

在来木本種子を用いた急勾配岩盤斜面の 緑化工について

藤田 智人¹・福田 理司²

¹近畿地方整備局 六甲砂防事務所 工務課 技官 (〒658-0052 兵庫県神戸市東灘区住吉東町3-13-15)

²東興ジオテック株式会社 大阪支店 工務部 課長 (〒531-0075 大阪府大阪市北区大淀南1-4-15)

本報告は、阪神淡路大震災により被災した六甲山の山腹を復旧する工事において実施した植生工について、適用工法選定までのプロセスと、実際に行った試験施工、さらにその結果を検証して本施工の設計に反映させた経緯をとりまとめたものである。本工事は、近畿地方整備局発注の、苧川谷山腹(その3)工事である。工期は、平成26年2月より4年間で、現在施工中である。施工地は、神戸の市街地から大変よく見える場所に位置している。設計・施工上の問題点として、緑化の限界勾配を超えた急勾配地であること、自然豊かな六甲山系の山腹という立地条件を考慮し周辺環境との調和が図れる植生群落の形成が必要であることがあげられた。

キーワード 植生工選定, 限界勾配, 周辺環境との調和

1. はじめに

本現場は、平成7年1月に発生した阪神淡路大震災で被災した、六甲山の山腹を補強し緑化工で修景する工事である。施工箇所は、六甲山特有の花崗岩を基岩とし、断層、剪断に伴う岩盤の破壊、崩落が全域で見られる。斜面の勾配は場所により大きく異なるが、垂直に近い急勾配箇所やオーバーハング箇所も見られる大変過酷な条件である。この現場において緑化工を施工するにあたって、2つの問題点が浮かび上がった。それは、1) 植物の自然侵入が困難な急勾配斜面、2) 自然豊かな周辺の森林環境との調和である。

2. 植生工の近年の傾向

(1) 2005年 外来生物法施行前の傾向

外来生物法施行前に発行された「生物多様性に関する資料」¹⁾は、「防災目的の場合、イネ科草本を用いた急速緑化の他に代替できるよい工法がないという現状がある。」と記されている。また同書には「新たな工法の検討など早急な技術的対応が望まれる。」とも記されている。生育が早く、強く、安価で十分な供給量がある外来草本種は斜面の浸食防止に最適であるが、環境保全の観点では好ましいとは決して言えないことがわかる。

(2) 2008年生物多様性基本法施行後の傾向

生物多様性基本法施行後に発行された「地域生態系の保全に配慮したのり面緑化工の手引き」²⁾には、生物多

様に有効な工法として、表土利用工、自然侵入促進工、地域性種苗利用工の3工法が記載されている。

a) 表土利用工

表土利用工は、緑化目標とする植生群落が成立している土壌の表土に含まれている埋土種子を活用した緑化工法である。そのため、施工地域外の種苗を使用せずのり面を緑化することが可能であり、地域生態系の遺伝子の攪乱に配慮することができる。一方で、主に埋土種子に成立を委ねているため、発芽・生育する植物の種類や量の予測ができない問題がある。

b) 自然侵入促進工

自然侵入促進工は、緑化目標とする植生群落に近接するのり面を対象として、周辺から自然に飛来する現地種子の定着(発芽・生育)によってのり面緑化を図る工法である。そのため、この工法は地域の自然植生による緑化が可能となる。一方でのり面に飛来する種子を選択できない、種子量を調整できないことから、緑化目標とする植生と異なる群落が成立することが考えられる。

c) 地域性種苗利用工

地域性種苗利用工は、のり面周辺の自然植生から採取した種子、またはその種子から育苗した苗木を利用することにより、表土利用工や自然侵入促進工では自然に委ねている植生導入を、計画的かつ短期間に行うことが可能な工法である。地域性の苗木を育成するには、育成場所や2年程度の育苗期間を要するなどの条件が加わるため、事前の種子採取・育苗計画を立案しておく必要がある²⁾。

(3)もっとも採用されている工法

前述の「地域生態系の保全に配慮したのり面緑化工の手引き」²⁾には、生物多様性に配慮した緑化工の適用範囲として、国立公園や島嶼部等の地域に特有な生物多様性を保全する必要が高い地域と記されている。したがって、前述した3工法は、基本的に限定的な立地に適応される工種といえる。経済性や工期を考慮すると、やはり市場単価方式が適用されている植生基材吹付工が最もポピュラーな工法と言えるが、市場単価方式の植生基材吹付工に適用される種子は外国産が対象となっているため、近年では使用が敬遠される傾向にある。



写真-1 近接する施工済み箇所近景 2014年6月

3. 周辺及び現地調査

(1) 近接施工地の調査

本現場に近接している既施工地では従来型の緑化が行われているが、緑量が最も多い時期においても生育基盤の露出率が非常に高い状態であった(写真-1)。

生育基盤の露出状態が続くと基盤は乾燥収縮し、風化が進行し、いずれ剥離して元の岩肌が露出してしまうことが懸念される。既施工地で確認できるのは外来草本種がほとんどであり、生物多様性保全の上であまり望ましくないといえる。



写真-2 施工対象地全景

(2) 今回の施工対象地の調査

施工地は、正面左側と右側に位置する2つの崩壊斜面で構成されている(写真-2)。垂直に近い急勾配箇所やオーバーハング箇所が見受けられ(写真-3)、六甲山特有の花崗岩を基岩とし、断層、剪断に伴う岩盤の破壊、崩落が全域で確認できる。土壌硬度が高く硬いの脆く、しかしながら節理間隔が広く部分的には一枚岩状を呈している。さらに、斜面は南向きで夏季に強い乾燥条件下に置かれることが想定された。



写真-3 垂直に近い急勾配岩盤斜面の近景

(3) 施工対象地近隣の調査

六甲山系は明治時代におきた過度な森林利用の結果、広大な禿山(はげ山)となった過去があり、現在は一度失われた自然林の代償植生である常緑広葉樹二次林(シイ・カシ林)が広がっている。施工対象地近隣で確認できた植物は図-1のとおりである。



図-1 現地調査で確認できた木本類

4. 適用工法の検討

(1) 環境保全水準(環境区分)の設定

自然回復緑化の検討では、施工対象箇所について、個々の事業ごとに地域の自然生態系の状況や、地域にとっての自然生態系の社会的・文化的位置づけ等を調査した上で環境保全水準(環境区分)を設定する⁵⁾。自然回復緑化のための環境保全水準と留意点を表-1に示す。

環境保全水準は、学術的にも価値が高い原生保全地域や自然公園における特別保護地域などのように、遺伝子レベルでの保全が求められるような地域に移入種が人為的に持ち込まれるのを防止したり、既に人為的影響を強く受けている地域や大規模災害を受けた地域等の緑化において、必要以上に植物材料の調達範囲が制限されることにより、かえって災害復旧や自然回復が遅れてしまう問題を回避するため、施工対象地の緑化目的に合致する適切な植物材料の選定を図ることを目的に設定する。したがって、環境保全水準は、過度の自然保護や経済的理由に左右されることなく、施工対象地の緑化目標や目的に合致するように設定する必要がある。

前述のとおり六甲山は、過去に人為的攪乱を大きく受けた自然林の代償植生である常緑広葉樹二次林(植生自然度6~7に該当)である。また、当該工事は阪神淡路大震災の復旧工事である。こうしたことから考えて、当該

施工地の環境保全水準は「3」に設定するのが妥当と考えられた。したがって、当工事においては、従来の法面緑化で多用されてきた外来種や外国産在来種は使用せず、国内産在来種を使用することを基本方針とするのが望ましいと判断した。

(2) 初期緑化目標の設定

初期緑化目標とは、施工対象地に緑化工によって形成される植物群落のことである。施工対象地は部分的に一枚岩状を呈する部分が見られるが、多くの箇所では節理が発達して樹木根系の伸長は可能と判断された。木本類の根系は深く鉛直方向に伸長するので、基岩に亀裂がある場合には根系の伸長は可能と言われている³⁾からである。したがって、本現場では周辺で確認された落葉広葉樹の「先駆種」を主体とし、周辺のシイ・カシ林を構成する常緑広葉樹の「遷移中後期種」が混成した木本植物群落の形成を初期緑化目標に設定した。(表-2)

表-2 自然回復のための初期緑化目標⁵⁾

初期緑化目標	
目標群落の主構成種	目標群落の外観によるタイプ
草本類 (草本植物主体の群落)	草原タイプ (草原状の群落) 低中木林タイプ
先駆樹種 (先駆樹種主体の群落)	(法面で樹高2~3m程度になる群落) 中高木林タイプ (法面で樹高3m以上になる群落)
遷移中後期種 (先駆樹種と遷移中後期種が混成する群落)	低中木林タイプ 中高木林タイプ

表-1 自然回復緑化のための環境保全水準(環境区分)と留意点(案)(抜粋)⁵⁾

環境区分	【環境区分1】	【環境区分2】	【環境区分3】	【環境区分4】
環境区分設定のめやす	<ul style="list-style-type: none"> 提言の遺伝子保存地域。あるいは系統保全地域に相当する地域 自然公園の特別保護地区、第1種特別地域、あるいはそれに相当する地域 極相植物群落、あるいはそれに近い植物群落の地域 植生自然度が9,10に相当の地域 貴重種・重要種の生育地域 学術上の観点から重要と認められる地域 	<ul style="list-style-type: none"> 提言の系統保全地域。あるいは種保全地域に相当する地域 自然公園の第2種、第3種特別地域、あるいはそれに相当する地域 自然林、あるいはそれに近い二次林地帯、二次草原地域 植物自然度が8相当の地域 環境区分1と近接している地域 早急な復旧が求められる自然公園内の大規模災害被災地 	<ul style="list-style-type: none"> 提言の種保全地域。あるいは移入種保全地域に相当する地域 自然公園の普通地域、あるいはそれに相当する地域 二次林、二次草原、人工造成林地帯 植生自然度が6,7に相当の地域 人為的攪乱を大きく受けている自然林地帯 早急な復旧が求められる自然公園以外の大規模災害被災地 	<ul style="list-style-type: none"> 提言の移入種管理地域に相当する地域 市街地、農耕地、牧草地 人工的景観造成が求められる地域 植生自然度が1~5に相当の地域 浸食防止を目的とする場合
初期緑化目標	<ul style="list-style-type: none"> 5~20年で地域性系統のみの植生群落を造成・回復する。 自然回復に時間を要しても許容する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5~10年で地域性系統~自生種(地域区分内)が主体の植物群落を造成・回復する。 	<ul style="list-style-type: none"> 5~10年で地域性系統~自生種(国内)が主体の植物群落を造成・回復する。 	<ul style="list-style-type: none"> 1~3年で良好な景観造成が可能な植物群落を造成・回復する。
導入植物	<ul style="list-style-type: none"> 当該地域の地域性系統の植物材料のみを用いる。 採取地は、施工対象地の市町村レベルの自治体区分、もしくは森林帯を同じくする同一河川の流域区分内とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 当該地域の地域性系統の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約がない場合は自生種(地域区分内)の植物材料を用いてもよい。 先駆樹種や短命な植物の植生材料は自生種(国内)の範囲までであれば用いてもよいが、環境区分1地域への逸脱の危険性等がないことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 当該地域の地域性系統~自生種(地域区分内)の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約がない場合は自生種(国内)の植物材料までの範囲で用いてもよい。 場所により、自生種(国内)、移入種(外来草本等)を用いてもよいが、環境区分1~2地域への逸脱が危険性等がないことを確認する。 	<ul style="list-style-type: none"> 自生種(国内)までの範囲の植物材料を用いることが望ましいが、特別な制約が無い場合は自生種(国外)、移入種の植物材料を用いてもよい。
	<ul style="list-style-type: none"> 種子・さし穂・苗木(山引き苗・育成苗)など、植物材料の採取地・生産地(育成地)が明確なものを用いる。 			

(3) 導入植物の選定

導入植物は、生物多様性に配慮して外来種を使用せず、国内産在来種を使用する方針とした。国内産在来木本種を主構成種とした初期緑化目標を達成するために、主構成種が成長するまでを補う補全種を混播した。また、木本類が成立するまでの表層保護および生育基盤の乾燥防止対策として草本類を微量混播する計画とした。

(4) 適用工法の選定

ここまで述べてきたとおり、表土利用工や自然侵入促進工では、植生の成立を自然に委ねる部分が大きくリスクが高い。一方で地域性種苗利用工は、植物材料の準備期間が必要であり、環境保全水準の観点から過大設計と考えられた。そのため一般的な植生基材吹付工(市場単価)と地域性種苗利用工の中間的な工法の適用が本現場には適していると判断した。

5. 斜面樹林化工法の選定

斜面樹林化工法 (NETIS QS-980148-VE) とは、1995年に発足した斜面樹林化技術協会が提供する、国内産在来種を用いた播種工による自然回復緑化工法である。生育が遅い由来木本種の性質に最適な、専用基盤材、専用浸食防止材を用いて吹付施工する。特徴的なことは、保存が難しいとされていた由来木本種子を専用冷蔵貯蔵施設と品質保持剤を使用して、保存・検定・供給するシステムを確立していることである(図-2)。国内産在来木本種を斜面防災に長年活用してきた実績や、保管・検定が難しい国内産在来木本種を常時保管・供給できる体制が整っていることから(図-3)、当現場の初期緑化目標達成に最適な工法と判断した。また播種工で導入した木本類は、

植栽工で導入されたものと比較して防災効果が高いことも知られており⁴⁾(図-4)、斜面防災の観点からも有効といえる。

<p>種子採取</p>  <p>最適な種子採取時期に、最適な方法で採種します。</p>	<p>種子保管</p>  <p>種子専用貯蔵施設で、樹種ごとに最適な貯蔵条件で保管します。</p>
<p>種子品質検査</p>  <p>「早期発芽力検定法」により、短期間で木本種子の発芽率を検査し、品質証明書を発行します。</p>	<p>種子計量・袋詰め</p>  <p>自動計量袋詰装置で正確に計量・袋詰めし、品質保持材を混合して出荷します。</p>

図-2 斜面樹林化工法における在来木本種子の保管・検定・供給過程⁴⁾



図-3 斜面樹林化技術協会が専用貯蔵施設で保管し随時供給可能な斜面安定工指針に記載されている在来木本種子⁴⁾

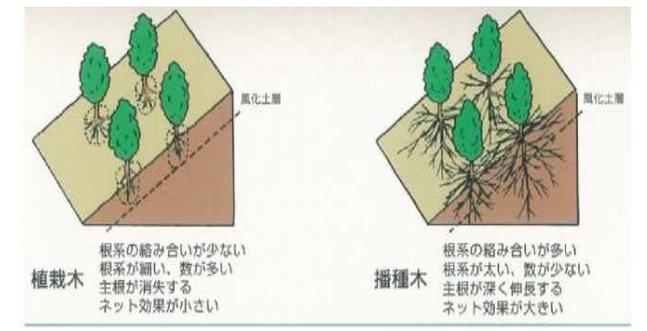


図-4 木本植物の導入方法の違いと根系の状況⁴⁾

6. 試験施工による工法選定の妥当性の検証

斜面樹林化工法の現地における適応性の確認、および最適な種子配合を検証するために、2015年11月に試験施工を実施した。3パターンの種子配合(表-3)を300㎡ずつ、合計900㎡の吹き付けを実施した。吹付厚は100mm、肥料、接合剤は、斜面樹林化工法の標準仕様を用いた。

試験施工の追跡調査と生育判定は、斜面樹林化工法技術資料⁴⁾に基づき2016年7月に実施した(表-4)。その結果、播種した在来木本類は順調に生育し、3配合とも生育判定基準を満たしていることが確認された(表-5)。

表-3 試験施工種子配合表

A配合			B配合			C配合		
	植物名	発生期待本数		植物名	発生期待本数		植物名	発生期待本数
主構成種	ネズミモチ	40	主構成種	ネズミモチ	20	主構成種	ネズミモチ	10
	ヤマハゼ	20		アカメカシワ	30		アカメカシワ	15
	アカメカシワ	30		スルデ	40		スルデ	20
	スルデ	40		クサギ	20		クサギ	10
	クサギ	20		補全種	コマツナギ		40	補全種
補全種	コマツナギ	40	草本類	ソシバ	500	補全種	TF	50
草本類	ソシバ	500				草本類	ORF	20



写真-4 試験施工実施状況

今回の工事は、遷移中後期種と先駆樹種が混成した植物群落の形成が目標である。A・B・Cいずれの配合も生育判定基準を満たしたが、秋に紅葉するヤマハゼや春に花をつけるフジウツギによる修景効果も期待でき、もっとも多くの主構成種の成立が確認できたA配合が、本現場に最適であると判断した。

7. 学識者による内容確認

試験施工に至る経緯と試験施工の追跡調査による生育判定結果を踏まえ、最終的に採用する配合については、客観性を担保する意味も含め、兵庫県立大学名誉教授の服部学術博士に内容確認とアドバイスをお願いした。頂いたアドバイスの主な内容は2点で、1)常緑樹は植物遷移の最終形であり、鬱蒼とした暗い森を造形してしまい、生物多様性の面で好ましくない。2)フジウツギは本来六甲山系に存在しなかった種であり、たとえ国内産在来種といえど好ましくない、というものだった。このアドバイスをもとに、試験施工の達成率を数値化し、本施工に向けて修正配合を検討した。



写真-6 試験施工の追跡調査状況 2016年7月



写真-5 樹林化工法の専用資材



写真-7 生育判定近景 2016年7月

表-4 生育判定の時期と判定基準⁴⁾

施工地域	施工時期	生育判定の時期
北海道～東北	3～6月	10～11月
	7月	翌年の5月
	10月(下旬)～12月(月上旬)	翌年の8月
関東以内	1～2月	7～9月
	3～6月	10～12月
九州～沖縄	11～12月	翌年の7月
	1～6月	7～12月
	10～12月	翌年の7月

表-5 施工8ヶ月後の成立本数

植物区分	項目	成立本数	成立本数		
			A	B	C
主構成種	3本/m ² 以上	108.2	67	11	
	(評価)	○	○	○	
補全種	5本/m ² 以上	0.6	0	0	
	(評価)	△	×	×	
草本類	5～100本/m ²	141	49	26	
	(評価)	△	○	○	

植物区分	項目	成立本数
主構成種		3本/m ² 以上
補全種 (草本類) ^{注)}		5本/m ² 以上 (5～100本/m ²)

表-6 生育判定結果と学識者の提言に基づいた修正配合

	A配合			B配合			達成率の 平均値(%)
	期待本数 (本/m ²)	施工後8ヶ月 (本/m ²)	達成率(%)	期待本数 (本/m ²)	施工後8ヶ月 (本/m ²)	達成率(%)	
ネズミモチ	40	9	22.5	20	6	30.0	26.3
ヤマハゼ	20	19	95.0	---	---	---	95.0
アカメガシワ	30	24	80.0	30	24	80.0	80.0
ヌルデ	40	3	7.5	40	6	15.0	11.3
クサギ	20	52	260.0	20	31	155.0	207.5
フジウツギ	50	1.2	2.4	---	---	---	2.4
コマツナギ	40	0.6	1.5	40	0	0.0	0.8
ノシバ	500	141	28.2	500	49	9.8	19.0

修正事由	修正期待 本数 (本/m ²)
ネズミモチ……達成率3割未満と芳しくない結果であるが、服部先生のご意見を考慮し、B配合値を採用。	20
ヤマハゼ……達成率9割越のためA配合値より修正なし。	20
アカメガシワ…達成率8割の為、期待本数3割増(30本→40本)とする。	40
ヌルデ……達成率1割の為、期待本数5割増(40本→60本)とする。	60
クサギ……良好である為、修正なしとする。(ネズミモチ及びヌルデの未達分補填を考慮し減量もしない。)	20
フジウツギ…服部先生のご意見を考慮し、削除とする。	---
コマツナギ…主構成種でない為、修正しない。	40
ノシバ……主構成種でない為、修正しない。	500

検討の結果、今回の配合の中で唯一の常緑樹がネズミモチであり、周辺の森林が常緑広葉樹で構成され、かつ過酷な立地条件のため自然侵入の可能性が大変低い当該施工地において、常緑樹を削除してしまうと冬季に完全に緑量を失いかねないと考えられた。そのため、ネズミモチは試験施工より減量し、フジウツギは削除することとした。また、成立本数が少なかったアカメガシワとヌルデを増量して確実性を高める方針とした。(表-6)

8. 本施工

試験施工の内容と学識者の意見を取り入れた修正配合を採用し、本施工は2016年12月より開始した。施工は順調に進捗しており(写真-8)、2017年5月に完了の見込みである。工事としては、その後約4ヶ月をかけて足場、モノレール、索道といった仮設備を撤去して、今秋に完成となる予定である。



写真-8 本施工における吹付施工状況

9. おわりに

本報告では、事前調査・検討・試験施工・検証・修正・設計変更・本施工と、実際に行ってきた過程を述べた。過酷な立地条件でも、防災と環境保全を両立した施工が可能であることを証明できた点は、今後の山腹緑化工の検討にあたり大変有用であったと考えている。本報告が今後の緑化工検討の参考になれば幸甚である。

謝辞 試験施工の計画から実施後の現地調査や修正配合の立案まで、兵庫県立大学・服部名誉教授に技術的助言をいただいた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) (社)道路緑化保全協会 生物多様性に関する資料、道路緑化技術資料NO.7 2002
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所 地域生態系の保全に配慮したのり面緑化工の手引き 2013
- 3) (社)日本道路協会 道路土工 切土工・斜面安定工指針 2009
- 4) 斜面樹林化技術協会 斜面樹林化工法技術資料第6版 2015
- 5) 日本緑化工学会斜面緑化研究部会 のり面における自然回復緑化の基本的な考え方ととりまとめ、日本緑化工学会誌29(4) 2004