

河川堤防を対象とした飽和-不飽和浸透流解析における初期飽和度に関する一考察

建設技術研究所 正会員 李 圭太
建設技術研究所 ○日宇 洋平, 小林 猛嗣
京都大学大学院 正会員 小山 倫史, 大西 有三

1. はじめに

河川堤防において、河川水の浸透挙動に影響を与える大きな要因は、堤体の透水係数ならびに堤体材料の不飽和浸透特性である。不飽和浸透特性は、地盤毎に異なり、室内試験等により不飽和特性を求めるべきであるが、実務上、すべてのケースで試験により推定することは困難である。河川堤防の詳細点検においても、既往の室内試験より得られた不飽和浸透特性を既往の室内試験結果より、礫質土、砂質土、粘性土に分けて不飽和浸透特性を設定している²⁾。そこで、本研究では、より実地盤に近い不飽和浸透特性を簡易に設定することを目的として、既往の土質調査結果に基づき、「van Genuchten の水分保持曲線モデル」(以下 VG モデル) を利用して設定された VG モデル¹⁾(李ら,2008)を基本として現地土質試験結果を踏まえて透水係数比に下限を設けた。その不飽和浸透特性および「河川堤防構造検討の手引き」(以下手引き)の不飽和透水特性を適用して、中小規模の河川堤防をモデルとして飽和-不飽和浸透流解析を実施し、浸潤挙動の違いについて考察した。

2. 既往調査結果に基づく初期飽和度と透水係数の整理

西日本各地における既往の土質調査結果のうち、粒度試験結果、初期飽和度 S_r および透水係数 k に着目してデータを整理したものをFig. 1に示す。粒度試験結果と初期飽和度の関係において、細粒分含有率 F_c と S_r の間に比較的顕著な関係が見られた。 $F_c > 40\%$ の領域では、 S_r は概ね90%以上である。一方、 $F_c \leq 40\%$ 未満の領域では、初期飽和度にばらつきがあるが、概ね F_c が大きくなると S_r も大きくなる傾向にあることが確認できる。一般に礫~砂質土である $F_c \leq 20\%$ の領域では、概ね $S_r=10\sim 50$ 程度の範囲であり、砂質~中間土である $20\% \leq F_c \leq 40\%$ の領域では $S_r=30\sim 70$ の程度の範囲であることがわかる。

3. 実地盤に近い不飽和浸透特性の設定

既往土質調査結果に基づき、実地盤に近い不飽和浸透特性を設定するため、VGモデルを利用した。VGモデルのうち、既往文献に基づき基礎式を用いて設定されたVG1, VG2¹⁾を適用した。これらモデルについて、既往土質調査結果により区分された領域の中間程度の飽和度を目安としてそれぞれ $S_r=30\%$, 50% における値をマトリックスポテンシャル ϕ および透水係数比 k_r の下限とした。これらをVG1-2, VG2-2とした。Fig2に不飽和浸透特性を示す。これら不飽和浸透特性に基づき、モデル化した河川堤防において、浸潤挙動を把握した。

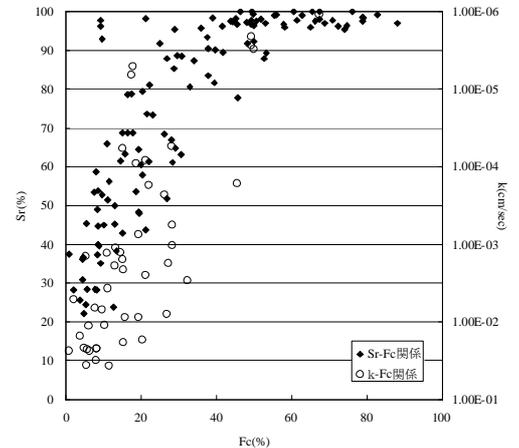


Fig. 1 細粒分含有率 F_c と初期飽和度 S_r および透水係数 k の関係

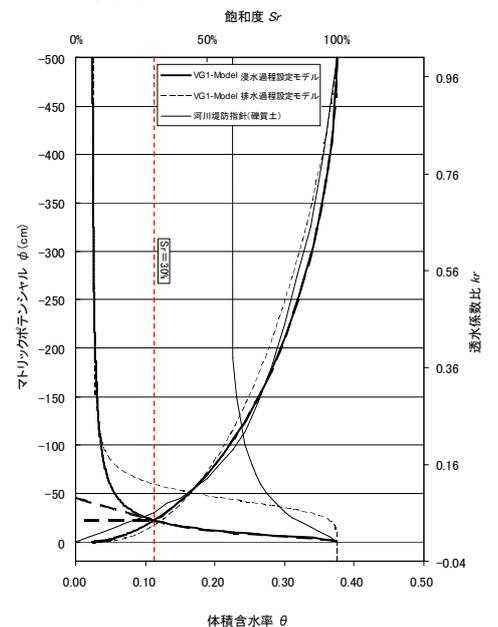


Fig. 2 不飽和浸透特性 (VG1)

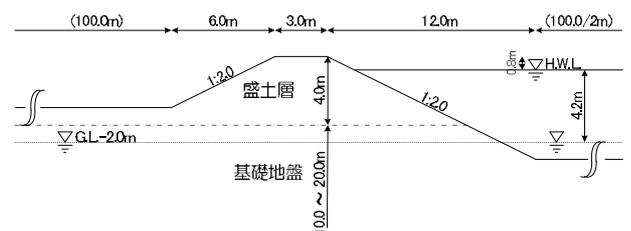


Fig. 3 解析モデル図

キーワード 河川堤防 飽和-不飽和浸透流解析 初期飽和度
(株) 建設技術研究所大阪本社地盤構造室 (〒541-0045 大阪市中央区道修町 1-6-7 TEL: 06-6206-5555(大代表))

4. 解析条件および解析ケース

解析にあたっては、一般的な中小河川の堤防をモデル化した。モデル図およびメッシュ図をそれぞれ Fig. 3, Fig. 4 に示す。堤体および基礎地盤の透水係数は基礎地盤も堤体と同等とし、不飽和浸透特性として VG1 を使用したケースについては $k=1.00E-02\text{cm/sec}$ を与えた。一方、VG2 を使用したケースについては $k=1.00E-03\text{cm/sec}$ を与えた。外力条件については、モデル化した河川と同程度の規模の実績洪水ハイドロを台形波形として概略的にモデル化した。外水位波形を Fig. 5 に示す。なお、本検討においては浸潤挙動に影響を与える要因として外水位のみを考え、降雨の影響は考慮しないこととした。

解析ケースは、Table. 1 に示す 6 ケースとした。

Table. 1 解析ケース一覧

ケース	不飽和浸透特性	透水係数(cm/sec)	
礫質土系	CASE1-1	手引き(礫質土)	
	CASE1-2	VG1	1.00E-02
	CASE1-3	VG1-2 (Sr=30%を下限)	
砂質土系	CASE2-1	手引き(砂質土)	
	CASE2-2	VG2	1.00E-03
	CASE2-3	VG2-2 (Sr=50%を下限)	

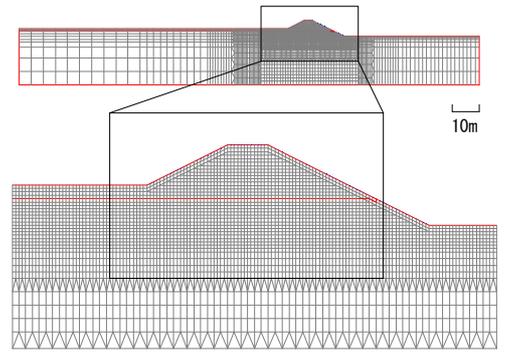


Fig. 4 メッシュ図

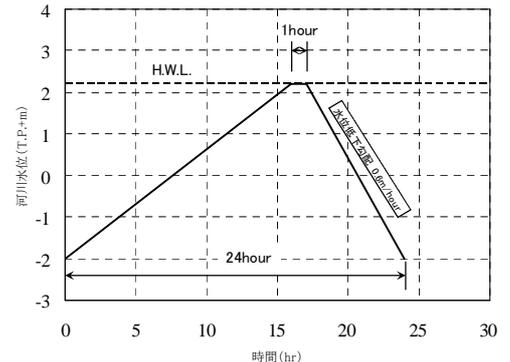
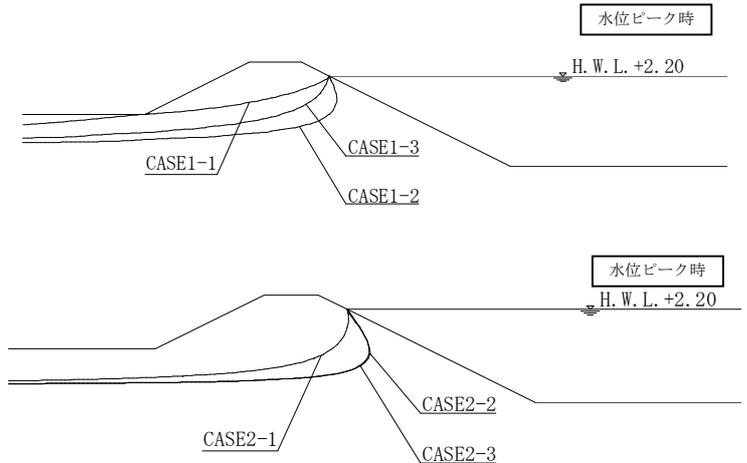


Fig. 5 外水位波形

5. 解析結果および考察

解析結果図を Fig. 6 および Fig. 7 に示す。礫質土系においては、CASE1-3 よりも CASE1-2 の方が浸潤域が大きくなる結果となった。一方、砂質土系においては CASE2-2 と CASE2-3 については顕著な差異は認められなかったが、礫質土系と同様に、CASE2-3 よりも CASE2-2 の方が浸潤域が若干大きくなる結果となった。VG モデルを用いたケースに比べて VG1-2 および VG2-2 を適用したケースは堤体の浸潤域が大きくなる傾向にあることがわかった。これは、現地の土質が初期の状態と比較的飽和度が高く、初期状態において、VG モデルを適用した場合に比べて透水係数が大きくなるためであると考えられる。一方、「手引き」の不飽和浸透特性を用いたケースに比べ、VG モデルを使用した場合には、浸潤域が小さくなることが確認できた。



6. まとめ

本研究において、現地地下水位以上の盛土地盤における初期飽和度に基づき、既往文献より設定された VG モデルに透水係数比 k_r の下限値を設定することで、より現実に近い浸潤挙動を簡易に再現できる可能性があることが確認できた。今後、様々な土質に対して、室内試験より設定した不飽和浸透特性と本研究の手法で設定した不飽和浸透特性モデルを比較し、手法の妥当性を確認するとともに、実務的に利用可能なレベルまで精度向上を図る必要がある。

参考文献

- 1) 李, 小山, 大西, 古川, 小林 : 越流を考慮した河川堤防の浸透破壊に対する応力-浸透連成解析, 地盤工学ジャーナル Vol. 4, No. 1, pp. 1-9, 2008.
- 2) 河川堤防構造検討の手引き 財団法人国土技術研究センター 平成 14 年 7 月