研究沖積層厚度約為 0.06 km，S 波剪力波速約為 0.26 km/s，比較結果顯示兩者差異不算太大。Huang and Yeh 推測更新世層厚度為 0.2 km 以

上，其 S 波波速約為 0.7 km/s 至 0.85 km/s，本研究更新世地層厚度約為 0.48 km，S 波波速約為 0.62 km/s，由於因 Huang and Yeh 的研究範圍僅至地表 0.3 km，故無法比較更新世層之厚度。

三、利用宜蘭地區鑽孔資料建立淺層地下構造

在土木工程界探討淺層地下構造時，因為受到機具型式與經費之限制，故在進行鑽探調查時，調查的深度通常僅為接近地表之土層，因此工程界多僅探討接近地表土層的詳細構造。本研究於此部分，將利用歷年來在宜蘭地區所收集到的 771 孔鑽探資料，來建置蘭陽平原三維淺層地下構造接近地表土層的資料。

國家地震工程研究中心於中央氣象局設在宜蘭縣之 33 個強地震測站場址進行鑽探，本研究乃收集了這 33 個場址的鑽孔資料。國家地震工程研究中心經由本校之協助已建置宜蘭地區的鑽孔資料庫，共計有 572 個鑽孔資料，本研究亦收集了此 572 個鑽孔資料。國立宜蘭大學在校本部與五結校區共有 81 個鑽孔資料，本研究也收集此 81 孔鑽孔資料。此外，本研究另收集了宜蘭縣中小學 85 所學校場址鑽孔資料。本研究所收集到之宜蘭地區鑽孔資料來源整理於表 4。

表 4 宜蘭地區鑽孔資料來源

鑽孔資料來源	鑽孔數
國家地震工程研究中心之宜蘭縣強地震測站鑽孔資料	33
國家地震工程研究中心之宜蘭縣鑽孔資料庫	572
宜蘭大學之鑽孔資料（包含宜蘭大學五結校區之鑽孔資料）	81
本研究收集之宜蘭縣中小學校鑽孔資料	85
合計	771

本研究將收集到之鑽孔資料以國家地震工程研究中心規定之格式（吳秉儒等，2004）建置鑽孔資料庫，收集之鑽孔資料建置於 Excel 的檔案中，並依照資料性質將資料分為兩層表單儲存，第一層表單的資料包括鑽孔編號、孔位座標（TM2 度 X、Y 座標系統 TWD97）、鑽孔地表高程、地下水位深度、鑽孔日期、鑽孔深度、鑽孔方法等。第二層表單的資料包括標準貫入試驗值（SPT-N）、統

一土壤分類 (USCS)、粒徑分布、濕密度、含水量、液限、及塑性指數等。以鑽孔編號 IanB038 之鑽孔為例, 該鑽孔位於宜蘭縣員山鄉七賢國小學校場址內, 鑽孔資料的第一層表單如表 5 所示, 第二層表單如表 6 所示, 鑽孔編號 IanB038 之土層剖面則見於圖 9。本研究利用所有收集到之 771 鑽孔資料來建置出蘭陽平原完整的三維淺層地下構造。

表 5 宜蘭縣鑽孔編號 IanB038 之第一層資料

鑽孔編號	IanB038
TM2 度 X 座標	324420
TM2 度 Y 座標	2735179
鑽孔編號 (原始)	ILA038
鑽孔地表高程(m)	9
地下水位深度(m)	2.5
鑽孔日期	10-12-90
鑽孔深度(m)	40
鑽孔方法	沖鑽法
鑽探顧問公司	安全鑽探有限公司
填表人	詹國民

表 6 宜蘭縣鑽孔編號 IanB038 之第二層資料

深度 (m)	SPT- N	USCS	土壤 描述	Gravel (%)	Sand (%)	Silt (%)	Clay (%)	濕密度 (t/m ³)	含水量 (%)	液限 (%)	塑性 指數
1.5	1.5	ML	細砂質 粉土	0	9	76	15	1.85	29	-	NP
3.0	9	SM	粉土質 細砂	0	87	12	1	1.93	21	-	NP
4.5	10	SM		0	81	19	0	1.84	22	-	NP
6.0	29	SM		43	39	17	1	2.01	9	-	NP
7.5	-	-	粉土質 黏土	-	-	-	-	-	-	-	-
9.0	4	CL		0	3	45	52	1.70	37	38	15
10.5	7	CL		0	2	63	35	1.81	31	33	11
12.0	11	ML		0	47	50	3	1.65	24	-	NP
13.5	17	SM		2	78	17	3	2.05	13	-	NP
15.0	6	CL		0	2	71	27	1.89	35	41	18
16.5	6	ML		0	6	84	10	1.75	29	-	NP
18.0	5	ML		0	48	49	3	1.46	36	-	NP
19.5	6	ML	砂質 粉土	0	4	86	10	1.80	30	-	NP
21.0	7	ML		0	7	87	6	1.77	32	-	NP
22.5	7	CL		0	7	80	13	1.81	28	48	26
24.0	9	ML		0	2	86	12	1.78	32	48	12
25.5	9	ML		0	1	72	27	1.88	33	-	NP
27.0	10	ML		0	7	77	16	1.90	29	-	NP
28.5	9	ML		0	2	66	32	1.79	31	-	NP
30.0	12	ML		0	37	61	2	1.77	30	-	NP
31.5	13	SM		0	68	30	2	1.67	21	-	NP
33.0	12	ML		0	1	67	32	1.89	29	36	7
34.5	11	ML		0	1	69	30	1.80	32	31	6
36.0	19	ML		0	5	65	30	1.88	30	-	NP
37.5	11	CL	粉土質	0	2	68	30	1.79	33	40	16
40.0	14	CL	黏土	0	1	7	92	1.61	39	44	19

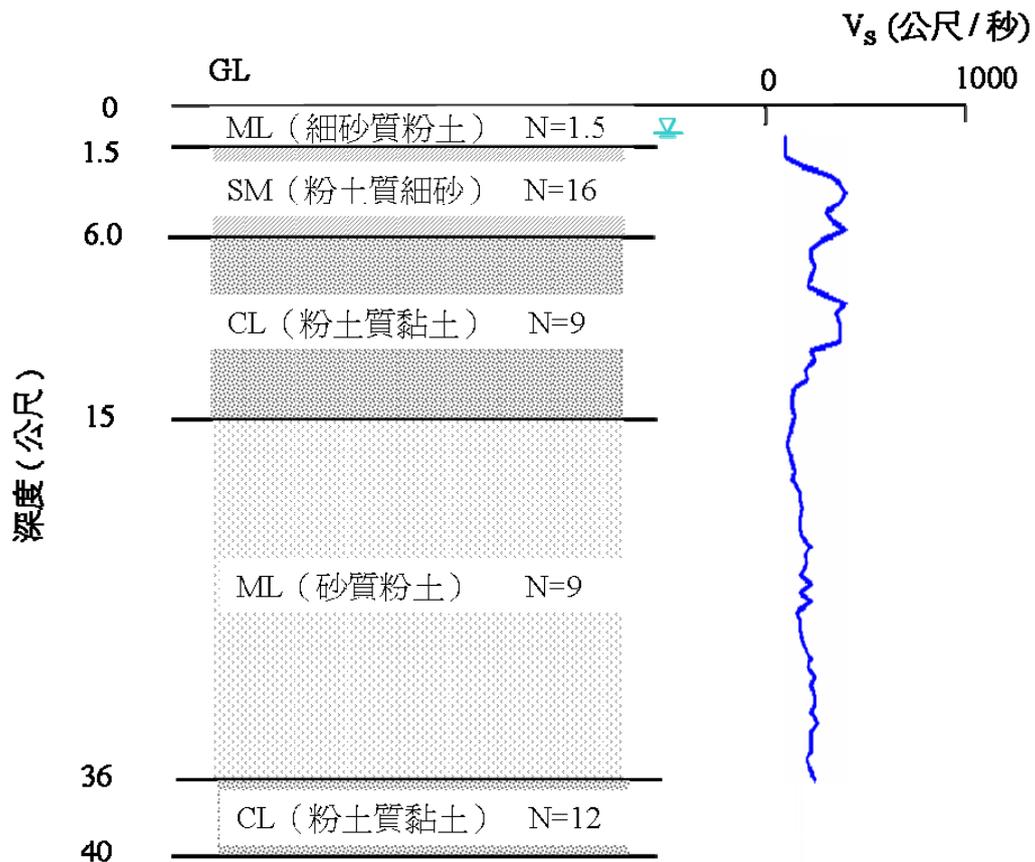


圖 9 鑽孔編號 IanB038 土層剖面圖

四、蘭陽平原完整三維淺層地下構造之結合

本研究依據黃有志 (2003) 的資料, 將蘭陽平原淺層地下構造由上而下分為三層, 第一層為沖積層, 第二層為更新世層, 第三層為廬山層。本研究提出於沖積層之地表部份, 可利用收集到之鑽孔資料來表示出接近地表土層的詳細構造, 資料包含土層厚度、地下水位、土層描述、標準貫入試驗 N 值、統一土壤分類 (USCS) 與 S 波剪力波速值等。至於較深之更新世層與廬山層, 本研究則提出利用地球物理方法所建置之三維淺層地下構造, 來表示地層粗略分層與地層的 S 波剪力波速值。倘若該鑽孔之 S 波剪力波速無法表示到該場址土層速度界面時, 本研究則建議以該鑽孔位置處該地層之 S 波剪力波速值, 向下延伸至速度界面深度。

本研究在此仍以鑽孔編號 IanB038 為例，說明利用地球物理方法與鑽孔資料相互結合，求得完整三維淺層地下構造的方法。IanB038 的鑽孔位於宜蘭縣員山鄉七賢國小學校場址內，鑽孔深度為 0.04 km，S 波剪力波速觀測至 0.036 km。首先由本研究建置之三維淺層地下構造，查詢 IanB038 場址之淺層地下構造，求得 IanB038 的鑽孔處之淺層地下構造情形如下：該位置之沖積層厚度為 0.055 km，S 波剪力波速為 0.220 km/s；更新世層厚度為 0.398 km，S 波剪力波速為 0.817 km/s；廬山層之 S 波剪力波速為 2.070 km/s。隨後將鑽孔編號 IanB038 之 40m 深度的詳細土層剖面資料，覆蓋於前述淺層地下構造較粗略分層之資料上，如此便可將接近地表土層的詳細構造加入。本研究可利用地球物理方法與鑽孔資料之相互結合，求得蘭陽平原完整淺層地下構造表示圖，圖 10 即為鑽孔編號 IanB038 位置處完成結合工作後之全深度資料。

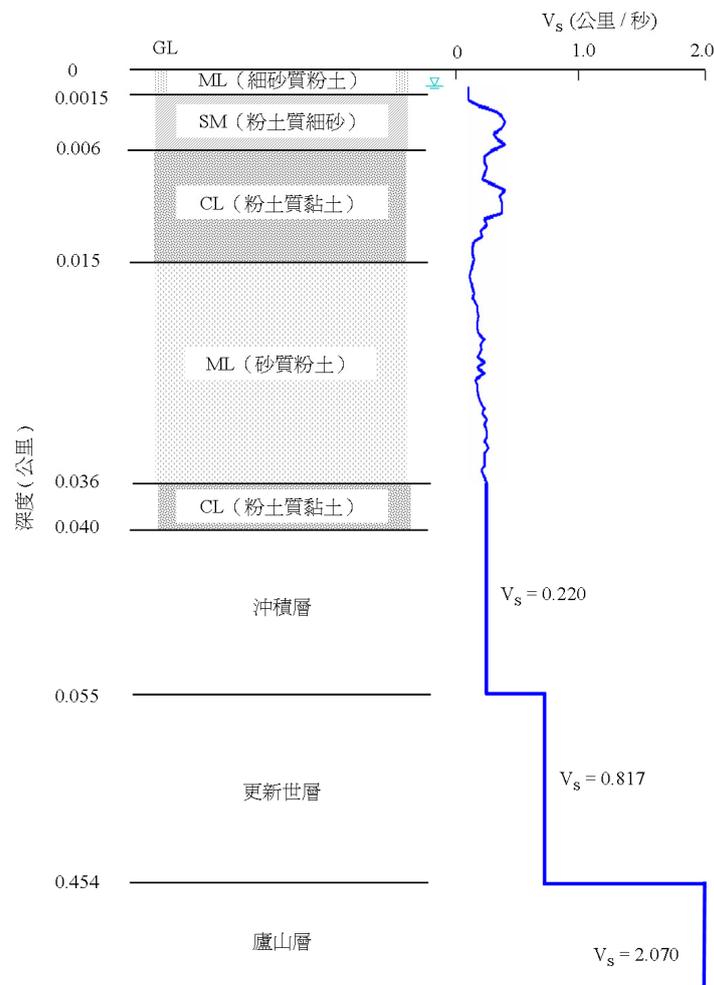


圖 10 鑽孔編號 IanB038 場址之完整淺層地下構造

五、結論

蘭陽平原為第四紀沖積層所覆蓋，土層厚度深淺不一。於地震發生時，地震波會因沖積層的淺層地下構造而改變，因而可能影響建築物的安全，故蘭陽平原的淺層地下構造是值得探討的議題。地球物理學家在探討淺層地下構造時，常利用儀器對地表的一些物理性質進行觀測來研究淺層地下構造，並將淺層地下構造予以粗略分層，然其分層結果無法顯示各層，尤其是表層的詳細構造。相反的，土木工程師在探討淺層地下構造時，受到鑽探機具與經費之限制，因此工程界僅能探討接近地表土層的詳細構造，對於較深土層與岩層的淺層地下構造無法確定。本研究結合了地球物理學家探討淺層地下構造之分層結果與土木工程師所能取得之接近地表土層的詳細資料，來求得蘭陽平原完整的三維淺層地下構造。本研究依據黃有志蘭陽平原淺層 S 波速度構造的點資料，建置出蘭陽平原三維淺層地下構造後，再與收集到的場址鑽孔資料相互結合，便可求得一個鑽孔位置處完整的淺層地下構造情形。本研究的成果可應用於工程防災領域，例如根據本研究的結果，便可利用 SHAKE 程式進行演算，求得沈積層受地震的反應，並據以評估建築物的安全性。

致謝

承蒙國家科學委員會第 NSC 94-2625-Z-197-001 及 NSC 95-2625-Z-197-001 號研究計畫之經費補助，特此致謝。本研究期間承蒙中央大學黃有志提供研究資料，以及國家地震工程研究中心提供宜蘭地區強地動觀測站之鑽孔資料，僅此表達最誠摯的感謝。

參考文獻

Golden Software, Inc, (2002), SURFER User's Guide, Golden, CO.

Huang, W. G., and Y. T. Yeh, (1990), "The Characteristics of Microtremors at the Site of SMART1 Array." *Terrestrial , Atmospheric and Oceanic Sciences*, 1(3), pp. 225-242.

江新春, (1976), "宜蘭平原之震測", *礦業技術*, 第 14 期, 第 215-221 頁。

吳秉儒、葉錦勳、謝旻諺、柯明淳, (2004), "土壤液化與山崩潛勢資料庫與分析模式", 2004 台灣地震損失評估系統 (TELES) 講習會, 研究報告 NCREE-04-018, 國家地震工程研究中心, 台北, 台灣, 第 51-74 頁。

黃有志, (2003), 「蘭陽平原場址效應及淺層 S 波速度構造」, 碩士論文, 國立中央大學地球物理研究所, 中壢, 台灣。

溫國樑、葉永田, (1983), 「羅東大型強地震儀陣列區之地下構造」, 中央研究院地球物理研究所。