

実堤防モニタリングによる降雨強度および降雨履歴に着目した堤体内浸透過程

間隙空気 降雨履歴 河川堤防

名古屋工業大学 学生会員 ○齊藤 啓
 名古屋工業大学 国際会員 前田 健一
 中部大学 国際会員 杉井 俊夫
 名古屋工業大学 学生会員 伊藤 嘉, 今瀬 達也

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指摘されている。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た。しかし、現行の河川堤防における設計指針では、間隙空気が堤体に与える影響について考慮されていない。また、異なる降雨条件が及ぼす影響についても、明確な記述はない。

そこで本研究では、これまで実施してきた任意の降雨強度を作用させた模型堤防実験における降雨浸透挙動の検討¹⁾をもとに、実際の河川堤防における堤体内の水分量変化を長期モニタリングした結果について、降雨強度や事前降雨の有無による堤体内への浸透、排水現象および間隙空気の影響に着目した検討を行った。

2. 実堤防モニタリング概要

実堤防モニタリングは名古屋市内を流れる矢田川右岸 2.2 K・庄内川左岸 20.2K 地点の背割堤に、水分計を設置している。図-1に実堤防に埋設した水分計の設置位置を示す。

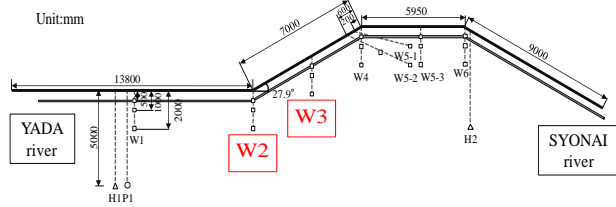


図-1 実堤防水分計埋設地点図

実堤防において、降雨強度の違いによる浸透挙動の変化を比較するため、観測地付近の降雨強度データが台風相当(強い雨)の30mm/hr(2011年7月19日)、集中豪雨相当(強烈な雨)の90mm/hr(2011年9月20日)となる時刻の2時間前から6時間分の水分量変化を抽出し、降雨履歴と比較した。また事前降雨の有無による浸透過程の違いを考察するため、降雨強度78mm/hrにおける事前降雨有(2012年7月6日、前日までの総雨量30mm)と無(2012年8月29日、11日間降雨無し)を抽出し比較を行った。

3. 実験結果および考察

1) 模型堤防実験における水分量変化の特徴

模型堤防実験の方法は、既報に詳しい¹⁾。模型堤防実験から以下のことが明らかになっている。

- ・台風相当の降雨強度30mm/hrでは、堤体の表層、内部において時間とともに水分量が単調に増加する。
- ・集中豪雨相当の降雨強度90mm/hrでは、間隙空気塊の封入によって、堤体表層では水分量が急激に増加し、その後減少するが、堤体内部では水分量の増加に遅れが生じる。

2) 降雨強度による浸透挙動の違い

降雨強度の違いによる実堤防法先(W2)の水分量変化を比較したものを図-2に示す。また、各深度において水分量がピークに達する時間を図中に示した。

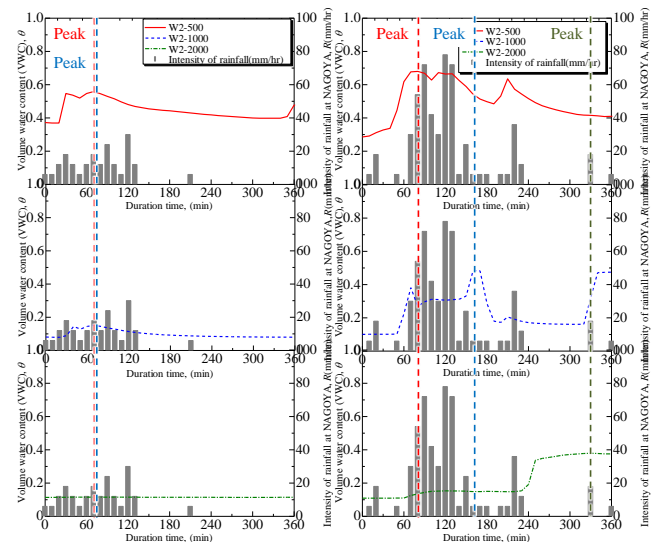


図-2 実堤防法先の水分量変化(左:降雨強度30mm/hr(台風相当), 右:降雨強度90mm/hr(集中豪雨相当))

降雨強度30mm/hr時の水分量変化(図-2, 左図)から、W2-2000(地表面からの深度2000mm)における水分量にピーク値が見られなかった。これは、降雨による浸透水がW2-2000まで到達しなかったためと考える。また、W2-500, W2-1000では同時に水分量がピークに達していることから、降雨強度30mm/hr相当における模型実験でみられたように、堤体の表層、内部において一様に水分量が上昇している様子を実堤防でも確認した。

次に、降雨強度90mm/hr時の水分量変化(図-2, 右図)をみると、深度が大きくなるに従い水分量の増加に遅れが表れている。

降雨強度 90mm/hr 相当における模型実験でみられたように、堤体の表層において水分量が上昇し、遅れて堤体内部の水分量が上昇する様子を確認した。降雨強度 90mm/hr 時において堤体内部の水分量の増加が遅れるのは、超過降雨が発生した際、堤体内の間隙空気を捕捉するように浸潤し、捕捉された間隙空気がその後の降雨浸透水の浸潤を妨げるためと考えられる。

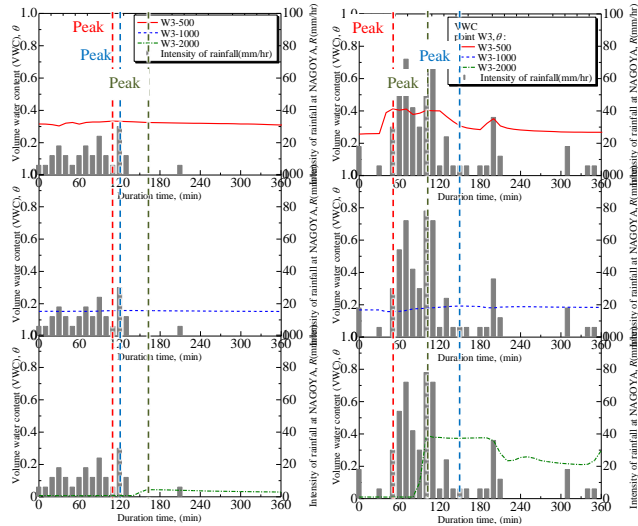


図-3 実堤防法面の水分量変化(左：降雨強度 30mm/hr(台風相当), 右：降雨強度 90mm/hr(集中豪雨相当))

降雨強度の違いによる実堤防法面(W3)の水分量変化を比較したものを図-3に示す。降雨強度 30mm/hr 時において W3-500 が水分量のピークに達した時間と、W2-1000 がピークに達した時間の差が 10 分であったが、降雨強度 90mm/hr 時にはその差が 100 分であった。このことから、降雨強度が大きくなるほど堤防内部の浸透が遅れることがわかる。さらに、各深度における水分量がピークに達する順番に着目すると、降雨強度 30mm/hr 時には W3-500, W3-1000, W3-2000 の順番であったが、降雨強度 90mm/hr 時には W3-500, W3-2000, W3-1000 という順番であった。降雨強度 90mm/hr 時には、堤体内に間隙空気を捕捉するような浸透をするため堤体内部(W3-1000)への浸透が遅れ、また堤防法先からの浸透によって W3-2000 が先に浸透を示したと思われる。

3) 降雨履歴による浸透挙動の違い

実堤防における浸透挙動について、降雨履歴の有無を比較したものを図-4に示す。地表面から深さ 500mm における 120-140min の水分量の増加勾配を浸透速度(V_{sp})として図中に示した。降雨履歴の有無について浸透速度の比較を行うと、法先地点(W2)の降雨履歴有りでは $V_{sp}=2.1 \times 10^{-2}(\text{min})$ 、降雨履歴無しでは $V_{sp}=1.2 \times 10^{-2}(\text{min})$ である。また、法面地点(W3)においても降雨履歴有りの方が、浸透速度が速いことから、降雨履歴が有り堤防が湿潤している方が、浸透速度が速くなる傾向がある。降雨履歴が有ることにより、あらかじめ堤防内に間隙部の経路ができ、堤体内への浸潤が速やかに進むためと考えられる。一方、降雨履歴が無い場合、降雨浸透水と間隙空気の置換が進み

にくく、堤体内に圧縮した間隙空気を閉じ込める可能性が危惧される。

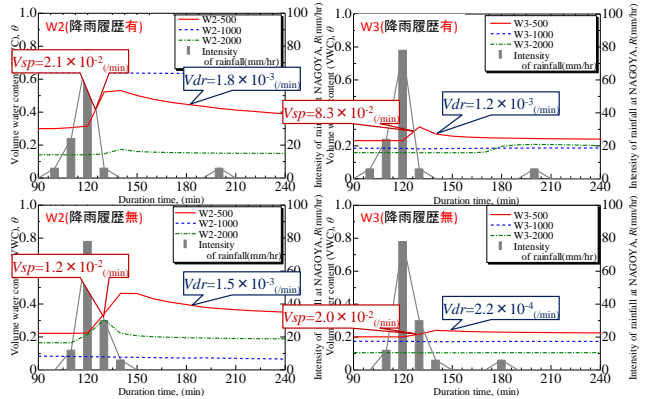


図-4 降雨強度 78mm/hr 時の実堤防内浸透及び排水速度比較(左：堤防法先, 右：堤防法面)

4) 降雨履歴による排水挙動の違い

水分量がピークに達した後、減少する様子に着目した検討を行った。地表面から深さ 500mm における水分量ピークを記録した時点から、60 分後までにおける水分量の減少勾配を排水速度(V_{dr})として図中に示した。降雨履歴の有無について排水速度の比較を行うと、法先地点(W2)の降雨履歴有りでは、 $V_{dr}=1.8 \times 10^{-3}(\text{min})$ 、降雨履歴無しでは $V_{dr}=1.5 \times 10^{-3}(\text{min})$ となっている。また、法面地点(W3)においても、降雨履歴有りの方が無しに比べ排水速度が 10 倍程度速いことから、降雨前の堤防の飽和状態が排水速度にも影響を与える事がわかる。前項でも述べたとおり、降雨履歴が有る方が堤体内にあらかじめ間隙部の経路ができ、この経路は降雨浸透水が浸透するときだけでなく、排水する際にも影響し、間隙水の出入りを円滑にする作用を持つことが考えられる。

4. 結論

模型実験において表れた、異なる降雨強度による堤体内の水分量変化が実堤防計測においても確認された。さらに、実堤防観測により、事前降雨履歴による堤体内の飽和状態が堤体内への浸透挙動に違いをもたらし、特に事前降雨がない場合は、浸透速度が遅れ、より堤体内に間隙空気を閉じ込めやすい状況にあることがわかった。以上のことから、間隙空気の封入現象を把握するうえで降雨強度や降雨履歴を考慮しなければならない。降雨発生状況から堤防内の浸透予測をすることで、破堤の危険性がある堤防を特定することができ、防災・減災に貢献できる。

謝辞

共同研究により現地計測の機会を与えていただいた国土交通省中部地方整備局庄内川河川事務所様に深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 前田健一他(2010)：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ス論文集，第25巻，pp107-pp112