

雨滴径の違いに着目した堤体内浸透挙動

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○齊藤 啓
名古屋工業大学 正会員 前田 健一
名古屋工業大学大学院 学生会員 今瀬 達也, 伊藤 嘉

1. はじめに

近年、都市部を襲う集中豪雨により、河川堤防の決壊被害が相次いで報告されている。2000年に発生した東海豪雨では、名古屋市内を流れる新川において、堤防決壊前に法面から白い泡状の水が噴出したとの目撃証言があり、堤体内に封入された圧縮空気が噴出する際、亀裂等の損傷を及ぼす可能性が考えられる。また、2011年の福島・新潟豪雨、台風15号でも堤体からの気泡噴出が確認されている。間隙空気塊の発生要因に着目すると、著者らの検討により降雨強度に依存することがわかりつつある¹⁾。そこで本研究では、堤体表面における降雨作用の水理学的条件について、雨滴径を可変させて実降雨を忠実に再現²⁾した模型実験を試みた。

2. 雨滴径を変化させた降雨模型実験の概要

模型実験では、豊浦砂($D_{50}=0.173\text{mm}$)を相対密度70%で管理して作製した模型堤防(幅2.0m, 奥行0.5m, 高さ0.4m)に降雨強度80mm/hr(猛烈な雨)で雨滴径を変化させて作用させた。雨滴径の調節には雨滴径可変装置を用い、雨滴小は約1.0mm, 雨滴大は約6.0mmの径となっている。堤体内に土壌水分計を32箇所、間隙水圧計を13箇所、間隙空気圧計を5箇所設置し、堤体内の浸潤過程及び間隙空気の挙動を観察した。

3. 試験結果

3.1 堤体断面浸潤過程

まず、壁面から見た堤体断面における浸潤の経時変化を比較したものを図-1に示す。降雨開始から65分後の堤体断面を比較すると、同等の降雨強度にも関わらず雨滴大の浸透が遅れている様子が観察できる。このことから雨滴大では堤体内部への浸透が鈍化することがわかる。この一要因として堤体内の間

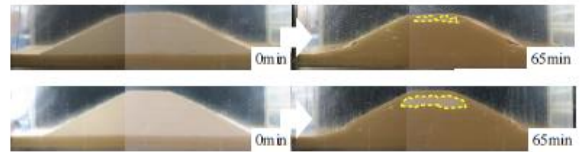


図-1 降雨強度80mm/hr時(猛烈な雨)における堤体断面の比較。上：雨滴小，下：雨滴大

隙空気が浸透を妨げている可能性が考えられる。

試験断面より視られる浸透挙動から雨滴径が間隙空気の封入過程に及ぼす影響について考察する。試験開始から65分後における天端付近を拡大したものを図-2に示し、表層浸透の概略図を図-3に示す。図-2から天端直下の浸透厚さを比較すると、雨滴大の方が分厚い浸透膜が形成されていることがわかる。これは雨滴が地盤表面に着地した際、表面だけでなく深度方向にも広がりを示すことが考えられる(図-3)。そして深度方向の広がりには雨滴径に依存し、雨滴径が大きくなるほど深度方向への浸透が卓越する。つまり雨滴大では早い段階で堤体表層に分厚い浸透膜を形成し、間隙空気の排出を抑制するため、堤体内の間隙空気を封入しやすい浸透挙動を示すものと思われる。つぎに、間隙空気の封入が浸潤過程に及ぼす影響について、各種計測器の応答より検討する。

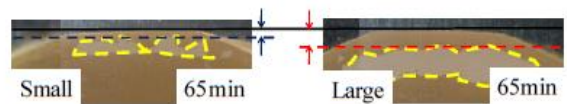


図-2 試験開始65分後における天端付近浸透比較

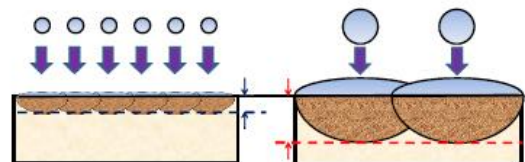


図-3 雨滴径の違いによる表層浸透への影響

3.2 水分量変化より観察する浸潤過程の比較

水分量の経時変化について比較したものを図-4に示す。雨滴小から見ると、堤体表層(A2, C5等)と内部(E3等)ともに試験開始直後から水分量が緩やかに上昇している。一方、雨滴大では試験開始直後に堤体表層のA2, C5で急激な水分量の上昇が生じ、堤体内部(E3等)では試験開始からおよそ30分後に、堤体表層における水分計の反応から遅れるようにして水分量が増加する。雨滴大では堤体表層の浸潤が顕著に見られ、堤体内部への浸潤が遅れが生じることから、間隙空気と浸透水との交換が進みにくいことがわかる。水分計の挙動からも雨滴径が大きいほど堤体内部への浸透が遅くなることを確認した。

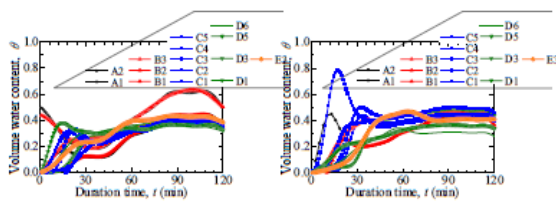


図-4 降雨強度 80mm/hr 時 (猛烈な雨) 水分量比較。
左：雨滴小，右：雨滴大

3.3 間隙水圧変化より観察する浸潤過程の比較

つぎに、間隙水圧計の経時変化について比較したものを図-5に示す。ここでは間隙水圧が急激に上昇する時間(図中破線)に着目して、堤体内中央付近に設置したE3における水圧変化の比較を行う。間隙水圧挙動から雨滴小では、試験開始から約42分後に堤体内水位がE3に達しているが、雨滴大では約56分の時間を要している。水分計、間隙水圧計の反応から、雨滴が大きいほど堤体内部への浸透が遅れることが伺えるが、このことが間隙空気の封入にどのような影響を与えているか検討を行うため堤体内に設置された間隙空気圧計の挙動に着目した。

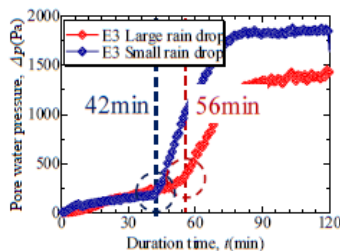


図-5 雨滴径の違いによる間隙水圧変化の比較

3.4 間隙空気圧の蓄積に関する比較

間隙空気圧計の経時変化について比較したものを図-6に示す。堤体内中央付近に設置したE3について比較する。雨滴小では堤体内水位がE3に到達する試験開始から約42分後におよそ300(Pa)の空気圧を蓄積しているが、雨滴大では堤体内水位がE3に到達する、試験開始から約56分後におよそ900(Pa)の空気圧を堤体内に蓄積している。その後、圧力が急上昇するのは、間隙空気圧計は間隙水圧計の表面を撥水加工し、センサー受圧部で空気のみを検知するようにしたが、受圧部に水が浸潤したことで水圧を計測したためと思われる。間隙空気圧計の挙動から堤体内に圧縮空気の存在が確認され、さらに雨滴径の違いが圧縮空気の捕捉に影響を与えることがわかる。

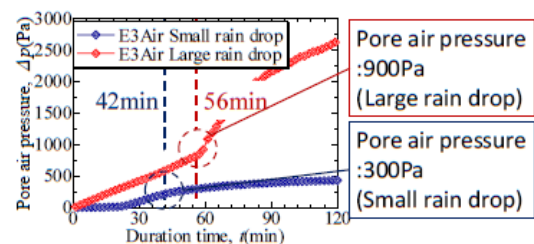


図-6 雨滴径の違いによる間隙空気圧変化の比較

4. 結論

降雨模型実験により雨滴径を変化させて実験を行った結果、雨滴径が大きいほど堤体内部への浸透が遅れることを試験断面の様子や水分計、間隙水圧計の挙動から確認した。この原因について、雨滴大では堤体表層の急激な浸潤化により捕捉される間隙空気が浸透水を妨げていることが考えられる。また雨滴が大きいほど、堤体内中央付近の不飽和領域における間隙空気圧の蓄積が大きいことがわかった。

謝辞

この研究に用いた装置の一部は日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(B) 研究課題番号：23360203, (B) 研究課題番号：21360222 によるものであり、深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 前田健一, 柴田賢, 馬場干児, 榊尾孝之, 今瀬達也: 国際ジオシンセティックス学会日本支部, ジオシンセティックス論文集, 第25巻, pp107-112, 2010.12
- 2) 武田喬男: 雨の科学, 成山堂書店, 2005