

木製法面保護工について

長野県木曽地方事務所 林務課森林路網係主査 ○ 山口真保呂^{やまぐちまほろ}

要 旨

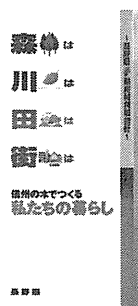
長野県の間伐材搬出率は全国平均に比べ少ない状況で、売れない間伐材は切り捨てられてしまうことから、新たな需要を開拓する必要がありました。そこで平成15年4月に策定された「長野県県産材利用指針」のビジョンに則り、林道の法面保護に大量の木材利用を図る工法を開発し実施しました。

はじめに

長野県の森林面積は、1,054,528ha（平成16年4月「長野県民有林の現況」旧山口村を含まない）と県全体の面積の78%を占めています。これは、北海道、岩手県に次いで全国で3番目の面積です。その内、民有林は森林面積の64%を占め、その人工林率は48%です。その人工林で間伐対象森林の面積割合は約28%で、平成14年度までに半分以上の面積で間伐が実施されてきました。

しかし、長野県は急傾斜地が多いことから、地域によっては間伐材が搬出されず切り捨てられているのが実情です。平成14年度の間伐材の搬出率は、全国平均で38%であるものの、長野県では20%と低調です。（平成16年4月「第6期間伐総合対策（案）」（長野県林務部）33、34頁）

そのため、平成15年4月に「長野県県産材利用指針」を策定し、その中で10のビジョンを示しました。そのひとつに「工事を変えます」というビジョンがあり、その主要なアクションプランに、間伐材使用量を土木部、農政部、林務部あわせて平成12年度木材使用実績9,652m³に対して5年間で3倍アップさせ、平成19年度で29,700m³とすることが目標として定められています。



ビジョン1 | 工事を変えます

森・川・道等の工事に県産間伐材を積極的に利用するとともに、環境に配慮した自然共生型の工法を取り入れることにより信州らしさを創出します。

アクションプラン 1-1: 公共土木事業で間伐材利用3倍増を目指す

（年間3万m³、標準的な木造住宅1,000棟分）

1-2: 護岸や護床等、河川・湖沼等における県産間伐材利用

1-3: 田畑や農村の整備における県産間伐材利用

「長野県県産材利用指針」13頁

また、県産材利用指針に関連する取組内容（平成15年度実行版）では、平成15年度の主な取組みとして、公共事業で間伐材使用量を3割アップさせることが明記されていました。

しかし、県の予算が厳しい中、従来どおりの工法を採用していたのでは、アクションプランの実現は到底不可能であり、絵に描いたモチになってしまう、と考えました

以上のことを背景に、「木製法面保護工法」を開発し、実施しました。

1 施工箇所の概要

施工したのは、長野県木曽郡日義村で開設中の県営林道渡沢鳥居峠線砂ヶ瀬工区（図1）です。

平成14年度まで当地では、切土勾配を8分としその法面を保護するために、現場吹付法枠工や簡易吹付法枠工が採用されました。しかし、当地は地山横断勾配が 38° から急なところでは 45° 以上にもなる急傾斜地であり、そのため、法の直高は10m以上にも達し、多くの林地を失わせていました。

そこで、法の勾配をこれまでより急にして構造物で斜面安定を図り、なおかつ、コストも削減できる木材を利用した工法はできないか、と次の目標を設定し、開発の検討を始めました。

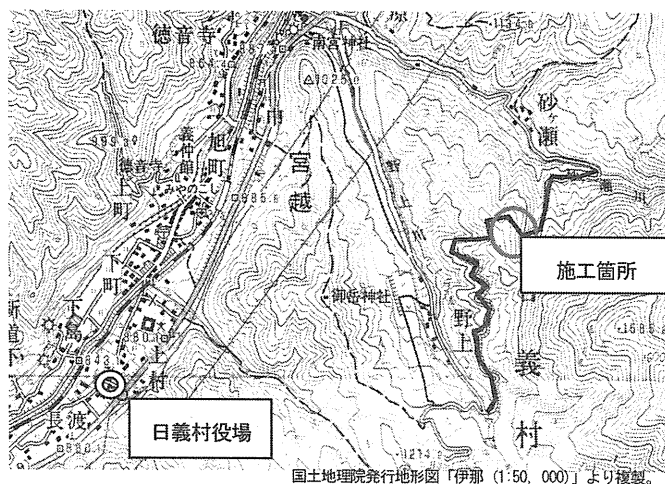


図1 施工地位置図

2 開発における目標設定

まず、第1に木材を使用した工法とすることでした。これは、先述したとおり、長野県の施策方針として喫緊の課題でもあったので、すべてに優先させました。

第2に、前年度までの切土法勾配を8分から6分と変更し、前年度までと比較して切土量と法面保護面積を削減することでした。これは、コスト削減に直結することでもありました。

しかし、6分の勾配で切土した場合、何らかの施設で斜面安定を図る必要があり、地山の状況から現場吹付法枠工の設置が望ましいものと判断されました。

そこで、第3の目標として現場吹付法枠工の代替となる構造物の施設とし、安定計算することでした。

第4の目標は、木材腐朽の対策でした。一般的に薬剤注入等を対策として行いますが、腐ったときは交換が可能な工法とすることを対策とし、木材利用を持続可能なものとししました。

第5の目標は、材料を素材のまま利用することでした。従来のコンクリート等の構造物に代替する木材を利用した工法は、そのほとんどが予め何らかの加工が施され、コストは従来工法に比べ割高な気がしていました。今回は、誰もが手に入れやすい材料とし、現場での加工が必要となっても容易である構造を目指しました。

第6の目標は、5番目までの目標を達成し、結果として前年度よりコストを削減することでした。

3 構造

以上の設定により作成した構造が 図2となります。法面をラス金網で覆い、200mmのH鋼を2mピ

ッチで斜面に鉛直方向に伏せます。H鋼の横には、交互に50cmピッチでアンカー鉄筋を打ち込み、H鋼と溶接します。現場吹付法枠工の場合、吹き付けることでアンカーとモルタルが一体化されるので、その状態に相当させるため溶接して一体化を図ります。

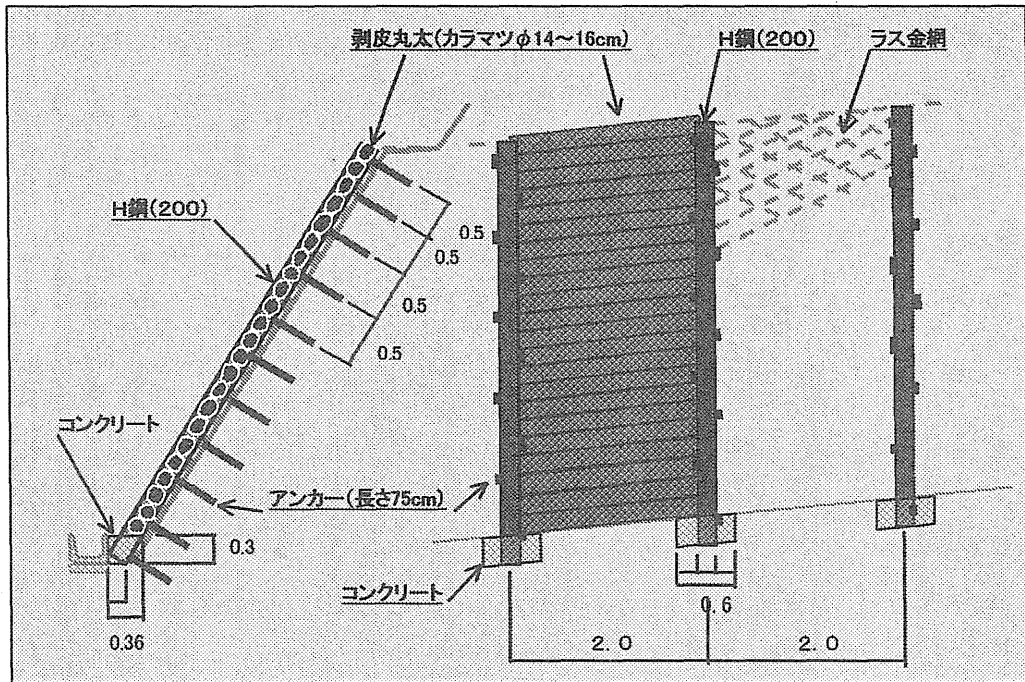


図2 構造図

H鋼は、最長で5mとしました。これは施工性を考慮してのことです。バケット0.8m³規模のバックホウをH鋼の設置に使用することを前提にすると、吊り上げる高さの限界が6mから7mとなります。このことから妥当な長さでした。

切土は、路面高さから直高4mごとに50cmの小段（平成16年度は80cmとしました。）を設置して2段を6分で切り、3段目以降は8分で切り取り厚層基材吹付工を施工することとしました。

H鋼下部は洗掘を防止するため、コンクリートで巻き立てます。そして、降雨、降雪による斜面の風化、浸食を防止し切土法面を安定させるため、全面丸太をH鋼の間に落とし込む構造としました。

4 吹付モルタル・コンクリートとの違い

ところで、吹付モルタルやコンクリートは、凍結、融解等により劣化し写真1・2のような状態になってしまう現場もよく見られます。このような状態の法枠工は、当初目的としていた強度を得ることは出来ず、まして強度復元のために交換することはできません。しかし、今回の工法は、丸太を交換することで強度を保つことが可能です。また、H鋼の特色として、吹付モルタルやコンクリートに比べて、曲げ強度、引っ張り強度も大きいことが挙げられ、また、腐食速度は陸上大気中で1年間に0.1mm（平成13年4月1日適用「積算基準書治山事業設計基準書」（長野県林務部）450頁）と十分な耐久性があります。

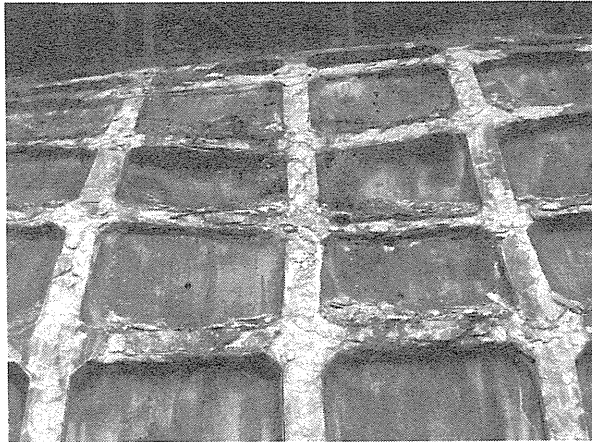


写真1 国道256号



写真2 林道八ヶ沢線

5 安定計算

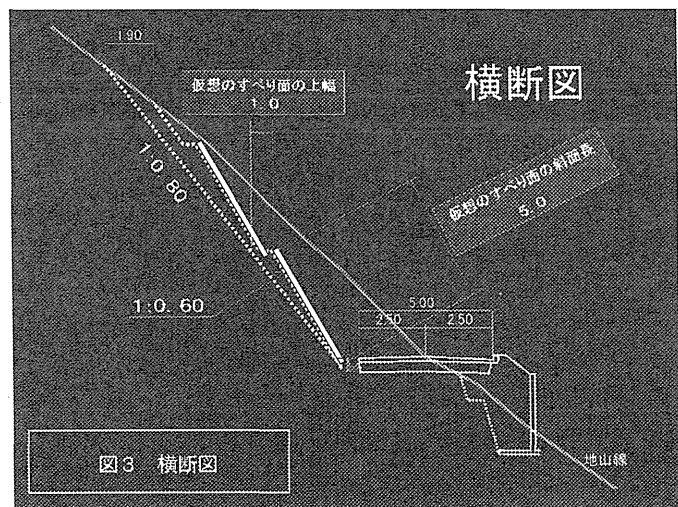
そこで、現場吹付法砕工の安定計算に準じ、H鋼を縦枠、丸太を横枠として安定計算を行ないました。

まず、仮想のすべり面の上幅を1m、仮想のすべり面の斜面の長さを5mとしました。これは、8分から6分へと切土勾配を急にした分だけ不安定になると想定したからです。

丸太の径は15cmとし、設置するすべての丸太に荷重がかかると想定しました。

すると丸太にかかる応力は16kg/cm²であるのに対し、丸太の許容曲げ応力度は90kg/cm²であるので十分安定します。H鋼は、かかる応力が26kg/cm²に対し、許容曲げ応力が1,400kg/cm²であり十分安定します。モルタルやコンクリートの許容圧縮応力は60kg/cm²程度なのではるかに大きなものです。強度に優れ、施工後のクラックが生じる心配もありません。

設計条件 (表層すべりの抑止)			
H鋼間隔	A (横方向) =	2000mm	
	B (縦方向) =	4500mm	
H鋼断面	b =	200mm	
	h =	200mm	
H鋼単位体積重量	$\gamma_c =$	0.05t/m ³	
丸太の単位体積重量	$\gamma_s =$	0.5t/m ³	
丸太の平均径	$\phi =$	150mm	
丸太の許容曲げ応力度	$\sigma_M =$	90kg/cm ²	
丸太の断面係数 ($Z_M = \pi \phi^3 / 32$)	$Z_M =$	331cm ³	
H鋼断面係数	$Z_x =$	472cm ³	
	$Z_y =$	160cm ³	
H鋼許容曲げ応力度	$\sigma_{sa} =$	1400kg/cm ²	
アンカー用鉄筋許容せん断力	$\tau_{sa} =$	800kg/cm ²	
有効高さ	d =	15.0cm	
地山の単位重量	$\gamma_g =$	2.0t/m ³	
仮想すべり面の上幅	a =	1.00m	
仮想崩壊長さ	L =	5.00m	
斜面の傾斜角	$\theta =$	59.0°	
	$x_1 = L \cos \theta$	$x_1 =$	2.58m
	$x_2 = x_1 + a$	$x_2 =$	3.58m
	$\tan \alpha = h_1 / x_2$	$\alpha =$	50.2°
仮想すべり面の高さ	$h_1 = L \sin \theta$	$h_1 =$	4.29m



丸太の許容曲げ応力度 建築基準法施行令第89条

H鋼断面係数 「森林土木ハンドブック (改訂増補版)」 (千代田出版 H2.5.30 5版発行) 1291頁

H鋼許容曲げ応力度 「森林土木構造物標準設計 橋台編」 (財団法人林業土木コンサルタンツ H16.3.20 発行) 21頁

鉄筋許容せん断力 「コアフレーム工法-技術資料-」 (コアフレーム協会編 H6.10.1 第4版発行) 23頁

丸太安定計算

①荷重の算定 (1スパン)=	2.00m 当り)
地山の重量 W_e	
$W_e = 1/2 \times a \times h \times \gamma \times$	7.56 t/スパン
丸太重量 W_s	
$W_s = 12 \times \gamma_s \times$	0.69 t/スパン
11: 丸太材積 (1本当り)	0.05m ³ /本
12: 丸太総材積	1.35m ³ /本
n: 丸太本数	30本
$W = W_e + W_s =$	8.25 t/スパン
すべり力: Q	
$Q = W \times \sin \alpha =$	6.24 t/スパン
②丸太が受ける等分布荷重: w	
$w = Q/n =$	0.10 t/m
③丸太が受ける最大曲げモーメント: M_{max}	
$M_{max} = w \times A/8 =$	0.05 t/m
	5201kg/cm
応力度の検討	
$\sigma_H = M_{max}/Z_M$	16kg/cm < 90kg/cm
	よって OK

H鋼安定計算

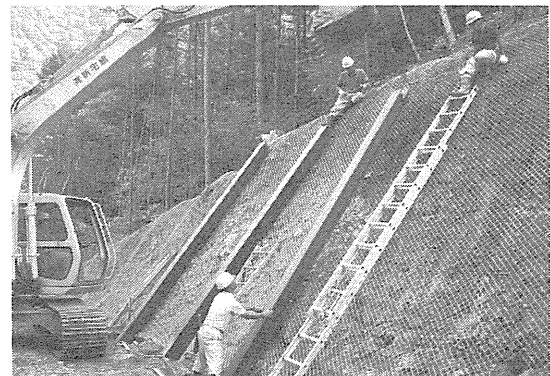
④H鋼の設計	
施工前の安全率	$F_0 = 1.0$
施工後の安全率	$F_s = 1.2$
要抑止力 $Pr = (F_s - F_0) \times Q =$	0.81 t/スパン
枠に垂直に作用する荷重: Pr_1	
枠に平行に作用する荷重: Pr_2	
$Pr_1 = Pr \times \sin (\theta - \alpha) =$	0.07 t/スパン
$Pr_2 = Pr \times \cos (\theta - \alpha) =$	0.81 t/スパン
Pr_1 に対しては、枠を片持ちはりとし最大曲げモーメントを算出し、H鋼単体として抵抗するものとする。	
$M_{max} = 1/3 \times L \times Pr_1 =$	0.12 t/m = 12000kgcm
応力度の検討 σ_H : H鋼	
$\sigma_s = M_{max}/Z_x =$	26kg/cm ² < $\sigma_{sa} = 1400kg/cm^2$
	よって OK
次に、法面保護工に平行に作用する荷重 Pr_2 は、主アンカーで抵抗する。	
主アンカー D16 を使用すると、せん断力 Rは、	
$R = A_s \times \tau_{sa} =$	1.986 × 800kg/cm ² = 1.59 t/本
よって $Pr_2 =$	0.81 t < R = 1.59 t/本
	となり OK

鉄筋量 A_s 「コアフレーム工法—技術資料—」(コアフレーム協会編 H6.10.1 第4版発行) 75 頁

6 施工状況



① 切土法面の状況です。



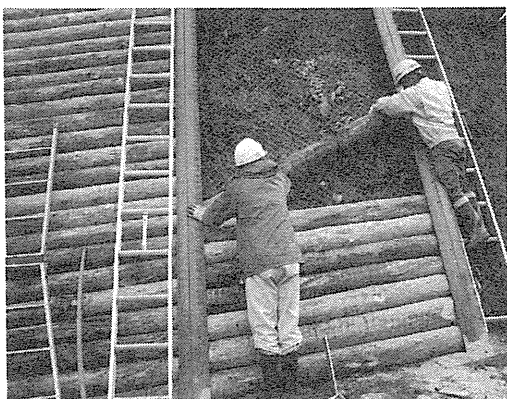
② 法面はラス金網で覆い、B.H. でH鋼を吊り、法面に伏せていきます。



③ アンカーピンは、H鋼と溶接します。



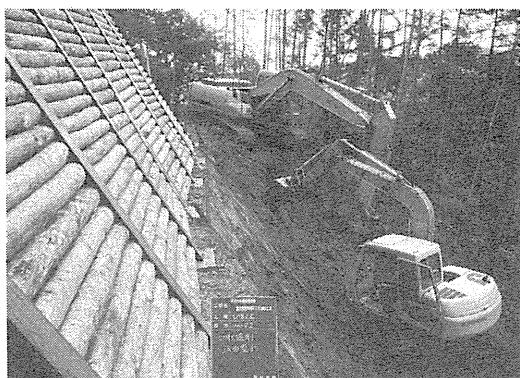
④ 根元はコンクリートで巻き立てます。



⑤ 丸太をH鋼に設置していきます。



⑥ 上段が完成しました。



⑦ 下段の切土にかかります。



⑧ 上段と下段の両方が完成しました。

7 結 果

この構造を施工するための歩掛は、長野県土木部の仮設防護柵工を利用しました。また、ラス金網の設置は、通常の法面工事で使用される歩掛で、アンカー工は法枠工のアンカー設置歩掛を使用しました。

従来設計・工種・工法等				採用設計・工種・工法等			
工 種	数量	単価	金額	工 種	数量	単価	金額
切土工（勾配8分）	5,176m	213 円	1,102,488 円	切土工（勾配6分）	4,342m	213 円	924,846 円
切土法面整形工（勾配8分）	2,123 m ²	822 円	1,745,106 円	切土法面整形工（勾配6分）	1,707 m ²	822 円	1,403,154 円
簡易吹付法枠工	2,123 m ²	7,642 円	16,223,966 円	丸太法面保護工	1,222 m ²	8,346 円	10,198,812 円
				簡易吹付法枠工	190 m ²	7,642 円	1,451,980 円
				厚層基材吹付工	220 m ²	3,715 円	817,300 円
		①直接工事	19,071,560 円			②直接工事費	14,796,092 円
		事業費	34,900,955 円			事業費	27,076,848 円
		受注後	31,759,869 円			受注後	24,639,932 円
(2) 適用数量				(3) コスト縮減額 (①-②=③)			
切土削減量 834 m ³				直接工事費 4,275,468 円			
法面保護削減量 491 m ²				事業費 7,824,106 円			
				受注後 7,119,937 円			

表1 平成15年度県営林道渡沢鳥居峠線（2工区）開設工事 コスト縮減カルテ

今回の積算結果では、従来の現場吹付法枠工の単価14,940円/㎡に対し、8,346円/㎡の本工法は約6,600円安くなりました。また、前年度までの採用工法と今回の採用工法でコスト比較を行なうと、表1の結果となりました。切土勾配を2分急にすることで、834m³の切土量と、491㎡の切土法面の面積が削減され、その結果、受注金額で約710万円のコストが縮減できました。

ただ今回は、現場に則した歩掛とは言えず、施工業者からも割に合わないと言われました。

それで平成16年度事業の受注業者の協力の下、11月の施工状況から歩掛を作成しました。それによると、平成15年度工事で比較(表2)すると設計単価より1㎡当り631円高くなりました。素材としての丸太は、2mぴったりの延長ではありません。また、カーブ部分では一様な長さではないので、現場で切断して長さの調節等の加工が必要であることから予想の範囲内でありました。

工 種	設 計(資材材料費は含まない)			H16 施工に基づく歩掛(資材材料費は含まない)			差 額
	数 量	単 価	金 額	数 量	単 価	金 額	
H鋼建込	1,220 ㎡	2,215 円	2,706,730 円	688.5m	1,929 円	1,328,117 円	1,202,251 円
丸太設置				1,220 ㎡	2,112 円	2,580,864 円	
アンカー工	1,528 本	628 円	959,584 円	1,528 本	346 円	528,688 円	-430,896 円
合 計			3,666,314 円			4,437,669 円	771,355 円

表2 H15 設計内容とH16 歩掛調査結果の比較表

この単価で工事全体の比較をしても、583万円ほどのコスト縮減になりました。

次に、コスト以外の結果について報告します。

第1は、林業土木工事の現場で、大量の木材を使用することが可能となったことでした。直径15cm、長さ2mとして利用材積を算出すると、今回使用した量は3,680本で165m³ となりました。

また、間伐面積に換算してみると、地位級Ⅲで林齢23年のカラマツ林を39%の間伐率で実行し、間伐材の利用率为70%と仮定した場合、6.11haの間伐面積に相当しました。(表3)

項 目	数 値	備 考
林 齢	23年	木曽谷地域森林計画を参考とした。
地 位 級	Ⅲ	
上層樹高	14m	
胸高直径	16.1cm	
成立本数	1100本/ha	
間伐本数	430本/ha	
間伐率	39%	
使用本数	3680本	1本あたり2mで、径14～16cmの素材。
間伐面積	6.11ha	立木1本から2本分生産できるものとし、利用率70%と仮定した。

表3 木材使用量を間伐面積に換算した表

第2に、本工法では法枠工のような専門要素が少ないため、受注者の努力で施工が可能となりました。仕事の少ない現在、自ら施工できる工法は個人的にはいいと思う、と現場代理人からの声もありました。

第3に、材料の品質が気温の影響を受けなかったことでした。モルタル等の材料では低温の冬期間では品質確保が困難ですが、木材とH鋼を使用した本工法ならばいつでも施工が可能です。

実は、当地で平成14年度に施工した簡易法枠工は冬季施工となり、4月に確認したところ至る箇所凍結しモルタルがボロボロと剥げていました(写真3)。結局、半分近くの面積を吹付け直し補修しました。

しかし、木と鉄は、このような条件下でも影響を受けず、長野県の山岳部のような、半年は雪が積もり気温の低い地域では、本工法の採用は適していると考えられます。

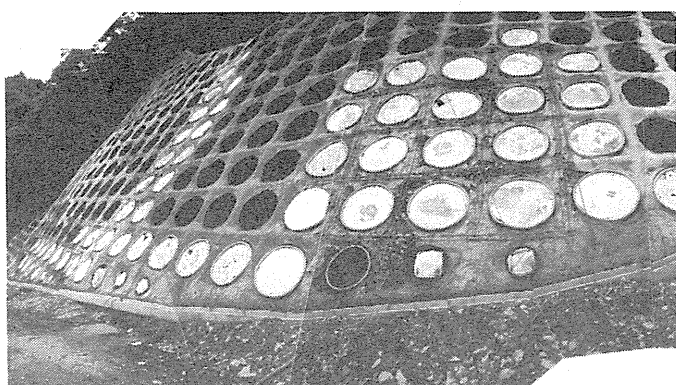


写真3 H14 施工箇所のモルタル剥離状況

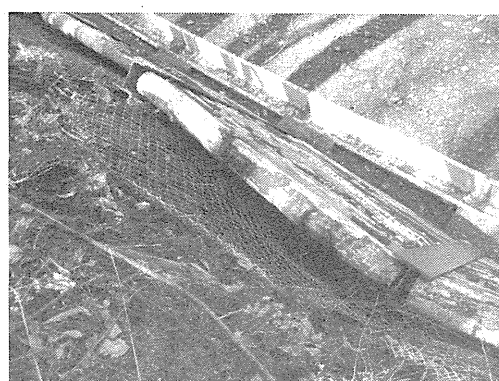


写真4 地山と密着しない部分

ただ、実際に施工してみると、写真4のような密着しない部分ができました。平成16年度事業では、隙間に土砂を詰めながら丸太を設置することとしています。

第4に、見る人の印象が、法枠工に比べ柔らかいことがありました。林業土木工事に携わったことのない方が現場を見る機会があり、その方たちの感想からわかりました。

8 課 題

第1に、木材の腐朽度合いの確認です。過去の施工現場から10年以上の耐久性はありと予想していますが、継続して確認していくことが必要です。また、皮付き丸太の使用で耐久性に差がなければ、その使用も検討課題です。平成16年度事業では、現地産の丸太を皮付きのまま設置した対照区を設定し、調査していくこととしました。もし今回皮付きのものとしたら、1㎡当り618円の削減が可能となるのです。

第2に、木材を使用する法面保護工が、地球温暖化防止に対し従来工法と比較してどの程度効果があるかです。試算すると(表4)本工法の方が簡易法枠工より鋼材が多いため、炭素排出量は多い結果となりました。しかし、木材を使用することで炭素固定量が付加されるため、差し引きでは排出量より固定量が上回りました。木材の利用は、切った場所から再び木が生長することで炭素吸収量もさらに増すことから、この試算以上の効果があると考えられます。

簡易法枠工	資 材	数 量	材 種	単位炭素排出量	炭素排出量
	モルタル	2.120 m ³	111.88m ³	120 kg-c/m ³	13.426.85 kg-c
	鉄 筋	2.123 m ³	0.51m ³	5.320 kg-c/m ³	2.716.40 kg-c
	合 計				16.142.25 kg-c
木製法面保護工	コンクリート	72.48m ³	72.48m ³	120 kg-c/m ³	8.697.60 kg-c
	H 鋼	34.356.15 kg	4.38m ³	5.320 kg-c/m ³	23.283.40 kg-c
	アンカー鉄筋	1.787.76 kg	0.23m ³	5.320 kg-c/m ³	1.211.58 kg-c
	合 計				33.192.58 kg-c
	資 材	数 量	材 種	単位炭素固定量	炭素固定量
	素 材	3.680 本	165m ³	250 kg-c/m ³	41.250.00 kg-c
	立木樺簀	1.840 本	258m ³	250 kg-c/m ³	64.400.00 kg-c
	炭素固定量－炭素排出量			素 材	8.057.42 kg-c
				立木樺簀	31.207.42 kg-c

表4 材料による炭素収支の比較表

単位炭素排出量:林野庁「カーボンシンク推進調査事業」

単位炭素固定量:独立法人森林総合研究所「瓦版 一研究の”森”から一」No.100

第3に、丸太を交換する際に費用がかかってくることにあります。林道の維持管理は、地元の村になります。今回の施工では、丸太材料費だけで350万円の金額を示しており、草刈の費用軽減や間伐材の利用を図って、交換時の経費を削減する努力が必要になってきます。

第4に、施工中の安全管理が挙げられます。写真5のケースでは、梯子を固定せずに危険な状態です。



写真5



写真6

また、当初は逆巻き施工を前提に設計し、平成15年度は実施施工しましたが、平成16年度の受注業者は切土をすべて施工したあとに構造物の設置を行いました。現場代理人は、つり足場を考案して安全対策をとっていましたが、写真6のような小段にへばりつくように施工していたケースもありました。施工仕様書などの作成を検討していく必要があります。

9 多くの方々に見てもらうこと

平成16年7月14日に県監査委員の現地調査があり、民間からの選出委員からは「発表して知らせ

なさい。木製法面保護工なんて名前はダメ。もっといい名前を付けなさい。」と叱咤激励されました。

また、9月8日には木曽地方事務所主催で木材利用研修会を開催し、現場の印象についてアンケートしたところ約60名の参加者のうち25名の方から回答がありました。

女性林業グループの方から、「山の中に山の木を使うというのは、最も自然で、とても良い感じでした。修復、保全にも良いとの話で、資材の調達、経済性など問題点もあろうかと思いますが、何とか続けて欲しいものだと思います。」とのご意見をいただきました。

出来上がった現場の印象を一般の方々からお聞きすることは今までになかったことなので、大きな励みとなり、多くの方々に見てもらいご意見をいただくことは大事なことだと感じました。

10 おわりに

林業土木現場での木材のみの構造には限界があります。その点、H鋼との組み合わせは、応用度が高いものと考えます。平成17年度治山事業計画地の三岳村字白崩では、丸太を太鼓材にして護岸工として設置する予定です。また、林道渡沢鳥居峠線でも引き続き計画しています。

今回の工法が、木材利用工法のひとつとして定着し、各地で放置されている間伐材が積極的に利用されることを願います。この文章を読んで興味の湧いた方は、是非、完成した現場を訪れて実際に目にして頂けると幸いです。(連絡先：yamaguchi-mahoro@pref.nagano.jp)



写真7 平成16年度県営林道渡沢鳥居峠線(1工区)開設工事 日義村野上(撮影 H16.12.07)