

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 暫態彈性表面波於沉箱頂面之傳播與影響因素的探討 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型  
計畫編號：NSC 100-2221-E-216-016-  
執行期間：100年08月01日至101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：陳沛宏  
碩士班研究生-兼任助理人員：張祐賓

公開資訊：本計畫可公開查詢

中華民國 101 年 11 月 03 日

中文摘要：以暫態彈性應力波來檢測評估沉箱基礎之深度為一極具工程應用價值之技術。然而由於結構系統的複雜造成此問題的高困難度，使得目前相對於沉箱基礎之非破壞檢測的研究報告相當稀少。主持人近年來投入研究花蓮新建壽豐溪橋沉箱式基礎之非破壞檢測反應，在依施工階段進行一系列之敲擊反應檢測實驗後，收集到相當豐碩之實驗資料。在分析研究這些實測資料並與數值模擬結果比較後發現，相對於基樁之應力波傳問題，沉箱結構之表面應力波反應將扮演一重要之角色。因此，深入了解沉箱牆板、頂面、與頂板上之表面波傳播現象實是未來能否發展出檢測應用技術之重要基礎。本計畫之目的即是要研究牆板厚度、頂板厚度、應力波長大小、與層狀土壤之彈性性質等各項參數對受測沉箱之表面波反應的影響，並與現地實測所得之資料進行比較分析，以調整出更符合實際之數值模式，作為日後更深入研究之基礎。

中文關鍵詞：非破壞檢測、沉箱式基礎、彈性應力波、表面波

英文摘要：Testing and evaluating the depth of a caisson foundation with transient elastic stress waves is a technology of high application value in engineering. However, the academic reports related to the nondestructive testing of caisson foundations were rarely found because of the high difficulty of the problem associated with the complex structural systems. In recent years, the supervisor of this proposal has been devoted to studying the nondestructive testing responses of the caissons of Bridge Sou-Fong-Brook in Hua-Lein. Abundant data from a series of site experiments based on construction stages were collected. In analyzing these data and comparing with those from numerical simulations, it was found that the response of surface stress waves plays an important role in caisson foundation, as compared to pile problem. Therefore, an in-depth understanding on the propagation of surface waves over caisson walls, top surface, and top plate is an important basis for developing the application technologies with testing. The purpose of this project is to study the effects of various kinds of parameters, such as the thickness of the wall and the top plate, the wavelengths of the stress waves, and the elastic properties of the layered soil, on the

surface wave response of the caisson. Comparative analysis of the data with those obtained in the site will be carried out so that numerical models may conform better to the practical conditions after suitable adjustments on the parameters. This can serve as the basis into further study in the future.

英文關鍵詞： Nondestructive Test, Caisson Foundation, Elastic Stress Wave, Surface Wave

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

暫態彈性表面波於沉箱頂面之傳播與影響因素的探討

Exploration on The Propagation and Affecting Factors of Transient Elastic  
Surface Waves on Caisson Top

計畫類別： 個別型計畫  整合型計畫

計畫編號：NSC100-2221-E-216-016

執行期間： 100 年 8 月 1 日 至 101 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：張祐賓、陳沛宏

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 101 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

## 暫態彈性表面波於沉箱頂面之傳播與影響因素的探討

### Exploration on The Propagation and Affecting Factors of Transient Elastic Surface Waves on Caisson Top

計畫編號：NSC 100-2221-E-216-016

執行期限：100 年 8 月 1 日至 101 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：張祐賓、陳沛宏

#### 一、中英文摘要

以暫態彈性應力波來檢測評估沉箱基礎之深度為一極具工程應用價值之技術。然而由於結構系統的複雜造成此問題的高困難度，使得目前相關於沉箱基礎之非破壞檢測的研究報告相當稀少。主持人近年來投入研究花蓮新建壽豐溪橋沉箱式基礎之非破壞檢測反應，在依施工階段進行一系列之敲擊反應檢測實驗後，收集到相當豐碩之實驗資料。在分析研究這些實測資料並與數值模擬結果比較後發現，相對於基樁之應力波傳問題，沉箱結構之表面應力波反應將扮演一重要之角色。因此，深入了解沉箱牆板、頂面、與頂板上之表面波傳播現象實是未來能否發展出檢測應用技術之重要基礎。本計畫之目的即是要研究牆板厚度、頂板厚度、應力波長大小、與層狀土壤之彈性性質等各項參數對受測沉箱之表面波反應的影響，並與現地實測所得之資料進行比較分析，以調整出更符合實際之數值模式，作為日後更深入研究之基礎。

關鍵詞：非破壞檢測、沉箱式基礎、彈性應力波、表面波

#### Abstract

Testing and evaluating the depth of a caisson foundation with transient elastic stress waves is a technology of high application value in engineering. However, the academic reports related to the nondestructive testing of caisson foundations were rarely found because of the high difficulty of the problem associated with the complex structural systems. In recent years, the supervisor of this proposal has been devoted to studying the nondestructive testing responses of the caissons of Bridge Sou-Fong-Brook in Hua-Lein. Abundant data from a series of site experiments based on construction stages were collected. In

analyzing these data and comparing with those from numerical simulations, it was found that the response of surface stress waves plays an important role in caisson foundation, as compared to pile problem. Therefore, an in-depth understanding on the propagation of surface waves over caisson walls, top surface, and top plate is an important basis for developing the application technologies with testing. The purpose of this project is to study the effects of various kinds of parameters, such as the thickness of the wall and the top plate, the wavelengths of the stress waves, and the elastic properties of the layered soil, on the surface wave response of the caisson. Comparative analysis of the data with those obtained in the site will be carried out so that numerical models may conform better to the practical conditions after suitable adjustments on the parameters. This can serve as the basis into further study in the future.

Keyword : Nondestructive Test,  
Caisson Foundation, Elastic  
Stress Wave, Surface Wave

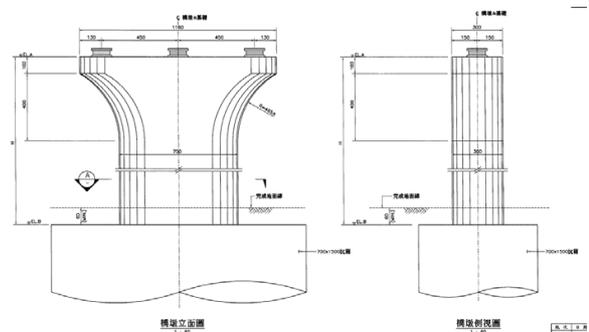
## 二、前言

本計畫研究之對象為台9線花蓮壽豐

溪橋沉箱式基礎。負責該項工程之單位為交通部公路總局第四區養護工程處。該橋樑位在花蓮縣壽豐鄉及鳳林鎮境內，路線全長約4934公尺。該橋之主橋部分採脊背橋型之設計，如圖1所示。其基礎有一部分除了採用圓形沉箱以外，主橋塔之基礎則採用四個長圓形斷面之複合式沉箱聯合支撐，引橋之橋墩部分則將採用單一長圓形斷面之複合式沉箱作支撐，如圖二所示。本計畫所採用之研究方法即是一般認為評估基礎深度最快速有效的「暫態彈性應力波法」。其基本構想即是在基礎頂面施加一敲擊力以產生應力波在基礎內傳播。藉著在某位置監測應力波傳播之反應而評估出基礎之深度等幾何資料。惟需考慮的是沈箱基礎在幾何上已不再如基礎般為單純的桿狀結構，其各介面所反射之應力波使得辨識沈箱底部反射波之工作更為困難。本計畫以解開沉箱頂面表面波傳播現象為目標，期望能使數值模擬與現地實測之結果有更完美的吻合。



圖一 台9線花蓮壽豐橋脊背式主橋部份示意圖



圖二 台9線花蓮壽豐橋墩柱與長圓形複合式沉箱基礎之立面與側視圖

### 三、研究目的

本計畫案首先想深入探討的是沉箱基礎之頂面的表面波傳播現象以及相關的影響因素。按照合理推論，應力波除了會沿著沉箱深度方向傳播之外，在頂面沿其環向方向傳播之應力波亦相當顯著。當然，沉箱基礎若已加蓋了頂板，則亦會有部份應力波是往頂板之各方向傳播的。換言之，沉箱基礎的表面波傳播現象即使是複雜的，但在反應訊號上應是顯而易見的。本計畫將進行大量之參數變化研究。本計畫考慮研究之重要參數包括沉箱環形側面之板厚與應力波波長之比例關係、周圍的層狀土壤之彈性性質、沉箱頂板厚度與應力波波長之比例關係等。

### 四、文獻探討

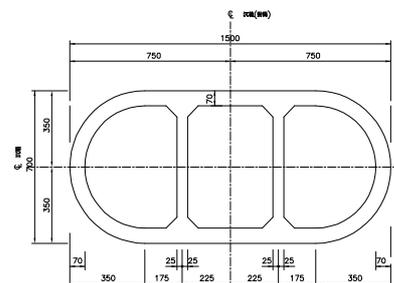
有關沉箱式基礎之非破壞檢測研究的文獻或報告，目前似仍罕見，原因可能在於這一類問題的複雜性。由目前主要之文獻報告可知「目前橋樑基礎工程之非破壞檢測技術之應用範圍仍主要局限於基樁」，主要原因在於幾何組態上之簡單性。基樁乃是一長桿狀結構，在其內之應力波傳現象較為簡單而可掌握。但在沉箱基礎之應力波傳方面，幾年下來，國際上在這方面之研究似仍還相當稀少。由於主持人長期專注的投入在基樁非破壞檢測之領域，因此，有些研究成果確實引起了前導的作用，許多最新有關單樁與含樁帽基樁之NDT的國際論文[1-4]亦皆引述或採用了申請人提出的模式。本計畫即使用這些研究工具而擴大研究對象至沉箱式基礎。本計畫在於嘗試深入了解沉箱基礎之各種應力波的傳播現象，尤其是沉箱頂面之表面波傳播現象。這些現象原因的一一解開，

將有學術上與工程應用上之重要價值。

### 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有無隔板(chamber plate)以及施工時不同齡期與不同敲擊點產生之訊號差異，尤其是表面波的傳播情形研究。

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，深入探討在有無隔板與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。圖三為含箱室沉箱橫斷面圖。

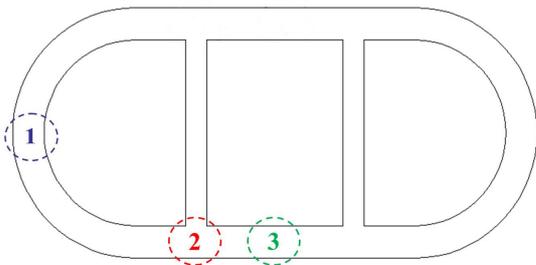


圖三 花蓮壽豐溪橋沉箱基礎橫剖面圖

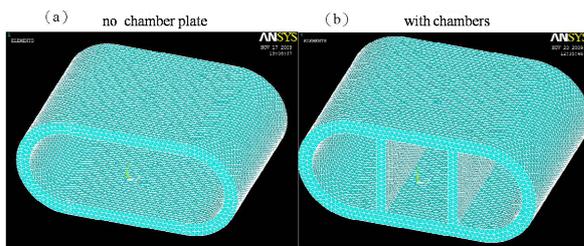
### 六、結果與討論

針對計畫研究之內容，本團隊即設計三個不同之檢測點，如圖四所示。為了研究表面波之傳播情形，首先考慮該複合沉箱是否具有隔板(chamber plate)之情況。圖五(a)與(b)所示即分別為無隔板與有隔板之沉箱有限元素網格圖。接著即在位置 1 進行 SE 之檢測實驗，其結果如圖六所示。由圖中可發現，在兩種情況下皆有沉箱底部之反射(深度 10 公尺之波旅時間為 5.26

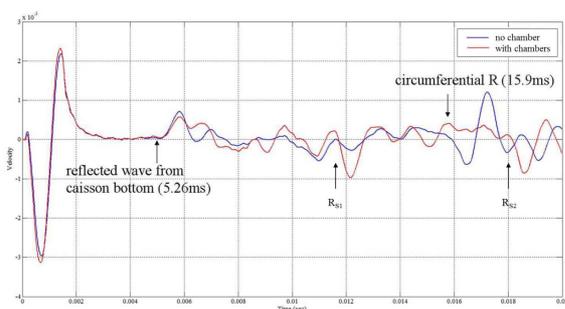
ms)。然而有趣的是，當無隔板時，可清楚看到表面波(雷利波)在沉箱外環頂面繞行一週之波抵振動。一旦有隔板，則在沉箱頂面即有多重路徑而使得雷利波有分散傳播現象。如此其繞行一週所顯之振動即減弱許多。然而，從圖中仍可清楚觀察到若有隔板時，表面波可採取隔板頂面之較短路徑來回，此即圖中 RS1 與 RS2 對應有較大振動之原因。以上僅為本研究有趣之發現之一，其餘相關許多研究成果，諸如各施工階段對表面波傳播之影響與不同施測點所得結果之差異分析，皆詳述於已發表(2012年8月)之國際期刊上[5]，在此精簡報告中，不再贅述。



圖四 複合式沉箱進行 SE 檢測之施測點



圖五 複合式沉箱在(a)無隔板與(b)有隔板下之有限元素網格圖



圖六 複合式沉箱在有無隔板下受 SE 檢測之數值模擬速度反應

## 七、計畫成果自評

本計畫曾多次至花蓮壽豐溪新建大橋之工地進行檢測實驗，使學生經歷完整的工程問題研究解決過程，對本研究團隊之能力提升甚巨。參與此計畫之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、MATLAB 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。這些硕士生未來就業，相關知識技能必能幫助他們把工作做得更好。主持人最近之一篇國際期刊論文即是發表近兩年對沉箱基礎之研究成果[5]。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，其研究成果具有相當高之價值得以發表在國際期刊上。一篇題目為“Numerical and Experimental Study on Evaluating the Depth of Caisson Foundation with Sonic Echo Method”已在2012年8月發表於Earthquakes and Structures, an International Journal 國際期刊上[5]。

### (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，並且使用LabVIEW 設計出功能強大之訊號處理視窗程式介面，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，此項成果具有相當重要之應用價值。新近之一例為去年主持人受邀在第七屆公共工程非破壞檢測研討會(2011年11月3、4日在中部科學園區管理局行政大樓會議室舉行)中發表基礎工程非破壞檢測之研究成果。

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.

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. 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.
2. 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.
3. 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.
4. 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.

# 國科會補助計畫衍生研發成果推廣資料表

日期:2012/11/02

國科會補助計畫	計畫名稱: 暫態彈性表面波於沉箱頂面之傳播與影響因素的探討
	計畫主持人: 廖述濤
	計畫編號: 100-2221-E-216-016- 學門領域: 結構應力
無研發成果推廣資料	

100 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：100-2221-E-216-016-					
計畫名稱：暫態彈性表面波於沉箱頂面之傳播與影響因素的探討							
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	2	2	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	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%		
國外	論文著作	期刊論文	1	1	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	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%		

<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>主持人先前所指導之碩士班學生邱進隆畢業後到國立中央大學土木系博士班就讀，繼續研究非破壞檢測</p> <p>邱君在國立中央大學王仲宇教授、弘光科技大學童建樺教授、與主持人之共同指導下，參與第十六屆非破壞檢測技術研討會(2012年11月1,2日於國立台北科技大學舉行)之學生論文競賽，榮獲第二名之佳績。</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）

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，其研究成果具有相當高之價值得以發表在國際期刊上。一篇題目為 'Numerical and Experimental Study on Evaluating the Depth of Caisson Foundation with Sonic Echo Method' 已在 2012 年 8 月發表於 Earthquakes and Structures, an International Journal 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，並且使用 LabVIEW 設計出功能強大之訊號處理視窗程式介面，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，此項成果具有相當重要之應用價值。新近之一例為去年主持人受邀在第七屆公共工程非破壞檢測研討會(2011 年 11 月 3、4 日在中部科學園區管理局行政大樓會議室舉行)中發表基礎工程非破壞檢測之研究成果。