

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以陣列式接收相減法併用指數放大訊號技術評估含樁帽基
樁長度之非破壞檢測系統之開發
研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 97-2221-E-216-017-
執行期間：97年08月01日至98年07月31日
執行單位：中華大學土木與工程資訊學系

計畫主持人：廖述濤

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理人員：賀軍翊
碩士班研究生-兼任助理人員：劉康猶
碩士班研究生-兼任助理人員：何俊毅

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 98 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 成果報告
 期中進度報告

以陣列式接收相減法併用指數放大訊號技術評估含樁帽基樁長度之
非破壞檢測系統之開發

The Development of Nondestructive Testing System to Evaluate Length of Capped
Piles Using Differencing Responses of Array Receivers and
Exponentially Amplifying Signal Technique

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC97-2221-E-216-017

執行期間：97年8月1日至98年7月31日

計畫主持人：廖述濤

共同主持人：

計畫參與人員：何俊毅、賀軍翊、劉康猷

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

執行單位：中華大學

中 華 民 國 98 年 10 月 30 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以陣列式接收相減法併用指數放大訊號技術評估含樁帽基樁長度之
非破壞檢測系統之開發

The Development of Nondestructive Testing System to Evaluate Length of Capped
Piles Using Differencing Responses of Array Receivers and
Exponentially Amplifying Signal Technique

計畫編號：NSC 97-2221-E-216-017

執行期限：97年8月1日至98年7月31日

主持人：廖述濤 副教授

中華大學土木工程學系

E-mail : shutao@chu.edu.tw

計畫參與人員：何俊毅、賀軍翊、劉康猷 中華大學碩士生

一、中英文摘要

以非破壞檢測法評估無樁帽單樁之長度或其完整性為一日漸成熟且重要之工程技術。其結果漸漸廣為信賴與重視之原因乃在於研究人員持續不斷的投入研究之心力。但在評估含樁帽基礎之長度這一方面，則仍處於困難重重之起步階段。其中主要的不利因素來自於樁帽效應或基礎版表面波與邊界效應等之影響。這些因素表明了震災後欲評估橋梁基樁完整性之高度困難性，這也是同時凸顯了須投入許多研究人力與資源來解決這類問題的重要性與急迫性。

在累積一系列相關此題目之研究成果後，計畫主持人提出了一個可行的方法，即使用陣列接收器來記錄含樁帽基樁之受測反應，再以指數放大技術來分析接收器間之訊號差異，以減少樁帽反應之影響並放大樁底反射訊號之強度，藉此可評估出樁帽下面之基樁長度。目前，此方法在理論數值模擬上是可行的。本研究計畫之目標即是進一步研究此方法之實務應用

性，並使用 LabVIEW 軟體來整合各單項功能以開發出一套能評估含樁帽基樁長度之自動化檢測系統。本計畫期望能對此問題提出一個較完整的解決之道。

關鍵詞：非破壞檢測、基樁、樁帽、陣列接收器、指數放大

Abstract

Evaluating the length or integrity of piles with nondestructive testing methods has been becoming a mature and important technique in engineering. The reason for the testing results getting trusted and valued lies on the consistent investment of research time and efforts by the researchers. However, it is still at the initial difficult time in the aspect of evaluating the length of a foundation of capped pile type. The reasons for this phenomenon may be mainly due to the effects induced by pile caps, surface waves on foundation plate, and multiple boundaries. These adverse factors

illustrate the high difficulties in evaluating the integrity of piles of a bridge after the stroke of earthquakes. This also clearly presents the great importance and need for placing more research efforts and resources to solve this kind of problems. After accumulating the research outcome of a series of studies on this issue, a feasible way for this problem was proposed by the applicant of this project. That is to use array receivers to record the response of a capped pile to the test, and analyze the exponentially-amplified difference between the signals of the receivers so that the effect due to pile cap may be reduced and the amplitude of the reflection signals from pile bottom may be amplified. In this way, the length of the pile under the cap may be successfully evaluated. At current stage, this method is feasible in theoretical and numerical aspects. The goal of this project is to further investigate the practical applicability of this method, and to use the software LabVIEW to integrate all the individual functions into an automatic testing system for evaluating the length of piles with a cap. It is thus hoped that throughout this study, a more feasible way to solve this kind of problems may be proposed.

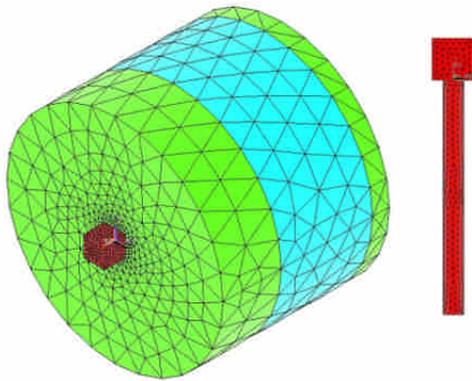
Keywords: Nondestructive Test, Pile, Pile Cap, Array Receivers, Exponential Amplification

二、計畫緣由與目的

多年來主持人在國科會的支持下在基

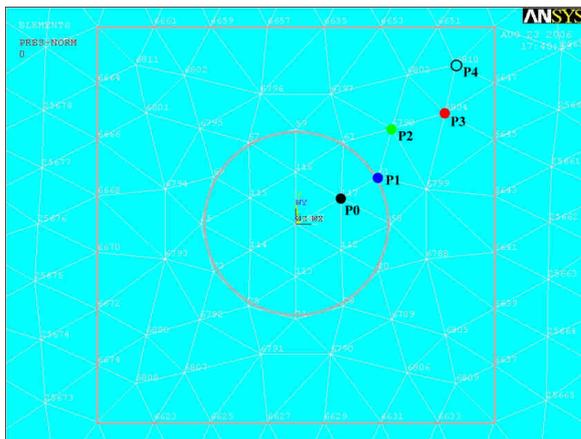
樁含樁帽與不含樁帽之非破壞檢測技術與評估方面做研究。基樁在幾何上含樁帽與否係影響原始檢測訊號之重要因素，而樁帽內反射條件極複雜導致接收器所擷取之訊號在判讀上存在相當的難度。於此主持人希望改以即時同步接收之陣列式取代過去單敲單收之檢測模式改善。提出此一研究計畫案主要理由有二：(1)工程界殷切的需求。由於基樁皆深埋於土層，限制了眾多非破壞檢測方式之使用。然基樁為橋樑之重要承重結構體，必需接受樁長與承載力的檢核。然而前述所提及反射訊號因樁帽而干擾導致判讀不易，卻限制了基樁非破壞檢測的適用性與可靠度，技術面上對於工程界遭遇的問題顯的力有未逮。主持人團隊在「單敲單收」模式下累積足夠的經驗後，欲朝向同步多元的接收模式，以不同位置之接收訊號比較關係與後處理增加判讀條件。(2)累加之學術價值。多年來主持人團隊在基樁暫態行為之「數值模擬模式」上，已從過去一維有限元素分析模式發展至今，可以模擬複雜的含樁帽群樁系統動態反應，配合「現地實驗驗證」同步進行對現地基樁非破壞檢測系統之開發工作。近期，主持人師生團隊於後處理軟體部分撰入訊號「指數放大」模組，對現場之即時分析與判數據解讀具有相當大的助益。而多年經驗累積讓主持人有意將單發單收擴展為陣列式系統，即以同步接收單激發源訊號改善過往因複雜的反射條件造成之困難，根據相對幾何關係做訊號的相減處理，並於「指數放大」下做時域訊號之判讀。上述程序演成乃是基於投入之精神與經驗累積方有所成，主持人深信此一計畫案將在原有研究基礎上提升學術成果，也能在橋樑基礎非破壞檢測遭遇問題多元化的情況下，發展出更具彈性與工程應用價值之非破壞檢測評估系統。

三、結果與討論



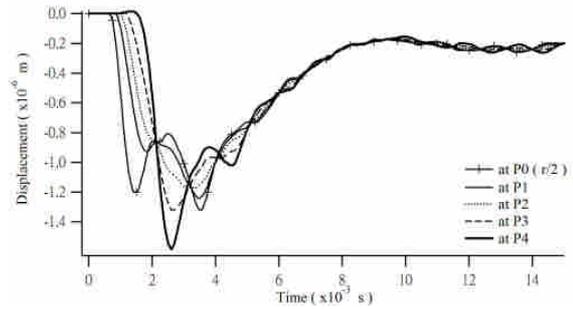
圖一 樁帽厚 2.5m 之基樁與土壤之有限元素網格圖

本研究計畫案檢測之對象為含樁帽之基樁，並應用消去相減法以及指數放大訊號技術檢測之。本研究團隊利用有限元素數位模擬驗證此方法之可行性。圖一所示即為「含樁帽之基樁與土壤之有線元素網格圖」。圖二所示即為多重接收器擺設位置圖。圖二中 P0 至 P4 即為多重訊號之接收位置，並利用此多重訊號作消去相減，觀察此訊號之結果。



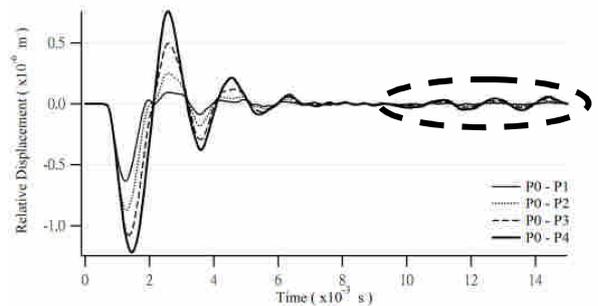
圖二 多重接收器擺設位置圖

本研究之條件，以集中衝擊力作用於厚度為 1m、1.5m 及 2.5m 之裸露含樁帽之基樁，其樁長模擬長度為 16.5 公尺，並配置如圖二之相同位置多重接收器。

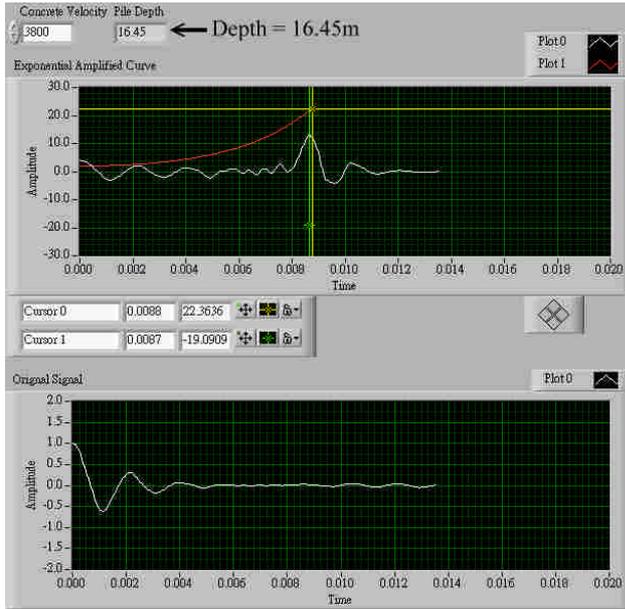


圖三 集中衝擊力作用於厚 1m 之裸露樁帽在各點之原始位移

圖三所示即分別為厚度 1m 之含樁帽之基樁 P0 至 P4 原始位移反應圖，以 P0 為基礎點對 P1 至 P4 做消去相減可得其相對位移，如圖四所示。在此相對位移訊號上可得知 P0-P4 之樁底反射訊號最為明顯。故以 P0-P4 之訊號做依時放大處理如圖五，可得知訊號反射之時間，並利用此時間可推算含樁帽之基樁長度，結果為 16.45 公尺，其誤差為 3%，因此利用消去相減法並用依時放大技術檢測含樁帽之基樁在有限元素模擬上是可行的。



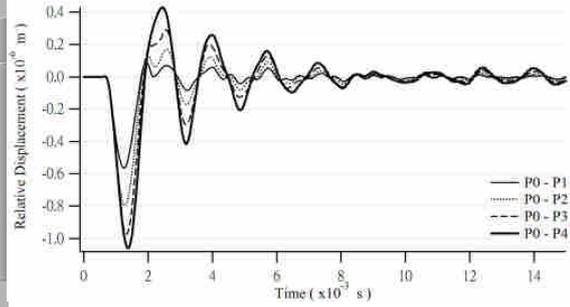
圖四 集中衝擊力作用於厚 1m 之裸露樁帽在各點之相對位移



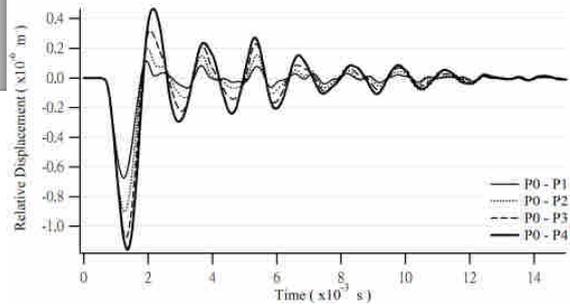
圖五 將圖四中之“P0-P4”採依時放大之處理前（下）與放大後（上）之比較

圖六為集中衝擊力作用在厚度 1.5m 含樁帽之基樁的相對位移曲線圖，由圖六可得之樁帽厚度增為 1.5 倍時，各相對訊號呈現消散及增強之趨勢，還是可看出樁底反射之訊號，但已無厚度 1m 之訊號良好。圖七為集中衝擊力作用在 2.5m 含樁帽之基樁的相對位移曲線圖，其相減訊號指已呈現出消散之結果，此實施以依時放大亦難以有效果，如圖八所示。

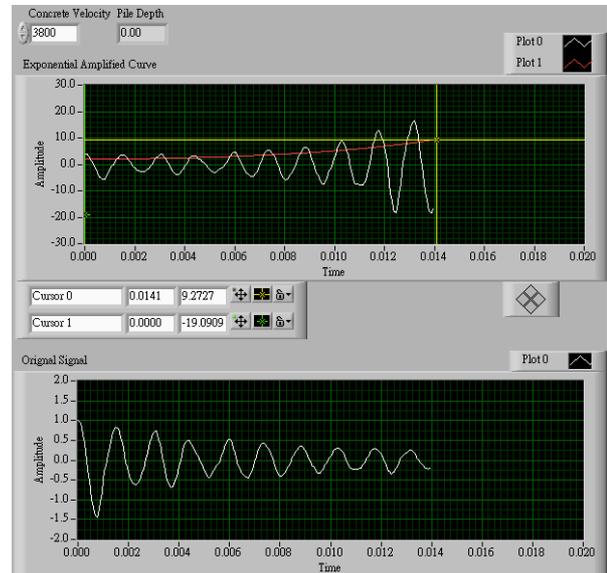
本研究可歸納出厚寬比之比值對於不同厚度之含樁帽之基樁的影響，可知當厚寬比較小時，樁帽如一薄板放置於土壤上，其樁帽受力後之內部反射因土壤約束而快速消散，故能尋得樁長資訊。也因其訊號薄弱，可利用「指數放大訊號」之方式尋找樁底反射波。當厚寬比大時訊號受到樁帽反射波之影響，其內部能量難以消散，消去相減方式，無法將樁底反射波顯現出來，故難以判定樁底反射之時間位置。



圖六 集中衝擊力作用於厚 1.5m 之裸露樁帽在各點之相對位移



圖七 集中衝擊力作用於厚 2.5m 之裸露樁帽在各點之相對位移



圖八 將圖七中之“P0-P4”採依時放大之處理前（下）與放大後（上）之比較

四、計畫成果自評：

本計畫之執行，對於主持人之研究團隊的教育訓練與人才培養助益頗高。主持人在基樁非破壞檢測之研究上甚倚重七年前系上協助採購之一套法國儀器 MIMP-16。然而，卻受制於無法直接取得原始檢測資料，以致於無法彈性運用與處理檢測資料，影響了進一步之研究開發工作。另一方面，由於周邊軟體之升級亦常引發這些軟體間的之契合 (compatible) 問題。主持人遂下定決心要自行開發出整套之檢測系統。今年即累積過去逐步申請取得之各項配備而組構出一整套系統，包括使用 LabVIEW 軟體寫出介面視窗等便捷系統。此實驗室之碩士班研究生數人因此而必須學會接收器、衝擊錘、示波器、電腦、LabVIEW 軟體...等知識，對於青年人才的培養，實在幫助鉅大。這些碩士生未來就業，相關知識技能必能幫助他們把工作做得更好。在主持人之學術成果上，近 4 年內主持人除了已發表 6 篇論文在 SCI 之重要國際期刊上[1-6]，更已將本研究計畫之部份成果發表在國際研討會上[7]，此成果亦將經過嚴謹整理，再投往 SCI 之國際期刊。綜觀上述，本計畫之研究成果可謂豐碩，再一次感謝國科會的支助。

五、參考文獻

1. Liao, Shu-Tao*, Huang, Chin-Kuo, Wang, Chung-Yue, 2008, "Sonic Echo and Impulse Response Tests for Length Evaluation of Soil Nails in Various Bonding Mediums," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 45, No. 7 (July), pp. 1025-1035.
2. Liao, Shu-Tao*, Tong, Jian-Hua., Chen, Cheng-Hao, and Wu, Tsung-Tsong, 2006, "Numerical Simulation and Experimental Study of Parallel Seismic Test for Piles," *International Journal of Solids and Structures*, Vol. 43, No. 7-8, pp. 2279-2298.
3. Yu, Chih-Peng and Liao, Shu-Tao*, 2006, "Theoretical Basis And Numerical Simulation of Impedance Log Test for Evaluating The Integrity of Columns And Piles," *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 43, No. 12 (December), pp. 1238-1248.
4. Tong, Jian-Hua*, Liao, Shu-Tao, and Lin, Chao-Ching, 2007, "A New Elastic-Wave-Based Imaging Method for Scanning the Defects inside the Structure," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, Vol. 54, No. 1 (January), pp. 128-137.
5. Lai, Jiunnren, Yu, Chih-Peng and Liao, Shu-Tao, 2006, "Assessment of the Integrity of Piles by Impedance Log Technique," *Key Engineering Materials*, Vols. 321-323 (August), pp. 340-343.
6. Liao, Shu-Tao* and Tsai, Cheng-Lin, 2009, "Evolution of Plastic Zone around Inclined Wellbores Using Finite Element Simulation with Generalized Plane Strain Model," *Journal of the Japan Petroleum Institute*, Vol. 52, No. 5 (September), pp. 231-238.
7. Liao, Shu-Tao, Tong, Jian-Hua, Chang, Chin-Tien, 2008, "Feasibility Study of Evaluating the Length of Capped Piles with Impact Response Method Incorporated with Array Receivers,"

Proceedings of The 11th East
Asia-Pacific Conference on Structural
Engineering & Construction
(EASEC-11), Nov. 19-21, Taipei,
Taiwan, pp. 1-8.