

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

震災後混凝土結構檢測技術之開發

子計畫：鋼筋混凝土樑品質與損傷非破壞檢測

NDT Techniques for Quality Evaluation and Crack Detection of Reinforced Concrete

計畫編號：NSC 88-2625-Z-002-010

執行期間：87年8月1日至88年7月31日

主持人：吳政忠

國立台灣大學應用力學研究所

一、中文摘要

台灣處環太平洋地震帶，地震頻繁，時有強震侵襲，結構物耐震技術與震災前後結構物安全檢測技術之研發與落實，甚為重要。適當應用非破壞檢測技術於土木營建工程，不僅可確認老舊結構之安全，提昇新建結構的施工效率與品質，亦可降低施工成本提昇營建競爭力。

本計畫為兩年期計畫，第一年進行鋼筋混凝土樑非破壞檢測方法評估與樑載重實驗規畫，收集鋼筋混凝土非破壞檢測文獻並整理比較現有方法之應用範圍與限制。研究中規畫設計鋼筋混凝土樑載重實驗架構，並製作鋼筋混凝土樑進行新造混凝土樑非破壞檢測試驗，且對於及受到外力載重破壞後之鋼筋混凝土樑進行量測。在對新造混凝土樑進行超音波及暫態彈性波波速量測後發現，混凝土樑的彈性波波速分佈結果可以反映出澆製時來自人為或重力影響的材料不均勻特性。在混凝土樑受到外力破壞後，其彈性波波速的衰減分布結果，亦可反映出混凝土樑的破壞情形。在未來的研究中，將參照本計畫的實驗流程，進行鋼筋混凝土樑品質與損傷的非破壞檢測研究。

關鍵詞：彈性波、非破壞檢測、混凝土

Abstract

Under the corrosive environments, fatigue loading and aging effects in concrete structures, strength of the materials may be reduced, cracks may propagate, and unexpected catastrophic failure of such structures may happen. To monitor the

integrity and avoid such a catastrophic failure of a particular concrete structure, reliable Non-Destructive Evaluation techniques are needed.

The purpose of this project is to design an experimental process for the damage of a full size concrete beam and then detect the degree of damage using NDT methods. In the first phase, a full size reinforced beam has been designed and fabricated. In the second phase, quasi-static loading experiments on the concrete beams will be performed. The NDT methods including ultrasonic and transient elastic wave velocity measurement will be utilized to evaluate the reinforced concrete beam with damages.

Keywords: concrete, elastic constant, crack, elastic wave

二、計畫緣由與目的

鋼筋混凝土構造物在環境腐蝕、外來荷重或材料老化之作用下，會引致材料強度降低、裂縫延伸而產生無預期的破損。如何以非破壞的檢測方法[1-6]來評估其繼續使用的安全性是急待解決的問題。非破壞檢測技術包括超音波、音射波、暫態彈性波、電磁波、渦電流、放射線、紅外線影像、磁粉及滲入等方法，大部分的方法在金屬構件之檢測應用已日趨成熟，且已有特定之規範可遵循。但在混凝土結構物之應用則尚有許多問題待解決。本計畫中，嘗試將暫態彈性波應用於鋼筋混凝土樑的非破壞檢測評估。首先，設計鋼筋混凝土樑的載重實驗架構，並實際製作新樑進行實驗。在實驗進行前，對整個混凝土樑進行暫態彈性波速[7-8]及傳統超音波速

量測，以獲得材料非均勻特性。在對混凝土樑施以破壞載重後，重新量測波速分佈，並比較波速衰減分佈與樑的破壞分佈情形。

三、研究方法與成果

現實狀況中，結構物中樑構件經常發生兩種破壞性裂縫—彎曲裂縫及剪力裂縫，故計畫中試體之設計將針對此兩種裂縫分別製作兩根樑試體，其破壞模式分別為彎曲破壞及剪力破壞，以應證所研發之量測方法能夠準確的量測樑試體中破壞的情形。

1. 試體之設計與製作

本試驗計畫設計兩根樑試體，其破壞形式分別為剪力及彎矩破壞。以極限強度設計法設計，為簡化分析，假設樑支承為絞接、力量輸入只有垂直力。其中樑跨度六公尺、總荷重 70 公噸、混凝土強度 $f'_c=280$ kg/cm²、鋼筋抗拉強度 $f_y=4200$ kg/cm²、箍筋抗拉強度 $f_y=4200$ kg/cm² 為使設計簡化。研究中先設計一剪力破壞之樑試體，在依其設計將主筋鋼筋量減少以達彎矩破壞之形式。試體 A 為剪力破壞模式，試體 B 之設計為彎矩破壞模式，如圖 1、2 所示。

2. 設備之設計與製作

本試驗設備主要可分為加載裝置、反力支撐架、分配加載之鋼樑等三部分，如圖 3、4 所示。混凝土樑試體置於橡皮支承墊上，並以型鋼為基座墊高其高度。樑試體上部放置一鋼樑，用以分配制動器所產生之垂直力至下部混凝土樑。反力支撐架橫跨混凝土樑並以螺栓固定於預力底鈑上，用以支撐加載裝置之反力。

加載裝置為一 MTS 之靜態油壓制動器，其最大加載力 961KN、衝程± 500mm、流量 40gpm，尺寸如圖 3 所示。制動器之兩端分別用螺栓與反力支撐架之橫樑及分配加載力之鋼樑固定。

反力支撐架由兩根 H350X350X 12X，長 5500 mm 之長柱與一 H400X400X13X21，

長 1510 mm 之橫樑所組成之門型構架。其橫樑與制動器之一端以螺栓相結合，當制動器因油壓之加壓而伸長時，反力分別由混凝土樑與支撐架所提供，兩端底鈑分別以螺栓固定於試驗場地之預力底鈑之上。

分配加載鋼樑其尺寸為一 H414X405X18X28，長 3500 mm 之鋼樑。制動器所作用之垂直作用力藉由此鋼樑分配至下部的混凝土樑，我們可藉由調整鋼樑下方之橡皮支承墊的間距位置來控制輸入樑試體內部垂直力與彎矩之分配，更進一步控制其破壞形式，所有實驗架構如圖 5 所示。

3. 實驗載重施加及試體破壞

為使裂縫得以發展延伸，故試驗中規劃五個反覆加載階段，施加於試體 A。而每個階段之起始位置為制動器之原點，並以規劃位移量作往復十次週期之加載，其加載階段如下表所示。試驗過程中並觀察裂縫延伸之情形，直到第五階段中裂縫沿樑試體成約 45° 之破壞面形成。

加載階段	制動器位移	制動器頻率
一	10± 2.5 cm	0.1Hz
二	12.5± 2.5 cm	0.1Hz
三	15± 2.5 cm	0.1Hz
四	20± 2.5 cm	0.1Hz
五	22± 15 cm	0.05Hz

4. 波速量測之結果

在實驗進行前將試體 A 分成 3× 25 個區域，以超音波法及暫態彈性波法於對試體施加載重前後進行量測。在施加載重前分別以兩種方法量測波速之結果如圖 6。觀察兩種方法所測得的結果，可以發現試體下方所量得的波速皆較由試體上方所量得的波速來得快。其原因應是由於試體灌注的過程中，由於重力的影響使得大粒徑的骨材下沈，造成試體本身內部材料分佈並不均勻，因而下半部所量得的波速皆較上半部來的高。然而，超音波法與暫態彈性波法量得的波速並不完全相同，這是因為超音波法量測時超音波所行進的路徑為

通過試體內部，表現出來的是該方位試體的平均值，而暫態彈性波法量測的是在試體表面行進的彈性波，表現出來的是該方位試體表面的局部性質。

而在對試體A施加载重後以兩種方法量測波速之結果如圖7。可以發現相較於施加载重前的結果各個位置所量得的波速多呈現波速下降的現象。量測所得波速下降的原因是因為由於試體表面及內部生成許多裂縫，使得彈性波於試體內傳播時波傳路徑變長，因而到達時間延後而波速下降。其中波速衰減程度最大的位置與剪力破壞產生的位置一致，如圖8所示。

四、計畫成果自評

本計畫第一年完成鋼筋混凝土樑載重實驗架構之建立，設計灌製彎矩破壞及剪力破壞的鋼筋混凝土樑，並利用超音波法及暫態彈性波法對試體於負載破壞前後進行波速量測。由量測結果發現彈性波波速的衰減原因來自於試體內微裂縫的形成，波速衰減大小取決於量測區域的破壞程度，由實驗結果發現試體的彈性波波速量測結果，用於震災後混凝土結構物破壞評估有著極佳的發展空間。未來將依循本計畫設計之鋼筋混凝土樑載重實驗架構及流程，進一步深入研究試體破壞情形與彈性波波速變化之關係，並發展量測裂縫深度的方法，以作為震災後混凝土結構之非破壞檢測評估用。

五、參考文獻

1. "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete," ASTM C597-71 (1979).
2. Ahmed E. Ben-Zeitun, "Use of Pulse Velocity to Predict Compressive Strength of Concrete," *International Journal of Cement Composites and Light Weight Concrete*, 8, No. 1, 51-59, (1986).
3. N.J. Carino, M. Sansalone, and N.N. Hsu, "A Point Source-Point Receiver Pulse-Echo Technique for Flaw Detection in Concrete," *ACI Journal*, proceeding, 83,

199-208 (1986).

4. N.J. Carino and M. Sansalone, "Detection of Voids in Grouted Ducts Using the Impact-Echo Method," *ACI Materials Journal*, 89, (3), 296-303 (1992).
5. K.Y. Kim, W. Sachse, and A.G. Every, "On the Determination of Sound Speeds in Cubic Crystals and Isotropic Media Using a Broad Band Ultrasonic Point-Source/Point-Receiver Method," *J. Acoust. Soc. Am.*, 93, 1393-1406 (1993).
6. T.-T. Wu, J.-S. Fang and P.-L. Liu "Detection of the Depth of a Surface-Breaking Crack Using Transient Elastic Waves," *J. Acoust. Soc. Am.*, 97 (3), 1678-1686 (1995).
7. T.-T. Wu, J.-S. Fang, G.-Y. Liu and M.-K. Kuo "Determination of Elastic Constants of a Concrete Specimen Using Transient Elastic Waves," *J. Acoust. Soc. Am.*, 98 (4), 2142-2148 (1995).
8. T.-T. Wu, J.-H. Tong and P.-L. Liu "Measurements of In-situ Wave Velocity of Concrete Using Transient Elastic Waves," *Progress of Quantitative Nondestructive Evaluation*, Montreal, Canada (1999).

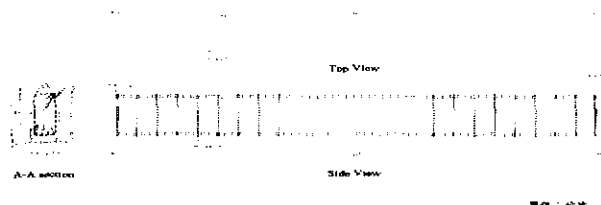


圖 1 剪力破壞設計梁 A

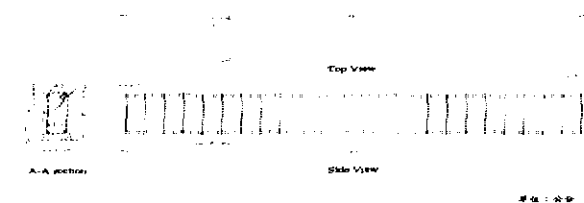


圖 2 彎矩破壞設計梁 B

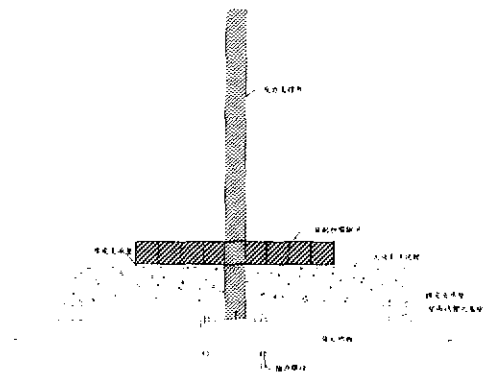


圖 3 試體設備側視圖

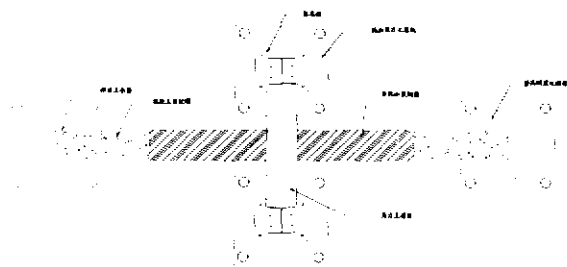


圖 4 試體設備上視圖

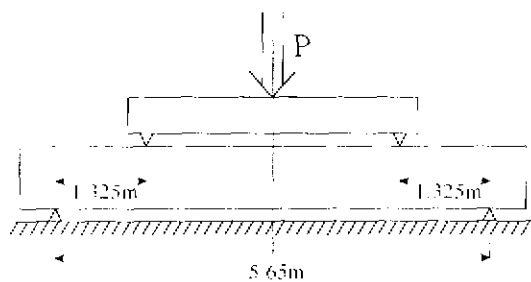


圖 5 實驗架構圖

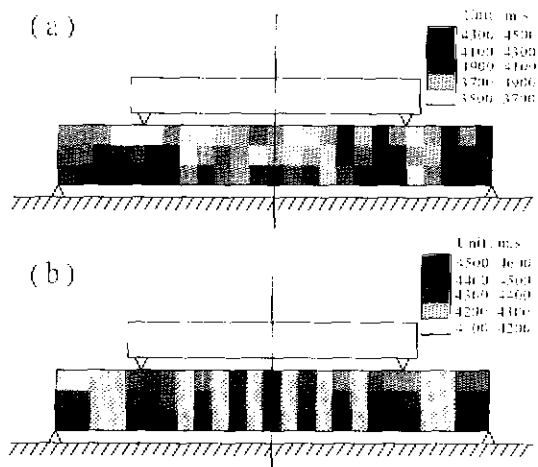


圖 6 負載施加前之縱波波速分佈圖(a)暫態彈性波波速(b)超音波波速

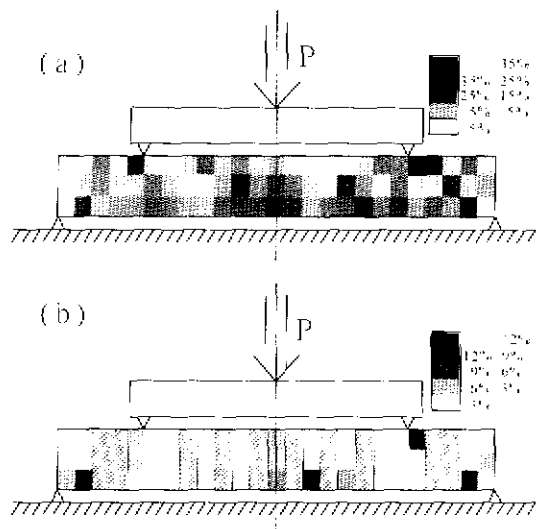


圖 7 負載施加後之縱波波速衰減百分比分佈圖(a)暫態彈性波波速(b)超音波波速

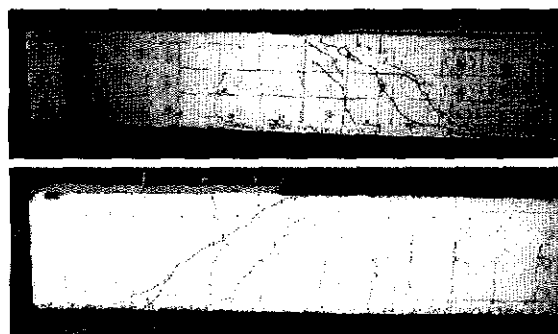


圖 8 試體施載後之破壞情形