

ブロックマット工法による減勢および洗掘防止効果に関する実験的研究

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 専攻科 学生会員 ○中神陽介

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 正会員 和田 清・長谷川陣

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 伊藤祐喜・増田治雄

1. はじめに

近年、集中豪雨や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、越流破堤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(移動床)および流体解析を用いて、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たものである。

2. 研究方法

2.1 水理模型実験と実験条件

既往の研究により、裏法尻条件にブロックマットを裏法先の砂面高へ連続的に接続する「垂れ方式」を被覆工として用いた場合の方が、基礎工設置と比較して局所洗掘量を低く抑えることが明らかにされている。模型縮尺は 1/6 とし、幅 0.4m、高さ 0.4m の 2 次元開水路に鋼製堤防模型(法面勾配 1:1.5, 天端高 0.35m, 天端幅 0.25m)を設置し、その裏法面上にブロックマットを敷設して実験を行った。流れの相似則にはフルード則、越流水深は原寸で 10, 20 cm(模型では 1.7, 3.3cm)を設定した。流量は一定とし、10~15 分程度継続後、洗掘分布がほぼ一定となった状態で止水した。ブロックは表法面に使用されるものを高さ方向に引き延ばした「重量型ブロック」を群体としてマットに貼り付けた。また、法尻条件として下流側のブロック端部(垂れ方式: 水平部分)の天端と砂面高さが同じになるように整地した。マット水平部のブロック 5 列を順次 1 列(3.3cm)ずつ切断して区間長を短くし、また、各々の裏法面の流速、跳水、局所洗掘状況などをビデオ撮影して、排水後の 3 次元的な砂面計測により区間長と洗掘量の関係を把握した。なお、裏法尻の跳水発生位置等は下流端条件に依存するため、堰上げは行わず砂面と同じ高さに堰を固定した。

2.2 局所洗掘による砂面形状の計測 (3D レーザースキャナー)

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。3 次元的な空間情報を高精度で測定可能であり、比較的早く計測範囲の高品質な点群データを取得することができる。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、砂面形状を計測した。このデータ解析には Topcon Scan Master により可視化し、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。

2.3 裏法面における流速分布の計測 (画像解析)

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、堤防裏法肩からトレーサー(プラスチック製、直径 6mm)を複数個流下させ、ビデオ撮影により局所的な流速の測定を行った。画像解析に必要なスケールング、キャリブレーションを行った上で画像解析ソフト(PV Studio 2D)を用いて、識別可能なトレーサーを追跡することにより移動座標値(x,y)とフレーム時間間隔から流速値を算定した。

2.4 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)を用いて、堤体を越流する水理量、洗掘状況を可視化し、裏

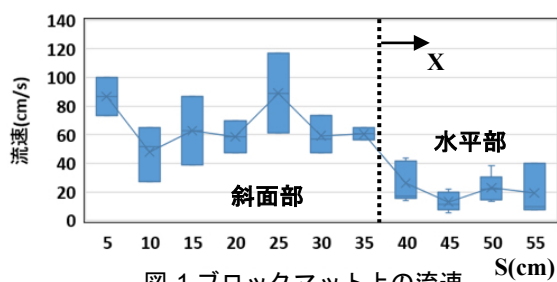


図-1 ブロックマット上の流速

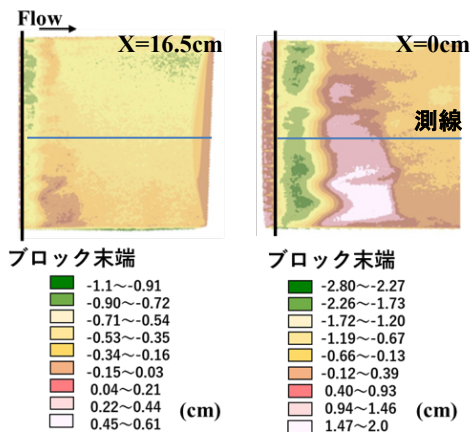


図-2 砂面の洗掘分布(3D レーザスキャナー)

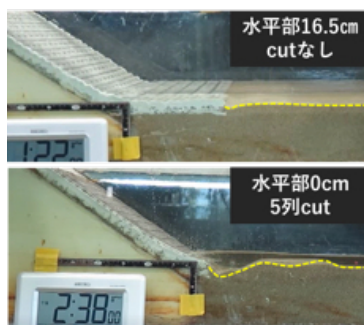


図-3 局所洗掘状況と水路中央における洗掘形状 (H=10cm)

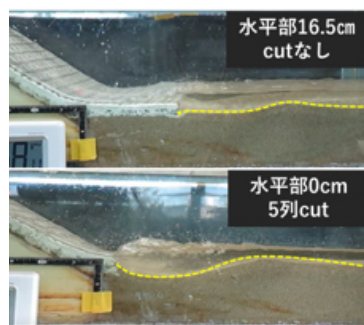
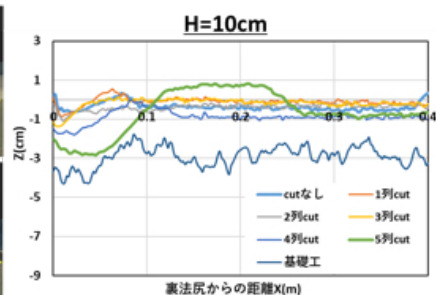
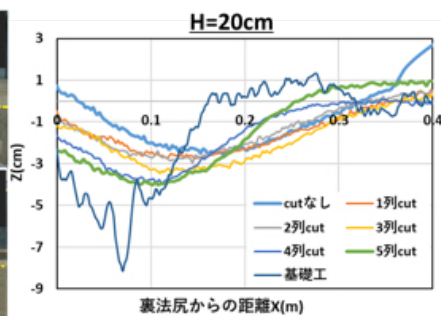


図-4 局所洗掘状況と水路中央における洗掘形状 (H=20cm)



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う。水理実験結果のパラメータを用いて数値解析による再現性を検討する。なお、解析結果については、講演時に行う予定である。

3. 実験結果および考察

越流水深 10cm(原寸)における区間長 $x=16.5\text{cm}$ の場合、ブロックマット上の越流水の瞬間流速を求め、5cm 区間の平均値を示したものが図-1 である。同図から、裏法面の被覆工の斜面部より水平部の流速減勢が大きいことがわかる。また、水平部の区間長を 3.3cm(1 列)ずつ短くした場合、すべてにおいて同様な傾向が得られた。これは斜面上の射流状態から跳水による遷移領域を経て水平部の常流状態となることに起因する。図-2 は、一例として越流水深 10cm における区間長 16.5cm および 0cm の場合、水平部のブロック天端を基準として 3 次元砂面形状を段彩図化したものである。同図から、水平部の長さが短くなるほどブロックマット末端周辺の局所洗掘が拡大していることが明らかである。図-3 は、越流水深 10cm における各段彩図の測線上(図-2 参照)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。図-4 は越流水深 20cm における局所洗掘分布を示したものである。同図から、越流水深により分布形状は異なるものの水平部の長さが短いほど局所洗掘量は拡大することがわかる。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、最大洗掘深および洗掘分布などから今回のブロックマット「垂れ方式」がより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尻、砂面にかけて連続的な曲面配置となっている。一方、基礎工の形状や砂面との落差などにより不連続な接続部を越流水が流れることになる。ブロックマット上の流速分布と洗掘分布の関係により、6.6cm(2 列)切断までは水平部での流速減勢が確認され、越流水深が増加しても洗掘深の差異は顕在化していない。一方、それ以上水平部の長さが短くなると、跳水がマットと砂面境界部で発生するため局所洗掘の拡大に繋がることになる。これらのことから、ブロックマット工法による連続的な曲率が流線を平滑化し、より洗掘抑制に寄与すると考えられる。

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・配置条件を水理模型実験により検討し、「垂れ方式」の水平部の設置長さと局所洗掘量などの関係を明らかにした。水平部の流速減勢はマット長 9.9cm(3 列分)以上で効果が発揮されること、基礎工と同じ水平部の設置長さの場合でも本工法が有効であることが明らかとなった。

【参考文献】 1) 和田 清・中神陽介ほか:平成 29 年度土木学会中部支部研究発表会, II-28, pp.120~121, 2018.3.