

ブロックマット工法による堤防裏法面補強の安定性に関する基本設計

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 ○和田 清・村瀬拓人
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 増田治雄

1. はじめに

近年、集中豪雨や降雨継続時間の長期化などにより洪水が多発し、河川堤防の越流による決壊が発生している。堤防の越流破壊を遅延させ避難のリードタイムを確保するために、粘り強く減災効果を発揮する技術開発が求められている。しかしながら、越流破壊は被災要因の約半分を占めるにも関わらず、耐越流破壊に関する安全性の照査や堤防構造の設計方法が未だ確立されていないのが現状である。本研究は、堤防越流時において裏法面を補強するブロックマットの形状・配置条件を検討し、裏法尻周辺の局所洗掘を抑制する工法を技術的に提案することが目的である。具体的には、裏法尻における最大流速、地盤の洗掘形状(最大洗掘深など)を評価指標とし、水理模型実験および流体解析、実スケールの水理実験を用いて、各種ブロックおよびブロックマット工法の設置長さにおけるエネルギーの減勢効果と洗掘防止効果について評価し、ブロックマット工法の基本設計の基礎資料とするものである。

2. 研究方法

(1) 実スケールの水理実験と実験条件

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。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。

(2) 局所洗掘による砂面形状および流速の計測

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、堤防裏法尻の砂面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、解像度:4mm)を用いた。定常的な越流水により砂面形状が安定したことを確認した後、水路内を徐々に排水、砂面形状を計測し、砂面分布の起伏や洗掘量、流下距離などを算定した。なお、流水中と止水後では砂面形状が異なるため、流水中の局所洗掘分布はビデオ画像解析を行った。また、堤防裏法面に設置されたブロック群体による流れの減勢効果、局所洗掘量の拡大に強く影響を及ぼすブロックマット末端の最大流速などを把握するために、2次元電磁流速計とプロペラ流速計を使用し、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。

(3) 流れと地盤を連成した流体解析モデル(FS3M)

3次元流体・構造・地盤連成数値計算モデル(FS3M、名古屋大学海岸研究室開発)を用いて、堤体を越流する水理量、洗掘状況を可視化し、裏法尻付近での跳水発生や、局所洗掘の形状、流速ベクトルの変化等の定量的な把握を行った。水理模型実験結果(縮尺比:1/6)のパラメータを用いて数値解析による再現性を検討した。

3. 実験結果および考察

Fig.1は、水理模型実験(1/6縮尺)における越流水深10cmにおける各段彩図の測線上の断面形状を重ねたものである。また、同条件において裏法尻に基礎工を設置した際の洗掘形状も併記している。なお、同図の画像は通水中、洗掘深さが最大となった状況を示したものである。水平部を16.5cm(5列)切断した被覆工は、裏法尻条件として従来工法の基礎工を設置した場合と同じ区間長となる。両者を比較すると、最大洗掘深の約70%減少および洗掘分布などからブロックマット水平部「垂れ方式」がより局所洗掘抑制効果がある。垂れ方式は被覆工の斜面部から裏法

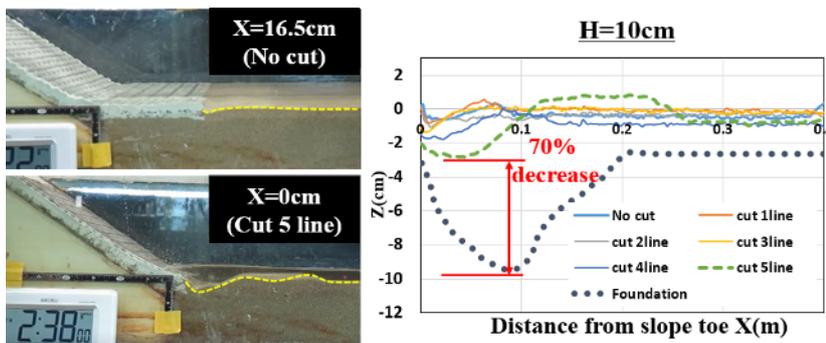


Fig.1 Situation of scouring and vertical distribution of scouring

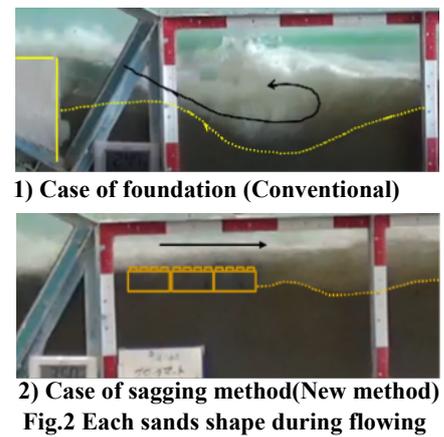


Fig.2 Each sands shape during flowing

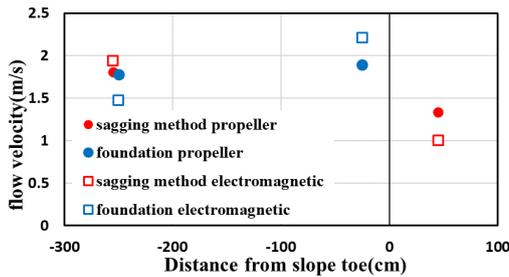


Fig.3 Flow velocity on Block mat

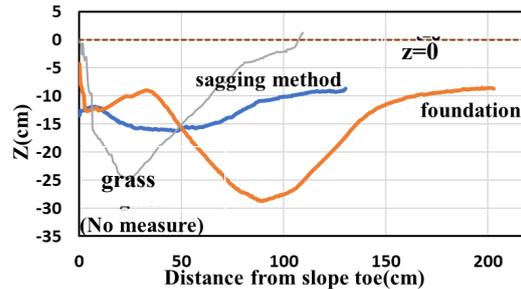


Fig.4 Each sands shape after flowing

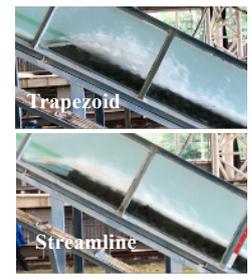


Fig.5 Water splashing

尻、砂面にかけて連続的な曲面となる一方、基礎工では砂面との落差に不連続な接続部が生じることになる。これらのことから、ブロックマット工法の適正な区間配置により法尻部の連続的な曲率が越流水の流線を平滑化し、局所洗掘抑制に寄与すると考えられ、水平部1ブロック分残すだけで局所洗掘抑制効果が大きいことがわかる。

実スケールの水理実験結果では、Fig.2のように従来工法(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。Fig.3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。同図から、ブロックマット(水平部垂れ方式)では、斜面からの流れを連続的に水平方向に推移させ、流速が減勢された結果、末端速度が1.00~1.33m/sとなり、局所洗掘量が抑えられたものと考えられる。

Fig.4は3Dレーザースキャナーにより計測した砂面形状に測線(水路中央部)を設け、各断面形状を示したものである。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、垂れ方式が最も最大洗掘深が小さく、次いで人工芝、基礎工の順に大きくなる。垂れ方式では最大16.3cm、基礎工設置では28.7cm洗掘され43%の洗掘抑制効果が確認され、水理模型実験との同様の効果が検証された。また、発生箇所は堤防裏法尻から人工芝、基礎工、垂れ方式の順で離れていること、水平部垂れ方式は、跳水は発生するものの渦流は小さいため、局所洗掘形状は、尖度の低い状態となり、流れの構造が大きく関係していることなどが推察される。さらに、Fig.5はブロックマットの先端部形状を、従来工法の台形および流線形に変化させた場合の水跳ね効果の差異を示したものである(実スケールの水理実験)。同図から、射流状態の高速流による先端部のブロックマット本体の捲れ防止や、粗面乱流に遷移させてブロックの凹凸による減勢効果を期待するには、先端部の水跳ねを低減する曲面形状が有利であることがわかる。

4. まとめ

以上、堤防越水時における裏法面の補強ブロックマットの形状・配置条件について、水理模型実験(縮尺比:1/6)、および防災科研の実スケールの水理実験による局所洗掘量等を検討し、ブロックマット工法の有効性が検証された。また、隣地境界の制約条件下でも、基礎工と同じ水平部の設置長があれば本工法が有効であることが示された。

【謝辞】本研究は、JSTのA-STEP機能検証フェーズ(VP30418088699)の支援を得た。最後に記して謝意を表す。

【参考文献】1)和田 清・関下啓誠ほか:令和2年度土木学会全国大会第75回年次学術講演会, II-237, 2020.9.