

機関番号：13904

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20510181

研究課題名（和文） 豊かな保水性のもとに植生の自然治癒力を最大限に活かす表層崩壊斜面の安定処理策

研究課題名（英文） Method for surface soil stabilization on the collapsed slope using natural vegetation activity and the water-retentivity

研究代表者

辻子 裕二 (TSUJIKO YUJI)

豊橋技術科学大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：40259859

研究成果の概要（和文）：表層土の浸食防止策の一つとして、植生シート工法が採用される場合がある。この工法は、適用に際し施工時期が限られるといった課題がある。加えて、斜面上の豪雨によって植生シートに含まれる種と栄養分が同時に洗いだされることで、植物の生長が妨げられることが危惧される。この課題に対応するため、本研究では植生シートからの萌芽・活着が可能となるまでの間、一時的に表層土を安定させる工法を提案した。この工法は斜面や周辺環境に影響を及ぼさない処理剤を使うことが特長である。植生の活着および保水性に関する屋外実験および室内実験の結果、本工法の適用性ならびに限界を明確にした。

研究成果の概要（英文）：The vegetation sheet is being used as one of the erosion prevention of the surface soil. That method, however, has disadvantages such as that there is the preferable season. In addition, both the seed and the nutrient contained in the vegetation sheet are flushed by the heavy rainfall on the slope, then the growth of vegetation is obstructed. In this study a method of temporarily stabilizing the surface soil until the seed germinates from the vegetation sheet was proposed. This method uses the processing liquid material that doesn't influence a slope and surrounding environment. As the result of outdoor and laboratory testing concerning the vegetation activity and water retentivity, the applicability and the limitations of this method have made clear.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2008年度 | 2,500,000 | 750,000 | 3,250,000 |
| 2009年度 | 700,000 | 210,000 | 910,000 |
| 2010年度 | 500,000 | 150,000 | 650,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,700,000 | 1,110,000 | 4,810,000 |

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学・自然災害科学

キーワード：地盤災害、植生、斜面安定、斜面崩壊、保水性、植生シート

1. 研究開始当初の背景

崩壊地点における浸食防止ならびに二酸化炭素固定等の環境対策の一つとして、植生シート敷設による法面保護策が採られることがある。植生シートには数種類の種子と栄養分が含まれ、数日から数週間で萌芽する。

近年ではシートに植生を含まず、自然に飛来する種子をシートに定着させる自然侵入促進工も考案されている。植生が生長し緑被が支配的となることで、地表部ならびに地下根系のネットワークが形成され、地盤を緊縛し浸食やせん断破壊の低減が期待できる。この

工法は、植生の生長エネルギー（自然治癒力）を利用するものでありエネルギー効率が高い。また、コンクリート吹付け等による堅固な法面保護工法とは異なり施工性にも優れ、水源涵養力を保持し、時間の経過に従い安定性が向上する特長を有する。しかし、急傾斜地の表層崩壊地点に対し植生シートを適用する際、降雨あるいは降雨による土砂の流出に伴う種子や栄養分の流出が問題となる。したがって、植生シートを施工後、種子が萌芽し植生が活着するまでの期間、植生の生長を阻害することなく表層地盤を一時的に安定化させる手法の確立が望まれた。施工時期を誤った同工法の適用により、活着が不良で斜面の安定化が進まない事例が現実に散見された。

2. 研究の目的

植生シートの定着に必要な保水性を維持したままで、植生による地盤の緊縛効果を得るまでの間、植生の代替として地盤を安定させ、かつ、活着後には植生の更なる生長を阻害しないような薬剤散布による地盤安定処理策を「自然治癒型つなぎ安定処理工法」として提案し、その具体的施工条件及び効果についての知見を整理することを研究の目的とする。

3. 研究の方法

本研究の前段として進めた以下の成果、

- (1) 浸透水に対するミジンコ遊泳阻害試験による毒性評価
- (2) 植生の影響を考慮した表土流出に関する検討
- (3) 一面せん断試験による植生のせん断抵抗に関する検討

において得られた知見を再整理した上で、研究全体をつぎのように分割して進めた。

- (1) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と安定保持期間との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化
- (2) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と植生の活着に要する時間との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化
- (3) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と保水性との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化

4. 研究成果

- (1) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と安定保持期間との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化に関する検討

①研究概要

つなぎ安定処理剤（以下、処理剤）の散布や植生シート（日本植生株式会社製 ハリシバ21、以後植生シートと記す）の敷設が表土の支持強度へ与える影響について屋外実

験斜面（図1）を用いて調べた。支持強度の測定には硬度計（柵藤原製作所製 山中式土壤硬度計、以後硬度計と記す）を用いた。屋外実験斜面での計測に並行して、屋外実験における植生シート以外の植物（既存、飛来等の植物）による影響を無くすために供試体（図2）を用いた室内実験も行った。



図1 屋外実験斜面



図2 室内実験用供試体

②研究成果

屋外実験斜面を用いた支持強度の測定結果（図3）より、処理剤散布量の増加に従い支持強度がやや大きくなり、強度発現後は時間の経過に従い斜面の支持強度が低下することが明らかとなった。植生が活着することで、若干ではあるが支持強度が大きく表れた。

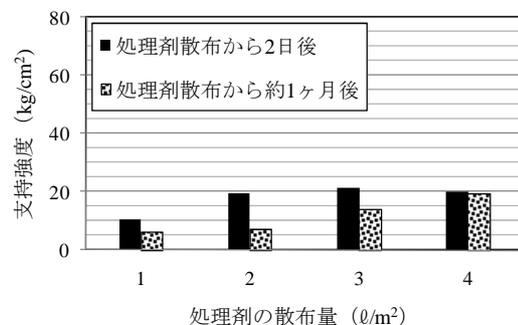


図3 外実験における支持強度の測定結果（植生シート有り）

室内試験による支持力測定結果（図 4）においても、屋外斜面における実験結果と同様強度の発現ならびに低減過程が確認できた。なお、室内試験においては処理剤散布から約 1 ヶ月経過することで支持強度は 5 割程度に低下することが明らかとなった。また、処理剤の散布量増加の伴い支持強度が増加する傾向が確認された。

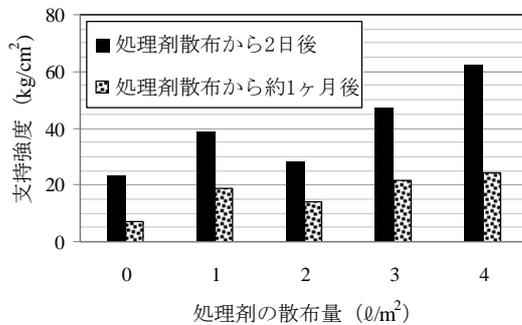


図 4 室内実験（供試体）における支持強度の測定結果（植生シート有り）

(2) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と植生の活着に要する時間との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化に関する検討

① 研究概要

上記 (1) と同様、屋外実験と室内実験をそれぞれ行った。屋外実験に関しては植生の時期的な変化による観察を表 1 に示す期間で行った。室内実験は、屋外実験の第 4 期と対応させて実施した。

表 1 屋外実験第 1 期から第 4 期までの日程

| | |
|-------|-----------------------------------|
| 第 1 期 | 2007 年 9 月 4 日～2007 年 11 月 14 日 |
| 第 2 期 | 2008 年 6 月 6 日～2008 年 7 月 16 日 |
| 第 3 期 | 2009 年 10 月 10 日～2008 年 12 月 24 日 |
| 第 4 期 | 2009 年 5 月 15 日～2009 年 8 月 5 日 |

② 研究成果

処理剤の散布を行っていない領域（図 5 中破線の領域）で、第 4 期（春から夏）、第 1 期（秋）、第 3 期（秋から冬）の順で植生の生育が良好であった。この傾向は植生シートを敷設してから 2 ヶ月後の観測結果でも同様であった。第 4 期の植生は第 1 期、第 3 期と比べ早く生育したが、8 月からは水ストレスが原因と見られる症状が出たため、生育速度が急激に低下した。植生シートの植物の生育に適した時期は、5～7 月であると判断した。また、処理剤を 10 kg/m² 散布した領域は、20 kg/m² 散布した領域より良好な生育が確認できた。処理剤の散布量が、植生の生育に少なからず影響を及ぼしていると判断した。

同様の実験を、屋内施設（日射は確保され

ている状態）において実施した結果（図 6）、処理剤を散布しない供試体では植生シート敷設から 2 週間後に萌芽が確認できた。これに対し、処理剤を 1, 20 kg/m² 散布した場合は 2～4 週間、3, 40 kg/m² の場合では 3～6 週間後に植生の萌芽が確認された。よって、処理剤を散布しない場合と比較して、処理剤を 1, 20 kg/m² 散布した場合は 2 週間程度、30 kg/m² の場合は 3 週間程度、40 kg/m² の場合は 4 週間程度の植生の生長遅延があった。第 1 期（植生シート 10 月敷設）よりも第 4 期（植生シート 6 月敷設）の方が植生の生長は良好であることから、屋外実験と同様、第 4 期に近い季節での施工が最も適していると判断できる。また、室内試験における植生の生長過程を判断した結果からも、前述と同様、処理剤の散布量と植生の生育の関係を見出すことができた。

以上より、提案工法を採用する際には植生の生育に適した 5 月頃までの期間、20 kg/m² を超えない範囲で適宜処理剤を散布して斜面の安定を図ることが好ましいと結論づけた。



図 5 屋外実験における植生の生長過程第 1 期（植生シート敷設から約 1 ヶ月後）



(a) 処理剤無し



(b) 処理剤 20 kg/m²

図 6 室内実験における植生の生長プロセス屋外実験の第 4 期と時期的対応（植生シートを 6 月に敷設、敷設から 1 ヶ月後）

(3) 「つなぎ安定処理剤」の濃度と保水性との関係、ならびに、その土質や環境条件との関係の明確化に関する検討

①研究概要

屋外実験では定量 (1050ml/min) の散水による土壌水分の変化過程の観察を行うのに対し、室内実験では表2に示す実験シリーズを設け、遠心法による保水性試験 (JGS 0151-2000) を行った。屋外試験で散水には、噴霧ノズル (ナショナル製 K0-EY8407) を使用した。屋外 (原位置) における体積含水率の測定にはクリマテック社製 Hydrosense を、遠心法による保水性試験には日立製高速冷却遠心機 CR20G II を用いた。

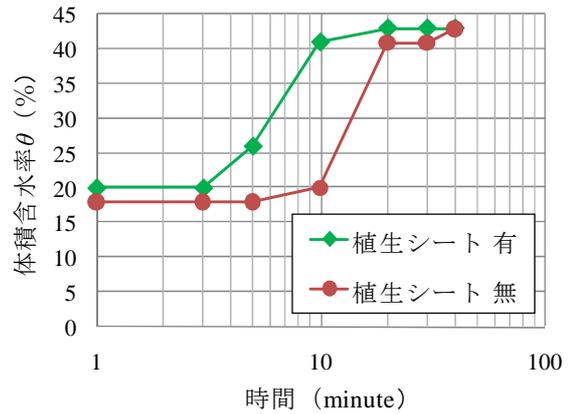
表2 室内実験シリーズの略称

| 処理剤散布濃度 | なし | 20/m ² | 40/m ² |
|---------|-----|-------------------|-------------------|
| 植生シート有り | A-0 | A-2 | A-4 |
| 植生シート無し | B-0 | B-2 | B-4 |

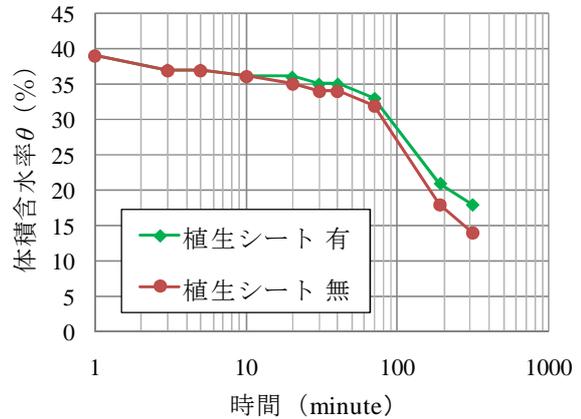
②研究成果

屋外実験結果 (図7) より、実験前時点で植生が有る方が無い場合に比べ水分を多く含むことが確認できた。一定量の散水開始から3分後に植生の有無により違いが現れ始め、植生が有る場合が先に体積含水率のピークに達した。ロッドと地盤の隙間からの水分の流入量が同じであるとすると、植生が水分を多く吸収したこと、あるいは根系によるサクシジョンの低減が効果的であったことになる。散水停止10分後までは植生の有無に関わらず、同じような変化傾向が見られた。しかし以降、植生が有る方が体積含水率は高く表れた。この差分は実験開始時にも確認されたものであり、植生シートによる水源涵養効果が検出されたものと考えている。

図8は供試体構成後約4ヵ月経過した時点での保水性試験用の供試体である。図9は各シリーズにおける萌芽した植生の本数の供試体の平均値である。なお、2009年7月28日の段階における萌芽した葉の最大長は、A-0で34cm、A-2で26cm、A-4で19cmであった。4月16日に作製したこれらの供試体は、A-0で4月28日に萌芽が確認され、その約2週間後にA-2、3週間後にA-4の萌芽が確認された。植生の本数は、A-0とその他のシリーズで違いは認められるものの、A-2とA-4に大きな差異は見られなかった。ただし、A-4では植生の生長に供試体ごとのバラツキが大きく、植生の被覆の割合がA-2に比べて低くなっていることが確認されている。これらの結果は図6で示した結果と整合する。



(a) 散水開始後の堆積含水率の増加過程



(b) 散水停止後の堆積含水率の減少過程

図7 屋外実験における散水による堆積含水率の変化過程

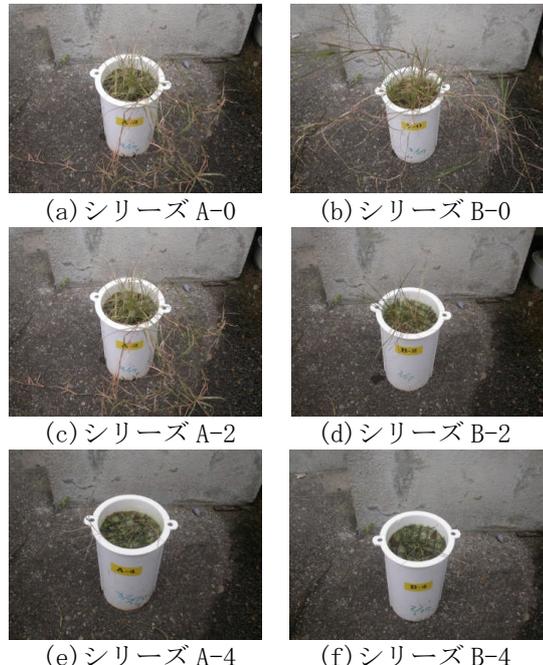


図8 室内実験における供試体中の植生の生長過程 (撮影日: 2009年8月10日, 供試体構成後約4ヵ月経過)

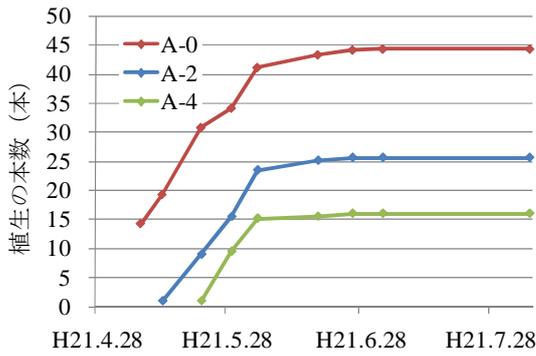
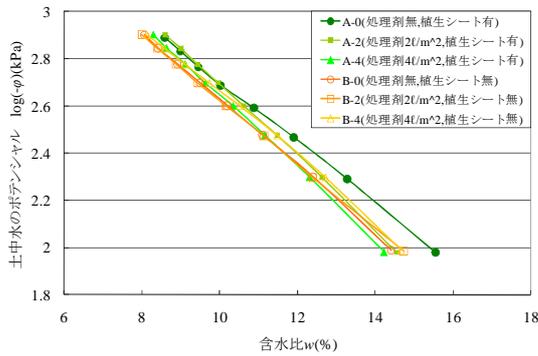
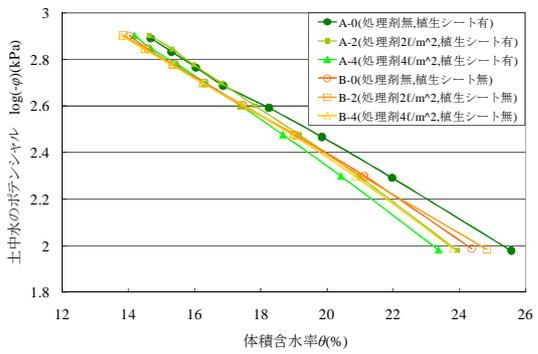


図9 供試体内で萌芽した植生の本数の推移 (H21.7.28の段階における萌芽した葉の最大長: A-0は34cm, A-2は26cm, A-4は19cm)



(a) 横軸に含水比 w をとった場合



(b) 横軸に体積含水率 θ をとった場合
図10 各シリーズにおける水分特性曲線

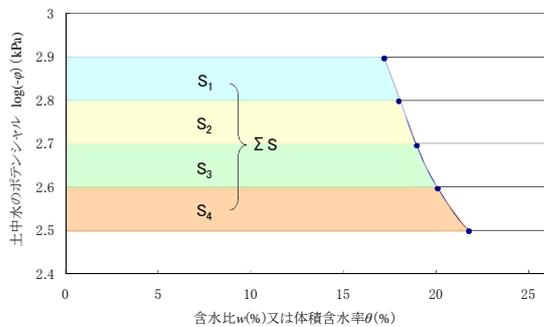


図11 本研究で提案する保水性評価指標の概念図

表3 本研究で提案した保水性評価指標値

| | 横軸: 含水比 | 横軸: 体積含水率 |
|------------------------------------|---------|-----------|
| A-0(処理剤無, 植生シート有) | 4.29 | 7.23 |
| A-2(処理剤20/m ² , 植生シート有) | 4.28 | 7.21 |
| A-4(処理剤40/m ² , 植生シート有) | 4.14 | 7.00 |
| B-0(処理剤無, 植生シート無) | 4.07 | 7.00 |
| B-2(処理剤20/m ² , 植生シート無) | 4.09 | 7.04 |
| B-4(処理剤40/m ² , 植生シート無) | 4.18 | 6.99 |

供試体表面を調べたところ、植生シートを敷設していないB-4において、土表面の硬化によるひび割れが確認された。この表面の硬化後の剥離は、植生シートが敷設されている供試体にも確認された。以上より、処理剤散布は植生の生長を阻害するものの、20/m²程度以下ならば適度に繁茂することを踏まえ、処理剤の散布濃度は20/m²程度以下であることが好ましいと考えている。

実験結果をもとにマトリックポテンシャルの常用対数値 (pF) を縦軸に、含水比および体積含水率を横軸にとり水分特性曲線を描いた(図10)。一般に pF1.8 以下の水は重力によって速やかに移動する重力水と呼ばれる。また、pF1.8~4.2の水は毛管水と呼ばれ、その内でも pF1.8~2.7の水は降雨直後に土層内に貯留され、その後徐々に排出される毛管移動水と考えられている。このため、pF1.8~2.7程度の孔隙量が森林土壌の保水能力の指標とされてきた。土の保水性評価を行う指標として、pF2.0とpF3.0に相当する体積含水率の差を用いる研究事例が報告されているが、本研究における実験方法では同指標の上限値近傍で根系のバラツキの影響を受けやすいことが判明した。このため、図11に示される独自の保水性指標を提示した。この方法では pF2.5~2.9の範囲において図中の台形の面積 $S_1 \sim S_4$ を算出し、保水性評価指標値をその総計 ΣS で与える。この指標の算定には複数の点を用いることから、水分特性曲線の曲率を考慮することが可能となる特長がある。表3は本研究における保水性評価指標値(台形の面積)を示している。

表3より処理剤を散布していないA-0とB-0の保水性評価指標値の比較から、植生が繁茂しているA-0における保水性の優位性が確認できる。保水性評価指標値では、A-0とA-2がほぼ同値となり、処理剤濃度が20/m²程度であれば処理剤を散布していない場合と同等の保水性を維持することが確認された。このことから、処理剤散布後も土壌の主成分である砂粒子の特性は保存されており、処理剤濃度を20/m²程度にすれば、適度な浸透能と保水性を維持できることが明らかとなった。なお、A-4で保水性が低くなった原因として、処理剤濃度が高いために土の表面が固化後、剥離し易くなり植生の生長を阻害してしまったことが一つの原因として挙げ

られる。また、保水性評価指標値を比べるとB-0、B-2は大きく変わらないが、B-4だけがやや大きく表れた。これは上述した表面の固化・剥離が原因と考えている。処理剤濃度20/m²では固化の程度は軽度であるが、40/m²になると表面全体で固化が確認された。表3より、植生が繁茂しているA-0が植生無しのB-0より保水性評価指標値が大きく表れた。同指標値においては処理剤散布による保水性の違いは、横軸に含水比をとった場合ならびに体積含水率をとった場合ともに確認されなかった。

(4)「自然治癒型つなぎ安定処理工法」の適用性と課題

本研究の成果について、本報告で詳述を割愛した内容を含めて以下に整理する。

- ① 本工法で用いた「つなぎ安定処理剤」の半数致死濃度は約15,000ppmである。約10,000ppm以下の濃度ではミジンコの遊泳阻害率が約10%以下であることから、この濃度以下では処理剤が環境に大きな影響を与えない。したがって、処理剤適用直後に降雨があった場合であっても安全性は確保されると考えて良い。
- ② 処理剤散布量の増加に従い支持強度が大きくなり、処理剤散布後の時間経過に従い支持強度は低下する。
- ③ 斜面の表土流出を低減させるには植生シートよりも処理剤がより効果的であり、植生シートと処理剤の両方を使用することで更なる浸食抑止効果が得られる。
- ④ 処理剤の散布量が増加すると植生の生育に影響を与える。植生シートの植物の生育に適した時期は5~7月であること、ならびに処理剤の効果の減衰を踏まえた施工時期の選定が肝要である。
- ⑤ 植生により散水中は水分を多く吸収し、散水後は地盤の表層部に水分が保持される。植生の根系による表土の保水性は顕著ではないものの差異が確認できた。ただし、処理剤散布量による保水性への影響は確認されなかった。したがって、処理剤適用後も土の間隙を保持しつつ土粒子の結合を強化させる効果が期待できる。
- ⑥ 提案工法を採用する際には植生の生育に適した5月頃までの期間に、20/m²を超えない範囲で適宜処理剤を散布して斜面の安定を図ることが好ましい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

- [1] 辻子裕二, 河邑眞, 辻野和彦, 衛星画像を用いた山火事後の緑被再生プロセスの監視に関する研究, 環境情報科学論文集24, 査読有, no. 24, pp. 19-24,

2010.

- [2] 辻子裕二, 河邑眞, 辻野和彦, 衛星画像からの土砂災害検出における地表面含水比の影響について, 土木学会西部支部土砂災害に関するシンポジウム論文集, 査読有, pp. 7-12, 2010.

〔学会発表〕(計4件)

- [1] 辻子裕二, 河邑眞, 辻野和彦, 衛星画像を用いた山火事後の緑被再生プロセスの監視に関する研究, 環境情報科学センター環境研究発表会, 平成22年11月24日, 環境情報科学センター.
- [2] 辻子裕二, 塔尾徹, 河邑眞, 表層処理を施した地盤における植生活着過程の保水性評価, 土木学会中部支部研究発表会, 平成22年3月1日, 金沢工業大学.
- [3] 辻子裕二, 榊原勇一, 塔尾徹, 河邑眞, 処理剤と植生シートの併用による表土の流出および保水性に対する効果, 土木学会第64回年次学術講演会, 平成21年9月2日, 福岡大学.
- [4] 辻子裕二, 谷川直希, 河邑眞, 辻野和彦, 根系と斜面のせん断強度との関連についての一面せん断試験による基礎的検討, 土木学会第63回年次学術講演会, 平成20年9月10日, 東北大学.

〔図書〕(計1件)

- [1] 澤孝平, 鍋島康之, 日置和昭, 佐野博昭, 辻子裕二, 吉田信之, 沖村孝, 青木一男, 渡辺康二, 森北出版, 地盤工学(第2版), pp. 133-174, 2009.

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
- 取得状況(計0件)

〔その他〕

<http://toshichan.be.fukui-nct.ac.jp/tsujiko/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

辻子 裕二 (TSUJIKO YUJI)
豊橋技術科学大学・大学院工学研究科
研究者番号: 40259859

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし