

大気 - 表面水 - 多孔質体連成数値解析手法の実河川における堤防安全性評価への適用性検討

八千代エンジニアリング株式会社 正会員 ○守村 融  
 八千代エンジニアリング株式会社 正会員 保坂 幸一  
 八千代エンジニアリング株式会社 正会員 井川 尚之  
 国立研究開発法人産業技術総合研究所 正会員 富樫 聡  
 名城大学 正会員 日比 義彦

1. 目的

河川堤防の安全性評価は『河川堤防の構造検討の手引き(改訂版)』<sup>1)</sup>(以降は手引きと記す)に基づき実施されているが、土質性状や堤防浸透流解析から評価するパイピング破壊やすべり破壊に対する安全性評価が主で、越水堤防破壊に対する評価手法は示されていない。また、既存の浸透流解析手法は不飽和土内のガスを無視した水のみの一相問題として取り扱う場合が多いが、厳密には空気存在により水の浸透が制限されるような場合があると同時に、エアブロー等の現象も報告されている。そのため、堤防内のガス流動を考慮する水とガスの二相問題として考える必要がある。

日比・富樫<sup>2)</sup>は、越流水の影響を考慮した堤体内の土中ガス挙動と飽和度変化を把握できる大気-表面水-多孔質体連成数値解析手法(以降はASG法と記す)を開発した。本研究ではASG法の実用性向上のため、実際の堤防断面・土質条件における解析方法・解析結果の妥当性について検討した。

2. 解析方法

ASG法は地表水および大気中のガスにNavier-Stokesの式による混相流、多孔質体には飽和度型支配方程式を適用したダルシー法則に基づく流れを考慮し、その両者を連成した解析手法である。

3. 対象河川堤防

信濃川支川刈谷田川中之島地区では平成16年7月13日に発生した豪雨・洪水により堤防が決壊し、氾濫による人的・家屋被害が生じた。この被災状況・地形・土質調査結果、破堤要因推定結果を取りまとめた災害報告書<sup>3)</sup>が公開されている。本研究では、この洪水での被災堤防を対象とした。

4. 解析モデルと解析定数

設定した解析モデル領域を図1に、土質・流体定数を表1に示す。

ASG法では気液二相流を扱うため、堤防・地盤の透過性として、式(1)により災害報告書で示される透水係数から求まる固有透過度を設定した。

$$K_s = \rho_w g k_s / \mu_w \quad (1)$$

ここで、 $K_s$ は透水係数、 $k_s$ は固有透過度、 $\rho_w$ は水の密度、 $g$ は重力加速度、 $\mu_w$ は水の粘性係数である。

ASG法では不飽和特性をVG(van Genuchten)モデルで扱うため、VGモデルから得られる水分特性曲線(図2)が手引きに示されるサクションと飽和度の関係と整合するようにVGパラメータ $\alpha$ 、 $\beta$ を求めた。

対象とした堤防は粘性土であり固有透過度が小さいため、浸透問題が発生しやすい比較ケース(固有透過度100倍)についても解析した。

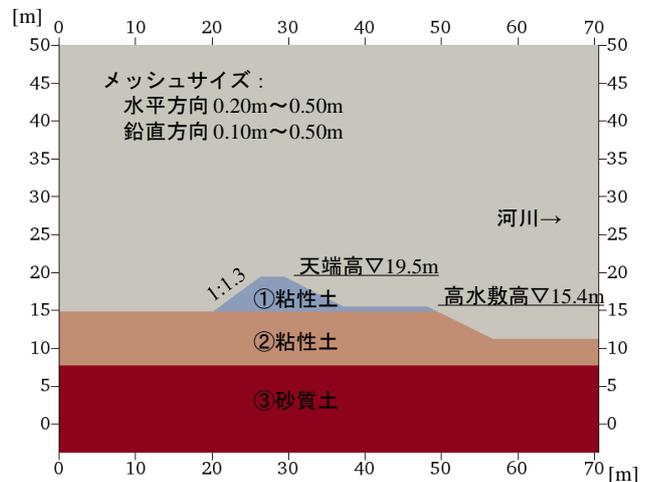


図1 解析モデル領域

表1 土質・流体定数

項目	粘性土①	粘性土②	砂質土③
固有透過度 (m <sup>2</sup> )	基本ケース	9.52 × 10 <sup>-15</sup>	9.52 × 10 <sup>-13</sup>
	比較ケース	9.52 × 10 <sup>-13</sup>	9.52 × 10 <sup>-13</sup>
間隙率	0.1		0.2
水分特性曲線	$\alpha$ (1/kPa)	0.485	0.514
	$\beta$	2.010	2.020
水の残留飽和度	0.575		0.576
ガスの残留飽和度	0.0		
水の密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.998		
水の粘性係数 (kPa · s)	9.327 × 10 <sup>-7</sup>		
ガスの密度 (g/cm <sup>3</sup> )	0.012		
ガスの粘性係数 (kPa · s)	1.80 × 10 <sup>-8</sup>		

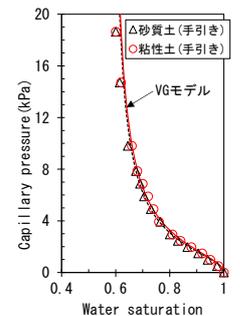


図2 水分特性曲線

キーワード 混相流, 多孔質体, 不飽和特性, 堤防浸透流解析, 越水堤防破壊, VGモデル

連絡先 〒161-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8 CSタワー 八千代エンジニアリング(株) TEL: 03-5822-6242

5. 外力条件

河川水位は、災害報告書に示される平成16年7月13日8時から破堤時刻12時45分の水位推定結果に基づき設定した(図3)。なお、降雨の浸透による高水敷・堤内地盤の飽和度上昇を再現するために、高水敷付近T.P.+15.4mからT.P.+13.8mまで水位を下げてから河川水位を上昇させた。

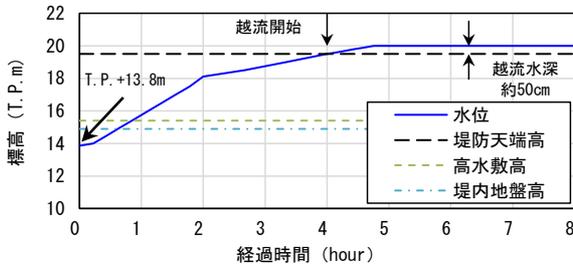


図3 河川水位の時系列

6. 解析結果

2ケースの越流時の堤防内の水の飽和度分布、ガス圧分布を図4に示す。基本ケースでは、堤防内への浸透は確認されず、表法側のガス圧が増加していた。この状態は、固有透過度が小さいため、ガスの移動速度が小さく、堤防内にガスが滞留し、水の浸透が抑制されたため生じたと推定される。比較ケースでは、堤防内のガスが移動しやすいため、ガス圧の増加量が小さく、表法面からの浸透が確認された。

以上より、堤防の固有透過度が小さい場合、堤防内のガスの存在が飽和度に影響を与えると考えられる。

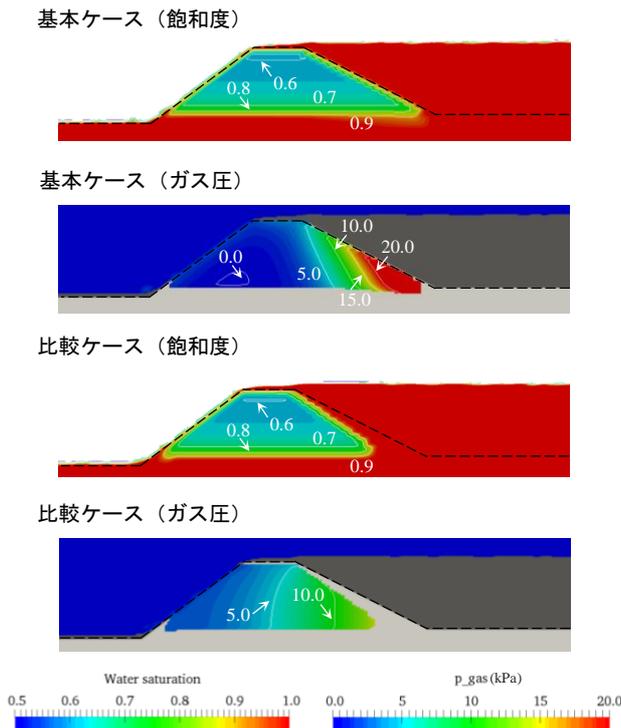


図4 越流時の水の飽和度、ガス圧分布

7. 裏法戻流速

図5に示す越流後の裏法戻付近における流速分布によると、流速は約5m/sであった。一方、越流水深50cmでの越流公式(式2)から求まる単位幅流量 $Q$ および Manning式(式3)による裏法面での等流水深 $h_0$ から推定される平均流速は約5m/s(= $Q/h_0$ )となり、ASG法で得られる流速と既存の式で得られる流速は同程度となった。

$$Q = C_o \cdot h^{3/2} \tag{2}$$

$$h_0 = (n^2 \cdot Q^2 / \sin \theta)^{3/10} \tag{3}$$

ここで、 $C_o$ は越流係数(一般値1.6)、 $h$ は越流水深、 $n$ は粗度係数(雑草を想定した0.04)、 $\theta$ は裏法勾配(1:1.3→38°)である。

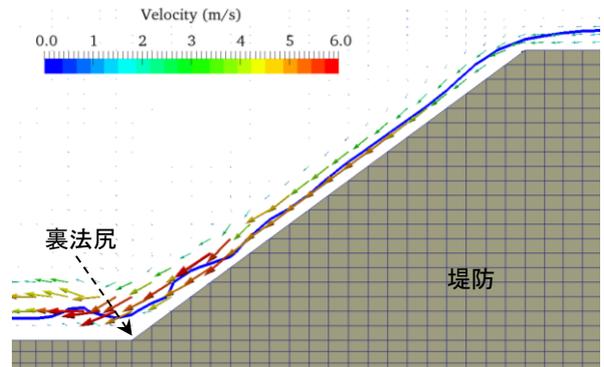


図5 越流時の流速分布(基本ケース)

8. まとめ

ASG法は、ガスの影響による水の浸透抑制効果を考慮できる。そのため実務で主に用いられる水一相の浸透流解析に比べ、実態に近い堤防内浸透流予測が可能となる。これにより、飽和度評価の高度化に役立つとともに、堤防内ガス流動に伴う堤防不安定化等に対する堤防安全性評価手法開発に資する解析が可能になる。

さらに、解析により得られる裏法戻流速と既存の式で得られる流速の整合性が確認されたため、ASG法では法尻侵食および洗掘を評価するための流速と堤防飽和度の同時評価が可能となると考えられる。

参考文献

- 1)財団法人国土技術研究センター:河川堤防の構造検討の手引き(改訂版),2012.
- 2)日比義彦,富樫聡:複雑な形状の堤体の越流問題への大気-表面水-多孔質体連成数値解析手法の適用性の検討,混相流31巻1号,pp.29-36,2017.
- 3)7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会:7.13新潟豪雨洪水災害調査委員会報告書,2005.