

堤防越流におけるブロックマット工法の洗掘防止効果に関する研究

(独) 国立高専機構 岐阜工業高等専門学校 ○中神 陽介・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 伊藤祐喜・増田治雄

1. はじめに

近年, 異常気象に伴う集中豪雨や津波による大規模な水害は, 河川および海岸堤防の決壊に直結するため, 堤防の越流破壊を遅延させる技術開発が求められている. 2017 年 10 月には台風 21 号の豪雨により大和川の河川水が堤防を越え氾濫が生じたものの, その対策として堤防天端の保護や堤内地側の裏法尻補強を施した結果, 被害を最小化した事例がある. 河川堤防の破堤の中で浸透・侵食・地震による破堤については, 「河川堤防設計指針」や「河川堤防の構造検討の手引き」により, 浸透・侵食・地震に対する安全性照査の考え方が示され, 耐浸透機能, 耐侵食機能, 耐震機能を有する堤防構造の設計方法が採用されている. しかしながら, 越流破壊に関する安全性照査などについては対象外である.

本研究の目的は, 堤防越水時に裏法面の補強ブロックマットの形状・配置条件を検討し, 裏法尻の局所洗掘を抑制する工法を技術的に提案することである. 具体的には, 裏法面の基礎工天端における最大流速, 堤内地の砂面形状(最大洗掘深, 洗掘形状など)を評価指標とし, 水理模型実験および越流水の流体解析を用いて, 各ブロックマットによるエネルギーの減勢効果と洗掘防止効果について評価するものである.

2. 研究方法

2.1 水理模型実験と実験条件

実験は 1/6 縮尺とし, 幅 0.4m, 高さ 0.4m の開水路を用いて行った. 堤防模型は法面勾配 1:1.5, 天端高さ 0.35m, 天端幅 0.25m であり, 流れの相似則はフルード則である. 越流水深は実スケールで 10, 20, 30cm(模型では 1.7, 3.3, 5cm)を想定し, ブロックマットは裏法面を完全被覆するように配置した. また, 裏法尻条件として基礎工を設置した状態と, 基礎工を無くしてブロックを法先の砂面高にまで配置する「垂れ状態(新型ブロック)」に大別して実験を行った. 基礎工がある場合では, 砂面と基礎工天端は 3.3cm の落差がある状態で配置を行い, 垂れ状態では砂面高さに一致させた. 砂面整地後に越水させ, 図-1 に示したように 3 種類のブロックマットを被覆した時の洗掘状況を計測した. なお, 比較対照として植生モデル(張り芝)を用いた.

2.2 裏法尻の洗掘分布計測

堤防裏法尻の砂面洗掘量の空間分布を測定するために, 赤外線距離センサ(BTE084-PSD)を用いた. 流下方向と鉛直方向の 2 次元(x, z)の距離についてキャリブレーションを行い, 裏法尻の基準面からの流下距離(x)と洗掘量(z)の関係を求めた. ただし, 赤外線砂面計では水路中央部の一測線のみの計測とした. また, 平面的な起伏をより精度よく計測するために, 3D レーザースキャナー(Topcon GLS2000)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得ることができる. 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, 水路内を排水後, 砂面分布を計測した. このデータ解析には Topcon Scan Master を用いて, 可視化し砂面分布の起伏や洗掘量, 流下距離などを赤外線砂面計より精度よく計測することが可能となる.

2.3 使用する流体解析ソルバー

乱流場におけるエネルギー減勢を考慮した流体解析が必要となるため, 各種ブロック上の越流水の 3 次元解析には DEXCS2017(Open FOAM)を用いた. 流れの可視化等により, 越流水の流速や流線がどのように変化し, 局所洗掘の抑制に関与しているかについて検討を行った. また, 越流水がブロック群体上を流下していく際に, ブロックの粗度や傾斜の変化により射流から常流への遷移(波状跳水など)が発生するため, それらの特徴を捉えることができる. この結果を用いて, ブロックマット工法のどのような機能が局所洗掘防止に効果的かについて実験結果と比較する.

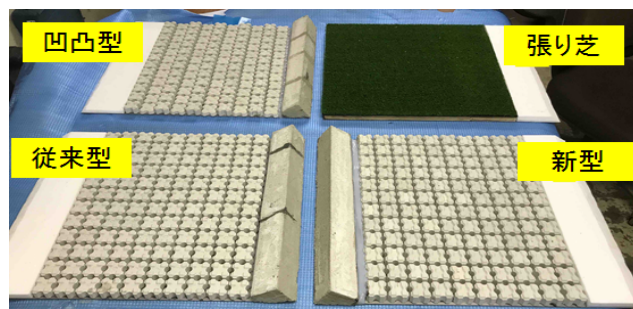


図-1 使用したブロックマット類と張り芝

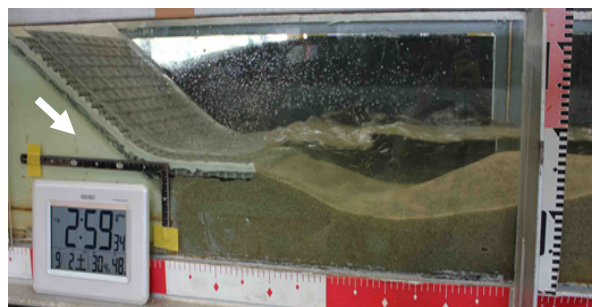


図-2 越流水および洗掘状況(垂れ状態)

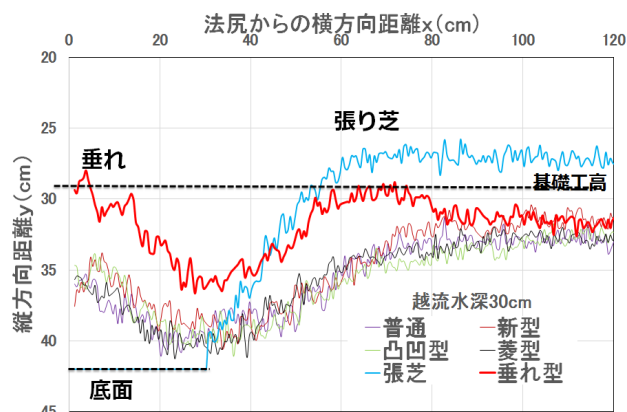


図-3 赤外線による砂面計測結果

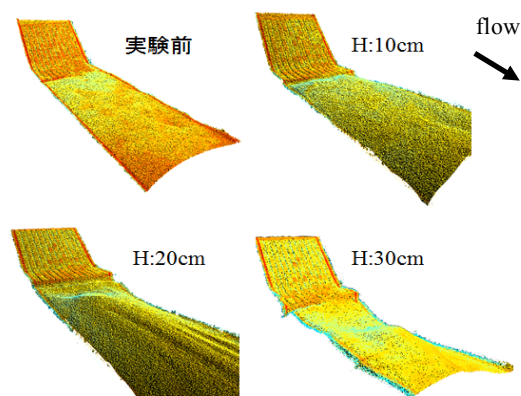


図-4 ScanMaster による砂面形状の可視化

3. 実験結果および考察

図-2 は、一例として砂面の洗掘状況が顕在化した越流水深 30cm(原寸)の場合において、ブロックマット上を流れる越流水および砂面の洗掘状況を示したものである。図-3 は、同条件下において赤外線砂面計によるブロックマットおよび張り芝の計測結果を示したものである。同図から、ブロック条件を変化させた実験結果において、張り芝が最大洗掘深が一番大きく、裏法面を流下した強い斜め渦流によって水路底面が完全に露出した。一方、従来型や新型、凹凸型ブロックでは一部に局所洗掘はみられるものの、基礎工による流下ベクトルの流向制御およびブロック形状による流れの減勢効果が確認でき、無対策の張り芝よりも洗掘抑制効果が見られた。ただし、3 種類のブロック同士では差異は顕在化していない。これは、実験条件の越流水深が大きいため、ブロックの粗度高さと裏法面の相対水深が小さいことに起因することが考えられる。また、最大洗掘深の裏法尻からの距離については、張り芝が一番近く、ブロック 3 種類ではそれよりも位置は遠くなり、ブロック同士の比較ではほぼ同位置であった。

一方、裏法尻条件を変更させた「垂れ状態」では、法面を流れる水流および水平部のブロック上でも射流状態であり、基礎工端部を越えたあたりで跳水が発生している(図-2 参照)。また、図-3 からわかるように、「垂れ状態」は基礎工ありのブロック(普通、従来、新型)に比べてかなり洗掘量が小さく抑制されていることが明らかである。図-4 は越流後の砂面形状を 3D スキャナーで観測し点群(RGB 反射強度)で示したものである。跳水による 3 次元的な渦流により下流側のブロック端部において洗掘が拡大し、両側壁部では洗掘、中央部で堆積の横断方向に凸形状が下流へと進行している。局所洗掘による砂面形状は基礎工からの水平流による渦流に大きく依存するため、ブロックマットを連続的に水平敷設した「垂れ状態」では、端部の落差が小さいためにこの渦流の発生を小さくすることで、裏法尻の局所洗掘を抑制できている。

4. まとめ

本研究では、堤防越水時に裏法面の補強ブロックマットの形状・配置条件を検討した結果、今回の実験条件の範囲内では、堤防裏法尻の境界地に余裕がある場合には、ブロックマットを「垂れ状態」に施工することにより、局所洗掘深や裏法尻からの距離を伸ばすことができるため、局所洗掘を抑制することが明らかとなった。今後は、3D レーザー スキャナーによる砂面計測と、越流水がブロック群体上を流下する場合の流れの可視化を検討する予定である。