

ドレーン工を有する砂質土河川堤防内の降雨浸透挙動に関する模型実験

ドレーン 暴雨 間隙空気

名古屋工業大学 学生会員
名古屋工業大学 国際会員
名古屋工業大学 学生会員○若狭 愛
前田 健一
齊藤 啓

1. はじめに

近年、集中豪雨の多発による破堤災害を受け、河川堤防の質的機能の確保が重要な課題となっている。平成14年度から平成21年度には、国の管理区間である全国約10,200kmの既設堤防を対象に、堤防の安全を確保するため浸透に対する詳細点検が実施された。その結果、国直轄河川堤防の約4割が浸透破壊の安全基準をみだしておらず、浸透破壊対策として河川堤防におけるドレーン工の整備が各地で進められている¹⁾。現在、浸透破壊の照査においては河川水位外力を重要視し、堤防に対する降雨の強弱による浸透挙動への影響は考えられていない²⁾。頻発する集中豪雨に伴う降雨浸透に対するドレーン工の設置効果について明らかにすることは急務である。

そこで本稿では、模型実験を行い、降雨作用時におけるドレーン工の設置効果および間隙空気が堤体に及ぼす影響について検討を行った。

2. 模型実験概要

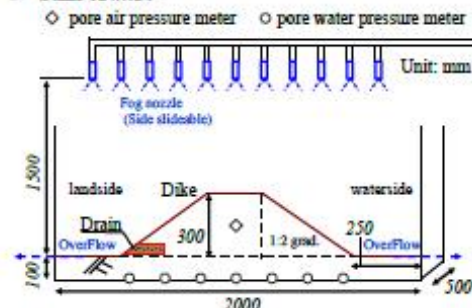


図-1 模型実験装置概略図

模型実験装置の概略図を図-1に示す。堤体下部の基盤層は飽和豊浦砂 ($D_{50}=0.20\text{mm}$, 相対密度 $D_r=80\%$, 透水係数 $k=10^{-2} \sim 10^{-3}\text{cm/s}$)、堤体部は乾燥豊浦砂 (相対密度 $D_r=70\%$) を使

用し、幅2.0m、高さ0.4mの模型堤防を作製した。また、ドレーン工を設置する場合には、基盤層を作製後、堤内側法面にコの字型に吸出し防止材 ($k=10^0\text{cm/s}$) を敷設し、その中にドレーン材料として珪砂2号 ($D_{50}=1.90\text{mm}$, $k=10^1\text{cm/s}$) を詰めて作製した。計測器に関しては、基盤層底面の7箇所に間隙水圧計、堤体中央に間隙空気圧計を設置した。なお、堤体断面および堤内側法面において動画撮影を実施した。実験開始60分経過して以降は、実験装置堤内側から排出される水量を5分おきに15秒計測した。降雨浸透に対するドレーン工の効果を検討するため、無対策堤防とドレーン工を設置した対策堤防に降雨強度90mm/hrの集中豪雨相当の外力のみ作用させ、その比較を行った。

3. 実験結果および考察

1) 堤体内水位および法面の変状

模型実験において、基盤層底面の7箇所に設置した間隙水圧計の計測結果から、堤体の内部水位を算出した。図-2に堤体断面および堤内側法面の経時変化を示し、内部水位を青の破線で表した。まず、内部水位の挙動に着目する。実験開始から45分の時点ではドレーンの有無による違いは見られないが、実験開始から120分経過すると、ドレーン工を設置していない無対策堤防では内部水位がほぼ天端に到達しているのに対し、対策堤防における内部水位は未だ天端に到達していない。これより、ドレーン工は降雨外力に対して、内部水位の上昇を抑制する効果があるといえる。

次に、堤体断面の変形挙動を比較すると、無対策の場合、堤内側・堤外側どちらも法面がすべるように崩れている。一方、ドレーン工を設置した対策堤防では、堤外側は同じように崩れが発生したが、ドレーン工を設置した堤内側はほとんど変状せず、実験終了時まで形状を維持した。内部水位の減少に伴い、堤体のせん断抵抗力の低下も抑制すると考えられる³⁾。

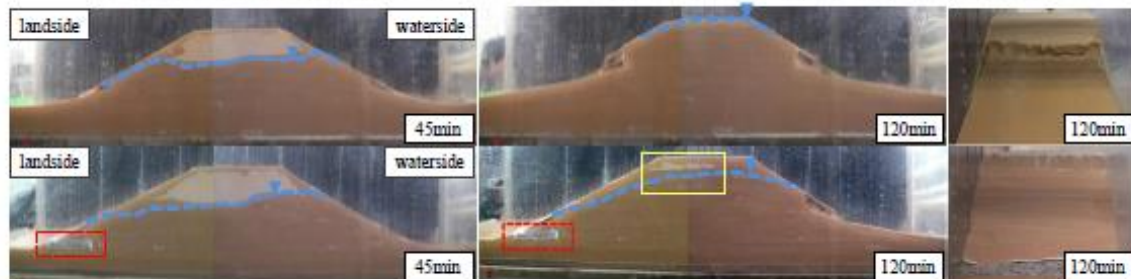


図-2 堤体断面および堤内側法面の経時変化 上：無対策堤防，下：ドレーン対策堤防

2) ドレーン工の排水挙動

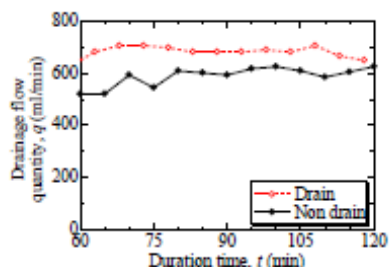


図-3 堤内側排水流量の経時変化 (降雨強度 90mm/hr)

堤内側から排出される水量を計測した結果を図-3 に示す。無対策堤防では約 600ml/min の排水流量であるのに比べ、対策堤防の排水流量は約 700ml/min と 100ml/min 多いことから、ドレーン工を設置した方が、堤体内の降雨水は速やかに堤体の外へと排出されやすいことがわかる。これは、ドレーン工の集水効果に起因しており、ドレーン工を用いることで堤体内を流れる降雨水の浸透経路に変化が起きたと推察される。このような浸透流の変化は堤防断面からも観察された。

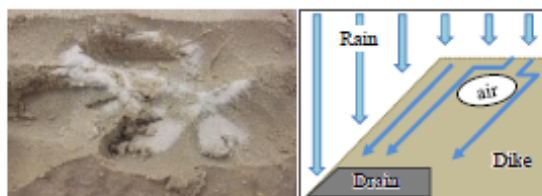


図-4 左図：実験終了後、対策堤防の内部（天端付近）において確認された乾燥領域の残留，右図：ドレーン工設置による降雨水の浸透経路の変化

対策堤防に関して、実験開始から 60 分以降、堤内側天端付近に乾燥領域が残留する様子が観察された。そこで、実験終了後に堤防を崩し堤体内部の状況を観察したところ、対策堤防の天端付近にて、図-4 左図に示したように乾燥領域が取り残されているのが確認された。これは、内部水位がある高さまで達して以降、法面から浸透する降雨水が水平方向に進行せず、ドレーン工に吸い寄せられるようにして流下したためと考えられる。

3) 堤体内の隙間空気の挙動

図-5 に隙間空気圧計の経時変化を示す。隙間空気圧計については、計測器に水位が達した時水圧の影響を受けることが既往の研究で指摘されている⁴⁾。そこで、本論文においても水位が計測器に到達する前の圧力を空気圧とし検討を行った。図-5 より、無対策堤防では実験開始から約 33 分、対策堤防では約 40 分経過した時点で計測対象が空気圧から水圧に変わったことがわかる。これは、堤防断面の様子より推察される堤体中央の水位到達時間とおおよそ一致している。隙間空気圧計の値を比較すると、無対策堤防では約 70Pa であるが、ドレーン工を

用いる場合は、約 400Pa まで高くなっていることがわかる。これは、ドレーン工を設置したことで堤体内の浸透水が急激にドレーン部に集められ、堤体内の特に堤内側において水と空気の入れ替えが困難となり、囲われるようにして隙間空気塊が閉じ込められたため、隙間空気圧が上昇したと考えられる。堤体断面の観察によっても、対策堤防では乾燥領域が取り残されたままとなっていることから、ドレーン工には空気圧を逃がす効果はないものと推察される。

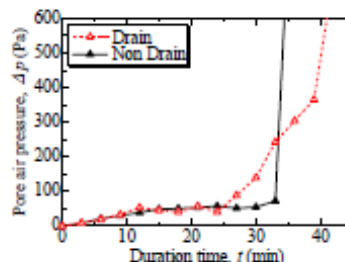


図-5 隙間空気圧の経時変化 (降雨強度 90mm/hr)

4. 結論

模型実験の結果から、ドレーン工を設置することで、堤体内に浸潤した降雨水を速やかに排水し、内部水位を低下させる効果を確認した。また、ドレーン工対策時において天端付近に空気塊による乾燥地帯が残留する現象が見られ、ドレーン工が降雨水の浸透経路に影響を及ぼすことがわかった。堤体内の空気塊は弱部を狙って蓄発する危険性があるため、降雨浸透については、今後ドレーン工に加え空気塊を制御する対策工⁵⁾を検討する必要がある。

謝辞

この研究は、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 23360203 の助成を受けており、ここに深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 一般財団法人 国土技術開発センター：ドレーン工設計・施工に関する参考資料（技術資料），2013
- 2) 齊藤啓，前田健一，今瀬達也，伊藤嘉：雨粒径の違いに着目した堤体内浸透挙動，土木学会第 68 回年次学術講演要集，pp383-pp384，2013
- 3) 矢部川堤防調査委員会，矢部川堤防調査委員会報告書，pp161，2013.
- 4) 小林剛，前田健一，齊藤啓，伊藤嘉，阿部知之：河川堤防材料の浸潤挙動に及ぼす降雨強度及び浸潤速度の影響とモニタリング手法の比較，河川技術論文集，第 19 巻，pp70，2013.
- 5) 前田健一，柴田賢，今瀬達也，馬場千児，梶尾孝之：豪雨と気泡の影響を考慮した河川堤防における透気遮水シートの設置効果，ジオシンセティック論文集，第 25 巻，pp107-pp112，2010.