

蘭陽平原土層特性分析

趙紹錚¹ 黃宏謀² 徐瑩潔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

³ 國立宜蘭大學工學院 專任助理

摘要

蘭陽平原位於雪山山脈和中央山脈間，豐沛的雨水侵蝕山地攜帶大量砂石泥土，從出山處形成一系列的沖積扇，呈現了獨特的地貌。從大地工程角度來看，地下土層的特性隨形成過程與環境而有所不同，代表地下土層特性之土壤參數也隨之不同。在蘭陽平原工程應用上，一項重要的工作為進行鑽孔並建置工程地質資料庫，以掌握地下土層的土壤參數，期能了解蘭陽平原地下土層的特性，以利後續工程分析與設計。

國家地震工程研究中心為在全國強震測站場址建置工程地質資料庫，宜蘭縣之鑽孔資料共有 39 孔，其中 30 孔位於蘭陽平原內。鑽孔資料內容包括基本資料、土壤之基本物理性質資料及土壤波傳速度資料等三大項。本研究利用蘭陽平原內的鑽孔資料，依據工程設計需使用之參數分節進行探討。為要求鑽孔資料之準確性，本研究將鑽孔資料進行四階段的品質查核的程序，經過資料篩選後方進行後續資料統計及回歸分析，以期提出可信賴的土層特性之參數。

關鍵字：蘭陽平原、鑽探資料、土層特性、剪力波速。

Analysis of Soil Characteristics in Lanyang Plain

Sao-Jeng Chao¹ Howard Hwang² Ying-Chieh Hsu³

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

ABSTRACT

Lanyang Plain is located between Snow Mountains and Central Mountain Range in Yilan County. Soils from weathered rocks covering the mountains are moved downstream during heavy rainfalls. When soils deposit, an alluvial fan is formed and called Lanyang Plain, which is a unique geomorphologic feature in the northeastern part of Taiwan. From geotechnical viewpoints, the characteristics of subsoil layers in the plain are varying affected by natural processes and environmental conditions. As a result, the parameters used to identify soil characteristics are also varying from sites to sites in the plain. For engineering applications, one of the important tasks is to establish the values of soil parameters for typical subsoil layers. The National Center for Engineering Research (NCREE) has been carrying out a project to establish a geotechnical database for all the strong-motion stations installed in Taiwan. The data set for each station contains the basic information, boring log profile, physical properties and shear wave velocity of subsoil layers. In this study, we obtained 39 boring logs in Yilan County from NCREE. Out of 39 logs, 30 are located inside Lanyang Plain. On the basis of these 30 logs, we first use a four-step quality checking procedure to ensure the data accuracy. After this screening process, we perform statistical and regression analyses to determine the values of soil parameters and shear wave velocity for typical soil layers found in Lanyang Plain. The results of this study will provide essential inputs for geotechnical analysis and design projects to be carried out in Lanyang Plain.

Keywords : Lanyang Plain, Boring log, Soil characteristics, Shear wave velocity.

一、前言

宜蘭縣位於台灣東北，東臨太平洋與東海，海洋中有龜山島。地理位置上，北側及西北側與台北相接，西連新竹縣及桃園縣，南方則與花蓮和台中相連。宜蘭有豐富的天然資源，過去因受地形限制開發較遲、經濟較不發達，於2006年國道五號北宜高速公路全線通車後，各項重大工程建設也紛紛展開，因此在區域內的地質概況與土層特徵值得加以探討。

蘭陽平原位於雪山山脈和中央山脈間，豐沛的雨水侵蝕山地攜帶大量的砂泥土石，從出山處形成一系列的沖積扇，呈現了蘭陽平原獨特的地理環境(宜蘭縣政府，1990)。近年來，蘭陽平原各項重大建設工程及學術研究，已經累積大量而豐富的鑽探試驗資料，對於瞭解蘭陽平原地下土層狀態有極大的幫助。

本研究之目的，為探討蘭陽平原地下各類土層特性及剪力波速的關係。依據NEHRP (UBC, 1997)及建築物耐震設計規範(內政部營建署，2006)，地面下30公尺內的土層特性可從堅實到軟弱進行分類，各地盤種類都有相對應的標準貫入N值及剪力波速(表1)。本研究依據國家地震工程研究中心調查之宜蘭地區的強地動測站鑽探資料，從中篩選出落於蘭陽平原內之鑽孔進行彙整及分析。在強地動測站鑽探資料中，先依據土壤特性進行分類、篩選後，將相關數據利用統計方式，探討蘭陽平原內土層性質，最後利用迴歸分析，探討土層剪力波速特性與標準貫入N值的關係，本研究結果可供地方相關單位做為現地土層特性之參考。

二、蘭陽平原區地質概述

蘭陽平原約成一等邊三角形，主要是蘭陽溪和一些較小溪流的河口沖積而成，三個頂點為頭城、三星及蘇澳，每邊各長約30公里。平均標高約在海拔100公尺以下，由西向東逐漸降低，鐵道以東地形平坦標高約在5公尺，在頭城河與冬山河出海口一帶多在標高1.5公尺左右。蘭陽平原地下水相當接近地表，下游海岸沖積平原地下水平均在地面下5公尺以內。蘭陽平原為第四紀沖積層所覆蓋，其間土層厚度深淺不一，主要以變質岩與板岩所構成之礫石、砂土、粉土及黏土(陳銘鴻，2003)。

趙紹錚等(2008)曾對蘭陽平原的三維地體構造進行分析，對蘭陽平原地下土層

繪製兩條剖面線，分別為東西向及南北向的剖面線，剖面線涵蓋整個蘭陽平原。由東西向剖面可知沖積層由西向東增厚，由員山地區幾乎無沖積層向東增加至壯圍濱海地區約 90 公尺深；從南北向的剖面則可知沖積層最大的厚度在南邊。

趙紹錚等(2009)亦針對宜蘭地區表層土壤工程特性進行探討，表示蘭陽平原之地下土層性質，主要為粉黏土層與粉土質砂層交互沉積的沖積層所組成。其中，砂土層之級配均勻，SPT-N 值亦不高，顯示地層應為疏鬆至中等緊密狀態。

三、 資料收集

本研究所取得之強地動測站鑽探資料，為交通部中央氣象局與國家地震工程研究中心合作之全國強震測站場址工程地質資料庫建置計畫，主要進行自由場強震儀測站調查及資料建置工作。宜蘭地區在 89 年建置 8 個測站、90 年建置 20 個測站、91 年建置 1 個測站、92 年建置 1 個測站、93 年建置 3 個測站、95 年建置 5 個測站、96 年建置 3 個測站(其中包括 2 個重新調查測站)，共計 39 個測站資料。

彙整宜蘭地區測站調查的 39 個測站，其中蘭陽平原內有 30 個鑽探資料，國家地震工程研究中心依據 NEHRP (UBC, 1997)進行地下 30 公尺地盤分類調查，從調查中可知，蘭陽平原地下 30 公尺內主要為 D 類的普通地盤，其次為 C 類的堅實地盤，亦有部分的 E 類的軟弱地盤(表 2)。

強地動測站鑽探所調查資料包含如下：1.場址基本資料包括測站之座標、地下水位高程以及測站周圍環境描述；2.土壤基本物理性質資料，包括各個深度之標準貫入試驗值、統一土壤分類、土壤描述、土壤組成結構、單位重、含水量、比重、塑性指數及粒徑分佈曲線等；3.土壤波傳速度資料部份，則藉由不同的探測方式加以量得。

四、 土層分類及資料建置

4.1 土層分類

本研究蒐集蘭陽平原之鑽探資料，依據統一土壤分類之原則進行分類，分別建立資料庫，以下為土層資料分類原則：

1. 粗粒土壤分類

礫石的定義，本研究依據 USCS 分類為 G 開頭包含 GW、GP、GM 及 GC

之土壤歸類為礫石。

砂土的定義，趙基盛(1983)曾參考 Hanson & Thornburn (1974)說明，砂土的性質依據 N 值來分類可分為極疏鬆、疏鬆、中等緊密、緊密、極緊密，以不同的 N 值代表如表 3 所示。本研究則依據砂土的鬆緊程度分類為極鬆砂 (SPT-N<4)、疏鬆砂 (SPT-N=4~10)、中等砂 (SPT-N=10~30) 及緊密砂 (SPT-N=30~50) 四個程度的砂土特性。

2. 細粒土壤分類

以 Casagrande 的塑性圖(圖 1)，液性限度 (LL) 與塑性限度 (PL) 進行判定，分為低塑性黏土(CL)、低壓縮性粉土(ML)、粉土質黏土(CL-ML)、高塑性黏土(CH)及高壓縮性粉土(MH)。

以上說明之蘭陽平原土層分類原則及相關性質定義彙整如表 4。

4.2 資料建置

為維持資料庫的完整性，首先分別依據前述之 10 種不同類型的土壤，分別建置資料庫後，再進行資料篩選檢核工作。

本研究所建置蘭陽平原鑽探資料庫，依據目前一般工程上所需要使用的土壤性質資料，建置包括厚度、SPT-N 值、Gravel(%)、Sand(%)、Silt(%)、Clay(%)、D10(mm)、D30(mm)、D50(mm)、D60(mm)、濕單位重(t/m^3)、含水量(%)、比重、液性限度(%)、塑性指數(%)、S-Wave(m/s)及 P-Wave(m/s)。在彙整資料時，以每一筆資料的『鑽探編號』加上『取樣深度』予以編號，以便後續資料比對，如圖 2 所示，藍色框為每一筆資料的土壤性質項目，紅色框為編號。依據上述資料庫建置原則，蘭陽平原內鑽孔資料共計有 732 筆資料(圖 3)。

五、 篩選檢核

資料需經過品質查核的程序，確保將來研究結果的正確性及合理性。於篩選檢核時，若資料中有一項為需剔除項目，即直接剔除整筆資料，以下為篩選檢核重點項目：

1. 由於目前國內採用標準貫入試驗 N 值做為分析基礎者甚多，顯見標準貫入試驗 N 值之重要性；而剪力波速分析則為本研究分析的重要數據資料。因

此，在這個階段主要剔除為『無標準貫入 N 值』及『無剪力波速』的資料，如圖 4 資料庫內紅色標註部份。

2. 趙基盛(1983)表示，如砂土層上施築大規模結構物時，其 N 值須大於 50 方可視為承載層；有鑒於此，本研究定義標準貫入 N 值大於 50 時，即表示為承載層予以排除在本研究探討範圍之外。因此，如在土壤分類中出現 SPT-N 大於 50 也必須先予以篩選出來，如圖 5 砂土土層資料庫內紅色標註的部份為標準貫入 N 值大於 50 的資料。
3. 利用標準貫入 N 值與剪力波速繪製 X、Y 分布圖，檢視在所有資料趨勢範圍內裡是否有異常(過大或過小)的資料。如圖 6 所示，低塑性黏土資料庫的在 X、Y 分布圖中紅色圈起來的部份，其標準貫入 N 值為 4，剪力波速卻高達 409m/s，因此判斷此筆資料為異常的資料。
4. 本研究依據各土層性質之資料庫彙整後，利用統計之標準差方式篩選出各類土層的資料，分別計算平均值、標準差、變異數。本研究以兩個標準差的範圍內(機率 95.4%)為界，將超過兩個標準差範圍資料刪除。如圖 7 所示，在低塑性黏土資料庫內，標準貫入 N 值的兩個標準差上限為 24.01(下限為 -4.54)，因此可將超過上限值的資料予以剔除。

如圖 6 及圖 7 中以低塑性黏土資料庫及 X、Y 分布為例，可以發現資料庫在篩選後判定係數(R^2)也會隨著增加，可以發現資料經過篩選，資料的精確度都會有所提升，更符合該土層的土層特性。

本研究依據上述之資料篩選過程，如表 5 所示從 732 筆資料中刪除了 109 筆有疑義的鑽孔探資料，最後以 623 筆資料進行後續相關研究分析；依 10 種不同類型的土壤資料庫統計如表 6 所示。

六、 土壤基本性質

6.1 礫石層

標準貫入試驗 N 值(SPT-N)平均為 26，濕單位重平均為 $2.11(t/m^3)$ ，含水量平均為 8.86%，剪力波速平均為 316.43(m/s)。

6.2 砂土層

本研究依標準貫入 N 值將砂土層分為四類：

極鬆砂，標準貫入試驗 N 值(SPT-N)平均為 3，濕單位重平均為 $1.76(t/m^3)$ ，含

水量平均為 28.01%，剪力波速平均為 217.78(m/s)；

疏鬆砂，標準貫入試驗 N 值(SPT-N)平均為 7，濕單位重平均為 1.87(t/m³)，含水量平均為 23.33%，剪力波速平均為 223.41(m/s)；

中等砂，標準貫入試驗 N 值(SPT-N)平均為 20，濕單位重平均為 1.92(t/m³)，含水量平均為 21.96%，剪力波速平均為 277.66(m/s)；

緊密砂，標準貫入試驗 N 值(SPT-N)平均為 39，濕單位重平均為 2.00(t/m³)，含水量平均為 18.84%，剪力波速平均為 328.15(m/s)。

6.3 粉黏土層

本研究利用 Casagrande 的塑性圖將粉黏土層分為五類：

低塑性黏土，標準貫入試驗值(SPT-N)平均為 8，濕單位重平均為 1.84(t/m³)，含水量平均為 33.61%，剪力波速平均為 214.92(m/s)；

低壓縮性粉土，標準貫入試驗值(SPT-N)平均為 11，濕單位重平均為 1.83(t/m³)，含水量平均為 31.03%，剪力波速平均為 231.26(m/s)；

粉土質黏土，標準貫入試驗值(SPT-N)平均為 10，濕單位重平均為 1.84(t/m³)，含水量平均為 29.44%，剪力波速平均為 242.77(m/s)；

高塑性黏土，標準貫入試驗值(SPT-N)平均為 23，濕單位重平均為 1.89(t/m³)，含水量平均為 28.09%，剪力波速平均為 279.48(m/s)；

高壓縮性粉土，標準貫入試驗值(SPT-N)平均為 8，濕單位重平均為 1.76(t/m³)，含水量平均為 37.30%，剪力波速平均為 214.74(m/s)。

6.4 小結

本研究將蘭陽平原土壤性質分為 10 種，分別進行彙整並統計結果，詳見於表 7。大致上，隨著標準貫入 N 值越大剪力波速也會增大；另外也發現蘭陽平原內的緊密砂土層的標準貫入 N 值較礫石層大。蘭陽平原地下土層的標準貫入 N 值最大為緊密砂，其次依序為礫石，最小為極鬆砂。在剪力波速資料中最大值亦為緊密砂，其次依序為礫石，最小值為極鬆砂。

七、迴歸分析

7.1 文獻回顧

不同土層特性會影響標準貫入 N 值與剪力波速的關係，歷年來已有許多土壤剪力波速迴歸公式提出，分別對各種土壤特性或現場條件進行探討，並提出影響現地剪力波速高低的因子主要有：標準貫入 N 值、深度、地質年代、土壤種類等。從較早期 Kanai 等人(1966)使用微地動量測的資料建立剪力波速與標準貫入 N 值的關係，到近期 Chen et al. (2004)以懸盪式井測資料擷取系統所量測得到的剪力波數，可迴歸分析出標準貫入 N 值、深度、與剪力波速度的經驗式。一般常會將土層依地質年代、土壤種類分類，再分別求其迴歸公式；蔡璧孺(2007)詳細地彙整歷年以來，各種土壤特性和現場條件進行探討的文獻。

7.2 分析資料

本研究所探討的蘭陽平原土層年代為第四紀沖積層，而依土層特性可細分為 10 類。由於在標準貫入試驗中重錘敲擊到礫石會造成 N 值異常升高，若土層內有礫石存在會則可能無法反應 N 值與剪力波速關連性。因此，在此分析階段不考慮『礫石層』資料；又因分析數據的多寡亦會影響分析數據的結果，在此將性質相輔的土層資料庫合併，併分為砂土、粉土、黏土及粉土質黏土來進行迴歸分析。

7.3 分析結果

本研究以剪力波速及標準貫入試驗 N 值的迴歸分析，探討兩者的相關性，分析結果如圖 8，各土層迴歸公式如下(7.1~7.4)。

$$\text{砂土：} V_s = 150.1N^{0.2038} \quad (7.1)$$

$$\text{粉土：} V_s = 129.75N^{0.2569} \quad (7.2)$$

$$\text{黏土：} V_s = 162.48N^{0.1405} \quad (7.3)$$

$$\text{粉土質黏土：} V_s = 124.83N^{0.3189} \quad (7.4)$$

當現有地質鑽探資料無剪力波速值時，便可經由本研究提出之迴歸公式，利用現場標準貫入 N 值予以估計，獲得規劃設計工作時所需用之土壤動態參數。

八、 結論

本研究利用國家地震中心之強震測站資料，建置蘭陽平原鑽探資料庫，依序進行分類、篩選、統計及迴歸分析，並獲得以下結論：

1. 屬第四紀沖積層的蘭陽平原地下土壤，於本研究中分為10個不同特性類型。
2. 本研究分析結果中發現，無論土壤顆粒大小，若標準貫入試驗 N 值大，則剪力波速度也會隨之增加。
3. 蘭陽平原各類土層資料庫內之資料，乃為通過 4 次的檢核所產生的資料，採用經篩選可信的資料，以避免剪力波速及標準貫入試驗 N 值過度離散，並使該公式更具蘭陽平原代表性。
4. 本研究在蘭陽平原的土層特性統計中發現，緊密砂土層及礫石層的土壤特性關係，仍有探討的空間。

參考文獻

- [1] 宜蘭縣政府，1990，宜蘭縣的地質與地形。
- [2] 營建雜誌社，2006，“建築物耐震設計規範及解說”，內政部營建署。
- [3] Uniform Building Code (UBC), 1997 , National Earthquake Hazards Reduction Program (NEHRP).
- [4] 陳銘鴻、李榮瑞、王明朝，2003，“宜蘭地區淺層剪力波速”，第十屆大地工程學術研討會論文集，A45。
- [5] 趙紹錚、黃宏謀、許志豪，2008，“蘭陽平原三維淺層地下結構之探討”，宜蘭大學工程學刊，第四期，pp.53-74。
- [6] 趙紹錚、周銘璋、徐瑩潔，2009，“宜蘭地區地質概論與土層特徵”，宜蘭大學工程學刊，第五期，pp.1-16。
- [7] 趙基盛、陳福盛，1983，“標準貫入試驗在基礎設計之用”，土工技術雜誌，第3期，第63~74頁。
- [8] 蔡璧孺，2007，台灣自由場強震站場址分類之進一步研究，碩士論文，應用地質學系，國立中央大學，中壢，台灣。

表 1 NEHRP(UBC, 1997)及建築物耐震設計規範(內政部營建署,2006)地盤分類表

NEHRP Site Class	地盤分類 (內政部)	Vs (30m)	N (30m)
A	-	Vs .GE. 1500m/sec	
B	-	760m/sec .LE. Vs .LT. 1500m/sec	
C	第一類地盤 (堅實地盤)	360m/sec .LE. Vs .LT. 760m/sec	N .GE. 50
D	第二類地盤 (普通地盤)	180m/sec .LE. Vs .LT. 360m/sec	15 .LE. N .LT.50
E	第三類地盤 (軟弱地盤)	Vs .LT. 180m/sec	N .LT. 15

表 2 宜蘭地區已調查資料統計

本次研究蘭陽平原鑽孔資料 (樣本數：30 孔)							
站碼	站名	高程 (m)	調查年份 (西元)	鑽井深度 (m)	PS Logger 測量深度(m)	30m 平均剪力 波速(m/sec)	1997(NEHRP,UBC) 地盤分類
ILA003	玉田國小	2	2001	109	106.5	265.55	D
ILA004	壯圍國小	2	2000	66	44	121.45	E
ILA005	孝威國小	2	2001	40	37.2	237.21	D
ILA006	育英國小	8	2001	40	38	276.37	D
ILA008	學進國小	5	2000;2007	10.85;35.00	0;32.0	290.7	D
ILA013	育才國小	10	2000	24	19	204.65	D
ILA014	大洲國小	20	2001	30	23.5	322.17	D
ILA016	大湖國小	35	2001	40	37.2	269.71	D
ILA017	內城國小	30	2006	35	31.5	627.42	C
ILA018	萬富國小	50	2006	35	32.5	497.47	C
ILA026	羅東國小	3	2001	40	37.2	237.5	D
ILA027	竹林國小	7	2000	15.26	11	238.68	D
ILA028	中山國小	5	2001	40	36.5	218.38	D
ILA029	新生國小	6	2001	40	36.5	186.97	D
ILA030	凱旋國小	4	2001	40	38	198.51	D
ILA032	馬賽國小	5	2001	40	36.5	296.52	D
ILA033	頭城國小	2	2004	35	31	253.57	D
ILA035	礁溪國小	25	2006	35	33	293.1	D
ILA037	員山國小	11	2001	40	35.5	212.93	D
ILA038	七賢國小	9	2001	40	37	243.85	D
ILA039	同樂國小	13	2001	40	37	222.81	D
ILA041	新南國小	4	2001	120	104	194.18	D
ILA042	五結國小	4	2001	40	37	213.18	D
ILA044	順安國小	7	2000	30	27	156.8	E

本次研究蘭陽平原鑽孔資料 (樣本數：30 孔)							
站碼	站名	高程 (m)	調查年份 (西元)	鑽井深度 (m)	PS Logger 測量深度(m)	30m 平均剪力 波速(m/sec)	1997(NEHRP,UBC) 地盤分類
ILA046	廣興國小	60	2001	31.48	28	393.83	C
ILA048	慈雲寺	1	2001	40	34.4	192.12	D
ILA049	宜蘭(ILA)	7	2000	17.6	13	202.32	D
ILA055	公館國小	2	2001	40	37.5	265.96	D
ILA056	過嶺國小	2	2001	40	37.5	221.29	D
ILA059	利澤國中	8	2001	40	37	232.24	D
蘭陽平原以外鑽孔資料 (樣本數：9 孔)							
ILA020	雙連分校	100	2002	35	33	453.55	C
ILA031	蘇澳國小	20	2003	35	32.5	657.39	C
ILA050	金洋(ENA)	113	2000;2007	10.1;35.0	0;32.5	626.57	C
ILA051	內城(TWE)	20	2000	12	0	N/A	N/A
ILA053	澳花國小	19	2004	35	32.5	534.66	C
ILA054	大里國小	53	2006	30	28.5	771.41	B
ILA061	東澳國小	15	2006	35	32.5	502.05	C
ILA063	四季國小	310	2004	35	31	1002.67	B
ILA066	武塔國小	52	2007	35	31.5	477.63	C

表 3 Hanson & Thornburn (1974) 砂土分類

砂質土壤性質	N 值
極疏鬆	<4
疏鬆	4-10
中等	10-30
緊密	30-50
極緊密	>50

表 4 本研究之蘭陽平原土壤分類表

分類符號		分類描述	分類性質定義	
1.	G	礫石	USCS 分類已 G 開頭, SPT-N>50	
2.	S	極鬆砂	SPT-N <4	
3.		疏鬆砂		4-10
4.		中等砂		10-30
5.		緊密砂		30-50
6.	CL	低塑性黏土	LL<50, PI>7 且在 "A" 線或上方	
7.	ML	粉土	LL<50, PI<4 且在 "A" 線下方	
8.	CL-ML	粉土質黏土	阿太堡試驗在斜線範圍內	
9.	CH	高塑性黏土	LL>50, PI>7 且在 "A" 線或上方	
10.	MH	彈性粉土	LL>50, PI<4 且在 "A" 線下方	

表 5 蘭陽平原資料篩選統計表

篩選項目	資料數
原使鑽孔資料數	732
(1) 『無』標準貫入 N 值及剪力波速資料數	76
(2) 標準貫入 N 值大於 50 資料數	9
(3) Vs 大於兩個標準差數值分布異常、不合理	2
(4) Vs 大於兩個標準差數值大於兩個標準差	22
剩餘資料數	623

表 6 蘭陽平原 10 種不同類型的土壤資料庫統計表

分類符號	分類描述	資料量	
1. G	礫石	38	
2.	S	極鬆砂	8
3.		疏鬆砂	52
4.		中等砂	256
5.		緊密砂	33
6. CL	低塑性黏土	92	
7. ML	粉土	119	
8. CL-ML	粉土質黏土	10	
9. CH	高塑性黏土	4	
10. MH	彈性粉土	11	

表 7 蘭陽平原土壤性質表

分類符號	統計值	標準貫入 N 值	礫石含量	砂土含量	粉土含量	黏土含量	濕單位重	含水量	比重	液性限度	塑性指數	S 波-波速	P 波-波速
	單位		%	%	%	%	(t/m) ³	%		%	%	m/s	m/s
礫石	平均值	25.89	57.47	34.66	6.55	1.32	2.11	8.86	2.66	-	NP	316.43	1809.77
	標準差	13.14	6.00	5.28	3.18	1.17	0.19	3.15	0.01	-	NP	110.99	141.32
	變異數	0.51	0.10	0.15	0.49	0.89	0.09	0.36	0.00	-	NP	0.35	0.08
極鬆砂	平均值	2.56	3.88	63.25	27.38	5.50	1.76	28.01	2.69	-	NP	217.78	1709.93
	標準差	0.58	6.94	8.67	8.59	5.39	0.13	5.09	0.01	-	NP	56.28	123.36
	變異數	0.23	1.79	0.14	0.31	0.98	0.07	0.18	0.00	-	NP	0.26	0.07
疏鬆砂	平均值	6.94	2.00	78.24	17.18	2.85	1.87	23.33	2.66	0.38	1.87	223.41	1599.96
	標準差	2.00	6.97	13.24	10.89	4.07	0.13	5.58	0.02	0.62	0.13	42.72	230.27
	變異數	0.29	3.49	0.17	0.63	1.43	0.07	0.24	0.01	1.64	0.07	0.19	0.14
中等砂	平均值	20.30	2.83	78.08	17.23	1.92	1.92	21.96	2.66	0.51	0.20	277.66	1648.03
	標準差	5.19	9.70	11.78	9.12	3.04	0.14	5.97	0.01	7.57	8.07	46.57	90.94
	變異數	0.26	3.43	0.15	0.53	1.58	0.07	0.27	0.01	14.94	40.83	0.17	0.06
緊密砂	平均值	39.15	14.70	61.00	22.55	1.76	2.00	18.48	2.68	1.03	0.37	328.15	1773.90
	標準差	7.27	17.12	13.91	12.76	2.96	0.20	7.03	0.02	0.00	0.00	59.28	129.36
	變異數	0.19	1.17	0.23	0.57	1.69	0.10	0.38	0.01	0.00	0.00	0.18	0.07
低塑性黏土	平均值	7.78	0.00	4.97	64.56	30.47	1.84	33.61	2.71	37.09	15.91	214.92	1608.43
	標準差	4.44	0.00	7.07	16.85	17.74	0.10	6.78	0.03	5.30	4.55	47.92	137.07
	變異數	0.57	0.00	1.42	0.26	0.58	0.06	0.20	0.01	0.14	0.29	0.22	0.09
低壓縮性粉土	平均值	10.73	0.32	13.99	67.37	18.32	1.83	31.03	2.71	17.61	5.08	231.26	1613.44
	標準差	7.35	2.01	14.01	14.83	16.33	0.09	4.92	0.03	6.25	5.10	59.62	129.84
	變異數	0.69	6.20	1.00	0.22	0.89	0.05	0.16	0.01	0.35	1.00	0.26	0.08
粉土質黏土	平均值	9.50	0.00	10.40	61.50	28.10	1.84	29.44	2.73	26.38	6.25	242.77	1564.73
	標準差	6.56	0.00	9.37	15.67	14.49	0.12	4.67	0.00	1.93	1.09	89.41	59.19
	變異數	0.69	0.00	0.90	0.25	0.52	0.07	0.16	0.00	0.07	0.17	0.37	0.04
高塑性黏土	平均值	22.75	0.00	4.50	62.75	32.75	1.89	28.09	2.73	60.25	34.00	279.48	1634.25
	標準差	10.92	0.00	1.50	10.64	11.90	0.11	5.32	0.00	5.45	3.39	65.71	50.83
	變異數	0.48	0.00	0.33	0.17	0.36	0.06	0.19	0.00	0.09	0.10	0.24	0.03
高壓縮性粉土	平均值	7.64	0.00	3.00	49.36	47.64	1.76	37.30	2.73	49.25	20.05	214.74	1617.03
	標準差	3.75	0.00	1.41	15.52	15.41	0.07	2.60	0.00	4.27	5.36	28.94	85.04
	變異數	0.49	0.00	0.47	0.31	0.32	0.04	0.07	0.00	0.09	0.27	0.13	0.05

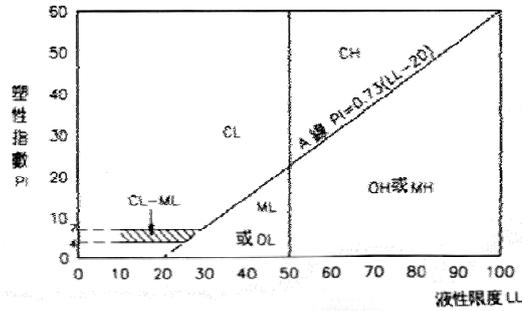


圖 1 Casagrande 塑性圖

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
編號	土質	含水量 (%)	SPT-N	USCS	Gravel (%)	Sand (%)	SH (%)	Clay (%)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	液性指數 (I _p)	含水量 (%)	比重	塑性指數 (I _p)	S-Wave	P-Wave																												
1	ILA003 (1.5)	1.5	1	CL	0	23	62	15	0.003	0.01	0.036	0.05	1.90	21	2.72	47	22	244.755	1785.714																										
2	ILA003 (3.0)	3	1.5	CL	0	2	55	43	0.0023	0.006	0.0272	1.66	41	2.73	46	22	246.303	1470.388																											
3	ILA003 (6.0)	6	11	SP-SM	0	90	10	0	0.07	0.18	0.26	1.75	23	2.66	-	NP	246.303	1612.900																											
4	ILA003 (7.5)	7.5	5	SM	0	86	14	0	0.051	0.15	0.2	0.24	1.78	23	2.66	-	NP	274.725	1515.152																										
5	ILA003 (9.0)	9	9	SM	0	85	15	0	0.05	0.18	0.28	0.32	1.97	23	2.66	-	NP	252.525	1831.853																										
6	ILA003 (10.5)	10.5	13	SM	0	79	21	0	0.039	0.14	0.2	0.24	2.05	21	2.66	-	NP	294.118	1831.853																										
7	ILA003 (12)	12	8	ML	0	38	62	0	0.02	0.041	0.061	0.078	1.70	28	2.71	-	NP	260.417	1562.300																										
8	ILA003 (14.35)	14.35	9	SM	0	35	45	0	0.022	0.052	0.083	0.12	1.85	28	2.71	-	NP	282.714	282.714																										
9	ILA003 (16.5)	16.5	7	CL	0	2	59	33	0.0039	0.008	0.012	1.65	42	2.73	35	18	239.017	1562.300																											
10	ILA003 (18.0)	18	4	CL	0	10	53	37	0.003	0.0073	0.009	1.86	37	2.73	40	15	239.067	1562.300																											
11	ILA003 (19.5)	19.5	16	SP-SM	0	88	12	0	0.038	0.17	0.21	0.23	1.91	26	2.66	-	NP	260.417	1666.667																										
12	ILA003 (21.0)	21	18	SP-SM	0	91	9	0	0.036	0.18	0.25	0.28	1.81	27	2.63	-	NP	264.500	1562.300																										
13	ILA003 (23.45)	23.45	17	SM	1	79	20	0	0.055	0.16	0.22	0.26	1.99	21	2.66	-	NP	279.330	1562.300																										
14	ILA003 (25.5)	25.5	18	SP-SM	0	91	9	0	0.034	0.23	0.33	0.39	1.79	25	2.63	-	NP	292.398	1562.300																										
15	ILA003 (27.0)	27	18	SM	0	83	17	0	0.071	0.18	0.26	0.295	1.92	22	2.66	-	NP	264.500	1612.903																										
16	ILA003 (28.5)	28.5	18	SP-SM	0	89	11	0	0.034	0.23	0.32	0.39	1.89	23	2.63	-	NP	271.739	1612.903																										
17	ILA003 (30.0)	30	15	SM	0	74	26	0	0.059	0.11	0.19	0.2	1.90	25	2.65	-	NP	274.725	1562.300																										
18	ILA003 (31.5)	31.5	21	SM	0	82	18	0	0.075	0.17	0.26	0.35	1.81	24	2.66	-	NP	241.5	1639.3																										
19	ILA003 (33.0)	33	16	SM	17	68	15	0	0.075	0.2	0.29	0.35	1.87	22	2.66	-	NP	222.2	1639.3																										
20	ILA003 (34.5)	34.5	16	SM	0	80	19	1	0.037	0.14	0.21	0.24	1.93	24	2.67	-	NP	230.4	1612.9																										
21	ILA003 (36.0)	36	18	SM	0	76	24	0	0.049	0.1	0.19	0.22	1.92	25	2.67	-	NP	250	1612.9																										
22	ILA003 (37.5)	37.5	21	SM	0	86	14	0	0.06	0.18	0.26	0.31	1.71	23	2.66	-	NP	251.5	1587.3																										
23	ILA003 (39.0)	39	21	SM	0	72	28	0	0.049	0.11	0.17	0.2	1.87	27	2.66	-	NP	266.7	1515.2																										
24	ILA003 (40.5)	40.5	24	SM	0	81	19	0	0.05	0.16	0.22	0.27	1.84	23	2.67	-	NP	264.6	1612.9																										
25	ILA003 (42.0)	42	16	CL	0	2	72	26	0.0067	0.016	0.022	1.77	32	2.73	-	NP	243.9	1612.9																											
26	ILA003 (43.5)	43.5	17	SM	0	86	14	0	0.061	0.15	0.2	0.23	1.81	27	2.66	-	NP	282.5	1612.9																										
27	ILA003 (45.0)	45	15	ML	0	39	61	0	0.024	0.05	0.069	0.085	1.80	21	2.71	-	NP	262.2	1587.3																										
28	ILA003 (46.5)	46.5	22	SM	0	83	17	0	0.05	0.14	0.19	0.21	1.91	26	2.67	-	NP	241.5	1612.9																										
29	ILA003 (48.0)	48	22	SM	0	79	21	0	0.05	0.14	0.19	0.21	1.93	23	2.67	-	NP	277.8	1639.3																										
30	ILA003 (49.5)	49.5	25	SM	0	83	12	3	0.037	0.13	0.17	0.19	1.77	28	2.66	-	NP																												

圖 2 資料建置圖

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46
編號 (ID)	土質	含水量 (%)	SPT-N	USCS	Gravel (%)	Sand (%)	SH (%)	Clay (%)	D ₁₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	液性指數 (I _p)	含水量 (%)	比重	塑性指數 (I _p)	S-Wave	P-Wave																												
1	ILA003 (1.5)	1.5	1	CL	0	23	62	15	0.003	0.01	0.036	0.05	1.90	21	2.72	47	22	244.755	1785.714																										
2	ILA003 (3.0)	3	1.5	CL	0	2	55	43	0.0023	0.006	0.0272	1.66	41	2.73	46	22	246.303	1470.388																											
3	ILA003 (6.0)	6	11	SP-SM	0	90	10	0	0.07	0.18	0.26	1.75	23	2.66	-	NP	246.303	1612.900																											
4	ILA003 (7.5)	7.5	5	SM	0	86	14	0	0.051	0.15	0.2	0.24	1.78	23	2.66	-	NP	274.725	1515.152																										
5	ILA003 (9.0)	9	9	SM	0	85	15	0	0.05	0.18	0.28	0.32	1.97	23	2.66	-	NP	252.525	1831.853																										
6	ILA003 (10.5)	10.5	13	SM	0	79	21	0	0.039	0.14	0.2	0.24	2.05	21	2.66	-	NP	294.118	1831.853																										
7	ILA003 (12)	12	8	ML	0	38	62	0	0.02	0.041	0.061	0.078	1.70	28	2.71	-	NP	260.417	1562.300																										
8	ILA003 (14.35)	14.35	9	SM	0	35	45	0	0.022	0.052	0.083	0.12	1.85	28	2.71	-	NP	282.714	282.714																										
9	ILA003 (16.5)	16.5	7	CL	0	2	59	33	0.0039	0.008	0.012	1.65	42	2.73	35	18	239.017	1562.300																											
10	ILA003 (18.0)	18	4	CL	0	10	53	37	0.003	0.0073	0.009	1.86	37	2.73	40	15	239.067	1562.300																											
11	ILA003 (19.5)	19.5	16	SP-SM	0	88	12	0	0.038	0.17	0.21	0.23	1.91	26	2.66	-	NP	260.417	1666.667																										
12	ILA003 (21.0)	21	18	SP-SM	0	91	9	0	0.036	0.18	0.25	0.28	1.81	27	2.63	-	NP	264.500	1562.300																										
13	ILA003 (23.45)	23.45	17	SM	1	79	20	0	0.055	0.16	0.22	0.26	1.99	21	2.66	-	NP	279.330	1562.300																										
14	ILA003 (25.5)	25.5	18	SP-SM	0	91	9	0	0.034	0.23	0.33	0.39	1.79	25	2.63	-	NP	292.398	1562.300																										
15	ILA003 (27.0)	27	18	SM	0	83	17	0	0.071	0.18	0.26	0.295	1.92	22	2.66	-	NP	264.500	1612.903																										
16	ILA003 (28.5)	28.5	18	SP-SM	0	89	11	0	0.034	0.23	0.32	0.39	1.89	23	2.63	-	NP	271.739	1612.903																										
17	ILA003 (30.0)	30	15	SM	0	74	26	0	0.059	0.11	0.19	0.2	1.90	25	2.65	-	NP	274.725	1562.300																										
18	ILA003 (31.5)	31.5	21	SM	0	82	18	0	0.075	0.17	0.26	0.35	1.81	24	2.66	-	NP	241.5	1639.3																										
19	ILA003 (33.0)	33	16	SM	17	68	15	0	0.075	0.2	0.29	0.35	1.87	22	2.66	-	NP	222.2	1639.3																										
20	ILA003 (34.5)	34.5	16	SM	0	80	19	1	0.037	0.14	0.21	0.24	1.93	24	2.67	-	NP	230.4	1612.9																										
21	ILA003 (36.0)	36	18	SM	0	76	24	0	0.049	0.1	0.19	0.22	1.92	25	2.67	-	NP	250	1612.9																										
22	ILA003 (37.5)	37.5	21	SM	0	86	14	0	0.06	0.18	0.26	0.31	1.71	23	2.66	-	NP	251.5	1587.3																										
23	ILA003 (39.0)	39	21	SM	0	72	28	0	0.049	0.11	0.17	0.2	1.87	27	2.66	-	NP	266.7	1515.2																										
24	ILA003 (40.5)	40.5	24	SM	0	81	19	0	0.05	0.16	0.22	0.27	1.84	23	2.67	-	NP	264.6	1612.9																										
25	ILA003 (42.0)	42	16	CL	0	2	72	26	0.0067	0.016	0.022	1.77	32	2.73	-	NP	243.9	1612.9																											
26	ILA003 (43.5)	43.5	17	SM	0	86	14	0	0.061	0.15	0.2	0.23	1.81	27	2.66	-	NP	282.5	1612.9																										
27	ILA003 (45.0)	45	15	ML	0	39	61	0	0.024	0.05	0.069	0.085	1.80	21	2.71	-	NP	262.2	1587.3																										
28	ILA003 (46.5)	46.5	22	SM	0	83	17	0	0.05	0.14	0.19	0.21	1.91	26	2.67	-	NP	241.5	1612.9																										
29	ILA003 (48.0)	48	22	SM	0	79	21	0	0.05	0.14	0.19	0.21	1.93	23	2.67	-	NP	277.8	1639.3																										
30	ILA003 (49.5)	49.5	25	SM	0	83	12	3	0.037	0.13	0.17	0.19	1.77	28	2.66	-	NP																												

圖 3 蘭陽平原內不分區域不分土壤種類資料建置圖

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
編號(ID)	深度(m)	SPT-N	USCS	Grav砂%	Sand%	Silt%	Clay%	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	隙率(%)	含水量(%)	比價	砂率(%)	塑性指數(%)	S-Wave	P-Wave	
1	II.A020 (1.05)	10.5	4	CH	0	8	57	33	0.000	0.006	0.012	0.026	1.47	43	2.72	50	26	1940.784	
2	II.A020 (2.55)	2.55	5	CH	0	10	50	40	0.001	0.010	0.027	0.039	1.71	31	2.71	51	24	1811.852	
3	II.A020 (4.05)	4.05	7	CH	0	1	51	48	0.002	0.012	0.025	0.034	1.71	35	2.70	23	320.513		
4	II.A020 (14.55)	14.55	42	CH	0	2	54	44	0.002	0.030	0.066	0.171	1.96	21	2.68	54	29	438.716	
5	II.A020 (35.0)	35	95	CH	0	1	62	37	0.005	0.058	0.246	0.424	2.03	17	2.68	50	27	617.284	
6	II.A020 (25.5)	25.5	13	CH	0	3	53	44	-	0.0016	0.0028	0.0079	1.90	20.33	2.73	51	30	224.200	
7	II.A020 (25.5)	25.5	13	CH	0	3	53	44	-	0.0016	0.0028	0.0079	1.90	20.33	2.73	51	30	224.200	
8	II.A041 (6.0)	6	0	CH	0	3	48	49	-	0.0019	0.005	0.0063	1.50	44	2.73	39	38	173.900	
9	II.A041 (27.0)	27	11	CH	0	4	52	44	-	0.0027	0.0033	0.0064	1.71	36	2.73	63	39	204.100	
10	II.A041 (93.0)	93	31	CH	0	4	69	27	-	0.0035	0.009	0.011	1.99	26	2.73	62	32	344.800	
11	II.A041 (94.5)	94.5	36	CH	0	7	77	16	-	0.0028	0.011	0.023	0.83	1.97	21	2.73	65	35	344.800
12	II.A041 (117.0)	117	38	CH	0	17	54	29	-	0.0028	0.0051	0.033	0.94	2.06	21	2.73	75	37	344.800
13	II.A018 (17)	17	94	GP-GM	69	35	4	2	0.222	4.235	19.417	30.488	2.11	10	2.66	-	-	473.934	
14	II.A018 (30.0)	30.00	71	GP-GM	32	38	9	1	0.88	1	3.3	9.3	2.44	6	2.67	-	-	444.444	
15	II.A018 (2.55)	2.55	64	GP-GM	60	33	6	1	0.183	2.599	9.959	15.259	2.20	8	2.66	-	-	444.444	
16	II.A014 (20.0)	20.00	65	GP-GM	51	38	10	1	0.08	1.3	5	9.5	1.99	6	2.67	-	-	323.281	
17	II.A044 (21.0)	21.00	61	GP	69	28	4	0	0.663	4.047	8.0	10.0	2.40	8	2.66	-	-	476.190	
18	II.A014 (25.0)	25.00	28	GP-GM	24	37	8	1	0.13	1.9	3.2	2.90	2.00	8	2.66	-	-	323.281	
19	II.A033 (7.05)	7.05	52	GM	46	41	12	1	0.065	1.242	4.032	5.907	1.98	8	2.66	-	-	0.000	
20	II.A014 (26.00)	26.00	21	GP-GM	70	25	3	0	0.3	4.9	10.3	10.7	1.88	7	2.63	-	-	0.000	
21	II.A046 (29.02)	29.02	50	GP-GM	51	30	9	2	0.869	1.147	5.179	8.403	2.45	6	2.66	-	-	0.000	
22	II.A046 (31.49)	31.49	50	GP-GM	51	30	9	2	0.869	1.147	5.179	8.403	2.45	6	2.66	-	-	0.000	
23	II.A066(24.69)	23.55-23.69	50	GP-GM	65	29	4	2	0.417	3.523	7.088	9.266	1.87	7	2.65	-	-	613.497	
24	II.A066(24.75)	20.45-24.75	50	GP-GM	58	39	1	2	0.483	2.183	6.297	8.993	2.14	8	2.65	-	-	598.802	
25	II.A066(25.75)	5.55-5.75	50	GP-GM	49	43	6	2	0.163	1.293	4.582	7.959	2.05	1	2.67	-	-	423.729	

圖 4 資料庫中無標準貫入 N 值及剪力波速資料情形

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
編號(ID)	深度(m)	SPT-N	USCS	Grav砂%	Sand%	Silt%	Clay%	D ₅₀ (mm)	D ₆₀ (mm)	D ₃₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	隙率(%)	含水量(%)	比價	砂率(%)	塑性指數(%)	S-Wave	P-Wave
1	II.A003 (10.0)	10.0	3	CL	0	61	20	0	0.026	0.061	0.005	0.19	1.90	26	2.7	NP	100.000	320.133
2	II.A003 (61.5)	61.5	39	SM	0	60	40	0	0.039	0.061	0.12	0.15	1.82	25	2.71	-	-	333.333
3	II.A003 (66.0)	66	35	SM	0	70	27	5	0.014	0.08	0.16	0.17	1.84	25	2.68	-	-	337.143
4	II.A003 (93.0)	93	35	SM	0	33	45	2	0.01	0.012	0.028	0.038	1.94	28	2.71	-	-	328.947
5	II.A008 (10.5)	10.05-10.50	50	SP-SM	34	59	6	1	0.200	0.698	1.741	3.233	1.87	14	2.66	-	-	373.134
6	II.A008 (16.5)	16.05-16.50	50	SP-SM	4	68	7	1	0.150	0.442	0.825	0.743	1.87	20	2.66	-	-	373.134
7	II.A008 (17.78)	17.55-17.78	50	SP-SM	25	66	6	2	0.187	0.514	0.803	1.290	1.84	18	2.65	-	-	380.898
8	II.A013 (19.5)	19.5	73	SM	12	37.3	27	3.3	0.3092	0.037	0.2	0.33	1.84	13.98	2.60	-	-	199
9	II.A014 (21.5)	21.50	35	SM	7	80	13	0	0.065	0.33	0.69	0.92	1.94	17	2.66	-	-	398.507

圖 5 資料庫中標準貫入 N 值大於 50 情形

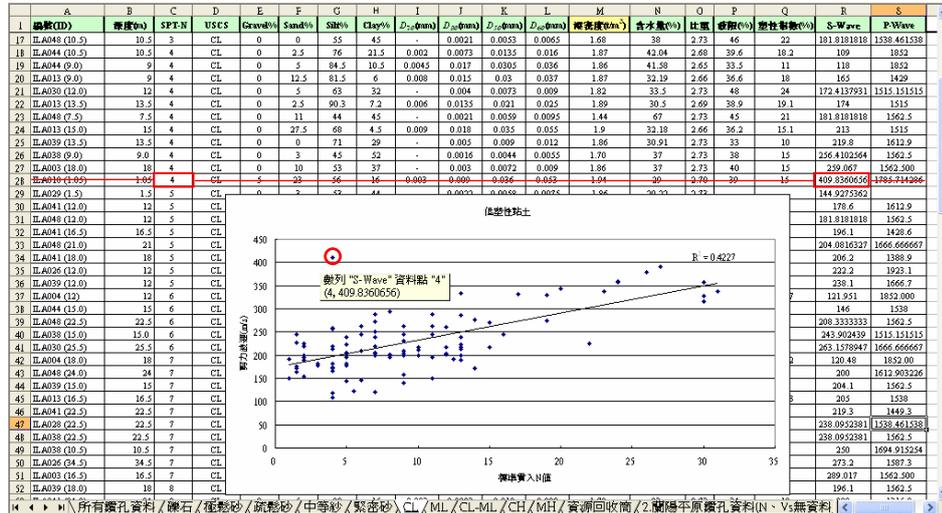
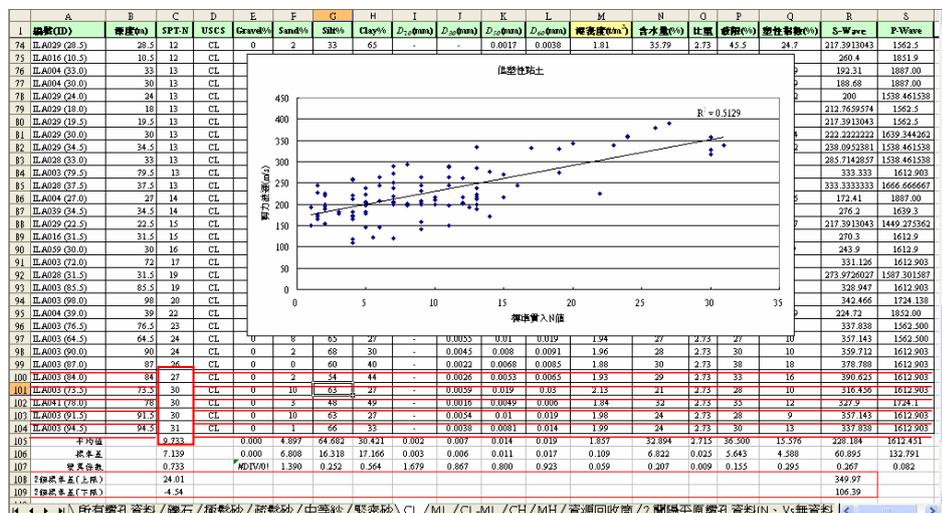


圖 6 資料庫中標準貫入 N 值與剪力波速關係異常情形



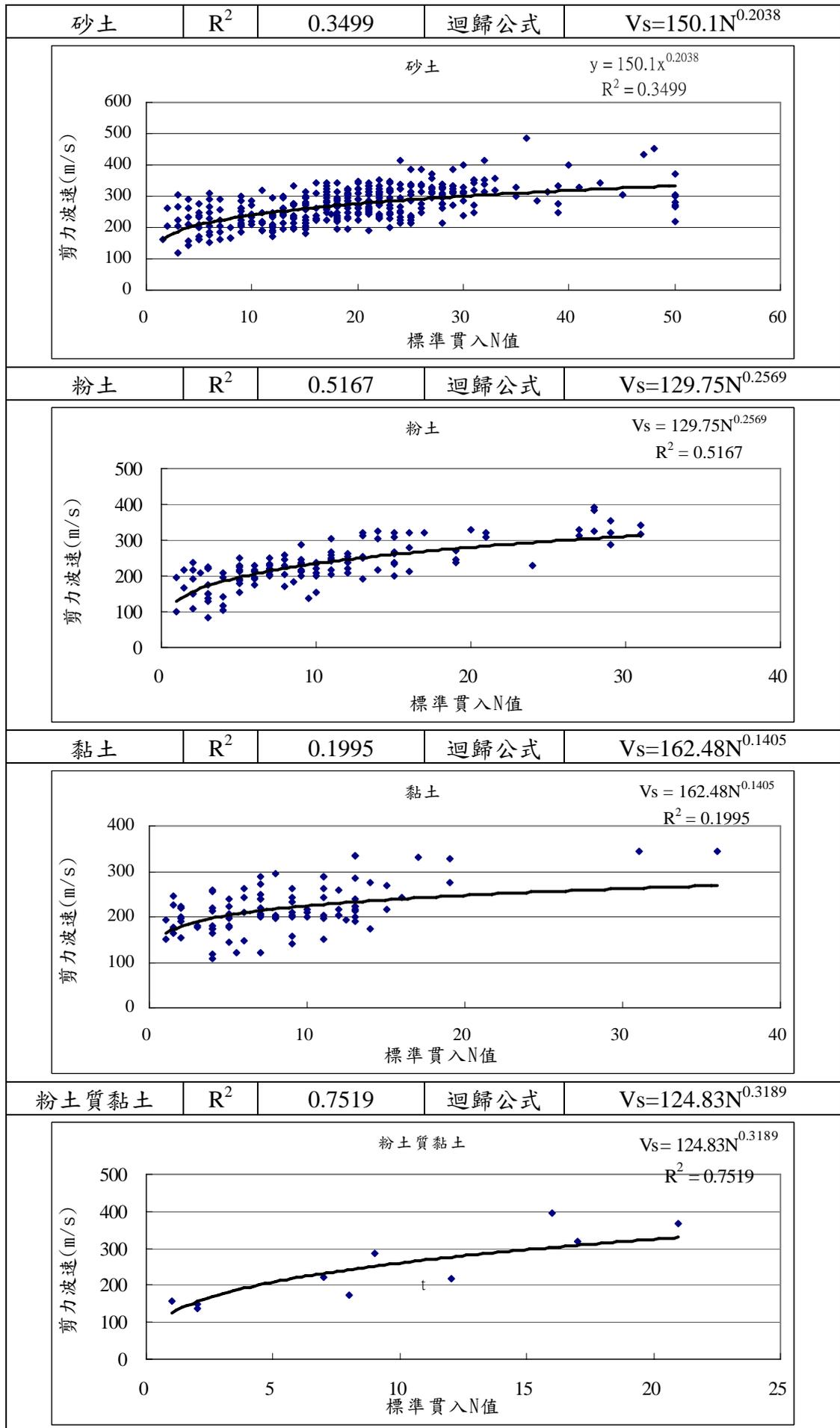


圖 8 各土層剪力波速及標準貫入試驗 N 值迴歸關係分析圖

