

京都大学工学部地球工学科 学生会員 ○穴田夏野

京都大学防災研究所 正会員 岡 太郎

京都大学防災研究所 正会員 浜口 俊雄

1. はじめに

地下ダムを設計する場合、地下水流動の3次元解析が必要である。しかし、計算量が膨大になるため3次元解を得ることは容易ではない。ここでは、止水壁近傍の流れを定常3次元流、止水壁から離れた領域では非定常平面流として取り扱う複合モデルを提案し、その実用性を検討する。

2. 止水壁近傍の3次元定常解析

止水壁近傍の地下水流動を、Richardsの式を適用して定常・3次的に解析し、鉛直方向の流れが発生する領域を明らかにする。この解析には多くの方法が提案されているが、ここでは、定常連続方程式と不飽和領域に拡張されたDarcy則を各々差分近似した後、S.O.R.(Successive Over Relaxation)法を用いて、数値的に解く方法を採用する。

はじめに、小規模なモデル地下ダムについて3次元解析を行い、数値計算プログラムの有用性を検討する。ここで用いたモデル地下ダムは、地下谷はV字状、堤体天端標高を9m・奥行きを30mである。水位の境界条件として、下流端には水位3m、上流端には水位14mを与えた。この計算では図1に示した土壌水分特性を用いた。

解析結果より得られたダムサイト中央の鉛直断面における流速ベクトルを図2に示す。解析結果は上流端より流入した地下水が、貯留部を下り、止水壁を超えて下流側に廻り込み、下流端に達している状況をうまくあらわしている。また、

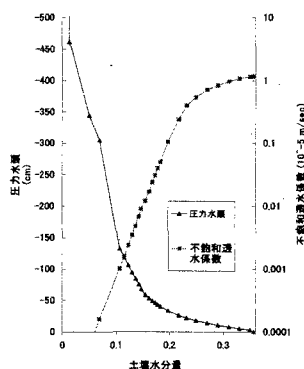


図1 土壌水分特性

上流側の上昇流は止水壁の近傍で発生している

が、その範囲は狭く、局所的であることが分かる。

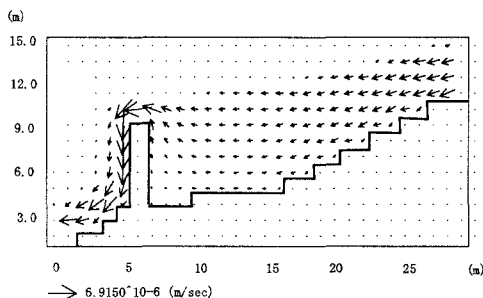


図2 モデル地下ダム解析結果

条件を変えて数値解析を行い、堤高(止水壁の高さ)、地下谷の形状、地盤の勾配、上流端水位、上流端境界までの距離と鉛直流が認められる領域との関係を調べたところ、その領域は、堤高の約2倍であることが明らかになった。地下谷形状等はほとんど影響しなかった。したがって、地下ダムサイトの地下水流動を解析する場合、3次元解析は堤高の2倍の領域について行えばよく、他については平面二次元解析で十分であるという結論が得られた。

3. 地下水流動の2・3次元複合モデル

ここでは、止水壁近傍では定常3次元解析、上流は非定常平面解析を行う複合数値モデルを提案する。なお、3次元解析領域と平面解析領域の結合は次のようにして行う。3次元解析においては、非定常平面解析の結果より得られた下流端より1格子下流の水位を3次元解析の上流端の水位境界条件とする。平面解析においては3次元解析の上流端より1格子下流の水位を平面解析の下流端の境界条件とする。この計算をワンステップごとに繰り返す。

4. モデル地下ダムへの適用

簡単な構造をもつモデル地下ダムに複合モデルを適用して、計算プログラムの有用性及び流動特性について検討する。

地下ダム堤高 25 m, 計算領域を堤体から下流側10m, 上流側 140m とし, 基礎地盤の勾配は 1/10とした。このうち, 3次元解析を行う領域はダム堤体より下流側10m, 上流側50mである。上流側の平面2次元解析領域については降雨及び揚水量が考慮できるようになっている。メッシュの幅は dx, dy, dz とともに 0.5m, 非定常平面2次元解析のタイムステップを1秒とした。

(1) 揚水がある場合の解析

堤体より55m上流, ダム中心線より 1.5m 左側の平面解析領域中にポンプを設置し, $0.025\text{m}^3/\text{s}$ で揚水を行った。図3は, 地下水位のコンターであり, ポンプによる揚水により地下水位が低下するとともに地下水位低下の範囲が拡大していく様子がうまく表されている。

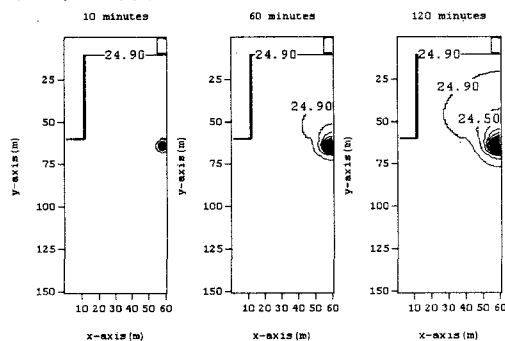


図3 揚水を行った場合の地下水位

図4は3次元解析結果より得られたダム中央の圧力水頭と流速ベクトルであり, 地下水が低下し井戸方向への流速が発生している様子がうまく表されている。

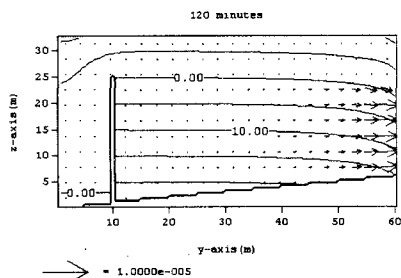
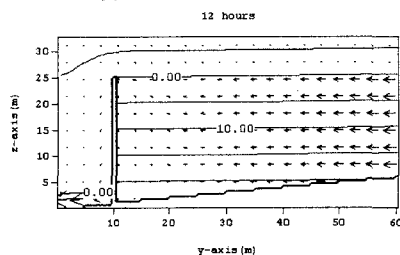


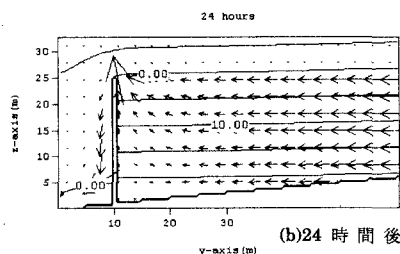
図4 3次元解析領域の圧力水頭・流速ベクトル
(2) 降雨がある場合

平面2次元解析全領域において $283.5\text{mm}/\text{日}$ の降雨を与えて 24 時間の計算を行った。この場合の 12 時間ごとの圧力と流速ベクトルの結果を図5に示す。計算開始後 12 時間後 (a) では, 平面

2次元解析領域において増大水位が上昇し, 平面2次元解析領域から3次元解析領域への流速が増大する。それに伴い, 3次元解析領域内の上流側の水位も上昇し, 流速も大きくなっているのが分かる。しかし, ダム堤体付近までその影響は及んでいない。24 時間後 (b) ではダム堤体より越流が盛んになり堤体より上流側の水位も上昇しているのが分かる。



(a)12 時間後



(b)24 時間後

図5 降雨がある場合

5. 宮古島砂川地下ダムサイトへの適用

図6は砂川地下ダムへの適用結果の一部である。この計算では降雨量 $283.5\text{mm}/\text{日}$ を与えて計算を行った。計算結果は堤体越流状況をうまく表しており, 実際の地下ダムサイトについても本モデルの有用性が確認された。

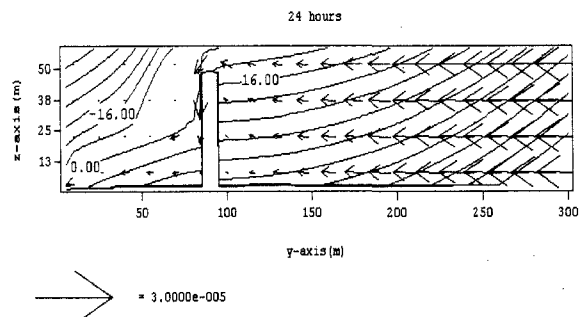


図6 砂川地下ダムの越流状況