

## 研究ノート Research Note

## 緑化の居酒屋談話その3 「覆ってしまえばいい」の功罪の巻

田中 淳

国土防災技術株式会社 (jun-tanaka@jce.co.jp)

みなさま、その3を記述することになりました。若手技術者からのファンメールも届きました。少しは意味のある居酒屋談話になっているようでうれしいです。前2回では、1970年代以前に行われていた3種類の緑化と表面侵食防止の研究のうち、「植被率と侵食の関係を整理した試験」そして、「侵食防止剤の効果確認試験」について記述しました。今回は、「森林内のリター等の堆積物にならって被覆物を設置し侵食量の関係を整理した試験」についてまとめます。

この内容は、2023年の第54回日本緑化工学会大会の研究集会4、「高強度の降雨に対応する斜面緑化を考える(II)」の話題提供の一部を活用しています。

## 名を伏工という

中島<sup>6)</sup>らは、山腹工の形状によって侵食土量が異なることを示しました(表-1)。侵食土砂量多少は、全体を覆う粗朶伏工<積苗工<水平溝工<カヤ筋工<普通植栽<裸地という関係性を整理しました。侵食防止のためには、粗朶伏工のように初期に地表面全体を覆うことの重要性を示しました。

このような治山技術の中で斜面全体を覆い侵食を防止する方法は、伏工と呼ばれています。伏工は、降雨、凍上等による表土の侵食を防止し、植生の早期導入のため種子の発芽・生育環境の改善を図ることを目的とした<sup>7)</sup>ものです。現在では表-2のように4種類の伏工が記述されています。もっとも、「そだ」はほぼ実施されていないと思います。みなさん「そだ(粗朶)」を知っていますか?自然の山に繁殖しているヤナギなどの直径数cmの木の枝を集めて束状にしたもので、のり面緑化の標準となっている道路土工指針には伏工やそれに類するものは記載されていません。治山緑化と道路緑化ではその成り立ちから少し仕様が異なります。「山地治山事業は、治山施設の適切な配置と森林の整備により、災害の防止と軽減を図るとともに水源のかん養に資することを目的」<sup>8)</sup>とし、道路は(道路のり面)の機能強化を目的に行われているため当然ともいえます。目的が異なれば、必要とされる機能、効果も異なります。道路土工指針に準拠してすべての緑化が評価される現状は考え直す必要があるでしょう。

## 伏工の被覆密度や置き方

滝口<sup>10)</sup>らは、粗朶を模した伏工の材料とした場合の、配置方法別の侵食防止効果について材料および、置き方(たて方向、よこ方向)および被覆密度を変化させて土壌の流出量を測定し、それらの値が、降雨量、傾斜などといいかに関連するかを実験的に解析しています(図-1)。

被覆割合が30%でも裸地の50%以下の流出土量となること。流出土量は、降雨強度大なほど、傾斜急なほど多量であるが、被覆の度合が多くなると、流出土量はいちじるしく少なくなること。被覆材料の置き方では縦と横との差はほとんど認められないこと。などを示しています。

山寺<sup>13)</sup>は、伏工の材料としてわらむしろや当時使用されていた各種ネットと侵食防止能との関係を整理(図-2)しました。ここで使用された「わらむしろ」は、現在の「わら伏工」だと思われます。本来「わらむしろ」はわらを布のように編み込んだものと想像していますが、わかりません。誰か教えてください。このようなわらむしろは、隙間もほぼなく、その重量もかなり重くなります。苗木の周辺を保護(雑草の発芽生育防止)するマルチングといった用途としては使用できますが、種子の発芽を期待する資材としては不適と思われます。この試験報告のように、被覆率95%や、100g/m<sup>2</sup>といった素材を製造することは困難です。「わら伏工」、および本試験の「わらむしろ」は、わらを編み込まず、滝口の試験のようにスダレ状に編んだものと想定されます。時代が異なると、用語の使い方も変わってくるのかもしれません、再定義する必要を感じます。

試験結果は、ネットの被覆率と流出土量の割合として整理されています。室内実験、野外実験共にネットの被覆率が高くなると、流出土量が減るという結果となっています。ネットは縦糸と横糸によって形成されますが、横糸の侵食防止効果が高いこと、太すぎず、細すぎず、適切に地山に密着する糸径がよいとしています。もちろん糸の素材によっても変わることです。また効果がもっとも高かったわらむしろのわらの重量の違いをまとめ、わらの重量がほぼ500g/m<sup>2</sup>になるとほとんど流出は起こらないとしています。

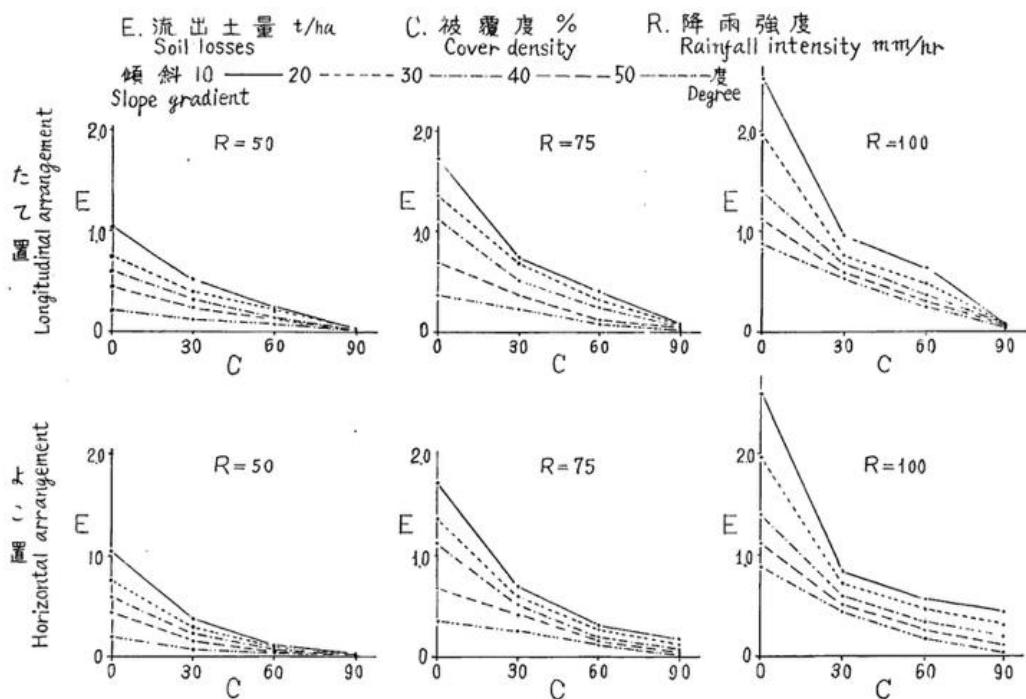
現在一般的に利用される植生シート、植生マットは、市場単価<sup>3)</sup>にて規格が決まっています。これらの商品は施工後に種子を付着させた紙や不織布などがほぐれ、縦横の糸が残る状態となります。測定したことはありませんが糸および肥料袋の被覆率は10や20%程度でしょう。この数字を図-2のグラフに当てはめると、決して侵食防止効果が高いものといえません。繰り返しますが、伏工の目的は、降雨、凍上等による表土の侵食を防止し、植生の早期導入のため種子の発芽・生育環境の改善を図ることなのです。春先に早期全面緑化を目的とした種子配合にて植生シートを設置したならば、2週間で発芽生育し、一定の効果を示すでしょう。コミュニティーレター2号の緑化の居酒屋談話で示したように、芝草がごく小さい時点(施工後15~20日の幼植物期)でも相当な効果

表-1 試験工種と侵食土砂量、植生成長状況との関係<sup>6)</sup>

			工種とその大小関係								
侵食土砂流出量			粗粒伏工 < 積苗工 < 水平溝工 < カヤ筋工 < 普通植栽 < 裸地								
植生	植栽木	材積	〃	>	〃	>	〃	>	〃	>	〃
		根元直徑	〃	>	〃	>	〃	>	〃	>	〃
		樹高	〃	>	〃	=	〃	>	〃	>	〃
	主として下層、植生による被覆度		〃	≥	〃	>	〃	>	〃	>	裸地 > 普通植栽

表-2 伏工の種類（一部加筆）<sup>2)</sup>

種別	材料	適用箇所
そだ伏工	そだ	凍上等による階段間斜面の侵食や崩落を防止する必要がある場合で、かつ止め杭等が打ち込みやすい箇所
むしろ伏工	むしろ	凍上等が著しい斜面、寡雨乾燥地帯、表土が軽くて荒い地帯
わら伏工	わら	斜面が比較的緩やかな寡雨地帯、表土が軽くて荒い地帯
二次製品	むしろ 化学繊維類等 のシート、マット	主に以下のような種類があり、材料の特性に合わせて適用する。 植生シート伏工：種子、肥料が付着した植生シート（不織布、化繊ネット等）を、地表に密着させながら伏せていく工法である。むしろ伏工又はわら伏工に類似して比較的条件の良いところに用いる。 植生マット伏工：種子、肥料、保水材及び有機質資材を装着した植生マットを、アンカーピン等で地表に留めつつ伏せていく工法である。植生シートより厚く強度も強いので、保湿効果や侵食防止効果が大きいため、比較的条件の悪いところに用いる。 自然侵入促進型植生マット工：生態系保全の観点から、施工地近傍に自生している植物の種子を捕捉する工法である。植生の成立に長期間を要する等の短所もあり、その使用には現地の状況（崩壊規模、緊急性等）を考慮する必要がある。

図-1 流出土砂量<sup>10)</sup>

がある<sup>4)</sup>ためです。一方、晚秋から冬の施工時はどうでしょう。紙や不織布がほぐれ縦横の糸が多くなった状態つまり、被覆率が低い状態で伏工としての効果が十分に発揮されるでしょうか。伏工を設計・施工する場合には、このような条件を十分配慮して、使用する二次製品を決定する必要があるのです。

誰が思いついたのか伏工に種子を入れるなんて

伏工はその名の通り、斜面実播工の後に、地表面を覆うものです。マルチング材といつてもよいでしょう。伏工を実施する前に行う斜面実播工は、(1)人力によって種子と肥料等の緑化資材を面状に播くもの。(2)溝を切った部分に土と肥料を

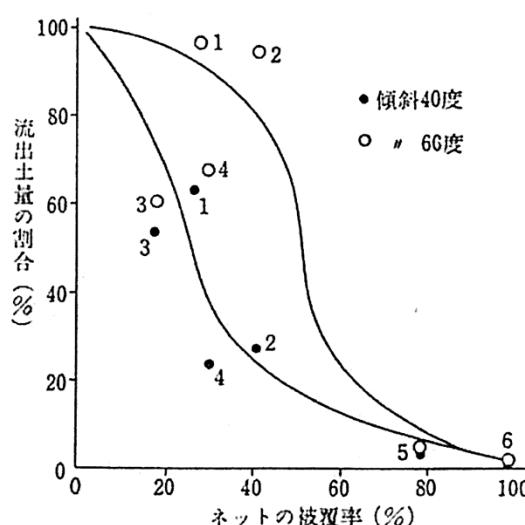
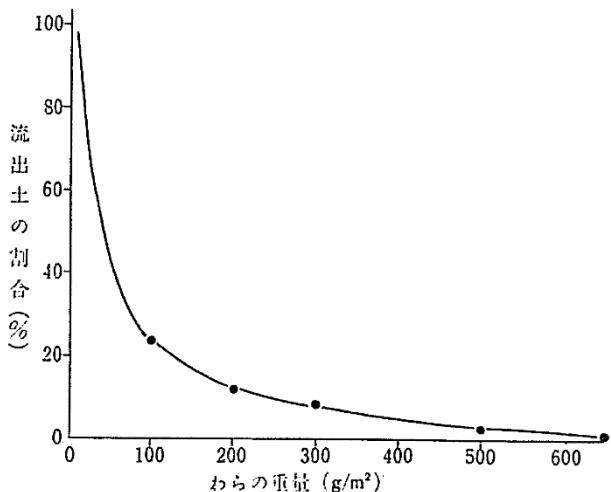


図-1. ネットの被覆率と流出土量の割合

- |                  |                |
|------------------|----------------|
| 1. 和製エロージョネット    | 2. ダイオーネット#600 |
| 3. エロージョネット(米国製) | 4. モヘヤーネット     |
| 5. テンロック         | 6. わらむしろ       |

図-2 ネットの被覆率と流出土量の割合<sup>13)</sup>図-3 むしろのわら重量と流出土の関係(傾斜45°)<sup>13)</sup>

入れ、その上に種子を播くもの。(3)種子と肥土を混合したものを溝を切って播くもの。の3つ<sup>7)</sup>があります。

ここで誰かが気づいてしまったのですね。伏工に種子付ければ楽じゃないかと。どうせ伏工を張る手間はあるのだから。そして肥料も付けられる。なんなら土も入れてと考えた人がいるのです。そう、植生シート、植生マットの誕生です。

1962年8月に吉村敏雄さんが種子付むしろ(商品名:ロンベル)を開発し、特許取得し使用した<sup>8)</sup>と記述されています。以後多くの植生シート、植生マットが開発、販売、施工されるようになっていきます。このシートやマットの歴史についても興味深いですが、適任者は私ではないでしょう。

#### 被覆量の最適解は

岩川<sup>2)</sup>は、「現地における草生をみると、良好な被覆を保っているところでは乾燥重量で約200g/m<sup>2</sup>以上、中程度で

100g/m<sup>2</sup>前後以上、緑化不良なところでは0~30g/m<sup>2</sup>程度の生育量である。ちなみに草生地・採草地などの例をみると、ススキなどの長草型草地では300g/m<sup>2</sup>、ワラビ型草地では130g/m<sup>2</sup>、短草型草地では50g/m<sup>2</sup>、荒廃型のところでは20g/m<sup>2</sup>などであるが、施工地における緑被形成の変化と、かなり対応することがうかがえる。また、緑化工における被覆材の使用量をみると、被覆用ムシロ類では約300g/m<sup>2</sup>、斜面混播工における被覆ワラでは400g/m<sup>2</sup>、吹付工におけるファイバー類では150~200g/m<sup>2</sup>程度である。」と報告しています。

小橋<sup>4)</sup>は、立川ロームの入った土槽を綿状の被覆材で覆いその上に切りワラを200g/m<sup>2</sup>、400g/m<sup>2</sup>、600g/m<sup>2</sup>散布と、散布しない0g/m<sup>2</sup>を比較試験しています。切りワラでは量が増すほど浸透能が増え、地表面に届かず被覆物内を流出する水が増えます。切りワラ600g/m<sup>2</sup>では20%程度が地表面に到達しないと想定されると報告しています。600g/m<sup>2</sup>とは、形状は異なるがトルフェスクが繁茂した状態550g/m<sup>2</sup>相当に近い値としています。

古野<sup>14)</sup>は、ススキの地域性種子を活用した緑化資材の比較試験を実施し、3年後のススキをはじめ侵入種の被度は、ワラ重量450g/m<sup>2</sup>未満の方が、450g/m<sup>2</sup>以上よりも高いことを報告しています。

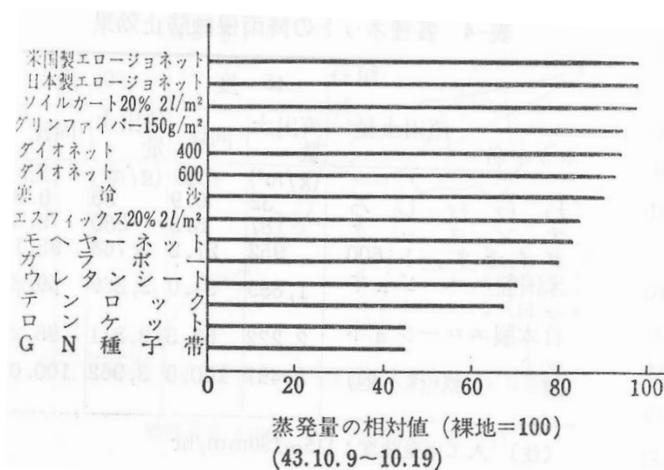
先の山寺の報告<sup>13)</sup>では、500g/m<sup>2</sup>が望ましい(図-3)としていますが、これは、侵食防止効果を報告したもので、植物の発芽生育には必ずしも最適というわけではないということでしょうか。

#### 新しい時代の発明、侵食防止用植生マット(養生マット)

時代は変わり、被覆量(重量)はそれほどなく、侵食防止効果を高めた製品が市場に出されるようになります。現在では侵食防止用植生マット(養生マット)として、植生シート工や植生マット工と同様に市場単価<sup>3)</sup>となり、一般化しています。この侵食防止用植生マットも種子が入った植生シート、マットに類するもの、種子が入っていない伏工に類する養生マットの2つのタイプがあります。

この資材は、1990年頃から山口大学<sup>9)</sup>などの研究グループが開発したものです。ポリエステル製の細い繊維をランダムに絡まるよう成形した不織布であり、不織布の厚みは数ミリといったものです。不織布を3次元的に見ると99%程度の間隙を持つため、この間隙率の高い不織布内を雨水が効果的に排出されるという機能を持っています。さらに間隙は非常に細かく降雨の雨滴が直接あたらないため、衝撃を緩和するという効果も持っています。山寺の報告<sup>13)</sup>ではむしろやネットなどを真上から見て被覆率を求めていますが、この不織布の被覆率は100%といってよいでしょう(拡大していくと何%になるのでしょうか)。平面的ではなく、立体的に大きな間隙を持つということがポイントです。

この不織布の目付量と侵食防止効果は比例関係にあるが、植生生育のことを考慮すると45g/m<sup>2</sup>が上限<sup>9)</sup>と記載されています。侵食防止効果のための被覆量を増やし過ぎれば初期発芽生育が悪化するというトレードオフの関係にあることがわかります。緑化を考える時は、覆ってしまえば良いという発想だけでは危険ということでしょうか。これは、侵食

図-4 各種被覆材の乾燥防止能の比較<sup>14)</sup>

防止材によって固めすぎてしまうと緑化が期待できなくなることと同様です。

このような不織布を使用する場合、どの程度の被覆率・量ならば植生に対して影響を与えるのか、統一した試験方法によって、効果を明確にしてもらえると使用する場合に適切な選択ができると思います。そして、伏工として使用する場合は、市場単価品の植生シート、植生マットとの侵食防止効果だけではなく、発芽阻害の影響についても示す必要があるでしょう。現在のほとんどの報告は侵食防止に関するこ<sup>11,12)</sup>とです。

### 覆うってすごいこと

現在の治山技術基準の伏工の目的<sup>7)</sup>には、乾燥防止に資することは記述されていませんが、むしろ伏工の適用箇所（表-1）には「乾燥地帯」と記載されていることも忘れてはいけません。山寺（図-4）<sup>14)</sup>は、「各種被覆材料（養生剤、被覆ネット類）の保湿効果について調べると、わらむしろが最も優れている。養生剤の中では被覆型のものの方が明らかに保湿効果は大きいが、むしろに比べるとはるかに少ない。被覆ネット類でも、被覆率が20～30%程度以下のものは、乾燥防止材としては殆んど効果がないと思われる。なお、ピートモス、ベントナイト、ゼオライト、パーライト、コンポストなどを土換に混入し保湿性を測定すると、ゼオライトやベントナイトを混ぜた土壤の保水性は高いようであるが、現在のように少しの使用量では乾燥防止方法としては殆んど期待できない。」としています。

ここ数年、温暖化がさらに進行し、回復軌道に乗せることはすでに手遅れではないかと感じるほどです。緑化現場でも早い梅雨明け、夏期の高温によって枯死する事例が多く見られます。この解決にはやはり、何らかの資材を地表面に設置するのが最も効果的だと思います。

地表面を覆うことは、侵食防止、凍結凍上、乾燥防止などさまざまな効果が期待できる合理的な方法です。これらは早期全面緑化が期待できない在来種緑化、木本緑化、自然侵入促進を期待する緑化というそれぞれの分野で、その効果が期待され発展してきています。しかし、単純に覆えばいいとい

うものではありません。植物の発芽が可能でかつ雨水を適度に浸透させ、乾燥防止のために蒸発防止機能をもつ。厚すぎると発芽を阻害するし、硬くても、隙間が荒くてもだめ。難しいですね。斜面であることを考えると、作業性や重量、施工方法まで考慮しなければなりません。これらの部分でも使用する立場からすれば、統一した試験方法などから、被覆による侵食防止効果と植生の生育に関する能力、被覆と乾燥防止効果などを示したものは少ないのが現状です。ぜひ技術的な根拠を示してもらいたいものです。そして、学会にも、これらを取りまとめ、基準を示す責任があるでしょう。

### おわりに

今回で、3回にわたって記述した緑化の居酒屋談話は終わりにしたいとおもいます。発端は、「案外常識と思われるような基本的なことを知らない技術者も多い」ということが気になっていたからです。同じようなことは昔から起こっているらしく、居酒屋談話でもよく紹介する小橋先生も砂防学会誌にて苦言<sup>5)</sup>を呈されています。「要するに「砂防事業の現場で緑化事業が評価されていない。それはこれまでの植生に関する研究の成果が現場に伝わっていないこと、もう一つは、そもそも植生というものを砂防ダムといったような工作物と同じように評価すること事態が無理なのではないか。」ということのようである。前者については数多く公刊されている砂防や治山の専門書にこの問題は必ず触れられている筈で、砂防事業の現場に携わる技術者はせめて1冊位、専門書に目を通すべきではないかと思う。後者の意見には砂防技術者が今さら何をおっしゃるか、という気分になる。」

日本緑化工学会は、「産官学」が協働し運営しているとよく言われます。残念ながら「官」の会員はいちじるしく減り、私も含め「産」の高齢化を感じます。学会の情報を知らないで仕事ができる、緑化が一般的になったといえばその通りといえるのですが寂しい限りです。

侵食を防止するための緑化工の役割やそのための資材について既存の資料をまとめてきました。改めて思うのは、実施を担う「官」や「産」が疑問を上げ、それに対し「学」が「官」と「産」と協働し解決してきた歴史の重みです。斜面・のり面という重力が働く特殊な環境下で植生を生育させるためには、それなりの工夫が必要です。先人達の取組に経緯を払い、もう一度「産官学」の関係強化をすすめるべきではないでしょうか。研究成果が世の中の課題解決にすぐに、直接役立つ応用科学の学問領域なのですから、楽しいと思うのですが。今時の言葉で言えば「社会実装」ということでしょうか。

少し堅苦しく、説教臭くなりました。先日、打合せ後に居酒屋に緑化技術者が集まって話しをしていました。本当の緑化居酒屋談話です。いろいろな話題になりました。話題のひとつに「生成AIがすごい」ということから、「緑化する田中淳」を生成AIに聞いてみました。画像を作りますか？という不思議な質問の結果が写真-1です。ありきたりな名前ですから、多くの田中淳さんの写真を参考にしたと思われます。なぜか斜面に苗を植えるかのようにイネ科の植物が見えます。うれしいのは斜面であるということです。緑化といえば斜面ということと生成AIさんは認識しているということでしょう。



写真・1 生成 AI が作成した「緑化する田中淳」(一部加工)

うか。左足は斜面に埋まっているのか、そして胸には田中淳らしき文字が（実は拡大するとそんな漢字ではありません）。AI の時代に「それ俺、知っている。」という知識は必要とされなくなる時代が来ているのかもしれません。しかし、生成 AI さんもこの「緑化の居酒屋談話」を読んで？いるような記述もありました。なんだか不思議な気分です。

居酒屋閉店の時間が近づいてきました。新たに記述したい話題も思い浮かんでいます。その時は居酒屋なのか、カフェなのかわかりませんが、学会員の交流に繋がる話題を提供してみたいと思います。

#### 参考資料

- 1) 古野正章・保浦成徳・鶴田 徹・服部浩崇・田中 淳・吉原敬嗣・内田泰三 (2022) ススキ (*Miscanthus sinensis* Andersson) の地域性種苗を使用した斜面緑化における緑化資材の検討, 日本綠化工学会誌, 48(1): 152-155.
- 2) 岩川幹夫(1976) わかりやすい林業研究解説シリーズ No.56 林叢形成促進のための実播緑化工とその保育管理,(社)日本林業技術協会, pp. 27-31.

- 3) (一財)建設物価調査会 (2018) 建設物価臨時増刊土木コスト情報 2025 10 秋, 764pp.
- 4) 小橋澄治・坂崎和夫・黒沢 章・草野国重 (1974) 斜面の雨水浸食防止の研究, 鉄道技術研究報告, 886: 1-75.
- 5) 小橋澄治 (2002) 治山・砂防事業で緑化事業はどのように評価されるべきか?, 砂防学会誌, 54(6): 72-78.
- 6) 中島主一・塙本良則・藤田寿雄 (1962) 各種山腹工の効果に関する研究, 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林, 演習林, 14: 37-51.
- 7) (一社)日本治山治水協会 (2024) 令和6年版治山技術基準解説 総則・産地治山編, 377 pp.
- 8) 新田伸三 (1979) 緑化工発達史, 緑化工技術, 6 (2): 3-6.
- 9) 日下達朗・深田三夫・寺島治男 (1992) 各種斜面保護材の土壤流失防止効果に関する実験的研究: 超大型降雨装置を用いて段階的に降雨強度を変化させた場合, 山口大学農学部学術報告, 40: 67-76.
- 10) 滝口喜代志・難波宣士 (1964) 山地土壤侵蝕(第4報)被覆工の効果, 林試研報, 164, 137-157.
- 11) 坪郷浩一・中村勝美・山本一夫・上 俊二・福田 靖 (2010) 不織布フィルターの降雨時法面保護機能に関する研究, 地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設, 28(1): 169-175.
- 12) 坪郷浩一・中村勝美・山本一夫・上 俊二・福田 靖 (2011) 不織布フィルターを用いた降雨時法面侵食防止に関する研究, 地盤工学会中国支部論文報告集 地盤と建設, 29(1): 89-98.
- 13) 山寺喜成 (1969) 緑化工における土壤侵食防止に関する研究(iv)-ネット類の侵食防止効果の比較-, 第80回(昭和44年)日本林学会大会講演集, 334-336.
- 14) 山寺喜成 (1971) 緑化困難地及び困難期における施工技術の改善, 日本シーディング協会技術委員会, 51-58.