

豪雨による砂質堤防内の間隙空气の挙動と透気遮水シートの補強効果

都市型集中豪雨 間隙空气 透気遮水シート

名古屋工業大学大学院 学生会員 ○柴田 賢 今瀬 達也, 石川 晴将
 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 榊尾 孝之
 名古屋工業大学 国際会員 前田 健一

1. はじめに

近年、局所的な都市型集中豪雨が多発しており、例えば、2000年9月に発生した東海豪雨において名古屋市内を流れる新川の堤防が決壊した。このとき、堤防に亀裂が入り白い泡状の水が噴き出した後、亀裂はゆっくりと広がり続け、崩壊したという目撃証言から、堤防の決壊には空气が関連していることは明らかであり、そのメカニズムの解明は急務である。また、現在の河川堤防の設計において、降雨による影響が十分に考慮されていない。そこで本研究では、集中豪雨を想定した降雨強度および河川水位上昇の外力条件下で模型堤防実験を行い、堤防内の間隙空气の挙動を観察した(図-1)。また、一般的な越流対策としてアスファルトフェイスングを模擬した実験を行い、浸潤挙動を観察した。さらに新たな対策方法として提案する透気遮水シートを堤防に適用し、その補強効果を検討した。

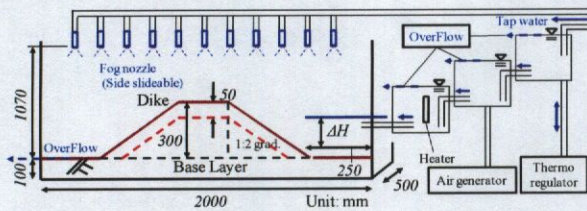


図-1 実験装置概要

2. 模型堤防実験の概要

本実験では、乾燥状態の豊浦標準砂を用い、基盤層は水中落下法、堤体部は空中落下法にて模型堤防を作製した。その際、層厚50mmごとに7回/100cm²の割合で突き固め、相対密度70%に管理して実験を行った。ここで、本論文における実験ケースを表-1に示す。まずCase(1)では、降雨のみが堤防内に与える影響を調べるために、気象庁により非常に激しい雨と定義されている範囲の降雨強度60mm/hrを与え、堤体内の浸潤の様子を観察した。Case(2)では、気象庁により集中豪雨と定義されている降雨強度120mm/hrを与え、堤体内の特に間隙空气の挙動に変化が現れるかどうかを検討する。Case(3)では、河川水位を上昇させた場合の堤体内の浸潤挙動を観察する。水位の上昇速度は東海豪雨時における新川堤防決壊地点のハイドログラフをもとに設定し、堤外側に30分で天端に到達する速度で給水する。以上の結果を踏まえ、Case(4)では降雨と河川水位上昇の両者が堤体内に与える影響を調べるために、降雨強度124mm/hrを45分与えた後、降雨を継続しながらCase(3)と同様に給水した。

さらにCase(5)では、堤体内に不透気遮水シートを敷設し、一般的な越流対策として考えられるアスファルトフェイスングを模擬した実験を実施した。また、新たな対策方法として、堤体内部に透気遮水シートを設置した場合の実験を行った。また、全ケースにおいて堤体内部に水分計を設置し、堤体内の水分量の変化を観察した。

表-1 実験ケース

Case(No.)	Intensity of rainfall	Water level raising	Sheet
Case(1)	60 mm/hr	No	No
Case(2)	120 mm/hr	No	No
Case(3)	No	Yes	No
Case(4)	124 mm/hr	Yes	No
Case(5)	124 mm/hr	Yes	Unbreathable waterproof sheet
Case(6)	124 mm/hr	Yes	Breathable waterproof sheet

3. 実験結果および考察

外力を堤外側の水位上昇のみとした場合(Case(3))降雨強度120mm/hrとした場合における浸潤線の経時変化を図-2に示す。と外力を降雨のみとし、降雨強度を60mm/hrおよび120mm/hrの場合における堤体内の体積含水率の変化および体積含水率を飽和度に変換し、堤体内の飽和度コンター図を作成した(図-3)。水分計の設置位置とグラフのプロットは一致している。

図-2より、外力が河川水位上昇の場合、上昇とともに河裏法尻へ浸潤前線が進行しているが、降雨のみのとき、堤体表層に浸透し、表層に浸潤域を形成した後、法先および法尻方向から堤体内へ浸潤が進行している様子が分かる。

Case(1)の場合では、堤体内の水分量の変化(図-3)を見ると、実験開始から20分間では、降雨浸透により水分量が上昇している。その後、実験終了まで緩やかな増加傾向にある。また、コンター図に着目すると、実験終了まで堤体断面全体で不飽和な状態にあり、特に堤体中央付近に不飽和領域が顕著に現われている。よって、大きな圧力を持った間隙空气に発達していないことが考えられる。Case(2)の場合では、降雨開始40分間で水分量が上昇している様子が分かる。その後、降雨を継続しているにもかかわらず、急激に水分量が低下し基盤層と堤体表層との間では、その増減現象が顕著に現われている。これは、降雨浸透による堤体内に閉じ込められた間隙空气に起因していることが考えられる。ここで、コンター図に着目すると、降雨開始後、40分で堤体中央以外、飽和状態となったにもかかわらず、その後、再び不飽和な領域が拡大している。一度飽和状態に近付いた後、間隙空气が圧力を持った気泡として現われ、堤体内に拡大していくことが考えられる。よって、間隙空气が大きな圧力を持つ状態に発達する可能性が考えられる。



図-2 浸潤線の経時変化の比較 (Case(1)とCase(3))

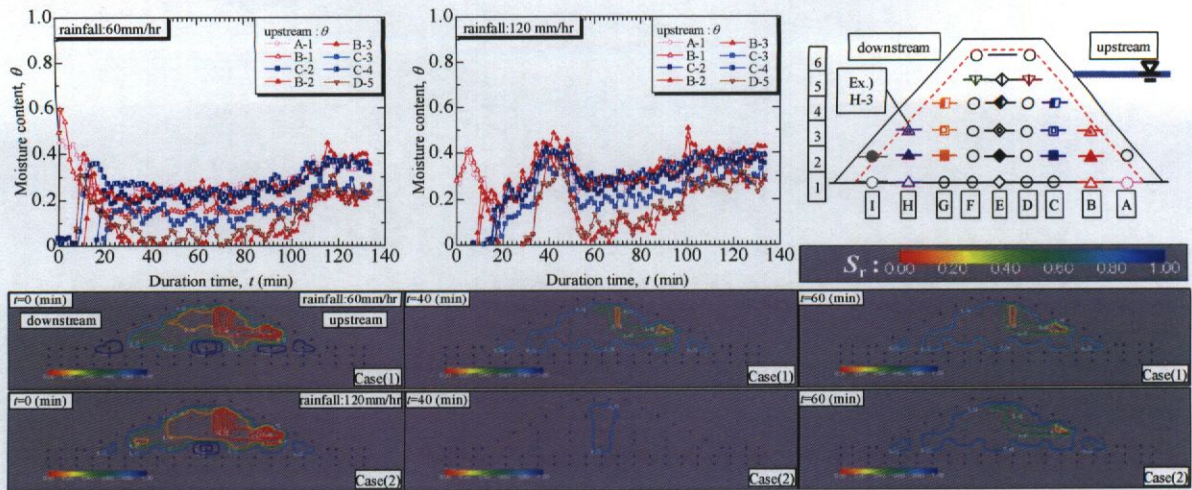


図-3 降雨のみ (Case(1)およびCase(2)の場合)における堤体内の水分量の変化

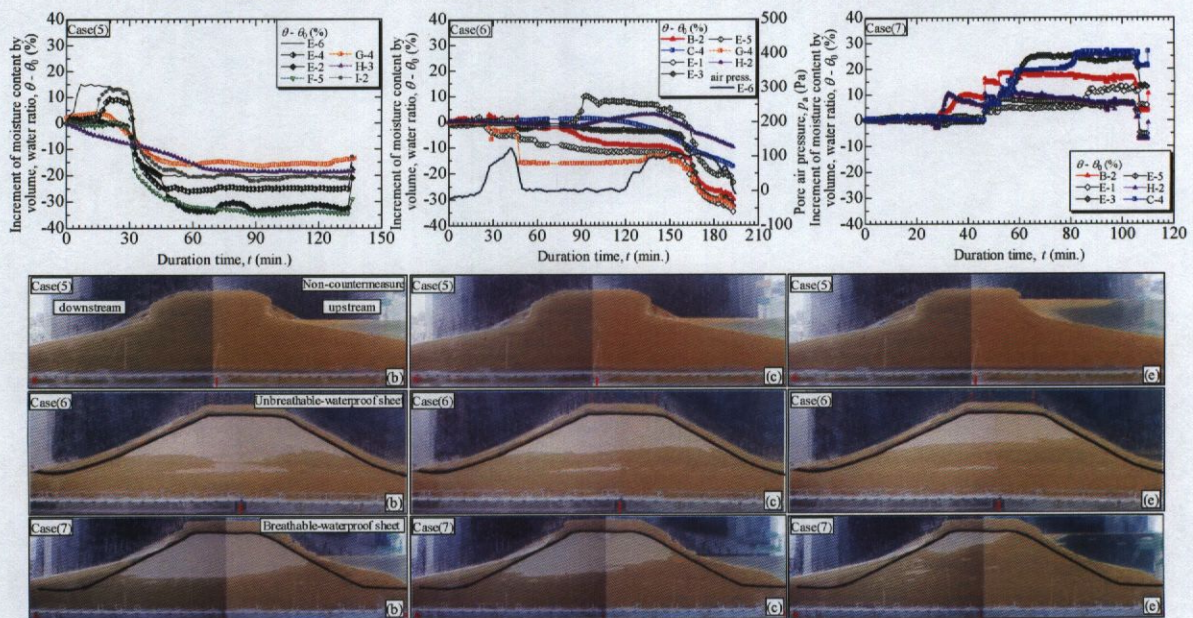


図-4 降雨および堤外側水位の上昇 (Case(5)からCase(7))における堤体内の水分量の変化

つぎに、外力を降雨と河川水位の上昇を同時に考慮した実験 (Case(4)から Case(6)) における堤体内の体積含水率の変化と堤体内の浸潤の経時変化を図-4 に示す。

事前降雨と降雨を伴う場合 (Case(4)), 降雨開始 30 分経過すると、降雨を継続させているにもかかわらず、体積含水率が急激に低下している。これは、降雨による浸潤によって堤体内に間隙空気が閉じ込められていることが考えられる。

越流対策として堤体内に不透気遮水シートを敷設し、アスファルトフェイシングを試みると、Case(4)と比較して浸潤線の発達が非常に遅く、複雑に進行している。そのため、シート内に大きな不飽和領域が形成されている。このとき河川水位が上昇すると、間隙空気圧が上昇し、特に越流時にはシートが剥がれる際に堤体に大きな損傷を与えることが予想される。

Case(6)の場合では、河川水位が上昇するとともに、シート内の浸潤が進行している様子がわかる。Case(4)のように、急激な水分量の低下が見られないことから、シートの透気性によって堤体内の空気が抜け、浸潤線の侵入を助けたことが分かる。

4. 結論

本実験により、降雨浸透はまず堤体表層に浸潤域を形成し、その後、法先および法尻から堤体内方向へ浸潤が進行し、断面全体としては飽和状態に近づくが、堤体中央付近には大きな不飽和領域が残っている。この最も浸透の遅い領域に間隙空気が閉じ込められていることが考えられる。

また、豪雨によって堤体内に間隙空気がトラップされ、さらに河川水位が上昇することで空気が圧縮され、突発的な崩壊につながる可能性があることがわかった。不透気遮水シートによる浸透防止工法では、越流時に間隙空気が堤防への突発的な損傷を与えることが予想される。また、透気遮水シートを堤防内に敷設すると、堤体内の間隙空気を早期に外部へ放出するとともに、シート内部の形状を守ることで越流による被害が軽減される効果が期待できることがわかった。

参考文献

- 1) 前田健一, 柴田賢, 馬場干児, 樹尾孝之, 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, ジオシンセティックス論文集, 第25巻, pp.107-pp112, 2010.