

数値流体解析を用いた定常流れ場に基づく最大瞬間風速の予測

京都大学 正会員 白土 博通
 京都大学 学生会員 ○西牟田 裕介
 京都大学 正会員 野口 恭平

1. 概要

2012年4月3日、愛媛県大三島橋上で急な横風によるトラックの横転事故が発生した。橋梁上での横風による車両の横転事故は現在においても各地で数多く報告されており、事故防止システムの整備は急務である。最大瞬間風速 $u_{\max}$ は平均風速 $\bar{u}$ にガストファクター GF ($u_{\max}$ と $\bar{u}$ の比) を乗じることで求められる。 GF は、義江ら¹⁾により、地表面付近の風速と上空の風速の関係に基づく評価式が提案されている。しかし、これは高層建物周辺の実測値から算出したものであり、著者らが対象とする橋梁周辺の風環境とは異なると考えられる。本稿では、RANS で得られる定常流れ場に基づき、主風向の変動成分の標準偏差 σ_u を $\bar{u}$ の関数で表し、対象橋梁(大三島橋および明石海峡大橋)での実測値から算出したピークファクタ k とあわせて、式(1)を用いて $u_{\max}$ を予測した。また、その結果を実測値と比較し、精度や妥当性を検証した。

$$u_{\max} = \bar{u} + k\sigma_u \quad (1)$$

2. 数値流体解析

OpenFOAM(ver.4.0)を用い、RANSにより対象橋梁付近の定常流れ場解析を実施した。乱流モデルにはLaunder-Katoによる修正 $k-\epsilon$ モデル²⁾を用いた。解析は16方位別に実施し、風向別に $\bar{u}$ と σ_u の関係を得た。計算領域は各風向で、対象橋梁を中心に長さ20 km、高さ10 km、幅4 kmとし、国土地理院の10 mメッシュ数値標高データを用いて土地の起伏を再現した。計算領域の一例をFigure 1に示す。また、土地の起伏を徐々に低くする長さ3 kmのテーパを流入出口に設けた。地表付近には六面体やブリズム要素で構成される非構造格子を用いた。なお、最小格子解像度は約10 m、総格子数は約510万個である。計算領域の上面及び側面はSlip条件、流出境条件はノイマン型、地表面境界条件は Z_0 型対数則、流入風にはOpenFOAM付属の組み込み関数であるatmBoundaryLayerInletVelocityを用いた。 σ_u の算出にはRANSで得た乱流エネルギーから式(2)および式(3)³⁾の関係を用いた。

$$k = \frac{1}{2}(\sigma_u^2 + \sigma_v^2 + \sigma_w^2) \quad (2)$$

$$\sigma_u : \sigma_v : \sigma_w = 1 : 0.68 : 0.45 \quad (3)$$

解析結果の一例として、(a) 大三島橋における西南西の風向(海風)、(b) 明石海峡大橋における北の風向(陸風)について、実測値と比較してFigure 2に示す。海風の場合、予測値は実測値の平均値に近く、陸風の場合、予測値は実測値に比べ過大評価となった。海風の場合は、乱れの影響が少なく、精度良い解が得られたと考えられる。陸風の場合は、地形や地表面粗度の影響を受けて風が乱れ、乱流エネルギーが過大評価されたと考えられるので、他の乱流モデルを用いて計算精度について検討を行う必要がある。

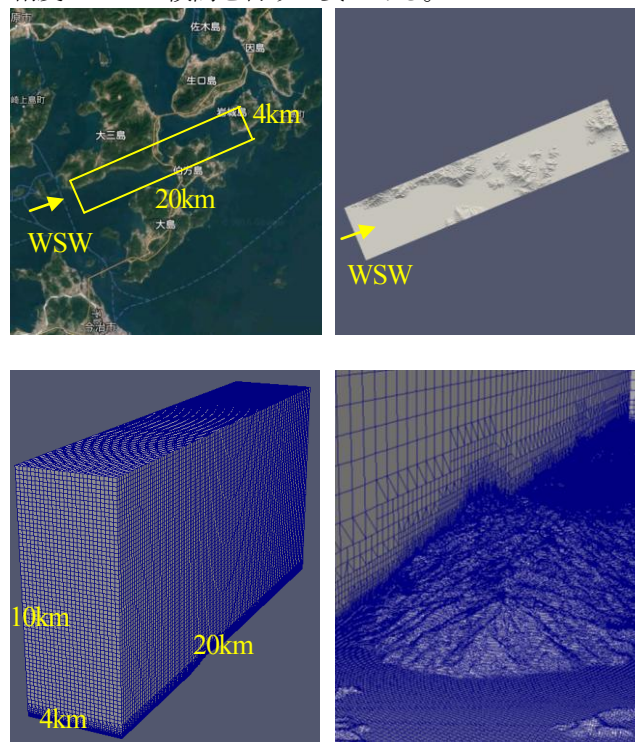


Figure 1 Calculating area

キーワード 数値流体解析, 最大瞬間風速, ピークファクタ

連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂C1棟457号室 TEL 075-383-3170

3. 最大瞬間風速の予測

大三島橋と明石海峡大橋の実測値から $\bar{u}$ と k の関係を風向別に算出した。その結果を示した Figure 3 より、 k が 3 を上回るケースも存在するが、風速の増加に伴い 3 より小さくなるのが分かる。車両の転倒を考える際には、瞬間風速の最大値を適切に評価することが重要と考えられる。そこで、本稿では高風速域での精度を重視し、 k を一意的に 3 と定めた。数値解析で得た $\bar{u}$ と σ_u の関係および $k=3$ の値を用いて、式 (1) に基づき予測した最大瞬間風速を実測値と比較して Figure 4 に示す。高風速域で最大値とほぼ一致しており、最大瞬間風速の評価が重要である本研究においては精度良い予測と言える。本稿の手法を用いることで、10 分間平均風速の予測値⁴⁾ から、最大瞬間風速の短期的な予測が可能となり、予め車両や列車の運転手に情報を送ることや、通行規制をかけることで道路交通の安全性の向上につながると考えられる。

4. 結論

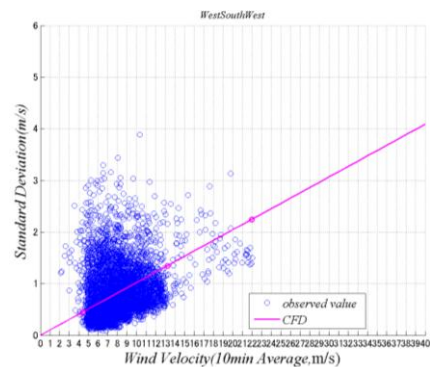
本稿では実測値から一意的に定めたピークファクタの値を用い、数値解析を援用することで、最大瞬間風速を簡易的に予測できることを確認した。今後は、より多くの実測値からピークファクタの提案式を検討することで、10 分間平均風速の予測値から、高精度な最大瞬間風速の短期的な予測が可能になると考えられ、より安全な道路交通システムの整備の実現につながると考えられる。

謝辞

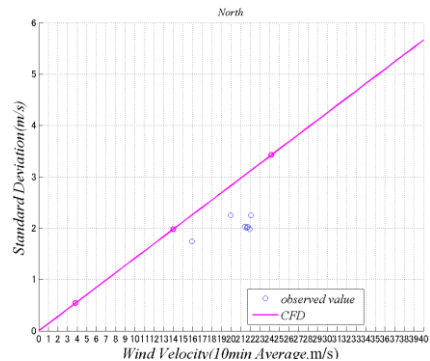
風況実測データは本州四国連絡高速道路株式会社から提供して頂いた。

参考文献

- 1) 義江龍一郎, 富永禎秀, 伊藤真二, 岡田創, 片岡浩人, 喜々津仁密, 佐々木澄, 西村宏昭, 野田博, 林田宏二, 宮下康一, 山中徹, 吉川優: 日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価に用いるガストファクターの提案, 日本風工学会論文集, vol.139, pp.29-39, 2014
- 2) Kato, M., Launder, B. E. : The modeling of turbulent flow around stationary and vibrating square cylinder, Proc. 9th Symp. Turbulent Shear Flows, Paper, 10-4-1~10-4-6, 1993
- 3) Atsushi Yamaguchi, Takeshi Ishihara, Yozo Fujino : Experimental study of the wind flow in a coastal region of Japan, JWEIA91, pp 247-264, 2003
- 4) Tengyue Zhang, Kohei Wada, Dongming Zhang, Hiromichi Shirato, Lin An : Research on countermeasures of wind-induced vehicle overturning and threshold-exceeding wind duration, 土木学会第 71 回年次学術講演会, 2016



(a) Omishima WSW (Sea side wind)



(b) Akashi N (Land side wind)

Figure 2 Relation between SD and mean wind speed

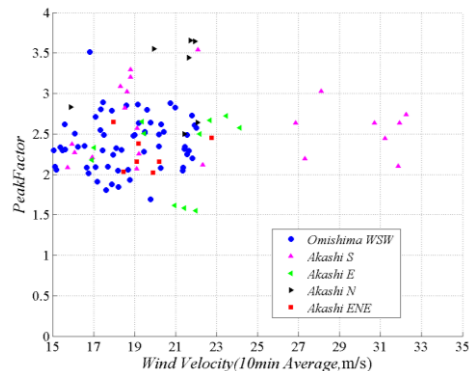
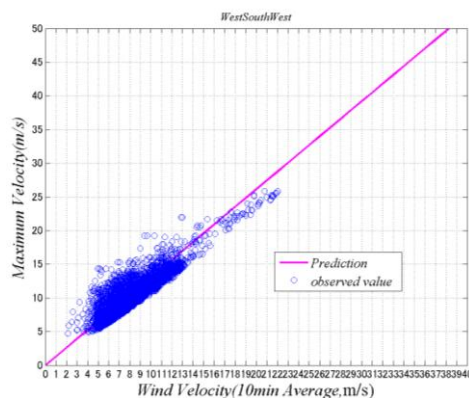


Figure 3 Relation between peak factor and mean wind speed



Omishima WSW (Sea side wind)

Figure 4 Relation between maximum instantaneous wind speed and mean wind speed