

研究ノート Research Note

緑化の居酒屋談話その2 侵食防止剤を知っているか？の巻

田中 淳

国土防災技術株式会社 (jun-tanaka@jce.co.jp)

皆様の反響にお答えしてその2を記述できることとなりました。数名の方より感想をいただき、本当の居酒屋でも盛り上がりました。ありがとうございます。1970年代以前に行われていた緑化と表面侵食防止の研究は3つあり、今回は1つめの「植被率と侵食の関係を整理した試験」についてお話ししました。今回は、3つめの「侵食防止剤の効果確認試験」について記述したいと思います。ここで紹介する文献の古い文献の多くは、国立国会図書館デジタルコレクション⁹⁾から見る事が可能です。また、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。

侵食防止剤とは何か？

侵食防止剤が必要と感じられた理由は、発芽生育の早い外来イネ科草本を季節的に好条件の時期に施工しても、被覆が完成するため1~2ヶ月必要であり、この期間の侵食防止を考えなくてはならないためです。この裸地の期間の保護対策として、機械式の緑化工として日本で最も早く開発された方法のたね吹付工^{11,12)}の被膜養生としても使用されていたアスファルト乳剤があります。しかし、種皮について発芽障害をもたらすこと、濃褐色で日光を吸収して表面が焼け発芽・成長阻害を引き起こすことなどから、より広く使える薬剤が開発されていきました。

なお山寺¹⁷⁾は、このような種子や肥料を播いた上に散布して侵食を防止する材料使用方法を「養生剤」と呼び、種子や肥料、土壌分に混ぜて固結させるために使用する材料使用方法を「粘着剤」と定義しています(図-1)。これからお話しするのは、侵食防止材を斜面上の土や種子などが流れないように後から播く方法が主となるため、侵食防止剤を養生剤として使用した時の報告ということになります。後者の場合は、侵食防止剤を粘着剤として種子や肥料、土壌と共に混ぜるということになります。養生剤と粘着剤・接合剤は使用方法が異なります。用語は正しく使いたいものですね。この文章中では文献タイトルを除き侵食防止剤と呼んでいきます。

山寺ら東京農業大学からの報告

侵食防止剤の試験報告は1966年¹⁴⁾の砂地における表砂移動防止の報告がはじめだと思われま。飛砂防止のために19種類の侵食防止剤の比較試験を行い報告しています。試験内容は、植物の発芽や生育、散布後の飛砂防止効果の検証です。これらの侵食防止剤は、3つに分かれる(表-1, 図-2)とし、浸透-充填型は、孔隙の少ない硬い層や膜を作るため、発芽、

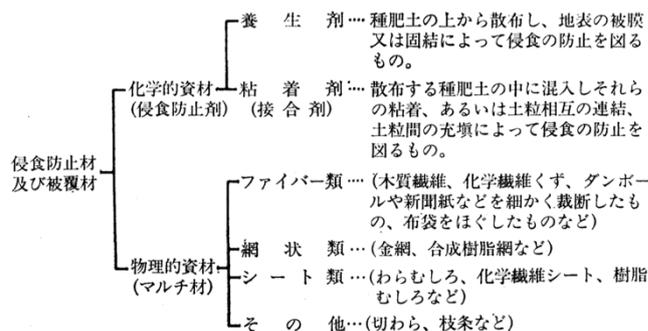


図-1 土壌侵食防止材の役割¹⁷⁾

表-1 試験に使用した侵食防止剤の分類¹⁴⁾

区分	効果	主な資材
被膜型	表面に薄い膜をつくる	カチオン系アスファルト乳剤など
浸透型	充填型 浸透し砂粒間隙充填したり、途中に膜をつくる。	ポリビニルアルコール(PVA)、塩化ビニール、リグニン系固化材 など
	連結型 浸透し砂粒の接触部のみを連結する	ポリ酢酸ビニール

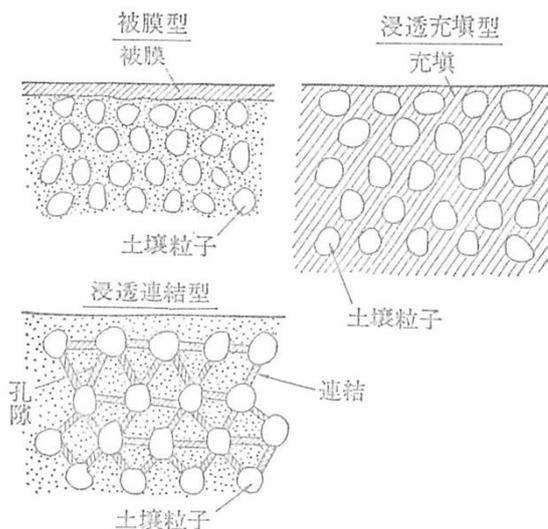


図-2 侵食防止剤の土壌への反応タイプ⁶⁾

生育に強い障害を与えると報告しています。植物導入を前提とした場合、ポリ酢酸ビニール、つぎに、アスファルト乳剤が適しているとしています。

1967年¹⁵⁾には、斜面への適用を考慮した雨滴侵食に対す

る侵食防止剤の試験を公表しています。使用した8種類の薬剤は、初年度の結果から分類した3つが含まれるように選んでいます。「被膜型は表面の被膜が強いうちは侵食がほとんどされないが、リルが生じると被膜に透水性がないため地表水が集中し深く侵食されやすい。浸透型は充填・連結型にかかわらず地表の膜が薄い部分が全面侵食され易いがリルの発達は少ない。また、初期（一ヶ月程度）効果は被膜型が選り、浸透型（充填・連結）は、表面近くに硬化層をつくるものほど初期効果が大きい。」と報告しています。さらに「浸透型（充填・連結）は硬化に時間がかかり、硬化までの期間に降雨があるとその硬化が低下する。」ことなどが述べられています。

この試験は植物を使用せず単純に侵食防止機能のみを評価していますが、1969年¹⁶⁾の報告では、酢酸ビニールについて詳細な報告をしています。1969年の報告と併せて考えれば、緑化の侵食防止剤として使用が適しているのは浸透-連結型の酢酸ビニールであるといえるでしょう。

小橋ら鉄道技術研究所からの報告

小橋ら⁴⁾は7種類の侵食防止剤（表-2）について（1）噴射水による洗掘抵抗実験といった予備実験を経て降雨実験装置による侵食実験、（2）蒸発抑制効果・薬剤の浸透深さ、（3）薬害について、（4）凍上防止効果の実験を行い、これらの結果を基に盛土斜面にて現地試験を行っています。使用した侵食防止剤の区分は、山寺の区分と異なる区分としています。合成ゴムラテックス、アクリル系エマルジョン（ルナゾールAH）、アスファルト乳剤系、酢酸ビニール系（エスフィックス1号）は被膜性、アクリル酸エステル（ドハロン）、ウレタン系は浸透性としています。

降雨実験装置による侵食実験ではアスファルト乳剤およびウレタン系のものがよいとしています。一方で現場試験結果では、合成ゴムラテックスを除きほぼ変わらないとしています。

蒸発抑制や薬剤浸透の関係からみるとアスファルト乳剤は浸透しませんが、蒸発抑制効果が高いという結果です。一方、浸透性の侵食防止剤は種類や濃度によって浸透厚は異なるが浸透します。一方、蒸発抑制効果が低いということは、山寺の分類のように土粒子の接触部のみを連結するため土壤間隙が残りの部分から水分が蒸発するということだと思えます。当然のことながら、透水性のない薄い膜を作るアスファルト乳剤は、降雨による土壤の浸透も阻害します。のり面の土壤水分の補給は、地山よりしみてくる水分と共に降雨からの供給を期待しています。そういったトレードオフの関係にあることを注意しなければなりません。

侵食防止剤の種子への発芽・生育障害については、すでにすべての薬害試験を終えているとの理由で、ウレタン系のみについて示しています。そして薬剤が種皮に固結し、吸水・呼吸不良による物理障害はあるがこれは他の侵食防止剤一般に見られる現象で、実用上問題にならないとしています。なお、現場試験の結果ではアスファルト乳剤についてかなりの発芽障害が見られたとしています。「実験の使用量が通常の2倍であったことから起こった」と推察しています。

凍上防止効果は、土壤間隙を保持するように土壤を固める

表-2 使用した薬剤の性質および商品名⁴⁾

薬剤一般名	商品名 (製造会社名)	一般的使用法	備考
酢酸ビニール系 エマルジョン	エスフィックス1号 (積水化学)	2液式。被膜性。10～30倍液を 1～2ℓ/m ² 散布	2液を混合することにより、エマルジョンを不安定にし、凝集しやすくしてある。
合成ゴムラテックス	マルマトA (三井東圧)	1液式。被膜性。3～10倍液を 1～2ℓ/m ² 散布	粘着剤を加え、被膜性を高くしてある。
アクリル系 エマルジョン	ルナゾールAH (ヘキスト合成)	1液式。被膜性。5～20倍液を 1～2ℓ/m ² 散布	同上
アクリル酸エステルエマルジョン	ドハロン (東亜合成)	2液式(助剤散布後本液を散布する)ただし植生工用としては1液式。5～20倍液を1.5ℓ/m ² 散布	助剤によりゲル化させる。
ウレタン系 水性樹脂	ハイセルOH (東邦化学)	2液式(1液式でもよい) 10～20倍液を1～2ℓ/m ² 散布する	地表面の水、稀軟水と反応して、ゲル体を形成する。
カチオン系アスファルト乳剤 (土壌混合用)	CMB-3 (日産化学)	1液式。被膜性 2倍液を1～2ℓ/m ² 散布する	土粒子と接触し分解する。 アスファルト乳剤の分解速度を遅くしてある。
カチオン系アスファルト乳剤 (浸透用)	OPE-1 (日産化学)	同上	土粒子と接触し分解する。 乳剤の分解速度が早い。

浸透性の侵食防止剤の方が、表面のみを固める被膜型のアスファルト乳剤よりも凍上深が浅いと報告しています。また、土壤を砂とした場合の凍上深についてまとめられており、これらのことを考えれば、凍上深は土壤間隙の空気層多少が影響を及ぼしていると考えられます。しかし、まとめでは、化学薬剤では完全な越冬性が得られるものはないと述べています。理由として「高寒冷地では凍上現象は単に地表面のみの霜柱によるものではなく、かなりの深さでレンズ状に氷が発達する。加えて地表面の異常な乾燥やこれに伴う地表収縮、積雪・融雪による侵食現象など複雑な現象が考えられ、こうした現象への効果は考えられない。」としています。

小橋の試験でも侵食防止剤の土壤の侵食防止効果が高いものは、侵食のみを考えれば被膜性(型)のアスファルト乳剤、植生への障害、土壤への降雨浸透、凍結凍上への効果などを考えると酢酸ビニール(山寺は浸透-連結型と分類)などの方がよいといえるでしょう。

山本ら日本道路公団試験所からの報告

日本道路公団試験所報告にて杉浦らは1970年¹³⁾に、山本が1972年¹⁹⁾、1974年²¹⁾にシラス、マサ土、ローム土について侵食防止剤の比較試験結果を報告しています。これらの成果をまとめたものは、学会誌の前身誌である緑化工技術²²⁾にもまとめられています。また、一連の植生のり面の侵食に関する試験にて植生単独また、侵食防止材と併用した侵食試験も1971年¹⁸⁾、1973年²⁰⁾に実施していますので興味のある方はこちらをご覧ください。この試験で実施したのは降雨強度500mm/h、30分というなかなか想像できない降雨強度にて実施しています。ここでも山寺のように薬剤を区分していますが、山寺¹⁷⁾が「被膜」としたものを「被覆」と異なる用語を用いています。また同じ製品でありながら異なる区分となっているものもあるので厳密に区分するのは困難なのだと思います。小橋⁴⁾も「酢酸ビニール系とかアクリル系とかいろいろな系列はあるが、同系列のものでも耐水性の性質は千差万別で系統的に性質を整理することは困難である。」と述べていますからそのようなものなのでしょう。

1970年¹⁴⁾の試験はシラス土壤にて6種類の薬剤を使用し、

侵食防止効果が高いものは、アスファルト乳剤、ついで酢酸ビニール、ゴム系のものは温度と土壤水分によって固結時間が大きく変動することが欠点としています。

1974年²⁰⁾ではマサ土、ロームについて試験を行い、アスファルト乳剤、酢酸ビニール系などについて行い、浸透・連結型の場合は、土壤水分によって効果が変わることが示されています。植生工との併用した結果では、アスファルト乳剤は植生の成長が極めて悪いと報告しています。

3 グループの報告から

これら、山寺、小橋、山本らの成果で共通するのは、浸透せず表面に侵食防止剤自体の被膜を造るアスファルト乳剤のような資材の侵食防止効果が高いということです。侵食防止には侵食されない強度を持つ素材で地表面を覆えばいいということになります。一方、アスファルト乳剤はこの層を突き破り発芽してこない（新田は文献 p.159 中で 0.275mm 程度と計算）ことから、散布量が多いと植生が発生しないという結果をもたらします。さらに、撥水することで表面流が生じ、薄いもしくは散布されていない箇所を侵食し、リルやガリが発生しやすくなるという問題も抱えています。この侵食防止機能だけを突き詰めればモルタル吹付のように表面を硬く覆ってしまうことが一番ということになってしまいます。

酢酸ビニール系などの侵食防止剤（写真-1）は、植生の生育と侵食防止のための資材として改善したものであり、土壤にある程度浸透し、土壤間隙を保持するものです。倉田⁹⁾は、「草の種子の幼い芽が、エスフィックスの、薄い弾力があるって、空気は通すが水は通さない丈夫な膜を破ってでてくることで、これは一種の神秘的な感じさを与える。」と記述しています。見たときの感動が文字を通して伝わってきます。3グループとも酢酸ビニール系でも土壤水分や土壤間隙によって浸透量、効果を発揮するまでの期間が異なるという指摘もしています。土壤水分が少なければ早く乾燥しますし、土壤水分が多ければ時間が掛かります。散布直後に降雨にあたれば、その量が多ければ固まらず流亡する可能性もあるため、効果は発揮できません。土壤間隙が大きければ深くまで浸透します。つまり土壤条件によって適する侵食防止剤は異なることも推測されます。

しかし現在ではそういった配慮は行われないうまま使用されていると思います。ただ、現在、侵食防止剤だけを播種した斜面に養生剤として散布することはほとんどありません。種子散布工として、物理的な侵食防止材として活用されているファイバー（多くの場合は古紙粉砕物やパルプ原料となる木質繊維）などと併用して使用されます。この方法でも「侵食防止剤の保持期間は1~2ヶ月と導入した植物が発芽・生育するまでを想定したものである²⁰⁾。」とされています。

1966年に山寺が初めて報告した飛砂防止として侵食防止剤を使用する方法¹⁴⁾も、現在でも同様の目的で行われています^{7,8)}。

まだ解決していない課題

侵食防止剤は、植物が発生するまでの期間に侵食を防止することを目的に使用されていますが、施工時期が晩秋~冬期



写真-1 代表的な酢酸ビニール系の侵食防止剤（液体タイプ）

の場合、植生が発生する前に積雪や凍結・凍上によって効果がなくなることが指摘されています。

倉田⁹⁾は、「どの養生剤でも、施工地に散布する方式をとる限り、十分な侵食防止効果を持続する期間は、3~4ヶ月くらいである。この持続期間は、散布量を多少増量しても変わらないようである。したがって、養生剤の効果は施工初期の種子が発芽し植物被覆が形成され、侵食防止の効果が発揮されるまでの、一時的なものであると考えた方が良いでしょう。」としています。

神辺ら²⁰⁾では、東北地方での植生工の比較試験を行い、新田が開発したたね吹付工の養生剤として、アスファルト乳剤やドロゲン（1972年山本の報告によれば揖斐電化成成：高分子合成樹脂および腐植酸よりなる資材）を散布した試験を実施しています。この結果では、「アスファルト乳剤あるいは化学薬剤を用いる工法は冬期凍上に対しては完全に無力である。」とし、「たね吹付工は、東北地方の場合、9月はじめまでには施工を終えるべきである。」としています。この試験でのたね吹付工は、粘質土壤や種子、肥料、水を混合し10mm程度、斜面に圧密し、その上に養生剤としてアスファルト乳剤あるいは化学薬剤を散布する方法です。養生剤として使用した侵食防止剤は被膜および浸透・連結型は、冬期間の侵食防止にはいずれも効果が無いと報告しています。

現在でも、侵食防止剤の養生剤利用にて寒冷地で凍結・凍上に耐える商品はありません。このような環境は、侵食防止剤を粘着材として活用し、基盤厚を確保する植生基材吹付工などの対策を行うか、表面を保護するキリワラ、ワラムシロなど地表面を保護する対策を実施することで対応しています。この地表面を保護する方法は、1970年代以前に行われていた緑化と表面侵食防止の研究の、2つめ研究にて整理されています。2つめの研究とは、森林内のリター等の堆積物によって被覆物を設置し侵食量の関係を整理した試験のことで、積雪寒冷地の秋~冬期に施工する場合は、侵食防止剤の養生剤としての散布という土壤自体を固める薄い地表面の改良ではなく、表面を全面的に覆うようなシート、マットなどが課題解決の方向となったということでしょう。画期的な資材が開発されれば、これもくつがえるかもしれません。

山寺¹⁷⁾は、「ドライ散布できる粉体の侵食防止剤（写真-2）の開発もされているが、侵食防止力が弱いものが多い。」とさ



写真-2 代表的な酢酸ビニール系の侵食防止剤(粒状タイプ)

れていますが、この点はほぼ解決されているようです。ただし、これらは一度一定の水分を吸った上で広がり、乾かないと効果を発揮しません。単純に斜面に侵食防止剤を養生剤として散布する状態では、侵食防止剤としての効果を発揮できません。斜面・のり面緑化は、斜面という重力が掛かる環境下で、植物が生育できる適度な土壌間隙を持つ(土壌硬度)基盤と種子と肥料などの養分を保持させることが求められます。それを保持させるための侵食防止剤が斜面を転がり落ちてはももなりません。物質の形状と反応の特性を理解した上で斜面にて使用することが必要です。最近では運搬重量が制限されるドローンを使用した緑化¹⁰⁾を検討しているため、斜面にて止まる資材の重要性を改めて認識したところです。

まとめ

今回の報告にて引用した論文で実験に活用されていた侵食防止剤のほとんど酢酸ビニール系などの浸透・連結型です。わかりやすくいえば、木工用ボンドのようなものです。臭いも形状もそっくりです。私が知る30年間でアスファルト乳剤を使用した事例を知りません。そして報告で使用された薬剤もすでに廃番となったり、入手できなくなったりしているものも多いのが現状です。酢酸ビニール系の元祖ともいえるエスフィックス1号は、我々が最近まで使用していたものとは異なる品番のようですし、そのエスフィックスも数年前に入手不可能となっています。市場に流通している土木資材の価格をまとめた建設物価¹⁾の養生剤のカテゴリーに記載されている侵食防止剤と思われるものは25品目あります。一方、これに記載されていない侵食防止剤も多数あります。これが同じような効果を発揮するとは思えません。使用する立場からすれば、統一した試験方法などから、侵食防止に関する能力を表示してもらいたいものです。

ここまでくると、侵食防止剤の粘着剤としての利用を記述したくなります。これは、厚層基材吹付工法の開発の歴史とも重なり、一家言ある方がいらっしゃるの筆が重いです。次回は、斜面上にシートやマットを設置して侵食を防止する方法について記述を予定しています。

参考資料

- 1) (一財)建設物価調査会(2025)建設物価,2025・7月号 pp.431.
- 2) (社)日本道路協会(2009)道路土工一切土工・斜面安定工

指針(平成21年版), 社団法人日本道路協会, pp. 214-215.

- 3) 神辺浩三・小橋澄治・今井篤雄(1966)東北地方での植生工比較試験, 鉄道技術研究報告, 531: 1-24.
- 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・黒沢章・秦野武雄・草野国重(1971)最近の浸食防止剤について, 新砂防, 23(4): 1-5.
- 6) 倉田益二郎(1979)緑化工技術, 森北出版, 298pp.
- 7) 国土交通省.(更新:2023年12月19日)“NETIS KT-210027-A, のり面浸食防止工法「ガリガード(あと散布方式)」”, <https://www.netis.mlit.go.jp/netis/>(参照:2025年7月31日).
- 8) 国土交通省.(更新:2024年6月6日)“NETIS KK-200056-A, 粉じん・侵食防止剤「ストーンウォール」”<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/>(参照:2025年7月31日).
- 9) 国立国会図書館, “国立国会図書館デジタルコレクション”, <https://dl.ndl.go.jp>(参照:2025年7月31日).
- 10) 中村彰宏・田中淳・植山雅仁・中桐貴生・熊田勇斗・木村元由輝・山田隆信(2025)ドローン緑化のための山地崩壊斜面での散布体からの発芽と初期生残への土壌水分の影響, 日本緑化工学会誌, 50(4): 319-326.
- 11) 新田伸三(1959)斜面吹付播種方法, 特許番号259781.
- 12) 新田伸三(1968)土木工事ののり面保護工, 新田伸三・小橋澄治 著, 鹿島研究所出版会, 157-159.
- 13) 杉浦力・足立克久・山辺正司(1970)侵食防止剤(材)比較試験, 日本道路公団試験所報告 S44, 143-148.
- 14) 山寺喜成(1966)緑化工における土壌侵食防止に関する研究(1)飛砂防止剤について, 日本林学会大会講演集第77回(昭和41年), 560-562.
- 15) 山寺喜成(1967)緑化工における土壌侵食防止に関する研究(II): 土壌侵食防止剤の降雨侵食防止効果, 日本林学会大会講演集第78回(昭和42年), 328-330.
- 16) 山寺喜成(1969)緑化工における土壌侵食防止に関する研究(III): ポリ酢酸ビニールによる降雨侵食防止の改善, 日本林学会大会講演集第80回(昭和44年), 332-334.
- 17) 山寺喜成(1986)緑化工の基礎的諸問題(1), 砂防学会誌, 39(2): 36-41.
- 18) 山本正之(1971)植生のり面の侵食に関する試験, 日本道路公団試験所報告 S45, 91-103.
- 19) 山本正之(1972)植生のり面の侵食に関する試験, 日本道路公団試験所報告 S46, 195-204.
- 20) 山本正之(1973)植生のり面の侵食に関する試験, 日本道路公団試験所報告 S47 206-225.
- 21) 山本正之(1974)植生のり面の侵食に関する試験, 日本道路公団試験所報告 S48, 198-215.
- 22) 山本正之(1974)植生のり面の侵食に関する試験, 緑化工技術, 2(1): 26-33.