

二柱式橋梁下部工が沈設時に受ける 潮流力に関する数値シミュレーション

Numerical Simulation of Tidal Current Force on Twin-Tower Pier

上野 成三¹・東江 隆夫¹・伊藤 一教¹・池尻 一仁²・尾高 義夫³

Seizo Ueno, Takao Toue, Kazunori Ito, Kazuyoshi Ikejiri and Yoshio Odaka

¹正会員 工修 大成建設株式会社 技術研究所 (〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町344-1)

²正会員 工修 大成建設株式会社 土木本部 (〒163-0606 新宿区西新宿一丁目25-1)

³正会員 工修 大成建設株式会社 土木営業本部 (〒163-0606 新宿区西新宿一丁目25-1)

Twin-Tower Pier was designed as a new type of pier for a bridge which is constructed at deep sea site. The feature of the Twin-Tower Pier is two slender towers that are enable to reduce the volume of the concrete, resulting the reduction of the construction cost. Tidal current forces acting on the Twin-Tower Pier had been measured by the hydraulic model test in previous paper¹⁾ because the shape of the pier is more complicated than the shape of a conventional pier which is usually a column type. This paper describes the numerical simulation which is modeled to predict the tidal current force on the Twin-Tower Pier without using hydraulic model tests. The tidal current forces predicted by the numerical simulation are compared with those measured by the hydraulic model test. The comparison between them shows good agreement with the error level of less than 10%.

Key Words : Straight crossing bridge, mooring, tidal current force, numerical simulation

1. はじめに

大水深域に設置する橋梁では、その下部工が巨大な構造になるため、安定性・施工性を満足した上で構造物の体積が減少できる構造が望まれる。二柱式基礎は構造物体積が減少でき、かつ、安定性・施工性を考慮した新しいタイプの橋梁下部工である。本論文では、数値シミュレーションにより二柱式基礎の潮流力の算定を行った。先に実施した水理実験結果¹⁾を用いて計算精度の検証を行い、数値シミュレーションによる潮流力算定の実用性を検討した。

2. 数値シミュレーションの方法

(1) 数値計算の方法

計算プログラムは汎用3次元流体プログラムであるStarCD²⁾を用いた。本プログラムは車・建築物などの3次元流体計算で豊富な実績を持つ。本プログラムの特徴としては、非構造型の計算格子の採用により複雑な形状の構造物を高精度に近似できることが上げられる。本検討で対象とする二柱式基礎のような複雑な形状の構造物の解析に適したプログラムと言える。計算の基礎式は3次元の流体運動方程式、連続式、乱流エネルギー・逸散率の輸送方程式で、差分化された各式を数値積分し定常解を求めた。計算結果として得られる構造物回りの圧力分布を積分

して構造物に作用する潮流力を算出した。

(2) 数値計算の条件

一様流中に構造物がある条件で、構造物周辺の3次元流体場の計算を行った。計算条件として、水深は70cm、一様流の流速は25cm/sと固定した。長さスケールを構造物幅とすると、構造物の種類を図-1に、計算ケースを表-1に示す。二柱式、円柱、四角柱の3タイプとし、構造物と流れの作用角度を変化させた。喫水深は50cmと固定した。なお、構造物幅を代表長さとしたレイノルズ数は約 10^5 のオーダーとなる。計算グリッドの形状の代表例として、二柱式のものを図-2に示す。非構造型グリッドの利点を活かして、流れの剥離領域が重点的に高解像になるようにグリッド生成を行った。

計算条件設定上の問題として、構造物表面の水理的条件が上げられる。当初、構造物がコンクリート仕上げであることを考え、表面条件を滑面とした計算を実施したものの、構造物からの流れの剥離が遅れ、構造物背後の流れ場がうまく再現できなかった。そこで、表面条件を粗面として流れが剥離しやすい状況の計算を行った結果、剥離位置や構造物背後の流れ場が現実的な状態で再現できた。そこで、本検討では、構造物表面を粗面として計算することとした。この点については、構造物近傍の計算グリッドや乱流モデルの修正が今後の課題として残された。

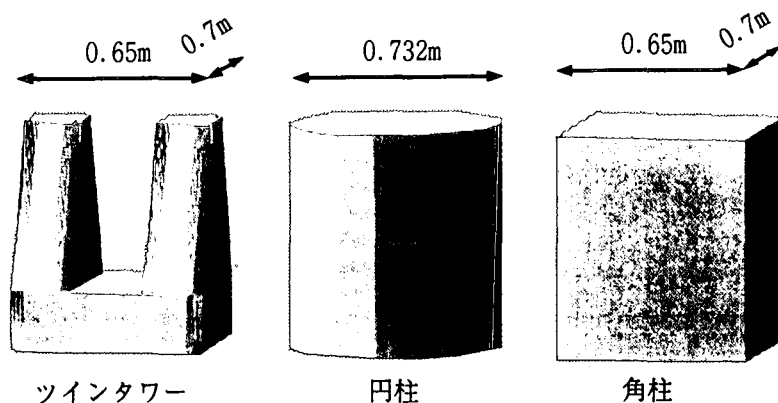


図-1 構造物の種類

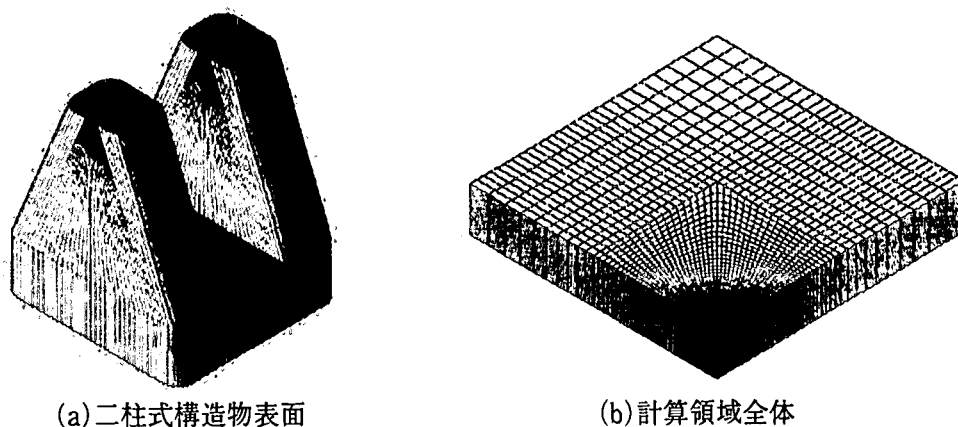


図-2 非構造型計算グリッドの形状

表-1 計算条件

構造物の種類	二柱式	円柱	四角柱
潮流作用角度 θ (度)	0, 45	-	0, 30
流速 u (cm/s)		25	
喫水 h (cm)		50	

3. 数値シミュレーションの結果

(1) 流速分布

水深25cmの水平面における構造物周辺の流速分布を図-3に示す。円柱のケースでは、円柱背後で流速が大きく減少し流れの剥離が生じていることが分かる。このような流れの剥離により構造物に大きな潮流力が作用することになる。四角柱のケースでは、円柱に比べて、流れの剥離領域が大きく広がっている。よって、四角柱では円柱より大きな潮流力が発生することが理解できる。二柱式のケースでは、四角柱と同様に構造物背後で流れの剥離が生じるものの、その剥離領域は四角柱に比べてやや小さい。また、2つの柱の中央部を流れが通過するという特徴的な流速分布が見られる。

(2) 潮流力

各構造物の潮流力を潮流作用角度別に水理実験結果¹⁾と本計算結果とで比較してものを図-4に示す。図には潮流方向成分の抗力係数 C_D と、潮流方向に対して直角成分の揚力係数 C_L を比較した。 C_D 、 C_L は次式で定義した。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_x u |u| \quad (1)$$

$$F_L = \frac{1}{2} \rho C_L A_y u |u| \quad (2)$$

ここで、 F_D は潮流方向に作用する力、 F_L はそれに直角に作用する力である。また、 A_x 、 A_y は、潮流方向、潮流方向に対して直角方向への投影面積である。 u は流速、 ρ は海水の密度である。

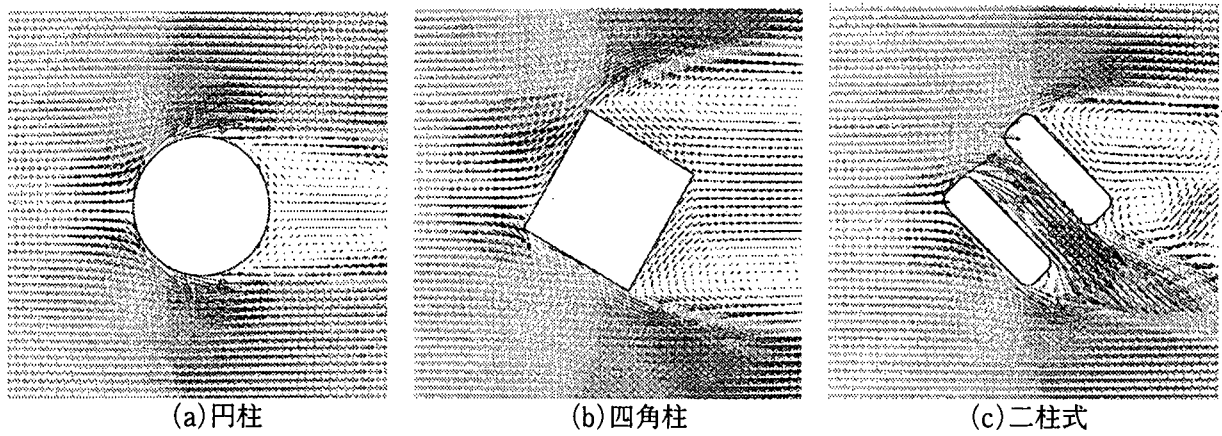


図-3 各構造物周辺の流速分布（水深25cmの水平面）

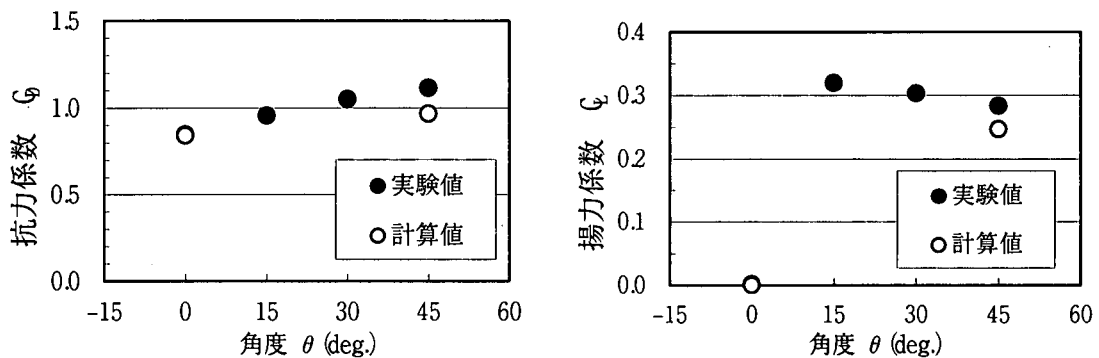
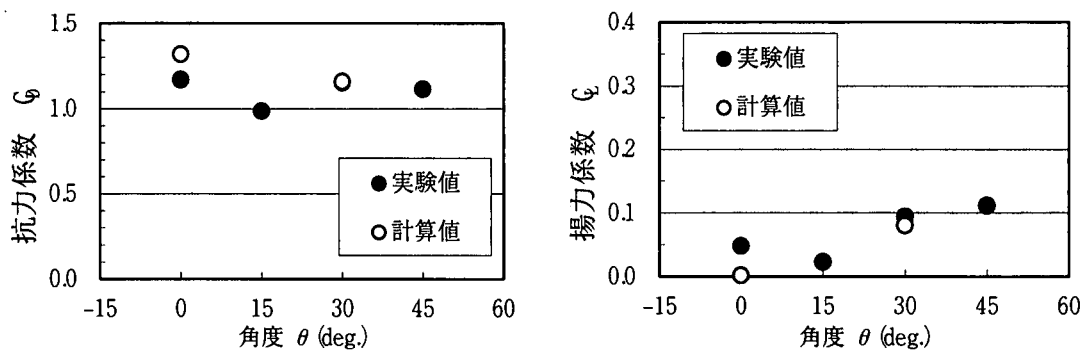
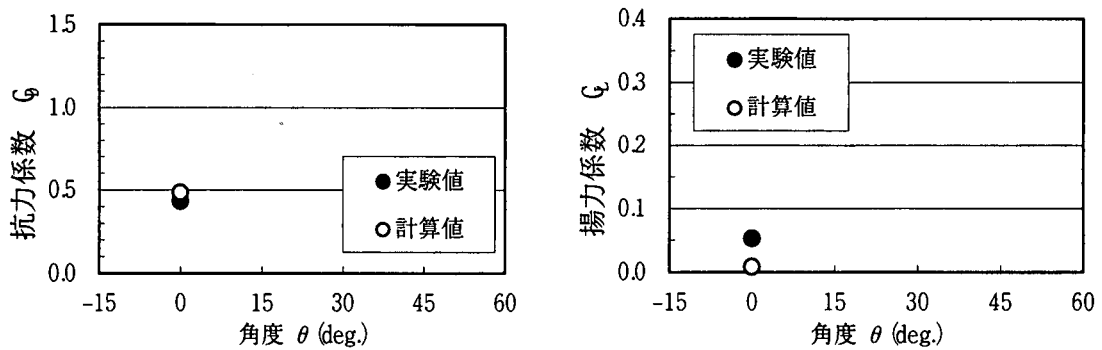
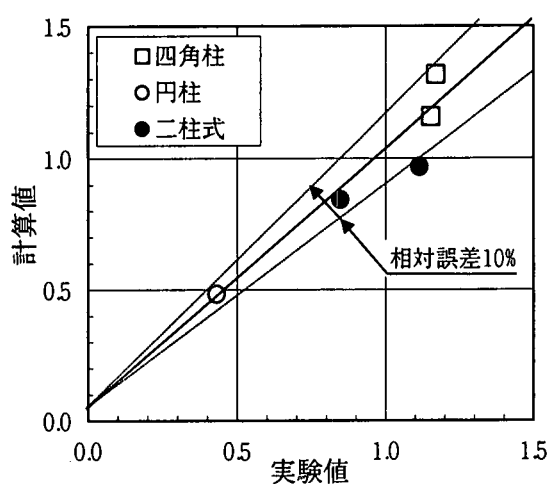
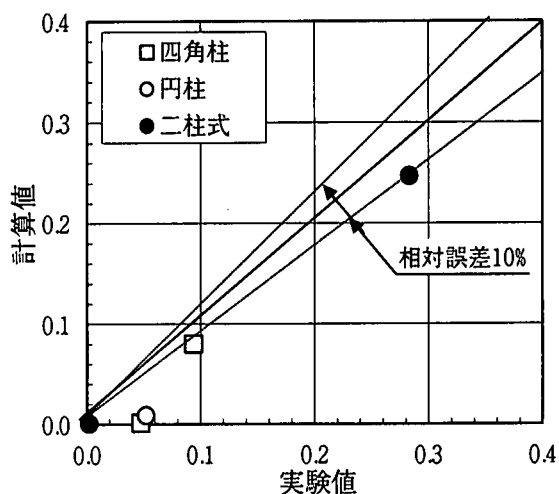


図-4 潮流作用角度による抗力係数と揚力係数の比較



(a) 抗力係数 C_D



(b) 揚力係数 C_L

図-6 潮流力の計算値と実験値の比較

四角柱の場合、計算値・実験値ともに、潮流角度が増加するにしたがって、 C_D は減少傾向、 C_L は増加傾向にある。また、二柱式の場合も、計算値・実験値ともに一致度が高い。以上より、 C_D 、 C_L の変化傾向や絶対値ともに、計算値と実験値の一致度は良好と言える。

全計算ケースについて、抗力係数 C_D 、揚力係数 C_L を計算値と実験値で比較したものを図-5に示す。検討ケースが少ないものの、全ケースで相対誤差は10%以下となった。本数値シミュレーションによる潮流力算定は実用レベルで有効と考えられる。

4. まとめ

本検討より、数値シミュレーションにより橋梁下部工の潮流力が誤差10%以下の精度で算出できることが明らかになった。よって、本手法は構造形式の

選定などの初期検討段階において有効なツールとして活用できると考えられる。今後の課題としては、構造物の表面条件の設定、数多い検討ケースでの計算精度の検証などが上げられる。

謝辞

本数値シミュレーションの実施において、当社技術研究所建築環境部の小野浩史氏の支援を得た。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 織田幸伸・東江隆夫・池尻一仁・尾高義夫：二柱式橋梁下部工が沈設時に受ける潮流力に関する水理実験，海洋開発論文集，Vol.14，pp.299-304，1998.
- 2) STAR-CD Manuals Version 2.2, Computational Dynamics Limited, London, 1993.