

## 千代田実験水路における通水実験に対する 3次元数値解析による検討

愛知工業大学 工学部都市環境学科 正会員 赤堀良介  
(独) 土木研究所 寒地土木研究所 正会員 柿沼孝治

### 1. はじめに

千代田実験水路は、帯広市近郊の十勝川千代田新水路に設置された日本最大規模の実験水路であり、全長1300m、幅30mの規模を有する。この実験水路を用いて、2012年6月28日と7月24日に移動床実験が行われ、直線水路における実河川スケールでの河床波の形成状況が確認された。本研究では、この実験時の河床形状と水理条件を用いた3次元数値計算を行い、通水中に形成された河床形状と、それがもたらす流れの構造への影響を検討した。

### 2. 実験概要

実験では水路の中央を矢板で区切り、全幅での実験より規模を縮小させている。その平面と断面を図-1に表す。図-1に示すように、左岸側は矢板で形成され、右岸側は護床ブロックが設置された1:2の法面となっている。河床は通水前の平均粒径で10.4mm程度の材料で覆われ、通水中上流端からの材料の供給は行われなかった。初期の河床勾配は1/500である。実験ではADCPによる流れの測定をはじめ、マルチビーム測量による定期的な河床形状の面的計測や、水位、濁度、PIVによる流れ場の計測等が行われた。本稿では6月28日の実験について取り上げるが、このときには実験開始より90分程度で最大流量の60m<sup>3</sup>/sまで流量を増加させ、その後6時間流量を維持した後、30分かけて徐々に通水を停止した。流量調整は千代田新水路分流堰のゲート操作によって行われた。既報<sup>1)</sup>に示すように、実験開始から200分程度までに河床波が十分に発達し、図-2に例を示すような左右非対称な河床波の形成が見られた。左岸の矢板側と右岸の護岸側では流れの構造が異なる事が推測され、河床波の波長も大きく異なる結果となっている。このため、以降の検討では便宜的に左岸側と右岸側にそれぞれL測線とR測線という測線を設定し、検討を行った。

### 3. 数値解析の概要

通水開始から390分後にマルチビーム測量により計測された河床形状を、iRIC<sup>2)</sup>のプレ処理機能を用いて格子上的標高データに展開し、その結果から $\sigma$ 座標系による3次元構造格子を作成した。本計算では、河床波が発達した状況における流れ場の構造自体に検討の主眼を置き、底面の条件は固定床とした。流量は通水前の断面を仮定した浮子観測による概算値である66m<sup>3</sup>を一定流量として上流端より与え、下流端は開放条件

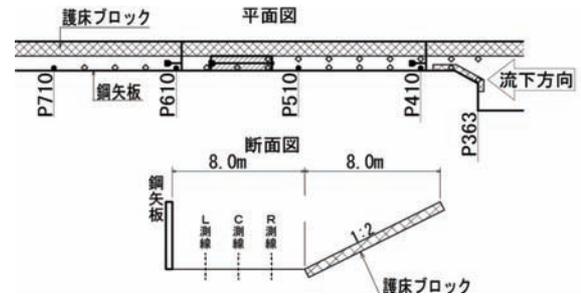


図-1 千代田実験水路における2012年通水実験時の平面と断面の設定状況

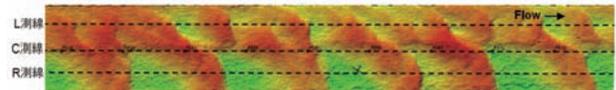


図-2 通水開始から330分後の河床形状の様子。P530m-P580m区間に対するマルチビーム測量結果による

とした。水面はrigid-lid条件による一定値として与え、3m程度の水深となるよう水位を与えた。流下方向、横断方向の急激な格子変形を避けるため、矢板による凹凸と護床された法面の形状は、計算セルのマスキング処理によって与えた。3次元数値計算モデルとしてはSmagorinskyモデルを用いたLarge Eddy Simulation (LES) モデルを適用し、非定常な流れ場の計算を行った。格子数は流下方向に300、横断方向に62、鉛直方向に30であり、等間隔に分割している。河床面における凹凸による形状抵抗に関しては $\sigma$ 座標系による境界適合座標によって解像しているが、摩擦抵抗に相当する部分は粗度高さを0.01mと仮定し、壁法則として与えている。

### 4. 実験結果

数値計算結果の時間平均値をR測線上で抽出し、実験開始から400分後のADCPによる流速分布の結果と比較する事で、本研究における数値計算の適用性について検討する。図-3はADCPにより得られた観測値と、LESによる数値計算結果の時間平均値の鉛直方向流速分布を、R測線上の河床形状と対応させて示したものである。この結果より、LESによる数値計算結果が精度良く流れの空間的な分布を再現している事が確認された。特に552m点のように上流側に鋭角的な河床波を有している場合の剥離の影響を受けた鉛直分布が、計算結果では良く再現されている。

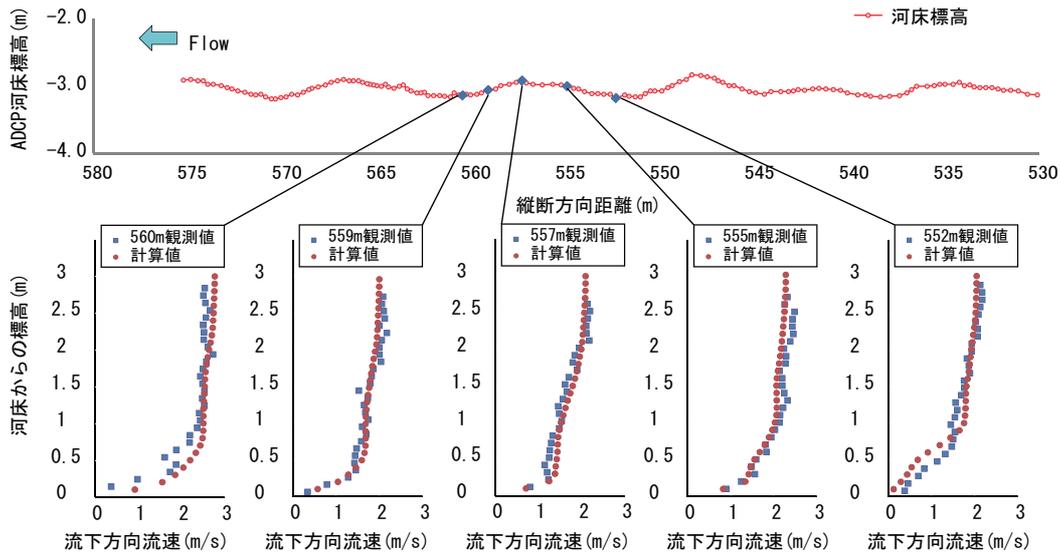


図-3 流下方向流速分布の ADCP による観測値と LES による計算値の比較

図-4 は計算結果の瞬間値を  $\lambda_2$  法により可視化したものであり、白い等値面が渦の回転の中心を示していると考えられる。流れの構造は河床形状が示すように左右岸で大きく異なる。図-4 中の赤い円が示すように、右岸側の河床波が長い波長で発達した領域では、底面近傍から馬蹄渦状の構造が生じている事が確認される。これらは河床波に関する既往研究（たとえば瀬津ら<sup>3)</sup>）の結果に示された傾向と一致する。また左岸側では図-4 内の緑の円が示すように、水面近傍で斜め方向に回転の軸を有する 2 次流的な構造が生じている。これは矢板の抗力による流速の低下が、左岸の壁面近傍の流速分布の構造に影響を与える事から生じている 2 次流のようなものであると推測される。

鉛直方向の流れの構造を詳細に確認するため、y 軸（横断方向）周りの渦度を、R 測線、L 測線上の鉛直断面から抽出し、コンター図として示したものが図-5 である。それぞれの比較から、河床波から剥離した渦がクレストにぶつかって生じた横断方向周りの渦の輸送が、R 測線上では水面近傍まで達しているのに対し、L 測線上では逆の回転方向を持つ矢板からの 2 次流が水面近傍で発達しており、河床からの渦が水面まで達する事が出来ない状況が確認される。このような流れの構造の違いが河床形状の発達に影響を与えるかの判断については、今後の詳細な検討が必要であるが、少なくとも 3 次元の流れの構造に関しては、明瞭な差が生じている事が確認された。

5. まとめ

本研究では、2012 年 6 月 28 日に千代田実験水路で行われた実験に関し、水量と河床形状の実測値を用いて 3 次元数値計算を行い、水路内の流れの構造と河床波の関連について検討した。結果より、右岸側の河床波が長い波長を有している領域では、河床から生じた渦が水面近傍に達するのに対し、左岸矢板側の河床波の波長が短い領域では、水面近傍の 2 次流の影響を受け、河床からの渦が水面に達しない状況が確認された。

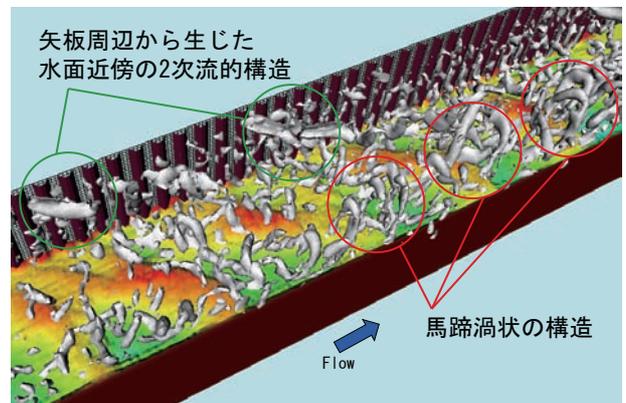


図-4  $\lambda_2$  法により可視化された流れの瞬間構造。等値面で構成された軸状の部分が渦の回転の中心を示す

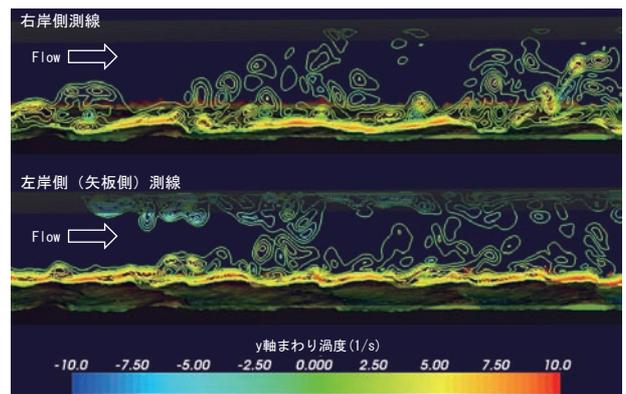


図-5 y 軸周りの渦度：右岸側 R 測線と左岸側 L 測線の比較

参考文献

- 1) 柿沼孝治・井上卓也・赤堀良介・武田淳史：千代田実験水路の移動床抵抗に関する研究，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.69，No.4，pp.1087-1092，2013。
- 2) <http://i-ric.org/ja/>
- 3) 瀬津家久・門田章宏・新橋秀樹・倉田昌明：河床波上の非定常開水路流れに発生する組織渦の可視化実験，水工学論文集，第 41 巻，pp.663-668，1997。