

間隙空気による堤体の破壊メカニズムとその対策法について

遠心模型実験 間隙空気 エアブロー 九州工業大学 学生会員 ○新貝一郎 万金庭 池田将志 沖恭裕  
九州工業大学大学院 正会員 廣岡明彦 永瀬英生

1.はじめに

近年、集中豪雨時の河川の増水と急激な堤防への雨水の浸透によって堤防内に封入された間隙空気が押し出されるように噴出する現象（エアブロー現象）が発生することが確認されている。2000年の東海豪雨災害時には、名古屋市内を流れる新川沿いの堤防が決壊した。この決壊過程の目撃証言が新聞<sup>1)</sup>に記載されており、「堤防を斜めに横断する形で幅1m程の亀裂が入り、白い泡状の水が噴き出した。その後、亀裂は3時間ほど掛けてゆっくりと広がっていった。」と浸透破壊に間隙空気放出の関連を示唆するような内容であった。現在、国土技術センター<sup>2)</sup>は図-1に示すような河川堤防の拡築モデルを公開している。本研究ではこのモデルに基づいて、堤防内部に間隙空気を封入しやすいパターン3、4のモデルにて遠心場での実験を行った。砂質層のまわりを粘土質の混合試料で覆い、集中豪雨時の堤防の表面の状態を再現した。堤内側の水位の上昇によって生じる間隙空気の挙動やエアブロー現象の有無、浸潤線の変動について調査し、それらが堤体にどのような影響を与え、どのような破壊メカニズムになるのかについて知見を得るとともに本研究において起きた現象や破壊メカニズムに対してどのような対策を施せば安全で強固な堤防を構築することができるのかについて検討した。

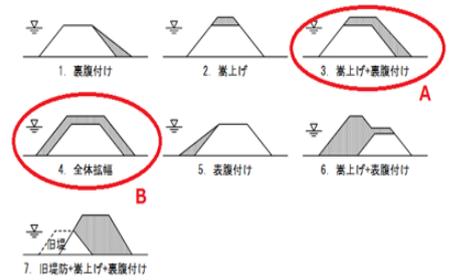


図-1 拡築堤防モデル

2.実験概要

土槽内に越流台を設け、そこに模型盛土を作製する。盛土模型は拡築前の堤防である砂質土層を拡築部である混合試料層で構成されている。遠心加速度を30Gに到達させ実験装置内に給水し、堤外部に注水する。case1は最初の注水から越流まで注水し続ける。case2~case4は水位が天端の高さ8cmに到達した後、一旦注水を止め、堤外側の水が盛土内に浸透し水位が6cm以下になった時点で、再び注水した。case5については注水と止水を6回繰り返し、その後越流させた。実験試料は砂質土層に豊浦砂を用い、混合試料層には砂砂7号とDLクレーを1:10の割合で混合したものを使用した。表-1に実験ケースを示す。堤体モデルは図1の拡築堤防モデルの3がA、4がBである。モデルC(図-4)はモデルBの堤内側法先にドレーンをつけたものである。

表-1 実験ケース

case	流体	堤体モデル	裏法面厚さ(cm)	越流	ドレーン	遠心加速度(G)	盛土高さ(cm)	想定高さ(m)	斜面勾配
1	水	A	1	有	無	30	8	2.4	1:2
2			無	無					
3		B	0.5	無	無				
4			1	無	無				
5			C	0.5	有				

3.実験結果及び考察

3-1 case1、case2 について

case1、case2 は、どちらもエアブローが発生した。case1 は越流水により法面に対して掃流力が働き、堤内側の法面は著しく浸食され、そこからの損傷が大きくその後の間隙空気の挙動の観察が難しかった。その為case2 では越流をさせず、水位上昇による浸透のみで間隙空気の挙動を明らかにする事を試みた。case2 のエアブローの発生は、堤外側の湿潤豊浦砂と混合試料の境界付近で発生し、44秒間継続的に発生した(図-2)。エア



図-2 エアブローの発生

ブロー発生箇所には墳砂が生じ、そこに多くの小さい穴が形成されていたことが確認された。浸潤線がさらに上昇し、法先に損傷が確認された時にエアブロー現象が止まった。損傷が大きくなっていき、穴が開いて 40 秒程経つと法面が沈み崩壊した。エアブローの継続的な発生は、水の浸透に伴って間隙空気が圧縮されるとすぐに堤体内から継続的に放出されていたという事を示しており、このケースでの損傷過程は、エアブローに伴って発生した墳砂により砂が放出されて水みちが内部の砂層とつながり、それがパイピング現象を引き起こしたものと推定される。法先が壊れて多くの砂が流されることで拡築部である混合試料を支えるものがなくなり法面が沈下したと考えられる。

### 3-2 case3 と case4 について

case3 と case4 ではどちらもエアブローは発生しなかったが、両者は同様に堤内側法面の混合試料の層が持ち上がっているのが確認された。層の持ち上がりの差は 1mm しかなく、両者の破壊メカニズムは類似していた。よって堤体モデル B は case3 についてのみ述べることにする。このケースでは両側が混合試料で覆われている為、間隙空気が簡単には放出されない。間隙空気が圧縮された後、堤内側法面の中央付近でクラックが発生し、発生箇所から法先方向へ法面が崩れた。実験後、堤外側の砂質土層と混合試料層との境界で大きなクラックを発見し、天端の厚さ 2cm の混合試料を取り除いた結果、クラックが堤体内部とつながっていることを確認した。クラックの中央部が崩壊してから、その一帯が浸透水によって流され堤体が大きく崩壊した。実験後に持ち上げられた混合試料層を測定すると、高さが約 1mm 上がっていた(図-3)。今回の損傷過程は、間隙空気が堤体内部で圧縮された時に、間隙空気が浸潤した混合試料層の一部に作用し、法面が持ち上げられたことで、不飽和の砂質土層との間に大きな隙間が生じたと推定される。これが境界部分にクラックが発生した原因である。エアブローが発生しない場合は、間隙空気が砂質土層と混合試料層との境界に力が作用し、法面表層を支える部分が流され法面の崩壊につながるということが分かった。

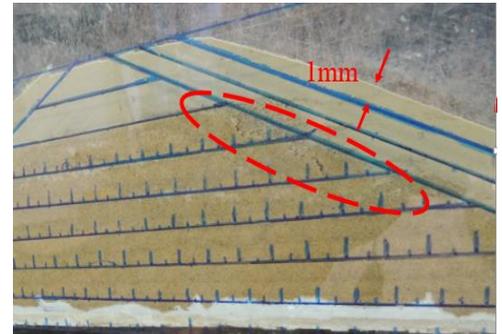


図-3 case3 で上昇した法面表層

### 3-3 case5 について

このケースには間隙空気による堤体の破壊を防ぐため、ドレーンを法先に設置した。これにより、水と間隙空気はそこから放出された。case1~case4 と比べ、浸潤線が直線的でかつ天端付近に上昇することはなかった。越流を起こす前に、13 分程遠心加速度を与えた状態で実験を継続していたが、堤体にはひび割れや墳砂といったダメージは確認されなかった。越流開始後、堤内側法面がガリ侵食によって流された。ドレーンがあることで空気が天端付近で圧縮されず、水と間隙空気がスムーズに排出され、堤体への間隙空気の影響を減少させたと推定される。最終的に天端が損傷してから盛土が崩れたが、間隙空気による損傷を防ぐことができたものと考えられる。

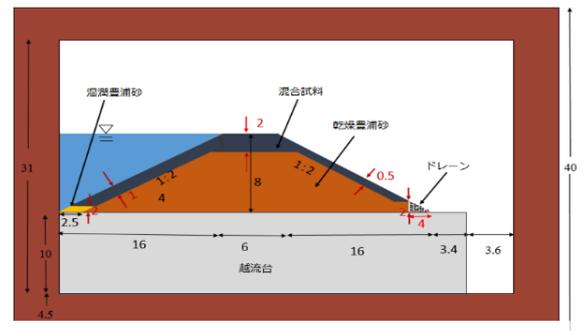


図-4 堤体モデル C

## 4.まとめ

以上の実験から河川水位の上昇によって堤体にエアブローの発生を確認することができ、エアブローが発生する場合としない場合とで堤体にもたらす影響を明らかにした。間隙空気の挙動と破壊メカニズムを踏まえて、間隙空気の影響を減少させるドレーンが、安定性の高い堤体の構築する上で非常に効果的であると分かった。

## 5.参考文献

- 1). 2000 年 9 月 15 日 中日新聞朝刊 中日新聞社.
- 2). 2009 年 4 月 河川土工マニュアル改訂版 財団法人 国土技術センター