

間隙空気の挙動に着目した豪雨時の砂質堤防内の浸透現象

名古屋工業大学 学生会員 ○井手 健一郎, 柴田 賢
名古屋工業大学 正会員 前田 健一
応用地質株式会社 正会員 馬場 千児

1. はじめに

近年、全国各地で局所的な都市型集中豪雨による堤防の決壊が多発しており、2000年の東海豪雨では名古屋市内を流れる新川の堤防が決壊した。このときの目撃者は、堤防に亀裂が生じ、白い泡状の水が噴き出した後、亀裂が広がっていき堤防が決壊したと証言している。このように、都市型集中豪雨と間隙空気の関係は密接であり、間隙空気が堤防に損傷を与えることが考えられる。しかし、河川堤防の設計においても降雨浸透による間隙空気の影響は考慮されていない。

そこで本研究では、任意の降雨強度を再現した模型堤防で降雨浸透実験を行い、堤体内部に設置した水分計による降雨浸透時の間隙空気の挙動と降雨浸透が堤防に及ぼす影響を検討した（図-1）。

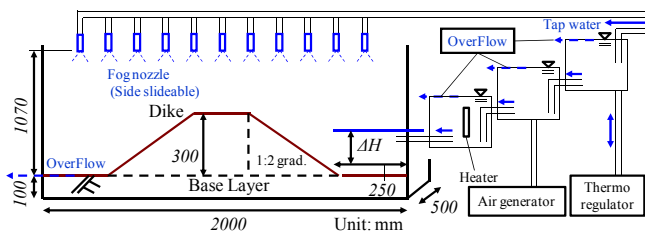


図-1 実験装置概要

2. 実験方法および実験条件

本実験では、試験の試料としてまさ土(2mm以下)を使用した。基盤層は最適含水比0.13とし、堤体部分は浸透の進行を目視で確認し易くするために乾燥状態で、層厚50mmごとに5回/100cm²の割合で突き固め、相対密度80%に管理して実験を行った。また、任意の降雨強度を気象庁の定義を参考に4ケースに設定した（表-1）。そして、各降雨強度で降雨がどのように堤防内に浸透し、浸透時の間隙空気の影響についての考察を行った¹⁾。

表-1 実験ケース

Case(No.)	Rainfall	definition
Case(1)	30mm/hr	強い雨
Case(2)	60mm/hr	非常に激しい雨
Case(3)	90mm/hr	猛烈な雨
Case(4)	120mm/hr	集中豪雨

3. 実験結果および考察

まず、堤体内を観察するために、任意の場所に設置した水分量の変化を図-2に示す。そして、各水分計のグラフ上のプロットと配置関係を図-3に示す。

Case(1)では、降雨開始後に堤体表層の水分量が増減している。しかし、その上限値は飽和度0.572（体積含水率0.25）と他のケースに比べ小さい。また、天端付近の水分量が減少する時に、法肩や法尻から堤体内部へと浸透が進行していないことから、30mm/hrという降雨強度では間隙空気を封入する浸透現象が起こらないことがわかる。つまり、十分に間隙空気を封入できていないことが分かる。また、今回の実験では降雨による浸食が見られなかったことから、間隙空気が降雨浸透へと及ぼす影響を受けなかったため、浸透流が堤体表層に集中せず浸食されなかったと考えられる。

Case(2)の場合、降雨開始直後に堤体表層の水分量が増減している。図-3に示すように間隙空気を封入する浸透現象が進行していることが水分量の変化で確認できる。よって、堤体内部に間隙空気が封入されていることが分かった。しかし、降雨開始直後に増加した水分量の上限値が飽和度0.687と小さいことから、十分に間隙空気を閉じ込めておくことができない。降雨開始180分後の堤体内部における水分量の増加傾向は、徐々に堤体内部の間隙空気が外に放出されたと推測できる。

Case(4)は、もっとも降雨強度が強いため浸透力が強いとの見解であったが、降雨強度が強いほど間隙空気による影響に支配されやすいことが分かった。そして、堤体内部へと浸透しにくくなり堤体表面を流れてしまうことが分かる。また、堤体内への浸透が進むと、堤体表層に浸透流が集中し浸食が始まることにより、飽和度が0.916（体積含水率0.4）までしか上がりきらず、また、堤体内部の水分量の減少も見られないことから、間隙空気は封入されていないと考えられる。

Case(3)においては、降雨開始直後に堤体表層の水分量が増減し、そして、上限が飽和度1.373（体積含水率0.6）と今回のケースでもっとも高い値を示している。よって、十分に表層から浸透していき空気を閉じ込めてられていく。その過程で法尻から内部へ

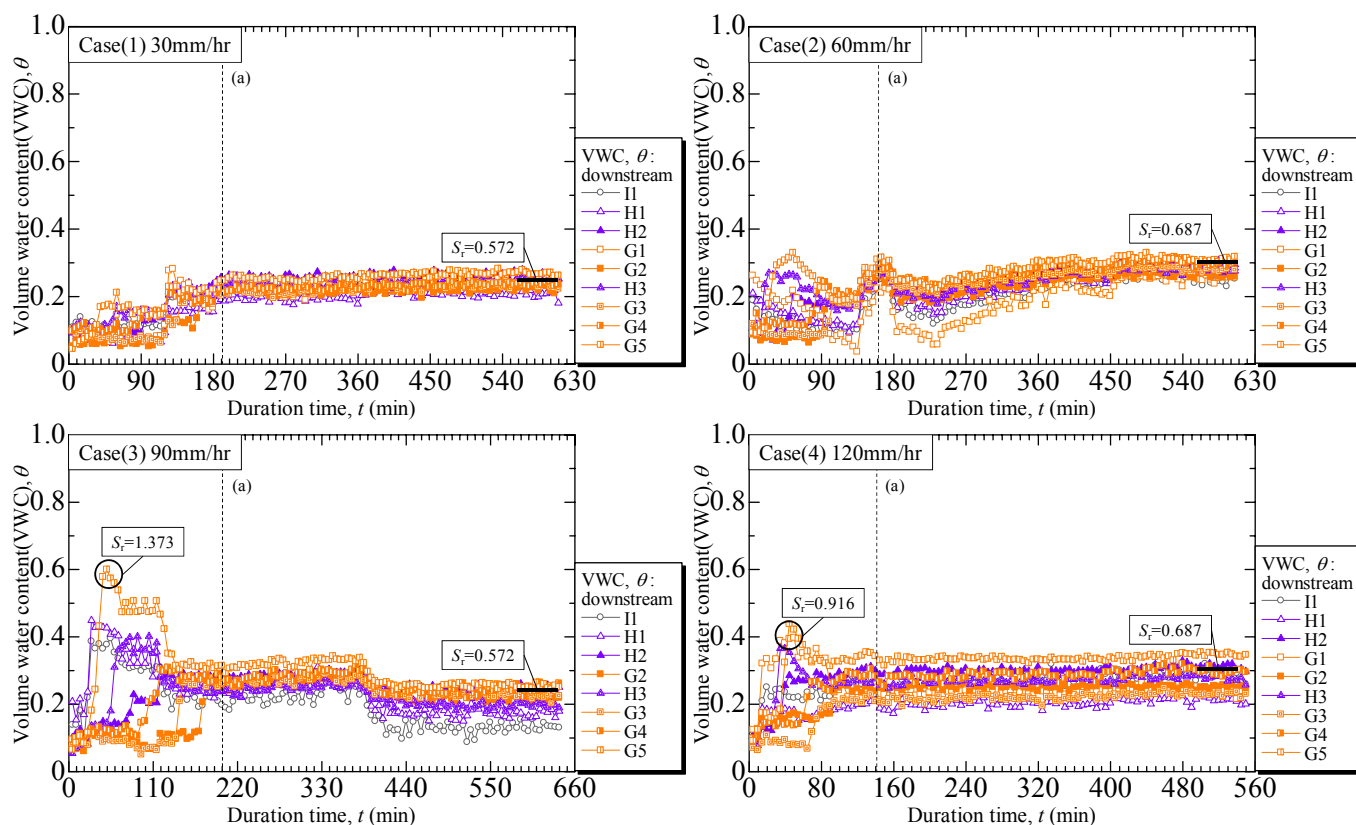


図-2 堤体の水分量：(a)は断面が飽和に達した時刻

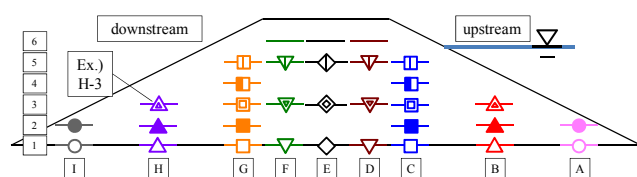


図-3 各水分計のプロットと配置関係

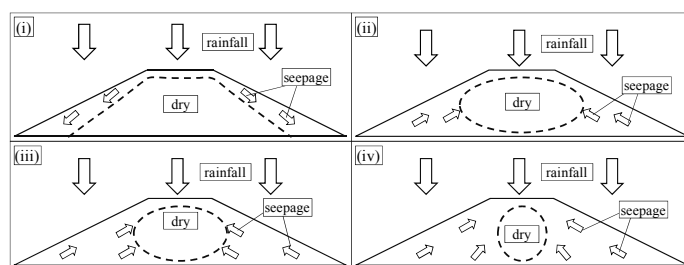


図-4 間隙空気を封入する様子

と浸透が進んでいることから、間隙空気が封入されたと考えることができ、このときエアブローを引き起こす等、非常に危険な状態になることが予想される。しかし、上限の飽和度 1.373 という値については不明な点が多く議論の余地があり、今後の検討課題である。

4. 結論

以上の考察の結果、Case(3)90mm/hr の場合において、もっとも堤体内に間隙空気が封入されることが分かった。なぜならば、堤体表層の水分量が増加し、法先から堤体内部へと浸透することにより間隙空気を封入するからである（図-4）。降雨開始直後に増加した堤体表層の水分量の上限値（飽和度）が、堤体内部の間隙空気存在を示す重要な要因であることがわかった。そして、間隙空気は降雨浸透にも影響し、特に降雨強度が強くなるほど支配的であり堤体

内へと浸透しにくくなることが確認された。

さらに、このとき河川の水位が上昇すると、閉じ込められた間隙空気に浮力が働くため、堤防に揚圧力が作用し亀裂等の損傷を与え、突発的なエアブローによる崩壊が起こるなど、非常に危険となることが予想される。

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)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：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，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