

洪水氾濫の越流における堤防裏法面の洗掘防止用ブロックマット工法の開発

(独)国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 ○和田 清
株式会社旭化成アドバンス 建材本部環境建材事業部技術部 関下啓誠
揖斐川工業株式会社 アイケイコンクリート技術開発室 増田治雄

1. はじめに

河川堤防からの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、この裏法面の保護に有効なブロックマット工法の設計法の確立が急がれている。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。さらに、裏法面被覆のブロックマットが裏込め土砂の流出により、被覆マットが変形する過程を定量的に評価するために、水理模型実験を実施する。これらの堤体本体の破壊過程を考慮した水理実験結果により、堤防裏法尻における局所洗掘と裏込め土砂流出が堤体本体へ侵食崩壊する素過程を明らかにし、ブロックマット工法の有効性について検討する。

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(つくば市)の大型降雨実験施設内にて水理実験を行った。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 0.029m³/s、越流水深を 10 cm 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:±3.0mm)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ペラ流速計(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、被覆マット自体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)の一部堤体と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。越流水深は原寸で 10、20 cm(模型では 1.7、3.3cm)を設定した。マット水平部のブロック 5 列を切断して順次区間長を短くして、各々の跳水現象、局所洗掘状況、ブロックマットの変形過程などをビデオ撮影して、ブロックマットの堤体侵食抑制効果を把握した。なお、ブロックおよび局所洗掘分布は、上記の 3D レーザースキャナーを使用した。

3. 実験結果および考察

キーワード 河川堤防, 越流, ブロックマット工法, 局所洗掘防止

連絡先 〒501-0495 岐阜県本巣市上真桑 2236-2 TEL 058-320-1400

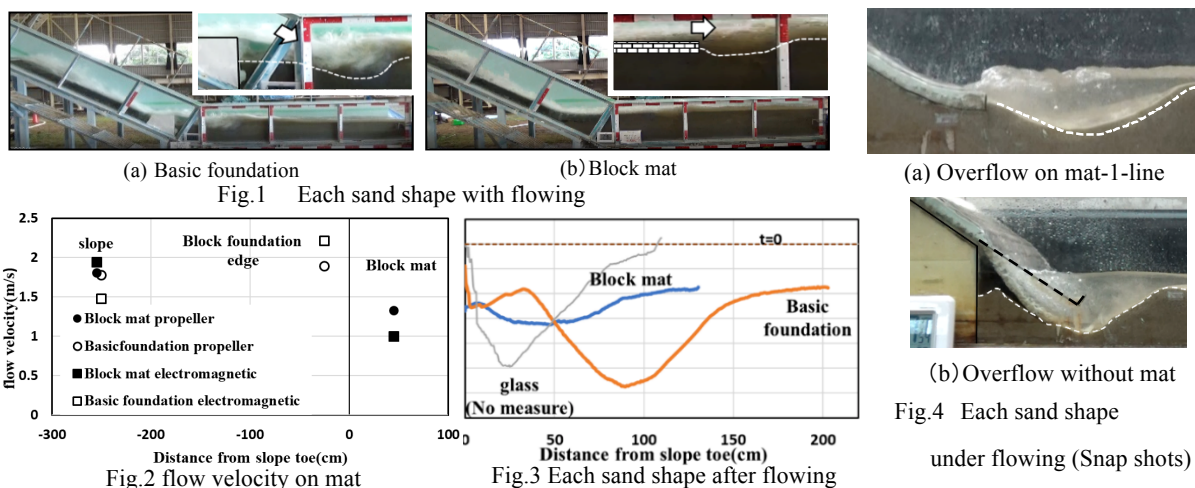


Fig.1 は、実スケールの水理実験の流水時 ($t=10s$) における局所洗掘過程の全体図と、同図右上は、局所洗掘状況を拡大して示したものであり、破線は砂面形状、矢印は主流の流向ベクトルを示している。同図から、ブロックマットを水平に敷設した垂れ方式ではブロック上部、基礎工では 15cm 下側に砂面が接続していること、基礎工は、斜面から基礎工へ不連続な水流となっており、その後、段落ち部へ斜めの主流の突入が生じていることなどがわかる。また、この落差により生じた基礎工水平部からの斜め落下流により、砂面を洗掘する白濁した高速流が生じている。一方、垂れ方式では、斜面から水平部へとブロックマットが敷設されているために連続的な流れの移行となっており、ブロックマットによって減勢された流水が砂面上で波状跳水による 3 次元的な渦流の発生がみられる。

Fig.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たものである。同図から、斜面上の射流流速については、局所洗掘を生じさせる基礎工直前の末端流速は $1.89\sim 2.21m/s$ であり、ブロック上の粗面乱流によるエネルギー減勢は余り期待できず、局所洗掘量を増大させ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、末端速度 $1.00\sim 1.33m/s$ 程度の流速減勢となっている。マットの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。

Fig.3 は、3D レーザースキャナーにより計測した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を原点に水平移動して表示している。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、跳水が大きくなり起因しており、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る流速減勢と水平流の移行により、波状跳水の発生と渦流は小さい。

Fig.4 は、越流水深 20cm における流水中の流水状況、破線は砂面形状を表したものである。同図から、(a)水平部 1 列(基礎工と同じ長さ)では、斜面からの主流がブロックマットの曲率により、流れを水平方向に変化させ、射流から常流に跳水を経て遷移することで、裏法尻流下方向で局所洗掘が生じている。一方、(b)水平部無し(斜面のみ)では、ブロックマット初期形状(図中黒破線)から、裏込め砂の吸い出しにより、ブロックマットが大きく変形していることがわかる。固定床から移動床に急変する端部では、堤体内部の裏込め砂が斜面方向に掃き出されることにより砂が抜け出し、ブロックマットの被覆工の部分崩壊に繋がることから、ブロックマットがもつ曲率を最低 1 列(基礎工と同じ長さ)以上保持すれば、流れを水平方向に連続的に移行させて、破堤に至る時間を少しでも引き延ばすことができる。

4. まとめ

以上、堤防越水時における裏法尻のブロックマット工法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、ブロックマット工法「垂れ方式」の洗掘抑制効果を明らかにした。基礎工と同じ長さに相当する区間長がブロック 1 列以上あることにより、ブロックマットの曲率が流れを水平方向に遷移させて、裏込め砂の流出を抑制し堤体形状を保持して、最大洗掘深の発生箇所を裏法尻から遠ざける有効性が明らかにされた。

【謝辞】 本研究は JST の A-STEP 機能検証フェーズの研究助成 (VP30418088699) を受けて、防災科学技術研究所(つくば市)の実験施設を使用した研究成果である。最後に記して、関係者に謝意を表します。