

建設省土木研究所 ○山田 哲也 三木 博史
〃 佐藤 正博 持丸 章治

1. まえがき

浸透による堤防の安全性に影響を及ぼす浸潤線の発達に、洪水による外水位の上昇と共に降雨の影響が大きいと考えられている。そこで、本研究では、実物大の模型堤防を用いた降雨実験結果と浸透流解析結果とを比較し、解析の予測精度や解析パラメータの設定上の留意点について検討を加えた。

2. 大型模型実験の概要

実験は、図-1に示すような模型堤防に、表-1に示すような降雨を与え、模型堤防内の図-1に示す位置に埋設した水位計測器及びR.I.計測器を用いて水位及び飽和度を測定した。基礎地盤及び堤体に用いた材料は、それぞれ細粒分を10%程度含む砂質土で、締固め度が90%になるように締固めた。築造後、現場密度にあわせた供試体を作製し変水位透水試験を行った結果、透水係数は、基礎地盤で $1.8 \times 10^{-5} \text{ cm/sec}$ 、堤体部で $2.0 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ であった。

3. 数値解析方法

大型模型堤防を対象にして、飽和-不飽和浸透流解析を行った。実測値より初期飽和度は表-2の値を与えた。また、吸引法による pF 試験より得られたデータをもとにVan Genuchtenのモデルを用いて、サクション及び比透水係数と体積含水率の関係を定めた。

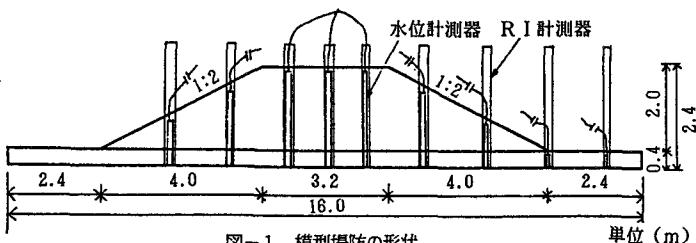


図-1 模型堤防の形状

単位(m)

4. 結果

土質試験より得られた上記の透水係数を用いて解析した結果、浸潤線の発達速度に実測値と大きな違いがみられた。

このため、現場密度の再チェックと現場透水試験を行い、

図-2、図-3の結果を得た。これをみると両ケースとも深度によって密度及び透水係数が、大きく変化していることがわかる。堤体は、仕上がり厚を25cmとし、振動コンパクター(60kg)で2回転圧したものであるが、乾燥が上層部と下層部で 0.2 g/cm^3 以上違い、締固め効果が十分に下層にまで及んでいないと考えられる。土質試験は、一層内の上層部の密度を再現して、試験を行ったため、実際の地盤に比べかなり低い結果が得られたと思われる。以上のような状況から、締固めた層を代表する透水係数の設定には慎重な配慮を要することがわかるが、今回の解析では、25cmの層を5cmずつの層に分け、図-2に示すような各層の乾燥密度の平均値より、それに対応する透水係数 $4.5 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ を代表値として用いることにした。また、基礎地盤では、土質試験を行えなかつたので、変水位透水試験の結果を参考にして透水係数を $4.5 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ と定めた。

図-4、図-5に実験結果と解析結果を示す。これを見ると、浸潤線の上昇過程における様子はほぼ一致している。また、水位下降過程においては実験結果より、解析結果の水位がやや高く見えるが、これは降雨停止直後の浸潤線の下降速度の違いによるもので、それ以後は大きな差はみられない。

降雨浸透流解析では、様々なパラメータが結果に影響を与える。

表-1 降雨パターン

	ケース1	ケース2
基礎地盤	降雨強度 12.4 mm/h で31hr連続降雨	水位20cm
堤 体	降雨強度 12.3 mm/h で36hr連続降雨	44.0 %

表-2 堤防の初期飽和度

	ケース1	ケース2
基礎地盤	55.0 %	水位20cm
堤 体	44.0 %	40.0 %

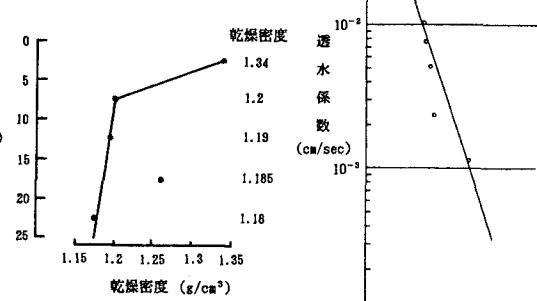


図-2 一層内の密度変化

図-3 透水係数と乾燥密度の関係

そこで、それらのパラメータについて感度分析を行い、以下のような知見を得た。ここでは、このうち特に影響が大きいと思われる初期飽和度分布を変化させた時の解析結果を図-6に示す。

(1)透水係数の異方性：透水係数の異方性は、最高水位や浸潤線の上昇過程に影響を及ぼす。鉛直方向の透水係数が小さくなるにつれて、堤体中央で低く両側に2つの山をもつ形がはっきり表れ、また、最高水位や堤体のりすべりの原因となる裏のり部の水位が高くなる。

(2) p F 値：Van Genuchten 法で、水分特性曲線を推定する場合、最小容水量の値が大きな影響を及ぼす。最小容水量をわずかに変化させるだけで浸潤線の上昇の様子が異なる。また、降雨停止後の排水過程では、浸潤線の下降にはほとんどその影響はみられないが、不飽和領域のサクションにその影響がみられた。

(3)比透水係数：Van Genuchtenの式による方法の他に、Irmay型の式、ブタコフスキイの式を用いて解析を行ったところ、Van Genuchtenの式が実験結果に最も近い挙動を示し、Irmay型の式は他の2つに比べて水位の上昇が極めて早かった。なお、どのモデルも p F 値同様、排水過程での浸潤線の下降に差はみられないが、不飽和領域のサクションには、大きな影響を与えることが確かめられた。

(4)初期飽和度分布：図-6は、基礎地盤、堤体ともに初期飽和度を5%ずつ変化させたもので、水面の上部の飽和度が水面の上昇に大きく影響している。また、各々基礎地盤と堤体のみの初期飽和度をわけて変化させた時も、あまり差が表れず、堤防内の浸透を予想するには、堤体のみならず基礎地盤の初期設定を慎重に行わなければならない。

(5)成層構造の形成：締固めた層を代表する透水係数の決定が非常に難しいことは上述したが、平面要素を再分割して解析を行った結果、実験結果にはやや近づくが、降雨停止直後の水位下降に、まだ違いがみられる。また要素数を多くすると計算時間の増大という問題もあり、成層構造を表現するための手法として要素数を増やすことは、解析精度と計算時間との兼ね合いで決定しなければならない。

5. あとがき

有限要素法を用いた飽和-不飽和浸透流解析による降雨の堤体内浸透の予測にあたっては、締固めによる成層構造を考慮した透水係数の与え方及び初期飽和度分布の設定が重要であり、それらを配慮すれば、かなりの精度で降雨浸透の予測が可能なことがわかった。

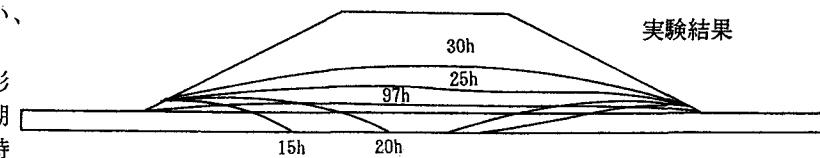


図-4 ケース1の試験結果及び解析結果

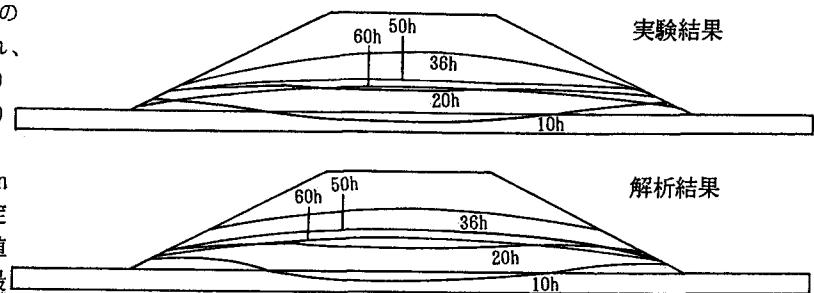


図-5 ケース2の試験結果及び解析結果

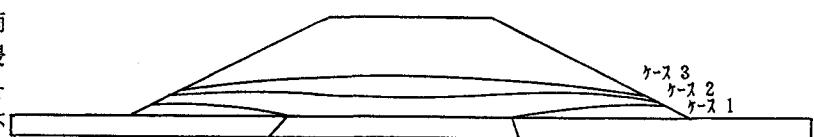


図-6 初期飽和度を変化させた解析結果(25hr経過後の浸潤線の様子)

表-3 飽和度の初期条件

	ケース1	ケース2	ケース3
基礎地盤	50.0 %	55.0 %	60.0 %
堤 体	39.0 %	44.0 %	49.0 %