



國立宜蘭大學

工學院

土木工程學系

(大學部四年級)

專題研究成果競賽

精簡報告

土壤液化評估 HBF 法

與

地下水位變化對於液化潛能指數之影響

組 員： 洪嘉隆

林沂韻

胡連盛

指導老師： 趙紹錚 老師

中華民國 111 年 11 月 27 日

國立宜蘭大學 高教深耕計畫 土壤液化評估HBF法&地下水位對於液化潛能指數之影響

洪嘉隆^{1,*}、林沂韻¹、胡連盛¹、趙紹錚²

¹ 國立宜蘭大學土木工程學系專題生

² 國立宜蘭大學土木工程學系 教授

Email: chao@niu.edu.tw²

donald111164@gmail.com^{1,*}

摘要

宜蘭地區位於台灣東北部，鄰近於東北部地震帶和東部地震帶，地震發生頻繁，且蘭陽平原主要由蘭陽溪及各大小溪流，經過長年的沖刷及堆積匯集而成的砂土沖積平原，土壤多為軟弱的砂土，再加上宜蘭秋冬受東北季風影響導致宜蘭地區水資源豐沛，使得宜蘭地下水位相當高，因此在歷時夠久、規模夠大的地震發生時，土壤液化發生的可能性就會相當高。

土壤液化意指疏鬆且飽和的土壤顆粒遭受地震影響產生反覆剪應力，而趨向較緊密排列，然而孔隙中仍存在著飽和的水，因而導致孔隙水壓上升。若土壤中的超額孔隙水壓無法及時排出，會導致土壤有效應力降低，等到有效應力接近0時，則土壤將失去原有的強度和承載力，進而導致沉陷。

由於在進行土壤液化分析時，地下水位狀況是相當重要的指標之一，因此當分析場址地下水位產生變化時，對液化潛能評估必然有相當程度的影響。本研究利用宜蘭地區鑽探資料，運用土壤液化評估程式將分析水位進行調整，來探討宜蘭地區水位變動情況下對場址液化潛能指數影響。

關鍵字：宜蘭、土壤液化、本土HBF評估法、液化潛能指數、地下水位。

1. 前言

為因應105年2月6日芮氏規模6.6的高雄美濃地震，造成南台灣發生大規模土壤液化，由經濟部中央地質調查所於105年3月14日先行公開包含宜蘭縣等八個縣市之初級土壤液化潛勢圖資如圖1所示，並已於108年11月28日公布了最後一波初級土壤液化潛勢圖。初期所建置的鑽孔資料庫筆數較不完整且數量不足，繪製出來的潛勢圖並不完善。而後中央地質調查所與各縣市政府進行後續合作計畫，辦理土壤液化圖資精進之作，提供更完善的圖資，以做為民眾瞭解居住安全以及政府推動都市更新與防災之參考。因此本研究將既有宜

蘭市區鑽孔進行土壤液化研究與預測比較，希望藉此成果對蘭陽平原下土壤更有掌握，並同時達到土壤液化預警和警示功能。

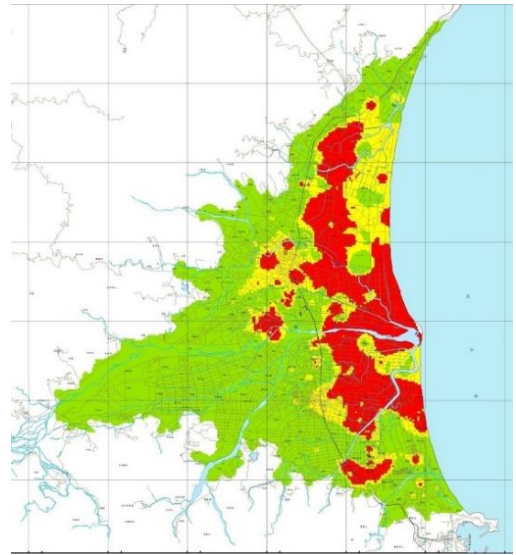


圖1:地調所宜蘭地區初級土壤液化潛勢圖

2. 本土HBF法評估

HBF評估法是藉由Seed法為基底所比照出來的台灣本土評估法，延續了Seed法的評估案例、資料，並納入台灣本島內的液化相關資料製成雙曲線函數回歸分析，可分析土壤液化強度差異等，並統一為國內評估判斷依據。

本土HBF評估法為台灣專門為台灣訂做的土壤液化分析方式，可以藉由提供的各地區建議之土壤液化潛能評估地震規模輸入三種地震條件，再來將鑽探資料的統一土壤分類、SPT-N試驗範圍、FC值、N值、PI值輸入，程式就會分析輸出所需成果。在分析輸出介面可以得知鑽孔柱狀圖、地下水位、SPT-N值及細粒料含量等資料，也包括三種地震條件下CSR、CRR、FS及LPI輸出等。在進行土壤液化評估時，需排除統一土壤分類屬CH(高塑性土)、CL(低塑性黏土)、SC(砂質黏土)、MH(高塑性粉土)土壤，以及PI

值超過 7 之 ML(低塑性無機質沉泥)土壤排除，圖 2 為 HBF 計算流程。

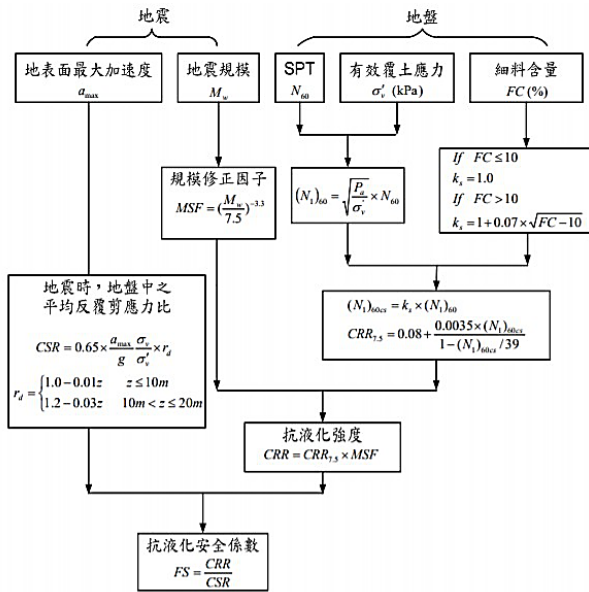


圖 2:本土 HBF 評估法計算流程

2.1 反覆剪應力比 (CSR)

反覆剪應力比是由 Seed (1983) 對於地震時所產生的平均剪應力與土層初始垂直有效應力之研究所提出，用來判斷當地震產生之循環作用力下，對低於地下水位之砂土特性的影響變化，該研究也針對地震規模與地震水平加速度作探討，為了能夠充分表示地震力對於現地土壤之影響程度，建議以地震最大剪應力之 65% 作為平均剪應力，以及對於土壤之深度 (z) 折減係數 (rd) 提出修正建議。

$$CSR = 0.65 \times \frac{a_{max}}{g} \times \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \times \gamma_d$$

$$\gamma_d = \begin{cases} 1-0.01z, & z \leq 10m \\ 1.2-0.03z, & 10m < z \leq 20m \end{cases} \quad z = \text{分析點}$$

2.2 土壤抗液化反覆阻抗比(CRR)

反覆阻抗比為土壤發生初始液化時之剪力與有效應力比，透過土壤對於抵抗液化之強度與有效覆土應力之比值，得出的經驗公式。其將地震規模設置在 7.5 來做計算，再依據不同的土壤深度的貫入 N 值，來對有效覆土應力做修正；再來因為不同土壤顆粒會對於試驗值有所影響，所以要將顆粒換成乾淨砂，再將其納入公式。

$$CRR_{7.5} = \frac{\tau_f}{\sigma'_v} = A + \frac{B \times (N_1)_{60,CS}}{1 - \frac{(N_1)_{60,CS}}{C}}$$

$$CRR = CRR_{7.5} \times MSF$$

$$MSF = (M_w/7.5)^{-1.8}$$

其中 A=0.08 B=0.0035 C=39

2.3 土層抗液化安全係數(FS)

為土壤抗液化反覆阻抗比與反覆剪應力比。在評估場址土壤液化時，會將土壤分層，分別計算各層土壤液化的可能性。若 FS>1 代表土壤阻抗比大於反覆剪應力，因此不會液化；反之 FS<1，代表會有液化可能。

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

3. 液化潛能初步判別

根據 Iwasaki et al. (1982) 表示，地表面以下 20 公尺之後液化影響較小，因此本研究僅採用深度達到 20 公尺之鑽孔並以每 1.5 公尺為一個單位進行分析。根據趙紹錚和黃宏謀 (2012) 土壤液化之初步判別步驟如下。

1. 統一土壤之分類：依照統一土壤分類法，土壤種類可分為四種主分類的土層。

第一種為礫石層，如：GW、GP、GM、GC。

第二種為砂土層，如：SW、SP、SM、SC。

第三種為粉土層，如：ML、MH。

第四種為黏土層，如：CL、CH。

2. 各土層初步判別：將鑽探報告中每相距 1.5 公尺之土層，依統一土壤分類方法分類後，考量各類土壤特性，做土壤液化第一階段判別，各土層之四種土壤液化判別如下。

礫石層：直接判定該土層不會液化。

砂土層：並非所有出砂土層都有液化傾向，通常一般經驗法則，若無凝聚性砂土之 $(N_1)_{60} > 30$ 時，則判定該土層不會液化 (Chen and Scawthorn, 2002)。

粉土層：依據中國建築技術設計規範 (GB50011-2001) 及日本道路協會 (1996) 之表示，當在粉土層中之黏土顆粒 (粒徑小於 0.005mm) 含量百分率大於 15% 時，則判斷該土層不會液化。

黏土層：直接判斷該土層不會液化。

3. 液化程度之分級：場址液化分級可分為三種程度，分別為無液化、中度液化、及高度液化。判別的重點主要依據表土層及表土層下的主要土層，詳細之程度分級判別方式見於表一。例如某一鑽孔資料顯示，表土層為黏土 (CL)，而表土層以下主要土層為砂土 (SM)，則判定此鑽孔所代表場址之初步土壤液化判別程度為中度液化。

依據分析結果，可將宜蘭地區土壤液化初步判別結果程度分為無液化、中度液化、及高度液化三種程度。宜蘭地區土壤液化初步判別結果如圖 3 (趙紹錚和黃宏謀, 2012)，可知蘭陽平原內皆為中度以上液化區，沿海地區因為表土層有明顯的砂土層，高度液化區較多。

表1:土壤液化初步判別分類表

分類	表土層	表土層以下主要土層
無液化	各土層皆為不會液化之土層 (如黏土層或礫石層)	
中度液化	會液化之粉土層	主要為黏土層
	黏土層	主要為會液化之粉土層
	各土層皆為會液化之粉土層	
	粉土層	主要為會液化砂土層
高度液化	黏土層	主要為會液化砂土層
	砂土層	主要為粉土層
	各土層皆為會液化之砂土層	
	砂土層	主要為黏土層

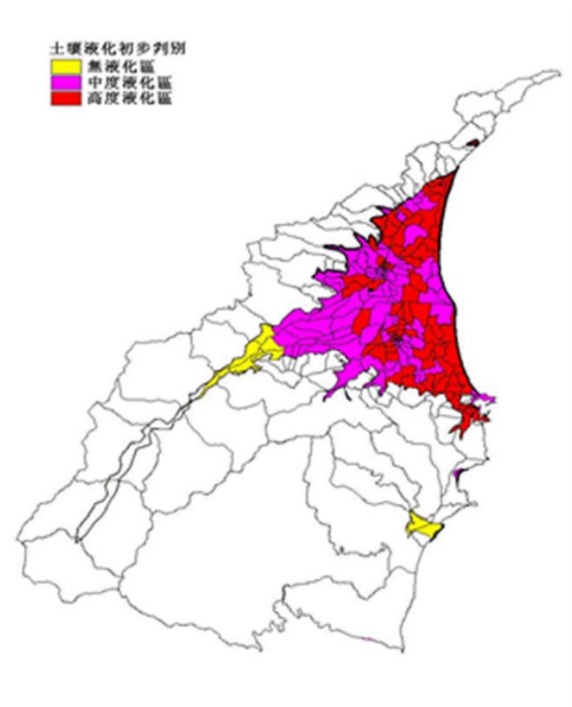


圖3:宜蘭土壤液化初步判別村里分界結果圖

4. 土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務

為提供土壤液化分析所需之工程地質特性分區參考，參考宜蘭縣109年度土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務第一期及第二期補充鑽探工作現場情形如圖4。第一期及第二期之517孔之鑽孔分布如圖5。可將調查孔之20m內地質材料分類繪製，其中本期新增之鑽孔資料由紅色外框標示如圖6。由圖7中可知東側沿海地區多以N值6~20之厚砂層及黏土質粉土為主，而山麓地帶近接海岸線區域如頭城鎮北側及蘇澳鎮南側，則有礫石層分區。壯圍鄉西側及南側、礁溪鄉南側及冬山鄉東北側地區則有較多黏土層分布，推測與過去蘭陽平原海進時期之瀉湖區位置有關。



圖4:土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務鑽探現場照片

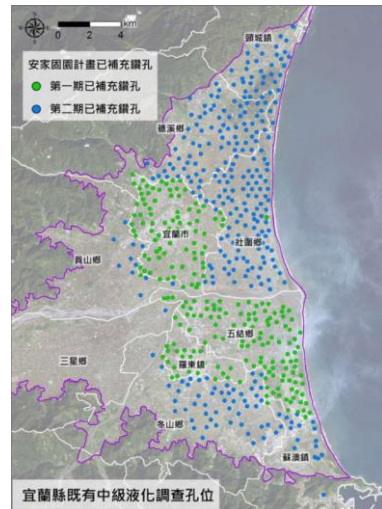


圖5:第一期及第二期鑽孔分布

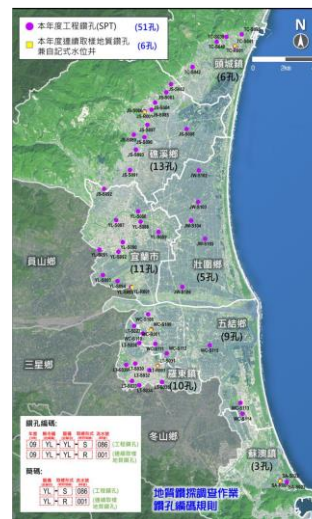


圖6:第三期之鑽孔分布

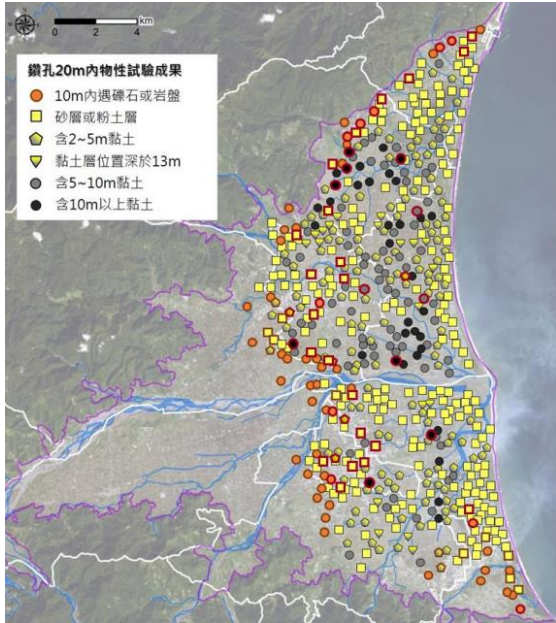


圖7: 鑽孔物性試驗階段成果地質材料分類

5. 地下水位對於液化潛能指數之影響

隨著鑽探工作結束後，各鑽探孔位之地下水位仍在環境的影響變化下不斷在改變，而在進行土壤液化分析時，地下水位為影響液化潛能指數 (P_L) 的參數之一。為了充分了解到地下水位變動對於液化潛能指數影響，本研究針對分析水位進行調整，統計宜蘭市、礁溪鄉、壯圍鄉、冬山鄉、羅東鎮、頭城鎮、蘇澳鎮、員山鄉、五結鄉之水位監測結果進行分析。

5.1 地下水位之設定

宜蘭地下水為普遍較高，若上調整水位，則會發生地下水超出地表之問題，考量到因此問題而無法計算或需要予以排除會影響統計結果，因此本研究以下降分析水位進行分析。而經過宜蘭縣 109 年度土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務期末報告成果顯示，蘭陽平原大部分之地區年平均水位深度介於 1~3m 間如圖 8，因此本研究決定以 1m 為變化為調整幅度。



圖 8: 台灣世曦宜蘭縣全區地下水位觀測成果

5.2 地下水位變動之影響

經由下降 1m 之地下水位調整後，所獲得各行政區的液化潛能指數之變化有所不同，本研究將差值 ΔP_L 以 3 為單位進行劃分，將其分為 0~3、3~6、6~9、9~12、12~15、>15 之五個級距進行討論。

宜蘭市的鑽孔總共有 85 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 9 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3、3~6、6~9 三個區間，占了整體變化量 97%，對此取平均後 ΔP_L 為 4.5，由此顯示地下水位的變動對宜蘭市影響較大，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

宜蘭市液化潛能指數變化

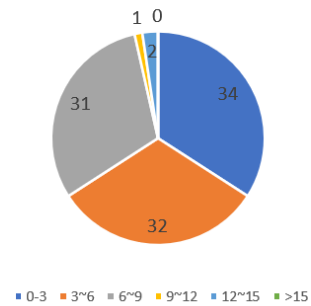


圖 9: 宜蘭市 ΔP_L 變動百分比

礁溪鄉的鑽孔總共有 76 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 10 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3、3~6 兩個區間，占了整體變化量的 82%，其中又以 0~3 的區間為主要變化，對此取平均後 ΔP_L 為 3.2，部分中潛勢之地區會下降至低潛勢，少部分高潛勢之地區會下降至中潛勢。

礁溪鄉液化潛能指數變化

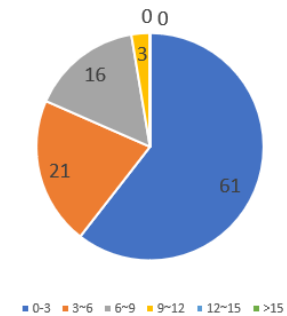


圖 10: 礁溪鄉 ΔP_L 變動百分比

壯圍鄉的鑽孔總共有 101 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 11 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3、3~6 兩個區間，占了整體變化量的 79%，對此取平均後 ΔP_L 為 3.7，部分中潛勢之地區會下降至低潛勢，少部分高潛勢之地區會下降至中潛勢。



壯圍鄉液化潛能指數變化

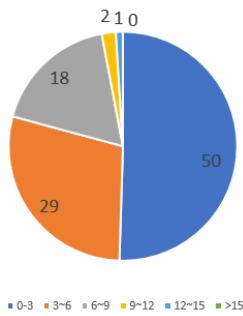


圖 11:壯圍鄉 ΔP_L 變動百分比

冬山鄉的鑽孔總共有 53 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 12 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3 的區間，佔了整體變化的 79%，對此取平均後 ΔP_L 為 1.62，由此顯示地下水位的變動對冬山鄉影響不大，部分中潛勢之地區會下降至低潛勢，少部分高潛勢之地區會下降至中潛勢。

冬山鄉液化潛能指數變化

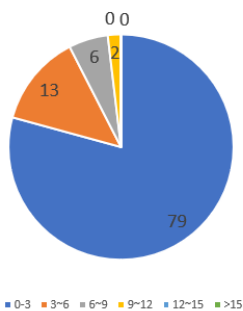


圖 12:冬山鄉 ΔP_L 變動百分比

羅東鎮的鑽孔總共有 27 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 13 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3、6~9 兩個區間，佔了整體變化量的 85%，對此取平均後 ΔP_L 為 3.2，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

羅東鎮液化潛能指數變化

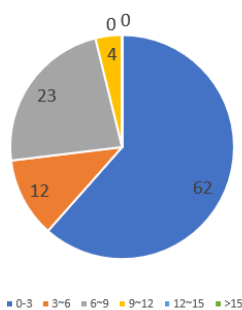


圖 13:羅東鎮 ΔP_L 變動百分比

頭城鎮的鑽孔有 37 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 14 可發現 ΔP_L 多集中於 0~3、3~6、6~9 三個

區間，佔了整體變化量的 92%，對此取平均後 ΔP_L 為 3.02，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

頭城鎮液化潛能指數變化

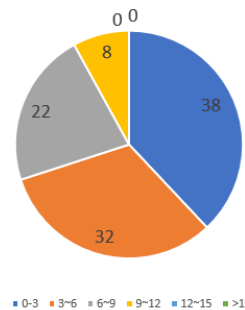


圖 14:頭城鎮 ΔP_L 變動百分比

蘇澳鎮的鑽孔有 13 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 15 可發現 ΔP_L 完全分布於 0~3、3~6、6~9 三個區間，佔了整體變化量的 100%，對此取平均後 ΔP_L 為 3.92，由此顯示地下水位的變動對蘇澳鎮影響較大，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

蘇澳鎮液化潛能指數變化

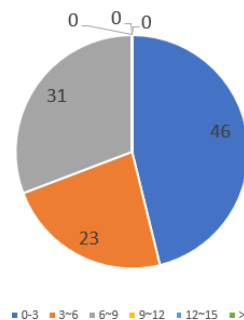


圖 15:蘇澳鎮 ΔP_L 變動百分比

員山鄉的鑽孔有 10 孔，經過水位調整後透過圓餅圖如圖 16 可發現 ΔP_L 完全分布於 0~3、3~6 兩個區間，佔了整體變化量的 90%，對此取平均後 ΔP_L 為 3.4，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

員山鄉液化潛能指數變化

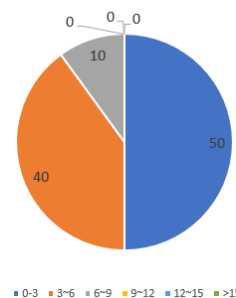


圖 16:員山鄉 ΔP_L 變動百分比

五結鄉的鑽孔有107孔經過水位調整後透過圓餅圖如圖17可發現 ΔP_L 多集中於0~3、3~6、6~9三個區間，佔了整體變化量的98%，對此取平均後 ΔP_L 為3.4，大多中潛勢之地區會下降至低潛勢，部分之高潛勢之地區會下降至中潛勢。

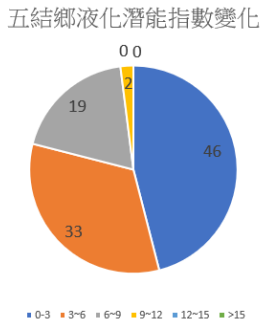


圖17:五結鄉 ΔP_L 變動百分比

5. 結論

本研究利用宜蘭縣土壤液化中級圖資建置計畫的鑽孔資料進行分析，由HBF法分析的結果發現蘭陽平原處於土壤液化的高風險地區，由於地下水位無時無刻都在變化，為了探討地下水位的變化，對於液化潛能指數的影響，本研究將宜蘭縣各地區之鑽孔資料下降1m之分析地下水位，統計液化潛能指數的變化 ΔP_L 。

由統計結果發現大部分 ΔP_L 分布於0~3、3~6兩個區間，對於中潛勢之地區而言，大多會下降至低潛勢，在高潛勢的部分，由於宜蘭大部分高潛勢之地區液化潛能指數非常高，所以地下水位的影響對於高潛勢之地區影響並不大，就算 ΔP_L 為9~12、12~15的區間，還是會維持高潛勢。綜合上述分析結果，並將其統計如下表2所示可以看出地下水位的變化對各行政區影響大小不一，其中以宜蘭市的影響最多，冬山鄉影響最小。

表2:宜蘭各行政區平均 ΔP_L

行政區	平均 ΔP_L
宜蘭市	4.52
礁溪鄉	3.22
壯圍鄉	3.69
冬山鄉	1.62
羅東鎮	3.2
頭城鎮	3.02
蘇澳鎮	3.92
圓山鄉	3.4
五結鄉	3.67

6. 參考文獻

- Hsien-Heng Lee, Chun-Fei Hsu, Sao-Jeng Chao, and Chung-Chi Chi, 2022, "A Study on the Reasons for No Soil Liquefaction Occurring in the Lanyang Plain in a Strong Earthquake Area," Sustainability, 14, 8244. <https://doi.org/10.3390/su14148244>.
- Seed, H. B. (1979). "Soil Liquefaction and Cyclic Mobility Evaluation for Level Ground During Earthquake," Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, 105(2), 201-255.
- Seed, H. B., Tokimatsu, K., Harder, L. F. and Chung, R. M. (1985). "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 111(12), 1425-1445.
- 黃俊鴻、陳正興、莊長賢，(2012)，"本土性HBF土壤液化評估法之不確定性"，土工技術，第133期，77-86。
- 徐瑩潔，(2007)，宜蘭地區之土壤液化潛能評估，碩士論文，國立宜蘭大學土木工程學系。
- 臺灣世曦工程顧問股份有限公司，(2022)，宜蘭縣109年度土壤液化調查與風險評估計畫委託技術服務期中報告。
- 中華民國經濟部中央地質調查所，(2019)，地質災害調查-土壤液化潛勢查詢系統。
- 趙紹錚、廖致焜、陳泓諭，(2022)，"地下水位變化對於宜蘭地區土壤液化潛能指數之影響"，第十九屆大地工程學術研究討論會論文集。
- 趙紹錚、黃宏謀，(2012)，"宜蘭地區軟弱地盤工程特性"，土工技術，第133期，19-33。