

外水位変動を考慮した河川堤防の破堤要因に対する解析的検討

Analytical study on factors of river levee breach considering

External water level fluctuation

一条つばさ (福島高専・建設環境工学科) 金澤伸一 (福島高専・都市システム工学科)

Tsubasa ICHIJO, National Institute of Technology,Fukushima College

Shin-ichi KANAZAWA, National Institute of Technology,Fukushima College

FAX:0246-63-1075 , E-mail: 15604@fukushima.kosen-ac.jp

In recent years, localized torrential rains have frequently occurred in various parts of Japan, and frequent river levee collapses have occurred. However, the mechanism of river embankment collapse has been discussed, but not fully understood. Therefore, in this study, we performed embankment analysis considering the difference in layer thickness using the unsaturated soil / water / air coupled element finite method analysis program (DACSAR-MP), and focused on embankment reinforcement and rainfall. At that time, it was analytically confirmed that the failure mode of the embankment was different due to the difference in the rising speed of the external water level.

1. はじめに

近年、気候変動による局地的な豪雨によって河川堤防の決壊が日本各地で頻発している。河川堤防は洪水などの災害から住民を守る重要な構造物であり、現在の長大な堤防の多くは、古くから時代とともに嵩上げによる補強を重ねてきた治水の歴史的産物である。しかしながら、河川堤防の構造は実際に発生した被災の経験に基づいて整備されたものであり、構造物の破壊を解析的に検討し設計しているわけではない。さらに現在まで、堤防決壊の機構について議論され、それについて十分に解明されてはいないのが現状である。そこで本研究では、堤体の嵩上げ補強に着目し、層厚の違いを考慮した築造解析を行い、その後の降雨による外水位上昇時の堤体内の応力挙動を解析的に表現することで河川堤防が崩壊に至るメカニズムを把握することを目的とする。

2. 研究方法

本研究では、締固めを考慮した築造解析を行い、堤体内に及ぼす影響を解析的に表現した。Fig.1 に、解析モデルの有限要素メッシュ図、Fig.2 に水分特性曲線を示す。またTable1 に材料パラメータを示す。

2. 1 築堤解析

築造解析では嵩上げの違いを考慮し、一層 30cm, 60cm ずつ盛り立て、300kPa で締固めを行い、堤体高さが 5m になるまで繰り返した。基礎地盤は縦 3m, 横 45m とし、堤体は縦 5m, 上端 5m, 下端 25m, 勾配は 1 : 2 とした¹⁾。堤体の左下縦 0.6m, 横 6m の排水層を設けた。

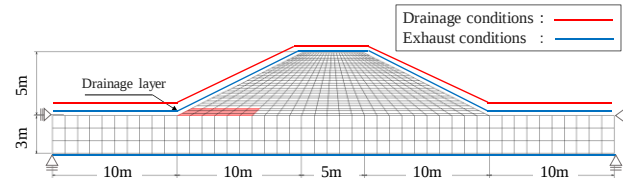


Fig. 1 Finite element mesh diagram.

2. 2 外水位上昇解析

外水位上昇解析では、集中豪雨を想定し河川水の水位を上昇させる。堤体の左側を堤内地、右側を堤外地とする。上昇速度は、約 1.4cm/min²⁾、14cm/min とした。

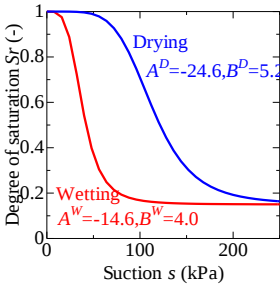


Fig. 2 Moisture characteristic curve.

Table 1 Material parameter.

λ	k	M	m	n	nE
0.18	0.013	1.33	0.8	1	1.3
e_0	v	$kx(m/day)$	$ky(m/day)$	Sr_0	Gs
1	0.33	8.7	8.7	0.15	2.7

3. 解析結果

3. 1 築堤解析結果

Fig.3~8 に築造完了後の各諸量を可視化したものを示す(左に層厚 0.3m, 右に 0.6m)。まず平均有効主応力 p' は、いずれも築堤時の締固めによる圧密の効果が発揮され、基礎地盤が堤体に比べ高い値を示している。また間隙比 e より、堤体上部になるにつれ値が高くなっており、特に層厚 0.6m が顕著である。次にせん断ひずみ e_s より、基礎と堤体の境界付近が堤体内に比べ高い値を示している。この結果、この付近で破壊に至るほどではないが、築堤完了時に既に弱部になっている可能性が考えられる。層厚で比較すると、0.6m のほうが平均有効主応力 p' の値が小さく、間隙比 e は堤体上部の値が大きい。また、0.6m に着目すると平均有効主応力 p' 、間隙比 e 、軸差応力 q では層境界が顕著に生じている。このことから、層厚 0.6m で締固めを行った堤体は層厚 0.3m に比べ、層境界に不連続性が生じること

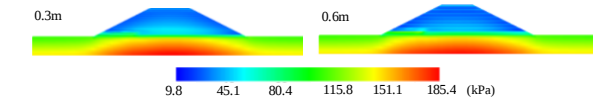
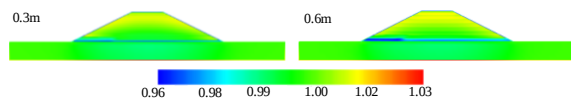
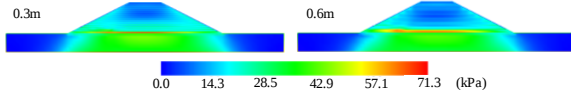
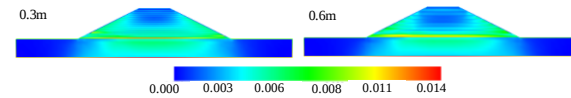
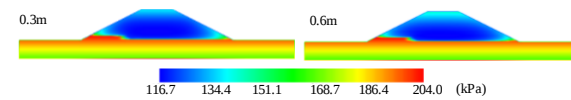
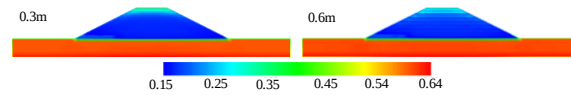
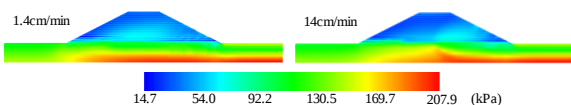
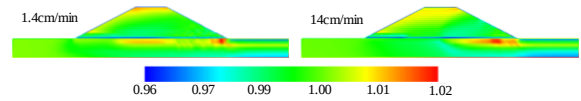
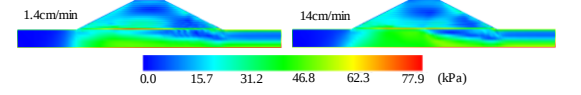
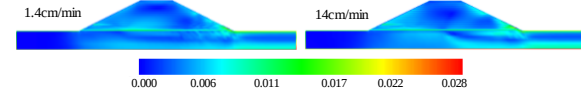
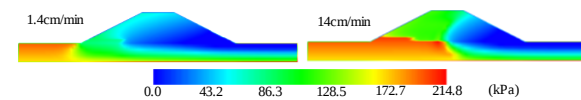
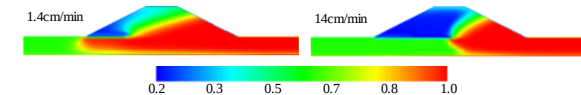


Fig. 3 Effective mean stress p'

Fig. 4 Void ratio e Fig. 5 Deviatoric stress q Fig. 6 Shear Strain ϵ_s Fig. 7 Suction s Fig. 8 Degree of saturation S_r

3. 1 外水位上昇解析結果

Fig. 9~10 に、30cm で盛り立て、300kPa で締固めた後、堤体 3m まで外水位を上昇した堤体の各諸量を可視化したものを示す (水位上昇速度: 左 1.4cm/min, 右 14cm/min). まず平均有効主応力 p' より、いずれも水位上昇に伴い、浸潤面から堤体内の値が低くなっており強度が低下していると考えられる. また間隙比 e も、水位上昇に伴い、浸潤面から堤体内の値が低くなっており体積圧縮が起こっていると考えられる. 次に飽和度 S_r より、水位上昇に伴い基礎地盤と堤体下部の値が高くなっている. また速度の違い 1.4cm/min のほうが 14cm/min に比べ値が高くなっている. 最後にせん断ひずみ ϵ_s より、法尻部の値が高くなっており、水位上昇に伴い法尻が弱部になっていることが示唆される. ここで浸潤面形成に着目すると、飽和度 S_r より 1.4cm/min はなだらかな浸潤面が形成され、14cm/min は縦の形成された. 1.4cm/min は、まず基礎地盤から浸透し、その後、浸透面と地盤から堤体に向かって上向きに浸透したと考えられる. この時、堤体が堤外地から左向きの浸透と基礎地盤からの上向きの浸透によって浮力が発生していると考えられ、基礎地盤の弱体化が懸念される. 一方で、14cm/min では水位上昇速度が速いため、堤外地から左下向きの浸透が発生し縦の浸潤面が形成されたと考えられ、越水を起こすことも示唆される.

Fig. 9 Effective mean stress p' Fig. 10 Void ratio e Fig. 11 Deviatoric stress q Fig. 12 Shear Strain ϵ_s Fig. 13 Suction s Fig. 14 Degree of saturation S_r

4. 結論

以下に本解析で得られた知見を示す.

- (1) 水位上昇に伴い平均有効主応力 p' が低くなり、またそれとともに間隙比 e も低くなることから、堤体内の強度が低下し体積が圧縮されたと考えられる.
- (2) 水位上昇に伴い堤体内の強度が低下し、体積が圧縮するとともに堤体内が飽和状態に近づくことから不飽和土特有のコブラス (内部破壊) が起こっていると考えられる.
- (3) 上昇速度の違いより、水位上昇の速さが遅いほど、基礎地盤から堤体内にかけて浸透破壊が進むと考えられる.
- (4) 堤体の築堤時の層厚を変えた初期状態に外水位を与えると、外水位による水の浸透圧が支配的であるため、層厚の違いにおける崩壊の優位性は見られない.

5. 展望

今後の展望として、浸透経験のある河川堤防の外水位変動解析と降雨を与えた際の河川堤防の破壊形態、機構を探る.

参考文献

- 1) 国土技術センター, 河川堤防の構造検討の手引き (改訂版), pp.8-9, 2012
- 2) 国土交通省北陸整備局, 千曲川堤防調査委員会資料, p.8, 2019
- 3) 一条つばさ, 金澤伸一, 小野里花子: 外水位変動過程における河川堤防崩壊メカニズムの解析, 平成 30 年度土木学会東北支部技術研究発表会, III-37, 2019