

ため池崩壊による浸水シミュレーション

香川大学 賛助会員 和田 光真, 学生会員 久保 葉, フェロー 吉田 秀典

1. はじめに

ため池の自然災害のうち地震にともなう崩壊に至ったものは新潟中越地震や東日本大震災のような巨大地震に集中している¹⁾。ため池堤体が崩壊すれば、津波と比べて圧倒的に短い時間で内陸津波として押し寄せるため、市街地付近のため池崩壊ともなると被害は甚大となる。近年、南海トラフ沿いの巨大地震の可能性があるため、市街地に農業用ため池が多い地域においては、ため池崩壊の危険性がある。ため池密度が大きい地域においては、ハザードマップの情報公開や防災訓練等が実施されている²⁾。しかしながら、ハザードマップは堤体崩壊時の最大の浸水範囲の予想は示しているものの、時々刻々と変化する浸水状況までは示していない。そこで本研究では、ため池の密度が比較的大きい香川県高松市のため池のうち、市街地に近接する箇所を選定し、ため池決壊の浸水を時系列で把握するため、3次元浸水シミュレーションを行った。

2. 基礎理論の概要

2.1. 浸水シミュレーション

浸水解析には数値流体力学オープンソースコードのOpenFOAM^{3,4)}を用いた。流体理論はVOF法に基づく界面捕獲法による不混和流体で非圧縮・等温混相流とする。非圧縮性流体の連続式を式(1)、基礎方程式はNavier-Stokes式から表面張力を考慮した式(2)、自由表面の移流方程式は式(3)で表される。

$$\nabla \cdot \boldsymbol{v} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \boldsymbol{v}}{\partial t} + \boldsymbol{v} \cdot \nabla \boldsymbol{v} = -\nabla p + \nu \nabla^2 \boldsymbol{v} + \boldsymbol{f} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha \boldsymbol{v}) = 0 \quad (3)$$

ここで、 \boldsymbol{v} は速度ベクトル、 t は時間、 p は圧力、 ν は動粘性係数、 \boldsymbol{f} は外力項、 α はVOF関数の体積分率 ($0 \leq \alpha \leq 1$, $\alpha=0$:気相, $\alpha=1$:液相)である。また、レイノルズ平均モデル(RANS)およびSST $k-\omega$ モデル⁵⁾を採用した。乱流のパラメータとして、乱流エネルギー $k=3/2(|\boldsymbol{v}_c|I)^2$, 比エネルギー散逸率 $\omega=k^{0.5}/L$ で与えられる。ここで、 \boldsymbol{v}_c は代表速度ベクトル、 I は乱れ強度、 L は代表長さ($L=0.07D$, D :混合層厚)である。既往の研究⁶⁾より設定した初期値を表-1に示す。

表-1 乱流パラメータ

パラメータ		初期値
代表速度ベクトル	\boldsymbol{v}_c [m/s]	2.00
乱れ強度	I [%]	5.00
混合層厚	D [m]	15.00
乱流エネルギー	k [m^2/s^2]	1.50×10^{-2}
比エネルギー散逸率	ω [s^{-1}]	0.11

3. 解析モデルおよび解析結果

3.1. 解析モデルおよび境界条件

本研究における解析領域は、高松市のハザードマップにおいて市街地に近接するため池付近を選定した。図-1のメッシュは、国土地理院より公開される数値標高モデル(Digital Elevation Model, DEM)を底面にもつ、5m間隔の3次元六面体要素で構成されている。メッシュのサイズについては、OpenFOAMではクーラン数(時間刻み・速度/メッシュサイズ)を1未満にする必要がある。本研究で利用したDEMデータのピッチが5mとなっており、時間刻みを0.01sとしていることから、データサイズに合わせてメッシュサイズも5mとすれば、ク

ーラント数は満足する。また、気相の密度は $1.00[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、動粘性係数は $1.48 \times 10^{-5}[\text{m}^2/\text{s}]$ 、液相の密度は $1000[\text{kg}/\text{m}^3]$ 、動粘性係数は $1.00 \times 10^{-6}[\text{m}^2/\text{s}]$ としている。流出境界の条件は、物理量に対して反射のないゼロ勾配となるように設定した。

3.2. 解析結果および考察

浸水シミュレーションの解析結果を図-2に示す。図の左側は約600秒後の浸水分布、中央はハザードマップ、右側は約1800秒後の浸水分布である。ハザードマップと約600秒の解析結果とを比較すると、地形に依存して流出している結果と概ね一致している。また、時間が経過すると図-2の右側のような浸水分布となり、時間が経過しても浸水が残り、依然として、避難経路として用いることができない可能性がある。

4. まとめ

本研究では、ため池決壊の浸水を時系列で把握するため、3次元浸水シミュレーションを行った。解析の結果、地形に沿った方向に10分程で2km先の市街地まで浸水の可能性があることがわかった。また、本研究で用いた浸水シミュレーションは堤体の崩壊規模の大小により浸水範囲および時間変化が異なる。浸水解析精度を上げるためには、堤体の地震応答解析を併用し、堤体崩壊規模の予測精度を向上させ、さらに、浸水範囲を通行不可地域として避難シミュレーションのモデルに取り込み、浸水が避難にどのように影響するかについても把握することが今後の課題である。

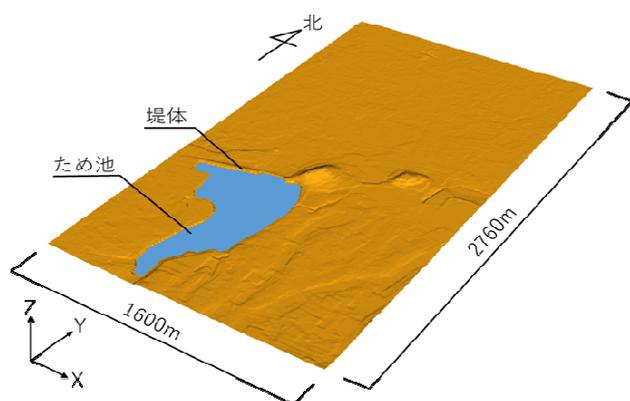


図-1 解析対象

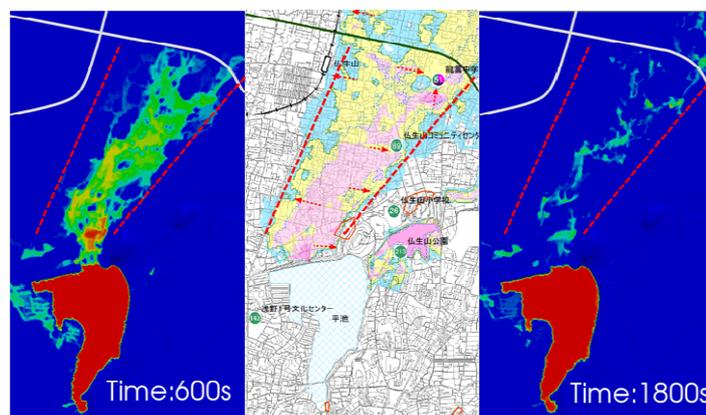


図-2 ハザードマップと浸水シミュレーションとの比較

参考文献

- 1) 農林水産省：農村地域の防災対策と災害復旧（安全で安心な農村を目指して），
http://www.maff.go.jp/j/nousin/bousai/bousai_saigai/b_tameike/（平成29年現在閲覧可）
- 2) 香川県高松市：高松市ため池ハザードマップ，
<http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/sangyou/toti/hazardmap-top.html>（平成29年現在閲覧可）
- 3) OpenCFD Ltd (ESI Group): OpenFOAM, <http://www.openfoam.com/>,（平成29年現在閲覧可）
- 4) 秋山 守, 有富正憲：新しい気液二相流数値解析-多次元流動解析-, コロナ社, 全272頁, 2002.
- 5) F.R. Menter, M. Kuntz and R. Langtry: Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence model. Turbulence, Heat and Mass Transfer 4, pp.624-632, 2003.
- 6) J.H. ファーツィガー, M. ペリッチ: コンピュータによる流体力学, 小林敏雄, 坪倉誠, 谷口伸行訳, シュプリンガーフェアラーク東京, 東京, 全419頁, 2003.