

スギ間伐材を活用した土木用資材の開発

宮城県林業試験場 ○ 上席主任研究員 佐々木幸敏
前宮城県林業試験場 副主任研究員 清川 雄司

1 はじめに

間伐材は、生産コストと販売額の逆ざやなどにより多くが利用されずに林内に放置され、間伐材の利用推進は大きな課題となっている。また、一方では環境に配慮した資材として森林土木分野を中心に積極的な導入に向けての動きがある。

しかし、製品単価の問題もさることながら、木材が有する腐朽性や強度特性などの観点からその利用実態は必ずしも十分なものではない。

そこで、木材と鋼材を複合させながら、両者の持つ長所を十分に発揮させ、土木資材としての活用策を開発した。

2 土木資材の開発

(1) 土留資材

ア 構造

現在使用されている土留資材について、特許電子図書館、新製品展示会等の情報から、現在の木製構造物資材の構造を表1のとおり4タイプに分類しその傾向を把握した。

表1 木製土留製品区分

区分	構造の特徴	特徴例	具体的施工例
ステップ1	丸太・角材を単体で活用し、連結は現地加工	太鼓落し、円柱加工材に鉄線連結・孔あけ	柵工・筋工・法枠工・水路工・積土留工・階段工・舗装材等
ステップ2	木材と異質材料の組合せ、(半)ユニット化	ボルト・鉄筋等の連結によるパネル化等	柵工・法枠工・法面保護工・木製ブロック積工・沈床工・木製ブロック積工・防風柵工・堰堤工等
ステップ3	木材を構造物の景観材に活用	コンクリート型枠材、かご+製材品	コンクリート化粧型枠・修景用木材付かご・覆い型ガードレール等
ステップ4	STEP3に交換性を付加	形鋼に木材落としみ、アンカー固定	コンクリート修景工・景補強壁・防音壁等

ステップ1,2が現在主流であるが、木材が土圧に抵抗することを考慮する場合には、使用規制や防腐処理等の安全対策が必要である。一方、ここ数年で目立ってきたのは、ステップ3,4の木材に土圧を与えないで、景観機能に活用する方法である。これらの製品はステップ1,2に比べ価格面で割高になるものの、木材が腐朽しても土留機能に影響を与えない特徴を有している。

そこで、本開発では景観材として木材の交換を可能とするステップ4のタイプを目標とした。

部材設計は図1に示すように、ユニットを単独で使用した際に作用する最大土圧は、底面から擁壁高1/3の位置に作用する土圧を求め、これをボルト支点間をスパンとする等分布荷重時の鋼材(SS400)の許容応力度法により照査¹⁾する手法とした。

主要鋼材厚は、耐用年数を一般土木構造物と同等の50~80年程度とするため、鋼製砂防構造物の最小板厚と同様の、腐食しろを含んで6mmとした²⁾。

鋼材の接合方法は普通ボルトによる支圧結合とし、一面せん断時の許容支圧力から口径を決定した³⁾。

また、現実の適用に必要なとなる擁壁としての外的安全計算(転倒、滑動、支持力)であるが、単独施工の場合は、底面材最後部を仮想背面とした片もちばり式擁壁、ユニットを積み上げ多段とした場合は、荷重の合力がミドルサードの後方へ外れるため、もたれ式擁壁として計算を行う⁴⁾ことを技術資料に明記した。なお、土圧計算は試行くさび法を標準とした。

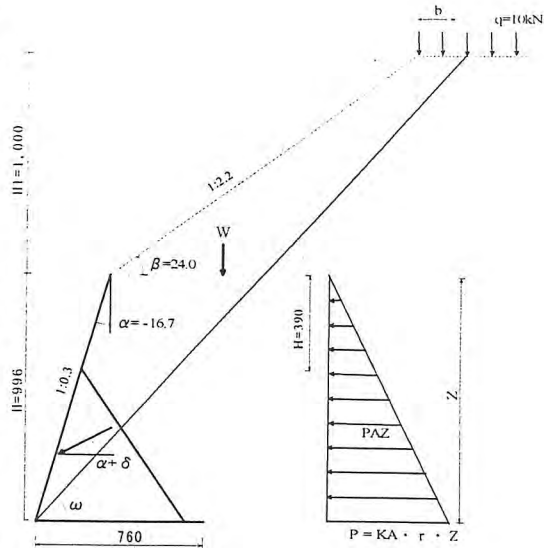


図1 部材設計例

イ 開発資材の概要

上記構造で検討し新たに作製した鋼製型枠タイプとジオテキスタイル補強土壁工法に使用されている既製品に景観用の木材パネル(スギ丸棒：径 10cm)を取り付けた 2つのタイプの土留資材を開発し、施工性等を調査した。

(ア)土留・護岸タイプ

自立した鋼製枠体の前面にスギ間伐材等小径木からなる木材部を景観材として配置して、木材部の脱着交換が容易に行えるよう工夫し、底面材にはジオグリッドを用いた。現場へは木材部をパネル化、土留枠体は斜材を除き、組立・折りたたんだ状態(可搬式ユニット型)とし搬入するため、施工性が容易である。

用途：景観を必要とする急勾配護岸工、擁壁工、流路工等

寸法：有効直高約 1m, 幅約 1m, 勾配 1 : 0.2 ~ 1 : 0.5, 奥行 0.75m と 1.0m の 2 タイプ

安定計算：片持ちばり式・もたれ式擁壁に準拠(3 段積を目安)

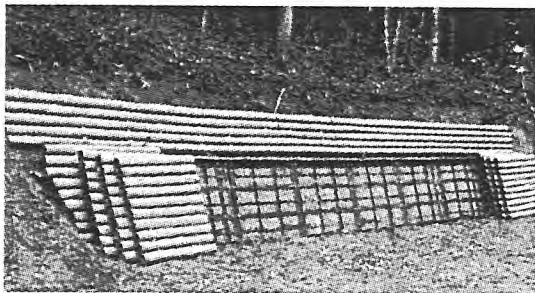


写真1 木材部取り外し状況

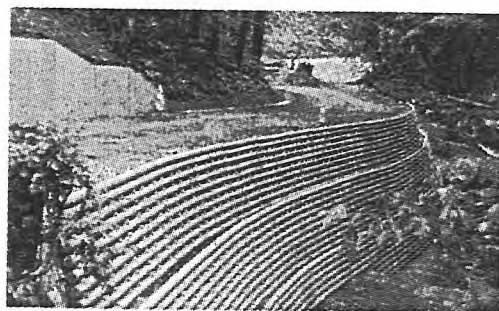


写真2 施工状況(林道盛土法面)

(イ)補強土壁タイプ

ジオテキスタイル補強土壁工法に使用されるエキスパンドメタル(SPHC：既製品)壁面材に前述に木材部を景観材として配置し、同様に交換が容易に行えるよう工夫した盛土工法資材とした。

用途：景観を必要とする補強土壁工、柵工・花壇等環境整備の景観外構資材

寸法：有効直高約 0.5m, 幅 1m, 2m の 2 タイプ, 勾配 1 : 0.2 ~ 1 : 0.5, 奥行約 0.6m

安定計算：ジオテキスタイルを用いた補強土壁工法に準拠(柵としては必要なし)

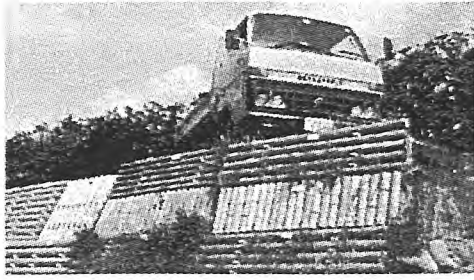


写真3 現地適用試験

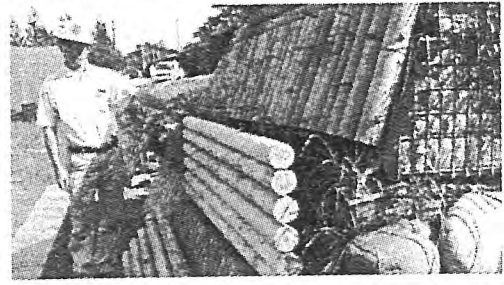


写真4 木材パネル取り付け状況

ウ 開発資材の特徴

(ア)安全面

背面土圧は枠体で抵抗し、間伐材は景観用し、機能を分割した(写真5)。このため木材が腐朽しても土留機能に影響を与えず、従来の木材の劣化による安全低下の課題から解放され、木材の交換時を従来の腐朽時ではなく「見栄え」とした。なお、埋戻し材に土砂を用いる場合は前面材の背後に吸出防止材等を用いる。

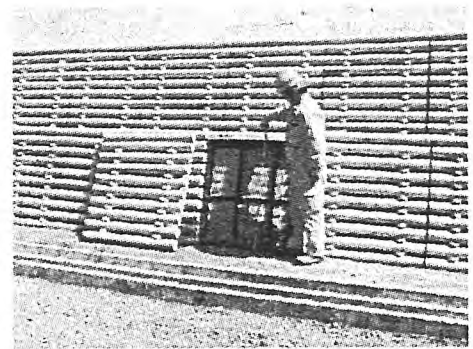
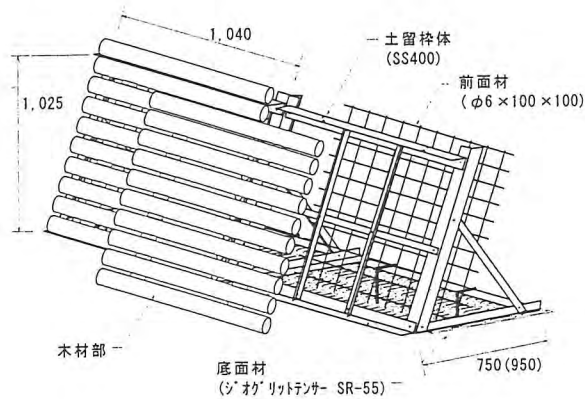


写真5 機能の分割(土留タイプ施工例)

図2 組立図(土留タイプ)

(イ)環境面

土留枠体と間伐材の間と、間伐材接触面に空間を有する構造とした(写真6)。このことで小動物に生息環境を提供するとともに、乾燥性の向上により防腐処理しなくても耐久性を向上させる等、環境資材としての機能を付加した。

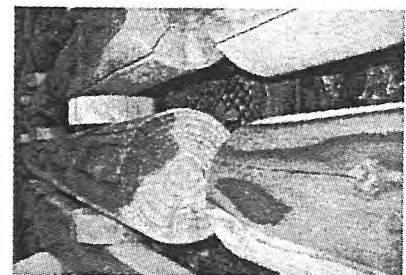


写真6 空間構造

(ウ)維持管理面

間伐材をパネル化し、枠体の連結部に工夫を加えた。このことで維持管理等の材の交換に際し、再工事をしなくても枠体1基あたり数分で交換が可能(写真7)となり、従来の木製構造物に比べ維持管理の効率が大幅に向上した。また、パネルの間隙を緑化させ、材の交換を省略することも可能とした。

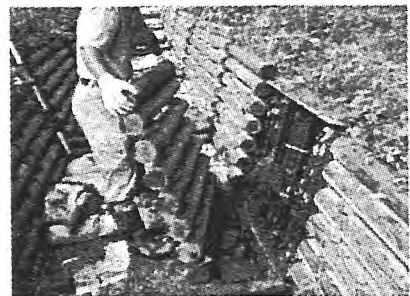


写真7 交換状況

エ 経済比較

表 2 は、切土擁壁工事の工法別の工事費、耐用年数等を比較したものである。

開発製品は、約 10 年ごとの容易なパネル交換作業の繰り返しのみで、枠体の耐用年数まで景観材としての更新を可能としたことにより、50 年単位のライフコストにおいては、従来の木製構造物に対し優位性が認められる。

表 2 類似工種設計比較表

工 法	主たる構造物	木材の 防腐処理	直工費(円/m ²) 正面投影面積 1.0m ² 当たり	耐用年数 (再工事仮定 年数)	50 年当 たり管理費 (円/m ²)	
コンクリートブ ロック積工	コンクリートブロック(空55mm)	—	24,322	40~50(45)	48,644	
鋼製枠工	鋼材 SS 400	—	32,753	50~80(65)	32,753	黒塗装 1 回塗
丸太積土留工(B)	皮剥丸太	クレオノート1回塗	13,387	10(10)	66,935	森林整備必携 掲載
木製ブロック積工	丸棒加工木製ユニット	△uCz	29,411	15~20(17.5)	88,233	
木製桁桁土留工	2 面落とし木製ユニット	処理無	34,060	5~8(6.5)	272,480	
簡易木製土留工	パーカー加工木製ユニット	処理無	21,316	5~8(6.5)	170,528	
木材パネル土留工	丸棒加工木製ユニット	△△C	41,713	10~15(12.5)	166,852	
木材ふとんかご工	パネル式ふとんかご	処理無	35,313	20(20)	105,939	
開発製品 (土留タイプ・背 面緑化なし)	鋼材 SS+溶接金鋼+ジ オグリッド	処理無	31,343	50~80(65) 木部(10)	72,663 本体31,343 木部41,320	黒塗装 1 回塗 円柱加工材を 使用し、10 年 ごと交換の場合

(2) 歩行者自転車転落防護柵

ア 構造

開発に当たっては、次の 3 点を目標とした。

- 1.強度特性から、「防護柵の設置基準(国土交通省)」に定める P 種を満たすこと。
- 2.施工・維持管理性から、従来の普及型スチール製防護柵と同等レベルとすること。
- 3.コスト面から、普及型防護柵に近づけること。

支柱は木製とした場合に地際の早期腐朽が問題となることから、普及型防護柵で既に使用されているスチール製支柱を使用し、柵は鋼材を木材で覆う複合体として作製することとした。

木材の耐久性は、スチール製支柱と同等の約 15 年以上を想定し、防腐剤の選定を検討した。

部材の設計は「防護柵の設置基準」により、垂直荷重 590N/m(60kgf/m)以上、水平荷重 390N/m(40kgf/m)以上、かつ塑性変形しないものとされている。

設置されている普及型スチール製防護柵において、最下段ビーム等が変形している例(写真 8)が見受けられる。

木材で同様の事例が生じた場合、変形ではなく、その性質上破壊が生じ事故に結

びつく可能性があるため、安全率を 1.5 とし、木材の許容応力は最も安全側に立った建築基準法乙種 3 級を使用した。



写真 8 最下段ビームの変形状況

イ 開発資材の概要

寸法は支柱スパン 3.0m，地上高約 1.2m で，自然公園内等の景観を重視する一般歩道用に適用したパネルタイプとビームタイプの歩行者自転車転落防護柵を開発した。

(ア) パネルタイプ

支柱と支柱の上下に固定した L 型鋼に，木材パネルを組み込み，一体化した壁面として外力に抵抗させた。

(イ) ビームタイプ

丸棒加工された木材に延鋼材を組み込み一体化させた木材ビームで外力に抵抗させた。

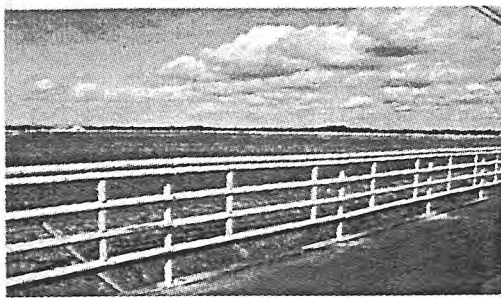


写真 9 パネルタイプ施工例



写真 10 ビームタイプ施工例

ウ 開発資材の特徴

(ア) 施工・維持管理面

支柱は普及型スチール製防護柵を使用し，木製支柱の最大の欠点であった地際の腐朽に対する不安面を解消した。また，施工面でも普及型と同様の建て込み方法，建て込み間隔 3m としたことで，設置手間は既存の歩掛かりが適用可能となった。また，普及型スチール製防護柵への相互の転換が可能とした。

(イ) 安全面

横棧を木材のみで「防護柵の設置基準」に定める強度特性を確保するためには，木材の直径を大きくする必要があり，スチール製支柱の径と差が大きく景観の悪化や防腐処理コストの増大が伴うことから，木材と延鋼材を複合化することで景観と強度の調和を図った。

柵の強度は許容応力度から求めるほか，実大強度試験で検証した。実大強度試験については支柱固定部のブラケット及びボルト孔のクリアランスが作用する複合体となるため，ビーム木材単体ではなく，ビーム木材を支柱に取り付けた状態で試験

を実施した。

①垂直荷重試験

垂直荷重(883N)試験を3回繰り返し加えた結果、2タイプの木製防護柵及びスチール製防護柵ともに残留ひずみは確認されなかった。なお、ビーム型木製防護柵と木材のみを支柱に取り付けたものとの比較において、補強材の効果が確認された。

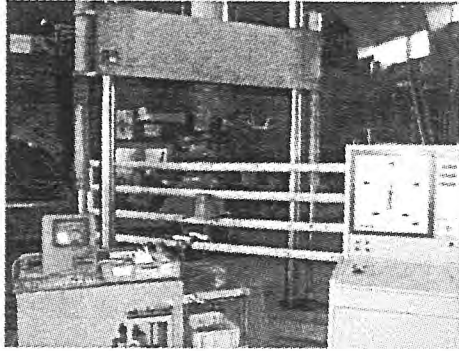


写真 11 垂直荷重試験(ビームタイプ)

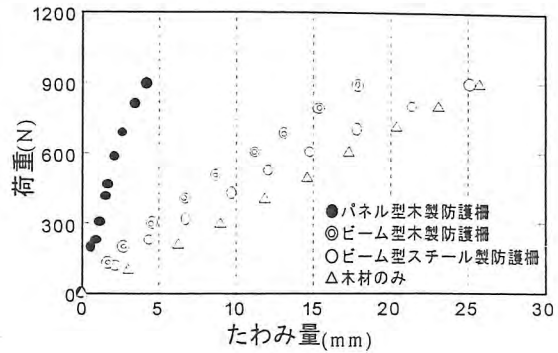


図 3 垂直加重とたわみの関係(3回目)

②水平荷重試験

水平加重(588N)を3回繰り返し加えた結果、2タイプの木製防護柵及びスチール製防護柵とも残留ひずみは確認されなかった。

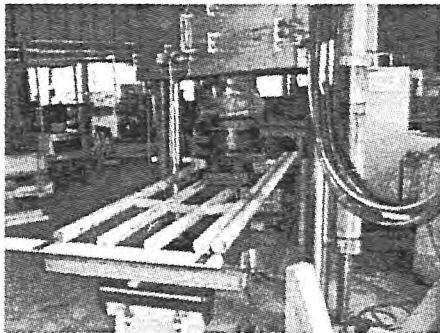


写真 12 水平荷重試験(パネルタイプ)

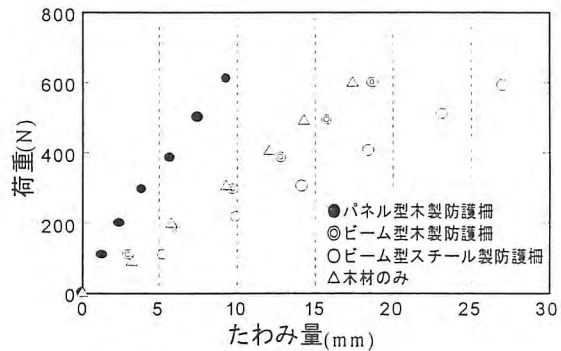


図 4 水平加重とたわみの関係(3回目)

③支柱支持試験

パネル型木製防護柵について支柱との耐力の関係を把握した。

パネル上部に水平加重を加え、支柱上部のひずみを測定した結果は表3のとおりであり、約200kg(1961N)までの荷重に対しては支柱にほぼひずみを生じないと推測された。

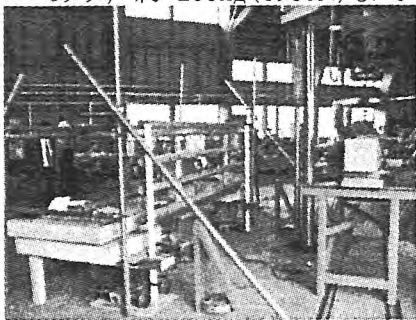


写真 13 支柱支持試験(パネルタイプ)

表 3 荷重と支柱部残留ひずみの関係 (mm)

上部補強材	左支柱	右支柱	上部補強材
981N(100kg)	0.48	0.15	0.54
1471N(150kg)	0.84	0.03	0.84
1961N(200kg)	1.55	0.84	0.92

※ 支柱測定位置 支柱最上部

(ウ) 木材の耐久性

本開発製品の木材は景観材のみではなく外力に抵抗するため、木材強度を長期間にわたり維持する必要がある。目標耐用年数を普及型スチール製防護柵並とするため、防腐処理方法は、JAS-A9002 に規定されている薬剤の加圧注入方式とし、木材本来の色彩、及び延鋼材の表面処理(亜鉛メッキ)と薬剤の相性等を考慮し、銅金属を含まない薬剤を選定した。

エ 経済比較

木材の取り付け時間、手法の検討結果から、支柱の建て込み手間を含めて、従来の普及型防護柵の施工歩掛りの適用が可能となった。

表 4 に開発製品と類似工種との設計比較を示した。開発製品は、直接工事費において普及型スチール製防護柵に及ばなかったが、従来の木製防護柵製品や擬木製品等に対して安価となった。

表 4 類似工種設計比較表

	普及型	景観柵 ¹⁾	木製柵 ²⁾	プラ擬木柵	コンクリート柵	開発製品 ³⁾
支柱構造	STK400	STK400 スギ間伐材	スギ間伐材	廃プラスチック	コンクリート	STK400
ビーム構造	STK400	STK400 スギ間伐材	スギ間伐材	廃プラスチック	コンクリート	STK400 スギ間伐材
ビーム段数	4	4	2	2	3	4
支柱スパン(m)	3	3	2	2	2	3
建て込み方法	土中打ち込み	ブロック基礎	ブロック基礎	ブロック基礎	ブロック基礎	土中打ち込み
耐用年数	15~25年	10年以上	10年以上	~40	~40	15年以上
直接工事費(円/m)	5,505	31,000	16,660	15,510	18,000	9,755

1) 普及型スチール製防護柵を木材で被覆したもの。耐用年数は木材で算出、防腐処理は AAC 加圧注入。

2) 防腐処理は AAC 加圧注入。

3) 耐用年数は木材で算出、防腐処理は NZN 加圧注入。

3 まとめ

関連企業と共同研究方式で開発したもので、従来の木材のみにとらわれず、スギ間伐材と他材料との複合化による土留資材、歩行者自転車転落防護柵を開発し、関連企業に技術移転を行い公共事業を主体に販売を開始している。

開発に当たっては、安全面、環境面、維持管理面、経済性の観点から検討と工夫と試行を繰り返した。当然開発資材はオールマイティではなく、改良の余地があると思料されるが、木製土木資材選択の一手段となり得ると考えている。

1) たとえば 山田治「やさしい建築の構造力学」(1966,オーム社)

2) たとえば (財)砂防・地すべり技術センター「鋼製砂防構造物設計便覧」(1993,山海堂)

3) たとえば 嶋津孝之, 福原案洋, 中山昭夫, 高松隆夫, 森村毅「鋼構造」(2000,森北出版)

4) たとえば 右城猛「新・擁壁の設計法と計算例」(2000,理工図書)