

k-ε モデルによる矩形断面柱のフラッター解析

清水建設（株）技術研究所 正会員 嶋田健司
 清水建設（株）和泉研究室 正会員 若原敏裕

1 はじめに

著者らは修正型k-εモデルを用いた2次元解析^[1]によりB/D=5～20の辺長比を有する矩形断面^[2]、タンデム配置された矩形断面^[3]およびフェアリング付き2箱桁断面^[4]についてそれらの非定常空気力および非定常風圧分布について再現性を検討した。本研究は複素固有値解析でフラッター振動数および対数減衰率の評価を行なうことを通して本手法の耐風設計への適用性について考察を行うものである。以下ではこれらの内、B/D=5～20の辺長比を有する矩形断面について述べる。

2 解析手法

解析はKato-Lauderによる修正型k-εモデルとTwo-Layerモデルを組合せた手法を一般座標系に拡張したものである^[1]。Reynolds数は $R_e = UD/\nu = 2.2 \times 10^4$ （ここにB、D：流れ方向長さおよび見附幅）とした。加振はたわみについて $\eta_0/B = 0.025$ 、ねじれについて振幅 $\phi_0 = \pm 2^\circ$ で振動数スイープにより行った。格子点数は $320 \times 200 = 64,000$ である。

3 非定常空気力の解析結果

非定常空気力の定義は式(1)および(2)にしたがった。

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left(kH_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right) \quad (1)$$

$$M = \frac{1}{2} \rho (2b^2) U^2 \left(kA_1^* \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2^* \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3^* \phi + k^2 A_4^* \frac{\eta}{b} \right) \quad (2)$$

ここに、 $k = b\omega/U$ である。図1には文献[2]からB/D=5、10および20の非定常空気力の解析結果を再掲する。

4 フラッター解析結果

固有値方程式は式(1)および(2)の定義のもとで宮田らの直接法^[6]に従うと、式(3)のように表される。

$$\omega^2 \begin{bmatrix} 1 + \frac{\rho b^2}{M} (H_4^* + iH_1^*) & \frac{\rho b^3}{M} (H_3^* + iH_2^*) \\ \frac{\rho b^3}{I} (A_4^* + iA_1^*) & 1 + \frac{\rho b^4}{I} (A_3^* + iA_2^*) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y \\ \Phi \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega_{\eta_0}^2 & 0 \\ 0 & \omega_{\phi_0}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Y \\ \Phi \end{Bmatrix} \quad (3)$$

この方法では、式(1)および(2)の空気力に対して無次元振動数のみを与えることで反復計算なしで固有値および固有ベクトルを求めることができる^[6]。フラッター振動数および対数減衰率は式(4)から求めた。

$$\omega_f = |\omega_j|, \quad \delta_j = 2\pi \frac{\Im(\omega_j)}{|\omega_j|} \quad (4)$$

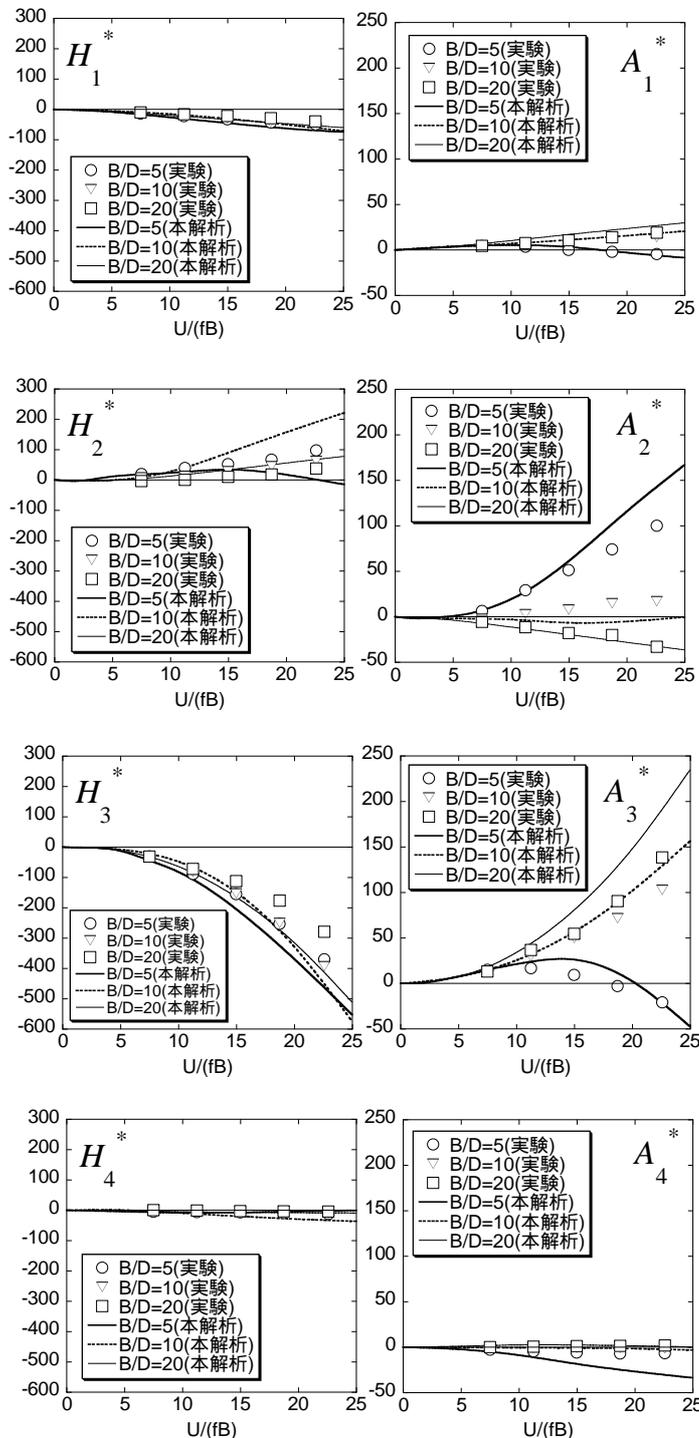


図1 種々の辺長比の矩形断面の非定常風力係数（実験：松本^[5]）

キーワード：矩形断面，非定常空気力，フラッター解析，数値流体解析，k-εモデル

連絡先：〒135-8530 江東区越中島3-4-17 TEL 03-3820-5527 FAX 03-3820-5955, shimada@sit.shimz.co.jp

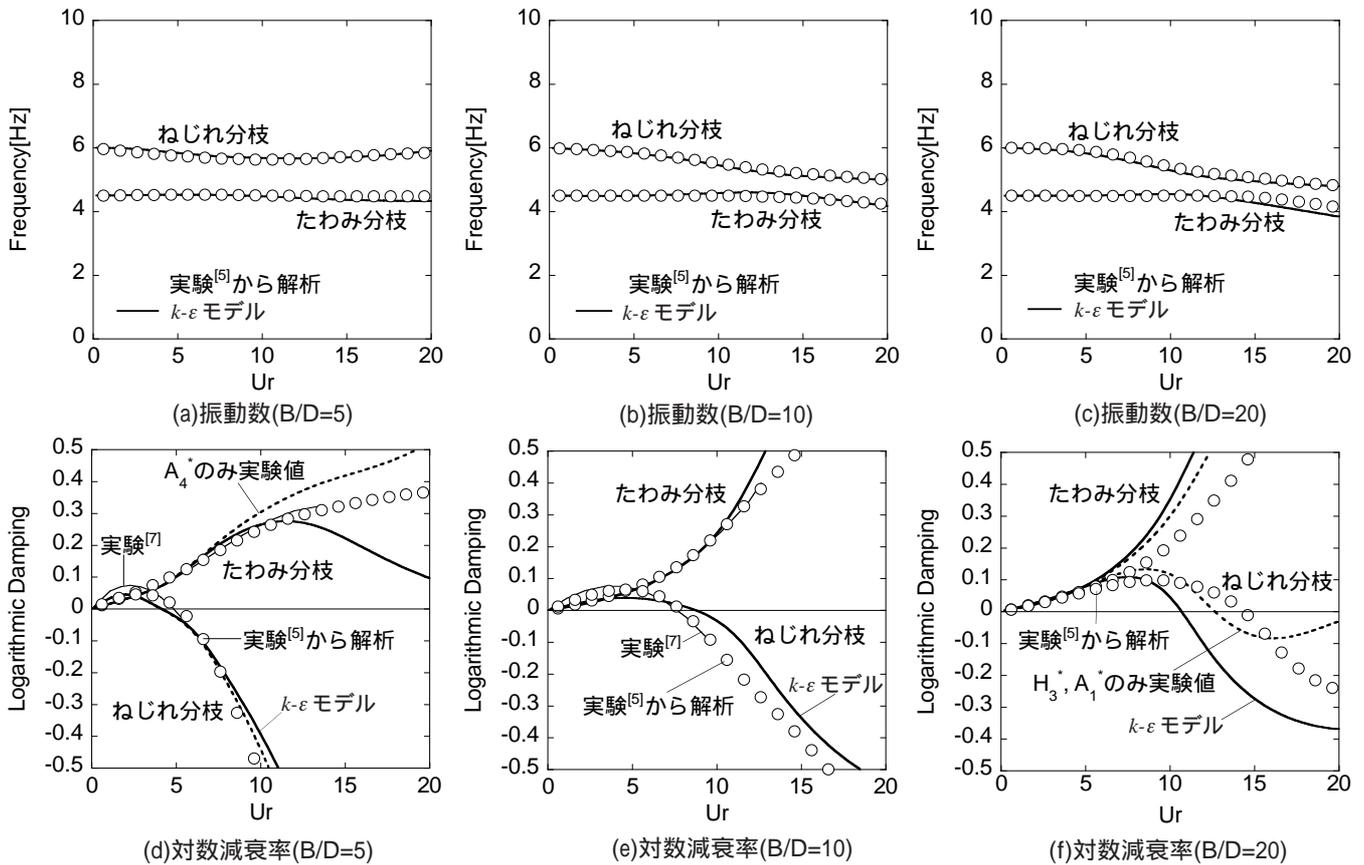


図2 矩形断面のフラッター解析結果の比較

ここで無風時の構造特性は松本ら^[7]と同じ $M=1.96\text{kg/m}$, $I=4.9 \times 10^3\text{kgm}$, $f_{\eta_0}=4.5\text{Hz}$, $f_{\phi_0}=6.0\text{Hz}$, $B(=2b)=0.15\text{m}$ とした。

図2には低風速ねじれフラッタータイプの $B/D=5$, 高風速ねじれフラッタータイプの $B/D=10$ およびねじれ分枝連成フラッタータイプの $B/D=20$ の各結果を示す。なお図中には本複素固有値解析の妥当性を検証するために文献[7]から引用した結果と、文献[5]の非定常空気力から本複素固有値解析により得られた結果を示した。図2を見ると振動数に関してはいずれのタイプについても本解析結果は実験値とほぼよい対応を示している。特に図2(c)ではねじれ分枝連成フラッターの特徴、すなわち無次元風速が大きくなるとたわみ分枝とねじれ分枝の振動数が近接する傾向が本解析結果にもはっきりと表れている。対数減衰率に関しては実験結果も本解析結果もたわみ分枝では常に正になっている。ただし図2(d)を見ると実験結果は緩やかな増大傾向にあるのに対して、本解析結果は概ね $Ur=12$ で減少に転じている。この点を調べるために同図には A_4^* のみ実験値を用いた解析結果を示すがこの点は改善されることから、空気力係数 A_4^* における実験値と解析結果の相違が関係していると考えられる。一方、ねじれ分枝では辺長比が大きくなるにつれてフラッター限界風速が高くなる傾向は実験結果も本解析結果も同様であるが、本解析結果は実験結果に比べて安全側の評価を与える傾向がある(図2(f))。ところで松本らの step-by-step 解析によればねじれ分枝の対数減衰率に主たる寄与を及ぼす空気力係数は A_2^* と $A_1^*|H_3^*|$ である^[7]。図2(f)には A_1^* と H_3^* を実験値に置き換えたもの示すが、フラッター限界風速は幾分か改善されることからこれらの係数の予測精度に関係しているものと考えられる。

5 まとめ

修正型 $k-\varepsilon$ モデルによる2次元数値流体解析より辺長比 $B/D=5, 10$ および 20 の矩形断面の非定常空気力を算出した。この結果をもとに複素固有値解析を行った。その結果、低風速ねじれフラッター、高風速ねじれフラッターおよびねじれ分枝連成フラッターに関して既往の研究と同様な結果が得られ、フラッター振動数や対数減衰率の変化についても大局的な把握は可能であることが確認できた。ただし辺長比が大きくなるにつれフラッター限界風速は安全側の予測になる傾向が見られた。

【参考文献】 [1] Shimada, K. and Ishihara, T., *J. of Aerospace Engineering*, vol12, No.4, 1999.10, 122-135 [2] 嶋田健司・石原 孟: $k-\varepsilon$ モデルによる扁平矩形断面の非定常空気力評価, 第50回理論応用力学講演論文集, 97-98, 2001.1 [3] 嶋田健司・若原敏裕: 並列矩形断面の $k-\varepsilon$ モデルによる非定常風圧分布予測, 土木学会第56回年次学術講演会, p.686-687, 2001 [4] 若原敏裕・嶋田健司・佐藤弘史・松井正宏: 分離箱桁断面の $k-\varepsilon$ モデルによる非定常空気力予測, 土木学会第56回年次, p.684-685, 2001 [5] 松本 勝・新原雄二・小林裕輔: 構造基本断面のフラッター発生機構に関する研究, 構造工学論文集, Vol.40A, 1019-1024, 1994 [6] 宮田利雄・山田 均・太田博文: 立体骨組み解析法による横たわみしたトラス補剛吊橋の曲げねじれフラッター解析, 土木学会論文集, 第404号 / I-11, 1989.4 [7] 松本 勝・谷脇好徳・四條利久麿: 振動数特性から考察したフラッタータイプ, 第16回風工学シンポジウム論文集, 345-350, 2000