

堤防の浸透破壊に関する数値解析的検討の試み

中部大学工学部都市建設工学科 学生会員○中島裕章
 中部大学工学部都市建設工学科 正 会 員 武田 誠
 中部大学工学部都市建設工学科 正 会 員 余川弘至

- はじめに 平成27年9月関東・東北豪雨では、死者8名、19河川で堤防決壊し、67河川で氾濫するなどの被害が生じた。特に鬼怒川の破堤により40km²が浸水し、広域な地域で建物や車などの浸水被害が生じた¹⁾。破堤の有無は浸水被害の大小に大きく関わる。鬼怒川での事例は越水による破堤であり、その他の破堤プロセスとして、浸透、侵食、地震がある。近年の地球温暖化による雨の降り方とそれによる河川水位の変化(高水位の長期化の恐れ)を鑑み、ここでは浸透による堤防破壊と河川水位の関係について検討する。
- 研究方法 本研究では、LIQCA2014(以下、LIQCA)を用いて河川水位による地盤内の土の応答を解析する。LIQCA²⁾は、Biot³⁾の二相混合体理論に基づいた土-水連成の動的な支配方程式に、非線形移動硬化則に基づく構成式を組込んだものである。支配方程式は、固相の変位と間隙水圧を変数とする **u-p** 形式に基づいている。LIQCAでは土粒子が大きく移動する現象(例えば、噴砂など)を表現することが困難である。そこで、堤体内に河川から水が浸透した場合にも堤体が円弧上の滑り面を持って壊れると仮定し、計算結果で得られた応力分布等を用いて安定計算を行った。なお、仮定した滑り面は、堤防天端と堤防裏法尻を通る円弧である。
- 計算条件 庄内川の河川断面を参考に、図-1に示す有限要素メッシュを設定した。境界条件はメッシュ底面の位置を固定および回転を無しとし、メッシュ側面をx方向に固定とした。用いた堤防材料の物性値を表-1に、河川水位の時間変化を図-2に示す。
- 計算結果および考察 LIQCAの計算結果として、図-3に有効応力減少比の時間変化を示す。有効応力

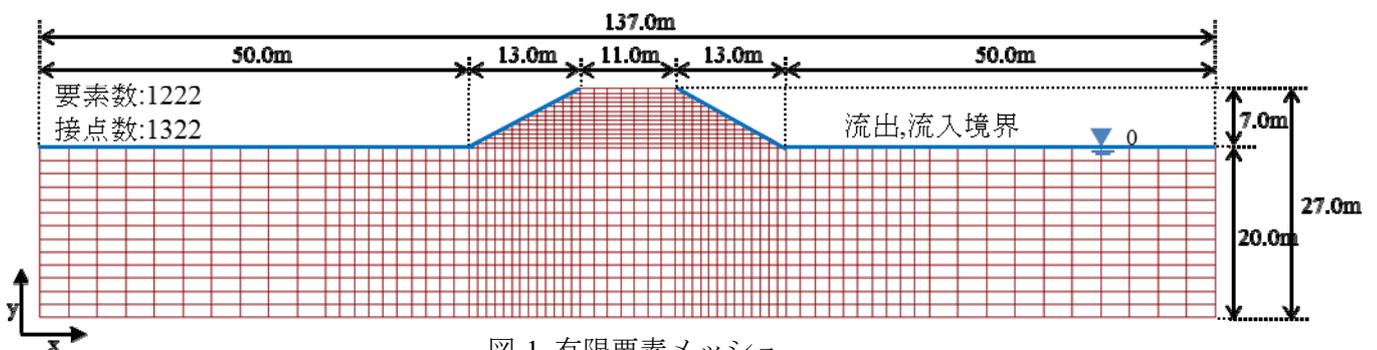


図-1 有限要素メッシュ

表-1 材料パラメータ

パラメータ名	豊浦Dr60	パラメータ名	豊浦Dr60
密度	$\rho(\text{kg/m}^3)$ 1.91	規準ひずみ(弾性剛性)	γ_r^E 0.50
透水係数	$k(\text{m/s})$ 1.0×10^{-5}	ダイレイタンス係数	D_0 1.1
初期間隙比	e_0 0.756	ダイレイタンス係数	n 1.0
圧縮指数	λ 0.012	異方性消失のパラメータ	C_d 2000
膨潤指数	κ 0.0025	初期飽和度	S_{r0} 0.6
擬似加圧密比	OCR 1.2	透水係数比	k_H/k_V 1.0
無次元化初期せん断係数	G_0/σ_{m0} 827	水分特性曲線のパラメータ	α, n' 2.0, 4.0
変相応力比	M_m 0.792	高サクシオン条件下での最小飽和度	0.22
破壊応力比	M_f 0.987	加圧密境界面に対するサクシオンパラメータ	S_i, s_d 0.0, 0.0
硬化関数中のパラメータ	B_0 2700	土の剛性に対するサクシオンパラメータ	S_{IB}, s_{db} 0.0, 0.0
硬化関数中のパラメータ	B_1 130	サクシオンパラメータ	$S_{IE} = S_{IBE}$ 1.0
硬化関数中のパラメータ	C_f 750	加圧密境界面に対する内部構造変化のパラメータ	n'', β 1.0, 0.0
規準ひずみ(塑性剛性)	γ_r^p 0.04		

減少比 0.8 程度以上がパイピング現象の判断値といわれている。図-3 より堤防の法尻で高い値が示されており、パイピング現象が生じていると判断できる。

LIQCA では堤防内の土の状況は考察できるが、堤防全体の破壊に関する判断ができない。そこで、計算結果を用い円弧滑り面を仮定して安定計算を行った。図-4 に計算開始から 93 時間後の安全率の一例を、図-5 に仮定した円弧面における安全率の最低値の時間変化を示す。特に、図-5 の結果から安全率 1.00 以下になる時間が分かり、この時間で堤防破壊が生じたとみなすことができる。

洪水時には、表法面における護岸の被災も現れる。これは、水位低下による堤防内圧力と堤防外圧力（河川水位）の差によるものと考えられる。116 時間後の堤防の変形を示したものが図-6 である。分かり易さのために変形量を 5 倍して表示している。本図から表法面で大きな変形が現れていることが分かる。これは実際の現象とも類似しているが、LIQCA で用いられている砂のくり返し弾塑性構成則には、有効応力回復による剛性回復プロセスが考慮されていない⁴⁾ことから、この点に注意して、今後検討したい。

5. おわりに 本研究では、LIQCA による計算、円弧滑りの安定計算を併用して、河川水位変化に伴う浸透破壊の数値解析を行った。本報で示したように、破堤までの評価法が構築できたと考えている。今後は、河川水位を変えた状況での破壊の様子の違いを考察し、整理する予定である。

参考文献 1) 台風第 18 号及び第 17 号による大雨（平成 27 年 9 月関東・東北豪雨）等に係る被害状況等について、国土交通省：http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_150909.html. (平成 27 年 12 月 10 日確認)
 2) Oka, F., Yashima, A., et al. : FEM-FDM coupled liquefaction analysis of a porous soil using an elasto-plastic model, Applied Scientific Research, No.52, pp.209-245, 1994. 3) Biot, M. A. : Mechanics of deformation and acoustic propagation in porous media, Journal of Applied physics, Vol.33, No.4, pp.1482-1498, 1962. 4) 余川ら：液状化後の剛性回復に着目した河川堤防の変形解析，中部大学工学部紀要 50 巻，ISSN：21877408，2014.

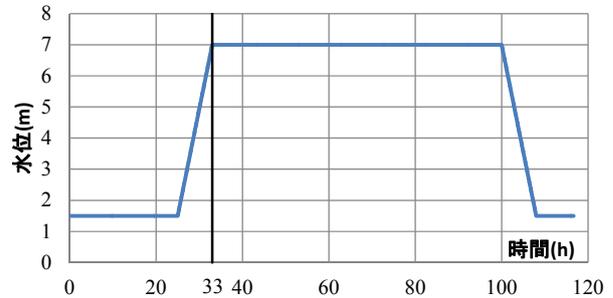


図-2 水位変動

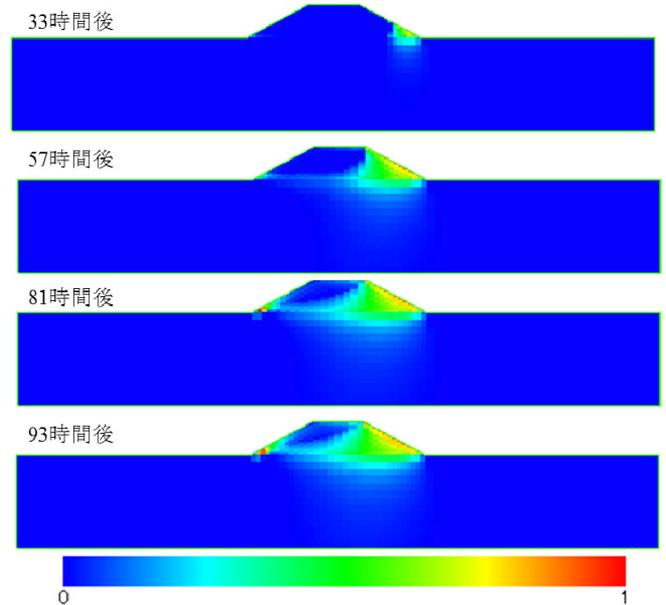


図-3 有効応力減少比分布

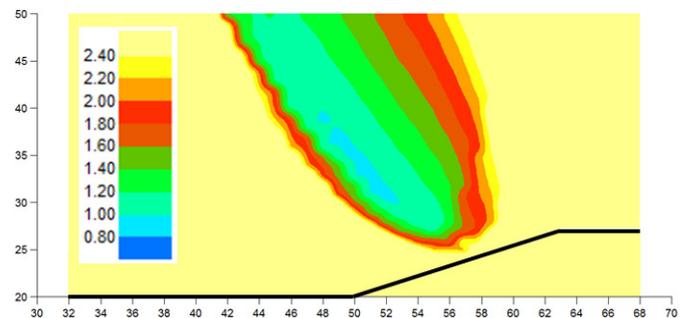


図-4 円弧滑りの安全率のコンター

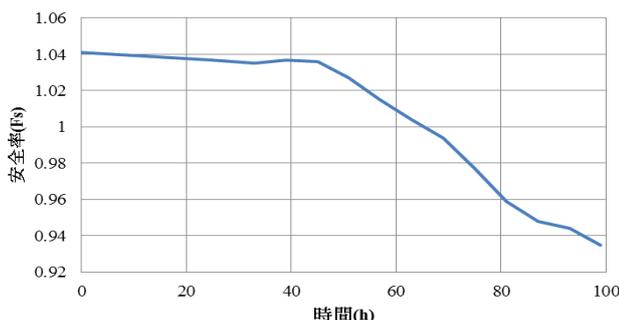


図-5 安全率の最低値の時間変化



図-6 堤体の変形図