急流河川を対象とした河床変動センサーの開発に関する研究

国土交通省四国地方整備局徳島河川国道事務所　正会員　○新見健吾
広島大学大学院工学研究科　フェロー会員　河原能久

１．研究の背景・目的

近年，全国各地で河川やそれに隣接する道路の被災が相次いで発生している．広島県においては平成 17 年台風 14 号，平成 18 年台風 13 号によって太田川支川の中小河川を中心として甚大な洗掘被害があった（**写真 1**）．河川の護岸設計法の改善が求められているが，それに必要な洗掘位置や洗掘深の測定データが無く，定量的な解析ができない状況にある．また，洗掘深の測定技術の開発が全国的に進められているが，まだ課題を抱えるものが多い．

写真 1 平成 18 年台風 13 号による洗掘被害状況（広島市水内川）

一般的に，洗掘は洪水の上昇期に進行し，減衰期に河床は埋め戻される．洪水時には流速も大きく多量の土砂が移動するため，水中にセンサーを設置して測定することは困難である．また，急流河川では河床材料の粒径が大きいため，洪水後に河床を掘り起こして埋め戻し量を測定することも難しい．このため，巨礫が移動する急流河川に適用できる洗掘深測定技術の開発が求められている．そこで本研究では，洗掘深を洪水中にわたり連続的に測定でき，急流河川の護岸設計法改善に役立てることができる測定器の開発を目的とする．

２．洗掘深センサーの概要

洗掘深の調査はこれまで，河床にあらかじめレンガブロックを重ねて埋め，出水後にその地点を掘り起こし，ブロックの残量から最大洗掘深を把握するという方法がとられていた．しかし，この方法では洪水中の洗掘深の時間的変化は確認できない．また急流河川は河床材料の粒径が大きいため，データを回収する度に河床を掘り起こすのは極めて大きな労力を必要とするという問題がある．他に様々な計測法が考えられているが，現在のところ計測の可能性やコスト等の課題も多い．

そこで本研究では，急流河川における洗掘深を洪水中に連続的に測定して随時データを確認でき，巨礫の衝突にも耐えられるセンサーの開発を目的とする．また多くの個所に設置できるよう製作に掛かるコストを抑え，将来的には設置後の動作確認や電源の切り換え，データ取得等を無線通信で行うことを目標としている．

本研究の洗掘深計の概念を**図 1** に示す．洗掘深計は上部のセンサー部とセンサー下部の計測・通信部から成る．センサー内部に抵抗器を取り付けたブロックを，並列回路となるように接続し，センサー下部の抵抗器 r_w にかかる電圧の変化を検出することにより洗掘深の時系列データを得る．

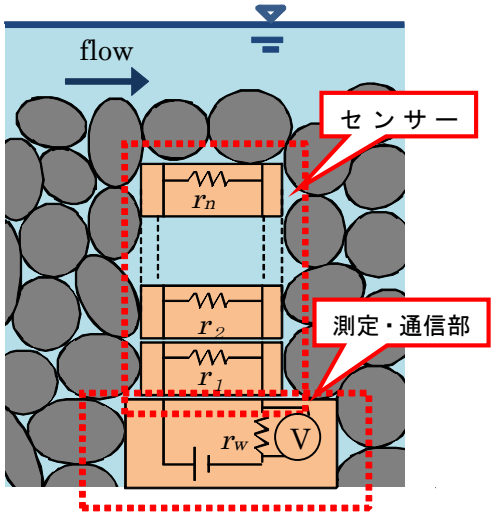


図 1　センサーの概念

３．水理実験による円柱形ブロックの移動限界の算出

ブロックの流失により洗掘深を決定するためにはブロックの流失高さが河床高の低下に追随するようにブロックの諸元を決定することが必要である．そこで，円柱形ブロックを対象としてその移動限界の算定式を水理実験から導いた．

実験では水路幅 0.2 m, 全長 6 m, 河床勾配 1/10 の直線水路に，

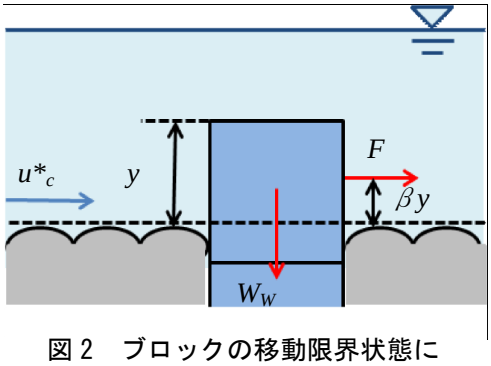


図 2　ブロックの移動限界状態における抗力

平均粒径 2.3 cm の礫を敷き詰めその中に円柱形ブロックを設置した．流量 40 ℓ/sec を流し，ブロックが流失した時の上下流水位，水深，流量から底面せん断力を算出した．ブロックの大きさは礫の平均粒径に近い直径 3.2 cm，高さ 3.0 cm とし，重量を変化させながら実験を行った．実験結果より，円柱ブロックが河床材料と同じように移動するために満足すべき式として次式を得た．

$$\frac{W_w \tan\phi}{bk\dfrac{\rho u_{*c}^2}{2}} = C_D \frac{y}{k}\left(\frac{1}{\kappa}\ln\frac{\beta y}{2.5d} + A_r\right)^2 \qquad (1)$$

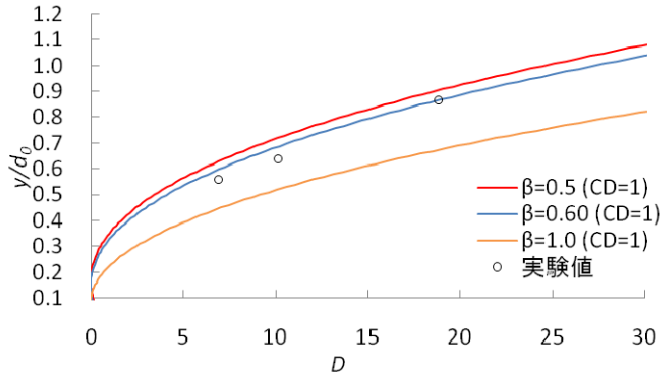


図 3　ブロック諸元の算定式と実験値

ここで，図 2 に示すように，W_W：ブロックの水中重量，b：ブロックの直径，k：ブロックの高さ，C_D：抗力係数（=1.0），y：河床面からブロック上面までの高さである．また図 3 より β（ブロックに流速が作用する位置を示す係数）=0.60 と求められた．

４．現地用センサーの試作と河川への設置

実際の河川でのセンサーの挙動を確認するため現地用センサーの試作と広島県水内川への設置を行った．制作したセンサーを写真 2 に，内部構造を図 4 に示す．ブロックは塩化ビニル製で，直径 11.2 cm，高さ 5.0 cm の円柱形とした．電極にはステンレス板(2.5×3.0 cm)を用い，内部回路の接合ははんだ付けにより行った．

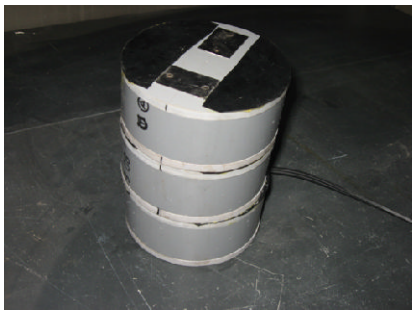


写真 2　現地観測用センサー（センサー部）

2008 年 7 月に，小規模の出水時でも洗掘が期待できる橋脚の周り 3 ヶ所にセンサーを設置した．センサーの設置状況を写真 3 に示す．しかし，設置期間中に目立った出水が発生せず，ブロックは流失しなかった．ただし，データを確認したところ，正しい計測ができていない例があることが判明した．回収後にブロックを調べたところ，センサーの不備として，電極間の接触不良，電極と導線の接合部の不良，ブロック内部への浸水が確認された．

５．水理実験による小型センサーの挙動確認

現地観測により見つかったセンサーの不備を改善し，水理実験によりその有効性を調べた．改良したセンサーは実験水路に合わせて小型化し，直径 1.5 cm，高さ 1.5 cm とした．制作した小型センサーを写真 4 に示す．改良した点として，ブロック本体を塩化ビニル製からセメント製に，電極の形を平板型から凹凸型に，電極と導線の接合部をはんだ付けから圧縮工具を用いた接合に変更した．

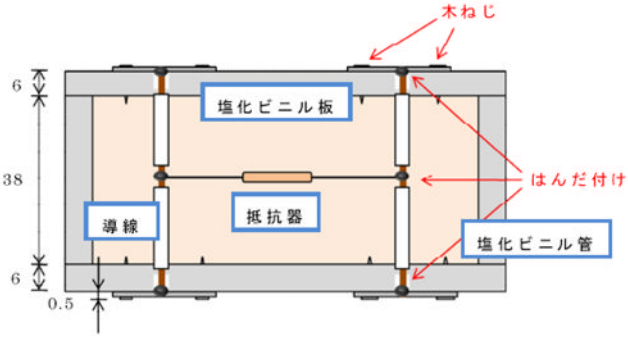


図 4　ブロックの内部構造（単位：mm）

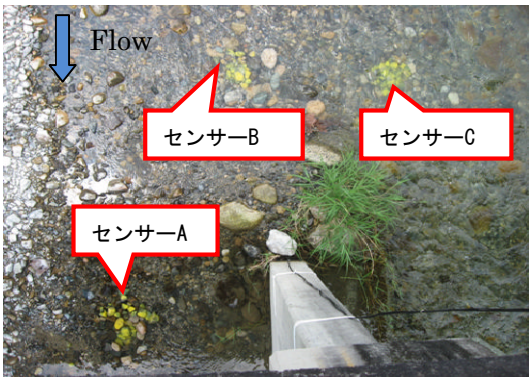
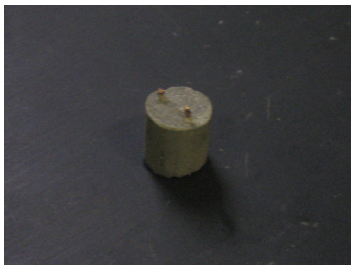


写真 3 センサーの設置状況

（a）ブロック上面



（b）ブロック下面

写真 4　小型センサーブロック

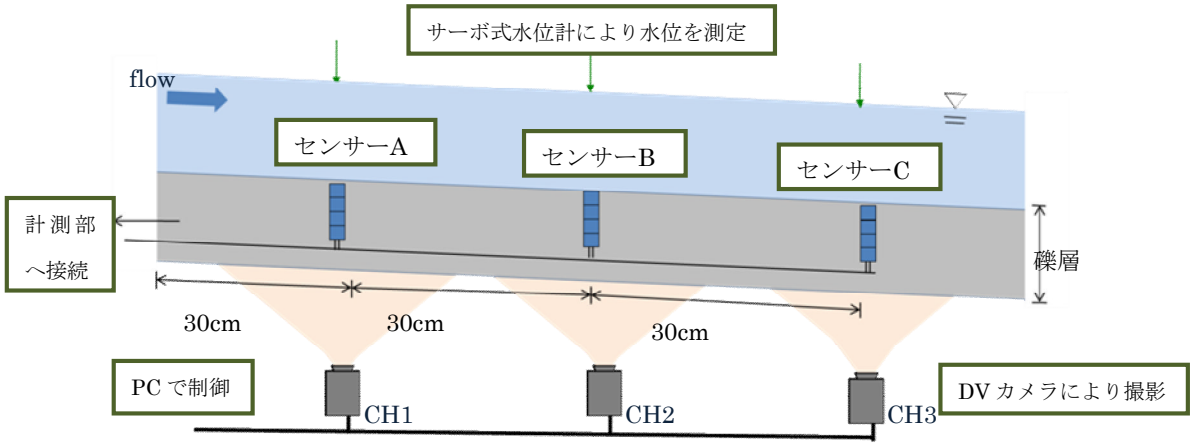


図 5　河床変動実験の概要

水理実験では，**図 5** に示すように，水路幅 0.1 m，河床勾配 1/50 の直線水路に平均粒径 0.9 cm の礫を敷き詰め，その中の 3 ヶ所に改良した小型ブロックを設置した．流量 9.8 ℓ/sec を流し，サーボ式水位計により水位を計測し，デジタルビデオカメラにより 1 秒間隔で連続写真を撮影して河床変動とブロック流失の様子を観察した．**図 6** に各センサーの測定値を示す．実験結果より，センサーの電圧が変化した時間と，連続写真から判定したブロック流失時間が，一致しており，凹凸型電極を持つ小型センサーの有効性が示された．

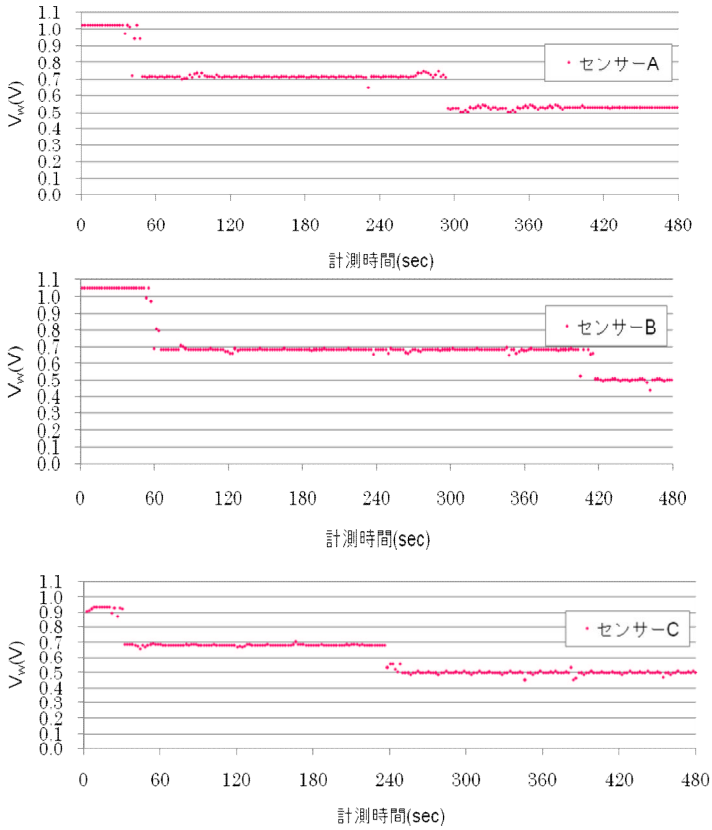


図 6　小型センサーの測定値

6．結論と今後の課題

急流用の洗掘深センサーの開発に向けて次の知見を得た．

1) 水理実験より，円柱形ブロックが河床低下に追随して流失する際のブロック諸元の算定式を求めた．
2) 計測ブロックの電極同士の接触不良や，ブロック内部の配線の接続不良への対策として，新たなブロックの接続方法と製作方法を提案し，水理実験によりその有効性を示した．

今後の課題として，実河川用のブロックの電極部の直径や突起の長さの決定やブロックの強度の確保やブロックの内部回路の浸水対策等が挙げられる．