

日本大学生産工学部 山村 和也
 日本大学生産工学部(院) 矢野 尚
 日本大学生産工学部(院) ○朱 偉

1. はじめに

近年、大河川中下流域の急速都市化する中に洪水災害を防止する河川堤防の重要性が高まってきている。しかし、河川堤防は長い治水歴史の中で完成され、築堤材料が多様多様で、施工方法も様々であって、締固めの緩いものも少なくない。しかも、これらの土構造物は不飽和状態であって、降雨や河川の浸透によって、安定性が著しく低下し、しばしば崩壊が生じることもある。このため、堤防における降雨の不飽和浸透やそれに伴って土の強度や構造物の安定性の変化を究明することを試みた。

本研究では、建設省が江戸川で実施した実物大堤防現地降雨浸透実験結果に基づく、室内試験によって不飽和土の浸透特性や強度特性を求めるとともに、有限要素法を用いて、降雨による土構造物崩壊のメカニズムの解析を行った。

2. 不飽和領域の浸透特性

不飽和浸透流の速度に関するパラメーターは土の水分特性曲線と不飽和浸透係数である。この研究では江戸川実験堤防の土を用いて、これらの関数を求めることにした。

(1) 水分特性曲線 ($e \sim \theta$) 本実験では土柱法と遠心法の併用によって $PF=0 \sim 4.2$ の曲線が得られた。試料土は砂質シルトで、最大乾燥密度は 1.54 g/cm^3 であり、実験は堤防の実際の状態に最も近い締固め度80%の試料を用いた。

(2) 不飽和浸透係数 (k) まず、室内透水実験による試料の飽和透水係数を求めた、それから Van-Genuchten の不飽和浸透係数推定法⁽¹⁾を用いて、水分特性曲線により比透水係数と体積含水率の関係を推定した。図-1は土の水分特性曲線と比透水係数を示している。

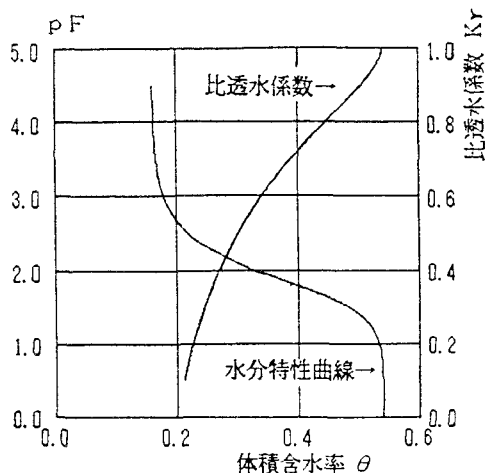


図-1 土の水分特性曲線と比透水係数

3. 有限要素法による浸透解析

実験堤防を438要素、472節点に分割、実験堤防と同じ初期条件を設定して、飽和-不飽和浸透解析プログラム unsaf⁽²⁾によって、降雨中の飽和度や浸透ポテンシャルの変化を解析した。なお、堤防の浸透係数は $1.4 \times 10^{-3} \text{ (cm/sec)}$ 、地盤は $2.8 \times 10^{-5} \text{ (cm/sec)}$ で、降雨強度は $15 \sim 18 \text{ mm/h}$ 、6.0時間の累積降雨量は 105 mm であった。図-2は降雨6.0時間後の現場実測飽和度の分布と解析結果である。両者

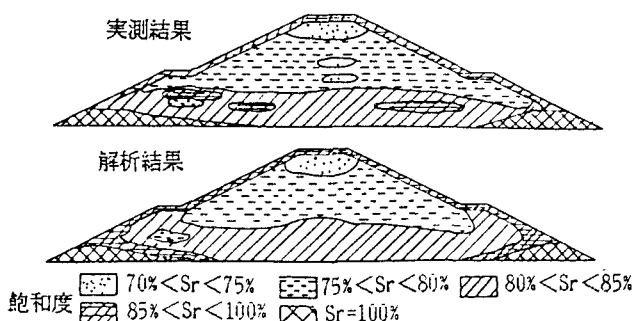


図-2 降雨経時6.0時間の飽和度分布

を比較してみれば、解析結果は堤防表面に飽和度80~90%、浸潤面と接している部分に飽和度90%位のゾーン

が出来ているほか、良く現場の現象を再現した。特に浸透経路長の短い法尻に自由水位の出現し、次第に上昇したことや浸透経路長の長い中央部分に飽和度の変化が少ないゾーンが出現していることなど実測と解析結果が比較的よく一致した。

4. 不飽和土の強度特性

飽和度上昇に伴う土のせん断強さの低下はサクシヨンの変化によって生じて、主として粘着力の減少であることが考えられるので、本研究は主に粘着力の変化を調べることにした。まず、一面せん試験による土の内部摩擦角 ϕ を求めた、 ϕ は飽和度が変化しても変わらない定数とした($\phi=30^\circ$)。次に、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験(CU)を用いて飽和度と粘着力の関係を調べた。その結果は図-3に示している。図-3によると、一軸圧縮試験と三軸圧縮試験によって求められた粘着力にやや違いはあるが、同じような低下傾向がみられる。堤防の初期飽和度(約75%)から飽和するまでの間に粘着力は大体1/3位に低下することになる。また、現場コーン貫入試験⁽³⁾によって求められた結果でも地表面から1~2m間の q_c が大きく(1/2~1/3に)低下した。特に法尻付近の q_c は1~2(kgf/cm²)であり、部分的に $q_c<1$ (kgf/cm²)がみられた。

5. 堤防安定性の解析

浸透解析の結果に基づいて、各ステップにおいて堤防の飽和度をブロックに分け、それぞれの飽和度毎の粘着力は三軸圧縮試験の結果を、内部摩擦角は $\phi=30^\circ$ を用いて、円弧すべり安定解析を行った。図-4は安定解析の結果を示している。

実物降雨実験では経時5時間13分で堤防の小段と法尻の間にクラックが発生し、徐々にすべり出した。また、解析では経時5.0時間時点で堤防の安全率が1.093になって、安全率最小のすべり面は法尻に生じた。各ステップの浸透状況と安全率を良く見てみれば、飽和度の変化が堤防の安全率に大きく影響していると思われる。

6. おわりに

堤防の安定性に影響するのは法尻に先発する堤内水位の他、不飽和浸透による飽和度85%以上のゾーンの広がりも安定性に決定的な影響を与えることが考えられる。飽和度の上昇に伴い土の粘着力が著しく低下するのが確認できたが、定量的に説明するのはこれからの課題である。

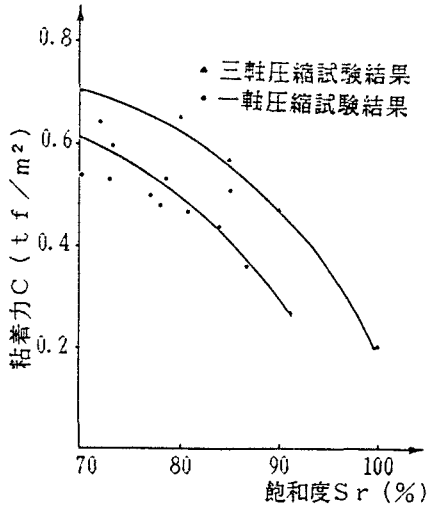


図-3 土の飽和度と粘着力の関係

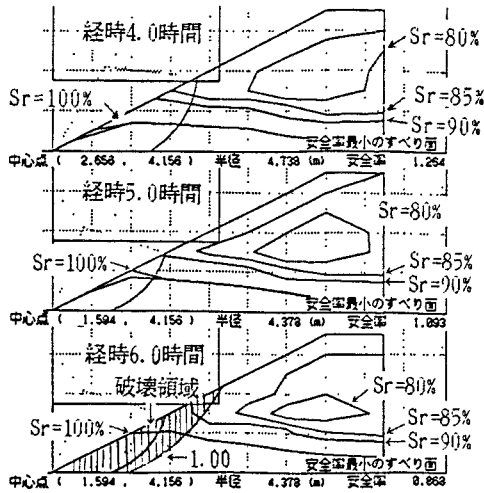


図-4 各ステップの安定解析結果

<参考文献>

- 1) 西垣 誠、楠見 和紀：不飽和土の浸透特性の評価に関する考察、不飽和土の工学的性質研究現状シンポジウム発表論文集 1988年, pp179~186
- 2) 西垣 誠、竹下 祐二：有限要素法による飽和-不飽和浸透解析手法
- 3) (財)国土開発技術研究センター：実物大堤防降雨浸透実験結果 昭和61年12月23日