

余部橋りょう架設時観測に基づくガスト応答特性の検討

清水建設株式会社 正会員 ○伊藤 靖晃
清水建設株式会社 正会員 若原 敏裕

清水建設株式会社 正会員 野澤 剛二郎

1. はじめに 余部橋りょうは近代土木遺産としての評価も高いトレスル式高架橋であるが、強風に対する列車運行の定時性確保のため架替を行っている。新しい橋梁は5径間連続PC箱桁エクストラードード橋（最大支間長 80m）で、既存橋梁の南側約 7m に張出し施工により架設している。施工上の安全確保の目的で



図 1. 風速と加速度応答の計測位置

(赤が風速の計測位置, 黄が加速度の計測位置および成分)

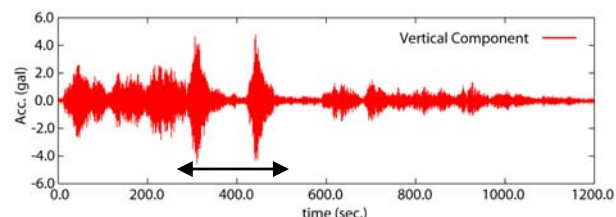
2007 年 11 月から風観測を、2009 年 7 月から施工中の橋梁の加速度応答観測を行っている。本研究では、余部橋りょう張出し架設時の観測データに基づき、橋梁のガスト応答特性について検討を行う。

2. 観測システム概要 鉄橋の鎧駅側から 2・3 番目の橋脚上の海側桁端、高さ約 4m（地上高約 45m、以下それぞれ観測点 No.1, No.2）、および 3 番目の橋脚の中段（地上高約 19m、同 No.3）の計 3 点（図 1）に超音波風速計（カイジョーソニック SAT-550）を設置し、風速 3 成分を 100Hz サンプルングで常時計測している。また、施工中の桁先端および橋脚上にサーボ加速度計（サンシステム サプライ SS-500）を計 16 成分設置し（図 1）、図中 P1, P2 の主桁・橋脚の橋軸・橋軸直角・鉛直方向、および主桁のねじれの各成分の加速度を 50Hz サンプルングで常時計測している。

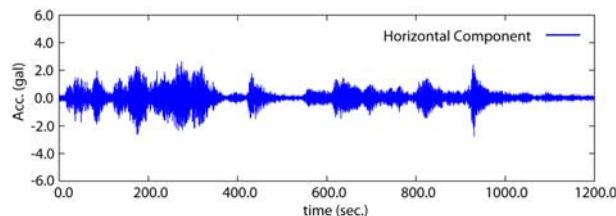
3. 強風時の応答観測記録 2009/12/31 に観測された強風下での風・加速度応答の時刻歴を図 2 に示す。20 分間の観測記録で、0～600 秒（以下、期間 1）および 600～1200 秒（期間 2）の平均風速と乱れ強度はそれぞれ 12.48m/s, 18%, および 9.86m/s, 20%であった。また、加速度応答から算出した固有振動数と固有値解析結果の比較を表 1 に、1 次から 5 次までの振動モードを図 3 に示す。固有振動数の実測値(f_{0R})は、固有値解析結果(f_{0D})に比べ約 20～30%程度大きい値となったが、これは設計に用いたヤング率と実際のヤング率との差および仮設構造物の影響によるものと考えられる。

加速度応答の鉛直成分には、300sec.～500sec.の範囲で特異に大きな応答が計測された。B/D=2 矩形断面（余部橋梁断面の B/D=2.2）の St 数(0.08^{11})から算出したカルマン渦放出周波数が 1 次モードの固有振動数と近接していることから、カルマン渦励振による応答であると考えられる。

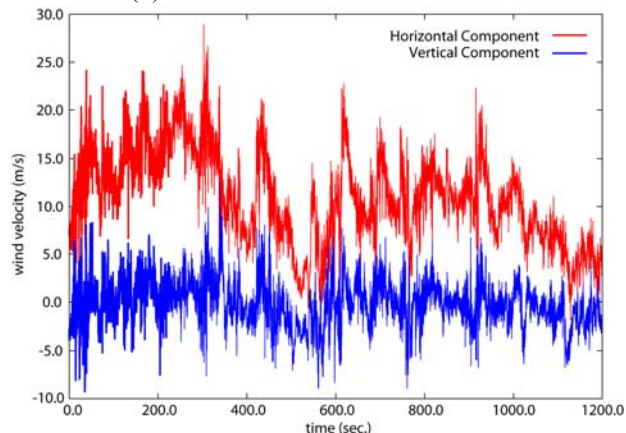
4. ガスト応答特性 期間 2 の鉛直方向振動を対象にガスト応答解析を行った結果を、変位応答パワースペクトルの実測値と併せて図 4 に示す。なお、静的空気力係数は B/D=2 矩形キーワード ガスト応答、余部橋りょう、風観測、応答計測



(a) 加速度応答の鉛直成分



(b) 加速度応答の橋軸直角方向成分



(c) 風速(No.1)の橋軸直角成分と鉛直成分

図 2. 強風時の風と加速度応答の時刻歴

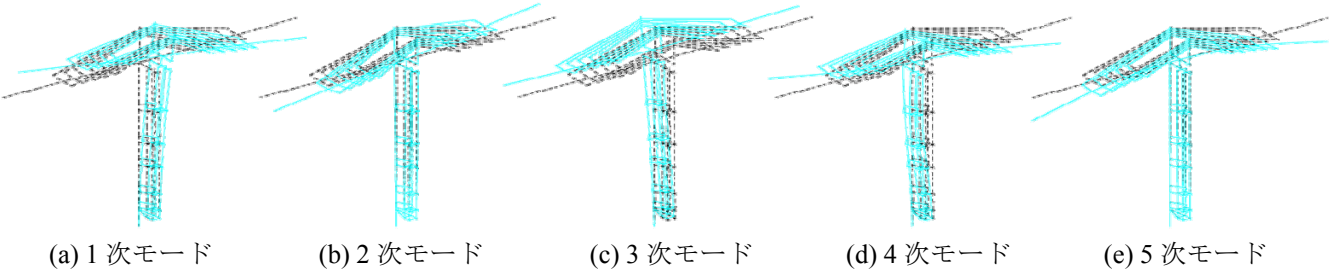


図 3. 1～5 次までの振動モード形状

断面の値²⁾を使用し、減衰定数は空力減衰を考慮せず 0.02 で一定とした．固有振動数および空間相関関数のディケイファクターは実測値³⁾に基づいた解析も行い、解析結果に与える影響を検討した．本州四国連絡橋耐風設計基準⁴⁾に基づき、空間相関関数、空力アドミッタンス、風速のパワースペクトルなどのパラメータは表 2 に示した値を用いた．

固有振動数に実測値を、ディケイファクターに設計値を用いた case1 では、1 次モードの固有振動数以下の長周期成分で解析値がやや過大評価となるものの、変位応答パワースペクトルの実測値と解析値は定性的に良い一致を示した．固有振動数・ディケイファクターともに実測値を用いた case2 では、短周期成分は case1 と大きな差はないものの、長周期成分が case1 よりも実測値に近い値となった．このため case1 で長周期成分が過大評価されたのは、空間相関関数に起因するものと考えられる．今回の解析条件では、1 次モードの固有振動数が 0.56Hz であったため、ディケイファクターの影響は小さかったが、固有振動数の小さい長大橋梁などではディケイファクターが大きな影響を与える可能性が示唆された．固有振動数・ディケイファクターとも設計値を用いた case3 では実測値と解析値に明確な差が確認された．実固有振動数と固有値解析結果に有意な差が生じる PC 橋梁を対象としたガスト応答解析では、実情を反映した固有振動数を用いる必要があると考えられる．

5. まとめ

- ・固有振動数に実測値を用いた場合、加速度応答計測結果から算出した応答スペクトルとガスト応答解析により算出した応答スペクトルは定性的に良い一致を示した．
- ・本研究で用いた解析条件ではディケイファクターの影響は小さかった．ただし、固有振動数の小さい長大橋梁では大きな影響を与える可能性がある．
- ・PC 橋梁では実固有振動数と固有値解析結果に有意な差があるため、ガスト応答解析を行う際にはその影響を考慮する必要があると考えられる．
- ・実橋の空力アドミッタンスや空間相関関数を用い、ガスト応答に与える影響を定量的に検討する必要がある．

参考文献 1)岡内 功 他, 耐風構造, 丸善, 1977 2) 松本 勝 他, 矩形断面の空力特性に及ぼすカルマン渦の役割に関する基礎的研究, 第 19 回風工学シンポジウム, 2006 3)伊藤靖晃 他, 余部橋りょうにおける強風の特性と LES 解析条件の検討, 第 64 回土木学会年次学術講演会, 2009 4)本州四国連絡橋耐風設計基準(2001)・同解説, 本州四国連絡橋公団, 2001

表 1. 設計と実測の固有振動数の比較

モード次数	固有振動数 (Hz)		振動数比 (f_{0R}/f_{0D})
	実測(f_{0R})	固有値解析(f_{0D})	
1	0.56	0.44	1.27
2	0.73	0.60	1.22
3	1.24	0.84	1.47
4	1.42	1.19	1.19
5	1.86	1.56	1.19

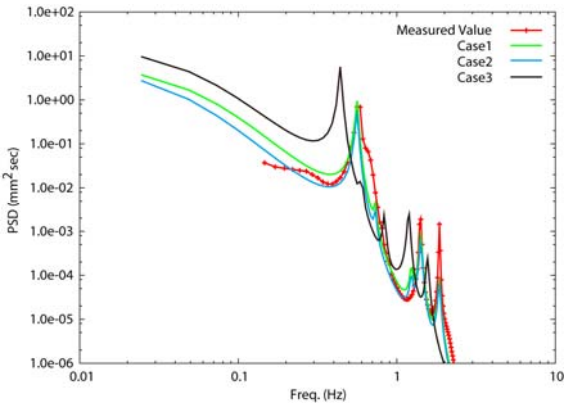


図 4. 変位応答パワースペクトルの実測値と解析値の比較

表 2. ガスト応答解析のパラメータ

風速 (m/s)	9.86	乱れ強さ (%)	20
桁幅 (m)	7.55	桁高 (m)	3.5
基準高さ (m)	40.0	桁長 (m)	80.0
減衰定数	0.02	対象モード	1～5
抗力係数 (C_D)	1.5 ²⁾	揚力勾配 ($dC_L/d\alpha$)	-2.2 ²⁾
空間相関関数		Davenport式	
空力アドミッタンス		Sears式	
風速のスペクトル		Bush&Panofsky式	
	case1	case2	case3
decay factor (水平)	8	15 ³⁾	8
decay factor (鉛直)	8	25 ³⁾	8
固有振動数	実測値	実測値	解析値