

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K04679

研究課題名（和文）変わりゆく気候や社会も見据えた積雪寒冷地に適したのり面保護工の開発と提案

研究課題名（英文）Development and Proposal of a Slope Protection Work Suitable for Snowy and Cold Regions Considering Changing Climate and Society

研究代表者

川口 貴之（Kawaguchi, Takayuki）

北見工業大学・工学部・教授

研究者番号：20310964

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、積雪寒冷地で多く見られるのり面の表層崩壊に対応できるように開発した中詰め材が異なる2層のジオセルから構成される複層式ジオセルのり面保護工について、散水試験や実大実験によって性能評価や機能向上に関する取り組みを行った。その結果、施工性向上や景観性の悪化につながるのり面上に打設するアンカーの本数削減に成功した。また、多様な方法によって緑化も可能であることや、屋内散水実験から2種類の中詰め材が有する保水性の違いから高い浸透抑制効果を発揮することを確認した。加えて、断熱材の設置により、本来の機能を損なわずに背後斜面の凍結抑制を実現できることも見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

北海道のような積雪寒冷地でも、昨今の気候変動によって短時間強雨の回数が明らかに増加しています。また、人口減少社会の到来により、建設業界でも労働不足が深刻化しています。このため、これまで寒冷地に適していると考えられてきた各種対策工法についても見直すべき時期が来ています。本研究では、これまで寒冷地に適していると考えられてきたのり面保護工の問題点を解決するとともに、雨水や融雪水の浸透抑制効果も発揮可能な新たなのり面保護工を開発し、その性能向上や評価を試みました。その結果、施工性の向上や浸透抑制効果の定量的評価が可能になったことに加え、高規格道路斜面での社会実装にまで至ることに成功しました。

研究成果の概要（英文）：In this study, we attempted to evaluate the performance and improve the functionality of a multi-layer slope protection work using geocells with different infill materials, which we developed to address the frequent suppressing erosion of slopes in snowy cold regions. We conducted sprinkling model tests and full-scale slope tests to evaluate the performance of the slope protection system and to improve its functionality. As a result, we succeeded in reducing the number of anchor bars placed on the slope to improve workability and scenery. We also confirmed the possibility of greening the surface using various methods and demonstrated a high infiltration inhibitory effect based on the difference in water retention capacity between the two types of infill materials. In addition, we discovered that frost prevention on the back slope could be achieved without compromising its original function by installing insulation materials.

研究分野：地盤工学

キーワード：のり面保護 ジオセル 凍結融解 省力化 緑化 施工性

1. 研究開始当初の背景

北海道をはじめとする積雪寒冷地の道路斜面では、表層の凍結による排水機能の低下、凍結融解そのものによる表層地盤の脆弱化、多量の融雪水の供給等といった積雪寒冷地特有の素因によって、特に極表層をすべり面とする崩壊が頻発する。この地域では、応急対策として不織布を敷設したのり面上に薄型ふとんかごを設置する特殊ふとんかご工が広く普及しているが、長期間の使用による変形の蓄積や、浸透水等で不織布背後が侵食されることで崩壊に至るケースも散見されるようになった。申請者らは、この問題を解決するため、排水機能を低下させる根本原因である凍土域の背後からも排水可能な金属製の排水パイプと、表層の凍上と融解沈下に対する長期的な追従性を確保可能な樹脂製のジオセルを併用したのり面保護工を開発し、模型試験や実物大実験によって研究を続けてきた。この中で、特に表層が凍結した環境下では、地下水位より上のパイプからも多く排水することや、従来のふとんかご工と比べて水位を大きく低下させる等、寒冷地において優れた性能を発揮することを確認した。

しかしながら、研究を重ねる中で改善すべき幾つかの問題点も明らかになったことに加え、2016年8月の北海道豪雨で頻発した斜面崩壊や堤防決壊での災害調査を経験し、その後も2018年7月の西日本豪雨や2019年10月の台風19号など、記録的な降水量による豪雨災害が頻発し、今後も発生数の増加が避けられそうにない現状を考えると、のり面への浸透水量自体を抑制できるのり面保護工の重要性が増していることと確信した。

一方、人口減少社会となった今、建設業界でも人材不足や高齢化の深刻さは増していく一方であり、特に小規模市町村では経済性に優れながらも、施工に関する機械化や省力化が図られたのり面保護工が今後益々必要になっていくことも分かった。他にも、表層の凍結自体を抑制できるのり面保護工や、自然環境への配慮や道路景観向上の観点から、緑化可能な保護工の重要性も増している。以上のことから、これらを包括的に解決しうる、簡易で経済性に優れながら、多機能かつ高性能なのり面保護工の開発が急務との認識に至った。

2. 研究の目的

上述したのり面保護工について検討を重ねた結果、図1に示す平面的に展開したジオセルをのり面上に二段重ね、物性が異なる地盤材料を中詰め材とした二層構造の複層式ジオセルのり面保護工にすることで、これらの問題を包括的に解決できるのではないかとこの着想を得た。

一層目（下層）の中詰め材は碎石とすることで、これまでと同様に背後からの浸透水や凍結融解に伴う余剰水分による侵食を抑制し、これらを流下させる機能が期待できる。また、二層目（上層）は緑化基盤となりうる砂質土等を基本とし、その表面を植生シートや張芝等で覆った際の植生基盤層になることに加え、一層目との保水性・透水性の違いから生じるキャピラリーバリア（以下、CB）効果で降下浸潤水は砂質土層下部に集積して流下し、浸透抑制層になることが期待できる。また、この種の保護工ではズレ止めを目的として、不安定なのり面上で数多く打設している長尺のアンカーバーを削減できれば飛躍的に施工性の向上と省力化が図られ、二層構造にすることによる工程増加の影響は限定的であると考えられる（図1参照）。

しかしながら、一部は先行研究によって既に確認しているものの、考案した複層式ジオセルのり面保護工を社会実装できるレベルにまで昇華させるには、のり面勾配や中詰め材の土質、更には緑化方法や各層厚といった様々な条件に対する各機能や効果の違いを詳細に把握しておく必要がある。さらに、断熱性の付加や経済性の向上など、新たに検討が必要な問題も存在する。

そこで本研究では、これらの点を踏まえて条件を変えた模型試験や実物大実験を数多く実施し、施工地の凍結指数や降雪量、想定する最大雨量等に応じた各種条件に関する選定フローや設計法を確立し、広く社会に発信することを目的とする。

3. 研究の方法

模型試験については、散水量を人工的に調整可能な屋内散水模型実験を行った（図2）。なお、保護工（ジオセル）部分を流下する水量と、保護工下にある模型斜面に浸透した水量を分けて計測できる仕組みとした。また、集水用の遮水シートの設置位置を変化させることで、2層目より上層部分を浸透した水量を計測することも可能とした。さらに、層間に敷設する不織布の役割を明らかにすることを目的とした実験も行った。

実大実験については、大きく分けて3つの異なる目的を達成するために実施した。一つ目は、のり面上に打設する必要アンカーバー数を把握

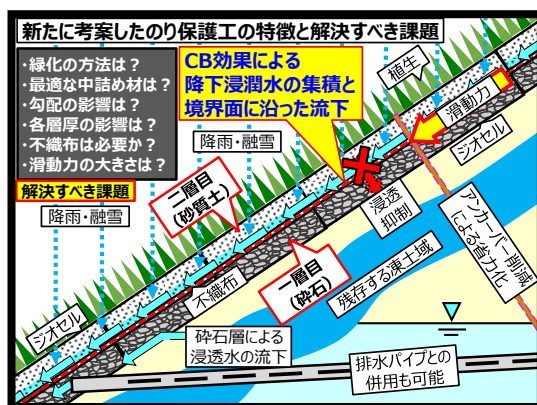


図1 考案した複層式ジオセルのり面保護工

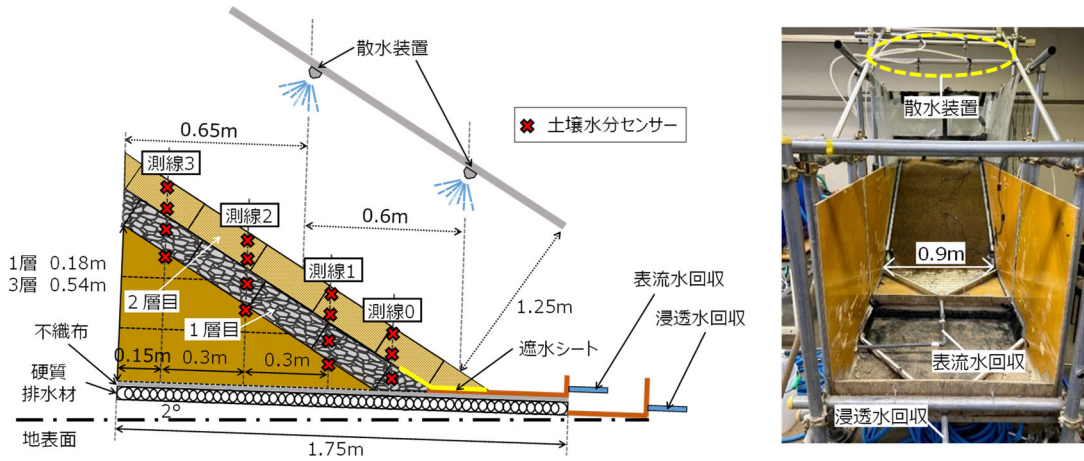


図2 屋内散水模型実験の概略図

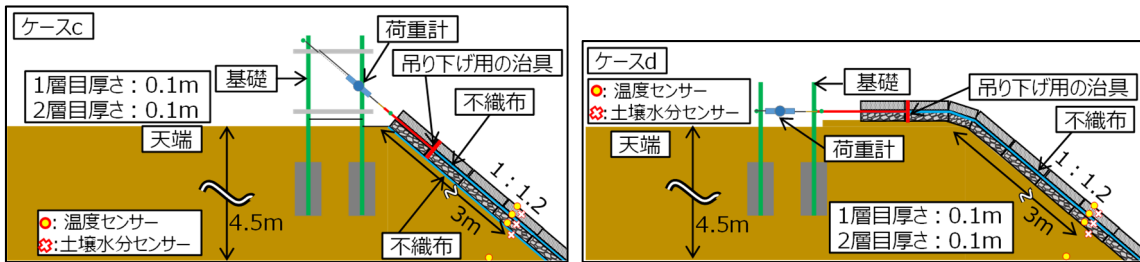


図3 斜面上での滑動力を計測するために実施した実大実験の概略図

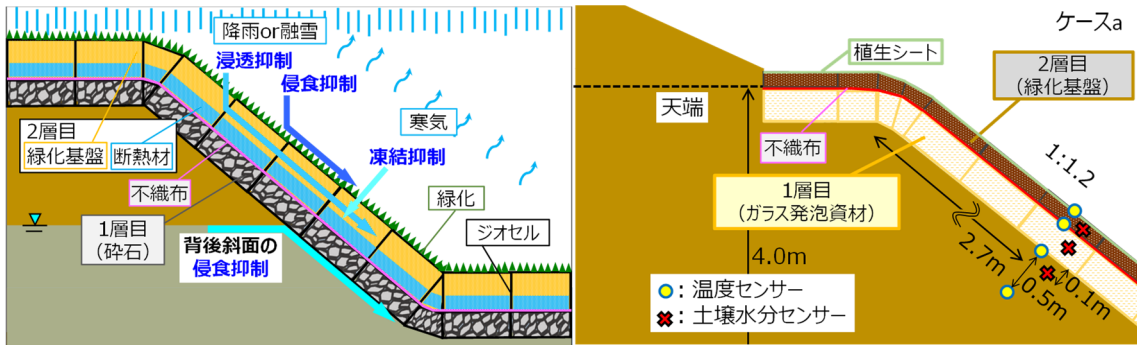


図4 断熱性能を付加するために実施した実大実験の概略図

することで、施工性の向上や省力化を目的とした実大実験であり、のり肩に基礎を設置し、のり面保護工自体の斜面上における滑動力を測定した(図3)。二つ目は、凍結することで大きく脆弱化や剥落が生じるような土質・岩質からなる斜面にも対応できるように、複層式のり面保護工の機能を保持したまま断熱性能を付加することを目的とした実大実験であり、2層目下部に断熱材を設置したものと、1層目の碎石をガラス発泡資材に置き換えたものを構築した(図4)。三つ目は、施工時期などに応じた最適な緑化方法を探ることを目的とした実大実験であり、2層目の中詰め材や、2層目上部の緑化方法を変えたものを構築した。

4. 研究成果

表1は屋内散水模型実験の条件と主な結果とまとめたものである。回収水割合の欄については、ケース1～8では、2層目を浸透して流下した水量と、それ以下に浸透した水量を分けて計測しており、ケース9～12では1, 2層目(保護工全体)を浸透して流下した水量と、それ以下(背後地山斜面)に浸透した水量を分けて計測していることを意味している。この結果から、先の屋外実験でも得られたように、2層目を碎石とすると浸透水量は増加することが分かる。また、2層目の上に緑化(張芝)をすると、浸透する量は大きく減少する(浸透抑制効果がある)ことや、2層目の層厚を大きくしても浸透抑制に効果は大きくないことも確認できる。さらに、のり尻に集積した水を排出させる碎石層を設けると、時間60mm程度の降雨であっても1割程度しか背後斜面に浸透させなくなるほどの浸透抑制効果が発揮されることが明らかとなった。

この他にも、層間に敷設する不織布について検討するための屋内散水模型実験も実施したが、不織布を厚くしてもそれほど浸透抑制効果を高めることはない判断されたため、施工性なども踏まえ、厚さ1mm程度のものが適していると判断した。

表 1 屋内散水実験の条件と主な結果のまとめ

ケース名	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
水圧	強	強	強	強	弱	弱	弱	弱	強	強	強	強		
散水量(mm/h)	57	57	51	57	11	11	11	11	38	54	55	56		
保護工	張芝	なし	あり	なし	なし	なし	あり	なし	なし	なし	あり	なし	あり	
	2層目	中詰め材(m)	砂質土 0.1	砂質土 0.1	砕石 0.1	砂質土 0.15	砂質土 0.1	砂質土 0.1	砕石 0.1	砂質土 0.15	砂質土 0.1	砂質土 0.1	砕石 0.1	砂質土 0.1
		排水工	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	砕石
		w(%)	35	36.5	2.0	35	34.5	36.2	2.0	35	34.7	35.6	2.0	33
		Dc(%)	86	88	90	86	86	86	90	86	86	86	85	88
	不織布	あり	あり	なし	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり	なし	あり	
1層目中詰め材(m)	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1	砕石 0.1		
回収水割合(%)	2層目	56	72	19	50	48	66	17	27	74	70	45	90	
	1層目	44	28	81	50	52	34	83	73					
	盛土浸透													26
1層目浸透時間(分)	14	18	8	23	89	74	20	77	18	22	4	36		
浸透水回収時間(分)	19	20	13	28	105	90	38	75	20	35	25	68		

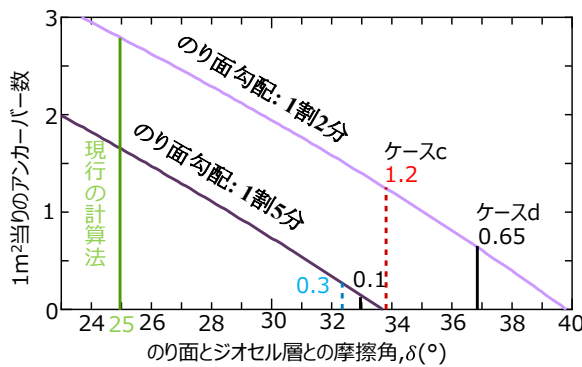


図 5 打設アンカーバー数の算出結果

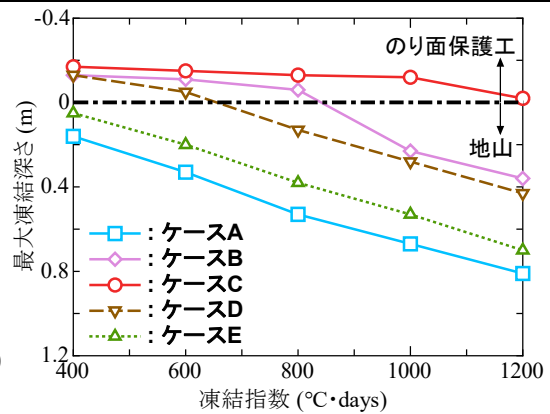


図 6 断熱材を適用した実大実験結果

図 5 は斜面上での複層式ののり面保護工の滑動力に基づいて計算した必要な打設アンカーバー数を示したものである。滑動力は施工中に最も大きくなったが、その計測結果を用いても必要とされる 1m² 当たり打設するアンカーバー数は現行に比べて大きく削減できることが明らかとなった。さらに、これは天端部分への敷設を考慮せず、のり面上にのみ敷設した場合であるため、天端部分にも敷設するのであれば、地震時に作用する荷重を考慮したとしても、この結果はかなり安全側と判断できる。

図 6 は 2 層目下部に断熱材を設置した実大実験から得られた温度計測結果に基づく熱伝導解析結果である。厚さ 50mm (図中のケース B) の断熱材を設置することで 800°C・days の凍結指数、厚さ 100mm (図中のケース C) の断熱材であれば 1200°C・days の凍結指数であっても背後斜面にまで凍結が達しないことが明らかとなり、複層式や緑化、不織布の効果などによって比較的効率良く寒気の侵入を防げることを確認した。また、ガラス発泡資材を用いた実大実験からは、層厚を断熱材の 2 倍程度にすれば同程度の断熱性を発揮することが確認された。

図 7 は様々な緑化方法による複層式ののり面保護工の実大実験結果であり、他にも張芝や植生シートによる実大実験も行ったが、いずれも基本的には良好な結果が得られた。特に、2 層目の中詰め材にウッドチップを混合したりサイクル緑化工法型植生基材吹付工を適用した場合、400°C・days の凍結指数であっても背後斜面にまで凍結が達しない (図 6 中のケース D)、比較的高い断熱性能を発揮することを確認した。また、2 層目下部に断熱材を設置すると、2 層目上部の地中温度が高くなりすぎるため、層厚を大きくするといった工夫をしないと継続的な緑化が困難になる恐れがあることも確認した。

図 8 はこれまでの研究成果を整理して作成した複層式ののり面保護工に関する選定フロー図である。背後斜面が湧水や雨水等によって侵食を受けやすい場合、外見から判別しにくい保護工背後での侵食やそれに伴う変形を抑制し、景観性の悪化を防ぐことができるため、本のり面保護工が適していると考えられる。

最後に、写真 1 は供用中の高規格道路斜面において複層式ののり面保護工が適用された結果を示したものであり、本のり面保護工の性能が認められ、社会実装されるまでに至った。

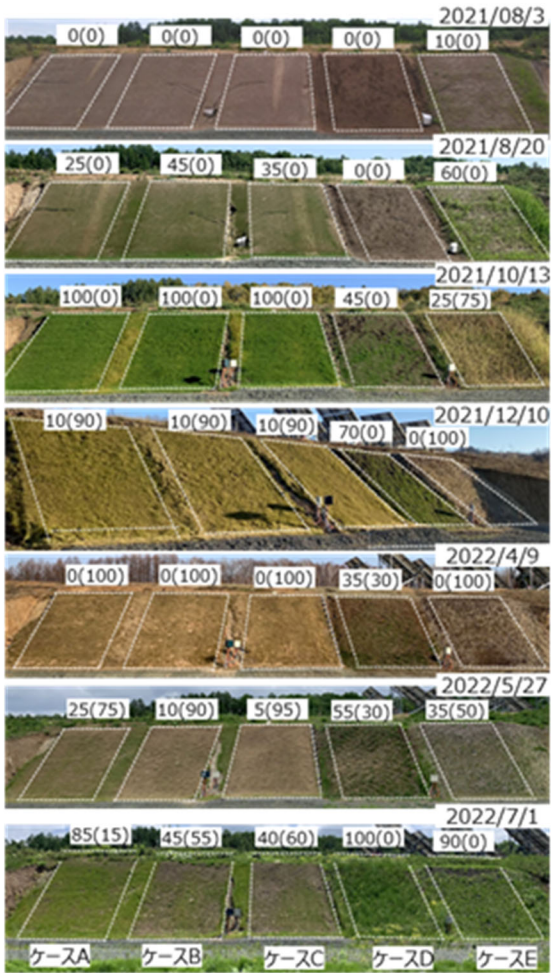


図7 異なる緑化方法による実大実験

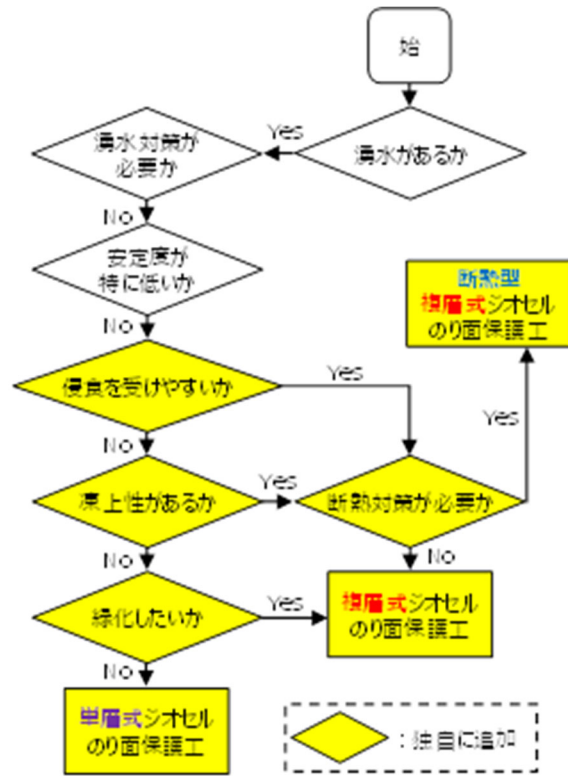


図8 のり面保護工の選定フロー



写真1 社会実装された複層式のり面保護工

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 中川一真, 川口貴之, 原田道幸, 川俣さくら, 松田圭大	4. 巻 63
2. 論文標題 断熱性を付加した複層式ジオセルのり面保護工に関する研究	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 地盤工学会北海道支部技術報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 川口貴之, 中村大, 松田圭大, 中川一真, DASHDONDOG Odkhuu, 原田道幸, 川俣さくら	4. 巻 37
2. 論文標題 ジオセルを用いた複層式のり面保護工の断熱性能に関する検討	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 55-62
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.37.55	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 古矢達也, 中川一真, 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 原田道幸	4. 巻 36
2. 論文標題 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	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 53-60
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.36.53	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 古矢達也, 中川一真, 原田道幸, 川俣さくら, 川口貴之	4. 巻 62
2. 論文標題 ジオセルを用いた複層式のり面保護工に関する研究	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 地盤工学会北海道支部技術報告集	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 平井泰輔, 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 古矢達也, 原田道幸	4. 巻 35
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 199-206
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.35.199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 古矢達也, 川口貴之, 中村大, 川尻峻三, 平井泰輔, 原田道幸	4. 巻 35
2. 論文標題 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	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 81-88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.35.81	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 劉爽, 川口貴之, 川尻峻三, 中村大, 小笠原明信	4. 巻 35
2. 論文標題 盛土材の凍結が補強材に与える影響を把握するための試験装置の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ジオシンセティックス論文集	6. 最初と最後の頁 37-44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5030/jcigsjournal.35.37	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

[学会発表] 計2件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 古矢達也, 川口貴之 他
2. 発表標題 ジオセルを用いたのり面保護工に関する模型試験
3. 学会等名 土木学会令和2年度全国大会 第75回年次学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井泰輔, 川口貴之 他
2. 発表標題 熱伝導解析を用いた断熱効果に関する検討
3. 学会等名 第61回地盤工学会北海道支部技術報告会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	川尻 峻三 (KAWAJIRI Shunzo) (80621680)	九州工業大学・大学院工学研究院・准教授 (17104)	
研究分担者	中村 大 (NAKAMURA Dai) (90301978)	北見工業大学・工学部・教授 (10106)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------