河川堤防のり面の進行性破壊に関する大型模型実験

国立研究開発法人土木研究所　　正会員　○東　　拓生，秋場　俊一
石原　雅規，佐々木哲也

１．目的

河川堤防の浸透に対する安全性照査においては，河川水位や降雨の外力を与えた非定常浸透流解析を実施し，得られた浸潤線をもとに円弧すべり計算を行うほか，局所動水勾配等によってパイピングや盤ぶくれの評価を行うこととなっている．しかし，実際の河川堤防の被災事例をみると，のり尻の比較的浅い部分が崩壊した後，のり面上部に進行する変状発生事例もみられることが把握されている．この進行性破壊は，発生条件や発生メカニズムについて未だ不明な点が多く，その評価手法は現時点では確立されていない状況にある．

筆者らの研究グループでは，これまでにのり尻部を対象とした小型模型実験[1)]等により，進行性破壊の発生条件（堤体材料の物性，のり面勾配，のり尻付近の動水勾配等）について検討を行ってきたが，堤体全体の進行性破壊をより詳細に把握するため，大型模型実験を行った．

２．実験模型及び実験方法

図-1 に実験模型を，**図-2**，**図-3** に千葉県香取市から採取した堤体模型材料の物性を示す．厚さ 0.3m の基盤層（ローム）の上に，延長方向 6.5m，幅 7m（天端幅 1m，のり面水平幅 6m，半断面），高さ 3m（のり面勾配 1：2）の堤体模型を，平均含水比 19.6%，平均締固め度 86.1%で構築した．堤体背後にはフィルタ材を介して水を供給するための給水槽を設けた．堤体内には，実験後の開削により堤体の変状状態を確認するための色砂を敷設するとともに，堤体底部に間隙水圧計と水位計，堤体内部に土壌水分計，堤体表面にのり面の変状発生を検知するための加速度計を設置した．また模型の経時的な形状の変化を把握するため，模型正面から 2 台の静止画カメラにより 5 分間に 1 枚の時間間隔でステレオ撮影を行い，画像解析により堤体模型表面の座標を計算した．

実験前に基盤層を飽和させるため，給・排水槽に基盤層上面の深さ（基盤層下面から 0.3m）まで給水し 7 日間以上静置した．実験は基盤層上面を初期水位として，堤防模型天端-0.3m（基盤層上面から 2.7m）まで約 3 時間かけて背後の給水槽の水位を上昇させ，その後は給水槽内の水位を一定に保つよう給水を行った．水位上昇開始から約 16 時間で天端付近にまで亀裂が発生し，変状進行形態が変わってきたことから，給水槽内の水位を低下させて実験を終了した．実験後は，崩壊した範囲について土層強度検査棒による貫入試験，試料採取と各種室内土質試験（粒度，密度等）を行うとともに，開削による断面の撮影・スケッチ等を行った．

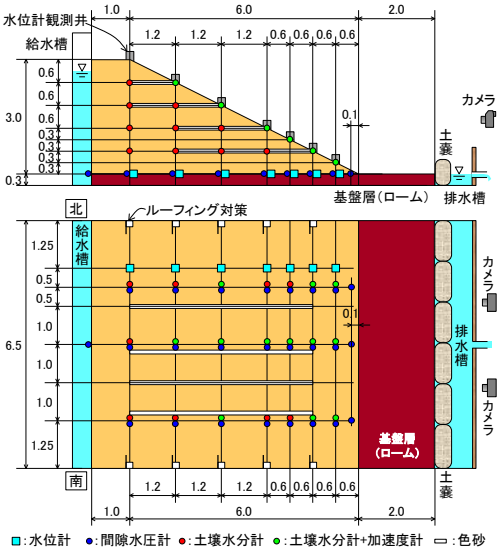

図-1　実験模型

３．実験結果

写真-1 に実験前後の模型の状態を示す．給水槽水位を 2.7m まで上昇させた後，約 1 時間で南か

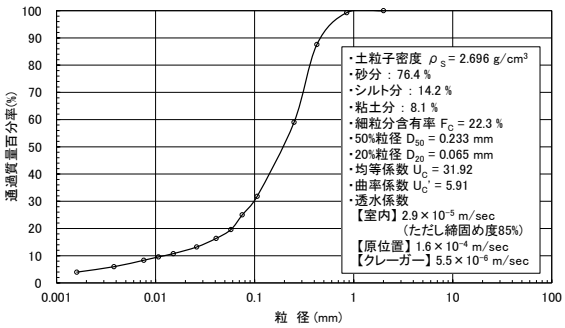

図-2 堤体材料の粒径加積曲線及び各種諸元

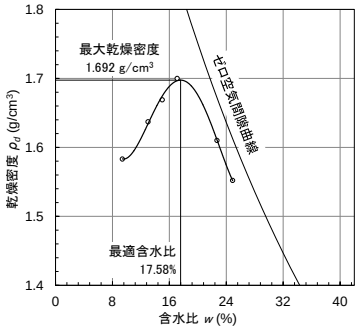

図-3 堤体材料の締固め曲線

キーワード　河川堤防，浸透，進行性破壊，模型実験，透水性
連絡先　　〒350-8516　茨城県つくば市南原１－６　（国研）土木研究所土質・振動チーム　ＴＥＬ029-879-6771

ら約 4m ののり尻付近から泥濘化し始め，実験開始後 16 時間でのり尻から水平距離約 5m まで変状が進行した．南から 3.2～4.2m の断面が最も変状が天端方向へ進行しており，のり面の鉛直沈下量が最大で約 0.58m 生じた．

図-4 に，画像解析により求めた南から 5.1m の断面（水位計に近い断面）における堤体模型表面の座標と，水位計（一部，間隙水圧計）により計測した堤体内水位の分布を示す．のり尻が泥濘化を開始した時点で，のり尻の水位が表面付近まで上昇している．しかし，その後の変状の進行中，水位は上昇するものの，崩壊により沈下したのり面の最深部と給水槽水面を結ぶ直線以浅まで上昇することはなく，変状の進行中はのり面から堤体内水位（浸潤面）までは不飽和の状態となっているものと考えられる．

実験後に崩壊範囲において土層強度検査棒による貫入試験を行った．**図-5** に，南から 3.5～3.75m の模型表面の座標と貫入抵抗が増加した深度，南から 4.25m の色砂の残存状況，実験終了時の水位を示す．貫入抵抗の増加は，調査者の感覚によるものであるが，開削調査による色砂の残存状況と概ね一致することから，堤体土が変状した範囲の下端に対応するものと考えられる．天端に近い崩壊範囲では貫入抵抗が増加する深度が，概ね実験終了時の水位より 0.2～0.5m 程度深くなっており，水位以深の堤体土の飽和度が上昇することにより強度が低下し，水位下 0.2～0.5m の飽和した堤体土が水位以浅の不飽和土を支えられなくなり崩壊に至ったものと推測される．

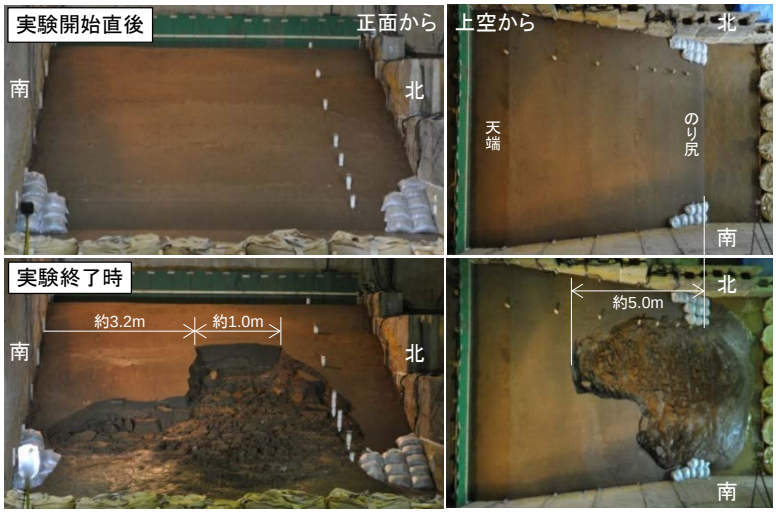

写真-1　実験前後の模型の状況

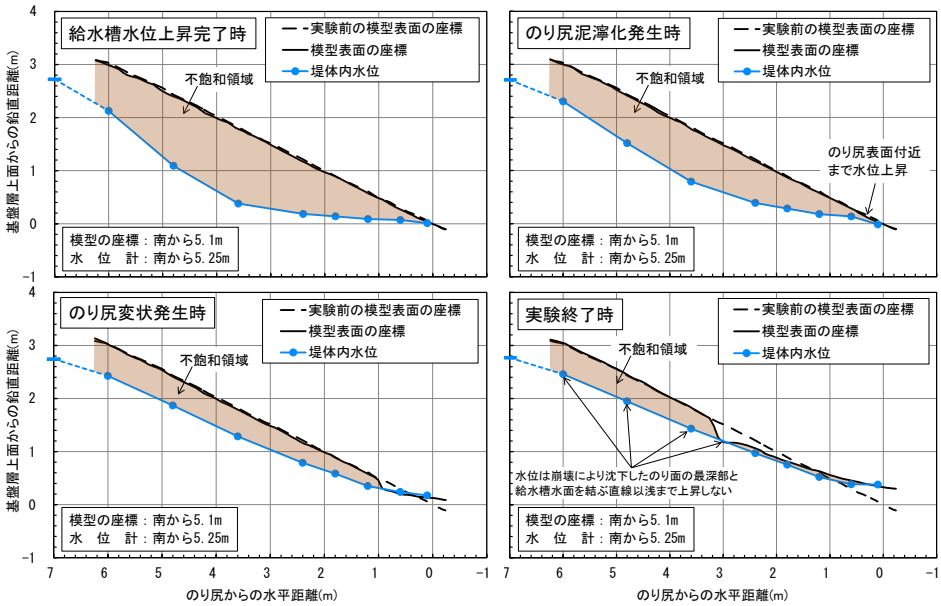

図-4　堤体模型表面の座標と堤体内水位の分布

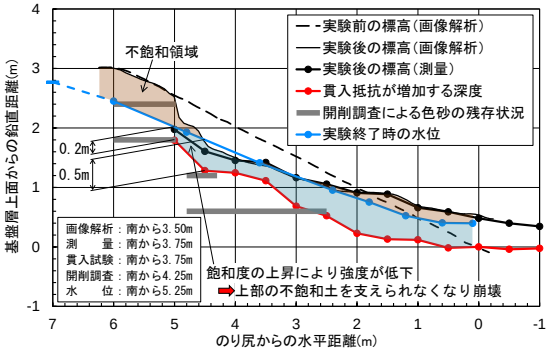

図-5　実験後の画像解析、測量、貫入試験、開削調査等の結果

4．まとめ

河川堤防の進行性破壊のメカニズムを把握するため，大型模型実験を行った．進行性破壊は，まずのり尻部の水位がのり面表面付近に達することで泥濘化が発生し，さらに水位が上昇することで天端に向かって変状が進行していくが，変状進行中の水位はのり面表面には達しないことがわかった．また，実験後の貫入試験の結果，変状進行中は水位以深の土の飽和度の上昇に伴い強度が低下し，水位下 0.2～0.5m の土が水位以浅の不飽和土を支えられなくなることで崩壊に至ったものと推測される．

（参考文献）

1) 秋場，吉田，石原，佐々木：河川堤防の進行性破壊に関する模型実験における進行速度と破壊過程，第 71 回年次学術講演会，2015. 9