

豪雨浸透時の三相系堤防内における間隙空気の挙動の可視化

名古屋工業大学大学院	学生会員	○柴田 賢, 井手 健一郎, 今瀬 達也
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	小林 剛, 馬場 干児
太陽工業株式会社	正会員	榊尾 孝之

1. はじめに

近年、梅雨末期や台風時期の集中豪雨やこれに伴う河川の急激な増水により、堤防の安定性の低下が起きている。このような急速な水理的外力の作用は、時間雨量10-30mm程度の発生頻度の高い降雨と比較し、急激な堤防への浸潤作用により、堤防が不安定となる。急激な堤体内の浸潤化は通常の降雨のような不飽和から飽和にむけての土・水・空気の物理・力学的変化のみならず間隙空気や間隙水中に溶存している空気が空気塊として分離し、堤防の弱線に沿って地表に噴発するエアブロー現象が確認されている。特に、2000年の東海豪雨時には、新川堤防の決壊過程が新聞に掲載されており、その目撃者によると、『堤防を斜めに横断する形で亀裂が入り、白い泡状の水が噴き出した。その後、亀裂は3時間ほどかけて、ゆっくりと広がり続け、漏れ出る水の勢いは激しさを増していった。』という。これは、浸透破壊に間隙空気の影響を想像させる内容である。しかし、間隙空気が噴発することが堤防にどのような影響を及ぼすのか、そのメカニズムはどのようなのか、については未だ明らかにされていない。また、一般的には降雨浸透時における間隙空気の影響は考慮されず、浸透特性の検討や安全性の評価がされており、河川堤防の設計についても降雨の影響は十分に考慮されているとは言えない。

2. 試験方法および試験条件

本実験では、豊浦砂を使用し、基盤層は水中落下、堤体部分は乾燥落下とし、7回/100cm²/1層の割合で突固め、相対密度70%に管理して実施した。ただし、case(3)のみ含水比0.05に調整し、堤体部を作製した。また、任意の降雨強度を再現可能な降雨発生装置を備えた試験装置を用い、降雨浸透や河川水位の上昇に伴う間隙空気の挙動を把握することを試みた(図-1)。さらに、降雨浸透および河川水位の上昇によりエアブロー現象の観察、応用地質(株)所有の技術である比抵抗モニタリングによる三相系堤体内の可視化を試みた。この結果を踏まえ、不透気遮水シート(水も空気も透さないシート)を用い、一般的な越

流対策としてアスファルトフェイシングを模擬した場合、また、透気遮水シート（空気は透すシート）の設置効果を検討した¹⁾。表-1に本稿で述べる試験ケースを示す。

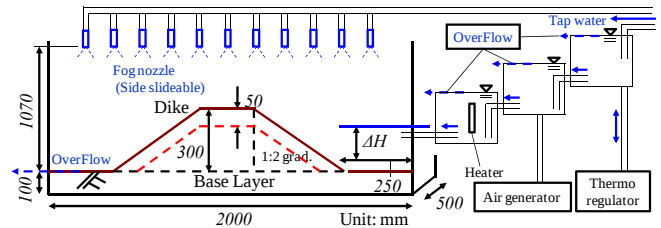


図-1 試験装置概要

表-1 試験ケース

case(No.)	rainfall (mm/hr)	water raising	Counter-measure sheet
case(1)	-	Yes	-
case(2)	90	-	-
case(3)	120	Yes	-
case(4)	80	Yes	Breathable-waterproof

3. 試験結果および考察

雨が降らず、単に河川が増水するとき (case(1)), 堤防断面内では下層から上層へ浸潤前線が発達し, 一般的な浸透現象が観察された (図-2). また, 豪雨が発生する場合 (case(2)) では, 堤防表面から断面内に降雨浸透が進み, 乾燥領域が完全に閉じ込められる様子を観察した (図-2). これらを踏まえ, 豪雨後に河川が増水する場合 (case(3)) では, 降雨開始 30 分経過すると, 降雨を継続しているにもかかわらず, 堤体内の体積含水率 (図-3) が急激に減少する. さらに, 河川水位が上昇すると, 体積含水率の低値が維持され, 越水直前になると, エアブローの発生を確認し, 堤体内に閉じ込められた間隙空気が噴発することにより体積含水率が上昇する. 比抵抗モニタリングから得られる比抵抗の変化率による断面内の可視化 (図-4) を行うと, 降雨により堤防表層に浸潤域 (寒色系) が形成され, 河川が増水すると, 閉じ込められた間隙空気 (暖色系) が水位上昇に連動しながら上部に押し上げられて行く様子が分かる.

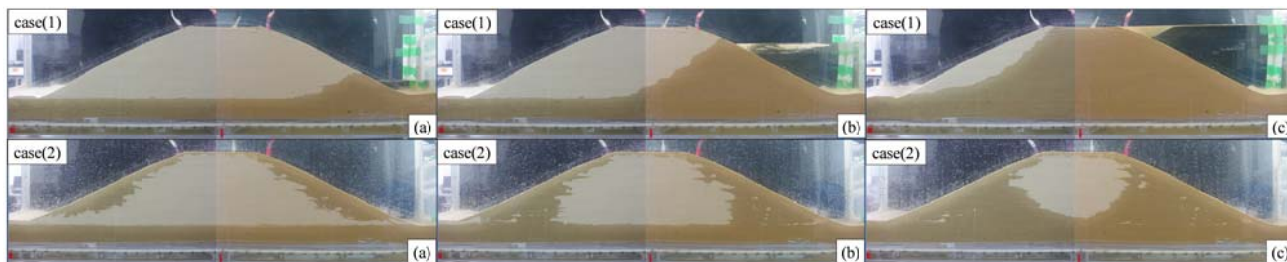


図-2 浸透の様子：上部に単に河川が増水した場合（case(1)），下部に豪雨時の様子を示す（case(2)）。

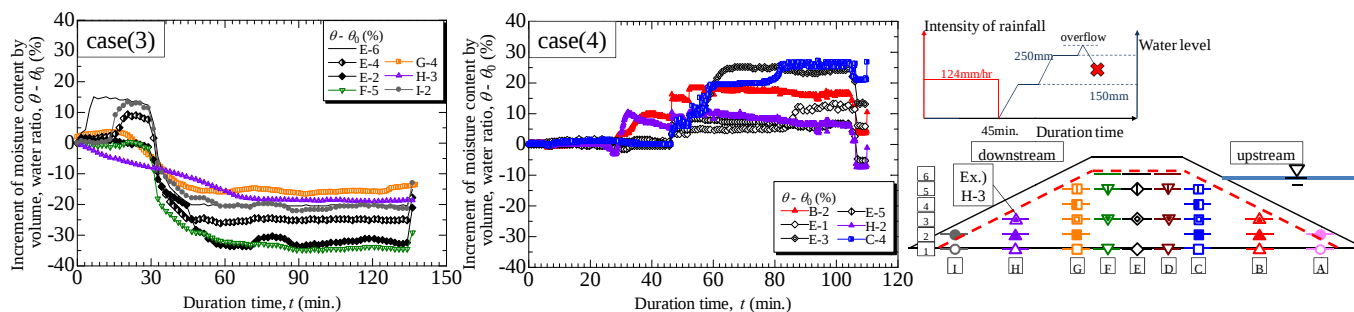


図-3 堤体内の体積含水率の経時変化：左に無対策堤防の場合（case(3)），右に対策時の様子を示す。

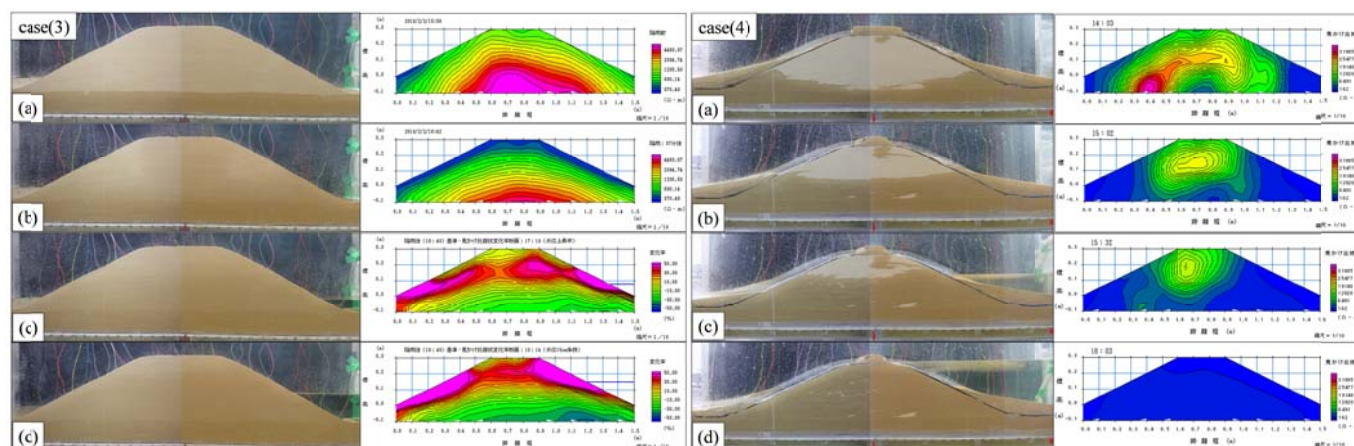


図-4 比抵抗モニタリングによる三相系地盤内部の可視化：凡例は暖色系が高比抵抗領域（低飽和度領域），寒色系が低比抵抗領域（高飽和度領域）を示しており，間隙空気を捕捉している。

このように，豪雨浸透時の間隙空気の挙動が堤防損傷の要因となることを模型試験でも確認することができた²⁾。そこで透気遮水シートを敷設すると，堤体内の体積含水率は急激な低下を示さず，上昇傾向にあることが分かる（図-4）。また比抵抗モニタリングによると，下層から上層への浸透の進行に伴い，シート内の間隙空気（暖色系）がシート直下まで押し上げられシートを透気している様子が可視化されている（図-4）。よって，堤防表層への急激な降雨浸透を抑制し，高圧となった間隙空気のブローによる損傷を軽減できることが言える。

4. 結論

集中豪雨後に急激に河川が増水すると，無対策の堤防は堤体内の間隙空気の影響により亀裂等の損傷が発

生することが分かった。また透気遮水シート施工時には，浸潤線の経時変化から堤体内から外部へ早期の気泡放出が確認され，降雨浸透抑制効果と間隙空気圧の軽減効果が生じることが分かった。

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)23360203 および基盤研究(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，梶尾孝之，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，(2)柴田賢，前田健一，馬場干児，梶尾孝之：集中豪雨による砂質堤防の損傷における間隙空気の影響と透気遮水シートの敷設効果，地盤工学会中部支部，中部地盤工学シンポジウム論文集，pp.57-63，2011.8