

3次元全橋モデルの流体構造連成解析の実現へ向けて

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

1. はじめに

橋梁等の土木構造物の耐風検討においては、近年数値流体解析(CFD)を積極的に活用しようという気運が高まっているが、現状では計算機能力の制限、その他の理由から2次元解析が主に利用されており、一部2次元モデルのスパン方向長さを考慮した3次元解析¹⁾も実施されはじめてはいるが、実際の橋梁モデルのような複雑な3次元形状に対する解析はいまだ実現されていない。さらに物体の振動・変形を伴うような解析については、3次元動的挙動を考慮したもの²⁾はいまだ少数である。一方、風洞試験においても最近では全橋模型試験の重要性が高まってきているが、風洞測定部サイズの制限や、模型製作費等のコストの問題から多数の形状についてのパラメトリックな試験を実施することは難しく、CFDによる有望なモデルの絞込みができれば試験の効率化、高度化が期待できる。このような状況下で、たとえ現時点では非現実的でも、将来的な計算機能力の向上を見越して、構造物の3次元動的挙動を考慮できる流体構造連成解析技術の開発に着手することは非常に重要である。

本研究では構造物の流体力による3次元動的振動・変形を解析できる流体構造連成解析技術の確立を目的として解析コードを開発した。さらに開発した解析技術を将来的に実際の橋梁の耐風検討に適用する可能性を示す目的で、3次元橋桁モデルを想定したH型断面柱の流体構造連成解析を実施し、用いた解析手法の有効性を検討したので、その内容について報告する。

2. 解析手法概要

本解析手法は流体解析部分と構造解析部分から構成される。流体解析部分については、支配方程式に時間方向も含めて一般座標変換された3次元圧縮性NS方程式を用い、解析スキームとしては圧縮性のCFDで標準的な手法となっているRoeのFlux Difference Splitting³⁾にMUSCL内挿を組み合わせたTVDスキームを使用した。時間積分にはGauss-Seidel緩和法にNewton反復を組み合わせた反復陰解法を用いた。さらに移動・変形する物体まわりの流れを解析するために移動変形格子法を用い、格子の移動による時間方向の保存則を満たすために田村らの手法⁴⁾を用いた。

構造解析部分については有限要素法を用いた。有限要素法では板要素、立体要素等さまざまな要素を用いることができるが、当面の適用対象として橋桁を想定しているため、現状では梁要素が使用できれば十分であると判断して、梁要素に限定した有限要素法構造解析コードを開発した。

流体構造連成解析については、流体解析で構造物にかかる流体力を求める 流体力による構造物の移動・変形を構造解析で求める 構造解析で得られた構造物の変位に応じて流体解析格子を移動・変形させる に戻る、という手順で実施する。

3. 並列計算による高速化

本研究では構造解析部分を梁要素に限定したため構造解析に要する計算時間は非常に少ないが、流体解析部分については3次元非定常解析が必要となるためかなり計算負荷が大きく、将来的に本手法を実際の耐風検討に適用するためには計算時間の大幅な短縮が必要となる。そこで、ここでは流体解析部分に並列計算手法を取り入れた。具体的には領域分割法を採用して、解析領域を使用する計算機数に応じて分割し、それぞれの領域について異なる計算機で並列に解析を実行する。なお領域が接する部分については計算STEP毎に情報を交換しながら解き進める。このような計算を実行するために必要な並列計算ライブラリにはフリーソフトであるPVMを使用した。

以上のような手法により、使用する計算機数にほぼ比例した計算速度の向上を達成できた。

4. 解析例

前述したような解析手法や並列計算技術を用いた場合でも、遮風壁等の付加物やケーブル等まで含めた全橋モデルに対する3次元流体構造連成解析を実現するには、いまだ計算機能力が不足している。そこで将来的にこのような解析を実現できる可能性を示すために、簡略化した橋桁モデルに対する流体構造連成解析を実施した。流体解析の解析条件を以下に示す。

解析モデル：幅 $B=300\text{mm}$ 、高さ $D=59.1\text{mm}$ 、スパン方向長さ 3000mm のH型断面柱（図1参照。）

格子数： $77 \times 58 \times 21=93,786$ 点（図2に格子図を示す。）

Re数： 7.6×10^5 （桁幅を代表長とする。）

流入条件：迎角 $+5^\circ$ 、横滑り角 $+5^\circ$ の一様流

構造系の解析条件については、今回は定性的な現象のみを対象としたために、断面係数のみ正確に求め、その他の条件（ヤング率、ポアソン比、他）は適当に仮定した。なお梁要素の境界条件としては両端固定とした。

図3に解析結果の一例として、ある瞬時の桁の変形と圧力分布を示す。定性的ではあるが、まずたわみ振動が発生し、その後徐々にねじれ振動に移行していくような、非常に興味深い非定常現象が解析で観察でき、本解析手法によって将来的に3次元橋桁モデルの耐風検討が実施できる可能性が示せた、と考えている。

5. まとめ

橋梁全体モデルの耐風検討に適用できる流体構造連成解析技術の確立を目的に、流体解析、構造解析、並列計算技術等を組み合わせた解析手法を開発した。さらに本手法を用いてH型断面柱の3次元流体構造連成解析を実施した結果、流体力による桁のねじれ振動を解析できることを示し、将来的に本手法を実際の橋梁全体モデルの耐風検討に適用できる見通しを得た。今後は本手法の定量的な評価、構造解析部分の高度化、計算時間のさらなる短縮等を実施する予定である。

参考文献

- (1)平野、他；断面辺長比4の矩形断面の空力特性に関する2次元・3次元数値流体解析，土木学会論文集 No.598/I-44,1998
- (2)川本、他；3次元弾性円柱の流体構造連成解析，土木学会論文集（投稿中），2000
- (3)Roe,P.L.；Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors, and Difference Schemes, Journal of Computational Physics, 1981
- (4)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

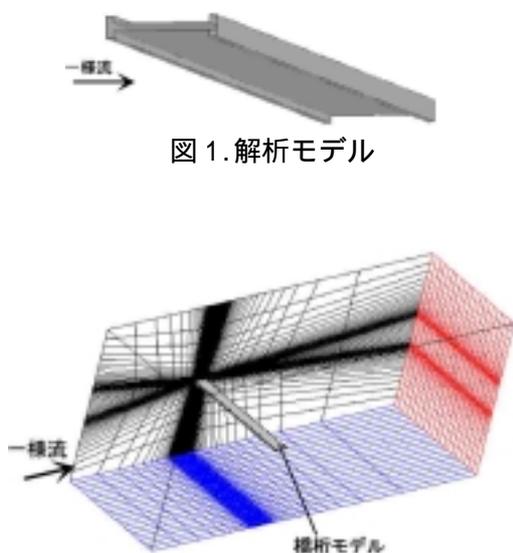


図1.解析モデル

図2.解析格子（初期状態）

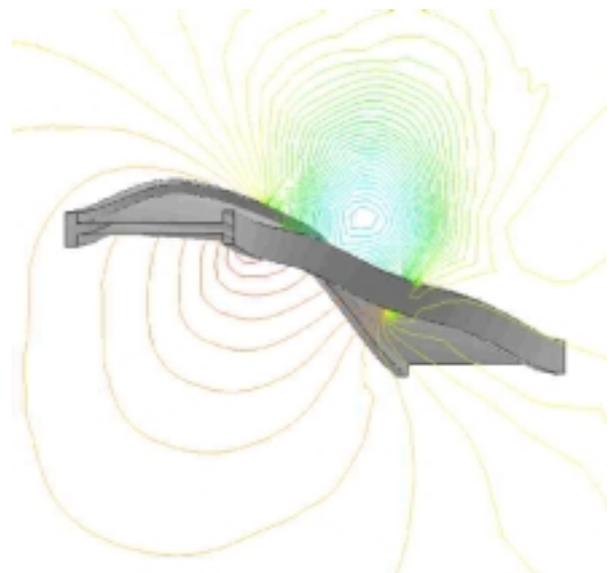


図3.解析結果（桁の変形と圧力分布）