

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

車輛與結構之互制振動(3/3)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-084-

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：楊永斌

報告類型：完整報告

報告附件：出席國際會議研究心得報告及發表論文

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 93 年 11 月 26 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

車輛與結構之互制振動研究 (3/3)

計畫類別：√ 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 92 - 2211 - E - 002 - 001

執行期間：92年08月01日至93年07月31日

計畫主持人：楊永斌 教授

E-mail: ybyang@ntu.edu.tw

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

執行單位：國立台灣大學土木工程學系

中 華 民 國 93 年 11 月 25 日

車輛與結構之互制振動研究 (3/3)

計畫編號：NSC 92 - 2211 - E - 002 - 001

執行期間： 92 年 08 月 01 日至 93 年 07 月 31 日

主持人：楊永斌 國立台灣大學土木工程系

E-mail: ybyang@ntu.edu.tw

一、中文摘要

車輛與結構之互制振動是一個複雜的力學問題，其原因在於此一問題包含了「橋梁」與「車輛」兩種子結構，而且兩者隨著時間而相互移動。由於兩者都是彈性體，因此在相互移動的過程中，會有能量的相互傳遞，此一現象可以經由兩者間的「接觸力」之變化觀察出。主持人與研究群過去曾進行一系列有關車輛移動問題的研究，不管是理論的解析解，或是數值的分析，都取得了一定的研究成果，發表在不同的國際期刊中。在這三年期的研究案中，吾人主要是就一些過去較少涉及的問題加以探討，基本上雖仍以原計劃的內容為主軸，但在研究過程中，仍免不了因問題之擴大，而稍微調整主題，唯整體而言，仍屬相符若節，在此一報告中，將僅就兩項最突出的成果加以簡述。

關鍵詞：橋樑、有限元素，頻率、監測、車輛、車橋互制元素

Abstract

The interaction dynamics between the bridge and moving vehicles is a complicated problem in that it consists of two subsystems, i.e., the bridge and moving vehicles, and that the two subsystems move with respect to each other. Because the two subsystems are elastic bodies, energies of various forms can be transferred between the two bodies, which can result in variation of the contact forces.

In the past decade, the principal investigator and his group have conducted a series of research related to the vehicles moving load problems, including both the analytical and numerical studies. Most of the results have been published in various international journals. In this three-year research project, focus was placed on those subjects not fully covered by previous studies, as outlined in the project proposal. However, it is admitted that in the process of researching, some minor adjustments are unavoidably made on the research items, although the main direction remains basically unchanged. In this report, only two major achievements will be summarized.

Keywords: Bridge, finite element, frequency, monitoring, vehicle, vehicle-bridge interaction.

二、緣由與目的

橋梁的振動頻率，是其動力特性中最重要之參數，也是橋梁管理上最重要的基本資料。吾人知道，當結構物的勁度或質量發生變化時，其自然振動頻率便會產生變化，因此就結構物之安全性或健康診斷來說，橋梁的振動頻率，尤其是基本振動頻率，是一個非常重要的指標。換言之，當橋樑因長期使用導致結構勁度劣化或因外力作用造成結構損壞，無論是發生在構件接頭或邊界支承，橋梁的振動頻率也都可能降低，因此之故，振動頻率經常被採用為結構健康監測的一個重要指標。

基本上，現有的橋樑頻率量測方法，均須依賴安裝於橋體上的感應子(如地震計等)，並且連接至資料擷取系統，再透過電腦進行訊號處理與運算，此法對於一使用中的橋梁而言，勢必要進行局部或全面的交通封鎖，非常不便利，另外，在現地部署量測儀器，也是相當的費時而且缺乏效率，同時也會增加成本，這些都是傳同量測方法的缺點。這些方法都是屬於直接法(Direct methods)。

本研究的目的是在於探討一種以間接方法(Indirect method)量測橋樑頻率之可行性，試圖從移動車輛的振動反應中，萃取橋梁的振動頻率，此法不僅使用簡便，在現場量測時也不受車流的影響，可省去管制交通的不便，將可應用在橋梁的動力監測上。本研究將由基本理論出發，推導車橋互制問題中橋梁與車輛振動反應之解析解，找尋出主要的控制參數，接著將以現地實驗來驗證此一構想之可行性。

三、理論研究

圖 1 示一簡化之彈簧質量模型，設車體質量為 m_v ，彈簧勁度常數為 k_v ，並假設車輛以等速度 v 通過跨距為 L 之簡支橋樑，若忽略橋樑阻尼，僅考慮第一個振態的貢獻，利用車橋之控制方程式，採用振態疊加和變數分離原理，可以求得簡支梁與車輛的反應。由此可以找出控制車輛反應的主要參數，並且從車輛反應中找出橋樑的頻率(Yang et al. 2004)。

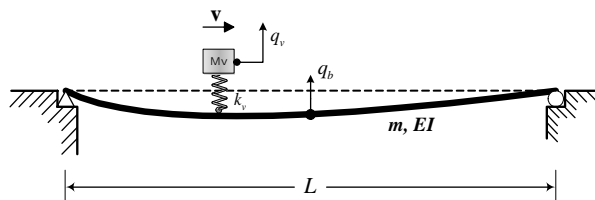


圖 1. 單自由度彈簧-質量車輛通過橋梁之車橋互制模型

為驗證上述近似理論之精確度，吾人另以有限元素法，考慮所有振態的影響，針對上述問題重新分析，經比較後，確認結果極為可靠，如圖 2 所示。

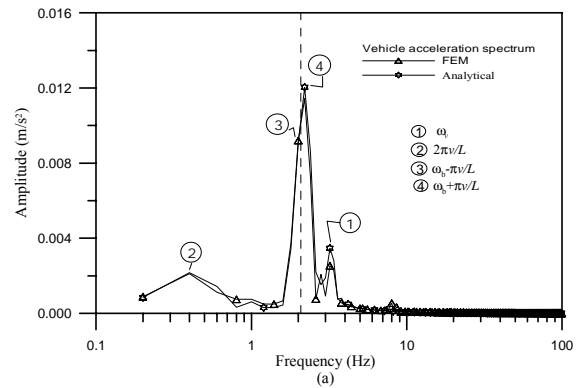


圖 2. 車輛垂直加速度反應頻譜 (車速 $v = 10$ m/s)

四、現地實驗

為驗證上述的理論的可靠度，我們選擇一座剛完工的預力混凝土橋進行現地量測。使用之量測車輛為符合理論模型之單自由度量測車，而以一曳引貨車拖拉而行進，如圖 3 所示，如此可以避免引擎動力對量測車產生干擾。此外我們也利用一重型卡車來代表背景“車流”，與量測車輛平行前進。

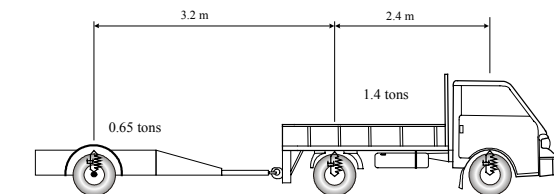


圖 3. 實驗量測車輛與曳引貨車

在現地實驗中，我們進行以下六個項目的量測：

1. 橋樑微震試實驗：以微震感應子安裝於橋面版中心線上，記錄由環境所引致之結構體微振動。
2. 貨車與量測拖車分離，並將量測車輛靜止於於橋跨中點，紀錄卡車通過所引起的量測車振動反應。
3. 貨車與量測拖車結合，記錄後方拖車通過橋樑時，拖車之垂直向振動反應。
4. 與第 3 項相同之量測，但是以另一大卡車隨行，藉以模擬背景車流對量測拖車的影響。

我們讓實驗車以不同之車速通過橋梁，而

以安裝於量測車上之地震儀，記錄其垂直加速度反應，再經過富力葉頻譜，即可發現，橋梁頻率確是影響車輛反應的主要頻率之一，將實驗與理論分析結果加以比較，顯示兩者極為吻合，顯示本研究所提出之間接量測方法具有相當高的可行性 (Lin and Yang 2004)。

五、結論

針對本文之理論與實驗分析，可歸納出以下幾點結論：(1) 從理論分析中，可發現由車輛反應可萃取出橋梁振動頻率，但須考慮頻率平移現象。(2) 利用單一模態的假設，可得到車橋互制模型的主要控制參數，由此找出橋梁與車輛共振的條件。(3) 根據現地實驗結果，當量測車輛通過橋梁的速度小於 40 km/hr 時，可以確定橋梁的振動頻率可從車輛振動反應中得到，但是，當車速提高時，橋梁的振動頻率會被其他輸入振動因素所掩蓋，變得不容易解

析出來。(4)當橋梁上有車流存在時，橋梁的振動會增大，而連帶傳入量測車的振動量也會增加，由於所增加的輸入能量是橋梁的頻率，因此車輛振動反應中橋梁的頻率分量也會增加。

未來仍須進行更系統化的現地量測實驗，以釐清所有的影響因素，並發展出一套可使用於現地之實驗程序。

六、參考文獻

- Lin, C. W., and Yang, Y. B., (2004). "Measuring the Bridge Frequencies from the Dynamic Response of a Passing Vehicle," accepted by *Struct. Eng.*, Oct. 6, 2004 (in Chinese).
- Yang, Y. B., Lin, C. W., and Yau, J. D., (2004). "Extracting the Bridge Frequencies from the Dynamic Response of a Passing Vehicle," *J. Sound & Vibr.*, 272(3-5), 471-493.