

地震応答データに基づく PC 斜張橋の減衰特性

Damping Characteristics of PC Cable-Stayed Bridge Based on Seismic Records

横浜国立大学 学生会員 ○高橋竜太 正会員 SIRINGORINGO, Dionysius Manly フェロー 藤野陽三

1. 研究背景

橋梁設計では地震や風に対する動的挙動の把握が安全性の確保のために非常に重要となる。FEM に代表される構造物のモデル化は格段に進展したが、減衰についてはほとんど研究がなされていない。減衰は理論的なアプローチが難しく、究明には実構造物の様々な外力の応答データを分析する方法しかないに近い。その意味で、実データは極めて貴重である。

さて、十勝大橋（帯広市，1995 年完成）では建設時から地震観測が行われ，完成後においては 2003 年十勝沖地震をはじめとする応答記録が得られた。川島らは実橋をモデル化し，橋脚基礎上で得られた応答記録を入力波とする手法を用い，橋軸方向の応答を支配する 1 次モードの減衰比は 10% 程度であると，実応答を再現できることを示した。この高い減衰比は支承の滑りのためと推測している [1]。

本論文はシステム同定理論を適用し，川島らと同じ応答記録を対象とし，各振動モードの減衰特性，特に振幅依存性を理解しようとするものである。

2. 研究対象

1995 年完成の十勝大橋は支承に 4 箇所のベアリングプレート支承を備え，支承条件は橋軸方向に全て可動，橋軸直角方向に全て固定である。図 1 の●，▲，■の箇所に加速度センサーが設置されており，そこにおいて観測された加速度データを用いて解析を行った。

図 2 に，解析に用いる 4 つの対象地震動の加速度応答スペクトルを示す。最も大きな 2003 年十勝沖地震動（最大加速度 197.5gal）の加速度応答スペクトルはおおよそ Level I 地震動標準化速度応答スペクトルに相当する。他 3 つの地震動は図中の最大加速度応答スペクトルが大きい順に 2004 年根室半島沖地震，2005 年 1 月 18 日の地震，2004 年 11 月 27 日の地震の地震動である。

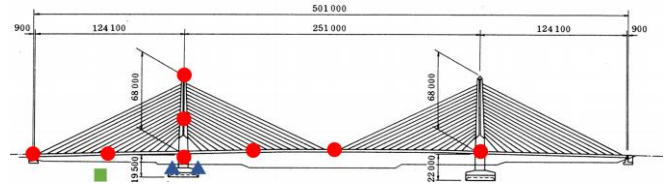
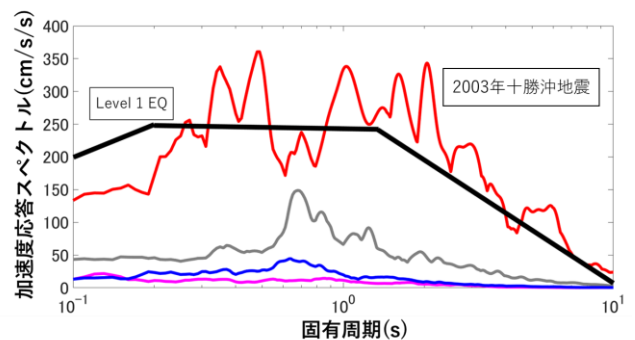


図 1 十勝大橋センサー位置

図 2 対象地震動の加速度応答スペクトル ($h=0.05$)

3. システム同定

多入力・多出力同定手法である SRIM 法を採用した。この手法は時間領域に対して線形でモーダルパラメータを得ることができ，最も安定的で且つ，実績がある。解析上評価しにくい地盤と橋梁の動的相互作用の影響を取り入れずに十勝大橋の応答を評価するため，橋脚基礎上の波形データを入力値として用い，入力の加速度データを 60 秒毎のウィンドウに区切り，且つ値の妥当性を保障する為，3~6 秒を 0.5 秒ずつ 7 つのインターバルに区切って出力，その平均値と最大値と最小値を算出する手法をとった。この結果として得られた減衰比を 60 秒毎の入力波橋軸方向の応答加速度の RMS について，全ての地震のウィンドウに対してプロットすると，図 3 のようになる。これは 1 次遊動円木固有振動モードに対するものであるが，10% 前後の高い減衰比が算出されたのが確認できる。同様に 12% 前後の高い減衰比が，3 次曲げ逆対称固有振動モードでも確認された。その一方で，5 次主塔面外固有振動モードについては図 4 に示すように，全般的に平均 2% 以下の低い減衰比が算出された。そ

キーワード PC 斜張橋，減衰特性，加速度センサー，システム同定，固有振動モード

連絡先 〒240-8501 神奈川県横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-5 横浜国立大学 TEL:045-339-4041 E-mail:takahashi-ryuta-cf@ynu.jp

れ以外のモードについては平均 1~7%で主立った秩序なしに算出される結果となった。

4. 主桁と支承の相対変位の解析

橋軸直角方向に関する加速度データを 2 回積分することで相対応答変位を得た。システム同定結果の遊動円木振動モードの減衰比を縦軸に、相対変位の RMS を横軸にとった図が図 5 である。主桁が支承に対して滑り、相対変位の RMS が大きくなるに伴い、減衰比は増加傾向を示すことが確認できる。一方、応答が小さく、滑らない状態での減衰比は低い。

5. 付加減衰

図 6 に示すように、十勝大橋の 1/2 を支承の滑りによる減衰の変化をバネとダンパーで 5 自由度振動系にモデル化し、システム同定で得たパラメータを用いて逆解析手法によって近似的に算定するものである。支承における付加減衰の結果を図 7 に示す。縦軸が付加減衰を示すが、付加減衰は常に正の値を変動する。これは支承の滑り運動時における減衰比の増加に寄与するものであるといえる。

6. 結論

システム同定の結果、固有振動モード毎の減衰比及び応答加速度の RMS を対応させた図から、橋軸方向の主桁卓越振動モードの振動が小さいところでは支承が滑らないためと思われるが、減衰が小さい。振動が大きくなると、滑りのために高減衰となることが示された。一方、支承が動かない橋軸直角方向の主塔卓越振動モードでは低減衰が同定された。これにより川島らの既往研究について妥当性が検証された。

また、高い減衰比の原因として、応答変位及び橋梁のモデル化による付加減衰の算定の結果から、主桁の滑り運動による正の付加減衰が高減衰比に寄与することを究明した。

謝辞: 西弘明氏(土木研究所)より地震応答記録を頂いた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 川島一彦, 萩本英典, 渡邊学歩, 西弘明: 強震記録に基づく PC 斜張橋の減衰特性, 土木学会論文集 A, Vol. 65, No. 2, pp. 426-439, 2009.
- [2] Siringoringo Dionysius Manly, Yozo Fujino: System identification applied to long-span cable-supported bridges using seismic records, Earthquake Eng. Struct. Dynam., 37(3), pp361-386, 2008.
- [3] 長山智則, 阿部雅人, 藤野陽三, 池田憲二: 常時微動計測に基づく非比例減衰系の非反復構造逆解析と長大吊橋の動特性の理解, 土木学会論文集, No.745, pp155-169, 2003.

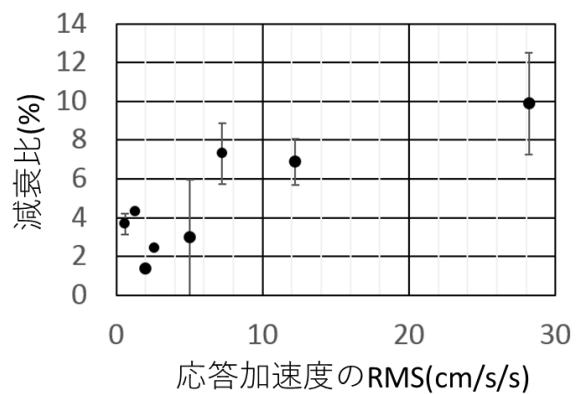


図 3 減衰比及び加速度の RMS の関係
(橋軸方向遊動円木振動モード)

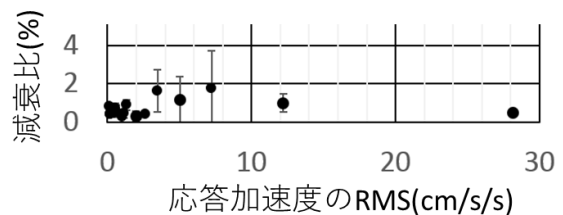


図 4 減衰比及び加速度の RMS の関係
(橋軸直角方向主塔卓越振動モード)

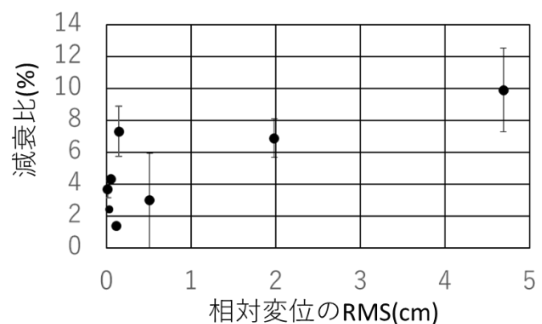


図 5 支承の滑りによる減衰比の変化

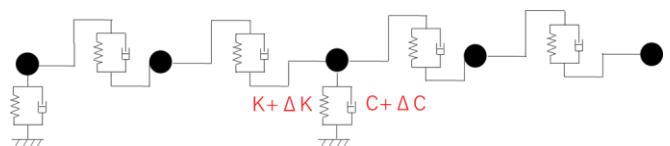


図 6 十勝大橋の 5 自由度系モデル

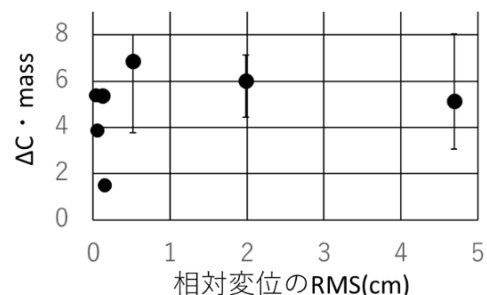


図 7 付加減衰の相対変位の RMS に伴う変化