



國立宜蘭大學

工學院

土木工程學系

(大學部三年級)

專題研究成果競賽

構想書

地下水位對土壤液化潛勢之影響

組 員： 曾品蓁

李知庭

陳怡親

指導老師： 趙紹錚 老師

中華民國 109 年 05 月 06 日

## 地下水位對土壤液化潛勢之影響

曾品蓁<sup>1</sup>、李知庭<sup>1</sup>、陳怡親<sup>1</sup>、趙紹錚<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立宜蘭大學土木工程學系專題生

<sup>2</sup> 國立宜蘭大學土木工程學系 教授

\*Email: chao@niu.edu.tw<sup>1</sup>

Emily642415@gmail.com<sup>2</sup>、leejiting880122@gmail.com<sup>2</sup>、a0977009353@gmail.com<sup>2</sup>

### 摘要

宜蘭為沖積扇地形，土壤多為軟弱鬆散的砂土或粉土，而秋冬之季受東北季風影響，雨量豐沛，以致地下水位接近飽和，加上台灣位於歐亞板塊和菲律賓海板塊的邊界上，受大地應力影響造成板塊運動，地震頻繁，故潛在著高土壤液化因子，像是宜蘭農村地及養殖地區，水用量需求大，超抽地下水導致地層下陷，所以液化高潛勢地區多集中在沿海及農村地區。本研究探討宜蘭地區，運用 HBF 法透過統一土壤分類、地震參數、地下水位參數、標準貫入能量參數進行分析，主要為計算地下水位變化後，對液化指數的影響，因地下水位高於液化土層，所以地下水位深度直接影響載重大小，可得知地下水位越深，砂土就不易液化，反之越淺的土層越容易液化。一般來說，地下水位低於地表下三到四公尺液化現象少見，但安全起見可將液化的最深地下水位定為五公尺。因此根據地下水位的變化，就可推斷液化可能發生率。

**關鍵字：**宜蘭、土壤液化、地下水位、液化指數、HBF 評估法

### 1. 前言

台灣有許多農地、養殖場、工業用水，因需求量日益增加導致供給水源缺乏，所以出現超抽地下水的問題，蔗糖田超抽更為嚴重，導致地下水位下降，地層下陷之問題，加上台灣位於環太平洋火山地震帶上，地震頻繁，又因地下水位較高，且以平原、沖積扇等地為主要發展重心，地勢平緩，易使細顆粒土壤堆積，導致土層較為軟弱和鬆動，種種原因構成土壤液化發生。

從河流沖積下來之砂石顆粒越小，壓實的程度就愈明顯，而飽和的砂土及地震震動皆是發生液化的必備條件，強震可能導致地下水位變動，也包含氣候因素、平均年雨量、全球暖化等原因，如果地下水位下降會導致承載負荷增加，造成土壤壓密，進而增加土壤液化發生率。本研究蒐集宜蘭 106 年與 109 年的孔位進行地下水位比較，運用國家地震中心之 HBF 法加以探討，藉由此研究，針對地下水位的變化，會對液化指數造成什麼影響，可得知地下水位達到何值就可能發生液化。

### 2. 本土 HBF 評估法

HBF 法為台灣廣泛使用的土壤液化分析程式，也提供土壤液化潛能評估使用之設計地震規模分區，方便分析者查詢台灣各地震分區之設計地震規模，程式計算過程中提供說明及評估考量，而分析輸出介面可得出地層基本資料，包含鑽孔柱狀圖、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之 CSR、CRR、FS 及 LPI 輸出等，而在進行土壤液化評估前，除了排除統一土壤分類屬 CH、CL、SC、MH 土壤外，也將 PI 值超過 7 之 ML 土壤排除。

HBF 法是參考 Seed 法為基底比照出來的本土評估法，藉由 Seed 法的資料並納入台灣本島的相關資料，製成雙曲線函數回歸分析，可分析土壤液化強度差異等，並統一國內評估判斷依據。

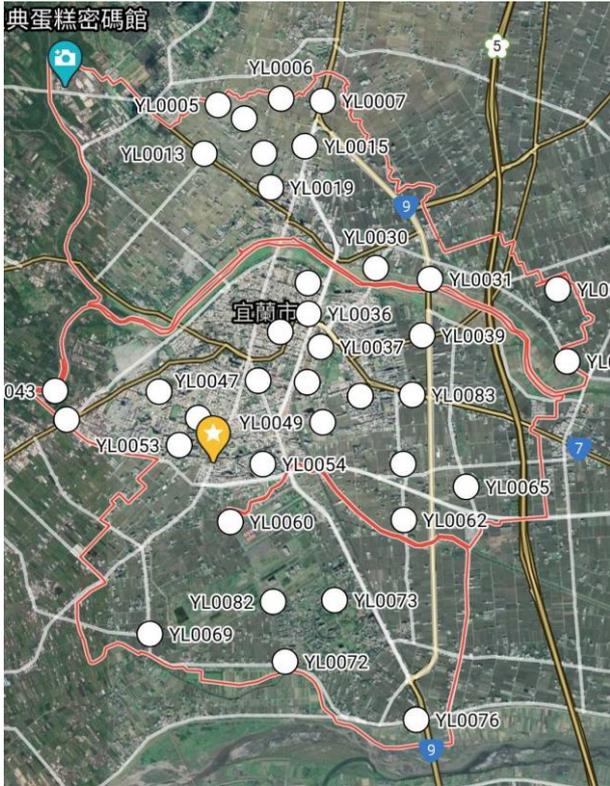
主要可分析安全係數、液化潛能指數、液化沉陷量、土質折減係數等，而計算公式針對標準貫入之能量、深度、地震規模等作出適當修正，並透過安全係數 FS 和液化潛能指數 PL 做統整，將 FS<1 作為潛在液化可能的判斷依據。

舉出與液化潛能指數相關之參數計算

- (1) 土壤抗液化反覆阻抗比(CRR)
- (2) 反覆剪應力比(CSR)
- (3) 抗液化安全係數(FS)
- (4) 液化潛能指數(PL)



(圖一)現場鑽孔示意圖



(圖二)宜蘭市鑽孔位置分布

### 2.1 土壤抗液化反覆阻抗比(CRR)

是以土壤能抵抗液化之強度與覆土應力之比值，得出的經驗公式。將地震規模設置為 7.5 做計算，其中對於有效覆土應力作修正，是依據貫入試驗中的  $N$  值對於不同土壤深度所做出的調整；細顆粒含量在土層之增減對該土壤之性質影響，所以將此轉化成乾淨砂土狀態，將其納入公式中做修正。

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

### 2.2 反覆剪應力比(CSR)

地震發生時所引起的不規則波動，此波形複雜不規則，Seed 等人建議以地震最大剪應力之 65% 作為平均剪應力。而本文設計地震導致最大加速度根據"建築耐震設計規範"設為 0.29g；因土壤不為剛體，以致土壤受力情形會根據深度深淺需做修正，而各大評估法對於應力修正上略有不同。

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

### 2.3 抗液化安全係數(FS)

評估場址土壤液化情形，會將土壤分層，分別計算各層土壤液化之可能性，並用 FS 做為表示。公式表示為其土壤抗剪應力與地震剪應力之比值，若土壤本身抵抗液化能力小於地震力，則  $FS < 1$ 。由於 HBF 法判斷依據地震規模 7.5 下， $CRR_{7.5}$  為地震規模 7.5 之土壤抗液化強度，因不同的設計地震強度需乘上修正係數。

$$FS = \frac{\left(\frac{\tau_f}{\sigma'_v}\right)}{\left(\frac{\tau_{avg}}{\sigma'_v}\right)} = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \times MSF$$

$$MSF = \left(\frac{M_w}{7.5}\right)^{-1.8}$$

參數說明：

MSF：規模修正因子、 $M_w$ ：地震規模

### 2.4 液化潛能指數(PL)

安全係數 FS 僅能判斷計算土層的安全程度，並不能表示整區場址的液化狀態，所以除了各層的安全係數外，需將深度權重及土層厚度納入計算，以利于整體性評估。

$$PL = \int_0^{20} F_{(z)} \times W_{(z)} dz = F_{(Zi)} \times W_{(Zi)} \times Zi$$

參數說明：

$F_{(Zi)}$ ：土層安全係數、 $W_{(Zi)}$ ：深度權重係數、 $Zi$ ：地盤深度(m)

Iwasaki et al. (1982) 指出將上述液化潛能指數，以損害之程度詳細區分為以下四種：

- (1)  $PL=0$  無液化
- (2)  $PL \leq 5$  輕度液化
- (3)  $5 < PL \leq 15$  中度液化
- (4)  $PL > 15$  嚴重液化

### 3. 分析條件與流程說明

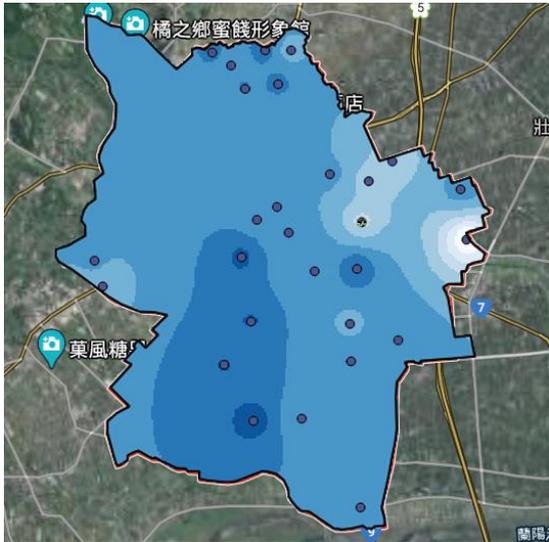
在本章之說明將針對後續研究之設定地下水位之情形略做描述，此外，也探討在土壤液化評估計算時，對於土壤液化潛勢之計算，以考量地下水位之變動作為主要分析之原因。希望透過相關之分析結果可以對於地下水位升降對液化之影響及對於地下水位之液化評估計算考量提出相關建議。



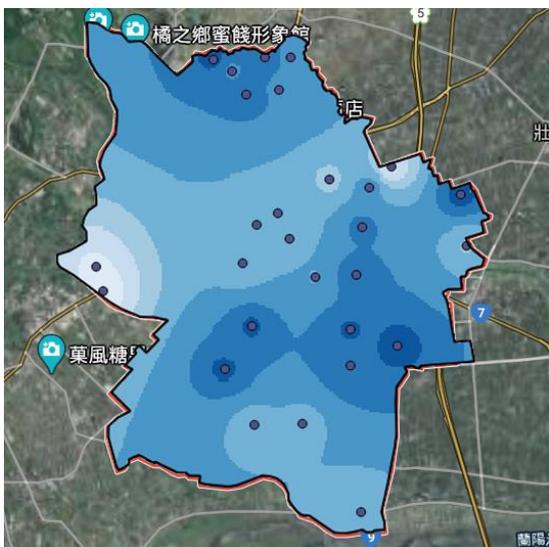
(圖三)檢測地下水位現場示意圖

### 3.1 分析條件說明

本研究於宜蘭市 106 年地下水位(圖四)&109 年地下水位(圖五)之探討，106 年為 67 孔之地下水位而 109 年目前只有 30 孔有地下水，作為宜蘭市土壤液化與地下水位的分析依據。同時，做兩階段的分析，第一階段為地震力 0.32g，設計地震規模為 7.3 進行土壤液化潛勢分析圖，第二階段比較 106 年&109 年地下水位升降與 PL 值的關係。



(圖四)106年地下水位



(圖五)109年地下水位

### 3.2 研究流程分析

利用國震中心提供之SPT液化評估法計算宜蘭市各地區，在106年所擁有的鑽孔資料，將各土層之統一土壤分類、單位重、SPT-N試驗範圍、N值、FC、座標位置及地下水位輸入進Excel程式，及進行CRR、CSR、FS、LPI之評估，並且將地震力 $A_{max}$ 設為0.32g及地震規模 $M_w$ 7.3進行分析。

### 3.3 106年及109年地下水位升降原因說明

宜蘭市位於蘭陽平原，降雨較台灣各地豐厚，但也因為地狹山高，降水較不易留存，比較106年和109年目前宜蘭地區降雨量，109年相對較少，加上產業型態的影響，宜蘭多數為農業用地，降雨少加上抽取地下水作為農業用途，整體地下水平均下降，但因地下水容易向東流至出海口等特性，宜蘭市109年右半部相對106年右半部地下水位平均值較高。

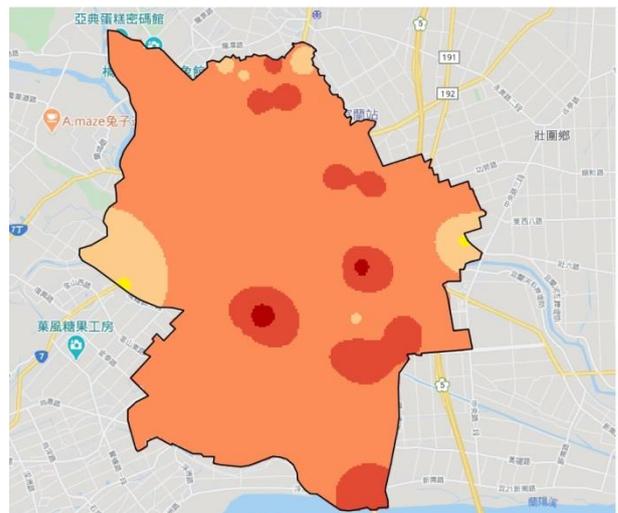
## 4. 地下水位對土壤液化潛勢之影響

本節所討論的內容是針對地下水位升降對於土壤液化評估影響之討論，值得注意的是，106年宜蘭市地區降雨量整體大於109年，因此，109年地下水位略低於106年之地下水位。而造成土壤液化的三大要素分別是：高地下水位、砂質土壤以及設計地震於5級、6級，所以我們可以得知106年之土壤液化潛勢指數會高於109年之土壤液化潛勢指數，進而繪製土壤液化潛勢分析圖並提供後續研究分析之建議。

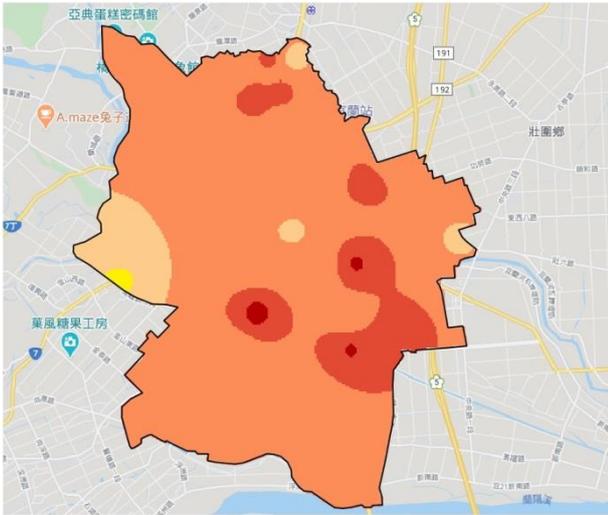
### 4.1 土壤液化潛勢分析結果

使用台灣HBF法，本研究設地震規模7.3、最大加速度0.32g得宜蘭市各區域鑽孔之土壤液化潛勢值，下圖為106年液化潛勢指數分布(圖六)和109年液化潛勢指數分布(圖七)，可為五部分(PL<15、PL=15-25、PL=25-35、PL=35-45、PL=45-55)

比照地下水位圖，可得知水位較高之區域，液化潛勢值相對較高，雖整體地下水位109年相對106年低，但也因109年地下水較集中於宜蘭市右半部，較高潛勢地區也向宜蘭市右半部分布，106年宜蘭市左右兩區域各有小部分水位較低之地區潛勢值為15以下，由此依據，可推測出地下水位愈高，土壤液化潛勢值也會相對升高，是為影響土壤液化的關鍵因素之一。



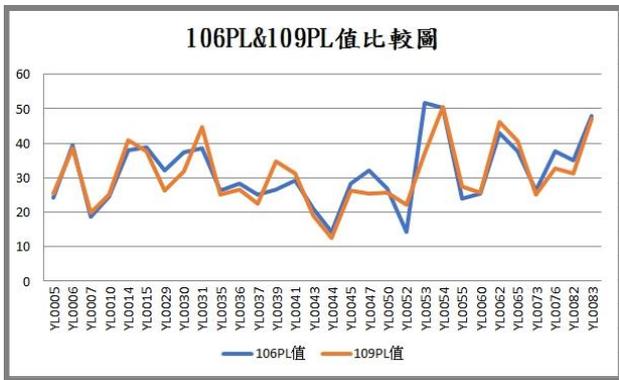
(圖六)106年液化潛勢指數分布



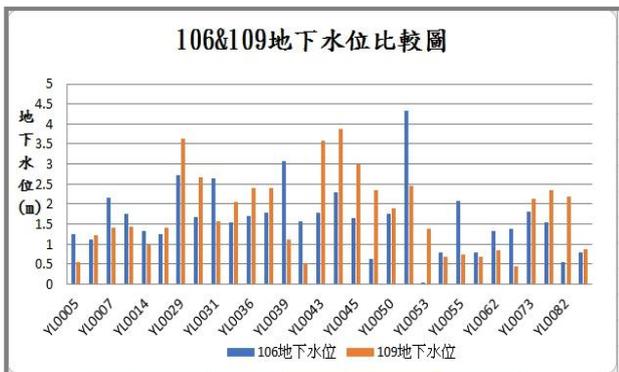
(圖七)109年液化潛勢指數分布

#### 4.2比較106年&109年地下水位升降與PL值的關係

由(圖八)可以得知106年各鑽孔之PL值，平均略高於109年各鑽孔之PL值，而從(圖九)可以知道106各孔之水位略高於及109各孔之地下水位。地下水位是由地表為基準，往下深度多少才測得地下水位，所以(圖九)之地下水位值越高代表所蘊含之地下水越少。因此對照兩圖(圖八、圖九)可以取得一個資訊為地下水位越高，土壤液化潛勢指數PL值也相對越高。



(圖八) 106年&109年之PL值比較



(圖九) 106年&109年之地下水位比較

## 5. 結論

本研究就對於地下水位升降及土壤液化做分析討論，探究地下水位的升降對於土壤液化潛勢指數的關係為何，並且也可以得知宜蘭市各區域潛勢指數分布較為高，從(圖四)及(圖五)可以得知，宜蘭市西半部地下水位有降低，我們猜測有盜抽地下水之嫌疑，但也有可能是降雨量變少所導致。則東半部可能因為為待發展區，人為活動較少，開發較西半部更為緩慢，推估上述因素，所以地下水位則較為豐沛。

對於此次研究我們所設計的地震規模為7.3、 $A_{max}=0.32g$ ，由(圖六)、(圖七)相較於經濟部中央地質調查所提供之土壤液化潛勢圖比較，我們因設計地震力較大所以整體圖上的潛勢指數都偏高，但是也可以因此得知，若宜蘭區發生大地震，液化的可能性也會拉高許多。

最終由(圖四)~(圖七)以及參考期刊[1]之地下水位與土壤液化的關係，進而分析宜蘭市106年級109年兩者之比較，也得出期刊[1]所提及之地下水位上升，液化潛能指數也會出現正相關，並且由(圖八)、(圖九)可得知液化潛能指數有稍微降低之趨勢是與地下水位下降有關聯。

經過本研究之探討，我們對於宜蘭市土壤液化更有近一步的了解並提升了警覺性，往後可以多注意西半部地下水位下降之根本原因，也可觀察日後東半部發展趨勢變化是否會對未來地下水位造成影響，以及是否也影響著液化潛能指數，或許更可深入探討地下水位落差是否會影響液化指數之浮動。

## 6. 參考文獻

- 古志生,馬正明,地盤液化災害分級之探討,技師期刊77期, P53-63
- 土壤力學與基礎工程,黃安斌,書面資料
- 潘健偉,宜蘭地區土壤液化潛能指數敏感度探討,碩士論文,國立宜蘭大學土木工程學系,宜蘭,台灣,2018
- 徐瑩潔,宜蘭地區之土壤液化潛能評估,國立宜蘭大學土木工程學系,宜蘭,台灣,2007
- 陳泓諭,王徵華,趙紹錚,地下結構物設置對土壤液化潛勢之影響,專題研究,國立宜蘭大學土木工程學系,宜蘭,台灣,2019
- 單信瑜,台灣地下水資源使用與水質現況,2005水環境教育教師研習活動,台灣,2005
- 中華民國經濟部中央地質調查所,地質災害調查-土壤液化潛勢查詢系統,2019
- 盧志杰,國家地震研究中心,國震中心SPT液化評估方法測試案例,2005,2012