集中豪雨に起因する気泡の影響を考慮した模型堤防の堤体内における浸潤の比較

名古屋工業大学大学院　学生会員　○柴田　賢
名古屋工業大学大学院　学生会員　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　馬場　干児
太陽工業株式会社　正会員　桝尾　孝之

1．はじめに

局所的な都市型集中豪雨が引き起こす河川堤防の決壊は、都市部に甚大な被害を及ぼし，時として気泡を伴った浸透破壊現象が原因となることが2000年の東海豪雨水害の際に報告されている．このような気泡を伴った現象は「ガマが吹く」などと呼ばれ，昔から目撃されている．特に，河川堤防のような越流を受ける可能性のある土構造物は，浸水により空気塊に浮力が作用するだけでなく，堤防内部に存在する空気に上部地盤が持ち上げられることで，堤防の崩壊を助長することも考えられる．また，現在の河川堤防の設計には降雨の影響が十分に考慮されていないことを踏まえ，本研究では，降雨発生装置を備えた模型堤防実験を行い，浸透流，降雨，越流や気泡が堤防に及ぼす影響の考察を試みた（**図-1**）．さらに，気泡および越流対策として堤体内部に透気性遮水シートを配置し，その効果を確認し，対策工の提案を試みた．

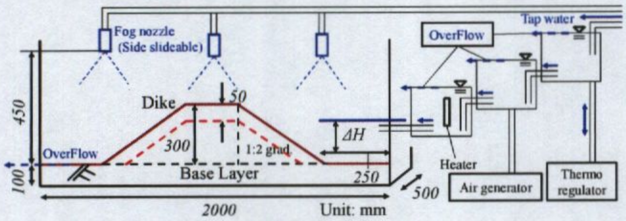

図-1　実験装置

2．実験概要

本実験のケースを**表-1** に示す．まず，降雨および河川の水位上昇が堤防に与える影響を観察するために，乾燥試料を用いた模型堤防実験を行った(Case(1))．模型堤防作製方法は豊浦砂を用いて水中落下により基盤層を作製後，堤体部は乾燥試料を空中落下させ，層厚 50mm ごとに 7 回/100cm^2 の割合で突固め，密状態(Dr=70%)で作製する．実験手順は降雨による影響を観察するために，降雨強度 124mm/hr の雨を一定時間発生させる．次に堤外側に一定流量で給水し，水位を上昇させ，150mm に到達したところで，一定時間水位を保持し，堤体内への浸潤を待つ．再び水位を上昇させ，250mm に達したところで一定時間保持する．最後に給水量を増やし，一気に越流させ堤体の損傷状況を確認する．この結果を踏まえ，堤体内部に不透気性遮水シートを設置することでアスファルトフェイシングを模擬した一般的な越流対策を施した実験を行った(Case(2))．施工方法は Case(1)と同様に基盤層を作製後，堤体部を 50 mm 低く作製し，不透気性遮水シートを設置後，50 mm の余盛を行い施工完了とした．さらに，新しい越流対策方法として，Case(2)と同様の箇所に透気性遮水シートを設置した場合の実験を行った(Case(3))。なお，すべての実験において，堤体内部に水分計あるいは水圧計を設置し，堤体内における水分量の経時変化を計測した．

表-1　実験ケース

	Rainfall	Water level holding time			Kinds of sheet	Position of sheet
		150 mm	250 mm	Overflow		
Case(1)	45 min	10 min	10 min	2 min	Non-countermeasure	
Case(2)	45 min	10 min	10 min	6 min	Air impermeability	Whole
Case(3)	45 min	10 min	10 min	10 min	Air permeability	Whole

3．実験結果および考察

各ケースの浸潤過程の比較を**図-2** に示す．比較対象とする写真はすべての実験ケースで堤外側からの総給水量が等しい．また，堤体内に設置した水分計および水圧計の設置位置および値を**図-3** に示す．

Case(1)の場合，(a)に示すように，堤体内部への浸潤速度が速く，堤内側法面が崩壊を始めているため，早期の決壊を招く恐れがあり危険である．(b)，(c)となると，堤外側水位が上昇するとともに堤内側の法面が浸食される．(d)では，堤体内が飽和し，河川の水面と同等の高さまで崩壊が進んでいる．この際，**図-3** により，堤体内部の様子を観察すると，実験開始直後は降雨によって水分量が増加している．その後，水分量が急激に低下し，ほぼ乾燥試料の値と同値を堤防崩壊までの間継続している．これは基盤層が湿潤状態であったため，降雨による浸潤によって堤体内部に空気塊が閉じ込められたことが考えられる．また，その後の越流崩壊によって堤体内の水分量が回復していることからも，実験時に確認されたエアーブローの発生時刻と一致し，降雨による気泡のトラップ現象が生じた可能性が考えられる．また，越流時には堤防が越水により大崩壊し，無対策堤防は降雨および越流に非常に弱いことが言える．

Case(2)の場合，(a)では Case(1)と比較して堤体内への浸潤は遅く，堤体内の浸潤線の発達が非常に複雑に進行している．そのため，(b)，(c)，(d)では大きな不飽和領域が形成されている．また，堤体の天端方向への浸潤が他のケースと比較して非常に遅いことから，シート内部に圧縮空気が封入されることが原因と考えられる．このような堤体内に存在する圧縮空気により浸潤が妨げられ，大規模なエアーブローを引き起こす可能性がある．堤体内においては，実験開始直後は降雨によって水分量が増加するが，20 分を経過すると，水分量は低下傾向にあるのに対し，水圧計の値は上昇を始める．降雨を停止すると，水分量および圧力は低

浸透破壊　都市型集中豪雨　気泡　越流

〒466-8555 愛知県名古屋市御器所町名古屋工業大学 16 号館 227 号室　TEL 052-735-5497

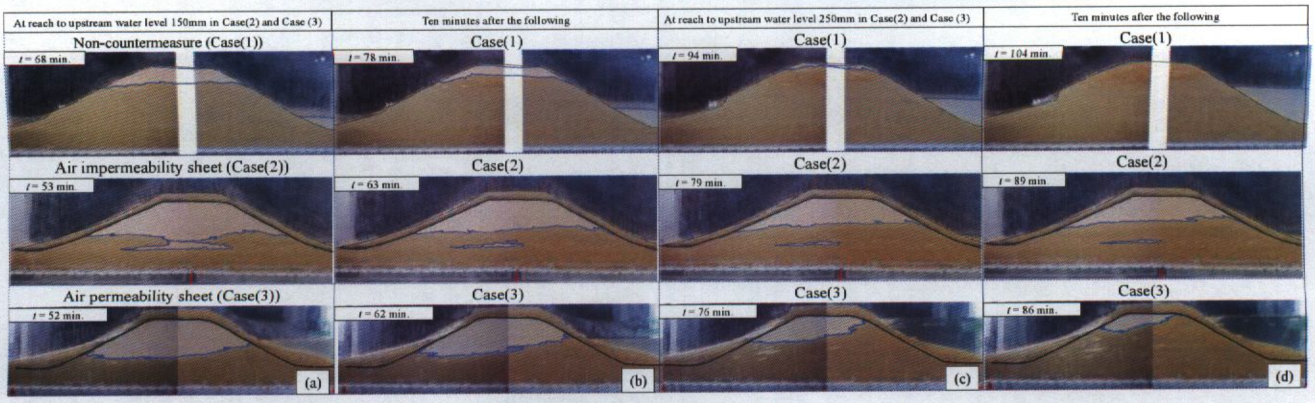

図-2　浸潤過程の比較

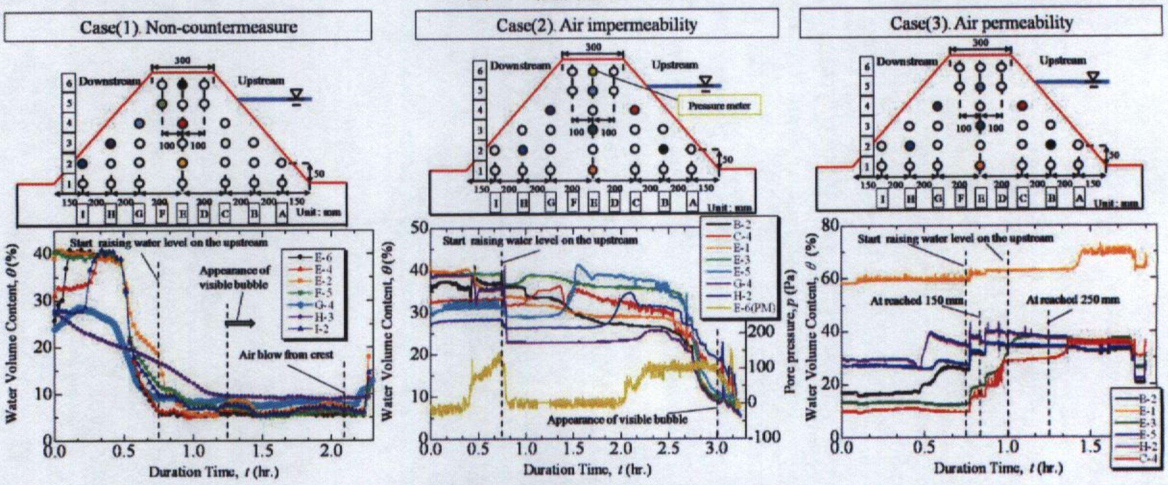

図-3　堤体内の水分量および圧力の経時変化

下し，堤外側の水位が 150 mm に達しても堤体内の水分量は降雨停止後の値を維持している．これは，低水位下においては不透気性遮水シートによる堤体内部への浸潤抑制効果が表れていることが言える．しかし，堤外側水位が 250 mm に到達すると，水分量の低下と圧力上昇が同時に進行していく傾向が越流後にも見られる．つまり，高水位になると不透気性遮水シートによって空気がシート内部に封入され，気泡に浮力が生じ，天端にアップリフト圧が作用し，亀裂の発生やエアーブローによる堤体崩壊の恐れがある．

Case(3)の場合，いずれの状態においても，不透気性遮水シートとは異なり，浸潤が水平方向に均等に進んでいる．また，堤体内では実験開始 30 分経過後に堤体下部において水分量の増加が始まり，この水分量の増加傾向は堤外側が高水位となっても維持されている．越水直前には水分量の低下が見られるが，これは，Case(1)と比較して非常に小さいことや越流後の状態を比べてもわかるようにシート内部は完全に保護されている．越流時間をしたがって，透気性遮水シートの効果がよく表れていることが言える．したがって，透気性遮水シートを用いると，水の堤体内への浸潤抑制効果に加え，堤体内部から外部への早期の気泡放出効果が確認されたと言える．

4．結論

無対策堤防の場合，降雨と河川の水位上昇による浸潤によって堤体内で気泡のトラップ現象が発生し，堤体法面において外部浸食を起こす恐れがあり，法面の保護に浸透破壊対策を盛り込む必要があることがわかった．また，堤体内部に気泡が封入され，堤防法面から噴発する現象が観察されたことから，気泡のダイナミクスを考慮した対策法の提案が必要であると言える．これを踏まえ，不透気性遮水シートを堤体内に設置し，アスファルトフェイシングを模擬した越流対策を行ったところ，降雨による堤体内への浸潤は抑制され，越流によってもシート内は完全に保護された．しかしシートが不透気性であるため，シート内に大量の気泡が集められ，この空気の逃げ場がなくなった．したがって，越流時にはこの空気に浮力が生じ，特に天端にアップリフト圧が作用し，クラックを発生させたり，大規模なエアーブロー崩壊が起こる恐れがある．このような空気の問題を解決するために，本研究では，透気性遮水シートを堤体内に設置し，その効果を実証した．透気性遮水シートを用いると，水の堤体内への浸潤抑制効果に加え，堤体内部から外部への早期の気泡放出効果が確認された．

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)20360120 および特別研究員奨励金 20-8411 によるものであり，深謝の意を表します．

参考文献)

1) 小高猛司，浅岡顕：砂質地盤での浸透過程での気泡の発生・発達現象，*土木学会論文集*，487/III-26，pp.129-138，1994.

2)中島保治：干拓堤防のパイピングについて，*土と基礎*，地盤工学会，Vol.13，No.2，pp.83-88，1985.