急変流による護床ブロック群の破壊条件についての考察

新潟大学大学院自然科学研究科　学生会員　○梅木 康太朗
新潟大学災害・復興科学研究所　正会員　安田 浩保
新潟大学災害・復興科学研究所　正会員　五十嵐 拓実
新潟大学大学院自然科学研究科　学生会員　齋藤 選

1.　はじめに

富山県東部を流れる黒部川の河口から 13.0km 地点の愛本床止工において，平成 23 年 6 月の出水により護床ブロックが激しく流出する被害が出た．この愛本床止工は，国内有数の急流河川である黒部川の扇頂部かつ流れの急変部に設置されている．扇頂部は勾配の変化点であり，狭窄部で急激に流れが激しくなることから，愛本床止工付近は河床洗掘が非常に発生しやすい．そのため，河床洗掘を防止する床止工は，黒部川の治水において非常に重要な構造物である．平成 23 年の被災では，愛本地点の計画高水流量の 2 割以下の流量にも関わらず，護床ブロックの破壊が生じた．被災時の流量は年に一度程度の頻度で発生するものであるが，このような低流量による護床ブロックの破壊条件は現在でも明らかにされていない．

三輪ら [1] や鈴木ら [2] は河川内横断構造物の急変流における破壊の対策に関する模型実験を実施し，洗掘の防止策やその軽減効果について検討をした．しかし，洗掘の防止策や軽減効果は得られたものの，水深や河床の洗掘量といった具体的な物理量の計測が行われていない．そのため，破壊の力学機構やその破壊過程は明らかにされていない．

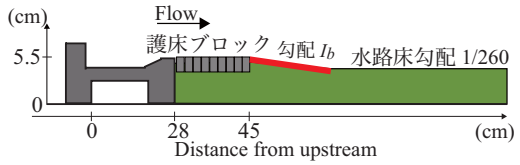
本研究では，急変流による護床ブロック群の破壊条件を明らかにするために，模型実験を実施し，計測値を用いて破壊条件について考察した．

2.　模型実験

(1)　実験概要

黒部川の愛本地点における計画高水流量は 6500m^3/s である．愛本床止工も，愛本地点の計画高水流量に耐えうる設計がなされているが，この構造物が計画高水流量の 2 割程度の洪水で被災した．このことから，平成 23 年の被災の前後で愛本床止工周辺で環境の変化が生じ，それが原因となって，低流量による構造物の破壊が発生したと考えられる．

愛本床止工の直下流の平均河床高は愛本床止工の被災前の平成 2 年から平成 22 年までの 20 年間に 2m 低下したことを報告されている．[3] このことから，愛本床止工の低流量による被災は，護床ブロック直下流に発生した洗掘により，護床ブロック直下流がの勾配が竣工直後よりも急勾配となり，この区間で局所的に掃流力が増加したためにブロックが流出したことが推察される．



図–1　床止工及びブロック下流勾配の模式図

(2)　実験条件

本研究では，急変流による護床ブロック群の破壊条件を明らかにするために，愛本床止工を模した簡易床止工を実験水路に設置し，愛本床止工直下流に発生した勾配を模して簡易床止工直下流に**図-1** の赤線で示した場所に 3 パターンの勾配 I_b を設けて実験を行った．

模型実験に用いた水路は，全長 12.0m，流路幅 45.0cm，水路勾配 1/260 の直線水路である．上流端から 2.4m の位置に幅 45cm，流下方向の長さ 37cm の簡易床止工と縦 1.5cm，横 2.0cm，高さ 1.2cm の護床ブロックを床止工直下流に 9 列設置し、ブロック直下流から水路下流端までには平均粒径 0.76mm の 4 号硅砂を敷き詰めた．

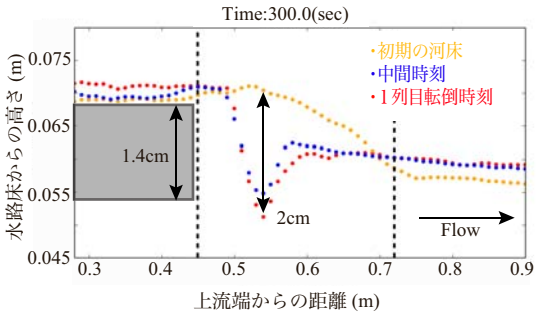
水理条件は，愛本床止のフルード数と川幅水深比の二つの無次元数を合わせて設定した．**図-1** では床止工およびブロック下流勾配の模式図を示した．赤線で示した勾配 I_b は，平成 22 年時点の黒部川愛本床止直下流の河床勾配よりも急勾配の条件 (以下，急勾配条件)，愛本床止直下流の河床勾配と同様の条件 (以下，中勾配条件)，愛本床止直下流の河床勾配よりも緩勾配の条件 (以下，緩勾配条件) の 3 つのケースを想定した．ブロック間隔は 0.5mm に設定しブロック下流端と河床は段差が生じないように滑らかに接続した．流量は，実河川での洪水を想定し，3 つの流量 0.8 L/sec，1.2 L/sec，1.6 L/sec を各勾配の実験の中で低流量から徐々に増加させる非定常な条件とした．通水時間は，一定流量を 4 分間通水した後，1 分間で流量変更を行い，合計 15 分間通水を行なった．計測方法は，Stream Tomography[4] を用いて，12 秒毎に底面を計測した．

(3)　護床ブロックの流出とブロック下流の勾配の関係

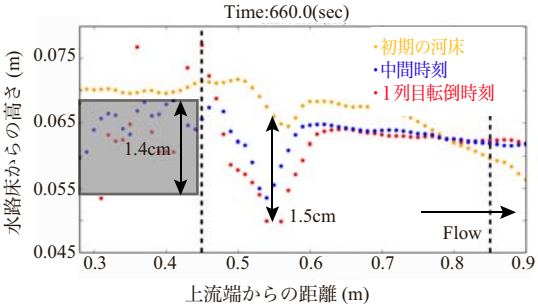
ST で計測された初期底面からの底面位変動量の川幅方向の中間の縦断図を**図-2** に示す．**図-2** の **a** は急勾配条件の最下流ブロック転倒時刻の縦断図，**b** は中勾配条件の最下流ブロック転倒時刻の縦断図，**c** は緩勾配条件の最下流ブロック転倒時刻の縦断図を表している．図の灰色ので示した箇所は初期にブロックが配置されていた箇所を示している．また，図中の黄点が初期の河床位，赤点が最下流ブロック転倒時刻の河床位，青点が 2 つの中間時刻を表している．**図-2** をみると，いずれの条件に

Key Words: 急変流, 護床ブロック, *Stream Tomography*
〒 950-2181 新潟市西区五十嵐 2 の町 8050　TEL 025-262-7053

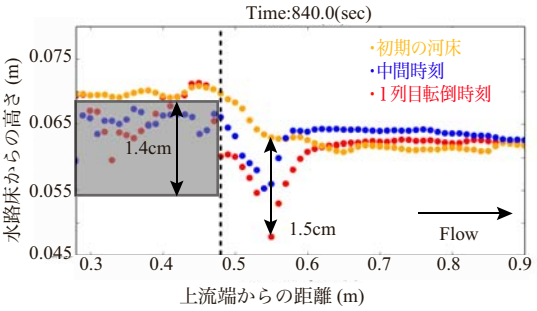
© Japan Society of Civil Engineers



a) 初期河床高からの河床変動量の縦断図 (急勾配条件)



b) 初期河床高からの河床変動量の縦断図 (中勾配条件)



c) 初期河床高からの河床変動量の縦断図 (緩勾配条件)

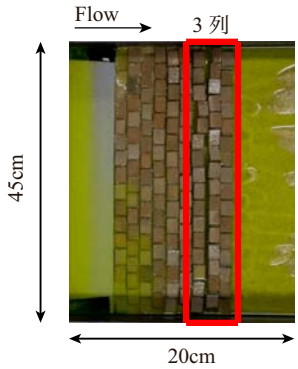
図–2 初期河床高からの河床変動量の縦断図

おいてもブロックの鉛直方向の寸法 1.4cm に対して最下流ブロック転倒時の河床洗掘量が寸法以上の値を示していることが分かった．このことから，ブロック下流の勾配によらず，ブロックの鉛直方向の寸法以上での洗掘が発生した際にブロックの転倒が発生することが示唆された．

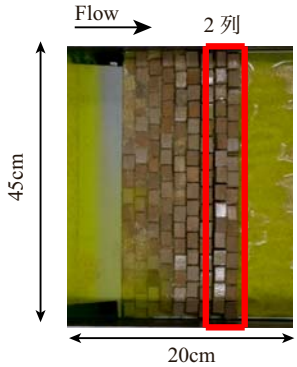
図-3 は通水終了後に真上から撮影した写真である．**a** は急勾配条件，**b** は中勾配条件，**c** は緩勾配条件の通水直後のブロックの様子を表している．図中の線で囲われた部分が転倒したブロックを示している．急勾配条件では 3 列，中勾配条件では 2 列，緩勾配条件では 1 列のブロックの転倒が見られた．この結果から，ブロック群全体の転倒列は，ブロック直下流に設けた勾配の影響を受けることが示唆された．

3. おわりに

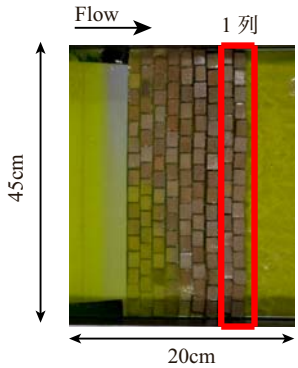
本研究では，急変流による護床ブロック群の破壊条件を明らかにするために，護床ブロック下流に勾配を設け，異なる 3 つの勾配条件で模型実験を行なった．実験の結果，最下流の護床ブロックの転倒は，ブロック直下流の



a) 通水終了後のブロック転倒の様子 (急勾配条件)



b) 通水終了後のブロック転倒の様子 (中勾配条件)



c) 通水終了後のブロック転倒の様子 (緩勾配条件)

図–3 通水終了後の護床ブロックの様子

勾配によらずブロックの鉛直方向の寸法以上の洗掘が発生した時に引き起こされることを明らかにした．また，設定した勾配によってブロック群の転倒列が異なることを明らかにした．

参考文献

1) 三輪 弋, 高井 和彦: 堰下流護床工による河床洗掘軽減効果に 関する実験的研究, 農業農村工学会論文集, Vol.271, pp.17-23 UTF201323, 2011.
2) 鈴木 幸一, 山本 裕規, 栗原 崇: 局所洗掘に有効な石礫護床工 の条件, 水工学論文集, 第 39 巻, 1995, pp.695-700.
3) 佐藤 利行, 池田 敏男, 石川 伸: 愛本床止工における災害復旧及び補修工事について, 国土交通省 北陸地方整備局 黒部河川事務所 HP
4) 星野 剛, 安田 浩保, 倉橋 将幸: 交互砂州の形成機構の解明に向けた水面と底面の同時計測手法の開発, 土木学会論文集 A2 74 巻, 1 号 pp.63-74, 2018.

© Japan Society of Civil Engineers