

高水位の継続作用が河川堤防の安定性に及ぼす影響

バイビング 水位履歴 内部浸食

名古屋工業大学	学生会員	○齊藤 啓
名古屋工業大学	国際会員	前田 健一
名古屋工業大学	学生会員	今瀬 達也
名古屋工業大学	学生会員	伊藤 嘉
名古屋工業大学	学生会員	若狭 愛

1. はじめに

2012年7月に発生した九州北部豪雨により矢部川右岸 7k300地点が決壊した。この時、計画高水位を超える水位が5時間程度継続したのち堤防天端を越水することなく決壊したことから、社会的にも注目を集めることとなった。破堤直前の目撃証言によると、堤内側法尻から濁水が噴出していたとあり、内部浸食による細粒分の流出が疑われる。このような高水位の継続作用に伴う内部浸食は、堤防を進行的に弱体化させ浸透破壊の危険性を高めることが指摘されている¹⁾。しかし、現行の設計において高水位の維持が河川堤防に与える影響について考慮されていない²⁾。

そこで本稿では、破堤した矢部川堤防を再現した模型実験を実施し、長時間継続する高水位に対する河川堤防の不安定化について検討を行った。

2. 模型堤防実験概要

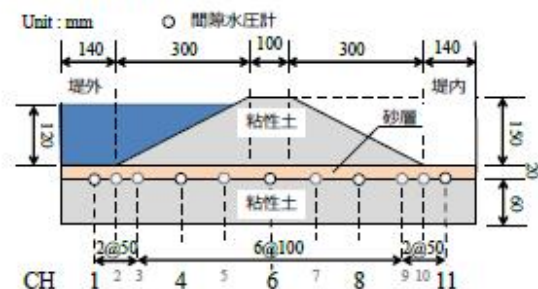


図-1 矢部川模型堤防概略図(実堤防の1/50スケール相当)
動水勾配が実堤防と同じ約0.2になるように形状を決定
(設計における河川堤防の限界動水勾配は0.5)

図-1のような、透明なアクリル面を有する土槽(幅1000mm、深さ500mm、奥行き250mm)を用い矢部川堤防を再現した模型実験を実施した。模型堤防の作製方法について、堤体下部の基盤層(層厚60mm)と堤体(高さ150mm)は藤ノ森粘土を含水比20%に調整して相対密度80%になるように締固めを行った。堤体部と基盤層で挟まれた砂層について、比較的粒径がそろっている豊浦砂を堆積させる場合と、珪砂7号(大粒)と2号(小粒)を層状に堆積させる場合³⁾の2ケースについて比較を行った(砂層も相対密度80%となるように締固めた)。

堤外側の水位に関する水理条件としては次のように設定した。堤外側に一定水位速度(3.0mm/min)で給水し水位を上昇させる。水位が砂層上部から120mmに達したところで水位を保持した。堤防の断面および堤内側法先において動画撮影を実施し、砂層部に間隙水圧計を計8箇所設置した。

3. 実験結果および考察

1) 堤防断面における変形挙動

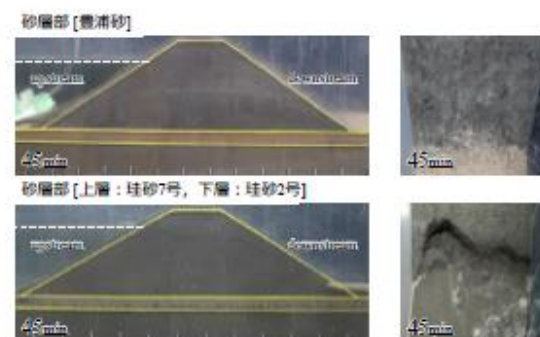


図-2 堤防底部に砂礫層を有する場合の浸透破壊実験： 上図、砂層部：豊浦砂； 下図、砂層部：上層珪砂7号・下層珪砂2号。右の写真は堤内側法尻部における様子を示す。

図-2に、実験時における堤防断面と堤内側法尻部における様子を示す。砂層部を豊浦砂で作成した堤防では、実験開始から45分後においても変状は見られず、その後2時間ほど観測を続けたが堤内側から清水が出るだけで破堤には至らなかった。一方、砂層部を上層、下層異なる粒径の材料を用いた堤防では、実験開始から20分後(この時の動水勾配は0.1)に局所的に噴砂が発生し、堤内側で濁った水が漏水し始めた。その後、実験開始から45分を過ぎたあたりで決壊した。この時、水みちを形成していくような後退性の浸食は見られず、時間の経過とともに堤内側法面が少しずつ崩れていく様子を観察した。実験で作用させた動水勾配は約0.2であり、設計上の限界動水勾配である0.5の半分以下である。この程度の動水勾配における浸透破壊の発生には、土粒子の移動に伴う進行的な弱体化が指摘されている¹⁾。そこで、次項では限界流速と土粒子粒径に関する検討を行った。

2) 限界流速に基づく検討

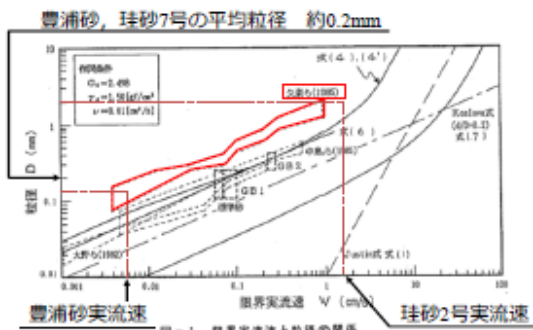


図3 限界実流速と土粒子粒径の関係。

図-3 に、限界実流速と粒径との関係について示す。本実験では砂層部の水平浸透に着目し、久米らの実験結果を参考に示す。砂層が豊浦砂の場合における実流速と粒径の関係について検討すると、動水勾配 0.2 における豊浦砂の実流速は約 $4.4 \times 10^3 \text{ cm/s}$ であり豊浦砂粒子 ($D_{50}=0.2\text{mm}$) の移動が難しいことがわかる。一方、砂層が二層の場合においては、珪砂 2 号を透水する実流速が約 1.7cm/s であり珪砂 7 号の移動に十分な流速が生じていることから、珪砂 2 号の層に珪砂 7 号 ($D_{50}=0.2\text{mm}$) が吸出された可能性が考えられる。その結果、砂層内で目詰まりを発生させ局所的な動水勾配の増加を引き起こしたことが推察される。そこで次に、砂層内に設置した間隙水圧計より局所動水勾配を算出し検討を試みた。

3) 動水勾配に基づく検討

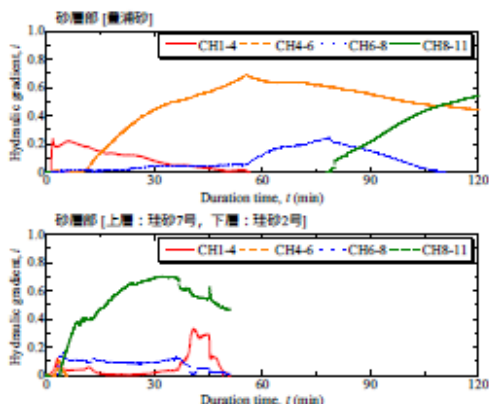


図4 砂層部における動水勾配の経時変化。

$$[\text{動水勾配}] = [\text{2点間の水頭差}] / [\text{2点間の距離}]$$

図-4 では、堤体下の砂層部における動水勾配の経時変化を示している。砂層が豊浦砂の場合、堤外側から順に局所的な動水勾配が増加する。いずれの設置位置における動水勾配も一度増加した後減少するが、これは若番の間隙水圧計のみ反応している時動水勾配が増加し、その後老番の間隙水圧計が反応する

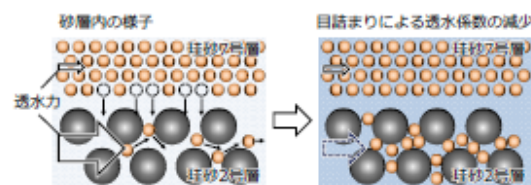


図5 内部浸食と目詰まりによる透水係数の減少。

ことで動水勾配が減少するためである。この結果から、堤外側から供給される水が豊浦砂層で詰まることなく浸透していることがわかる。一方砂層が粒度の異なる二層の場合、実験開始から堤内側に近い CH8-11 間における動水勾配が先行して増加する。堤外側から供給される水が、比較的透水係数の大きな珪砂 2 号の層を浸透する際、珪砂 7 号を浸食し堤内側で目詰まりを引き起こし、その結果、砂層内の目詰まりから透水係数の減少をもたらす。堤内側における動水勾配の増加を引き起こしたものと考えられる (図-5)。また、このように粒子が抜けることで透水係数が減少する挙動は一次元の実験において確認されている⁴⁾。

4. 結論

本研究では、矢部川破堤断面を参考に模型堤防を作製し、堤体下の透水層の浸食性の違いと高水位の維持が堤防に及ぼす影響について検討した。その結果、堤内側で濁水が継続的に流出した場合に、進行的に破壊が生じることを確認した。これは、細粒子の流失と目詰まりによる流速・動水勾配の変化に起因すると考えられ、今後、内部浸食に伴う堤防の不安定化を考慮した設計や対策工が求められる。

謝辞

この研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 23360203 の助成を受けており、ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杉井俊夫, 梅基哲矢, 山田公夫, 名倉晋: 浸透破壊を対象とした進行性メカニズムの評価に関する研究, 第25回中部地盤工学シンポジウム論文集, pp.69, 2013.
- 2) 石原雅規, 井上 悟士, 宇野 尚雄, 小保 篤, 川井 正彦, 齋藤由紀子, 佐古 俊介, 佐々木哲也, 長田 仁, 森 啓年: 河川堤防の浸潤に対する照査・設計のポイント, (独) 土木研究所地質・地盤研究グループ 土質振動チーム, 2013.
- 3) 長瀬迪夫: 浸透破壊に関する考え方と破壊発生の条件 (その2) — 諸基準の統一的視野 —: 応用地質年報 No.15, pp.4, 1993.
- 4) 山田高弘, 前田健一, 近藤明彦: 粒状体の内部浸食の安定性に及ぼす粒度形状の影響と代表粒径を用いた評価の試み, 第48回地盤工学研究発表会, pp.1967-1968, 2013.