

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

樁基礎結構分析之視窗化程式開發(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC93-2211-E-032-001-

執行期間：93年08月01日至94年07月31日

執行單位：淡江大學土木工程學系

計畫主持人：張德文

計畫參與人員：林伯勳 巫秀星

報告類型：完整報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 9 月 29 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期末報告

樁基礎結構分析之視窗化程式開發 (3/3)

Development of Windows Program of Structural Analyses of Pile Foundations

計畫編號：NSC-93-2211-E-032-001

執行期限：93年8月1日至94年7月31日

主持人：張德文

淡江大學土木工程學系

計畫參與人員：林伯勳 巫秀星

淡江大學土木工程學系

一、中文摘要

本研究係以樁基波動方程解為基礎，選用 Microsoft Visual Basic 物件導向程式做為發展視窗化平台。其分析包含單樁與群樁互制模式，上部載重和地震力行為機制、線性和非線性土壤彈簧對樁基所造成之影響以及上部結構結物納入。此外，本研究應用群樁動力之互制理論成功地詮釋群樁之側力分配，驗證陰影效應與模型樁實驗的觀察結果；同時，亦建議簡易且有效方法模擬液化和側向位移對樁基礎行為反應。

關鍵詞：波動方程、視覺化、陰影效應、液化

Abstract

This study is aimed to develop a windows program for the wave equation analysis of the pile foundations. The main computation simply models the pile-to-pile interactions, the single pile response and grouped pile response under the vertical/lateral structural loads, the earthquake excitations that include superstructure effects, and it was done by FORTRAN language. Nonlinear soil behaviors and layered soils can be both considerable by the user. Besides, the interaction models of laterally loaded pile foundations can successfully validate with shadow effects and model tests. In the meantime, one can suggest a simplified method to effectively conduct the behavior of pile foundations subjected to liquefaction and

lateral spreading problems.

Keywords: wave equation, visualized, shadow effects, liquefaction.

二、緣由與目的

樁基礎常用於軟弱地盤、橋樑和輸電設施等結構，其能有效的提昇基礎承載力和結構物耐震抗風能力。在例行的工程設計中，分析樁基礎的軟體仍多以靜力為主，基樁之動力行為則有賴於有限元素分析法，然由於該項方法相對複雜，資料準備和輸入均不易，故亦未能被普及運用；鑑於此，發展一簡明易於執行的動力分析軟體遂有其必要性。本研究將說明是項分析所採用的數值方法，係以 VB 作業平台和 ASP 程式語言分別建構 PC 版視窗軟體、開發網際版程式，同時使用 VRML 語言和 WebChart3D 軟體進行繪圖，以使結構系統特性和基樁變形、彎矩和剪力等分析結果均能顯示於視窗之中。

三、樁基礎波動方程分析

(1) 視窗式程式發展

本程式採用前期研究做為理論分析架構(Chang *et al.*, 2000;張德文和林伯勳, 2003)，利用一維波傳理論與中值差分法來撰寫 Fortran 程式，藉由 Visual Basic 6.0 作業平台及網際程式語言 ASP 發展視窗化程式 TKUPILE(吳宗達, 2003; 賈志揚, 2004) 分析基樁承受上部荷重，可分為垂直向或側向作用。樁基周身配以線性及非線性土壤彈簧可求取樁頂的位移歷時、樁周身位移、彎矩以及剪力。待分析完成後，藉由

繪圖軟體繪製 2 維、3 維基樁變形反應圖及基樁配置圖。圖 1、圖 2 為程式示意圖。

(2) 上部結構物隔震分析

分析將橋樑基礎結構系統簡化為單一自由度系統，藉以說明上部結構物與樁基礎變形機制。另外，並於上部結構物中加裝隔震元件，以探討該系統受震時的耐震性。由於上部結構介入，故在原分析中必須考慮上部結構物和樁基礎間的力傳遞性。所使用公式如下：

$$M(\ddot{U} + \ddot{U}_f) + C\dot{U} + KU = \bar{P}(t) \quad (1)$$

其中 U, \dot{U}, \ddot{U} 分別代表上部結構體之位移、速度和加速度， \ddot{U}_f 為基礎加速度， $\bar{P}(t)$ 為作用於橋墩結構體之上部作用力， M 為上部結構物之質量， C 和 K 則分別代表上部結構物之彈簧勁度和阻尼係數。

(3) 側邊受力樁基互制模式

當樁基承受側力作用，各樁間的土壤應力重疊(stress overlapping)與陰影效應(shadow effect)，會造成群樁中單樁側向土壤之抵抗力較單純之單樁為低，同時後排樁的側向土壤抵抗力又較前排樁低。為模擬群樁基礎側邊受力互制之情況，可將群樁系統以對稱形式展開，如圖 3 所示。擬外力作用於整體系統之形心處，並藉樁與樁之幾何參數與力幅的夾角，推導群樁互制影響下單樁的阻抗函數。最後，根據系統的對稱性與力幅疊加之概念，即可求取不同配置群樁之側力分配性，可供後續液化、側向位移等課題應用。

(4) 土質模數折減分析法

該方法適用於模擬液化之影響，需配合液化潛能評估法而進行。根據黃俊鴻和陳正興(1998)研究指出，液化之常用評估法以日本道路協會規範(1990、1996)、Seed 等人(1985)、和 Tokimatsu and Yoshimi (1993)所建議者為主，分析者可根據土壤之標準貫入值配合設計地震分析土壤抗液化安全係數，其中，日本道路協會設計規範更進一步建議所對應的土質參數折減係數以供結構應力分析使用。表一、表二即為相關建議值。該項折減係數可施用於土壤

模數值，配合集中質塊分析模擬自由場地盤液化反應，再將地盤反應輸入於樁基波動方程解，以求取該系統之反應。

四、比較與驗證

(1) 隔震支承分析

本研究以簡化單一自由度系統模擬橋樑基礎結構系統加裝隔震元件，探討在水平向地震力作用下之耐震反應。程式分析結果如圖 4 至圖 5 所示。由橋樑結構和基礎和之相對位移量可知，加裝隔震支承後其值有遞減趨勢，其最大位移之遞減量約為未加隔震元件前之 30%~40%，顯示在水平地震作用下，加裝隔震元件可吸收部分地震釋放能量降低地震力帶來的損害。相關研究成果可見鄭世豪(2004)、張德文等人(2005)。

(2) 陰影效應驗證

本案例採用 Brown *et al.* (1988)於砂土層中所進行之全尺寸 3×3 群樁試驗，樁距為樁徑之 3 倍，該場址位於美國休士頓市。基樁為鋼管樁，樁的外徑及厚度分別為 27.3 cm、0.927 cm，樁長為 12.8 m。現地土層為層狀系統，由地表至深度 2.8 m 為中等緊密乾淨砂土(相對密度約為 50%)，其下方為非常堅硬黏土，整體土層平均單位密度為 1570 kg/m³。若令土層柏松比與阻尼比分別為 0.3 及 0.05，並將上述所列各項參數代入群樁互制模式中進行分析，其結果如圖 6 所示。由圖可知，當靜態時前排樁力幅分配為 44%，中排樁力幅分配為 35%，後排樁力幅分配為 21%；各排樁中以中間樁力幅分配為小，其次為邊緣樁，此項結果除相似於 Brown 等人之觀察外(前排樁力幅分配為 45%，中排樁力幅分配為 32%，後排樁力幅分配為 23%)，亦與 Ilyas *et al.* (2004)和 Rollins *et al.* (2005)等人之實驗觀察相符。此外，不同振頻下各樁力幅分配情況如圖 7，隨著振頻逐漸增加，各樁力幅分配性均趨一致。相關案例另可參考張德文與林伯勳(2005)。

(3) 液化案例分析

本案例採用 NHK 大樓，該結構物為四層樓鋼筋混凝土，曾遭受 1964 新瀉大地震

作用，現全部基樁均斷裂於樁帽下 2.5 至 3.5 公尺處以及樁底上 2 至 3 公尺處，損壞位置均介於液化與非液化土層交界處。其下方基礎為直徑 35 公分之鋼筋混凝土樁，貫入深度約為 11 至 12 公尺，如圖 8。現地之最大永久變位量約為 2 公尺，基樁之最大永久變位量則估計約為 1.0 至 1.2 公尺。本研究於分析時採用現場標準貫入試驗值配合經驗式，以計算合理之土壤模數值。此外，利用液化評估法配合新日本道路橋協會規範（1996），得知在液化區範圍內所對應之土質折減參數約為 0.3~0.6。將上述參數值代入分析，所得樁頂處產生最大之位移量(如圖 9)，其中位移量約達 1.1 m 與現場觀察位移值十分吻合(Hamada, 1992)。另由樁身彎矩分佈曲線顯示(如圖 10)，在液化與非液化土層交界處的彎矩值為最大，樁身所承受之彎矩均超過極限彎矩，此處即為發生彎矩破壞的地方，且其結果與他人研究相似(Meyersohn, 1994) 似。

五、結論

本研究已建立樁基波動方程視窗化程式，並進行不同問題之應用探討，茲將成果整理如下：

1. 透過視窗化程式建構及三維視覺化的模擬，可建立良好人機介面，並能使工程師易於操作且應用於實務設計上。
2. 本研究透過簡易橋樑基礎結構系統分析，可掌握上部結構物變形量並有效地降低橋樑結構和基礎和之相對位移量，達至結構耐震設計之安全性。
3. 動力互制因子公式建立於彈性力學，其配合疊加原理可用以模擬群樁基礎之側力分配性，結果並能相似於實驗觀察和數值分析，顯示樁與樁之間的互制影響將相似於陰影效應機制。
4. 本研究所建議簡易分析模式，可涵蓋土層液化時之弱化現象，且能有效掌控地盤反應與樁基礎間互制行為，將有助於預測液化中樁基礎引發之破壞行為。

六、參考文獻

1. Chang, D. W., Roesset, J. M. and Wen, C. H. (2000), "A Time-domain Viscous

- Damping Model Based on Frequency-depend Damping Ratios", Soil Dynamic and Earthquake Engineering, Vol. 19, pp. 551-558.
2. Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F. and Chung, R.M. (1985), "Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluations", Journal of the Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 111, No. 12, pp. 1425-1445.
3. Tokimatsu K. and Yoshimi Y. (1993), "Empirical Correlation of Soil Liquefaction Based on SPT N-Value and Fines Content", Soil and Foundations, JSSMFE, Vol. 23, No.4, pp. 56-74.
4. Brown, D. A., Morrison, C., and Reese, I. C. (1988), "Laterally Loaded Behavior of Pile Group in Sand", Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol. 114, No.11, pp. 1261-1276.
5. Ilyas, T., Leung C. F., and Budi S. S. (2004), "Centrifuge Model Study of Laterally Loaded Pile Groups in Clay", Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 130, No.3, pp. 274-283.
6. Rollins, K. M., Lane, J. D., and Gerber T. M. (2005), "Measured and Computed Lateral Response of a Pile Group in Sand", Journal of Geotechnical Engineering and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 131, No.1, pp. 103-114.
7. Hamada, M. (1992), "Large Ground Deformations and Their Effects on Lifelines: 1964 Niigata Earthquake", Technical Report, NCEER-92-0001, NCEER, Buffalo, NY, USA.
8. Meyersohn, W. D. (1994), "Pile Response to Liquefaction-induced Lateral Spread", Doctor's Dissertation, Cornell University, USA.
9. 張德文，林伯勳(2003)，"含樁帽及互制影響之波動方程分析"，土工技術雜誌，第九十五期，第 49-60 頁。
10. 吳宗達(2003)，"樁基波動方程分析之視窗化研究與應用"，碩士論文，淡江大學土木工程研究所，台灣，淡水。
11. 賈志揚(2004)，"樁基波動方程網際網路化視窗程式之開發"，碩士論文，淡江大學土木工程研究所，台灣，淡水。

12. 鄭世豪(2004),“簡易橋墩基礎之地震反應分析”,碩士論文,淡江大學土木工程研究所,台灣,淡水.
13. 張德文,鄭世豪,林伯勳 (2005),“簡易橋墩基礎之地震反應分析”,岩土工程學報 (accepted)。
14. 黃俊鴻、陳正興 (1998),“土壤液化評估規範之回顧與前瞻”,地工技術雜誌,第70期,第23-44頁。
15. 日本道路協會 (1990),“道路橋示方書·同解說·V耐震設計篇”。
16. 日本道路協會 (1996),“道路橋示方書·同解說·V耐震設計篇”。
17. 張德文,林伯勳 (2005),“由動力互制因子看群樁側力之分配性”,第二屆全球華人岩土工程論壇,中國大陸,南京市,八月,第112-118頁。

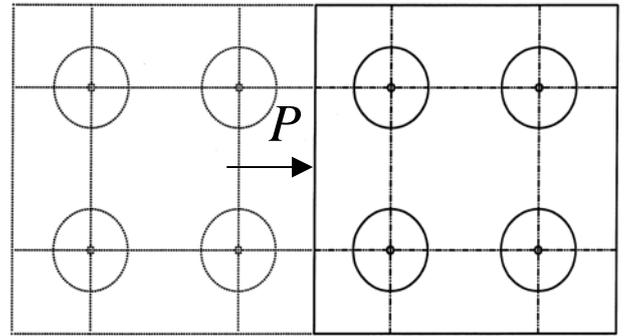


圖 3 2X2 群樁配置之對稱展開圖

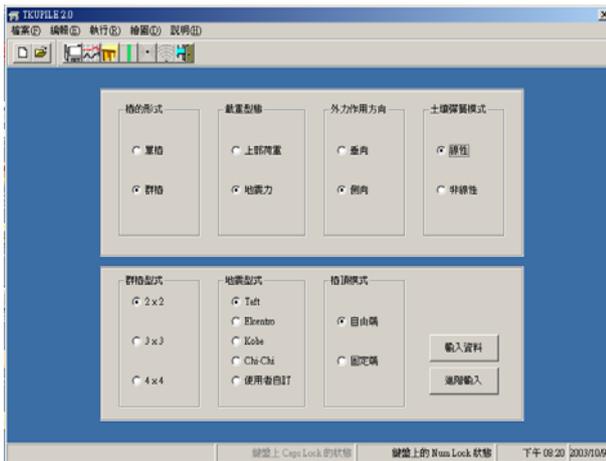


圖 1 TKUIPLE 程式單機版介面



圖 2 TKUIPLE 程式網路版介面

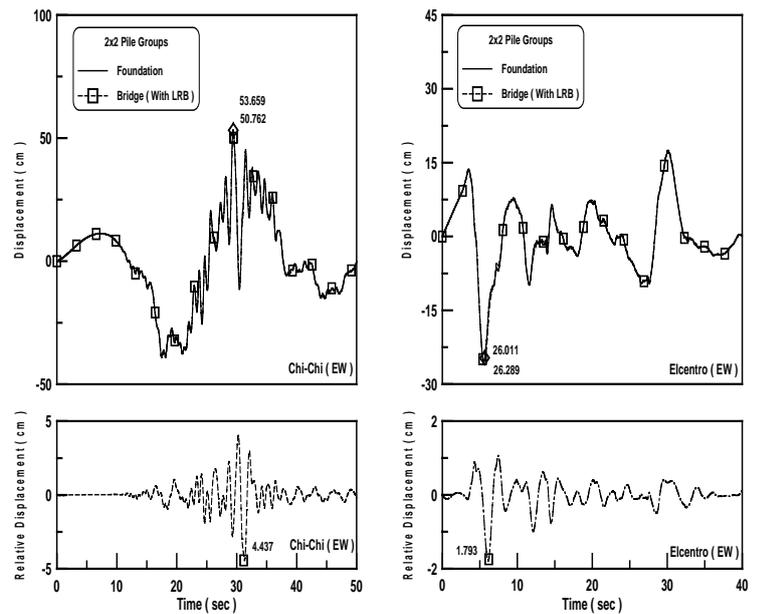


圖 4 橋樑基礎結構系統歷時反應圖
(未加裝隔震元件)

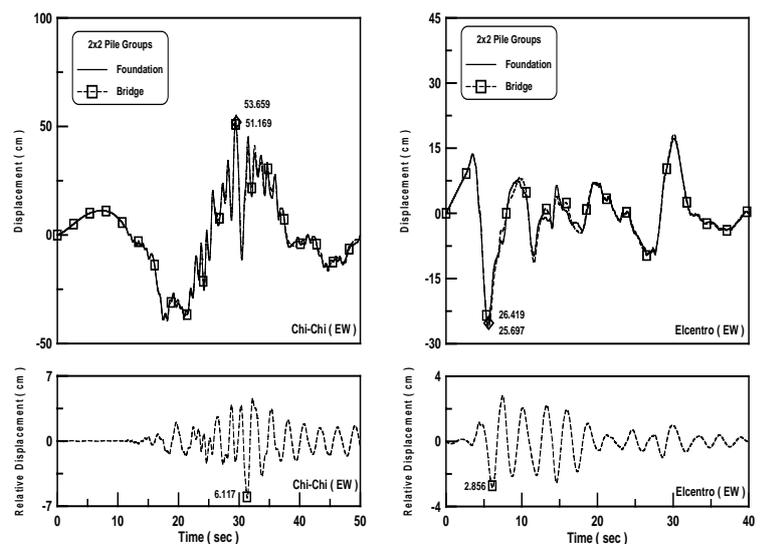


圖 5 橋樑基礎結構系統歷時反應圖
(加裝隔震元件)

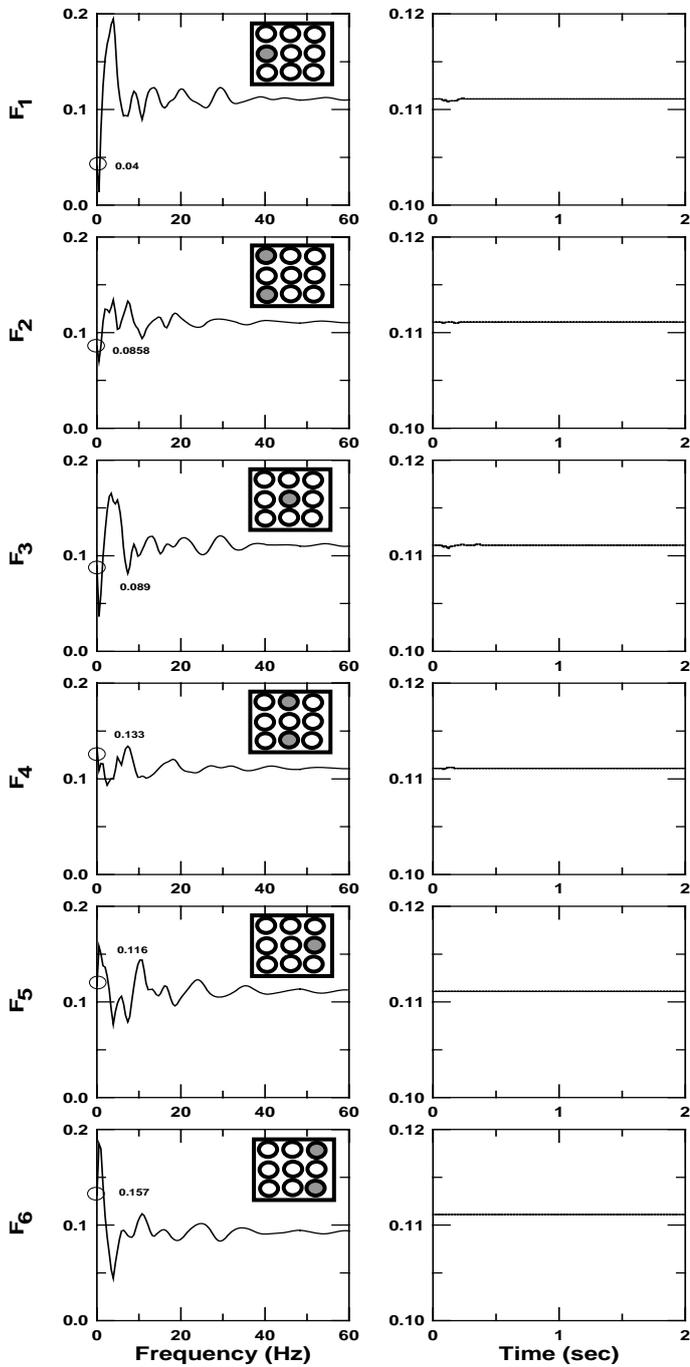


圖 6 3×3 群樁配置側向力幅分配性

(a) 頻域；(b) 時域

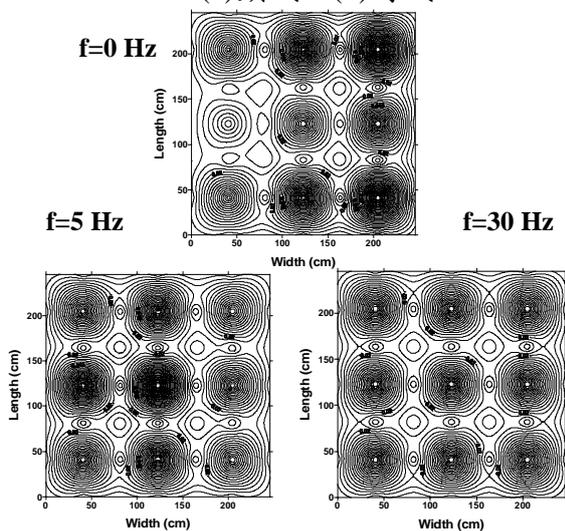


圖 7 不同振頻下 3×3 群樁配置之側向力幅分配輪廓圖

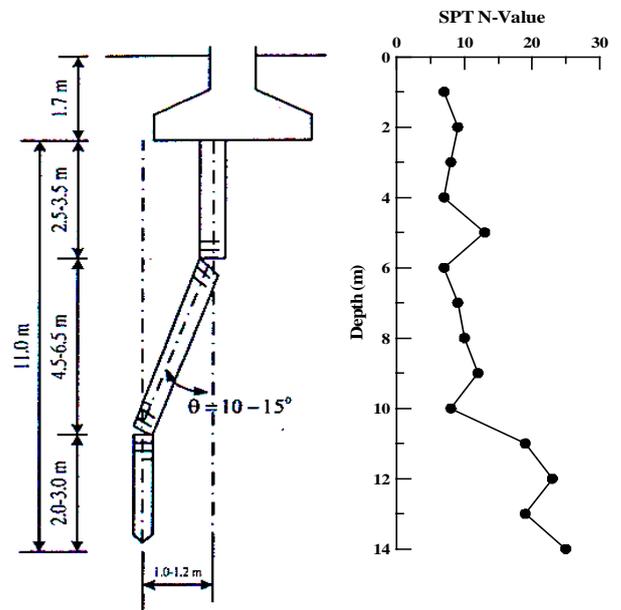


圖 8 樁基礎破壞模式與現場地質概況

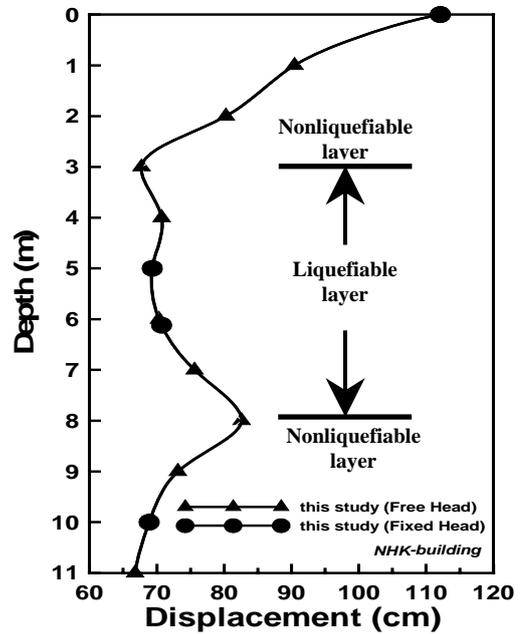


圖 9 樁身位移圖

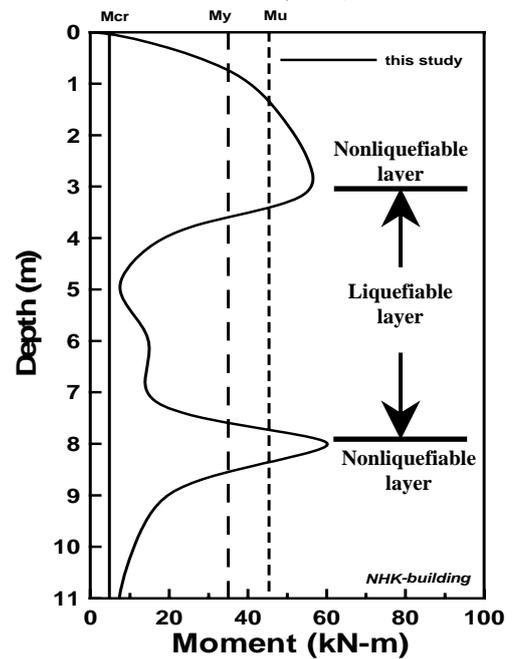


圖 10 樁身彎矩圖