

I - B 46

影響線を用いた線状構造物の対風振動応答の評価

三菱重工業(株) 正員 ○平井滋登, 斎藤 通, 本田明弘

1. まえがき

橋梁や煙突といった細長い形状を有する線状構造物においては、空力不安定振動とは別に、風の乱れによるいわゆるガスト応答の発生が避けられず、その応答の予測が耐風設計上の課題のひとつとされる。ガスト応答の取り扱いにあたっては、机上での解析から弾性体模型を用いた大がかりな風洞試験に至るまで、種々の手法がこれまで用いられ、必要な条件の中で適切な手法を選択されることが要求される。

その解析方法の中でも、周波数領域において振動応答を準静的成分と共振成分に大別し、それぞれについて推定を行い足しあわせと言う手法は、その解析途中の諸パラメータが外部から見えやすいというメリットを有し、様々なモデルがこれまで提案されている。

ここでは、その中でも応答の算出に影響線を用いる考え方をとりあげて整理するとともに、橋梁の弾性体模型を用いた風洞試験結果への応用について検討を加える。

2. ガスト応答

風の乱れによる線状構造物の応答は、振動性状により、主流方向、主流直角横方向及びねじれ方向の三種の振動モードに分類される。以下、主流方向の応答を例に取るが、他の二つについても必要に応じた若干の修正を加えるのみで同様のことが成り立つ。

一般にガスト応答のピーク値 r_{peak} は、時間平均応答 r_{mean} 、時間変動分のうち準静的成分（非共振成分）の自乗平均応答 σ_B^2 及び、 j 次振動モードの共振成分の自乗平均応答 σ_{Rj}^2 を下式の通り合成したものとして近似的に表される¹⁾。

$$r_{peak} = r_{mean} + g (\sigma_B^2 + \sum \sigma_{Rj}^2)^{1/2}$$

上式で、 g はピーク係数である。

典型的な振動応答のパワースペクトル密度関数においては、共振成分は各振動モードの固有振動数近傍の鋭いピークに、準静的成分は低周波数域のゆるやかなピークにそれぞれ対応する。これらの準静的成分及び共振成分は下式で近似される。

$$\sigma_B^2 = \int f S_{GF}(f) d(\ln f)$$

$$\sigma_{Rj}^2 = ((\pi/4)/(\zeta_{sj} + \zeta_{sj})) \cdot f_{0j} S_{GFj}(f_{0j})$$

ここで、 f_{0j} は固有振動数、 $f S_{GF}(f)$ は一般化力のパワースペクトル密度関数、 ζ_{sj} 及び ζ_{sj} はそれぞれ構造、空力減衰を表す。なお、上式における応答は力の次元を有しており、特に応答として一般化座標（モーダル変位）を用いる場合には、右辺をさらに $\omega_{0j}^4 M_{vj}^2$ で除す必要がある。ただし、 ω_{0j} は j 次モードの固有角振動数、 M_{vj} は同じく一般化質量である。

キーワード：耐風，振動，ガスト応答，影響線

連絡先：〒851-0392 長崎市深堀町5-717-1, TEL(095)834-2842, FAX(095)834-2385

3. 影響線の導入

構造物の風に対する応答としては、変位だけでなく、加速度、断面力など各種のパラメータが存在し、設計上の必要に応じて取捨選択を行う必要がある。これらのパラメータは次元も異なるが、ここで影響線を利用することにより一貫した取り扱いが可能となり、煩雑さを避けることができる²⁾。

前項で示したうち共振成分に着目すれば、任意の応答量の j 次モード共振成分 r_{rj} は、その応答量の影響線 $i_r(z)$ と一般化座標における共振成分 q_{rj} を用い、 $\phi_m \omega_{0j}^2 \mu_j q_{rj}$ なる力(加速度と質量の積)が単位長さ要素の働くと考えられることから、次式が導かれる。

$$r_{rj} = q_{rj} \cdot \int \phi_m(z) \omega_{0j}^2 \mu_j(z) i_r(z) dz$$

ただし、 z は構造物の伸びる方向に定義された座標、 $\phi_m(z)$ は質量分布、 $\mu_j(z)$ は j 次モードの形状分布を示す。これを前項の式と組み合わせれば、任意の応答の共振成分は、その種類を問わず一律に下式で求められる。

$$r_{rj} = ((\pi/4)/(\zeta_{rj} + \zeta_{aj})) \cdot f_{0j} S_{GPF}(f_{0j})^{1/2} \cdot \int \phi_m(z) \mu_j(z) i_r(z) dz / \int \phi_m(z) \mu_j^2(z) dz$$

影響線の値については、モード次数によらず共通であり、構造解析において静的な荷重を載荷したケースを想定するか、弾性体模型において実験的に計測することなどの方法で求めることが必要である。

4. 橋梁の風洞試験結果への適用

長大橋梁においては弾性体模型を用いた風洞試験が行われることがしばしばであり、この場合はガスト応答に關するデータ自体が直接実験的に求められる。さらに、その風洞試験結果においては、部分模型風洞試験との比較等を目的として、試験結果を無次元化した比較が行われることがある¹⁾。

こうしたケースにおいて、前項の式に基づき影響線を用いた無次元化を行うことが考えられる。例えば、一般化力のスペクトル $f_{0j} S_{GPF}(f_{0j})$ に相当するよう、応答の無次元化を、その応答の種類に応じた影響線を含む $\int \phi_m(z) \mu_j(z) i_r(z) dz$ を用いて無次元化すれば、種々の応答から求められた値はその応答の種類によらず、同一のスケールで表されることになる。

これにより、橋梁断面の空力特性の比較のクロスチェックや異なる手法で得られた耐風特性の同一性の検証が容易に可能となる。

5. まとめ

以上、線状構造物のガスト応答における影響線の利用に関して述べた。影響線の利用は、多自由度を有する構造物の種々の応答の評価にあたり、異なる次元のパラメータを同一の観点で扱えるという点に利点があると考えられる。具体的なデータを用いた適用例については原稿作成時点で引き続き検討中であるので、機会を得て紹介できれば幸いである。

なお、以上の内容は発表者が University of Western Ontario に滞在中、Prof. A. G. Davenport と Mr. J. P. C. King の両名の御指導を得て検討したものである。

参考文献

- 1) G. L. Larose, A. G. Davenport, J. P. C. King, "Wind Effects on Long Span Bridges: Consistency of Wind Tunnel Results," Proc. of 8th Conf. on Wind Engineering, 1991, London, Canada.
- 2) A. G. Davenport, "THE RESPONSE OF TENSION STRUCTURES TO TURBULENT WIND: THE ROLE OF AERODYNAMIC DAMPING," 1st Int. Oleg Kerensky Memorial Conf. on Tension Structures, 1988, London, England.