

30. 遊水地への地下水湛水が洪水調節に及ぼす 影響評価に関する解析的研究

○井川尚之（八千代エンジニアリング株式会社）

守村 融（同）・保坂幸一（同）・富樫 聡（同）・日比義彦（名城大学）

1. はじめに

洪水調節施設のひとつである遊水地は、洪水を一時的に貯留することで河川の流下流量を低下させる治水施設である。この治水施設は、ピークカットした洪水を貯めるための調節池、洪水時に調節池へ河川水を導水するための越流堤、調節池を囲む囲繞堤と周囲堤からなる。洪水時に調節池内が湛水している場合、計画どおりの治水機能を発揮できない可能性がある。そこで、調節池内の湛水が洪水調節にどのような影響を与えるかを数値解析により評価することとした。具体的には、遊水地地点における計画洪水時のハイドログラフで、ピークを迎えるタイミングに背後の地下水位が上昇し、調節池に地下水が湧出、湛水する場合を想定して、調節池の湛水状況と越流した河川水位の挙動を数値解析により明らかにした。本現象を表現するには、堤体内および背後地盤における浸透流と堤防の越流を同時解析する必要があることから、開発した大気-表面水-多孔質体連成数値解析手法^{1) 2)}（以下、ASG法）が本問題に対する適用性を検証した。

2. 大気-表面水-多孔質体連成数値解析手法 (ASG法) の概要

ASG法では、地表水および大気の流れに Navier-Stokes の式と質量保存の法則より導いた以下の式(1)と式(2)を適用する。

$$(\Delta t/\rho_0) \nabla \cdot (\nabla P_{t+\Delta t} + \rho \mathbf{g}) = \nabla \cdot \mathbf{V}^* \quad (1)$$

$$\mathbf{V}_{t+\Delta t} - (\mu/\rho_0) \Delta t \nabla^2 \mathbf{V}_{t+\Delta t} = \mathbf{V}^* - (\Delta t/\rho_0) (\nabla p_{t+\Delta t} + (\rho/\rho_0) \mathbf{g}) \quad (2)$$

ここで、 t は時間、 Δt は時間増分であり、 \mathbf{V}_t と $\mathbf{V}_{t+\Delta t}$ はそれぞれ時間 t と時間 $t+\Delta t$ の流体の流速である。また、 P は流体の圧力、 \mathbf{g} は上向きを正とした場合の重力加速度ベクトル、 μ と ρ はそれぞれ流体の粘性係数と密度であり、 ρ_0 は流体の基準密度である。さらに、 \mathbf{V}^* は位置ベクトル $\mathbf{R}_i - \mathbf{V}_i \Delta t$ の時間 t の流速ベクトルとし、 \mathbf{R}_i は節点 i の位置ベクトルとする。

多孔質体中の流体の流れに関して、以下の式(3)に示すグローバル圧力 P という概念を用いる。

$$\nabla P = f_w \nabla p_w + f_g \nabla p_g \quad (3)$$

ここで、 K_{rw} と K_{rg} をそれぞれ固有透過度に対する水相の相対透過度とガス相の相対透過度、 μ_w と μ_g をそれぞれ水とガスの粘性係数とし、 $\lambda_w = K_{rw}/\mu_w$ 、 $\lambda_g = K_{rg}/\mu_g$ と $\lambda = \lambda_w + \lambda_g$ とすると f_w と f_g は以下の式(4)のようになる。

$$f_w = \lambda_w/\lambda \quad (4a)$$

$$f_g = \lambda_g/\lambda \quad (4b)$$

多孔質体中の水とガスの流れの支配方程式は、Darcy の法則と質量保存の法則を用いると以下の式(5)のように表すことができる。

$$\partial \Phi / \partial t = \nabla \cdot \lambda k_s [\nabla P + (f_w \rho_w + f_g \rho_g) \mathbf{g} \nabla z] \quad (5)$$

ここで、 k_s は固有透過度、 Φ は間隙率、 ρ_g と ρ_w はそれぞれガスと水の密度である。

ASG法では、表面水の式(1)と地盤中の式(5)より各領域の P を同時に求める。 P を求めた後に、地盤中の p_g と p_w が P より以下の式(6)により求められる。

$$p_w = P - f_g p_{cgw} + \int_{S_w} p_{cgw} (df_g/dS_w) dS_w \quad (6a)$$

$$p_g = P/f_g - (f_w/f_g) p_w + (\int_{S_w} p_{cgw} (df_g/dS_w) dS_w) / f_g \quad (6b)$$

ここで、 S_w は水の飽和度、 p_{cgw} はガスと水の毛管圧である。 P を求めた後に、表面水と大気システム内の流体の流速を式(1)で求める。地盤内の流速は式(6)から求められた p_g と p_w から地盤中の水の流速 V_w とガスの流速 V_g を以下の式(7)で求める。

$$V_w = -\lambda_w k_s [\nabla p_w + \rho_w g \nabla z] \tag{7a}$$

$$V_g = -\lambda_g k_s [\nabla p_g + \rho_g g \nabla z] \tag{7b}$$

3. 計算内容

計算に用いた土と流体の物理特性を表-1、表-2に示す。土の物理特性は透水性の高い礫質土相当の物性値を用いた。流体の物理特性は一般的な値を用いた。図-1に解析モデルと境界条件を示す。解析モデルは幅110m、高さ50mとし、モデル中央に天端幅10m、高さ5m、法

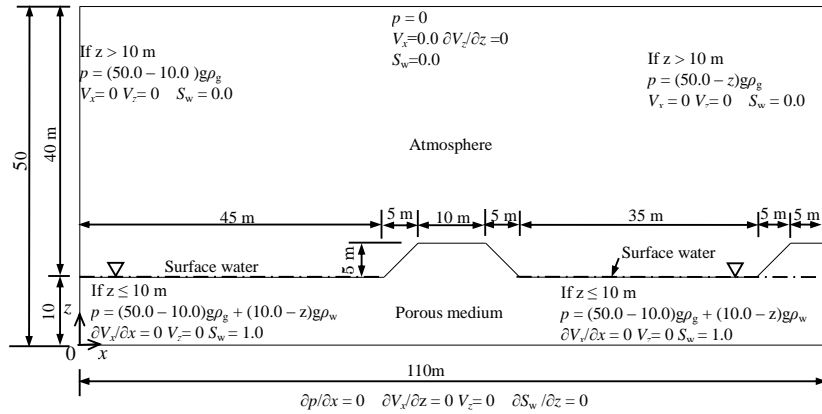


図-1 解析モデルと境界条件

面勾配 1:2 の囲繞堤、モデル右端に囲繞堤と同規格の周囲堤をモデル化した。解析メッシュは節点数 58368、要素数 57935 として分割した。

図-2 に、外力条件としてモデル左端の境界に設定した水位波形を示す。水位上昇量は、 $2.2 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (0.08m/h) で 36000s(10h)、 $6.3 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (0.23m/h) で 72,000s(20h)とした。さらに、越流水深が 0.5m となる水位まで上昇させ、越流後の湛水状況を確認した。

4. まとめ

ASG 法により浸透流と堤防の越流を同時解析し、モデルケースにおいて調節池の湛水状況と越流した河川水位の挙動を確認した。その結果、ASG 法は越流堤、周囲堤、囲繞堤、周囲堤からなる遊水地周辺の流況を評価する解析手法として、有用であることがわかった。

今後様々なモデルケースへの適用や室内実験等による検証が必要となるものの、ASG 法を用いることによって、洪水調節施設の計画や構造検討に有用な新しい知見を得られることが期待できる。

参考文献

- 1) 日比義彦, 富樫聡: 多孔質体内の流れの飽和度型支配方程式を用いた堤体の越流数値解析, 混相流, 第29巻, 4号, pp.326-334, 2015.
- 2) Hibi, Y., Tomigashi, A. and Hirose, M: Evaluation of a numerical simulation model for a system coupling atmospheric gas, surface water and unsaturated or saturated porous medium, Vol.183, pp.121-134, 2015.

表-1 土の物理特性

固有透過度		$1.737 \times 10^{-11} \text{ m}^2$
間隙率		0.402
水分特性曲線定数	α	0.231 kPa
	β	4.500
水の残留飽和度		0.187
空気の残留飽和度		0.0

表-2 流体の物理特性

水		
密度		0.998 g/cm^3
粘性係数		$9.327 \times 10^{-7} \text{ kPa s}$
ガス		
密度		0.012 g/cm^3
粘性係数		$1.80 \times 10^{-8} \text{ kPa s}$

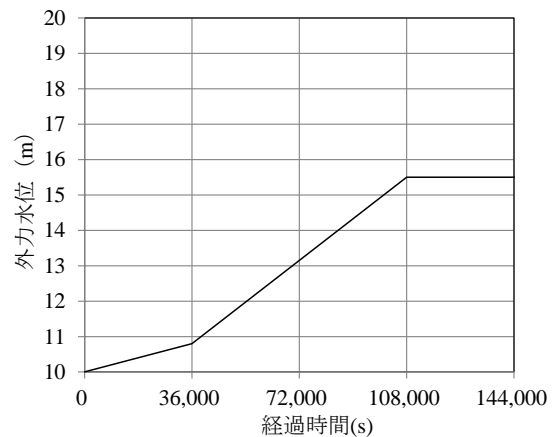


図-2 設定した外力条件