

LES による実橋梁周り流れの解析の試み

神戸大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○堀 高太郎
 神戸大学大学院自然科学研究科 正会員 中山 昭彦

1. 研究背景と目的

実際の橋梁の多くはトラス構造や高欄などを有しており、その周りの流れ場が非常に複雑なものとなることは容易に推察される。そのような複雑流れ場を数値的に再現することは非常に興味深いと考えられる。一方、矩形断面とは異なる境界値問題に対しては、境界に適合した一般曲線系座標で支配方程式を記述して解析を行うのが一般的である。しかしトラス構造のように3次元構造を持ち複雑な形状を持つ境界条件に適合する座標系を作成することは困難であるので、直交座標系によってある程度の精度を確保できることが確認できれば、より小さい計算負荷で構造物の空力特性が解析可能であると考えられる。実際、直交座標系を基に複雑な境界条件を適用する手法として、VOF法¹⁾や、Immersed-boundary method²⁾などが考案され成果を挙げているが、トラス構造を持つような実橋梁周りの流れに対する数値解析はあまり例が見られない。本研究ではその第一段階として、単に物体セルと流体セルを識別するだけのシンプルな手法によるLES解析を試みる。この手法は、単純な矩形断面柱を対象とした既往の研究³⁾と全く同様の手法、ソースコードを用いており、十分な精度が確認されたものを拡張して用いている。解析対象は、トラス構造を持ち、十分に耐風安定性が検討されている明石海峡大橋である。

2. 支配方程式と計算手法

支配方程式は、直交座標系で記述された、標準Smagorinskyモデルに基づくLES方程式である。移流項の差分にUTOPIAスキーム、その他の空間差分に2次精度中心差分、時間進行法にAdams-Bashforth法、圧力解法にHSMAC法を用いている。

3. 明石海峡大橋の数値的表現

Fig.1およびFig.2に、明石海峡大橋管理図の一部を示す。本解析ではFig.1中の太線枠内、すなわち橋軸方向基本構造の2周期分を解析対象とする。これらを基に作成した解析上の物体表面をFig.3に示す。なお、解析対象を全径間の中央であると仮定し、桁上部に存在するケーブルは橋軸と平行に在るものとする。また、トラス内部に存在する各検査路は桁のみとし高欄を省略、H鋼などの各部材の形状は再現せず、本来格子状になっているオープングレーチングの部分は完全に開口部としている。

4. 計算格子、境界条件およびその他の計算諸元

Fig.4に、解析空間全体を示す。 x_1 方向を風方向とし、橋軸方向を x_3 方向としている。また、境界条件は、橋軸直角方向で水平な風が吹いている状態を想定し、上流端に一樣流を与え、下流端は放射条件を課す。橋軸方向(x_3 方向)には同じ構造が続くと仮定して、周期条件を課している。格子数は、 $211 \times 141 \times 81$ である。桁高を代表長 D とすれば、解析空間は $24D \times 13D \times 4D$ で、格子幅は $0.03D \sim 0.5D$ である。物体のモデルは、最も細い部材でも最小格子幅 $0.03D$ のセル2つ分で構成されている。その他の計算条件としては、無次元時間ステップ幅 $\Delta t U_0 / D = 0.0002$ 、桁高と流入風速を基にしたレイノルズ数は、 $Re = 20,000$ である。

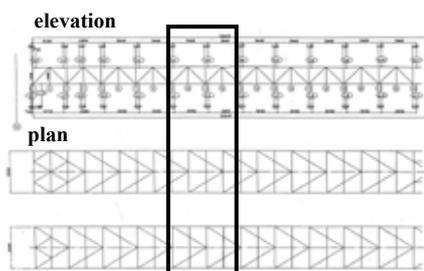


Fig.1 Main structure of girder of Akashi-Kaikyo Bridge

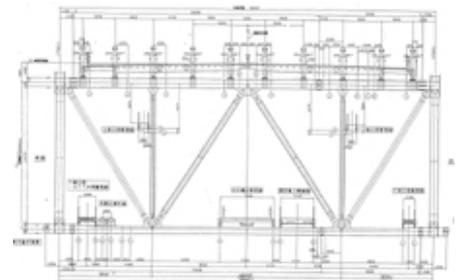


Fig.2 Section of girder of Akashi-Kaikyo Bridge, elevation

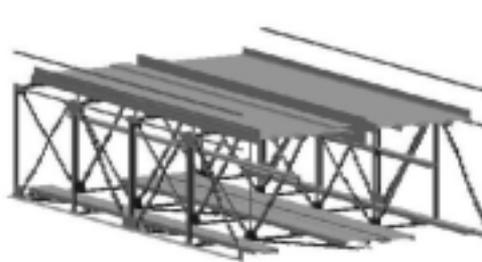


Fig.3 Numerical representation of Akashi-Kaikyo Bridge

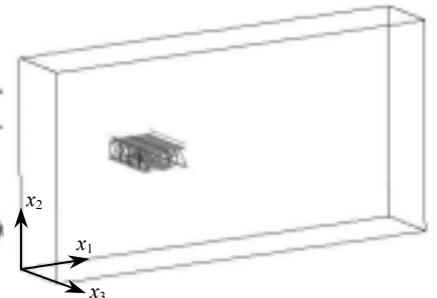


Fig.4 Calculation domain

キーワード Large Eddy Simulation, 実橋梁, 空力特性

連絡先 〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1 TEL:078-803-6011

5. 解析結果と考察

解析により得られた結果を可視化する．また，**Fig.5~8** に関しては，全て鉛直材の中間の x_1, x_2 平面(以下，**Section A**)での結果を示している．**Fig.5** に時間平均渦度分布を，**Fig.6** に時間平均圧力分布を示す．上流端およびケーブルで剥離した流れは，およそセンターバリアの手前で再付着している．これに伴い上流側の床版で圧力が低下している様子が確認できる．**Fig.7** に時間平均速度ベクトルを，**Fig.8** に時間平均流線を示す．ケーブルと上流端高欄の間隙からの流出および，トラス内部では速度が加速されている．**Fig.9** に時間平均の，物体表面における圧力係数 C_p を表す．床版上面においては，下流側が上流側に比べ圧力係数が高くなっているが，トラス内部の検査路においては，上流側と下流側でそれほど変化は見られない．空隙が存在することによる現象が再現できていると考えられる．また，検査路上面に見られるスパン方向の縞模様は，トラス内部の斜材および鉛直材の影響である．また，本解析から求めた抗力係数と揚力係数は， $C_D=2.21$ ， $C_L=0.012$ であった．全模型実験結果⁴⁾が $C_D=1.9$ ， $C_L=0.1$ であることを考えると，ある程度良い精度をもっていると考えられる．**Fig.10** および **Fig.11** に，センターバリア近辺の瞬間速度ベクトルを現す．**Section A** においては，時間平均速度ベクトルでは見られなかった，トラス内部からオープングレーチングを通して床版上面を主流と逆向きに向かう流れが確認できる．また **Section B** は，これと同時ににおけるスパン方向中央の鉛直材近傍 x_1, x_2 平面での瞬間速度ベクトルを表している．この断面では，床版上面を沿う流れは上流端から剥離した渦によって生じている．このように，トラス内部のスパン方向の物体配置によって床版上面の流れ場が影響を受けている様子が確認できる．

6. 結論と今後の課題

明石海峡大橋補剛桁の部分模型周りの LES 解析を行った結果，定性的には十分に現象を再現しうることが確認できた．今後，実験値の再現性をさらに定量的に評価したうえで，平均流れ場と他のモデルに用いられる

有効空隙率や表面密度などのマクロなパラメータとの相関を検証することで，他のより簡単なモデルの妥当性の検証や，送電鉄塔などのより空力設計などにも応用できると期待できる．

参考文献

- 1) Hirt, C. W. and Nichols, B. D. : Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries, *J. Comp. Phys.* 39, pp.201-225, 1981.
- 2) Robert Dillon, et al. : Modeling Biofilm Processes Using the Immersed Boundary Method, *J. Comp. Phys.* Vol.129, Issue 1, pp.57-73, 1996.11.
- 3) 野田博, 中山昭彦, 永井史保 : LES による角柱の振動応答解析, 応用力学論文集 Vol.1, pp.633-640, 1998.8.
- 4) 勝地弘, 他 : 明石海峡大橋大型風洞試験での連成フラッター特性に関する考察, 第 13 回風工学シンポジウム論文集, pp.383-388, 1994.12.

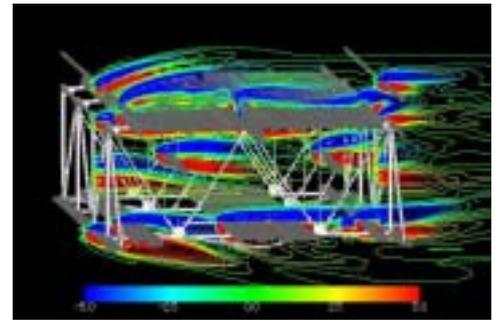


Fig.5 Contours of time-averaged vorticity

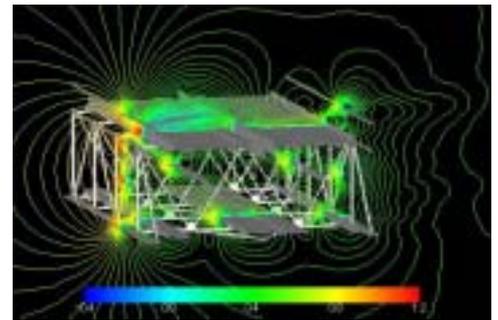


Fig.6 Contours of time-averaged pressure

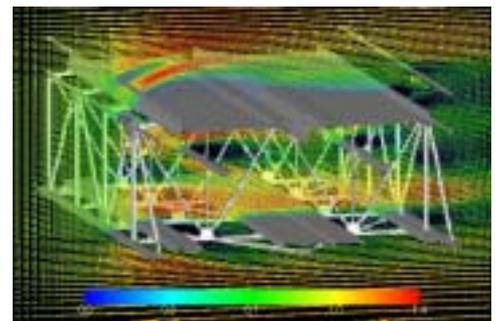


Fig.7 Vectors of time-averaged velocity

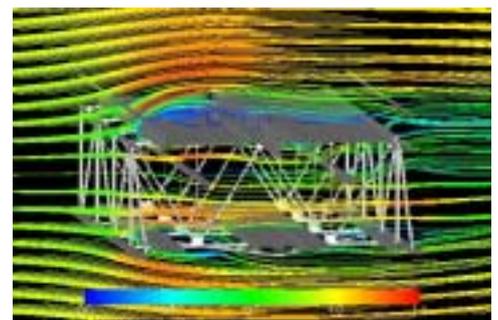


Fig.8 Contours of time-averaged streamlines

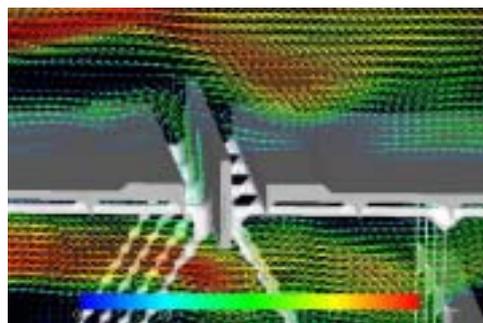


Fig.11 Vectors of instantaneous velocity around center barrier, Section A

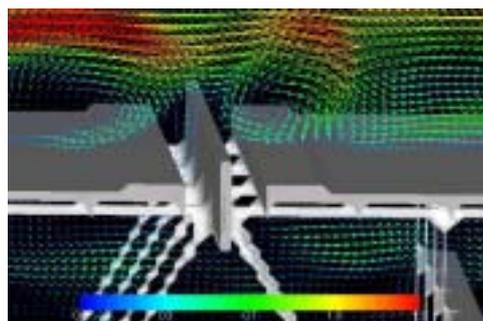


Fig.10 Vectors of instantaneous velocity around center barrier, Section B

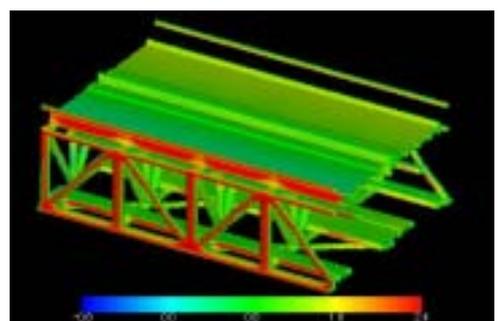


Fig.9 Time-averaged coefficient of pressure (C_p) on surface of model