

コンクリートを用いずに斜面を守り 森を再生する施工事例について

永山 裕元¹・里中 新一²

¹ 中林建設株式会社 土木部工事課 (〒556-0014 大阪府大阪市浪速区大国2-1-19)

² 中林建設株式会社 土木部工事課 (〒556-0014 大阪府大阪市浪速区大国2-1-19)

現在我国で施工されている斜面安定工法の多くは、コンクリートやモルタルによるものが大半を占めているが、降雨などの自然災害による背面水圧上昇や、経年劣化により崩壊している事例が多数みられる。またそれに加え、自然本来が持つ緑豊かな景観や森の保水力、自然の再生力が無効とされている。

本論では、景観性の向上や森の回復を背景に採用された「全天候フォレストベンチ工法」の施工事例や、現在における法面の状況、森の再生状況を報告するものである。

キーワード 森の再生、透水性、景観性、自然回復、間伐材、斜面防護、斜面の安定

1. はじめに

国土の狭い我が国では、山地や山と面した土地が大部分を占めており、道路や敷地を造成する際には、ほとんどと言っていいほど斜面や崖が発生する。その際、各現場の環境やコスト面などを踏まえた防護工法が選定されるが、従来の多くは、その対策に石積みや各種の擁壁、吹付や法枠など、コンクリートが広く使われてきた。

しかし近年では、多発する局地的豪雨、大型台風、山から湧出る伏流水などの影響により、高い水圧で軟弱化された土砂が原因となる斜面崩壊事例が増えている。そのため、遮水性が高く重量なコンクリートに代わり、透水性が高く軽量の部材による斜面安定化対策が求められるつつある。また景観保全や自然機能の回復が求められる地域では、コンクリートと草による植生を併用した工法がよく使われるが、樹木が育ちにくいこれらの工法では、完全な自然景観や森の自然回復は困難であった。

このような課題を解決する方法として開発された工法の一つに、全天候フォレストベンチ工法がある。この工法は透水性の土留柵とアンカー（鉄筋挿入工）を用いて切土斜面を安定化させるもので、階段状に造成された水平面への植樹による森の回復機能と、土留柵に設置した間伐材による自然風味な景観性が特徴である。

本論では、この全天候フォレストベンチ工法の概要と特徴を冒頭で説明した後に、当工法が採用された数件の施工事例において、斜面工法に必要な安定的機能に加え、求められた景観性や森の再生による自然回復状況について、現状を報告するものである。

2. 斜面防護工法の概要

本論において論点とする全天候フォレストベンチ工法は、前述のとおり透水性土留柵とアンカー（鉄筋挿入工）により切土斜面を安定化させるもので、段切りして切り取られた斜面上に、アンカーと透水性土留柵で支えられた階段状の土砂擁壁を造成し、その土砂擁壁を幾段にも積み重ねることで斜面を安定化させるものである。また土砂擁壁により得られた階段状の水平面には、従来は植草が主であった斜面の植生に対し、当工法では中木などの植樹が可能となり、従来の工法にはない森の早期回復が可能となった。

当工法の概要を図-1に、特徴などを以降に記述する。

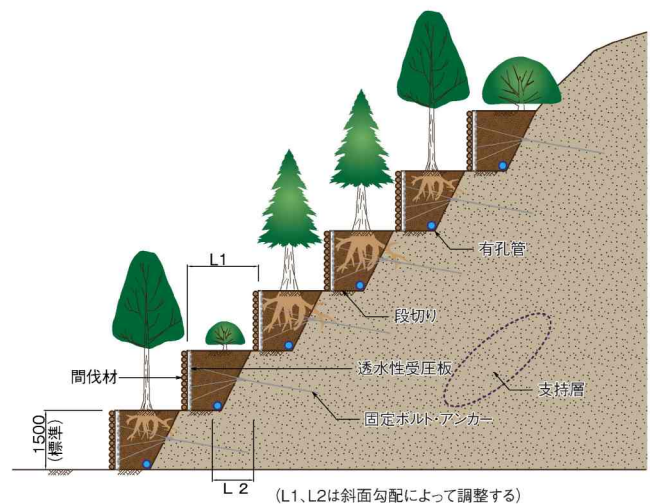


図-1 全天候フォレストベンチ工法の概要図

(1) 当工法が開発された背景

当工法は斜面の安定化と自然機能の両立に際し、以下の4点に着目して開発された。

a) コンクリートに頼らない斜面の安定化

コンクリートの無機質な景観を排除。自然素材による景観性の向上と斜面構造物の軽量化を実現。

b) 豪雨による斜面崩落や土砂災害の防止

遮水性の高いコンクリートは、豪雨の際の水圧上昇により破壊する事例が増大。透水性や通水性が斜面の安定化に重要であると考えた。

c) 斜面の安定化と緑豊かな森の回復

緑豊かな森を再生させることで、樹根の成長とともに斜面の安定度が増し、斜面の恒久的な安定を目指す。

d) 斜面保護と景観保全の両立

間伐材により表面被覆された土砂擁壁と森の再生機能により、斜面の安定性と景観性を両立させる。

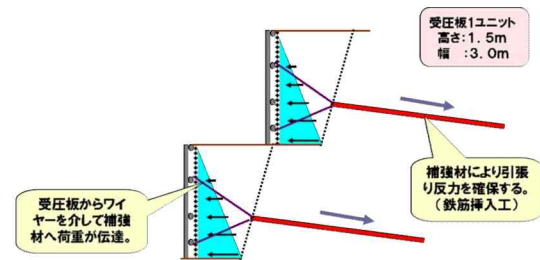


図-2 アンカーによる引張力のイメージ図

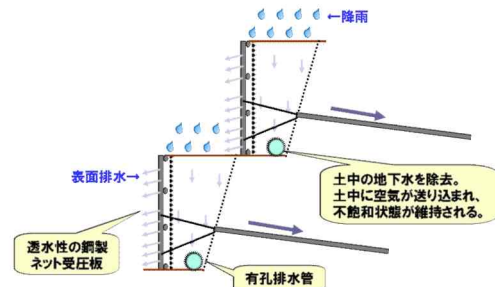


図-3 透水性土留柵のイメージ図

(2) 当工法の概要と特徴

当工法の基本構造は写真-1に示すとおり、段切りした斜面にアンカー（固定ボルト）とワイヤー、透水シート、金網、受圧板（パイプフレーム）、有孔管から構成され、間伐材を化粧材として使用する。地山と一体になるアンカー、ワイヤー、受圧板までが連結されることにより、中に埋められる土砂の器が出来上がる。土砂はそこで圧縮状態となって安定し、土砂擁壁として斜面を防護する。

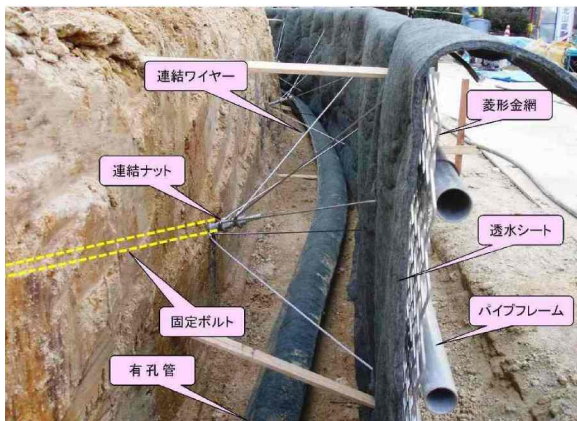


写真-1 全天候フォレストベンチ工法の背面構造

また、造成された土砂擁壁は、下記に示すような6つの構造的・景観的特徴をもつこととなる。

a) 特徴-1 段切りによる斜面の階段造成

段切りした斜面の上に土砂擁壁を構築することにより、重力に対する反力を最大限受け持ち、土砂擁壁のすべりや沈下を抑制させる。

b) 特徴-2 アンカーによる引張力の確保

受圧板に作用する土圧をアンカーの引張力で支えるしくみ。重さで抵抗するのに比べ、引張力では効率的に高い反力を得ることが可能。（図-2参照）

c) 特徴-3 透水性の土留柵の使用

パイプフレームと菱形金網からなる土留柵は土砂のみを止め、常に排水されるしくみとなる。（図-3参照）

d) 特徴-4 間伐材による景観性の向上

土留壁の化粧材に間伐材を使用。景観性の向上や間伐材の地産地消、リサイクルに貢献。（写真-2参照）



写真-2 間伐材の取付状況

e) 特徴-5 階段造成で得られる水平面

水平面の造成で、樹木による植生を実現。またメンテナンス用の足場としても活用できる。（写真-3参照）



写真-3 階段状の水平面と植樹状況

f) 特徴-6 軽量でコンパクトな部材の使用

狹隘で機械が入れない斜面においても、人力での土工事、土留壁施工が可能。

(3) 施工手順

当工法の施工手順を図-4に以下に示す。

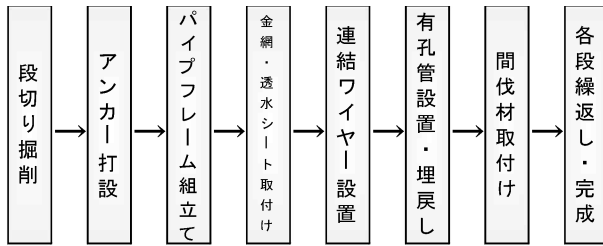


図-4 施工手順図

(4) 使用材料

表-1に当工法の主要部材の一覧を示す。

露出されるパイプフレームや菱形金網、埋設されるアンカー、ワイヤーなどの主要部材は全て金属製品であることから、適切に防錆処理が施されたものを使用する。またそれぞれが非常に軽量・コンパクトであることから、狭隘な山間地や急斜面でも、運搬・組立が容易に行なうことが可能である。

表-1 主要部材一覧表

名 称	規 格
パイプフレーム	STK400 φ48.6mm ZAMメッキ仕様
菱形金網	Z-GS3 φ3.2mm 溶融亜鉛メッキ
連結ワイヤー	φ6.3mm(6×19 G/O) メッキ仕様
アンカー	AS345メッキボルト HDZ55使用 D19mm
連結ナット	AS345用コマナット D19mm
透水シート	短繊維化繊維系 t=10mm
有孔管	高密度ポリエチレン管 φ100mm
間伐材	国産品 φ100～200mm
連結金物	ボルトナット、間伐材取付治具等 メッキ仕様

(5) 主な適用事例

現在約90件、約30,000㎡の施工実績がある。特に当工法の特徴や優位性が認められ採用された例としては、

- 森林保護地で森の早期回復が求められる場合。
- コンクリートが不向きな景観保全区域や環境保護地。
- 寺社や古墳など、歴史的建造物周辺の斜面防護。
- 急傾斜対策が必要な狭隘な民家裏斜面。
などが挙げられる。

3. 施工事例と現状調査

本項では、過去に施工された4件の施工事例を挙げ、当工法が採用に至った経緯や、その際に着目された課題や要望に対し、当時どのように目的を達成したか、或いは、現在において目的が達成されているかどうかを調査、検証を行なった。

(1) 施工事例 A

a) 工事の概要

琵琶湖の支流・瀬田川へ注ぐ大津放水路事業において、コンクリートで補強され切り取られた斜面を、剥ぎ取って当工法に置き換えた事例。2005年2月末竣工。

表-2 工事概要（施工事例A）

工 事 名	大津放水路開削水路建設(その4)工事		
発 注 者	国土交通省 近畿地方整備局		
施工区分	切土斜面	施 工 量	4段 723㎡

b) 採用に至った経緯

約1200年の歴史を誇る滋賀県大津市の石山寺。この由緒ある寺院に隣接する里山を切り開き、大津放水路が建設された。施工中、写真-4に示されるコンクリートで覆われていた斜面であったが、石山寺の景観を守りたい御住職や地元住民の方々の要望により、元の里山や豊かな自然環境が復元できるとして、当工法が採用された。



写真-4 コンクリート吹付の現状と撤去状況

c) 目的の達成度と現在の状態（竣工後8年）

間伐材で覆われた斜面には、現地と同じ樹種の植生を施し、当地にふさわしい景観を復元。（写真-5参照）



写真-5 間伐材に覆われた完成直後

また竣工後8年経過した現在では、植樹した木々が生い茂り、色彩豊かな里山が回復している。（写真-6参照）緑豊かな景観が復元したことで、当初の目的を達成した。

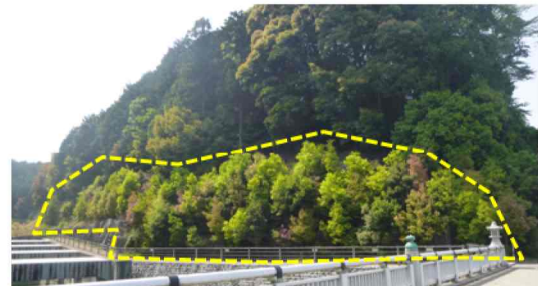


写真-6 美しい里山が回復した現在

(2) 施工事例 B

a) 工事の概要

圏央道八王子ジャンクション（JCT）城跡トンネルの南坑口。当初コンクリート製の緑化ブロックの採用が計画されていたが、中木の生長を期して当工法に変更されたもの。盛土斜面への適用例である。2006年2月竣工。

表-3 工事概要（施工事例B）

工 事 名	圏央自動車道 八王子城跡トンネル工事		
発 注 者	国土交通省 関東地方整備局		
施工区分	盛土斜面	施 工 量	6段 930㎡

b) 採用に至った経緯

城跡トンネル周辺の里山は高尾山自然公園に対面し、緑豊かな登山コースにもなっていた。地元住民や観光関係者から、緑豊かな自然を早期に戻すことを強く要望され、当工法が採用された。（写真-7は施工当時の現況）



写真-7 自然の姿とは程遠い施工中

c) 目的の達成度と現在の状態（竣工後7年）

当事例では、植樹した木々が生長するまでの期間中は、写真-8に示す間伐材で覆われた土留柵が、自然と調和した景観を演出。また写真-9は竣工から7年が経過した現況で、樹木が生い茂り完全に元の森が回復している。木々の生長で間伐材に覆われた土留柵は殆ど視認できない状態で、斜面を森に戻す当初の目的を達成した。

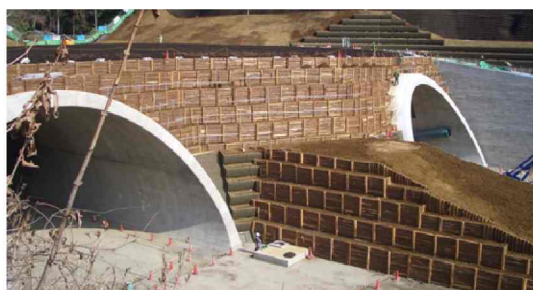


写真-8 施工直後の南側坑口



写真-9 7年が経過した現在の状態

(3) 施工事例 C

a) 工事の概要

城跡トンネルに隣接した西側の斜面。ここでも高尾山の景観に配慮し当工法が採用された。この斜面の高さは約40mで、林縁部となる最上段の12mが、重要な森林回復区間と位置付けされ採用された。2005年5月竣工。

表-4 工事概要（施工事例C）

工 事 名	中央自動車道 八王子ジャンクション中(その3)工事		
発 注 者	日本道路公団 東京建設局		
施工区分	切土斜面	施 工 量	8段 359㎡

b) 当施工箇所の特徴

写真-10で示すとおり、高速道路本線の造成により1：1.5勾配で切土された斜面のうち、上側の12mを当工法で造成し、水平面には苗木を植樹した。また残りの下側斜面は法面整形後、客土吹付＋金網柵を利用した植樹を行い、現地の景観に配慮した緑化が施された。

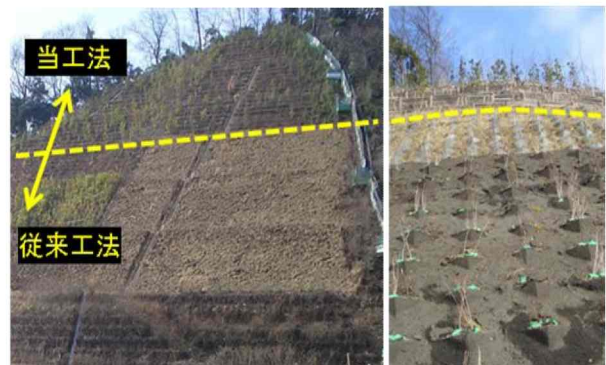


写真-10 異なる2工法で植樹した西側斜面
それぞれの樹木の生長具合の違いに着目した。

c) 目的の達成度と現在の状態（竣工後8年）

写真-11の当工法では、樹高1m程度であった植樹直後の木々が、現在では樹高5m以上になり、大きく枝を張った立派な中木へと順調に生長している。また、水平面へ堆積した落葉が腐葉土を生み出すサイクルが形成されるなど、著しい自然と森の回復がみられた。一方、写真-12の従来工法で緑化された斜面では、客土への植草が多少みられるものの、立枯れなどが目立つ荒れた斜面となっており、森の再生には更に時間を要するようである。

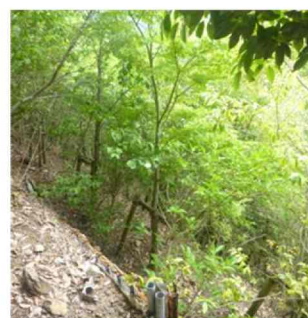


写真-11 当工法の現況



写真-12 従来工法の現況

またこれら状況は、対面する高尾山展望台からの景色（写真-13）をみると更に顕著であり、当工法において森を早期回復させるという目的を達成したと思われる。



写真-13 顕著に表れた森の再生度合の違い

(4) 施工事例 D

a) 工事の概要

八王子 JCT の最も西側の斜面で、最大高さ30m、平均幅が60mもの長大法面に採用された事例。先述の事例 B・C 工事において、森の回復力が評価され、当 JCT 最大の切土斜面においても採用された。2007年6月竣工。

表-5 工事概要（施工事例D）

工 事 名	中央自動車道 八王子ジャンクション西工事		
発 注 者	中日本高速道路(株) 横浜支社		
施工区分	切土斜面	施 工 量	20段 1511㎡

b) 採用に至った経緯

当斜面は、前述の事例 B、C と同様、高尾山自然公園に位置し、工法選定には景観への配慮と森の早期回復が求められた。また当斜面は写真-14のような岩盤が大部分を占める硬質な地山であったため、通常の植樹では木々が育たず、森の回復が見込めない土質であった。そのため、土砂擁壁による階段状の水平面が造成される当工法が、特に効果を発揮するものされ、採用に至った。



写真-14 硬質な岩盤 写真-15 植樹可能となった斜面

c) 目的の達成度と現在の状態（竣工後6年）

樹木が育ちにくい硬質な斜面においても、土砂擁壁に植樹された木々は現在でも順調に生長を続けている。その状況を写真-16及び写真-17に示す。ミシュラン三つ星観光地に選ばられるほどの景観地である高尾山の森を、早期に元の姿に戻すことで当工事の目的は達成された。



写真-16 順調に生長した竣工後3年と6年後



写真-17 完成直後と現在の西側斜面の状況

4. 今後の課題と調査

(1) 金属製の土留柵の耐用年数の調査

当工法は樹木の生長と共に、土中に張られた根が、生長するに従ってさらに斜面の耐久性を増していく「育つ土木工法」が特徴である。木々の根が育つまで、アンカーで支えられた土留柵が斜面の防護を受持つしくみをもつ。樹根の生長は立地や方角で様々であるが、金属製の土留柵の耐用年数は現在、約30年を目安としている。

写真-18の土留柵は約10年が経過したものである。まだ特に目立った劣化や錆は見られないが、腐植が進んだ際の樹根の効果は明確には未だ解明されておらず、今後も継続して調査を進めていく必要がある。



写真-18 10年が経過した金属製の土留柵

(2) 間伐材の耐用年数の調査

当初から約10年を見込んでいた間伐材の耐用年数だが、竣工後数年が経過した2事例において、調査を実施した。

a) 施工事例A（竣工から約8年が経過）

表面の間伐材は縦材がφ150mm半割材、横材がφ100mmの丸太材を使用。乾燥による若干の木ヤセがみられるが、元の状態を維持しており健全であった。（写真-19を参照）当事例では10年以上の耐用が可能だと考えられる。



写真-19 施工事例Aの間伐材の状態

b) 施工事例D（竣工から約6年が経過）

間伐材は縦材がφ200mm半割材、横材がφ100mmの半割材を使用。上記同様に若干の木ヤセが確認されたほか、上段の横材で腐食がみられ、一部で剥落している箇所があった。これは使用した横材が半割材であったため、木ヤセした際に形状を維持できなかったためと思われる。切断面が多い半割材を使用した横材は、丸太材に比べ腐食が早いようであった。（写真-20を参照）

当事例では、10年程度か10年を下回ることも考えられる。



写真-20 施工事例Dの間伐材の状態

間伐材が腐食して劣化した場合、

- ・ 樹木が生い茂る箇所では、取替えは特に不要。
- ・ 間伐材の取り換えは容易なため、道路際などでは定期的なメンテナンスを行なうとよいと考えられる。

c) その他の事例

間伐材の耐用年数を延ばすため、写真-21に示すような防腐処理剤を塗布したものを2010年より使用している。



写真-21 防腐処理剤を塗布した間伐材

これにより現行の10年から15年程度の耐用が見込まれ

ており、現在、数件の事例で実施・調査中である。

5. まとめ

「切り取られた斜面を本来の森に早期に復元させる」当工法のもつ自然回復機能が存分に発揮された結果、本論で紹介した4つの事例の全てにおいて、斜面を元の森に回復させ、当初の目的を達成していたと思われる。また景観性の確保という点についても、樹木が成長し森の姿を取り戻すまでの期間中、間伐材による表面被覆により、従来のコンクリートでは得られなかった自然に近い風合いを表現できたように評価する。

また、全事例が施工直後と変わらず斜面を防護していることから、必要な安全性も十分有していると言える。

斜面を一時的に支える鋼製部材が、耐用年数を迎え土に帰ったとき、土砂擁壁に植えられた木々の根が斜面の安定化を肩代わりし、元の自然を取り戻した斜面は恒久的に安定する。本当の意味でのメンテナンスフリーを実現することを、この全天候フォレストベンチ工法に期待する。今後も様々な施工事例を追跡調査しながら、本工法の積極的な活用と展開を図っていく所存である。

6. あとがき

高度成長期に作られた社会資本の高齢化は今、土木を担う我々に大きな課題を与え、転機を促している。橋梁やトンネルなど従来の暮らしを大きく改善してくれた社会資本が、ほぼ半世紀を過ぎて人々の暮らしを危険に陥れ、更に少子高齢化で税収減少に悩む次世代に、大きな負担増を強いていく恐れがあるからである。

本論では時間の経過と共に強度を増し、安定を高める斜面防護工法の存在を紹介した。森を育てる土砂擁壁こと、「全天候フォレストベンチ工法」は、コンクリートを用いずに、鋼材の引張力とたわみによって土砂擁壁の直立を図り、森が育った後は根の引張力で鋼材に置き換わるしくみである。鋼材が耐用年数を過ぎる頃には、森が大きく育って鋼材は不要となる。山が森によって守られ、棚田が稲作斜面を7千年もの間、保全してきた歴史と実績に倣って開発された技術である。

緑の増加は景観の保全やCO2の制御だけでなく、そこに暮らす人々に安心と癒しを与え、地球本来の財産を増やすことに貢献する。繁栄を続けながら子孫に残すべき地球創造のため、我々土木従事者は、生命や加齢と共存できないコンクリートを始めとした消耗品をできる限り減らし、本工法を始めとした生命を育てることのできる斜面防護工法への切換えが必要であると考える。