

I - 711

風環境を考慮した耐風設計に関する考察

三菱重工業（株）○正員 本田 明弘、 正員 斎藤 通、 正員 平井 滋登

1. まえがき

橋梁などの柔構造物の耐風設計に当たって、建設地点の風環境が重要であることは周知の事項である。しかるにその設計法に関しては、道路橋耐風設計便覧¹⁾において、粗度区分によるカテゴリー分類が行われ、動的な空力現象に対する導入がなされているが、特に日本のように地形の起伏が激しい条件において、粗度としての評価が難しく、地形模型を用いた風洞試験^{2,3)}や種々の机上検討により、現実の風環境を推定する試みが行われている。

これらの検討により推定された風環境を、構造物の耐風設計に反映する方法について、現時点で想定される手法を整理し、今後の検討に対する課題をまとめるものである。

2. 起伏地形における風環境

1) 平均風速の空間分布：既往の地形模型を利用した風洞試験の結果³⁾によると、特に海峡部や谷状の地形では、地表あるいは海面近くでの風速の増加が大きく、風速の鉛直分布を表す‘べき指数’が小さくなり、風速の鉛直方向の勾配が立つ傾向が報告されている。また、面的に広がりを持つ橋梁などでは、鉛直方向のみならず、水平方向にも分布を有する。

2) 変動風速の空間分布：風速の時間的な変動に関しても、平均風速と同様、起伏の激しい地形においては、極めて複雑な分布を示すことが多く、厳密な乱れ強さの分布を設計条件に加えることは、煩雑さを増すことになる。また、風速変動は上記の平均風速と独立なものではなく、相関関係を有するものであるために、両者を組み合わせて設計に反映する必要がある。

3. 静的設計に対する反映（簡易手法）

以上の様な複雑な特性を、例えば静的な風荷重の評価に、正確に反映するには、風の入力条件を任意に設定できるガスト応答解析を実施する必要があるが、比較的設計の初期において概略の推定が必要となる場合が多く、定性的な傾向を知る上では、以下に示す簡易的な評価方法が考えられる。

気象官署における長期データ等により、建設地点の上空（境界層外の Free Friction Wind）における風速の再現期待値が、風向 j 毎に V_j として求められたとする。ただし、建設地点と気象官署などの相関関係を求めるのは必ずしも容易でなく、また風向別に再現期待値を求めることが、設計的にはどのような意味を有するかを十分に議論する必要がある。

次に、地形模型の風洞試験等により、以下の整理が行われたものとする。

①風速比： $U_{i,j}/U_0$

②風速変動比： $\sigma_{i,j}/U_0$

ここに、

U_0 : 上空風速

$U_{i,j}$: 計測点 i での風向 j における平均風速

$\sigma_{i,j}$: 計測点 i での風向 j における風速変動の標準偏差

このとき、橋体に作用する平均風速による速度圧の再現期待値は、下式で表される。

$$\frac{1}{2} \rho \cdot V_{i,j}^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (U_{i,j} / U_0)^2 \times V_j^2$$

一方、ガスト応答を励起する風速の変動による速度圧の変動は、下式で表される。

$$d\left(\frac{1}{2} \rho \cdot V_{i,j}^2\right) = \rho \cdot V_{i,j} \cdot dV_{i,j} \propto \rho \cdot V_{i,j} \times \sigma_{i,j} / U_0 \times V_{i,j} = \rho \cdot (\sigma_{i,j} / U_0) \times (U_{i,j} / U_0)^2 \times V_j^2$$

ただし、平均風速及び変動風速が、面的に著しい分布を示す場合の速度圧の変動分については、上式にモード関数 ϕ_i を用いて空間的に平均化を行う事が必要となる。

よって、例えば何らかの設計体系に基づき風荷重を設定し、上記の平均及び変動速度圧を比較補正し、風環境の複雑な変化が、どの程度風荷重に影響を及ぼすかを概略把握することができる。

なお、上記は平均風速及び変動風速の分布に対する手法であるため、従来影響度が大きいとされる変動風速のスペクトルや空間相関⁴⁾が、地形起伏により変化した場合には、上記手法の改良が必要となる。

4. 動的耐風設計への反映

動的な耐風設計を行う場合、渦励振・ギャロピング・フラッター等の空力振動に対する照査風速を設定することが必要となる。そのときの変動風速に対する考え方は、上記の考え方を適用できるものと考えられるが、気流の乱れが空力振動に及ぼす効果を見込んだ設計を行う場合、現実の乱れのばらつきに対する評価が必要となる。この点に関しては今後慎重な検討を加える事が必要と考えられる。

5. まとめ

以上の結果、地形起伏が激しい建設地点の複雑な風環境に対応した、簡易的な耐風設計について整理し簡易的な手法を提案した。今後は、風環境によっては斜風の方が設計を支配する可能性も報告されており⁵⁾、詳細な設計作業と比較検討を行い、この手法に改良を加えてゆきたい。

参考文献)

- 1] 日本道路協会、「道路橋耐風設計便覧・同解説」
- 2] T.MIYATA et. al., 'Full Model Wind Tunnel Tests for a very Long-span Cable-stayed Bridge: TATARA Bridge', Proc. of the Conf. on Cable-stayed and Suspension Bridges, Deauville, Oct. 1994
- 3] 本田・宮崎・石岡・坂庭、「複雑地形における風環境と耐風設計に関する研究—女神大橋の静的耐風設計—」、第13回風工学シンポジウム(1994)
- 4] T. Kazama et. al. 'Aerodynamic Stability of Nagoya Port Bridges', Journal of Wind Eng. and Ind. Aerodyn. 49(1993) 543-552
- 5] 本田・亀井・斎藤・佐々木、「菅原・城北大橋の風環境に関する考察」土木学会第49年次学術講演会 I-498、1994