

牛欄河二號橋地震資料研究

唐治平 吳俊岳
土木工程學系 土木工程研究所
國立中央大學

摘 要

牛欄河二號橋為北部第二高速公路重要長跨徑橋梁之一，其結構型式、橋墩高度以及施工方法均為國內首見。橋體、基礎及自由場裝設強震儀收集其地震反應資料。本文主要為進行收集到資料之分析，以瞭解該類橋梁地震反應特性，並探討切合實際情況之有限元素分析模型之建立，俾供工程界參考及應用。此外，文中亦探討應用微動振測以瞭解橋梁動態特性之可用性。

一、前言

牛欄河橋位於新竹縣關西近郊，是北部區域第二高速公路路段重要的長跨徑橋梁之一，採節塊推進工法施工。結構體屬連續長跨徑預力混凝土剛構架橋，參考圖（一），橋梁總長 700 公尺，分南、北兩線，南線橋寬 16.4 公尺，北線橋寬 18.95 公尺；主橋長 510 公尺，上部結構為南北兩線分開之變斷面預力箱型梁，下部結構主要是兩種不同斷面之橋墩，橋梁兩端各設一處伸縮縫與鄰跨上部結構相連續，由另一橋墩支承，中間四個橋墩墩柱高 43 公尺和 50 公尺兩種，橋墩墩柱採用矩形三室空心柱，基礎為擴展式基腳。此橋根據交通部七十六年一月十九日頒佈之公路橋梁設計規範與美國公路及運輸官員協會 1983 年之公路橋梁標準規範進行設計，其設計載重為 HS 20-44 之活載重再增加 10%，設計地震力為水平地震力，係數為 0.12，鋼筋混凝土之 $f'_c = 240 \text{ kg/cm}^2$ 及 280 kg/cm^2 。

民國 24 年 4 月 21 日曾發生於新竹-台中 $M=7.1$ 之強震【3】。目前氣象局強地動觀測計畫已於此橋上、下部結構體及附近自由場共安裝 15 部合計 30 頻道之強震感應器及集錄系統，參考圖（一），現已收集到地震反應記錄。

欲瞭解某結構物之基本動態特性，較簡易的方法為進行微動振測。國內外已有許多橋梁現場振測之文獻，Abdel-Ghaffar 與 Housner【4】量測車輛所引起之吊橋振動與理論分析比較，瞭解理論分析的可靠程度。唐治平與周健捷曾對台北大橋進行振測【2】，朱榮華亦曾對光復大橋進行振測【1】。

關於多跨度連續橋梁的研究以日本最多，乃因日本位居地震頻繁區域，對於地震情況已有多方面調查研究，尤其再探討橋梁結構耐震問題上有深厚認識；Takemiya 和 Shamada【6】曾進行連續多跨度橋梁在基礎上的地震反應，性質偏重於土壤基礎結構之研究調查，討論土壤與結構互制對橋梁地

震反應之影響，同時說明進行長跨連續梁分析時，選擇良好模式與分析方法之重要性。

由於在橋梁耐震分析及設計時，只能建立不隨時間變化之模型，而不像研究地震反應資料一樣將模型隨地震歷時而改變，故本計畫擬根據橋梁地震反應資料分析結果，建議整體分析模型，並比較其差異程度，期提供工程應用之參考。

本計畫目的為(1)瞭解根據橋梁地震反應資料估算之橋梁動態特性與微動振測所得結果之差異程度，驗證微動振測之可用性(2)瞭解腳基式連續橋梁之地震反應特性，供今後設計及評估此類橋梁時建立分析模型之參考及應用。

二、橋梁微動振測及地震反應記錄資料分析

民國八十二年七月，牛欄河二橋未正式通車前，曾於現場進行環境振測。使用儀器為(1)微震感應器(Ranger seismometer) SS-1 6部(2)記錄器(SOLID-STATE RECORDER) Kinematics MODEL SSR-1 1部與(3)攜帶式電腦2部。由於主橋橋長 510M，限於訊號傳遞、導線長度及感應器數目等因素之限制，於施測前先行量測定點，再依序逐段實施測錄。利用快速富氏轉換，將時間域內之加速度資料轉換至頻率域，如此可得各測站之富氏譜及相位譜。比較各測站之富氏譜尖峰位置分布後可找出結構物之不同振頻。

牛欄河橋上裝設的強震儀感應器，已收集多次地震反應紀錄，將民國 84 年 06 月 25 日、民國 85 年 03 月 05 日與 03 月 06 日地震儀紀錄上部結構之地震反應繪出富氏譜圖，估計此橋之振頻並與微動振測估算所得振頻比較，參考表(一)，由表中可見由地震反應之富氏譜估算之橋梁基本振頻與微動振測資料估算所得者在水平方向振動相當接近。

三、有限元素模型建立與振態分析

有關結構之模擬，分幾何形狀之模擬、質量分佈、構材斷面性質與基礎模擬四部份。根據原設計圖決定節點之座標以及邊界束制。質量分佈包括上部結構、帽梁、橋柱、基礎、橋台、橋面重量與附屬設備以及鄰跨質量。構材斷面性質考慮幾何變化與材料性質，由於預力之影響，將梁之彈性模數放大 1.2 倍、柱放大 1.4 倍。至於基礎模擬，除將腳基式基礎以空間梁元素模擬外，基礎土層因考慮土壤結構互制作用，將土壤視為彈簧系統，採用文獻【5】之經驗公式，求出系統之彈簧勁度。

利用 SAP90 程式【7】進行振態分析，求得振態與振頻。圖(二)為橋梁有限元素模型，圖(三)為理論分析所得之基本振態及振頻。計算前四十個振頻之參與有效質量在軸向與側向均超過 90%，垂向超過 85%，其與微動振測對應之主要振頻與地震紀錄估算所得結果比較如表(一)所示，由表中可見理論分析所得結果與地震反應者相當接近，在垂向振動方面，則由微動振測所得者稍高。於橋梁理論模型之分析過程中，發現土壤之彈簧勁度對橋梁水平方向的振頻與振態頗有影響。然因土層的錯綜複雜，要精確模擬彈簧勁度並不容易。同時橋梁之斷面彎曲剛度亦是影響水平振頻與振態之重要因素。垂直向之振頻與振態之改變則取決於箱型變斷面梁之性質。

四、橋梁地震反應分析結果

應用建立之橋梁有限元素模型，利用 SAP90 程式，輸入強震儀收錄到的地震歷時紀錄，進行動力反應分析。所輸入地震歷時是民國 85 年 03 月 05 日自由場地地震紀錄。結構體之組尼比 2%。圖(四)至圖(六)分別為接近橋梁中點之 A3 及 B1 之地震反應紀錄與有限元素模型計算所得結果之比較圖，由圖(四)可見此側向振動之理論分析結果與地震紀錄相當接近，由圖(五)可見軸向振動之理論分析結果比地震紀錄為高，由圖(六)可見垂直振動之理論分析結果比地震紀錄稍低。至於其他各位置之分析結果與地震紀錄比較，亦相當接近。

由上述之比較，可見所建立之有限元素模型可充分掌握此橋梁之動態行為，至於理論分析結果與地震紀錄之差異，主要可歸因於基礎彈簧以及上部結構彈性模數均分別假設為定值，但對全長 510 公尺的橋梁而言，其各部份相關係數受土層變化與施工影響，實際上並非為定值。欲獲得兩者更接近的結果，可能需應用系統識別技巧，這將是今後繼續研究之方向。

五、結論與建議

- 1、由微振實驗所估算之橋梁基本振頻較由地震反應紀錄估算者稍高，故可應用微振實驗瞭解

橋梁之動態特性，供建立橋梁分析模型，進行橋梁耐震評估之參考。

- 2、由橋梁模型之建立與分析結果顯示，橋墩之斷面彎曲勁度與土層模擬之水平彈性係數，為影響橋梁結構水平振頻、振態之主要因素。垂直振頻、振態之改變，則取決於箱型變斷面梁與土層模擬垂直勁度。
- 3、北二高牛欄二號橋是彎曲橋梁，由現場微振實驗結果，發現橋梁振態有扭轉形式。建立結構系統有限元素模型，進行動態反應分析，各振態均有三維空間互相影響，對於強震儀紀錄、微振實驗與有限元素模型模擬分析結果比較，因橋梁曲度與橋面版路面超高影響，所量得的紀錄角度並不一致，故須經由兩方向角度變化修正，才會有較佳的結果。
- 4、有限元素模型分析可充分掌握牛欄河二號橋之動態特性，供進行橋梁耐震評估之應用。
- 5、若應用系統識別技巧，建立全橋梁結構不同位置處各元件之參數，將可獲得更佳模擬結果。

六、誌謝

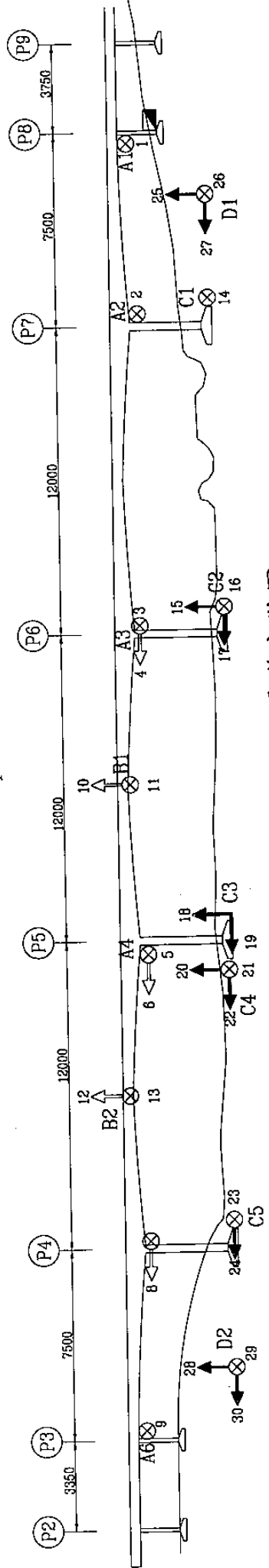
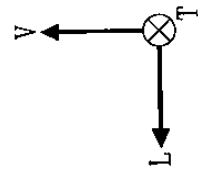
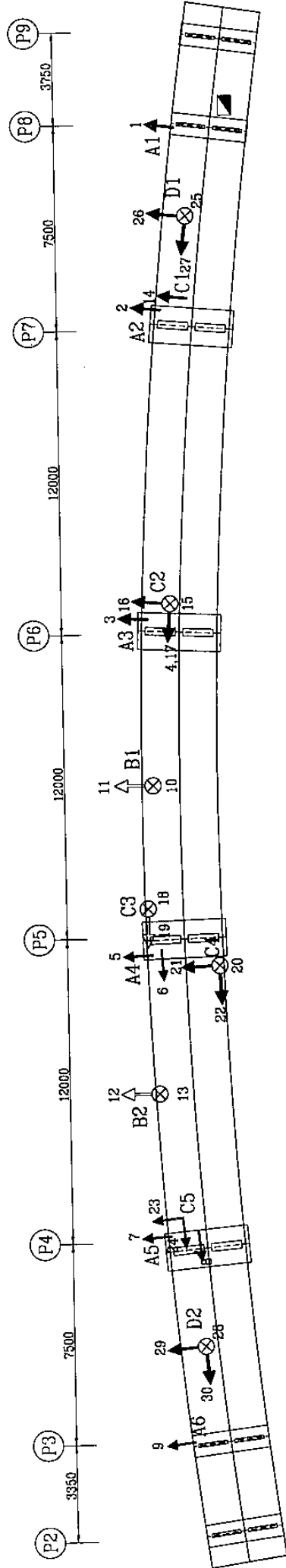
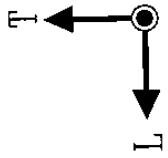
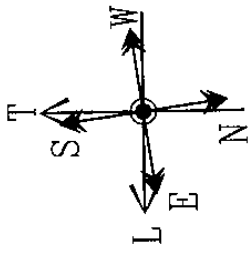
本研究承交通部中央氣象局補助，計劃編號 CWB 85-2E-08，特此致謝。

七、參考文獻

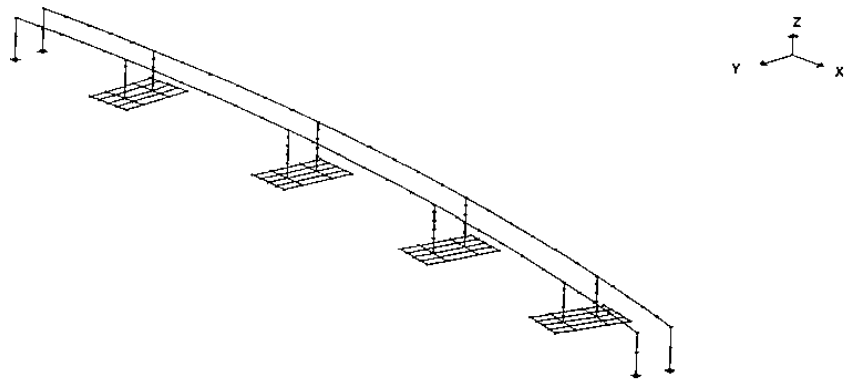
- 1、朱榮華、1984：“斜索橋微震測試與動態分析”國立中央大學碩士論文
- 2、唐治平，周健捷，1978：“台北大橋震測”工程，第五十一卷，第十一期，pp.15-24.
- 3、陳振川等，1989：“台灣地區橋梁安全初步研究”國立台灣大學土木工程系報告，pp.52-53
- 4、Abdel-Ghaffar A.M., and Housner G. W., 1978：“Ambient Vibration Tests of Suspension Bridge” ASCE, Vol.104, No. EMS, pp.983-999
- 5、Gordon R. J. And Christiano, p., 1975：“Stiffness Coefficients for Embedded Footings”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.101, No. GT8, pp.789-800.
- 6、Takeniya H., Shimada T., Tatsumi M., Katayama M., 1982：“Seismic Analysis of Multi-Span Continuous Girder Bridge with Emphasis on Soil-Structure Interaction” The 6th Japan Earthq Symp., pp.1193-1200.
- 7、Wilson, E. L. And Habibullah, A., 1988：“SAP90 Users Manual”, Computer & Structures, Inc., U.S.A

理論分析振頻		微動實驗	84.06.25	85.03.5	85.03.06	主要方向
Mode	Freq.(Hz)	Freq.(Hz)	Freq.(Hz)	Freq.(Hz)	Freq.(Hz)	
1	1.071	1.062	1.07	1.07	1.07	軸向
2	1.253					
3	1.395	1.459	1.367	1.367	1.416	側向
4	1.467					
5	1.505					
6	1.586					
7	1.618					
8	1.665					
9	1.790	2.081	1.77	1.794	1.807	垂向
10	1.832					
11	1.838					
12	2.083					
13	2.304					
14	2.559					
15	2.595					
16	2.616					
17	2.661					
18	2.683					
19	2.723					
20	2.958					
21	3.129					
22	3.369					
23	3.537					
24	3.571					
25	3.599					
26	3.649					
27	3.761					
28	3.784					
29	3.805					
30	3.908					
31	3.963					
32	3.978					
33	4.099					
34	4.113					
35	4.193					
36	4.225					
37	4.305					
38	4.325					
39	4.352					
40	4.457					

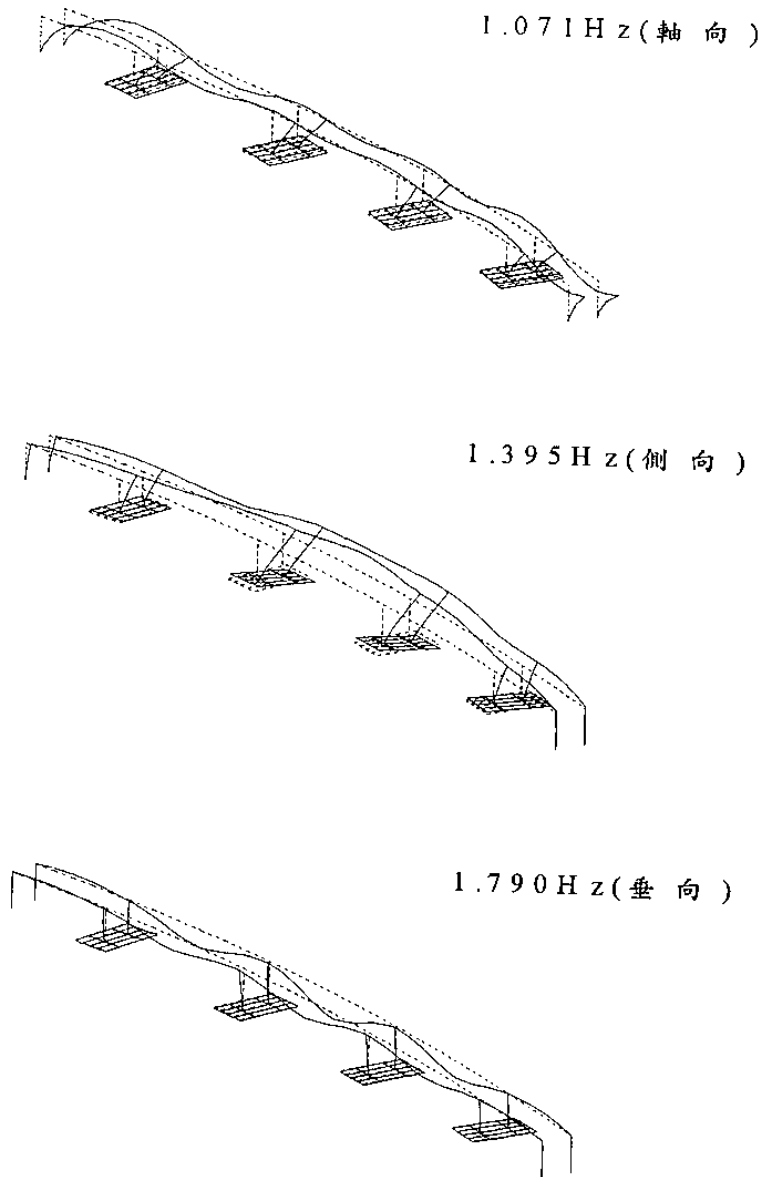
表(一) 牛欄河二號橋理論分析、微動振測與地震記錄估算之振頻



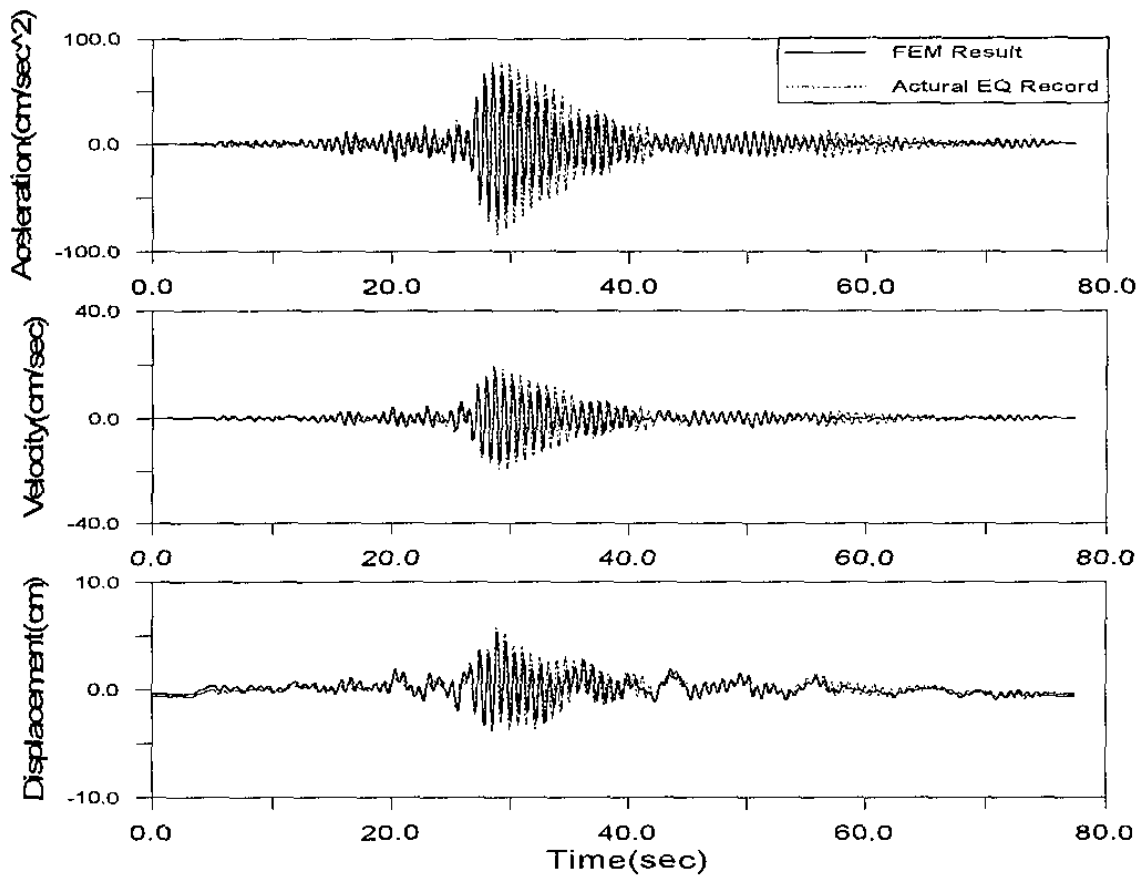
圖(一) 牛欄河二號橋強震儀安裝圖



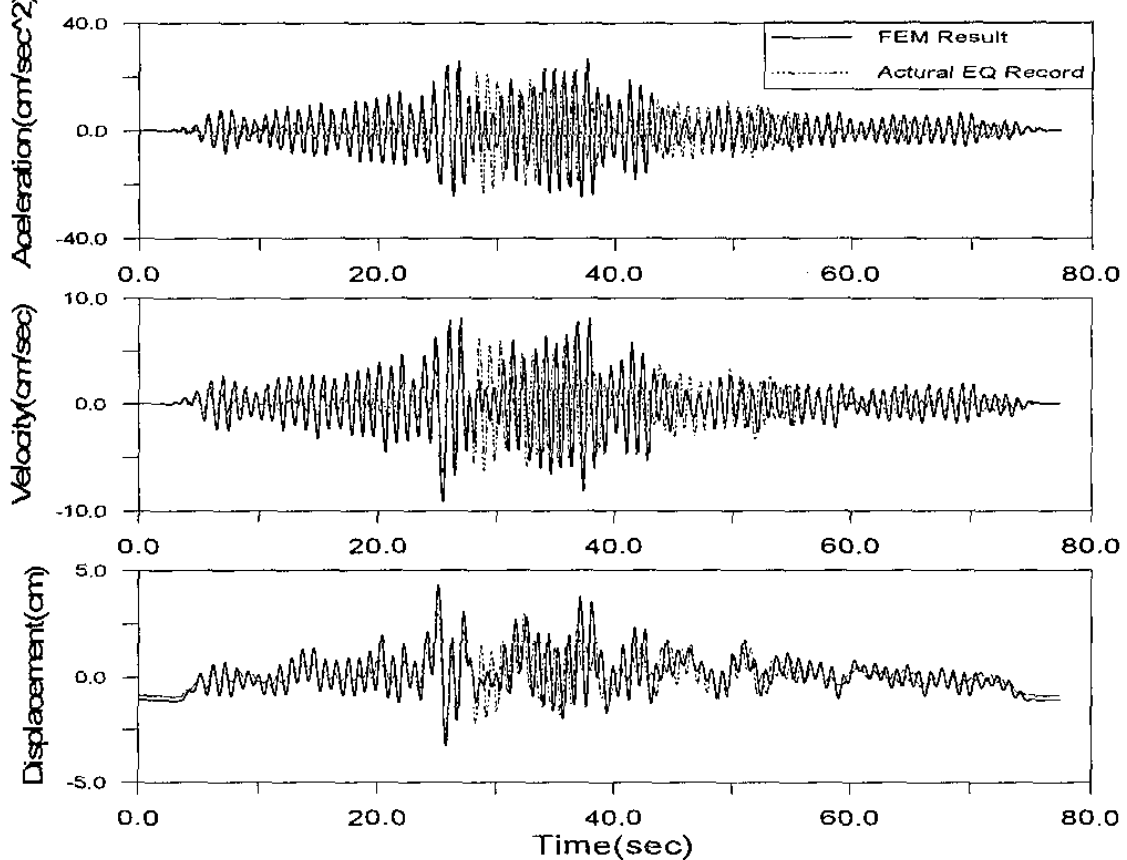
圖(二) 橋梁結構有限元素模型



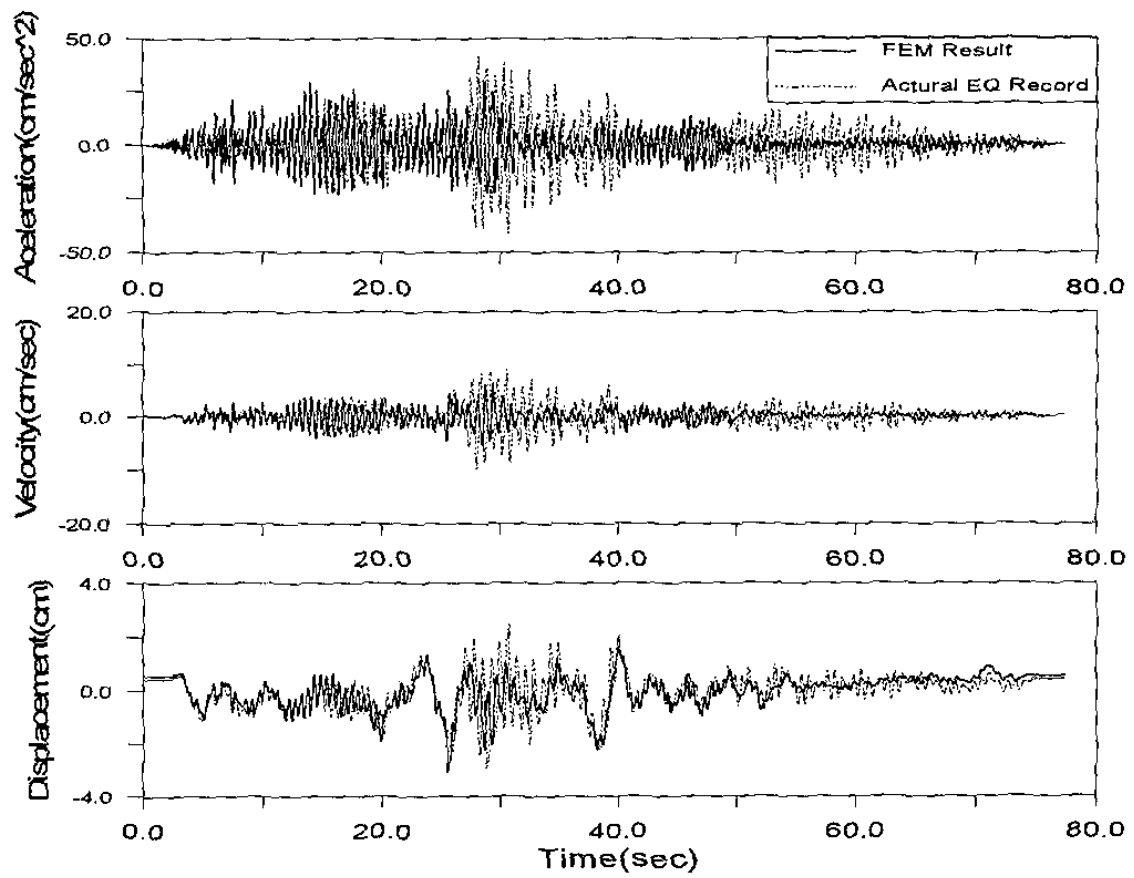
圖(三) 橋梁有限元素模型基本振態圖



圖(四) 牛欄河橋地震記錄與有限元素模型模擬比較圖(Channel 03)



圖(五) 牛欄河橋地震記錄與有限元素模型模擬比較圖(Channel 04)



圖(六) 牛欄河橋地震記錄與有限元素模型模擬比較圖(Channel 10)

