

# 利用單站頻譜比法探討台灣中西部平原之土壤液化潛能

簡顯光 張建民 錢榮芳  
萬能科技大學營建科技系

## 摘要

本文針對台灣中西部平原地區之土壤液化潛能分析課題，探討工程界常使用的土壤液化簡易分析方法所得結果之差異性，並利用強震監測網紀錄之強震資料進行頻譜分析，選取8個地震規模在5.3以上的歷史地震紀錄，應用單站頻譜比法，探討利用強震資料做為判別土壤液化潛能的可行性，並進一步應用工程界常使用的土壤液化簡易分析方法印證單站頻譜比法的適用性，藉以提供台灣中西部平原進行土壤液化潛能分析時之有效參考。

## 前言

鬆散飽和的砂質土壤在地震強烈搖動下產生的液化現象，經常成為土壤結構、建築物基礎和維生管線等破壞的主要原因，1999年9月21日發生之集集大地震，於台灣中部沿海與西部麓山帶地區造成大規模的土壤液化現象，造成許多房屋傾斜、道路阻斷、橋樑斷落、基礎不均勻沉陷、邊坡滑動、噴沙等重大破壞案例。土壤液化潛能分析的課題乃再度受到工程建設單位與分析設計人員的重視，如何建立適用於台灣地區地質狀況的土壤液化潛能評估方法，已成為降低地震災害影響的重要研究課題之一。

台灣中西部平原人口稠密，經濟活動發達，許多重要交通建設如高速鐵路、第二高速公路與東西向快速道路等均通過此區域，然其地質多屬由細沙、沈泥質細沙、沈泥質黏土等形成的沖積層，在遭遇大地震時易發生土壤液化現象，導致建築結構嚴重破壞。傳統工程上評估土壤液化潛能的基本方法，通常必須以地質鑽探結果作為基礎資料，若欲進行大區域的土壤液化潛能或危害度分區研究，在經費因素的考量下，大量的地質鑽探工作很難有實現的可能；反觀應用強震或微地動紀錄資料以頻譜比的評估方式，具有執行效率快速、普及全區域的特性，故能在短期內建立各地區的液化潛能分區，不失為一種經濟可行工具。本文以彰化與雲林縣境內佈置綿密的強地動觀測站為對象，選取8個震央、震源深度與地震規模相近的歷史強地動紀錄資料，進行頻譜分析，配合各觀測站的地質調查資料，以工程簡易分析方法印證單站頻譜比法的適用性，以期使單站頻譜比法應用於土壤液化潛能評估工作上，能更具說服力與工程應用價值。

## 分析 方法

### 單站頻譜比法

日本學者 Nakamura(1996)根據微地動量測資料，曾提出以單站頻譜比之主頻與放大倍率作為評估土壤液化潛能的參考，利用單站頻譜比法的共振主頻  $f_p$  與相對應之放大因子  $A_f$  估算土壤液化潛能指標  $K_g$  值，作為評估場址抗震能力好壞的一項標準，以及土壤發生液化潛能高低的一項指標。 $K_g$  值之計算如下列公式所示。

$$K_g = \frac{A_f^2}{f_p} \quad (1)$$

一般而言  $K_g$  值越大，代表土壤發生液化的可能性越高，根據 Nakamura 研究結果顯示， $K_g$  值大於 20 以上時，地盤便有發生液化的潛能。國內一些學者也曾經運用本方法，以微地動量測資料探討中部地區於 921 大地震時發生的土壤液化現象，但應用強地動歷史紀錄資料作為探討土壤液化潛能的相關研究則尚未多見，因此若能印證強地動紀錄也適用作為評估土壤液化潛能的參考資料，則未來就可以將國內豐富的歷史地震資料庫做更廣泛的工程應用。

### 工程簡易經驗評估法

根據「建築物基礎構造設計規範」第十章土壤液化評估指出，基地土壤於地震作用下是否會發生土壤液化現象，係以地震引致地層中之剪應力大小是否大於土壤之抗液化強度作為判斷之標準。在工程應用上，一般使用安全係數來表示，安全係數 FS 定義為土壤抗液化強度 R 與地震引致剪應力 L 的比值，即

$$FS = \frac{R}{L} \quad (2)$$

目前工程界以 Seed 等人長期累積相關研究成果所提出之簡易經驗法(Seed 法)(1983)最廣為使用，由於 Seed 法將土壤的標準貫入打擊數 N 值、有效覆土應力、細料含量、鑽桿能量等因素都納入考慮，因此也廣被歐美、日本及中國大陸等國家所採用。外，Iwasaki 等人(1982)提出以液化潛能指數  $P_L$  來評估土壤液化之嚴重程度，地盤發生土壤液化之損害程度可分為三級，分別是  $P_L > 15$ (嚴重液化)、 $15 > P_L > 5$ (中度液化)、 $P_L < 5$ (輕微液化)。本研究將 Seed 法分析所得的土壤液化安全係數轉為液化潛能指數  $P_L$ ，以與單站頻譜比法所得的液化潛能指標  $K_g$  進行比較。

## 結果與討論

圖一為彰化縣與雲林縣強地動觀測站分佈圖。其中彰化縣有 16 個觀測站、雲林縣有 23 個觀測站具有地質鑽探資料，以彰化縣與雲林縣各鄉鎮市為主組成的中西部平原，地質屬於現代沖積層，由地表以下主要黏土、粉質砂土、砂和礫石組成，其中較大之礫石層多分部於靠近平原東側，向西漸減，中部區域以粗、細砂及黏土互層為主，靠近海邊則以細砂和黏土層為主。鑽探資料顯示各強地動觀測站在深度 20 公尺範圍內之土壤分類以 ML、SM 及 CL 為多數，顯示在飽和狀態下受到強烈地震作用時，該類地盤土壤發生液化的可能性相當高。

本文在計算地震引致剪應力計算時的輸入地震最大加速度值  $A_{max}$  取為 0.192g，地下水位設定於地面以下 0.6 公尺處。以 921 大地震發生嚴重液化現象的員林地區為例，員林國小的液化潛能指數  $P_L$  超過 40 以上，屬於嚴重液化地區，這與國家地震工程研究中心在 921 大地震後的調查報告結果相當吻合，而使用員林國小觀測站之地震紀錄資料所得之單站頻譜比法  $K_g$  值平均為 26.1，亦屬於極可能發生土壤液化地區，因此單站頻譜比法與工程簡易經驗分析方法所得之結果相當吻合。

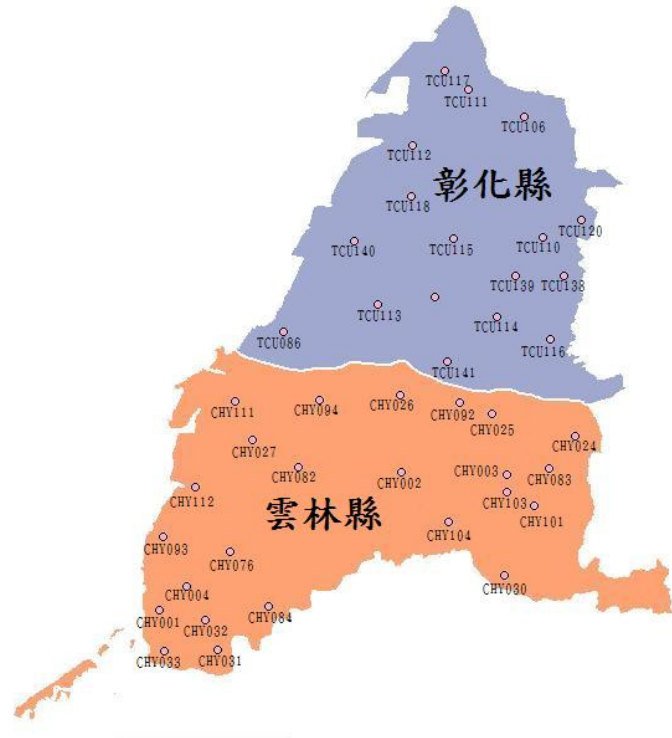
表一為各測站液化潛能指標  $K_g$  平均值與潛能指數  $P_L$  值之對應比較，彰化地區使用簡易經驗分析法評估為可能發生液化的 12 個測站中，只有二個測站 (TCU138 與 TCU139) 的  $K_g$  值是小於 20，但也都在 15 以上，同樣地，雲林地區使用簡易經驗分析法評估為可能發生液化的 21 個測站中，也是只有二個測站 (CHY033 與 CHY104) 的  $K_g$  值是小於 20，顯示應用多次強地動紀錄的單站頻譜分析結果平均值估計台灣中西部平原的土壤液化潛能趨勢，似乎尚屬可行。若取全區域共 33 個可能發生液化測站之  $P_L$  值，以及依各單次地震紀錄計算所得  $K_g$  值探討二者間之對應關係，其分析結果如圖 2 所示，圖中顯示  $K_g$  與  $P_L$  值之間具有正向線性相關的趨勢，亦即當應用單站頻譜分析法判斷場址液化潛能高低時，通常以工程簡易分析法所得的評估結果也會顯示類似的趨勢行為。因此，根據強地動紀錄資料，應用單站頻譜分析法確實可以初步判斷出中西部平原地區發生土壤液化潛能的有效輔助工具。

## 參考書目

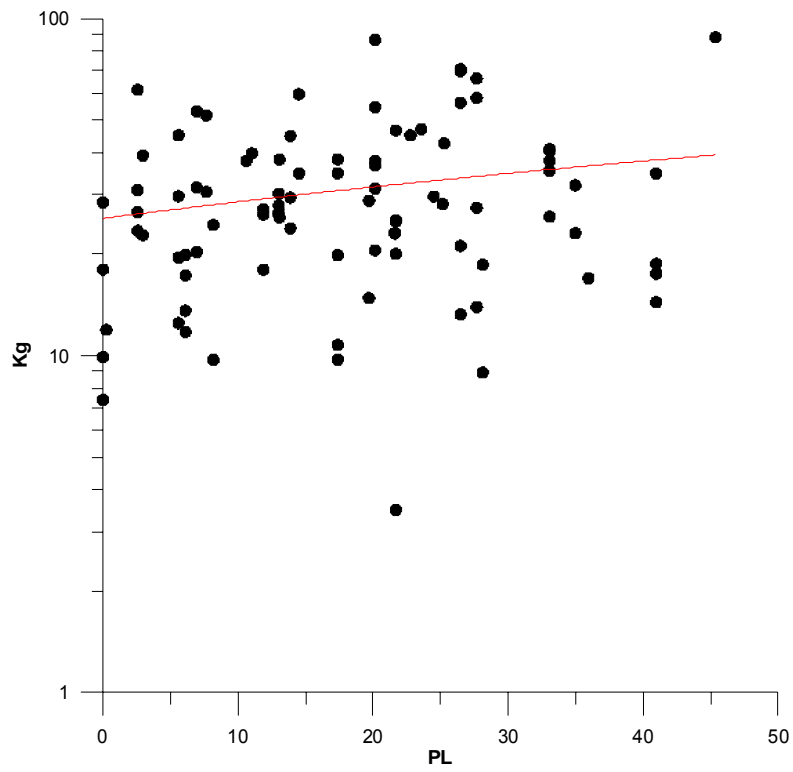
- Nakamura, Y., 1996. Real Time information Systems for Seismic Hazard mitigation, UrEDAS, HERAS and PIC, QR, of RTRI, Vol. 37, pp.112~127.
- Seed, H.B., Idriss, I.M., and Arango, I., 1983. Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 109, No. GT3, pp.458~482.
- Iwasaki, T., T. Arakawa, and K. Tokida, 1982. Simplified Procedures for Assessing

表一各觀測站液化潛能指標  $K_g$  與潛能指數  $P_L$  比較

測站編號	$K_g$ 平均值	$P_L$ 值	測站編號	$K_g$ 平均值	$P_L$ 值
CHY001	87.86	45.35	TCU106	26.07	40.97
CHY002	30.57	7.66	TCU111	44.54	20.16
CHY003	28.8	19.7	TCU112	61.86	13.87
CHY004	23.29	34.97	TCU113	50.49	13.06
CHY025	26.52	15.34	TCU114	37.75	10.61
CHY026	42.61	25.26	TCU115	46.21	26.47
CHY027	22.51	17.37	TCU117	44.95	6.94
CHY030	59.6	14.51	TCU118	41.47	27.68
CHY031	34.72	24.5	TCU121	39.77	11.05
CHY032	29.64	23.04	TCU138	15.64	6.11
CHY033	16.94	35.96	TCU139	17.04	8.17
CHY082	45.96	33.07	TCU141	31.88	13.03
CHY083	30.98	2.96			
CHY092	45	22.77			
CHY093	24.05	21.68			
CHY094	28.17	25.15			
CHY101	26.67	5.59			
CHY103	23.8	11.88			
CHY104	13.75	28.11			
CHY111	23.05	21.6			
CHY112	46.92	23.57			



圖一 彰化與雲林縣強地動觀測站位置分佈圖。



圖二 Kg 值與 PL 值對應比較圖。