



新世紀高速鐵路之振動及安全性

◎楊永斌（工學院院長）

十八世紀中葉的工業革命，啟動了機械文明的列車；十九世紀初期，鐵路運輸拓展了人類的生活空間；二十世紀中葉以後，高速鐵路的出現，進一步縮短了城市與城市間的距離；進入新世紀之後，具有快速運輸能力的高速鐵路，預計將成為各國大眾運輸的主流。國內高鐵的運行速度最高為 350 km/hr，世界各地高鐵的最高實驗速度則早已突破 500 km/hr，達飛機航速之半，而由此所衍生之振動與安全問題，已經成為當前結構工程界最重要的課題之一。1998 年 6 月初德國高鐵肇事，死亡百餘人，輕重傷三百餘人；今年 3 月間，東京地下鐵亦曾因列車出軌，而造成人員之傷亡，均應引以為殷鑑。

高鐵所產生的振動問題，主要有二：第一是橋樑的振動，由於高鐵列車的速度高、質量大，因此列車、軌道和橋樑之間的能量會互相傳遞，這就是所謂的互制作用，傳統的鐵路因為速度較低，基本上是不須考慮此一效應的；根據吾人之研究，列車和橋樑間能量之傳遞，特別是列車輪軸所引致之振波是否「相消」或「共振」，主要係由列車和橋樑的相對長度所決定，利用此一特性可得出避免共振之「車—橋最佳設計準則」[1]，此一準則經法國資深鐵路工程師來函，證實具有高度之可靠性。據個人所知，文獻上過去並未曾出現類似之準則。

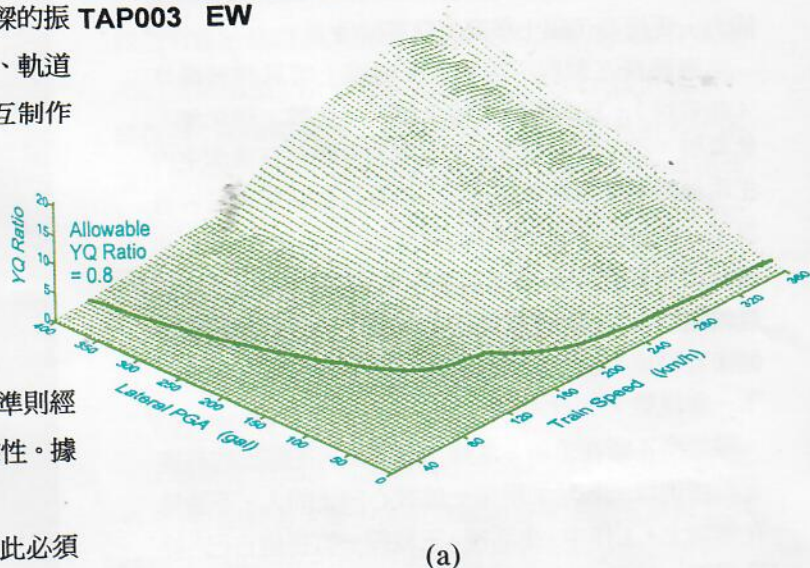
因為高鐵列車速度快，搖晃過大即會出軌，因此必須檢核列車的振動度及舒適度，為此吾人建立了一系列高性能的「車橋互制元素」，可以同時求解橋樑和列車的反應，亦可探討軌道之平整度、傾斜度等，對於高速列車出軌可能性的影響[2,3]。

去年的九二一地震造成台灣中部的重創，國人記憶猶新，因此大眾最關心的一個問題是：「高速列車如果遇到地震會不會翻車？」此一問題因為包含列車和地震兩個振動源，分析難度相當高，因此在文獻上還未曾看到類似的研究。有鑑於此一問題攸關民眾搭乘高鐵之安全，具有重要之本土性，乃與研究生致力於開發一多功能之橋樑振動分析程式，俾能同時處理地震與列車兩個振動源；亦因此，吾人得以領先各國學者，首次建立了高速列車在地震下出軌可能性之分析能力，可計算出在不同震度下，列車所容許之最高速限[4]（見圖一），此

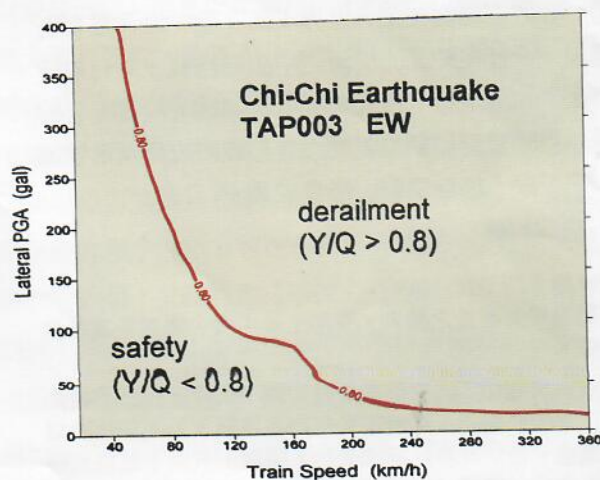
一結果可作為高鐵安全作業程序（SOP）之重要參考。

高鐵的第二個問題是土壤振動，由於高鐵列車速度高、動能大，當它經過市區或科學園區附近時，其振波將經由軌道、道渣、基礎和土壤，而傳播到鄰近之商家、住戶與廠房，為之帶來振動與噪音的干擾，影響其正常作業，因此高鐵的重要課題之一，就是如何阻絕這些振波的傳遞；有關土壤之振動阻絕分析，其最大的困難是土壤消能特性的模擬，這是傳統結構動力分析所沒有的。另方面，現有的邊界元素法雖可解決某些特定的問題，但對於廠房、基礎、土層、與阻絕設施等不規則結構之模擬，則仍束手無策。

Chi-Chi Earthquake
TAP003 EW



(a)



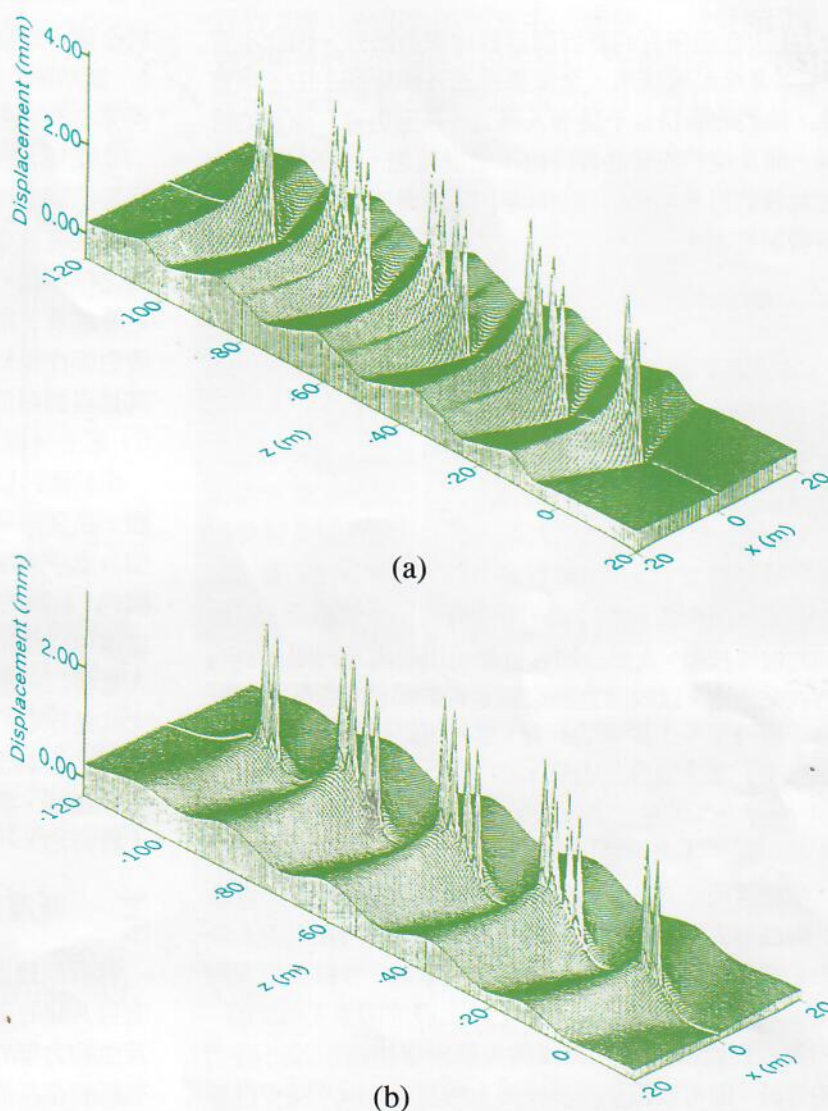
(b)

圖一 不同震度下列車所容許之最高速限。



針對上述土壤振動問題，吾人曾推導出一「有限／無限元素混合法」，其要旨為以靈活之有限元素模擬近域之不規則結構，而以無限元素模擬土壤之輻射阻尼，此一作法經證實精度高、速度快，可有效處理精密廠房之隔振問題（見圖二），為結構工程師提供了一分析之利器[5-7]。

有關車橋互制動力問題之研究，吾人於十年之前即已開始，迄今已培養出碩士13人、博士4人，研究成果亦持續在國內外重要期刊發表，近年來更經常為國外學者所引用，其中不乏具有領先與創新意義者。此外，為配合國內鐵路建設之需要，曾與前研究生姚忠達博士，合力撰寫《高速鐵路車—橋互制理論》一書，已於今年年初問世。Ω



圖二 波阻塊對列車振波之影響。

參考文獻

1. Yang, Y. B., Yau, J. D., and Hsu, L. C., "Vibration of simple beams due to trains moving at high speeds," *Engrg. Struct.*, 19(11), 1997, 936-944.
2. Yang, Y. B., and Yau, J. D., "Vehicle-bridge interaction element for dynamic analysis," *J. Struct. Engrg.*, ASCE, 123(11), 1997, 1512-1518. (Errata: 124(4), p. 479)
3. Yang, Y. B., Chang, C. H., and Yau, J. D., "An element for analysing vehicle-bridge systems considering vehicle's pitching effect," *Int. J. Numer. Meth. Engrg.*, 46, 1999, 1031-1047.
4. Wu, Y. S., "Dynamic interactions of train-rail-bridge system under normal and seismic conditions," Ph.D. Thesis, Dept. Civil Engrg., Nat. Taiwan Univ., July, 2000.
5. Yang, Y. B., Kuo, S. R., and Hung, H. H., "Frequency-independent infinite elements for analyzing semi-infinite problems," *Int. J. Numer. Meth. Engrg.*, 39, 1996, 3553-3569.
6. Yang, Y. B., and Hung, H. H., "Parametric study of wave barriers for reduction of train-induced vibrations," *Int. J. Numer. Meth. Engrg.*, 40, 1997, 3729-3747.
7. Hung, H. H., "Ground vibration induced by high-speed trains and vibration isolation countermeasures," Ph.D. Thesis, Dept. Civil Engrg., Nat. Taiwan Univ., July, 2000.