

定水位透水試験に基づく浸透能に対するジオグリッド影響の把握

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 ○藤井陽大
東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生員 倉上由貴
東京理科大学理工学部土木工学科 正会員 二瓶泰雄

1. 序論

気候変動適応策として、国交省¹⁾は決壊に至る時間を引き延ばす堤防の構造を今後新たに検討する考えを示しており、超過洪水による災害を軽減し得る耐越流・耐浸透性向上可能な河川堤防強化技術の開発が急務である。著者らは、耐越流侵食性向上技術として、盛土の耐震補強工法であるジオシンセティックス(Geosynthetic-Reinforced Soil, GRS)補強土工法を堤体に導入したGRS河川堤防を提案し、その有用性を小型模型実験において検証しつつある²⁾。この工法は、元々耐震性に優れているため、GRS河川堤防は洪水・地震の複合災害対応技術としても期待される。しかしながら、土のみで作られる河川堤防の内部にジオグリッドという異物を入れると耐浸透能の低下が懸念される。そのため著者らは、小型堤防模型による浸透実験を行いGRS河川堤防の浸透能を検討した所、GRS河川堤防は土堤と比べて浸透流量が同程度かやや小さくなることを示した。しかしながら、GRS堤防と異なって土堤では裏のり尻部の侵食が顕著であり、結果として生じる局所動水勾配の増加が浸透流量増加に影響し、純粋に「ジオグリッド敷設による浸透能変化」を検出できていない。本研究では、堤防を対象とせずに、水槽内に侵食が生じないように設置された土層の定水位透水試験を行い、ジオグリッドが浸透能変化に及ぼす影響を把握する。ここでは、土層中に入れるジオグリッドの種類や枚数を変化させて実験を行う。

2. 研究方法

(1)試験装置の概要：透水試験装置は土層のある主水槽、給水槽、排水槽から成る(図1)。水槽中央に長さ40cm、幅20cm、高さ10cmの土層を作る。給水槽、排水槽の設置高さを変えて水頭差 Δh を変化させ、動水勾配を調整した。

(2)実験方法：土層を作製した後、給・排水槽内の水位を主水槽上端より高く一定に保ち(12時間以上)、土層を飽和させる。その後、所定の動水勾配をセットし、予備通水(120秒以上)を経て、メスシリンダーで一定時間採水を行う。得られた流量と動水勾配を用い、ダルシーの法則から透水係数を算出する。ただし、採水時の水温測定値から、水温20℃の透水係数に補正する。ここでの動水勾配条件は0.1、0.2、0.5、1.0の4つとする。

(3)実験条件：実験条件を表1に示す。土層作成には、図2に示す珪砂6号(細粒分含有率 $F_c=0\%$ 、 $D_{10}=0.12\text{mm}$)と銕田砂($F_c=11.5\%$ 、 $D_{10}=0.071\text{mm}$)の二種類を用い、締固め度 D_c を90%とした。用いるジオテキスタイルとしては、目合い大(黒)(開孔率 $A_p=70\%$ 、以下(黒)省略)と目合い小($A_p=25\%$)のジオグリッド、不透水性シートの3種類を用い、敷設枚数はそれぞれ1枚、4枚の2パターン行った。敷設枚数により締固め層厚が異なり、1枚敷設のケースでは層厚は5cm、4枚敷設のケースでは層厚は下から1、2、2、2、2、1cmとなり、各層の間にジオテキスタイルを敷設している。また、referenceのために、ジオテキスタイルを敷設しない土のみの条件も設定した。

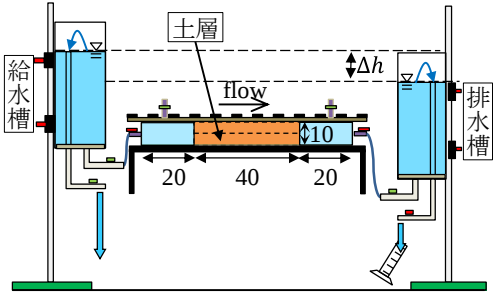


図1 透水試験装置の概要 (Unit:cm)

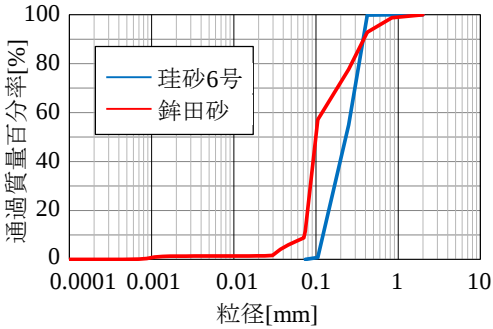


図2 粒径分布

表1 実験条件

Case	試料	ジオテキスタイル		
		種類	枚数	動水勾配
A0	珪砂6号	—	—	0.1,0.2 0.5,1.0
A1-1		目合い大(黒)	1	
A1-2			4	
A2-1		目合い小	1	
A2-2			4	
A3-1		不透水性シート	1	
A3-2			4	
B0	銕田砂	—	—	0.1,0.2 0.5,1.0
B1-1		目合い大(黒)	1	
B1-2			4	
B2-1		目合い小	1	
B2-2			4	
B3-1		不透水性シート	1	
B3-2			4	

キーワード：透水試験，ジオグリッド，浸透能，透水係数，堤防
連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4058）FAX：04-7123-9766

3. 実験結果と考察

(1) **透水係数の特徴**：本実験の全ケースにおいて得られた透水係数を図3に示す。各ケースにて4つの動水勾配条件下の平均値を採用する。これより、鉾田砂（Case B0）では、珪砂6号（A0）よりも1オーダーほど透水係数が小さい。これは、細粒分含有率（もしくは10%粒径 D_{10} ）の差によるものである。次に、ジオグリッド敷設の影響については、Case A1, B1のジオグリッド（目合い大）ではCase A0とB0よりも透水係数が全4ケース共に減少する。一方、ジオグリッドの目合い小（A2, B2）や不透水性シート（A3, B3）では、Case A0とB0よりも透水係数は大幅に上昇する。さらにジオグリッドの敷設枚数を1枚から4枚に増やすと、珪砂6号（Case A）では顕著に透水係数は増加するが、鉾田砂（Case B）ではほぼ横ばいである。

(2) **ジオグリッドと透水係数の関係**：用いるジオグリッドにより透水係数が変化する要因を検討する。ここでは、ジオグリッド特性として、目合いの大きさそのものではなく、目合いの開孔率（＝単位面積あたりの開孔部面積の割合）に着目し、開孔率と透水係数の相関図を図4に示す。ここでは、珪砂6号と鉾田砂の結果に関して、ジオグリッドの敷設枚数4枚の結果を表示し、開孔率0%は不透水性シートの結果である。これより、開孔率が0に近づくほど、透水係数は大きい。また、開孔率25%のジオグリッド（目合い小）は不透水性シートとほぼ同じ値であり、この程度の開孔率では不透水性シートと同レベルの透水係数向上につながる。一方、特筆すべきことは、開孔率70%のジオグリッド（目合い大）の時には、土のみの開孔率100%よりも透水係数が減少していることが挙げられる。これは両方の土で確認された。

(3) **考察**：上記のジオグリッド敷設による透水係数変化を粒径変化に換算するために、次式の土粒子径 D_{10} と透水係数 k の関係式（ヘーゼンの式³⁾）を用いる。

$$k = C_h (0.7 + 0.03t) D_{10}^2 \times 1/100 \quad (1)$$

ここで、 D_{10} ：有効径[cm]、 t ：温度[°C]、 C_h ：係数である。ここでは、Case A0, B0における k と D_{10} の実験値から係数 C_h を求め、得られた C_h をCase A及びBの式(1)にそれぞれ代入し、各ケースの有効径 D_{10} を逆算した結果を図5に示す。これより、目合い小のジオグリッド（Case A2, B2）や不透水性シート（A3, B3）では透水係数増加に伴って有効径も増加し、珪砂6号では0.14mmとなる一方、鉾田砂では0.12mmと大幅に増加した。一方、目合い大のジオグリッドでは、 D_{10} が減少している。これらは、不透水性シートや目合い小のジオグリッドでは周囲の土との噛み合わせが悪く隙間ができやすいため見かけの有効径は増加する。一方、目合い大のジオグリッドでは、土とうまく噛み合うと共に、ジオグリッド敷設に伴う均一な締固めの実現により有効径が減少したものと考えられる。

また、図3に示したように、不透水性シート（もしくは目合い小のジオグリッド）の敷設枚数の影響は鉾田砂の方が珪砂6号よりも小さい。これは、不透水性シート周囲の透水係数が大きくなるが、周囲の土の透水係数との差は k が小さい鉾田砂の方が顕著である。そのため、鉾田砂では透水係数の異方性が大きくなり、結果として、1枚の不透水性シート敷設の影響範囲が広くなるため、敷設枚数の影響は小さくなったものと考えられる。

参考文献：1)国土交通省，国土交通省気候変動適応計画，pp.7-11，2015，2)倉上ら，ジオテキスタイル補強土を用いた耐越流侵食河川堤防の提案，ジオシンセティックス論文集，Vol.28，pp.265-272，2013，3)地盤工学会（著）：土質試験基本と手引き，丸善出版，p.99，2010。

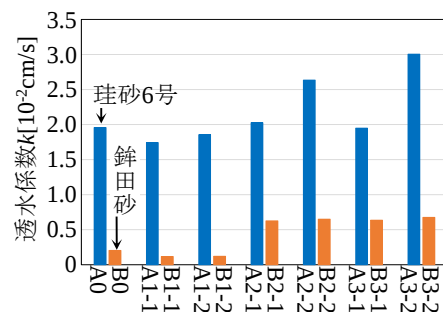


図3 各ケースの透水係数の比較

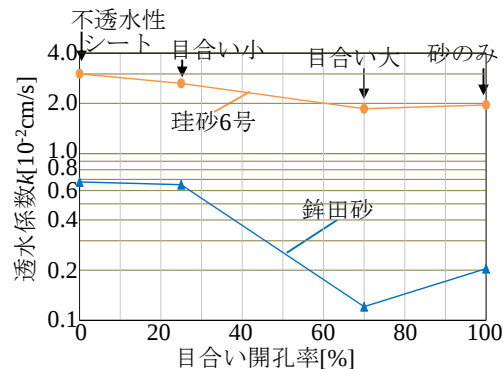


図4 目合い開孔率と透水係数の関係（敷設枚数4枚の場合）

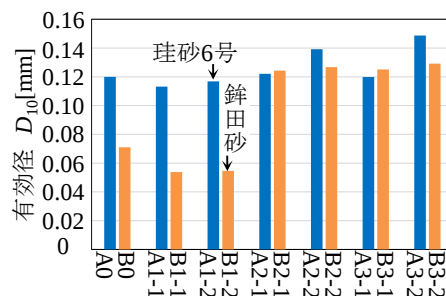


図5 ジオグリッド設置に伴う換算有効径 D_{10}

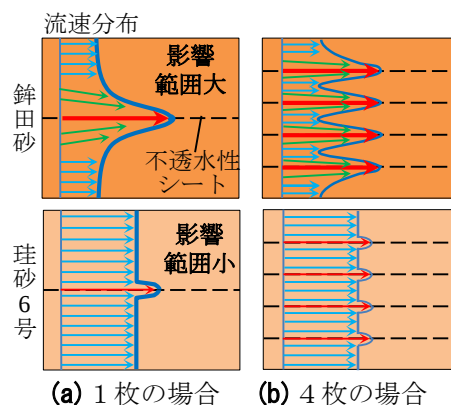


図6 珪砂6号と鉾田砂における不透水性シート周囲の流速分布に関する模式図