

木製落石防護柵の開発

井戸聖富¹・糸川隆康²・岸本勇樹

和歌山県農林水産総合技術センター 林業試験場

Development of Wooden Rockfall Fence.

Masayoshi Ido, Takayasu Itogawa and Yuki Kishimoto

Forestry Experiment Station

Wakayama Research Center of Agriculture Forestry and Fishers

緒 言

和歌山県では公共事業をはじめとして木材の利用を積極的に推進しているが、近年「紀伊山地の霊場と参詣道」として県内の広い地域が世界遺産に登録されたことにより、構造物に木材を使用する機運と要望が一段と高まっている。このため、紀州材を活かし時代のニーズに合った構造物として、本県の海岸沿いや山間部の道路等で多用されている落石防護柵に照準を合わせ、この木製化に関する技術開発を目的とした。

落石防護柵は、現地の地形・地質の状況、落石規模などにより様々な工法があるが、一般的には基礎兼用の擁壁とその天端に支柱を設け、ワイヤーロープ・金網を組み合わせた形式で道路等を落石から防護する構造（支柱高：擁壁上面から1.50m～2.00m、支柱間隔3.00m）のものが比較的多く用いられていることから、このタイプの木製化を検討することとした。なお、新設時のみならず、金網（50×50mm、ビニール被覆又は亜鉛メッキ）破損による補修の際にも紀州材を利用しやすいような設計とした。

本研究では、落石防護柵の主要部材のうち木部材に関する耐久性試験、強度試験、衝突実証試験及び積算歩掛調査を平成18年度から平成20年度まで実施した。

材料及び方法

1 部材の耐久性試験

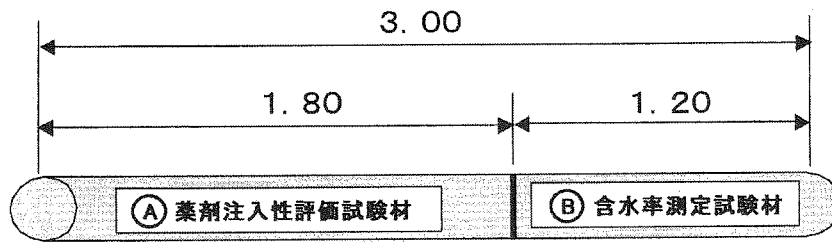
1) 試験－1 乾燥の有無による薬剤加圧注入の評価

(1) 材料

和歌山県産スギの円柱材（直径14cm、長さ3.0m）に背割加工したものを供試材料とした。供試材料は、当試験場内において加工後約5ヶ月間（平成18年7月～11月）天然乾燥したもの（以下、「乾燥材」という。）と天然乾燥の工程を行わないもの（以下、「生材」という。）各々12本とした。

各供試材料は、第1図のとおり2本に切断し、④については薬剤注入性評価試験に、⑤については含水率測定に供した。なお、切断部分からの蒸発による含水率の変動を防ぐとともに、加圧注入処理時の切断面からの薬剤注入を防止するため、試験材④の切断面を、供試木切断直後にエポキシ樹脂によりコーティングした。

¹現在：西牟婁振興局 林務課 ²現在：県庁企画総務課



第1図 供試木からの試験材採取方法

(2) 試験方法

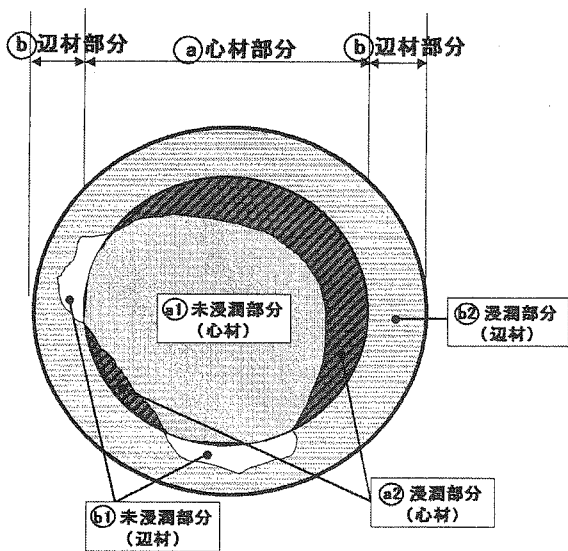
① 薬剤注入性評価試験

防腐薬剤は、ACQを用いた。薬剤注入処理は、前排気0.08MPa、30分、加圧1.5MPa、120分、後排気0.08MPa、30分とした。薬剤処理後、木口面より0.96mの部分から厚さ約2cmの試験体(第3図)を採取し、目視により薬剤の浸潤部分を判定した。次に浸潤及び未浸潤部分をプランメータで測定(第2図)、次式により浸潤度を求めた。

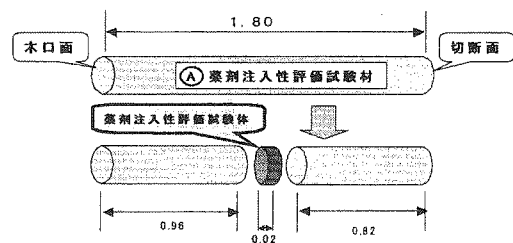
$$\text{心材部分における浸潤度 (\%)} = \frac{a2}{(a1) + (a2)} \times 100$$

$$\text{辺材部分における浸潤度 (\%)} = \frac{b2}{(b1) + (b2)} \times 100$$

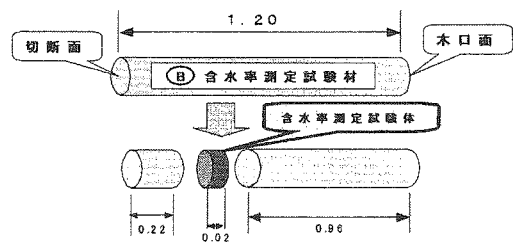
なお、JAS K4の基準(辺材部分の浸潤度が80%以上かつ材面から深さ10mmまでの心材部分の浸潤度が80%以上)により規定される浸潤度についても同様に求めた。



第2図 円柱材の薬剤浸潤部分の区分け



第3図 ①試験材からの試験体採取方法



第4図 ②試験材からの試験体採取方法

② 含水率調査

第4図に示すとおり供試材料②の木口面から0.96mの部位で厚さ2cmの試験体を採取し、全乾法により含水率を求めた。

2) 試験-2 乾燥の有無及び薬剤の違いによる残存強度の比較

(1) 材料

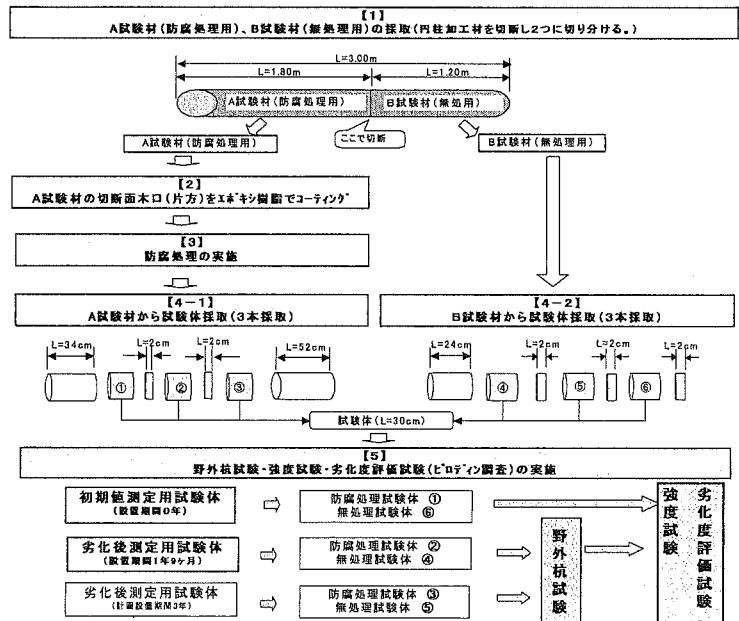
供試材料は、前述の1)試験-1の(1)材料と同様である。

(2) 試験方法

試験体採取から強度試験までの試験工程を第5図に示す。

防腐処理は、乾燥材と生材に分けA試験材を対象として行った。薬剤は、ACQ及びタナリスを用いた。

薬剤注入処理は、前述の1)試験-1の(2)試験方法の①薬剤注入性評価試験と同様である。防腐処理後、A試験材から長さ30cm試験体①②③、B試験材から長さ30cm試験体④⑤⑥を採取した。各防腐処理毎の試験体の本数を第1表に示す。



第5図 試験工程

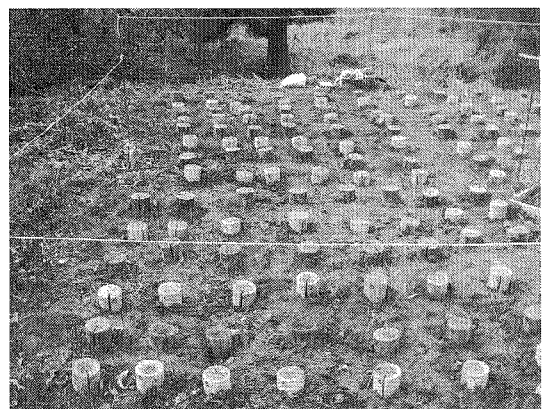
第1表 試験体内訳

劣化試験の有無	ACQ処理材比較用				タナリス処理材比較用				計
	無 (初期値測定用試験体)		有 (劣化後測定用試験体)		無 (初期値測定用試験体)		有 (劣化後測定用試験体)		
試験体NO	①	⑥	②	④	①	⑥	②	④	
防腐処理種類	ACQ処理(本)	無処理(本)	ACQ処理(本)	無処理(本)	タナリス処理(本)	無処理(本)	タナリス処理(本)	無処理(本)	
生材	6	6	6	6	6	6	6	6	48
乾燥材	6	6	6	6	6	6	6	6	48
計	12	12	12	12	12	12	12	12	96

劣化試験は、奈良県森林技術センター明日香試験地において行った。試験区は、試験体を土中に20cm埋設し、残り10cmを地上に露出させた状態で設置した(第6図)。なお、防腐処理材と無処理材間の条件を揃えるため、同じ木材から切り出した試験体②と④(防腐処理材と無処理材)、試験体③と⑤(防腐処理材と無処理材)を近接して設置した。試験期間は平成19年1月22日から平成20年10月6日までの21ヶ月とした。

試験体②(防腐処理材)と試験体④(無処理材)を土中から取り出し、十分に乾燥させた後、和歌山県工業技術センターのRUEⅢ-50GA型万能試験機(東京衡機製造所)を用いて縦圧縮試験を行った。その後、試験体の中央付近から含水率測定用の試験片を切り出し、全乾法により試験体の含水率を測定した。強度試験のデータは、ASTM D2915を用いて、含水率15%の値に補正し、同一木材で縦圧縮強度残存率(下式)を求めた。

なお、試験体③(防腐処理材)と試験体⑤(無処理材)は、劣化試験を継続中である。



第6図 野外杭試験

$$\text{縦圧縮残存率(\%)} = \frac{\text{(劣化後測定用試験体の縦圧縮強度値)}}{\text{(初期値測定用試験体の縦圧縮強度値)}} \times 100$$

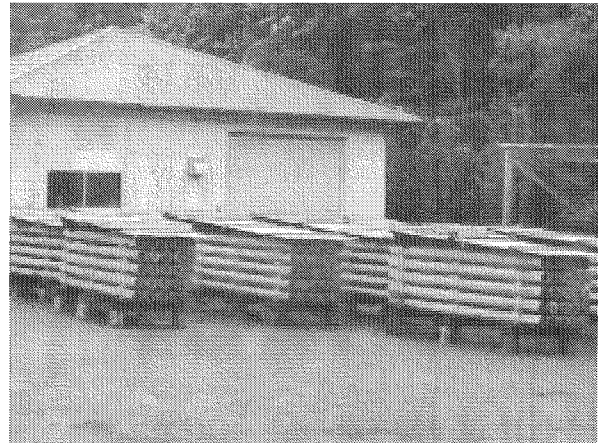
2 部材の強度試験

1) 試験－1 曲げ強度試験

(1) 材料

和歌山県産スギ原木を原材料とした。まず、山土場において、縦振動法により動的ヤング係数を測定、原木のデータを収集後、直径14cm、長さ3.0mの背割をした円柱材に加工し、これを供試材料とした。数量は、120本である。

供試材料は、第7図のように積み上げた状態で平成18年7月から平成19年7月まで、当試験場内において天然乾燥を行った。



第7図 天然乾燥状況

(2) 試験方法

各供試材料について基本振動周波数を計測し、動的ヤング係数を測定した。次に、島津製実大材強度試験機 (AG-10TD) によりスパン(L)を2700mmとする三等分点四点荷重方式により静的ヤング係数、曲げ破壊強度を測定した。なお、データは全乾法による含水率をもとに、ASTM-2915の式を用いて含水率15%の値に補正した。

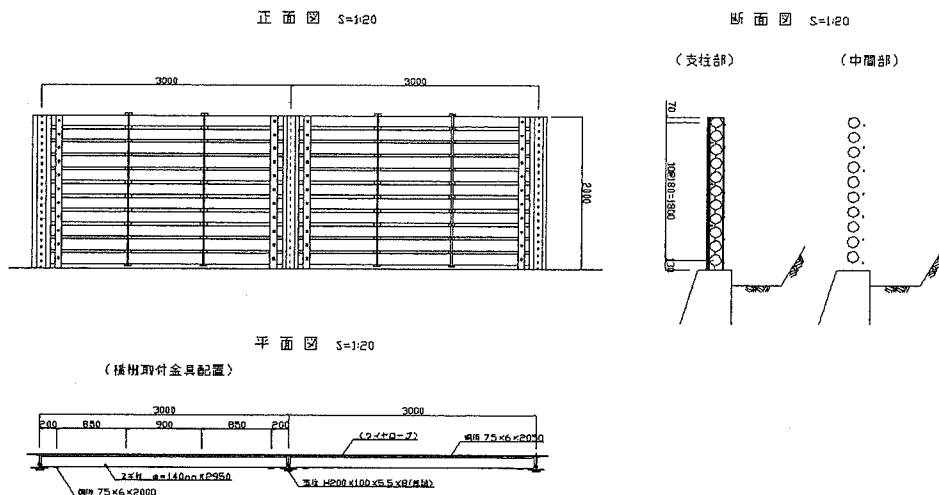
3 木製落石防護柵の実用化に関する研究

1) 試験－1 衝突実証試験

(1) 材料

現行の落石防護柵が支柱間隔3.00mであることから、主たる構造用部材を長さ3.00m、直径14.0cmのスギ円柱加工材 (以下、「部材」という。) とした。次に現地における施工性を検討した結果、事前に部材を支柱高に合わせて金属製のプレートでパネル状 (長さ3.00m、幅1.50m～2.00m) に連結したもの (以下、「パネル」という。) を現地でクレーンで支柱に挟み込む工法とした。(第8図)

なお、本試験に使用する供試体は、長さ3.00m、幅2.00mのパネルとした。



第8図 木製落石防護柵構造図

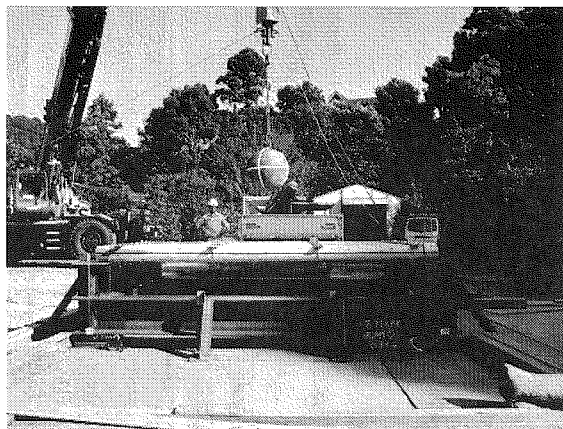
(2) 試験方法

① 重錘落下衝突試験

本試験は、林業試験場の構内で行った。まず、試験場所を整地後、敷き鉄板を敷設し、幅2.3m、長さ3.3mの供試体設置架台を設置した。次にこの上に供試体を乗せ、衝撃の際の跳ね上がりを防止するために番線で架台と結束した。

垂直落下させる鉄球の重量は、305kgである。落下高さは、0.55mから約0.55m間隔で2.73mまでの5段階を設定し、第9図のようにクレーンで吊り下げた鉄球を所定の高さから垂直落下させ、計測した。

なお、計測項目は、第2表のとおりである。



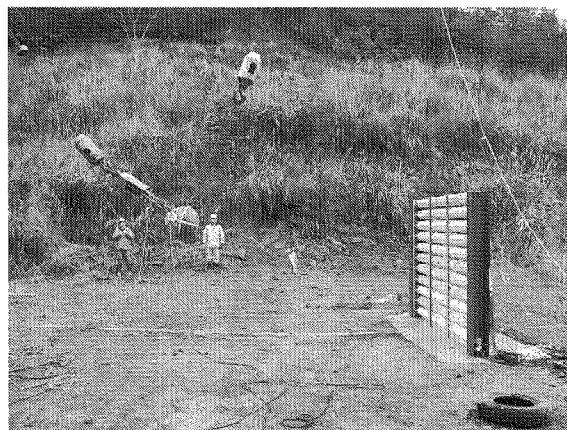
第9図 重錘落下衝突試験状況

② 重錘振り衝突試験

本試験は、和歌山県田辺市中辺路町の林道広見川線の残土処理場で行った。実際の落石防護柵の設置状態とするためコンクリート独立基礎に2本の支柱（H型鋼）を立て、その間にラフタークレーンで供試体をはめ込み壁体を形成した。

試験に供される鉄球の重量は、305kgである。この鉄球をクレーンで吊り下げ、第10図のように振り衝突させ、計測した。

なお、落下の高さ及び計測項目は、第2表のとおりである。



第10図 重錘振り衝突試験状況

第2表 計測項目・計測点数一覧表

試験項目		重錘落下試験	静荷重載荷試験 (落下試験に併用)	振り衝突試験
計測項目				
試験荷重	重錘重量* ¹ 落下高		反力(荷重)測定	重錘重量、振上高
	試験1回毎記録		試験1回毎記録	衝突加速度 試験1回毎記録
変形状況	試験1回毎目視・写真記録		試験1回毎目視・写真記録	試験1回毎目視・写真記録
試験体の挙動		ビデオ等により記録		ビデオ等により記録
歪	丸棒	動歪12点	静歪12点	動歪12点
	H鋼支柱			動歪2点
反力	パネル	4点	4点	

*1：重錘重量は試験前に1回計測 *ビデオ等とはハイスピードカメラを含む

2) 試験－2 積算歩掛調査

(1) 材料

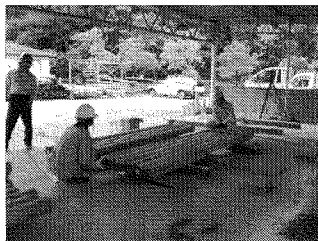
調査は、本構造物の組み立てに要する行程と、組み立てた構造物を基礎擁壁に建て込まれたH鋼支柱間に設置する行程に分けて行った。構造物の仕様は、H=2.0m、H=1.5mの2種類で行った。

(2) 試験方法

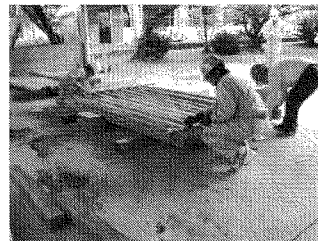
組み立て作業（H=2.0m及びH=1.5m）と現地での設置作業（H=1.5m）を各々3回行い、これらの作業状況をビデオカメラで記録し、その記録映像から各々の作業内容、所用時間を分析し、歩掛りを作成した。

なお、設置作業は、既設落石防護柵の基礎及び支柱（H型鋼）を利用して実施した。組立作業及び設置作業の手順については、以下のとおりである。

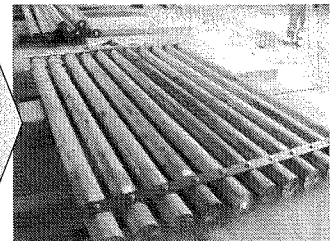
<組立作業>



① 木材を並べる

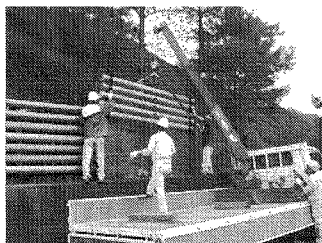


② 連結金具をボルトにより木材の両端に取り付ける

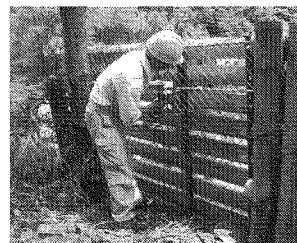


③ 組立完了

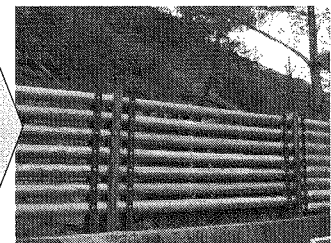
<設置作業>



① 組み立てたパネルをクレーンで支柱間に設置



② 連結金具をUボルトにより2箇所パネルに取り付ける



③ 設置完了

結果および考察

1 部材の耐久性試験

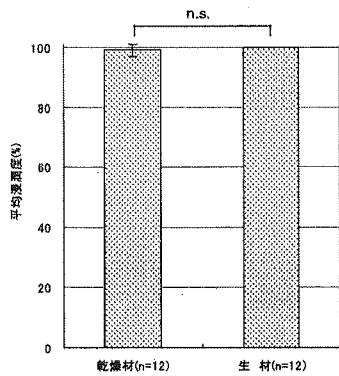
1) 試験－1 乾燥の有無による薬剤加圧注入の評価

辺材部分は、乾燥材、生材ともにほとんどの試験体が浸潤度100%であり、平均値でも乾燥材99.3%、生材100%となった。乾燥材の中で注入のできていない部分は、目視による観察から移行材が形成されており、これが注入性に悪影響を与えたと推察された。(第11図)

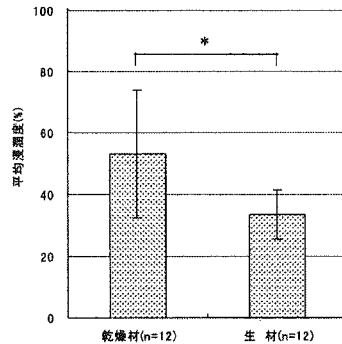
また、心材部分では平均値が乾燥材53.3%、生材33.5%であり、乾燥材のほうが高いという結果となった。(第12図)

次に、材面から深さ10mmまでの心材部分における平均浸潤度を第13図に示す。材面から深さ10mmまでの心材部分の平均値が乾燥材90.6%、生材73.4%であり、生材はJAS K4の規定量に満たないという結

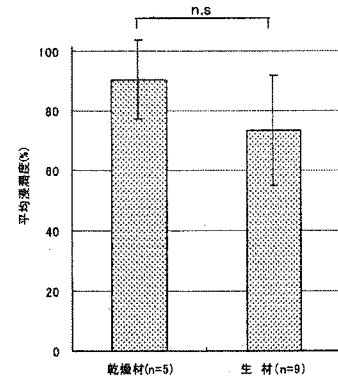
果であった。なお、浸潤度80%に満たない試験体数は、乾燥材で5本中1本、生材で9本中5本であったが、統計的には差が認められなかった。



第11図 辺材部分における平均浸潤度 (%)



第12図 心材部分における平均浸潤度 (%)



第13図 材面から深さ10mmまでの心材部分における平均浸潤度 (%)

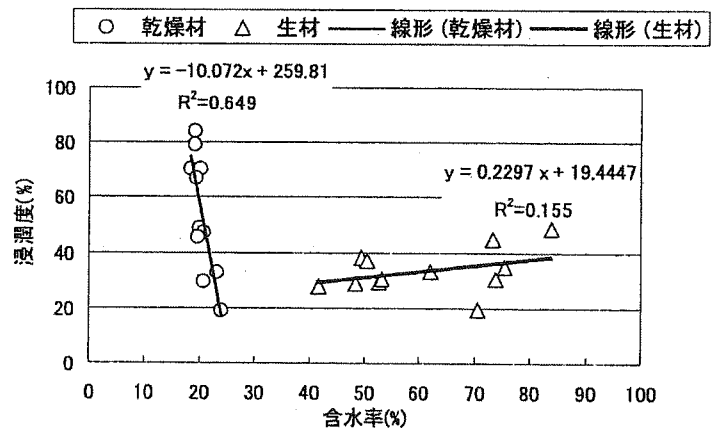
※ 各グラフ中、棒線は標準偏差、*は有意差があることを示す(t-test $p < 0.05$)

※ nは、全試験体のうち、材面から10mmまでに心材部分が存在した試験体数

含水率を測定した結果は、第3表のとおりである。乾燥材及び生材の平均値は、20.5%、61.3%であった。以上のことから、乾燥材及び生材における含水率と浸潤度の関係をグラフ化したものを第14図に示す。含水率と浸潤度の関係に直線関係をあてはめた結果、乾燥材の場合、決定係数 $R^2=0.649$ となり、相関関係が認められた。しかし、生材の場合、決定係数 $R^2=0.155$ となり、相関関係が認められなかった。

第3表 乾燥材と生材の含水率 (%)

	乾燥材	生材
最大値	24.1	84.0
最小値	18.3	41.7
平均値	20.5	61.3
標準偏差	1.65	13.66
試験体数	12	12



第14図 含水率と浸潤度の関係

2) 試験-2 乾燥の有無及び薬剤の違いによる残存強度の比較

設置から21ヶ月経過した時点のACQ、タナリスで処理した処理区分毎の縦圧縮強度残存率平均値を第4表に示す。ACQ及びタナリスを加圧注入処理した試験体の縦圧縮強度残存率(平均値)は、95.0%~106.5%であった。なお、無処理材(対照区)は、45.3%~69.1%であった。

薬剤 処理方法	縦圧縮強度残存率平均値(%)			
	乾燥材		生材	
	薬剤 処理区	無処理 対照区	薬剤 処理区	無処理 対照区
ACQ 加圧注入	98.5 ± 6.9	45.3 ± 18.8	102.9 ± 28.8	66.5 ± 13.5
タナリス 加圧注入	95.0 ± 7.4	68.7 ± 29.7	106.5 ± 6.2	69.1 ± 11.9

第4表 薬剤処理区分毎の縦圧縮残存率平均値

ACQ及びタナリスの双方とも加圧処理前の木材含水率状況（生材・乾燥材）に関係なく、すべての条件において、縦圧縮強度残存率が100%に近い値であり、初期強度を維持していることが認められた。なお、t検定の結果、乾燥材にACQ加圧処理した条件と生材にACQ及びタナリスを加圧処理した条件において有意差が認められた。しかしながら、乾燥材にタナリスを加圧処理した条件においては、対照区の無処理材のばらつきが比較的大きいこともあり、有意差は認められなかった。

2 部材の強度試験

1) 試験－1 曲げ強度試験

強度性能試験の結果を第5表に示す。平均値51.6N/mm²、最大値65.0N/mm²、最小値30.0N/mm²という結果となり、建設省告示による無等級材（スギ）の基準強度22.2N/mm²を下回るものは全く見られなかった。

第5表 スギ円柱加工材のヤング係数と曲げ強度

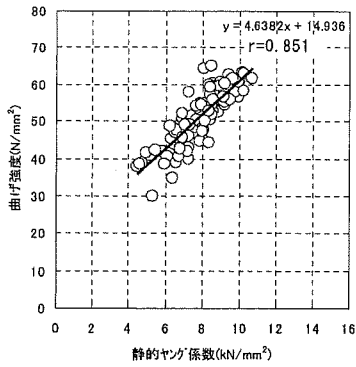
	原木動的ヤング係数 (kN/mm ²)	円柱材動的ヤング係数 (kN/mm ²)	円柱材静的ヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	試験時含水率 (%)
平均値	9.20	8.50	7.90	51.6	16.4
最大値	12.14	11.54	10.66	65.0	18.9
最小値	5.62	5.00	4.49	30.0	14.5
標準偏差	1.33	1.32	1.28	7.0	0.8
変動係数(%)	14.4	15.5	16.2	13.5	4.9

次に強度特性の関係について、日本農林規格(JAS)の目視等級区分に基づいて供試材料を等級付けした(第6表)。3級材の本数が非常に少ないため、1級材・2級材について考察した。静的ヤング係数の平均値は、1級材：8.09kN/mm²、2級材：7.57kN/mm²。曲げ強度の平均値は、2級材：52.9N/mm²、2級材：49.3N/mm²であり等級が下がるにつれ強度低下の傾向が見られた。(静的ヤング係数：有意水準5%で有意、曲げ強度：有意水準1%で有意)

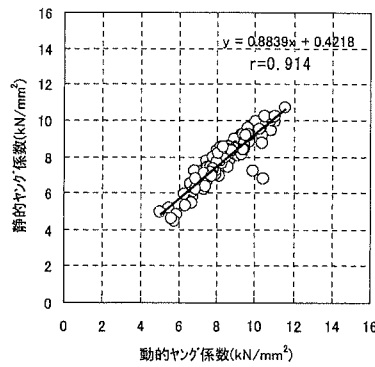
第6表 目視等級区分と強度性能

	静的ヤング係数(kN/mm ²)			曲げ強度(N/mm ²)		
	1級	2級	3級	1級	2級	3級
試験体数 (本)	80	38	2	80	38	2
平均値	8.09	7.57	6.82	52.9	49.3	44.0
最大値	10.23	10.66	6.90	65.0	61.6	45.5
最小値	4.79	4.49	6.74	38.8	30.0	42.4
標準偏差	1.24	1.30	0.11	6.4	7.4	2.2
変動係数 (%)	15.4	17.1	1.7	12.2	15.0	5.0

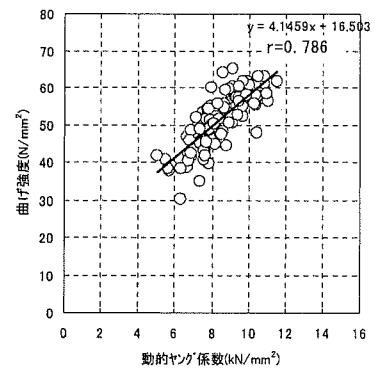
次に、静的ヤング係数と曲げ強度の間には、相関係数 $r=0.851$ と高い相関関係が認められた(第15図)。また、動的ヤング係数と静的ヤング係数の間(相関係数 $r=0.914$ 、第16図)及び、動的ヤング係数と曲げ強度の間(相関係数 $r=0.786$ 、第17図)にも同様に高い相関関係が認められた。



第15図 静的ヤング係数と曲げ強度の関係



第16図 動的ヤング係数と静的ヤング係数の関係

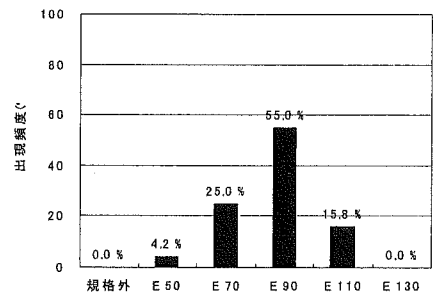


第17図 動的ヤング係数と曲げ強度の関係

最後に、動的ヤング係数で日本農林規格の機械等級区分を行ったところ、E90が全体の55%を占めた（第18図）。

また、それぞれの区分における曲げ強度の平均値を見ると、E50：39.5N/mm²、E70：45.3N/mm²、E90：53.4N/mm²、E110：58.5N/mm²（第7表）と等級が上がるるとともに平均値も高くなり、機械等級区分の効果が認められた。

以上のことから、円柱材においても動的ヤング係数を測定することにより、非破壊で曲げ強度を推定することが可能であるということがわかった。



第18図 機械等級区分別出現頻度

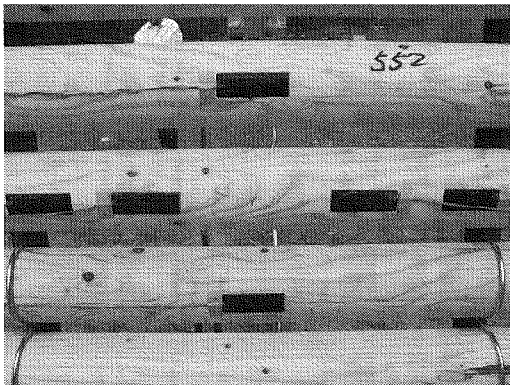
第7表 機械等級区分別の強度性能

	E 50	E 70	E 90	E 110
試験体数 (本)	5	30	66	19
平均値 (N/mm ²)	39.5	45.3	53.4	58.5
標準偏差 (N/mm ²)	1.6	5.7	4.8	3.7
変動係数 (%)	4.1	12.6	9.0	6.3

3 木製落石防護柵の実用化に関する研究

1) 試験－1 衝突実証試験

重錘落下試験、重錘振り子試験ともに高さ0.55mからの衝撃エネルギーでの試験では、鉄球が衝突した部分の部材1本のみ小さい亀裂が発生していたが、他の部材には異常がなく、鉄球の衝撃を受け止めていることが確認できた（第19図、第20図）。



第19図 重錘振り子試験結果(0.55m)



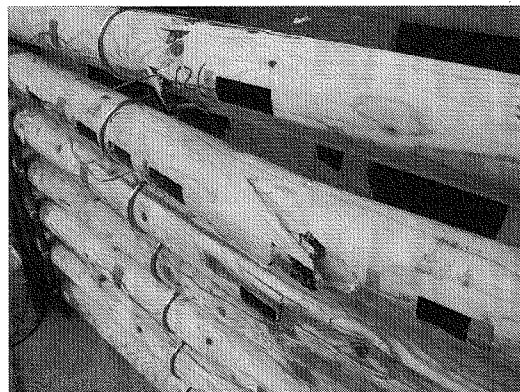
第20図 重錘振り子試験結果(0.55m)

設定が一番高い2.73mの衝撃エネルギーでの試験では、垂直落下試験、振り子試験ともに鉄球が衝

突した部分の部材3本については、目視で部材の破断が確認できる状態であったが、鉄球が突き抜けることなく、破断による部材の飛散はない結果であった（第21図、第22図）。



第21図 重錘振り試験結果(2.73m)



第22図 重錘振り試験結果(2.73m)

設計段階で建設省告示によるスギ無等級材（22.2kN/mm²）を部材（長さ3.00m、直径14.0cm）とした条件で、背面傾斜勾配（以下、「勾配」という。）と落石径の組み合わせによる落石捕捉可能な落下限界高さについて、第8表のとおりの結果を得ている。一般的な落石防護柵の施工地における法面勾配（1：0.5～0.6）が約60°であることから背面傾斜勾配が60°、高さ約6.5mからの直径20cmの落石に対し、部材1本で抵抗が可能な衝突荷重値3.57kNを設計荷重とした。

第8表 落石捕捉可能限界高

落石径	背面斜面勾配				備考
	30°	40°	50°	60°（衝突荷重）	
10cm	30m以下				加工材1本で抵抗
20cm	13m	9m	7m	6.5m (3.57kN)	加工材1本で抵抗
25cm	14m	9.5m	7.5m	7m (7.36kN)	加工材2本で抵抗
30cm	5m	3.5m	3m	2.85m (7.35kN)	加工材2本で抵抗

※落石径22cm以上の場合、パネルの構造により加工材2本で落石に抵抗

実証試験の結果をとりまとめたのが第9表である。前述の落下高2.73mからの重錘振り試験結果は、部材が破断しながらも鉄球を受け止めている。また、金属プレートによる部材の連結により衝撃力が面を構成している部材の広い部分に分散されるとも考えられるが、衝突荷重の最大値としては落下高1.09mで破壊と判断されない36.09kNが適切な数値であると考えられる。以上のことから木製落石防護柵の安全性については、本試験で確認できたものとする。

第9表 実証試験結果

試験緒元		計測値		破壊条件		判断
落下高(m)	衝突E(kJ)	衝突荷重(kN)	設計荷重比率	目視	歪伝達	
0.55	1.64	34.36	9.62			
1.09	3.26	36.09	10.11		する	
1.64	4.90	49.04	13.74		しない	破壊
2.19	6.55	48.08	13.47	破断	しない	破壊
2.73	8.16	43.15	12.09	破断	する	破壊

2) 試験－2 積算歩掛調査

組立作業及び設置作業の歩掛り調査結果については、第10表から第13表のとおりである。

この結果に基づき、一般的な従来の工法による総金属製の設置費用と比較したところ、コンクリート基礎（H=1.0m、W=0.5m）に高さ2m、長さ3mの仕様で5スパン施工した場合では、約1.3倍（平成20年1月単価による）の比率となり、やや高価ながら施工可能範囲であると考えられる。

第10表 組立歩掛【h=1.50mタイプ】
(延長30m、10基当たり)

名 称	数 量	単 位
土木一般世話役	0.130	人
普通作業員	0.449	人

第12表 設置歩掛【h=1.50mタイプ】
(延長30m、10基当たり)

名 称	数 量	単 位
土木一般世話役	0.084	人
普通作業員	0.667	人
トラッククレーン(4t吊り)	0.084	日

第11表 組立歩掛【h=2.00mタイプ】
(延長30m、10基当たり)

名 称	数 量	単 位
土木一般世話役	0.181	人
普通作業員	0.604	人

第13表 設置歩掛【h=2.00mタイプ】
(延長30m、10基当たり)

名 称	数 量	単 位
土木一般世話役	0.084	人
普通作業員	0.841	人
トラッククレーン(4t吊り)	0.084	日

摘 要

1. 防腐薬剤 (ACQ) の加圧注入については辺材部分へは乾燥材、生材ともほぼ100%注入された。しかし、心材部分への注入に関しては乾燥材が適しており、部材の乾燥工程は必要である。
2. 土中埋設による劣化試験において21ヶ月経過時の薬剤処理部材の縦圧縮強度残存率がほぼ100%であり、この部材での防腐薬剤 (ACQ、タナリス) の効果が認められた。
3. 曲げ強度試験の結果、最大値で65.0kN/mm²、最小値で30.0kN/mm²、平均値で51.6kN/mm²となった。紀州材は、この部材に適していると言える。なお、建設省告示スギ無等級材は22.2kN/mm²である。
4. 静的ヤング係数と曲げ強度との相関係数は $r=0.851$ 、動的ヤング係数と静的ヤング係数との相関係数は $r=0.914$ であり、個別に非破壊で曲げ強度を推定できることから不良部材の選別に有効である。
5. 衝突実証試験により木製落石防護柵の安全性を確認することができた。
6. 積算歩掛調査から木製落石防護柵は、総金属製に比べやや高価ながら施工可能範囲である。

謝 辞

本研究は、和歌山県科学技術振興室が所管いたします戦略的研究開発プランにより実施しました。共同研究にあたりまして、独立行政法人森林総合研究所、奈良県森林技術センター及び国土防災技術株式会社にご快諾をいただきましたこと、また下記の方々のご協力並びにご指導に対し謝意の意を表すとともに厚くお礼申し上げます。

部材の強度関係

独立行政法人森林総合研究所構造利用研究領域 長尾博文様、加藤英雄様、井道裕史様

部材の耐久性関係

奈良県森林技術センター木材利用課 伊藤貴文様 酒井温子様 増田勝則様

衝突実証及び積算歩掛関係

国土防災技術株式会社関西支社技術部 原克巳様

引用文献

- 井戸聖富・糸川隆康. 2006. 木製落石防護柵の開発 (第1報) 和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場業務報告No. 64 : 22-25
- 井戸聖富・岸本勇樹. 2007. 木製落石防護柵の開発 (第2報) 和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場業務報告No. 65 : 27-30
- 井戸聖富・岸本勇樹. 2008. 木製落石防護柵の開発 (第3報) 和歌山県農林水産総合技術センター林業試験場業務報告No. 66 : 12-15

