

数値解析による通気・防水シートを用いた河川堤防における排水性の強化に関する研究

熊本大学大学院 学生会員 ○日野 一毅

熊本大学大学院 正会員 椋木 俊文

太陽工業(株) 正会員 梶尾 孝之

1.はじめに

河川堤防内に増水した河川水や集中豪雨による浸透が進行すると、飽和度の上昇とともに毛管作用が低下し強度が低下する。浸透対策として遮水シートが用いられるが、空気の遮蔽性によって堤体内部の残留水が消散しにくいことが問題となる。その対策として通気・防水シートと呼ばれる新材料の適用が考えられる。これは透水係数が約 $1 \times 10^{-11} \text{m/s}$ と難透水性を示す一方で、通気係数が約 $1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ の通気性を持つハイブリッド素材である。この特性を生かし、堤体内部への浸透を防ぎつつも、堤体内部の残留水の消散を早めるところが期待されている¹⁾。図1はその概要図である。本研究の目的は河川堤防に通気・防水シートを利用した場合の浸透挙動を解明し、より合理的な河川堤防のモデルを提案することである。本研究では、飽和供試体に対して上部より空気圧を与えた際の、通気・防水シートを通じた排水性についての基礎的な実験を行った。さらに、これにより得られたパラメータを連成解析プログラムCOMSOLに用いて気液二相流解析を行い、通気・防水シート内部の浸透挙動を評価していく。

2.実験・解析概要

図2は実験装置の概要図を示す。試料として相馬硅砂8号(平均粒径0.11mm, 透水係数 $3.6 \times 10^{-6} \text{m/s}$)を用い、乾燥密度が 1.48t/m^3 となるよう飽和供試体を作成した。通気・防水シートは供試体上部に敷設し、空圧ポンプからの流入空気はシートを介してのみ下方へ通じる。排水性の比較対象として遮水シートに破損が生じた場合を考慮し遮水シートに円形の破損口を供試体断面積に対する破損面積A, 2Aの場合で設け、表1のようにシート条件のケース分けを行った。空気圧入に伴う供試体内部の体積含水率 θ とサクション ϕ の変化を随時計測するために供試体内部に等間隔で水分計とテンシオメーターを挿入し、データロガーと接続した。圧力センサーの測定範囲は-100~100kPaである。上部からの空気圧入は0,5,10,15,20,25,50,100kPaの変化を与え、水分計によって計測する供試体内部の体積含水率が定常状態になり次第、圧力を増加させ計測を行った。計測は室温20℃の恒温室内で行った。

数値解析手法として、二次元縦断面での気液二相浸透流解析を行った。ここで供試体の材料パラメータとなる不飽和浸透特性を示す体積含水率 $\theta(\%)$ とサクション $\phi(\text{cm})$ の関係は水分特性曲線として表されるが、これは実験結果によって得られたサクション ϕ と残留体積含水率 θ_r 、飽和体積含水率 θ_s の関係から van Genuchten の推定式²⁾を用いた。ここでは、実験装置と同様の解析メッシュを用い、その防水性の数値解析として、初期条件として残留飽和度を有する供試体に対して上部からの浸透について解析を行い、実験ケース同様のシート条件の防水性について触れる。境界条件は実験装置におけるシート敷設高さを水面固定、その他を不透水境界とした。また下部の排水口は不透水境界である。

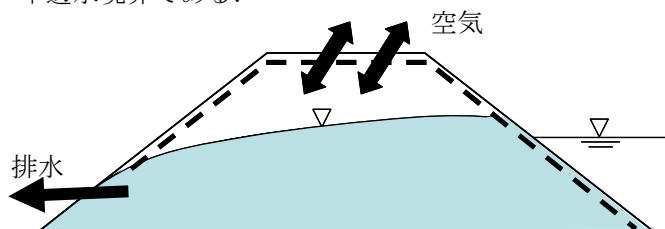


図1 河川堤防における通気・防水シートの利用概要図

表1 実験ケース

シート条件	破損面積の割合
通気・防水シート	-
遮水シート 1箇所破損	A
遮水シート 2箇所破損	(供試体断面積に対して0.01%破損)
遮水シート 1箇所破損	2A
遮水シート 2箇所破損	(供試体断面積に対して0.02%破損)

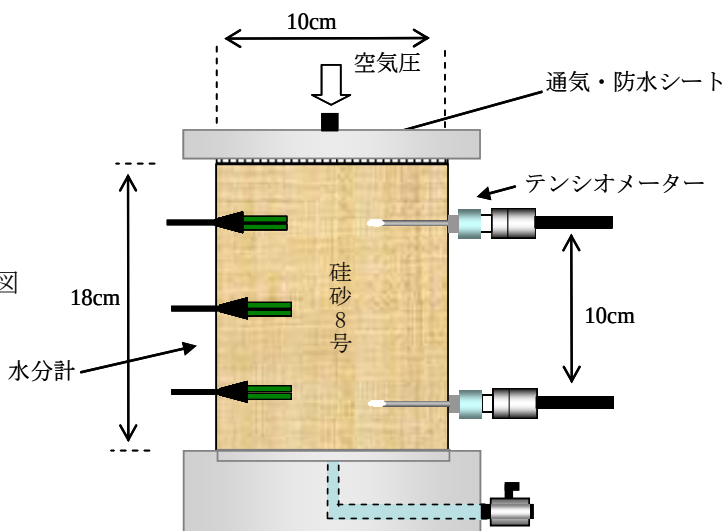


図2 実験装置図

3.実験・解析結果

図3は実験結果の一例として通気・防水シートを敷設した場合の排水時間と θ の推移をプロットしたものである。空気圧15kPaから供試体内の水分量に変化が生じ、100kPaの圧力によって供試体内部の残留水は小さくなっている。ここで各圧力時に θ が定常となった時点での値を各ケースでまとめたものを次に示す。図4は供試体内の θ の状態を代表して、供試体高さ方向で中央に設置した水分計における各ケースでの圧力と θ の関係を示す。結果より、遮水シートの破損面積が同一であっても、破損箇所数が増えると空気圧が供試体内部に影響する面積が増えることで排水性が向上すると考えられる。また、通気・防水シートを敷設した場合が最も定常状態での θ の低下が著しい結果を得た。このことから、通気・防水シートがシート全面によって通気性を持つため、通気性による排水機能に優れていることが考えられる。

数値解析により各シート敷設時の浸透に対する防水性を評価した。図5は数値解析に用いた硅砂8号の水分特性曲線である。図6は浸水時の高さ方向の中心における時間と θ の関係の解析結果を示す。浸透に対してはシートを敷設しない場合が最も早く浸潤し、続いて破損箇所が2箇所の場合が θ の上昇が早い。この結果も実験で得た排水時の結果と同様に、同一面積でも破損箇所が多いほど浸透の影響を受けやすいと言える。また、通気・防水シートについてはその透水係数が $1 \times 10^{-11} \text{m/s}$ と非常に小さいため、浸透を抑制していることが分かる。これにより、通気・防水シートは堤体においての防水性が期待できると考えられる。

4.まとめ

本研究では、実験より通気・防水シートがシートを通じた空気移動による供試体内部の排水に対して効果的であることが分かった。また、シートに対する浸透に対しても強い防水性を発揮することが期待できる。

【参考文献】1) 梶尾孝之,三吉正英,椋木俊文,谷口徳晃: 通気・防水シートを用いた河川堤防の強化に関する基礎的実験,土木学会第62回年次学術講演会,pp.229-230,2007. 2) van Genuchten, M. Th.: A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils, Soil Sci. Soc. Am. J., Vol.144, pp.892-898, 1980.

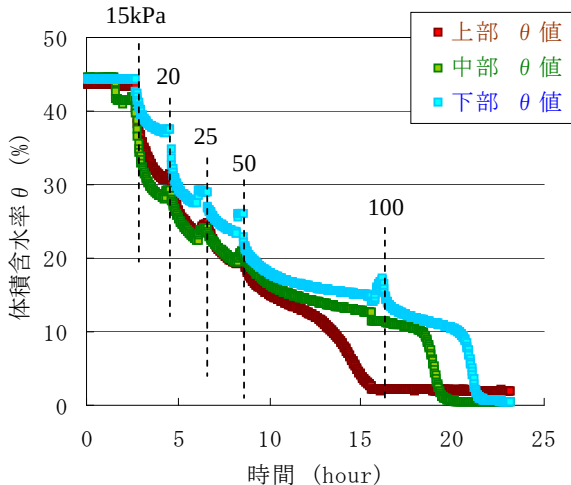


図3 通気・防水シート敷設時の排水時間と θ の変化

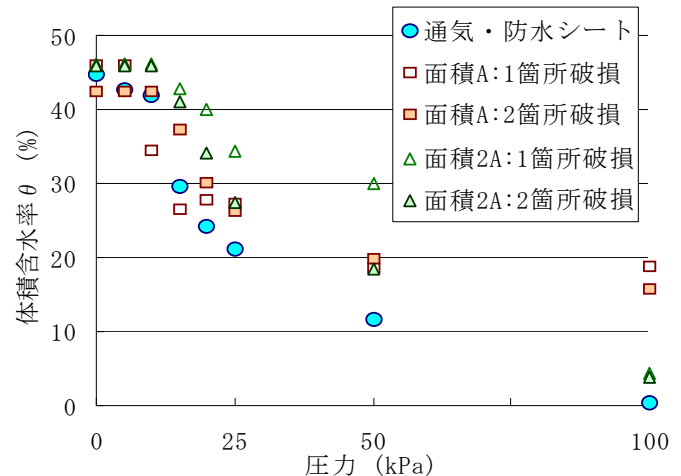


図4 実験結果：排水時の中心における圧力と θ の関係

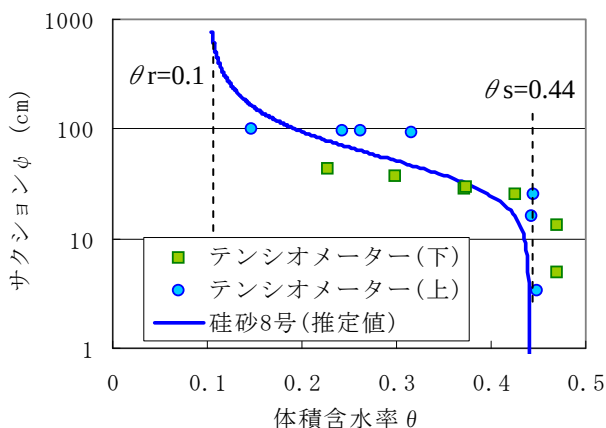


図5 硅砂8号の水分特性曲線の推定値

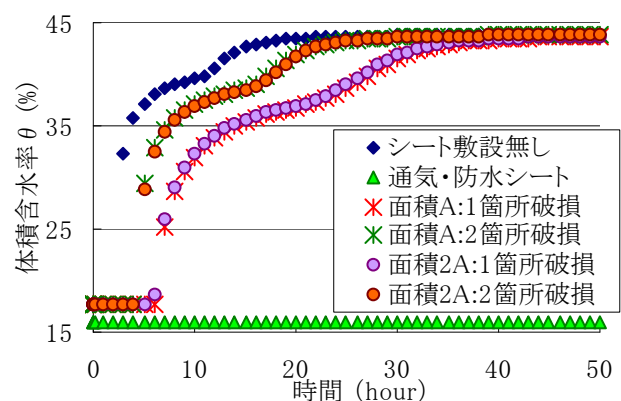


図6 解析結果：浸水時の中心における時間と θ の関係