

2層のジオセルで構成されるのり面保護工の 浸透抑制機能に及ぼす不織布の影響

古矢達也¹・中川一真¹・川口貴之^{2*}・中村大³・川尻峻三³・原田道幸⁴

これまでに実施した実物大実験や散水模型実験から、碎石を充填したジオセルの上に不織布と砂質土を充填したジオセルを重ねたのり面保護工には背後への雨水浸透を抑制する機能があることを確認している。しかし、層間に敷設している不織布が本のり面保護工の浸透抑制機能に及ぼす影響については明らかになっていない。そこで本研究では、厚さや目付が異なる不織布を用いた2種類の散水模型実験を実施した。その結果、浸透抑制機能を保持するために不織布は不可欠であるが、不織布の厚さを大きくしても浸透抑制機能が高まるわけではないことを確認した。

キーワード：ジオセル，不織布，のり面保護，浸透抑制，模型実験

1. はじめに

近年の気候変動によって、北海道のような寒冷地においても短時間強雨の回数は増加傾向にある¹⁾。また、建設業界においても高齢化や人材不足は深刻化を増しており、施工の省力化や効率化がこれまで以上に要求されることが見込まれる。このような背景から、筆者らは軽量かつ柔軟性があり、施工性も良いジオセルに着目し、図-1に示す碎石を充填したジオセルの上に不織布と砂質土を充填したジオセルを重ねたのり面保護工（以下、本のり面保護工）について検討を重ねている²⁾⁴⁾。本のり面保護工では、緑化することで雨滴侵食が抑制されるとともに景観性も向上すること、背後斜面上に碎石を設置することで凍結融解や背後斜面からの浸透水による表層侵食が抑制されること、更には不織布の敷設と保水性が異なる中詰め材を重ねることで雨水浸透が抑制されることを期待している。なお、砂質土層は緑化基盤も兼ねている。既に、降雨時や散水時に浸透が抑制されていることは実物大実験³⁾や散水模型実験⁴⁾で確認しており、具体的にはのり面保護工背後への浸透量が中詰め材に碎石のみを用いた場合と比べてほぼ半減することや、のり尻に排水層を設けることで背後への浸透が散水量の1割程度にまで抑制されることを散水模型実験で確認している⁴⁾。

しかし、本のり面保護工における浸透抑制機能は先述のように層間に敷設した不織布と各層に中詰めされた地盤材料を持つ保水性の違いによって発揮されると考えているが、不織布の敷設がどの程度浸透

抑制に寄与、場合によっては阻害しているかについては明らかになっていない。

そこで本研究では、厚さや目付が異なる不織布を用いて、散水時の浸透挙動を視覚的に把握することを目的とした計8ケースの散水模型実験と、浸透抑制効果を定量的に把握することを目的とした計4ケースの散水模型実験を実施した。

2. 浸透挙動の観察を目的とした散水実験

(1) 実験装置の詳細

図-2は散水時の浸透挙動を視覚的に把握することを目的とした透明アクリルを用いた散水模型実験装置の概略図と散水開始時の様子の一例である。土槽は内寸で幅750、高さ250、奥行き100mmの天

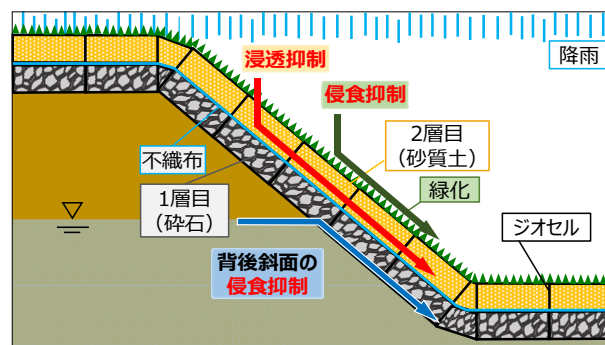


図-1 対象とするのり面保護工の概要図

¹IGS学生会員，北見工業大学大学院 工学研究科 社会環境工学専攻（〒090-8507 北見市公園町165番地）

²IGS個人会員，北見工業大学 工学部 社会環境系 教授（同上）

³IGS個人会員，北見工業大学 工学部 社会環境系 准教授（同上）

⁴IGS個人会員，東京インキ株式会社（〒114-0002 東京都北区王子1-12-4 TIC王子ビル）

*責任著者，kawa@mail.kitami-it.ac.jp

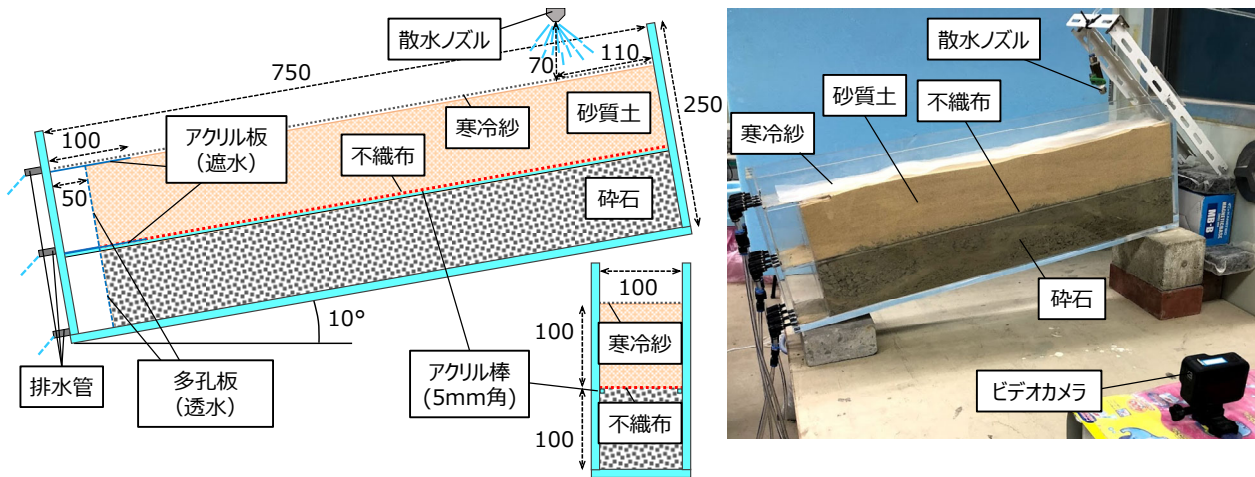


図-2 透明アクリルを用いた散水模型実験装置の概略図

表-1 透明アクリルを用いた散水模型実験のまとめ

	1層目	不織布			2層目	二層目の浸透水が 多孔板に達した時間 (分)	一層目への浸透を 確認した時間 (分)
		厚さ(mm)	目付(g/m ²)	乾湿			
ケース1	砕石	なし			豊浦砂	35	5
ケース2	砕石	0.3	60	気乾	豊浦砂	33	23
ケース3	砕石	1	100	気乾	豊浦砂	27	35
ケース4	砕石	3	300	気乾	豊浦砂	28	34
ケース5	砕石	10	1200	気乾	豊浦砂	30	25
ケース6	砕石	1	100	湿潤	豊浦砂	32	31
ケース7	豊浦砂	1	100	気乾	豊浦砂	30	35
ケース8	豊浦砂	1	100	湿潤	豊浦砂	50	8

板の無い直方体であり、厚さ 10mm のアクリル板で作製されている。浸透挙動の観察はビデオ撮影によって実施し、観察が容易になるよう散水位置は 1 箇所とし、傾斜角も実際よりもかなり小さくしている（傾斜角 10°）。各層の厚さは実際ののり面保護工と同じ 100 mm とし、層間となる部分の内壁には断面が 5 mm 角のアクリル棒を接着している。不織布はこのアクリル棒の上に敷設することで、内壁と不織布との境界部分から下層へ過大に浸透することを防いでいる。また、表層と層間の末端に達した水をそれぞれ独立して回収するため、アクリル容器末端から 100 mm の位置までの範囲には厚さ 1 mm のアクリル板を設置した。さらに、末端から 50 mm の位置には目合い 1 mm の寒冷紗を貼った多孔板を設置しており、各層で末端に達した浸透水が排出された場合に回収し、排水量を計測した。

(2) 実験方法・条件

表-1 は先述の透明アクリル製の散水模型実験装置を用いて実施した計 8 ケースの実験条件をまとめたものである。使用した地盤材料は図-3 に示す粒

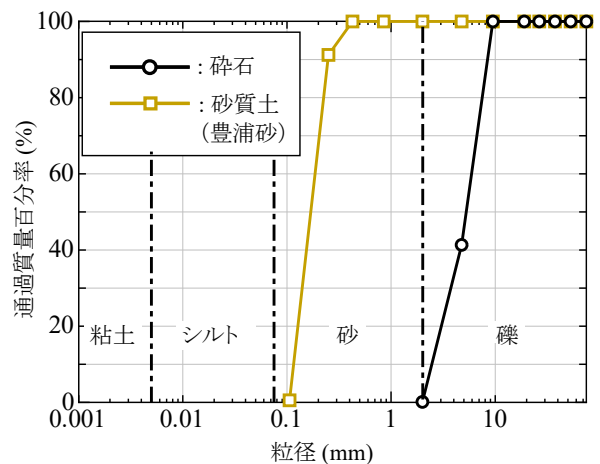


図-3 実験に用いた地盤材料の粒径加積曲線

度調整した砕石と砂質土（豊浦砂）の 2 種類である。湿潤過程が観察しやすいように気乾状態で使用し、砕石は乾燥密度 1.55、砂質土は 1.50 g/cm³ になるよう各層を構築した。また、不織布については、厚さや目付が異なる 4 種類を用いた。ケース 6、8 以外の

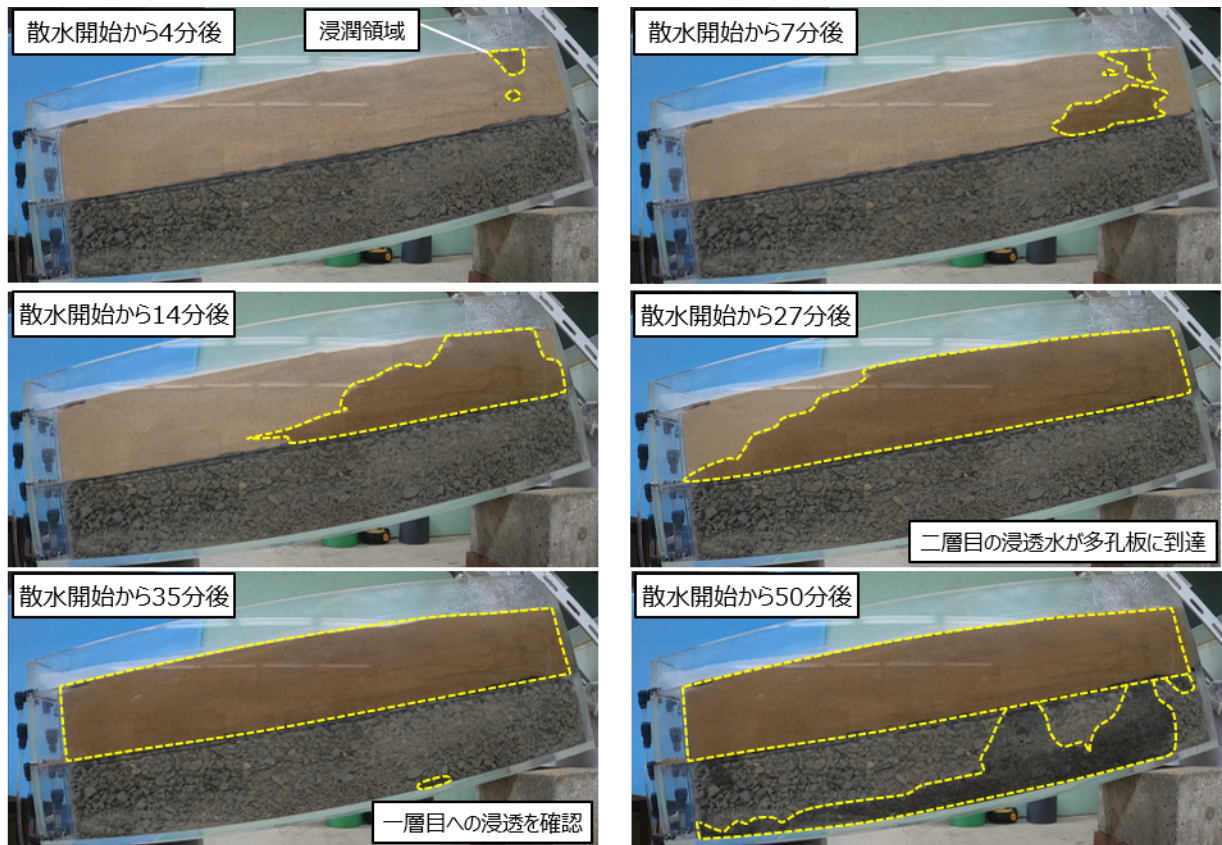


写真-1 実験結果の一例（ケース 3）

不織布は気乾状態のものを使用した。ケース 6, 8 については一度浸水させて十分に水を含ませたものを用いた（表中では湿潤と表記）。いずれのケースも散水量は毎分 95 g 程度に調整しており、散水時間は 120 分とした。また、散水による表層の侵食を防ぐ目的で、表層には先述したものと同一寒冷紗を敷設した。

写真-1 は例としてケース 3 における浸透挙動の推移を示したものである。散水開始直後は 2 層目内を鉛直方向に浸透し、層境界に達すると 1 層目への浸透抑制機能が発揮されることで、2 層目内だけを浸透・流下していることが確認できる。その後、2 層目内の浸透水が末端に達した後に 1 層目内への浸透が確認され、徐々に 1 層目内の浸潤領域が拡大していることが確認できる。なお、表-1 中には主な実験結果として、2 層目末端に浸透水の到達が確認された経過時間と、1 層目への浸透が最初に確認された時間も示している。

(3) 実験結果・考察

写真-2 はケース 1 における散水直後と、1 層目への浸透が確認された直後および 15 分後の様子を比較したものである。気乾状態で構築していることもあり、開始時点で 1 層目内に砂質土が混入している。本ケースにおける 1 層目への浸透は他に比べて早い。主に混入した砂質土部分に浸透していることが分かる。不織布を用いない場合、実際の施工でも同様な現象は少なからず生じると推測され、浸透流が

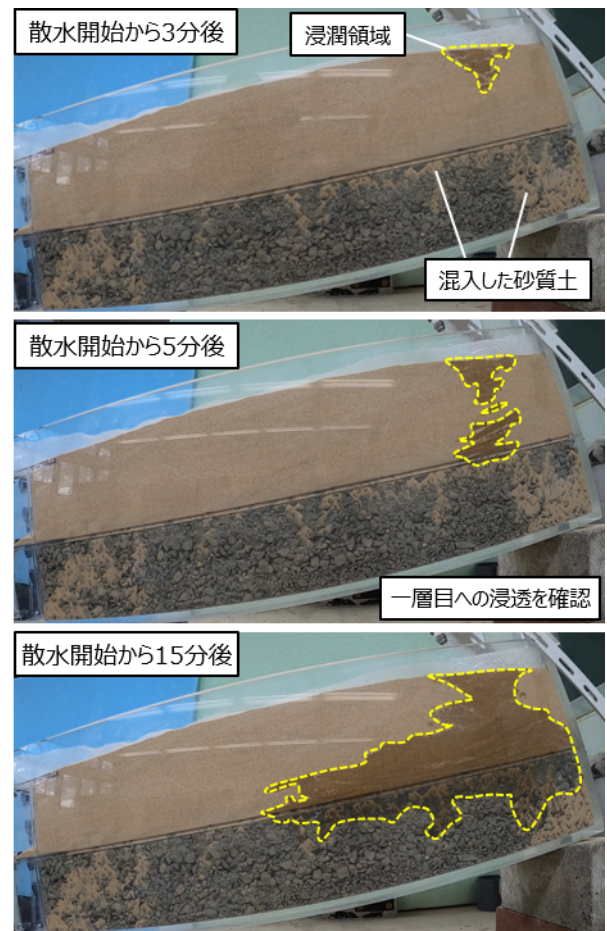


写真-2 ケース 1 における浸透挙動の推移

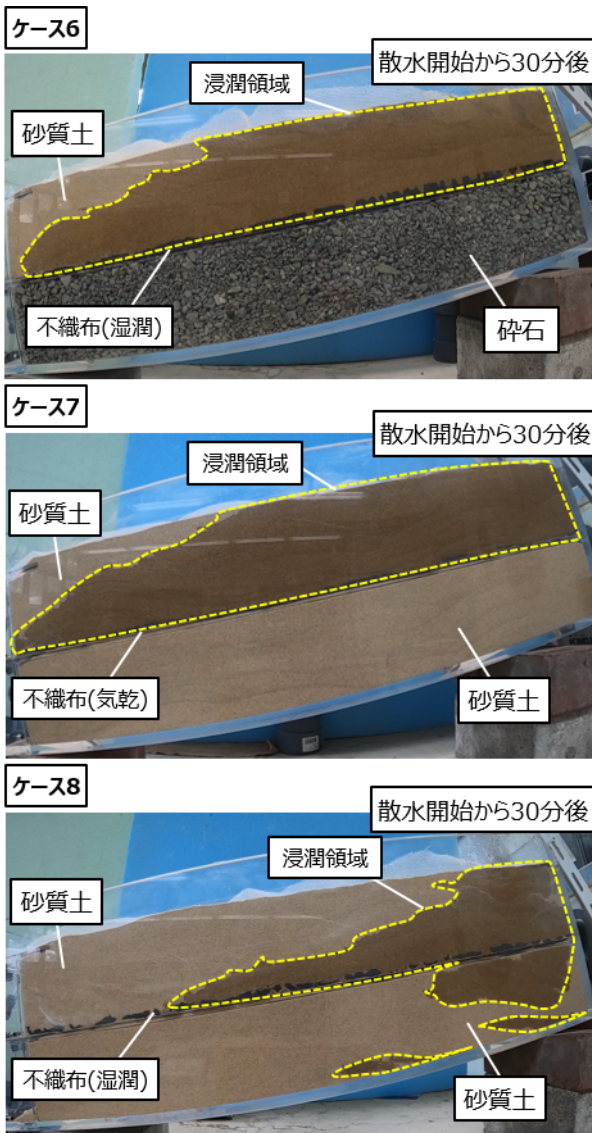


写真-3 ケース 6～8 における散水開始 30 分後の様子

大きくなると 1 層目への砂質土の吸出しも顕著になることが予想される。以上のことから、本のり面保護工において、浸透抑制機能を長期間保持するためには、層間に不織布を敷設することが不可欠と判断した。

写真-3 はケース 6, 7, 8 における散水開始から 30 分後の様子を比較したものである。まず、ケース 7 に着目すると、両層とも同じ砂質土であるにも関わらず、浸透抑制効果が発揮されていることが分かる。しかし、湿潤状態にある不織布を用いたケース 8 では 1 層目の広範囲に浸透していることが分かる。なお、ケース 8 では浸透水が層間に達した直後に 1 層目への浸透も確認された（表-1 参照）。このことから、不織布が乾燥あるいはそれに近い状態にあるときには、不織布によっても浸透が抑制されていると理解できる。一方、同様に湿潤状態にある不織布を用いたケース 6 では、ケース 8 に比べて明らかに浸透が抑制されており、1 層目への浸透が最初に確認された時間も気乾状態にある不織布を用いたケース 3 と同程度であった（表-1 参照）。このことか

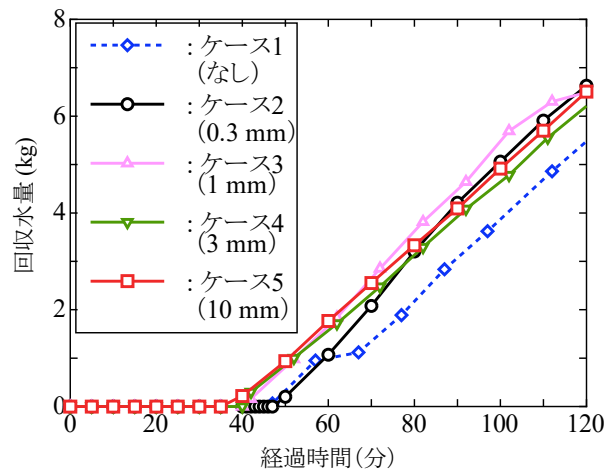


図-4 排出された水量の推移（ケース 1～5）

ら、両層の地盤材料が持つ保水性の差による浸透抑制機能は不織布の乾湿状態によらず発揮されると理解できる。

図-4 はケース 1～5 における末端から排出された水量の推移を比較したものである。一部のケースでは 2 層目の末端から 50 mm の位置に設けた多孔板から排水されずに、末端から 100 mm の位置まで設置されているアクリル板付近から 1 層目へ浸透・流下して排出される現象も確認されたため、この図では 1 層目と 2 層目の排水量の和の推移を比較している。図中に示したケースにおいて、2 層目の浸透水が多孔板に到達した時間は散水開始から 27～35 分であるのに対し（表-1 参照）、回収水量は散水開始から 40 分以降に増加していることから、各ケースで浸透抑制機能が発揮されていることが分かる。また、不織布を敷設したケース 2～5 における排水量の推移に大きな違いは見られず、本研究で扱った不織布の範囲では有意な差は無いと理解できる。なお、ケース 1 で排水量の増加が遅れているのは 1 層目に砂質土が混入したことで、1 層目の透水係数が低下したためと考えている。

3. 浸透抑制効果の定量的な把握を目的とした散水実験

(1) 実験装置の詳細

図-5 は浸透抑制効果の定量的な把握を目的とした散水模型実験装置の概略図であり、図中には本研究で対象とした中詰め材が異なる 2 層のジオセルを用いた場合について示している。なお、散水実験に用いた土槽は基本的に過去に使用したものと同じである⁴⁾。盛土は硬質の排水材と不織布（目付 300 g/m²、厚さ 3.0 mm）の上に構築しており、この盛土内を浸透した水（以下、浸透水と呼ぶ）を回収・計量できる。また、図中に示す位置に遮水シートを設置しているため、表流水と盛土上に設置したのり面保護工内を浸透・流下した水（以下、これらを合わせて表流水と呼ぶ）も別途回収・計量できる。な

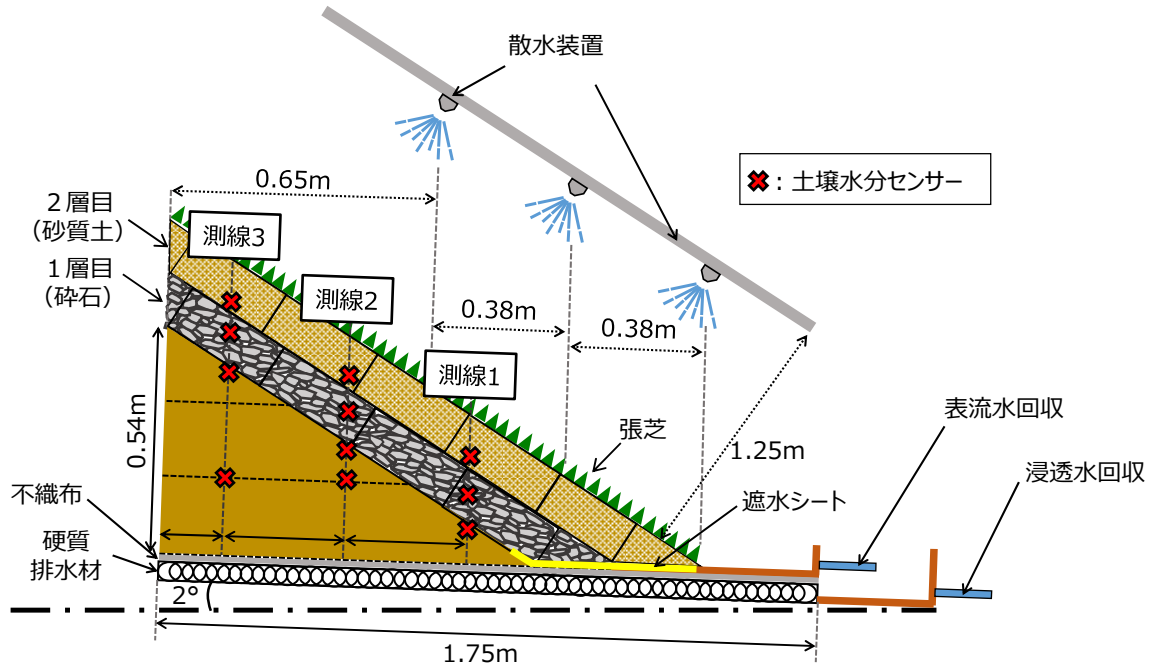


図-5 浸透抑制効果の定量的な把握を目的とした散水模型実験装置の概略図

表-2 浸透抑制効果の定量的な把握を目的とした散水模型実験条件のまとめ

	のり面保護工の構成					回収水割合(%)		不織布含水比 w(%)		
	1層目	不織布		2層目	張芝	盛土浸透	保護工 (1, 2層目)	測線1	測線2	測線3
		厚さ(mm)	目付(g/m ²)							
ケースA	砕石(C-40)	0.3	60	砂質土	あり	25	75	64.2	67.0	80.4
ケースB	砕石(C-40)	1	100	砂質土	あり	21	79	43.9	40.1	1.6
ケースC	砕石(C-40)	10	1200	砂質土	あり	38	62	25.8	22.6	49.2
ケースD	なし	10	1200	砕石(C-80)	なし	52	48	181.7	38.9	23.2

お、散水開始からの回収・計量は 10 分ごとに行った。ノズルについては、過去に実施した散水実験⁴⁾よりも均等に散水されるよう 6 個を増やした。ノズルに供給する水は大型の電子天秤に置いたローリータンクから電動ポンプで汲み上げており、散水量の計測もできる。図中には、盛土のり面や中詰め材に設置した土壌水分センサーの位置を示しており、過去の研究成果⁵⁾に従って、計測値から体積含水率 θ を求めた。なお、実際には計 18 箇所センサーを配置しているが、本文で使用した箇所のみを示している。その他、装置の詳細については参考文献⁴⁾を参照されたい。

(2) 実験方法・条件

表-2 は先述の散水模型実験装置で実施した計 4 ケースの試験条件をまとめたものである。また、写真-4 は散水開始直前の様子を示している。実施した全てのケースで散水量は 55 mm/h に調整した。また、散水時間については、いずれの試験も不織布の乾湿による違いについて把握するため、150 分の散

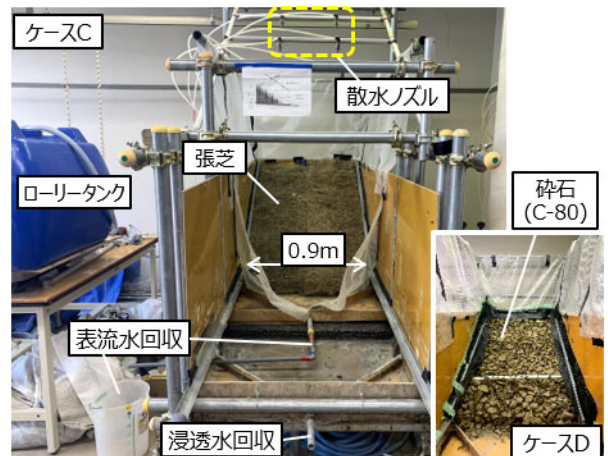


写真-4 散水直前の様子

水→30 分の休止→90 分の散水→930 分の休止→90 分の散水とした。ケース A~C については本研究で対象としたのり面保護工と同じ構成とし、層間に敷設した不織布の厚さ・目付のみが異なっている。一方、ケース D については比較対象として北海道で

広く普及している特殊ふとんかご⁶⁾を想定し、盛土のり面上に一般的に使用されているケース C と同じ不織布を敷設し、その上に厚さ 250 mm の碎石 (C-80) を設置した。なお、表中には各ケースで最終的に回収された総水量に占める表流水と浸透水の割合、試験後に回収した不織布の含水比分布についても示している。

図-6 は使用した地盤材料の粒径加積曲線である。盛土は全ケースで共通であり、ケース A~C に用いた 1 層目の碎石 (C-40) と 2 層目の砂質土は散水実験終了後に丁寧に取り出して防水シートの上に広げ、送風と攪拌で所定の含水比に調整してから再利用した。碎石 (C-40) は含水比 1.5 %、乾燥密度 1.80 g/cm³ になるよう、砂質土は含水比 35 %、乾燥密度

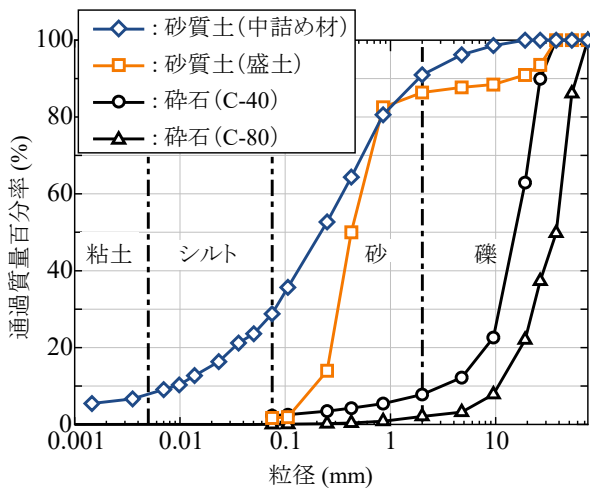


図-6 実験に用いた地盤材料の粒径加積曲線

1.05 g/cm³ になるように締めながらジオセルに充填した。また、ケース D で使用した碎石 (C-80) についても、実際の施工では転圧しないことを考慮し、含水比 1.5 %、乾燥密度 1.50 g/cm³ になるように設置した。

(3) 実験結果・考察

図-7 はケース A~C の結果を比較したものである。なお、930 分間の休止期間の一部は省いて表示している。まず、最初の散水時における回収水量に着目すると、いずれのケースも 2 回目や 3 回目の散水時と比べて、散水開始から浸透水が回収されるまでの時間が長いことが分かる。これは、不織布が乾燥している場合には不織布による浸透抑制効果が発揮されているためと考えられ、先述の透明アクリルを用いた散水実験の結果を裏付けている。

次に、各散水時における表流水と浸透水の割合について着目すると、いずれの散水時も最も厚く、目付の大きい不織布を使用したケース C における浸透水量の割合が、他のケースに比べて大きいことが分かる。この傾向は先述の透明アクリルを用いた散水実験では特段確認されなかったが、最初の散水時における散水開始から浸透水が回収されるまでの時間もケース A, B よりも短い。さらに、碎石層内や盛土表層における θ の上昇もケース A, B より早いことから、有意な違いがあると判断した。これについては、不織布が厚くなることで、1 層目の碎石と 2 層目の砂質土が有する保水性の違いによる浸透抑制機能が発揮されにくくなるのではないかと考えている。具体的には、過去の研究成果^{8), 9)}を参考にす

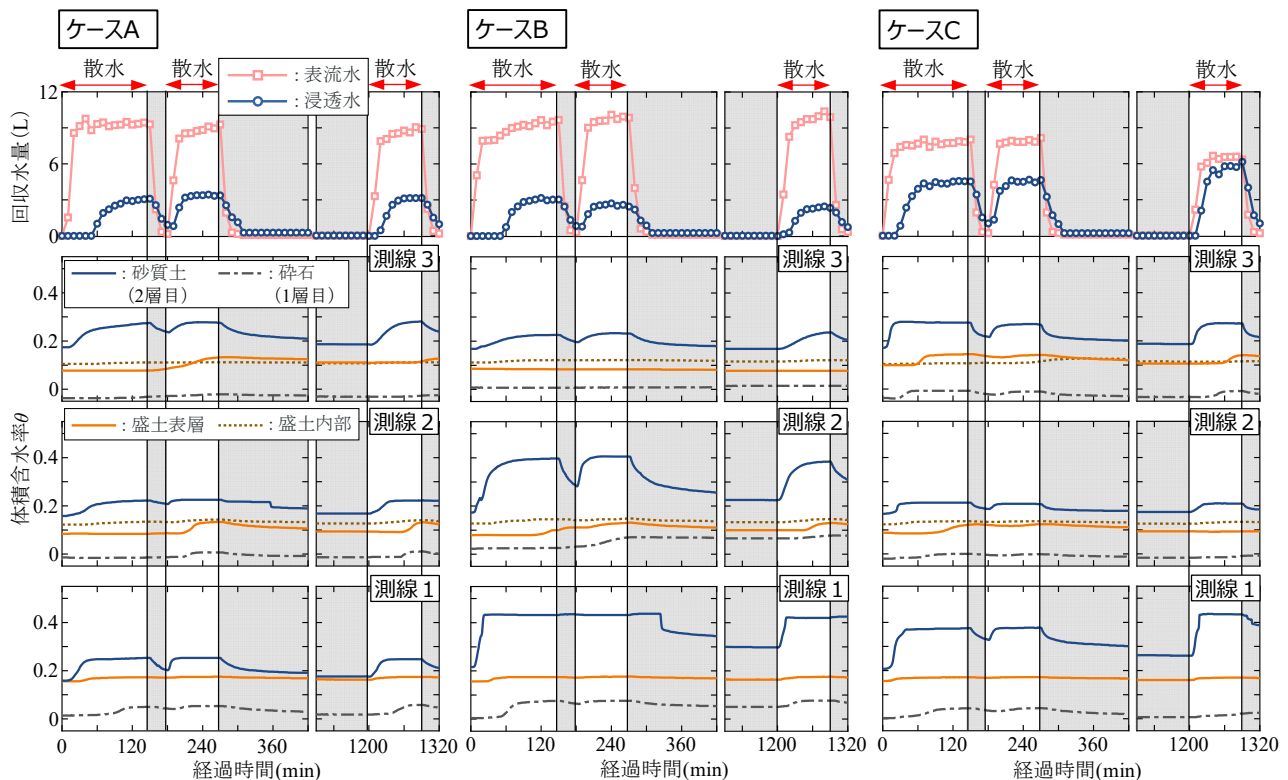


図-7 ケース A~C の実験結果の比較

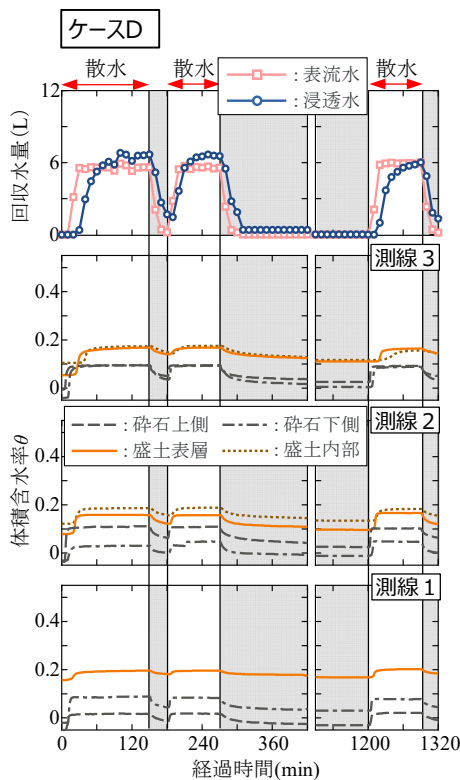


図-8 ケース D の実験結果の比較

ると、不織布と砕石の保水性（サクション）にはそれほど大きな違いは無いと考えられ、場合によっては砕石のサクションが不織布よりも大きくなるなど、不織布自体の保水性が複雑に影響するようになるのではないかと考えている。ただし、詳細については不明な点も多く、更なる検討が必要であるが、これまでの検討から、本研究で検討した範囲で不織布の厚さを大きくしても、浸透抑制機能が高まるわけではないことが明らかになったと考えている。

一方、ケース B における砂質土層内の θ に着目すると、ケース A、C と比べてのり尻に近づくほど顕著に増加していることが分かる。加えて、いずれの散水時も測線 3 における砕石と盛土表層の θ は全く反応していない。このことは 1 層目への浸透が効果的に抑制されることで、浸透水の大部分が砂質土層内を流下し、のり尻に集積していることを意味していると考えている。また、これを裏付けるように、回収した不織布の含水比もケース A、C と比べてのり尻に近い方が高い傾向にある（表-1 参照）。

図-8 はケース D の計測結果である。砕石中に設置した土壤水分センサーの位置については、背後の盛土表面からの距離を図-5 と同じにしており、図中には砕石内の 2 カ所で計測された θ が示されている。図中より、ケース A～C よりもり面保護工全体の厚さが 50 mm 大きいにも関わらず、他の 3 ケースに比べて明らかに浸透水量の割合が大きいことが分かる。また、いずれの測線でも他のケースに比べて盛土表層に設置した θ の上昇も早く、上昇量も大きい傾向にある。このことから、本のり面保護工が有する浸透抑制機能には、2 層のジオセル内の地

盤材料が持つ保水性の違いが大きく寄与していると理解した。

最後に、これまでの検討結果に加えて、薄い不織布は施工時に風の影響を受けやすく、長期使用時の耐久性も懸念されることやコスト面を考慮すると、本のり面保護工における層間に敷設する不織布としては、厚さ 1 mm 程度のもので適しているのではないかと考えている。

4. まとめ

本研究では、検討を重ねている砕石を充填したジオセルの上に不織布と砂質土を充填したジオセルを重ねたのり面保護工に関して、層間の不織布が浸透抑制効果に及ぼす影響を把握するため、2 種類の散水模型実験を実施した。この結果から得られた知見を以下にまとめる。

- 1) 施工時における混入や吸出しの影響を考慮すると、長期間浸透抑制機能を保持するために、層間に不織布することは不可欠と分かった。
- 2) 不織布が乾燥に近い状態にある場合には、浸透の抑制に不織布も寄与していることを確認した。
- 3) 本研究で対象としたのり面保護工に関して、検討した範囲で層間に敷設する不織布の厚さ・目付を大きくしても、浸透抑制機能は高まらないことを確認した。

謝辞：本研究の一部はJSPS KAKENHI Grant Number JP 20K04679の助成によって行われたものである。ここに記して深甚なる感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 例えば、山田朋人，星野剛，舛屋繁和，植村郁彦，吉田隆年，大村宣明，山本太郎，千葉学，戸村翔，時岡真治，佐々木博文，濱田悠貴，中津川誠：北海道における気候変動に伴う洪水外力の変化，河川技術論文集，Vol. 24，pp.391-396，2018。
- 2) 原田道幸，川口貴之，中村大，平井泰輔，衛藤遼，川尻峻三，山下聡：ジオセルを用いたのり面保護工における省力化と緑化に関する検討，ジオシンセティックス論文集，Vol. 34，pp.87-92，2019。
- 3) 平井泰輔，川口貴之，中村大，川尻峻三，古矢達也，原田道幸：ジオセルを用いたのり面保護工の省力化と浸透抑制機能に与えるのり面勾配の影響，ジオシンセティックス論文集，Vol. 35，pp.199-206，2020。
- 4) 古矢達也，川口貴之，中村大，川尻峻三，平井泰輔，原田道幸：中詰め材が異なる2層のジオセルで構成されるのり面保護工に関する散水模型実験，ジオシンセティックス論文集，Vol. 35，pp.81-88，2020。
- 5) 三石正一，飯山一平，溝口勝：デカゴン土壤水分センサーの簡易キャリブレーション方法，土壤水分ワークショップ要項，pp.115-120，2008。
- 6) 土谷富士夫，了戒公利，久保博茂：特殊ふとんかごによる凍上対策と植生緑化の現地試験・調査結果，土木技術資料，Vol. 59，No. 10，pp.62-65，2017。
- 7) 佐藤厚子，西本聡：北海道で施工される特殊ふとんか

- この凍上抑制効果について，地盤工学会北海道支部技術報告集，Vol. 52，pp. 15-18，2012.
- 8) 河村隆，梅崎健夫，坪山龍太：不織布の飽和透水係数を用いた排水過程における水分特性曲線の推定，ジオ

- シンセティックス論文集，Vol. 31，pp.149-154，2016.
- 9) 石川達也，張媛，所哲也：粒状路盤材の力学特性評価に対する不飽和三軸試験機の適用，土木学会論文集E1（舗装工学），Vol. 68，No. 3，pp. I_105-I_113，2012.

EFFECTS OF NON-WOVEN FABRIC ON SEEPAGE CONTROL FUNCTION OF SLOPE PROTECTION WORK COMPOSED OF TWO-LAYER GEOCELL WITH DIFFERENT FILLING GEOMATERIAL

Tatsunari FURUYA, Kazuma NAKAGAWA, Takayuki KAWAGUCHI,
Dai NAKAMURA, Shunzo KAWAJIRI and Michiyuki HARATA

It has been confirmed by sprinkling model tests and full-scale slope tests that the slope protection work composed of two layers of geocell with different filling geomaterials has seepage control function of rainwater. However, the effect of the non-woven fabric laid between the two layers on the seepage control function of this protection work has not been clarified. In this study, we conducted two types of sprinkling model tests using non-woven fabrics with different thickness and mass per unit area. As a result, it was confirmed that the non-woven fabric is indispensable for maintaining the seepage control function for a long period of time, and that the function is not enhanced even if the non-woven fabric is thickened.

KEYWORDS: Geocell, Non-woven fabric, Slope protection work, Seepage control, Model test