

植生のり面保護工の初期における耐降雨性に関する実験的検討

加藤俊二・佐々木哲也

1. はじめに

近年の降雨強度や降水量の増加に伴い、植生によるのり面保護工（以下「植生工」という）の施工直後の盛土のり面の表層部において、これまで顕在化していなかったような崩壊が生じ（写真-1参照）、近接する道路や施設等に土砂等が流出するとともに人的被害も発生しているケースが見られる。

一般に盛土のり面では表層の侵食防止を目的としたのり面保護工として、環境・景観への配慮から播種や張芝等の植物を用いた植生工が実施されている。植生工は、植物の根系の発達に伴う土砂の緊縛効果により表層の侵食防止や表層崩壊の抑制を期待する工種である。

しかしながら、植生工は施工直後には植物の生育による根系の発達はなく、植物の生育に伴い根系が徐々に発達していくことで表層部の土砂を緊縛し、侵食・崩壊を抑制する効果が発揮されていくものである。したがって、根系による土砂の緊縛効果が発揮されるまでの間はのり面保護工としての機能は十分に発揮されていないため、その間の降雨により被害が生じやすい状態にある。このため、植生工の施工直後を含めた降雨に対する盛土のり面の安全性の変化を明らかにすること、施工直後から保護効果を発揮する方法を提案するこ

とが必要である。

本報は、まず植生工による侵食・表層崩壊の抑制効果について、施工直後から根系の活着により保護工が成立するまでの間の変化状況を含めた降雨に対する性能の変化を明らかにすること、また環境・景観に配慮しつつ、施工直後から効果を発揮する表層すべりに対するのり面保護工法、補助工法を提案することを目的として実施した実験的検討結果について紹介するものである。

2. 根系の緊縛効果に関する模型実験¹⁾

前述のように、植生工では一般に播種あるいは張芝が行われている。播種の多くは初期の耐降雨性を考慮した比較的粘性があり降雨で流出しにくい植生基材に種を混合してのり面全体に吹き付けて保護するのに対し、張芝は直接のり面に芝を竹串で固定するだけであり、播種と比べて根が伸長するまでは表層の土砂流出が起こりやすい。ここでは土砂流出の起こりやすい張芝工に着目し、まずはじめに、施工後の芝の生育による根系の発達状況と降雨に対する土砂保持効果を小型模型実験により把握した結果を紹介する。

2.1 実験方法

(1) 小型土槽の作製および張芝の育成管理

降雨実験により張芝の根系の発達による土砂保持効果を確認するため、図-1に示す幅30cm×深



写真-1 施工初期の植生のり面の表層崩壊例

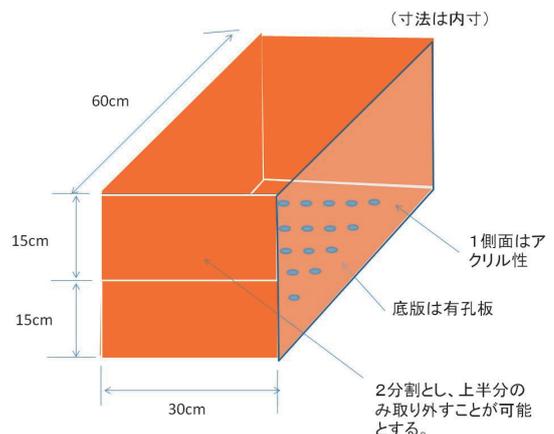


図-1 小型土槽のイメージ図

さ30cm×奥行60cmの小型の木製土槽を作製した。長辺側の側壁の1面については根系の生育状況や降雨実験における土砂流出状況を確認するためアクリル張りとし、底面は降雨により滞水しないように排水機能を持たせる有孔板とした。また、短辺側の側壁の1面については、降雨実験で強制的に土砂が排出されるように上端から15cmの位置で取り外しができるように2分割とした。

実験には、降雨により侵食しやすい山砂（土粒子密度：2.689g/cm³、細粒分含有率：30%）を用い、最適含水比に調整したうえで締固め層厚5cm締固め度90%で管理して土を詰め張芝を行った。張芝は野芝を用い、秋施工を行った場合の芝の休眠期間を考慮するため12月に敷設した。また、(2)で示す降雨実験を行うまでは屋外にて育成管理し、枯死しないようにつくば（館野）のアメダスにおいて前3日間の累積で10mm以上の降雨が無い場合に散水を行った。

(2) 降雨実験の概要

降雨実験を行う時期は、関東平野部での芝の生育特性による植栽適期²⁾を踏まえると、生育期は4月～10月程度が想定され（写真-2の生育状況ともほぼ一致）、4月に生育期、11月に休眠期に入る前提として、①生育期に入る直前の休眠期間中の3月（敷設後3か月経過時）、②生育期3か月経過時の7月（敷設後7か月経過時）、③再度休眠期間に入り冬枯れしている時期を想定した1月（敷設後1年1か月経過時）に実施した。1回あたり2つの土槽を用い、土槽に設けた短辺上部15cm部分を取り外して開放した状態で30度勾配に傾斜させ、降雨により開放部分から流出した土砂を受け止めるためのコンテナを設置し、時間雨量50mmの降雨を4時間継続して累積200mmを与え、

その間の土砂流出状況の観察を行った。

2.2 実験結果

表-1に材齢ごとの流出土砂量の一覧を、図-2に関東平野部における芝の生育期間を4月～10月の7か月間とした経過生育期間と土砂流出量の変化を示す。各時期ごとの降雨実験時の土砂流出状況、実験後に洗い出した芝の根系の生育状況を整理すると以下のとおりある。

(a) 生育期に入る直前の休眠中(3月)の状況

降雨開始後3分程度で土砂の流出が始まり、1時間程度で土槽の1/4程度が流出し、その後も表



(a) 3月の状況（休眠中）



(b) 5月の状況（生育中）



(c) 10月の状況（生育期末）



(d) 11月の状況（休眠期）

写真-2 張芝の育成状況

表-1 材齢ごとの流出土砂量の一覧

材齢および実験実施月	No.	流出土砂乾燥質量 (g)	平均(g)	流出土砂率 (%)	平均 (%)
秋施工3か月(休眠期) ＜実験:3月＞	1	22,300.0	19,100.0	26.8	23.0
	2	15,900.0		19.1	
生育3か月経過 ＜実験:7月＞	5	4375.7	3,612.0	5.3	4.3
	6	2848.2		3.4	
生育6か月程度以上経過 ＜実験:1月＞	7	981.8	565.8	1.2	0.7
	8	149.8		0.2	

※土砂流出率 (%) = 流出土砂の乾燥質量 ÷ 供試体土砂の乾燥質量 × 100
 実験に用いた土の乾燥密度 γ_d (Dc90%) = 1.540 g/cm³
 供試体土砂の乾燥質量 = 実験に用いた土の乾燥密度 × 土槽容積
 = 1.540 × 30 × 30 × 60 = 83,160 g (一律で計算)

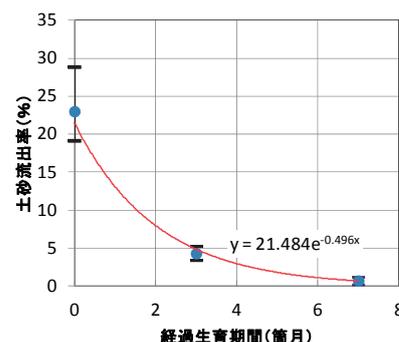


図-2 生育期間と土砂流出量

面流により少しずつ土砂が流出した（写真-3）。2つの土槽の土砂流出率の平均値（以下「土砂流出率」という）は23.0%であった。秋施工では芝は休眠状態となり施工当初は根系の生育がないため、生育期までの間は、土砂の保持効果がないことがわかる。

(b) 生育期3か月経過時の生育中(7月)の状況

前述(a)同様、降雨開始後から少しずつ土砂の流出が見られたが流出の進行は遅く、降雨4時間経過時で奥行き15cm程度までの流出（写真-4中破線）で、土砂流出率は4.3%であった。約3か月の生育期間で、太い根が約4cmピッチで長さ15～20cm程度と開口部よりも深い位置まで生育しており、その効果により流出が遅延したと考えられるが、毛細根はほとんど見られず土砂を十分に保持できるまで生育はしていないものと考えられる。

(c) 生育後の休眠期の冬枯れ時（1月）の状況

土砂の流出はほとんどなく、降雨によりオーバーハング部の土砂が若干崩落した程度で、土砂流出率は0.7%であった（写真-5）。生育期間約7か月を経ると、(b)と比して太い根が全体的に増えて長さも30cm～35cm程度まで成長し、さらに深さ15cm程度までは毛細根が発達して絡みあう状態となっており、毛細根の発達が発達範囲とほぼ一致している。

なお、本実験の条件で根の伸長が期待できる土壌硬度となる深度は文献3)での実験結果からおおよそ10～15cm程度であり、これは毛細根の発達範囲とほぼ一致している。

これらのことから、植生基盤として厚さ30cmの土羽を設ける場合、施工後の短期間で根系により土羽と盛土本体の一体性を持たせることは困難と考える。このため、施工直後から耐降雨性を確保するためには、根系の成長を阻害せずかつ侵食・崩壊が生じにくい構造とする必要がある。

3. 補助工法に関する実験⁴⁾

つぎに、植生基盤として耐降雨性を有するのり面を構築するための簡易な補助工を提案することを目的とし、植生基盤となる盛土のり面の表層（土羽）の構造を変えた盛土モデルの耐降雨性の比較実験を紹介する。表層崩壊は、降雨によりのり面表層の飽和度が上昇して土のせん断強度が低下

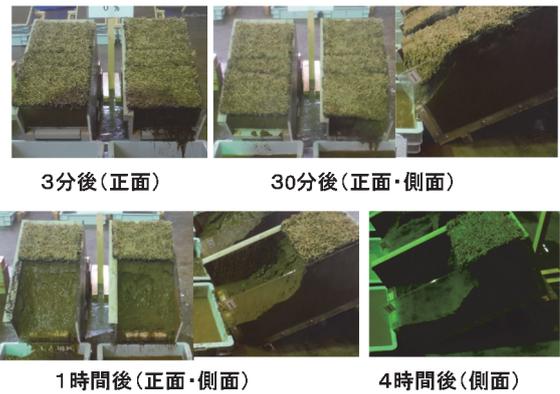


写真-3 土砂流出状況(3月)

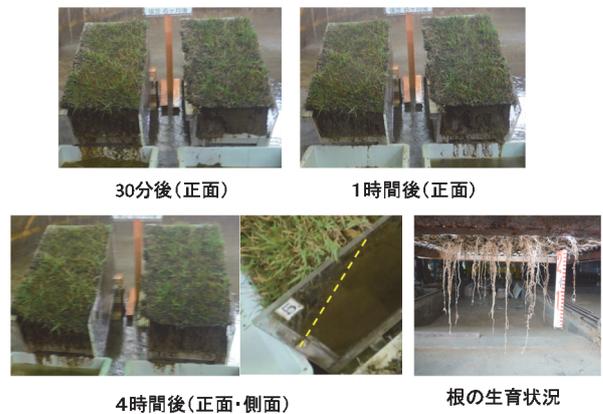


写真-4 土砂流出と根の生育状況(7月)

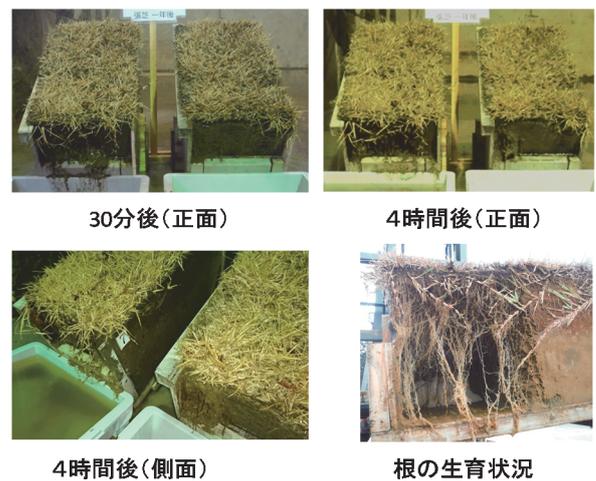


写真-5 土砂流出と根の生育状況(1月)

することによって生じるものである。したがって、本実験は排水層を設置して飽和度の上昇をさせない方法、レキを混合してせん断強度の増加を図る方法による表層崩壊の抑制検討を行ったものである。

3.1 実験方法

実験模型は、図-3に示すような盛土のり尻付近を模擬したもので、形状は盛土本体の高さ1m、のり面鉛直方向の土羽厚を0.3mとし、幅2m、のり面勾配1:1.5である。実験模型の構造は、基盤層および盛土本体を透水性の低い粘性土（関東ローム：最大乾燥密度0.818g/cm³）とし、土羽を以下の①～④に示す構造で10cm厚3層で構築した（図-3参照）。

①ケース1（比較基準）：

降雨により侵食しやすい山砂単体（最大乾燥密度1.809g/cm³、細粒含有率30%）で土羽部全体を構築。

②ケース2：

土羽部のうち最も深い10cmの層を市販の5号砕石および6号砕石を質量比で1：1混合したもの（表乾比重2.65、以下「砕石」という）で排水層を構築。

③ケース3：

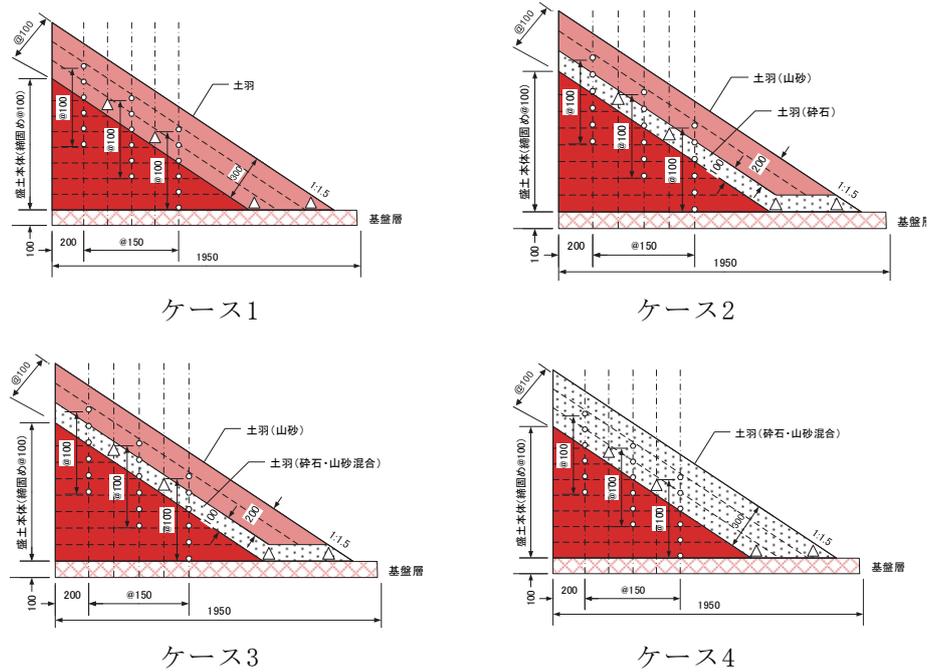
土羽部のうち最も深い10cmの層を砕石および山砂を質量比で1：2混合したもの（以下「砕石混合土」という）で構築。

④ケース4：

土羽30cmすべてを砕石混合土で構築。

模型の作製方法は、土を最適含水比に調整したうえで、盛土本体を水平方向に層厚10cm締固め度90%で管理して構築し、土羽については砕石を除いた土の部分が締固め度85%で所定の厚さとなるように密度管理をしてのり面鉛直方向に構築した。なお、ケース2の排水層となる砕石については所定の厚さとなるように敷均しを行った。

また、降雨による盛土表層部分の水の変化を把握するため、盛土本体と土羽との境界を基準として上下の締固め層の上面に6箇所3断面に土壌水分計を、のり尻部およびのり面部の土羽境界面上4箇所に間隙水圧計を設置した。さらに、のり面表面は張芝を想定して親水性のある侵食防止シー



○：土壌水分計 △：間隙水圧計

図-3 実験模型図

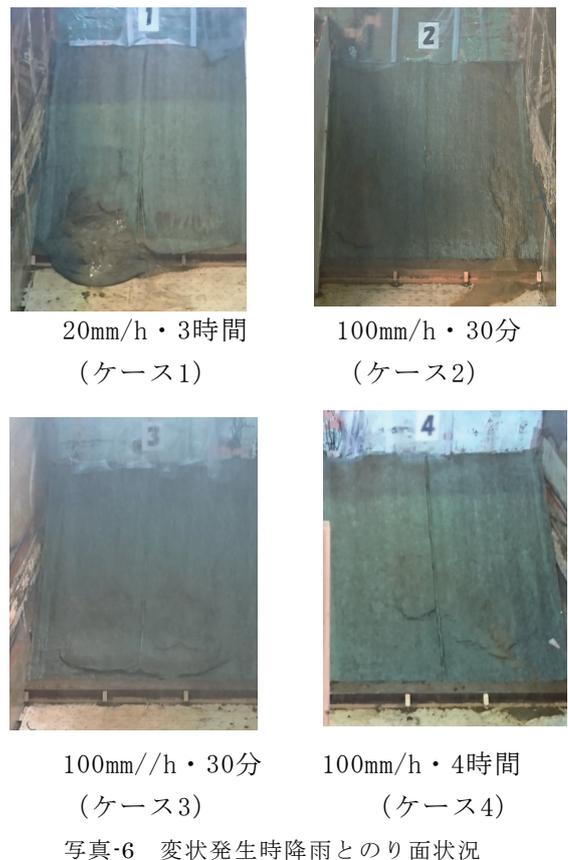


写真-6 変状発生時降雨とのり面状況

トで保護し、雨滴による土砂の飛散に起因する侵食が生じないようにした。

降雨実験は、時間雨量20mm4時間、50mm4時間、100mm4時間を7日間隔で段階的に与えて、

のり面の状況（侵食・崩壊等）について観察を行った。

3.2 実験結果

写真-6に、本実験で各ケースに代表的な変状が発生した降雨時ののり面の状況を示す。降雨と変状の推移は以下のとおりである。

〈ケース1〉 時間雨量20mmで、降雨開始から1時間半でのり尻付近が泥濘化した。さらに3時間経過時点でのり尻部で崩壊が発生した。4時間経過時には、のり面積の約6割の範囲で土砂が流出した。以上で、降雨実験を終了した。

〈ケース2〉 時間雨量20mm、50mmでは、のり面の状況に変化は見られなかった。時間雨量100mmで30分経過時にのり面中腹付近で侵食が発生し、時間の経過とともに同位置で徐々に排水層付近までえぐられるように侵食域は拡大するが崩壊は生じず、範囲は限定的であった。

〈ケース3〉 時間雨量20mm、50mmではのり面の状況に変化は見られなかった。時間雨量100mmで20分経過時に砕石混合層上部の山砂が泥濘化しはらみ出しが生じ、30分経過時にのり尻部が砕石混合層より上部で崩壊が発生した。4時間経過時でのり面積の約7割で土砂が流出したが、砕石混合層は残存していた。

〈ケース4〉 時間雨量20mm、50mmではのり面の状況に変化は見られなかった。時間雨量100mmで2時間経過時に表面の一部で侵食が生じたが、4時間経過時でも限定的な範囲で深さも2～3cm程度であった。

図-4に、変状が見られた降雨強度（凡例括弧内）での各ケースの水位変化の例として盛土本体のり尻付近での状況を示す。崩壊が生じたケース1、ケース3の水位状況を見ると崩壊開始時の水位が10cm程度（計測位置盛土高さの約1/3）以上であった。

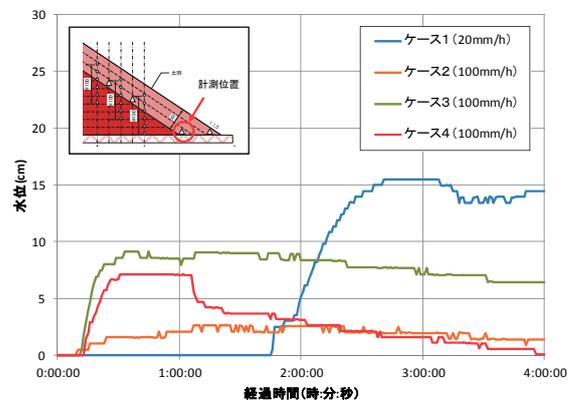
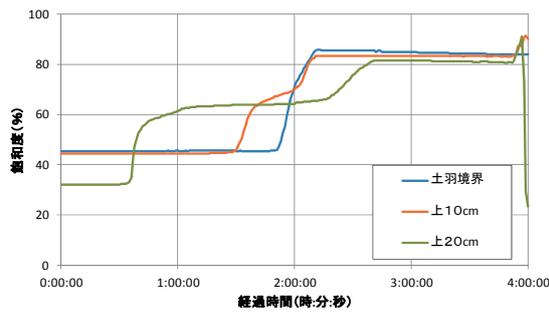
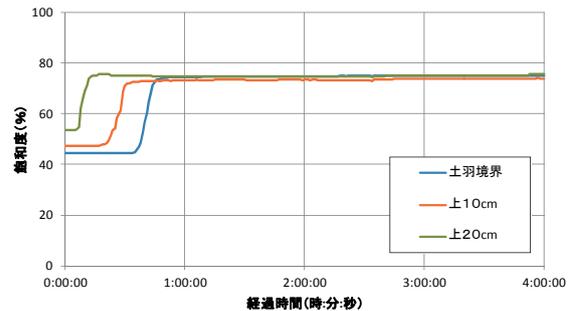


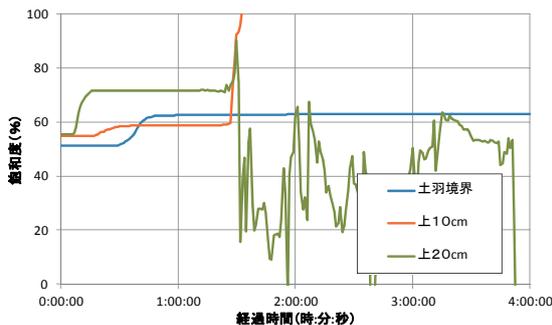
図-4 のり尻付近の水位変化状況



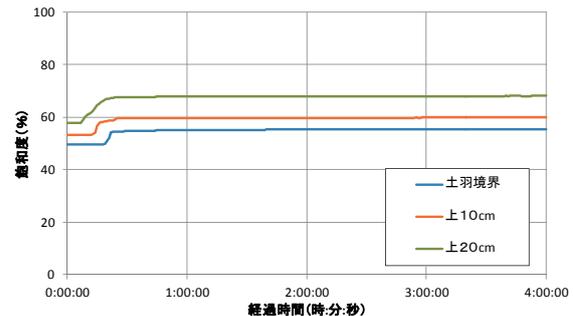
(ケース1：20mm/h)



(ケース2：100mm/h)



(ケース3：100mm/h)



(ケース4：100mm/h)

図-5 土羽部（のり尻側）の飽和度の変化状況

ケース2の変状状況を見ると碎石の排水層の効果は大きく、のり尻付近の水位上昇が抑制されている。ただし、すべり的な崩壊は抑制されているが、山砂のような侵食しやすい材料では施工上生じるムラや上方からの表流水などの影響による表面侵食は生じており、これらへの対応が必要と考えられる。

図-5に、例として各ケースの土羽部ののり尻側に設置した土壤水分計の飽和度の変化状況（土羽境界面、土羽境界面から上10cm位置、土羽境界面から上20cm位置）を示す。

ケース1の飽和度の変化を見ると、2時間経過頃から急激に土羽と盛土本体の境界位置の飽和度が上昇し崩壊前には土羽全体の飽和度が80%になっており、水位上昇の傾向と一致している。

ケース2を見ると、深さ方向に段階的に飽和度の上昇が見られ、飽和度75%付近ではほぼ一律な飽和度を示し、ケース1や3のような飽和度が80%を超えて崩壊に至る状況にはならなかったことから、排水層を設けることである程度の飽和度の抑制効果はあったものと考えられる。しかしながら、比較的飽和度が高い状態となることから、流水の集中等により侵食が生じたものと考えられる。

一方、ケース4を見るとほとんど飽和度の変化が見られない。なお、ケース3ではケース1でみられた崩壊時の急激な飽和度の上昇が碎石混合土上面で発生し、土羽と盛土本体との境界では飽和度の大きな変化は見られなかった。このことは、透水性に大きな差がある境界面が水位形成の要因となっていることを表しているものと考えられる。

これらの結果を踏まえると、ケース4は碎石を混合することでのり面からの浸透が抑制されるとともに碎石のマルチング効果によりのり表面の耐侵食性も向上したものとする。ただし、のり尻付近でより水位上昇が生じた場合に崩壊性の変状が発生する可能性もあることから、ケース2のようにのり尻付近には排水対策を行うことが望ましいと考える。

4. まとめ

(1) 根系の緊縛効果について

今回の実験から、概ね3か月程度の生育期間

を経ることで、根系によりある程度の土砂を保持する効果が得られることが分かったが、十分な緊縛効果を得るためには毛細根の生育も不可欠であり、概ね1年目の生育期間を経ることが必要と考えられる。

(2) 補助工について

植生工の施工直後からのり面保護効果を有する植生基盤を構築する方法として、碎石排水層および碎石混合土を用いる簡便な補助工で、集中豪雨に対する耐降雨性が得られることが確認できた。碎石混合土は、今回の実験では崩壊および侵食に対して最も効果がある結果であったが、のり尻付近の水位上昇が生じるような状況となった場合には、崩壊が生じる危険性もある。

これらの結果を踏まえると、碎石混合土を用いるとともにのり尻部には碎石排水層を設ける複合対策を行うことが望ましいと考える。補助工については引き続き検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也、小栗ひとみ：張芝の根系発達による土砂保持効果に関する模型実験、土木学会第72回年次学術講演会講演概要集、2017.9
- 2) (一社)全国特定法面保護協会：「のり面緑化工の手引き」、p81、2006.11
- 3) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也、相川淑紀：貫入土壌硬度計測によるのり面保護工背面地盤の簡易調査手法の検討（その1：器具の構造と調査方法）、地盤工学会 第51回地盤工学研究発表会、2016.9
- 4) 加藤俊二、川添英生、佐々木哲也：盛土のり面の耐降雨性構造に関する模型実験、土木学会第73回年次学術講演会講演概要集、2018.9

加藤俊二



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム 主任研究員
Shunji KATO

佐々木哲也



土木研究所地質・地盤研究グループ土質・振動チーム 上席研究員
Tetsuya SASAKI