

行政院國家科學委員會專題研究計畫 期末報告

智慧型基樁之無線感測系統的布設最佳化研究

計畫類別：個別型
計畫編號：NSC 101-2221-E-216-023-
執行期間：101年08月01日至102年07月31日
執行單位：中華大學土木工程學系

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：劉松林
碩士班研究生-兼任助理人員：林暉鈞

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 102年11月03日

中文摘要：以非破壞檢測法評估含樁帽基樁之長度或其完整性仍處於起步階段。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。有鑑於近年來高科技技術大量應用於工程實務界，智慧型結構必是未來之工程趨勢。為此，主持人今年所推動之研究計畫，即初步探討了內置型感測器與無線資料擷取系統應用於檢測含樁帽基樁長度之可行性。此計畫在含樁帽基樁內佈設一系列埋藏式感測器，以研究其內部對敲擊檢測之反應。研究之進行除了使用有限元素數值模擬之外，亦進行了現地小型含樁帽基樁之檢測實驗。此技術未來可進一步發展成可進行「自我健康監檢測」之「智慧型基樁結構系統」。此項研究之未來應用潛能大，為一相當有價值之先導性研究。

中文關鍵詞：非破壞檢測、基樁、樁帽、智慧型基樁、智慧型結構

英文摘要：Evaluating the length or integrity of capped piles with nondestructive testing methods is still at its preliminary stage. The reasons for this phenomenon may be mainly due to the effects induced by the existence of 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. In view of recent development on the vast applications of high technologies to engineering practice, smart structures must be the future trend in engineering. Therefore the research project of this year is aimed at studying the feasibility of testing the length of capped piles with embedded sensors and wireless data acquisition system. This project installed a series of embedded sensors in a capped pile to study the internal response of the pile. The study was carried out with not only numerical simulation of finite elements but also an in-situ test on a miniature pile with cap. This kind of technologies can be further developed to construct ' smart pile structural system' with ' health self-monitoring capability' .

The potential of future application of this research is high and thus it is a pilot research of high value.

英文關鍵詞： Nondestructive Test, Pile, Pile Cap, Smart Pile, Smart Structure

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

智慧型基樁之無線感測系統的布設最佳化研究

A Study on Optimizing Wireless Sensor System Layout in Smart Piles

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC101-2221-E-216-023

執行期間： 101年8月1日至 102年7月31

執行機構及系所：中華大學土木工程學系

計畫主持人：廖述濤

共同主持人：

計畫參與人員：劉松林、林暉鈞

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：除列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

中 華 民 國 102 年 10 月 31 日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

智慧型基樁之無線感測系統的布設最佳化研究

A Study on Optimizing Wireless Sensor System Layout in Smart Piles

計畫編號：NSC 101-2221-E-216-023

執行期限：101年8月1日至102年7月31日

主持人：廖述濤 教授

中華大學土木工程學系

E-mail : shutao@chu.edu.tw

計畫參與人員：劉松林、林暉鈞

一、中英文摘要

以非破壞檢測法評估含樁帽基樁之長度或其完整性仍處於起步階段。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。有鑑於近年來高科技技術大量應用於工程實務界，智慧型結構必是未來之工程趨勢。為此，主持人今年所推動之研究計畫，即初步探討了內置型感測器與無線資料擷取系統應用於檢測含樁帽基樁長度之可行性。此計畫在含樁帽基樁內佈設一系列埋藏式感測器，以研究其內部對敲擊檢測之反應。研究之進行除了使用有限元素數值模擬之外，亦進行了現地小型含樁帽基樁之檢測實驗。此技術未來可進一步發展成可進行「自我健康監檢測」之「智慧型基樁結構系統」。此項研究之未來應用潛能大，為一相當有價值之先導性研究。

關鍵詞：非破壞檢測、基樁、樁帽、智慧型基樁、智慧型結構

Abstract

Evaluating the length or integrity of capped piles with nondestructive testing methods is still at its preliminary stage. The reasons for this phenomenon may be mainly due to the effects induced by the existence of 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. In view of recent

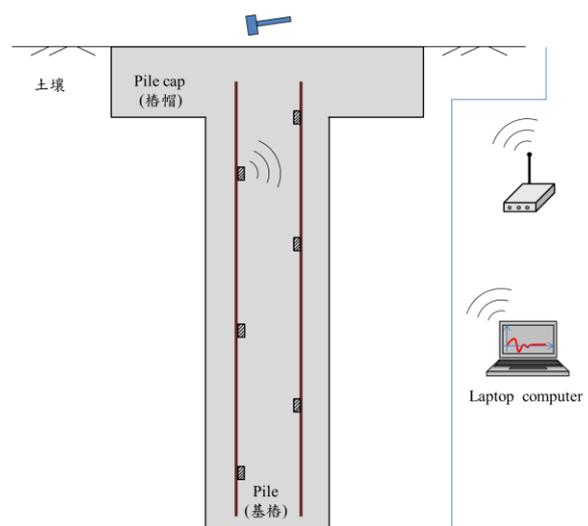
development on the vast applications of high technologies to engineering practice, smart structures must be the future trend in engineering. Therefore the research project of this year is aimed at studying the feasibility of testing the length of capped piles with embedded sensors and wireless data acquisition system. This project installed a series of embedded sensors in a capped pile to study the internal response of the pile. The study was carried out with not only numerical simulation of finite elements but also an in-situ test on a miniature pile with cap. This kind of technologies can be further developed to construct “smart pile structural system” with “health self-monitoring capability”. The potential of future application of this research is high and thus it is a pilot research of high value.

Keyword : Nondestructive Test, Pile, Pile Cap, Smart Pile, Smart Structure

二、前言

獲得含樁帽基樁的實際長度，已是工程界對非破壞檢測技術的最重要要求之

一。然而，非破壞檢測(NDT)對此簡單卻重要的要求卻常苦於力有未逮，原因可能僅只是多了樁帽的干擾。然而，長期的研究發現，樁帽的反應通常遠大於基樁底部的反射波反應。在目前仍無有效方法濾除樁帽反應的情況下，在基樁建造之初即事先規畫布設監檢測感應器即為最可行的解決之道。本計畫之研究對象即為含樁帽基樁，如圖一所示。沿基樁之內部鋼筋上，可布設一系列之內置感應器(embedded sensors)。當基樁頂面受衝擊力作用時，這些感應器可記錄下內部所在位置於應力波經過時之震動歷時反應。藉由無線傳輸功能將這些反應傳送至外面之「無線資料擷取系統」，透過本研究團隊自行開發之檢測系統視窗介面而將檢測結果紀錄並分析之，以研究基樁內預置感測器之實際效果與未來應用之潛力。



圖一 含樁帽基樁與內置型感應器及其無線監檢測系統

三、研究目的

新一代的工程觀念已漸漸朝向以「工程系統之生命週期(Life Cycle)」為考量之期程範圍。依此而言，新一代工程在建造之初即應將未來監檢測與維修補強工程之需要一併納入設計規劃與建構之中。本計畫即依據此工程趨勢[1-2]而投入研究基樁結構之內置監檢測系統之開發，以期能對此一未來之工程需要進行初步之前導性研究。此計畫之主要內容即先使用有限元素數值模擬來研究此內置監檢測系統之可行性與其布設位置之最佳化。最後亦進行了小模型基樁之內置監檢測系統的實驗，以進一步驗證此方法之可行性。期望此類研究至終可以建構出能自我檢測並監控完整性之「智慧型基樁」。

四、文獻探討

含樁帽基樁之非破壞檢測在國際上仍未有重大突破。美國研究基樁非破壞檢測之知名學者 Gassman 發表之論文[3]即證實這一點。至今，這方面僅能報導實驗結果，對於解決方法仍待突破。過去主持人之研究團隊在含樁帽基樁之非破壞檢測問題上投入相當多之研究心力，惟僅限於檢測長度相當有限且結果仍有很大不確定性之「表面反射法」。對於較可行之「內置型無線監測系統」之研究仍付之闕如。若能把握「智慧型自動監測」之科技趨勢 [1-2] 而投入基礎結構之應用研究中，將可獲得相當高之學術發表機會與工程應用價值。在儀器成熟度方面，由於應用在樓房模態分析[1]、橋梁損壞進程監測[2]、RC 結構震損之監測、大型工程之大範圍佈設監測等各方面皆有成功之案例，因此，推廣至基礎工程之應用應是相當可行的。

五、研究方法

主持人之實驗室近年已自行組裝出一套無線式四通道振動反應擷取系統。此套系統是幾年來國科會與本校陸續補助購買衝擊鎚及一些振動接收器與無線資料擷取系統之後組裝完成的，如圖二所示。此儀器組包括(1)筆記型電腦、(2)衝擊鎚、(3)速度規、(4)無線資料擷取系統(National Instrument 公司之 WLS-9163 模組)等。主持人之研究團隊且已建立起能力來使用 LabVIEW 軟體以整合聯結各硬體介面並自行設計出整套之視窗介面式檢測系統，可成功的擷取檢測訊號並以彈性而廣泛之方式進行檢測訊號之分析處理工作。



圖二 本實驗室自行開發組裝之衝擊反應監檢測系統

六、結果與討論

本計畫案首先即針對含樁帽基樁內部布設埋藏式感測器對敲擊檢測之反應進行了許多數值模擬之研究。接著即進行了現場小型含樁帽基樁之檢測實驗驗證。圖三所示即為對現場小型含樁帽基樁進行鑽蕊之照片。圖四與圖五即為將一系列埋藏式感測器垂入鑽孔中不同深度之照片。圖六即為回填混凝土至鑽孔中之照片。在養護

超過 28 天後，圖七與圖八即為對此小型含樁帽基樁進行敲擊反應檢測之情形。



圖三 現地小型含樁帽基樁進行鑽蕊工程之照片



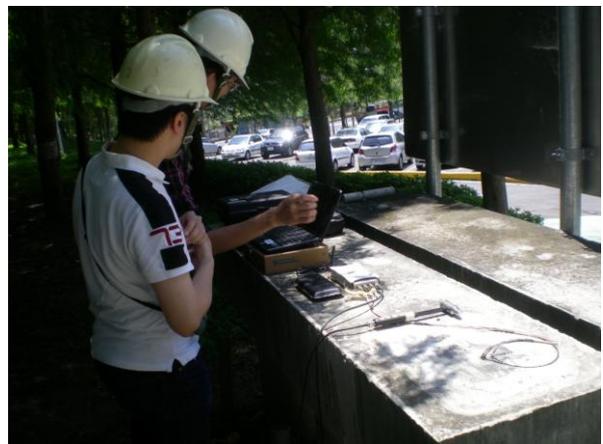
圖四 垂入埋藏式感測器之照片一



圖五 垂入埋藏式感測器之照片二



圖六 回填混凝土至鑽孔之照片

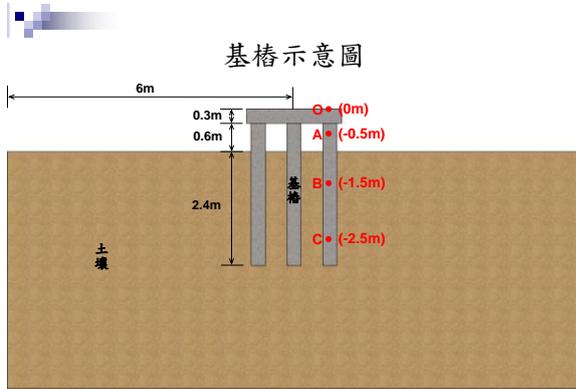


圖七 對現場小型含樁帽基樁進行敲擊反應檢測之照片一

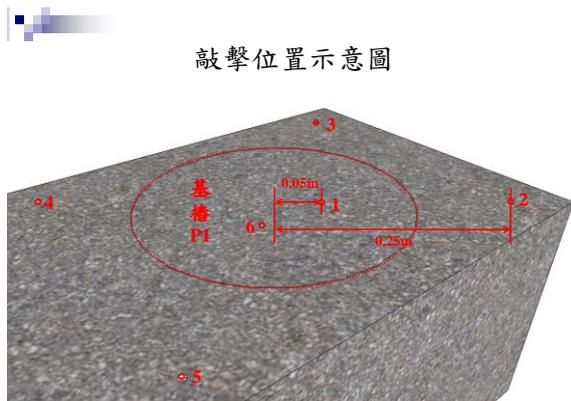


圖八 對現場小型含樁帽基樁進行敲擊反應檢測之照片二

圖九所示為感測器埋藏在三個不同深度(如圖中 A、B、C 所標示者)之示意圖。圖十即為本計畫所規劃之六個不同敲擊位置之示意圖。



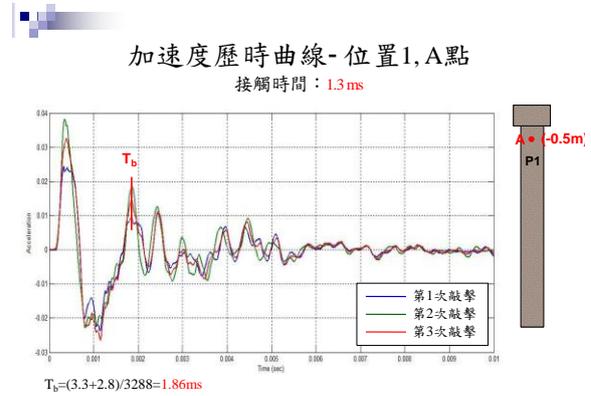
圖九 現地感測器埋藏在三個不同深度之示意圖



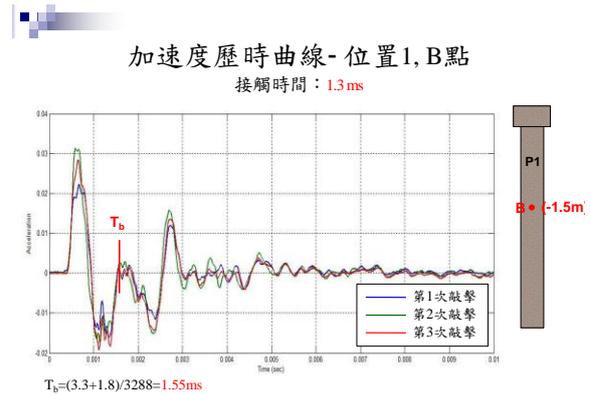
圖十 現地檢測之六個不同敲擊位置示意圖

圖十一至圖十三即為分別在深度 A、B、C 位置上所接收之敲擊反應曲線圖。由圖中可研究首達應力波與樁底反射波到達各感測器之振動情形。由圖中可清楚研究反應波在含樁帽基樁內旅行之情形。若是把位置 A、B、C 上之感測器反應曲線同時顯示，如圖十四所示，則可清楚研究應力波在行進時之變化情形。若一併研究各反射波之情形，則可成功分析出基樁之長度。

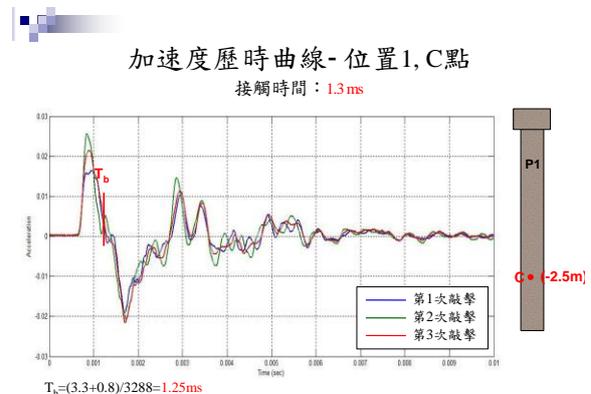
這些結果，可作為「考慮生命週期下之基礎結構幾何資料之監檢測」的先導性研究，對於施工品管與震災後基樁完整性之評估將有莫大之應用價值。



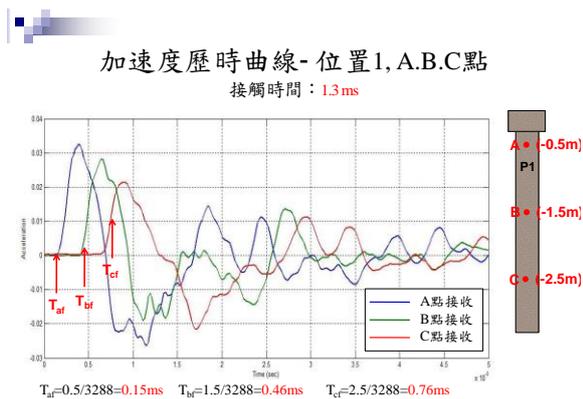
圖十一 位置 A 之現地檢測反應曲線



圖十二 位置 B 之現地檢測反應曲線



圖十三 位置 C 之現地檢測反應曲線



圖十四 三個不同深度位置之檢測反應曲線

七、計畫成果自評

主持人的研究團隊過去長期投入研究基樁等基礎結構的非破壞檢測，主要的方法為「表面反射法」。而今年之研究計畫則進入另一個全新領域—埋藏式感測器應用之初步研究。經過一年來之數值模擬與現場實驗，收穫助益頗多。參與計畫案之師生從規劃到實驗完成，經過了多次實驗室預演到現地鑽蕊、埋置感測器、養護、進行敲擊檢測，到研究分析反應曲線，每週開會討論如何克服各項儀器組裝、布設感測器與檢測分析等之困難與問題，學生皆經歷了完整的工程問題研究解決過程，收穫實在豐富。這些碩士生未來就業，相關知識技能與做事態度必能幫助他們把工作做得更好。最後簡述本計畫在學術成就、技術創新與社會影響等方面之成果如下：

(1) 學術成就方面

目前在國際上相對於使用埋藏式感測器來檢測基樁完整性之相關報告相當罕見。換言之，本計畫可視為此項應用之先導性研究。目前主持人已先將數值模擬結果發表在第十六屆非破壞檢測技術研討會上[4]。未來配合近期已完成之模型基樁現地檢測結果，將可投稿於

國際期刊上。而主持人相對於沉箱基礎之非破壞檢測研究成果則已於 2012 年 8 月發表於國際期刊上 [5](SCI Expanded, EI Journal)。

(2) 技術創新方面

本計畫成功地將埋藏式感測器固定埋設於基樁內部深處，並成功擷取檢測資料，克服了一些實驗技術上之問題。

(3) 社會影響之方面

台灣地處地震頻繁帶，極需有能力檢測公共工程受地震災害後之損害情形。其中最難之項目即為深埋地下之基礎工程。因此，此項成果具有相當重要之應用價值。在工程界正步入「整體考量公共工程生命週期」新思維之新時代情況下，此計畫案之進行實可視為重要之先導性研究。

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。

八、參考文獻

1. Taylor, S.G., Farinholt K.M., Park, G., Todd, M.D., & Farrar, C.R., 2010, "Multi-scale wireless sensor node for health monitoring of civil infrastructure and mechanical systems," *Smart Structures and Systems*, Vol. 6, No. 5-6, pp. 661-673.
2. Mehrani, E., Ayoub, A., & Ayoub, A., 2009, "Condition assessment of reinforced concrete bridges using structural health monitoring techniques – A case study," *Smart Structures and Systems*, Vol. 5, No. 4, pp. 381-395.
3. Baxter, S.C., Islam, M.O., and Gassman

S.L., 2004, "Impulse response evaluation of drilled shafts with pile caps: modeling and experiment," *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 31, pp. 169-177.

4. 陳沛宏、張祐賓、童建樺、廖述濤, 2012, "埋藏式感測器應用於檢測評估含樁帽基樁長度之研究," 第十六屆非破壞檢測技術研討會論文集, 民國 101 年 11 月 1, 2 日, 財團法人台灣非破壞檢測協會、國立台北科技大學, pp. 1-8。
5. Jian-Hua Tong, Shu-Tao Liao* and Kang-You Liu, 2012, "Numerical and Experimental Study on Evaluating the Depth of Caisson Foundation with Sonic Echo Method," *Earthquakes and Structures, an International Journal*, Vol. 3, No. 3-4 (June-August), pp. 519-532.

國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2013/11/03

國科會補助計畫	計畫名稱: 智慧型基樁之無線感測系統的布設最佳化研究
	計畫主持人: 廖述濤
	計畫編號: 101-2221-E-216-023- 學門領域: 結構應力
無研發成果推廣資料	

101 年度專題研究計畫研究成果彙整表

計畫主持人：廖述濤		計畫編號：101-2221-E-216-023-					
計畫名稱：智慧型基樁之無線感測系統的布設最佳化研究							
成果項目		量化			單位	備註（質化說明：如數個計畫共同成果、成果列為該期刊之封面故事...等）	
		實際已達成數（被接受或已發表）	預期總達成數（含實際已達成數）	本計畫實際貢獻百分比			
國內	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	1	1	100%		
		專書	0	0	100%		
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（本國籍）	碩士生	2	2	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		
國外	論文著作	期刊論文	0	0	100%	篇	
		研究報告/技術報告	0	0	100%		
		研討會論文	0	0	100%		
		專書	0	0	100%		章/本
	專利	申請中件數	0	0	100%	件	
		已獲得件數	0	0	100%		
	技術移轉	件數	0	0	100%	件	
		權利金	0	0	100%	千元	
	參與計畫人力（外國籍）	碩士生	0	0	100%	人次	
		博士生	0	0	100%		
		博士後研究員	0	0	100%		
		專任助理	0	0	100%		

<p>其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)</p>	<p>主持人的研究團隊過去長期投入研究基樁等基礎結構的非破壞檢測，主要的方法為「表面反射法」。而今年之研究計畫則進入另一個全新領域—埋藏式感測器應用之初步研究。經過一年來之數值模擬與現場實驗，收穫助益頗多。參與計畫案之師生從規劃到實驗完成，經過了多次實驗室預演到現地鑽蕊、埋置感測器、養護、進行敲擊檢測，到研究分析反應曲線，每週開會討論如何克服各項儀器組裝、布設感測器與檢測分析等之困難與問題，學生皆經歷了完整的工程問題研究解決過程，收穫實在豐富。這些碩士生未來就業，相關知識技能與做事態度必能幫助他們把工作做得更好。</p>
--	---

	成果項目	量化	名稱或內容性質簡述
科 教 處 計 畫 加 填 項 目	測驗工具(含質性與量性)	0	
	課程/模組	0	
	電腦及網路系統或工具	0	
	教材	0	
	舉辦之活動/競賽	0	
	研討會/工作坊	0	
	電子報、網站	0	
	計畫成果推廣之參與(閱聽)人數	0	

國科會補助專題研究計畫成果報告自評表

請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況、研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）、是否適合在學術期刊發表或申請專利、主要發現或其他有關價值等，作一綜合評估。

1. 請就研究內容與原計畫相符程度、達成預期目標情況作一綜合評估

達成目標

未達成目標（請說明，以 100 字為限）

實驗失敗

因故實驗中斷

其他原因

說明：

2. 研究成果在學術期刊發表或申請專利等情形：

論文： 已發表 未發表之文稿 撰寫中 無

專利： 已獲得 申請中 無

技轉： 已技轉 洽談中 無

其他：（以 100 字為限）

目前主持人已先將數值模擬結果發表在第十六屆非破壞檢測技術研討會上。未來配合近期已完成之模型基樁現地檢測結果，將可投稿於國際期刊上。

3. 請依學術成就、技術創新、社會影響等方面，評估研究成果之學術或應用價值（簡要敘述成果所代表之意義、價值、影響或進一步發展之可能性）（以 500 字為限）

(1) 學術成就方面

目前在國際上相關於使用埋藏式感測器來檢測基樁完整性之相關報告相當罕見。換言之，本計畫可視為此項應用之先導性研究。目前主持人已先將數值模擬結果發表在第十六屆非破壞檢測技術研討會上[4]。未來配合近期已完成之模型基樁現地檢測結果，將可投稿於國際期刊上。而主持人相關於沉箱基礎之非破壞檢測研究成果則已於 2012 年 8 月發表於國際期刊上[5](SCI Expanded, EI Journal)。

(2) 技術創新方面

本計畫成功地將埋藏式感測器固定埋設於基樁內部深處，並成功擷取檢測資料，克服了一些實驗技術上之問題。

(3) 社會影響之方面

台灣地處地震頻繁帶，極需有能力檢測公共工程受地震災害後之損害情形。其中最難之項目即為深埋地下之基礎工程。因此，此項成果具有相當重要之應用價值。在工程界正步入「整體考量公共工程生命週期」新思維之新時代情況下，此計畫案之進行實可視為重要之先導性研究。

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。

