

豪雨と気泡のダイナミクスが及ぼす河川堤防の越流強度への影響と対策

降雨 気泡 越流

名古屋工業大学 学生会員 ○小中 智博, 柴田 賢
正会員 坂井 宏隆, 前田 健一
応用地質株式会社 正会員 馬場 千児
太陽工業株式会社 正会員 樹尾 孝之

1. はじめに

異常気象に伴う都市型集中豪雨によって河川堤防が決壊し、都市部に甚大な災害を引き起こす事例が相次いでいる。一般的に浸透破壊現象は、限界値に達すると一気に崩壊する現象として知られているが、特に2000年の東海豪雨時においては、気泡を伴った噴發現象が堤防裏法面の所々で存在したことが確認されている。ここで、堤体内部から発生する気泡は、堤体内の間隙にもともと取り込まれていた空気が降雨による浸潤と河川の水位上昇による浸潤線の発達によって堤体内に捕捉される気泡を考える。また、現在の河川堤防の設計では、降雨による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、模型堤防(1/30スケール)を作製し、浸透流、越流、降雨や気泡が堤防に及ぼす影響の考察を試みた。また、気泡および越流対策として、堤体内部(赤破線部分)に透気性遮水シートを設置した場合の実験も行い、対策法の提案についても試みた(図-1)。

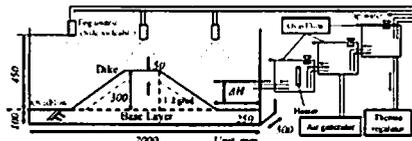


図-1 実験装置

2. 実験概要

本実験での実験ケースの概要を表1に示す。降雨による堤体内部への浸潤の様子や河川水位の上昇による浸潤線の発達の過程、さらに気泡のトラップ現象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(Case1)。堤体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、堤体部分は乾燥試料を空中落下させ、層厚50mmごとに7回/100cm²の割合で突き固め、密状態(Dr=70%, Ic=92%)で作製する。実験手順は、降雨強度124mm/hrの降雨を一定時間発生させた後、堤外側を一定流量で給水する。堤外側の水位が150mmに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に到達したところで堤体内部が完全に浸潤するまで保持する。最後に流量を増やし、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、越流対策として、不透気遮水シートを堤体内部に設置することで、一般的なアスファルトフェイシングを模擬した実験を行った(Case2)。施工方法はCase1と同様に基盤層を作製後、堤体高をCase1よりも50mm低く作製し、不透気性遮水シートを設置した後に50mmの盛土を行って施工完了とした。また、越流対策の新しい方法として透気性遮水シートをCase2と同様の位置に設置した場合の実験を行った(Case3)。すべての実験において堤体内部に水分計を設置して堤体内部における水分量の変化を観察した。

表-1 実験ケース

	Rainfall	Water level holding time			Kinds of sheet	Position of sheet
		150 mm	250 mm	Overflow		
Case1)	45 mm	10 min	10 min	2 mm	Non-countermeasure	Whole
Case2)	45 mm	10 min	10 min	6 mm	Air impermeability	Whole
Case3)	45 mm	10 min	10 min	6 mm	Air permeability	Whole

3. 実験結果と考察

各ケースの浸潤過程を図2に示す。比較対象とする写真はすべてのケースで堤外側からの総給水量が等しい。また、堤体内部に設置した水分計のデータを図3および図4に示す。図5には各ケースにおける越流時の様子を示す。

Case1)の場合、(a)に示すように、堤体内への浸潤速度が速く、堤内側の法先が崩壊を始めていることから、早期の決壊を招く可能性があるため危険である。(b),(c)では、堤内側法面の崩壊現象がさらに進行し、(d)になると、堤体内部が飽和し、堤内側の法面は、堤外側の上昇水面と同等の高さまで崩壊している。この際、図3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ことがわかるが、その後、水分量が乾燥砂の値と同等となっていることが認められる。これは、降雨に伴う浸潤によって、堤体内部に気泡塊が発生したことによる反応と考えられる。また、最後は越流によって水分量が回復しているが、これは実験時に観察されたエアブローによって生じた現象であると言える。越流時(図5)には、越水によって大崩壊していることがわかる。このように、無対策の堤防は降雨や越流に対して非常に弱いことが言える。

Case2)の場合、(a)ではCase1)に比べて堤体内部への浸潤速度は遅く、浸潤線は非常に複雑に発達していることがわかる。このため(b),(c),(d)には、大きな不飽和領域が形成されていることが認められる。また、浸潤線は天端方向への浸潤速度が他のケースに比べて遅いことから、堤体内部の圧縮空気の封入が原因であると考えられる。このような堤体内部に存在する気泡塊によって浸潤が妨げられ、大規模なエアブローを引き起こす可能性がある。また、図4より堤体内では、実験開始直後は降雨により水分量の増加が認められるが、20分を経過したあたりから低下傾向にあり、同時に圧力計の値が上昇を始める。降雨を停止すると、水分量、圧力ともに低下し、堤外側の水位が150mmに到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、低水位下では不透気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、堤外側の水位が250mmに達すると、水分量低下と圧力上昇が同時に進行していく傾向が越流後でも見られる。つまり、高水位になると不透気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、亀裂の発生やエアブローによる堤体の崩壊が起こる恐れがある。

Influence and countermeasure against overflow of river dike on dynamics of torrential rainfall and air bubble

Tomohiro KONAKA, Satoshi SHIBATA, Hiroataka SAKAI and Kenichi MAEDA, (Nagoya Institute of Technology), Kanji BABA, (Oyo corporation.), Takayuki MASUO, (Taiyo kogyo Corporation.)

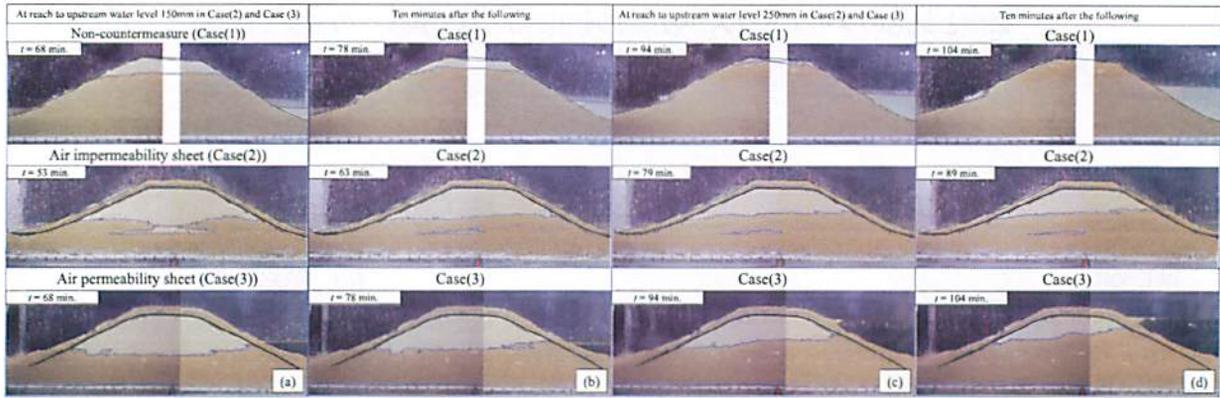


図2 無対策・不透気性遮水シート・透気性遮水シートの浸潤線発達の比較

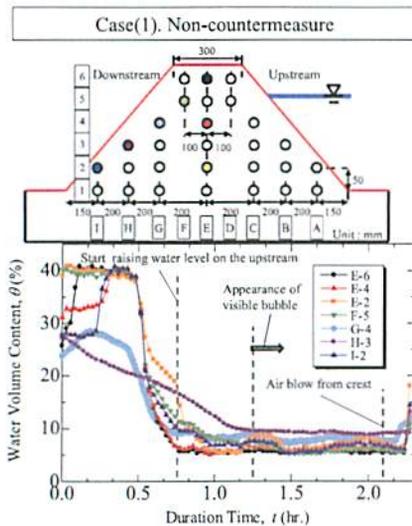


図3 Case(1)の堤体内部における水分量の経時変化

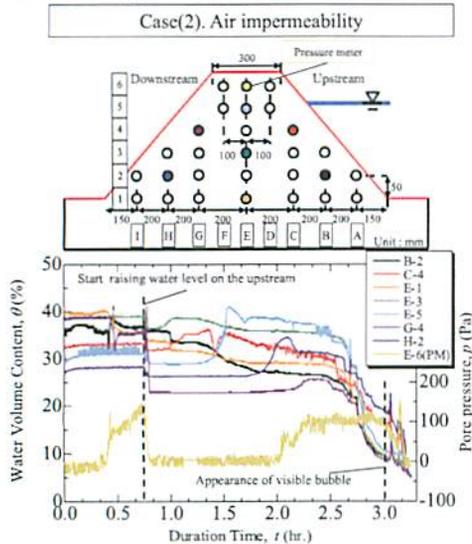


図4 Case(1)の堤体内部における水分量の経時変化



図5 越流状況

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行していることが認められるので、透気性遮水シートの効果がよく表れていると言える。したがって、透気性遮水シートを用いた場合、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への気泡のトラップ現象が発生し、堤体法面が外部浸食を起こす可能性があり、法面の保護を浸透破壊対策に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。

そこで、堤体内部に不透気性遮水シートを設置して、アスファルトフェイシングを模擬した越流対策を試みたところ、降雨による堤体内部への浸潤は抑制され、越流によってもシート内部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、堤体内部に大量の気泡が集められ、この空気の逃げ場がなくなると、封入された気泡塊によって浮力が働き、堤体にアップリフト圧によるクラックが発生したり、エア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部に設置して、その効果を実証した。透気性シートを用いると、降雨による堤体内部への浸潤抑制効果に加え、堤体内部から外部へ早期の気泡放出現象を確認することができた。

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) 小中智博, 坂井宏隆, 前田健一: 気相のダイナミクスに着目した三相系浸透破壊現象の解明, *第44回地盤工学研究発表会講演論文集*, pp.1741-1742, 2009.
- 3) 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.