

堤防越流による洗掘防止用ブロックマットの実スケール水理実験

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 学生会員 ○宮川大和

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 和田 清

旭化成アドバンス(株) 建材本部環境資材事業部 関下啓誠

揖斐川工業(株)アイケイコンクリート 技術開発室 増田治雄

1. はじめに

2018年7月豪雨による記録的な大雨が広域的に生じ、西日本豪雨災害が発生した。災害区分として、洪水氾濫(治水ダムの放流, バックウォーター, 排水ポンプの能力不足など)であり, わが国の治水・減災対策はハード面のみならず, 避難等のソフト面の課題が浮き彫りとなった。本研究では, 流域の治水安全度の連続性を確保しながら, その暫定区間ではブロックマット工法の施工を提案している。河川堤防の破堤要因のうち越水50%, 侵食・浸透20%などと言われており, 侵食や浸透について対策設計法は整備されているが, 越流は対象外とされ, 越流破堤への効果的な検討が急がれている。越流対策の基本的な考え方は, 堤体の裏法部の越流破壊や局所洗掘による破堤までの時間を少しでも引き延ばして, 避難のリードタイムを確保することであり, このブロックマット工法の設計法の確立が必要である。

そこで, 本研究では, ブロックマット工法の水理模型実験(縮尺1/6)の結果に基づいて, 実スケール(プロトタイプ)の水理実験により, 裏法面のブロックによる被覆効果(流れの減勢効果, 斜面侵食防止など), 裏法尻周辺における局所洗掘深の最小化などについて, 従来工法(基礎工)と無対策と比較検討する。

2. 研究方法

2.1 実物スケールの水理実験

ブロックマット工法(水平部:垂れを含む)の水理模型実験結果(縮尺比:1/6)で得られた効果を, 実物スケールで定量的に検証するために, 国立研究開発法人防災科学技術研究所の大型降雨実験施設内にて水理実験を行った(本実験:9/4~6, 2019)。実験水路は, 幅0.50m, 高さ0.69m, 全長8.0m(傾斜角30°, 斜路4.0m, 水平部3.0m), 移動床は日光珪砂4号(中央粒度:0.60mm, 粗粒砂)を使用した。流量は $0.029\text{m}^3/\text{s}$, 越流水深を10cmに設定した。斜路の法面にブロックマットを敷設し, 対策工として水平部を設置した垂れ方式, 基礎工, および対策工無し(斜面:人工芝)の3ケースを行い, 各々の洗掘状況を計測した。裏法尻条件として, ブロックマット垂れ方式は下流側のブロック端部の高さになるように砂面を整地した。基礎工は, 砂面と基礎工の落差を15cmに設定した。砂面高さは, 垂れ方式と人工芝は50cm, 基礎工は35cmである。

同一流量を15分間流下させ止水した後の洗掘量の空間分布を測定するために, 3Dレーザースキャナー(Topcon: GLS2000, 測定精度: $\pm 3.0\text{mm}$)を用いて高精度の点群データを取得, 解析ソフト(Scan Master や ArcGIS)を用いて, 計測データを可視化し定量的な評価を行った。また, 流水中の局所洗掘状況を時系列に把握するために画像データから砂面形状を抽出した。流速測定は, 2次元電磁流速計とプロベラ流速計(一方向)を使用し, 斜路中央部(共通)と対策工の場合は基礎工上部とマット部末端などにおいて計測した。なお, 流水中のブロックの加速度(変位)を計測するために, 超小型3次元加速度計をブロックマットの凹部に2箇所設置し, 流水前の実験水路の固有振動数を計測するために打振実験により, 周波数スペクトル解析を比較検討した。

2.2 堤体本体の破壊過程を考慮した水理実験

堤防裏法尻における局所洗掘が堤体本体へ侵食崩壊し, 被覆マットが変形する過程を定量的に把握するために水理実験(Froude 則)を行う。縮尺模型は1/6とし, 2次元水路(幅0.4m, 高さ0.4m)に堤防模型(法面勾配:1/1.5, 天端高:0.35m, 天端幅:0.25m)の裏法尻内部を砂で充填し, その上部をブロックマットで被覆する。実験条件は固定模型と同様である。

3. 実験結果および考察

図-1 は, 実スケールの水理実験の流水時($t=10\text{s}$)における局所洗掘過程の全体図と, 同図右上は, 局所洗掘状況を示したものであり, 破線は砂面形状, 矢印は主流の流向ベクトルを示している。なお, 洗掘箇所を拡大して右上に併

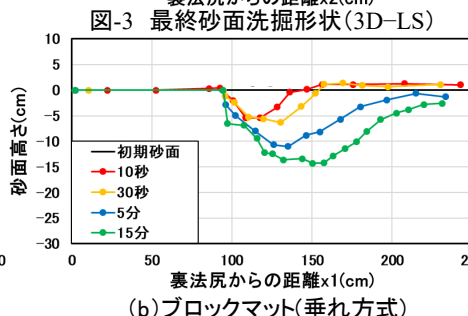
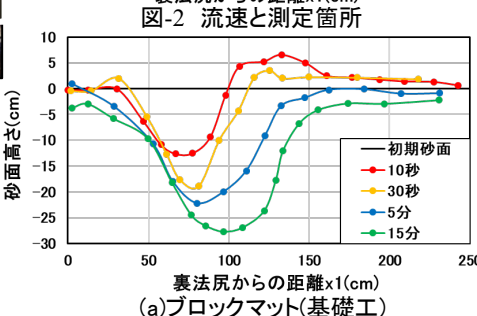
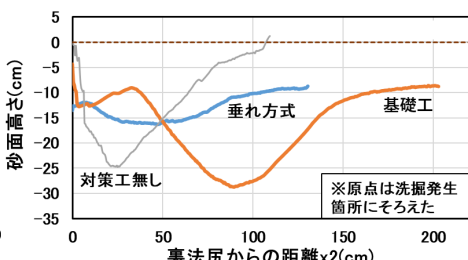
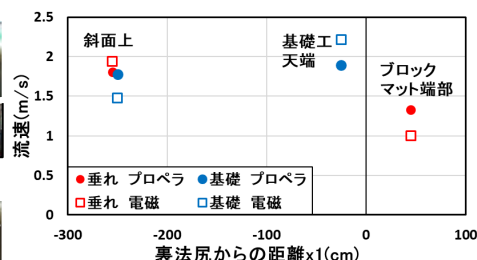
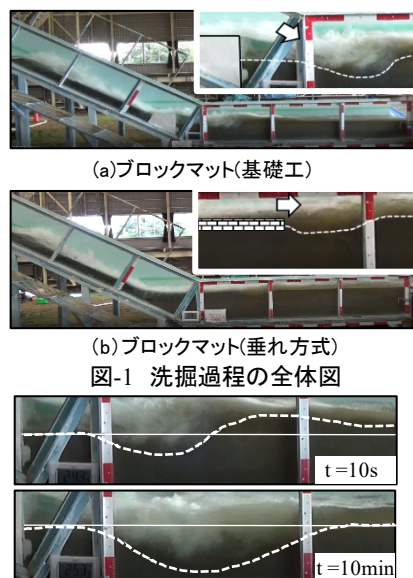


図-5 ブロックマット工法の洗掘状況(ビデオ解析)

記している。ブロックマットを水平に敷設した垂れ方式ではブロック上部、基礎工では 15cm 下側に砂面が接続している。同図から、基礎工は、斜面から基礎工へ不連続な水流となっており、その後、段落ち部へ流れの突入が生じている。この落差により生じた基礎工水平部からの斜め落下流により、砂面を洗掘する白濁した高速流が生じている。垂れ方式では、斜面から水平部へとブロックマットが敷設されているため連続的な流れとなっており、ブロックマットによって減勢された流水が砂面上で跳水による 3 次元的な渦流を発生させている。

図-2 は縦軸を流速、横軸を基礎工末端からの距離とし、流速と測定場所の関係を表している。流速測定によれば、天端流速は 1.48~1.94m/s に対して、局所洗掘を生じさせる基礎工直前の末端流速は 1.89~2.21m/s であり、流れや渦流によるエネルギーが増大していることが推察される。一方、ブロックマット(垂れ方式)では、斜面からの流れを連続的に水平方向に推移させ、流速が減勢され、末端速度が 1.00~1.33m/s となっている。水平部が長いほど流速減衰は大きくなり、端部における局所洗掘が抑えられたものと考えられる。

図-3 は 3D レーザースキャナーによる止水後の砂面形状を示したものであり、全ケースの座標軸を砂面との接合部に合わせて表示している。同図から、垂れ方式<人工芝<基礎工の順に最大洗掘深は大きくなること、その発生箇所は堤防裏法尻から、人工芝<基礎工<垂れ方式の順に離れている。これらは、跳水が大きく起因しており、最大洗掘深が大きくなった基礎工では、流速が減勢されていないため、跳水や落下流による渦流が大きい。一方、垂れ方式は、ブロックマットの凹凸により、流速が減勢されるため、跳水は発生するものの渦流を小さくする。局所洗掘形状は、人工芝の尖度の高い状態から、低い状態の垂れ方式など、流れの構造が大きく関係しているものと推察される。

図-4 は基礎工の砂面洗掘形状を表しており、実線は初期砂面、点線は洗掘後の砂面形状を表している。図-5 は流水中の砂面形状を時系列的に示したものである。基礎工において、初期段階($t=10s$)では、局所洗掘された砂が後方に堆積し、砂塊は強い渦流により掃流されて砂面低下を生じている。一方、垂れ方式では、初期段階の洗掘がかなり抑えられており、後方に砂が堆積せず、その後、時間経過とともに砂面が徐々に洗掘されていることがわかる。

4. おわりに

以上、堤防越水時における裏法尻のブロックマット工法(水平部:垂れを含む)の水理模型実験結果(縮尺比:1/6)で得られた効果を、実物スケールで定量的に検証し、「垂れ方式」の洗掘抑制効果を明らかにした。水平部に敷設したブロックマットが流速減勢をすることにより、跳水による渦流が抑えられ、模型実験と同様に洗掘抑制効果が得られることが明らかとなった。

【謝辞】 本研究は、JST 研究成果展開事業の A-STEP 機能検証フェーズ(研究代表:和田 清, VP30418088699)の研究助成を得た。防災科学研究所酒井主任研究員ほか、共同研究者を含めて最後に記して謝意を表したい。

【参考文献】 1) 和田 清・中神陽介ほか:平成 30 年度土木学会中部支部研究発表会, II-28, pp.120~121, 2018.3