

河川堤防の土質特性と浸透安定性に関する検討

独立行政法人 土木研究所 恒岡 伸幸 正会員 古本 一司
正会員 小畑 敏子 正会員 ○若狭 聡

1. はじめに

国土交通省の行った堤防の浸透に対する安全性の詳細点検¹⁾（以下堤防点検と称す）の中間成果を整理した結果、浸透安定性に問題があると評価された堤防は概ね表-1に示されるタイプに分類された。その約7割は、堤防の土質条件によって堤体内の浸潤線が上昇することで漏水やすべり破壊が発生すると評価されたもの（タイプA～D）で、堤体材料の強度、のり面勾配等が不安定化の要因となったもの（タイプE）は3割弱であった。前者の中で特徴的なものは、従来から浸透が問題となる（河川水の浸透で堤体内浸潤線が上昇しやすい）土質条件として挙げられていたCやDのタイプよりも、堤体への降雨浸透によって浸潤線が上昇したAやBのタイプが全体の約半数を占めていたことと、堤体材料として比較的良いとされている難透水性材料（ここでは $k=1.0 \times 10^{-4} \text{cm/sec}$ 以下と定義）の堤体のタイプAで、堤体内浸潤線が非常に高くなり、全体の約3割を占めていた点である。

本報では、堤防の不安定化の要因となる堤体内の浸潤線上昇に着目して、モデル解析や大型模型実験によって、堤体土質の影響や堤防点検結果の妥当性に関する検討を行った結果を報告する。

2. モデル解析結果

堤防点検での標準的な規模の堤防をモデル化（比高 5.0m、2 割勾配、裏小段有り）し、平均的な外力条件（事前総降雨 215mm、洪水時総降雨 358mm、高水位継続時間 91hr）で浸透流解析を行った結果を図-1に示す。解析ケースは、堤体と基盤の透水係数を $1.0 \times 10^{-2} \sim 10^{-5} \text{cm/sec}$ に変えた合計 7 ケースである。図中には、各ケースで堤体内浸潤線が最も上昇した時点での堤体内浸潤部の面積を堤体断面積との比で整理したものを示した。降雨の有無で面積比の差が大きいものが、河川水の浸透よりも降雨浸透による影響の大きいものであり、ケース 3、6 で顕著であった。また、前述したタイプ A、B に該当するケース 3、5、6 で浸潤線が非常に高くなることが確認された。一方、ケース 4 は降雨の有無によらずに浸潤線の上昇が低く、難透水性材料でも $k=1.0 \times 10^{-5} \text{cm/sec}$ 程度以下の堤体であれば、計画規模の外力による浸透に対して問題の無いことが分かった。以下では、大型模型実験によってこれらの事象を検討する。

3. 大型模型実験

実験は図-2に示す高さ 3.0m、天端幅 3.0m、のり面勾配 1:2 の半断面堤防を構築して行った。堤体材料はケース 1 では山砂（[SF], $k=6.7 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ ）を、ケース 2 では川砂（[S], $k=9.0 \times 10^{-3} \text{cm/s}$ ）を用い、平均締固め度が 90% 以上になるように締固めを行って築堤した。なお、のり面には降雨による表面浸食を防止する目的で短繊維混合土を用いて覆土した。堤体には水圧を測定するためのマノメータを堤体底面に 12 個、R I で堤体内の含水比（飽和度）を測定するための計測孔を

表-1 堤防点検で問題があると評価された堤防タイプ

タイプ	モデル	特 徴	比率(%)
A		難透水性土質の堤体(基盤は特定しない)。 ・降雨浸透により、堤体内浸潤線が非常に高くなる。	32
B		難透水性基盤と透水性土質の堤体の組み合わせ。 ・降雨浸透やいは基盤への排水不良により、堤体内浸潤線が高くなる。	23
C		堤体全体は透水性土質からなるが、中央部あるいはのり尻部に難透水性の土質が分布する(基盤は特定しない)。 ・堤体内の難透水性の土質が浸潤線を押し上げる。	10
D		透水性基盤において裏のり尻下に難透水性層が分布する、行止り地盤を形成。 ・基盤の浸透水が堤体内に上昇して浸潤面を押し上げる。	8
E		堤体材の強度、のり勾配が不安定化の要因。	27

1. ここでは、透水係数 $k=1.0 \times 10^{-4} \text{cm/s}$ 以下の土質を難透水性と定義した。
2. 全標本数は60断面である。

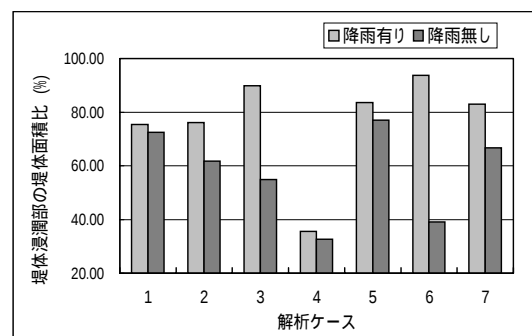
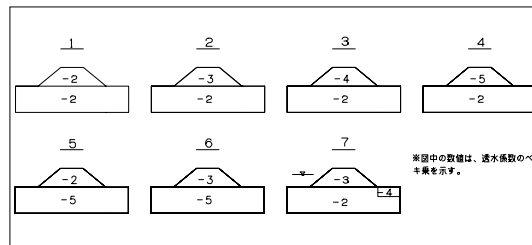


図-1 解析モデルと堤体内浸潤線上昇度との関係

キーワード：河川堤防，浸透，降雨，模型実験，安定性

連絡先：〒305-8516 茨城県つくば市南原 1 番地 6 TEL.0298-79-6767, FAX.0298-79-6798

7孔設置した。実験で与えた降雨強度は詳細点検に合わせて10mm/hr、堤外水位は実験開始1.0時間後に計画高水位相当の2.3mに上昇させ、以降一定水位になるように設定した。

4. 実験結果

山砂のケース1と川砂のケース2のマノメータで測定された堤体内の浸潤線(堤体内部の水位)の上昇過程を図-3に示す。ケース1では定常状態に達するのに実験開始後67時間要するのに対し、堤体の透水性の高いケース2では10時間程度で定常状態に達した。しかしながら、定常状態での両者の浸潤線はほぼ同じ高さであった。一方、両ケースの飽和度の経時変化を図-4,5に示す。ケース1では降雨浸透によって堤防表面から飽和度が上昇して行く過程が観測されている。さらに、実験開始後43時間で不飽和部分の飽和度は90%以上に達し、以降実験終了まで変化は見られなかった。ケース2では堤体の透水性が高く降雨がスムーズに重力方向に浸透することから、浸潤線の近傍で飽和度が高い程度で、ケース1のように飽和度高い箇所が全体に広がる現象は顕著には見られなかった。また、浸潤線の定常段階で50~60%の飽和度に達した以降は、それ以上の上昇は見られなかった。なお、今回の実験では両ケース共にのり面

5. まとめ

1)透水性が比較的低い $k=1.0 \times 10^{-3} \sim 10^{-4}$ cm/secの土質で築堤された堤体は、長時間の外力作用条件下では、河川水の浸透による浸潤線上昇に合せて、堤防表面から浸透した降雨が堤体内に残留することにより、堤防全体がほぼ完全飽和状態に至ることが実験により確認できた。

2)堤防点検で用いる飽和・不飽和浸透流解析では、実験で見られた飽和度の非常に高くなる範囲を含めて浸潤面として評価していることが分かった。このことは点検の観点では安全側の評価であり、実務上妥当であると考えられる。

3)実験の堤体は、締固管理によって十分な強度を有していたことから顕著な破壊には至らなかった。しかし一般堤防では堤体の湿潤化による土の重量増と強度低下によって堤体の安定性が著しく低下することが考えられることから、今回問題とした降雨残留が発生するような土質からなる堤体に対して堤防強化を行う場合には、可能な限り堤体内に降雨を入れない対策が効果的であると考え²⁾。

6. おわりに

近年の異常気象と土地利用の高度化によって、河川堤防の防災構造物としての重要性が一層高まってきている。今後は、堤防点検の結果を適切に評価し、堤防の土質特性に応じた堤防強化工法の選定手法の検討を行いたいと考えている。

参考文献

- 1)河川局治水課：河川堤防の浸透に対する調査要領，平成9年10月。
- 2)恒岡，古本，小畑，若狭：河川堤防の浸透強化対策に関する大型模型実験，第37回地盤工学研究発表会投稿中。

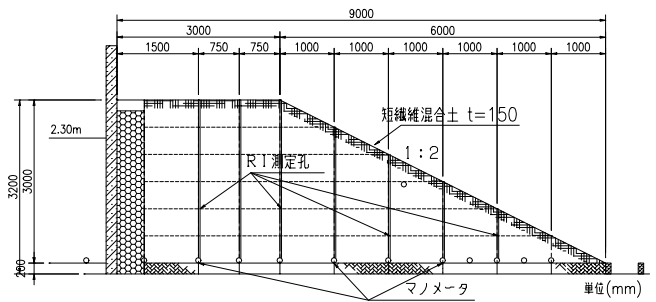


図-2 堤防模型

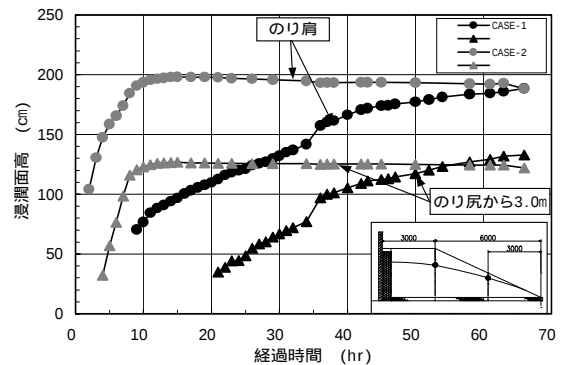


図-3 堤体内浸潤線上昇過程

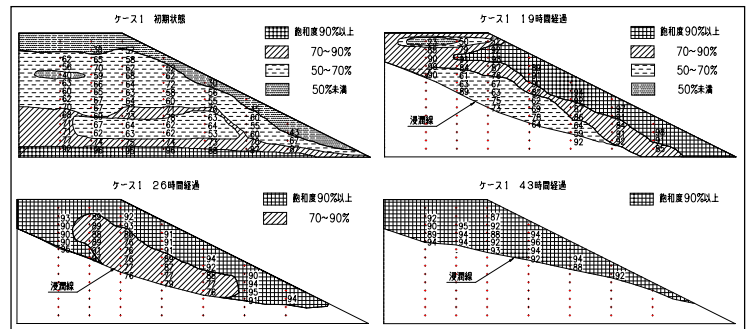


図-4 堤体内の飽和度の経時変化 (ケース1: $k=6.7 \times 10^{-4}$ cm/s)

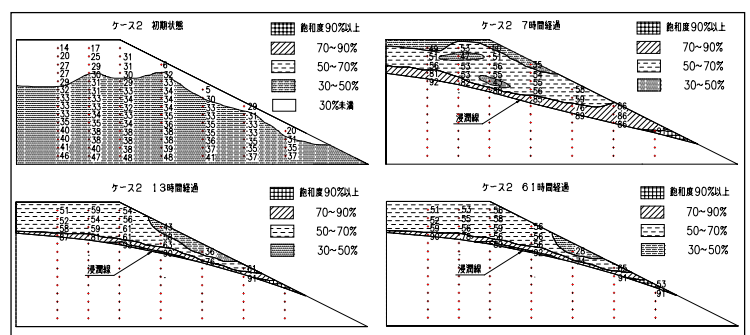


図-5 堤体内の飽和度の経時変化 (ケース2: $k=9.0 \times 10^{-3}$ cm/s)