

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

樁基礎受液化和地盤側向流動之結構行為分析(1/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-032-010-

執行期間：94年08月01日至95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、葉健輝

報告類型：精簡報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 5 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

樁基礎受液化和地盤側向流動之結構行為分析 (1/2) Structural Analysis for Pile Foundations Subjected to Soil Liquefaction and Lateral Spreading

計畫編號：NSC-94-2211-E-032-010

執行期限：94年8月1日至95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 葉健輝

淡江大學土木工程學系

一、中文摘要

本研究以樁基礎波動方程式為基礎，參考國內外有關土壤液化之研究報導，將土質參數折減與孔隙水壓消漲模式納入波動方程解，開發適用於液化問題之有效簡易動力分析程式，並將此程序命名為EQWEAP (Earthquake Wave Equation Analysis for Pile Foundation)。同時，藉案例比較研究，以瞭解分析方法之適用性與可靠性。研究顯示兩項液化模式分析結果，除樁身最大位移量發生位置不同外，皆能有效模擬液化地盤中樁基變形反應，且樁身在接近於非液化與液化土層之交界面，將會承受過大內力值超過其極限值致使引發破壞。因此，工程師進行深基礎耐震設計時，針對該區交界處應加強防範以避免該類情事之發生。

關鍵詞：樁基、波動方程、液化、EQWEAP

Abstract

This study aims to develop a simplified procedure for pile analysis, taking into account the two different concerns of liquefaction based on the results of prior research and recently reports. The simplified procedure was named as EQWEAP (Earthquake Wave Equation Analysis for Pile Foundation). Case studies would be conducted to reveal their validation and reliability. The results show that maximum bending and shear of piles occur at the interface between nonliquefied and liquefied soil layer in both methods except the

maximum pile displacements. Thus, engineers should be more careful of the zone and mitigate the event in seismic deep foundation design.

Keywords: pile, wave equation, liquefaction, EQWEAP.

二、緣由與目的

近年國際間之大型地震迭起，規模六以上之地震有可能對自由水面以下的飽和砂土或低塑性粉土層造成液化作用，同時亦有可能導致臨水岸或緩坡之類似地層發生地盤流動現象，以上震災均可能使現場各式構造建物產生不同的破壞現象。對於樁基礎而言，其影響更為直接。不當的設計將導致樁基失敗，造成落橋、道路中斷、橋樑或建物傾斜倒塌、堤岸崩潰沉陷等結構破壞，危害人員生命安全，並嚴重影響社會經濟等各項活動。然而，實際工程設計中，分析樁基礎的軟體仍多以靜力為主，但應用時並非能涵蓋所有細節，尚有不逮之處；而基樁之動力行為常用於有限元素分析法，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，發展一簡易且具有效率性動力分析程式遂有其必要性。本研究擬將前期研究基樁結構應力分析程式結合有關的液化和地盤流動等處置措施，開發適用於液化和側移問題之有效簡易方法並以實際案例比較，嘗試了解基樁反應和結構破壞機制，供樁基礎設計分析參考。

三、樁基礎之液化反應分析

(1) EQWEAP 分析程序

本研究所使用之 EQWEAP 分析程序包括以下兩部份(如圖 1): 1. 自由場反應, 2. 基樁反應, 說明如后。自由場分析係以集中質塊-彈簧-阻尼方式分割整個土層(如圖 2), 藉由內隱積分法展開運動方程式, 再使用矩陣分析求解自由場地盤反應, 該項分析可經二維 ABAQUS 有限元素軟體分析驗證其可信度(如圖 3 所示)。輸入之地震加速度歷時可採設計地震或鄰近測站之紀錄, 該項分析可藉由現場地質構造之掌握求取真實的地(岩)盤加速度, 以使分析結果更為確實。同時, 由於地震紀錄資料存有量測誤差, 吾人可使用基線修正法(baseline correction method)將分析所得之速度歷時函數加以修正, 以消除位移量之積分誤差。

利用上述自由場分析配合土壤液化考量方式, 即可求得地盤之液化反應, 同時透過土壤彈簧與阻尼模式傳遞於模擬樁基礎行為之波動方程解, 即可得知液化地盤內之樁基行為。上述波動方程分析所得之樁基反應亦可經三維群樁基礎 ABAQUS 有限元素軟體驗證其可行性, 如圖 4 所示(Chang and Lin, 2003)。

(2) 土質參數折減模式

土壤液化將致使土壤模數與強度降低, 故樁基礎的耐震設計常將液化地層的模數與強度加以折減, 以考量液化所引發之土壤弱化行為。液化地層之土質折減係數(D_E)可見於日本道路橋示方書耐震設計篇(1990), 該折減係數與液化土層深度與抗液化之安全係數有關, 如表 1 所示。1996 年之日本道路橋示方書耐震設計篇(1996)則考慮緊密土層抗液化強度(R 值)較高, 其液化後殘餘強度較鬆砂為高, 故修正前項之土質參數折減係數, 見表 2。此項係數可配合適當之數值模擬加以使用。吾人可先行評估地盤液化潛能, 將分析所得之土質折減參數用於土壤彈簧係數, 以模擬地盤液化對樁基影響。另外, 若現地屬為層狀土壤系統, 吾人可利用土層厚度加權法及波傳時間累積法估算該地盤之等值楊氏模數, 以使分析更為簡便(Chang and Lin, 2006)。是項方法分析流程圖, 參見圖 5 所示。

(3) 孔隙水壓消漲模式

處理液化之模式眾多, 土壤彈塑性組成律中的有效應力模式最具嚴謹性, 例如: Prevost model 和 Bounding Surface model, 但上述模式使用相對複雜。周建捷和陳惠慈(1997)曾利用土壤非線性模式模擬液化超額孔隙水壓消長對樁體之影響。本研究將參考 Finn *et al.* (1977)所建議之液化下孔隙水壓消長模式進行直接分析。Kim (2003)曾利用此模式成功地預測地震下孔隙水壓力, 並經實驗驗證。使用上述學者所建議之孔隙水壓消漲模式, 即能獲得液化狀態下土壤之剪力模數值, 並將其取代舊值在不同分析階段進行迭代分析, 謀取系統之平衡與收斂。該項分析可兼顧實務應用性和各項模擬細節。是項方法分析流程圖, 參見圖 6 所示。

四、比較與驗證

(1) 案例 NFCH

NFCH(Niigata Family Court House)大樓為三層樓高之鋼筋混凝土結構, 位於 Shinano River 左岸。該建物下方為樁基礎(如圖 7), 由直徑 350 mm, 長度約 6 至 9 米之混凝土樁長組成。當新潟地震發生後, 該建物受到不均勻沈陷量影響。經現場開挖結果得知(如圖 8), 其中編號為 No.1 Pile (樁身深度為 7 米)和 No.2 Pile(樁身深度為 9 米)產生明顯斷裂現象, 且均在地表下 2m 處發生, 另 Pile-No.2 在 6.5m 至 8.5m 處亦發生彎矩裂縫(如圖 8)。此外, 由空照圖知該棟建物水平移動約為 0.9m 至 1.1m, 地表之永久大位移約 1m 至 2m, 兩樁之最大位移量分別為 0.5 米、0.7 米。本研究將現地土層設為上下兩層, 上層為由地表至深度 8m 處, 為鬆砂-中等緊密砂層; 下層深度為 8m 至深度 11m, 為緊密砂層, 地下水位深度約為 1m~2m。案例分析之樁體及土壤材料性質可見表 3。地震記錄係採用 1964 年 6 月 16 日位在新瀉縣栗島東南方處所發生規模為 7.5 級地震之水平南北向分量, 如圖 9 所示。本研究基於現場地理環境和 JRA (1996)有關地盤流動條件之建議, 將該案例使用上述分析進行模擬。

(2) 土質參數折減分析

首先，根據 Tokimatsu and Yoshimi (1983)之液化潛能評估法則並依日本道路橋規範(1996)求取對應之土質折減參數，其值 (D_E) 約為 0.3 至 0.6，其液化土層介於深度 3m 至 8m 間，可參見圖 10 所示。為簡化分析，本研究亦配合經驗法則估算土壤模數(Bowles, 1988)，並使用波傳累積時間法將原始成層土層，其模數轉換成均值土層，其等值模數 E_{eq} 約為 4714.51 kN/m^2 。吾人可隨深度分層折減其模數以進行自由場分析。

待液化地盤反應求得後，再將其作用於樁體上，同時亦依據所計算之土質折減係數修正樁周身之彈簧係數，以求取樁體反應。若令樁頂束制為自由端，圖 11(a)、圖 12(a)分別為 No.1 Pile 與 No.2 Pile 樁身最大位移分佈曲線，可知沿樁身最大位移之尖峰值均超過 70 cm 且位於化區中央處。圖 11(b)、圖 12(b) 分別為 No.1 Pile 與 No.2 Pile 樁身之最大彎矩分佈曲線，可以發現位於於未液化與液化層之介面，其樁身彎矩值有放大的現象且均接近於降伏彎與極限彎矩，其所得結果亦與 Meyersohn(1994)觀察一致(如圖 13 所示)。

(3) 孔隙水壓消漲模式分析

根據現場地址調查結果並利用 Tokimatsu and Yoshimi (1983)之液化潛能評估法並將其推估現場孔隙水壓力比 (r_u)，參見圖 10 所示。同時，利用現地土層參數並使用經驗公式估計現地初始剪力模數值，所得土層剪力模數類似於吉普生土壤(Gibson Soil)分佈概況。根據上述各項參數代入，透過地震下孔隙水壓激發模式配合集中質塊法進行自由場分析，即可得液化中地盤反應。接著，將不同深度之地盤反應透過地震下樁基波動方程式輸入，即可求取液化中基樁反應。

圖 14(a)、圖 15(a) 分別為 No.1 Pile 與 No.2 Pile 樁身最大位移分佈曲線，其樁頂與樁底之相對位移量各為 46cm、69cm，接近於實際觀測與他人分析結果(Meyersohn, 1994)。圖 14(b)、圖 15(b) 分別為 No.1 Pile 與 No.2 Pile 為樁身之最大彎矩分佈曲線。

由圖中可知，接近位於未液化與液化層之介面，其樁身所承受之彎矩值有放大的現象且超過其極限值，亦接近於實際斷樁處。上述結果亦與 Meyersohn (1994)觀察一致。

五、結論

本研究所建議 EQWEAP 分析程序，經案例比較驗證，確實可行。除上述案例外，其餘案例模擬內容詳見林伯勳(2006)。茲將本研究觀察整理如下：

1. EQWEAP 分析程序具備快速簡易優點，可大幅分析運算時間。
2. 由案例研究可知，土質折減分析方法所得樁身最大位移之極值，位於液化土層之中間區域；孔隙水壓消漲模式分析所得樁身最大位移之極值，則位於樁頂處，且樁頂與樁底之相對位移較符合現地觀察之結果。
3. 本研究所建議兩種不同液化地盤處理方法，均發現樁身接近於非液化與液化土層之介面將承受過大之彎矩，甚至超過其極限彎矩值。另外，欲進行該項分析時，須注意的是現場地理概況、結構體之邊界設定、土壤彈簧與阻尼模式選取、土層材料參數之校正，以使分析達至完善確實。

六、參考文獻

1. Chang, D.W. and Lin, B.S. (2003), "Wave Equation Analyses on Seismic Responses of Grouped Piles", Procds., 12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Singapore, August, pp. 581-586.
2. Chang, D.W. and Lin, B.S. (2006), "EQWEAP ~ a Simplified Procedure to Analyze Dynamic Pile-Soil Interaction with Soil Liquefaction concerns", Second Taiwan-Japan Joint Workshop on Geotechnical Hazards from Large Earthquake and Heavy Rainfall, Nagaoka, Japan, May, pp. 155-162.
3. Finn, W.D.L., Lee, K.W., and Martin, G.R. (1977), "An effective stress model for liquefaction", Journal of the Geotechnical Engineering Division,

- ASCE, Vol. 103, No. SM7, pp. 657-692.
- Kim, S.I. (2003), "Liquefaction Potential in Moderate Earthquake Regions", Proc., 12th Asian Regional Conf. on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Singapore, August, pp.1109-1138.
 - Hamada, M. (1992), "Large Ground Deformations and Their Effects on Lifelines: 1964 Niigata Earthquake", Technical Report, NCEER-92-0001, NCEER, Buffalo, NY, USA.
 - 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.
 - Meyersohn, W.D. (1994), "Pile Response to Liquefaction-induced Lateral Spread", Doctor's Dissertation, Cornell University, USA.
 - 日本道路協會 (1990), "道路橋示方書・同解説・V 耐震設計篇"。
 - 日本道路協會 (1996), "道路橋示方書・同解説・V 耐震設計篇"。
 - 周建捷、陳慧慈 (1997), "考慮孔隙水壓變化之樁基礎橋樑受震反應解析", 第七屆大地工程學術研究討論會論文集, 第 319-326 頁。
 - 林伯勳 (2006), "樁基礎受液化和地盤側向流動之結構行為分析", 博士論文, 淡江大學土木工程研究所, 台灣, 淡水。

表 2 土質折減係數 D_E (日本道路協會, 1996)

抗液化安全係數 F_L	地表面下深度 Z (m)	土質參數折減係數 D_E	
		$R \leq 0.3$	$0.3 < R$
$F_L \leq 1/3$	$0 \leq Z \leq 10$	0	1/6
	$10 < Z \leq 20$	1/3	1/3
$1/3 < F_L \leq 2/3$	$0 \leq Z \leq 10$	1/3	2/3
	$10 < Z \leq 20$	2/3	2/3
$2/3 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq Z \leq 10$	2/3	1
	$10 < Z \leq 20$	1	1

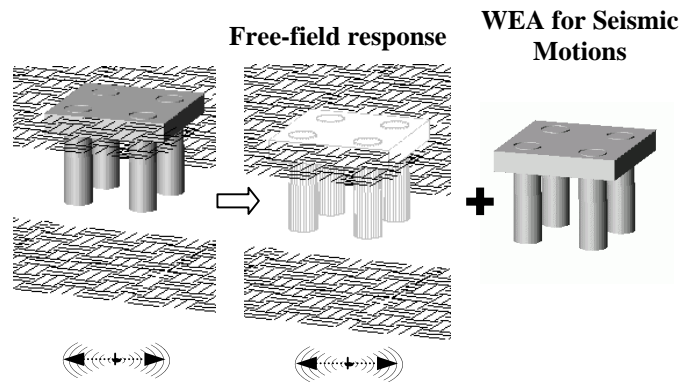


圖 1 EQWEAP 分析程序

表 1 土質折減係數 D_E (日本道路協會, 1990)

抗液化安全係數 F_L	地表面下深度 Z (m)	土質參數折減係數 D_E
$F_L \leq 0.6$	$0 \leq Z \leq 10$	0
	$10 < Z \leq 20$	1/3
$0.6 < F_L \leq 0.8$	$0 \leq Z \leq 10$	1/3
	$10 < Z \leq 20$	2/3
$0.8 < F_L \leq 1.0$	$0 \leq Z \leq 10$	2/3
	$10 < Z \leq 20$	1

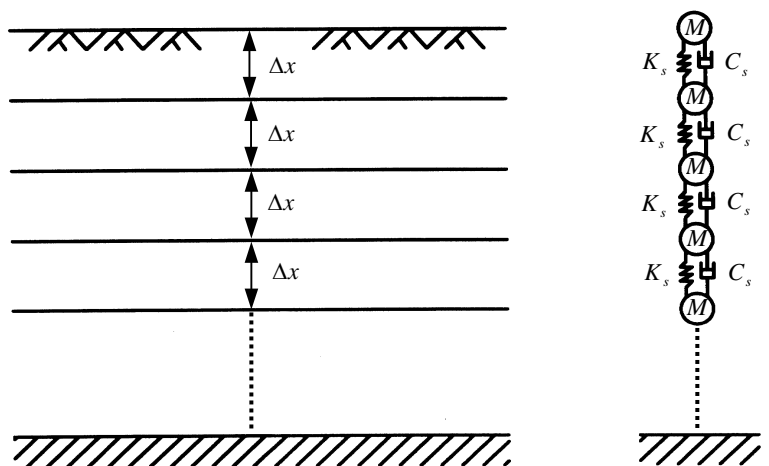


圖 2 自由場集中質塊分析分解模擬示意圖

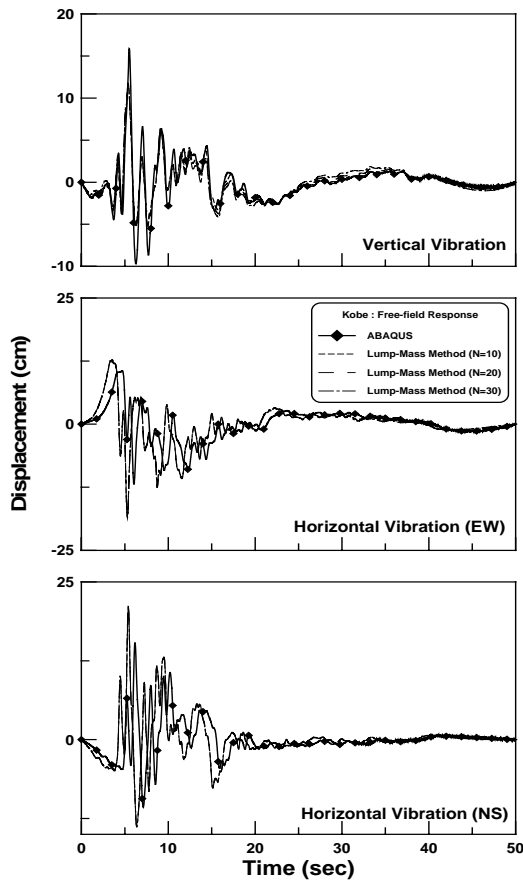


圖 3 自由場反應分析比較圖

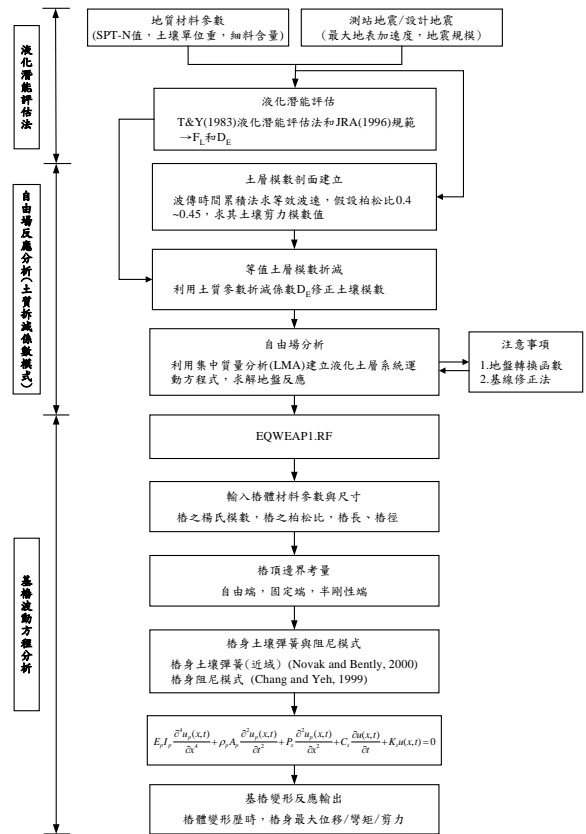


圖 5 土質參數折減分析流程圖

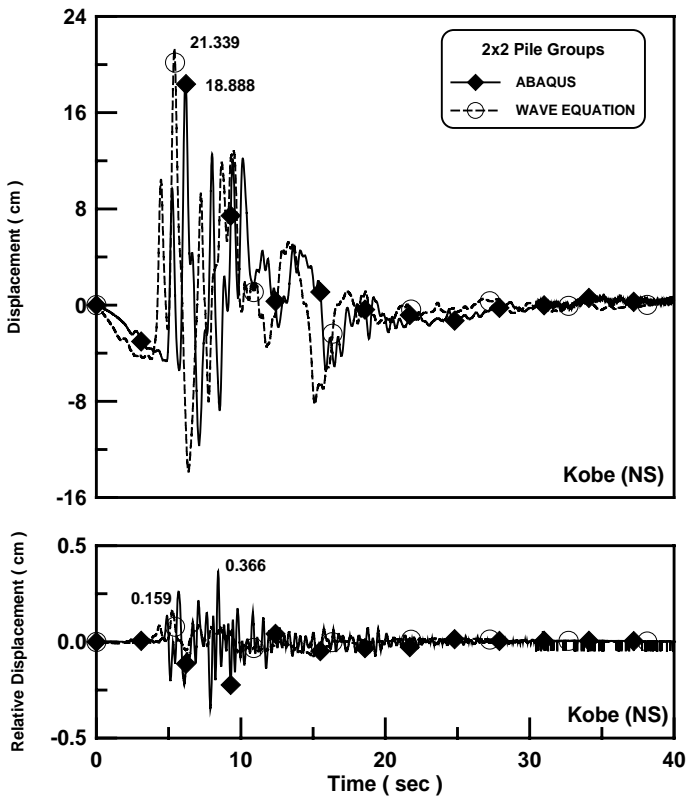


圖 4 Kobe 水平南北向地震作用下不同數值分析方法比較

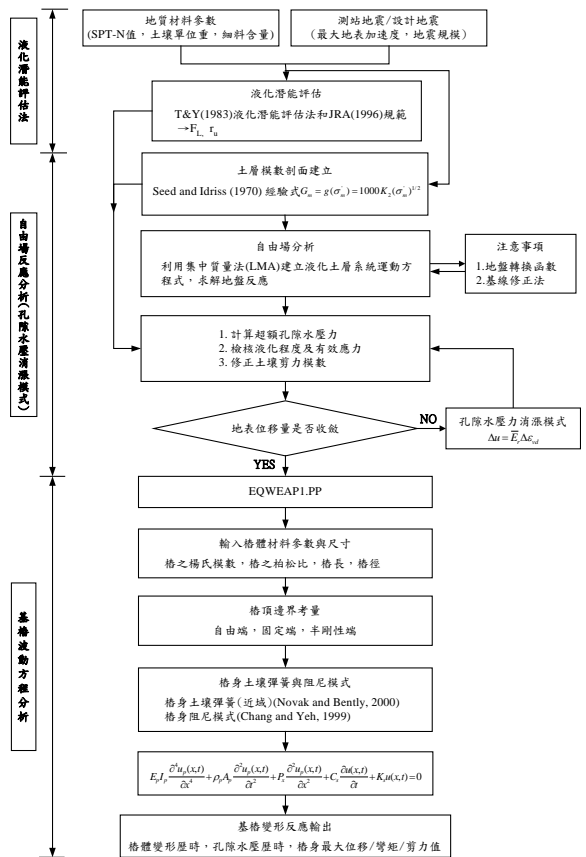


圖 6 孔隙水壓消漲分析流程圖

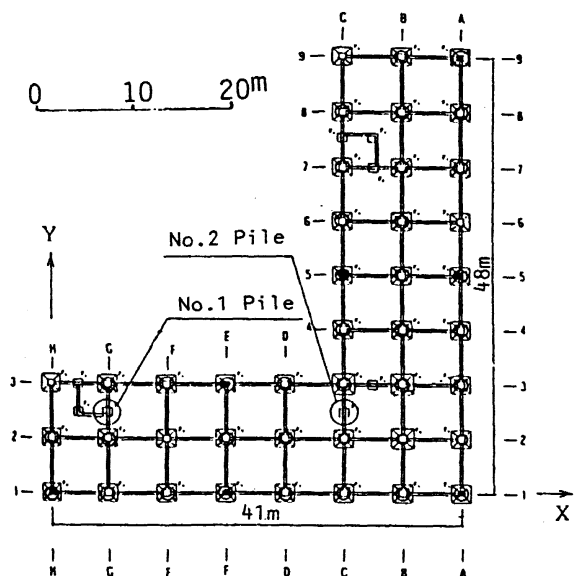


圖 7 NFCH 大樓下方基樁分佈配置圖
(摘自 Hamada, 2002)

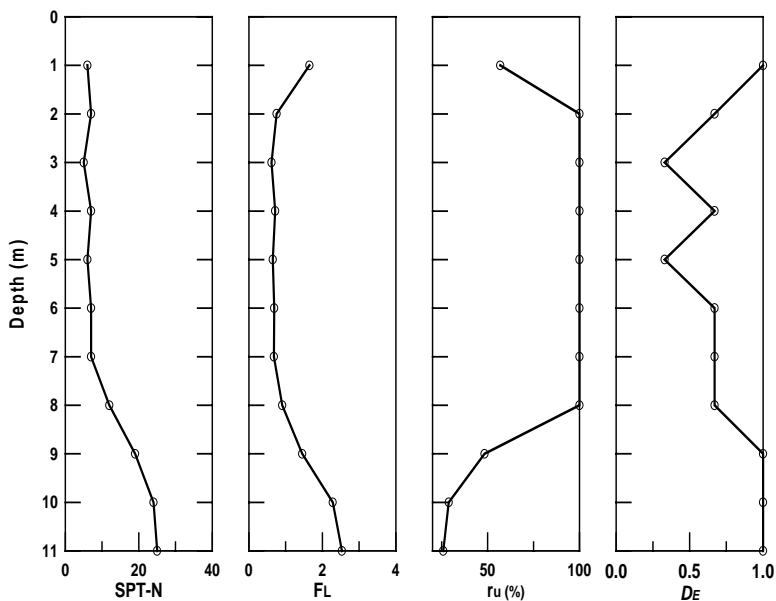


圖 10 土質折減係數與孔隙水壓力比之深度分佈

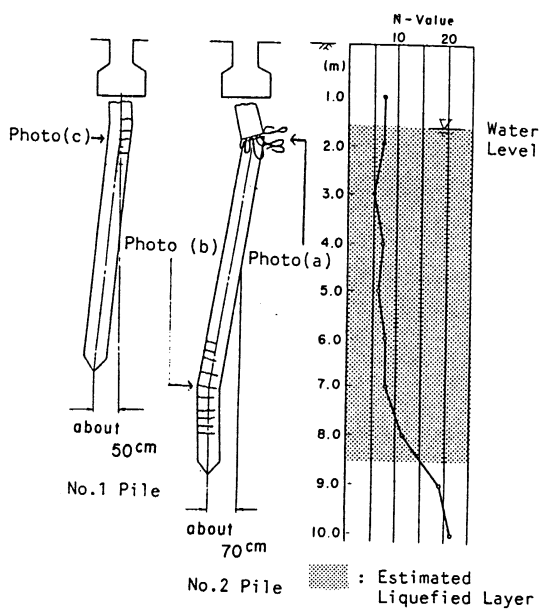


圖 8 樁基礎破壞模式及簡化分析模式
(摘自 Hamada, 2002)

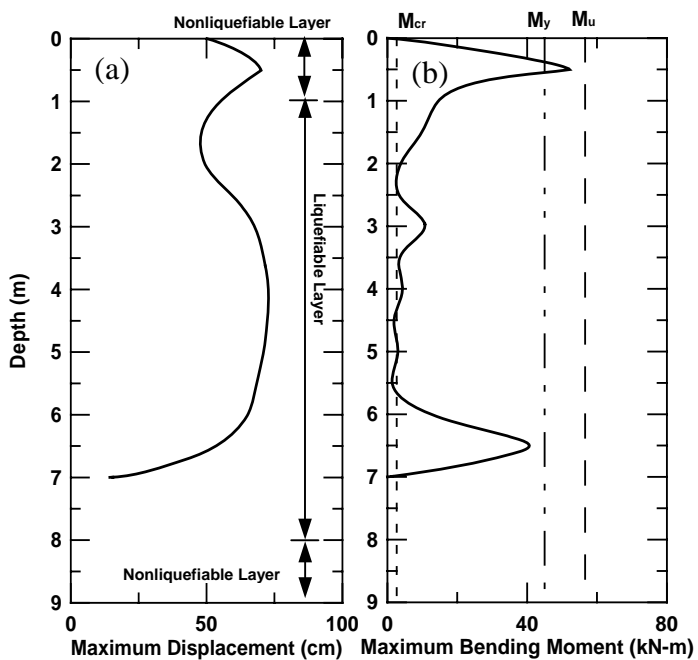


圖 11 No.1 Pile 樁身最大位移與彎矩分佈
曲線(土質參數折減分析)

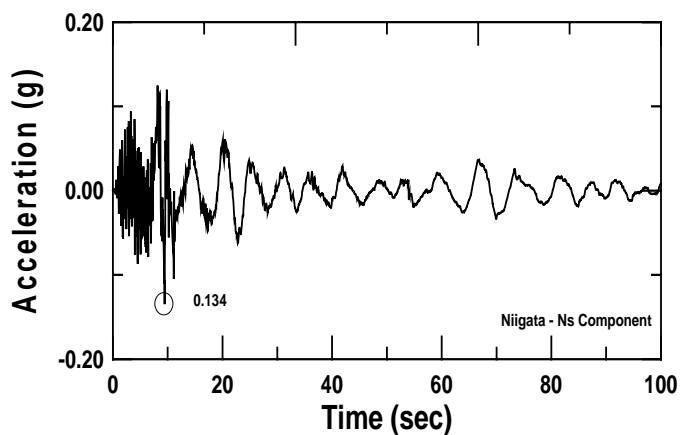


圖 9 新潟大地震加速度歷時曲線圖

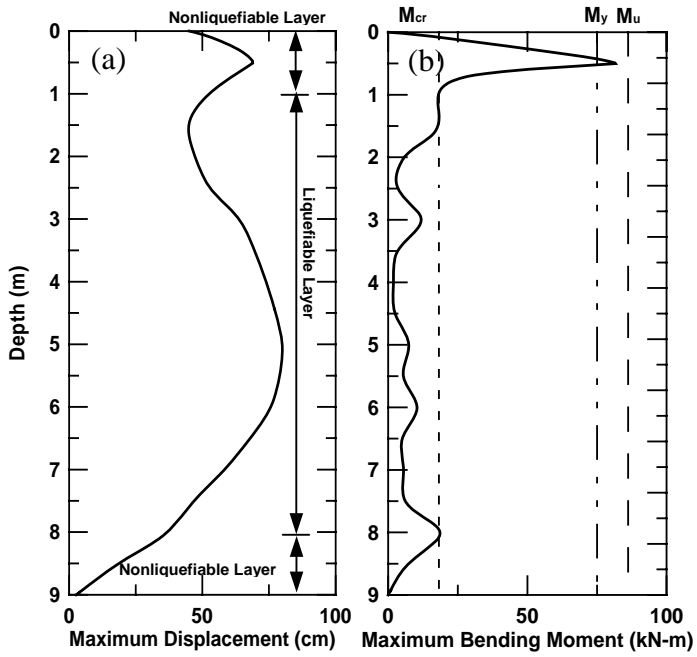


圖 12 No.2 Pile 樁身最大位移與彎矩分佈曲線(土質參數折減分析)

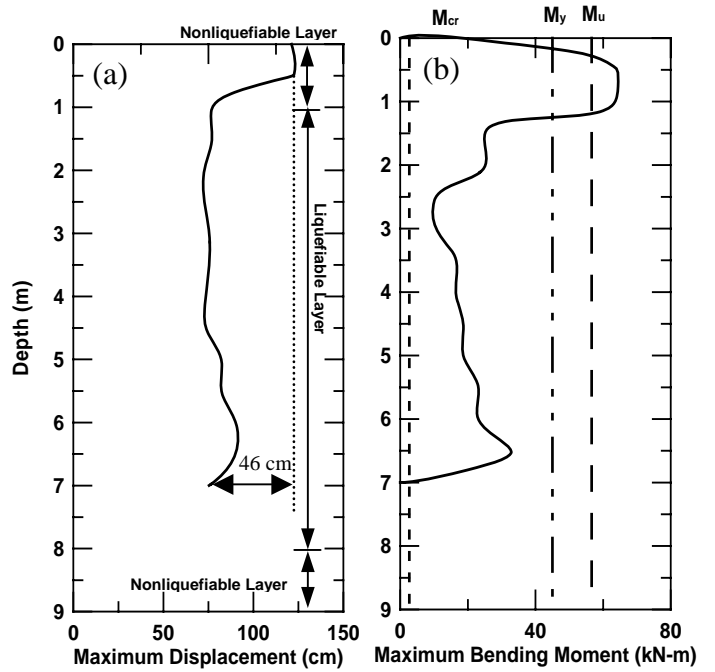


圖 14 No.1 Pile 樁身最大位移與彎矩分佈曲線(孔隙水壓消漲模式分析)

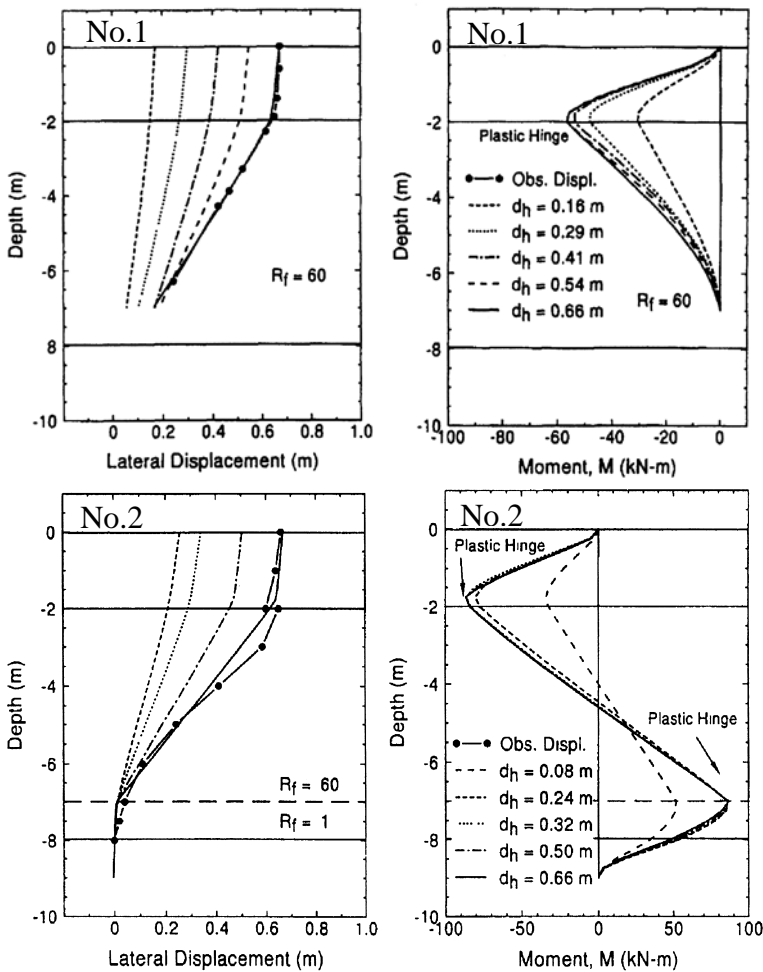


圖 13 樁身位移與彎矩分佈曲線 (摘自 Meyersohn, 1994)

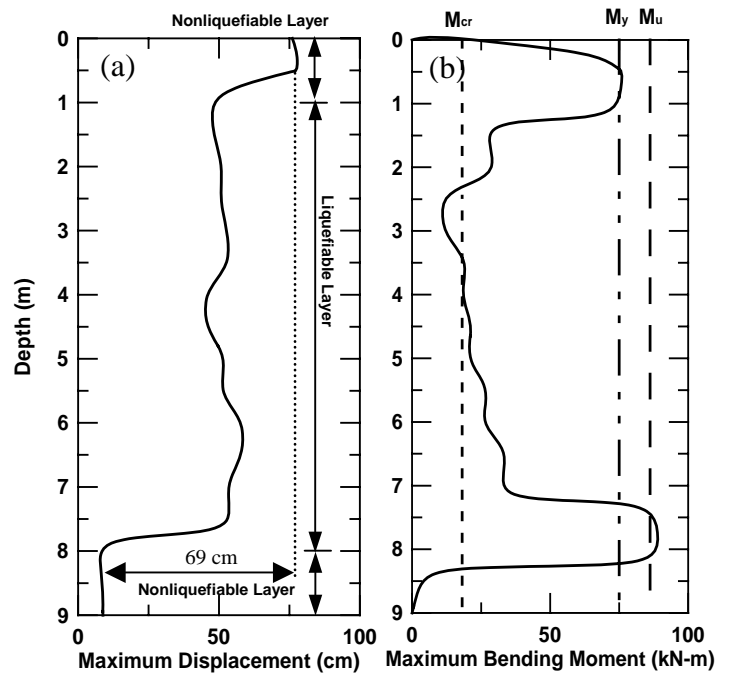


圖 15 No.2 Pile 樁身最大位移與彎矩分佈曲線(孔隙水壓消漲模式分析)