

大型模型実験の降雨・水位上昇による堤体内浸透挙動に関する検証

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

1. 目的

河川堤防の詳細点検においては、降雨と河川水位の上昇を外力として与え、非定常浸透流解析によって堤防の浸透安全性を評価する。ここでの降雨外力は、1mm/hr の降雨を一定時間与えて初期状態を作った上で洪水時の降雨として 10mm/hr を与えるものである。

本研究では降雨の影響と河川水位の上昇の両方について浸透流解析がバランスよく適切に評価できているか検証するために、1mm/hr の雨を堤防模型に与えた後に河川水位を上昇させ、堤体内水位や飽和度、圧力水頭の分布を計測する大型模型実験を行った。また、得られた実験結果と実験を再現した浸透流解析結果を比較し、浸透流解析の適用性に関する考察を行った。

2. 実験模型及び実験方法

厚さ 0.3m の基盤層（ローム）の上に、縦断方向 6.5m、幅 7m（天端幅 1m、のり面水平幅 6m）、高さ 3m（のり面勾配 1 : 2）の堤体模型を、砂質土を用いて含水比約 17%、締固め度約 86%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。堤体底部に間隙水圧計、堤体内部に土壌水分計と水位計、堤体表面には変状発生を検知するための加速度計を設置した。堤体材料の諸元を図 2 に示す。

実験は、降雨実験と水位上昇実験の 2 つからなる。まず、模型に 1mm/hr の降雨を 400 時間与えて各計測器で計測した（降雨実験）。その後、一定期間置いて十分堤体内の水を排出した後に、背後の給水槽に堤防模型天端-0.3m（水位 2.7m）まで約 3 時間かけて水位を上昇させ、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（水位上昇実験）。

3. 実験結果（堤体内の水位上昇過程）

降雨実験の堤体内水位の上昇過程を図 3 に、水位上昇実験の堤体内水位の上昇過程を図 4 に示す。100 時間まで堤体内水位は緩く上昇した後に 300 時間あたりまで一定に上昇し、その後また緩く上昇した。水位が最も高いのり尻から 6m 位置で 35cm の最高水位を記録した。水位上昇実験²⁾では、給水槽水位の上昇に遅れる形で堤体内水位が給水槽側からのり尻の方向に徐々に上昇している。なお、水位上昇実験では堤体に進行性破壊が発生し、図 4 の破線のようにのり面形状は変化している。

4. 実験結果の再現解析

4.1 降雨による浸透実験の再現

実験模型をモデル化し、降雨実験の再現解析を行った。堤体の透水係数は原位置透水試験(1.6×10^{-4} m/sec)と室内試験(2.9×10^{-5} m/sec)の結果のそれぞれで計算した。不飽和特性は細粒分が 22%含まれることから「河川

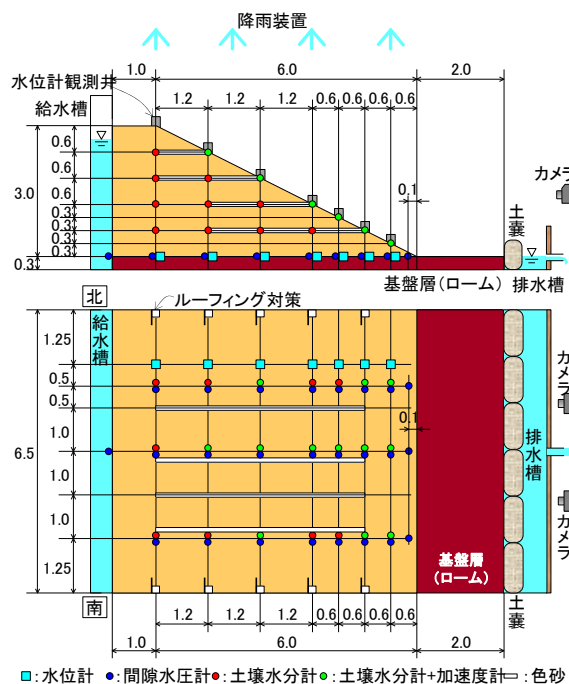


図-1 大型実験模型図

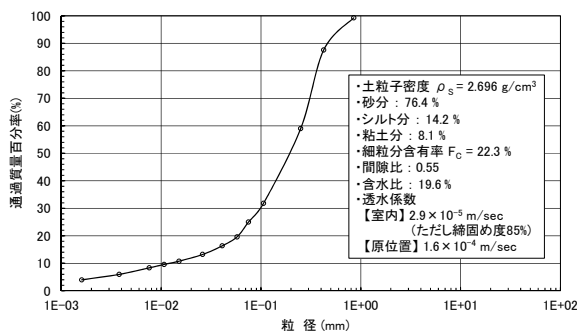


図-2 堤体材料の粒径加積曲線および各種諸元

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 TEL 029-879-6771

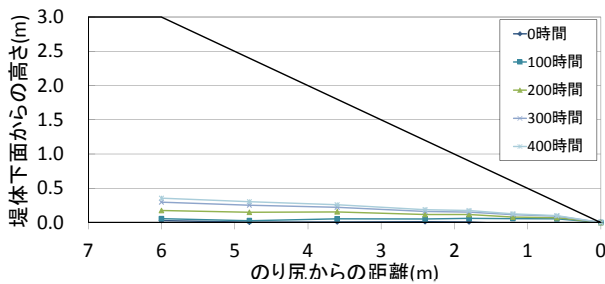


図-3 降雨実験の堤体内水位

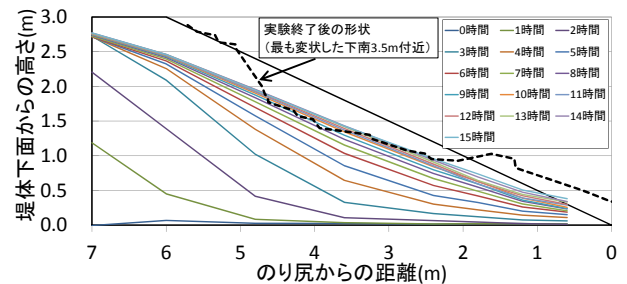


図-4 水位上昇実験の堤体内水位

堤防の構造検討の手引き²⁾ (以下、手引き)のSFとした。基礎地盤の透水係数は室内試験から $2.5 \times 10^{-7} \text{ m/sec}$ とした。図5にのり尻から最高水位の水平距離 6m 位置での堤体内水位の上昇過程を示す。実験の水位の変化を見ると 400 時間後においても定常の水位に至ったとは言えないが、原位置試験の透水係数では 70 時間程度、室内試験の透水係数でも 150 時間程度で定常の水位となった。そこで堤体の透水係数を $1 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$ としたところ定常まで 250 時間程度となった。なお、模型作製時の体積含水率を算出してみると飽和するまでに必要な体積含水率の変化は 0.17 であることから、不飽和特性は手引きのSFよりもSに近いと考えられる。そこで、不飽和特性を手引きのSとした結果、水位は大きく異なるものの水位上昇傾向は概ね再現できた。この条件で降雨強度を 0.16 mm/hr とし解析したところ、概ね水位も再現できた (図6)。ただ、実験中に水がのり面表面を流れているような現象は確認されておらず、降雨は全量堤体内に流入しているものと思われる。

4.2 水位上昇による浸透実験の再現

水位上昇実験の再現解析では、給水槽の水位上昇過程を外力として与えた。降雨実験の再現と同様に堤体の透水係数は原位置透水試験 ($1.6 \times 10^{-4} \text{ m/sec}$) と室内試験 ($2.9 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$) のそれぞれを不飽和特性は手引きのSとして計算した。図7にのり尻から 6m 位置と中央付近の 3.6m 位置での堤体内水位の上昇過程を示す。のり面の進行性の破壊により形状が変化した事を考慮して、開始から 5 時間程度のところまでに着目すると室内試験で設定した結果が実験の上昇過程を概ね再現できた。

5. まとめ

浸透流解析により降雨による浸透実験と水位上昇による浸透実験の再現を行った。水位上昇実験の再現解析では概ね試験結果を再現できたものの、降雨による浸透実験の再現は透水係数や不飽和特性などの諸条件の調整が必要であり、これらの設定法や降雨境界の設定法の再検討の必要性が示唆された。

(参考文献)

- 1) 東, 秋場, 石原, 佐々木: 河川堤防のり面の進行性破壊に関する大型模型実験, 第73回年次学術講演会, 2017.9
- 2) 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版), 国土技術研究センター, 2012.2

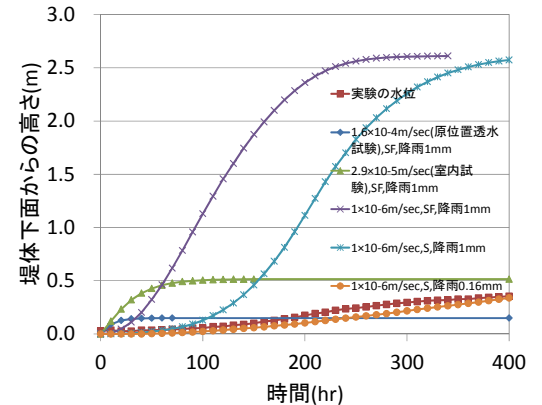


図-5 降雨実験再現水位の経時変化

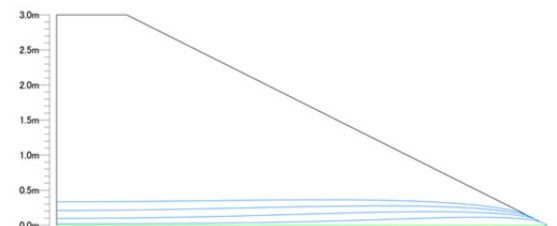


図-6 水位分布<100時間毎>
(堤体透水係数: $1.0 \times 10^{-6} \text{ m/sec}$, S,
降雨強度 0.16 mm)

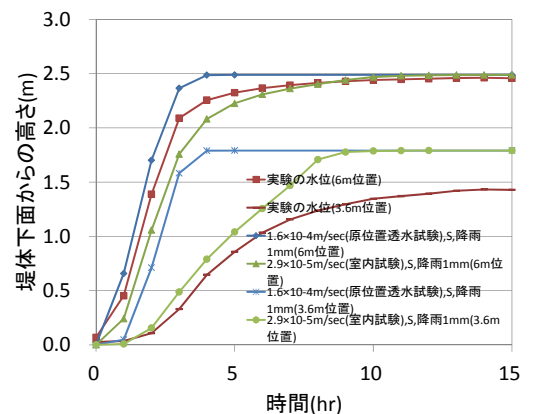


図-7 水位上昇実験再現水位の経時変化

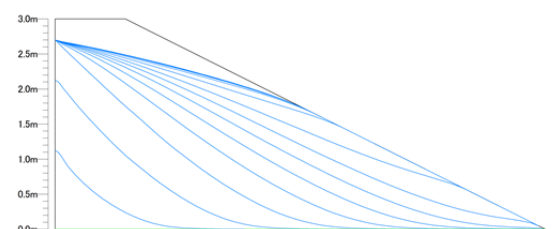


図-8 水位分布<1時間毎>
(堤体透水係数: $2.9 \times 10^{-5} \text{ m/sec}$)