

I - B9

強制振動する辺長比 4 矩形断面まわりの流れ解析

川崎重工業 正会員 川本 英樹 川崎重工業 非会員 吉田 秀則
川崎重工業 正会員 尾立 圭巳 川崎重工業 正会員 野上 千秋

1. はじめに

橋梁等の土木構造物の耐風検討においては、近年の急速な計算機能力の向上および数値解析技術の発達に伴って、風洞試験に数値流体解析を組み合わせたことによって、より高度かつ効率的な耐風検討を実施しようという気運が高まっている。このような状況に対応するため、筆者らは土木構造物の耐風検討に適用できる数値流体解析コードの開発・改良を実施している。

本研究では当社が開発した圧縮性 NS 解析コードの橋梁等の耐風検討への適用性を検証する目的で、一様流中で主流直角方向に強制的に振動させた矩形断面に関する動的空気力解析を実施し、同時に実施された風洞試験結果との比較を行うことで、風洞試験における強制加振実験を数値流体解析でどの程度模擬できるかの検討を実施したので、これを報告する。

2. 風洞試験概要

風洞試験では、当社の構造物風洞を用いて矩形断面の強制加振実験を行った。実験条件を以下に示す。

模型寸法：幅 $B=0.6\text{m}$ × 高さ $D=0.15\text{m}$

振動数 : $f=3.68\text{Hz}$

振動振幅 : $\eta/D=0.06$

模型に作用する動的空気力は模型表面上の圧力測定孔で計測された変動圧力の時系列を表面積分することで求めた。ただし、圧力計測器の計測点数の関係で、矩形断面の上側表面の圧力のみを測定し、下側表面については位相が 180 度ずれるとして求めた。

3. 解析コード

使用した解析コードは自社開発の 3 次元非定常圧縮性 NS 解析コードである。基礎方程式としては、時間方向も含めて一般座標変換された 3 次元圧縮性 Navier-Stokes 方程式を用いる。空間方向の離散化には Roe の Flux Difference Splitting¹⁾に MUSCL 内挿を組み合わせた TVD スキームを使用した。また時間積分には 2 段階陽解法、および Gauss-Seidel 緩和法に Newton 反復を組み合わせた反復陰解法を使用した。なお、振動物体まわりの流れを解析するために移動変形格子を使用し、格子の移動・変形による時間方向の保存則を満たすために、田村らの方法²⁾を用いた。また、今回の解析では乱流モデルは使用していない。

4. 解析条件

解析は風洞試験と同様に、主流直角方向に強制振動する辺長比 $B/D=4$ の矩形断面に対して行った。解析コードは 3 次元コードであるが、今回はこれを 2 次元的に使用した。振動振幅は $\eta/D=0.06$ 、Re 数は風速に応じて風洞試験と同じ値を与えた。また解析ケースとしては格子数と時間精度の影響を調べるために、以下の 3 ケースを実施した。（図 1 に計算格子を示す。）

- ① 格子数 $140 \times 81 \times 2=22,680$ 点、反復陰解法($CFL=100.0, V_r=V/(fD)=2 \sim 16$)
- ② 格子数 $240 \times 151 \times 2=72,480$ 点、反復陰解法($CFL=100.0, V_r=2 \sim 16$)
- ③ 格子数 $140 \times 81 \times 2=22,680$ 点、2 段階陽解法($CFL=1.0, V_r=7, 9, 11$)

5. 解析結果

解析結果の一例として、ケース②の渦度分布図を図 2 に示す。実験結果と解析結果の比較について、対数減衰率 δ を図 3 に、非定常揚力の虚数部 $L_{\eta I}$ を図 4 に示す。なお解析結果から δ 、 $L_{\eta I}$ を求めるために文献 3), 4) の方法を用いた。また強制加振実験では低風速域での圧力の測定精度が落ちることから、試験風速がある程度高風速となる渦励振発生風速前後の風速域について解析結果と比較した。

数値流体力学、風工学、矩形断面

〒673-8666 兵庫県明石市川崎町 1-1 TEL 078-921-1624 FAX 078-921-1639

実験結果は換算風速 V_r が9付近で空力減衰が負となり、それ以上の風速域では正の減衰力となることを示している。それに対して解析結果は、ケース①については空力減衰が負になる風速が高風速側へずれているが、格子数を増やしたケース②ではほぼ実験値と対応した結果となっている。一方、同じ格子数のケース①とケース③については、時間精度の良いケース③の結果はほぼ実験値を再現している。これらの結果から、時間精度、空間精度のどちらの影響が支配的であるかは断定できないが、いずれにしても時間精度、空間精度に注意すれば、本解析コードで基本断面形状に関してのたわみ渦励振発生風速域を推定できることが確認できた。

6. まとめ

一様流中で主流直角方向に強制振動する辺長比 $B/D=4$ の矩形断面の動的空気力を圧縮性 NS 解析コードによって解析し、実験値と比較した結果、時間精度、空間精度に注意すれば、空力減衰が負となる渦励振発生風速域を良好な精度で解析できることを確認した。今後は実際の橋桁断面形状に対しての解析精度の検証を実施し、設計実務への CFD 技術の適用を推進していく予定である。

参考文献

- (1) Roe, P.L. ; Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes, J. Comput. Phys., Vol.43, 1981
- (2) 田村、他；格子が移動・変形する場合の保存則について、第6回数値流体力学シンポジウム講演論文集, 1992
- (3) 小川、他；充腹断面の空力減衰に関する一考察、風工学シンポジウム講演論文集, 1984
- (4) 白石、他；非線形動的空気力を考慮した吊橋の耐風応答解析に関する一考察、土木学会論文報告集 第244号, 1975

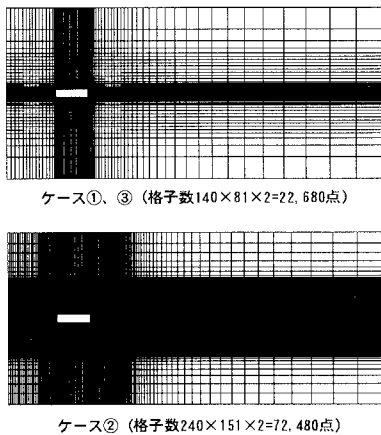


図1. 計算格子



図2. 渦度分布図（ケース②, $V_r=9$ ）

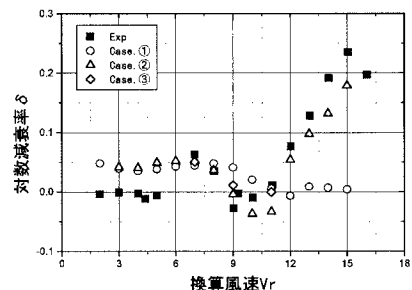


図3. 実験結果と解析結果の比較（対数減衰率）

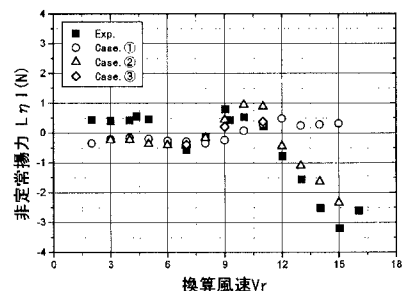


図4. 実験結果と解析結果の比較（非定常揚力）