

不飽和透水係数の支配パラメータ m が堤体内浸潤線に及ぼす影響について

山口大学大学院 学生会員 ○鈴木 健太
 近畿大学 正会員 河井 克之
 近畿大学 正会員 中島 晃司

1. 目的

現在、浸透に対する堤防の安全性照査は河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)¹⁾に基づいた飽和不飽和浸透解析によって検討されている。その際、堤体構成土の透水係数、保水特性は、三種類の代表材料定数から選択することになる。長大な河川延長を考慮する包括的な手法で、安全性のランク付けを行う必要がある。個別の河川堤防において、詳細な検討を行うためには、採取された試料の土質定数を解析に適用すればよい。しかしながら、本来、不飽和透水係数と保水特性は独立したものであるが、試験コストを抑えるために、保水性試験から得られた水分特性曲線の形状パラメータを不飽和透水係数のパラメータ m に換算して用いるのが一般的で、不飽和透水試験を実施することは少ない。本研究では不飽和透水係数を支配するパラメータ m に着目して、富澤ら²⁾が行った大型模型を用いた降雨実験を数値解析することで、不飽和透水係数を支配するパラメータ m の影響について検討を行った。

2. 解析方法

富澤らは図-1 に示すように、厚さ 0.3m の基礎層の上に、幅 7m (天端幅 1m)、高さ 3m、奥行き 6.5m の大型模型を作製した。堤体は細粒分含有率 $F_c=22\%$ 、砂分含有率 $S_c=76\%$ の砂質土を使用しており、含水比約 17%で、平均 86%の締め固度で盛り立てられた。堤体底部に間隙水圧計、堤体内部に土壤水分計と水位計、堤体表面には加速度計が設置されている。この大型模型に 1mm/h の降雨を 400 時間与えて、その際の内部含水率変化や水位変化が計測された。材料に関しては、原位置試験、室内試験から、透水係数、水分特性曲線が別途求められている。本研究では、土/水/空気連成有限要素解析コード(DACSAR-MP)を用いて、解析を実施した。図-2 で、解析に用いたメッシュおよび境界条件を示す。解析領域下端、左端は非排水境界、基礎層の右端に水頭境界、基礎層の右端に水頭境界を与えた。天端、法面には降雨強度相当の流量を与えると同時に、堤体内の浸潤線が上昇し、法面からの浸潤を表現するために法尻付近の法面には、圧力水頭が負の値からゼロに達すると、自動的にゼロ圧力水頭境界に転じる浸透境界を設定した。堤体材料、基礎地盤の材料定数を表-1 に示す。ここで、透水係数に関しては、原位置試験の結果と室内透水試験結果が異なるが、予備解析結果で得られる深度方向の含水率分布の変化と模型土槽に設置された土壤水分計の計測結果が一致するように室内透水試験の結果を採用した。堤体の降雨前の保水状態を表現するために、堤体部には等しいサクシオン値を初期条件として設定し、4日間放置した後、降雨を与えた。

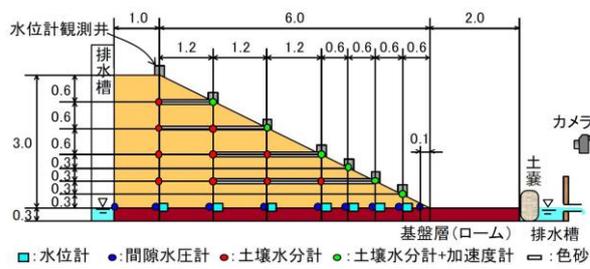


図-1 大型模型概要図²⁾

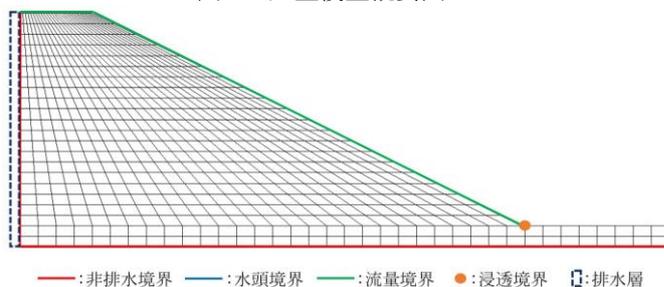


図-2 解析メッシュおよび境界条件

表-1 堤体材料と基礎地盤の材料定数

堤体材料						
λ	κ	M	γ^*	k_x	k_y	m
0.087	0.009	1.375	0.33	5.02	2.51	0.6
a	n	e_i	Sr_0	n_E	k_{ax}	k_{ay}
10	1	0.841	0.55	1	502	251
基礎地盤						
λ	κ	M	γ^*	k_x	k_y	m
0.087	0.009	1.375	0.33	0.24	0.12	0.6
a	n	e_i	Sr_0	n_E	k_{ax}	k_{ay}
10	1	0.841	0.55	1	24	12

透水係数・透気係数の単位(m/day)

富澤らは図-1 に示すように、厚さ 0.3m の基礎層の上に、幅 7m (天端幅 1m)、高さ 3m、奥行き 6.5m の大型模型を作製した。堤体は細粒分含有率 $F_c=22\%$ 、砂分含有率 $S_c=76\%$ の砂質土を使用しており、含水比約 17%で、平均 86%の締め固度で盛り立てられた。堤体底部に間隙水圧計、堤体内部に土壤水分計と水位計、堤体表面には加速度計が設置されている。この大型模型に 1mm/h の降雨を 400 時間与えて、その際の内部含水率変化や水位変化が計測された。材料に関しては、原位置試験、室内試験から、透水係数、水分特性曲線が別途求められている。本研究では、土/水/空気連成有限要素解析コード(DACSAR-MP)を用いて、解析を実施した。図-2 で、解析に用いたメッシュおよび境界条件を示す。解析領域下端、左端は非排水境界、基礎層の右端に水頭境界、基礎層の右端に水頭境界を与えた。天端、法面には降雨強度相当の流量を与えると同時に、堤体内の浸潤線が上昇し、法面からの浸潤を表現するために法尻付近の法面には、圧力水頭が負の値からゼロに達すると、自動的にゼロ圧力水頭境界に転じる浸透境界を設定した。堤体材料、基礎地盤の材料定数を表-1 に示す。ここで、透水係数に関しては、原位置試験の結果と室内透水試験結果が異なるが、予備解析結果で得られる深度方向の含水率分布の変化と模型土槽に設置された土壤水分計の計測結果が一致するように室内透水試験の結果を採用した。堤体の降雨前の保水状態を表現するために、堤体部には等しいサクシオン値を初期条件として設定し、4日間放置した後、降雨を与えた。

キーワード 河川堤防, 浸透, 飽和不飽和浸透解析, 土/水/空気連成有限要素解析

連絡先 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1 山口大学大学院創成科学研究科 進士研究室 TEL0836-85-9332

表-1 の入力定数にある m は、水分特性曲線から得られるのは 0.6 だが、値を 0.2, 0.4, 0.5 に変更して解析を行い、比較した。

3. 解析結果

図-3 は有効飽和度～比透水係数・比透気係数関係に与えるパラメータ m の効果を示したものである。このグラフから、有効飽和度が大きいほど、透気性が低く、透水性が高くなる事が分かる。 m は各曲線の曲率を指すパラメータであるが、特に、透水係数に関しては、 m が小さいほど、曲率は大きく、高飽和度領域で飽和度に対する透水係数の増加が顕著になる。図-4, 5, 6 は、解析によって得られた降雨下の水圧分布を示す。これらの図には、水圧がゼロの値を示す等値線を示しており、これを浸潤線とみなすと、降雨継続時間とともに浸潤線が上昇している。また、微小な差異ではあるが降雨 100 時間後において、 m の違いで水位の上昇に変化が見られる。図-7 は法肩直下の基盤上で計測した水位計の計測値と、同じ位置の要素で得られた圧力水頭を比較している。いずれも水位は単調増加を示すものの一定の値に漸近する傾向を示している。しかし、解析結果の方は、初期に負の圧力水頭となっているだけでなく、水位増加が激しい。傾向としては、水位高 0.2m 以上の水位変化は実験値に近いことが分かる。また、実験値は 100 時間後から水位の上昇が顕著になっており、この傾向に最も近いのは、 $m=0.4$ であり、このことから、飽和不飽和浸透解析における m による影響は小さくないことが分かる。

4. まとめ

大型モデルにおける降雨実験を用いて、不飽和透水係数を支配するパラメータ m に着目して、土/水/空気連成有限要素解析 (DACSAR-MP) で検討した結果、保水試験から得られるパラメータから不飽和透水係数を支配するパラメータ m を決めることによる影響が小さくないことが判明した。このパラメータを実測値に近いものにする事で、飽和不飽和浸透解析の精度がより向上すると考えられる。

参考文献

- 1) 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
- 2) 富澤彰仁, 東拓生, 石原雅規, 佐々木哲也: 大型モデルを用いた降雨実験による堤体内浸透挙動の検証, 土木学会第 73 回学術講演会, pp.469-470, 2018

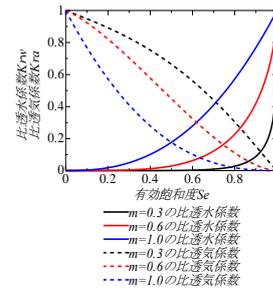


図-3 比透水係数・比透気係数の m への依存性

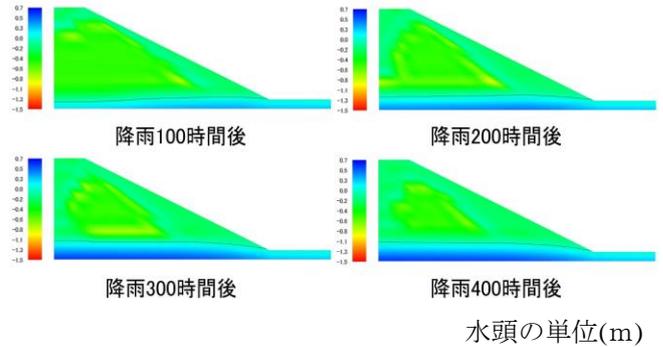


図-4 降雨中の圧力水頭分布($m=0.2$)

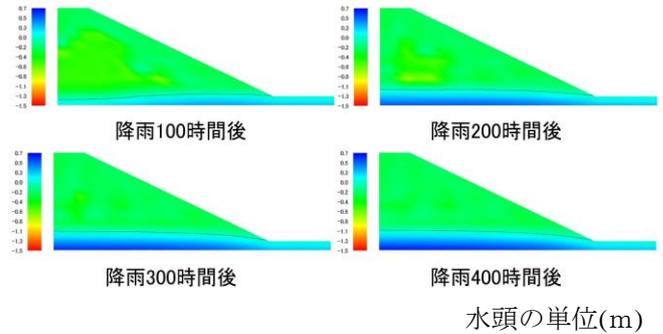


図-5 降雨中の圧力水頭分布($m=0.4$)

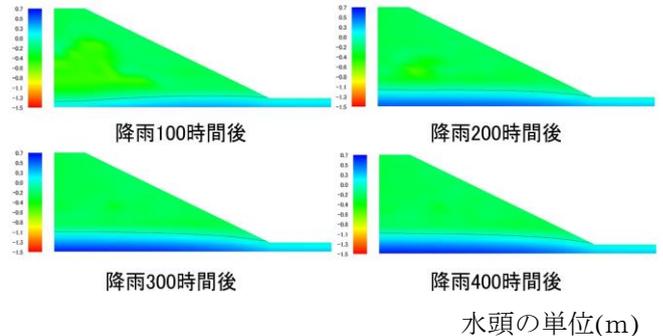


図-6 降雨中の圧力水頭分布($m=0.5$)

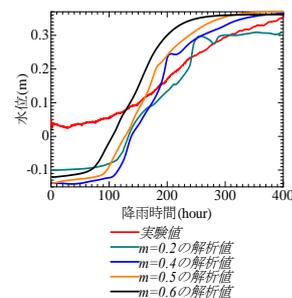


図-7 不飽和透水係数パラメータ変更による水位挙動