

橋梁の流力特性に関する数値解析

Numerical Computation for Fluid Forces of a Bridge

○服部諒¹, 近藤典夫²*Ryo Hattori¹, Norio Kondo²

Abstract: We present numerical results for fluid forces and flow profiles around a bridge with large depth/breadth ratio. In this computation, the depth/breadth ratio of 26 is taken into consideration as a parameter to calculate the fluid force. The numerical computation is carried out by using a third-order upwind FEM.

1. はじめに

構造物の基本断面形状である角柱構造物の流力特性は古くから研究が行われ、様々な特性が調べられてきた。流れの中に置かれた長方形断面の構造物では、前縁はく離れた渦の性状や流体力は、断面辺長比に依存して変化することが示されている。過去の研究で、断面辺長比 D/B (B :幅, D :奥行き) が 7~8 付近で抗力係数が最小になることや、 $D/B=2.7$ と 3.0 付近でストローハル数が変化することが捉えられている。

そこで本研究では、欄干が設置された断面辺長比 $D/B=26$ の橋梁に作用する流体力とその周りの風の流れを計算することにより、その橋梁の流力特性を捉える。流体の基礎方程式にはナビエ・ストークス方程式を採用し、離散化は有限要素法によって行う。この時、数値解の安定化のために 3 次精度の上流化手法を数値手法の中に組み込んでいる。

2. 基本式

3次元ナビエ・ストークス方程式と連続方程式は無次元表示で以下のように表される。

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} = \sigma_{i,j,j} \quad (1)$$

$$u_{i,i} = 0 \quad (2)$$

ここで、 u_i は流速、 σ_{ij} は全応力、 t は無次元時間、 x_i は座標変数を示す。また、全応力 σ_{ij} は

$$\sigma_{ij} = -p\delta_{ij} + \frac{1}{\text{Re}}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (3)$$

で表せる。 p は圧力、 Re はレイノルズ数、 δ_{ij} はクロネッカー記号それぞれ示す。また、(1)式の発散を取ることにより、以下のような圧力のポアソン方程式を得る。

$$P_{ii} = -\tilde{u}_{i,i} \quad (4)$$

$$\tilde{u}_i = \frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j u_{i,j} - \frac{1}{\text{Re}}(u_{i,j} + u_{j,i}) \quad (5)$$

以上の基本式に有限要素法を適用し、有限要素方程式を作る。

3. 数値解析

本研究で対象とする橋梁構造物の大きさは断面比 $D/B=26$ で与える。一般に橋の長さ H は非常に長いですが、コンピュータのハードウェアの性能からその一部分を計算対象とし、 $H=2B$ としている。その計算モデルを Fig.1 に示す。図中に示すように、橋梁の遠方より流れてくる一様流速 U を想定する。この流体計算では 3次元計算を行い、時間数値積分にはクランク・ニコルソン法を適用する。

また橋を想定した場合、橋桁に平行な流体流れだけを考えることはできず、橋桁に対して風の入射角を考慮する必要があるが、本研究では入射角 θ を 0 度に設定し、これに対する数値結果のみを示す。

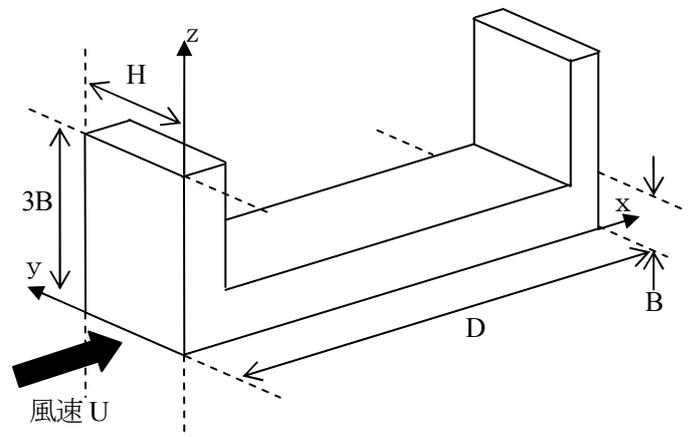


Figure 1. Computational model of a bridge

Fig.2 は、x-z 平面で入射角 0 度の計算に使用したメッシュ分割を示す。3次元全体での要素数は約 113 万である。メッシュは構造物近傍では細かくし、構造物から離れた位置では粗いメッシュとしている。スパン方向(y 方向)には 20 要素とした。Figs.3 と 4 は、x-z 断面での構造物周りの流れを時間ごとに渦度で表示したもので、無次元時間 t で 200s, 250s の 2 パターンを表示した。Fig.5 は、抗力係数、揚力係数、背圧係数の時間による変化を示している。また Fig.6 には、x-z 断面で構造物表面にかかる圧力分布を示す。

4. 考察

Figs.3 と 4 の渦度分布図より、橋梁まわりの流れを見ると、前縁から剥離した渦は、橋梁下方ではすぐ後方で再付着し橋梁に沿うように流れ、欄干のある上方では橋梁の中間より後方で再付着していることがわかる。また、橋梁上方では欄干に設定した高さの範囲内で多くの渦が発生していることがわかる。これは、前縁の欄干の影響と考えられ、人や車両が橋梁を通行すると想定した場合、欄干の形状などに考慮する必要があると考える。

Fig.5 より、時間ごとの抗力係数、揚力係数、背面係数の変化が読み取ることができ、その中でも揚力係数の値が最も大きく変化していることがわかる。このことから、橋梁は z 軸方向に力を受けるので、z 軸方向の振動を考慮した構造が必要である。

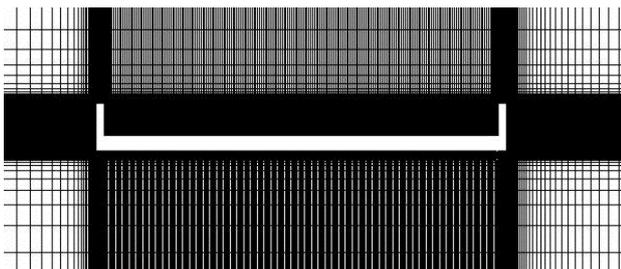


Figure 2. Finite elements near a bridge

Fig.7 の圧力分布図からは、前縁はく離れた渦が再付着する地点にかかる圧力の値が大きくなり、背面と橋梁下側後方で圧力が小さくなっていることが読み取ることができる。

5. 参考文献

[1] 枝本勝哉, 原幸久, 島中真一:「耐風設計に向けた CFD の活用」, 川田枝報, Vol 22, pp26-31, 2003.1.1

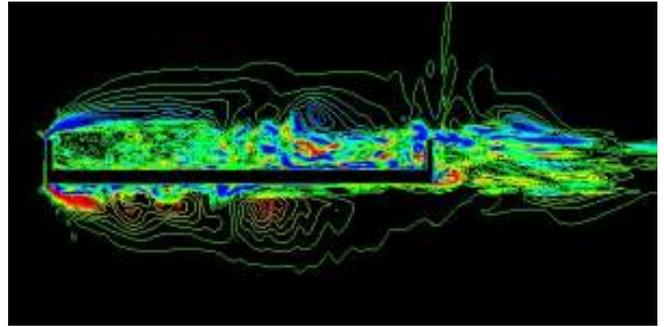


Figure 3. Instantaneous vorticity, $t=200$

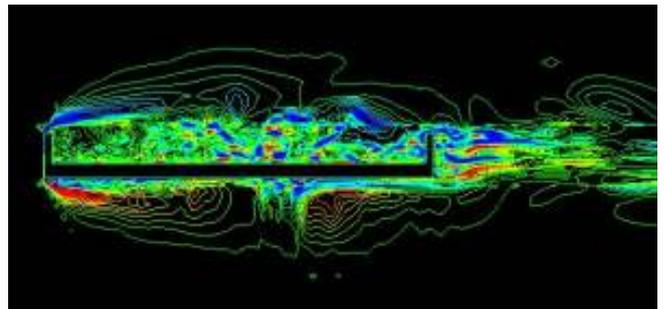


Figure 4. Instantaneous vorticity, $t=250$

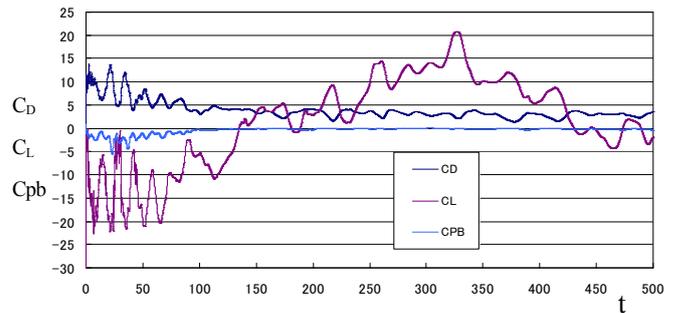


Figure 5. Time histories of C_D, C_L, C_{pb}

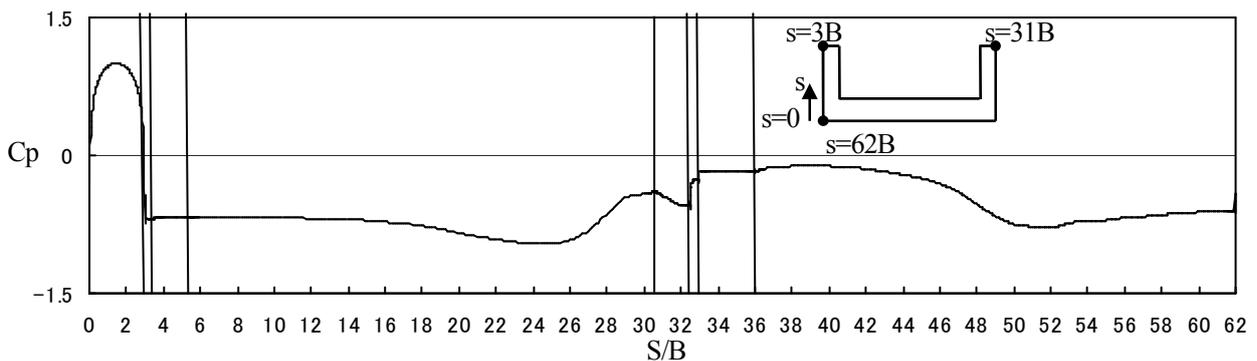


Figure 6. Pressure coefficient C_p