

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

高鐵連續桁架橋受車行之減振分析 - 複合型 TMD/MTMD 系統
之應用(2/2)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2211-E-032-003-

執行期間：94 年 08 月 01 日至 95 年 07 月 31 日

執行單位：淡江大學建築技術系

計畫主持人：姚忠達

計畫參與人員：陳韻如，葉力維

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 95 年 7 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

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

※

※ 高鐵路橋桁架橋受車行之減振分析 ※

※ 一複合型 TMD/MTMD 系統之應用(2/2) ※

※

※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※※

計畫類別：個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 94-2211-E-032-003-

執行期間：94年8月01日至95年8月31日

計畫主持人：姚忠達 淡江大學建築技術系

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：淡江大學建築技術系

中華民國九十五年七月三十一日

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高鐵連續桁架橋受車行之減振分析

— 複合型 TMD/MTMD 系統之應用(2/2)

Suppression of continuous truss bridges subjected to high speed trains

— Using hybrid TMD/MTMD systems (2/2)

計畫編號：NSC 94-2211-E-032-003

執行期限：94 年 8 月 01 日至 95 年 7 月 31 日

主 持 人：姚忠達 淡江大學建築技術系

計畫參與人員：陳韻如，葉力維 台灣大學土木工程研究所

中文摘要

本研究旨在探討連續桁架橋受高速列車作用之車橋動力反應及減振分析，首先，藉由將連續桁架橋之有限元素之模擬，而列車視為集中型序列移動懸吊質量系統之簡化模式，吾人可以分析連續桁架橋梁受車行之衝擊反應發生共振時的主要共振速度分佈情形。為了有效抑制連續桁架橋受高速列車作用而引發的數個共振尖峰反應，本研究建議採用以「複合式最佳化調諧質量阻尼器(tuned mass damper)」來進行連續桁架橋的減振。分析結果顯示，具雙頻的複合式 MTMD 減振裝置，對連續桁架橋受高速列車作用，可達到明顯減振效果。

關鍵詞：

高速鐵路、桁架橋、共振反應、減振

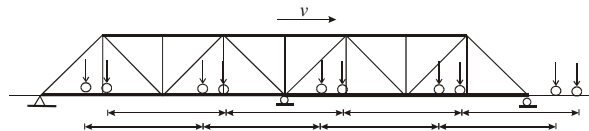
Abstract

In this paper, the control effectiveness of hybrid multiple tuned mass dampers (MTMD) on reducing the multiple resonant peaks of continuous truss bridges subjected to high speed trains is investigated. From the impact factor (I) vs. speed parameter (S) plot of the continuous truss bridge subjected to moving loads, it is observed that there exist more than one resonant peaks of

comparable magnitudes, due to the higher modes effects. To suppress the train-induced vibrations on the continuous truss bridge, a hybrid MTMD (multiple tuned mass dampers) with multiple target frequencies is evaluated. It is confirmed that the hybrid TMD/MTMD system optimum absorber parameters can be effectively used to suppress the main resonant peaks of the continuous truss bridge due to high speed trains.

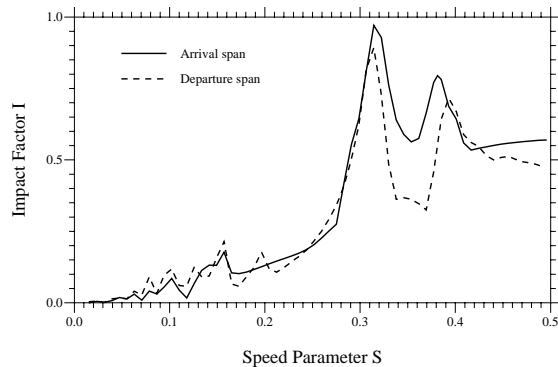
一．前言

桁架橋具有造型多樣、質輕、跨度長的優點，是以在鐵路運輸上，常被用來作為跨越溪澗或地表鴻溝的重要橋型參考。為了有效而且充分利用桁架橋的材料特性，採用連續桁架橋來作為鐵路橋應是比簡支橋更能發揮材料特性的做法，例如，台灣高鐵在中部路段，即有類似之雙跨連續鋼桁鐵路橋出現。然而，鋼桁橋因其組成構材多屬型鋼，是以在剛度上，將比預力混凝土橋要來得小，故一但受到列車以高速通過時，其振動量也勢必較同跨度的預力混凝土橋要來得大[1]。而要說明的是，如下圖一之簡化模式所示：



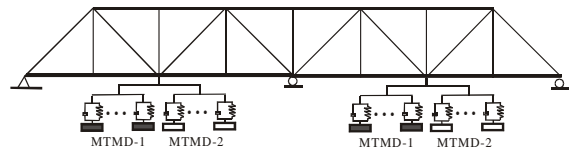
圖一 雙跨連續鋼桁鐵路橋與移動列車

因為列車之輪軸間距固定(d)，在等車速(v)行進時，一旦列車作用在橋上之移動載重的穿越頻率(v/d)恰與橋頻相符，則橋樑之振動反應即會因共振而急速放大[2-3]。因此，當車行速度達到此共振車速時，則勢必會影響到橋樑的安全及列車的操控性，故有必要對桁架橋進行減振措施。但是，連續型鋼桁橋梁受高速列車作用，將因其橋樑振頻的分佈，而會有數個共振尖峰狀況發生(如下圖二)。



圖二 連續型橋受高速列車作用之數個共振尖峰衝擊反應圖

調諧式質量阻尼(tuned mass damper，簡稱 TMD)的吸震裝置是一種既簡單且經濟的動力吸振器，因此 TMD 經常被用在高樓或橋樑上做減振的重要機制[4]。顯然若以傳統之單一且單頻的 TMD 吸振系統，要將上圖中之數個共振尖峰同時進行減振，勢必會有某種程度的困難。而由文獻中顯示，對於連續型橋梁受高速列車作用而引起的數個共振尖峰之如何減振，也較少進行探討。對此，本研究提出一具多頻的複合式多組調諧質量阻尼器系統(multiple tuned mass dampers，簡稱 MTMD 減振裝置，即一個 MTMD 是由數個 TMD 組成)，來同時處理此數個共振共峯的減振分析[5]，其裝設如下圖三：



圖三 具多頻的複合式 MTMD 減振裝置

上圖中之複合式 MTMD 主系統是由多個 MTMD 次系統(如 MTMD-1; MTMD-2)所組成;此 MTMD 次系統將依照所要調整的共振頻率為對象而定;而各 MTMD 次系統內又含有數個不同的 TMD 子系統。

二、最佳複合式 MTMD 之設計原理

從前節之鋼桁橋受車行的衝擊反應中顯示，一旦列車作用在橋上之移動載重的激發穿越頻率與橋梁中之任一頻率相符，則橋樑之振動反應即會急速放大。針對此特性，吾人可針對該特定振頻設計一最佳 MTMD 減振裝置。惟若要同時兼顧將圖一之雙共振尖峰同時壓制，顯然，此具特定單一調頻之最佳 MTMD，即顯不足。對此，本研究針對共振尖峰個數，來決定對應於抑制該共振尖峰之 MTMD 裝置的個數。就以上述雙跨鋼桁橋受車行衝擊反應而言，因存在兩個共振尖峰，故吾人可針對此二共振尖峰的橋梁頻率，設計兩組不同調頻之 MTMD 系統，分別叫做 MTMD-1 及 MTMD-2。

然如何來針對此兩型 MTMD 系統，進行合理的質量分配，對此，本研究採用按模態質量比重分配的方式來進行。假設鋼橋之第一、二振態質量分別為 M_1 及 M_2 ，而 MTMD-1 與 MTMD-2 之個別總質量則分別以 m_1 及 m_2 表示。令 M^* 代表橋梁的參考模態質量，則此複合式 MTMD 系之總質量(m_1+m_2)與參考模態質量 M^* 的質量比可以表示成

$$\mu = \frac{m_1 + m_2}{M^*} = \frac{\mu_1(M_1 + \gamma M_2)}{M^*}$$

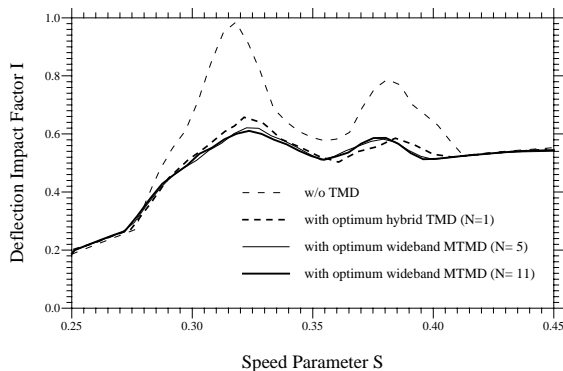
其中

$$\mu_1 = \frac{m_1}{M_1}, \quad \mu_2 = \frac{m_2}{M_2}, \quad \gamma = \frac{\mu_2}{\mu_1}$$

在一般吸震器之設計質量均為已知，即 μ 是已知的。因此，吾人便可變動不同的 γ 值，找到對應於 MTMD-1 及 MTMD-2 的質量 m_1 及 m_2 ；接著，便可藉最後數值計算方式，得到 MTMD-1 及 MTMD-2 的最佳參數，例如：最佳彈簧勁度、阻尼比、頻寬等資料。惟此時的 MTMD-1 及 MTMD-2 並不一定代表著最佳組合，因為它們無法同時完全抑制共振雙峰。故吾人須另一引進一個條件，即強迫雙共振尖峰反應值需相同。如此，便可找到可同時抑制雙共振尖峰之最佳複合式 MTMD 所需要的參數。

三． 減振效能評估

在列車以不同之速度通過上述連續桁架橋，裝有雙頻的複合式 MTMD 減振裝置的橋梁衝擊反應如下圖所示，很明顯地，具雙頻的複合式 MTMD 減振裝置，亦可達到明顯減振效果。而且，隨著其中 TMD 個數的增加，有減振效能提升的趨勢。

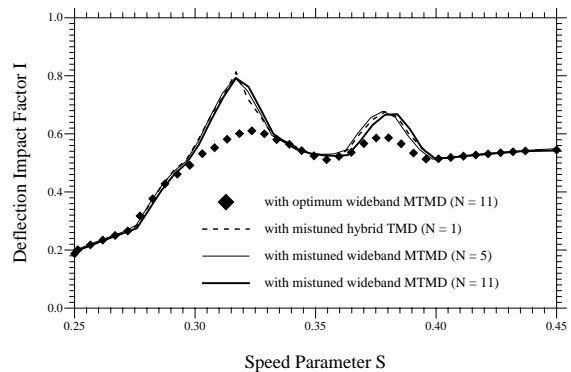


圖四 不同複合式 MTMD 及橋梁衝擊反應比較圖

四． 減振效能失調現象及克服

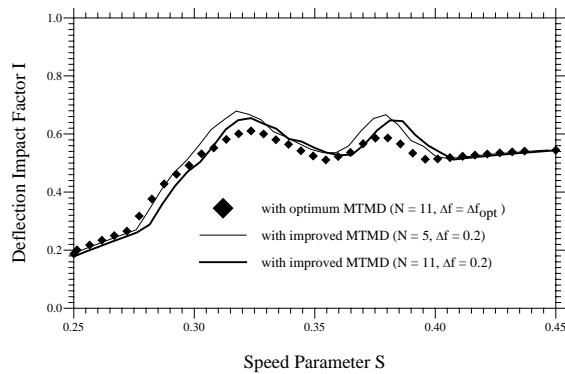
雖然採用本文提出之雙頻的複合式 MTMD 減振裝置，對雙跨連續鋼桁橋具有減振效果，然必須注意的是，採用單頻之 TMD 作為吸震器會面臨一項問題，就是

TMD 的調頻對象主要是以主結構可能發生共振的頻率為對象，一但 TMD 對目標調頻(tuning target frequency)發生失真(mis-tuning)現象，那麼其對主系統的減振效果將立即下降，此即失調(detuning)現象。同樣地，當複合式 MTMD 之目標調頻出現失真，而且此目標調頻可能已超出複合式 MTMD 之最佳頻寬，那麼，複合式 MTMD 也會發生失調現象。如下圖所示，當具有最佳頻寬複合式 MTMD 之目標調頻出現 5% 的失真（已超出複合式 MTMD 之最佳頻寬範圍），則整個複合式 MTMD 對主系統在共振尖峰的減振效果立即下降。



圖五 不同「失調」複合式 MTMD 及橋梁衝擊反應圖

為了考慮此複合式 MTMD 減振裝置有可能因製造或橋梁振動頻量測失真而產生「失調」，並進一步建議採用具「頻寬」(wideband)的複合式 MTMD 來克服。本研究採用 20% 之頻寬，主要是考量含蓋兩倍的 $\pm 5\%$ 的目標調頻作為頻寬選擇，至於其合理頻寬，則須按工程系統對目標調頻之容許失調範圍而定。透過此改良式之複合式 MTMD 減振裝置，連續鋼桁橋之衝擊反應結果如下圖顯示，具「頻寬」(wideband)的複合式 MTMD 系統，雖然其減振效能，不如無「失調」之最佳複合式 MTMD 系統，但比較上圖具 5% 的目標調頻失真之複合式 MTMD 系統，顯然，具「頻寬」(wideband)的複合式 MTMD 系統已達「強健」(robust)的要求。



圖六 具頻寬的改良複合式 MTMD 之減振效能評估

dynamic response of continuous truss bridges to moving train loads, *Engineering Structures*, 26, 1795 – 1807.

五· 結論與展望

振動問題是高鐵系統的核心研究主題，透過本文對連續鋼桁橋受高速列車之共振反應的減振分析，結果顯示，採用複和式寬頻 MTMD 系統在高鐵橋梁減振之應用是屬可行，未來之研究工作將朝工程實驗之減振效能繼續發展。

六· 參考文獻

1. Yau, J. D., Yang, Y. B., and Lin, J. L. (2000), "Vibration Reduction of Steel-Truss Bridges due to High Speed Trains," *Intl. Conf. on Advanced Problems in Vibration Theory and Applications*, Xi'an, China, June. 19-22, 119-124.
2. Yang, Y.B., Yau, J.D., and Wu, Y.S. (2004), *Vehicle-Bridge Interaction Dynamics*, World Scientific.
3. Yang, Y. B., Yau, J. D., and Hsu, L. C. (1997). "Vibration of simple beams due to trains moving at high speeds," *Engineering Structures*, Vol. 19, No. 11, pp. 936-944.
4. Yau, J. D., and Yang, Y. B. (2004), "Vibration reduction for cable-stayed bridges traveled by high speed trains," *Finite Element in Analysis & Design*, 40, 341-359.
5. Yau, J. D., and Yang, Y. B. (2004), "A wideband MTMD system for reducing the