

集中豪雨時の砂質堤防内の間隙空気による損傷メカニズムと透気遮水シートの敷設効果

間隙空気 集中豪雨 越流

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 国際会員 前田 健一
応用地質株式会社 国際会員 馬場 干児
太陽工業株式会社 国際会員 樹尾 孝之

1. はじめに

近年、全国各地で都市型集中豪雨による堤防の決壊が多発しており、2000年9月に発生した東海豪雨では名古屋市内を流れる新川の堤防が決壊し、甚大な被害を及ぼした。このときの目撃者は、「堤防を斜めに横断する形で幅1メートルほどの亀裂が生じ、白い泡状の水が噴き出した。その後、亀裂はゆっくりと広がり続け、水の勢いは激しさを増していった」と証言している。また、気泡が原因で地盤が損傷する現象は「ガマが吹く」と昔から呼ばれ、数多く目撃されている。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、間隙空気の挙動により堤防に損傷を与えると考えることができる。しかし、現在の河川堤防の設計においては降雨浸透による間隙空気の影響は十分に考慮されていない。

本研究では、堤体内の間隙空気の影響を調べるために、任意の降雨強度を再現可能な模型堤防試験を実施し、堤体内部に設置した水分計により降雨浸透時の間隙空気の挙動と浸透メカニズムを検討した(図-1)。外力条件は降雨のみと降雨に伴い河川水位上昇する場合の2ケースに設定した。また、一般的な河川堤防の越流対策としてアスファルトフェイシング(水も空気も透さない場合)を模擬した実験と透気遮水シート(空気は透すが水は透さないシート)を敷設した場合の2ケースで実験を行い、各シートの敷設効果についても検討した¹⁾。

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を使用した。なお、基盤層は最適含水比13%とし、堤体部分は乾燥試料を用いて、相対密度80%に管理して堤体を製作した。また、外力の設定として任意の降雨強度は気象庁の定義を参考とし、河川水は一定流量(1800ml/min)で供給することで、30分かけて天端に達するような上昇速度となるように設定をした。また、対策工試験を実施する場合には、不透気遮水シート及び透気遮水シートを堤体表面より50mm程度低い位置に敷設し、その効果を検証した。なお、本実験ケースを表1に示す。

3. 実験結果および考察

まず、堤体内の浸透挙動を観察するために、任意の場所に設置した水分計の変化を、無対策時は図-2、対策時は図-4に示す。そして、各水分計のグラフ上のマーカーと配置関係を図-5に示す。

ケース(1)では実験開始直後に図-3より堤体表層から浸透していき、堤体内に間隙空気が閉じ込められる。そして、堤体内の間隙空気が堤体外へ放出される前に法尻・法尻からの降雨浸透が堤体内に進行することで間隙空気が封入されると考える。

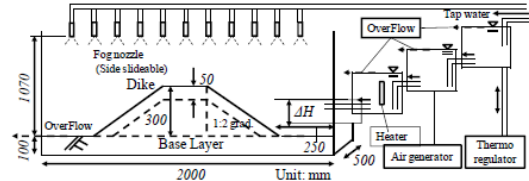


図-1 実験装置概要

表-1 実験ケース

Case(No.)	Soil	Rainfall	Water levelraising	Counter-measure sheet
Case(1)	Masa	90mm/hr	No	No
Case(2)	Masa	30mm/hr	No	No
Case(3)	Toyouna	124mm/hr	Yes	No
Case(4)	Toyouna	124mm/hr	Yes	Unbreathable-waterproof
Case(5)	Toyouna	124mm/hr	Yes	Breathable-waterproof 0.1%

同様に堤体内の浸透現象(図-2)より、堤体表層が浸潤化し、法先および法尻から堤体内の方向に浸透が進むことにより、間隙空気は閉じ込められることが確認できた。また、ケース(2)では図-2より、堤体上層からゆっくりと堤体下層へ浸透が進行している。そして、堤体内の水分量の変化に増減が見られないことから堤体内に間隙空気が閉じ込められていないことがわかった。よって豪雨時のみ堤体内に間隙空気が封入されると考えられる。

つぎに、ケース(3)においても、ケース(1)と同様の降雨浸透により堤体に間隙空気が封入されていることが確認できた。また、河川水位上昇時において堤体断面の天端付近に間隙空気の存在が確認され、越流直前に天端に亀裂やエアブローが生じている。さらに、堤体内の水分量の変化に着目すると、降雨を継続しているにもかかわらず水分量が減少している。そして、越流直前に水分量が増加していることから、急激に河川水位が上昇することにより間隙空気が堤体表面へと押し上げられ、一気にエアブローを引き起こすことが確認できた。また、越流時はエアブローにより脆弱となった部分から越流することより、無対策堤防は越流に対し非常に弱いことが確認できた。

以上の結果より、一般的な越流対策として用いられるアスファルトフェイシングを検討した。ケース(4)では、降雨浸透抑制効果に加え、越流浸食から堤体本体を保護する効果が確認できた。しかし、シートが空気を透さないことで堤体内に間隙空気が残留してしまうために間隙空気が封入され、水位上昇時には高圧となり突発的なエアブローが発生し、堤体が損傷する可

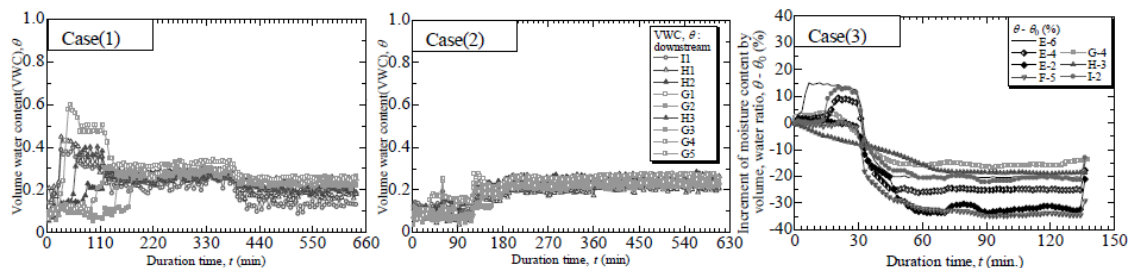


図2 無対策時の堤体内に設置した水分計の水分量の変化：左図は豪雨に相当する外力(90mm/hr)を与えた場合である。また、中央図は一般的に弱い雨と言われる外力(30mm/hr)を与え、右図は豪雨(124mm/hr)に伴う河川水位上昇を外力として与えた。



図3 Case(1)豪雨に相当する外力のみを与えた場合の堤体断面における浸透過程の様子

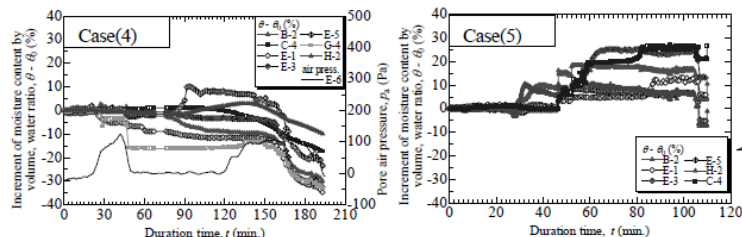


図4 対策時の堤体内に設置した水分計の水分量の変化

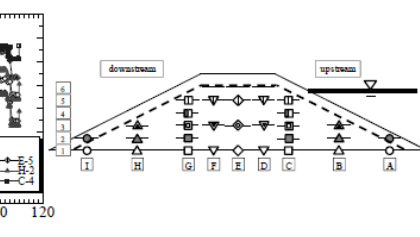


図5 水分量のグラフ上のマーカーと配置関係

能性が考えられる。

そこで、エアブロー対策の新たな提案として透気遮水シートを敷設することによる効果を検証した。ケース(5)では、堤体表層からの浸透が抑制され法先・法尻から堤体内に浸透していることがわかる。また、基盤層から堤体表層に向かって浸透をしていることや、不透気遮水シートに比べ降雨浸透が滑らかに進んでいることから、シート間隙空氣が透気されていると考えられる。また、越流時には堤体本体が保護できることが確認できた。つぎに、図4に着目してみると、降雨開始直後は水分量が一定であることから降雨浸透を抑制する効果が確認できる。また、河川水位を上昇させても堤体内の水分量が減少していないことから、間隙空氣が降雨浸透の早期段階にてシートから透気されていると考えられる。

4.結論

本実験の結果より、外力が降雨に伴い河川水が上昇する場合において、豪雨浸透により堤体表層が浸潤化し、堤体内の間隙空氣が堤体外へ放出される前に法先・法尻からの降雨浸透が堤体内に進行した結果、間隙空氣が閉じ込められることがわかった。そして、急激に河川水が上昇することにより、堤体内に封入されていた間隙空氣が浮力の作用で堤体表層へと押し上げられ一気にエアブローが発生し堤体に亀裂等の損傷を与える恐れがあることがわかった。また、越流時にはエアブローにより脆弱となった部分より越流していることから、無対策堤防は越流

に対して非常に弱いと言える。

一般的な越流対策としてアスファルトフェイシングを検討した結果、降雨浸透を抑制する効果が確認できたが、間隙空氣が堤体内に閉じ込められ、急激な河川水位の上昇時にはエアブローが発生する可能性があることがわかった。

越流堤のようにあらかじめ水を被ることが想定されている堤防には空氣孔が設置されている。この性能をシートに付加した透気遮水シートを敷設し、その効果を検討した。すると、堤体表層の浸潤化を抑制し法先・法尻から降雨が浸透していることがわかった。よって、基盤層から堤体表層へと浸透することで降雨時の早期段階にて間隙空氣がシートから透気されていると考えられる。また、透気遮水シートは越流時においても堤体本体を保護する効果が確認できた。

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) 研究課題番号：23360203、(B) 研究課題番号：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、馬場干兒、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、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