

非定常水路実験の水面形時系列データによる河床変動解析

中央大学研究開発機構 正会員 ○川口 広司
 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤堂 正樹
 中央大学研究開発機構 フェロー会員 福岡 捷二

1. 目的

日本海側河口域等では、洪水水位と海水水位との差が大きくなるため、洪水時の河床低下が大きくなり、河床変動を考慮しない水面形の計算には大きな誤差を伴うことになる。このため、観測水面時系列データ等から洪水時の河床変動を把握することが求められている。既往の研究では、水面形時系列データと非定常浅水流・河床変動解析から洪水時の河床変動を推定できることが示されているものの、その精度は十分に検証できていない¹⁾。本文では、移動床水路における非定常実験²⁾を対象とし、水面形の時間変化から河床変動がどの程度把握できるかを示す。

2. 水面形時系列データによる河床変動解析

既往の研究³⁾により、洪水時の河床変動の小さい緩流河川において、洪水時の水面形の時間変化と非定常浅水流方程式から流量ハイドログラフを精度良く算出できることが明らかにされている。水面形は河床面のせん断力や河床高の面的な分布による底面圧力の変化の影響を受けているので、上流境界条件において流砂量が水理量から求められる場合、水面形の時間変化に概ね一致するように粗度係数を設定すれば、水面形時系列データと非定常浅水流・河床変動解析から流量ハイドログラフと共に河床形状の時間変化が推定できる。

流れと河床変動の解析手法は、既往の研究¹⁾と同様に、基礎式はデカルト座標系の非定常浅水流方程式と流砂の連続式を用いる。掃流砂量式は芦田・道上の式、河床勾配の影響は長谷川の式を拡張した福岡、山坂の式を用いる。底面流速は一樣湾曲流での二次流を考慮した Englund の式($N_s=7$)より算出し、そこでの流れの曲率半径は清水らの式から導出する。流速と水深評価点はスタッガードに配置し、同じ時間刻みで流れと河床変動を解析した。

3. 既往の移動床水路における非定常実験²⁾と解析条件

対象とする実験は、水路延長 25m、幅 1m、河床勾配 1/100 の左岸がガラス面の移動床水路で行われた。水路の上流における計測流量に基づくバルブ制御により、ピーク流量 20L/s、通水時間 120 分の三角波形の流量ハイドログラフが 2 サイクル与えられた。水路の上流と下流には砂止めの砂利が敷かれており、通水 40~80 分後と 160~200 分後には上流で 35L/10min($=6.0 \times 10^{-5} \text{m}^3/\text{s}$)の給砂が行われた。下流端で計測された流砂量は給砂量より多く、水路全体の平均的な河床高は低下していた。河床には波長 6m 程度の交互砂州が発達した。水位と河床高の縦断分布が左岸側壁沿いで縦断 1m 間隔、10 分毎に計測された。

実験における流量計測精度は比較的高いので、上流端では流量ハイドログラフを用いて解析した。また、実験水路の上流では実験条件と同様の流砂量を与えた。解析上における流砂量の上流端境界条件は、水理量から仮に求めた流砂量分布から下流に向かって減少する三角形の流砂量分布を給砂の有無に応じて増減させて実験条件を満たし、急激な河床低下や河床上昇が発生しないようにした。縦横断のメッシュ距離は、 $dx=0.25\text{m}$ 、 $dy=0.1\text{m}$ 、時間間隔 $dt=0.1\text{sec}$ とした。交互砂州を発生させる擾乱として、初期河床状は実験の交互砂州形状を模した三角関数分布により設定した。

4. 解析結果と考察

図-1 は、解析結果における初期河床面からの河床高コンターを示している。図-2 は、左岸側壁沿いで測定された水位・河床高縦断分布を計算結果とともに示している。図-1 より、初期に与えた河床形状から通水に伴い流れに応じた交互砂州が形成されていることがわかる。図-2 の河床高縦断分布から解るように、実験結果が

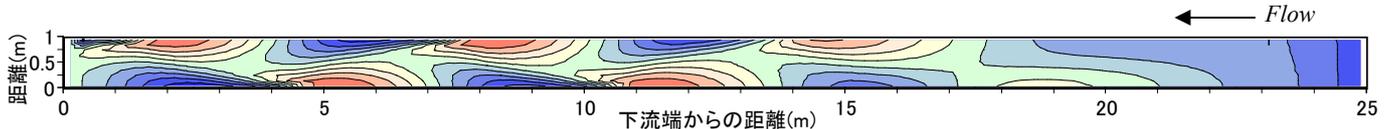


図-1 解析による初期河床面からの河床高コンター (通水 180 分後, 2 サイクル目ピーク, コンター間隔 5mm)

らわかる砂州の移動速度, 減水期の滞筋への流れの集中による河床洗掘が十分に表されていないが, 実験・解析結果ともに平均的には河床が低下し, 2 サイ

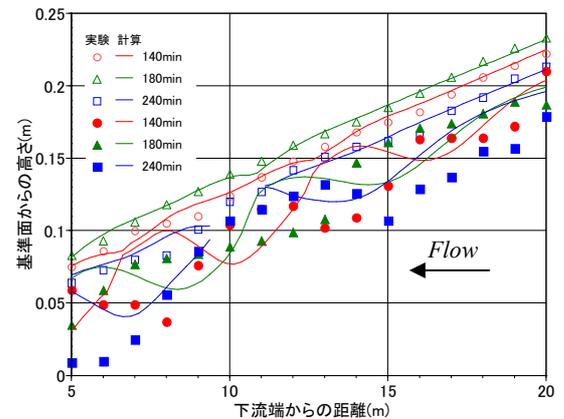
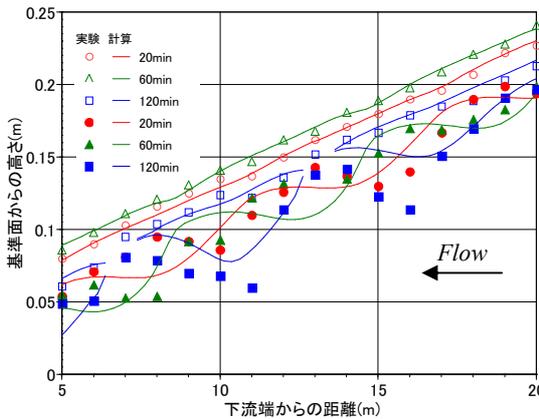


図-2 水位・河床高縦断分布 (左: 1 サイクル目, 右: 2 サイクル目)

ル目の増水期の砂州波高が 1 サイクル目より大きくなっている。一方, 左岸の平均的な水面形は概ね一致している。動的平衡状態にある河道や固定床実験における研究で明らかにされている水面勾配が増水期に急になり, 減水期に緩くなる流れの特徴は, この移動床実験と解析の結果には表れていない。流量ハイドログラフに応じて河床形状が変化することにより, 水面形は比較的平行に増減している。

図-3 は, 左岸側壁における平均水位と河床高, 水面形に一致するように設定された粗度係数の時間変化を示している。左岸側壁における平均の河床高の時間変化は, 砂州形状が異なるため定量的には合わないが, 左岸平均水位は実験全体にわたって概ね一致している。設定された粗度係数は, 砂州の発達に伴う形状抵抗の違いにより, 1, 2 サイクル目で同じ値とはならないものの, 水深が大きくなり河床の影響が小さくなっていく増水期に低下し, その逆の減水期に増加している。

図-4 は, 実験結果と解析結果の左岸平均水位-流量曲線を示している。流砂が動的平衡状態にある河道や水路では, 増水期のほうが同じ水位の減水期の時と比べて水面勾配が大きくなり流量が大きくなる。しかし, 動的にバランスしておらず, 河床が低下するこの実験水路での水位-流量曲線は, 増水期と減水期の同じ水位において河床低下により減水期の流量が大きくなり, 動的にバランスした水路とは逆の水位-流量ループを描く。

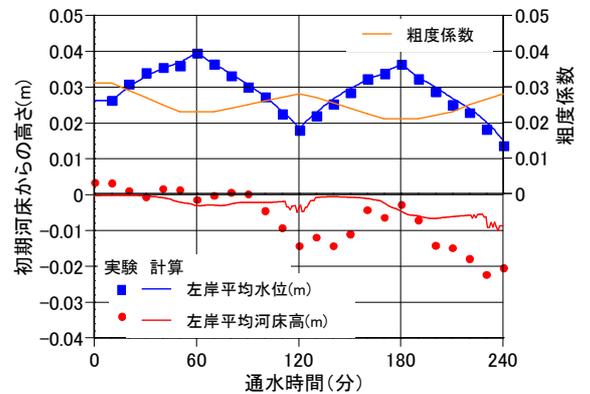


図-3 左岸平均水位・河床高と粗度係数の時間変化

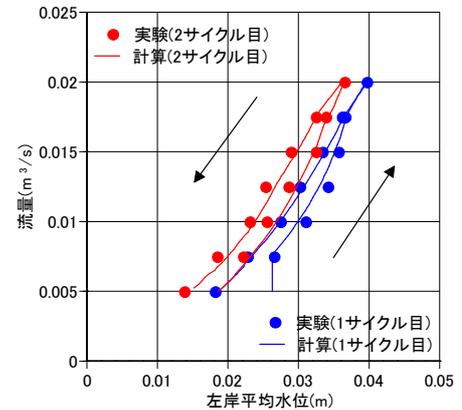


図-4 左岸平均水位-流量曲線

5. まとめ

水面形の時系列データと非定常浅水流・河床変動解析から, 河床が低下する非定常移動床実験において, 平均的な河床変動の傾向, 水位-流量曲線が動的平衡状態の場合とは逆にループする平均河床の低下による流れの特徴を把握することができた。

参考文献: 1) 川口・福岡・安部: 常願寺川河口部における洪水中河床変動量の推算と河口部計画の改善策, 河川技術論文集 第 12 巻, pp.79-84, 2006, 2) 藤堂・福岡: 先鋭な洪水ハイドログラフの流下に伴う水位と砂州河床高の時間変化特性, 水工学論文集 第 48 巻, pp.1015-1020, 2004, 3) 福岡・渡邊・原・秋山: 水面形の時間変化と非定常二次元解析を用いた洪水流量ハイドログラフと貯留量の高精度推算, 土木学会論文集, No761/II-67, pp.45-56, 2004