

# フォレストコンサル

## FOREST CONSULTANTS

### 目 次

#### 巻頭言 技術余話

日本最初の土石流流下写真  
—櫛田川直轄治山事業所の若き職員— …… 林 拙郎…1

#### 山地災害対策プロジェクト

インド・ウッタラカンド州 山地災害対策プロジェクトの紹介  
…………… 宮嶋 沙織…5

#### 講 演

令和元年度森林土木セミナー 治山技術の歴史を学ぶ  
—アメリゴ・ホフマンと諸戸北郎の足跡—  
…………… 鈴木 雅…7

森林資源を利用して量産化された高濃度フルボ酸による環  
境改善 …………… 田中 賢治…17

#### 技 術

温泉地すべり地での耐酸性復旧対策と工事 13年後からみ  
る将来展望 …………… 矢野間 敬男…23

(公社) 日本地すべり学会  
バイオントと南チロル地方の地すべり巡検  
…………… 内田 勉…33

#### 森林景観整備シリーズ

第4回 視点場の整備の考え方とやり方について  
…………… 由田 幸雄…43

#### 平成 30 年度技術士合格体験記

技術士 森林部門—林業 …………… 千種 要道…49  
技術士 森林部門—林産 …………… 溝渕 木綿子…53

#### 事務局

編集後記 …………… 57

2019  
No.158



森林部門 技術士会

技術

# 温泉地すべり地での耐酸性復旧対策と 工事 13 年後からみる将来展望



株式会社 森林テクニクス 矢野間 敬 男

はじめに

関東地方の北西部には、草津温泉等を始めとして多くの温泉地(写真-1～写真-3)がある。

このような温泉地が多い山地において、平成 13 年 9 月 18 日、万座温泉に近い万座ハイ

ウェイを陥没・不通にする大規模な地すべりが発生した。そして、この地すべりでは、地すべりブロック下部斜面が大きく抜け落ち、約 15ha の森林が裸地化した(写真-4～写真-6)。

ちなみに、地すべり地が、標高は 1,800m 程で、冬季には例年 2～3m の積雪がある。地質は、活火山である草津白根山を頂きとしており、基盤岩は安山岩溶岩および火砕岩である。



写真-1 草津温泉の湯畑



写真-2 万座温泉の湯畑



写真-3 万座温泉と万座ハイウェイ



写真-4 本件が対象とした裸地斜面



写真-5 本件が対象とした裸地斜面



写真-6 本件が対象とした裸地斜面

万座ハイウェイは、万座温泉に通じる主要道である。このため、関東森林管理局により、万座ハイウェイの早期の通行確保に向け、地すべりの安定が図られた。平成15年からボーリング暗渠工や杭工等の工事が、また平成19年から大規模な裸地斜面の斜面復旧工事が実施され、現在に至る。

本稿は、上記の対策提案の一環として、筆者が平成18年に提案した、大規模な裸地斜面を対象とする、耐酸性配慮の侵食防止対策および緑化対策についての紹介と、工事効果の見解および将来展望についての報告である。

### 1. 計画・設計で耐酸性を必要とした理由

対象とする裸地斜面には、ボーリング暗渠工の流末水や湧水を起源とする多くの地表流が見られた(写真-7～写真-8)。そして、斜面内には幾つかの地すべりブロックもあり、これら地表流の再浸透による地すべり再活動や、裸地斜面の侵食や崩壊を防ぐための対策を、早急に実施することが待たれている状況であった。



写真-7 ボーリング暗渠工の吐口



写真-8 強酸性水の流下

また、裸地斜面に流れる地表流は、当箇所は火山地帯であるためPH2～3の強酸性水(写真-9)であり、加えて、火山ガスの影響も少なからず影響して、提案を要する施設においては、劣化が心配される状況にあった。

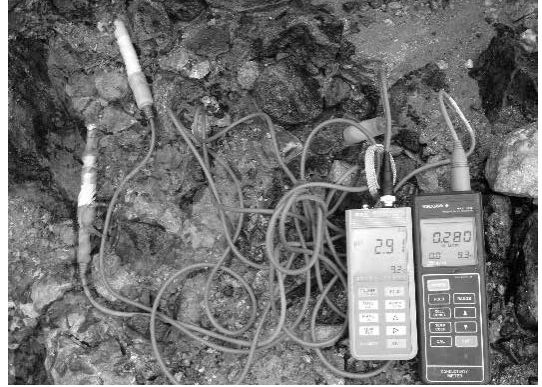


写真-9 強酸性水は pH2.91

更に、土壌は、地すべりにより土中に含まれる硫化物が裸地化した地表に露出し、空気に触れて酸化生成されたことによりPH4前後の強酸性土壌と変化して、自然緑化が困難を極めていた。

以上を踏まえて筆者は、侵食防止や崩壊発生防止、更に地表流の浸透防止のための、効果的な水路工や土留工、斜面緑化を提案しなければならないと考えたが、その際、耐酸性の確保が大きな課題(必要不可欠)になると考えた。

ここで参考に、火山・温泉地での構造物の劣化例を示す(写真-10～写真-12)。強酸性水に触れたコンクリートや鉄は容易に溶けてしまう。また、火山ガス(硫化水素等)により鉄は容易に錆びてしまう。



写真-10 温泉水劣化



写真-11 火山ガス劣化



写真-12 温泉水劣化

また、現場近隣の沢に設置されたコンクリート谷止を調べたところ(写真-13)、調査地と同等のpH値を示す強酸性水により、2mm/年の速さでコンクリート表面が溶けて失われていた(写真-14)。



写真-13 コンクリート谷止の劣化



写真-14 コンクリート谷止の劣化

## 2. 復旧対策の提案

### 2.1 提案した構造物

#### (1) 土留工における耐酸性の確保

地すべりブロック内であるため、土留工は柔構造を有する耐酸性構造を提案した(図-1、写真-15)。これは、火山ガスや強酸性土壌に対する耐性が最も高いと判断した上でのコンクリートブロック積土留工の提案である。特徴としては、後述する水路工や集水桝との馴染み易さと、施工の速さに配慮して垂直積みとした。また、コンクリートブロックが、強酸性の湧水や強酸性土壌に触れて劣化しないよう、土留工の底面・前面、背面、側面を、礫層(クラッシュラン)で巻き、礫層の底面内には酸性水を排除する暗渠管を設置する工夫を加えた。

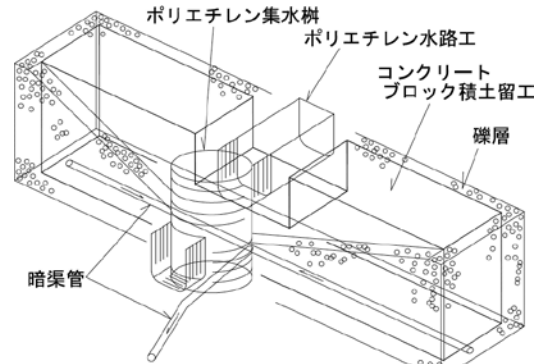


図-1 耐酸性を確保した土留工



写真-15 耐酸性を確保した土留工

#### (2) 水路工における耐酸性の確保

対象とするPH2~3の強酸性水は、五寸釘を10日で溶かして消滅させる。また、強酸性水の流量は極めて多い。加えて、水路工には、地すべりブロックへの水の浸透を防ぐために水密性が必要である。更に、ブロック内であるため水路は柔構造である必要もある。

検討の結果、強酸性水への耐性が高いポリエチレン材質の水路工を採用した(図-2、写真-16)。なお、既製品のポリエチレン水路は、浮き上がり防止を目的として、付帯材料に鉄材質のボルトやアングルが多く使われている。既製品のままであると、鉄材質の付帯材料が、酸性水の跳ねや火山ガス・強酸性土壌により、錆びて失われて、水路が壊れ易くなる。この解決のため、鉄を利用しないで水路を安定させる方法を検討し、ポリエチレン水路の両脇をコンクリートで固める構造を採用した。なお、この方法を採用する上で、ポリエチレンはコンクリートにくっ付かないため、水路とコンクリートの一体化の方法をどうするか課題となった。これには、ポリエチレン水路に、錆びることのないFRPボルトを介した特殊アングルをコンクリートに埋込むことで、一体化を可能にした(図-2)。

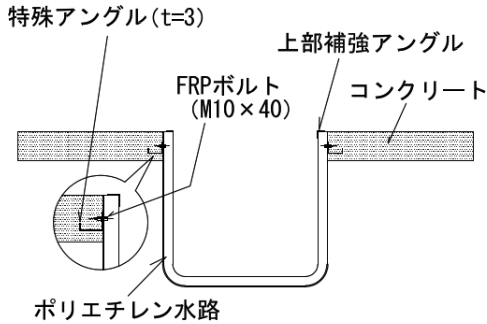


図-2 ポリエチレン水路工



写真-16 耐酸性を確保した水路工

### (3) 集水桝における耐酸性の確保

対象は強酸性水である。集水桝として一般的なコンクリート製であると、容易に溶けて漏水してしまう。このため、当現場のためにポリエチレン円形管を加工した集水桝を、製品メーカーからの賛同を得て新たに共同開発した(図-3、写真-17)。

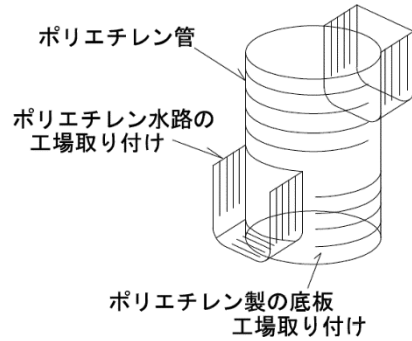


図-3 ポリエチレン集水桝



写真-17 耐酸性を確保した集水桝

### (4) 耐酸性を確保した構造物の施工

以上の耐酸性の確保を通じて、土留工、水路工、集水桝等の施工が完了した(写真-18)。



写真-18 耐酸性を確保した構造物の施工状況

## 2.2 耐酸性に配慮した斜面緑化

### (1) 耐酸性を有する緑化製品の導入

この辺りの土中に多く含まれる硫化物は、通常、水分に富む等して還元状態にあり、土壌は中性に近い。しかし、当箇所は、地すべりによる裸地化で地表に露出した硫化物が空気に触れて酸化し、総じてPH4前後の強酸性土壌と化していた(写真-19)。このため、

飛来種子は発芽しづらく、自然緑化は極めて難しい状況であった。



写真-19 裸地斜面における強酸性土壌の様子

以上から、丸太筋工と併せて、高価であるが耐酸性を有する緑化マットを採用して緑化を図ることを提案した。

なお、耐酸性を有する緑化マットは、幾つかの緑化メーカーから多様な商品が販売されている。例えば、土壌を中和して持ち込み種子で緑化を図るもの、土壌を中和して飛来種子を発芽させるもの、前2つの特徴を混合するもの等である。

実際の工事では、広大な斜面での緑化であるため、斜面毎に、上記の中から最適と判断される耐酸性を有する緑化マットを用いて斜面緑化が図られた(写真-20)。

現在は、各緑化メーカーが、独自に自社製品の緑化成績についてのモニタリング調査を続けている。

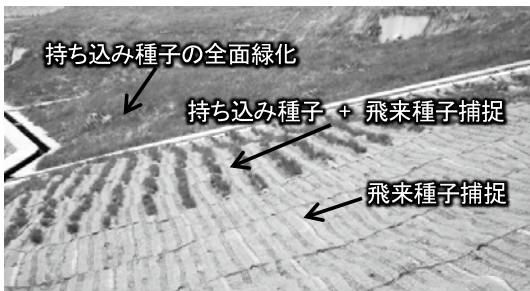


写真-20 耐酸性を有する緑化マットの施工状況

ちなみに、耐酸性を有する緑化マットの土壌中和の方法は、製品メーカー毎に細かくは異なるものの、概ね、石灰(写真-21)や貝殻等を用いて強酸性土壌の中和を促すか、或い

は、種子の発芽促進剤を混入させる手法がとられている。



写真-21 緑化マットに混入された石灰の一例

### (2) 酸性水が面的に湧く斜面への自然石張り

裸地斜面の一部には、PH2~3の強酸性水が面的に湧出している箇所が存在した。その土壌は極めて酸性度が高く、耐酸性を有する緑化マット等でも緑化は不可能と考えられた。このような斜面では、現場採取の石礫を法面に厚く張り付け、暗渠の様に強酸性水を石礫の下面に流して水路に誘導すると共に、石礫層の上面は土壌で覆い、地表の緑化を図ることを提案した。

しかし、施工では、石礫層の上面を土壌で覆っても、湧水が多いために、覆った土壌が流亡すると共に土壌が石礫層の目詰まりを起こす可能性が高いと判断され、表土の被覆はとりやめ、面的な自然石張り工として工事は完了した(写真-22)。



写真-22 酸性水が湧出する斜面への自然石張り

### 3. 継続観測の結果

対策提案から今年で13年が経過し、裸地斜面の復旧・緑化は着実に進んでいる(写真-23)。

本件は、温泉地すべり地での耐酸性復旧対策の事例としては大変に貴重である。

筆者は、私的な継続観測を通じて、その効果の検証を続けている。以下に現時点で見解を取りまとめる。



写真-23 裸地斜面における現在の復旧状況

### 3.1 構造物の劣化等状況

継続調査では、耐酸性対策として提案したコンクリートブロック積土留工およびポリエチレン製集水柵に、劣化等の機能低下は見られない (写真-24)。



写真-24 耐酸性を確保した土留工の現状

ポリエチレン製水路工においても、設計当初に心配した水路側部の侵食や、水路工の浮き上がりも生じておらず、著しい機能低下は見られない (写真-25)。



写真-25 耐酸性を確保した水路工の現状

また、ポリエチレン水路と両脇のコンクリートを一体化させることを目的としたFRPボルトにも劣化は見られず、ポリエチレン水路とコンクリートの一体は、予定通り十分に保たれている (写真-26～写真-27)。

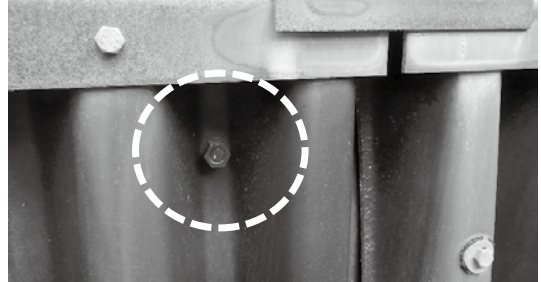


写真-26 FRP ボルトの現状

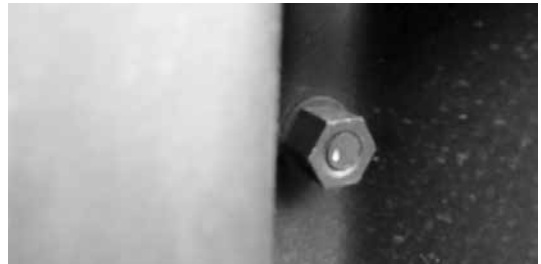


写真-27 FRP ボルトの現状

### 3.2 斜面緑化の現状

調査地は、上信越高原国立公園普通地域内であり、外部からの種子持ち込みは避けるべきである。しかし、標高1,800m付近の高地で、しかも強酸性土壌という緑化困難地である。

このため、急勾配斜面や強酸性土壌の度合いが強い斜面では、早期緑化が不可欠なことから、やむを得ず、外部からの草の種子を混入する耐酸性植生マットで、斜面侵食防止、斜面緑化が図られた (写真-28)。

一方で、裸地斜面外縁の林に近い斜面や勾配が緩い斜面では、種子なしの耐酸性マットで土壌を中和して飛来種子を発芽させる方法や (写真-29)、前2つの特徴を混合するもの (写真-30) 等で、斜面侵食防止、斜面緑化が図られていた。

いずれの耐酸性マットも、高地の厳しい気象環境のため緑化スピードはやや遅いが、粛々と、確実に斜面の緑化を実現させつつある。



写真-28 全面に種子混入する植生マット



写真-29 飛来種子のみに頼る植生マット



写真-30 草の隙間で飛来種子の発芽を促す植生マット

#### 4. 将来展望

##### 4.1 土留工および集水桝に対する要改善点

土留工においては前述の通り問題は生じておらず、現時点で改善すべき点は見つけれない(図-1、写真-15、写真-24)。今後は、

強酸性の環境下での土留工として、普及することを期待する。

集水桝においても問題は生じておらず、現時点で改善すべき点は見つけれない(図-3、写真-17)。ちなみに、本件の取水桝は、集水桝の共同開発に賛同した製品メーカーで、現在、特別注文品にて販売されている。今後は、強酸性水に限らず、過酷な環境下での水路工として、普及することに期待する。

##### 4.2 ポリエチレン水路工に対する要改善点

ポリエチレン水路の現場搬入は、L=2mの製品で行われる。そして、ポリエチレン素材は歪み易い性質があるため、取り回しが困難にならぬよう製品の形を維持するためにL型鋼、平鋼、鉄ボルト等が多く使用されている。

継続調査では、これら鉄に著しい錆が生じているのが確認され、近い将来に鉄部は錆びて失われると予想される(写真-31)。



写真-31 水路工に付帯する鉄部の錆発生

ただし、これら鉄部は錆びて失われても、前述のポリエチレン水路と両桝のコンクリートを一体化させるFRPボルトに劣化が生じなければ、水路工は形状を維持し続けると予想されるため、問題はないと考える。

しかし、上記の鉄部のうち、L=2mの各水路を接続させる鉄ボルトは(写真-32)、地すべり再滑動や不等沈下等で水路が歪んだ際に、水路の接合部を固定する重要な部位である。



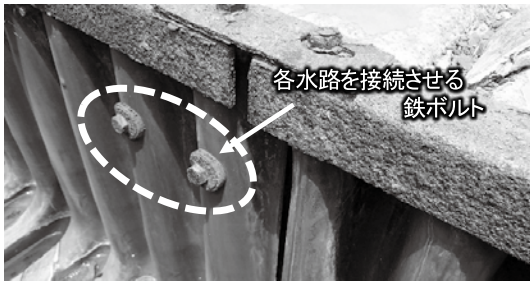


写真-32 各水路を接続させる鉄ボルト

このため、今後、水路の耐久性向を考えると、同環境下での水路工の採用においては、各水路の接続に用いる鉄ボルトをFRPボルトに変更する改善が必要と考える。

また、ポリエチレン水路工の軽微な縦断・横断変化点では、集水桝を減らすために、自在エルボを用いる設計を行った(写真-33)。そして、自在エルボには、異形鉄筋のつかえ棒が製品に付属されて、水路が歪むのを防いでいる。

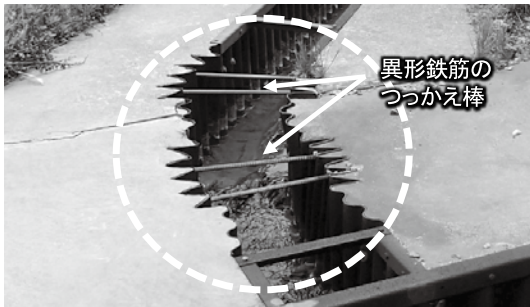


写真-33 自在エルボ

ところが、継続調査では、この自在エルボの所々で、ポリエチレン水路とコンクリートが剥離している現象を確認した(写真-34)。

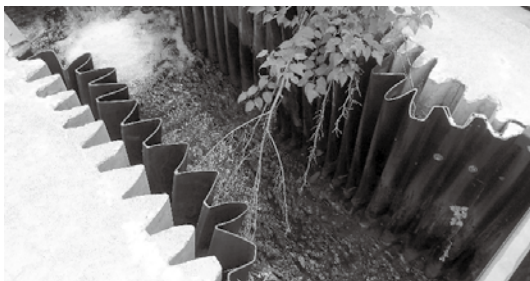


写真-34 水路とコンクリートの剥離発生

将来的には、強酸性水や火山ガスにより、異形鉄筋のつかえ棒は、錆びて失われることが確実視される。このため、今後、同環境下での自在エルボ採用では、前述のFRPボルトを用いての水路とコンクリートの一体化等の改善が、必要と考える。

#### 4.3 斜面緑化の方法に対する新提案

前述の飛来種子を捕捉する耐酸性マット等の施工斜面(写真-28～写真-30)と比較して、強酸性水が面的に湧水する斜面に現場採取の自然石を石張りした斜面の方が、飛来種子が多く発芽している現象を確認した(写真-35～写真-36)。



写真-35 自然石張り緑化と緑化マットの緑化比較



写真-36 自然石張り面に自然侵入したカンパ

ちなみに、自然石を石張りした斜面に多く発芽したのは、裸地斜面の周囲での主要樹種であるダケカンバである。

自然石張りを行った箇所は、強酸性水が面的に湧出する箇所であり、当初は緑化が難しいと考えた。しかし、現状ではダケカンバの自然侵入が顕著である。

この原因について考えてみた。そして、たどり着いた結論は、風等で飛ばされてくる種子が捕捉されやすい凹凸の多さと、凹凸の深さによる日陰の出来やすさが、ダケカンバを発芽させるのに大きな役割を担っており、この条件が揃った自然石張りを行った箇所にて、ダケカンバが多く自然侵入しているという仮説である。

現に、これを裏付けるように、コンクリート積土留工(写真-24)や、かご土留工(写真-37)の周辺などでは、ダケカンバの自然侵入が顕著な傾向にあった。

また、かご土留工(写真-37)の周辺に発芽したダケカンバの根元を見ると、苔類が生育していることが多く、このような箇所では湿気も程よくある傾向にあることを確認した(写真-38)。



写真-39 裸地斜面周辺の自然林地



写真-40 上写真の地際における苔類の生育



写真-37 かご土留工の周辺での緑化の現状



写真-38 上記写真の地際における苔類の生育

加えて、上記写真の周辺のダケカンバ林(写真-39)の林床を見ると、地表を覆うササの下層(地際)には決まって苔類が多く生育しており、湿気も程よくあった(写真-40)。

加えて、本件が対象とする、耐酸性を有す

る植生マットの施工斜面は、基本的に平らであり、自然石張り斜面の石の隙間や、かご土留工(写真-37)やコンクリート積土留工(写真-24)の周辺と比べて、明らかに湿気に乏しい(写真-41～写真-43)。

そして、前述の飛来種子を捕捉する耐酸性マットの施工斜面(写真-30)と比較して、強酸性水が面的に湧水する斜面に現場採取の自然石を石張りした斜面の方が、明らかに飛来種子が多く発芽している(写真-35～写真-36)。

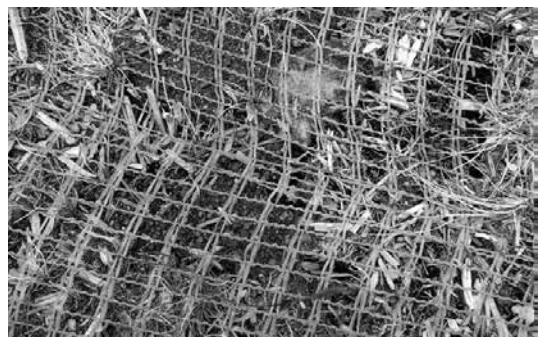


写真-41 緑化マットは通気性配慮もあり、やや湿気に乏しい



写真-42 緑化マットは通気性配慮もあり、  
やや湿気に乏しい



写真-43 緑化マットは通気性配慮もあり、  
やや湿気に乏しい

以上を基に考察した結果、凹凸に富み、地際に苔類が生育し易い環境を整えれば、周辺林地から飛来する地場の草木によって、早期に斜面緑化・林地化が図れる可能性があるのでは、と考える。

ダケカンバの発芽・生育には、上記の凹凸に相当する林床におけるササの存在、そして適度な水分を与える地際における苔類の生育が重要な役割を担っていると分析する。

斜面緑化、特に本件の様な植生ネットや植生マットで緑化困難な箇所や、種子の持ち込

みを避けたい国立公園や国定公園での斜面緑化では、次の考えに基づき緑化を図れば、既存緑化地より高い成績で、周辺林木の自然侵入が図れるのではないかと予想する。

- ①現地に自生する植生が斜面緑化に最も適する植生であるため、本件では周辺林地の主要木であるダケカンバの自然侵入を促す。
- ②斜面に凹凸を意図的に設けることで、現地に自生する植生の自然侵入を促す。

上記①～②の実現に向け、植生ネットや植生マットからなる伏工の施工では、丸太筋工や丸太柵工を意図的に多用する試験施工を実施してみたい。

具体的には、例えば、慣例的に丸太筋工は、直高 1.5m～2.0m (勾配 30度で斜面長で 3m～4m 程) で施工されることが多いが、これを斜面長 1m～1.5m 前後の高密度の間隔で施工し、斜面に凹凸を意図的に多く作る。そうなれば、凹凸が日陰を多く作り、地際に苔類の生育を促すと考える。更に、風などで飛んでくる種子が捕捉し易くなる。すなわち、丸太筋工や丸太柵工の多用が、現地に自生する植生の自然侵入を促進させるために有効な手段に成るであろうと考える。また同時に、木材利用の推進にも貢献できる。

上記の考えを検証するために、機会があれば、周辺植生の自然侵入を促進させるための工法として、丸太筋工や丸太柵工を多用する緑化試験施工を実践し、継続調査を行ってみたい。

—以上—

#### (著者)

矢野間敬男 (やのまたかお) / 株式会社森林テクニクス長野支店 技師長/技術士 (森林部門-森林土木)