

余部橋りょうにおける強風の特性と LES の解析条件の検討

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 野澤 剛二郎

清水建設株式会社 正会員 若原 敏裕

1. はじめに 余部橋りょうは JR 山陰本線 餘部駅間に位置するトレスル式高架橋で近代土木遺産としての評価も高い橋梁であるが、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橋で、既存橋梁の南側約 7m に張出し施工により施工する。現地が冬場に非常に強い季節風が観測される地域であること、また既存橋梁と間隔約 30cm の超近接施工であることなどから、本工事では施工時の風対策が重要な検討項目となる。そこで施工上の安全確保の目的で 2007 年 11 月より現地において超音波風速計による風観測を開始した。本研究では冬場の強い季節風および低気圧の移動に伴う強風の特性について検討を行う。また、今後 LES による詳細な検討を行う予定であるため LES の解析条件についても検討を行う。

2. 風観測システム概要 鎧駅側から 2・3 番目の橋脚上の北側（海側）桁端高さ約 4m（地上から高さ約 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（同高さ約 19m、以下観測点 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 成分と気温の計測を行っている。計測は 100Hz で常時行い、10 分間統計データと時系列データの 2 つの形式で保存され、清水建設技術研究所に転送される。

3. 風観測記録 2007 年 11 月から 2009 年 3 月までの観測における 10 分間平均風速の最大値は 21.1m/s、100Hz サンプリングでの瞬間風速の最大値は 42.1m/s であった。余部橋りょうは東西を山に挟まれた地形に位置することから強風が観測される風向は主として北北西または南南東で、10 分間平均風速と風向の関係は図 2 のようになる。一般に冬場の強い季節風の風向は北北西（海側）、低気圧が山陰沖を移動することに伴う強風の風向は南南東（山側）である。本研究における風観測は施工上の安全確保を目的としており、張出し施工時の

ガスト応答による橋桁の振動振幅の予測は安全管理上重要な要素となる。図 2 からわかるように 10 分間平均風速が 20m/s 前後の特に強い風は一般に北北西の風向であることが多いが、海からの風と山からの風では特性が大きく異なりガスト応答解析に影響を及ぼす恐れがあるため、双方の風向からの流入風に対して検討を行う必要がある。

全計測記録のうち、観測点 No.2 の風向が北北西 ($-30 < \theta < -10$, 北:0deg., 西:-90deg.) かつ観測点 No.1, No.2 の 10 分間平均風速がともに 15.0m/s 以上のデータ(188 個)、および風向が南南東 ($140 < \theta < 160$) かつ風速が 12.0m/s 以上のデータ(61 個)を抽出し、MEM により主流成分のスペクトル解析を行った結果をカルマン型スペクトル(ESDU74031)と併せて図 3 に示す。北北西の風では $f/U=0.01$ にピークが検出されたが、これは約 100m の渦スケールに相当し橋梁キーワード 余部橋りょう、パワースペクトル、コヒーレンス、LES

連絡先 〒135-0015 東京都江東区越中島 3-4-17 清水建設株式会社 技術研究所 TEL 03-3820-5523

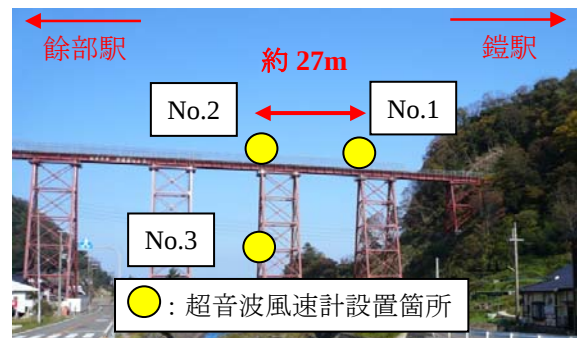


図 1. 超音波風速計設置箇所

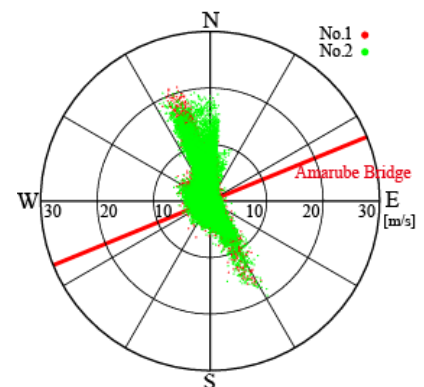


図 2. 10 分間平均風速と風向の関係

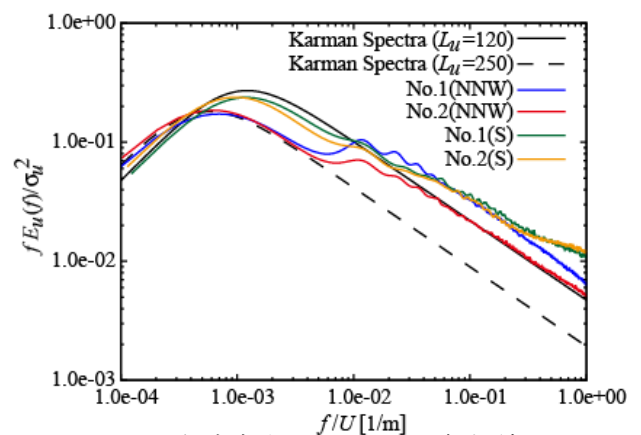


図 3. 主流成分のスペクトル解析結果

の上流約 1km に位置する半島の影響によるものであると考えられる。ESDU74031 のピークから求めた乱れのスケールは北北西の風で $Lu=250\text{m}$ 、南南東の風で $Lu=120\text{m}$ であり、共に既往の研究¹⁾に良く一致する結果となった。なお、図 3 中 $Lu=250\text{m}$ の ESDU74031 は分散の影響を考慮し、スペクトル強度を 1.5 で除したものを示している。

次に同じデータを用いて観測点 No.1 と No.2 の主流成分と鉛直成分のコヒーレンスを算出した。結果を指数関数型のコヒーレンス ($\text{coh}(\Delta L; f) = \exp(-kf\Delta L/U)$, k : ディケイファクター, f : 振動数, ΔL : 2 点間距離, U : 平均風速) と併せて図 4 に示す。塩谷らの研究により主流成分、鉛直成分のディケイファクターはそれぞれ $k_u=8$, $k_w=15$ 程度という報告がされているが、今回の観測結果では北北西の場合 $k_u=15$, $k_w=25$ 、南南東の場合 $k_u=15$, $k_w=15$ と塩谷らの値に比べ大きな値となった。これは、周辺を山に囲まれた複雑地形であり特に観測点 No.1 が地形の影響を受けやすいことに起因するものであると考えられる。なお、主流成分については指数関数型で良い近似を与えたが、鉛直成分については特に南南東の風向の場合に指数関数型では長周期成分が過大に評価された。従来ガスト応答解析で用いられているように $k_u=8$ とした場合や南南東の風の鉛直成分を指数関数型で近似した場合には観測値と近似値に差が生じるが、この差がガスト応答解析結果に与える影響については今後詳細な検討を行う。

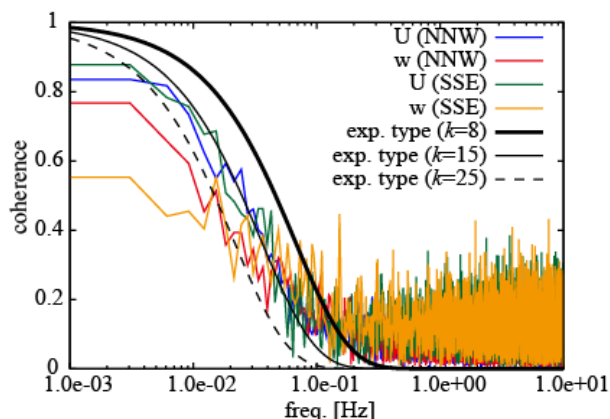


図 4. 主流成分と鉛直成分のコヒーレンス($\Delta L=27$)

4. LES による解析条件の検討 ガスト応答の予測を正確に行うためには風の空間相関や空力アドミッタンスを正確に求める必要があるが、超音波風速計の設置には限界があることなどからこれらを正確に把握することは困難であることが多い。この問題を解決する手法として地形・橋梁を含めた LES による 3 次元非定常解析が挙げられるが、解析にあたり流入変動風の作成が重要な要素となる。本研究では再現を要する渦スケールの観点から必要な格子幅・解析領域・格子点数について検討する。

カルマン型のスペクトルを仮定した場合、ピーク周波数を f_{pu} として乱れのスケール Lu は $Lu=0.146U/f_{pu}$ で与えられることから、北北西の風のピーク周波数成分の渦スケールは約 1700m である。一方、構造物の固有振動数が 1Hz 程度であることから 2Hz 程度までの渦スケールを解析対象とし平均風速を 16m/s とすれば再現が必要な最小渦スケールは 8m となる。この渦スケールを再現するために最小渦スケールの 1/5 の格子幅および最大渦スケールの 2 倍の解析領域が必要であるとすれば、最小でも主流方向に 2100 点の格子が必要となり、実際には粗い格子で地形の影響を考慮した流入変動風を作成し、密な格子で橋梁周りの流れ場解析を行うなどの工夫が必要となる。LES では慣性小領域までの渦スケールを再現すれば密格子に対応した乱流変動が再現されることが期待されるため、流入変動風の作成時には慣性小領域の渦スケールに対応した格子を用いればよい²⁾。図 3 より北北西の場合には $f/U \approx 0.01$ (約 100m の渦スケール) 以上で慣性小領域に入ることから最小渦スケールは約 100m であり、20m の格子を用いて 3400m の解析領域を再現すればよく、主流方向の格子点数は 170 点となる。一方、南南東の風の場合には最大渦スケールが約 800m、最小渦スケールが約 200m であるため主流方向の格子点数は 40 点となる。なお、密な格子を用いた際に粗い格子でカットされた乱流統計量が再現されるかについては今後詳細な検討を行う。

5. まとめ

- ・主流成分のコヒーレンスは指数関数型で良い近似を与えたが、鉛直成分は特に南南東の風の場合に長周期成分を過大に評価した。この原因およびガスト応答解析に与える影響については今後詳細な検討を行う。
- ・観測記録から求めたパワースペクトルを基に、再現を要する渦スケールの観点から必要な格子点数を算出した。
- ・今後より詳細な解析を行いスペクトル・コヒーレンスなどの気流の特性について検討する。また、それらの特性の違いがガスト応答に与える影響についても検討を行う。

参考文献 1) 塩谷正雄, 強風の性質, 開発社, 1979 2) 野澤剛二郎, LES の流入変動風において格子解像度変化が風速変動に与える影響について, 第 57 回土木学会年次学術講演会, 2002