ジオセルや排水パイプを用いたのり面保護工に関する屋外土槽試験

Field model tests on slope protection using geocell and drain pipe

北見工業大学工学部〇学生員古矢達也 (FURUYA, Tatsunari)北見工業大学工学部正会員川口貴之 (KAWAGUCHI, Takayuki)北見工業大学工学部正会員中村大 (NAKAMURA, Dai)北見工業大学工学部正会員川尻峻三 (KAWAJIRI, Shunzo)東京インキ株式会社正会員原田道幸 (HARATA, Michiyuki)岡三リビック株式会社非会員安達謙二 (ADACHI, Kenji)

1. はじめに

北海道のような積雪寒冷地下では、凍結融解作用を受けたのり面の極表層が春先の融雪水や夏季の大雨によっ て崩壊する事例が多発する^{1), 2)}。この応急復旧や対策工 として、特に北海道では特殊ふとんかご工と呼ばれる、 のり面上に敷設した不織布の上に栗石や砕石を充填した 金網のケースを設置し、ずれ止めとして 1m 程度の長 尺アンカーバーを打設するのり面保護工が広く普及して いる^{2), 3)}。しかし、気候変動に伴って北海道の短時間強 雨の発生回数は今後も増加すると言われており⁴⁾、これ まで北海道に適したのり面保護工と考えられてきたもの についても、この点を踏まえた再検討が必要な時期に差 し掛かっていると思われる。

また,建設業界でも高齢化や人材不足が深刻となって いるが,この工法は組み立てや砕石の充填,蓋の取り付 け,更には長尺アンカーバーの打設等,不安定なのり面 上で行う手作業が多く,決して施工性の良い工法とは言 えない。さらに,湧水による不織布背後の侵食や凍上と 融解沈下による変形の蓄積によって,変状や崩壊に至る ケースも散見されるようになってきた⁵。

このような背景から、軽量で施工性も良く、工期短縮 や切土では逆巻き施工も可能な高密度ポリエチレン製の ジオセルと、水位低下による安定性向上が期待できる打 設式の鋼製排水パイプを組み合わせたのり面保護工が開 発され、実物大実験や室内模型試験による研究が進めら れている ^{51, 6}。その中で、土中水位よりも高い位置に打 設されたパイプからも排水する場合があることや,砕石 C40を充填したジオセル層厚が浸透水量に与える影響, 排水パイプの有無による土中水位の違い等に関して,こ れまでに多くの知見が得られている。しかしながら, 中詰め材や背後斜面を構成する土の違いが与える影響な ど,不明な点は数多く残っている。

そこで本研究では、屋外に6基の土槽を設置し、それ ぞれに中詰め材や盛土を構成する地盤材料、ジオセル層 や排水パイプの有無といった条件を変化させた模型盛土 を構築した。本文では、この試験結果を解釈する上で必 要な本工法に関するこれまでの知見について概説した上 で、同一環境下における降雨時の浸透水量等についての 比較・検討から得られた知見について詳述する。

2. 本工法に関して得られたこれまでの知見

図-1 は屋内に設置した散水試験用の土槽と,そこに 構築した模型盛土に関する概略図である。盛土は砂質 土で構成され,斜面上には砕石 C40 を充填したジオセ ルを設置し,盛土下部には排水パイプを設置した。なお, この土槽の底部には硬質排水材を設置し,その上に吸出 し防止の不織布を敷設している。また,散水試験中はジ オセル層表面や層内を流下した水(総じて表流水と呼 ぶ),盛土内を浸透した水(浸透水),パイプから排出 された水(パイプ排水)を独立して計測することが可能 である。この模型盛土に対して最大で約 90 mm/h の人 工散水を実施したところ,幾つかのケースでパイプ排水



図-1 散水試験用の屋内土槽に構築した模型盛土に関する概略図の



図-2 パイプ排水機構観察のための散水模型試験に関する概略図の



写真-1 完成した模型盛土の様子 (ケース3)

が確認され、その流量はジオセル層厚とともに大きくな ることが確認された。また、ジオセル層厚を大きくする と,表流水が増え,浸透水量は減少する傾向にあること が分かった。なお、散水試験中に盛土内の水位は形成さ れていないことを確認している。

図-2 はパイプの周辺に水位が到達していなくても排 水が生じるメカニズムを検討するために実施した散水模 型試験に関する概略図である の。アクリル製容器にスリ ット付きの鋼製パイプを貫通させており、水位が上昇し ないよう,底部には硬質排水材を設置した上で,容器の 底部には穴が開けられており、速やかに外部に排出され る構造となっている。実験に使用した土は砕石 C40 と 砂質土の2種類であり、図中の領域A~Dに充填する組 み合わせや締固め度,領域 A と B については高さも変 化させた様々な組み合わせで散水試験を実施し、その際 の浸透・排水挙動を詳細に観察した。その結果、パイプ 上部にある土の厚さが小さい場合には、フィンガー流の ように浸透した水がパイプのスリットに到達することに よって, 排水する場合があることを確認した。また, ス

リット周辺で透水係数が急激に低下する境界がある場合 (領域 B と C や C と D の境界),浸透した水がそこで 水位を形成することによって排水することも確認した。

3. 本研究で構築した模型盛土斜面

写真-1 は北見工業大学が使用する屋外実験施設であ るオホーツク地域創生研究パーク内に設置した6基の土 槽とその中に構築した模型盛土の一例を示したものであ る。所定の地盤材料で盛土を構築した後、ケースによっ てはジオセルを設置して、所定の中詰め材を充填した。 また、図-3 は構築した模型盛土の断面図であり、表-1は図中の領域1と2に使用した地盤材料の種類や有無, 排水パイプ設置の有無といった全6ケースの条件につい てまとめたものである。図-1に示した土槽と同様に、 底部には不織布を敷設した硬質の排水材を設置し、その 上に盛土を構築した。盛土内の水位は不織布を巻いた多 孔質パイプによって計測できるようにしているが,計測 期間中に水位は確認されなかった。また、近傍に設置し た雨量計で降水量を把握しているため、図-1 に示した



図-5 屋外土槽に構築した模型盛土に関する計測結果

土槽とは異なり,浸透水量とパイプ排水量のみを計測している。盛土は1層0.18mの4層で構築し,排水パイプを設置したケースでは2層目の上部に設置した。

図-4 は盛土や中詰め材として使用した地盤材料の粒 径加積曲線である。試料 A は図-1 に示した盛土と同様 であり,試料 B は土槽の近くにある建設残土からなる 盛土から採取した。試料 A は試料 B に比べて細粒分が 少ない砂質土である。なお,この盛土を用いた本のり面 保護工に関する実物大実験も別途実施されている⁵。

4. 計測結果と考察

図-5 は盛土を構築して計測を開始した 2019 年 8 月 中旬から3ヶ月間における計測結果を比較したものであ る。図中には近傍に設置した雨量計から得られた時間雨 量,計測された浸透水量等,ジオセルや盛土内に設置し た土壌水分センサーから得られた体積含水率の変化をし ている。土壌水分センサーの配置は図-3 中に示してお り,この中の代表的な A~D 点についてのみ示している。 なお,パイプ排水については,本計測期間中に確認され なかったため,図中には示していない。

まず,今回の計測期間中にパイプ排水が生じなかった ことついては,計測期間中に観測された時間雨量がそれ ほど多くないことが主な要因と考えているが,盛土は比 較的均質に構築しているため,スリット周辺で透水係数 の差異による水位が形成されにくかったことも影響して いると考えている。

次に、降雨時における体積含水率の変化や浸透水量に 着目すると、ジオセルを設置していないケース5や6で は、盛土表層で計測した体積含水率がジオセルを設置し たケース 1~4 に比べて明らかに小さく、降雨時の浸透 水量も明らかに少ないことが分かる。これについては、 ある程度の保水力と雨滴衝撃の緩衝効果があるジオセル 中詰め材の影響によって盛土表層の含水比(飽和度)が 高くなり、それによって表層の透水係数も高くなって浸



写真-2 表面侵食状況の比較(撮影日 2019年12月3日)

透水量が多くなったと考えられる。言い換えれば、ジオ セル層のない(裸地状態にある)ケース5と6では、表 流水が多くなったために、浸透水量が少なかったと理解 できる。このことは、のり面表層を植生や不織布で覆う と浸透水量が増加するとの研究例とも整合する⁷⁰。また、 ジオセル中詰め材の影響について考えると、唯一比較的 細粒分の少ない試料 A を中詰め材としたケース 2 では、 降雨時におけるジオセル層内の体積含水率の変化が大き いものの、それとは対照的に盛土表層の体積含水率の変 化は小さく、浸透水量も圧倒的に少ないことが分かる。 これについては、砕石に比べて保水性が高い砂質土内で 雨水の捕捉と流下が生じているものと推察される。

写真-2はケース 2,4,5における表面の様子を比較し たものである(撮影日 2019年12月3日)。砕石が中詰 めされたケース4では、雨滴侵食は全く見られない。し かし、ケース5は特に細粒分が多く流出しており、ケー ス2についても、ジオセルによってある程度抑制されて いるが、表層部分の流出が進んでいることが分かる。こ れらの結果と将来的な気候変動を踏まえると、今後は耐 侵食性と浸透抑制の両機能を兼ね備えたのり面保護工に ついて研究していく必要があると考えられる⁵。

最後に,排水パイプの有無による違いに着目すると, それ以外は同条件のケース3と4,ケース5と6を比較 すると,パイプ排水は無かったにも関わらず,いずれも 排水パイプが設置されている方の浸透水量が少ないこと が分かる。また,各降雨期間を拡大して比較すると,降 雨後に上昇した体積含水率が低下するまでの時間につい ても,パイプが設置されている方が短い傾向にあった。 この理由の一つとして,パイプがあることで盛土内の有 効応力(サクション)分布が変化し,盛土内の飽和度が 比較的低く保たれることで盛土内への浸透水量そのもの が抑制されているのではないかと考えているが,不明な 点も多く残っているため,屋内での人工散水試験等によ って今後も詳細に検討していきたいと考えている。

5. まとめ

本研究で得られた知見を以下にまとめる。

 ・特殊ふとんかごやジオセル等によって、のり面表層に 砕石層を設置した際、裸地と比べて雨滴等による耐侵 食性は明らかに向上するものの、裸地に比べて浸透水 量は格段に増加することが明らかとなった。

- ・のり面表層に比較的細粒分が少ない砂質土を充填した ジオセル層を設置した際,雨滴等による耐侵食性には 問題があるものの,砕石層を設置する場合に比べて土 中への浸透水量はかなり抑制されることが分かった。
- ・本計測期間中における排水は確認できなかったものの、 排水パイプが設置されたケースの浸透水量は設置され ていないケースよりも少ないことが分かった。

謝辞:本研究は公益信託 NEXCO 関係会社高速道路防 災対策等に関する支援基金の助成によって行われたもの である。また,本研究を遂行するに当たり,北見工業大 学大学院の衛藤遼氏,平井泰輔氏には多大なる協力を得 た。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡辺裕之: 寒冷地における高速道路のり面の緑化に ついて, 芝草研究, Vol. 7, No. 1, pp. 5-10, 1978.
- 2) 地盤工学会北海道支部 斜面の凍上被害と対策に関す る研究委員会:斜面の凍上被害と対策のガイドライン, 2010.
- 3) 国土交通省北海道開発局:平成 27 年度道路設計要 領,第1集道路,第4章のり面保護工,2015.
- 北海道開発局 HP:北海道地方における気候変動予測(水分野)技術検討委員会,技術検討委員会【最終とりまとめ資料】(詳細),https://www.hkd.mlit.go.jp/ky/kn/kawa_kei/splaat000000vdyw.html,確認年月日 2019.12.05.
- 5) 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.
- 6) 平井泰輔,川口貴之,川尻峻三,中村大,衛藤遼, 原田道幸,安達謙二:ジオセルと排水パイプを併用 した斜面安定工の排水メカニズムに関する模型実験, ジオシンセティックス論文集, Vol.34, pp.107-114, 2019.
- 丸田亮,細川大吉,土田孝:不織布フィルターにより表面からの浸透性を高めた模型斜面における降雨 浸透と斜面崩壊,地盤と建設, Vol. 35, No.1, pp.155-162, 2017.