

段波通過時の透過性水制周辺の液状化と洗掘特性

岡山大学大学院博士前期課程 学生員 ○上間 矢次

岡山大学大学院博士後期課程 学生員 Tomasz Mioduszewski

岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗

1. はじめに

水制は、その水はねと流速低減効果により洪水流を制御し、堤防への衝撃を緩和するために設置される水理構造物である。さらに、川の流れを多様に変化させることも可能であり、豊かな景観を創造することができる水制は、近年の多自然型の川づくりが叫ばれる中で重要な存在である。一方、水制先端部の河床で洗掘が生じ、水制そのものが流失してしまうという欠点もある。しかし、河床の洗掘を考慮した具体的な水制の設計法は未だ確立しておらず、経験則に依存しているのが現状である。これまでも水制周辺の洗掘に関わる水理特性を明らかにするために多くの実験がなされているが、その殆どが不透過性水制を対象としたものである。そこで、本研究では、透過性水制モデルを用いた実験を行い、その周辺の水理特性を明らかにしようとするものである。

2. 実験概要

実験水路の寸法と水制の寸法・設置位置は図-1、2 に示すとおりである。透過性水制は目の粗いメッシュと細かいメッシュの二重構造になっており、その中に平均粒径 1.9cm の石を詰める。間隙水圧計測ポイントは図-3 に示すように、水制先端部の列を H、上流部の列を U、下流部の列を D とし、上から順に 1~4 を添える。さらに上流、下流部では水制先端側の列に H、水路側壁側に W を番号の前に加え区別する。実験条件は表-1 に示ように、20l/s の定常流を 2 時間通水するケースを Case 1、上流側にゲートを設置し、それを一気に引き上げて正の段波を発生させるケースを Case 2、下流側のゲートを一気に下げて負の段波を発生させるケースを Case 3 とし、間隙水圧、洗掘深、図-4 に示すポイント A、B における x （流下方向） y （横断方向） z （鉛直上向き）の三次元流速を計測した。

3. 実験結果及び考察

(1) 洗掘 洗掘は水制上流側の先端部で、砂が巻き上げられるようにして始まる。定常流のケースでは水制近辺でのみ砂の動きが見られるが、段波のケースではピット内広域に及んで砂が掃流される。洗掘された砂は水制より下流側 40~50cm の所に堆積する。図-5 に Case 2 の最終洗掘深を示す（単位は cm）。水制先端部で洗掘深が最大になるという傾向は、全てのケースで共通である。Case 2 の洗掘はゲート開放約 15 秒後、Case 3 では約 20 秒後に収まる。なお、実験した 3 ケースの中で、Case 2 の洗掘深が最大であった。

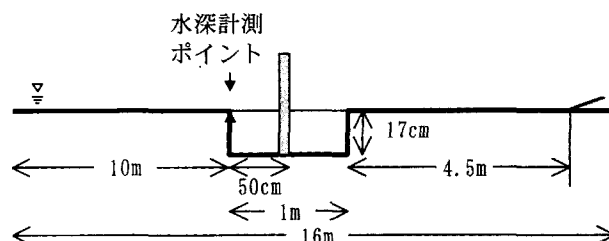


図-1 実験水路

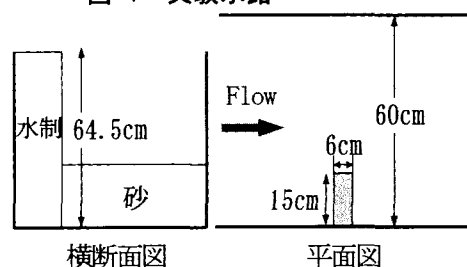


図-2 水制設置状況

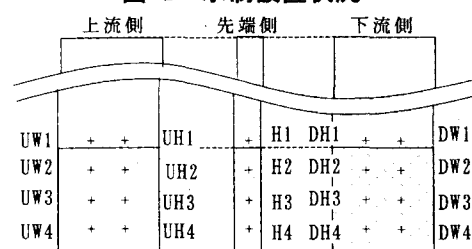


図-3 間隙水圧計測ポイント

表-1 実験条件

	Case 1 (定常流)	Case 2 (正の段波)	Case 3 (負の段波)
流量	20l/s	5l/s	5l/s
水深	11cm	30cm (ゲート高)	30cm
通水時間	120分	90秒	90秒

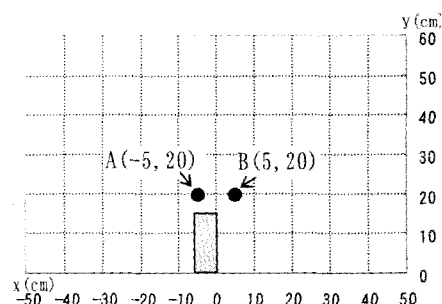


図-4 流速計測ポイント

(2) 間隙水圧 図-6 に、各ケースで計測した変動水圧のうちの、洗掘が最も大きかった水制先端側 (H 列) の幾つかを示す。Case 1 では図に示す H3 と同様に、いずれのポイントにおいても水圧が殆ど変動しない。Case 2 では水制に段波が衝突した瞬間に水圧が急上昇するが、Case 3 では減少する。Case 2, 3 とともに H3 の水圧の方が H1 より大きくなっており、ポイント H3 で過剰間隙水圧が発生するということを示している。過剰間隙水圧は、後述の有効応力を減少させることが従来の研究¹⁾で明らかになっている。

(3) 有効応力 図-7 に、Case 2 の間隙水圧計測ポイント H 列における無次元有効応力を示す。過剰間隙水圧の発生により、ポイント H2 と H3 で液状化が生じていることがわかる。各ポイントで液状化が生じてから、それぞれのポイントが水中に出現するまでの時間は H2 が 1.46 秒、H3 が 2.6 秒と極めて短い。Case 3 でも同様に、各ポイントが液状化してから水中に出現するまでの時間は短い。

(4) 流速 図-8 に Case 2, 3 のポイント A (最大洗掘深が生じる点) における流速を示す。最も洗掘が著しい、ゲート開放から数秒間の z 方向の流速に注目すると、Case 3 ではほぼゼロであるが、Case 2 では鉛直下向きに激しく流れていることがわかる。この流れが砂地盤の液状化と同時に生じることによって砂を巻き上げ、さらに洗掘を促進していると考えられる。このことが、行った3つのケースの中で Case 2 の洗掘が最大になる原因の一つと思われる。

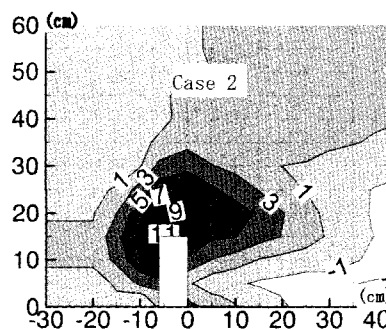


図-5 最終洗掘深-Case 2

4. 結論

定常流、段波を含む流れ、いずれのケースにおいても水制先端部で最大洗掘深が生じる。定常流で洗掘を及ぼす原因として、水制先端部に発生する渦を伴う局所流が挙げられる。この場合、間隙水圧に変動がないため有効応力の変動は洗掘の原因でないと思われる。段波を含む流れにおいては、液状化が生じてからそのポイント

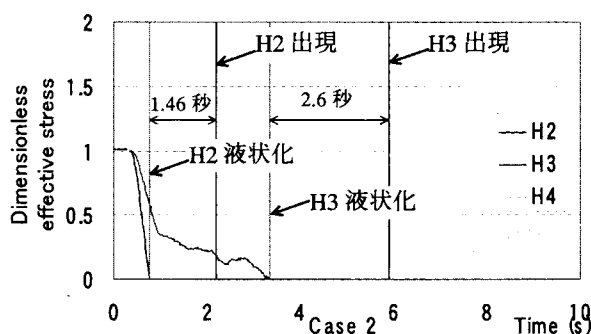
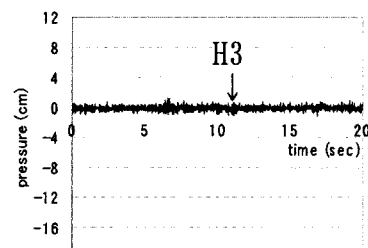
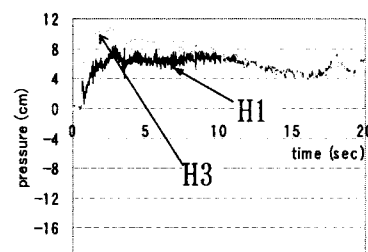


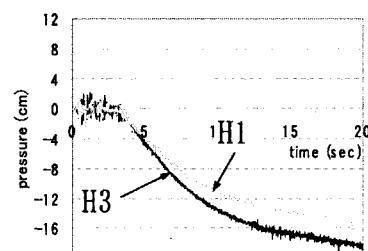
図-7 無次元有効応力-Case 2



Case 1 洗掘開始120分後

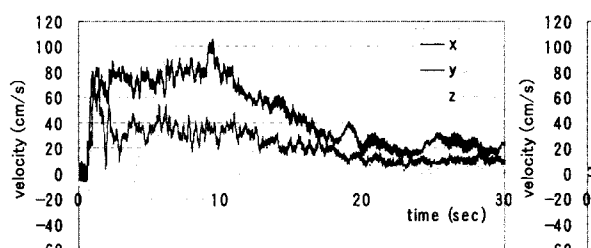


Case 2 洗掘開始直後

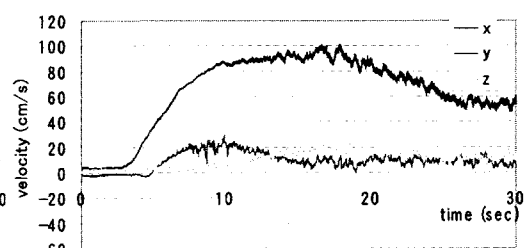


Case 3 洗掘開始直後

図-6 変動間隙水圧



velocity at point A-Case 2



velocity at point A-Case 3

図-8 流速-ポイント A

トが現れるまでの時間が短いため、有効応力の減少が洗掘を促進させる原因の一つと思われる。

とくに、正の段波のケースでは、水制先端部で鉛直下向きの激しい流れが地盤の液状化と同時に生じ、さらに洗掘を容易にする。

【参考文献】

- 1) 名合宏之 (1982) : 変動水圧における砂層の液状化に関する研究, 水理講演会論文集, 第 26 巻, pp.589-594