

外水位変動過程における河川堤防の内部機構に関する解析的検討

新潟大学 学生会員 ○松井 皓紀
正会員 金澤 伸一
学生会員 山下 大輝

1. 研究背景・目的

近年，日本各地で突発的集中豪雨が頻発しており，それに伴ない土構造物崩壊の危険性も増大している．特に，河川堤防の崩壊による氾濫流によって，広域での浸水被害さらには住宅が流される被害が生ずるなど，市民の生活や生命を脅かすこととなる．しかし，現在の河川堤防の多くは，古くから嵩上げなどによる補強が繰り返されてきており，その内部把握，特に崩壊時の堤体内力学挙動の把握は困難である．そのため，堤防の崩壊に対する機構について技術的知見が透明性を欠いており，破堤機構や堤体内挙動の解明が急務であると考えられる．そこで本研究では，実規模の河川堤防をモデルとして，締固めを考慮した築堤解析，及び降雨時の外水位上昇を想定した外水位変動解析を行い，浸潤面形成による破堤機構について検討した．

2. 解析条件

本研究では，不飽和土／水／空気連成要素有限法解析プログラム（DACSAR-MP）¹⁾を用いて解析を行った．図1に解析領域を示す．実際の河川堤防の規格，及び法面勾配を想定しており，縦3m×横45mの基礎地盤と，天端幅5m，下端幅25m，高さ5m，法面勾配1:2とした堤体で構成する．変位境界は基礎地盤下端を水平・鉛直固定，基礎地盤左右端を水平固定とし，水頭境界は基礎地盤下面，上面を排水条件，排気境界は基礎地盤上面と天端部を排気条件とした．基礎地盤は砂混じりシルト，堤体はシルト混じり砂を想定した．図2，表1に水分特性曲線，材料定数を示す．

築堤解析では，1層30cmの計17層を順に発生させ，1層敷き均し後に300kPaの締固めを行うことで，締固めを再現した．

外水位変動解析では，破堤機構の違いを見るために，実現現象よりもかなり速いと考えられる14cm/minと，過去の複数の破堤事例を参考にしたうえで実現

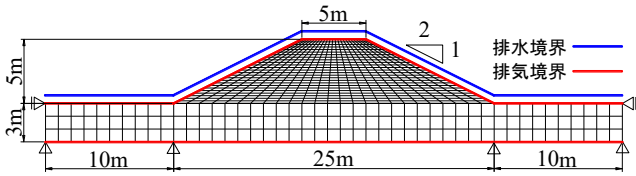


図1 解析領域

表1 材料定数

基礎地盤		堤体	
λ	κ	λ	κ
0.18	0.037	0.18	0.018
ν	e_0	ν	e_0
0.33	1	0.33	1
M	m	M	m
1.333	1	1.333	1
S_{r0}	G_s	S_{r0}	G_s
0.15	2.7	0.15	2.7
n	n_E	n	n_E
1	1.3	1	1.3
k_x (m/day)	k_y (m/day)	k_x (m/day)	k_y (m/day)
0.1	0.1	8.64	8.64

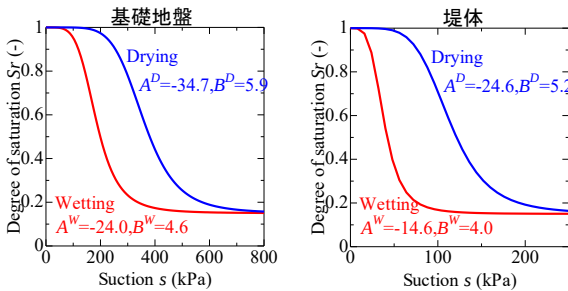


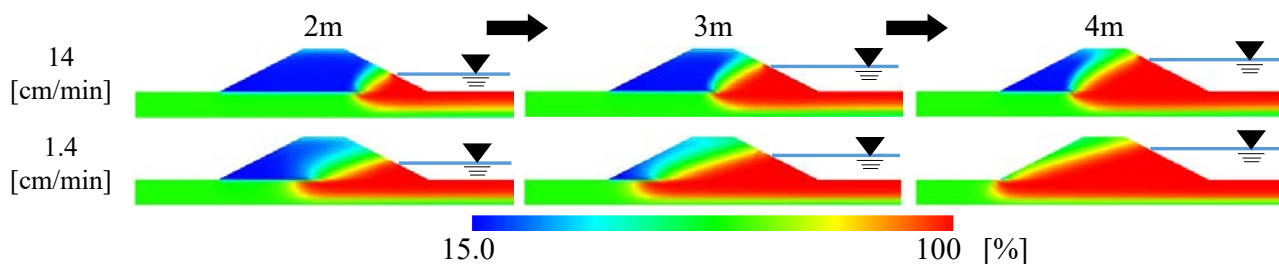
図2 水分特性曲線

象に近い速度であると考えられる1.4cm/minの二種類を設定した．なお，基礎地盤上面から天端までを5段階に分けて，段階ごとに水圧，水頭の順で所定の速度で上昇させることで外水位の上昇を再現した．

3. 解析結果

図3に外水位を2m，3m，4mと上昇させた際の堤体内飽和度 S_r の分布を示す．外水位変動速度14cm/minの場合，比較的立ち上がった浸潤面が確認できる．一方，外水位変動速度1.4cm/minの場合には，比較的なだらかな浸潤面が確認できる．また，外水位変動速度14cm/minの場合よりも基礎地盤から

キーワード 河川堤防，外水位変動，有限要素解析，
連絡先 〒950-2111 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050
新潟大学工学部地盤環境研究室 TEL025-262-7479

図3 外水位変動時の飽和度 S_r

の飽和度上昇が確認でき、水みちの形成も示唆される。このことから、外水位変動速度が 1.4cm/min の場合には、天端まで長い時間をかけて到達することにより、基礎地盤及び堤体下部から浸透が進むため、なだらかな浸潤面を形成していると考えられる。

次に、堤防主要要素（図4参照）における飽和度経時変化を図5に示す。外水位変動速度が 14cm/min の場合は、堤体表法面（図中 C, F）から飽和が進行し、その後堤体中央部（図中 B, E）での飽和度上昇が確認できる。そして、最終的に水位が天端に達した時点で、堤体裏法面（図中 A, D）においては飽和度が上昇していないことが確認できる。一方で外水位変動速度が 1.4cm/min の場合は、14cm/min の場合と同様に堤体表法面（図中 C, F）から飽和が進行するが、その後すぐに堤体中央部（図中 B, E）での飽和度も上昇し、さらにその後に堤体裏法面（図中 A, D）でも飽和度上昇が確認できる。また、どちらの外水位変動速度の場合においても、堤体中央部（図中 B, E）において基礎地盤付近（図中 B）から飽和度が上昇していることが確認できる。そのため、基礎地盤及び堤体下部から飽和が進行し、その後に堤体の飽和が進行することが考えられる。

これらの結果から、堤防の破壊形態としては、外水位変動速度が 14cm/min の場合には、水位が天端に到達した時点で堤内地側での飽和度が上昇しておらず、越流による破壊の可能性が大きいと考えられる。一方で、外水位変動速度が 1.4cm/min の場合は、浸潤面が緩やかな傾きをもっており、水位が天端に到達する前に堤内地側まで飽和が進行しているため、浸透による破壊が考えられる。

実際の災害を想定した場合、外水位変動速度 1.4cm/min が実現象に近いと考えられる。そのため、実際には基礎地盤及び堤体下部から飽和が進行、堤体内部においてはなだらかな浸潤面を形成しており、

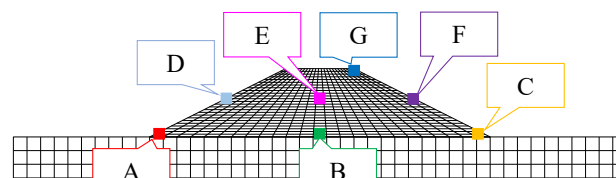


図4 堤防主要要素

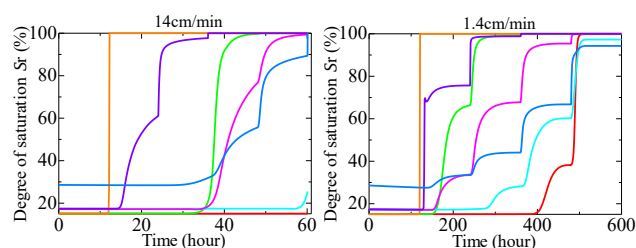


図5 飽和度の経時変化

破壊形態としては浸透による破壊の可能性が大きいと考えられる。そのため、対策工としては、表法面に透水性の悪い粘性土を敷設することで法面からの浸透を遅らせる、あるいは表法尻部から基礎地盤にかけて止水壁を設けることで基礎地盤からの浸透を遅らせることが効果的であると考えられる。

4. まとめと展望

本研究では、築堤解析及び外水位変動解析を行い、外水位変動速度の違いによって、堤体内における浸潤面形成に違いが見られ、破壊形態も異なる可能性が考えられた。また、実際の災害では基礎地盤及び堤体下部からの浸透による浸透破壊が生じている可能性が大きいと考えられた。

5. 参考文献

- 1) Kanazawa S, Igarashi H: ANALYSIS OF EMBANKMENT STRESS PRODUCED DURING CONSTRUCTION AND INSERVICE PHASES CONSIDERING EMBANKMENT GEOMETRIES, International Journal of GEOMATE, March., 2021, Vol.20, Issue 79, pp.68-73