

ブロックマット工法による洗掘防止効果と水理特性に関する研究

(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・菊 雅美
 名古屋大学 土木工学専攻 正会員 中村友昭
 旭化成アドバンス(株)建材本部環境資材事業部 関下啓誠

1. はじめに

近年、集中豪雨や継続時間の長期化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。越流破壊は被災要因の約半数を占めるにもかかわらず、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流れのエネルギー減勢効果と洗掘防止効果について評価し、流れ場の水理特性について考察したものである。

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¹⁾。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。流れの相似則は Froude 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形した。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、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 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。計算モデルは上記の水理実験でのパラメータを用いて、数値解析上での結果比較を行った。水路側面からの洗掘傾向を比較するため、幅方向の洗掘挙動は同様とし鉛直 2 次元モデルとした。実験において計測をしていない諸量の条件設定については、FS3M のマニュアルや同モデルを用いた既往の研究²⁾から、ある値を仮定し、試行計算を行うことで値を決定した。具体的には、計算格子の設定、構造物(堤体、移動床や浮流砂等)の設定、液体の流出入の水位や流速、圧力等の設定事項がある。この入力条件の下で計算を行い、計算結果を Tecplot360EX によって可視化する。これらにより実験では把握できない水理特性についてより詳細に検討し、対策工の評価を行う。

3. 実験結果および考察

図-1 は一例として越流水深 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傾向にある。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越流水が流れることになる。

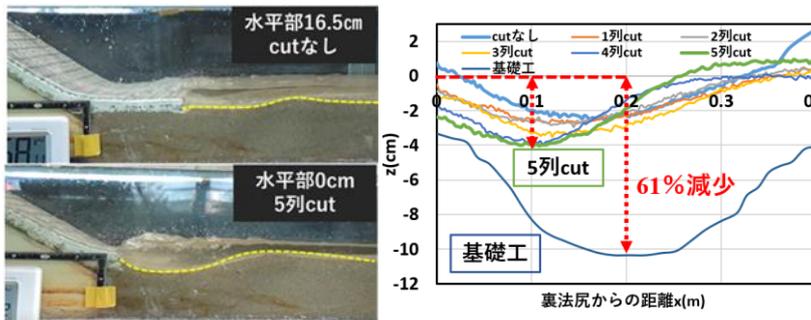


図-1 局所洗掘状況と水路中央における洗掘形状 (H=20cm)

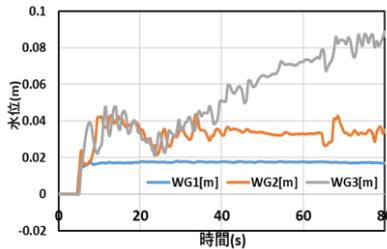


図-3 水位の時系列変化

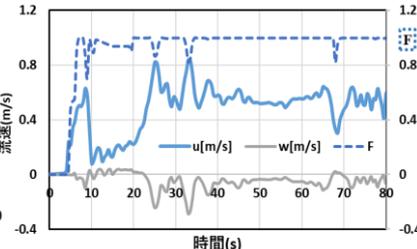


図-4 流速変化 (x=1.7m, z=0.3m)

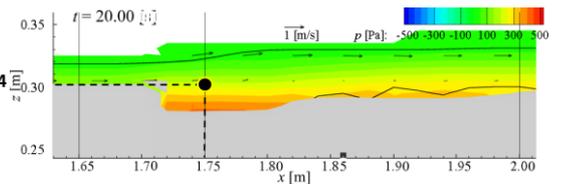


図-2 圧力及び流速分布 (H=20cm)
(Tecplotによる計算結果の可視化)

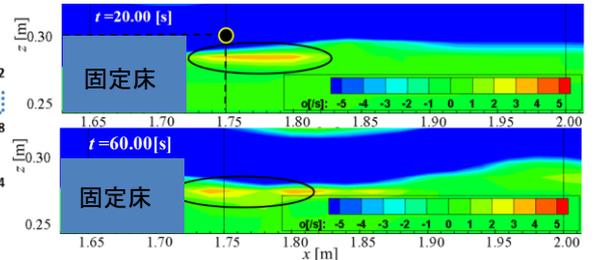


図-5 渦度分布 (H=20cm)
(Tecplotによる計算結果の可視化)

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量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の適正な配置により連続的な曲率が流線を平滑化し、局所洗掘抑制に寄与すると考えられる。

4. 数値計算結果および考察

図-2は越流水深20cm、垂れ方式(水平部5列)における計算結果を可視化したものである(t=20s)。同図から、図-1の洗掘分布や跳水などの水面形状がともに実験と類似している。図-3は図-2の各WGの地点における水位を示したグラフである。図-4はx=1.7m, z=0.3mにおける流速(u, w)とF値(各計算格子の水の割合)を示したものである。また、図-5はt=20s(図-2と同時刻)およびt=60sにおける渦度分布である。

図-3よりx=1.7mの裏法尻近傍では水位はほぼ一定(3cm)となっている。この地点では一定時間経過後も渦に伴う気泡が確認され(図-5参照)、その分はF値として認識し加算されないため、洗掘拡大はされるが水位は小さくなる。一方、X=2.0m地点では水位の変動が時間とともに増加している。これは移動床に水が浸透していくため右肩上がりの形となっている。図-4や他地点の流速分布などの結果から、マット水平部上ではx方向の流速は約0.8m/sであり、砂面上では、30s以降で流速が大きくなるが約0.8m/sで上限値となった。同図よりF値の減少地点で流速u及びwが急激に変動しており、これは渦による気泡の影響である。これら、流速および渦度と絡めて洗掘量を算出し、洗掘傾向や越流水の現象を把握する。断面ごとの局所洗掘量については、講演時に説明する予定である。

5. おわりに

以上、堤防越流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や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。今後数値計算において計算時間の延長、実験で実施した基礎工のモデル作成から、流速、水位、洗掘量等の水理量を把握し、実験と計算の側面から適切な対策工法の提案を行う予定である。

【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.

2) 中村友昭・水谷法美:日本流体力学会ながれ35, pp.379-390, 2016.