

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以非破壞檢測技術評估沉箱基礎深度之數值與實驗比較研究

研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 98-2221-E-216-018-  
執行期間：98年08月01日至99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：學士級-專任助理人員：黃心妤  
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：張祐賓

處理方式：本計畫可公開查詢

中華民國 99 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

以非破壞檢測技術評估沉箱基礎深度之數值與實驗比較研究

Numerical and Experiment Comparison Study of Evaluating the Depth of Caisson  
Foundations with Nondestructive Testing Techniques

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC98-2221-E-216-018

執行期間：98年8月1日至99年7月31日

計畫主持人：廖述濤

共同主持人：

計畫參與人員：劉康猷、張祐賓、黃心好

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 99 年 10 月 25 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

以非破壞檢測技術評估沉箱基礎深度之數值與實驗比較研究

Numerical and Experiment Comparison Study of Evaluating the Depth of Caisson Foundations with Nondestructive Testing Techniques

計畫編號：NSC 98-2221-E-216-018

執行期限：98年8月1日至99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：劉康猷、張祐賓、黃心好

## 一、中英文摘要

以非破壞檢測法評估基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。另一方面，其他基礎型式(例如沉箱式基礎)之非破壞檢測研究則相對的少見，造成此方面之工程應用更為有限。我國許多公共工程建設正面臨接近設計年限之問題。未來評估這些結構系統之現況將是相當重要的課題，其中困難度較高的是深埋於地下之基礎評估工作。在這一方面，非破壞檢測技術即成為重要之評估工具。本計劃即在於研究使用音波回音法與衝擊反應法來檢測沉箱式基礎之深度等幾何資料之可行性。在整個研究過程中，並同時使用「有限元素數值模擬」與「現地檢測實驗驗證」的方式，對此一問題進行深入之交叉研究，藉此了解各項參數對檢測訊號之影響效應。本研究之重點乃是針對興建中之花蓮壽豐溪橋沉箱式基礎進行分階段之一系列檢測實驗，藉著比較各階段檢測反應訊號之差異來了解各階段不同結構元件之加入對檢測訊號之影響，從而

試圖找出彰顯或分離出沉箱底部反射波訊號之方法。

關鍵詞：非破壞檢測、沉箱式基礎、音波回音法、衝擊反應檢測

## 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. On the other hand, the research on the nondestructive testing for other types of foundations, such as caisson foundations, was relatively rare, which resulted in very limited applications in engineering. Our country is facing a problem that many

infrastructures are reaching their design life time. Therefore evaluating the current status of these structure systems will become an important issue. Among those, evaluating foundations, which are usually embedded in deep soil, would be much difficult. In this aspect, nondestructive testing techniques would be very important tools. The objective of this project is to study the feasibility of using Sonic Echo and Impulse Response methods to test for the length or other geometric information of foundations of different types. In the course of study, “numerical simulation of finite elements” and “verification of in-situ tests” were used at the same time to carry out in-depth cross studies for this problem. It is hoped that through this study the effects of various kinds of parameters on the testing signals can be understood. This research focused on carrying out a series of in-situ testing at different stage on the caisson foundations of Bridge-to-build So-Fong-Brook. By comparing the difference of response signals of tests at different stages, the effect of the participation of each structural component on the testing

signals may be studied. It is hoped that throughout this study the method of emitting or isolating the reflections from the bottom of the caisson foundations may be obtained.

Keyword : Nondestructive Test,  
Caisson Foundation, Sonic  
Echo Method,  
Impulse Response Test

## 二、前言

主持過去一直投入基樁基礎之非破壞檢測研究，但同時在近 3 年，主持人也一直接到協助檢測沉箱基礎之請求，例如「台北中正橋橋墩沉箱基礎深度之檢測評估」（2008 年 9 月）與「竹東油羅溪橋改建工程之舊沉箱基礎之檢測評估」（2006 年 9 月）。這些檢測案例雖有非常初步的結果，但若深入研究其檢測反應，則會發現仍有相當多的訊號反應與複雜現象有待了解與釐清，方能使檢測判斷之正確性獲得提高與確保。在這種「工程實務上之迫切需求」引導下，主持人乃提出此計畫案來深入研究此題目。

## 三、研究目的

由於音波回音法檢測沉箱基礎尚在起步階段，因此急需研究資源的投入。橋樑結構形式大多可分為群樁基礎、沉箱基礎等。本計畫主要探討以音波回音法檢測沉箱式基礎之長度之初步能力與限制。沉箱結構之訊號影響因素來自於其本身複雜的結構型式，箱室、隔板、頂板等皆會影響其內之應力波傳行為，以致於訊號的判斷上更為困難。本研究以分階段分析的方式，以有限元素的方式模擬不同時期之沉箱結構，受到衝擊後所產生的應力波訊

號，並作分析比較。本文另一目標即是自行發展現地檢測儀器。本研究以興建中之花蓮壽豐溪橋為研究對象，在幾座正在施工之沉箱基礎上進行現場檢測，並利用有限元素方式模擬沉箱基礎受到應力波衝擊後之反應，以進行參數變化之研究。利用這些比較數據便可推斷出沉箱之結構形式、敲擊接收位置與沉箱在不同施工時期之反應訊號差異，藉此推斷出有效的檢測方式。由於音波回音法檢測沉箱基礎尚在起步階段，因此急需研究資源的投入。橋樑結構形式大多可分為群樁基礎、沉箱基礎等。本文主要探討以音波回音法檢測沉箱式基礎之長度之初步可行性。

#### 四、文獻探討

傳統上使用的基樁非破壞檢測法包括衝擊反應 (Impulse Response, IR) 法[1,2]、平行震測 (Parallel Seismic, PS) 法[3]、超震測(Ultraseismic, US)[4]法與阻抗縱剖分析(Impedance Log, IL)法[5]等。這些方法的檢測原理可參考一些文獻[4]。然而，有關沉箱式基礎之非破壞檢測研究的文獻或報告，則似仍罕見，原因皆可能在於這一類問題的複雜性。由於主持人長期專注的投入在基樁非破壞檢測之領域，因此，有些研究成果確實引起了前導的作用，許多最新有關單樁與含樁帽基樁之非破壞檢測的國際論文〔6-9〕亦直接引述或採用了申請人提出的模式。如今正可使用這些研究工具而擴大研究對象至沉箱式基礎。

#### 五、研究方法

本研究以花蓮壽豐溪橋新建工程中的沉箱式基礎為對象，以有限元素方式模擬其施工時不同齡期與不同敲擊點產生之訊號差異。本研究使用商用軟體 ANSYS 作為有限元素模擬工具，並使用 ANSYS 所提供之 (SOLID92) 四面立體元素 (Tetrahedral Solid Element) 來分析，如圖 1 所示。

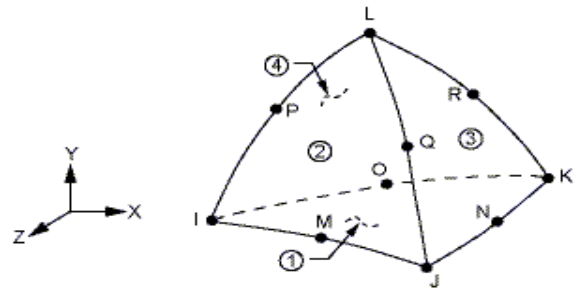


圖 1 四面體有限元素

沉箱基礎型式很多種，主要以橢圓形沉箱與圓形沉箱為主。然而橢圓形沉箱多含箱室，本研究主要以橢圓形沉箱與圓形沉箱為主，而花蓮壽豐溪橋新建工程其基礎有圓形與橢圓形，故本研究以其作為研究對象，深入探討在不同施工時期以及不同敲擊點之情況下，沉箱之反應訊號的差異，並以有限元素法模擬之。圖 2 為花蓮壽豐溪橋橢圓形含箱室沉箱之基礎示意圖。圖 3 為含箱室沉箱橫斷面圖。

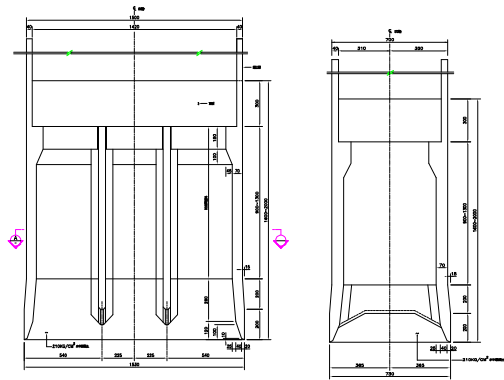


圖 2 花蓮壽豐溪橋沉箱基礎立面圖與側視圖

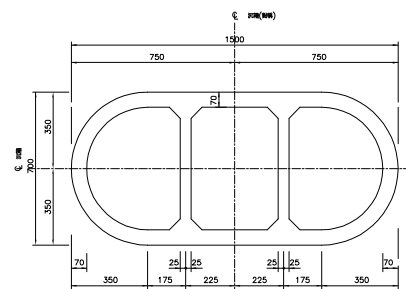


圖 3 花蓮壽豐溪橋沉箱基礎橫剖面圖

圖 4 為含箱室沉箱簡化過後之示意圖。其中藍色、紅色與綠色之點為模擬時暫態應力波所衝擊與接受器之位置。圖 5 為有限元素四面體元素模擬沉箱結構之網格圖。

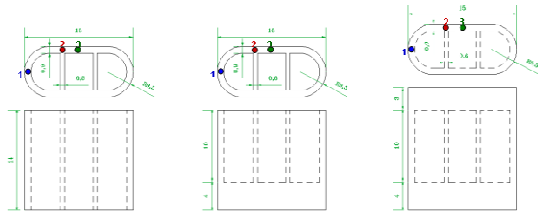


圖 4 不同施工齡期之橢圓形沉箱示意圖

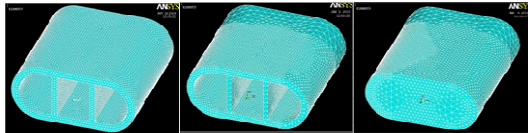


圖 5 沉箱結構不同施工時期之有限元素網格圖

而本研究另一目標即是自行發展一套現場檢測儀器。自行發展現場檢測儀器之好處在於，不受現有套裝儀器的限制，自行撰寫程式碼可依檢測需求而改變，未來擴充性更大，更可依照未來新發明之理論或是檢測方式而修改。本研究有賴國科會與學校補助款，向美國國家儀器有限公司 (National Instruments, 簡稱 NI) 購買 WLS-9234 資料擷取卡。此卡為無線模組式，亦可使用乙太網路模式，因此較不受地形與現場之限制。程式則以 NI 所開發之圖形語言 LabVIEW 來撰寫。圖 6 為本計畫所自行撰寫出之檢測視窗介面。

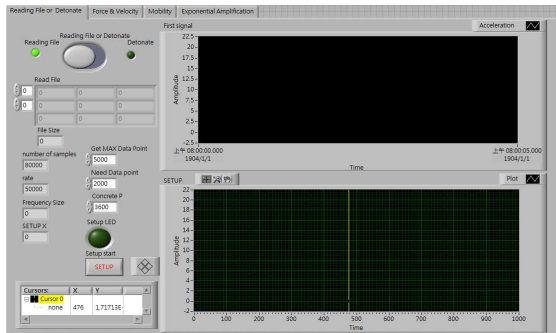


圖 6 以 LabVIEW 自行開發之儀器介面

## 六、結果與討論

圖 7 與圖 8 所示分別為在花蓮壽豐溪新建橋樑現場檢測圓形沉箱與橢圓形沉箱基礎之照片。如圖 4 所示，由於不同敲擊與接收位置將會影響檢測訊號之判讀難易程度，因此必須找出最有利於判讀訊號之敲擊位置。如圖 9 在無頂板與底座之狀況之下可以知道 3 號位置所收的訊號，最不易受到邊界與幾何形狀產生的雷利波影響。



圖 7 花蓮壽豐溪橋現地檢測圓形沉箱之照片



圖 8 花蓮壽豐溪橋現地檢測橢圓形複合式沉箱之照片



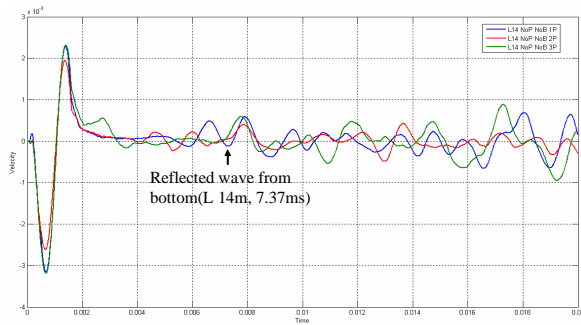


圖 9 含箱室但不含頂板與底座之沉箱速度反應曲線

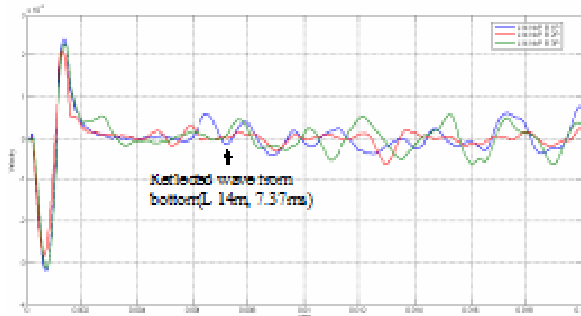


圖 10 沉箱不含頂板之速度反應曲線

圖 10 所示則為含底座之沉箱反應。由於底部反彈之應力波訊號主要是縱波，增加了底座之後，其反應訊號相似於無底座之情況，仍舊是以 3 號位置的底部反射訊號最為明顯。圖 11 為沉箱加蓋頂板後之應力波反應訊號。能到達底部反彈回來之訊號已極不明顯，其縱波多來自於頂板之反射。

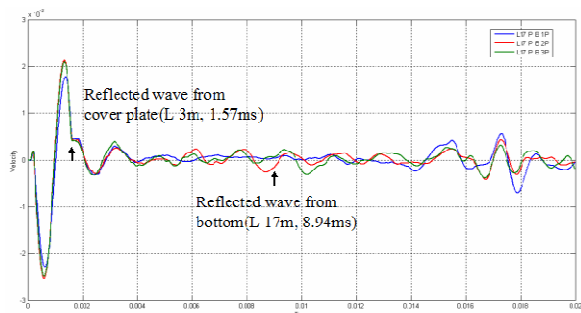


圖 11 完整沉箱之速度反應曲線

本研究前往花蓮壽豐溪橋新建橋樑沉箱式基礎作檢測，並利用自行開發之儀器作現地試驗，將現場之狀況以有限元素模式模擬之。由於先前的有限元素模式已知 2 號位置較不易判讀，3 號位置最為理想，故

本次實驗也是以 2 號、3 號位置為目標。但因現場施工情況的限制，本研究只得對在興建中 5 公尺的橢圓形沉箱作檢測。由圖 12 可知 2 號位置的檢測結果為 4.57 公尺，與實際長度 5 公尺誤差了 8.6%。而現場檢測之結果反而較有限元素模擬的結果更有利於判讀週期性之反射波反應。

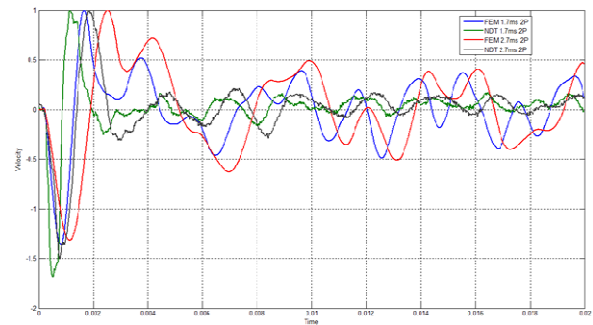


圖 12 現場 2 號位置檢測結果與有限元素之結果比較圖

圖 13 為 3 號位置檢測結果與有限模擬結果之比較。由其週期性的波形反應可得知沉箱深度為 4.86 公尺，與實際長度 5 公尺誤差了 2.8%，其中也顯示數值模式反而較無週期性之反射波反應，因此在判讀上，現場檢測反而較為直接。

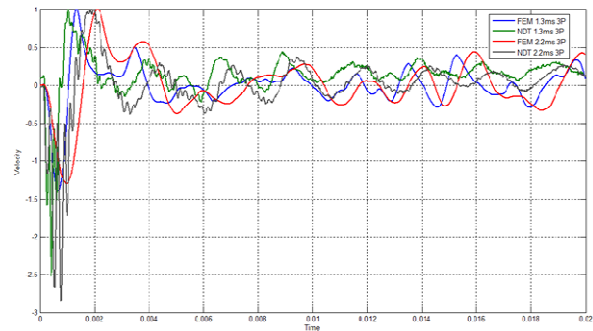


圖 13 現場 3 號位置檢測結果與有限元素模擬結果比較圖

綜合上述結果，本計畫可以歸納出 4 點結論：

1. 綜合有限元素數值模式分析的結果可知，3 號位置敲收的訊號最易顯明沉箱底部之反射波反應。
2. 現地檢測方面，給予較大波長的施力，似優於波長較短的施力。

3. 有限元素數值模式與現地檢測的結果比較顯示，較淺的沉箱，其現場檢測結果比有限元素模擬結果更易於判讀底部反射波。
4. 沉箱結構與現地狀況較難以用有限元素法完全模擬分析。在應力波傳遞方面，現場之檢測結果反而較為直接。

## 七、計畫成果自評

本計畫之執行，因擴大就業方案而得以聘任一名學士級專任助理，如此除了提高就業率以外，對於主持人之研究團隊的教育訓練與人才培養助益頗高。參與此計畫之專任助理與碩士班研究生數人因研究需要而必須學會接收器、衝擊錘、示波器、電腦、LabVIEW 軟體…等知識，並以獨立能力自行整合開發出一套檢測系統，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，今年本計畫所完成之研究成果亦正經過嚴謹整理，將投往 SCI 等級之國際期刊上。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

國際上，相關於沉箱式基礎之非破壞檢測的學術研究與報告極為罕見，因此，本計畫佔有先導性之優勢地位，其研究成果極有潛力發表在國際期刊上。

### (2) 技術創新方面

本研究計畫成功的自行組裝、發展出一整套完整的檢測系統，訊號之傳輸採最新之無線(wireless)模組，具有相當高之應用價值。

### (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(例如本研究計畫案之沉箱基礎)。因此，此項成果日後將具有相當重要之應用價值。

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. Davis, A.G. and Dunn, C.S., 1974, "From theory to field experience with the nondestructive vibration testing of piles," *Proc. of the Instn. Civ. Engrs. Part 2*, pp. 571-593.
2. Finno, R.J. and Gassman, S.L., 1998, "Impulse response evaluation of drilled shafts," *Journal of Geotechnical and Environmental Engineering, ASCE*, Vol. 124, No. 10, pp. 965-975.
3. 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.
4. 廖述濤，倪勝火，傅國倫，1999，"基樁非破壞性之檢測與評估，" *檢測科技*，第 17 卷，第三期 (5-6 月)，97-119 頁。
5. 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*, in press, to appear in December.
6. 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.
7. Kim, D.S. and Kim, H.W., 2004, "Evaluation of the Base Condition of Drilled Shafts by the Impact-Echo Method," *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 27, No. 5, pp. 1-8.
8. Kim, D.S., Kim, H.W., and Kim, W.C., 2002, "Parametric study on the impact-echo method using mock-up shafts," *NDT&E International*, Vol. 35, pp. 595-608.
9. Chow, Y.K., Phoon, K.K., Chow, W.F., and Wong, K.Y., 2003, "Low Strain Integrity Testing of Piles: Three-Dimensional Effects," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE*, Vol. 129, No 11, pp. 1057-1062.

無衍生研發成果推廣資料

98 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：98-2221-E-216-018-					
計畫名稱：以非破壞檢測技術評估沉箱基礎深度之數值與實驗比較研究							
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	0	0	100%		
		專書	1	1	100%		研究生碩士論文
	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	1	1	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</p> <p>(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>本研究計畫成功的自行組裝、發展出一整套完整的檢測系統，訊號之傳輸採最新之無線(wireless)模組，具有相當高之應用價值。</p> <p>在國際上，相關於沉箱式基礎之非破壞檢測的學術研究與報告極為罕見，因此，本計畫佔有先導性之優勢地位，其研究成果極有潛力發表在國際期刊上。主持人也正在整理撰寫中。</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）

主持人長期研究基礎之非破壞檢測，近 4 年已持續發表 6 篇 SCI 等級之國際期刊論文。

最新剛寄送出去之論文為去年研究計畫案之整理成果(含樁帽基樁之檢測研究。)

而此計畫案之研究成果已在整理撰寫中，亦將投往 SCI 等級之國際期刊。

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

國際上，相關於沉箱式基礎之非破壞檢測的學術研究與報告極為罕見，因此，本計畫佔有先導性之優勢地位，其研究成果極有潛力發表在國際期刊上。

(2) 技術創新方面

本研究計畫成功的自行組裝、發展出一整套完整的檢測系統，訊號之傳輸採最新之無線 (wireless) 模組，具有相當高之應用價值。

(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(例如本研究計畫案之沉箱基礎)。因此，此項成果日後將具有相當重要之應用價值。