

外水位変動速度に着目した河川堤防の応力解析

新潟大学 非会員 ○ 松井 皓紀 新潟大学 正会員 金澤 伸一
 新潟大学 学生会員 山下 大輝 新潟大学 非会員 斉藤日向子

1. 研究背景・目的

近年、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。その一方で、河川堤防はこれまで、既往の災害を超える洪水のたびに嵩上げや拡幅を繰り返していることで、その内部構造の把握を複雑にしている。平成14年（平成24年・改）には、国土技術センターにより「河川堤防の構造検討の手引き」¹⁾がまとめられ、河川ごとに最適化設計を行っていく指針となった。しかし指針にも「洪水あるいは地震による堤防の不安定化や変形のメカニズム等は、現時点においてもすべてが解明されているわけではない」とある。そのため、堤防崩壊に対する機構について技術的知見が透明性を欠くため、破堤機構の解明が急務であると考えられる。このような中、本研究室では模型を用いた降雨・浸透による外水位変動実験を行い、破堤機構を明らかにしてきた²⁾。しかしながら一方で、近年の突発的集中豪雨に対しては様々なシチュエーションを考慮するとともに、実規模での数値解析による力学挙動の解明が求められる。そこで本研究では、模型実験と同様の条件について再現解析を行い、数値解析の有用性を検討することを目的とした。

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)³⁾を用いて解析を行った。図-1に解析領域を示す。解析領域は、縦10cm×横100cmの基礎地盤と天端幅10cm、下端幅54cm、高さ22cmの堤体を想定する。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。各種土質条件は先行研究に合わせて決定した。

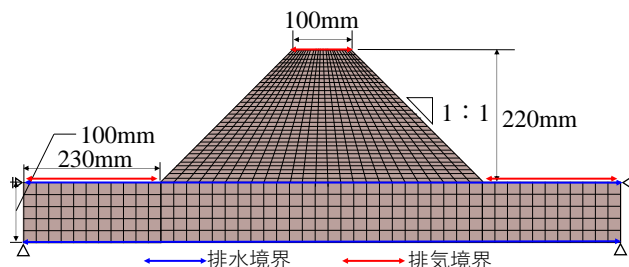


図-1 解析領域

表-1 材料定数

λ	κ
0.13	0.013
ν	e_0
0.33	0.75
M	G_s
1.333	2.7
S_{r0}	m
0.15	0.8
k_a (m/day)	w (%)
100	6.2
k_w (m/day)	ρ_a (Mg/m ³)
1	1.5

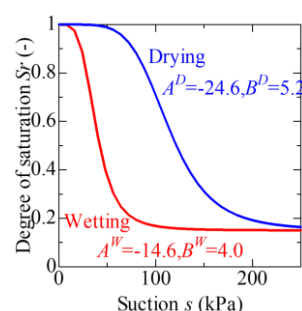


図-2 水分特性曲線

砂よりの材料を想定し材料定数、水分特性曲線については表-1、図-2に示すとおりである。

築堤解析では、模型実験での築堤を模擬し、1層2cmの計11層を順に発生させ、1層敷き均し後に50kgの締固めを行った。

外水位変動解析では、外水位変動速度に関して二種類で行った。一つは、実験的に破堤機構の違いを見るために、実現象よりもかなり速いと考えられる6.8cm/minとした。もう一方は過去の複数の破堤事例を参考にしたうえで、実現象により近いと考えられる0.17cm/minとした。水圧に関しては、水位が基礎地盤上面から6cm、12cm、18cm、22cmの4段階の状態に分け、段階ごとにその分の水圧を加算して、堤外地側の基礎地盤上部と所定の位置までの堤体法面に与えた。また、水頭に関しては、段階ごとに水圧を与えた後に所定の位置まで上昇させた。

3. 解析結果

図-3、図-4に外水位変動速度6.8cm/min、0.17cm/minでの水位ごとの飽和度 S_r を示す。外水位変動速度6.8cm/minの場合、浸潤面が立ち上がった

キーワード 河川堤防, 再現解析, 水位上昇, 有限要素解析

連絡先 〒950-2181 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 TEL 025-262-7479

状態で堤外地側から堤内地側へと浸透が進むことや、堤外地側において局部的に飽和が高くなっていることが分かる。浸潤面が堤内地側に浸透到達する前に越流を生じることから、外水位変動速度 6.8cm/min では越流による破堤が大きな要因となることが考えられる。その一方で、外水位変動速度 0.17cm/min の場合、浸潤面はなだらかな形で形成され、上から下方向に浸透が進むことや、広範囲にわたって飽和度が上昇していることが分かる。水位が天端まで上がる前に浸潤面が堤内地側に浸透到達していることから、外水位変動速度 0.17cm/min では越流よりも先に浸透による破堤が生じることが考えられる。これらの結果から、外水位変動速度の違いが浸潤面の形成及び破堤機構に違いを生じさせる可能性が示唆される。また、外水位変動完了時の平均有効主応力 p' を外水位変動速度別に図-5 に示す。外水位変動完了時には、表法尻付近で平均有効主応力が 0kPa になっており、洗堀による崩壊も引き起こしやすい状態にあることが分かる。

続いて、図-6 に示すような堤防主要要素について飽和度の経時変化に着目すると、図-7 に示したような結果となった。外水位変動速度 6.8cm/min の場合、

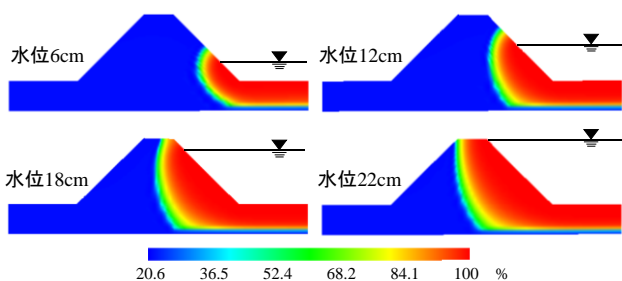


図-3 外水位変動速度 6.8cm/min での飽和度 S_r

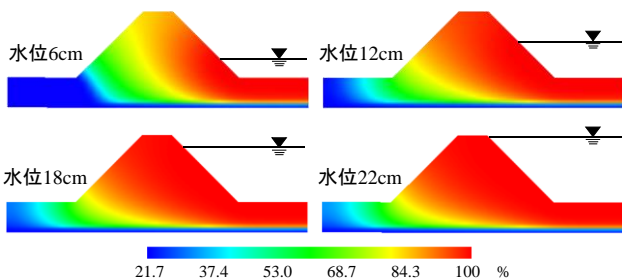


図-4 外水位変動速度 0.17cm/min での飽和度 S_r

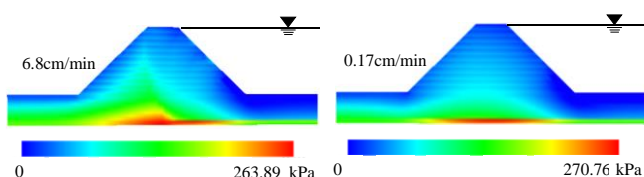


図-5 平均有効主応力 p'

0.17cm/min の場合に比べて堤体内部 (図中 B, E) の飽和度が表法面の飽和 (図中 C, D, F) に遅れて急激な上昇をしていることが分かる。このことから、外水位変動速度 6.8cm/min では表法部の局部的な飽和が先に進むため越流による破堤が考えられ、外水位変動速度 0.17cm/min では外水位の上昇よりも早く全体的な飽和が進むため、浸透による破堤が考えられる。

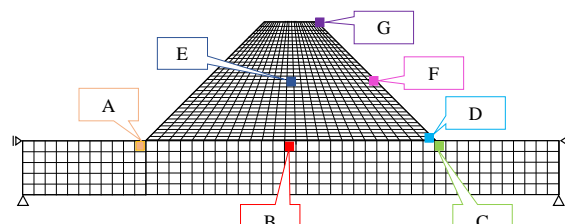


図-6 堤防主要要素

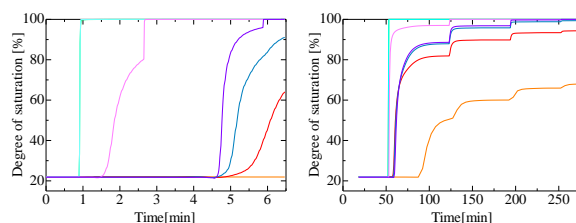


図-7 飽和度の経時変化

4. まとめと展望

本研究では、模型規模での築堤、外水位変動解析を行い、外水位変動速度が異なることにより浸潤面形成に違いが生じ、破堤機構の違いにもつながる可能性があることが分かった。今後は、実規模の河川堤防を対象に、実現象を想定した浸透履歴を与えるなどして数値解析を行い、実現象での破堤機構についてより詳細に解析的検討を行っていく。

5. 参考文献

- 1) 国土技術センター: 河川堤防の手引き (改訂版), p.1(2012)
- 2) 鈴木颯人, 金澤伸一, 殿木雄大: 外水位変動による河川堤防崩壊機構に関する実験的検討, 第 55 会地盤工学研究発表会, 21-7-4-03(WEB), (2020).
- 3) 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