

JOURNAL

OF THE

JAPANESE SOCIETY

OF

REVEGETATION TECHNOLOGY

日本緑化工学会誌

第43巻/第1号

2017年8月

ISSN 0916-7439

第48回大会特集

日本緑化工学会

石炭灰のリサイクル資材を安定剤として用いた植生基材吹付工の地盤工学的安定性

小林亮太郎^{*1)}・小澤 修¹⁾・多賀谷宏三²⁾

1) 株式会社 宮崎測量設計コンサルタント Miyazaki Survey and Civil Design Co.,Ltd.

2) 高知工業高等専門学校名誉教授 Professor Emeritus, Kochi National College of Technology

摘要: 火力発電所から排出される石炭灰のリサイクル資材を安定剤として用いた植生基材吹付工¹⁴⁾において、石炭灰が基礎工の代わりとして発揮する地盤工学的安定メカニズムの研究を行った。研究方法は以下の4つである。1)破壊メカニズムを分類した2)力学特性を把握するための三軸圧縮試験を行った3)破壊メカニズムを解明するための水平引張試験を行った4)滑動現象を数値化して評価した。力学特性試験の三軸圧縮試験(UU試験)において、材齢1日で粘着力 $C=5.2 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ 、せん断抵抗角 $\Phi=19.2^\circ$ 、材齢5日で $C=23 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ 、 $\Phi=26.4^\circ$ の結果を得た。水平引張試験においては、摩擦抵抗力は、材齢0日で $2.27 \sim 4.42 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ 、材齢14日で $3.50 \sim 6.91 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ の結果を得た。さらに、力学特性試験の結果と、代表的な文献より得られた地盤定数を使用して、安定性の検討を行った。以上の結果より、地山が安定していれば1:0.6勾配までの斜面に対して緑化基礎工が無くとも滑動せず安定していることが示唆された。

キーワード: 植生基材吹付工, 緑化基礎工, ラス金網

KOBAYASHI, Ryotaro, OZAWA, Osamu and TAGAYA, Kozo: A study on shot-vegetation-spray using fly ash without seeding foundation.

Abstract: The slope stability mechanism of the shot-vegetation-spray method using fly ash as stabilizer discharged from thermal power stations without seeding foundation such as wire net was studied. Based on the classified destruction mechanism, the soil property tests and the horizontal loading tests were performed. The slope slide phenomena were evaluated on the digitization. From triaxial compression tests (UU tests), the cohesion $C=23 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, the angle of shear resistance $\Phi=26.4$ degrees in the age of material of one day and $C=5.2 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$, $\Phi=19.2$ degrees in the age of material of five days were obtained. From the tests, the friction resistance $2.27 \sim 4.42 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ in the age of material of 0 day and $3.50 \sim 6.91 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ in the age of material of 14 days were obtained. Using the property test results and the soil properties by the references, the slope stability was studied. The results of this study suggested that, the shot-vegetation-spray method using fly ash without seeding foundation can be applied to the slope of up to 1:0.6 inclination, if the natural ground slope is stable.

Key words: shot-vegetation-spray method, seeding foundation, wire nets.

1. はじめに

近年、火力発電所から排出される石炭灰のリサイクル品等を使用することでラス金網張工やネット張工等の緑化基礎工を省略できる工法が開発され、普及してきている。本工法は、石炭灰をリサイクルし、安定剤として使用しており、主な成分は硫酸アルミニウム・硫酸カルシウム・シリカ粉末である。これら成分が水和反応をおこしてエトリンサイト等の生成物ができ、その生成物が侵食防止剤としてバーク堆肥を主材料とする植生基材を安定させることを特徴としている。しかし、吹付した植生基材がラス金網等の緑化基礎工を省略しても法面に定着する過程のメカニズムがこれまで解明されていなかった。そのため、法面勾配や地山の状態によって緑化基礎工

が省略できる場合と、そうでない場合の区別は経験に頼るしかなく、現場で混乱を招く原因となっている。

ラス金網を省略した植生基材吹付工の植生基材が破壊される場合、ほとんどの原因は吹付施工した植生基材が滑動することが原因である。そこで今回、石炭灰のリサイクル資材を安定剤として用い、バーク堆肥を生育基盤材とする植生基材吹付工(工法名:アルファグリーン緑化吹付工法)¹⁴⁾について、ラス金網がなくても植生基材が滑動しない斜面勾配の範囲を明らかにすることとした。

試験としては、力学特性を明らかにするための三軸圧縮試験と、岩石との摩擦抵抗力を明らかにするための水平引張試験の2種類を実施した。試験で得られた数値を用いて、斜面での安定性を検討した。

* 連絡先著者 (Corresponding author) : 〒781-0270 高知市長浜 1636-1 E-mail : kobayashi_r@globe.ocn.ne.jp

2. 吹付工の滑動パターン

2.1 植生基材吹付工が破壊されるメカニズム

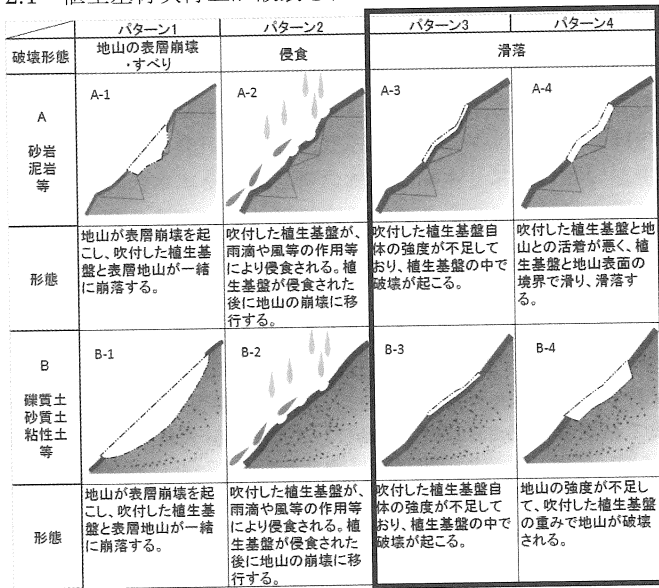


図-1 植生基材吹付工の破壊形態と本研究の対象

Fig.1 Destruction patterns of shot-vegetation-spray and the object of this study(patterns 3and4 to be studied)

植生基材吹付工が施工された後に破壊されるメカニズムは、吹付した植生基材の滑動、降雨や動物の踏み荒らし、地山の崩壊等であることがこれまでの施工実績で明らかにされている。それらの破壊形態を図-1に示す。

パターン1は植生基材が滑動・破壊されることが原因と言うよりも、植生基材の下にある地山の強度の問題である。また、パターン2は物理的風化や降雨を要因とするものであるため今回の研究からは除外する。今回の研究対象は、図-1のうち太枠で囲った部分であるパターン3および4とする。

3. 試験方法および試験ケース

3.1 材齢1日と材齢5日における植生基材の力学特性試験

3.1.1 試験方法

植生基材中の破壊（パターン3）および植生基材と土砂との境界滑動における破壊（パターン4のB-4）の有無を考察するため、植生基材自体の力学特性である粘着力Cと、せん断抵抗角 Φ を明らかにすることを目的として、植生基材の三軸圧縮試験(UU試験)を行った。供試体は植生基材吹付工で使用材料（バーク堆肥・安定剤・種子・肥料を混合）のみを用いて、直径55mm、高さ110mmの供試体を材齢1日と5日においてそれぞれ拘束圧3種類で試験するため、6体作成した。

植生基材吹付工は、植物の根系が強度を増加させることが

表-1 三軸圧縮試験供試体材料配合

Table 1 Mix proportion of test piece for triaxial compression test (unconsolidated-undrained)

材料	名称	供試体1個あたりの配合
バーク堆肥	コンバックスソイル	0.318L
安定剤	アルファグリーン	4.77g
速効性肥料	オール15(窒素・リン酸・カリウムをそれぞれ15%以上含む)	1.908g
遅効性肥料	ハイコントロール085(窒素10%・リン酸18%・カリウム15%以上を含む)	1.272g
清水	河川水	0.016L
種子5種類	トールフェスク <i>Festuca arundinacea</i> Schreb. クリーピングレッドフェスク <i>Festuca rubra</i> L. var. <i>rubra</i> パミューダグラス <i>Cynodon dactylon</i> (L.) pers. ヤマハギ <i>Lespedeza bicolor</i> Turcz. メドハギ <i>Lespedeza cuneata</i> (Dum. Cours.) G. Don	0.953g

知られている¹⁾。また、施工後14日経過すれば種子が全て発芽を開始したという研究もあるため¹⁰⁾、本研究では植物が発芽するまでの間の、根系のせん断抵抗力が関係しない施工直後～14日までの短期間の現象を対象とする。供試体は不飽和状態で、さらに圧密させない状態および載荷中非排水状態であることから、非圧密非排水試験を行うこととした。

3.1.2 試験ケース

力学特性試験の試験ケースについては、養生期間における強度の違いを確認するため、1)1日 2)5日の二つに設定した。それぞれの材齢においてモール・クーロンの破壊線を描く目的で、2 kN/m²、20 kN/m²、40 kN/m²の3種の拘束圧で三軸圧縮試験を行った。試験方法はJGS 0521-2009⁴⁾に従った。供試体の材料および配合を表-1に示す。

3.2 材齢0日と材齢14日における水平引張試験

3.2.1 試験方法

本試験は、植生基材と岩盤の境界で滑るパターン(図-1のA-4)の安全性を検討するため、実際の現場斜面において、本工法の斜面勾配に対する滑動安定性と物性を明らかにすることを目的とする。

図-2に示すように、現場で採取した縦200×横200×厚さ50mm程度の大きさの岩石を植生基材が吹付けられるモデル地山として用い、岩石を床において水平に保ち、その上に内径90mm、高さ50mmの塩化ビニールパイプを岩石に対して垂直方向に固定し、塩化ビニールパイプ内部に岩石に対して垂直方向に植生基材を吹付け、供試体を作成した。吹付

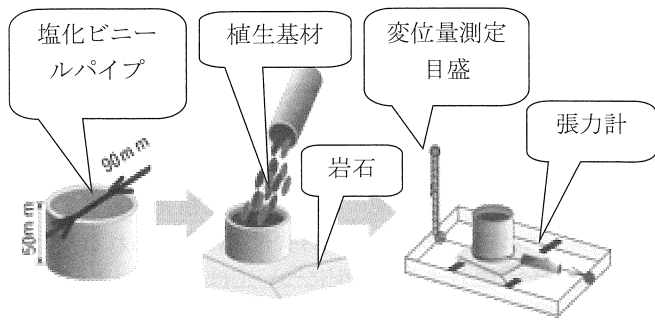


図-2 水平引張試験の供試体作成方法および荷重・計測方法
 Fig.2 Test piece preparation, loading and measurement for horizontal loading test

後供試体を含む塩化ビニールパイプをばねばかりを介して水平に引っ張り、供試体が滑動する時の力を3回測定して平均し、滑動に抵抗する摩擦抵抗力とし、同時にその際の変位を計測した。

なお、試験で測定した摩擦抵抗力は塩化ビニールパイプと植生基材の両方の摩擦抵抗力が測定されるため、あらかじめ塩化ビニールパイプ単体での摩擦抵抗力を測定しておき、供試体を含む塩化ビニールパイプ全体の摩擦抵抗力から引くことによって、吹付した植生基材単体の摩擦抵抗力とした。試験に使用する供試体は、通常の現場施工と同じ条件にするため、バーク堆肥・安定剤・肥料・種子等を混合したものを使用した(表-1)。

3.2.2 試験ケース

供試体を滑らせて摩擦抵抗力を測定するため、6種類の岩石を使用した。使用した岩石の種類は、河川敷から採取した砂岩3種類と、高知県の四万十帯の砂岩3種類の合計6種類である。材齢は、0日と14日とした。

4. 試験結果および考察

4.1 力学特性試験結果

三軸圧縮試験で得られた破壊包絡線を図-3に示す。

図-3より、吹付した植生基材は材齢1日で粘着力 $C=5.2$

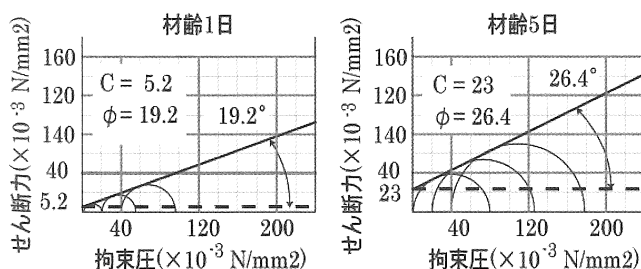


図-3 三軸圧縮試験結果
 Fig. 3 Results of triaxial compression tests

表-2 代表的な地山と三軸圧縮試験結果の強度定数

Table 2 Soil properties by tests and after references

土質種類	C ($\times 10^{-3}$ N/mm ²)	Φ (°)
礫質土 ¹³⁾	27.9	29.0
飽和した砂 ¹²⁾	0.7	28.5
黒ボク土 ³⁾	3.8	34.3
シルト ⁸⁾	3.0	32.5
マサ土 ⁹⁾	1.1	28.0
粘土 ⁶⁾	9.0	9.7
試験結果材齢1日	5.2	19.2
試験結果材齢5日	23	26.4

$\times 10^{-3}$ N/mm² せん断抵抗角 $\Phi=19.2^\circ$ であり、材齢5日にに対し $C=23 \times 10^{-3}$ N/mm² $\Phi=26.4^\circ$ であるという結果が得られた。これより、材齢5日のケースでは材齢1日に対し、粘着力は4.42倍、せん断抵抗角は1.38倍になっている。しかし実際の植生基材の厚みは50mm程度であり湿潤密度も 5kN/m^3 と小さく、拘束圧が低い。一般に、低拘束圧部分についてはモール・クーロンの破壊基準が成り立たず、粘着力Cは小さくなりせん断抵抗角 Φ は大きくなるとされている(2,5,11)。三軸圧縮試験の結果の地盤定数と代表的地山の文献値を表-2に示す。せん断抵抗角 Φ は粘性土地山を除けば大きなバラツキは無いが、粘着力には差が見られる。また、材齢5日の強度定数は礫質土のそれに近い。

4.2 水平引張試験結果

水平引張試験の結果を表-3に示す。

供試体が材齢0日の場合、摩擦抵抗力は $2.27\sim 4.42 \times 10^{-4}$ N/mm²であり、供試体の材齢が14日の場合、摩擦抵抗力は $3.50\sim 6.91 \times 10^{-4}$ N/mm²の間である。弾性領域では変位がほとんど起こらず、塑性領域では急激に変位が増加した。三軸圧縮試験と水平引張試験の結果をまとめたものを図-4に示す。

三軸圧縮試験は材齢1日と5日のものであり、水平引張試

表-3 水平引張試験結果

Table 3 Result of horizontal loading test

供試体 No.	岩石の種類	摩擦抵抗力 (10 ⁻⁴ N/mm ²)	
		材齢0日	材齢14日
		カッコは標準偏差	カッコは標準偏差
1)	河川敷砂岩①	3.50 (0.21)	3.50 (0.26)
2)	四万十帯砂岩①	3.62 (0.13)	4.19 (0.15)
3)	河川敷砂岩②	2.27 (0.46)	4.42 (0.43)
4)	四万十帯砂岩②	4.42 (0.38)	6.91 (2.08)
5)	河川敷砂岩③	2.95 (0.40)	5.10 (1.08)
6)	四万十帯砂岩③	2.94 (0.12)	5.78 (0.88)

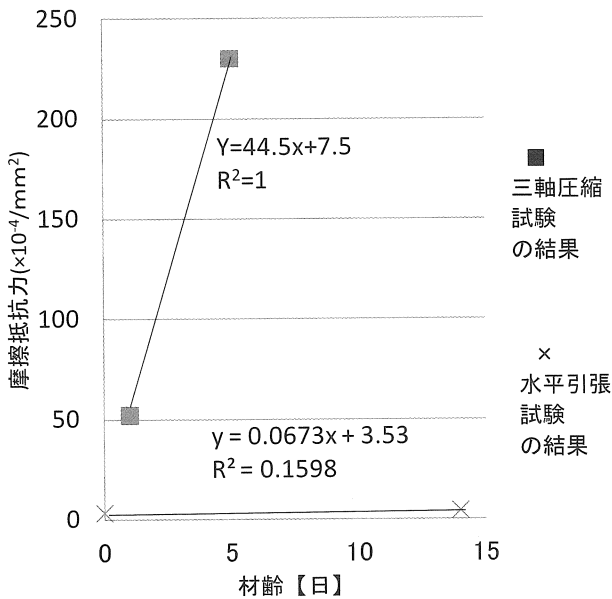


図-4 三軸圧縮試験と水平引張試験における、材齢、摩擦抵抗力の関係

Fig. 4 Relation between age of material and horizontal resistance

験は材齢0日と14日のものである。図-4に示した一次回帰式から材齢0日の強度を推定すると、粘着力Cは $7.5 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ となり約2倍の強度となることが推定される。

4.3 現場への適用性の検討

安定性を検討するにあたり、三軸圧縮試験結果と水平引張試験結果を用いて、植生基材内部の自重による滑動安全率を検討するために、のり面勾配・滑動安全率(粘着力とせん断抵抗角による滑動抵抗力との和と、自重による滑動力との比)の関係を式1より検討する。

$$F_s = \frac{CA + W \cos \alpha \tan \Phi}{W \sin \alpha} \quad \text{(式 1)}$$

F_s : 滑動安全率 C : 粘着力(N/mm²)

A : 植生基材と地山との境界面の単位幅あたり面積(mm²)

W : 植生基材の単位幅あたり重量(N/mm)

α : のり面勾配(度) Φ : せん断抵抗角(度)

また、植生基材は破壊されても周辺に直ちに大きな被害を与えないことから、植生基材中で安定するための滑動安全率F_sは1.2として以下の検討を行うこととした。1.2とした理由は、斜面安定工における計画安全率は1.2程度が多いことや、吹付に使用される安定剤の種類、種子や肥料の添加量は現場によって違うこと、施工後の降雨によって吹付した植生基材が湿潤状態になり強度が下がること等、不確定要素が

大きいためである。

のり面勾配については、1 : 1.0よりも緩い勾配の場合は種子散布工や客土吹付工が用いられることが多い。植生基材吹付工は通常1 : 0.5よりも緩勾配に適用されるが、実際の施工では法面に凹凸があるために1 : 0.3程度になる箇所がある。一方、1 : 0.3よりも急勾配の場合、最初に植物が定着するまでに時間がかかるために植生基材吹付工は用いられることはほとんどない。これより、勾配については1 : 1.0~1 : 0.3の間で検討する。

4.3.1 植生基材中の滑動に関する検討

得られた植生基材の強度定数より、のり面勾配と、滑動安全率F_sの関係を求めると図-5が得られる。なお、植生基材の厚さは一般的な吹付厚さとして50mmとした。図-5より、いずれの材齢においても、滑動安全率F_s=1.2を満たしており、1 : 0.3の勾配でも植生基材の中で滑動することはないと考えられる。また、材齢1日よりも材齢5日の方が滑動安全率F_sは約6倍となっている。これは、材齢1日の供試体よりも材齢5日の供試体の方が粘着力Cは約4.42倍、せん断抵抗角は約1.38倍に強度が増加したことに起因する。これらの結果より、導入した草木が発芽するまでの施工後14日程度までは吹付した植生基材が経年変化等で滑動することがないと考えられる。ただし、三軸圧縮試験の結果は実際の現場よりも高拘束圧での結果であるので、実際のF_sは約1/2となることが予見されるが、その場合でもF_sが1.2を下回ることはない。滑動安全率F_sは、粘着力Cによる滑動抵抗力がせん断抵抗角によるものよりも約50~500倍となり、粘着力が支配的である。

4.3.2 植生基材と土砂との境界滑動における破壊の検討

土砂や砂質土等において、植生基材直下の地山が破壊され、滑動する場合を検討する(図-1のB-4)。三軸圧縮試験の結果から、植生基材が斜面から下方向へ滑る力に対して、吹付した植生基材直下の土砂がどのくらいの性状を持っていれば安定しているかを、同様にF_sで検討する。

地山の条件は、現場ではいろいろな場合が想定されるが、表-2に示した数値を使用する。のり面勾配、滑動安全率F_s、土砂の種類を式1より求め、図示した結果が図-6である。

図-6より、今回検討した地山のうち、礫質土、粘土、黒ボク土、シルトの場合では、式1より求めたF_sが1.2よりも大きくなるため、勾配が1 : 0.3までは地山も崩壊せず、植生基材は滑動しないと考えられる。

一方、今回検討した土質のうち、飽和砂およびマサ土の場合は、勾配が1 : 1.0~1 : 0.3の場合いずれも地山が破壊され、地山と植生基材と一緒に滑動すると考えられる。

4.3.3 植生基材と岩盤の境界で滑るパターンに関する検討

測定数値をもとに、式1を用い、現場への適用性を検討した

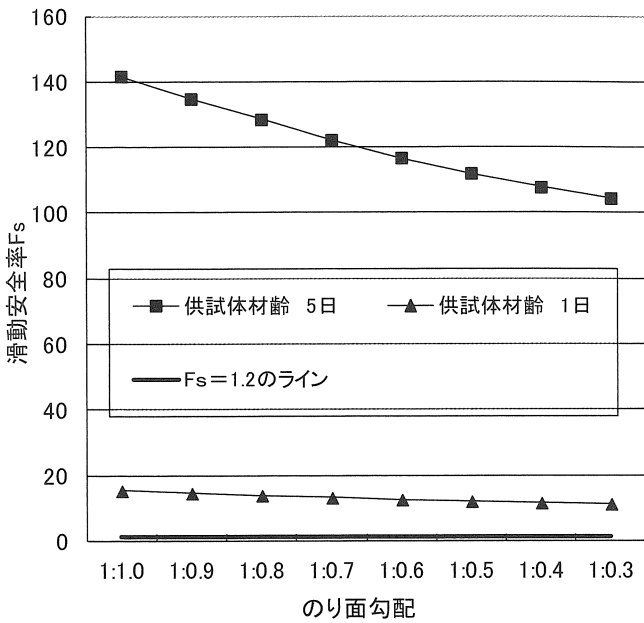


図-5 のり面勾配, 滑動安全率 F_s , 材齢の関係
 Fig. 5 Relation between slope inclination and slope stability factor to age of material

結果を図-7 に示す。図-7 の凡例に示した 1)から 6)は、表-3 の供試体 No.を示す。

材齢 0 日, 14 日の場合いずれの勾配においても供試体 3)

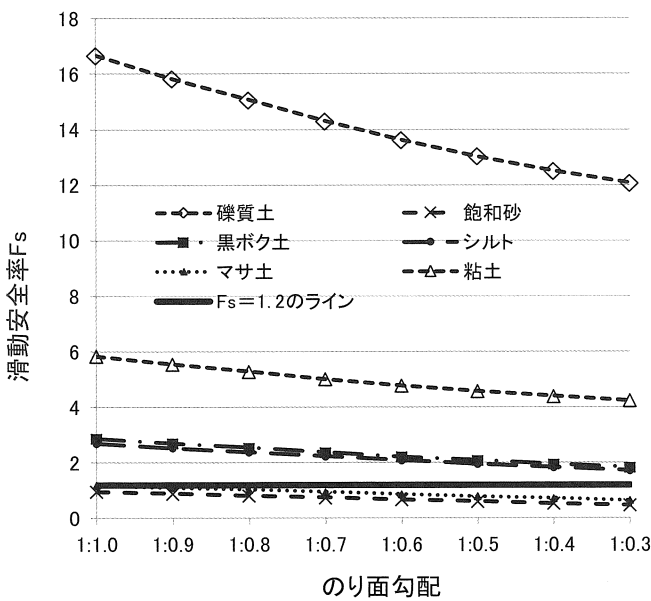


図-6 のり面勾配, 滑動安全率 F_s , 土砂の種類の関係
 Fig. 6 Relation between slope inclination and slope stability factor and kind of soil

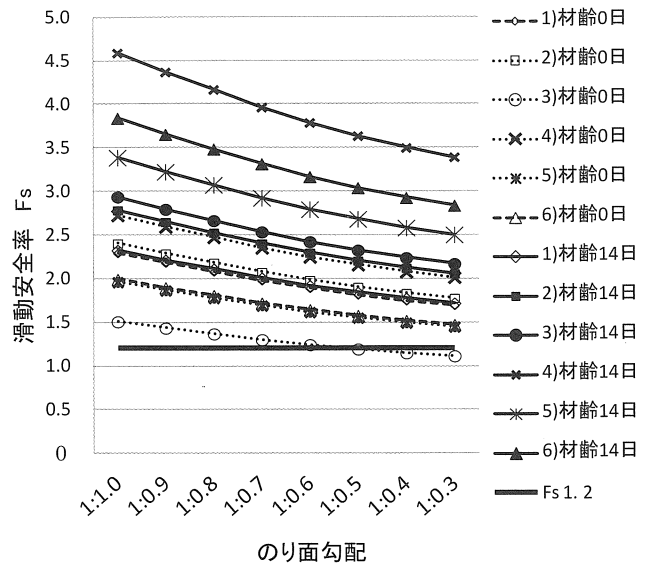


図-7 岩盤への適用性 (のり面勾配, 滑動安全率 F_s , 材齢の関係)

Fig. 7 Relation between slope and slope stability factor to age of material and applicability to slope material

以外は滑動安全率 F_s が 1.2 を超えているので、現場で吹付施工しても法面から滑動しないことが示唆される。しかし、供試体 3)の材齢 0 日の場合のみ、勾配が 1:0.5~0.3 になると滑動安全率 F_s が 1.2 を下回っている。よって、現場へ適用する際は安全を見越して勾配は 1:0.6 までとする必要がある。これは、実際の現場での現象と一致する。

また、養生期間が長い方が摩擦抵抗力は約 1.0~2.5 倍程度と増加し、 F_s は 1.0~2.0 倍になる。

5. 結論と今後の課題

植生基材の中で滑動が起こる場合と土砂と植生基材との境界付近で滑動が起こる場合について、力学特性試験として植生基材の三軸圧縮試験(UU 試験)により粘着力 C とせん断抵抗角 Φ を求め、滑動安全率を検討した。岩盤と植生基材の境界で滑動が起こる場合には水平引張試験を行って安定性を検討した。本研究において得られた結論は以下の通りである。

5.1 植生基材の中で滑動が起こる場合

5.1.1 力学特性試験の結果

植生基材の高拘束圧下での力学特性は材齢 1 日で粘着力 $C=5.2 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ せん断抵抗角 $\Phi=19.2^\circ$, 材齢 5 日で粘着力 $C=23 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ せん断抵抗角 $\Phi=26.4^\circ$ であった。材齢 1 日のものと 5 日のものを比較すると粘着力が 4.42 倍になりせん断抵抗角は 1.38 倍になった。三軸圧縮試験の結果は実際の現場よりも高拘束圧での結果であるので、実際の F_s は約 1/2 になるが、その場合でも F_s が 1.2 を下回

ることではない。

5.1.2 植生基材の中で滑動が起こる場合の検討

力学特性試験結果をもとに、滑動安全率、材齢、のり面勾配との関係を検討したところ、現場での適用範囲として設定した滑動安全率 $F_s=1.2$ に対して十分に強度があり、 $1:0.3$ の勾配でも吹付した植生基材の中で滑動することはないと考えられる。

5.2 土砂と植生基材との境界付近で滑動が起こる場合

力学特性試験結果をもとに、文献で示された代表的な土砂の土質定数について滑動安全率 F_s 、土砂の種類、のり面勾配との関係を検討した。土砂の粘着力 C が $1.1 \times 10^{-3} \text{ N/mm}^2$ を下回ると、勾配が $1:1.0$ よりも急勾配のとき地山である土砂が滑動し、それと共に植生基材が滑動することがある。滑動安全率 F_s に与える影響は、せん断抵抗角 Φ よりも粘着力 C の方が約 $50 \sim 500$ 倍大きい。

5.3 岩盤と植生基材の境界で滑動が起こる場合

5.3.1 水平引張試験の結果

供試体の材齢0日の場合は、摩擦抵抗力は $2.27 \sim 4.42 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ であった。供試体の材齢14日の場合は、 $3.50 \sim 6.91 \times 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ であった。材齢0日のものより材齢14日の方が約 $1.0 \sim 2.5$ 倍摩擦抵抗力が大きい。

5.3.2 岩盤と植生基材の境界で滑動が起こる場合の検討

水平引張試験結果をもとに、滑動安全率 F_s 、材齢、のり面勾配との関係を検討したところ、一部の岩盤で勾配が $1:0.5 \sim 0.3$ になると、滑動安全率 F_s が 1.2 を下回るため、注意を要する。これは、実際の現場における現象と合致する。

5.4 今後の課題

- 1) 水平引張試験における、多様な地山（表面の凹凸や、泥岩・モルタル吹付面・シラス・粘土等の土砂）への適用性の検証が必要である。
- 2) 材齢0日の時、力学特性試験による粘着力 C の方が、水平引張試験による摩擦抵抗力よりも約2倍となっている。これは、力学特性試験の破壊が植生基材中で起こっており、植生基材の繊維の強度がプラスに働くのに対し、水平引張試験での破壊は岩盤等の表面と植生基材との境界面で起こるために植生基材の繊維の力が働かないことが理由の一つとして考えられる。上記の他、力学特性試験で使用した三軸圧縮試験機の拘束圧が $2 \text{ kN/m}^2 \sim 40 \text{ kN/m}^2$ の間であり、比較的高圧での拘束圧でしか試験できないことも理由として考えられる。文献^{2,5,11)}によれば、低拘束圧下での三軸圧縮試験では粘着力 C が小さく出ることが示唆されており、実際の現場では拘束圧が 0.25 kN/m^2 であることを考えると、実際は三軸圧縮試験の C は試験結果よりも小さいことが考えられる。
- 3) 様々な気象条件や現場条件（降雨量や湧水等）での適用性の検証が必要である。

現場での適用性をより詳細に検討していくためには、特に今後は上記2), 3)を検証していく必要があると考える。

謝辞: この研究を行うにあたり、有限会社アルファグリーンより安定剤『アルファグリーン』の材料提供を頂いた。これにより植生基材に関する技術力向上に寄与できたと考えられる。有限会社アルファグリーンに対し深甚なる謝意を表します。

引用文献

- 1) 阿部和時 (1998) 根系の引き抜き抵抗力によるせん断補強度の推定. 日本緑化工学会誌, 16(4): 37-45.
- 2) 福島伸二・望月美登志・香川和夫・石井武美 (1989) 砂の低拘束圧領域における超大型三軸圧縮試験. 土質工学会論文報告集, 29(1): pp. 187-194.
- 3) 東山勇・音田力・田朋靖・大内明・下回伸 (1998) K_0 圧密状態における月山黒ボクの剪断特性. 山形大学紀要(農学), 10(3): 505-513.
- 4) 地盤工学会編 (2009) 地盤材料試験の方法と解説. 丸善出版, 1156pp.
- 5) 韓国城・佐藤剛司・龍岡文夫・田村重四郎 (1982) 低拘束圧下における不飽和砂の強度変形特性. 生産研究, 34(9): 35-38.
- 6) 森正一・林親生 (2005) 泥岩砂岩起源の崩積土のすべり面 (鳥取層群善寺層). 日本地すべり学会誌, 42(4): 366-367.
- 7) 社)日本道路協会 (2009) 切土工・斜面安定工指針. 社)日本道路協会, 521pp.
- 8) 西村友良・豊田浩史・和栗将貴 (2008) 静的に締固めた非塑性シルトの圧縮特性および強度特性に与える高サクシンの影響. 地盤工学ジャーナル, 3(4): 321-329.
- 9) 島重章 (1995) 風化花崩岩土の工学的性質と風化度区分について. 広島工業大学研究紀要, 29: 91-102.
- 10) 篠原明日香・小林達明・浅野義人 (2001) 切土軟岩のり面に出現する木本植物の実生発生条件に関する実験的研究. 日本緑化工学会誌, 27(1): 38-43.
- 11) 塚本将康・斎藤由紀子・石原雅規・佐々木哲也 (2012) 砂質堤防のせん断強度特性に関する低拘束圧三軸圧縮試験. 土木学会学術講演会, 67: 685-686
- 12) 長岡技術科学大学. “辻岡孝彦・豊田浩史 (2009) 豪雨や地震時における不飽和斜面の強度評価”. 長岡技術大学ホームページ. <http://geotech1.nagaokaut.ac.jp/htmlinsert/ken05404.pdf> (参照: 2017年6月14日).
- 13) 林野庁. “データの整理分析”. 林野庁ホームページ. <http://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/pdf/detaken23.pdf> (参照: 2017年6月14日).
- 14) 社)先端建設技術センター. “NETIS プラス”. 社)先端建設技術センターホームページ. <http://www.netisplus.net/NETISPLUSDB/NETISPLUSDB/detailpr?TECHID=120102> (参照: 2017年6月14日).

(2017年7月7日受理)