

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期中進度報告

樁基礎結構分析之視窗化程式開發(1/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2211-E-032-006-

執行期間：91年08月01日至92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 林冠吾 吳宗達

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 92 年 5 月 14 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫期中報告

## 樁基礎結構分析之視窗化程式開發 (1/3)

### Development of Windows Program of Structural Analyses of Pile Foundations

計畫編號：NSC-91-2211-E-032-006

執行期限：91年8月1日至92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 林冠吾 吳宗達

淡江大學土木工程學

系

#### 一、中文摘要

本研究使用波動方程時域解分析群樁互制下之單樁變形行為，並使用  $t-z$  和  $p-y$  非線性土壤模式模擬樁周土壤反應，土壤彈簧和阻尼均受群樁互制影響。研究考慮垂直向及側向受力反應，並觀察力變化對結構所造成的影響。此外，另考量土壤為層狀系統，討論樁體承受單調載重作用後，其樁身位移、剪力及彎矩值因土層軟硬程度之不同，探討其所衍生的樁體與土層間反應機制。

**關鍵詞：**波動方程，互制效應，非線性，層狀土壤

#### Abstract

*The wave equation analysis is used to model the interactive piles of the pile groups in this study. The  $t-z$  and  $p-y$  nonlinear soil models are implemented for the soils along the piles where the soil springs and dashpots are affected by the pile-to-pile interactions. Both the vertical and lateral pile responses are analyzed, and the influences of the loading magnitudes are observed. Considering layered soil system, after pile foundations subjected to the monotonic loading, compare with the displacement, shear, and moment along the pile shaft due to the soil properties and discuss the response*

*mechanism between pile foundations and the soil system.*

**Keywords:** *Wave Equations, Interactions, Nonlinear, Layered soil*

#### 二、緣由與目的

近年來由於重大公共建設與高層大樓的興建，最普遍使用的型式為樁基礎，目的為提高結構系統的耐震性及承載力，避免過度沉陷及差異沉陷發生，故樁基礎之變形研究實為工程實務設計之重點。由於現地之土壤乃屬為非線性材料且多層系統，故對於土壤互層機制不容乎視，有待納入考量以符合實際環境，才能確切地模擬結構系統之動態反應。此外，新進樁基礎變形分析中，以波動方程分析最具代表，其方法簡易且具效率性。近年來有許多學者陸續提供了多種數值方法和模式來模擬非線性、群樁互制以及土樁界面等問題，使得樁基礎的分析更加完整。為了讓頻域的阻尼能使用在時域的波動方程中，Chang and Yeh (1999); Chang *et al.* (2000)曾建議時域的土壤阻尼模式，此模式先由 Novak (1974)所建議動力阻抗函數計算幾何阻尼比值，再藉由富氏轉換求得時域阻尼配合靜態的土壤彈簧供求解之用。本研究之群樁互制結構系統及互層土壤分析模式，如圖 1 及圖 2 所示。藉波動方程之數值解分析整體群樁行為。

### 三、樁基礎非線性及層狀土壤分析架構

#### (1) 非線性分析

本研究建立群樁互制模式(如圖 1)，配合一維波動理論與中值差分法，並利用非線性土壤彈簧代入波動方程式，以迭代修正程序求解並與線性土壤彈簧相互比較，探討其中的差異性，相關土壤彈簧模可見張德文和林伯勳(2003)以及林伯勳(2002)。群樁互制中的單樁將探討相關參數改變對基樁反應所造成的影響，互制公式乃根據 Dobry and Gazetas (1988)所推導群樁動力之簡易公式。假設樁身周圍為一均質土層，柏松比  $\mu_s = 0.4$ ，土壤的楊氏係數  $E_s = 8 \times 10^4 \text{ KN/m}^2$ ，土壤的單位重為  $18.9 \text{ kN/m}^3$ 。假設基樁為圓形斷面彈性樁，樁長  $l = 40 \text{ m}$ ，樁帽高度  $h = 2 \text{ m}$ ，樁半徑  $r = 0.45 \text{ m}$ ，楊氏係數  $E_p = 2.5 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$ ，材料阻尼比  $\beta = 0.05$ ，樁距為 3 倍樁徑。其作用動力載重型態包括單調載重(monotonic load)，衝擊載重(impulsive load)，諧和載重(steady-state load)，如圖 3 所示，加載最大外力為  $1500 \text{ kN}$ 。

#### (2) 層狀土壤系統分析

本研究以波動方程分析樁基礎位於層狀土層中變形機制反應，除掌握各層土壤材料參數及幾何條件外，並同時考量線性及非線性土壤彈簧模式，以符合真實地物理狀況。是項分析架構(以垂直向分析為例)，如圖 2 所示。其中  $L_{(i)}$ 、 $\mu_{(i)}$ 、 $\nu_{(i)}$ 、 $E_{s(i)}$ 、 $K_{s(i)}$ 、 $C_{s(i)}$  分別為第  $i$  層之土壤厚度、土壤單位密度、柏松比、土壤楊氏模數、樁周身土壤彈簧勁度以及阻尼係數； $K_b$ 、 $C_b$  為樁底土壤彈簧勁度及阻尼係數。此外在模擬各層土壤層間介面位移方面，則以取上層之最底下一點與下層之最頂端一點之平均作為層間介面之位移值。案例研究假設現地土壤為兩層，將上層土壤定為 4m、8m、12m，並將兩層土壤分為上軟下硬及上硬下軟兩種，其材料參數如表一所示。

### 四、樁基礎非變形行為研究

#### (1) 非線性行為影響參數

以群樁配置 2X2 為例，承受垂直向載

重之變形行為機制，探討各項參數影響程度。圖 4 為不同影響參數下群樁互制之單樁樁頂位移歷時曲線。可以發現以樁距與樁徑比值影響(S/d)影響為鉅，其次為土壤-樁勁度比值影響( $E_p/E_s$ )，再者細長比值影響(L/r)，最後為土壤材料阻尼比影響( $\beta$ )。

#### (2) 群樁非線性與線性分析比較

圖 5 為 3x3 群樁垂直向受力的非線性及線性樁頂位移歷時曲線分析比較結果。圖 6 為 3x3 群樁側向受力的非線性及線性樁頂位移歷時曲線分析比較結果。就不同群樁配置型式，動態載重作用下所求解樁頂最大位移，非線性分析結果約為線性分析結果 1.5~2 倍。圖 7 至圖 8 為 3x3 群樁的線性及非線性樁身位移及彎矩分佈曲線分析比較結果。相互比較不同群樁配置下樁身位移曲線，可以發現樁身曲率的變化，相似於垂直向群樁配置受力情況，即隨著樁數的增加，愈呈現平滑的現象，且樁身位移有向下延伸的趨勢。此外，樁頂固定端條件下較自由端條件下的樁身位移向下延伸速度快且影響土層範圍大。

#### (3) 層狀土層中非線性與線性分析比較

以承受側向載重之單樁系統為例，樁頂邊界條件為自由端，其非線性及線性分析結果比較如圖 9 至圖 11。側向非線性周身位移、剪力、彎矩達深度約 8m 之處，較線性分析(約 4m)為深。就線性分析結果而言，基樁變形受土壤勁度比與土層厚度的影響不若非線性分析顯著。此外，觀察非線性分析的結果，當改變上層土層之勁度值( $E_s$ )或改變下層土層之勁度值( $E_s$ )值均會對樁基變形、剪力、彎矩產生明顯的差異。當土層為上軟下硬且上層土層為 4m，土壤勁度比為 1:2 與 1:4 之樁頂位移約相差 1.25 倍，而當土層為上硬下軟，土壤勁度比為 2:1 與 4:1 之樁頂位移約相差 1.50 倍，因此當上層土層  $E_s$  越高時，對樁頂位移剪力、彎矩之影響較大。當固定上下層土壤  $E_s$  之比時，改變上層土層深度 4m、8m、12m 對樁頂位移、剪力、彎矩之影響較微小。

### 五、結論

綜合本研究所進行樁基礎非變形行為

分析，茲將所獲得的結論整理如下：

1. 群樁的非線性與線性行為的差異在單調載重較為明顯，而在衝擊和諧和載重時，其差異性將減少。
2. 群樁垂直向非線性變形行為較側向非線性變形行為更為明顯。
3. 層狀土層中樁基變形反應乃主控於上層土壤材料參數，無論在線性或非線性行為分析上。而改變土層厚度對整體樁體變形之影響範圍有限。

## 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. Chang, D. W. and Yeh, S. H. (1999), "Time-domain wave equation analysis of single piles utilizing transformed radiation damping," Soils and Foundations, JGS, Vol. 39, No. 2, pp. 31-44.
3. Novak, M. (1974), "Dynamic stiffness and damping of piles," Canadian Geotech. J., Vol. 11, pp. 574 -598.
4. Dobry, R. and Gazetas, G. (1988), "Simple Method for Dynamic Stiffness and Damping of Floating Pile Groups", Geotechnique 38, No. 4, pp.557-574.
5. 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。
6. 林伯勳(2002), "群樁受垂直向及側向載重之非線性行為變形研究", 碩士論文, 淡江大學土木工程研究所, 台灣, 淡水。

表一 土壤材料參數

上軟下硬之土壤互層系統				
土層別	土層厚度 (m)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (1:2)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (1:3)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (1:4)
Layer 1	0~4	20000	20000	20000
Layer 2	4~	40000	60000	80000
上硬下軟之土壤互層系統				

土層別	土層厚度 (m)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (2:1)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (3:1)	Es (kN/m <sup>2</sup> ) (4:1)
Layer 1	0~4	40000	60000	80000
Layer 2	4~	20000	20000	20000

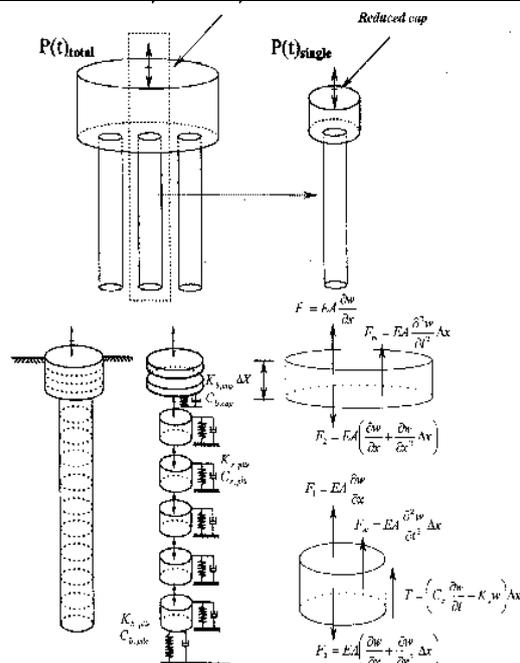


圖 1 群樁基礎分解模擬與節塊元素力平衡示意圖

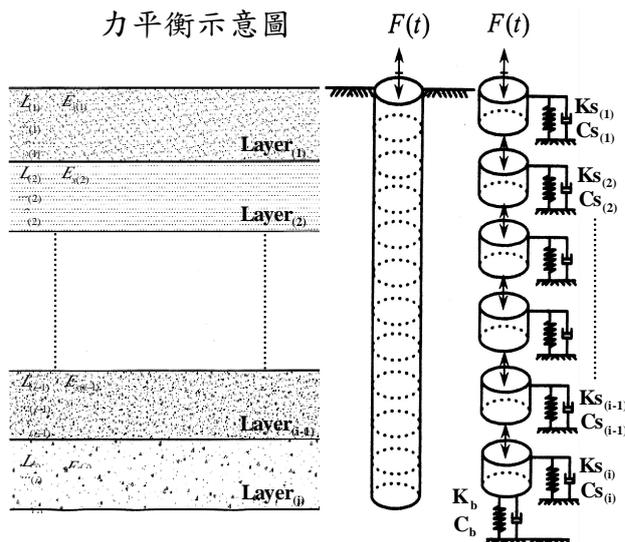
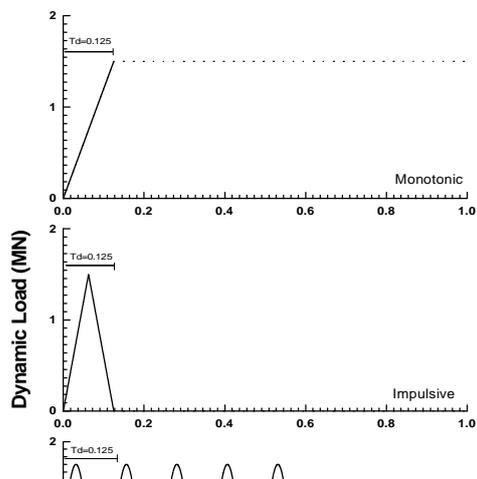


圖 2 層狀土壤中樁基礎波動方程分析



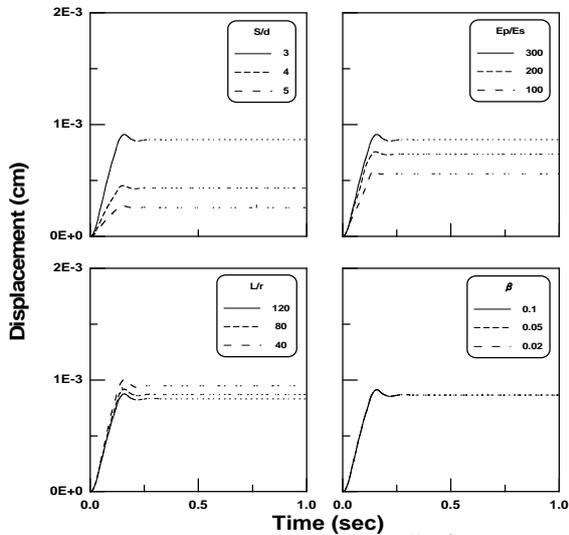


圖 4 非線性行為影響參數

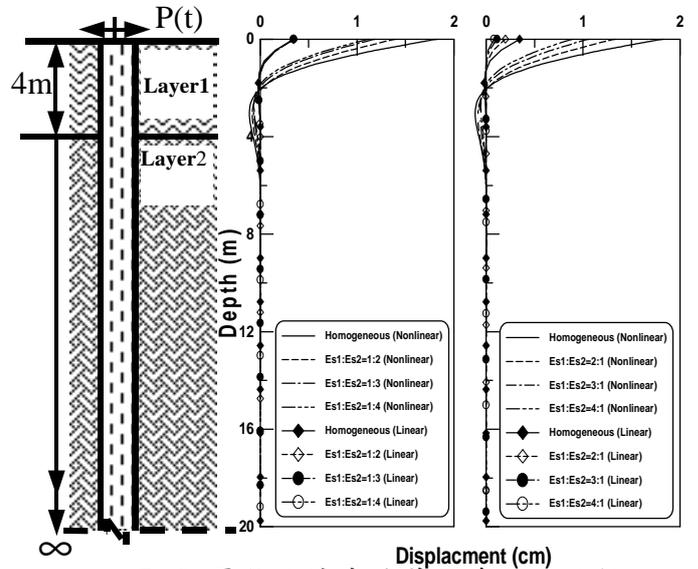


圖 9 層狀土壤中樁基周身位移比較

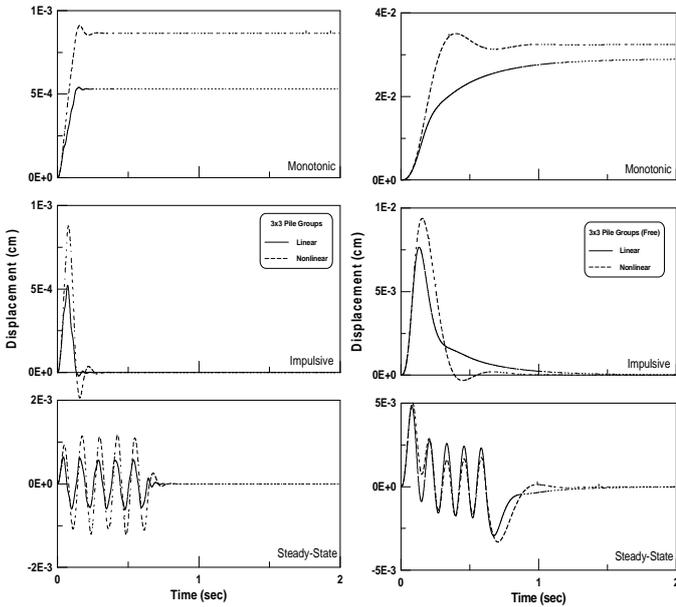


圖 5 群樁垂直向受力位移  
歷時曲線比較

圖 6 群樁側向受力位移  
歷時曲線比較

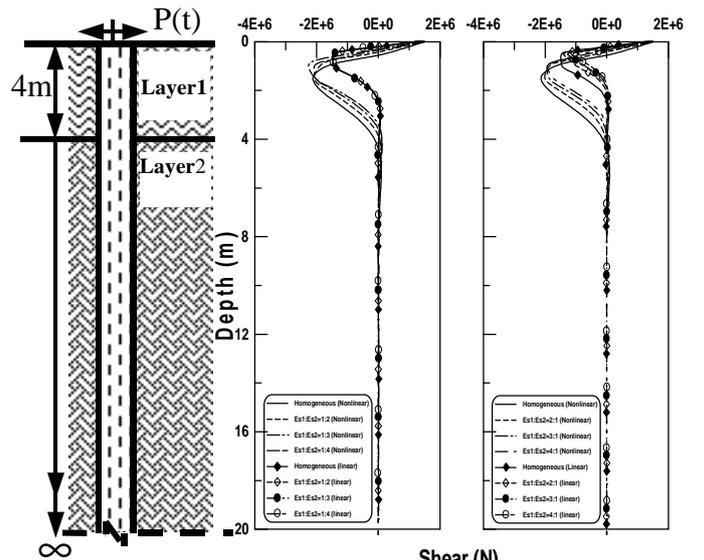


圖 10 層狀土壤中樁基周身剪力比較

