

平成3年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(1)
「建造物適用技術推進」

平成4年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成3年度農林水産省補助事業
日本住宅・木材技術センター事業

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(1)
「建造物適用技術推進」

平成4年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

1. 木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業について

わが国には、文化的遺産として高く評価されている大規模木造建築物が多いが、戦後は、ほとんど他の建築物に席を譲ってきた。また、建築物外構物や公園・広場等空間構成物にも経済性や耐久性から木材以外の材料が多く使われている。しかし、最近のように経済的水準が向上し、建築に対するニーズが高度化・多様化するにつれて、木材固有の量感や質感を建築物や空間構成物等に再生しようとする要請が高まりつつある。

また、今後供給の増大化が見込まれる国産材を、これらの建築物や空間構成物に活用し、その需要を拡大しようとする要請も高い。

このため、これら要請へ対応して構造安全性・防耐火性・耐久性・経済性等に関する技術開発を推進しようとするものである。

2. 平成3年度事業の実施方法及び内容

1) 建造物適用技術推進事業

ア. 本事業の実施にあたって、下記の委員会を設置し事業全体の計画立案、事業の進め方等についてご指導をいただきながら進めた。

建造物適用技術推進委員会

委員長	塩田 敏志	東京農業大学農学部 教授
委員	木方 洋二	名古屋大学農学部 教授
〃	大熊 幹章	東京大学農学部 教授
〃	喜多山 繁	東京農工大学農学部 教授
〃	矢田 茂樹	横浜国立大学教育学部 助教授
〃	古澤富志雄	職業訓練大学校 助教授
〃	小林 章	東京農業大学農学部 講師
〃	平井 卓郎	北海道大学農学部 助教授
〃	信田 聡	東京大学農学部 助手
〃	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所木材利用部 接合研究室長
〃	内海 東男	日本道路公団技術部緑化推進課 課長
〃	大間 武	(社)日本造園コンサルタント協会技術委員長
〃	蓮見 隆	(社)日本マリーナ・ビーチ協会 調査役
〃	大曾根 眞	日本木材防腐工業会 専務理事

イ. 下記の分科会を設置し、

ア) 木製遮音壁分科会では、性能実験及び既存木製遮音壁の性能調査

イ) 木槽分科会では、性能実験及び腐朽等実態調査

ウ) 木橋分科会では、性能実験及びマニュアル作成のための検討

エ) 木製栈橋分科会では、マニュアル作成

オ) 木製舗装分科会では、試作展示

カ) 木製遊具分科会では、試作展示木製遊具の追跡調査
を実施した。

木製遮音壁分科会

主査	喜多山 繁	東京農工大学農学部 教授
委員	田中 千秋	島根大学農学部 教授
〃	服部 順昭	東京農工大学農学部 助教授
〃	末吉 修三	農林水産省森林総合研究所木材利用部木質環境研究室 室長
〃	清水 則夫	(財)ベターリビング筑波建築センター試験部技術主任

木槽分科会

主査	古澤富志雄	職業訓練大学校 助教授
委員	福田 清春	東京農工大学農学部 助教授
〃	赤松 明	職業訓練大学校 講師
〃	信田 聰	東京大学農学部 助手
〃	財満やえ子	東京造形大学 助教授

木橋分科会

主査	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所木材利用部 接合研究室長
委員	薄木 征三	秋田大学鉱山学部 教授
〃	阿部 英彦	宇都宮大学建設学科 教授
〃	鈴木憲太郎	農林水産省森林総合研究所木材化工部 防腐研究室長
〃	廣田 延雄	(財)林業土木コンサルタンツ 林道技術部長常務理事
〃	坂本多加雄	銘建工業(株)大断面工場 工場長

木製栈橋分科会

主査	信田 聰	東京大学農学部 助手
委員	山畑 信博	建築研究所 工業生産研究室

- ” 長野 征広 (株)サイエンス中央研究所 商品開発課長
- ” 伊藤 学 ゼニヤ海洋サービス(株)東京営業所 所長代理
- ” 島崎 正勝 (株)三英 遊具事業部 営業部 部長
- ” 本吉 泰次 大建工業(株)開発企画課 主査

木製舗装分科会

- 主査 小林 章 東京農業大学農学部 講師
- 委員 矢田 茂樹 横浜国立大学教育学部 助教授
- ” 高橋 博康 (有)グリーン・デザイン 代表取締役
- ” 鈴木 敏 長谷川体育施設(株)技術部
- ” 長野 征広 (株)サイエンス中央研究所 商品開発課長

木製遊具分科会

- 主査 矢田 茂樹 横浜国立大学教育学部 助教授
- 委員 井村 五郎 千葉工業大学工業デザイン学科 講師
- ” 小林 章 東京農業大学農学部 講師
- ” 平井 卓郎 北海道大学農学部 助教授
- ” 島崎 正勝 (株)三英 遊具事業部 営業部 部長

2) 新木質建材住宅適用技術推進事業

ア. 下記の委員会を設置し事業全体の計画立案、事業の進め方等についてご指導をいただきながら進めた。

木質架構委員会

- 主査 坂本 功 東京大学工学部 教授
- 委員 宮澤 健二 工学院大学工学部 助教授
- ” 野口 弘行 明治大学理工学部 講師
- ” 平嶋 義彦 静岡大学農学部 助教授
- ” 大橋 好光 東京大学工学部
- ” 安村 基 建設省建築研究所第三研究部耐風研究室 主任研究員
- ” 小松 幸平 農林水産省森林総合研究所木材利用部 接合研究室長
- ” 太田 道彦 (株)竹中工務店東京本店設計部 部長(構造担当)
- ” 山田 利行 清水建設(株)設計本部構造設計第二部副部長
- ” 三原 良樹 鹿島建設(株)設計エンジニアリング総事業本部 構造設計部技術長

”	鈴木 基	集成材協同工業組合 (齊藤木材工業(株)大断面事業部長)
”	顚川 五郎	全国LVL協会(大一ウッド(株)代表取締役)
”	稲山 正弘	東京大学工学部建築学科
”	五十田 博	東京大学工学部建築学科
”	石井 満	(株)東京建築研究所
”	片岡 泰子	(株)お茶の水設計工房
”	川元 紀雄	農林水産省森林総合研究所木材利用部接合研究室
”	平野 晋	(株)奥村組つくば研究所
”	小塚 裕一	(株)竹中工務店東京本店設計部構造担当

イ. 下記の専門委員会を設置し、適用技術調査・モデルプランの作成及び適用技術の開発を行った。

木質架構専門委員会

主査	大橋 好光	東京大学工学部
委員	宮澤 健二	工学院大学工学部 助教授
”	小松 幸平	農林水産省森林総合研究所木材利用部 接合研究室長
”	稲山 正弘	東京大学工学部
”	五十田 博	東京大学工学部
”	石井 満	(株)東京建築研究所
”	片岡 泰子	(株)お茶の水設計工房
”	川元 紀雄	農林水産省森林総合研究所木材利用部接合研究室
”	平野 晋	(株)奥村組つくば研究所

3. 実施結果のとりまとめ

前記の実施結果は、下記のとおり報告書(1)、(2)に分冊し取りまとめた。

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(1)

「建造物適用技術推進」

木製遮音壁の現状及び性能実験	2の1)のイのア)のとりまとめ
木槽材の耐朽性及びかび抵抗性の測定実験並びに腐朽等実態調査	2の1)のイのイ)のとりまとめ
木橋の性能実験	2の1)のイのウ)の一部とりまとめ

マニュアル類（木製棧橋、木橋）の作成	2の1)のイのウの一部及びエ)のとりまとめ
木製舗装の試作展示	2の1)のイのオ)のとりまとめ
試作遊具の追跡調査	2の1)のイのカ)のとりまとめ

木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(2)

「新木質建材住宅適用技術推進事業」

中低層木造架構の研究の現状と課題	2の2)のイの一部とりまとめ
木造建築物の構造計画	2の2)のイの一部とりまとめ
多層木造建築物の構造特性	2の2)のイの一部とりまとめ
構造計算の実状と比較	2の2)のイの一部とりまとめ
モーメント抵抗接合における接合具多数本打ちの影響	2の2)のイの一部とりまとめ
引き寄せ型金物を用いた柱・梁接合部の強度実験	2の2)のイの一部とりまとめ
接合具90°方向の耐力実験	2の2)のイの一部とりまとめ
木材=軸応力場におけるせん断治具の強度実験	2の2)のイの一部とりまとめ
ラグスクリューの繊維平行方向引張強度実験	2の2)のイの一部とりまとめ
接合部のめり込みに関する設計方法の検討	2の2)のイの一部とりまとめ
鋼板添え板接合部の解析	2の2)のイの一部とりまとめ
モデルプランの検討	2の2)のイの一部とりまとめ
剛接接合部関連文献の収集	2の2)のイの一部とりまとめ
木造建物接合部の整理	2の2)のイの一部とりまとめ

本報告書は、上記(1)「建造物適用技術推進」の結果を取りまとめたものである。

広範な内容に積極的に取り組んでいただいた委員各位に深甚な謝意を表するとともに、事業をすすめるにあたり貴重なご意見等を寄せられた関係者の各位に感謝申し上げます。

平成4年3月

(財)日本住宅・木材技術センター
理事長 下川 英雄

目次

I 性能実験

第1章 木製遮音壁に関する性能実験	1
1. 遮音壁に要求される性能	1
1.1 遮音壁による防音効果	1
1.2 遮音壁の様式	1
1.3 遮音壁の設計条件	2
1.4 遮音板の材料と形状	2
1.5 望ましい遮音壁	3
2. 木製遮音壁の意義	5
2.1 木製遮音壁に期待される役割	5
2.2 木製遮音壁の可能性	5
3. 木材、木質材料の遮音壁への利用	7
3.1 木材、木質材料の音響的特性	7
3.2 木材、木質材料を使用した遮音壁の遮音効果	14
4. わが国における木製遮音壁	17
4.1 長野県飯田市におけるカラマツ製遮音壁	17
4.2 広島県三次市におけるスギ製遮音壁	30
5. 諸外国における木製遮音壁	41
5.1 オーストラリア	41
5.2 ドイツ	41
5.3 ノルウェー	41
5.4 フランス	41
6. 木製遮音壁材料の新しい防腐処理の試み	47
6.1 レーザインサイジング法	47
6.2 防腐処理	55

6. 3	暴露試験	6 2
6. 4	まとめ	6 3
7.	まとめ、今後の方針	6 5
第2章	木槽に関する性能実験	6 7
1.	木槽材の耐久性及びカビ抵抗性	6 7
1. 1	目的	6 7
1. 2	方法	6 7
1. 3	結果及び考察	6 9
1. 4	まとめ	7 6
2.	腐朽等実態調査	7 7
2. 1	目的	7 7
2. 2	調査とその方法	7 7
2. 3	結果と考察	7 7
第3章	木橋に関する性能実験	8 5
1.	木橋用高強度接合法の開発	8 5
1. 1	開発の目的	8 5
1. 2	最終成果のイメージ	8 5
1. 3	小型試験体による試験方法の概要	8 6
1. 4	小型試験体による試験結果の概要	8 8
1. 5	実大継手実験の目的	9 3
1. 6	試験体概要	9 4
1. 7	試験体の製作過程の概要	9 5
1. 8	結果と考察	9 7
2.	集成ラミナの薬剤注入試験	1 0 4
2. 1	試験の目的	1 0 4
2. 2	供試体及び試験	1 0 5
2. 3	結果と考察	1 0 6
第4章	木製舗装の性能実験	1 1 3
1.	木製舗装の色彩、変退色に関する試験研究	1 1 3

1. 1	試験の目的	1 1 3
1. 2	試験の方法	1 1 3
1. 3	結果と考察	1 1 4
2.	木製舗装の表面温度に関する試験研究	1 1 9
2. 1	試験の目的	1 1 9
2. 2	試験の方法	1 1 9
2. 3	結果と考察	1 1 9
II マニュアル類の作成		
第1章	はじめに	1 2 6
第2章	浮棧橋における木材利用に関するガイドライン	1 2 7
1.	総 則	1 2 7
1. 1	指針の目的	1 2 7
1. 2	適用の範囲	1 2 8
1. 3	用語の定義	1 2 8
2.	浮棧橋の概要	1 3 0
2. 1	浮棧橋の特徴および用途	1 3 0
2. 2	設置場所	1 3 1
2. 3	固定方法	1 3 3
2. 4	配置方法	1 3 4
2. 5	浮棧橋の種類	1 3 5
2. 6	浮棧橋の構成	1 3 7
2. 7	渡 橋	1 3 9
3.	木製デッキの性能	1 4 0
3. 1	木製デッキの基本性能	1 4 0
4.	木製デッキの設計・施工	1 4 8
4. 1	浮棧橋設計全体フロー	1 4 8
4. 2	デッキ材料	1 5 0
4. 3	耐久性向上処理	1 5 5
4. 4	メインフレームと根太の固定方法	1 6 0

4. 5	根太とデッキの固定方法	161
4. 6	メインフレームと防舷材の固定方法	162
5.	メンテナンス	163
5. 1	補修計画	163
5. 2	メンテナンス項目	164
5. 3	点検・補修要領	165
5. 4	点検に必要な道具	169
第3章 木橋のマニュアル作成		171
1.	はじめに	171
2.	木橋設計のための強度特性に関する基礎知識	172
2. 1	はじめに	172
2. 2	実大材の強度の実験例と一般的傾向	173
2. 3	木材の強度と各種成長特性の関係	173
2. 4	木材の許容応力度と材料強度	176
3.	木造林道橋（自動車道）の使用実態	182
3. 1	木造橋の使用樹種	182
3. 2	木造橋の耐用年数	182
3. 3	木造橋の腐れ	184
Ⅲ 試作・展示		
第1章 木製舗装の試作・展示		187
1.	目的	187
2.	試作・展示場所の選定	187
3.	計画区域の条件	187
4.	設計方針	187
5.	設計図書の作成	188
6.	施工	196
6. 1	基礎工事	196
6. 2	木レンガ舗装工	198
第2章 試作遊具の利用状況と部材の劣化		207
1.	試作遊具の利用状況の調査	207

1. 1	調査方法	207
1. 2	利用状況の調査結果	207
2.	児童に対するアンケート調査	212
2. 1	調査方法	212
2. 2	アンケート調査結果	212
3.	試作遊具の劣化	220
3. 1	調査方法	220
3. 2	劣化の測定結果	220

第1章 木製遮音壁に関する性能実験

1. 遮音壁に要求される性能

1. 1 遮音壁による防音効果

自動車による騒音は、自動車という音源から音が放射され、空気中を伝搬して最後に受音体、すなわち人間の耳を刺激する。このため自動車騒音の軽減を計るためには、原則として、音源からの騒音の放射を減ずることと、伝搬経路において騒音の伝搬を妨げることが考えられる。

前者は自動車から発生する騒音のパワーレベルを低下させることであり、騒音対策としてまず第1に考えられるべきものである。自動車騒音のパワーレベルを低下させるための種々の対策が講じられているが、それには限度もあり後者の方法である道路の防音構造、防音施設による対策が必要となる。

自動車から発せられた騒音は、受音点までの距離によってかなり減音するから、距離を離すことがまず重要となる。しかし距離を十分に取れない場合に騒音の障害物を作ることになる。騒音の伝搬経路に障害物があると、音が遮られ、音の回折作用による減衰効果によって一層減音される。

遮音壁は、道路の用地幅の制約がある場合には最も有効な防音施設である。住宅、学校などが道路に近接している場合には十分減音効果が期待できる。遮音壁は、高さの高いほど、また音源（自動車）または受音点（住宅、学校施設等）に近いほど音の伝搬の行路差が大きくなり従って減音量も大きく、防音効果もより有効なものになる。

しかし、遮音壁の設置により、道路外の景色が見えなくなり、道路が単調で殺風景になるなど道路景観阻害の問題があると共に、高さの高い遮音壁の場合には、通風、日照阻害、電波障害などの副次的障害の生じるおそれもあるので、これらに十分留意する必要がある。

また、反射タイプの遮音壁では、音の反射の影響により、反射された側に、より大きな騒音が放射されることになるから注意を要する。

1. 2 遮音壁の様式

1. 2. 1 遮音壁の設置位置

遮音壁は道路の断面構造に応じて次のような位置に設置することを標準としている。

- ①平地部及び盛り土部では、防護柵の機能、遮音壁前の植樹帯を考慮して、路肩端から1.5 m以上離れた位置。
- ②切土部では、のり肩部で遮音壁設置に必要な幅をとった位置。のり肩から離しすぎると遮音効果は減少する。
- ③橋梁、高架橋では、壁高欄に直接取り付ける。

1. 2. 2 遮音壁の設置高さ

目標とする減音量を得るのに必要な高さとするが、最低1.5 m以上、5 mを限度とし

ている。それ以上の高さを必要とする場合は、5 m 高に 2 m ないし 3 m の折れ壁を設置している例もある。

1. 2. 3 遮音壁の設置延長

家屋の幅程度の遮音壁を家屋直前の道路側に設置しても、遮音壁の前後から音が伝わり遮音効果は減じる。このため、遮音壁を音が家屋に影響しない程度まで延ばすことが必要であり、一般的には道路中心線から家屋までの距離の 1 ないし 1.5 倍程度の張り出し部が必要である。

1. 3 遮音壁の設計条件

遮音壁の設計に対して考慮される条件は、荷重、材料強度及び許容応力度、基礎の安定度などである。

荷重については、死荷重、風荷重、土圧、地震の影響などを考慮せねばならず、状況に応じてそれらの荷重の組み合わせに耐えるものでなければならない。風荷重は、遮音壁延長方向に直角に作用する水平荷重とし、その大きさは次の通りとする。

橋梁部 200 kg/m^2 ただし、橋梁本体の設計に対しては 300 kg/m^2
土工部 150 kg/m^2

許容応力度は、常時を 1 として、風荷重時、地震時、施工時には 1.5 ~ 1.7 割り増ししなければならない。

また、遮音板および取り付け金具については 300 kg/m^2 の荷重戴荷試験により弾性変形内であることを確認しなければならない。

1. 4 遮音板の材料と形状

遮音板（パネル）はその性能から、反射タイプと吸音タイプに分けられ、それらで構成された遮音壁をそれぞれ反射タイプ遮音壁、吸音タイプ遮音壁という。

遮音性は透過損失で表示される。回折音と透過音のレベル差が 10 dB 以上あれば、透過音の影響がないことになるので、透過損失は受音点において遮音壁に要求される減音量に 10 dB を加えた値以上あればよい。一般には、透過損失は周波数 400 Hz に対して、25 dB 以上、周波数 1000 Hz に対して、30 dB 以上の値が必要とされている。

吸音性は吸音率で表示される。吸音率については、周波数別の必要十分な値および評価方法がまだ確立されていないが、経験上から周波数 400 Hz に対して、70% 以上、周波数 1000 Hz に対して、80% 以上の値であれば支障ないとされている。

遮音板の材料には、金属、コンクリート、合成樹脂、木材などがあり、どの材料の遮音板を採用するかは道路構造、地域状況との関連において、それぞれの音響性能、重量、耐久性、景観などを総合的に勘案して決めることになる。

① コンクリート

鉄筋コンクリート、プレストレストコンクリートのプレキャスト板が最も多く用いられ、

コンクリートブロック積も用いられている。コンクリート系の遮音板は、ほとんど反射タイプで反射音の影響が大きいが耐久性に優れ、金属板より安価である。重いので主として土工部に用いられる。

②金属

吸音パネルとして、ガラス繊維のマットを内包しているものが多く用いられている。吸音パネル表面の吸音機構は、丸型、スリット型等があり、表面の鋼板には、亜鉛めっきを施している。吸音パネルは軽量のため、高架橋に用いられるとともに、土工部においても反射音が問題になる個所において用いられる。

③合成樹脂、ガラス

視野の確保、日照障害の解消、遮音壁の外側の風景が見えるようにするために合成樹脂やガラスの透明板を用いることがある。アクリル樹脂板は老化による透明度の低下、ポリカーボネート樹脂板はパネル取り付けのボルト、ナットの締め付けによる板のゆがみ、板ガラスは破損し易いというようにそれぞれ弱点がある。透明板は、空気中の塵埃が付着し透明度が低下するため、清掃が必要となる。

④木材

板や角材を使った遮音壁は、ヨーロッパや北米でよく用いられている。わが国でも最近利用されはじめており、自然景観にマッチする点が長所である。木質遮音壁の有用性については後の章において詳述する。

パネルの寸法形状は支柱間隔に適合し、各パネル相互に目違いの生じないようなものでなければならない。支柱間隔は2 mおよび4 mが標準とされ、支柱はH形鋼の125x125が最小とされているので、パネルの寸法は下記の値が標準となる。

パネルの幅	50cmまたは1 m
パネルの長さ	1960mmまたは3960mm
パネルの厚さ	約100mm

1. 5 望ましい遮音壁

遮音壁の設置に当たっては、次のようなことに留意する必要がある。

- ①要求される遮音性能を満たすとともに、パネルの持つ素材感、テクスチャー、色彩等が周辺環境と調和することが望まれる。
- ②耐久性にすぐれている必要がある。
- ③ドライバーに快適さを感じさせるデザインであると共に、周辺住民の意向も尊重すべきである。
- ④支柱の煩雑感のない構造とすることが望ましい。橋梁や高架部の場合、橋梁本体との一体感の高い構造とすることが望まれる。
- ⑤眺望性のよい高架道路や景色のよい地点では、道路利用者の視界の確保にも配慮して、

透明型の遮音壁の併用も検討すべきである。

⑥一定区間内では、遮音壁の材質や形状を統一し、連続性を図ることが望ましい。

2 木製遮音壁の意義

2. 1 木製遮音壁に期待される役割

現在設置されている道路沿いの遮音壁は、コンクリート、アルミニウムあるいはプラスチック製がほとんどで、木製のものは一部地域に試作展示のレベルで設置されているというべき状況である。それでは、これまであまりつくられなかった木製遮音壁を、今なせつくらなければならないのかという疑問が生じてくるであろう。以下に、この疑問に対するいくつかの”回答”を列挙してみたい。

①道路沿いに設置された遮音壁によって、自動車などの騒音の拡散を単に抑えられればよいと考えるべきではない。”遮音”という機能だけを追求した遮音壁には、無機的で無味乾燥な印象の強いものが多い。空間を仕切るほどの遮音壁の規模を考えると、ドライバーにとっても道路周辺の住民にとっても、遮音壁によって受ける心理的影響は大きい。

ところで、木材は有史以来燃料、器具、住居などに利用され、人間にとってもっとも身近かな、言い換えれば人間の感性にあった材料の一つであると言える。道路沿いの遮音壁は、上述のごとく一つの景観の中で占める空間的な規模が大きいだけに、人間の感性に合った天然の有機材料である木材を多用すべきであろう。とくに自然景観の保存を重視している地域では、木製遮音壁は周囲の自然環境になじみやすく、景観全体の調和を図りやすい構造物であるという利点を活用する意義がある。

②木製遮音壁には耐久性は要求されるが、建築用材ほど強度性能や外観などに厳しい注文はつけられないので、間伐材や小径材などの低質材の利用が可能である。すでに、高速道路や一般道路沿いに試験的に設置されている木製遮音壁には、すべて間伐材が利用されている。これら未利用の低質材に木製遮音壁の素材としての市場価値を持たせることができれば、地域の林業生産活動の活性化を促すことにつながるであろう。

③木材は、周知のごとく、水と大気中の二酸化炭素を原料として太陽エネルギーによってつくられることから、二酸化炭素を固定する機能を持つ。また、石油や石炭などの化石燃料と異なり、再生産可能な天然材料である。

近年、地球環境保全の観点から、二酸化炭素の発生源となる化石燃料を原料として、あるいは消費してつくられる材料に替えて木材をできるだけ利用し、しかも地球上にできるだけ長く保持することによって、地球温暖化を促進する二酸化炭素の発生を抑制すべきであるという提言がなされている。この考え方は、たとえば地球上に木造建築物などを建てて、腐らせないようにできるだけ長く利用することが、地球の環境保全につながるというものである。

2. 2 木製遮音壁の可能性

今、新たに設置される高速道路沿いの遮音壁を木製のものにするか、あるいは既存壁を木製遮音壁で代替することによって、地球の温暖化に少しでもブレーキがかかることを期

待したい。

木製遮音壁は、外国文献の紹介の項にも示されているように、主にヨーロッパですでに実用化されている実績がある。木材をそのままパネルにした反射型遮音壁や、木繊維とコンクリートを複合した吸音型遮音壁など国によっていろいろであるが、設置する場所の環境に合わせて種々の木製遮音壁が実用化されている。ちなみに、道路の両側に住宅地が迫っている場合は、反射型遮音壁では道路の反対側に騒音が拡散してしまうので、吸音型を使用しなければならない。今後は、日本においても木材をそのまま活かした反射型の木製遮音壁のみならず、孔やスリットなどを施した木製箱と吸音材の組み合わせ、あるいは木質材料とコンクリートやセラミックスなどの他材料との複合化によって吸音性を付加した木質複合遮音壁の開発が要望されるところである。

経済性や機能だけで遮音壁を設置してよい時代は、もう終わりにすべきではなかろうか。今や、人間の感性に訴え、景観の保存に有利で、地域の林業生産活動の活性化にもつながり、さらに地球環境を守る視点に立って言えば、地球温暖化を抑制する機能を期待できる”木製遮音壁”の普及を推進すべき時期にきていると言えよう。

3. 木材、木質材料の遮音壁への利用

3. 1 木材、木質材料の音響的特性

3. 1. 1 透過損失

壁の遮音性能は、その面密度、曲げ剛性、内部摩擦などによって決まる。壁の厚さが音の波長に比べて十分薄く、単一部材または全面接着による積層板で構成されているとき、壁の透過損失 TL_0 、 TL は、質量則（透過損失は、壁の質量と周波数の積に依存）と言われる次式で表される。

$$TL_0 = 20 \log_{10} (f \cdot m) - 42.5 \quad (\text{垂直入射時、図 3-1})^{1)}$$

$$TL = TL_0 - 10 \log_{10} (0.23 TL_0) \quad (\text{拡散入射時}) \text{ 図 3-2})^{1)}$$

f : 入射波の周波数 (Hz)

m : 壁の単位面積当たりの質量 (kg/m^2)

(同じ材料の一重壁の場合、一般に低音域で、材料の内部摩擦により質量則よりも大きな値を示し、中・高音域で壁面の屈曲振動によるコンシデンス効果を生じ、透過損失が低下する)

質量則 (図 3-2) からすると、日本道路公団の遮音壁の音響透過損失の仕様である 400 Hz に対して 25 dB 以上、 1000 Hz に対して 30 dB 以上を満足するためには、面密度が $1.8 \text{ g}/\text{cm}^2$ (厚さが 10 cm とすると比重 $0.18 \text{ g}/\text{cm}^3$) 以上の材料をもちいれればよい。木材の比重は、表 3-1 に示すように、おおむね $0.30 \text{ g}/\text{cm}^3$ (厚さが 6 cm で面密度 $1.8 \text{ g}/\text{cm}^2$) あるので、木材、木質材料を使用した遮音壁の製作は、十分可能であるといえる。から松、杉を使用した遮音壁の質量則によって求めた透過損失を表 3-2 に示す。

参考に、単板と中空壁の透過損失を表 3-3, 4 に示す。

単板では、ほぼ質量則どおりの傾向で、日本道路公団の仕様を満たさないものがある。しかし、中空層を含んだ構造になると、かなりのものが日本道路公団の仕様を満足し、面密度が質量則による計算値 ($1.8 \text{ g}/\text{cm}^2$) よりも低い「合板 6 mm + 空気層 100 mm + 合板 6 mm (面密度 $1.078 \text{ g}/\text{cm}^2$)」でも、日本道路公団の仕様を満足している。したがって、面密度が、質量則による計算値より低くても、木材、木質材料を使用した遮音壁の製作は、可能だといえる。これは、次項の吸音率が原因であり、コンクリート製遮音壁では無理な、木製遮音壁の特徴 (中空層を含まなくとも、吸音率は、コンクリートよりも木材のほうが高い) といえる。

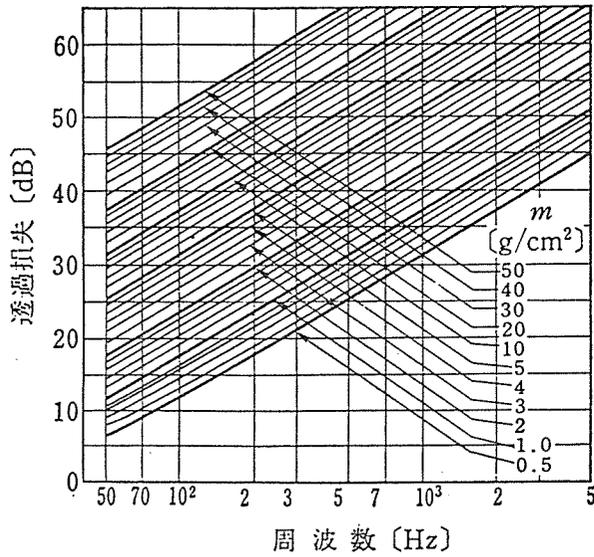


図3-1 垂直入射の場合の透過損失と単位面積当たりの質量

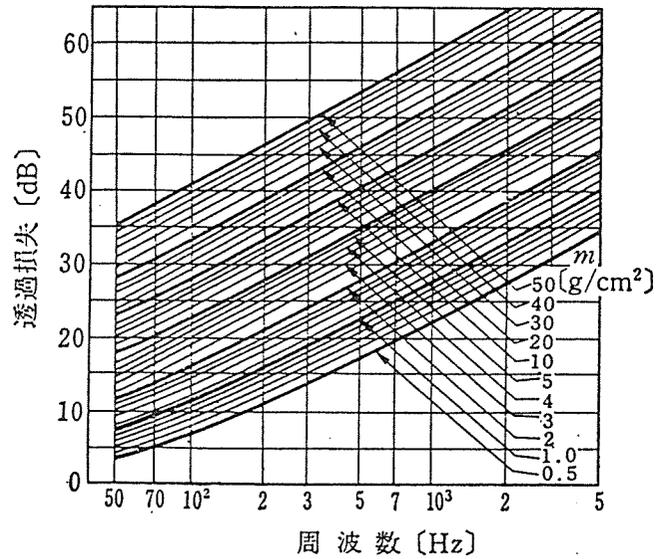


図3-2 ランダム入射の場合の透過損失と単位面積当たりの質量

表3-1 主要構造木材の気乾比重²⁾

樹種	気乾比重	樹種	気乾比重
すぎ	0.30~0.45	からまつ	0.40~0.60
もみ	0.35~0.52	あかまつ	0.42~0.62
ひば	0.37~0.55	くろまつ	0.44~0.67
えぞまつ	0.35~0.52	つが	0.45~0.60
ひのき	0.34~0.54	みずなら	0.45~0.90
とどまつ	0.32~0.48	ぶな	0.50~0.75
けやき	0.47~0.84	かし	0.75~0.98

(単位: g/cm^3)

表3-2 質量則による音響透過損失 (単位: dB)

樹種	種	すぎ ($0.38g/cm^3$)			からまつ ($0.50g/cm^3$)		
		5	10	15	5	10	15
厚さ	(cm)						
面密度	(g/cm^2)	1.9	3.8	5.7	2.5	5.0	7.5
周波数帯域	400Hz	26	31	35	28	33	37
	1000Hz	33	39	42	35	41	44

日本道路公団の基準値: 周波数帯域400Hzで25dB、1000Hzで30dB以上

表 3 - 3 単板の透過損失 (単位 : dB) ³⁾

名 称	厚さ 面密度		周 波 数 (Hz)					
	(mm)	(kg/m ²)	125	250	500	1000	2000	4000
ラワン合板	6	3.0	11	13	16	21	25	23
せっこうボード	7	6.3	11	12	19	26	35	42
せっこうボード	9	8.1	12	14	21	28	35	39
スレート小波板(6.5mm) 波高23.5mm			15	19	24	26	31	44
ラワン合板	12	8.0	18	20	24	24	25	30
パーライトボード	12	8.1	17	18	24	30	33	30
せっこうボード	12	10.8	18	17	22	29	37	35
鉄 板	1	8.2	17	21	25	28	34	38
スレート平板	6		15	18	25	30	36	38
フレキシブルボード	6	11.0	19	25	25	31	34	28
ラワン合板	40	24.0	24	25	27	30	38	43
鉛 板	1	11.3	20	24	29	33	38	43
銅 板	3	27.0	27	29	32	37	41	41
発泡コンクリート	100	70	29	37	38	42	51	55
発泡コンクリート+片面プラスター塗り	100		32	35	38	45	55	59
発泡コンクリート+両面プラスター塗り	100		34	34	41	49	58	61

表 3 - 4 中空層の透過損失 (単位 : dB) ³⁾

名 称 () 内は材料厚さmm	厚さ 面密度		周 波 数 (Hz)					
	(mm)	(kg/m ²)	125	250	500	1000	2000	4000
合板(3)+A(22)+合板(3)	28	5.14	9	13	10	20	34	42
合板(4)+A(25)+合板(4)	33	6.85	11	15	15	25	36	45
合板(3)+A(45)+合板(3)	51	5.14	11	10	12	23	35	45
合板(3)+A(45)+合板(6)	54	7.71	13	11	17	27	36	37
合板(6)+A(100)+合板(6)	112	10.78	11	20	29	38	45	42
せっこうボード(9)+A(45) +せっこうボード(9)	59	13	15	18	28	39	50	49
せっこうボード(9)+A(100) +せっこうボード(9)	114	13	12	29	35	47	55	54
石綿パ-ライトボ-ート(12)+A(100) +石綿パ-ライトボ-ート(12)	124	43.2	18	22	29	38	43	42
鉄板(0.6)+A(25)+鉄板(0.6)	26.2	11.5	14	17	24	32	41	55
アルミニウム板(1.2)+A(20) +アルミニウム板(1.2)	22.4	6.4	13	16	18	27	35	40
アルミニウム板(1.2)+A(60) +アルミニウム板(1.2)	62.4	6.4	14	17	25	32	38	42
せっこうボード(9)+A(45) +合板(3)	55	8.0	12	13	21	30	43	45
せっこうボード(9)+A(100) +合板(3)	110	8.0	11	20	27	37	45	48
スレートボ-ート(6)+A(50)+合板(6)	62	14.4	13	20	30	36	41	42
合板(4.5)+A(34) +鉄板(1.6)合板(4.5)	44		19	26	27	33	31	33

3.1.2 吸音率

代表的な、各種材料の吸音率を表 3-5 に示す。材料の吸音率およびその特性が、材料の種類とその厚み、背後の空気層の厚み、あなあき板・スリットとの組み合わせかたによって大きく異なることがわかる。

この表より下記のことが類推できる。

- ① 単体で日本道路公団の遮音壁の吸音率の仕様である 400 Hz に対して 70% 以上、1000 Hz に対して 80% 以上を満足している材料は、(B) 多孔質材料系吸音構造

この材料は、単体では構造部材にならないか、なりにくいものであり、屋外暴露による耐久性が悪い。したがって、単一材料のみで吸音タイプの遮音壁を製作することは難しい。

- ② 板状材料・あなあき板と背後空気層、板状材料のみを使用したスリット構造のものは、吸音率が日本道路公団の仕様を満たさない

背後に空気層を設けない場合、多孔質材料以外の材料は、その厚みによって吸音率が大きく異なることはない。

したがって、木材・木質パネルを板状材料と考えるとこれらの材料のみで製作した遮音壁では、日本道路公団の仕様を満足することは難しい。

- ③ 日本道路公団の仕様を満足し遮音壁を製作可能なものは、(B) 多孔質材料系吸音構造、(C) あなあき板状系吸音構造 (下地に多孔質材)

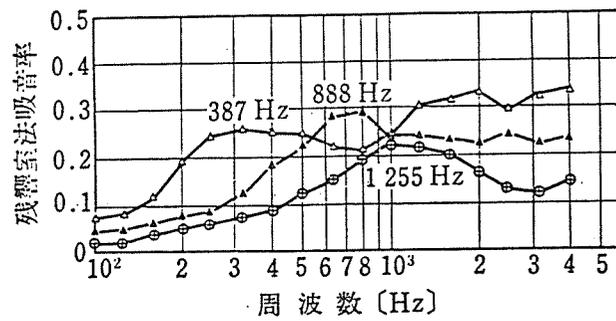
(B) 多孔質材料系吸音構造は、上記①の理由で、道路で使用される遮音壁の材料としては適さない。

以上より、日本道路公団の仕様を木材、木質材料だけで満足することは不可能であるが、あなあき板状系吸音構造 (下地に多孔質材) を木材、木質材料で製作すれば木製遮音壁の製作は可能である。スリット構造 (下地に多孔質材) は、スリット幅・間隔、背後空気層の厚み、多孔質材の種類・厚み等によって日本道路公団の仕様を満足する可能性がある。

参考に、有孔板の吸音特性で下地のない場合を図 3-3、下地に多孔質材を使用した場合を図 3-4 に、下地に多孔質材、キャラコを使用したスリット構造の吸音特性を図 3-5~7 に示す。あなあき板状系あるいはスリット吸音構造で下地に吸音材を使用して日本道路公団の仕様を満足する構造は、資料不足のため、詳細を決めるためには試作品による実験が必要である。

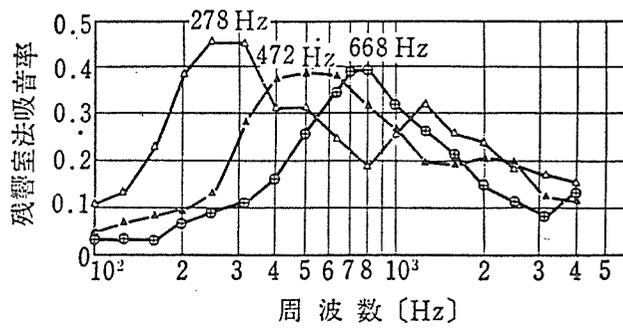
表3-5 各種材料の残響室法吸音率^{4)、5)}

材 料 名 ・ 仕 様 () 内は材料厚さ mm [] 内は孔径・ピッチ mm	空気層 厚さ (mm)	周 波 数 (Hz)					
		125	250	500	1000	2000	4000
(A) 板状材料系吸音構造							
合板 (6)	45	0.18	0.33	0.16	0.07	0.07	0.08
合板 (6)	90	0.25	0.20	0.10	0.07	0.07	0.08
合板 (9)	45	0.11	0.23	0.09	0.07	0.07	0.08
合板 (9)	90	0.24	0.15	0.08	0.07	0.07	0.08
せっこうボード (9)	45	0.26	0.14	0.09	0.06	0.05	0.05
せっこうボード (9)	90	0.30	0.11	0.08	0.05	0.06	0.06
半硬質繊維板 (6)	45	0.50	0.30	0.15	0.15	0.15	0.15
半硬質繊維板 (6)	100	0.30	0.20	0.15	0.15	0.15	0.15
合板(6)空気層にグラスウール(50)充填	45	0.40	0.30	0.12	0.08	0.08	0.10
(B) 多孔質材料系吸音構造							
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (25)	0	0.10	0.36	0.72	0.89	0.88	0.90
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (25)	40	0.12	0.43	0.93	0.95	0.96	0.98
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (25)	150	0.62	0.93	0.93	0.84	0.80	0.90
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (25)	300	0.95	0.93	0.93	0.86	0.79	0.92
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (50)	0	0.13	0.74	0.97	0.98	0.99	0.99
ロックウール吸音ボード ¹ 号 (100)	0	0.63	1.00	0.97	0.96	0.90	0.99
グラスウール吸音ボード ^{32K} (25)	0	0.12	0.32	0.65	0.82	0.80	0.82
太木毛セメント板 (25)	0	0.05	0.10	0.24	0.64	0.69	0.75
太木毛セメント板 (25)	45	0.05	0.17	0.59	0.64	0.63	0.77
太木毛セメント板 (25)	90	0.08	0.29	0.66	0.54	0.66	0.88
太木毛セメント板 (25)	180	0.24	0.60	0.52	0.56	0.69	0.82
太木毛セメント板 (50)	0	0.14	0.28	0.90	0.75	0.80	0.83
細木毛セメント板 (50)	0	0.14	0.22	0.47	0.86	0.61	0.85
木片セメント板(30)、比重0.6	0	0.10	0.20	0.55	0.95	0.70	0.75
木片セメント板(50)、比重0.6	0	0.15	0.33	0.90	0.78	0.85	0.85
(C) あなあき板状系吸音構造							
あなあき板 (5) [6φ-15]	300	0.50	0.70	0.50	0.65	0.70	0.60
あなあき板 (5) [8φ-16]	300	0.85	0.95	0.85	0.75	0.65	0.60
あなあき板 (5) [9φ-15]	300	0.55	0.85	0.65	0.80	0.85	0.75
あなあき板 (5) [9φ-15]	500	0.85	0.70	0.80	0.90	0.85	0.70
あなあき板 (5) [9φ-15]	1000	0.55	0.70	0.80	0.85	0.85	0.80
あなあき板 (5) [9φ-15] 下地材に多孔質吸音材(25)	500	0.30	0.25	0.25	0.35	0.40	0.40
あなあき板 (5) [9φ-15] 下地材なし							
(D) スリット吸音構造							
板幅(77)・板厚(18)・スリット幅(20)	80	0.07	0.16	0.33	0.21	0.18	0.17
同上・裏張り材:洗ったキヤロ1枚	80	0.12	0.50	0.68	0.39	0.26	0.22
同上・裏張り材:洗ったキヤロ2枚	80	0.16	0.67	0.91	0.51	0.41	0.32
板幅(77)・板厚(18)・スリット幅(45)	80	0.08	0.36	0.22	0.15	0.15	0.16
板幅(77)・板厚(18)・スリット幅(20)	180	0.12	0.37	0.28	0.26	0.17	0.15
板幅(300)・板厚(30)・スリット幅(60) 板裏側にグラスウール20K(20)張り	70	0.12	0.56	0.29	0.22	0.13	0.16
(E) 一般建築材料							
コンクリート打放し・モルタル金ごて仕上げ	-	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03



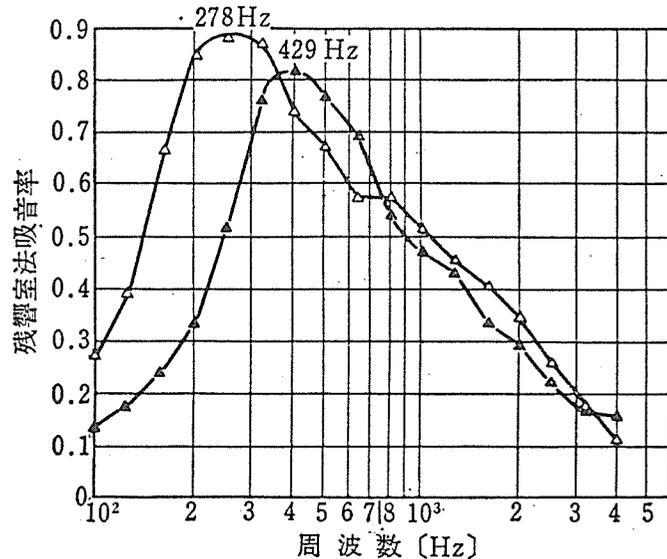
空気層の変化 下地材なし
 △—△ 空気層厚 180 mm
 □—□ " 90 mm
 ○—○ " 45 mm

(a) 4φ-15



(b) 9φ-15

図3-3 有孔板の吸音特性 (ハードボード厚 5mm) ⁶⁾



空気層の変化 グラスウール50mm厚下地
 △—△ 空気層厚 180 mm (有孔板より剛壁まで)
 □—□ " 90 mm (")

図3-4 背後にグラスウールがある場合の有孔板の吸音特性 ⁶⁾
 (ハードボード厚 5mm、4φ-15)

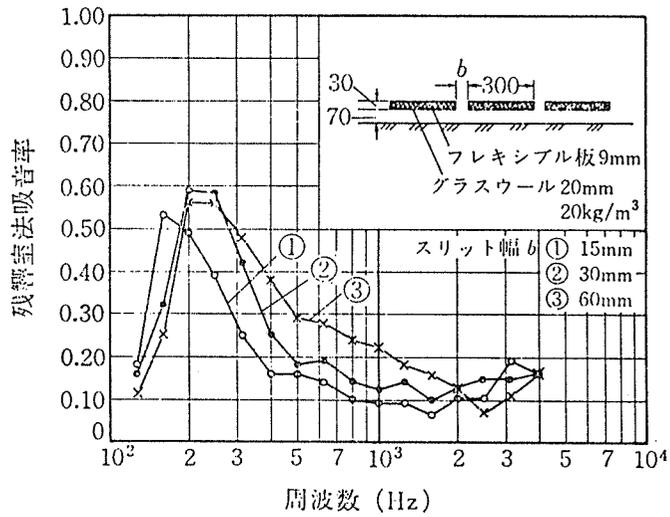


図 3-5 スリット構造の吸音特性例 (1) 7)

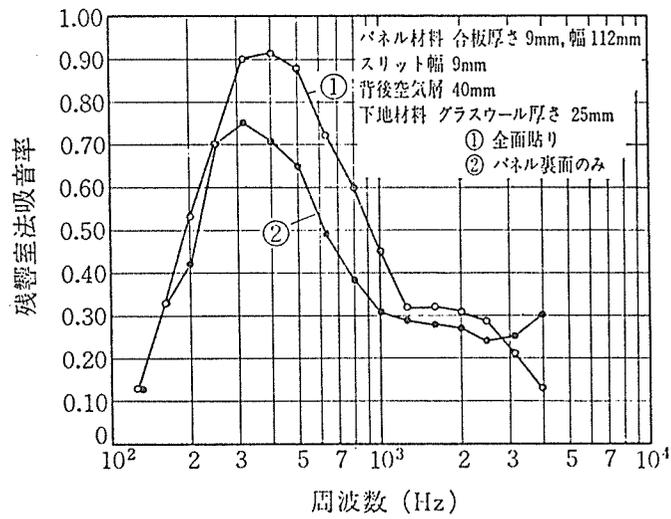


図 3-6 スリット構造の吸音特性例 (2) 7)

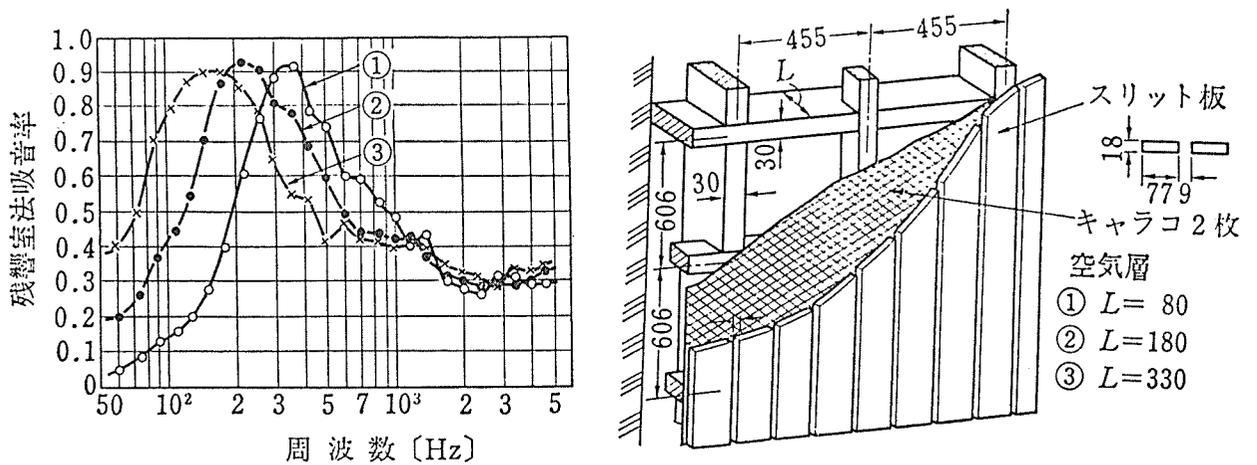


図 3-7 スリット構造の吸音特性例 (3) 6)

3.2 木材、木質材料を使用した遮音壁の遮音効果

3.2.1 反射タイプの遮音壁

木材を用いて、遮音壁を製作する方法としては、中小径の木材をつなぎ合わせパネルを製作し、このパネルをH型等の鋼材で支持し、遮音壁とする方法がある。この方法で製作した遮音壁は、前述(3.1.1 透過損失)したように木材の比重からすると質量則からは、日本道路公団の仕様を満足する(面密度 $1.8\text{g}/\text{cm}^2$ 以上)。しかし、長野県林総研究報告第5号「木製防音壁の試作と性能評価」(武井他、1989年)によると、この方法では、パネルと鋼材、木材のつなぎめ等に隙間が生じ、ここから音が漏れることよって透過損失が質量則で計算した値より低下し、日本道路公団の仕様を満足するためには、これらの隙間をパテなどでシールする必要があるとされている。

3.2.2 吸音タイプの遮音壁

前述(3.1.2 吸音率)より、木材、木質材料を使用した吸音タイプの遮音壁は、スリット、あなあき板状系吸音機構(下地に多孔質吸音材)のものになる。

これは、現在、日本道路公団で制定し、高速道路で使用されている統一型遮音壁パネルといわれるアルミ製遮音壁(吸音タイプ)と同じ構造(ショートスリット+多孔質材+背後空気層)であるため、アルミのかわりに木材・木質材料を使用した遮音壁を製作することになる。

参考に、統一型遮音パネルの吸音特性⁸⁾とその一例を図3-8, 9に示す。

総厚：95mm、表面ショートスリット
 吸音材料：ロックウールまたは
 グラスウール(50mm)

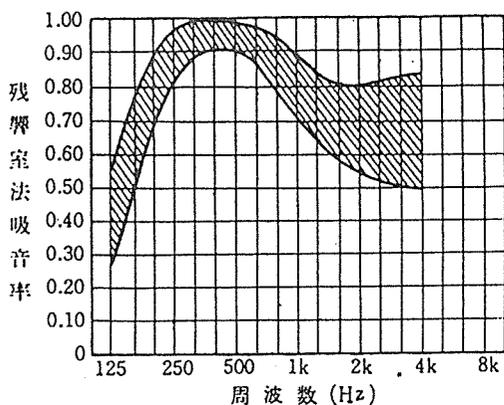


図 3-8 統一型遮音パネルの吸音特性

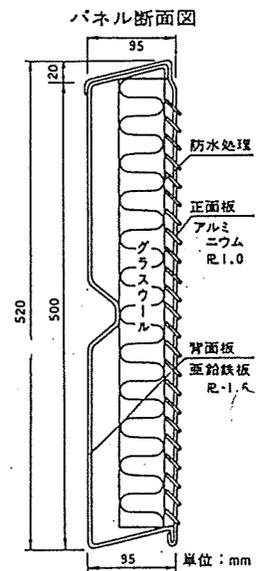


図 3-9 統一型遮音パネルの一例

3. 2. 3 反射，吸音兼用タイプの遮音壁

木材、木質材料の透過損失は、日本道路公団の仕様をその厚みによって十分満たす（質量則から）が、吸音率は多孔質材料と組み合わせた構造でないと満足しない。また、木材、木質材料あるいは、これらの材料のみを用いた構造は、日本道路公団の吸音率の仕様は満たさないが、コンクリートの吸音率よりも格段吸音率がよいことが前述の資料よりわかる。そこで、ここでは、日本道路公団の仕様を透過損失は満たし吸音率は満たさないが、コンクリートの遮音壁よりも吸音率が格段よいという木材、木質材料の特徴を生かした遮音型の遮音壁を検討する。

透過損失は、主要部分に使用する材料によって質量則からその厚みを計算し、日本道路公団の仕様を満たす（片面板材を張ることによって隙間からの漏音を防止する）。ここでは、からまつを使用することになると表 3-2 より厚さ 5cm以上で日本道路公団の使用を満たす。吸音率は、板材で主要部分の表面にスリット構造をつくることによって、主要部分に使用する材料の吸音率よりも高める。スリット構造により吸音率を高める共鳴周波数帯域は、日本道路公団の仕様で示されている400Hz、1000Hzとする。共鳴周波数帯域 f_0 (Hz) は、下記によって求める。⁷⁾

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{(t + t')L}}$$

- c : 空気中の音速 (cm/sec) 、 p : 開口率
 t : 板厚 (cm) 、 L : 背後空気層の厚さ (cm)
 t' : スリット構造の共鳴周波数に影響する板厚の補正項 (図 3-10)

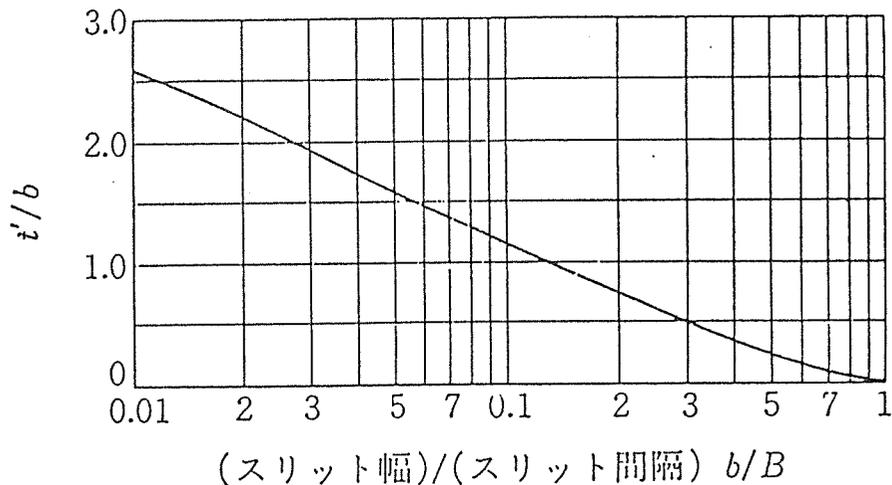


図 3-10 スリット構造の共鳴周波数に影響する板厚の補正項 t'

(参考例)

空気中の音速 $c = 340\text{m/sec}$

開口率 $p = 0.125$ (スリット幅 $b = 2\text{cm}$ 、間隔 $B = 16\text{cm}$)

板厚 $t = 1.8\text{cm}$

背後空気層の厚さ L (cm) のとき共鳴周波数帯域 f_0 (Hz) は、

$$L = 1 \text{ のとき } f_0 = 1008 \text{ (Hz)}$$

$$L = 6 \text{ のとき } f_0 = 412 \text{ (Hz)}$$

(文献)

- 1) 音響工学講座③建築音響、日本音響学会編、コロナ社刊、P.177
- 2) 建築設計資料集成1、日本建築学会編、丸善刊、p.252
- 3) 同上、P.22
- 4) 同上、P.19,20
- 5) 日本建築学会設計計画パンフレット4 建築の音環境設計、日本建築学会編、彰国社刊、P.77
- 6) 音響工学講座③建築音響、日本音響学会編、コロナ社刊、P.84~86
- 7) 建築音響シリーズ(材料編) I 吸音材料、日本音響材料協会編、技報堂出版刊、P.67~68
- 8) 騒音・振動対策ハンドブック、日本音響材料協会編、技報堂出版刊、P.621

4 我が国における木製遮音壁

日本道路公団では、高速道路用遮音壁としてコンクリート製とアルミ製の2種類を採用している。コンクリート製遮音壁は、単位体積当たりの質量が大きく、壁に当たった騒音の音圧によって壁が振動することは少ないので、反対側へ壁の振動によって騒音を放つことが少ない（透過損失が大きい）という特徴がある。従って、壁に当たった騒音は壁を振動させることができないので、その大部分は跳ね返ることになる。それ故、このタイプの遮音壁は、反射タイプと呼ばれる。一方、アルミ製遮音壁は、表面にあけた穴から入った騒音を壁内部の吸音材に吸収させ、反対側へ抜ける騒音を抑えられる特徴があり、このタイプの遮音壁は吸音タイプと呼ばれる。両者の遮音の機構は異なり、重量や価格も大きく異なるので、設置される場所の状況に応じて使い分けられている。すなわち、道路の片側だけを遮音する必要がある場合にはコンクリート製遮音壁が設置される。しかし、その場合には、遮音壁に当たった騒音は跳ね返って、反対側に放射されることになり、片側への騒音対策を施したお陰で反対側の騒音がひどくなることになる。従って、道路の両側への遮音が求められる場合には、反射タイプの遮音壁を設置することはできず、その場合には、吸音タイプの遮音壁を設置し、騒音を遮音壁の内部で消化する方法を取ることになる。また、コンクリート製遮音壁は、その重量がアルミ製のそれに比べて約7倍と重いので、橋梁上等の耐荷重が問題となる場所には設置できない。

高速道路が開通すると、それが通過する地域に住んでいた住民への自動車騒音の加害やその道路を核として広がった市街化地域の住民への加害が問題となってくる。住民からの苦情に対する最も行い易い対策は遮音壁を設置することであり、安価で効果があり、耐久性のあるコンクリートやアルミ製の遮音壁が全国的に設置されることになり、現在では高速道路における遮音壁の設置総延長は1000kmを越えるまでになった。しかし、遮音壁に対する高速道路利用者や沿線住民の単調で冷たいといった反応が生じたり、周囲の景観にとけ込み難いといった状況から、遮音壁の改革が試みられている。その一つに、通過道路の地元の要求もあって、木製遮音壁の設置が試験的に行われ始めた。現在全国に4ヶ所設置されている木製遮音壁の中から中央自動車道の飯田市中村地区に設置された長野県産材であるカラマツを用いた遮音壁¹⁾と中国自動車道の三次市江の川地区に設置された広島県産のスギを用いた遮音壁の現地調査を行った。

4. 1 長野県飯田市におけるカラマツ製遮音壁

4. 1. 1 カラマツ製遮音壁の概要

長野県飯田市中村地区の中央自動車道上り線に200mに渡って設置されている木製遮音壁は、カラマツ製で、農林水産省の大型プロジェクト研究である「農林水産業用資材等山漁村地域における国産材の需要開発に関する総合研究」の一貫として、長野県林業総合セ

ンターで研究開発された部材の断面形状が六角型・矢羽型・半割型の3種類の内の矢羽型である。

現地での騒音測定や聞き取り調査には日本道路公団名古屋管理局や同飯田管理事務所、長野県林業総合センターの協力を得た。

a. 遮音壁の製造²⁾

カラマツ間伐材のなかで最も需要の少ない末口直径が13~16cm中小径材を、厚さ117mmのタイコ挽きか、あるいは117×117mmソマ角挽きとし、各材面とも鋸挽面が材幅の60%以上であるものが採用された。

高温高湿乾燥により、材の平均含水率が24%以下になるように乾燥された。

材の長さが1960±5mmになるように調整され、パネル組立後に全体の長さが揃えられた。厚さが107±0mmになるように、二面むら取り盤あるいはこれと同等の精度を有する方法で切削され、それらの面は矢羽加工の際の基準面にされた。

この基準面を定規面として、部材上部の凸形部分及び下部の凹形部分の鋸挽き加工が行われた(図4-1)。その際、鋸のナイフマークが生じても構わないものとされた。

部材をパネルに組み立てる際に使用するボルトの穴径はφ12mmで、穴位置は図4-2のとおりとされた。また、パネルの一番上にくる部材の凸形部分の頂点にφ24mm深さ5mmの座ぐりが設けられた。

パネルは、図4-2に示すように、5本の部材をヤトイを入れずに積み上げ、その長手方向の3箇所ボルト締めすることによって組み立てられた。組上がった1枚のパネルの寸法は幅107×高さ500×長さ1960mmであった。

組立後のパネルに、木材の加圧式防腐処理方法(JIS A 9002-1977)に従って、フッ素化合物とフェノール類を配合したJIS K 1550に規定する第3種Aの防腐剤(以下PF3と言う)が加圧注入された。注入量と浸潤度の合格基準値はそれぞれ200kg/m³以上と辺材部分で85%以上とされた。ここで、浸潤度(%)は浸潤長/辺材長×100で求められ、JIS A 9107(加圧式クロム・銅・ひ素化合物系木材防腐剤処理木柱)の規定が準用された。

b. 工法³⁾

パネルに組み上げられた遮音壁は日本道路公団名古屋管理局によって昭和60年(1985)11月12日から昭和61年(1986)3月15日までの期間に2種類の基礎の上に設置された。2種類の基礎はコンクリート連続基礎(全長が168m)と鋼管杭基礎(全長が32m)で、基礎の上にコンクリート製遮音壁を2枚と3枚それぞれ積み上げた上に5枚の木製遮音壁を積み重ねて、

全高が3mの遮音壁となるように施工された。

遮音壁パネルの両端を支えるH型鋼（支柱）の間隔は一般的な4mではなく、2mとされた。これは長さ4mのパネルが間伐材では製造困難なため、支柱間隔が半分になる分製造コストが高くなった。

c. 製造コスト²⁾

本遮音壁は信州カラマツ工業会で製作され、1m²当たり14,700円というアルミ製遮音壁のコストと同等になるよう努力した結果、製造コストは表4-1のように1m²当たり14,000円となった。製造コストの内、価格が変動するものは製材の価格で、そのコストに占める割合は約4割に達し、木製遮音壁が安定して供給できるか否かの鍵となる要素であると考えられる。

d. 施工後の経時変化³⁾

日本道路公団は施工後3カ月経過時点で施工された矢羽タイプ遮音壁の経時変化を調査した。その結果、部材の割れが多発し、代表的な割れの幅は約6mm、深さは26mm～45mm程度で、部材の中心部に達している割れも見られた。これは、人工乾燥による部材の平均含水率の目標値が24%と高く、施工後に直射日光や風雨に曝されてさらに乾燥し、そのことによる部材の表層と内層との乾燥応力差によるものと考えられる。

ねじれやそりの状態には一貫性が無く、1パネル当たり3箇所のボルトで固定されているにもかかわらず、パネル内での部材の上下方向のそりと厚さ方向のそりが生じ、その量は1cm～2cm程度であった。ねじれやそりが生じたために、部材間に隙間が発生し、その大きさは最大で約1cm程度に達していた。また、パネルと支柱間にも隙間が生じていた。これらの原因は心持ちのカラマツ造林木の生長応力の緩和や乾燥による応力の発生によるものと思われ、施工後の変形が生じ難い加工や乾燥方法を工夫する必要があると思われる。

以上の経時変化は施工後3ヶ月の報告であるが、施工後5年7ヶ月経過した今回の騒音調査の時点（1991年10月現在）での壁の状態は、3ヶ月の時点で報告された状態とそれほど変わっておらず、紫外線により材色は変化し、高速で通過するドライバーには遮音壁が木製であるとの印象を与え難いものの、周辺住民には木製遮音壁であると十分認識できる状態であった。

4. 1. 2 カラマツ製遮音壁の遮音性能調査

カラマツ製遮音壁の騒音調査は1991年11月19日15時～17時に遮音壁の外側で行った。測定時の天候は晴で、合計8名の学生を騒音を測定する2チームと通行量を測定する1チームの計3チームに編成して調査を行った。

調査の対象は、カラマツ製木製遮音壁、それに隣接して設置されているコンクリート製遮音壁、並びに、一連の遮音壁が途切れた部分の3ヶ所で、騒音測定場所は何れも中央自

自動車道の境界から外側に1m, 2m, 3m, 5m, 10m, 20mの6地点とした。木製遮音壁とコンクリート製遮音壁が連なっている箇所の道路外側からの外観を図4-3に、カラムツ製遮音壁がH型钢に支えられる部分の写真を図4-4にそれぞれ示した。

測定機器は、精密騒音計（RION製NL-11）と普通騒音計（RION製S-1）で、精密騒音計にはデータレコーダー（TEAC製R-61）を接続して騒音を記録した。このテープは大学に持ち帰り、FFTアナライザー（小野測器製CF-360）で平均回数64回の周波数分析を行った。騒音は、JIS Z 8731「騒音レベル測定方法」に準拠し、マイクロホンに専用のウィンドスクリーンを装着し、5秒毎の騒音レベルを50回読み取り記録する方法で測定した。一連の測定場所は、高速道路に沿って一段低いところに一般道路が通っており、その道路を横断して設定されたために、起伏が激しく、マイクロホンの高さを高速道路の路面上一定の高さに保てなかった。測定された騒音を評価する際の情報として、測定場所の地形の断面を図4-5に示した。

車両の通行量と大型車混入率は、1回の計数時間を5分として、上り車線と下り車線のそれぞれについて数回測定した。その平均値は、通行量が569台/hで、その内大型車の混入率は46%と約半分であった。この区間の制限速度は100km/hであった。

4. 1. 3 結果と考察

測定した騒音レベルの累積度数分布曲線を作成し、そこから騒音レベルの中央値、95%レンジ（90%レンジの上端）、5%レンジ（90%レンジの下端）を求めた。その内、道路の境界から1mと10mの累積度数分布曲線を図4-6と図4-7に示した。累積度数分布曲線から求めた騒音レベルの中央値、95%レンジ、5%レンジを表4-2に示し、路肩の端からの距離によってどの様に変化するかを図4-8に示した。

以上の3つの図から、高速道路の外側の騒音は、遮音壁の背後では、遮音壁の種類を問わず、遮音壁がない場合に比べて10dB以上低くなり、遮音壁から少し離れた所では、遮音壁の遮音特性の違いが明らかになると共に、遮音壁が無い場合の騒音に近づき、さらに離れると、再び遮音壁の遮音特性の違いが分かり難くなる傾向が認められ、20m離れても遮音壁の効果が大きいことが明らかになった。この傾向は95%レンジ、中央値、5%レンジの順に小さくなったが、この理由は、静かな環境では遮音壁に遮られる騒音は少ないので騒音レベルの遮音壁の有無による差が小さく、うるさい環境になるにつれて遮音壁で遮られる騒音が多くなって遮音壁の有無による騒音レベルの差が顕著になるためである。

遮音壁から2~5mの区間での騒音レベルに遮音壁の遮音特性の違いによる差が認められたのは、図4-5に示したように、コンクリート製遮音壁のその区間の騒音測定位置が基準面よりかなり低く、その分騒音レベルが小さくなったことが考えられる。この点を考慮すると、図4-8の結果ほど両遮音壁の遮音性能に差があるとは考え難い。また、この区間での遮音壁がない場合の測定位置もコンクリート製遮音壁の場合ほど低くなっていないものの、下がっていることから、この区間での遮音壁の設置による遮音効果はさらに大きいも

のと思われる。従って、より正確に両遮音壁の遮音性能を比較するには、同じ測定高さでの騒音レベルに換算するか、同じ測定高さで測定し直す必要がある。

以上の結果より、設置後の部材の乾燥等による狂いの発生による隙間が少々存在しても、木製遮音壁の遮音性能は、コンクリート製遮音壁のそれに比べて遜色無いことが分かり、実用に十分供することが可能であることが分かった。このことは、通行量が異なるので直接比較はできないが、同じ木製遮音壁の設置前後に日本道路公団が行った騒音測定の結果にも現れている²⁾。

次に、録音した高速道路からの騒音の周波数分析結果について検討する。木製遮音壁の遮音性能を知るために、図4-9に路肩の端から1mにおける遮音壁がない場合と木製遮音壁がある場合のパワースペクトルを、図4-10に路肩の端から10mにおける遮音壁がない場合と木製遮音壁とコンクリート製遮音壁がある場合のパワースペクトルをそれぞれ示した。

路肩の端から1mの地点でのパワースペクトルを比べると、遮音壁が無い場合には、人の耳に最も感度の高い周波数より若干高い6~9kHz付近のレベルが高かったが、木製遮音壁を設置すると、その周波数帯でのレベルは20~30dB以上低くなり、木製遮音壁の遮音性能は高周波領域まで含めて広範囲にあることが分かった。路肩の端から10mの地点でのパワースペクトルを比べると、木製遮音壁の遮音性能は、コンクリート製遮音壁のそれに比べて2kHz以下ではやや劣っているものの、3kHz以上の周波数領域で5~13dBも優れていることが分かる。図4-9の結果と合わせると、木製遮音壁の遮音性能はコンクリートと同程度であることが明らかになった。

4. 1. 4 まとめ

高速道路からの自動車騒音が騒音公害として沿線住民に及ぼす影響が深刻になり、その対策として遮音性能に優れたコンクリート製遮音壁や吸音性能に優れたアルミ製遮音壁が画一的に道路沿いに設置されてきた。これらの遮音壁は騒音対策には効果があったものの、目の前に冷たい印象を与える遮音壁が設置された住民側の圧迫感や不快感、道路利用者の単調感や景観に対する障害感が生じてくる。この対策として、遮音性能は変わらずに暖かみのある飽きのこない遮音壁を開発・設置することが望まれている。その一つに木製遮音壁の導入が考えられ、地元の木材産業の振興という目的もあって、全国の4ヶ所に試験的に設置された。その内の中央自動車道の飯田市中村地区に設置されたカラマツ製遮音壁の現地調査を行い、次のような点が明らかになった。

カラマツ製遮音壁は、設置後5年7ヶ月経過しており、紫外線による変色や乾燥による変形や収縮が認められるものの、遮音壁がない場合より10dB以上騒音が低減されており、隣接して設置されているコンクリート製遮音壁の遮音性能とあまり違いが認められず、十分実用性に富んでいることが明らかになった。

木製遮音壁が今後積極的に導入されて行くために解決しなければならない点は、耐火性・耐久性といった性能の向上と価格の問題であると思われる。しかし、沿線住民や高速道

路利用者のアメニティも価格の中に評価すべきで、その点で地球に優しい木材を利用した遮音壁はその特徴が生きる場所に設置していくべきであるとする。

(文 献)

- 1) 武井富喜雄ほか5名：木材工業、46(1)、17-22(1991)
- 2) 武井富喜雄ほか5名：長野県林総研究報告、(5)、39-59(1989)
- 3) 日本道路公団名古屋管理局技術部交通技術課：木製遮音壁試験施工結果報告書 P.P. 21(1986)

表4-1 矢羽型遮音壁の製造単価内訳¹⁾

費 目	算出根拠	単価 (円/m ²)
製 材	11.7cm×11.7cm×2m=0.02739m ³ /部材 1パネル5本で1m ² だから 0.1369m ³ /m ² 40,000円/m ³ ×0.1369m ³	5,476
人工乾燥	10,000円/m ³ ×0.1369m ³	1,369
加工・組立	20,000円/m ³ ×0.099m ³ /m ² (加工後の材積)	1,980
防腐処理	18,000円/m ³ ×0.099m ³ /m ²	1,782
運賃	パネル製造工場から防腐処理工場まで	248
小計		10,855
工場管理費		1,113
営業管理費		2,032
合計		14,000

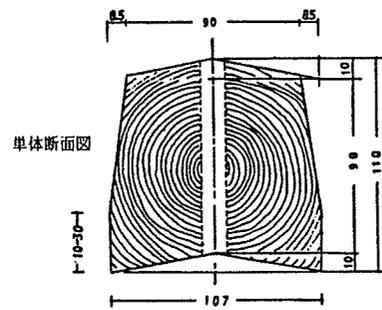


図4 -1 矢羽型遮音壁の部材断面²⁾

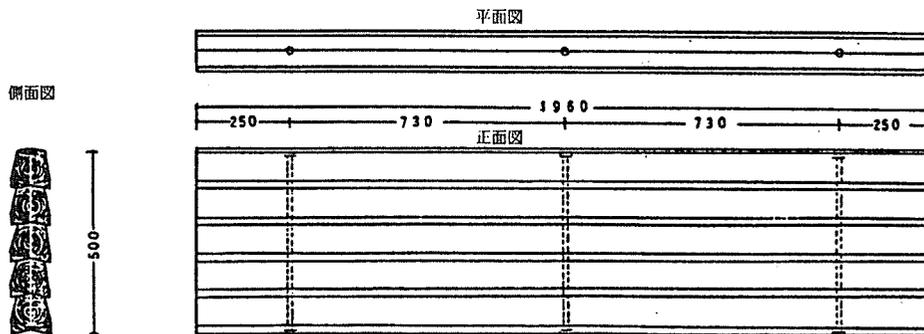


図4 -2 矢羽型遮音壁の組立図²⁾

表4 -2 飯田市中村地区における中央自動車道の路肩からの騒音レベルの距離減衰

路肩からの距離(m)	遮音壁無し (dB)	木製遮音壁 (dB)	コンクリート製遮音壁 (dB)
1	72 (60, 79)	59 (52, 63)	59 (51, 65)
2	68 (61, 79)	61 (54, 67)	55 (49, 65)
3	66 (55, 76)	59 (53, 64)	54 (50, 62)
5	68 (62, 76)	60 (54, 69)	56 (49, 62)
10	65 (52, 73)	57 (48, 63)	58 (49, 66)
20	64 (55, 73)	55 (49, 62)	54 (48, 62)

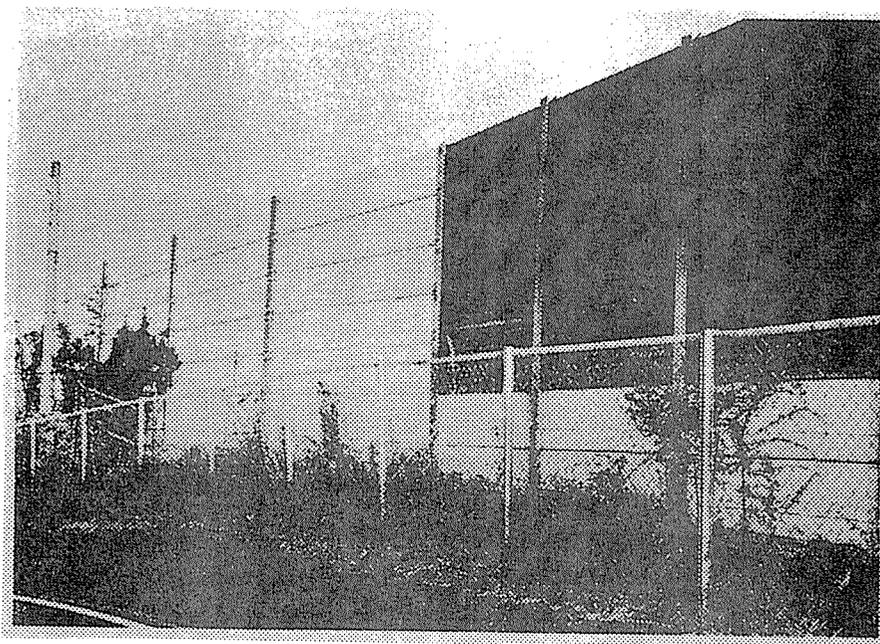
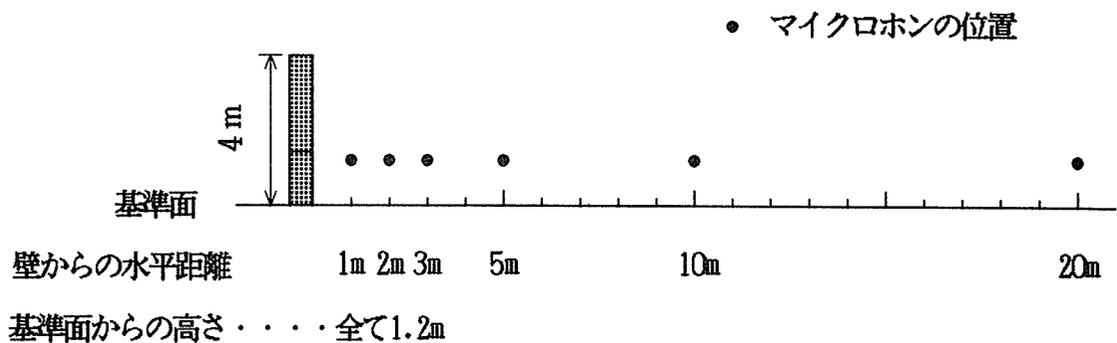


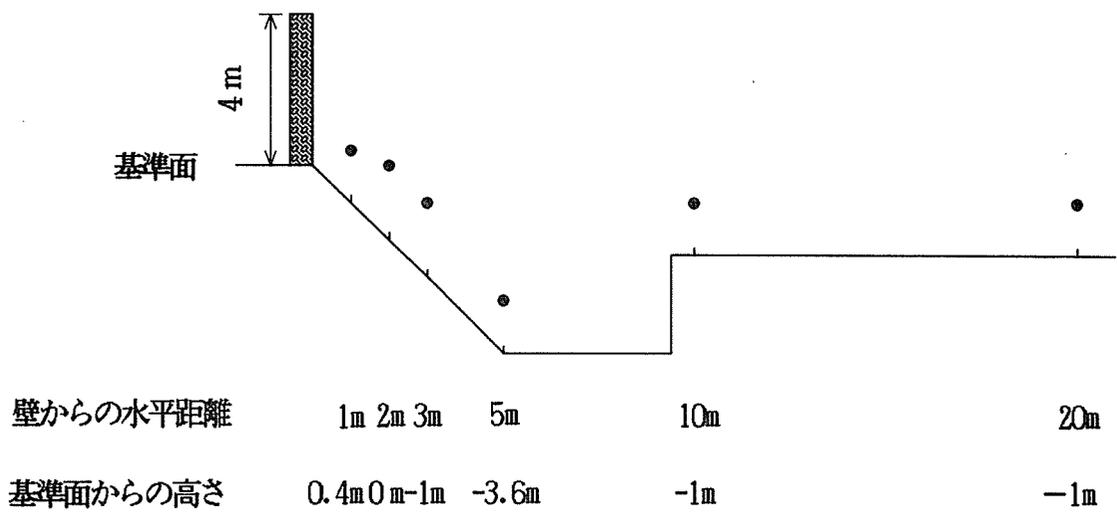
図4 -3 騒音調査地点での木製遮音壁とコンクリート製遮音壁



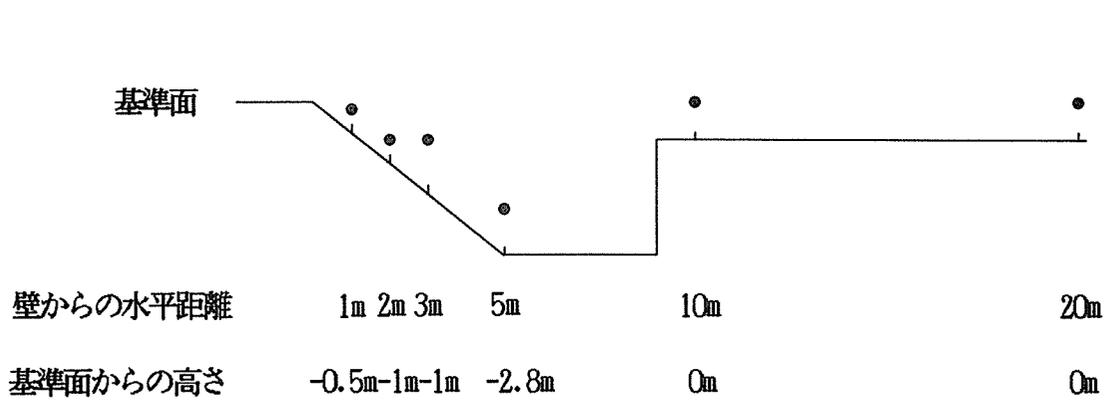
図4 -4 木製遮音壁のH型鋼による支持



矢羽型木製遮音壁



コンクリート製遮音壁



遮音壁なし

図4 -5 騒音測定場所の路面からの位置関係

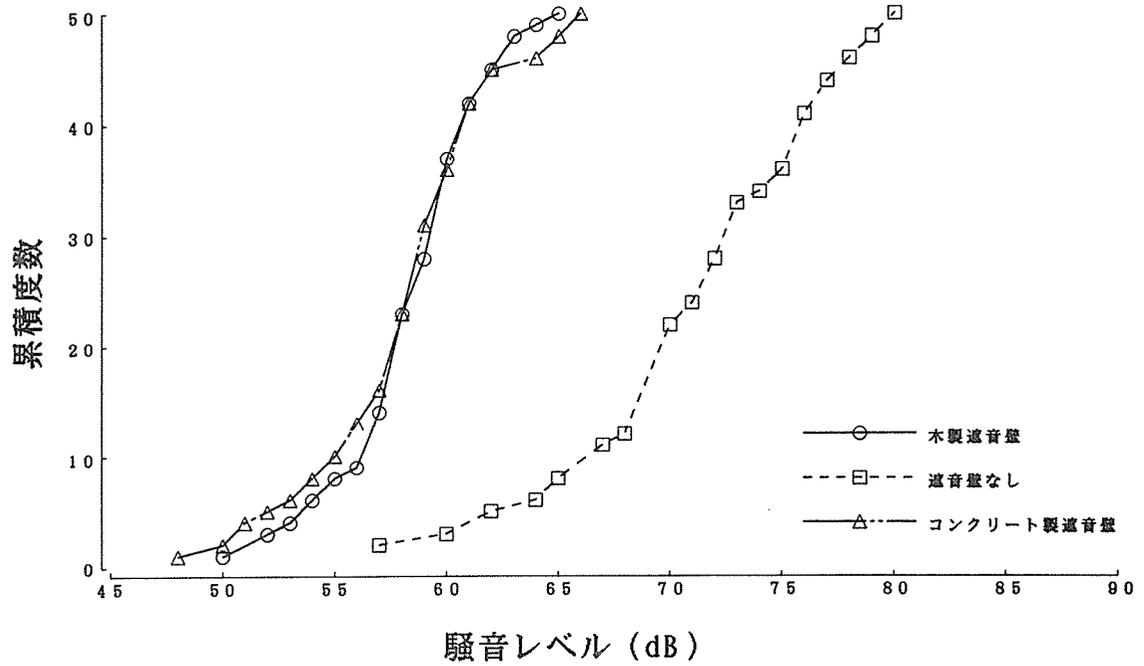


図4 -6 路肩の端から1 mにおける騒音の累積度数分布

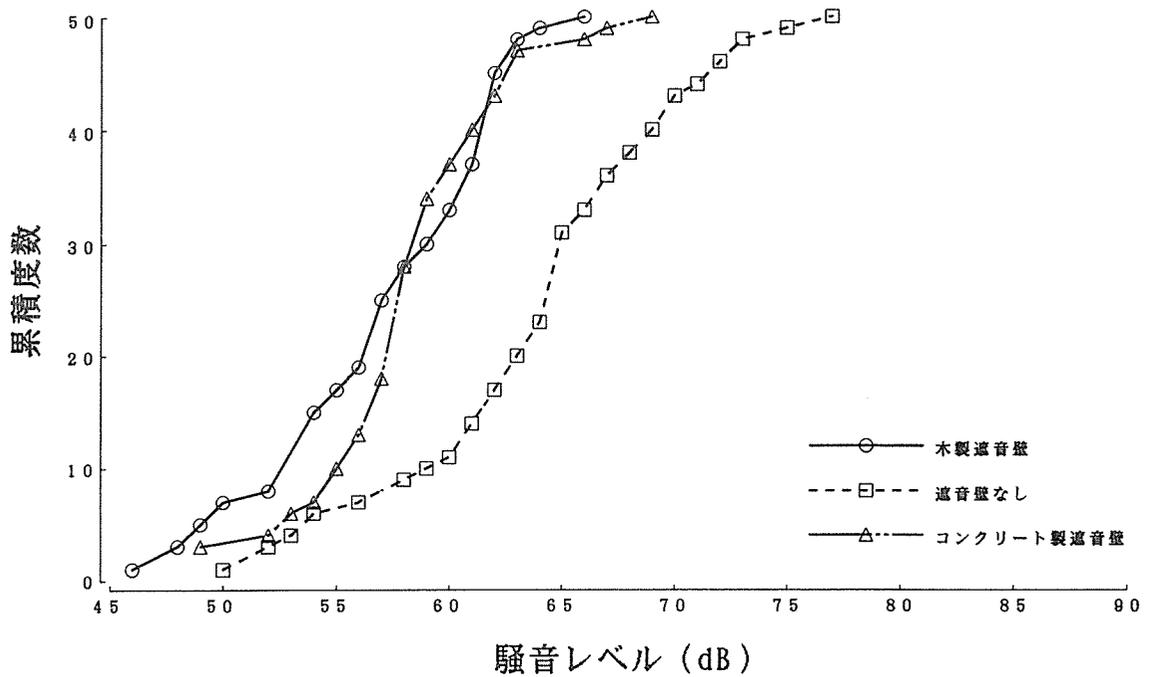


図4 -7 路肩の端から10 mにおける騒音の累積度数分布

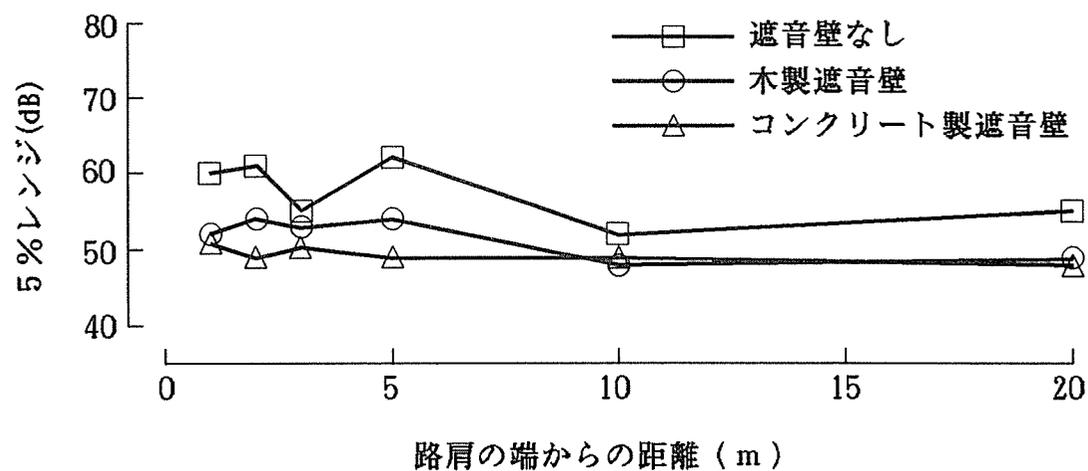
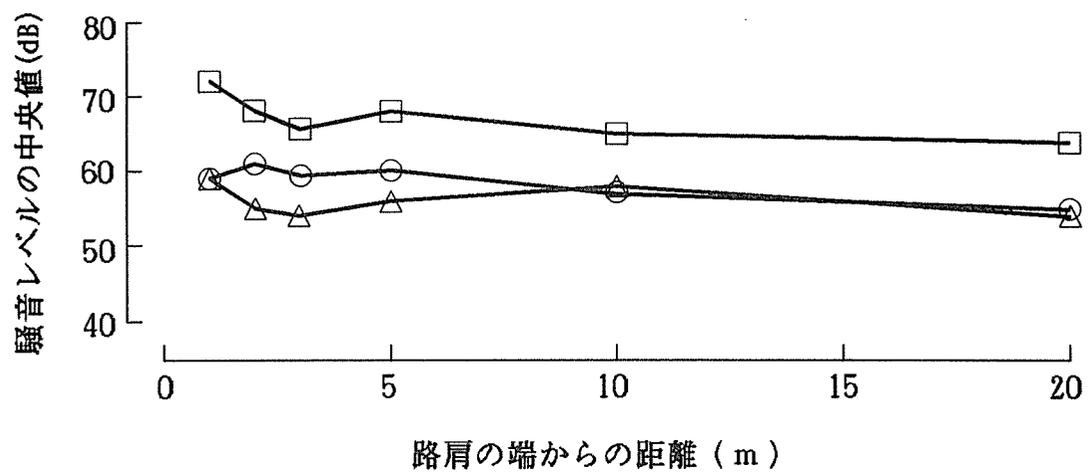
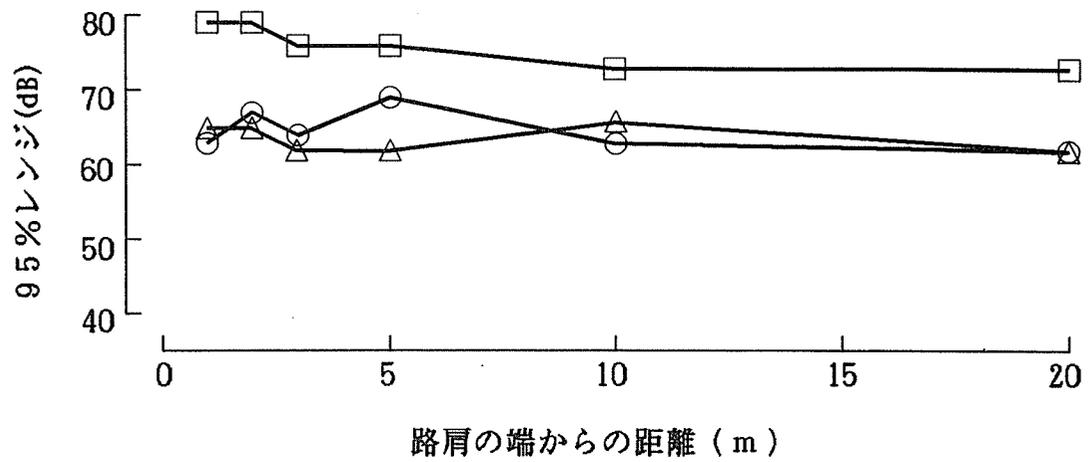
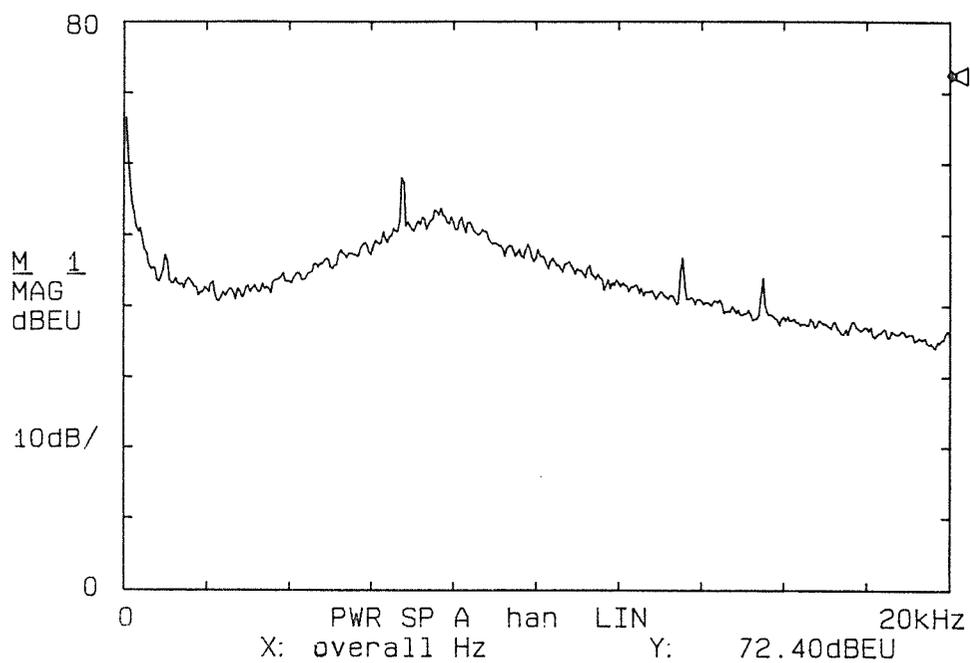


図4 ←8 騒音レベルの路肩からの距離による変化
 (上：騒音レベルの95%レンジ、中：中央値、下：5%レンジ)

a. 遮音壁無し



b. 木製遮音壁

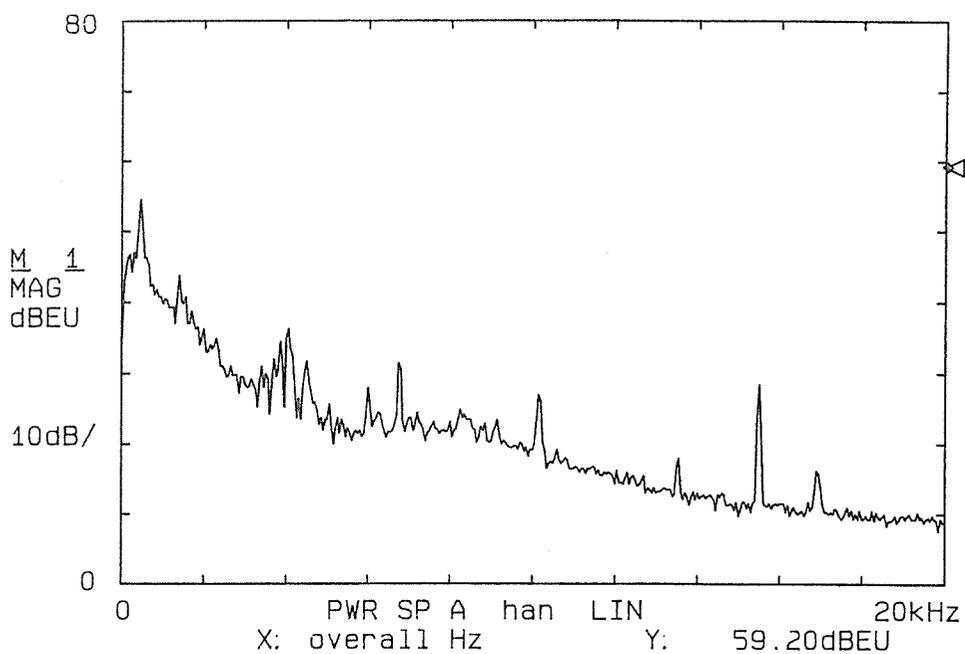
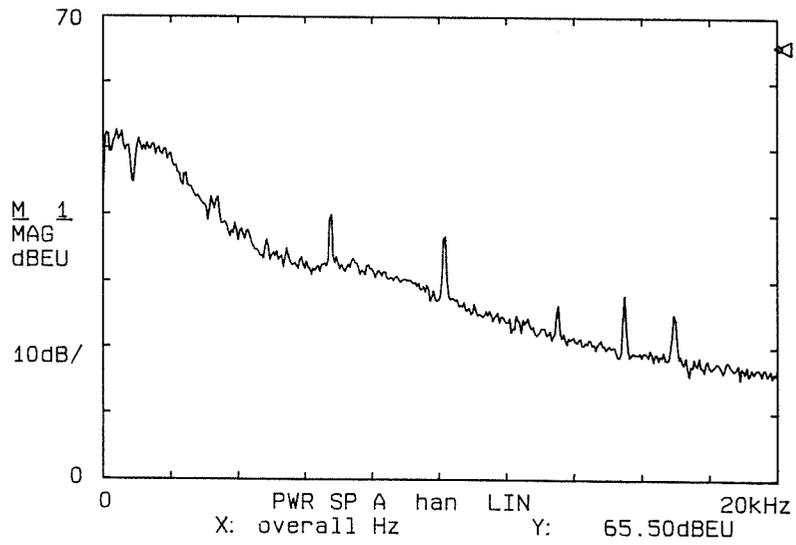
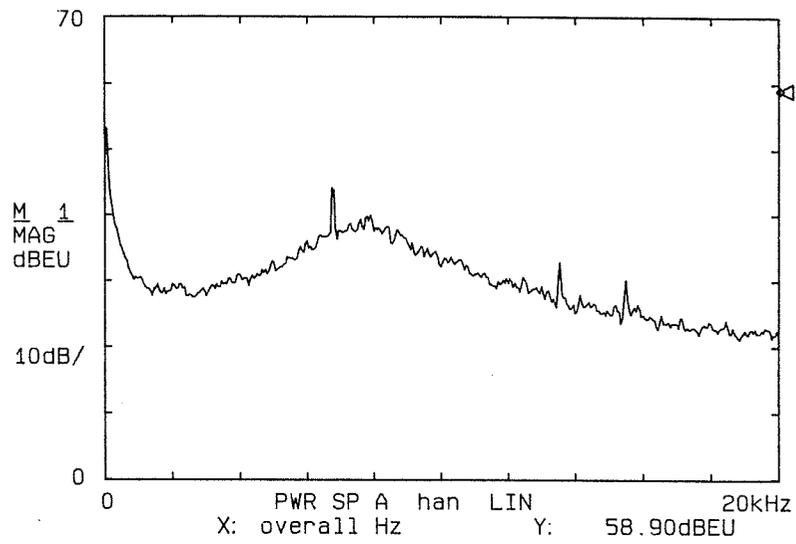


図4 -9 路肩から1mにおける木製遮音壁の有無による騒音のパワースペクトル

a. 遮音壁無し



b. コンクリート製
遮音壁



c. 木製遮音壁

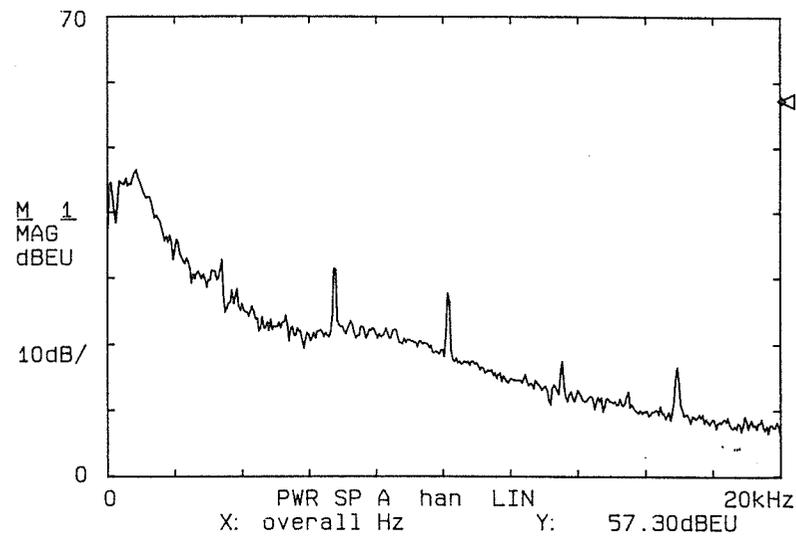


図4 -10 路肩から10mにおける騒音のパワースペクトル

4. 2 広島県三次市におけるスギ製遮音壁

広島県三次市青河町の中国自動車道江の川地区に設置されている木製遮音壁を調査する機会を日本道路公団広島管理局三次管理事務所の好意により得た。調査概要を以下に報告する。

4. 2. 1 スギ製遮音壁の概要

自動車道路の周辺は山村の田園地帯であり、遮音壁周辺には数件の民家が散在している。遮音壁は上り線および下り線に設置されており、その全長は上り線638 m、下り線196 mである。遮音壁が設置されてる地域の地形図を図4-11に、遮音壁の写真を図4-12に示す。図および写真に示すように上下線の遮音壁は対面している。

a. 組立工法

遮音壁材料には、末口径10 cm以上で樹齢15年を越える杉丸太が8340本使用されている。ツインバンドを用い、図4-13に示すように三面落としされた杉丸太を、縦方向に10本で1 mとなるように組合せた後、上下両端よりそれぞれ50 cmの位置で、19 mm直径の電気亜鉛メッキしたボルトを用い結束し、幅1 m、高さ1～2.5 m、厚さ95 mmのパネルを製作する。このパネルを、土留板に埋め込まれたH形鋼を介して連結し、壁体を作成する。壁体は路面より3.3 mの高さである。耐久性を目的として、壁体上端に幅13 cm以上の笠木を取り付け、パネル木口面からの水分進入を防ぐ工夫を、また壁体下端と土留板との間に僅かな隙間を設け、パネル下端木口面からの水分進入を防ぐ工夫をしている。図4-13にパネル、壁体およびそれらの施工法を示す。

b. 経費

本壁体は広島県北部国産材加工共同組合で製作された。製作費用を表4-3に示す。パネルについては材料費が93%、人件費が5%、機械損料、燃料が2%である。基礎杭にたいしては、それぞれ86、10、4%である。材料費の占める割合が極端に多い。なお、壁体1 m当たりの製作費用は90,000円である。

4. 2. 2 スギ製遮音壁の遮音性能調査

1. 調査日時：平成4年2月26日 12時～16時。

2. 使用測定器：RION社製精密騒音計NL-11。

日本電子測器製1/3 オクターブ分析器。

3. 測定場所：①遮音壁がない地点、②遮音壁が道路の片側のみにある地点、③遮音壁が道路の両側にある地点における路肩と遮音壁外側における壁体より1, 3, 5, 10, 20, 30 mの地点。図4-11参照。測定時における車両通行台数を表4-4に示す。

4. 測定条件：JIS 8731に準拠した。5秒毎の騒音レベル（A特性）を50打点読み取り

、記録紙に記録した。測定値から騒音レベルの中央値、5 % の下端値および上端値を求めた。

4. 2. 3 結果と考察

図4-14は、①遮音壁が存在しない場合、②片側にのみ存在する場合、および③両側に存在する場合の騒音レベルを累積度数で表示する。

i) 遮音壁より1, 10, および30 mのいずれの測定地点でも、道路両側に存在する時の遮音効果が片側のみに存在する場合より大きい。

ii) 遮音効果は壁体に近い程顕著で、壁体より1 m, 30 m 地点での減音量は中央値で②の場合それぞれ16 dB, 5 dB、③ではそれぞれ21 dB, 8dBあることが認められる。

iii) ②の場合騒音レベルの上端値における遮音効果は下端値における場合より大きい。図4-15は、遮音壁が道路両側に存在する場合において、遮音壁の長さが騒音レベルに及ぼす効果を示す。

i) 遮音壁が長いと遮音効果が大きいことが認められる。

図4-16および4-17は、①遮音壁が存在しない場合、②片側にのみ存在する場合の400 および1 kHz の音を累積度数で表示する。

i) 400 Hzの成分音の5 % の上端値は1 kHz のそれより大きい。

ii) 両周波数の成分音に対する遮音効果は、壁体に近い程顕著で、壁体より1 m、30 m 地点での減音量は5 % の上端値で400 Hzの場合それぞれ17 dB, 11 dB, 1 kHz ではそれぞれ22 dB, 12 dBあることが認められる。

4. 2. 4 まとめ

広島県 三次市のスギ遮音壁も長野県飯田市のカラマツ遮音壁と遮音性能はほぼ同等であり、遮音壁としての有効性を持っている。飯田市のものに対して、三次市の遮音壁は樹種がスギであることと、飯田市のものが横重ねタイプであるのに対して縦並びタイプであることが異なっている。三次市のスギ遮音壁は防腐処理をしていないが前述のように水はけを良くする工夫がこらされていて、ほとんど腐朽しておらず木質独特の暖かい雰囲気が付近にかもし出しており、付近の住民の評判も良いようである。

またこの遮音壁は、1 kmに近い延長を持ち、十分な木質感を有しているが、木質的雰囲気をドライバーに与えるためには少なくともこの程度の長さは必要のように思われる。

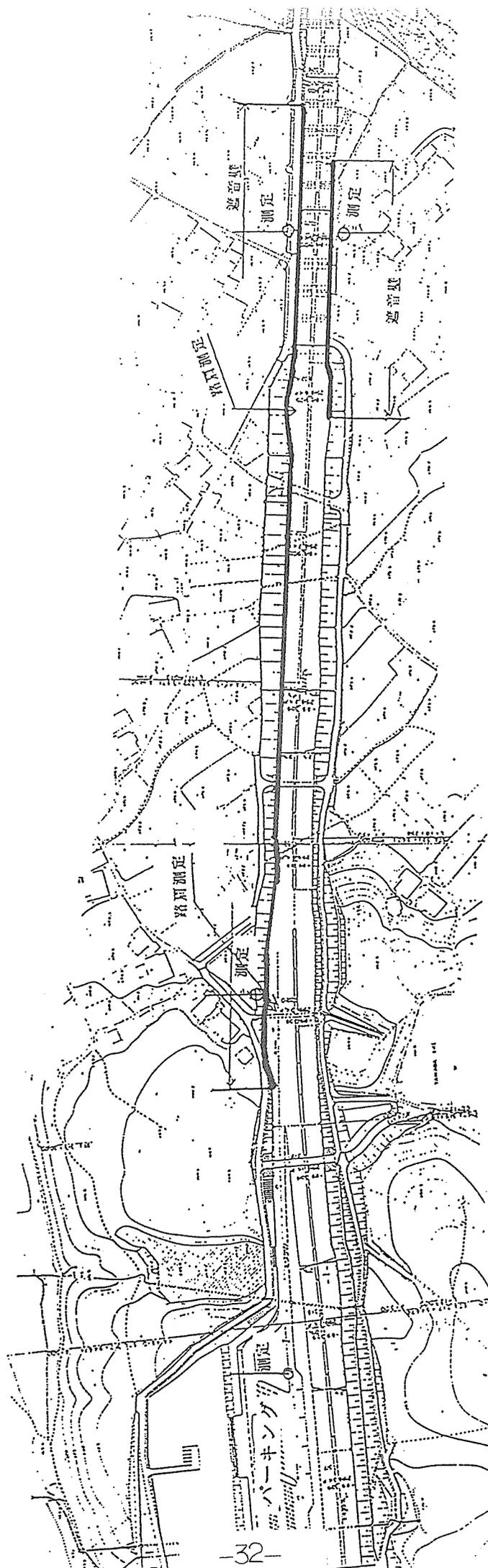


図 4-1-1 木製遮音壁がある江の川地区自動車道の地形図と騒音調査箇所

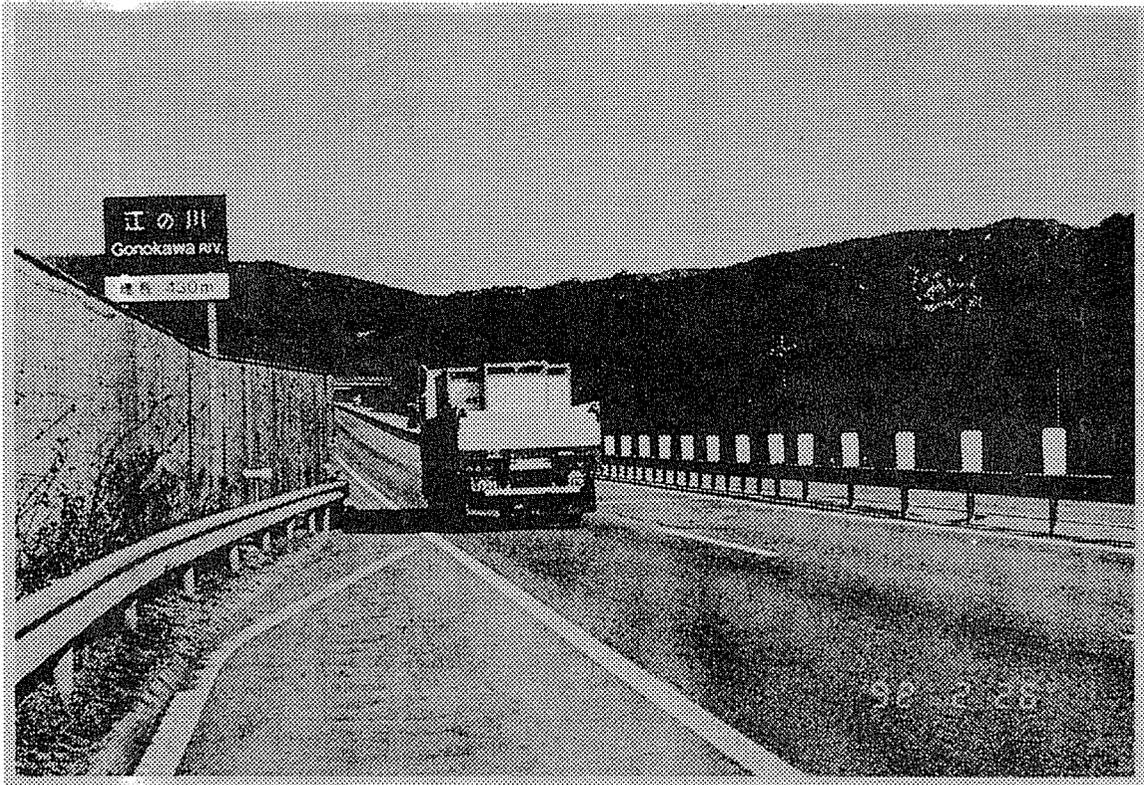


図4-12 中国自動車江の川地区に設置されてる遮音壁

表4-3 木製遮音壁製作費

項目	契約単価	材料費	人件費	機械損料燃料
I-P (H=3m)K (土留板50cm×2枚タイプ)	75700円/m	約93% 70401円/m	約5% 3785円/m	約2% 1514円/m
II-P (H=3m)K (土留板30cm×1枚タイプ)	60000円/m	約93% 55800円/m	約5% 3000円/m	約2% 1200円/m
基礎杭 鋼管 φ406.4×9×4500	14800円/m	約86% 12728円/m	約10% 1480円/m	約4% 592円/m

表4-4 12~16時における車両通行台数(日本道路公団)

5分間の通行量

上り					下り			
時間	通行台数	小型車数	大型車数	大型車率	通行台数	小型車数	大型車数	大型車率
12	26	12	14	54%	14	3	11	79%
13	24	10	14	58%	18	6	12	67%
14	24	11	13	54%	20	6	14	70%
15	22	9	13	59%	22	8	14	64%
16	25	10	15	60%	23	7	16	70%

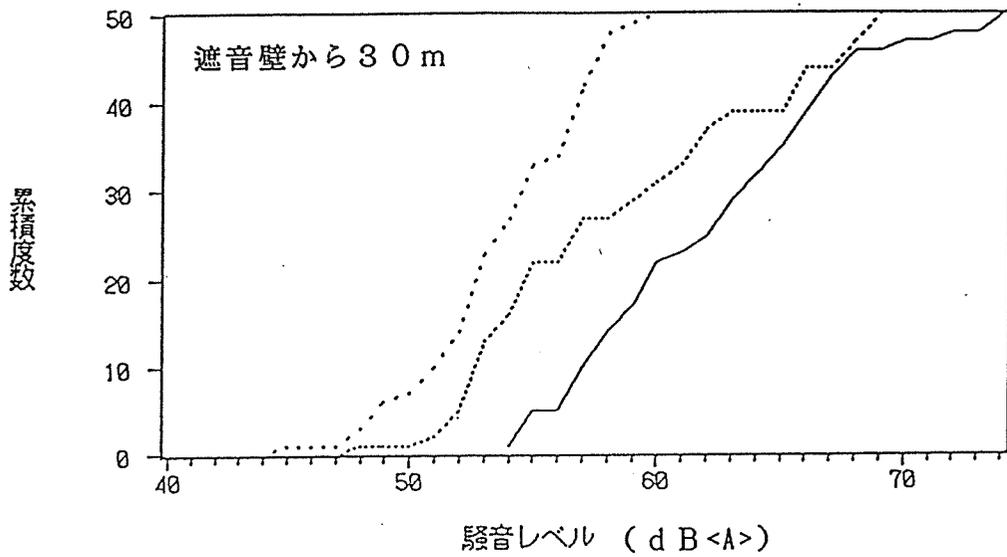
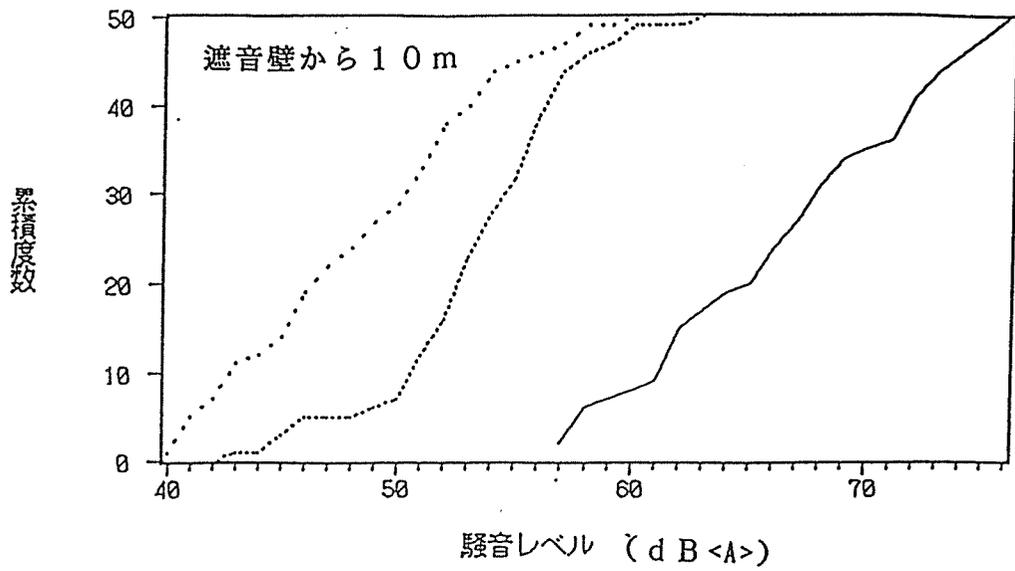
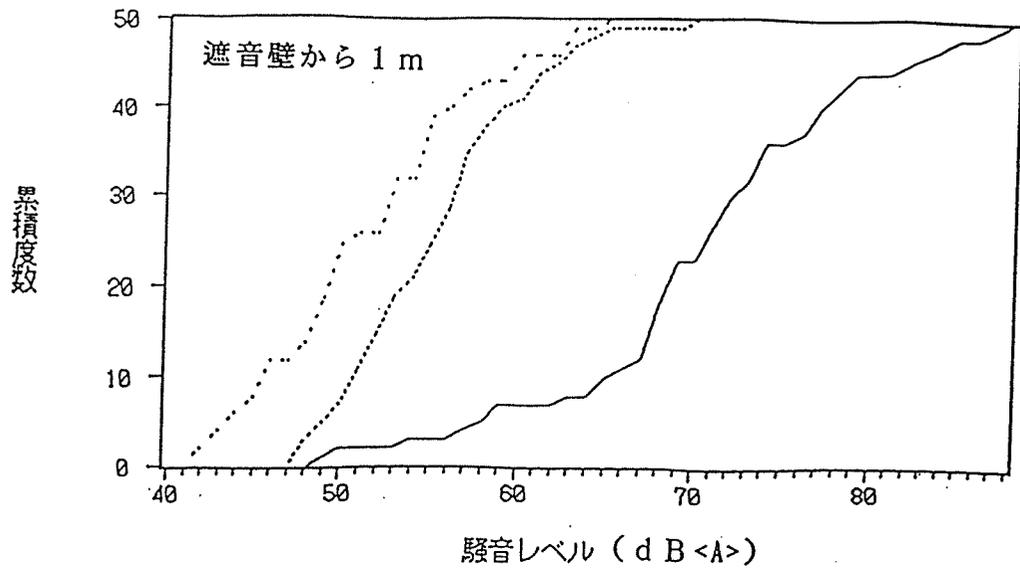


図 4 - 1 4 遮音壁が存在しない場合、道路片側及び両側に存在する時の騒音レベル (dB-A) の累積度数

— 無し 片側 ... 両側

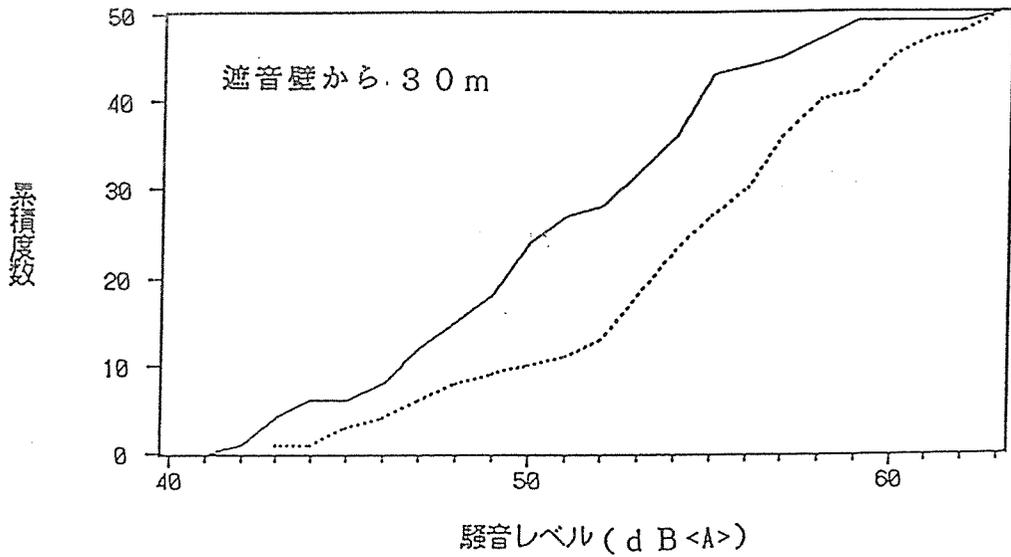
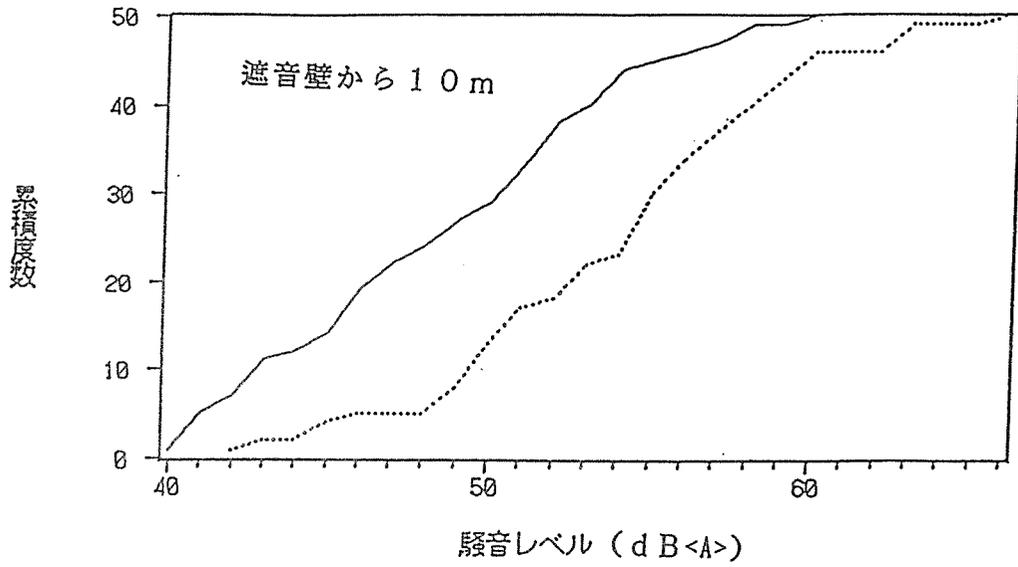
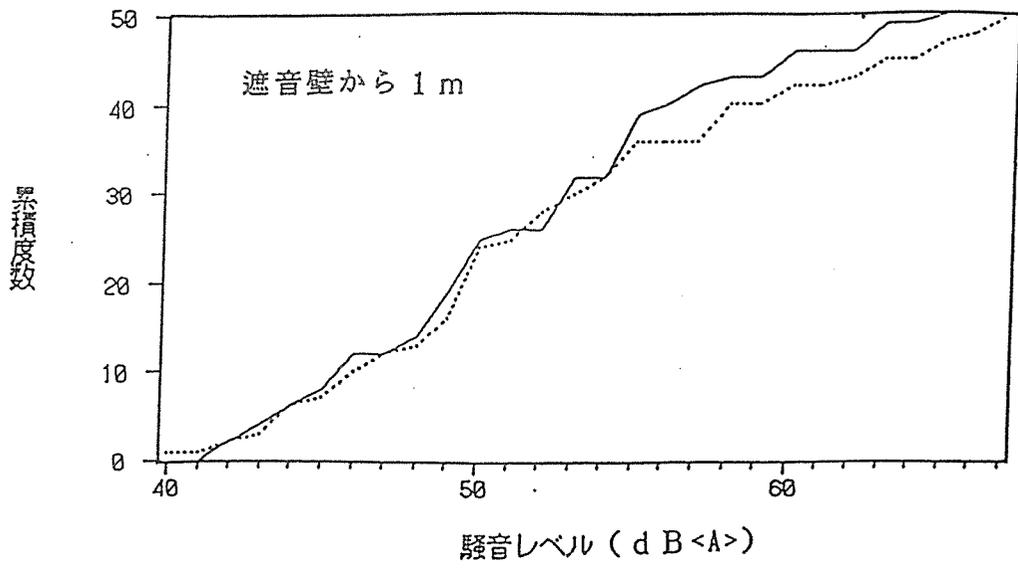


図 4 - 1 5 遮音壁が道路両側に存在する場合において、遮音壁の長さが騒音レベルに与える効果

— 長い方(上り) 短い方(下り)

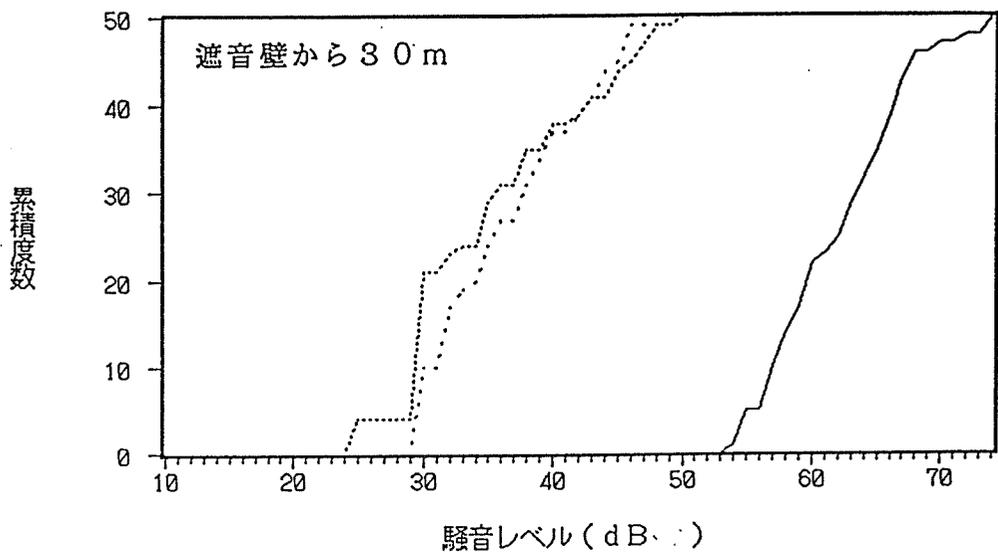
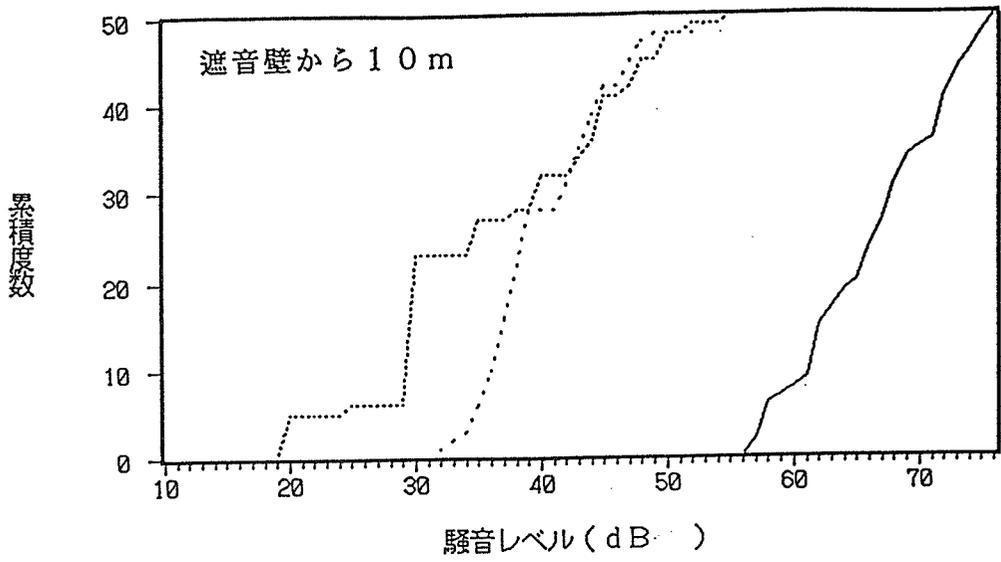
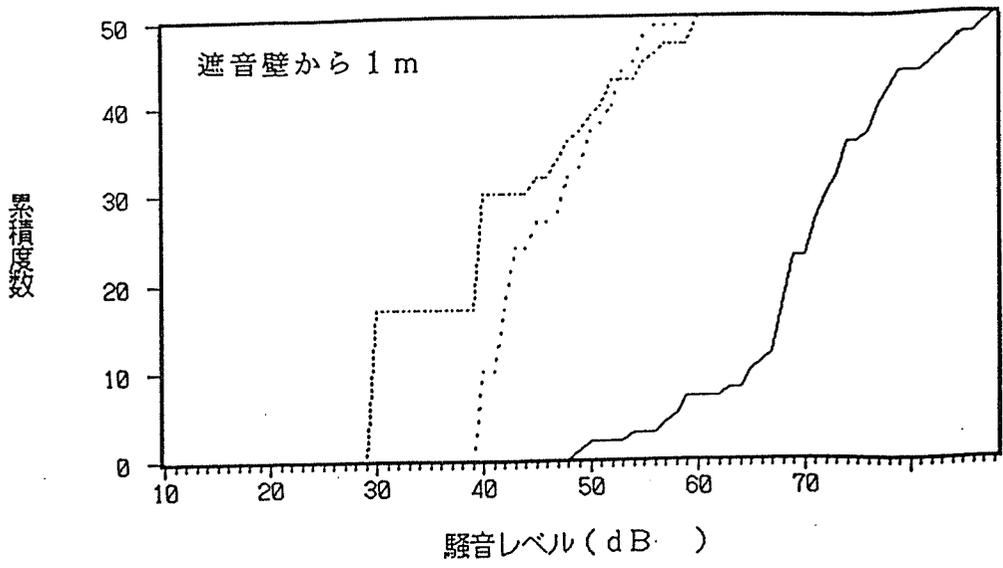


図 4 - 1 6 遮音壁が存在しない場合の 400 Hz
及び 1 kHz の成分音の累積度数

— OA (dB<A>) ---- 400Hz (dB<F>) ... 1kHz (dB<F>)

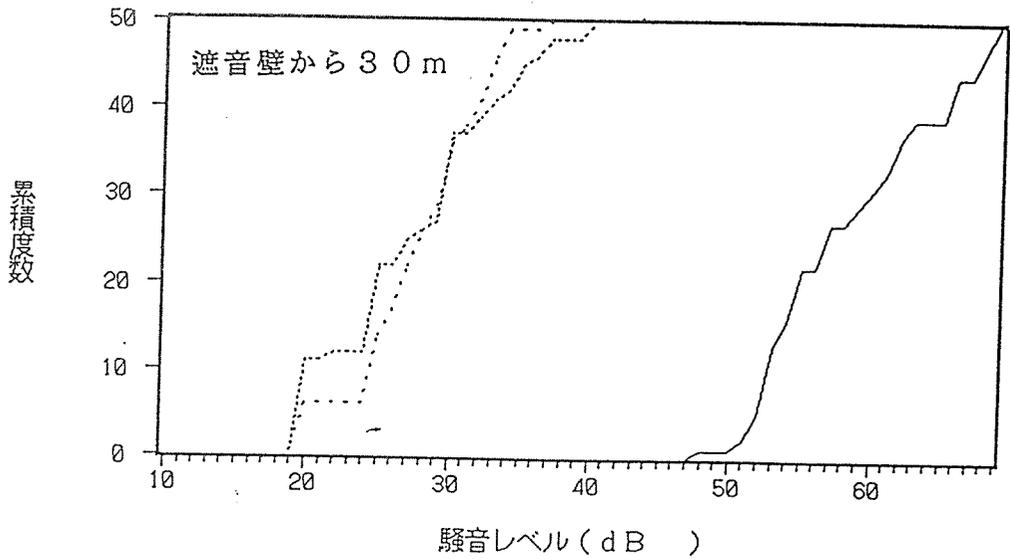
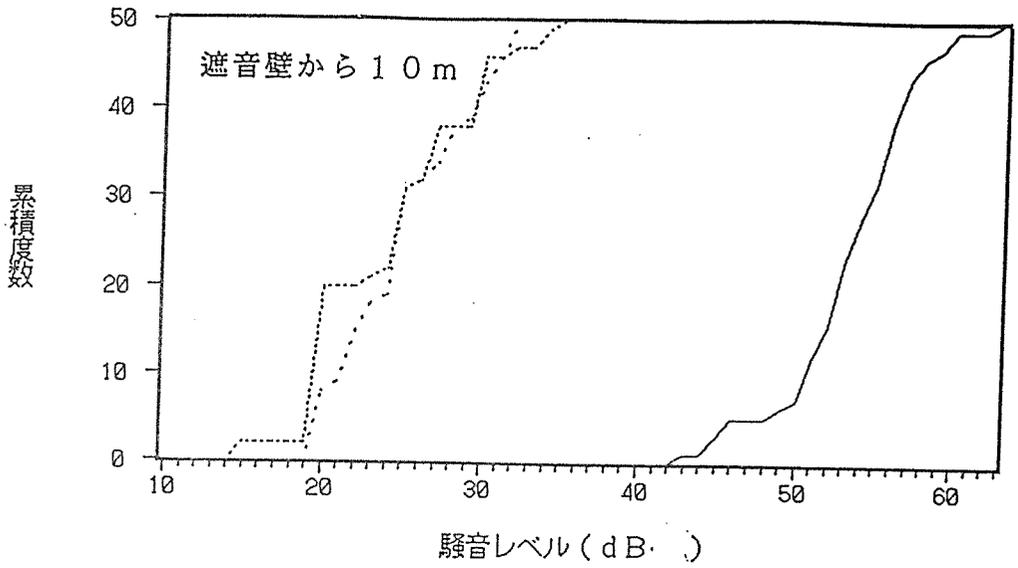
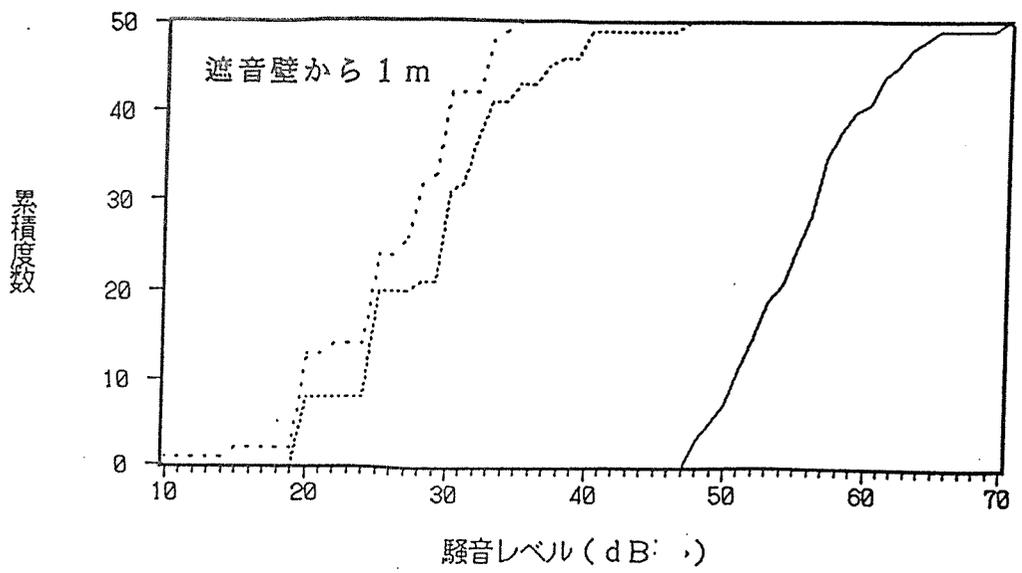


図 4 - 1 7 遮音壁が道路の片側に存在する場合の 400 Hz
及び 1 kHz の成分音の累積度数

— OA ···· 400Hz ···· 1kHz
(dB<A>) (dB<F>) (dB<F>)

5 諸外国における木製遮音壁

交通騒音が深刻な社会問題となっているのは、我が国だけでなく、自動車社会の先進国であるアメリカはもとより、ヨーロッパ諸国等の先進諸国も同様である。これらの国々でも交通騒音に色々な対策を構じている。

高速道路や一般道路における自動車騒音に対する対策として、我が国同様、吸音タイプ、反射音タイプの壁体を設けている例が多い。以下に諸外国の道路における木製遮音壁の例を述べる。

5.1 オーストラリア

デザインと構造面より利用され、高速道路と都市の大通りに設置されている。その理由として ①木材価格が高くない、②比強度大、③建設容易、④防腐処理で耐久性向上、⑤音響性質が優れている等が挙げられる。

図5-1に示す実例がある。音の反射が拡散するように、吸音できるように、受音者に音が届きにくいように、丸太状の木材を斜めに、垂直にというように異なる方向に配置し、壁体を製作している。また図5-2に示すように、壁体を二重構造にし中空部を設け、減音効果の向上を狙った例もある。これらの壁体を利用すると、25~35dB程度減音することが可能である。図5-1に示す丸太の配列法はデザイン面でも効果的である。ドイツのアウトバーンではオーストラリア以上にこのような壁体利用されている。

5.2 ドイツ

木材を利用した遮音壁や遮音トンネルの例がある。遮音トンネルではトンネル内の減音テクニックと同様に排気ガス、温度、採光、強度、防火、腐朽などの諸対策が問題となる。また都市や市町村の緑化を目的として、道路に幅広い植え込みを作り、付随的に交通騒音の軽減を狙う例もある。

5.3 ノルウェー

吸音タイプおよび反射音タイプの木製遮音壁が開発され利用されている。吸音タイプの構造を図5-3に示す。反射音タイプの例を図5-4に示す。透明な樹脂板を利用し、ドライバーが単調にならないように、また樹木を植えて周囲の景観との調和を考慮しているのが伺える。

5.4 フランス

遮音壁の設置面積は1974年10,000m²であったが、1984年には35,000m²と増加し、さらに年々増加している。

美観を取り入れた建築的発想、適応基準の規格化、低価格化などの要求により国の政策として遮音壁の開発が取り組まれている。その一つとしてコンクールが1988年に実施され

ている。

コンクールにおける審査基準は ①現場への適応性、②遮音効果、③施工及び維持費、④作業性、⑤外観処理の自由度、⑥耐久性、将来性等である。

遮音壁は、減音技術の問題よりも美観上の問題の方が深刻であるとして、美観上の問題に対し土木技術者、建築家による研究チームを設け、沿道住民、ドライバーの立場から検討している。研究チームは、ドライバーに対しては派手な色彩や装飾品の使用は避けるべきであり、また水平線の構成は許されるが、ドライバーを退屈にさせる垂直線の繰り返しは避けるべきである。沿線住民に対しては植栽などで活性化すべきである。都市景観の観点から外観を揃え、大型化すべきであるなどを提言している

遮音壁の材料にはコンクリート、耐腐食性のある鉄板、アルミが多いが、木材も利用される。木材を利用する目的の一つに木材の持つ美的効果がある。全長が数kmに及ぶ取り付け例もある。以下に遮音壁に木材が利用されてる数例を述べる。

壁体：反射音タイプおよび吸音タイプ。

材料：耐久性を考慮してアフリカ、アジアまたはギアナ産の高比重熱帯産材。例えば Azobe 。各種薬品処理をした注入木材。

吸音タイプの構造を図5-5に示す。支柱はH形鋼や丸太材を使用する。

吸音タイプでは吸音効果を狙って、厚み50mm、50～120kg/m³のガラスウールや厚み50mm、70kg/m³のロックウールを、また遮音効果を向上させるため桧木を介して中空層を設けている。笠木を用いて壁体内部の雨仕舞いを考慮している。道路側の壁面に丸太材を、道路外側には耐候性パーティクルボードを、基礎部にはコンクリートまたは木材を使用している。

経費：壁体 900 F/m²(4m高さ)

木製支柱 80 F/m²

取り付け費 170 F/m²

総額 1200 F/m²。

反射音タイプの構造を図5-6に示す。

板材を水平にあるいは斜行させたりして取り付けている。

材料には：耐久性を考慮してアフリカ、アジアまたはギアナ産の高比重熱帯産材。例えば Azobe 。さらに各種薬品処理をした注入木材を使用する。

経費：Azobe 材 490 F/m²(2m高さ)

木製支柱 90 F/m²

取り付け費 170 F/m²

総額760 F/m²。

フランスの各種木製遮音壁の例を図5-7～5-9に示す。

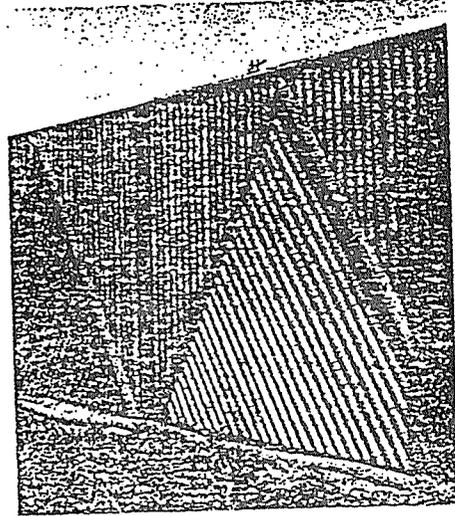
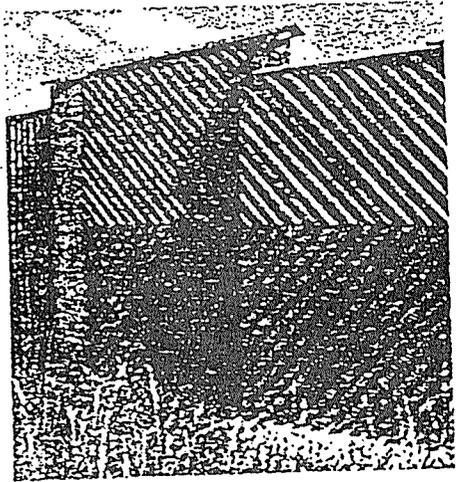


図 5 - 1 木製遮音壁のデザイン例

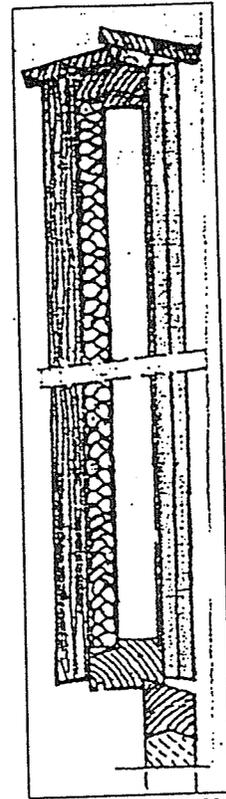
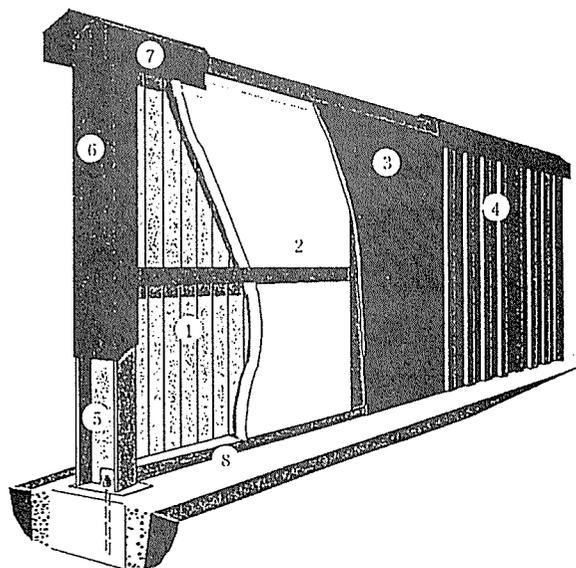


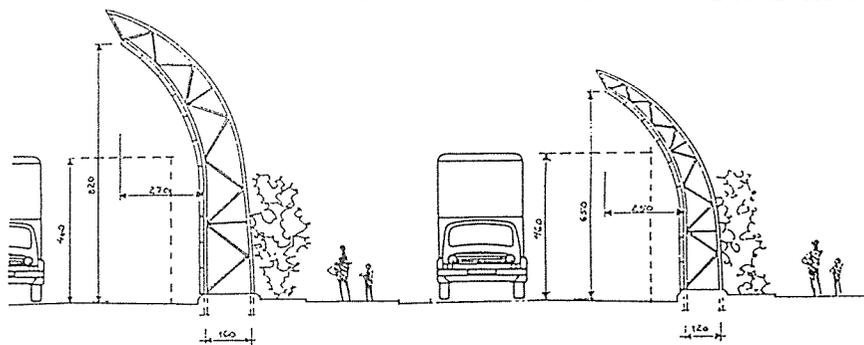
図 5 - 2 木製遮音壁の構造例



- 1 Royalimpregneret kledning
- 2 Rockwool
- 3 Perforert stålplate
- 4 Royalimpregnerte lekter
- 5 H - profil med justerbar fotplate
- 6 Dekkbeslag H - profil
- 7 Dekkbeslag topp
- 8 Pakningslist

図 5 - 3 吸音タイプの遮音壁

 Støyskjerming as



Eksempel A
-høyde 820 cm
-overheng 270 cm

Eksempel B
-høyde 650 cm
-overheng 250 cm

Høye støyskjermer av stål.
Bæresystem: Gitter søyler/bjelker av RHS-profiler.
Skjermvegg: Perforerte og isolerte stålplater. Evt. vindusfelt av herdet glass eller plexiglass/lexanplater

図 5 - 4 反射音タイプの遮音壁

Støyskjerming as

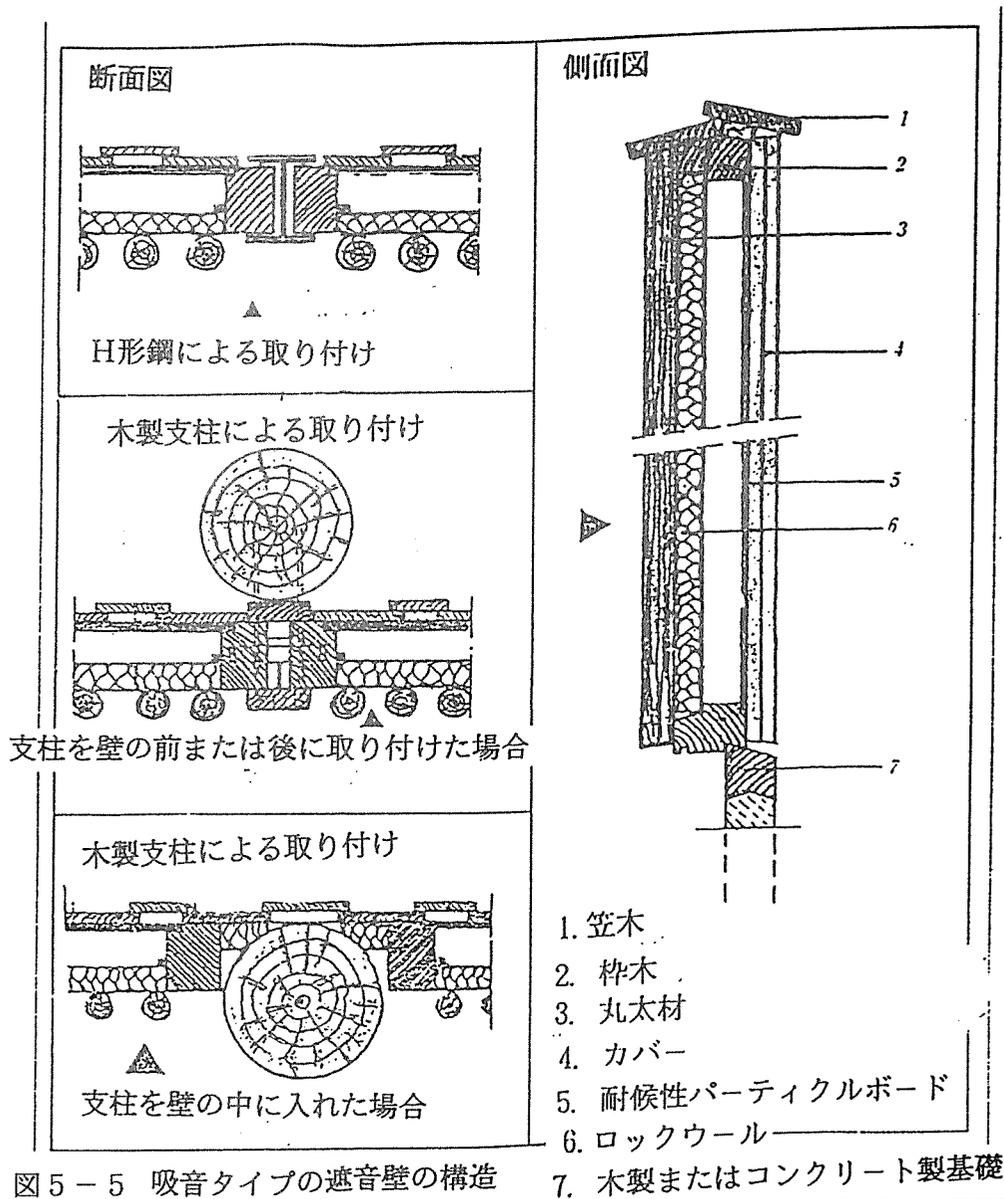


図 5 - 5 吸音タイプの遮音壁の構造

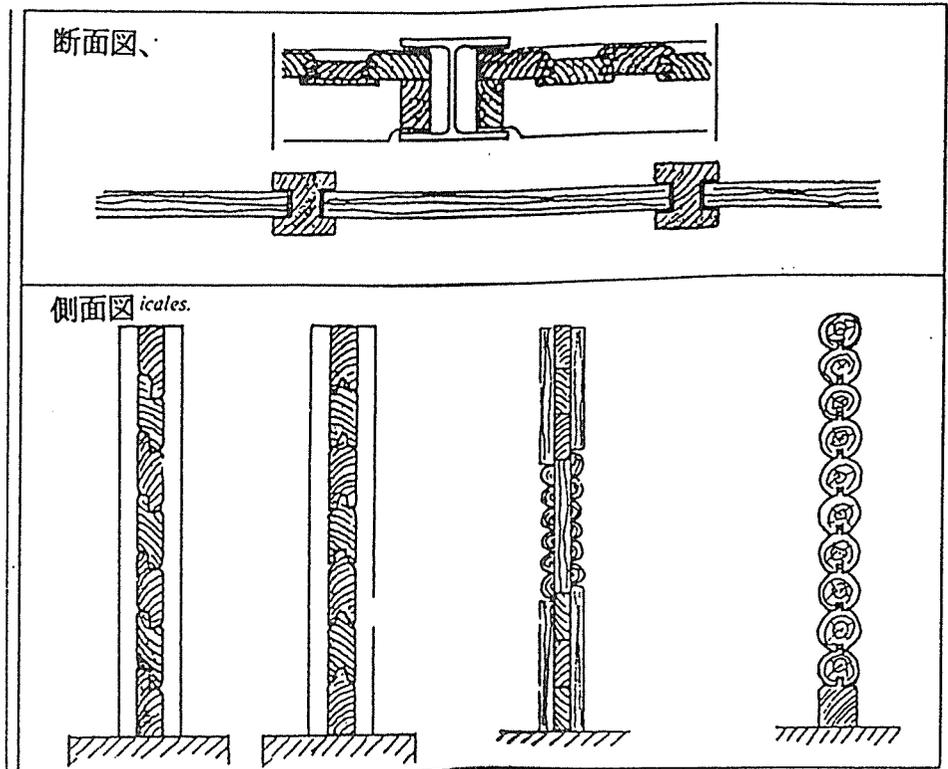


図 5 - 6 反射タイプの遮音壁の構造

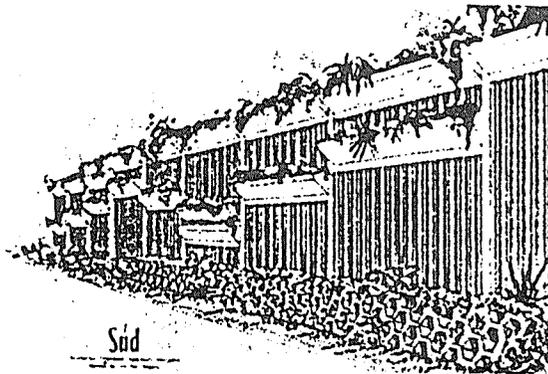


図 5 - 7 コンクリートと木材からなる吸音型遮音壁
(Entreprise Industrielle社)

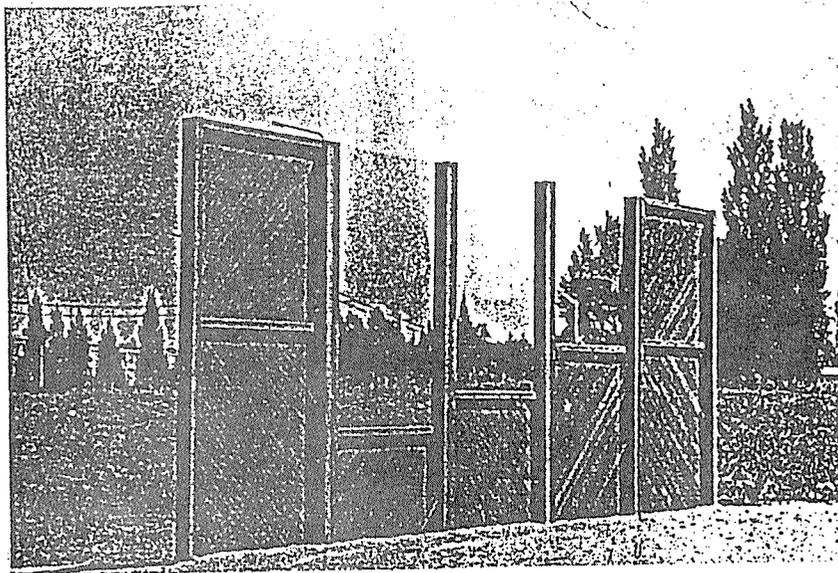


図5-8 木製遮音壁（樹種：アゾベ）

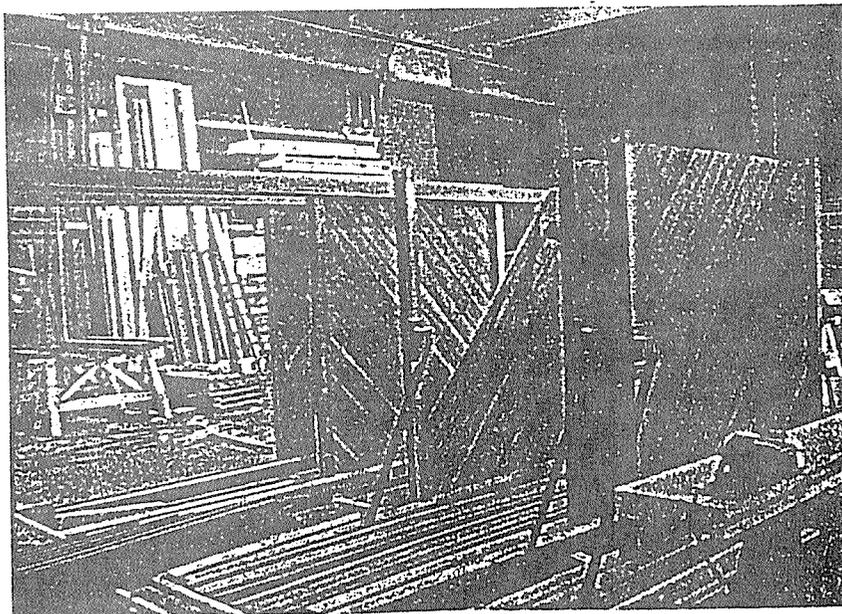


図5-9 工場で製造中の木製遮音壁

6 木製遮音壁材料の新しい防腐処理の試み

木材は、軽くて強い、加工し易い、熱・電気・音を伝え難い、湿度を調節するといった物理的に優れた性質の他に、柔らかさ・肌ざわりの良さという他の材料にはない長所を備えている。しかし、木材腐朽菌やシロアリ等に侵され易く、耐久性に不安があるといった欠点があり、これらの欠点を克服するために、保存薬剤を塗布するといった処理を施すことによって腐朽菌やシロアリから木材を守る方法がとられてきた。しかし、薬液の木材中への浸透は容易ではなく、それを促す手段として、木材の表層に多数の傷をつけるインサイジングが考案された。適切なインサイジングを施すことによって、木材の付加価値や材料としての信頼性を高め、需要を拡大することや木材資源の有効利用が期待できる。

インサイジングを施して防腐処理を行う手法は、昔は鉄道の枕木や電柱に専ら取り入れられてきたが、近年では住宅の土台材や需要が増大しつつある遊具類や木製ベンチといった木質外向部材に施される傾向にある。後者の材は風雨に曝されたり、土壌に接して使用されるなど、土台材に比べて極めて厳しい環境に置かれ、短期間で生物劣化が進行する場が多い。従って、外向部材には毒性が無く耐朽性の高い防腐処理木材が求められる。

ところが、外向部材に使われる木材の中にはカラマツ、ベイマツ、スプルースといった極めて薬液注入の困難な（難注入材）材があり、これらの材に現在の防腐処理技術で薬液を十分浸透させることは困難である。

その解決策を見いだすために、ニードルインサイジング、レーザインサイジング、OPM（加減圧交替法）、低圧爆砕法など、より確実な防腐前処理技術の研究・開発が行われている。ここでは、上記の新しいインサイジング法の内、非接触でインサイジングができ、インサイジング密度や浸潤度の制御が容易なレーザインサイジング法を取り上げ、その難注入材も含めた遮音壁部材の防腐処理への応用の可能性について検討する。

6.1 レーザインサイジング法

a. レーザとは¹⁾

1960年にアメリカのメイマンが人造ルビーを用いて赤色レーザ光の発振に成功し、ニューヨークタイムズに「太陽の中心より明るいアトミックラジオ光」と紹介され、20世紀最大の発明とされている Laser は、Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation（誘導放出による光の増幅）の頭文字を取って名付けられた光増幅現象または光増幅装置のことである。Laserという言葉が日本語で表現する場合、レーザとレーザーの二通りが使い分けられている。意味は同じであるが、工学の分野では前者が、理学の分野では後者がそれぞれ用いられている。

レーザは、レーザ光の発生源となる原子や分子といった活性媒質を混入した発振を起こさせる空間を形成する母体、発生した光を揃えるために母体の前後に設けた反射鏡（反射鏡と母体を合わせた部分は共振器と呼ばれる）、活性媒質に外からエネルギーを与える励起装置、レーザ発振の際に生じた熱を外部に逃がす冷却装置で構成されており、これらの

装置全体をレーザー発振器またはレーザーという。

これまでに開発されてきたレーザーは多種多様で、物理学・工学・医学といった学問分野や計測・分光分析・加工・通信・情報といった様々な技術分野で使われている。これらの分野にはそれぞれ適したレーザーやその周辺機器が組み合わされて使われている。

加工に用いられる代表的なレーザーはCO₂・N₂・Heガスを所定の割合で混合し、ガラス管に封入するか、ガラス管内を適正な速度と圧力で流し、その中で放電するCO₂レーザー、Y₂O₃とAl₂O₃との複酸化物でガーネット構造の結晶(化学式はY₃Al₅O₁₂で、略称はYAG:ヤグ)にNd³⁺を混入したロッドを使うYAGレーザー、ルビーの結晶にCr³⁺イオンを混入したロッドを使うルビーレーザーなどがある。レーザー装置生産額全体の中で材料加工用レーザーの占める割合は約22%で、その内の55%がCO₂レーザー、44%がYAGレーザーである²⁾。

レーザーで加工を行なう場合には、加工に適した発振器の他に、レーザービームを工作物の照射面までうまく導いて集光するビームベンダや集光レンズで構成される加工ヘッド、工作物を加工の仕方に応じて適宜移動させる加工テーブルが必要となり、これらを合わせたシステムはレーザー加工機と呼ばれる。高エネルギーのビームを扱うこと、レーザー光が目に見えない赤外線的一种であることが多いこと、金属表面に当たるとよく反射することなどから、作業者の安全を確保するために加工テーブル付近を光学的に遮蔽することが求められている。レーザービームの集束性の良さを活かし、加工精度を上げるために、ビームの照射や工作物の移動は普通数値制御される。

レーザー発振は、ポンピングという操作によって、高いエネルギーを持つ原子や分子といった粒子の数を低いエネルギーを持つ粒子数より強制的に増やした状態(負温度状態)を作りだし、高いエネルギーの粒子に光が当たったときにその光と同じ性質の光を放って粒子のエネルギーが低くなる誘導放出という現象(1個の光子→2個の光子)を起こさせることが必要である。誘導放出させた光を母体の前後に設けた反射鏡間で何度も母体中を往復させて、ねずみ算式に強い揃った光束(レーザービーム)に成長させ、その一部を若干透過性がある出力側の反射鏡から共振器の外部に取り出したものがレーザー光である。従って、レーザー光は、①位相が揃っており、②波長が単一で、③発散角が小さいという特徴を持ち、その結果、特殊な光学レンズを用いると、④集光性が良いことから容易に高いパワー密度の光源あるいは熱源が得られる。

b. レーザインサイジングとは

レーザーインサイジングとは、数あるレーザーの中で、有機物によく吸収され、大出力の連続光やパルス光が容易に得られる波長10.6μmの赤外光を発するCO₂レーザーを穴あけ機械として用い、被加工物である木材にパルス光を照射して、非接触でインサイジングを行う方法である。

c. レーザインサイジングの既往の研究

既往の研究として、CO₂レーザでどの程度の穴があくかについては、山根等は2種類のCO₂レーザを用い、レンズの焦点距離や照射条件を変えて、スギとベイツガの板材に穴あけを行い、ソフトX線写真で穴の縦断面形状を観察している。その結果、木材内部で直径が大きくなるような穴もあけられることやレンズの焦点距離とあく穴の深さの関係などが明らかになった³⁾。また、喜多山等は、レーザ光の出力や照射時間を調整することによって、深さが100mm程度までの範囲で任意の深さの穴あけができること、この場合の穴の木材表面での直径は、0.5~4mm程度の範囲で、深さが深くなるほど大きくなること、100mm角の柱材の1側面に1m²当たり1万個の密度でインサイジングしたベイツガとベイマツの部分圧縮強度の低下は認められなかったことなどを報告している⁴⁾。さらに、最近では、適切な焦点距離のレンズを選び、焦点はずし距離や照射条件を工夫すると、直径が2mm弱で深さが100mm強の円錐状の穴が出力1800W、照射時間180msであくようなノウハウも得られてきた⁵⁾。

レーザ加工は高パワー密度の赤外線による熱加工であるので、物体の消失に必要なエネルギー以上のレーザ光が照射された部分は瞬時に溶融や分解等を起こして消失し、それ以下のエネルギーが照射された部分は溶融や分解後、凝固するか分解物が堆積して、熱影響層として残る。木材の場合には十分なエネルギーが照射された部分は分解物がガス化して消失し、その境界部分には厚さ約0.3mmの熱影響層が生じ⁶⁾、その中には炭素の塊や糖類の溶融物が堆積しているものと思われる⁷⁾。

Ruddickは、ブラックスプルースとダグラスファーの材に、出力500WのCO₂レーザを用い、1m²当たり2万8千~4万2千個の密度でレーザインサイジングを行い、防腐処理を施すと、カナダの木材保存基準を満足できたと報告している⁸⁾。また、服部等はベイツガとスギの柱材にレーザインサイジングを施すことにより、従来の刃物によるインサイジングを施して得られる薬液浸潤の程度以上の浸潤が得られたと報告している⁹⁾。

また、レーザインサイジングの穴を乾燥促進に用いる研究も行われており、Simpsonがイタヤカエデの心材がレーザインサイジングによって乾燥時間が70%短縮されたことを報告している¹⁰⁾。

d. 供試レーザと材料

本実験で使用したCO₂レーザは、定格出力が1700Wの丸紅ロフィンレーザ(株)製RS-1700-SMで、東京農工大学農学部材料加工学講座に設置されており、その主な仕様を表6.1に示した。このレーザは、共振器の軸方向に混合ガスを高速で流し、その方向に放電することによってレーザ発振させる高速軸流型である。この方式を採用すると、単位共振器長当たりの出力を従来の軸流型よりかなり高くすることができるので、装置がコンパクトであるにも拘らず、高い出力が取り出せる。

得られるレーザ光は、ビーム断面の強度分布がガウス分布となる最も単純なシングルモードに近い、TEM₁₀* (光軸中心から少し離れた部分で最も強度が高く、それより光軸から

離れるにつれてガウス分布に従って強度が低下する分布)である。

用いた集光レンズは、ZnSeの単結晶から削り出したもので、波長10.6 μ mのCO₂レーザー光に対して、屈折率は2.403、吸収率は0.01という光学的性質を有し、吸湿性はない。焦点距離は公称で10”と20”のものを使用した。

表6.1 供試CO₂レーザーの仕様

型番	RS-1700-SM	
波長	10.6 μ m	
最大出力(定格)	1900W(1700W)	
出力調整範囲(安定度)	170~1900W(\pm 2%)	
ビーム径(広がり角)	約19mm(1.5mrad以下)	
ビームモード	TEM ₁₀ *	
パルス周波数	0~1.0kHz	
パルス幅	200 μ sec~連続波まで	
標準ガス消費量	He:70 N ₂ :25 CO ₂ :5 (l/h)	
最大消費電力	AC 200V, 60A	
冷却水(温度)	55l/min(21~25 $^{\circ}$ C)	
寸法 (重量)	レーザーヘッド	長さ:2980mm 幅:820mm 高さ:1443mm
	パワーサプライ	長さ:600mm 幅:1250mm 高さ:900mm

試験体は、国産材の代表で注入が容易なスギ (*Cryptomeria japonica* D. Don) とヒノキ (*Chamaecyparis obtusa* Endl.)、外材の中で最も多く使われるが難注入材であるベイマツ (*Pseudotsuga menziesii* Franco) と耐朽性が悪いため外向部材にはめったに使われないベイツガ (*Tsuga heterophylla* Sarg.) の4樹種を用いた。但し、ベイマツについては使用中に滲みでてくる樹脂を抑えるための脂処理が施してある。単一穴からの薬液の浸潤を知る実験には、部位によるばらつきを考慮して、寸法が96mm \times 96mm \times l500mmの材を各樹種につき2本ずつ供試した。決められたインサイジングパターンでインサイジングを行い、防腐処理を行って、暴露試験に供した試験体は、90mm \times 90mm \times l800mmのスギ、ヒノキ、ベイマツ、ベイツガを各樹種につき12本用意した。予備試験と同じくベイマツについては、脂処理済みである。薬液注入前の試験体の含水率と比重を表6.2に示した。

表6.2 試験体の平均含水率と比重

樹種	スギ	ヒノキ	ベイマツ	ベイツガ
含水率(%)	30.2	20.5	15.0	25.0
気乾比重	0.48	0.48	0.53	0.52

各試験体とも両木口にウレタン樹脂接着剤（大鹿振興製 商品名オーシカダイン7020B）を塗布し、軽く圧縮しながら硬化させてシールを行った。

試験体の本数の内訳はレーザーインサイジング用に各樹種8本、刃物インサイジング用に各樹種2本、インサイジングを施さないコントロール用に各樹種2本ずつ（計48本）とした。レーザーインサイジング用の試験体8本の内訳は、一面インサイジングとシェル型インサイジングの2因子とインサイジング密度が標準と半分の密度の2因子の計4条件に2本ずつ8本である。

f. インサイジングパターンの決定とレーザーインサイジング

インサイジングパターンは、単一穴からの薬液の浸潤範囲を知り、その範囲が適切に重なるように穴を配列する方法で決定する必要がある。そこで、ウレタン樹脂接着剤（大鹿振興製、商品名：オーシカダイン 7020B）で全面をシールした試験体に、シールの外側よりレーザーで重なり合わないような位置に深さ約85mmの穴を4箇所を表6.3の条件であけ、注薬缶内で試験体にナフテン酸亜鉛を注入し、単一穴からの繊維方向と繊維直交方向の薬液の浸潤長を呈色反応を行って測定した。得られた単一穴からの浸潤長は表6.5の通りであった。

表6.3 樹種毎の85mm深さの穴あけの照射条件

樹種	出力(W)	照射時間(ms)	
スギ	1200	260	
ヒノキ	1200	170	レンズ焦点距離：20"
ベイマツ	1200	190	焦点はずし距離：-20mm
ベイツガ	1200	200	

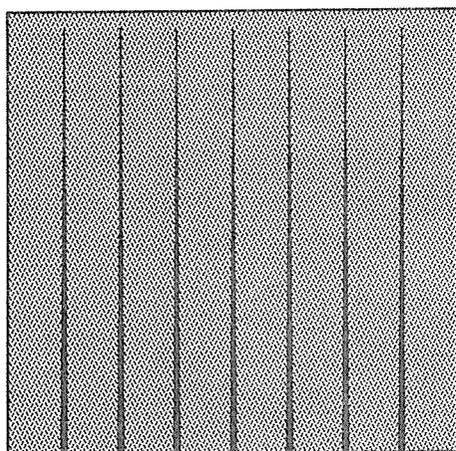
浸潤長の平均値と最小値を参考に、インサイジング部分の薬液の浸潤を100%とするためのインサイジングパターンを次のように決めた。

従来の円筒面上に植え付けた刃物による機械インサイジングでは、刃の圧入深さは10mm程度であるため、材の周囲に薬液を浸透させるには、材の4側面全てにインサイジングを施さなくてはならない。しかし、深さ100mm以上の穿孔が可能なレーザーを用いると、1側面から反対側の面に達しない深さまでインサイジングすることによって、インサイジング面は1面のみであるにも拘らず、材全体に薬液を浸透させることが可能になる(図6.1)。

また、深さ100mm以上の穿孔が可能であるという特徴を活かして、隣合う2側面のそれぞれの周辺部に、反対側の面に達しない深さまでインサイジングすることによって、インサイジング面は2面だけで、刃物インサイジングと同様の浸潤状態（シェル構造）をもたらすことが可能で¹¹⁾、周辺部に施すインサイジング列の幅を調整することによって、希望の浸潤層の厚さ（シェル厚さ）が得られることになる(図6.2)。

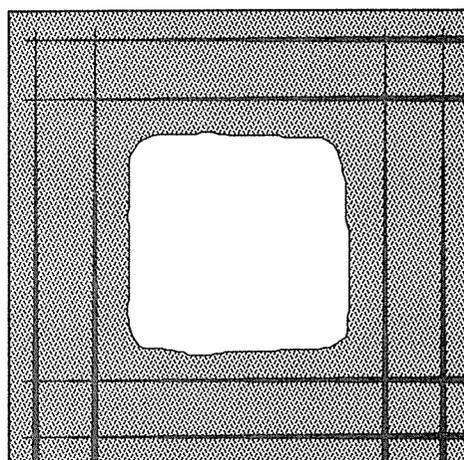
ここでは、前者の一面からのインサイジングで材全体に薬液を浸透させるインサイジン

グ方法を一面インサイジング法とし、後者の隣合う2側面からのインサイジングでシェル型の浸潤層を得るインサイジング方法をシェル型インサイジング法と呼ぶ。両者の特徴を把握するために、両インサイジング法を施して、比較することにした。



● は浸潤部分

図6.1 一面インサイジングの浸潤状態



● は浸潤部分

図6.2 シェル型インサイジングの浸潤状態

レーザーインサイジングはインサイジング能力が格段に優れているため、従来の刃物インサイジングでは不可能であった所に使用すべきであるが、その能力を位置づけるために、兼松日産農林株式会社新木場センター所有の表6.4に示した仕様の刃物式インサイジング機によるインサイジングも行った。

表6.4 インサイジング機の主な仕様

形式	菊川製 Z E-4 C
刃 刃 厚	3mm
物 刃先円直径	190mm
刃の圧入深さ	10mm
ドラムの軸数	4 軸(上下、左右)
送り速度	20m/min
処理能力	360本/時(3m材として)
インサイジング密度	3463個/m ²

表6.6に示した単一穴からの浸潤長の結果を参考にして、木材中にくまなく薬液が浸潤するインサイジングパターンを次のようにして決定した。

インサイジングは繰り返しの最小単位となる基本パターンを次々に連ねていくことによって完成されるので、その基本パターンをまず定めた。それは、単一穴からの薬液は、織

維方向・繊維直交方向とも表面から深くなるにつれて、程度の差こそあれ、2次曲線的に浸潤し難くなり、その結果、浸潤部分は偏平な鴨の嘴状の形になる。このような形を重ねて隙間が空かないようにするには、繊維方向の繰り返しの間隔（ a ）を繊維方向の浸潤長の2倍に、繊維直交方向の繰り返しの間隔（ b ）を繊維直交方向の浸潤長の2倍に取る必要がある。しかし、繊維直交方向の浸潤長は非常に短く、その間隔でインサイジングを行うと、材が強度的に低下するので、実際のインサイジングでは、 $a \times b$ の範囲を例えば4等分した位置で雁行するような場所にインサイジングを行うという工夫がなされている。本実験でも隣合うインサイジング穴の間隔を a の1/4の距離と b の1/4の距離とした図6.3のような基本パターンを採用した。

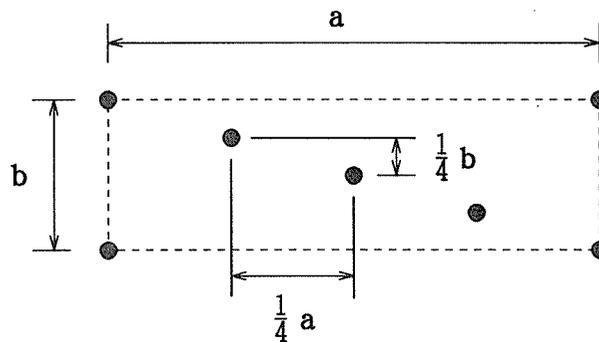
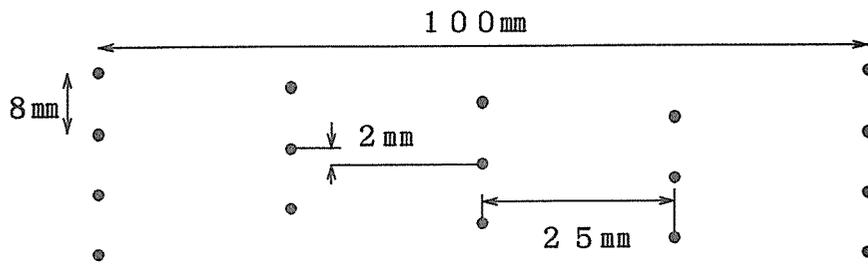
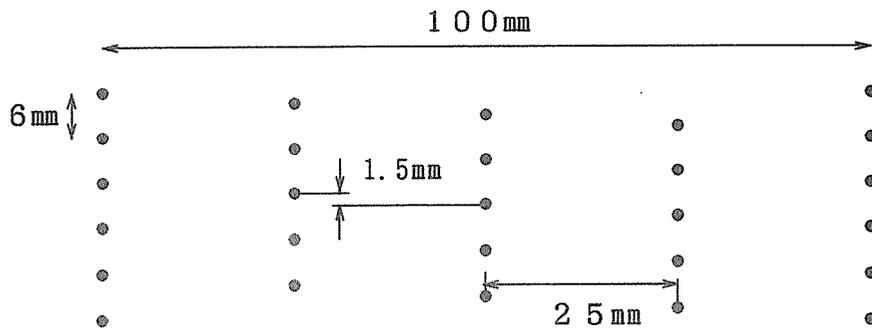


図6.3 繰り返しが4回のインサイジングの基本パターン

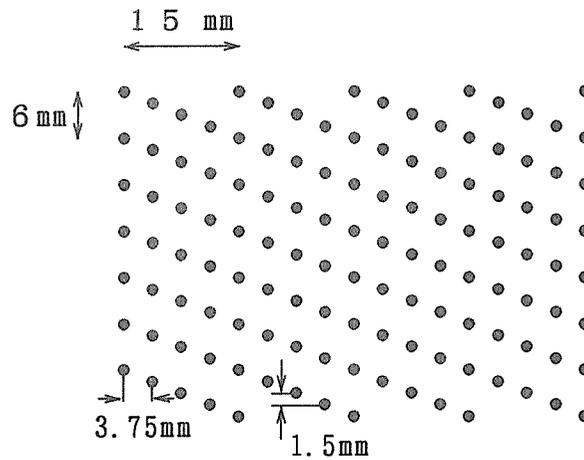
上記の基本パターンの変数に樹種毎の単一穴からの薬液の浸潤長を代入して決めた樹種毎のインサイジングパターンは図6.4のようになった。この密度でインサイジングを行うと、難注入材ではこれまで行われたことがないほどの高インサイジング密度となり、強度の低下も予想されるので、薬液が必ずしも100%浸潤できなくてもよしとするインサイジングも試みることにした。すなわち、100%浸潤するのに必要なインサイジング密度を半減させた密度でもインサイジングを行った。



スギ・ヒノキのインサイジングパターン
 インサイジング密度：5000個/m²



ベイツガのインサイジングパターン
 インサイジング密度：6670個/m²



ベイマツのインサイジングパターン
 インサイジング密度：44400個/m²

図6.4 樹種毎のインサイジングパターン

材の表面に近い部分と木口に近い部分は薬液が浸透し易いので、材の周辺から5mmの幅の部分と木口から50mmまでの部分にはインサイジングを施さなかった。

インサイジング穴の木材表面における直径は各樹種とも1.5mm前後であり、樹種間に差は認められなかった。しかし、穴の深さは樹種間で大きな差があり、深さ85mmを目標とした照射条件でインサイジングを行ったが、スギとヒノキではほとんどの穴が目標通りの深さになっていたものの、ベイマツでは75mm前後、ベイツガでは80～85mm程度と浅くなった穴が多かった。これは、樹種によっては、単一穴からの浸潤を調べる実験で用いた試験体と柱材とで含水率や材の密度分布等に差があったものと思われる。

また、刃物インサイジングでは、長さ10mm・幅1mm未満・深さ約10mmの筋状のインサイジング跡が認められた。

6. 2 防腐処理

a. 木材防腐剤

木材の加圧用防腐・防蟻処理薬剤として、従来から、油性のクレオソート油や水溶性のCCA（クロム・銅・ヒ素の混合物）などが使用されてきた。これらは安価で防腐効力が高いが、色・臭いあるいは廃棄処理などに問題を残しており、電柱・枕木・土台材など人に直接触れない場所に専ら使われてきた。ところが、近年は公園の遊具・ベンチ・住宅のデッキ・テラス・ベランダなど屋外で人が直接触れる場所にも処理材がどんどん使われるようになり、ナフテン酸金属塩に代表される安全性の高い低毒性薬剤を用いた保存処理が求められている。現在広く使われている防腐剤を挙げると次のようになる。

クレオソート油

クレオソート油は最も古くから使用されている防腐剤であり、コールタールを蒸留して造られるもので、フェノール・クレゾール・ナフタリンなど200以上の成分を含んでいる。その効力は非常に優れており、現在でも枕木や電柱の一部の防腐に加圧注入用として用いられているほか、建築現場で塗布用としても広く用いられている。

CCA

CCA（クロム・銅・ヒ素）は現在、加圧注入用として世界中で最も広く用いられている防腐剤で、その組成はJIS K 1554に規定されている。CCAに含まれる成分のうち、クロム化合物は主として定着に、銅化合物は主として防腐効力に、ヒ素化合物は主として防蟻効果に関与しているとされている。CCAの最も大きな特徴は、薬剤は水溶性でありながら、木材のなかに入ると化学反応を起こして水に不溶の化合物になって定着することにある。CCAは耐候性、耐水性に優れていると言った特徴を有しているが、いずれもこの優れた定着性に起因するものである。この定着反応に要する期間は通常3週間程度とされ、

定着が進むと外観的には、注入直後の黄橙色から緑色への変化となって現れる。しかし、最終廃棄物や端材の処理の際、処理方法によっては環境汚染の発生につながる恐れがあり、現在その対策が研究されている。

P F

P FはJIS K 1550でその組成が規定されており、フェノール類とフッ化物を有効成分として含有し、その他種類によってヒ素化合物、クロム化合物、またはアンチモン化合物を含む防腐剤である。P Fは一時電柱用の防腐剤として多用されたが、定着性が完全ではなく、地面と接する部分での耐久性が十分でないことから、近年になってCCAにとって代われ、その使用量は激減している。

その他

最近開発された薬剤としては、AAC（アルキルアンモニウムコンパウンド）、可溶性ナフテン酸金属塩、CFK（珪ふっ化銅、重クロム酸アンモニウム）などがある。これらはいずれも環境問題を意識して開発されたものであるが、効力・経済性なども含めた性能から判断すると、CCAに完全に代替できるものではない¹²⁾。

b. 加圧式防腐処理

加圧注入法は、注薬缶の中で高圧で木材の内部まで薬液を浸透させる方法で、現在の注入技術の中で最も信頼できる方法であるとされている。その方法の基準はJIS A 9002に規定されている。加圧注入法の一般的な工程は図6.5のとおりである。加圧式防腐処理法によって処理した木材製品の耐用年数を左右する要因は薬剤の効力もさることながら、木材中での薬剤の分布（浸潤度）および薬剤量（注入量）が重要である。薬剤の浸潤度や注入量を左右する要因は辺心材の別・樹種・処理前の含水率・インサイジングの有無などである¹²⁾。

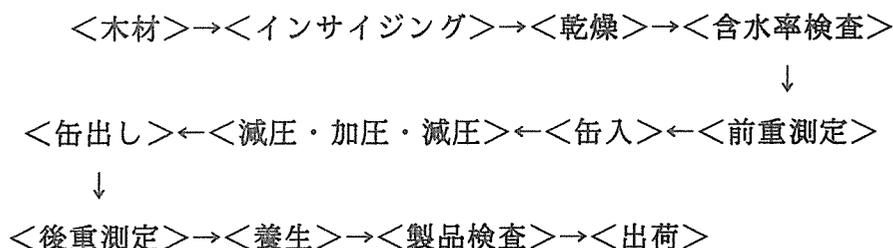


図6.5 加圧注入処理の標準的な流れ図

本実験で用いた注薬缶は、兼松日産農林株式会社新木場センター内にある乾式薬液注入処理装置で、その主な仕様は表6.5の通りである。

表6.5 薬液注入装置の概要

事項	仕様
注薬缶	1500φ×9000(I) 容量：16m ³ 耐圧0mmHg～10kg/cm ²
貯蔵層	1500φ×8164(I) 14.4m ³
計量層	1000φ×1950(I) 1.5m ³
圧入ポンプ	形式 多段渦巻ポンプ 水量×揚程 25(l/min)×15kg/cm ²
真空ポンプ	形式 水封式(ナッシュ型) 最大排気量 8.92m ³ /min 封水量 32(l/min)

単一穴からの薬液の浸潤を調べる実験とインサイジング材への注入実験とは同一注入条件を採用した。

c. 単一穴からの薬液の浸透

レーザインサイジングの特徴の一つは深いインサイジングができることである。インサイジングが薬液の浸透性能に見合うようにできれば、従来の防腐効果が高いが危険性のある防腐剤より少々性能が劣っても安全性の高い防腐剤が利用できる可能性がある。そこで、安全性が高く、耐水性があり、無色なので木材の色・はだ目等を生かすことができるが、性能(効力・浸透力)がCCAやクレオソートに比べて劣るナフテン酸亜鉛を本実験の防腐剤として選定し、これを材中に確実に浸潤させることが可能かどうか、確実に浸潤させれば、CCAと同等の防腐効力が認められるか否かを検討することにした。

用いたナフテン酸亜鉛は低毒性防腐・防蟻剤で、商品名をニッサンクリーンII、認定番号はB-5002である。

薬液の注入は兼松日産農林株式会社の開発研究所にて、前排気：減圧720mmHg、加圧：窒素ガスを2.0kgf/cm²で30分、後排気なしの条件で、試験体にナフテン酸亜鉛を乾式注入処理した。

注入を終えた試験体は、まずレーザであけた穴を通る横断面(木口面)で鋸断し(図6.6の左図)、木口面にキシレノールオレンジ(0.05% W/V)を噴霧して、ナフテン酸亜鉛に含まれる亜鉛を赤紫色に呈色させた。呈色させた木口面を複写機にて普通紙に複写し、表面から10mm毎に繊維直交方向の浸潤長を紙面上で測定した。

次に、表面から10mm毎に穴に垂直な面でスライスし(図6.6の右図)、同じように呈色させ、繊維方向の浸潤長を測定した。浸潤長については、穴から浸潤の先端と見られる点までの距離を測定した。また、明らかにレーザの穴からの浸潤ではないと判断される浸潤部分については測定の対象としなかった。

樹種毎の繊維方向と繊維直交方向の浸潤長の8個の測定値の平均値とその内の最小値を表

6.6に示した。

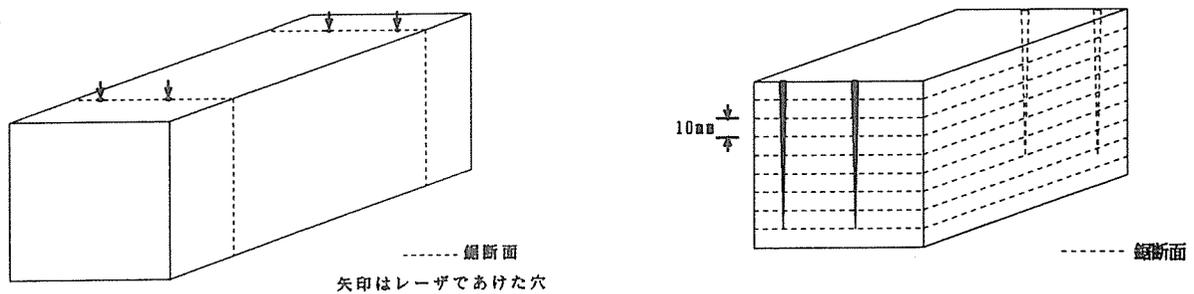


図6.6 単一穴を4個あけた試験体の穴からの浸潤長を測定するための鋸断方法

表6.5 繊維方向と繊維直行方向の浸潤長

樹種	繊維方向		繊維直行方向	
	平均値(mm)	最小値(mm)	平均値(mm)	最小値(mm)
スギ	284以上	175.0	—	—
ヒノキ	194.6	40.0	4.3	0.4
ベイツ	77.9	3.2	2.4	1.1
ベイツガ	130.9	16.2	2.2	0.4

1樹種で試験体を2本使用したが、この個体間の浸潤長にばらつきが見られ、特にベイツおよびベイツガでは顕著であったこと、スギとヒノキの浸潤長はベイツやベイツガのそれより大きかったこと、繊維直行方向の浸潤長は繊維方向のそれに比べて極端に短いことが明らかになった。

d. インサイジング材における薬液の浸潤

図6.4のパターンでインサイジングを行った柱材にシールを施し、重量・含水率を測定した後、ナフテン酸亜鉛（Znとして0.39% W/V）を加圧注入した。注入は、単一穴からの浸潤を調べる実験と同様に行ったが、用いた注薬缶は実験用ではなく実用であり、注入条件も若干異なった。すなわち、前排気：減圧690mmHg(到達まで)、加圧：2.5～5.0kgf/cm²で15分、返液後重量測定し、再度缶内に入れて、後排気：減圧600～700mmで約4時間(1時間ずつ断続的に)の条件で行った。その結果、注入量が予想を上回り、溶媒や溶液を回収するために、後排気を行なった。

注入処理を終えた柱材は、乾燥・養生の後、注入量や浸透断面積率を次のようにして測定した。すなわち、薬液の注入量は、注入前後に測定した重量から次式で算出し、

注入量(kg/m³) = $\frac{\text{注入後の質量(kg)} - \text{注入前の質量(kg)}}{\text{注入前の木材材積(m}^3\text{)}}$
 浸透断面積率は、注入を終えた柱材から長さ200mmの部分を取り取り、その内側の木口面に

キシレノールオレンジをスプレーして、ナフテン酸亜鉛が浸潤した部分を発色させ、発色した部分を鉛筆で速やかにトレースし、複写機にて複写した発色部分の面積をデジタルプランニメーターで3回計測し、その平均値と木口面の全面積から次式で求めた。

$$\text{浸透断面積率(\%)} = \frac{\text{浸潤した部分の面積}}{\text{木口面の全面積}} \times 100$$

樹種毎のインサイジング方法による薬液の注入量は表6.7のようになった。表中の値は2本の試験体の注入量の平均値で、これを図にすると図6.7のようになる。

表6.7 試験体のインサイジング方法による薬液の注入量

樹種	コントロール	刃物	シェル型(粗)	シェル型(密)	一面(粗)	一面(密)
スギ	389	462	664	559	583	607
ヒノキ	600	536	918	834	867	906
ベイマツ	232	310	472	451	578	602
ベイツガ	236	310	764	712	787	657

単位：kg/m³

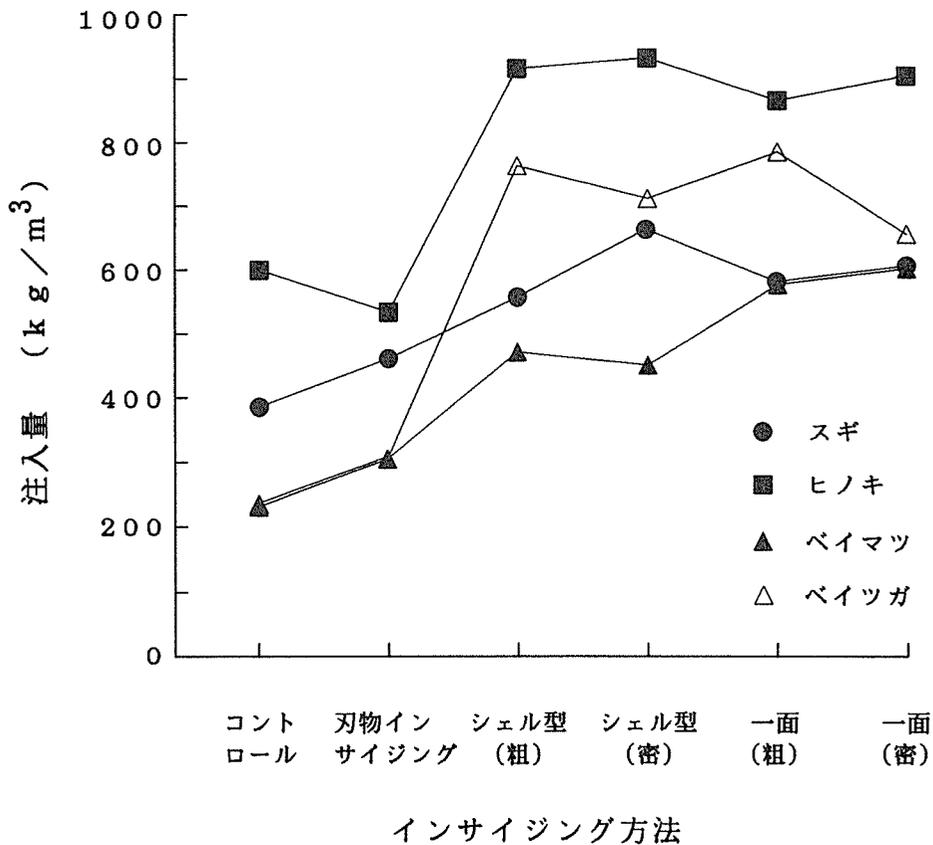


図6.7 インサイジング方法別注入量

表中の刃物・シェル型・一面という表現はインサイジングの方法を示し、(粗)・(密)は、単一穴からの浸潤を調べる実験で得られた浸潤長の結果を基に定めたインサイジング密度が(密)で、その半分のインサイジング密度を(粗)で表した。

薬液の注入量は、インサイジングを施さないコントロール材が最も少なく、刃物インサイジングがコントロールと同等かやや多くなり、レーザーインサイジングを施すと、比較的薬液が浸透し易いスギとヒノキではコントロールの約1.5倍、浸透し難いベイマツでは2.3倍、ベイツガでは3.1倍と非常に多くなった。

レーザーインサイジングのインサイジング深さは約80mmであったので、刃物インサイジングの約10mmよりはるかに深く、柱材の単位長さ当たりのインサイジング部分の体積比で約2.2倍差があることになる。それほど差がある割には、レーザーインサイジングの注入量の刃物インサイジングのそれに対する割合は、スギで1.3倍、ヒノキで1.6倍、ベイマツで1.7倍と少なく、ベイツガだけが2.4倍と計算値を越えた。この理由として、刃物インサイジングは材の端から端までくまなくインサイジングされているのに、レーザーインサイジングは柱材の端から50mmまでの部分と側面の周辺部5mmの部分には施されていないことと、レーザーインサイジングによってあけられた穴からだけでなく、それ以外の場所からも薬液が浸透したためと思われる。

樹種別には、刃物インサイジングが経験的に知られているようにベイマツ・ベイツガ・スギ・ヒノキの順に注入量が多くなったのに対し、レーザーインサイジングを施すと、ベイマツ・スギ・ベイツガ・ヒノキの順に注入量が多くなった。つまり、レーザーインサイジングの助けを借りるとベイツガにおける注入量が格段に多くなるが、スギでは期待するほど多くならないということになる。また、総じて早材には薬液が浸潤し易く、晩材には浸潤し難い傾向が認められ、平均年輪幅や晩材率によって浸潤量が影響を受けるものと思われる。

シェル型インサイジングと一面インサイジングを比べると、シェル型では柱材の中央部に薬液が浸潤し難い部分があるので、その浸潤量が一面インサイジングに比べて少なくなるように思われるが、ベイマツでその傾向が明確になったものの、他の樹種ではその傾向は顕著に現れなかった。この理由として、試験体の数が条件毎に2本と少なく、その木取りの仕方が別の個体であったり部位が離れていたりして、試験体のばらつきが大きかったことが考えられる。

両レーザーインサイジングにおけるインサイジング密度の違いによる注入量は、密度の高い方が注入量が多くなると予想されるが、そのような傾向が見られたのはスギ・ヒノキ・ベイマツで、ベイツガについては逆の傾向になった。これについても、注入のし易さの個体差が大きく影響しているものと思われる。

薬液が柱材の断面においてどの程度浸潤していたかを評価するには、規定通り生長錐を用いて測定する浸潤度を使う方法もあるが、ここではより評価の精度を上げるために、断

面全体の浸潤を評価する浸透断面積率によって行った。その結果を表にすると表6.8のようになり、それを図にすると図6.8のようになる。

表6.8 試験体のインサイジング方法による薬液の浸透断面積率

樹種	コントロール	刃物	シェル型(粗)	シェル型(密)	一面(粗)	一面(密)
スギ	70.3	76.3	96.5	87.5	99.7	100
ヒノキ	73.8	76.9	100	97.4	97.9	100
ベイマツ	33.3	50.5	91.2	91.0	90.9	89.8
ベイツガ	41.5	55.4	95.8	95.7	100	98.6

単位：%

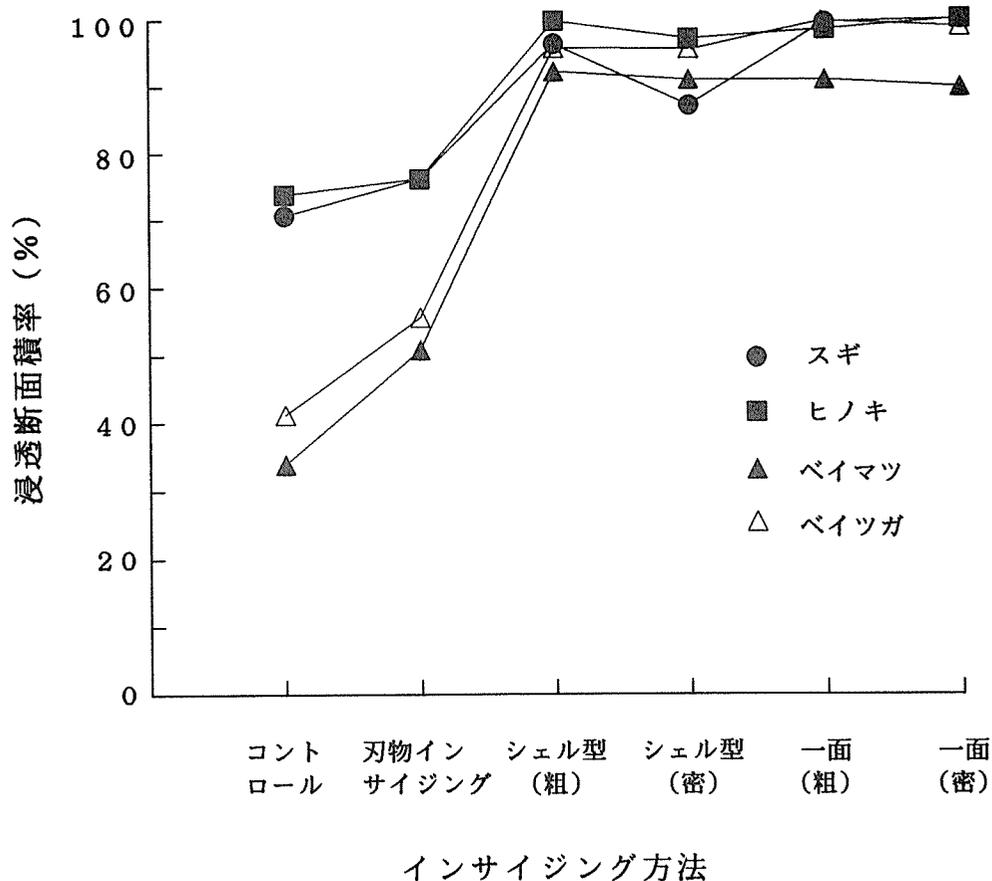


図6.8 インサイジング方法別浸透断面積率

各樹種ともインサイジングを施さないコントロール材の断面における薬液の浸透が最も少なく、刃物インサイジングを施すと、浸透断面積率は、スギやヒノキといった浸透し易い樹種では少ししか上昇しなかったが、ベイマツやベイツガでは十数ポイントも上昇し、

浸透し難い樹種には刃物インサイジングの効果がそれなりに認められた。さらに、レーザーインサイジングを施すと、4樹種とも浸透断面積率が87~100%と飛躍的に上昇した。これは隙間無く薬液が浸潤するようなインサイジングパターンを採用したためである。それにも拘らず、浸潤断面積率が全て100%とならなかつたり、レーザーインサイジングの密度が粗と密とでほとんど差が認められなかつた理由は、1条件の試験体の本数が僅かに2本と少なく、節や割れといった欠点の存在によるばらつきが無視できるほど小さくなかつたために、薬液の浸潤にばらつきが生じたためである。

図6.7と図6.8を比べると傾向がやや異なることから、薬液の注入前後の材の重量差から容易に算出できる薬液の注入量から断面の呈色反応と面積測定を経て算出できる浸透断面積率を類推するのはやや困難であることが分かる。さらに、ヒノキとベイツガのインサイジング方法による注入量と浸透断面積率の傾向はスギとベイツガのそれとは異なっていることが分かる。すなわち、前者のグループは、薬液の注入量が多いほど浸透断面積率が高くなる傾向を示し、後者のグループは、注入量がレーザーインサイジングで飛躍的に多くならないのに浸透断面積率が高くなるという傾向を示している。このことは、レーザーインサイジングを施した材に薬液を注入する場合、後者のグループでは注入量がそれほど多なくても材全体にむらなく薬液が浸透することになるが、材の長手方向や半径・接線方向の浸潤に部分的なむらが生じている可能性がある。

6.3 暴露試験

柱材から浸透断面積率測定用に長さ200mmを鋸断した残り600mmを暴露試験用の試験体とした。

長さ600mmの試験体は、鋸断によって現れた木口面に改めてシールを施し、焼きごてを用いて試験体側面に番号を焼き印し、本学加工場横のコンクリート敷きの土場に設置した。設置の仕方は腐朽の進行に大きく影響するので、屋外ベンチの設置状況に近い状態を再現するために、試験体の両端を寝かしたコンクリートブロックの上に乗せる方法で平成3年12月6日に設置した。地面から試験体の下面までの距離は約100mmである。設置場所の上6m付近にはキリやケヤキの枝が生い茂っており、秋には落葉が降り注ぎ、日光が当たるものの、やや湿気の多い場所である。

設置の当日に、暴露試験の一回目の測定として、試験体の重量測定と外観の写真撮影を行った。今後は、重量減少率、干割れ、試験体の腐朽の状況を毎年測定・観察する予定である。

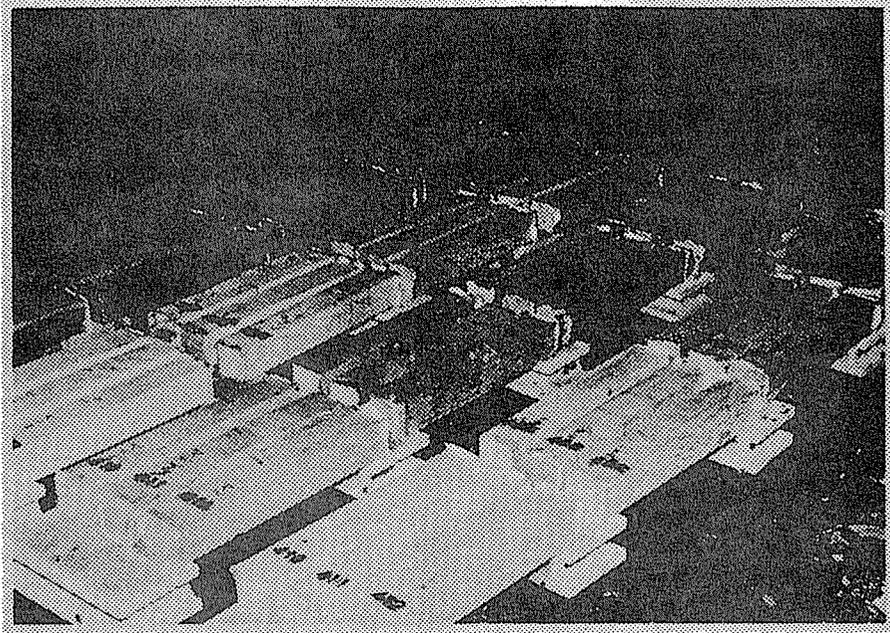


図6.8 試験体の暴露状況

6.4 まとめ

外向部材の耐朽性を向上させるためには、防腐剤をより深く確実に浸潤させる必要があり、そのための手法の一つにレーザインサイジングが注目されている。この手法で直径が2mm弱で深さが100mm程度までの範囲で調節可能なピンホールが木材に0.5秒程度であけられることが明らかになっている。この穴を薬液の通路として利用し、目標通りの浸潤度の防腐処理が施せるか否か検討し、防腐処理材の耐朽性向上を調べる暴露試験を開始した。

その結果、

単一穴からの薬液の浸潤結果から、インサイジング領域に完璧に薬液を浸潤させるには、レーザインサイジングの密度を、スギとヒノキで5,000個/m²、ベイツガで6,670個/m²、ベイマツで44,400個/m²程度にすればよいことが分かり、この半分の密度でも薬液を十分浸潤させられることが分かった。

断面が100mm角で長さが800mmの両木口面をシールしたスギ・ヒノキ・ベイマツ・ベイツガについて、毒性の非常に低いナフテン酸亜鉛を加圧注入したところ、薬液の注入量は、インサイジングを施さないコントロール材や従来の刃物インサイジング材に比べて1.5倍～3.1倍と、どのレーザインサイジング法でも多くなり、断面における浸潤の程度を表す浸透断面積率も87%以上と飛躍的に向上した。

従って、材全体に薬液を浸潤させたい場合には一面インサイジング法を、表面から限られた深さまでの部分にシェル型に浸潤させたい場合にはシェル型インサイジング法をそれぞれ採用すればよいことが明らかになった。

インサイジング方法による耐朽性の違いを知るために、インサイジングを施さないコン

トロール材、従来のインサイジング法である刃物インサイジングを施した材、シェル型と一面のレーザインサイジングを施した材を、ナフテン酸亜鉛を加圧注入した後、屋外で暴露試験を開始した。

今後は、暴露試験材の重量変化、干割れや腐朽の外観検査からレーザインサイジングの位置づけを明らかにする過程で、レーザインサイジングの穴深さの信頼性を上げることやインサイジング密度と材の強度変化の関係を明らかにすることが不可欠である。

本実験は、屋外用木製ベンチへのレーザインサイジングの応用を目的として計画されて実験の一部であり、幅210mm×厚さ95mm×長さ1.8mの材に暴露試験材と同一条件でインサイジング・防腐処理を行い、2本を一組としたベンチを16脚製造し、東京農工大学農学部内のキャンパスに設置し、耐朽試験を始めたことも申し添える。

(文 献)

- 1)服部順明、杉原彦一：ニューランバーマン、9(30)、pp.29 (1979)
- 2)宮崎俊行ほか3名：レーザ加工技術、産業図書、p.12 (1991)
- 3)山根則彦、服部順昭、喜多山繁：第40回木材学会大会要旨集、111 (1990)
- 4)喜多山繁、服部順昭等：第41回木材学会大会要旨集、432 (1991)
- 5)山根則彦：平成3年度東京農工大学大学院修士論文、pp.152 (1992)
- 6)新井武二、島川正憲、林大九郎：木材学会誌、22(12)、655-660 (1976)
- 7)服部順昭、俣野剛史、岡本一、岡村圭造：木材学会誌、34(5)、417-422 (1988)
- 8)J.N.R. Ruddick：Forest Products Journal、41(4)、53-57 (1991)
- 9)服部順昭、宮脇夏子、喜多山繁、横尾国治：第40回木材学会大会要旨集、436 (1990)
- 10)W.T. Simpson：Wood and Fiber Science、19(1)、9-25 (1987)
- 11)山根則彦、服部順昭、喜多山繁、横尾国治：第41回日本木材学会大会要旨集、502 (1991)
- 12)中小企業近代化審議会技術開発部会木材薬品処理業分科会：「木材防腐処理業における技術開発のあり方に関する報告」、pp.29 (1990)

7 まとめ、今後の方針

本報告で対象としている遮音壁は、高速道路における防音施設である遮音壁をさしている。遮音壁に木材を利用した場合の得失や、設置に際して考慮すべき事項、具体的なマニュアル作成などが本分科会に与えられた使命である。木製遮音壁分科会として実質的に活動を始めたのは、本平成3年が始めての年度である。したがって本報告書は、遮音壁についての基本的な概念からはじめて、木質遮音壁の意義、必要性、木材の音響性能、わが国において既に設置されている木製遮音壁の調査、諸外国において実際に使用されている木製遮音壁の事例、木材の新しい防腐処理の試みなどを記述して、木質遮音壁設置のための基本的事項を明らかにしようとしている。

1章では、防音施設である遮音壁の必要性、種類、形状、設計条件、これまで使われてきた遮音板の材料やその得失、必要とされる遮音性能、パネルの基本形状を述べている。さらに、望ましい遮音壁として、要求される遮音性能を満たすとともに、パネルの持つ素材感、テクスチャー、色彩等が周辺環境と調和すること等をあげている。

2章では、木材で遮音壁を作ることの意義について、自然環境になじみやすく、景観全体の調和を図りやすい構造物とすることができること、すぐれた音響特性、多様なデザインが可能なこと、地域の林業生産活動の活性化が図れることなどを指摘している。そして、二酸化炭素を固定する機能を持ち、再生産可能な天然材料である木材を積極的に使用することが地球の環境保全につながるという論旨を展開している。

3章では、木材、木質材料の音響的特性、特に透過損失と吸音率について多くのデータを網羅して考察している。日本道路公団の遮音壁の透過損失の仕様を満足するためには面密度が 1.8g/cm^2 の材料を用いればよいが、木材は針葉樹でも比重が 0.30g/cm^3 以上あり、木材素材で構成する遮音壁では、厚さが6cm以上あれば遮音的には満足するものができる。吸音性については、木材素材そのものでは公団仕様に満足しないが、表面にスリットを設けたり、中空構造を作ったりするとある程度の改善は可能となる。しかし木材素材の吸音率はコンクリートの吸音率よりはるかに大きいから、木材素材のみで構成される遮音壁は、かなりの吸音力を持った遮音壁と見なすことができる。

4章では、わが国で実際に設置されている木製遮音壁のうち、長野県飯田市の中央自動車道と広島県三次市の中国自動車道の2個所で行った実地調査の結果を示している。いずれの遮音壁とも、遮音壁がない場合よりも10dB以上騒音が低減されており、隣接して設置されているコンクリート性遮音壁の遮音性能とあまり違いが認められず、十分実用性に富んでいることが明きらかになり、3章の考察が裏付けされている。耐久性の向上などなお改善すべき点も多いが、付近住民の評判も良いようであり、この調査は木製遮音壁におおむね肯定的な評価を与えた。

5章では、諸外国の木製遮音壁について述べている。特に、ヨーロッパにおいてはきわ

めて広範囲に木製遮音壁が設置されており、フランスなどではコンクールが実施されてすぐれたデザインの遮音壁が開発されている。またノルウェーなどでは吸音タイプの木製遮音壁も開発されている。

6章では、耐久性を向上させる一つの試みとして、最近東京農工大学で開発されたレーザーサイジング技術による木材防腐処理実験の結果を示している。このような先端的な技術をはじめとして、木材の耐久性向上技術は年々進歩しているといえる。

今年度の報告は以上のように、木製遮音壁の有用性を明らかにした。木製遮音壁が今後積極的に導入されて行くために解決しなければならない点は、耐久性の向上と価格の問題であると思われる。ただ、価格については沿線住民や高速道路利用者のアメニティーに対する満足度も評価されるべきで、木製遮音壁はその特徴が生かされる場所に設置されていくことが望ましい。

来年度以降の研究方針として、木材の耐久性の向上、設置コストの低減化について検討するとともに、すぐれたデザインの木製遮音壁をいくつか提案したいと考えている。

第2章 木槽に関する性能実験

1. 木槽材の耐久性及びカビ抵抗性

1. 1 目的

現在、木材以外に鋼板、ステンレス鋼板およびプラスチックが飲料水の水槽用材料に使用されている。また、木材としては外国産材も多く使用されている。これらの諸材料との競合関係の下で、今後供給量が増加する国産材を水槽用材料として利用して行くためには、出来上がった水槽の性能が重要である。木材の場合、前年度の報告書¹⁾に明らかなように経済性にやや難点があるものの水質保全性や加工性に優れている。しかし、『木は腐る』というイメージがあるため耐久性、とりわけ耐朽性に一抹の不安を抱くむきも少なくない。そこで、水槽用材料として国産のスギ材を使うことを想定し、耐朽性能の評価を目的に実験を行った。

1. 2 方法

(1) 耐朽性試験1

実験に用いた木材及び腐朽菌類は表1-1と1-2に示す通りである。

表1-1 供試験木材

スギ(<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)辺材
スギ(<i>Cryptomeria japonica</i> D. DON)心材
ベイマツ(<i>Pseudotsuga menziesii</i> FRANCO)心材
エゾマツ(<i>Picea jezoensis</i> CARR.)心材
ベイツガ(<i>Tsuga heterophylla</i> SARG.)心材
カラマツ(<i>Larix leputolepsis</i> GORDON)心材
アカマツ(<i>Pinus densiflora</i> SIEB. et ZUCC.)心材
ヒノキ(<i>Chamaecyparis obtusa</i> SIEB. et ZUCC.)心材
チーク材(<i>Tectona grandis</i> LINN. F.)
ブナ(<i>Fagus crenata</i> BL.)辺材

表1-2 供試験菌類

褐色腐朽菌オオウズラタケ(<i>Tyromyces palustris</i> FFPRI 0507)
白色腐朽菌カワラタケ(<i>Coriolus versicolor</i> FFPRI 1030)
軟腐朽菌ケトミウム(<i>Chaetomium globosum</i> IAM 8059)

耐朽性は概ねJIS Z 2119²⁾に規定された方法に準じて図1-1のごとく調べた。直径8 cm, 高さ13cmのマヨネーズビンに十分水洗した20~30メッシュ石英砂250gを入れ乾熱滅菌し, これに別に高圧蒸気殺菌したグルコース4%, ペプトン0.3%, 麦芽抽出物1.5%よりなる栄養液を75ml加える。あらかじめ供試菌類を生育させておいたブナ木片を接種片として入れ, 28℃で培養する。菌そうが培養基上に広がった後, 大きさ2×2×繊維方向1cmに調製した木材試験片をのせて2カ月間腐朽させた。木材試験片の耐朽性は腐朽前後の質量差から次式にて質量減少(重量減少)率を算出して調べた。

$$\text{質量減少率} = (W_0 - W_1) \div W_0 \times 100$$

W_0 : 腐朽前質量, W_1 : 腐朽後質量

なお木材試験片は各樹種ごとに10個用い, 通し番号をつけランダム化し, 1腐朽ビン当たり3~5個入れて腐朽させた。

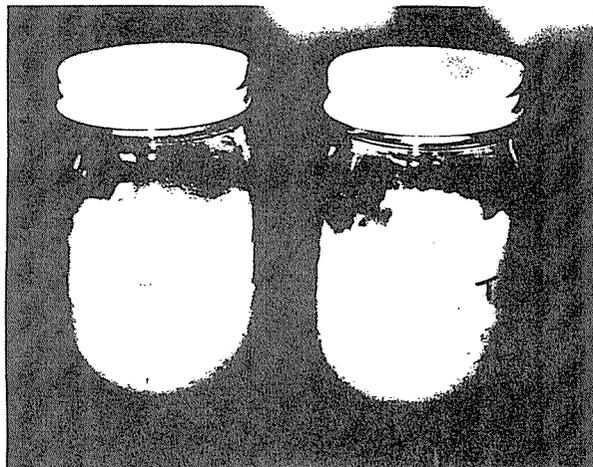


図1-1 耐朽性試験

また, 後述するように木製水槽劣化の主原因である褐色腐朽について, 腐朽進行の様子を調べるためにスギの辺心材と褐色腐朽菌オオウズラタケを実験に用い, JIS Z 2119法に準じて前記同様に腐朽させた。この際の腐朽期間は1, 2, 3, 4, 5, 6, 12カ月であり, 一腐朽期間当たり各々3個ずつの試験片を用いた。

(2) 耐朽性試験2

野外試験に代わるものとして, 小規模の腐朽槽試験を以下のとおり行った。スギの辺心材, ベイマツ心材とブナ辺材を1×0.5×繊維方向4 cmに調製し実験に用いた。幅10cm長さ10cm深さ24cmのプラスチック容器に無殺菌土壌を5 cm程度の高さになる様に入れ, 木材試験片を長さの半分程埋め込み, 4カ月間腐朽させた。腐朽の程度は, 質量減少率にて求めた。

(3) 木材の方向と腐朽の進行

木材の方向と腐朽の速度との関係性を調べるため, スギ辺心材より調製した大きさ4×4×4 cmの試験片を用い, 耐朽性試験1と同様に腐朽させた。その際, 試験片の向かい合う2面以外をエポキシ樹脂でシールし, 非シール面を菌類に接触させた。なお, 試験片は一処理区当たり各々7個ずつ用いた。

(4) カビ抵抗性

馬鈴薯寒天培養基に *Aspergirus niger*, *Penicillium citrinum*, *Rhizopus stolonifer*, *Aureobasidium pullilans*, *Gliocladium virens* を培養し, 孢子懸濁液を調製した。³⁾ 乾

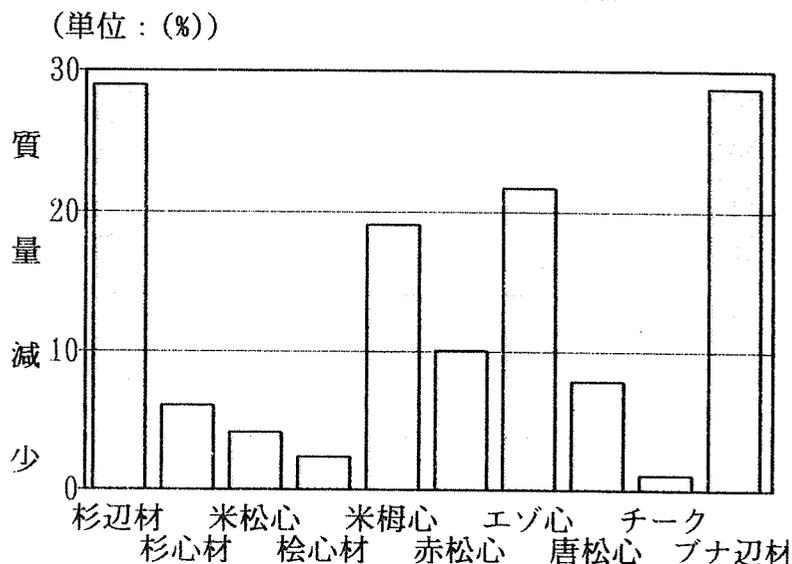
熱殺菌済みの直径9 cmペトリ皿に高圧蒸気殺菌した2%寒天液を入れ固化させた後、木材試験片に殺菌水を注入したものをのせた。これに孢子懸濁液を振りかけて、28℃下に1～4週間培養し、カビ生育の程度を観察した。木材試験片は耐朽性試験2にて使用したものと同様1×0.5×繊維方向4 cmの大きさに調製したスギの辺心材、ベイマツ心材、ブナ辺材であり、各々10個ずつ用いた。

1. 3 結果および考察

(1) 耐朽性試験1

耐朽性の測定について、使いたい場所で実際に使ってみるのが最良の方法であるが、これは非現実的である。現在、耐朽性の測定方法として室内試験法と野外試験法の2通りの方法が行われている。このうち、野外試験法は経験的な耐朽性と一致する結果を得るが、試験に長期間かかるという欠点がある。ここでは我が国のJIS Z 2119に規定された耐朽性試験法²⁾に準じた室内試験法を実施した。この方法は比較的短期間に耐朽性が数値として得られ、異なる樹種間の耐朽性比較が出来るという利点を持つ。

図1-2 T. palustrisによる腐朽



実験結果を図1-2～1-4に示す。この種の室内試験においては供試菌の活力が問題となる。この菌類の活力について、木材耐朽性試験法と密接に関係する木材防腐剤の性能試験法⁴⁾ではオオウズラタケに対してスギ辺材に30%以上の質量減少を生じ、カワラタケに対して15%以上の質量減少を生ぜねばならないことが規定されている。この規定によると、本実験で用いたオオウズラタケとカワラタケはともに幾分の活力不足といえるが、オオウズラタケではほぼ30%に近い質量減少を生じていること、カワラタケで旧JIS規格⁵⁾規定の10%を

越えていることから、試験はほぼ正常な状態で行われたものと判断した。

褐色腐朽菌オオウズラタケに対して、各種供試材の心材はいずれも小さな質量減少率しか生ぜず、耐朽性は概ね大きいと判断されよう。特に、ヒノキ材とチーク材の耐朽性が高く、ベイマツの心材がこれに続く。水槽用に利用を想定しているスギ心材は、ベイマツ心材より幾分腐朽し易いという結果を得たが、実験結果の変動を考慮すると、スギ心材における標準偏差 σ_0 は2.87、ベイマツ心材の σ_0 は1.98であり、両者間に統計学的な差異は認められない。スギ心材に次いでではカラマツの心材の耐朽性が高く、アカマツ、エゾマツ、ベイツガの各心材は比較的耐朽性に乏しい。JIS Z 2119では試験片の耐朽性をブナ辺材に対する各試験片の耐朽比で表す。結果及び算出法を表1-3に示す。この耐朽比によっても同様な結果が得られる。比較的耐朽性に乏しいエゾマツやベイツガの心材でもブナ辺材よりは耐朽性に富むことが分かる。

表1-3 オオウズラタケ腐朽に対する耐朽比

耐朽比 = (1-A)/(1-B)	スギ辺材	1.00	スギ心材	1.32
	ベイマツ心材	1.35	ヒノキ心材	1.37
A: 試験片の質量減少	ベイツガ心材	1.14	アカマツ心材	1.26
B: ブナ辺材の質量減少	エゾマツ心材	1.10	カラマツ心材	1.29
	チーク材	1.39	ブナ辺材	1.00

白色腐朽菌カワラタケの場合、オオウズラタケに比べ、ブナ辺材に対する他は全樹種で低い質量減少しか生じない。これは針葉樹材では白色腐朽され難いことを意味するものである。後述の通り、木製水槽外表面に生ずる腐朽様式は主に褐色腐朽であったこと、水槽用木材には針葉樹材が使用されることを考慮すると、白色腐朽による水槽の被害発生の可能性は相当に小さいものと判断出来よう。

図1-3 C. versicolorによる腐朽

(単位：%)

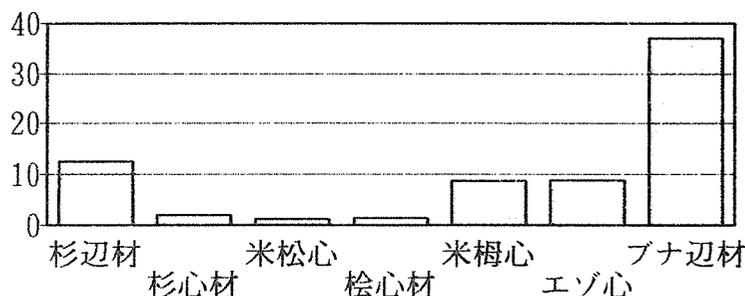


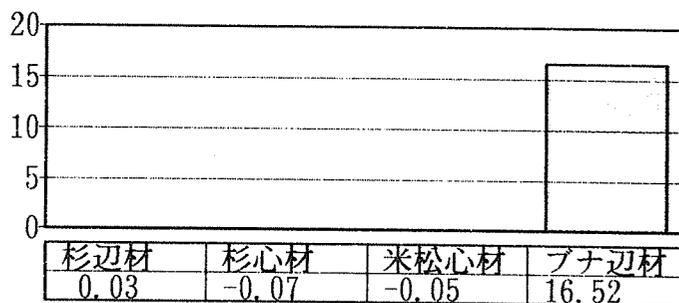
表1-4 カワラタケ腐朽に対する耐朽比

スギ辺材	1.39	スギ心材	1.56
ベイマツ心材	1.57	ヒノキ心材	1.57
ベイツガ心材	1.45	エゾマツ心材	1.45
ブナ辺材	1.00		

軟腐朽とは、木材腐朽が担子菌類（一般にキノコと称する）により生ずるのに対して、子のう菌類や不完全菌類（微小菌類）により生じ、地際部や高含有水率状態の木材表面を軟化する腐朽様式である。軟腐朽菌の菌糸は木材細胞壁中に直接侵入し、菌体周囲を分解し、空洞化する。この空洞は両端が尖った円筒状の独特な形状を持ち、軟腐朽空洞（Soft rot cavity）と呼ばれる。本実験で用いた軟腐朽菌 *C. globosum* の場合、白色腐朽菌に比しても更に針葉樹材分解力に乏しい。これは、*C. globosum* による腐朽速度が遅いことを意味している。従って、各供試針葉樹材の対軟腐朽耐朽性は極めて高いと判断されるが、木材が実際に使われている場では別種類の軟腐朽菌が関与することも考えられること、および実際に水槽内部で軟腐朽が生ずることを考慮すると、軟腐朽は褐色腐朽とともに無視出来ないといえよう。

図1-4 *C. globosum*による腐朽

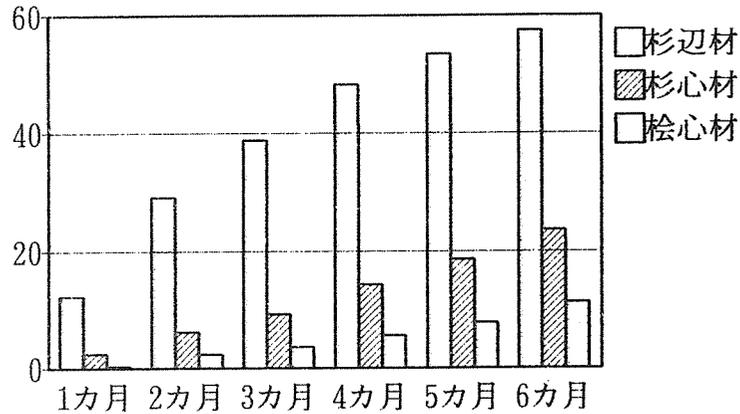
(単位：%)



耐朽性を問題にする場合、腐朽が進行する様子について知ることが重要である。例えば、腐朽し難いが、一度腐朽すると迅速に腐朽が進行する様な材料では、使用に耐えないであろう。また、腐朽開始の時期は他樹種に比べて早い、腐朽速度が極めて遅いならば十分に使用に耐えるであろう。前述の耐朽性試験1は腐朽期間2カ月の結果を示すものである。腐朽期間が延びた場合はどうなるのであろうか、疑問の余地がある。そこで、スギ材の腐朽進行の様子をヒノキ心材とともに調べて見た。実験結果を図1-5に示す。現在実験は継続中であるが、6カ月間の腐朽進行経過をみると、腐朽開始以降特に腐朽速度を加速度的に増加させることはなかった。

図1-5 褐色腐朽の進行

(単位：%)



(2) 耐朽性試験 2

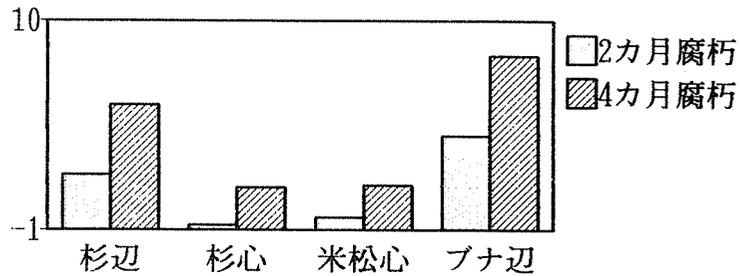
JIS Z 2119 による耐朽性試験法は、前述の様に利点もあるが、経験的に得られた知識と一致しない場合もあるという欠点もある。これは、木材が実際に使用される複雑な環境を室内試験で再現出来ない事による。この点では、野外試験法、例えば木材杭を地中に半分ほど埋め込み、定期的に取り出して劣化の程度を観察する方法が優れている。しかし、この方法の実施には極めて長い年月が必要となる。そこで、室内試験と野外試験の中間的なものとして腐朽槽試験が行われるようになって来ている。これは、温度や湿度を管理しながら腐朽槽に無殺菌土壌を入れ、そこに木材の小試験体を設置する方法である。ここでは、この腐朽槽試験をさらに小規模にして実験を行った。

なお、土壌表層部での主要な腐朽様式は軟腐朽であることから、この実験においては耐朽性試験1で極めて不十分な結果しか得られなかった軟腐朽に対する結果が得られるものと期待される。

結果は図1-6 に示す通りである。実験期間が4か月と十分でないこともあり、耐朽性試験1で得た質量減少よりも相当に小さい質量減少が得られた。しかし、傾向としては耐朽性試験1とほぼ同様に、ブナ辺材が最も腐り易く、スギ辺材がこれに続く。スギとベイマツの心材は小さな質量減少しか生ぜず、ともにほぼ同程度の耐朽性を持つと判断出来る。

図1-6 土壌埋め込み試験

(単位：%)



なお、ブナ辺材の木繊維壁とスギ辺材の仮道管壁中には軟腐朽空洞の形成が見られた。従って、この腐朽槽試験では担子菌類による木材腐朽ではなく、軟腐朽が劣化の主因子であると考えられよう。現在腐朽期間を延長して実験を継続中である。

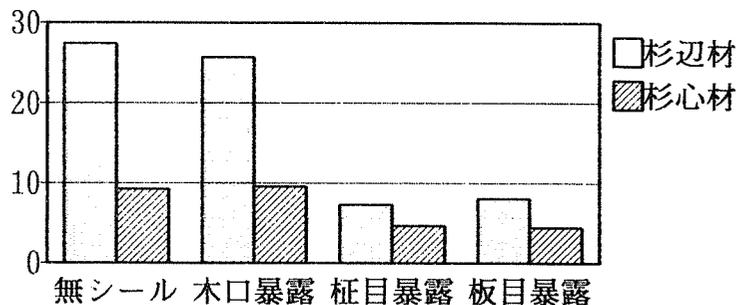
以上の耐朽性試験1と2より、スギの心材には現在木製水槽材料として多く使用されているベイマツ心材とほぼ同様の耐朽性が期待出来ると言える。

(3) 木材の方向と腐朽の進行

実験結果を図1-7に示す。無シールでは腐朽菌は木材の全表面から侵入・攻撃出来るが、木口暴露では木口面からのみ、また柁目暴露では柁目面からのみ、板目暴露では板目面からのみ菌類が侵入する。実験結果より、柁目や板目暴露では木口暴露に比べ、腐朽の進行が遅いと言える。これは、木口暴露と無シール間に差がないこととともに、腐朽が主に木口から繊維方向へ進行することを意味する。接線や半径方向への腐朽の進行は繊維方向への進行に比べてかなり遅い。以上の実験結果は松岡⁶⁾によるものと一致する。

図1-7 木材の方向と腐朽の進行

(単位：%)



(4) カビ抵抗性

カビ汚染は木材の腐朽と直接関係しないが、一般にカビ汚染材は腐朽され易くなっている。従って、腐朽に至る前段階としてカビ汚染は重要な意味を持っている。カビ汚染に関する実験結果の一例を図1-8に示す。また、カビの生育状況を、0；試験体にカビの生育が全く認められない、1；試験体の側面のみにかビの生育が認められる、2；試験体の上面の面積1/3以下にかビの生育が認められる、3；試験体の上面の面積1/3以上にカビの生育が認められる、の4段階に区分し、各試験体の平均値を求めると表1-6が得られる。木材中に存在する澱粉や可溶性の糖類、アミノ酸、脂質等は腐朽菌以外の菌類によっても良好な栄養源として利用される。これらの成分は辺材、特に柔細胞に多く含まれる。テルペノイド、タンニン等の抽出成分は菌類にとって毒物として作用する。これらの成分は心材に多く含まれている。従って、一般に針葉樹は広葉樹よりもカビに汚染され難く、心材は辺材よりカビに汚染され難い。本結果もブナ辺材上ではカビの生育は旺盛であるが、スギやベイマツの心材ではあまりカビが生育しないことを示した。スギやベイマツの心材は比較的カビに汚染され難いと言える。

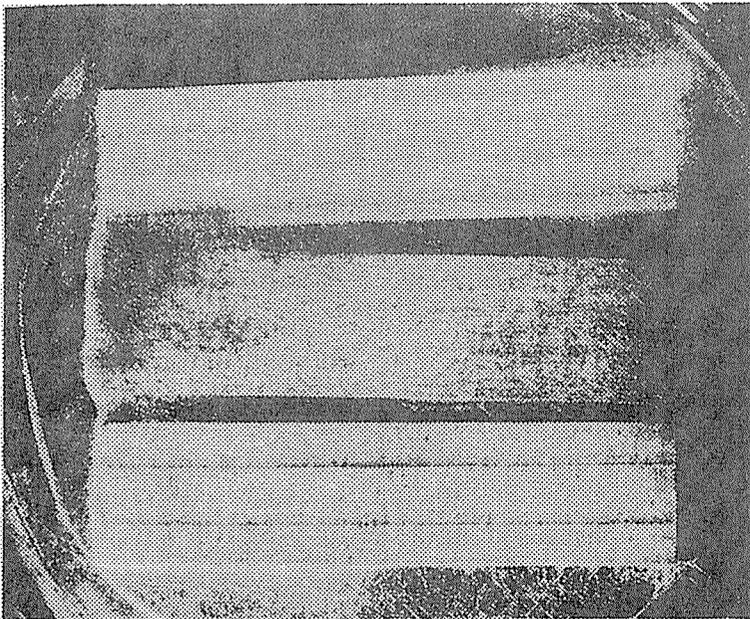


図1-8 カビ抵抗性試験の様子

表1-6 カビ汚染に対する抵抗性

スギ辺材	2.1
スギ心材	1.4
ベイマツ心材	1.6
ブナ辺材	3.0

数値の説明は本文参照

(5) 水槽用木材の耐朽性予測

耐朽性の室内実験結果と野外試験結果(野外試験によると実際の耐朽性に近い結果が得られるとされている。)を関連付けた研究はそう多くないが、松岡と雨宮⁷⁾は室内実験でのオオウズラタケに関する結果を基に、次式を報告している。

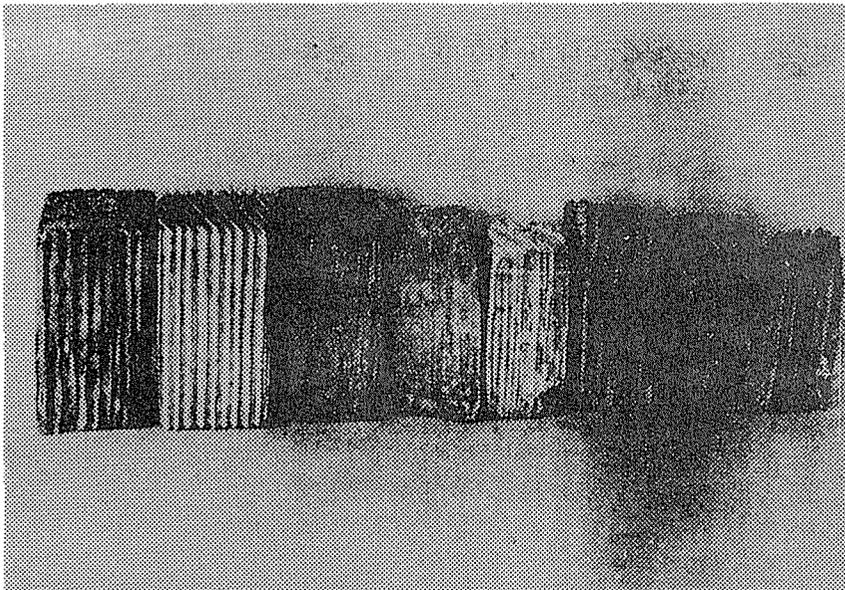
$$Y = 5.57 - 0.09X \quad Y: \text{耐用年数}, X: \text{質量減少率}$$

この式より耐用年数を求めてみると、スギ心材については5.0年となる。無論この推定耐用年数にはかなりの不確かさが伴うことは避けられないが、野外試験は3×3×60cmの試験片で行うこと、および水槽用にはそれよりかなり厚い大きな材を使用することから、水槽用スギ心材の場合、褐色腐朽に対してはこの推定耐用年数よりも相当に長い耐用年数が期待出来よう。

なお、中村は⁸⁾同様に、 $Y = A / (X + B) + C$ 、 Y :耐用年数、 X :質量減少率、 $A = 7 \sim 9$ 、 $B = -1 \sim 1$ 、 $C = 1.5 \sim 2$ なる式を報告している。これによると前期の松岡式より求めたのより幾分小さな耐用年数が得られる。

水槽用木材における褐色腐朽以外の腐朽様式は軟腐朽である。この軟腐朽と耐用年数を関係付けた報告はほとんどない。そこで以前に水冷却塔内に放置したベイマツ辺材における軟腐朽の進行速度⁹⁾からスギ心材での軟腐朽の進行を推定して見る。

ほぼ10年間に渡る劣化状況を図1-9に示す。



左から右へ3.5~9.5年
経過したベイマツ材

図1-9 軟腐朽10年間の経過

放置3~4年で被害が顕著になり、早材部分の劣化が晩材部分のより速いため、柁目面の外観は鋸歯状にギザギザとなる。木材試験片の寸法について、10年間の劣化経過を見ると、繊維方向では凡そ0.8mm/年、接線及び半径方向では0.6mm/年の速度で小さくなって行く。想定される水槽と冷却塔では条件が異なるので、即断出来ないが、これらの結果は腐朽し易いベイマツ辺材を用いて得たものであることとともに、耐朽性試験2の結果を合わせ考えると、比較的厚いスギ心材で水槽を作るならば、対軟腐朽という観点からは相当に長期間の使用に耐えうるものと考えられる。

1. 4 まとめ

ここで実施した実験結果によると、国産のスギ心材を水槽用に利用する場合、現在比較的良く用いられている輸入材ベイマツ心材によるものとほぼ同程度の耐用年数は十分に期待出来る。

木材腐朽について重要な因子は、水分、温度、空気、栄養である。この中で温度と空気は人為的に制御出来ない。また菌類の栄養となる木材を非栄養化するには薬剤処理や化学修飾等の方法がある。しかし、飲料水用にこれらの処理を施すことは現状では不可能である。従って、水槽を長く使用する基本事項は木材を濡らさないことである。この場合、水槽内部では、常に水が存在するのであるから、担子菌による木材腐朽は起こり難い。そこで水槽外部を常に乾燥するような状態に保つ様に工夫する、例えば建物屋上の様な環境下では風雨に晒されない様にする、また屋内ならば換気に注意をはらう、等が重要であろう。

なお、将来的には腐朽され易い水槽の外部表面や内部面により耐朽性の大きいヒノキ心材を使用した集成材などの利用も国産材の利用という立場からは検討されて良い事であろう。

2. 腐朽等実態調査

2. 1 目的

本年は、前年度に引き続き木製水槽使用状況の現状把握を目的として、実際に使用されている水槽の調査を行った。また、水槽劣化の原因を調べるために、水槽より木材片を採取し、実験室に持ち帰り、木材細胞壁に生じた劣化様式を調べた。

2. 2 調査とその方法

調査日時と調査箇所は、次のとおりである。

①調査日時：平成3年11月21日(木)14時～16時

調査箇所：日本大学付属第三高等学校高置水槽

および地下貯水槽

所在場所：東京都町田市図師町11-2375

②調査日時：平成3年11月28日(木)10時～12時

調査箇所：農林水産省食品総合研究所受水槽

所在場所：つくば市観音台2-1-2

また、調査は目視による観察にて行うとともに、劣化原因を明らかにするために、劣化箇所の各種木材要素(細胞)を詳細に調べた。劣化箇所より図1-10に示す様なツマヨウジの先端数mm程度の大きさの木片を採取し、これを無水酢酸と過酸化水素の等量混合液より調製した過酢酸10ml 中に入れ、約70℃下に30分間ほど煮沸処理し解繊した。得られた木材細胞を水洗し、次いで水溶液ごとスライドガラス上に滴下し、各種光学顕微鏡にて観察を行った。

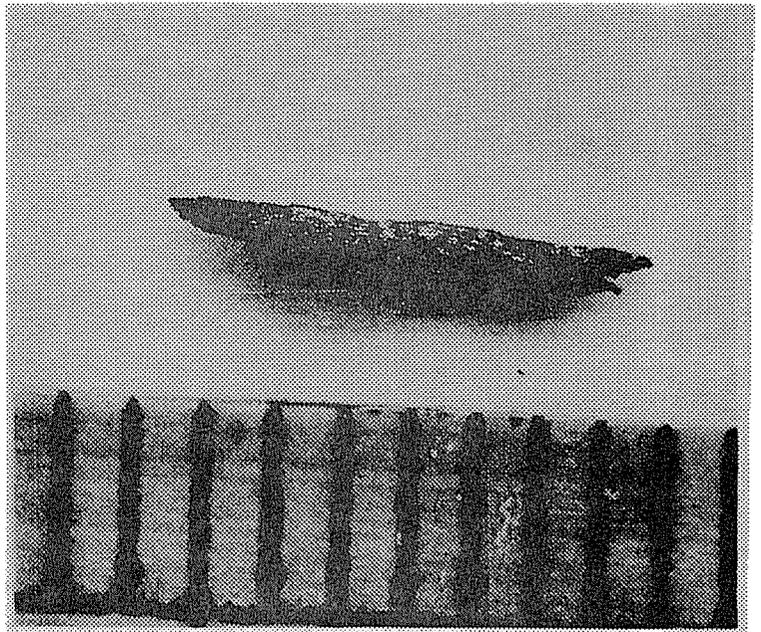


図1-10 採取試料の一例

目盛りは1mm

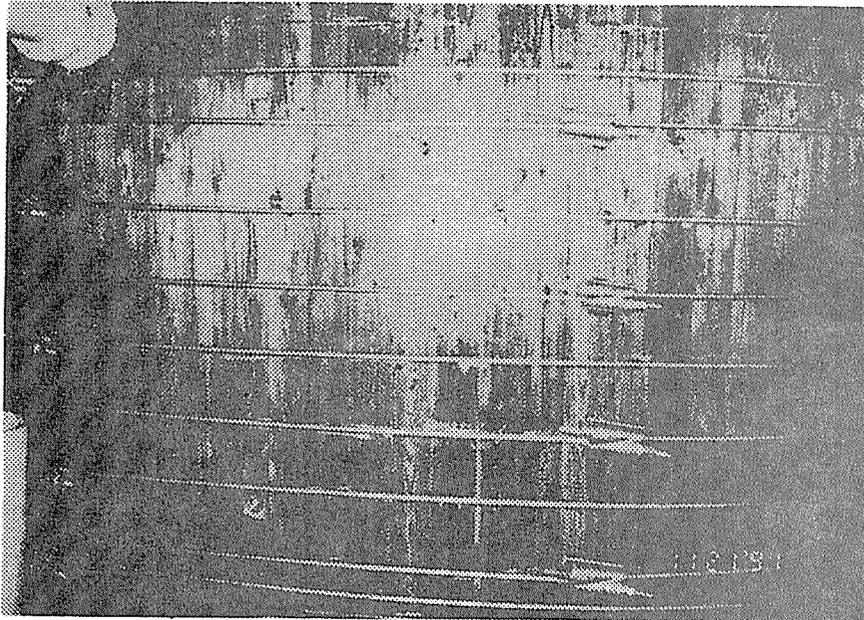
2. 3 結果と考察

(1) 日本大学付属第三高等学校(日大三高)地下受水槽

1) 目視による観察

水槽の外観は図1-11に示すように、所々に黒色のシミが存在する。この部分は指の爪で

押してみると、シミの無い健全な部分と大差ない堅さや弾力性を持っており、肉眼的・触覚的には腐朽の徴候が認められない。この黒変は、ベイマツ製の水槽では良く発生するものである。1992年2月11日の藤井製桶所(大阪、堺市)での聞き取り調査によると、経験的にベイマツ材とタガ締め用鉄材に加えて水が関与すると発生するということがあった。おそらく黒変は、ベイマツの樹脂分を主とする抽出成分の酸化重合反応により生ずるものと思われるが、黒変するだけでは腐朽に至らない。しかし、水が関与することや酸化重合による抽出成分の無毒化を考えると、黒変部は黒変しない部分より腐朽され易くなっていることが考えられる。樹脂含有量の多少から判断すると、スギ心材の方がベイマツ心材よりも黒変し難いものと考えられる。



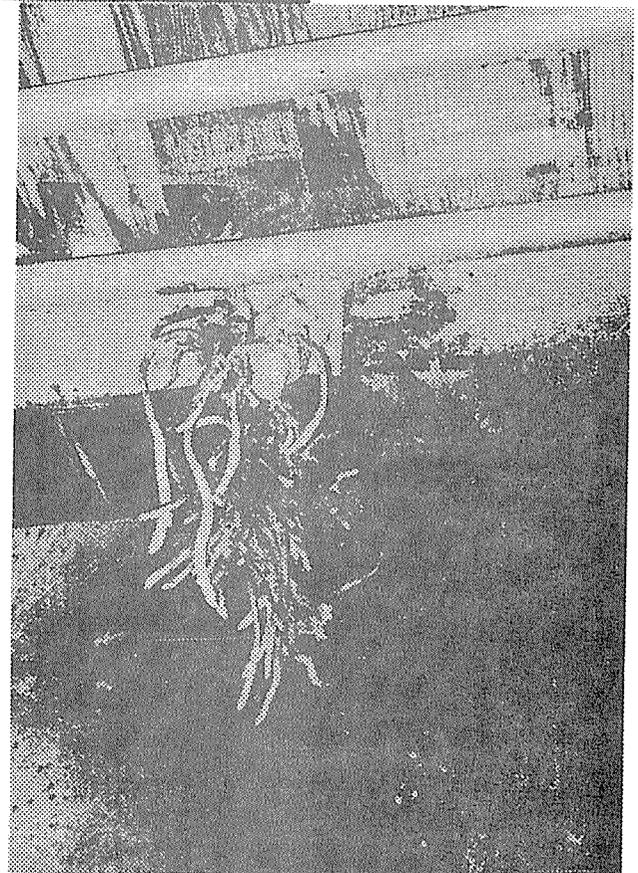
も黒変し難いものと考えられる。

図1-11 日大三高
地下貯水槽
設置年度 昭和50年度
使用樹種 ベイヒバ
貯水量 公称 137m³

水槽下端の木口面では一部に明らかに脆くなった部分が存在し、腐朽の徴候が認められた。また、図1-12に示す様に、ナギナタタケの仲間と考えられる子実体(キノコ)が発生していた。

水槽内部の様子は図1-13に示す通りであり、喫水線付近には木材の黒変が観察された。この部分の黒変は点在でなくほぼ全面に生じており、前述の水槽外部に生じたものと異なっていた。また、触診すると幾分柔らかくなっていた。

図1-12 水槽下部に発生した
ナギナタタケ様子実体



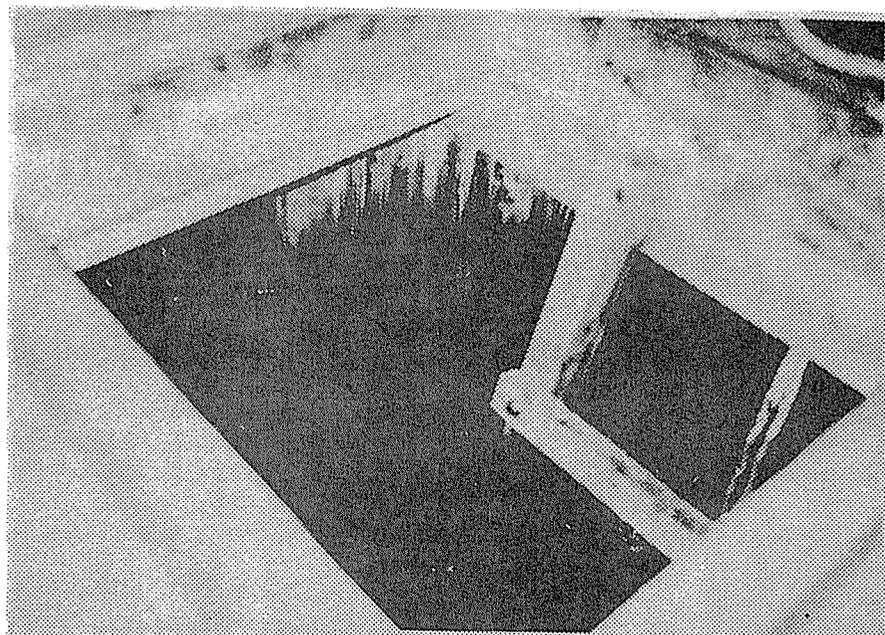


図1-13 水槽内部の様子

2) 顕微鏡による観察

健全部分、黒変部分、下端の脆くなった部分、ナギナタタケ様子実体発生直下の部分、水槽内部梯子の喫水線部分の5箇所より採取した木片を個々の細胞要素へと解離し、それらの細胞壁上に生じた変化を調べた。

健全部分の仮道管壁上には図1-14に示すとおり、分解跡や菌糸の存在など、腐朽の徴候が認められなかった。黒変部分より採取した試料においても図1-15に示すとおり、健全部分同様に腐朽の徴候が認められなかった。

一方、水槽下端の脆くなった部分では図1-16に示すとおり、断片化した仮道管が多数存在し、これらに取り付く様に菌糸の存在が認められた。これは明らかに腐朽の存在を示すものである。また、ナギナタタケ様子実体発生直下でも図1-17に示す様に断片化した仮道管と菌糸の存在が認められる。

一般に担子菌類による木材腐朽は、白色腐朽と褐色腐朽に2大別され、それぞれに特徴的な木材分解様式を示す。本実験におけるごとく木材細胞をバラバラにして調べると、褐色腐朽では腐朽が進むと細胞形態を留めない断片が数多く観察される様になり、白色腐朽では細胞壁上に点々と空洞が生ずる。¹⁰⁾ 従って、本水槽の外表面に生じた腐朽は褐色腐朽であると判断出来よう。

水槽内部の梯子の喫水線付近では上記と別の腐朽様式が見られた。図1-18に示す様に、仮道管壁上にセルロースミクロフィブリルの配列方向に添う空洞の存在が認められる。この空洞はクロスニコル下で、健全な細胞壁が明るく輝いて見えるのに比して、先端が尖った暗い空洞として観察される。これは典型的な軟腐朽空洞であり、原因となる菌類は木材腐朽とは異なり、子のう菌類や不完全菌類である。

図1-14日大三高地下貯水槽の健全部分より採取した木材細胞壁

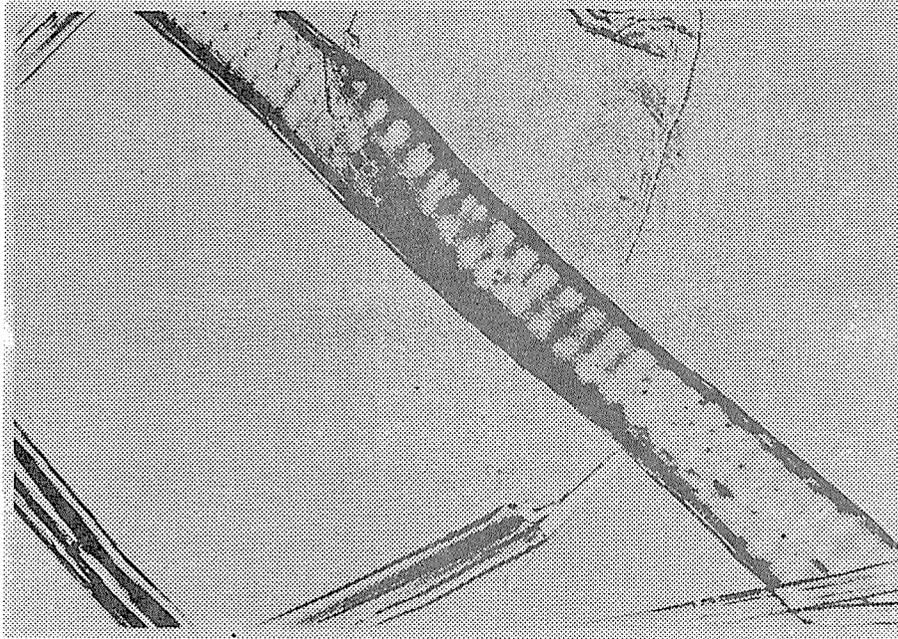
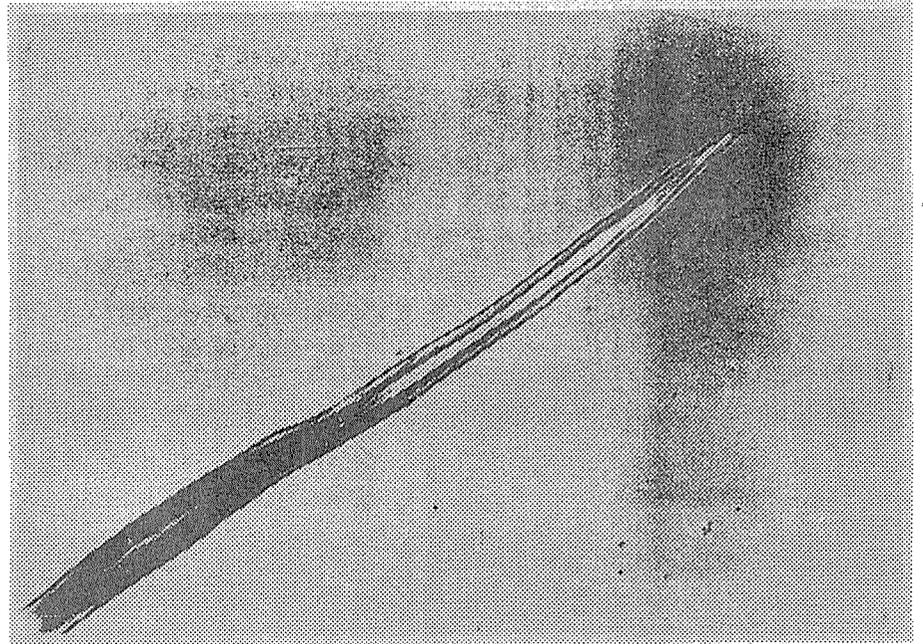
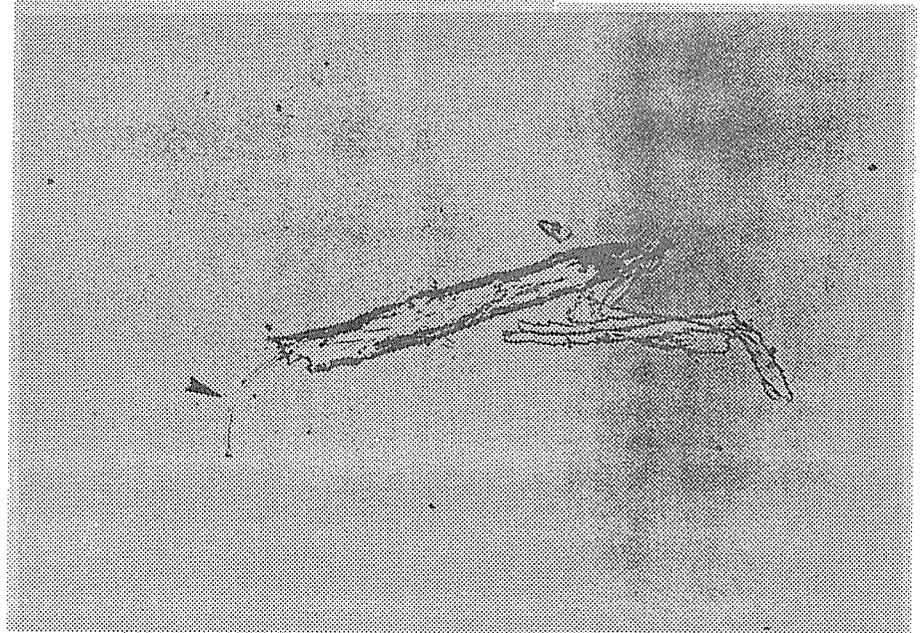


図1-15日大三高地下貯水槽の黒変部分より採取した木材細胞壁

図1-16日大三高地下貯水槽の劣化部分より採取した木材細胞壁
矢印：菌糸



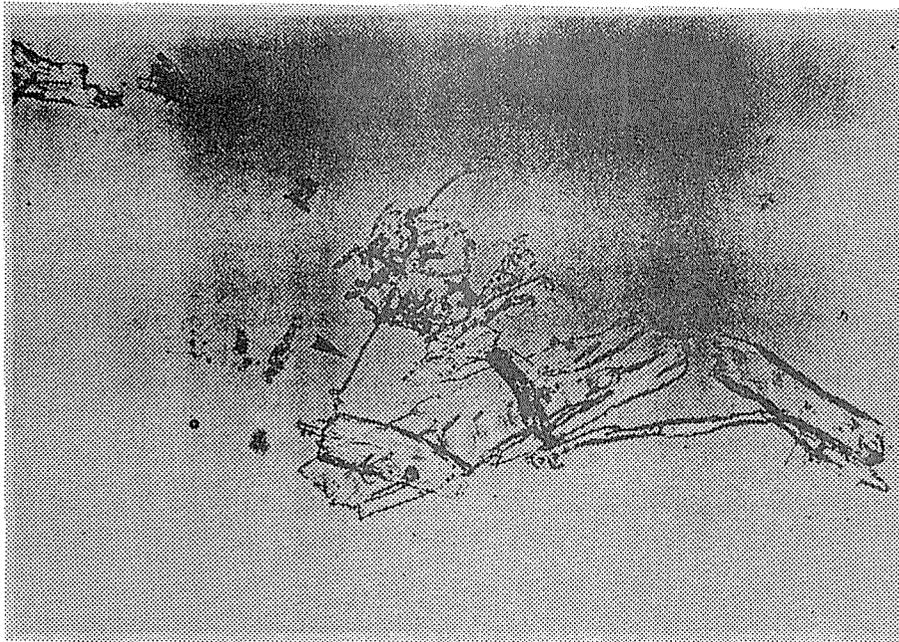


図1-17日大三高地下貯水槽のナギナタタケ様子実体発生直下の部分より採取した木材細胞壁

矢印：菌糸

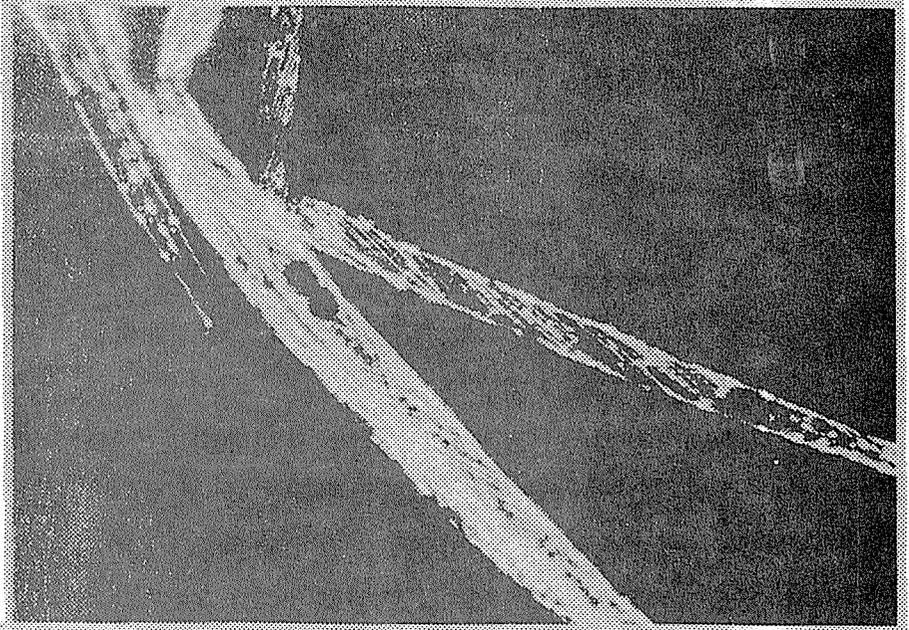


図1-18日大三高地下貯水槽内部の梯子の喫水線部分より採取した木材細胞壁

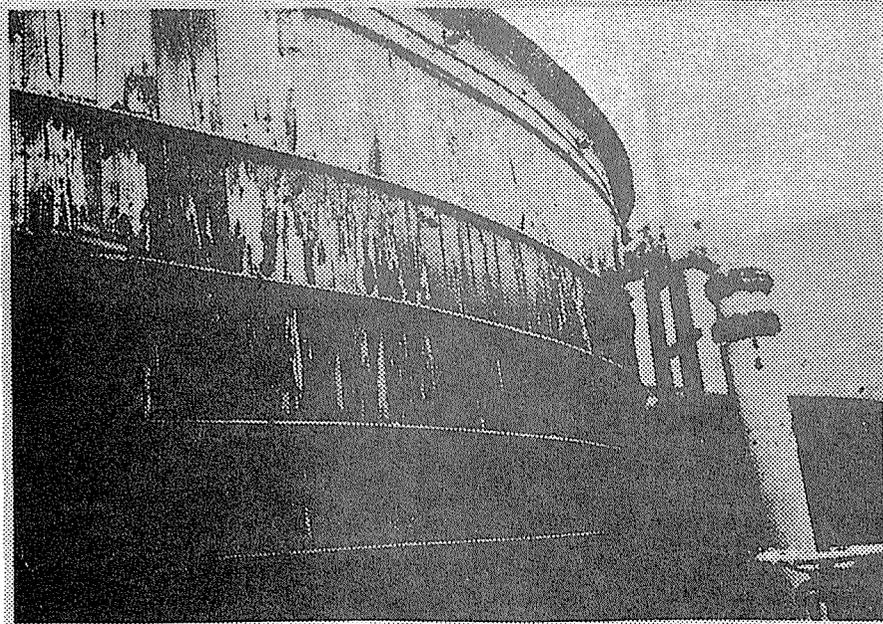


図1-19 日大三高
高置水槽
設置年度 昭和50年度
使用樹種 ベイヒバ
貯水量 公称 25m³

(2) 日大三高高置水槽

水槽の外観を図1-19に示す。この水槽は外側を緑色に塗装されている。塗装は所々はがれており、表面には褐色に脆弱化した部分や風化による部分的落ち込み、亀裂の存在が認められる。

健全な部分より採取した木片中の仮道管壁⁷上には腐朽の徴候は見られない。しかし、褐色に脆弱化した部分では図1-20に示す様に、断片化した仮道管と菌糸の存在が認められ、明らかに褐色腐朽が生じていると判断できる。

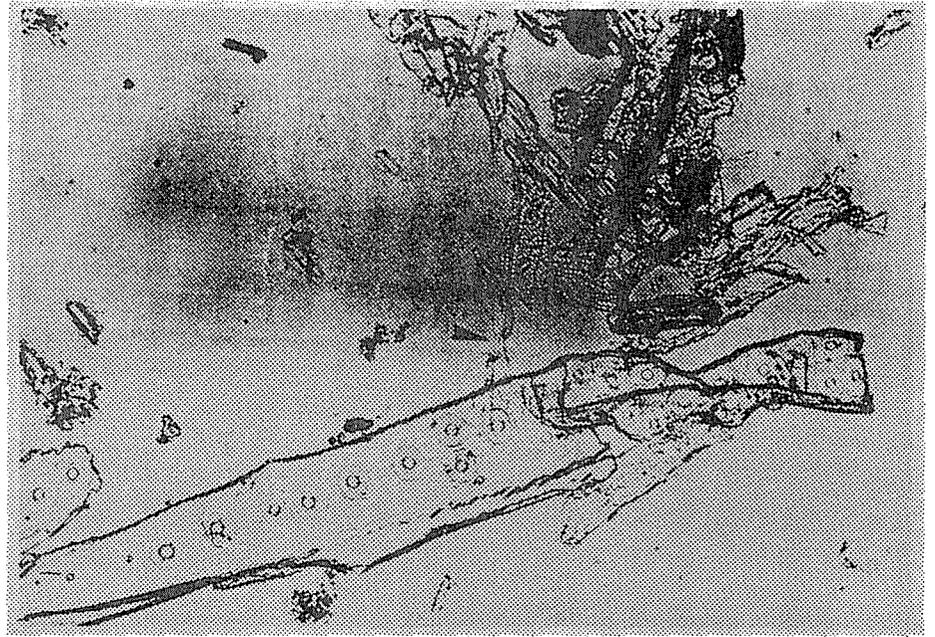


図1-20 高置水槽の劣化部分より採取した
木材細胞壁、 矢印:菌糸

(3) 農林水産省食品総合研究所

この水槽は、過去に上蓋と側板の合わせ目部分での劣化が激しく、小鳥が出入りしていた様な状況から1986年度に修繕をした経過を持つ。現在、図1-21に示すとおり外部は灰色の塗装が施されており、所々黒色および黒褐色のシミが生じている。指の爪をたてて劣化の程度を調べて見ると、一部の変色域に明らかな劣化が認められる。この部分より採取した試料には図1-22の様に褐色腐朽の存在が認められる。また、水槽内部より採取した試料には図1-23の様に軟腐朽の存在が認められる。

図1-21 農林水産省
食品総合研究所貯水槽
設置年度 昭和52年度
使用樹種 カラマツ
貯水量 公称 82m³

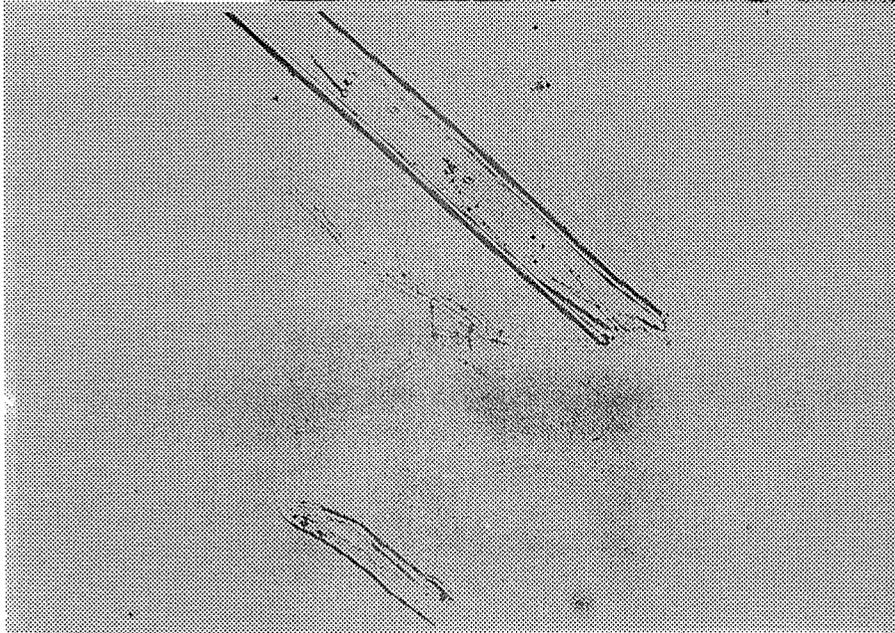
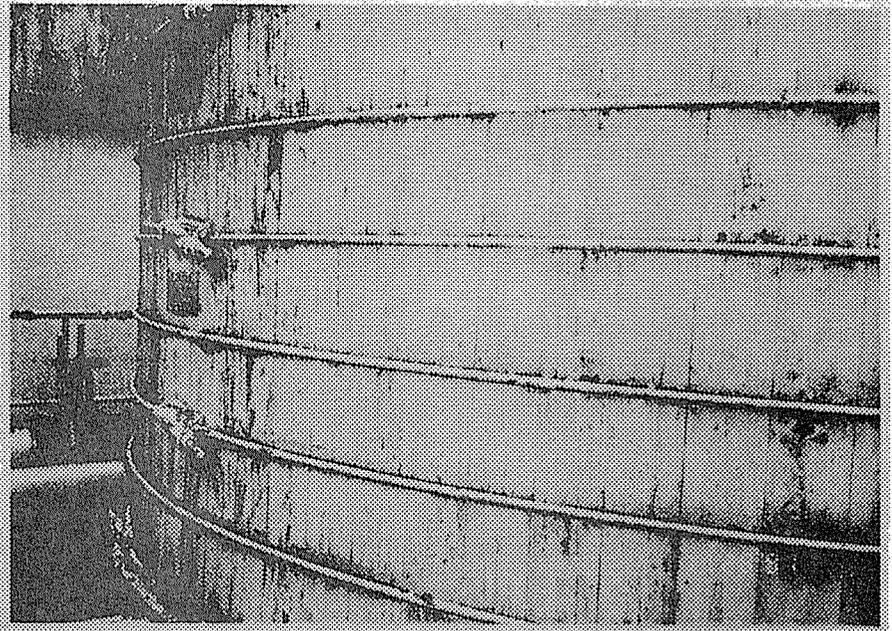
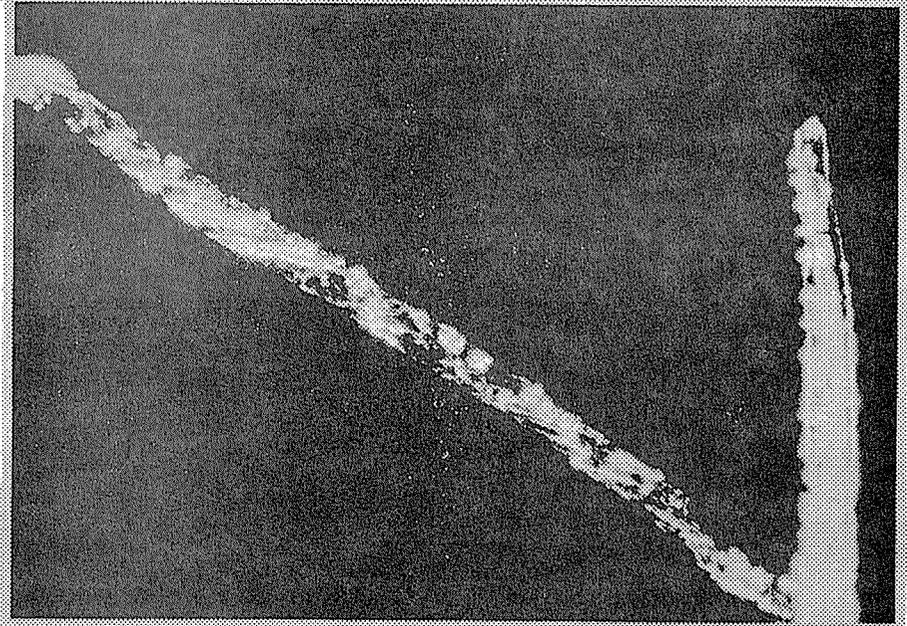


図1-22 農林水産省食
料総合研究所貯水槽
の劣化部分より採取
した木材細胞壁

図1-23 農林水産省食
料総合研究所貯水槽
の内部より採取し
た木材細胞壁



2.4 まとめ

2箇所3水槽の劣化状況を調査して、水槽の外側の木材では褐色腐朽が生じ、水槽内部材の喫水線付近では軟腐朽が生ずることが明らかとなった。

文献

- 1) 日本住宅・木材技術センター：木造化推進標準設計施工マニュアル作成等事業報告書(2), 『建造物適用技術推進』, p.1(1991.3)
- 2) JIS Z 2119-1963
- 3) JIS Z 2911-1957
- 4) JIS A 9201-1990
- 5) JIS A 9302-1966
- 6) 松岡昭四郎：林試研報, 188, 175-183 (1966)
- 7) 松岡昭四郎, 雨宮昭二：木材工業 28 108-111(1973)
- 8) 中村嘉明：日本木材保存協会第6回年次大会講演要旨集 p.21-26 (1990.5)
- 9) 福田清春, 原口隆英：日本木材加工技術協会第2回年次大会講演要旨集 p.15-16 (1990.5)
- 10) 福田清春, 原口隆英：木材工業 28 266-268 (1973)

第3章 木橋に関する性能実験

1. 木橋用高強度接合法の開発

1. 1 開発の目的

従来からのボルト等を用いた機械的接合具による接合法では、初期剛性がやや低く、材料に割裂きを発生する危険性が大きかった。この点を改良すべく、接着剤を用いた木構造用の高強度接合法の開発を目指す。

1. 2 最終成果のイメージ

現段階で考えられる高強度接合のイメージを以下のイラストで説明する。

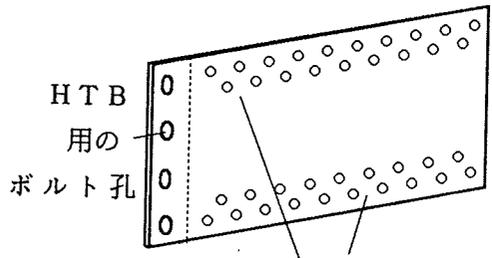


図1 孔明き鋼板ガセット板

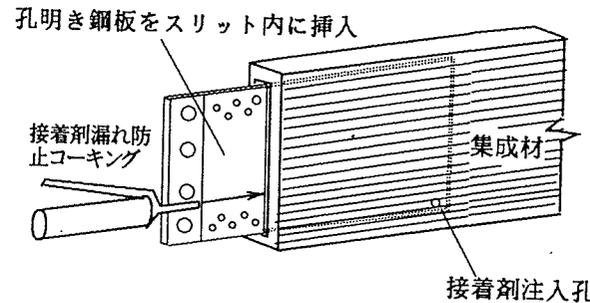


図2 特殊鋼板を集成材に挿入
(集成材側にはスリット加工)

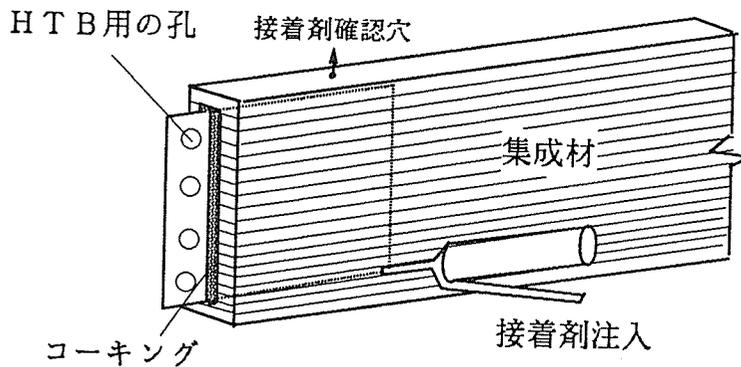


図3 グルーアプリケーターによる流し込み接着の概念

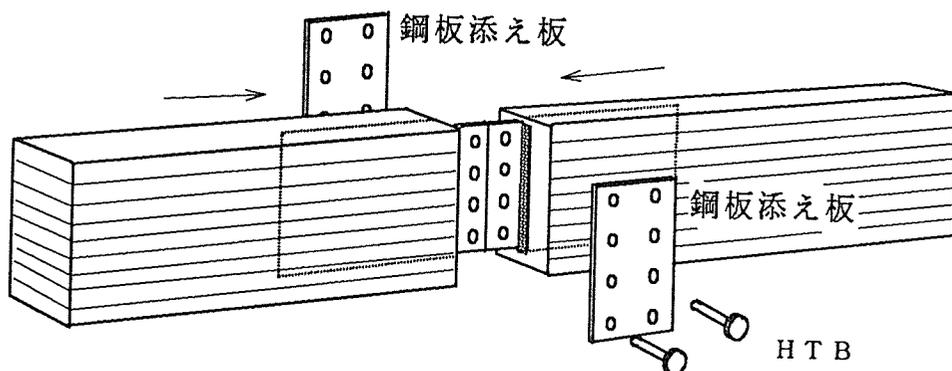
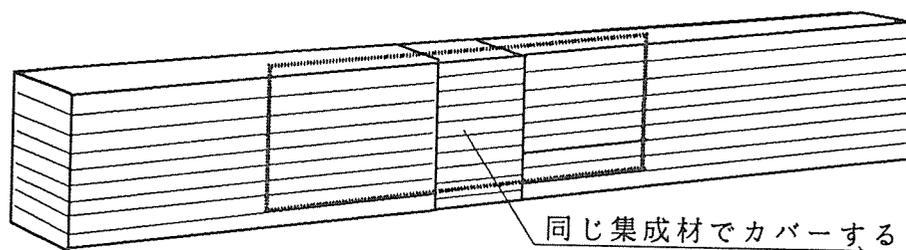


図4 ハイテンションボルト (HTB) を用いた施工現場での接合部の組立
(鉄骨工事と全く同じ要領でよい)



鋼板は内部に入っているので外部からは一切見えず、審美性、耐久性、耐火性に優れている。

図5 高強度接合部の完成

1. 3 小型試験体による試験方法の概要

1) 適正接着剤の選定

主剤、硬化剤、添加剤の配合比を変えて、ガラス状の硬い性質から、ゴム状の柔らかい性質まで、力学的性質を変化させた7種類のエポキシ樹脂接着剤を用いて、集成材と鋼板とを「流し込み接着法」により接合した。集成材としては、断面140×140mm、長さ350mmのエゾマツ・トドマツ混用集成材を、鋼板には、厚さ9mmのSS41黒皮付き鋼板を用いた。

強度試験では図6に示すL字型試験体を用い、接合部にねじりモーメントを与え、接着剤層のせん断応力-ひずみ関係を測定・評価した。

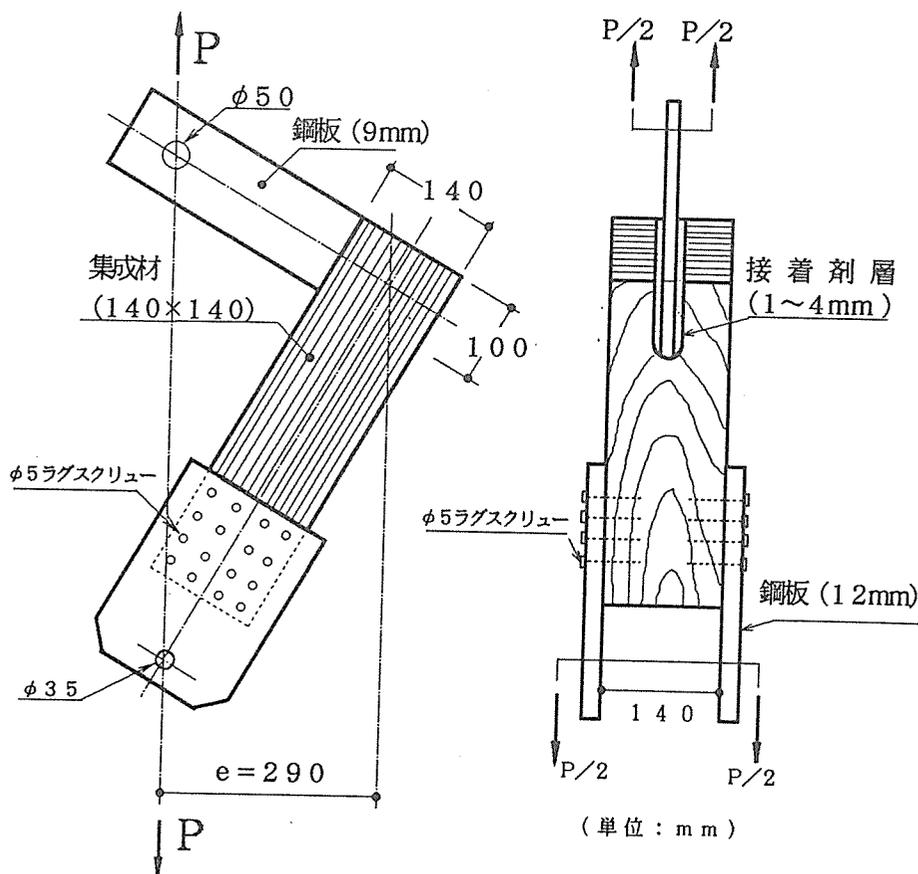


図6 適正接着剤の選定のための引張型ねじり試験

供試したエポキシ樹脂接着剤は、A～Gまで7種類で、接着剤-Aに近い程「ガラス状」で硬く、接着剤-Gに近い程「ゴム状」で柔らかく、可撓性（フレキシビリティ）に富む。接着剤層の厚さとしては、図6に示すように、鋼板の両側に $t = 1, 2, 3, 4$ mm の4水準の接着剤層を設定した。接着剤7種類 × 接着剤層の厚さ4水準 = 計28体の試験体を供試した。

表1に、「Warping（反り）」は起こらないとの仮定に基づいて算出した接着剤層の最大せん断応力度の破壊時の値 τ_{max} の平均値を示す。

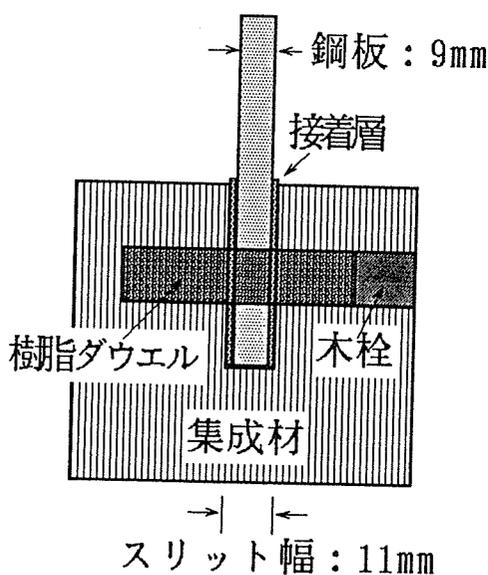
表1 適正接着剤選定試験結果

接着剤 硬い ←	A	B	C	D	E	F	G → やわらかい
τ_{max} (kgf/cm ²)	38	75	77	70	81	82	53

全体的にみると、最も硬い接着剤-Aは剛性は高いが脆性的で耐力が低い。又最も柔らかい（可撓性の大きい）接着剤-Gは剛性が低すぎて実用には不向きで、耐力も低すぎる。両極端A, Gの中間に位置する接着剤-C, E, Fあたりに実用の可能性が認められた。

2) 高強度・高靱性接合法の開発

既往の研究で、集成材-鋼板間の接着接合に最適と考えられるエポキシ樹脂接着剤の選定を終了した。今回は、さらに、「終局耐力」と「破壊までの変形能力」に優れた高強度接合部を開発することを目標に、接着剤を3次元的に流し込んで硬化した樹脂が投錨効果を発揮できるような接合法を開発することを試みた。



具体的には、図7に示すように、集成材に接着剤用の「樹脂孔」を設け、接着剤が硬化した段階で「樹脂ダウエル」が投錨効果を発揮してせん断力に抵抗できるような新しい概念の接合法を開発した。実験パラメータとしては、鋼板穿孔数（4水準）、樹脂孔の有無（2水準）、加力方向（2水準）、各繰り返し（4）を採り、合計56体の試験体を作成した。

接着耐力は図8の引張型のせん断強度試験によって評価した。被着体には、ヤング係数=130tf/cm²のカラマツ集成材、及び厚さ9mmのSS41鋼板（接着面はグラインダ-研磨）を用いた。接着剤は上記Eタイプエポキシ樹脂接着剤を用いた。

図7 樹脂ダウエルによる接合法

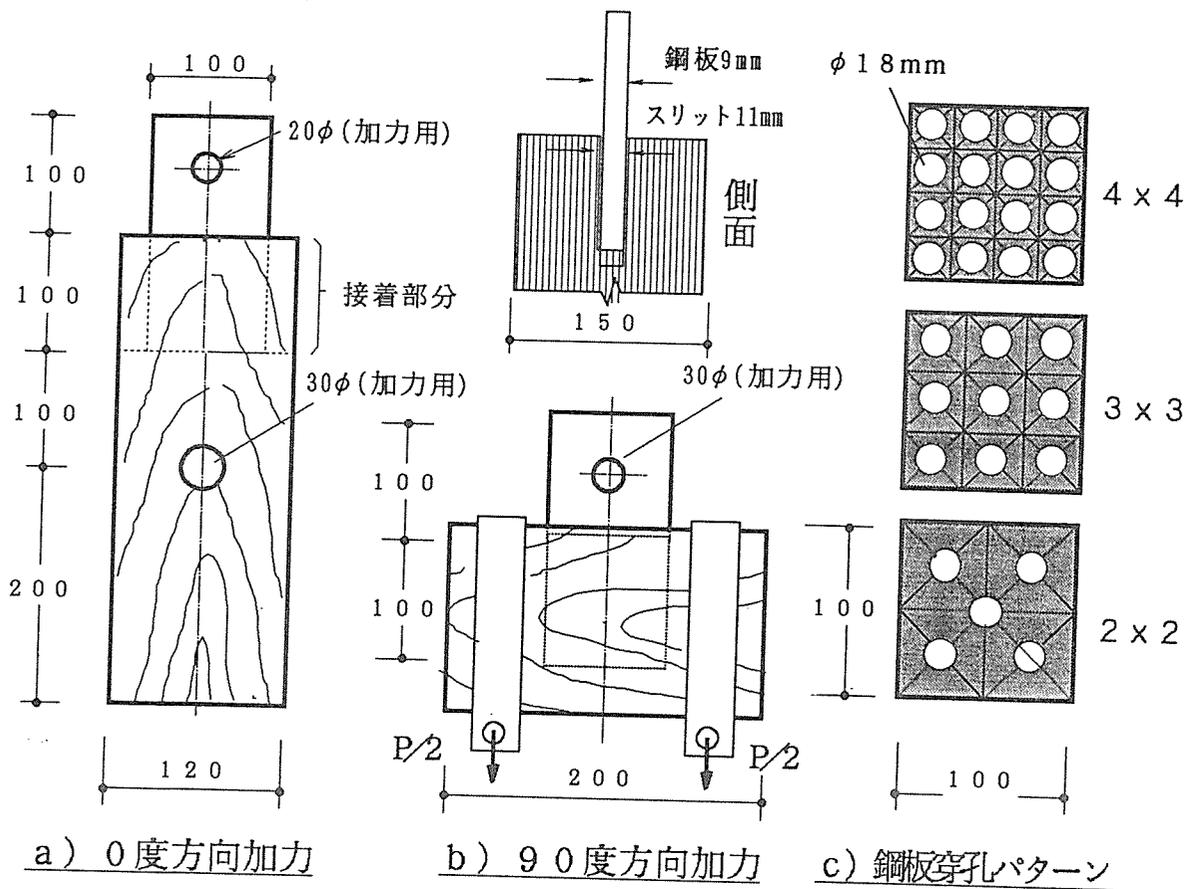


図8 集成材-鋼板接着強度試験体

1. 4 小型試験体による試験結果の概要

試験体の荷重 (P) - 相対変位 (Δ) 関係の代表例を図9-a)、b) に示す。

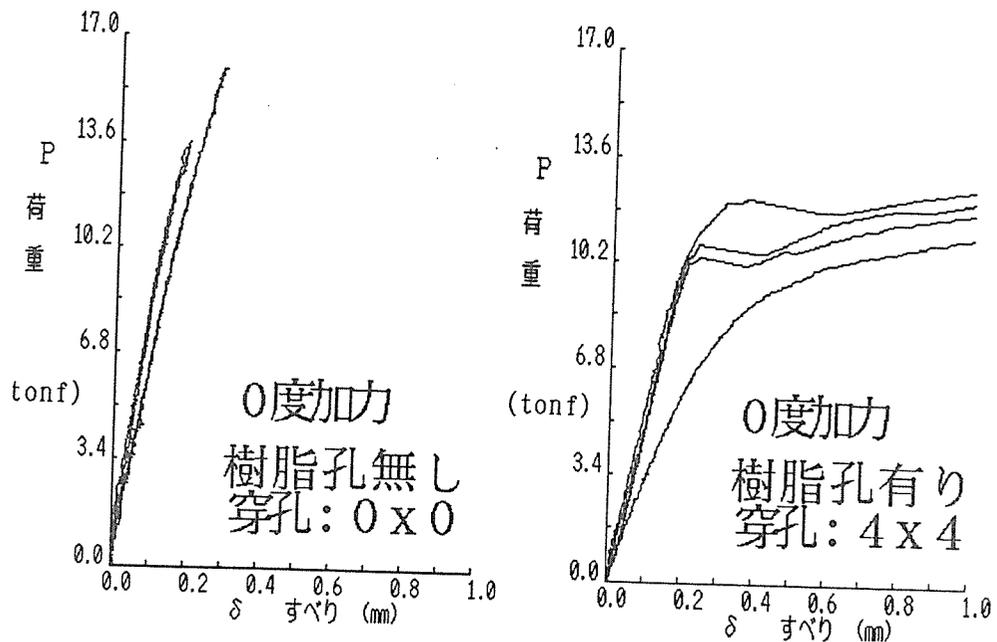


図9-a) 荷重 (P) - 相対変位 (Δ) 関係の代表例 (0° 加力の場合)

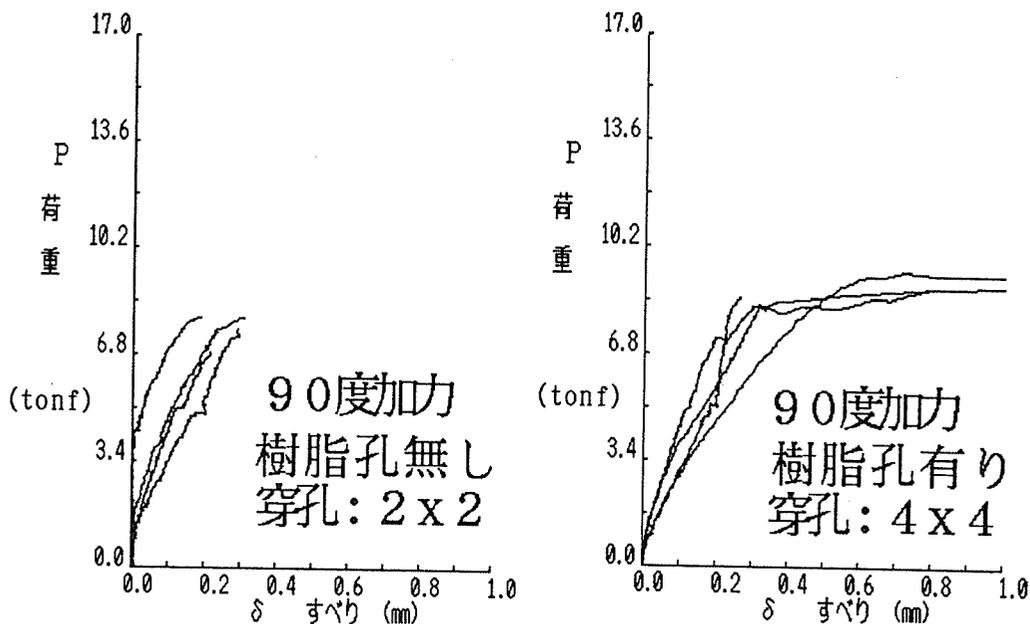


図9 - b) 荷重 (P) - 相対変位 (Δ) 関係の代表例 (90° 加力の場合)

最大引張荷重 P_{max} と開孔数の関係を図10に示す。

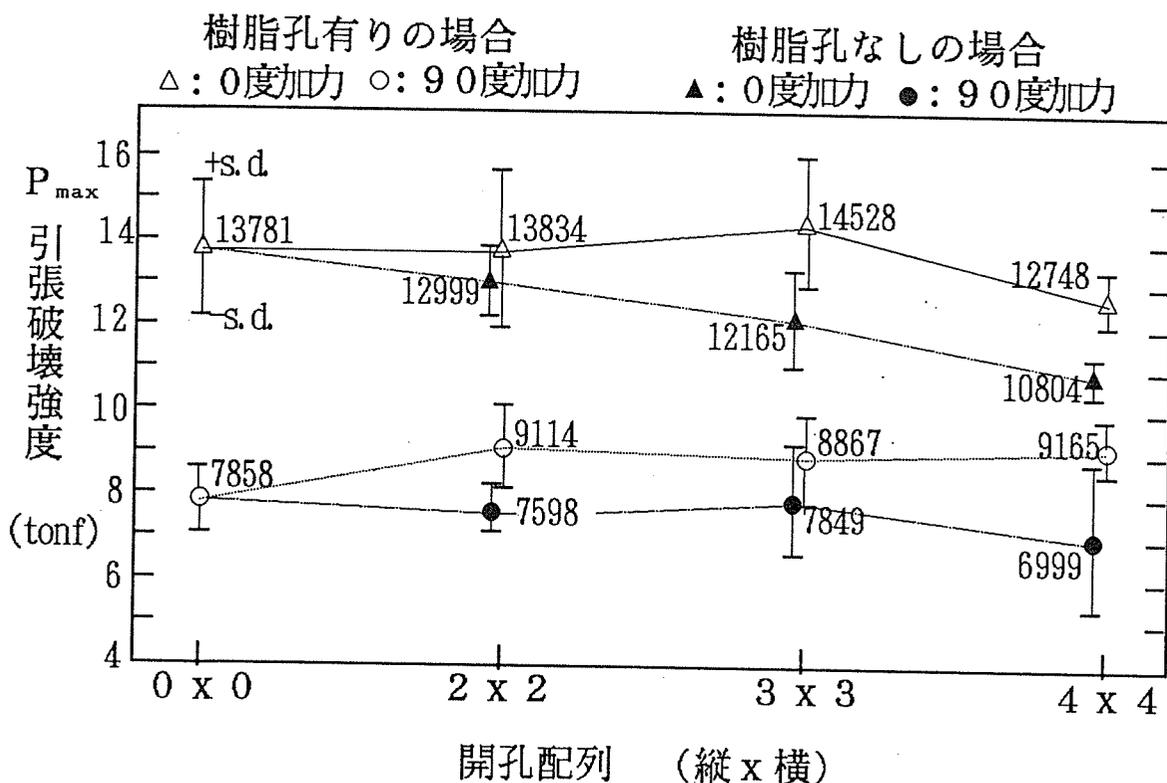


図10 P_{max} と穿孔数、樹脂ダウエル有無、加力方向の関係

図9から、樹脂ダウエルが存在する場合とそうでない場合とで、 $P - \Delta$ 関係が大きく異なることが分かる。図10から、樹脂ダウエルが多すぎてもかえって終局耐力の向上には役に立たないことが分かる。

試験方法と破壊した試験体の写真を写真1~7に示す。

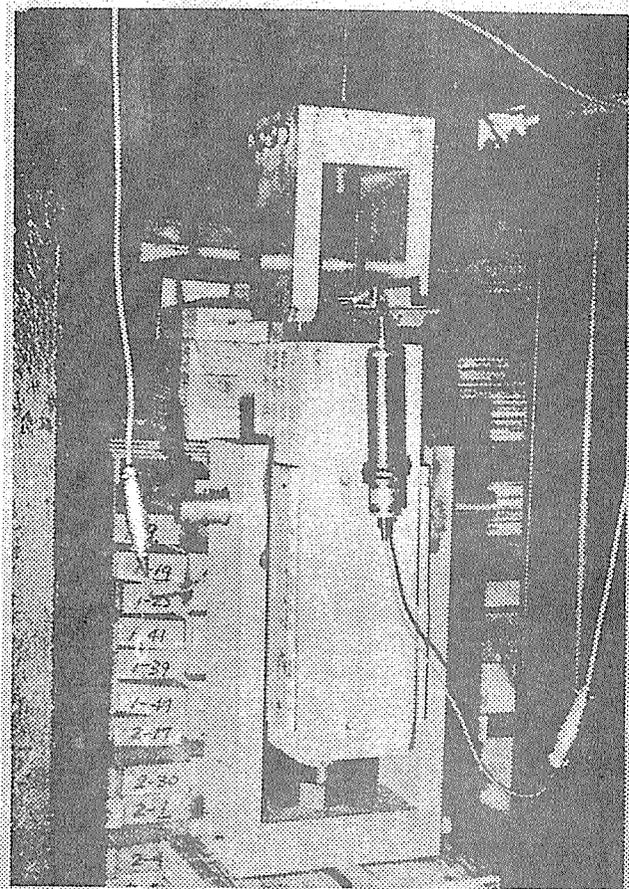


写真1 0°方向加力試験(44808/0)

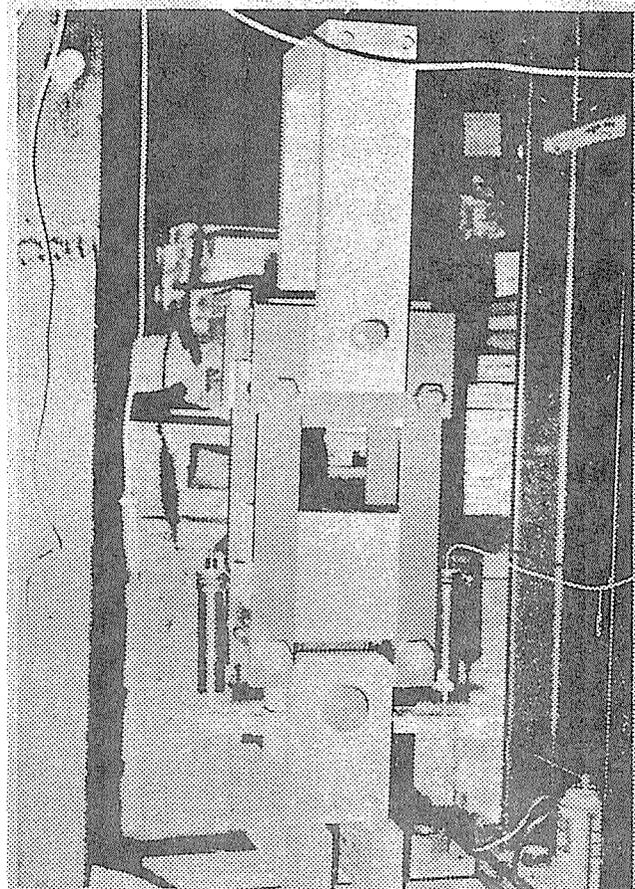


写真2 90°方向加力試験法(B37724/24)

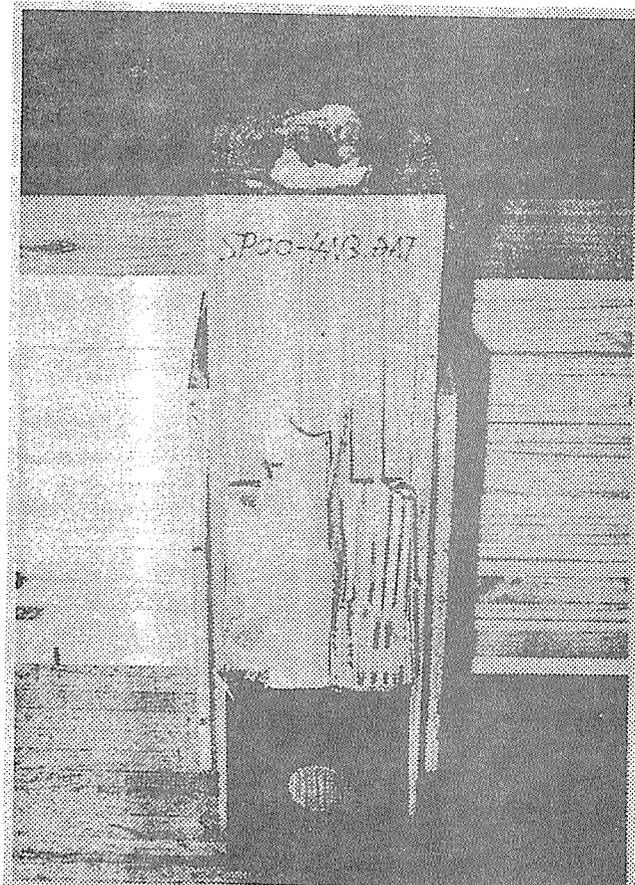


写真3 樹脂孔のない場合の破壊形態
- 0°加力(44808/19)

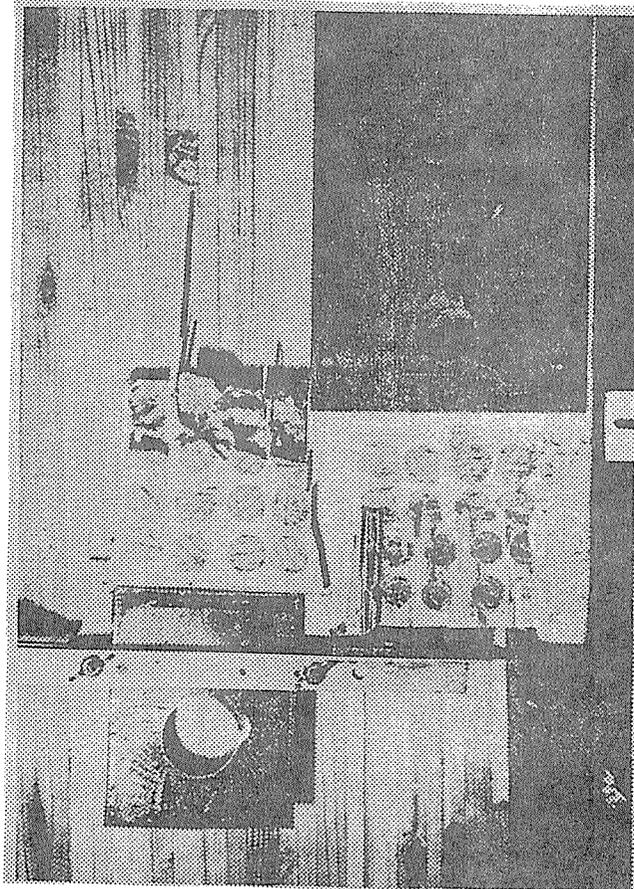


写真4 樹脂孔が多すぎた場合
- 0°加力(44808/2)

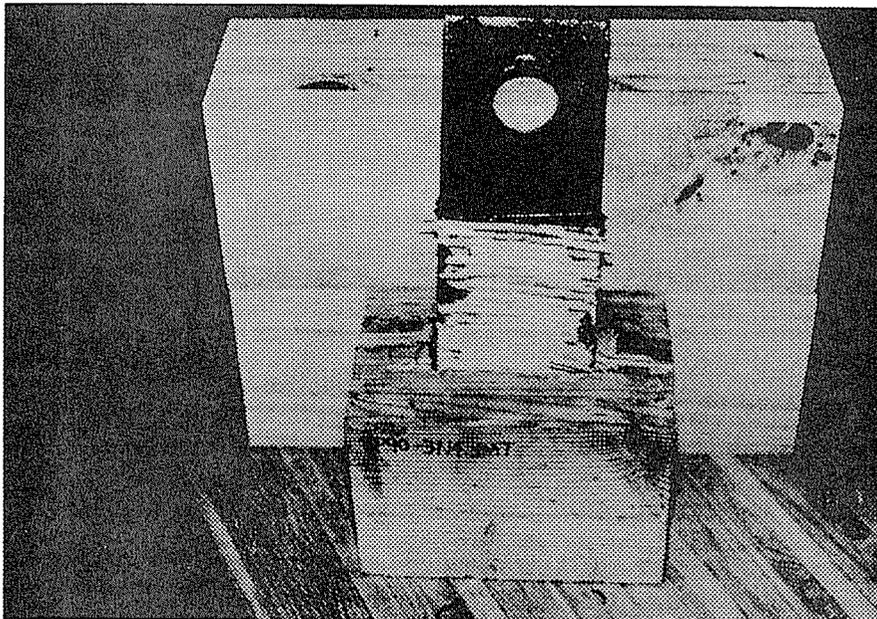


写真5 樹脂孔のない場合の破壊形態 - 90° 加力(86167/19)

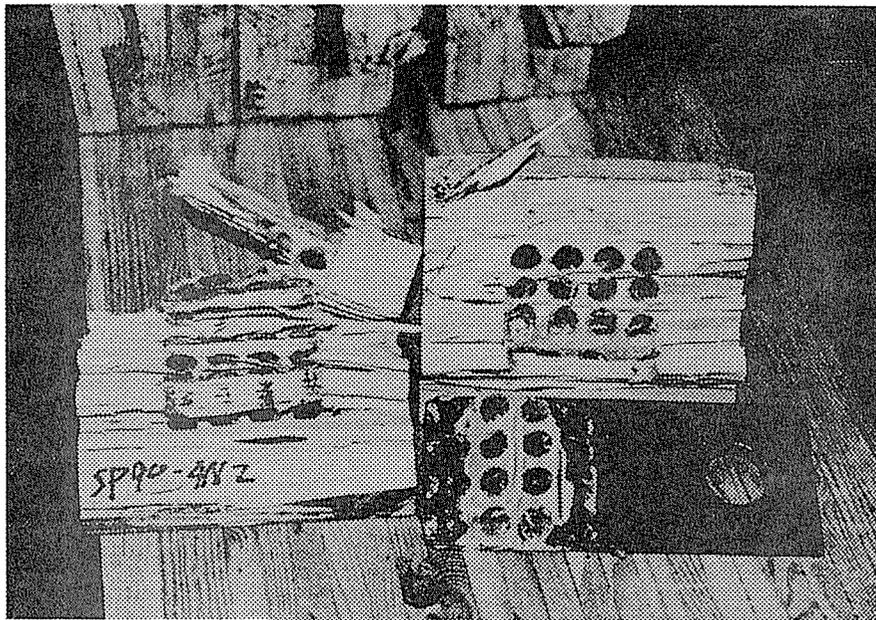


写真6 樹脂孔が多い場合 - 90° 加力(86167/0)

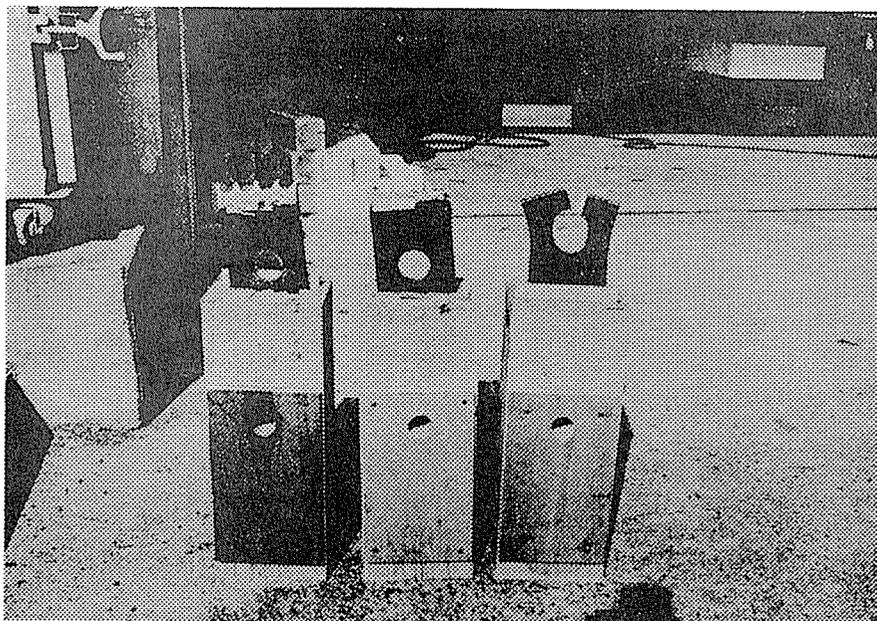


写真7 鋼板側で破壊が起こった例(33402/23)

表 2 に小型試験体による実験結果の全体的な要約を示す。

表 2 より今回の実験結果を要約する：

- ①加力方向の影響については、穿孔数、樹脂ダウエル有無に関係なく 0 度 / 90 度の比は 1.5~1.8 であった。
- ②樹脂ダウエルの存在が強度に及ぼす効果は、0 度加力で 8%~20%、90 度加力で 10%~33% 程度であった。
- ③樹脂ダウエルが存在することで、最大荷重時の変形量は 0 度加力の 4X4 穿孔パターンで 4 倍以上、90 度加力で 3.6 倍以上と飛躍的に向上した。
- ④最大荷重までに吸収できるエネルギー量も同様に飛躍的に向上した。

表 2 引張せん断試験のまとめ

加力	樹脂孔	項目	0×0	(s. d.)	2×2	(s. d.)	3×3	(s. d.)	4×4	(s. d.)
0°	有り	①TD			512	(25)	511	(27)	521	(27)
		②Pmax			13834	(1886)	14528	(1530)	12748	(639)
		③Pmax/TD			27.1	(3.9)	28.4	(1.8)	24.5	(1.4)
		④δ pmax			0.2194	(0.0125)	0.2825	(0.1173)	1.8038	(0.1804)
		⑤Ue			635	(161)	756	(164)	2186	(445)
	無し	⑥TD	524	(33)	518	(38)	513	(25)	514	(24)
		⑦Pmax	13781	(1575)	12999	(845)	12165	(1142)	10804	(458)
		⑧Pmax/TD	26.2	(1.8)	25.1	(1.1)	23.7	(1.6)	21.1	(1.5)
		⑨δ pmax	0.2156	(0.05)	0.1956	(0.0319)	0.1875	(0.0281)	0.43	(0.1307)
		⑩Ue	593	(180)	442	(239)	494	(152)	585	(197)
比較	①/⑥			0.99		1.00		1.01		
	②/⑦			1.06		1.19		1.18		
	③/⑧			1.08		1.20		1.16		
	④/⑨			1.12		1.51		4.19		
	⑤/⑩			1.44		1.53		3.74		
90°	有り	①TD			549	(13)	549	(13)	552	(25)
		②Pmax			9114	(922)	8867	(975)	9165	(570)
		③Pmax/TD			16.6	(2.1)	16.1	(1.9)	16.6	(0.8)
		④δ pmax			0.99	(0.3850)	0.7269	(0.576)	1.135	(0.735)
		⑤Ue			845	(373)	670	(346)	990	(606)
	無し	⑥TD	537	(16)	537	(11)	535	(6)	560	(4)
		⑦Pmax	7858	(755)	7598	(518)	7849	(1253)	6999	(1712)
		⑧Pmax/TD	14.6	(1.2)	14.2	(1.0)	14.7	(2.2)	12.5	(3.1)
		⑨δ pmax	1.3719	(1.2819)	0.2488	(0.0579)	0.4594	(0.1252)	0.4031	(0.2529)
		⑩Ue	821	(605)	253	(46)	336	(112)	268	(215)
比較	①/⑥			1.02		1.03		0.99		
	②/⑦			1.20		1.13		1.31		
	③/⑧			1.17		1.10		1.33		
	④/⑨			3.98		1.58		2.82		
	⑤/⑩			3.34		1.99		3.69		

Regend: TD=木材の試験時密度=試験時質量(kg)/試験時体積(m³)
Pmax=試験体の引張最大荷重(kgf)
Pmax/TD=比強度=Pmaxを密度TDで割ったもの(kg/kg/m³)
δ pmax=引張最大荷重時の変形量(mm) (注) 最大変位ではない。
Ue=P-δ 曲線の囲む面積でδ pmaxまでに貯えられるエネルギー(kgf・mm)
(s. d.)=標準偏差ただし、自由度はn-1で割っている。

1. 5 実大継手実験の目的

小型試験体を用いた基本的な強度実験によって、樹脂ダウエルの効果が一応認められた。本章では、この効果を実際の梁・桁材において確認する目的で、大断面通直集成材の実大継手強度実験を計画した。

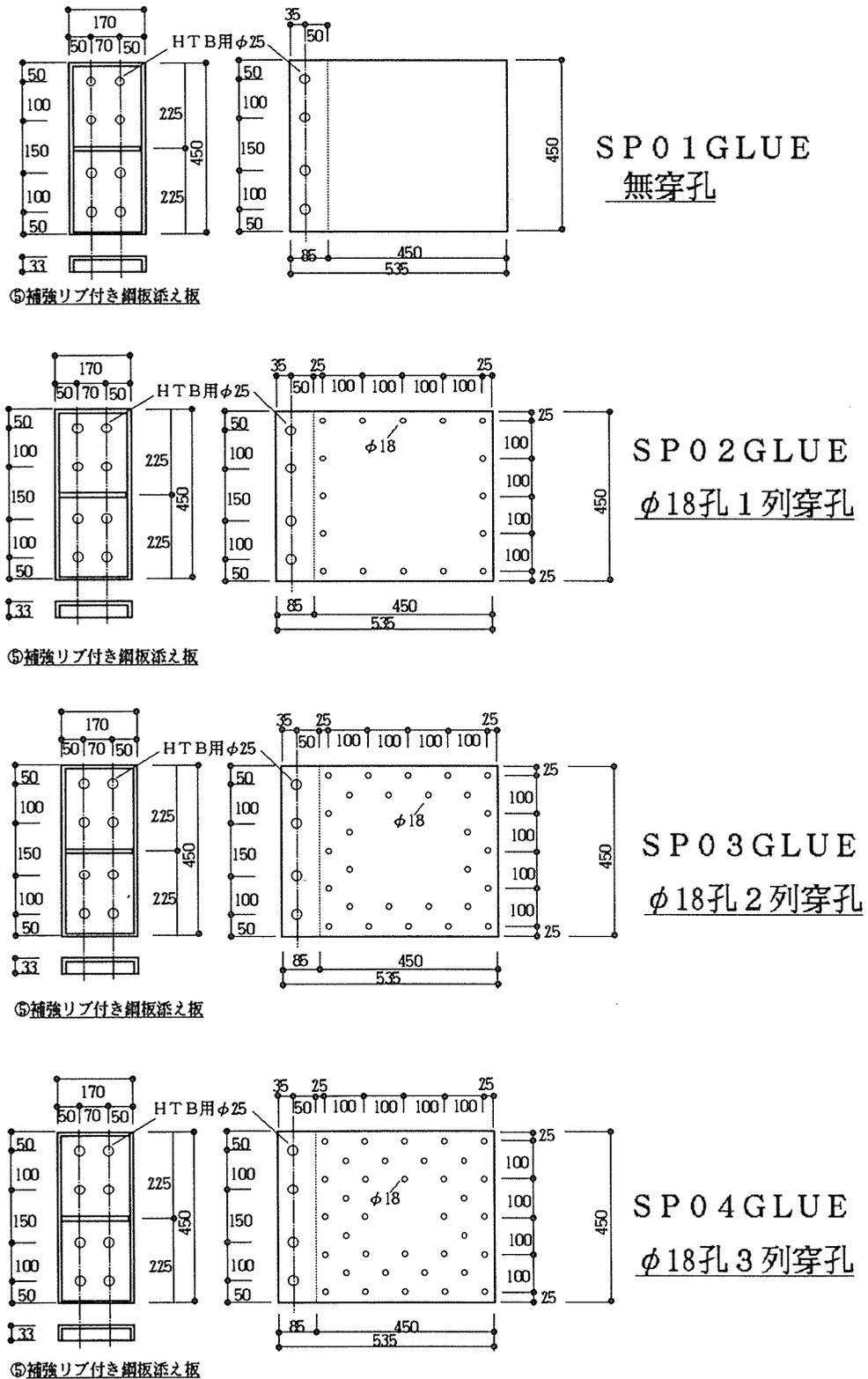


図 1 1 実大継手試験体鋼板穿孔図詳細

1. 6 試験体概要

図11に接合部の詳細を示す。鋼板側の穿孔数は、直径18mmの孔を0列（穿孔なし）、1列、2列、3列の4種類に変化させ、各1体ずつ試験体を作成した。集成材は国産カラマツ集成材（ヤング係数 $E = 85 \sim 95 \text{ tonf/cm}^2$ ）を用いた。

図12に実大継手試験体に対する静的正負繰返し4点曲げ試験装置の概要を示す。試験体は反力床の上にフラットワイズに設置され、最大50tonfの容量を持つ電動ジャッキによって加力された。両支点は回転支点で、片側の支点には集成材がスライドできるようにローラーベアリングを挿入した。

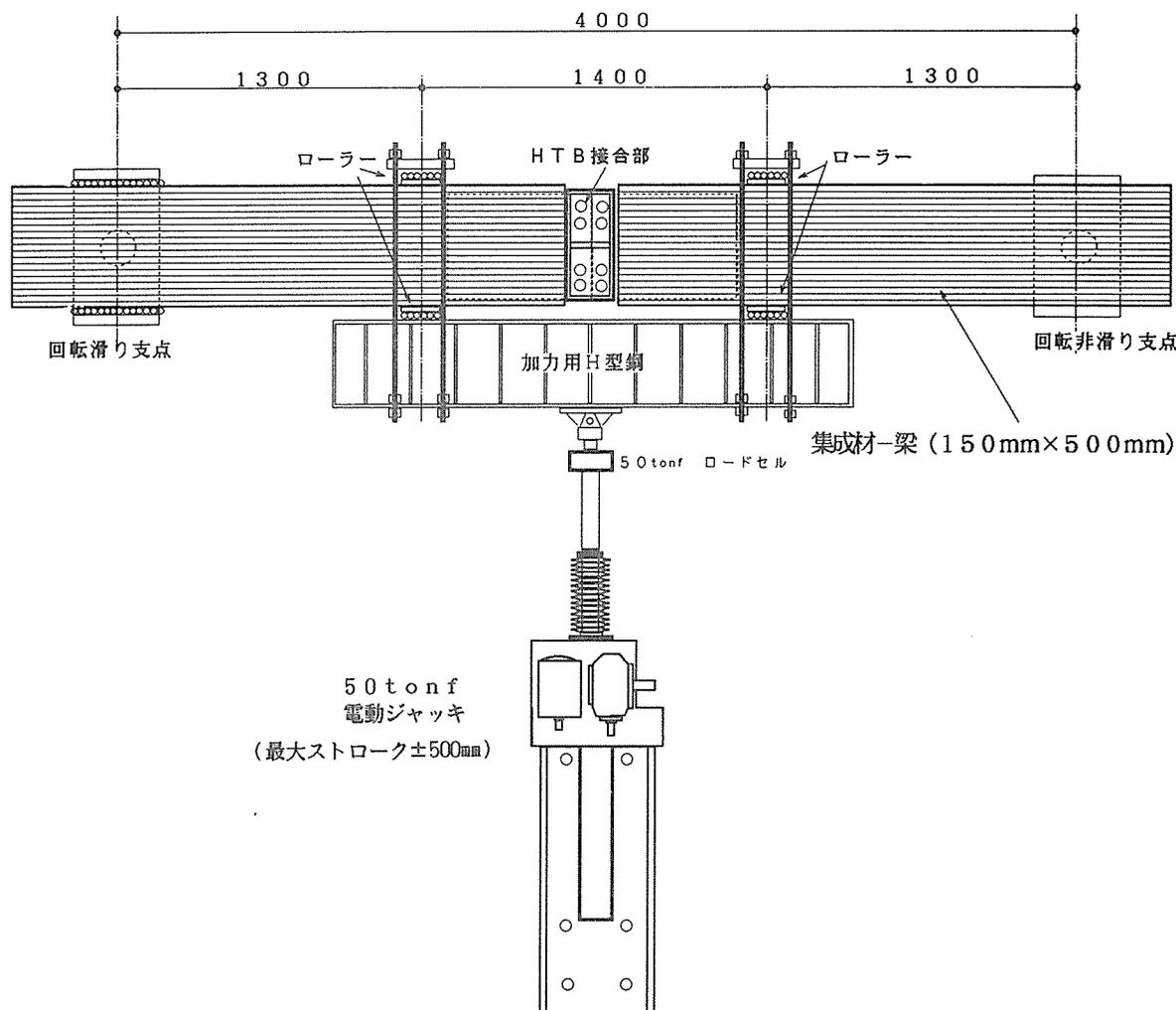


図12 実大継手試験体の静的正負繰返し曲げ試験法の概要

図13に各種センサー類の取付位置とその番号を模式的に示す。ここで、#0は容量50tonfのロードセル、#1は200mmストロークの高精度変位計、#2～#9までは50mmストロークの高精度変位計、#10～#17はゲージ長30mmのペーパーベースストレインゲージをそれぞれ示す。なお、スパン中央のたわみ δ は次式で定義される。

$$\text{スパン中央のたわみ} : \delta = \#1 - \{ (\#2 + \#3) / 2 \}$$

また、#4～#9までは、鋼板－集成材間の相対的な回転変形を測定するために設置したもので、それぞれ以下のような定義に従う。

- ① 鋼板－集成材間の回転角 : $\theta_A = (\#4 - \#5) / h_{45}$
- ② 鋼板－集成材間の回転角 : $\theta_B = (\#7 - \#6) / h_{67}$
- ③ H T B 接合部の相対回転角 : $\theta_{HTB} = (\#8 - \#9) / h_{89}$

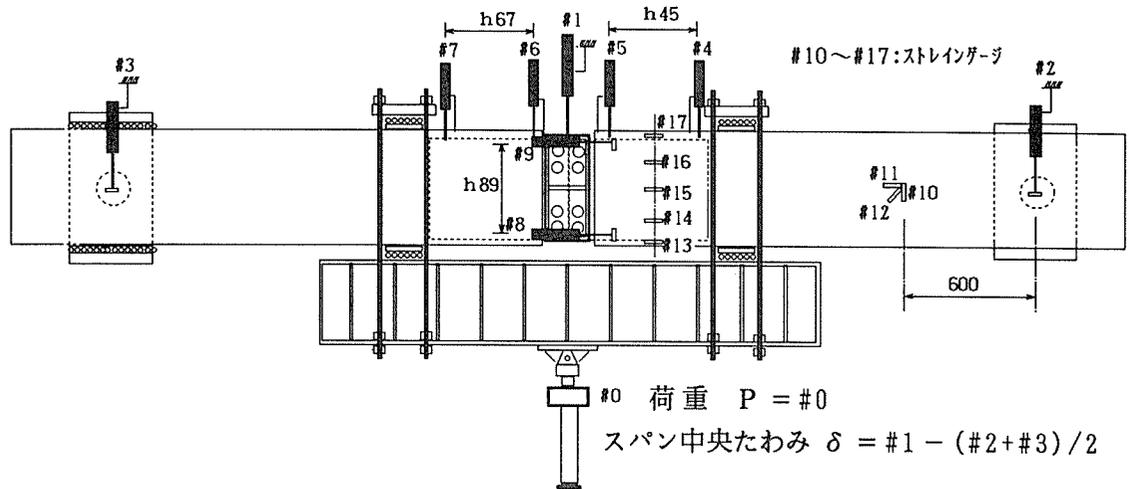


図 1 3 各種測定機器の取付位置と番号

1. 7 試験体の製作過程の概要

① 集成材へのスリット加工

図 1 1 に示す所定の位置に直径 1 8 m m の孔を明けた集成材に、写真 8 に示すスリット加工機を用いて、厚さ 1 1 m m の鋼板挿入用のスリットを加工する。このスリット加工機のチェーンには常時機械油を塗布しているので、スリット内部にはかなり油が付着していたように思える。

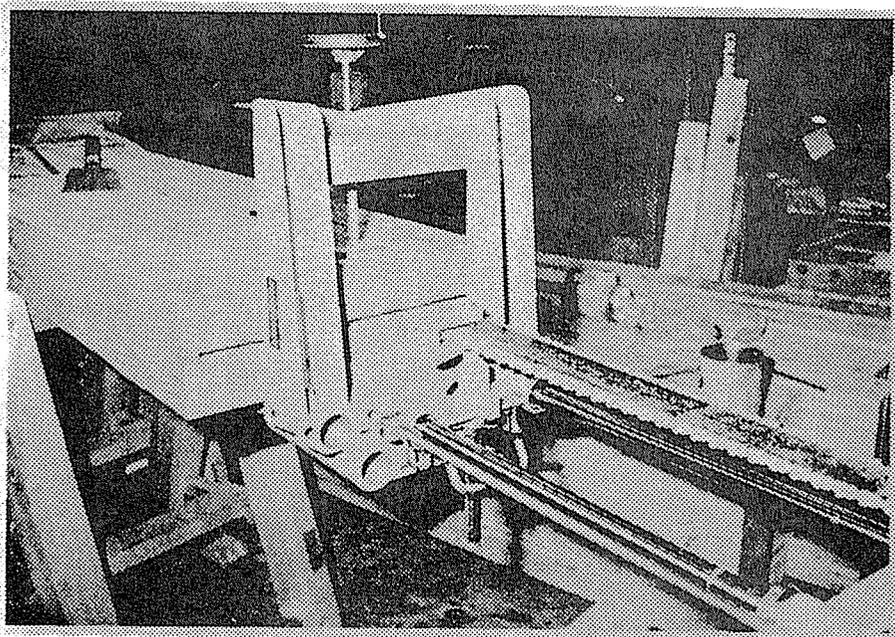


写真 8 カラマツ集成材の木口面へのスリット加工 (B00351-17)

② 鋼板ガセット表面のグラインダー研磨

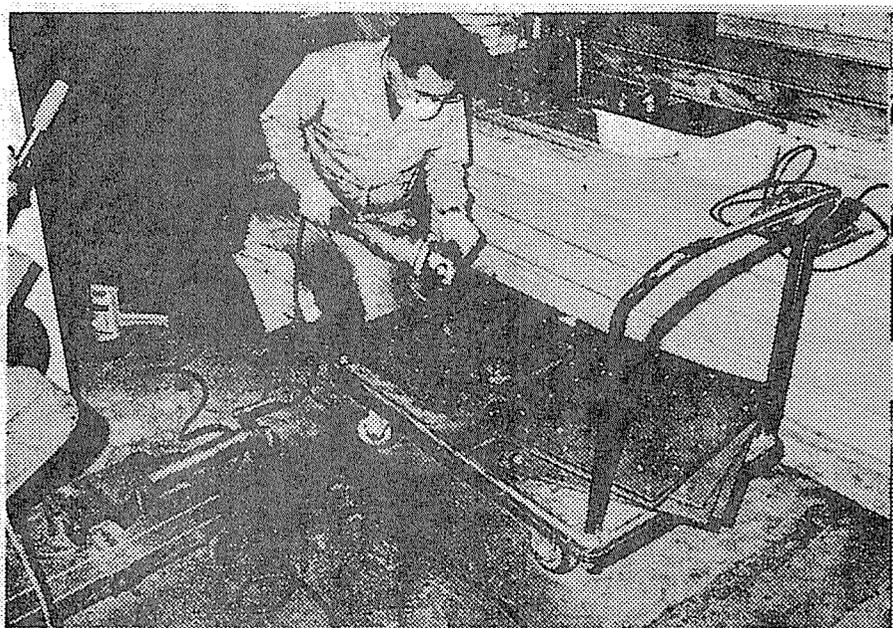


写真 9 鋼板ガセット両面の黒皮はグラインダーで除去する (B00351-24)

③ 樹脂ダウエル用ドリル孔の木栓止め

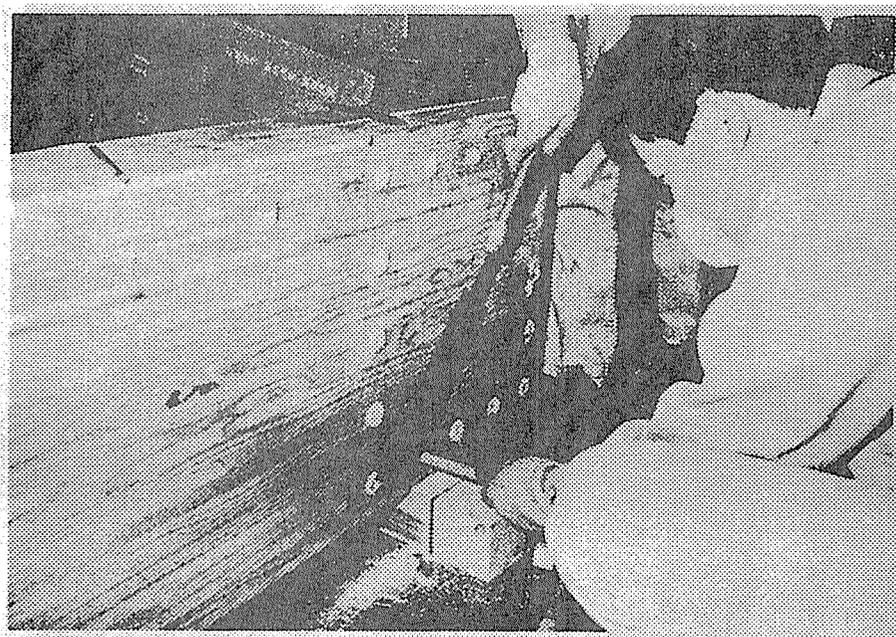


写真 10 集成材に明けた孔を木ダボとシーリング剤でふさぐ (B00351-E)

④ 接着剤の流し込み

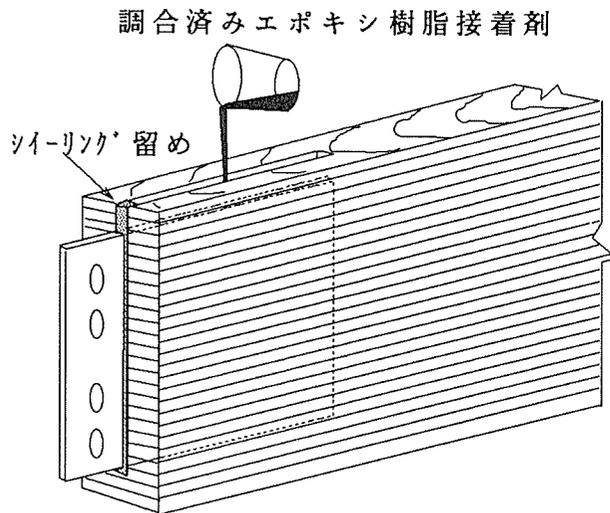


図 1 4 接着剤をスリット
上面より流し込む
(木口面側はシリ
コンシーリング
剤で塞ぐ)

⑤ 接着硬化・養生

接合部に電気毛布を掛け、内部の温度を 30 度程度に保って、約 1 週間養生硬化させた後、試験に供した。

1. 8 結果と考察

写真 1 1 に試験状況を示す

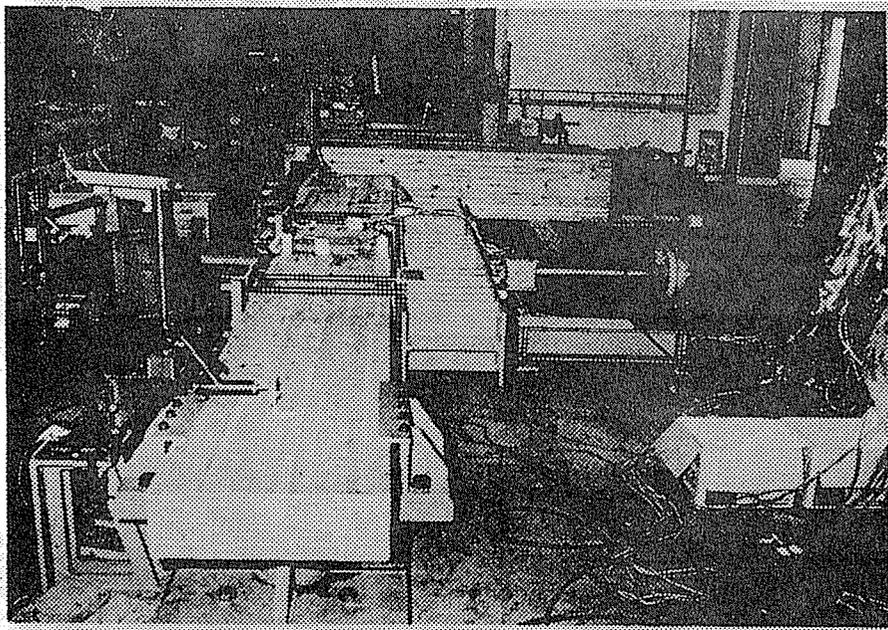


写真 1 1 試験状況 (A20701-10A)

荷重 (P) - スパン中央たわみ (δ) の関係を図 1 5、図 1 6、図 1 7、図 1 8 に示す

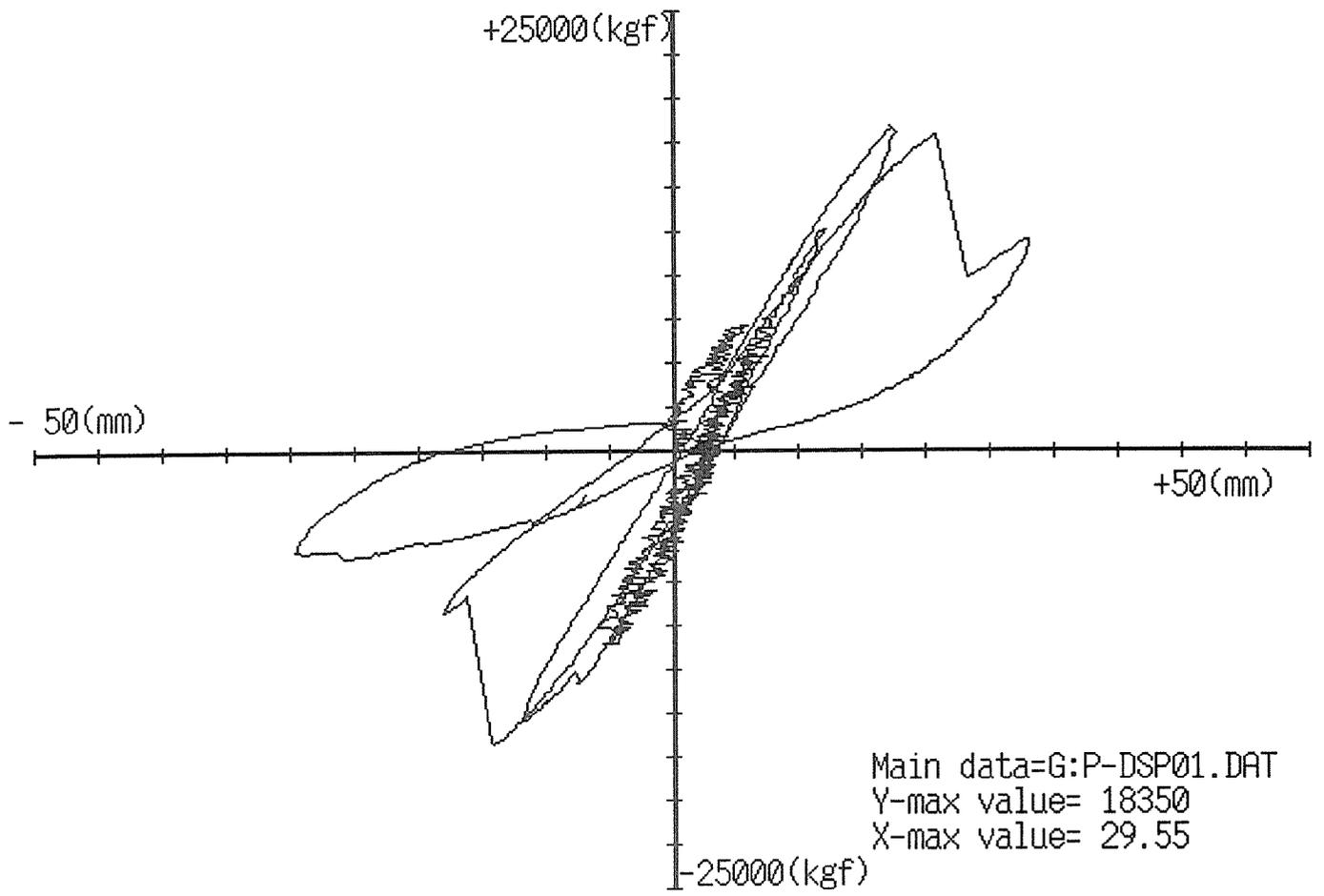


図 1 5 試験体 1 (無穿孔 : SP01GLUE) の P - δ 関係

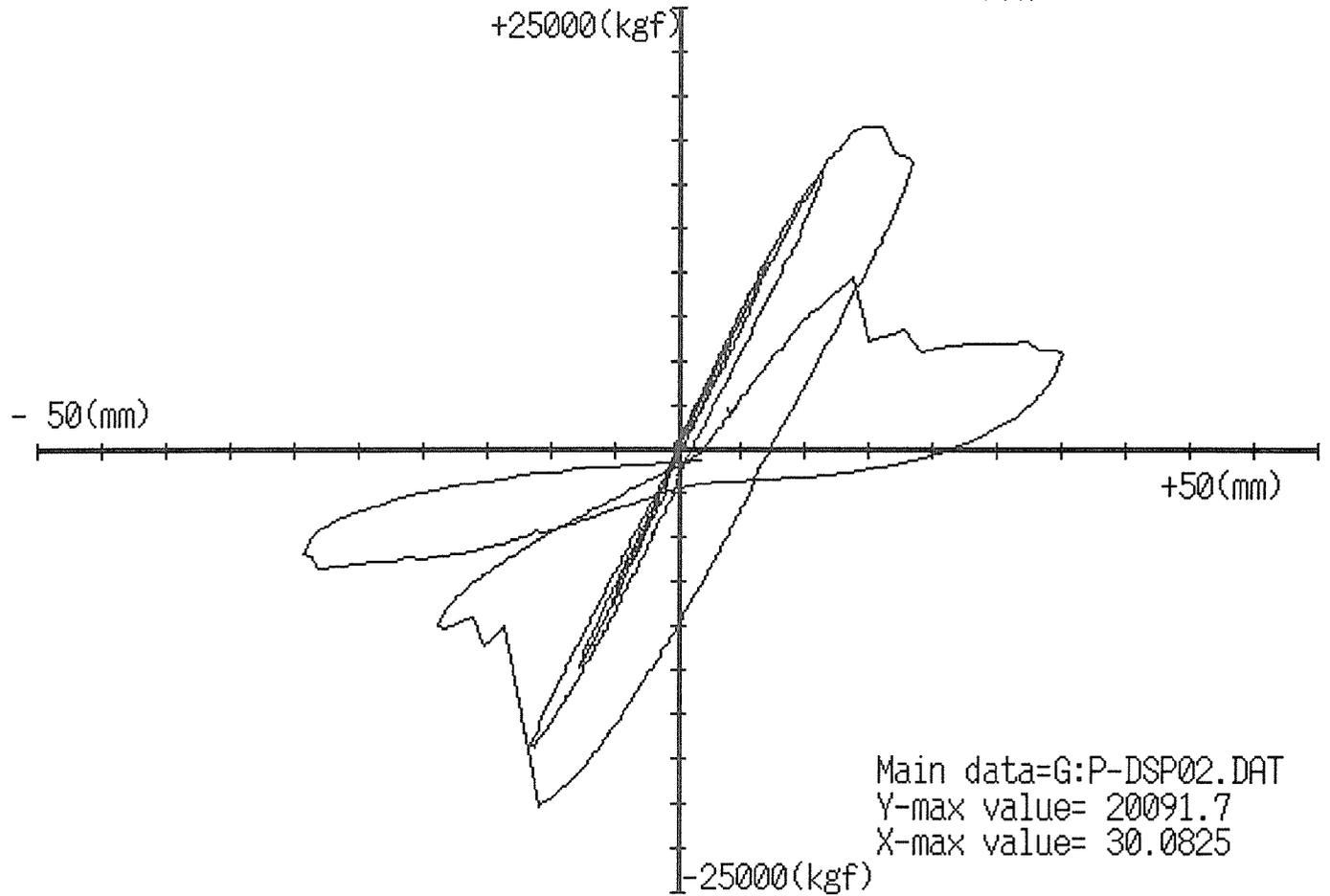


図 1 6 試験体 2 (樹脂ダウエル 1 列 : SP02GLUE) の P - δ 関係

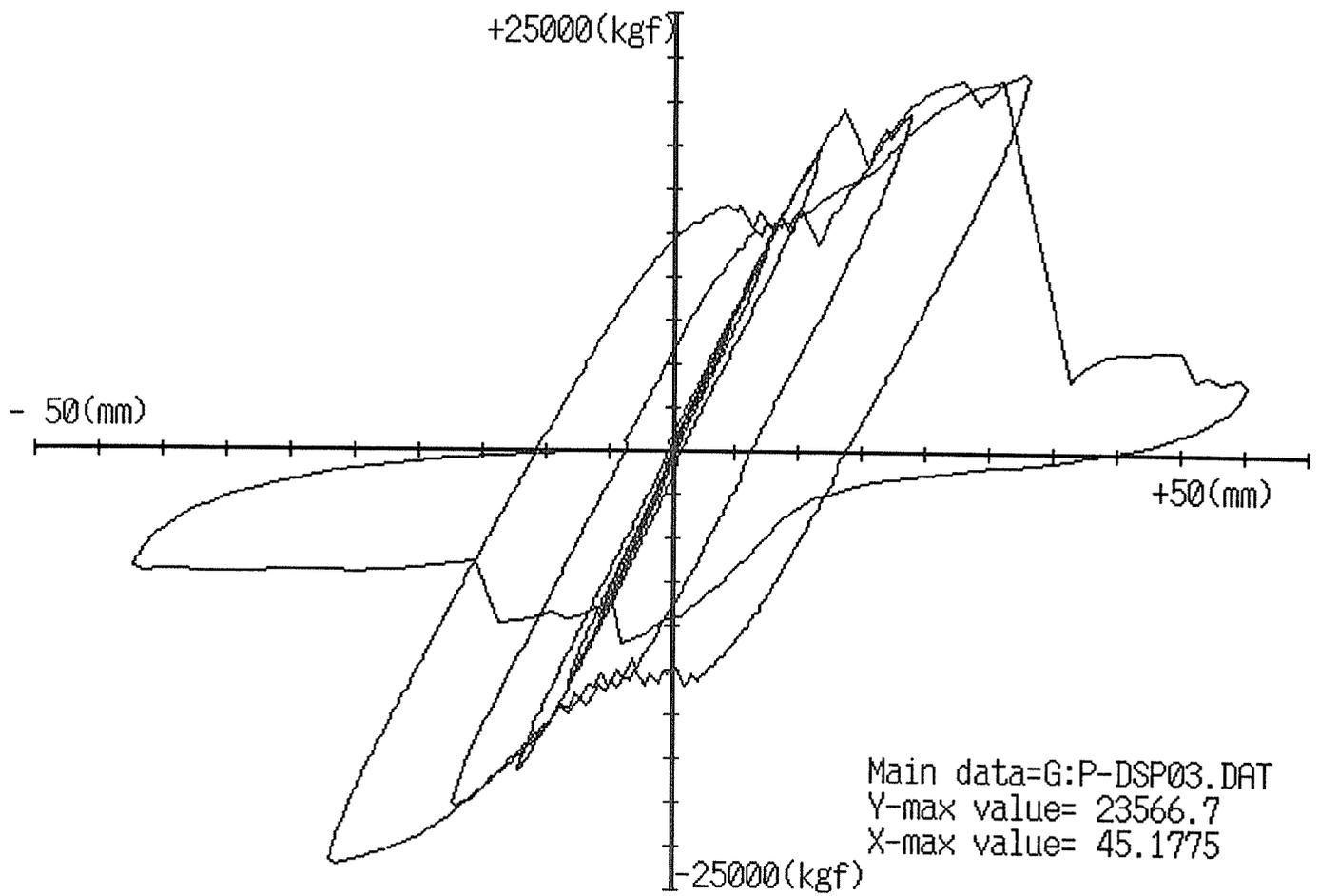


図 1 7 試験体 3 (樹脂ダウエル 2 列 : SP03GLUE) の P - δ 関係

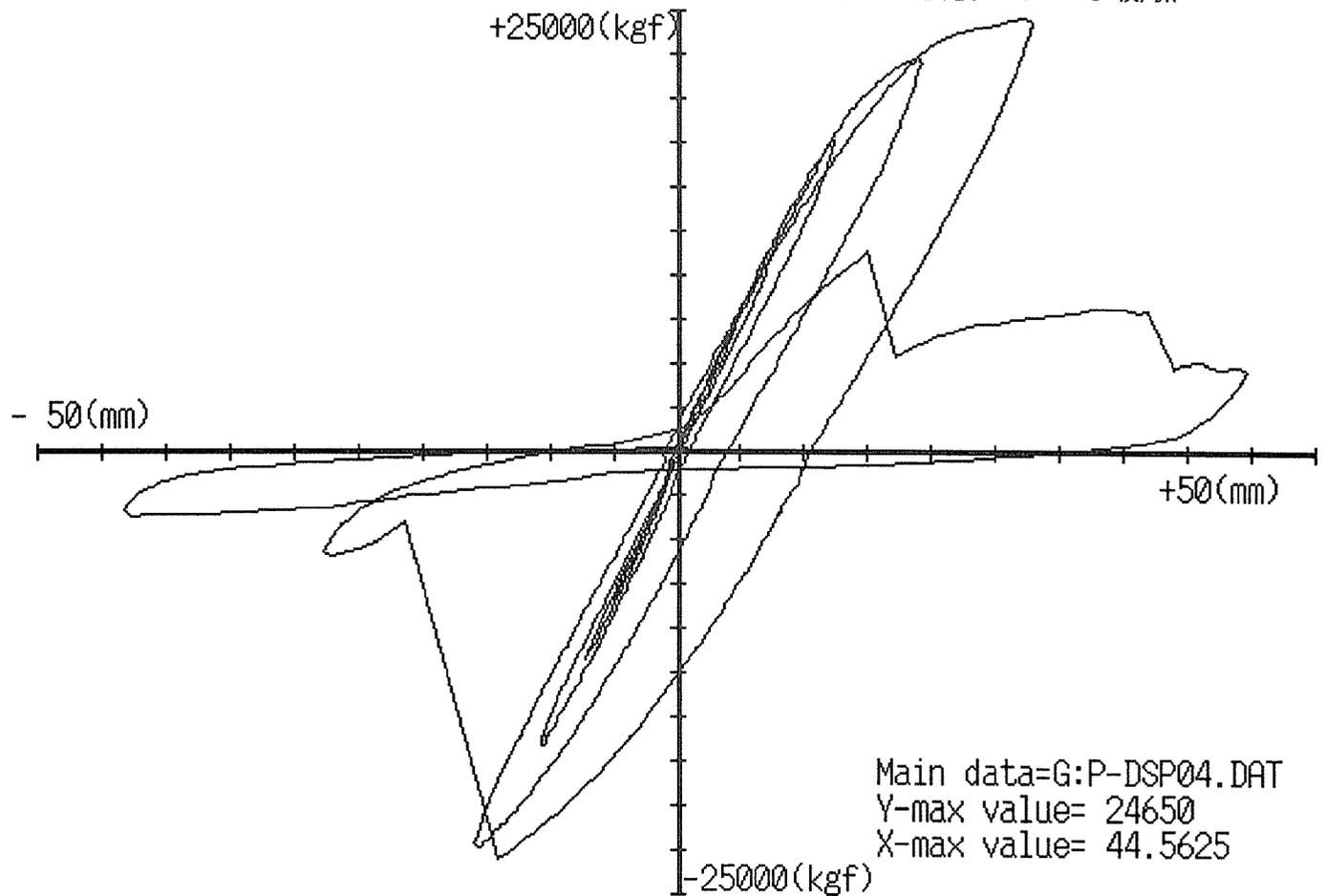


図 1 8 試験体 4 (樹脂ダウエル 3 列 : SP04GLUE) の P - δ 関係

【実験観察メモ】

① 試験体 1：無穿孔（SP01GLUE）

- ・ 図 15 の $P-\delta$ 関係において、初期の変位値が大きく乱れているのは、最初セットしたワイヤー巻き取り式変位計（DP500B）のワイヤーがスムーズに動いていなかったために生じた。当日は、外部の見学者に実験を開放していたので、とりあえず第 3 ループまでは変位計不調のまま実験を続行し、見学者が退出後に通常型の摺動型変位計（TDS200R）と交換した。
- ・ 試験中にしばしば大きな音がした。最初は破壊音かと思ったが、 $P-\delta$ 曲線に異常が現れないことから、支点もしくは加力点における試験体と治具（ローラーベアリング等）との動摩擦音であることが判明した。
- ・ $\delta = -30\text{mm}$ （引き）付近で突然大音響とともに右側の接合部の木口側の材中央でローリングシア破壊（鋼板－集成材間のころがりせん断破壊）発生。

② 試験体 2：樹脂ダウエル 1 列（SP02GLUE）

- ・ $P = 4000\text{kgf}$ 付近で大きな音発生。摩擦によるものと判明。
- ・ $P > -8000\text{kgf}$ 以降しばしば発音。しかし破壊は観察されず。
- ・ $P = 15.6\text{tonf}$ 付近で接着部に何か破壊のような音。
- ・ $P = 19\text{tonf}$ 付近で荷重－変形曲線が非線形域に入る。HTB 接合の降伏および、加力点鋼板部分でのめり込み変形によるらしい。ループは膨らんでくる。
- ・ $P = -20\text{tonf}$ 付近で大音響とともに右側接合部で破壊。木口側の材中央部にローリングシア破壊によるクラック発生。
- ・ 破壊後の押し（第 5 ループ）で更に引張側にクラック発生、剛性低下。終局。

③ 試験体 3：樹脂ダウエル 2 列（SP03GLUE）

- ・ ループ 1、2 とも色々音は発生しているが、摩擦によるもので、破壊は起こっていない。
- ・ $P = 19.5\text{tonf}$ で HTB 接合部が降伏するが接着に異常なし。 $P = -12\text{tonf}$ で HTB のすべりが認められ、HTB 特有の太ったギザギザしたループとなる。
- ・ 第 5 ループでは、HTB のボルト孔が変形して大変形ループを呈する。
- ・ 第 6 ループの $P = 21\sim 22\text{tonf}$ で大音響とともに左側接合部の接着がローリングシア破壊。鋼板－集成材間の破壊。破壊箇所は木口側材中央部。

④ 試験体 4：樹脂ダウエル 3 列（SP04GLUE）

- ・ 試験体が最初から少し曲がって接着されていた。押す方向に矢高あり。
- ・ 第 3 ループ辺りから発音多い。
- ・ 第 4 ループの $P = 22.3\text{tonf}$ 付近で # 6 変位計の近くにクラック発見。しかし全体的な破壊には至らない。荷重－変形カーブは明白な非線形性を示している。加力点でのめり込みも関係している。
- ・ $P = -22.95\text{kgf}$ 辺りで大音響とともに接着破壊。場所は左側接合部の木口中央部分。鋼板－集成材間の接着界面でのローリングシア破壊。

【全体的印象】

集成材実大継手試験体のP-δループの特徴として、いずれの試験体においても、接着部分に明確な初期破壊が発生するまでは、ループの膨らみの全くない弾性的な挙動をする。しかし、スパン中央たわみδが15～20mm(1/266～1/200rad.)を越えると、いずれの試験体においても非線形挙動を示しはじめ、最終的には鋼板-集成材間の接着層からねじりせん断破壊を生じた。破壊発生箇所は木口面側の材せい中央部であった。

一旦接着層に破壊が発生すると、試験体は急激に剛性、耐力ともに低下し、小試験体の場合樹脂ダウエルの存在によって粘りが付与されたほどには、粘り強さは発揮されなかった。しかし、大体の傾向として、樹脂ダウエルが存在するほど、強度と粘りは増加する傾向が確認できた。

表3に強度試験の結果の概要をまとめて示す。

表3 強度試験の結果のまとめ

試験体	SP01GLUE	SP02GLUE	SP03GLUE	SP04GLUE
①最大荷重 P _{max} (kgf)	18350	20092	23567	24650
②最大モーメント M _{max} (tonfm)	1192700	1306000	1531900	1602300
③見かけのMOR (kgf/cm ²)	191	209	245	256
④推定曲げ強度 F _b (kgf/cm ²)	353	353	353	353
⑤強度効率 MOR / F _b	0.54	0.59	0.69	0.73
⑥最大せん断応力度 τ _{max} (kgf/cm ²)	31.4	34.4	40.3	42.2
⑦小型試験体で得られた90度方向せん断強度 F _s (kgf/cm ²)	39.3	38.0	39.3	35.0

ただし：

② $M_{max} = (P_{max}/2) l_s = (130/2) P_{max}$

③ 見かけのMOR = M_{max} / Z $Z = bh^2/6$

④ 推定曲げ強度 $F_b = 3 \times f_{bx} C_f$ $f_{bx} = 125 \text{ kgf/cm}^2$ (カラマツ集成材1級)

⑥ 最大せん断応力度 $\tau_{max} = 0.6 (M_{max}/2) / (h/2)^3$: 正方形断面棒の純ねじりの応力分布を仮定して、なお、 $h=45 \text{ cm}$

⑦ 表2にまとめた小型試験体の90度方向引張破壊荷重の平均値 P_{max} を接着面積 $A_g = 2 \times 10 \times 10 \text{ cm}^2$ で割った見かけのせん断応力度

以上より、実大継手の最大耐力は小型試験体の90度方向(ローリングシアー)せん断強度の値から十分正確に推定可能であることが分かる。

最後に、各試験体の破壊性状の写真を以下に示す。

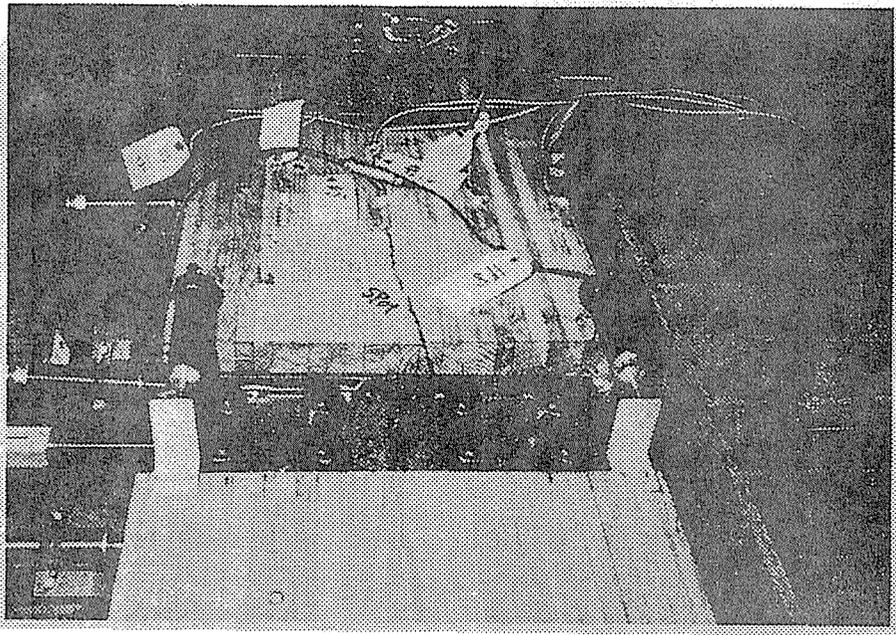


写真 1 2 試験体 1 (SP01GLUE) の破壊性状 (A20701-7A)

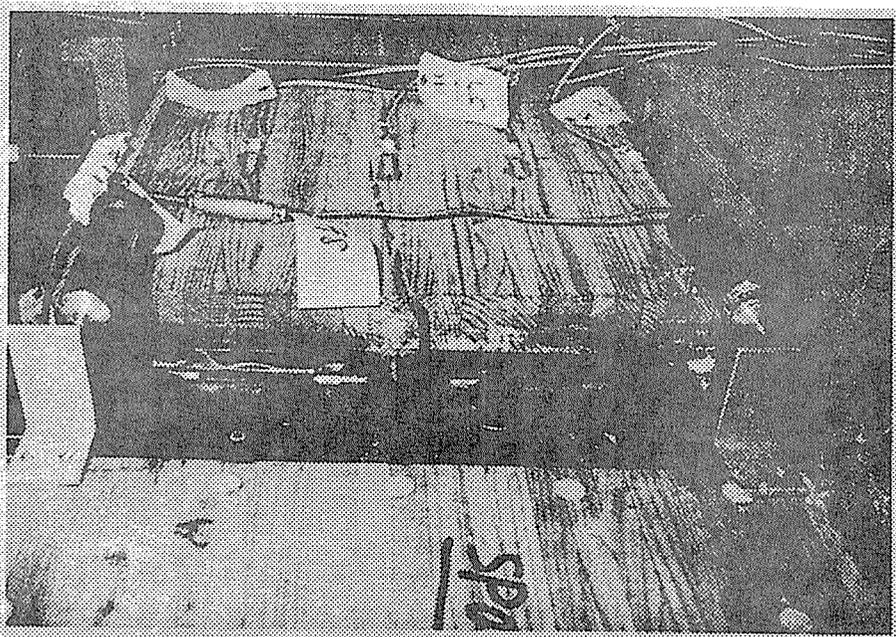


写真 1 3 試験体 2 (SP02GLUE) の破壊性状 (A20701-11A)

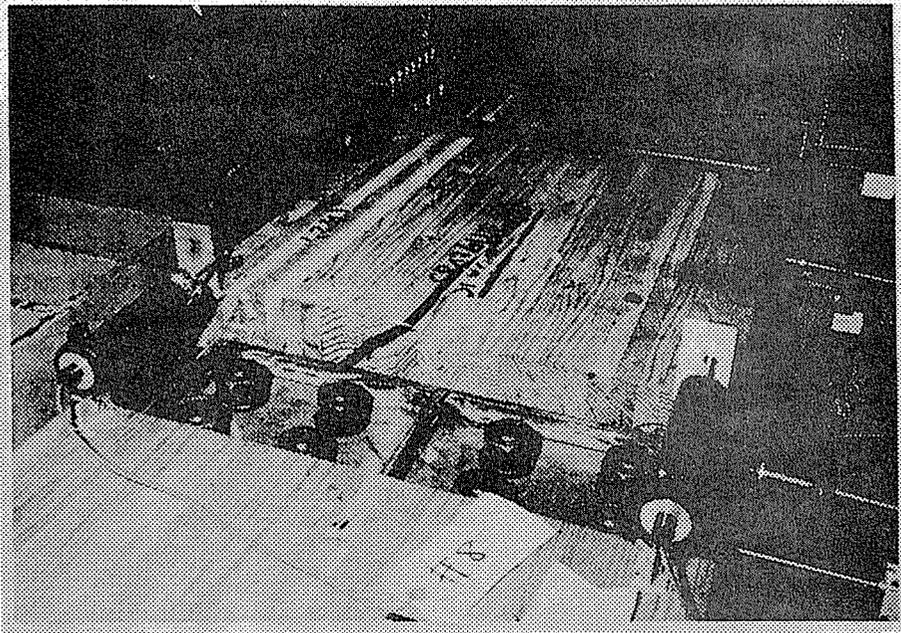


写真 1 4 試験体 3 (SP03GLUE) の破壊性状 (A20701-17A)

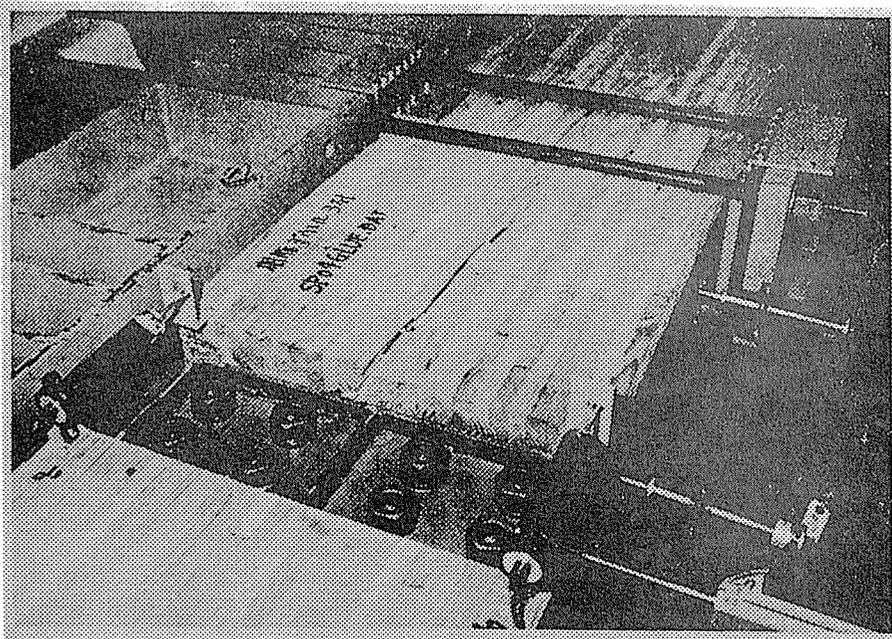


写真 1 5 試験体 4 (SP04GLUE) の破壊性状 (A20701-21A)

2. 2 供試体及び試験

(1) 供試材

1) 供試樹種

カラマツ（長野県産）心材（一部辺材を含むものが認められた）

2) 試験材の形状

断面：土台角：10 x 10cm

ラミナ：厚さ：2.0cm, 3.3cm

幅：15cm

長さ：3材種とも40cm, 90cmの2種

試験体数は表1に示すとおり。

(2) 供試薬剤

1) クレオソート油(JIS K 2439 1号油) 原液

2) CCA(JIS K 1554 3号) 1.2%

3) DDAC（(株) ザイエンス製ペンタキュアニュー-BM) 1%

(3) インサイジング処理

1) インサイジング密度

工場における設定値：3800個/m²，

2) インサイジング対象試験材

クレオソート油処理試験材の半数とCCA, DDAC試験材の全数

3) インサイジング面

土台角は4面

3.3cmラミナは広い面2面と狭い面1面

2cmラミナは広い面1面と狭い面1面

(4) 防腐処理

クレオソート油：加圧13kgf/cm²，2時間；後排気760mmHg，15時間

CCAとDDAC：前排気700mmHg，30分；加圧14kgf/cm²，5時間（3薬剤とも工場に於ける他の材料との同時処理）

(5) 曲げ試験

厚さ2 cmのラミナから作成した試験片（形状20×20×280mm）を用いて、JIS Z 2113による中央集中荷重で調べた。インサイジングの影響が大きく出るように、インサイジング面を引張側にした。

2. 3. 結果と考察

薬剤別平均注入量を表1に示す。

クレオソート油について、注入量に与えるインサイジングの効果は、2 cmラミナ（90 cm，40 cm）と90 cm正角の場合に危険率1%で有意差が認められた。

全体に木口方向の長さが短い40 cmの試験体が平均吸収量が高い傾向が認められた。

インサイジング処理をしたもので薬剤間の違いを見るため、図1に気乾比重と注入量の関係を示した。平均吸収量の高い方から並べると、形状に関わらずDDAC > CCA > クレオソート油の順で、DDACは注入量のばらつきが小さい傾向が認められた。

曲げ強さと曲げヤング率の関係を図2に示した。インサイジング処理の曲げ強度に及ぼす影響は、曲げヤング率より、曲げ強さの低減の方が大きいことが分かった。しかし、このラミナを貼り合わせて集成材を製造すれば、インサイジングの影響は内包できるので、確認が必要であるが、実用上はJASで規定される10%未満の低減に収まる可能性がある。

薬剤処理したラミナで製造した集成材の性能については今後調べる予定である。

表 1. カラマツ材による防腐剤の注入試験結果

防腐剤	材料形状 (cm)	インサイジック	試験体数	平均注入量 (kg/m ³)	同S.D. (kg/m ³)
クレオート油	正角 10x10x90	なし	33	37.1	20.9
		あり	33	74.9	20.3
	正角 10x10x40	なし	22	61.3	33.2
		あり	22	75.9	19.9
	ラミナ 3.3x15x90	なし	51	58.8	78.8
		あり	50	73.2	34.4
	ラミナ 3.3x15x40	なし	34	72.6	82.3
		あり	34	90.9	37.0
	ラミナ 2x15x90	なし	102	69.7	28.3
		あり	99	107.3	40.7
	ラミナ 2x15x40	なし	66	78.7	36.9
		あり	66	105.9	41.0
CCA	正角 10x10x90	あり	33	107.7	28.2
		あり	22	166.6	60.0
	ラミナ 3.3x15x90	あり	50	157.9	40.8
		あり	34	194.3	44.5
	ラミナ 2x15x90	あり	101	212.7	52.8
		あり	66	243.7	59.7
DDAC	正角 10x10x90	あり	33	163.0	59.2
		あり	22	214.8	27.8
	ラミナ 3.3x15x90	あり	50	259.4	62.0
		あり	32	325.4	80.7
	ラミナ 2x15x90	あり	100	326.6	54.3
		あり	66	345.7	47.1

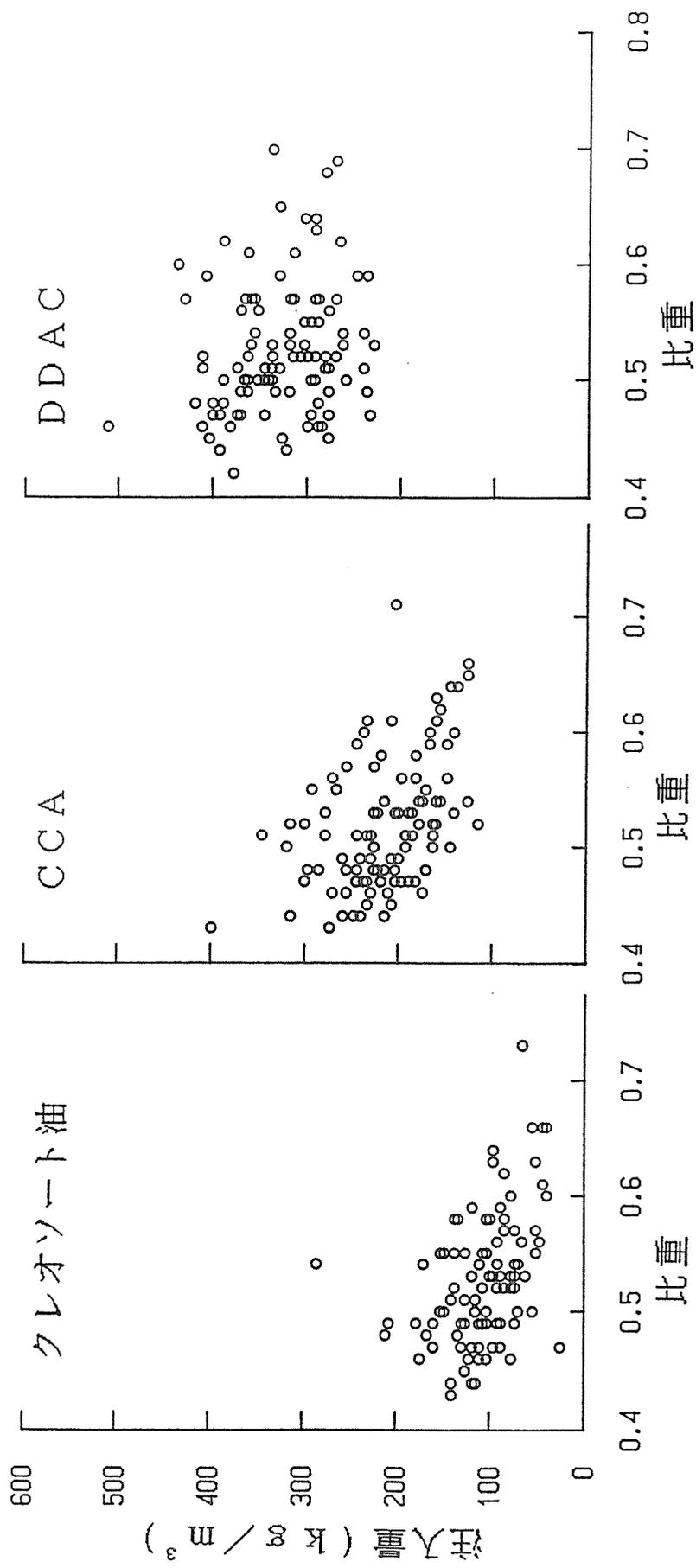


図1. 薬剤による注入量の変化(2cm厚ラミナ)

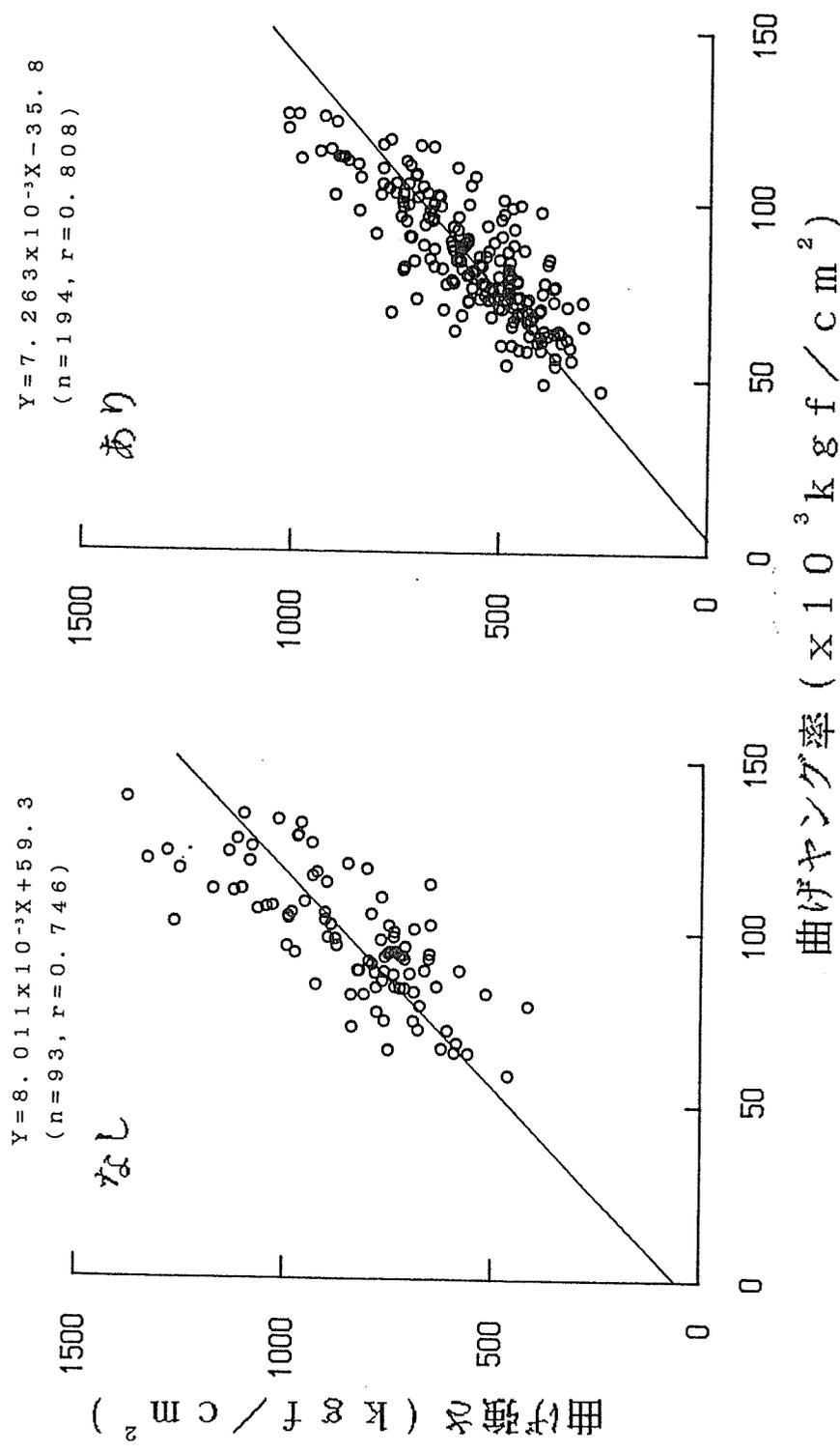


図 2. インサイジングによる曲げヤング率と曲げ強さの変化 (カラマツ, 厚さ 2 cm)

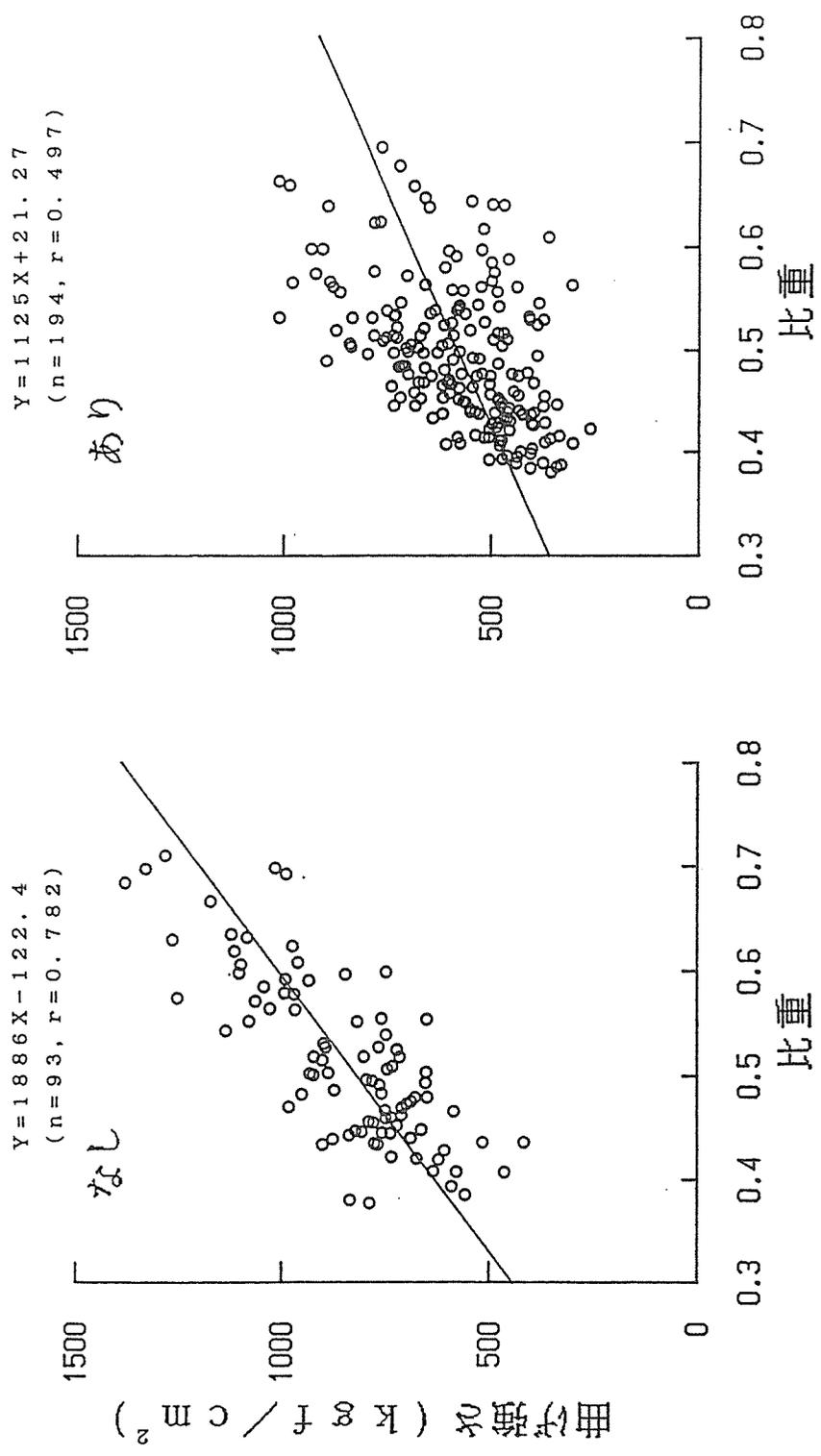


図3. 比重と曲げ強さとの関係(カラマツ; 厚さ2cm)

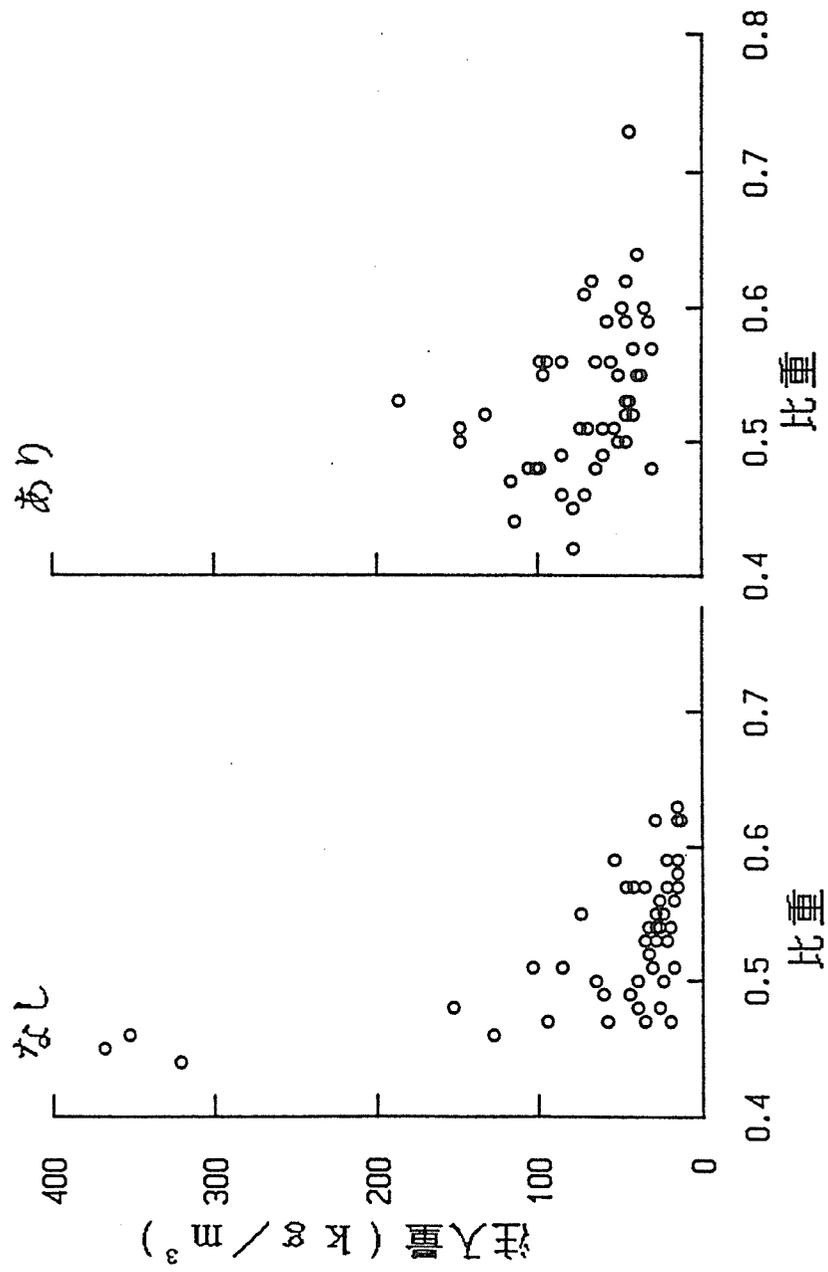


図4. インサイジングによる注入量の変化(3.3cm厚ラミナ, クレオソート油)

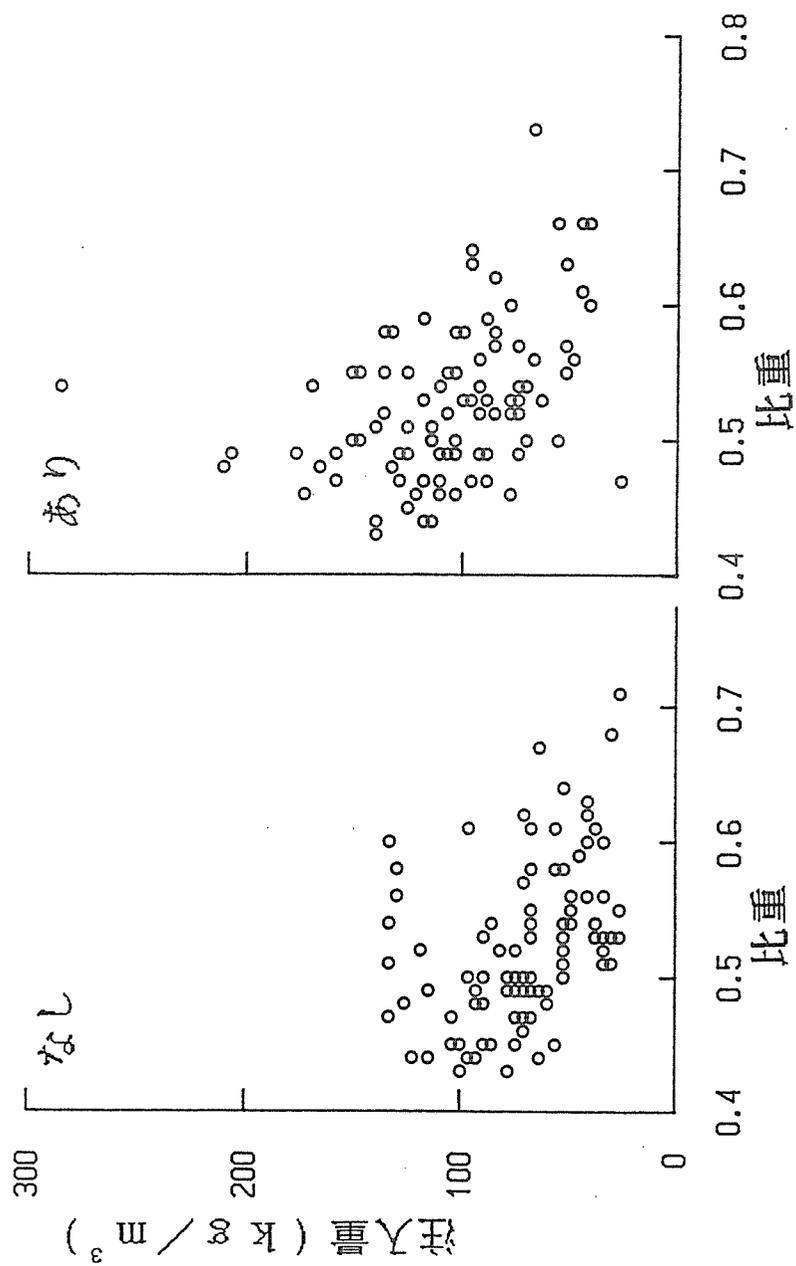


図5. インサージェンダによる注入量の変化(2cm厚ラミナ, クレオソート油)

第4章 木製舗装の性能実験

1. 木製舗装の色彩、変退色に関する試験研究

1. 1 試験の目的

木製舗装と、その他の舗装の変退色の状況を明らかにすることを目的に、色彩を対比的に測定した。平成2年度報告書にすでに方法等について詳述し、変退色のデータを記載したが、本報告書でも試験区、測定方法は平成2年度と同様であり、平成3年度内に測定したデータを記載した。

1. 2 試験の方法

1)試験区

東京農業大学構内（東京都世田谷区）の試験区に試験舗装を設け、測定の対象にした。この舗装は1990年10月24日に竣工したが、表層材は、次の7種類である。

木レンガA；ヒノキの心持材、木口を舗装面に、ニューBMにより防腐処理。

木レンガB；ヒノキの心持材、木口を舗装面に、クレオソートにより防腐処理。

タイル；磁器質タイル、色・形は小舗石に似せたもの。

自然石；白色系統の色彩の花こう岩の板石。

アスコン；開粒度アスファルトコンクリート。

洗い出し平板；白色系統の花こう岩の碎石を表面に洗い出したコンクリート平板。

レンガ；普通レンガ上焼、一等。

2)測定方法

色彩の測定（測色）は MINOLTA製色彩色差計CR100（JIS Z 8722準拠）とデータプロセッサーDP100 を使った。CR100 は XYZ表色系で測色し、Yxyが直接表示される。またDP100 によりYxyをマンセル表色系HVCに変換できる。標準の光はC光源とし測色面は径8mmの円で、現地で測色した。舗装の表面の乾燥している状態で色彩を測定し、各舗装につき各5点を測色し、その平均値を測色値とした。

試験舗装の測色年月日は1991年4月5日（施工後163日）、4月20日（施工後178日）、1991年5月25日（施工後213日）、6月27日（施工後246日）、8月2日（施工後282日）、および9月7日（施工後318日）である。

1. 3 結果と考察

舗装の色彩のデータを表1～7および表8に示す。測色値は Y_{xy} とHVCで示した。 $Y(\%)$ は値が大きいほど明るい色彩であり、 xy は色度座標である。Hは色相であり、Vは明度で値が大きいほど明るく、Cは彩度で値が大きいほど鮮やかである。彩度Cの値が0.5以下のとき無彩色とされ、0.5以上のとき有彩色とされる。

試験舗装の色彩の経時的変化を表1～7に示すが、施工後163日目から318日目までの色彩のデータである。表8には平成2年度報告書の既報のデータも含めて、施工後8日目から318日目までの各種舗装の変退色の傾向を示した。

木レンガA；施工後8日の1990年11月1日のデータでは、心材、辺材ともに色相HはYR（Y10-R6）であったが、施工後30日の11月23日には色相はY（Y10-）となり、赤味が無くなっていた。心材、辺材ともに明度Vは高く（明るく）なる。彩度Cは低くなる、すなわち鮮やかではなくなる。（表1、1'、8）

木レンガB；防腐剤のクレオソートにより、もともと無彩色の暗い色彩であるが、318日目では明度がやや高くなり、かつYの色相で彩度も1.2になり、有彩色になった。これは表面のクレオソートがとれて、木材の色が出てくることと、土の汚れの付着による。（表2、2'、8）

タイル；明度はわずかに低くなった。彩度は高くなり、すなわち黄ばんできて、白さは劣ってきた。（表3）これは土の付着による汚れが原因の一つと考えられる。

自然石；色相、明度、彩度ともあまり変わらない。（表4）

アスコン；明度が高くなり、彩度も1.1になり有彩色になった。（表5）これは表面のアスファルトの流失により、骨材の色が表面に出てきたためである。

洗い出しコンクリート平板；彩度がやや高くなり、黄ばんでくる。（表6）これは土の付着による汚れが原因の一つと考えられる。

レンガ；平成2年度の施工直後は表面が湿潤状態のことが多かったため、測色データを単純には比較できないが、今年度のデータ（表7）に関しては、ほとんど変化がないといえる。

このように、木レンガAは施工直後の木材の固有の色彩から変退色が認められたが、変退色はタイルやアスコンにも認められる。これらの舗装材を用いる場合

表1 木レンガA (心材) の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	13.39	0.3518	0.3548	2.3Y	4.2	/	1.7
			± 0.97	±0.0020	±0.0019				
1991.4.20	178	5	14.49	0.3509	0.3548	2.7Y	4.4	/	1.7
			± 0.97	±0.0014	±0.0017				
1991.5.25	213	5	15.47	0.3525	0.3568	2.9Y	4.5	/	1.8
			± 1.14	±0.0020	±0.0004				
1991.6.27	246	5	12.96	0.3494	0.3567	4.2Y	4.2	/	1.6
			± 1.08	±0.0051	±0.0044				
1991.8.2	282	5	15.04	0.3515	0.3577	3.6Y	4.5	/	1.8
			± 1.36	±0.0030	±0.0030				
1991.9.7	318	5	16.63	0.3501	0.3550	3.0Y	4.7	/	1.7
			± 1.09	±0.0015	±0.0019				

MINOLTA製色色差計CR100 (JIS Z 8722準拠), C光源 表1'~7も同様の測色方法

表1' 木レンガA (辺材) の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	16.04	0.3565	0.3593	2.3Y	4.6	/	2.0
			± 1.34	±0.0015	±0.0010				
1991.4.20	178	5	15.26	0.3552	0.3595	2.9Y	4.5	/	1.9
			± 1.13	±0.0013	±0.0008				
1991.5.25	213	5	16.66	0.3576	0.3597	2.0Y	4.7	/	2.0
			± 0.89	±0.0043	±0.0028				
1991.6.27	246	5	16.81	0.3505	0.3578	4.0Y	4.7	/	1.8
			± 2.11	±0.0041	±0.0029				
1991.8.2	282	5	18.41	0.3522	0.3582	3.4Y	4.9	/	1.9
			± 1.31	±0.0016	±0.0015				
1991.9.7	318	5	17.24	0.3518	0.3570	3.1Y	4.8	/	1.9
			± 1.63	±0.0025	±0.0023				

表2 木レンガB (心材) の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	5.00	0.3086	0.3119	2.8P	2.6	/	0.1
			± 0.24	±0.0002	±0.0007				
1991.4.20	178	5	4.70	0.3157	0.3157	5.4R	2.5	/	0.2
			± 0.25	±0.0026	±0.0019				
1991.5.25	213	5	6.32	0.3199	0.3236	0.1Y	2.9	/	0.2
			± 0.85	±0.0011	±0.0112				
1991.6.27	246	5	6.47	0.3345	0.3350	0.1Y	3.0	/	0.7
			± 0.74	±0.0236	±0.0200				
1991.8.2	282	5	7.70	0.3391	0.3413	1.5Y	3.2	/	0.9
			± 1.04	±0.0136	±0.0114				
1991.9.7	318	5	8.23	0.3427	0.3453	2.0Y	3.3	/	1.1
			± 1.73	±0.143	±0.0126				

表2' 木レンガB (辺材) の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4. 5	163	5	5.08 ± 0.26	0.3079 ±0.0032	0.3114 ±0.0021	1.1P	2.6	/	0.2
1991.4.20	178	5	4.64 ± 0.05	0.3180 ±0.0039	0.3188 ±0.0024	1.3YR	2.5	/	0.2
1991.5.25	213	5	5.51 ± 0.47	0.3161 ±0.0131	0.3195 ±0.0102	5.6Y	2.7	/	0.1
1991.6.27	246	5	6.12 ± 0.53	0.3176 ±0.0169	0.3217 ±0.0140	9.5YR	2.9	/	0.2
1991.8. 2	282	5	5.79 ± 0.93	0.3217 ±0.0060	0.3237 ±0.0066	7.9YR	2.8	/	0.3
1991.9. 7	318	5	8.33 ± 1.90	0.3456 ±0.0144	0.3471 ±0.0117	1.6Y	3.4	/	1.2

表3 タイルの色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4. 5	163	5	31.88 ± 4.46	0.3247 ±0.0047	0.3317 ±0.0036	3.8Y	6.2	/	0.8
1991.4.20	178	5	29.39 ± 2.58	0.3278 ±0.0056	0.3349 ±0.0045	3.8Y	6.0	/	1.0
1991.5.25	213	5	31.85 ± 2.12	0.3275 ±0.0048	0.3345 ±0.0053	3.7Y	6.2	/	1.0
1991.6.27	246	5	34.18 ± 0.95	0.3207 ±0.0030	0.3285 ±0.0030	5.3Y	6.4	/	0.6
1991.8. 2	282	5	37.74 ± 4.39	0.3222 ±0.0023	0.3322 ±0.0025	7.4Y	6.7	/	0.8
1991.9. 7	318	5	33.95 ± 2.38	0.3246 ±0.0028	0.3339 ±0.0021	6.2Y	6.4	/	0.9

表4 自然石の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4. 5	163	5	30.04 ± 3.03	0.3285 ±0.0038	0.3353 ±0.0048	3.5Y	6.1	/	1.0
1991.4.20	178	5	26.23 ± 2.37	0.3355 ±0.0025	0.3422 ±0.0027	3.4Y	5.7	/	1.3
1991.5.25	213	5	23.25 ± 3.97	0.3415 ±0.0056	0.3467 ±0.0051	2.7Y	5.4	/	1.5
1991.6.27	246	5	26.33 ± 1.91	0.3338 ±0.0039	0.3417 ±0.0038	4.3Y	5.7	/	1.3
1991.8. 2	282	5	26.46 ± 3.79	0.3376 ±0.0034	0.3469 ±0.0029	4.9Y	5.7	/	1.5
1991.9. 7	318	5	25.60 ± 1.89	0.3396 ±0.0035	0.3466 ±0.0036	3.6Y	5.7	/	1.5

表5 アスコンの色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	9.74 ± 0.80	0.3284 ±0.0030	0.3357 ±0.0033	4.7Y	3.6	/	0.7
1991.4.20	178	5	11.06 ± 0.63	0.3333 ±0.0053	0.3400 ±0.0039	4.1Y	3.9	/	0.9
1991.5.25	213	5	10.46 ± 1.70	0.3327 ±0.0032	0.3396 ±0.0034	4.2Y	3.8	/	0.8
1991.6.27	246	5	9.47 ± 0.95	0.3305 ±0.0041	0.3366 ±0.0033	3.8Y	3.6	/	0.7
1991.8.2	282	5	10.10 ± 1.85	0.3354 ±0.0027	0.3440 ±0.0019	5.3Y	3.7	/	1.0
1991.9.7	318	5	11.61 ± 1.16	0.3368 ±0.0046	0.3451 ±0.0038	5.0Y	4.0	/	1.1

表6 洗い出し平板の色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	22.23 ± 3.74	0.3326 ±0.0038	0.3388 ±0.0067	3.2Y	5.3	/	1.1
1991.4.20	178	5	25.94 ± 2.64	0.3422 ±0.0029	0.3477 ±0.0036	2.8Y	5.7	/	1.6
1991.5.25	213	5	19.87 ± 2.03	0.3369 ±0.0042	0.3462 ±0.0042	5.2Y	5.1	/	1.3
1991.6.27	246	5	25.69 ± 3.12	0.3356 ±0.0060	0.3438 ±0.0040	4.4Y	5.7	/	1.4
1991.8.2	282	5	25.50 ± 0.80	0.3375 ±0.0057	0.3449 ±0.0036	3.9Y	5.7	/	1.4
1991.9.7	318	5	21.74 ± 2.92	0.3407 ±0.0041	0.3478 ±0.0043	3.8Y	5.3	/	1.5

表7 レンガの色彩

年月日	日数	n	Y(%)	x	y	H	V	/	C
1991.4.5	163	5	15.78 ± 0.50	0.3652 ±0.0024	0.3567 ±0.0029	9.4YR	4.6	/	2.2
1991.4.20	178	5	6.95 ± 0.71	0.3700 ±0.0019	0.3547 ±0.0023	7.6YR	4.7	/	2.5
1991.5.25	213	5	16.41 ± 1.18	0.3671 ±0.0036	0.3547 ±0.0008	8.2YR	4.7	/	2.3
1991.6.27	246	5	15.12 ± 0.33	0.3780 ±0.0031	0.3567 ±0.0021	6.8YR	4.5	/	2.7
1991.8.2	282	5	15.74 ± 0.77	0.3729 ±0.0048	0.3556 ±0.0016	7.3YR	4.6	/	2.5
1991.9.7	318	5	15.58 ± 0.51	0.3700 ±0.0020	0.3564 ±0.0011	8.2YR	4.5	/	2.4

表8 舗装の変退色の傾向

舗装	日数	測 色 値 H V/C	色 相 H	明 度 V	彩 度 C	註
木レンガA (辺)	8 105 318	8.2YR 3.1/2.4* 1.9Y 4.6/2.1 3.1Y 4.8/1.9	YRからYに 赤味消える	明るくなる	鮮やかさが やや下がる	①
木レンガB (辺)	8 105 318	8.7YR 2.1/0.0* 5.0P 2.6/0.1 1.6Y 3.4/1.2	Yになる	やや明るく なる	無彩色から 有彩色に	②
タイル	8 105 318	5.6Y 6.7/0.4 4.5Y 6.3/0.8 6.2Y 6.4/0.9	—	わずかに暗 くなる	やや黄ばみ 白さが劣る	③
自然石	8 105 318	3.5Y 5.9/1.2 4.2Y 6.0/1.0 3.6Y 5.7/1.5	ほとんど変わらない			④
アスコン	8 105 318	3.0Y 2.3/0.2 5.3Y 3.3/0.4 5.0Y 4.0/1.1	—	明るくなる	無彩色から 有彩色に	⑤
洗出平板	8 105 318	5.4Y 5.2/0.7 4.0Y 5.3/1.0 3.8Y 5.3/1.5	—	—	黄ばみ、白 さが劣る	⑥

※1990年10月24日に竣工した試験区の、施工後 318日目までのデータに基づく。試験区は日常的に人が歩行し、周辺は裸地。舗装には表面の汚れもあり、木レンガBは汚れが付着しやすい。

①ヒノキ心持材、ユ-8M 処理 ②ヒノキ心持材、クレオソート処理

③小舗石タイル（磁器質） ④白色系統の花崗岩板石

⑤開粒度アスファルトコンクリート ⑥白色系統の花崗岩碎石を洗い出したコンクリート平板

には、施工直後の色彩により長期的な配色計画を立てることは適切とは言い難く、変退色の特徴を把握したうえで配色計画を立てる必要がある。また、木レンガAの辺材の色彩の彩度Cは318日目でも1.9であったが、この値は舗装材の色彩の鮮やかさとしては、各種自然石に比べても、そう低い値ではなく、少なくとも、博覧会場のような短期間の仮設舗装としては、十分に色彩的効果が期待できる。木レンガBのクレオソート処理による色彩の明度Vは、辺材で318日目でも3.4であったが、この値は318日目のアスコンの明度よりも低く、舗装材の色彩の明度としては暗い値であり、使い方によっては色彩的効果が期待できよう。

2. 木製舗装の表面温度に関する試験研究

2. 1 試験の目的

木製舗装と、その他の舗装の表面温度を測定し、対比的に表面温度の特性を把握することを目的に試験を行った。平成2年度報告書にすでに方法等について詳述し、表面温度のデータを記載したが、本報告書でも試験区・測定方法は平成2年度と同様であり、平成3年度内に測定したデータを記載した。

2. 2 試験の方法

1)測定の対象

測定の対象は前述の東京農業大学構内の試験舗装である。

2)測定方法

表面温度の測定は、MINOLTA製TR0510を用いたが、非接触タイプで、温度(℃)をデジタル表示するもので、測定距離1.2mのとき測定面は径18mmの円である。現地で舗装の表面の乾燥している状態で表面温度を測定し、各舗装につき1点を日中1時間ごとに測定した。

試験区の測定年月日は1991年4月5日、4月20日、5月25日、6月27日、8月1日、8月2日、および9月7日である。

なお気象データは、日射量、気温、風速、雨量等について試験区を設けた東京農業大学構内で、(株)ビコンジャパン製のウェザーステーションにより測定した。

2. 3 結果と考察

舗装の表面温度と日射量、気温の関係を図1～7'に示す。なお、表面温度測定日の風速を図8、8'に、雨量を表9に示す。日射量の単位ラングレーLyは1cm²当り1分間のcalの総和で、Ly/hはその1時間当りの積算calの総和である。

図1～7'のいずれにおいても、日射量Ly/hの大小が舗装の表面温度℃の高低に影響していることは明らかである。日中の舗装の表面温度℃の較差は、気温℃の較差よりも大きい。

4月初旬の春期から9月初旬の夏期において日中の舗装の表面温度はおおむね、木レンガB>アスコン>木レンガA>その他の舗装(タイル、自然石、洗出平

図1 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年4月5日

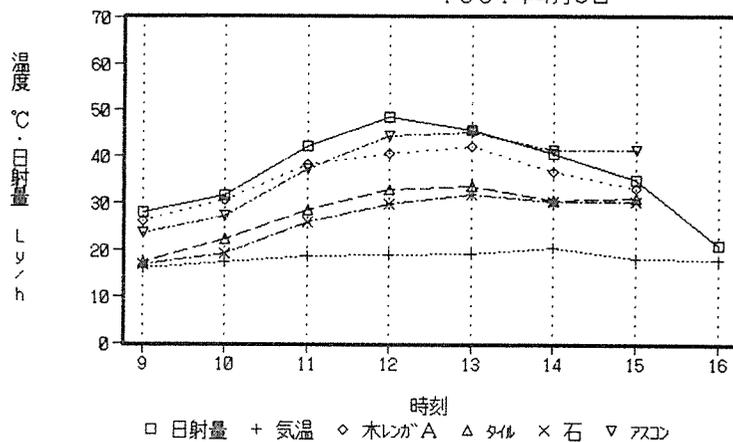


図1' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年4月5日

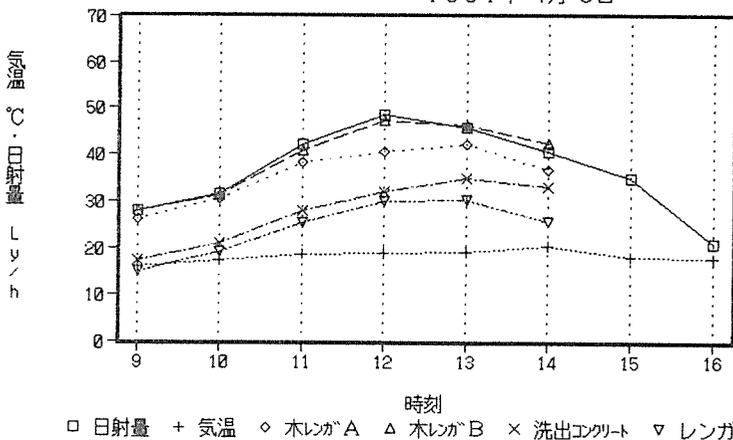
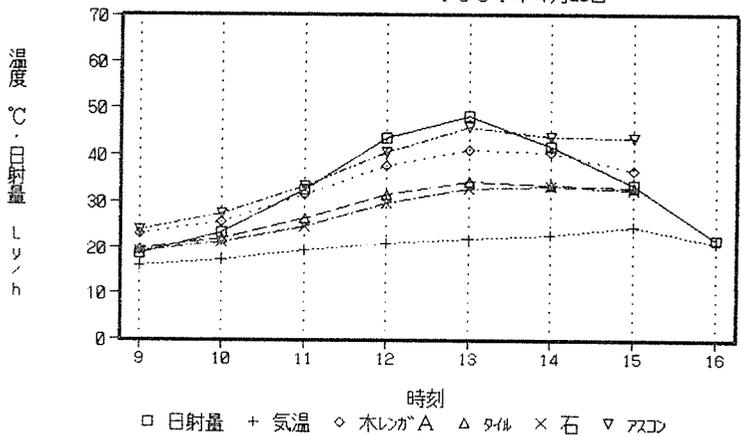


図2 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年4月20日



※図1~7'の日射量・気温は東京農業大学構内で測定した値。

図2' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年4月20日

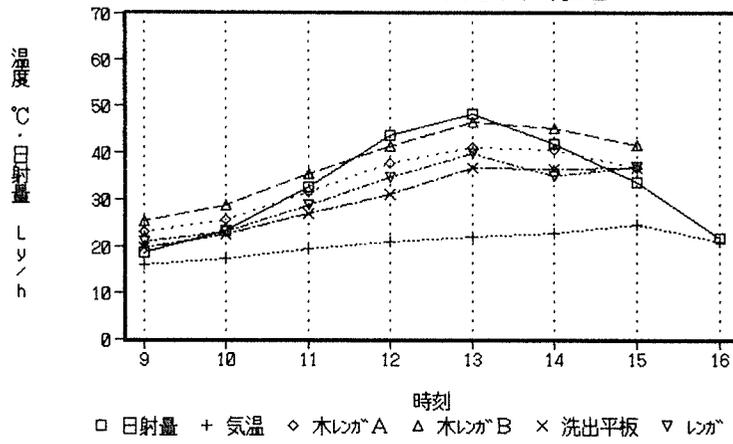


図3 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年5月25日

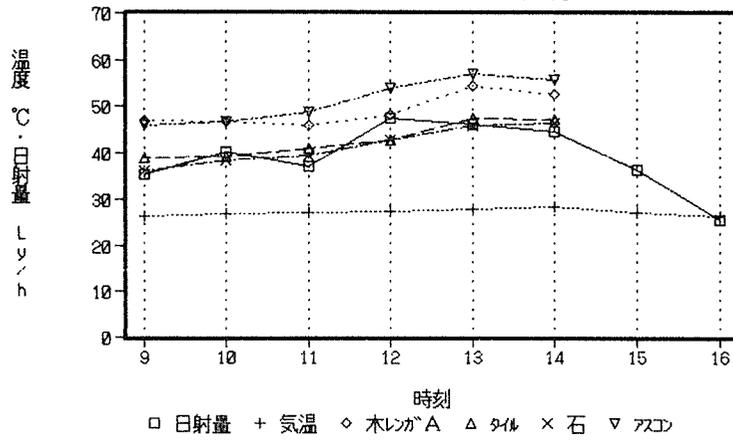


図3' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年5月25日

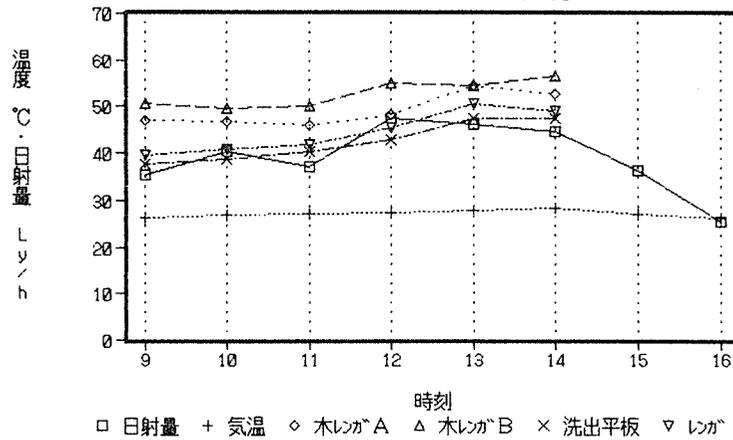


図4 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年6月27日

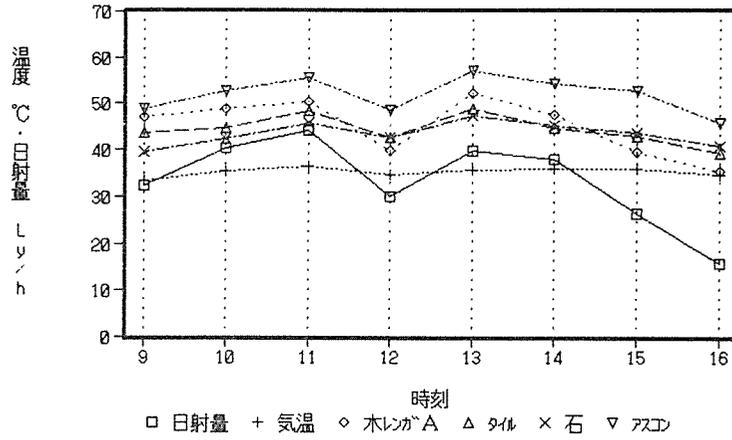


図4' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年6月27日

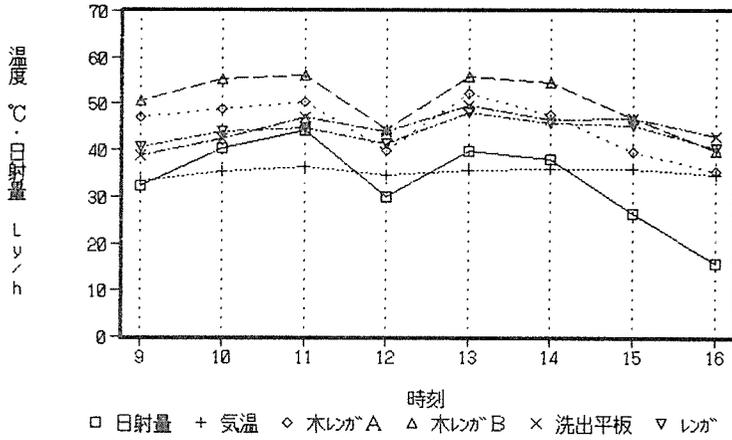


図5 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年8月1日

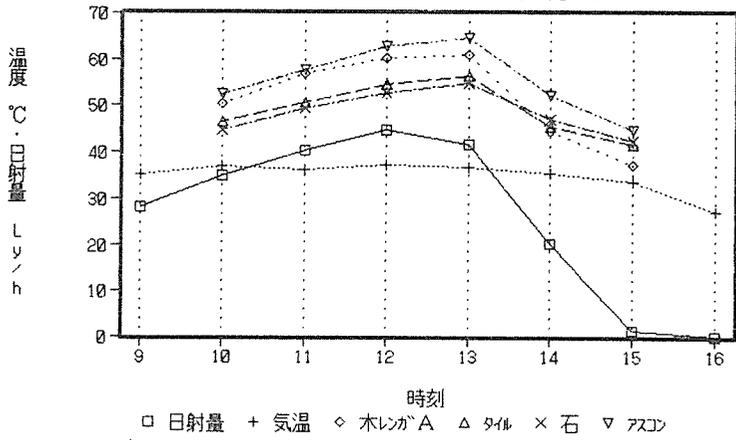


図5' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年8月1日

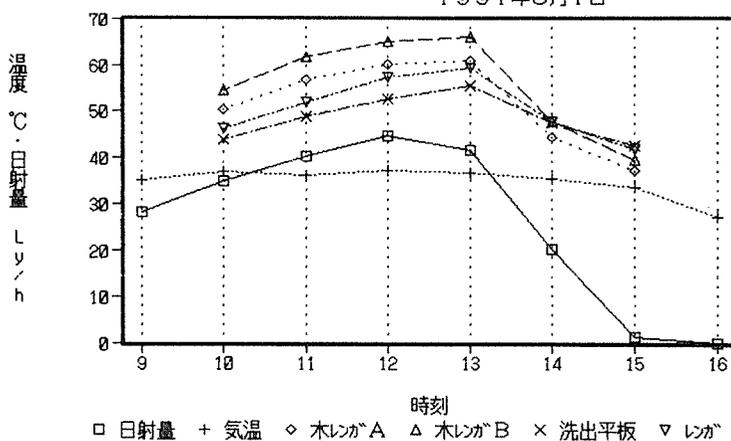


図6 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年8月2日

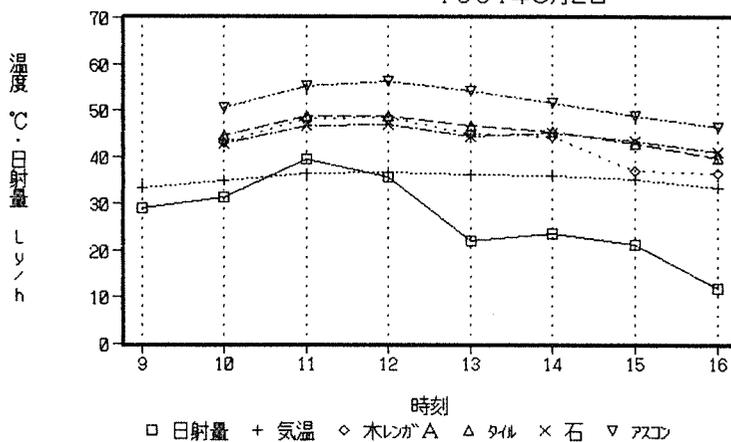


図6' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年8月2日

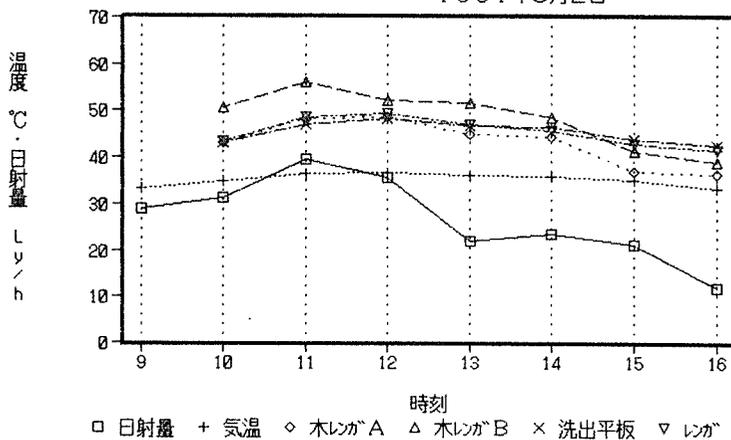


図7 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年9月7日

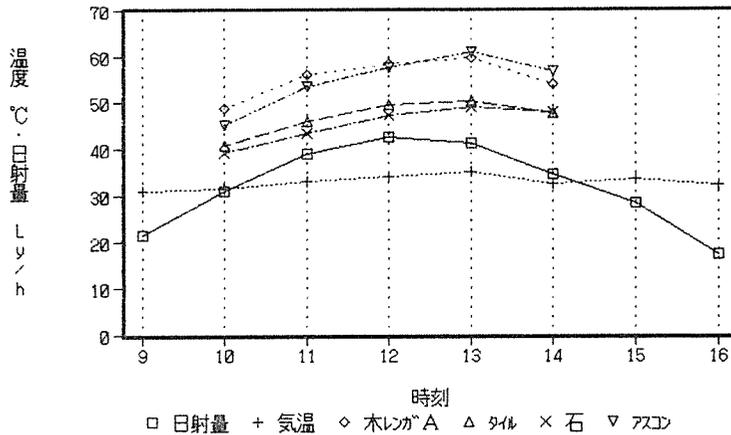
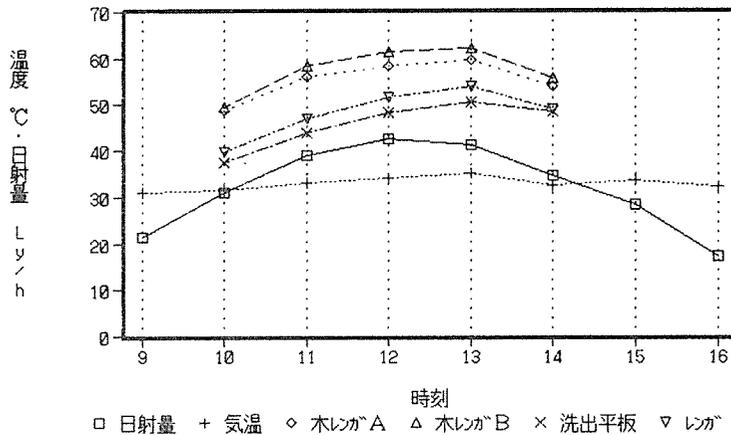


図7' 試験舗装の表面温度と気温・日射量
1991年9月7日



板、レンガ)

となっている。木レンガは、デザインに配慮して用いられる舗装材であるタイル、自然石、洗い出しコンクリート平板、レンガよりも、春期から夏期に日中の表面温度が高くなる。しかし、木レンガのうち、ニューBMによる防腐処理で、ヒノキの木材の色彩の現れている木レンガAはアスコンほどには表面温度が高くない。

平成2年度の報告書において、木レンガの表面温度は、11月～2月の晩秋～冬期においては、アスコンも含めた他の舗装よりも高いことを報告した。

ヒノキの木材の色彩の現れている木レンガAは、最も一般的に使われる舗装であるアスコンに比べて、晩秋～冬期においては、表面温度がより高く、春期～夏期においては表面温度がより低いことが示された。

図8 試験舗装の表面温度測定日の風速
(1時間毎の瞬間風速)

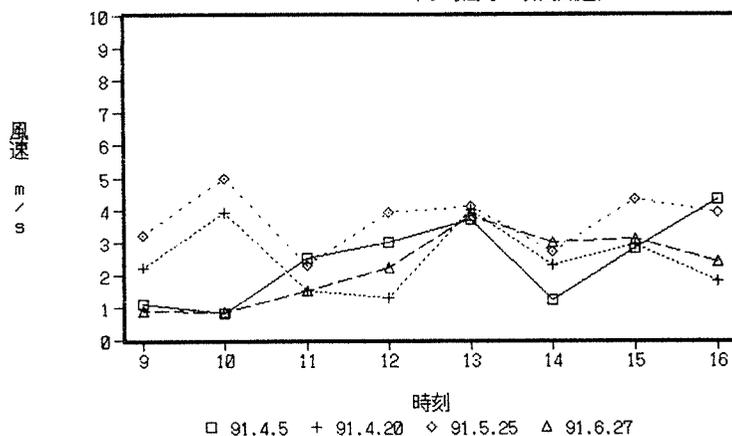
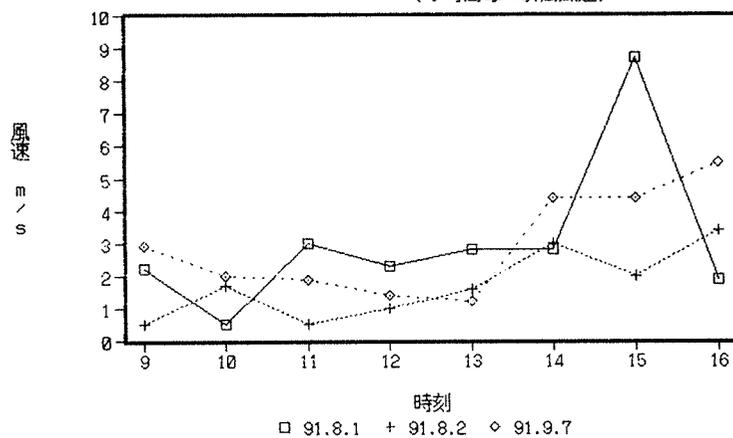


図8' 試験舗装の表面温度測定日の風速
(1時間毎の瞬間風速)



*東京農業大学構内で測定した値。

表9 試験舗装の表面温度測定日の雨量

年月日	91. 4. 5	91. 4. 20	91. 5. 25	91. 6. 27
9~16時の雨量 mm	0.00	0.00	0.00	1.30

年月日	91. 8. 1	91. 8. 2	91. 9. 7
9~16時の雨量 mm	1.00	0.00	0.00

*東京農業大学構内で測定した値。

II マニュアル類の作成

第1章 はじめに

本事業で技術開発の課題として取りあげた6課題のうち、本年度は、木製栈橋に係わるマニュアルの作成及び木橋に係わるマニュアル作成のための検討を行った。

現在、栈橋の設計施工のよりどころとなる指針類としては、昭和49年運輸省令第30号で施行された「港湾の施設の技術上の基準を定める省令」がある。また、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」が（社）日本港湾協会から出されている。

木製栈橋類の利用は、前記基準が適用される海浜リゾート施設としてのマリーナ等を主体に公園内の湖沼等における親水施設としての栈橋、水上歩道等広範囲に亘り、またその規模も大小様々である。

この様な状況の中で、作成するマニュアルは浮栈橋を設計・施工するメーカー等に対し木材に関する情報を主体に提供することとし「浮栈橋における木材利用に関するガイドライン」として取りまとめた。

木橋については、昭和15年11月内務省による「木道路橋設計示方書案」が唯一の示方書といえる。現在、日本道路協会から出版されている道路橋示方書・同解説には木橋に関する記述はなく、また現行のマニュアル類で木橋について僅かでも言及しているのは、日本林道協会発行による林道必携のみである。ただし、設計に際し必要となる木材等の許容応力度に関しては一切触れられていない。

この様な状況をふまえて、今年度はマニュアル作成に必要な材料強度等に関する資料類の収集に努めた。

作成したマニュアル及び収集した資料類は、次頁以降に掲載したが、マニュアルについては、今後試作及び経過観察等の結果を踏まえて、更に加筆・修正を加えていきたいと考えている。

1. 総 則

1.1 指針の目的

本指針は、浮棧橋における木材利用について一般的な指針を定め、合理的な計画・設計・施工・維持管理を行うに資することを目的とする。

〔解説〕

海浜リゾート施設としてのマリーナ、あるいは公園内の湖沼等の水辺における親水施設として浮棧橋、水上歩道などに利用され、今後益々設置数の増加が見込まれている。

一方、こうした浮棧橋の設計施工の指針としては運輸省港湾局から「港湾施設の技術上の基準・同解説」が出されている。実際の設計・施工は、これをもとに、浮棧橋メーカーその他が自主的に行っている。この場合、浮棧橋の構造、材料の中に木材がその感覚的な好みから利用されることが多い。とくにデッキ材は、素材の持つ「自然さ」や余暇を過ごすリゾート施設にマッチした質感などを有するため、感覚的な志向から特に利用されることが多い。

しかし浮棧橋に木材を有効かつ合理的に利用してゆくための指針は現在希薄である。従って、本ガイドラインは浮棧橋を設計・施工するメーカーあるいは浮棧橋を計画している地方自治体関係者に対して木材に関するデータおよび知識、木材の使い方、メンテナンス等に関する木材利用上の手助けとなることを目的としている。

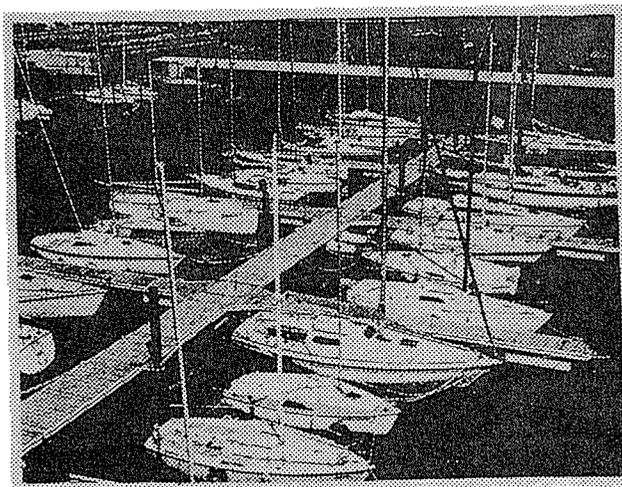


図1 木製デッキを持つ浮棧橋

1.2 適用の範囲

本指針は主に床板、根太に木材および木質材料を使用する浮棧橋を対象とする。

[解説]

浮棧橋は、メインフレーム、フロート、デッキ、防舷材、根太から構成されている。また浮棧橋に付随した構造体としては係留杭、渡橋、連絡橋、係留鎖等がある。これらのうち本指針で、主にとりあげるのは、浮棧橋本体構造に限定し、中でも木材の使用頻度が高いと思われる、デッキ、及び根太材、防舷材等について述べることにする。

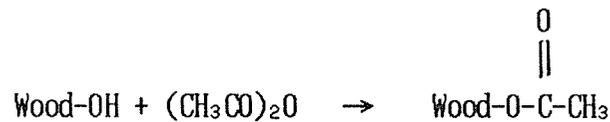
1.3 用語の定義

本指針において使用する用語を定義する。

[解説]

- (1) プレジャーボート スポーツまたはレクリエーションの用に供するヨット、モーターボートその他の船舶をいう。
- (2) 浮棧橋 潮汐の干満に連動して上下する棧橋をいう。
- (3) デッキ 棧橋の床板を意味する。
- (4) 乾舷 水面より上の浮棧橋部分をさす。Freeboard
- (5) 耐久性と耐朽性 耐久性とは、ある環境における材料の耐用年数が、生物的な要因が全く関係しないで、決定される場合に用いられる用語。主として生物的な要因（菌、虫、カビ等）で耐用年数が考慮される場合には、耐朽性という用語が使用される。
- (6) 腐食と腐朽 腐食とは、材料が化学的に劣化（酸化還元反応の様な反応）することで、腐朽とは、有機物質が微生物（菌類）の酵素により劣化分解することを意味する。
- (7) PC杭 プレストレストコンクリート杭。予め伸張した鋼線をコンクリート内に打ち込み、その内応力を利してコンクリートの弾性を増加させ亀裂を少なくしたもの。

- (8)U環 浮棧橋フレーム端部に取り付けた係留ロープ、チェーン等を連結する環
- (9)防舷材 浮棧橋の側面に取り付ける部材。通常船舶の衝突、接触等に対しての緩衝目的が必要。
- (10)最大傾斜角 渡り橋の角度で、水位が一番低いレベルにおける渡り橋と水平面のなす角。
- (11)上載荷重 浮棧橋に加わる荷重。自重と載荷重（積載荷重、活荷重）に分けられる。
- (12)アセチル化木材 木材の酢酸エステル（アセチルエステル）で、木材中のリグニン、ホロセルロース等に含まれる水酸基を無水酢酸等を用いて、種々化学反応させアセチルエステルとしたもの。



- (13)WPC 木材組織の空隙部分を注入、充填した後、放射線や電子線等をかけて、木材組織の中でプラスチックを形成・硬化させたもの。Wood Plastic Combinationの略。

2. 浮棧橋の概要

2.1 浮棧橋の特徴および用途

浮棧橋は干満差のある水面に設置され係留施設、親水施設として利用される。

[解説]

特徴： 一艇当りの必要面積が他の係留施設より少ない。

波と同調するので干満差が大きな海(2m~3m)、湖、沼での使用に適している。

現在、波高さ1.0m程度の条件でも耐えられるものが使用される。

用途： プレジャーボートを海上、湖上ででの保管係留に使用する。

陸上保管艇を海上または湖上に降ろしたときの出港準備等の作業及び食事、給油、修理のために寄港したビジター艇の係留等に利用される一時係留施設として利用される。

親水施設として、水上ステージ、水上遊歩道などへの利用も伸びている。

水上バスの発着にも利用される。

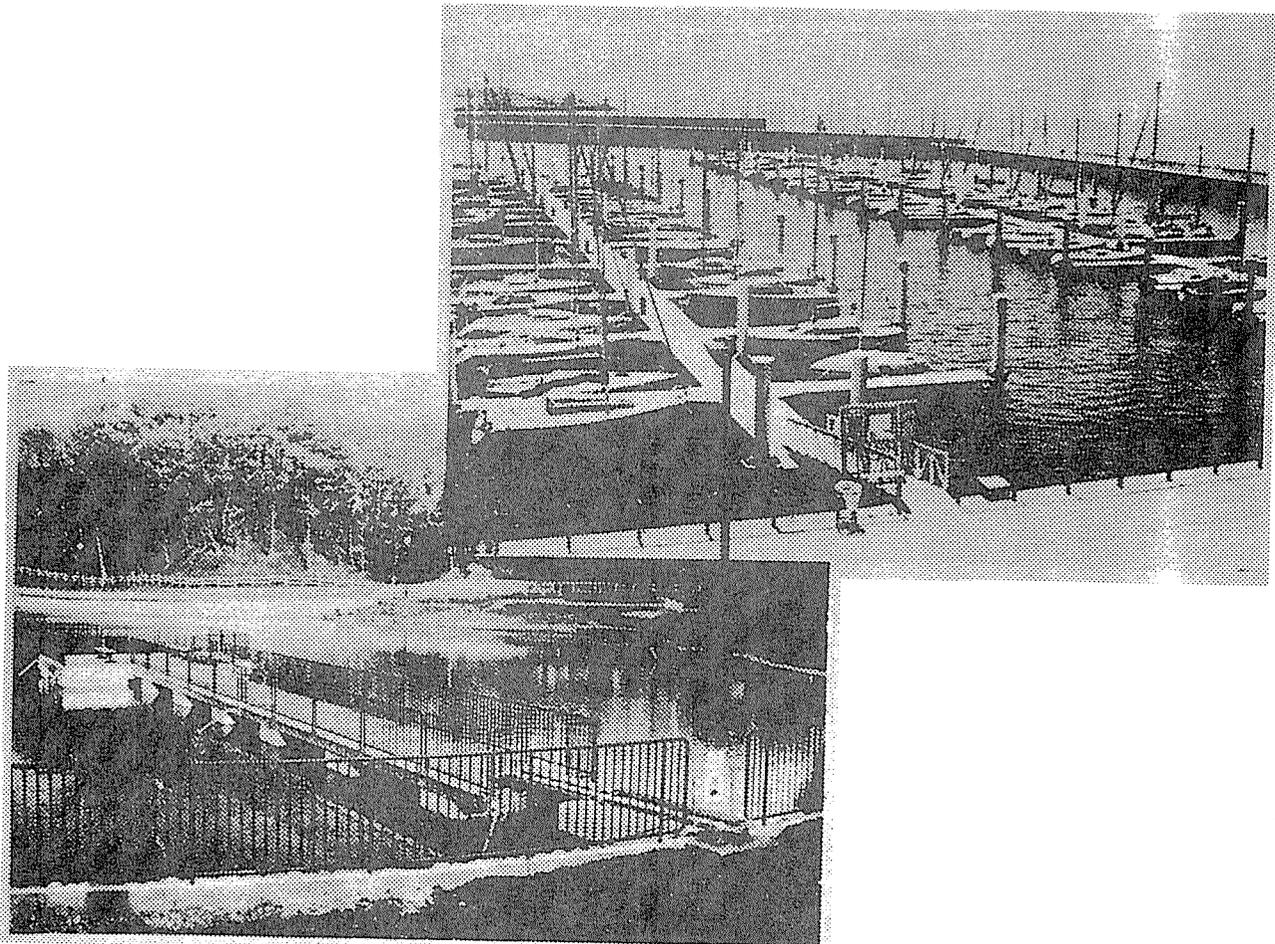


図2 浮棧橋利用例

2. 2 設置場所

波、潮流の影響の少ない海上、大きな湖、湖、池、沼等に設置される。

【解説】

浮棧橋は、海上においては防波堤に保護された区域内に設置され、外海や潮流の激しい水域等に直接面して設置されることは好ましくない。なぜなら、浮棧橋の構造は水面の緩やかな上下動に対しては十分に耐えられるが、横方向の動きに対しては耐力が比較的弱いからである。

従って、従来の構造では激しい波を被った時の不規則な動きに対する耐力を有しておらず、そのような状況が想定される場所ではそれなりの構造設計が必要となる。近年では土木技術の発展により、自然環境の厳しい土地にマリーナ等の建設が可能となっており、台風等に伴う高潮の影響を十分考慮して設置すべきである。

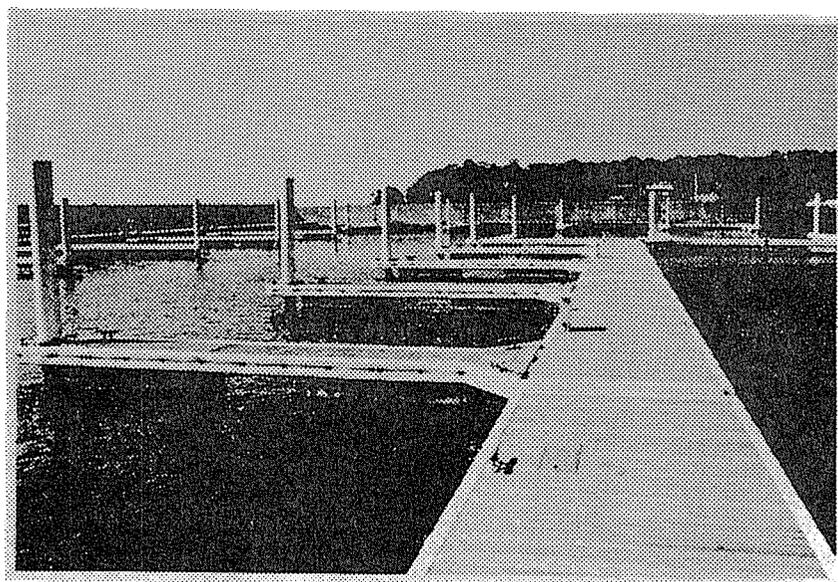


図3 海上での設置例

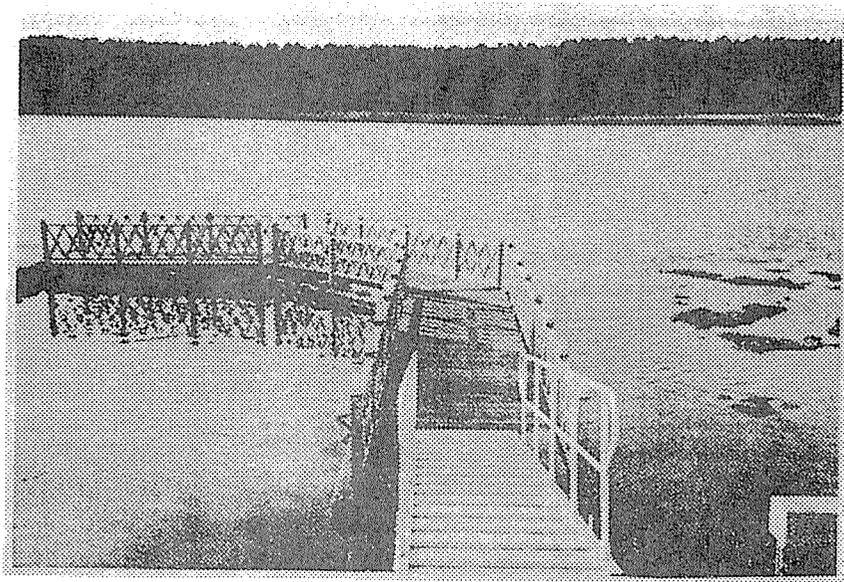


図4 湖での設置例

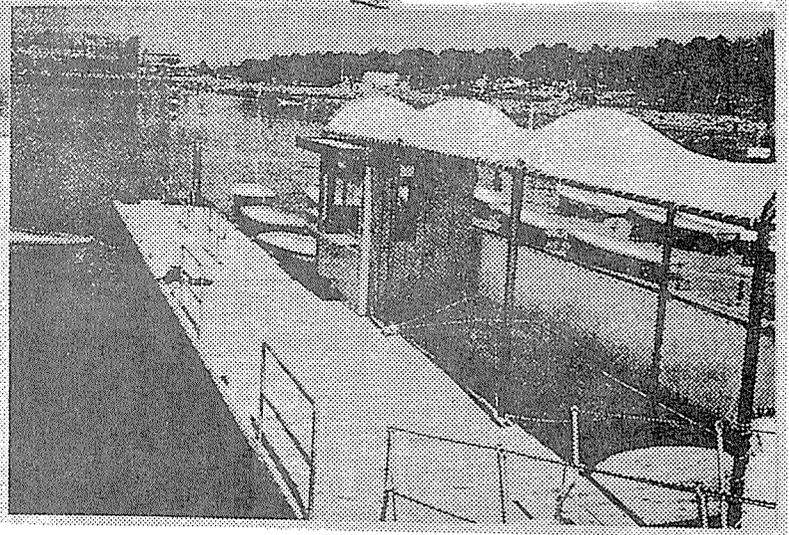
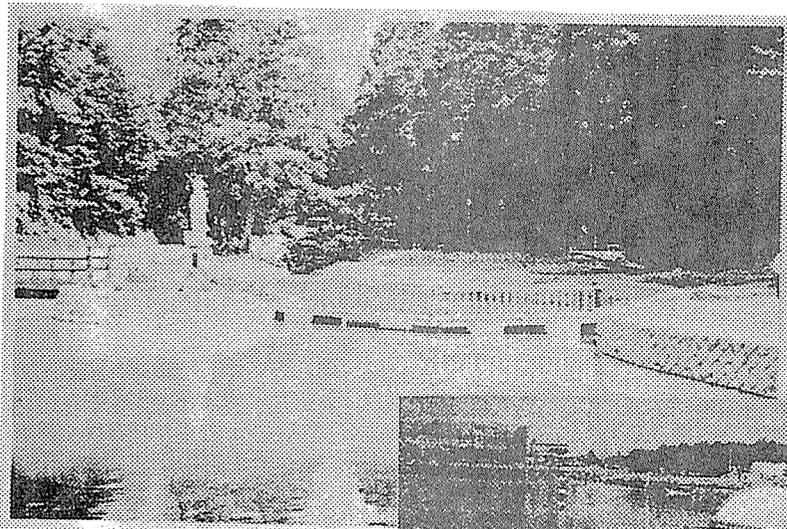


図5 池での設置例

2.3 固定方法

浮棧橋は、杭やアンカーにより固定する。

[解説]

浮棧橋の係留（固定）は、大別して、係留杭とアンカー係留がある。

2.3.1 杭による固定

係留杭は、水深が比較的小さく、浮棧橋の振れ回りを抑える場合に用いられる。係留装置は形鋼などで杭を囲むようフレームを形成し、杭の回りにローラを配置したものを浮棧橋メインフレームにボルトで取り付ける。

鋼管杭、PC杭による設置が一般的である。ただし海底地盤が堅固なところではアンカー式鋼管杭が利用される。

2.3.2 アンカーによる固定

水深が深い場合、海底地盤が岩盤等の堅固なところでは杭の打設ができないのでアンカーにより浮棧橋を固定する。

浮棧橋フレームにU環、リングなどを取り付け、アンカーに取り付けた係留用ロープ、チェーンをこれに連結し係留する。

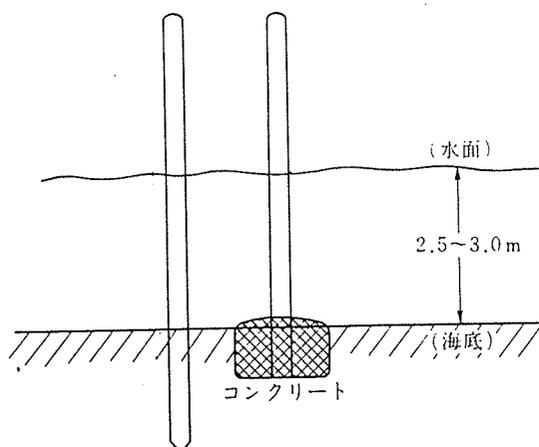


図6 杭による固定例

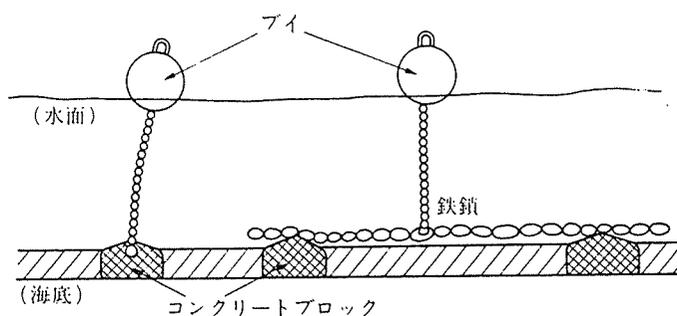


図7 アンカーによる固定例

2.4 配置方法

設置場所の地理的条件、環境条件及び保管、一時係留数を考慮して配置方法を選定する。

[解説]

2.4.1 ボート一艇あたりの必要面積：艇長30フィート（約10m）のボートを例に算定方法を解説する。櫛形配置において、4艇分のスペースを考えると、

$$\text{スペース} = (\text{ボート長} + \text{メイン栈橋幅} + \text{ボート長}) \times (\text{サブ栈橋間隔} + \text{サブ栈橋幅}) \\ (10\text{m} + 2\text{m} + 10\text{m}) \times (8\text{m} + 1\text{m}) = 198\text{m}^2$$

∴一艇当り $198\text{m}^2 \div 4 \div 50\text{m}^2$ （ただし航路などの共通部分は含まない）

2.4.2 櫛形配置

固定栈橋をメイン栈橋として、それに直交する方向に小型の浮栈橋を連結する。マリーナでは一般的な配置方法である。

2.4.3 一列配置

水際から浮栈橋を一列に配列する方法で、水上遊歩道や小型の手漕ぎボート等の係留に適する。

2.4.4 単体の単栈橋

固定栈橋または陸部に隣接して設置され、小型ボート等の昇降に利用する。

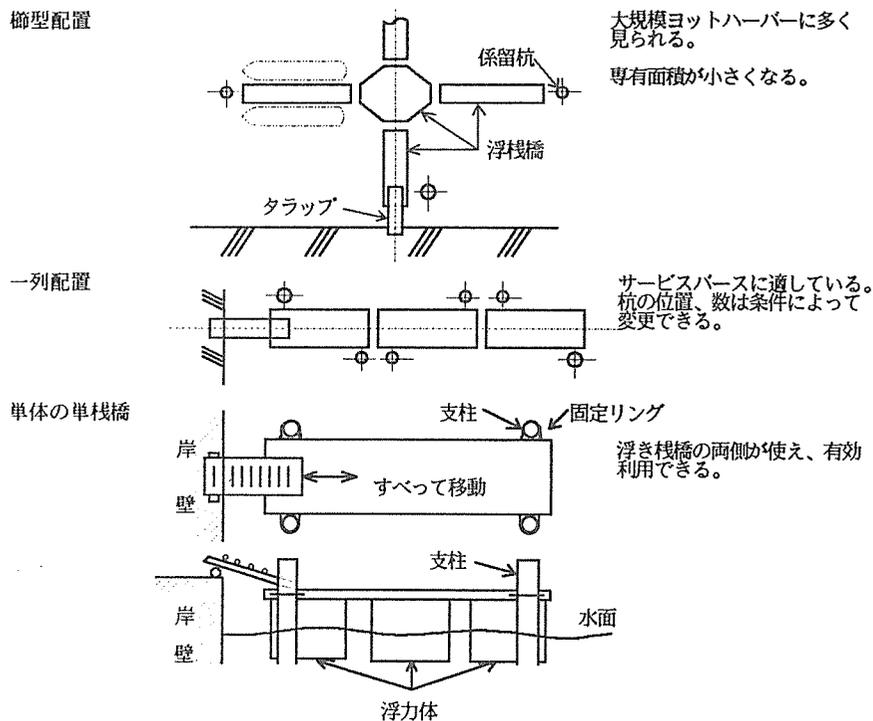


図8 浮栈橋の配置

2.5 浮棧橋の種類

セパレート・モノコック・ユニットの各タイプがある。

〔解説〕

2.5.1 セパレートタイプ

浮力を得るフロート部に歩行用の甲板を取り付けたもので甲板の交換等のメンテナンスが容易となる。

2.5.2 モノコックタイプ

フロートと甲板が一体構造となったもので、単位体積あたりの浮力が大きく、安定性がよい。完成品の工場生産が可能であり、品質が一定に保たれる。

2.5.3 ユニットタイプ

主として小型フロートを連続して接続することにより、浮棧橋としての機能を得るものである。各パーツは小型で軽量であるため、運搬、設置、撤去が容易となる。また用途に応じた様々な平面形態を作りだすことができる。波高の小さなところにおける小型艇の係留に適する。

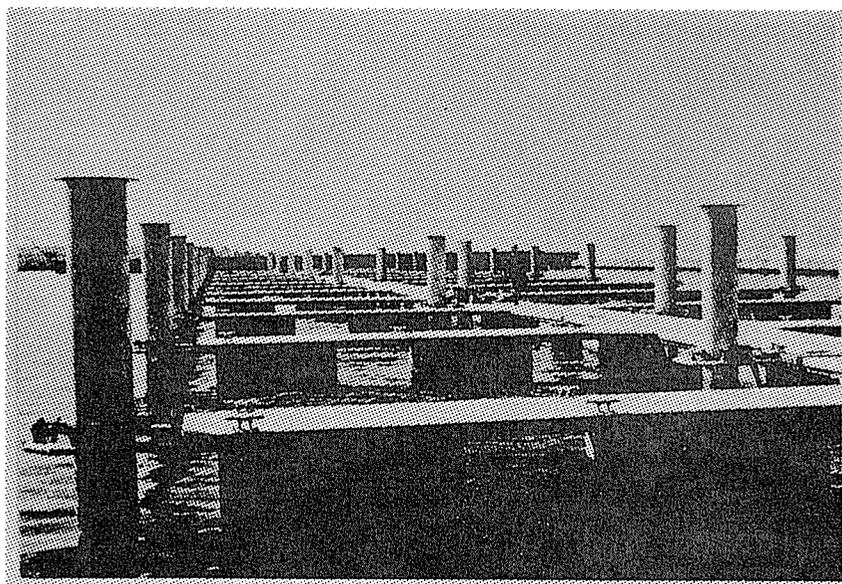


図9 セパレートタイプ浮棧橋

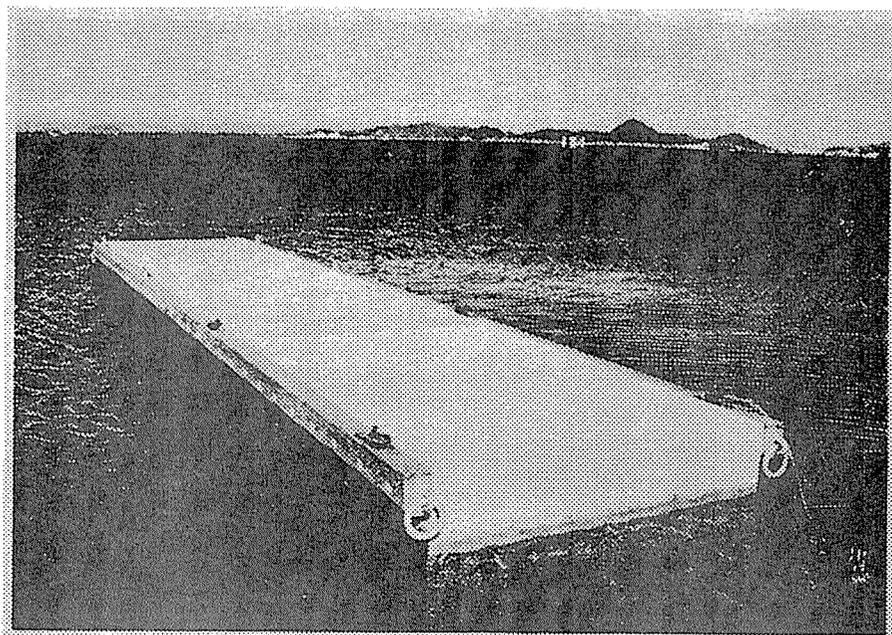


図10 モノコックタイプの浮棧橋

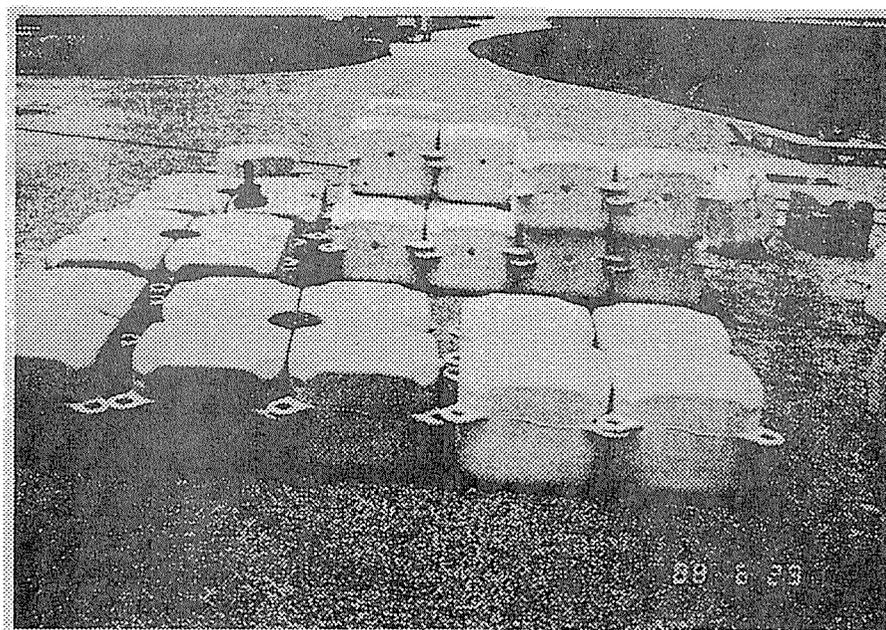


図11 ユニットタイプの浮棧橋ユニット

2.6 浮棧橋の構成

浮棧橋は一般的にメインフレーム、フロート、デッキ、防舷材、根太等で構成される。

【解説】

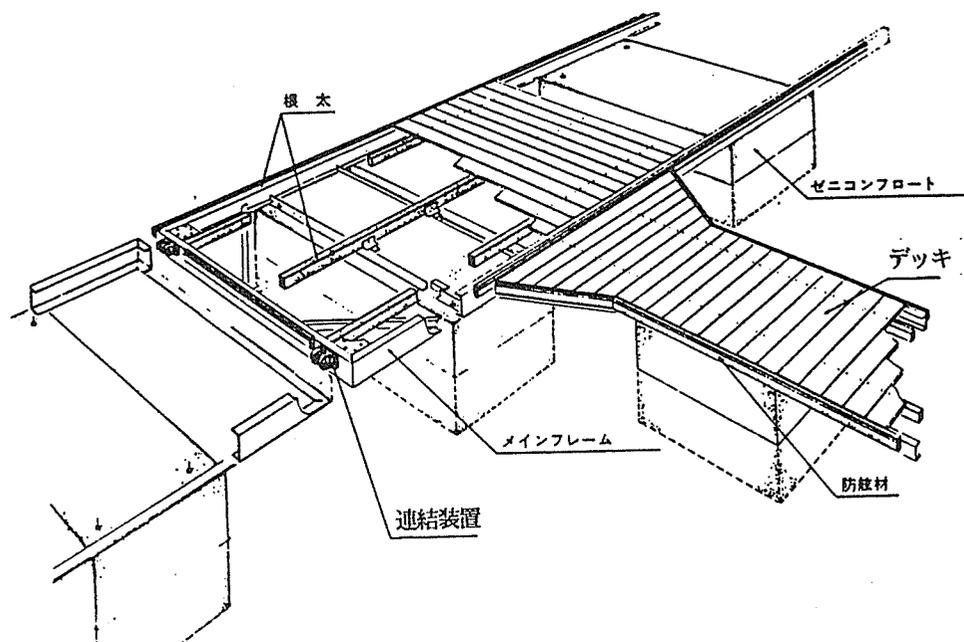


図12 浮棧橋の構成

2.6.1 メインフレーム

浮棧橋の骨格となるもので上載荷重、波浪などによる外力に十分耐え得る強度が必要とされる。材料としては、鋼製あるいはアルミ製が用いられ、形状は通常「溝型」状のものが使用される。

2.6.2 フロート

上載荷重および浮棧橋自重を十分に支持できる浮力を有し、浮力低下の極小なものが使用される。形状は安定性を考慮して方形が、材料は外殻が複合コンクリート、ポリエチレンなどが用いられ、内部は発砲スチロールが充填される。

2.6.3 デッキ

デッキは、上載荷重を支えるのに十分な強度を有するもので、歩行者、使用者の安全性（滑り、たわみ等）に適したものが要求される。

材料としては、木材、樹脂板、鋼板、アルミ板、などが使用される。

2.6.4 防舷材

防舷材はメインフレームの側面に配置され、材料として合成ゴム、プラスチック、木材が用いられる。

船舶などの軽衝突、接触などに対して緩衝効果を得る場合には合成ゴム、軟質プラスチックが用いられ、木材、硬質プラスチックは、緩衝効果よりも浮棧橋自体の保護が主目的となり、ま

たデッキ端面、フレームの化粧のための「モール」的なものに使用される。

2.6.5 根太

根太はデッキに作用する上載荷重をメインフレームに伝達し、デッキをメインフレームに固定するものである。

材料は、ほぼ、デッキ材と同種類のものが用いられることが多く、木材、鋼材、アルミ材（角パイプ、溝型材）が用いられる。

2.6.6 その他

以上は浮棧橋本体の基本構成であるが、浮棧橋の連結のために「浮棧橋連結装置」がある。

浮棧橋連結装置

浮棧橋の連結はその様式により次の方法がある。

- ① 剛結連結：浮棧橋のメインフレーム同士をボルトなどで結合する。
- ② 半剛結連結：浮棧橋のメインフレーム間にゴムブロックなどをはさんでボルトなどで結合する。
- ③ ヒンジ連結：ヒンジ等により上下運動に自由度を持たせる。
- ④ 自由連結：チェーン等で連結して、上下、左右に自由度を持たせる。

池、小さな湖沼、防波堤などで静穏度を保った港内等波高が小さい場合（0.3m程度）は①、②の方法でもよいが、波高が大きい場合は自由度のある連結方式③、④が適している。

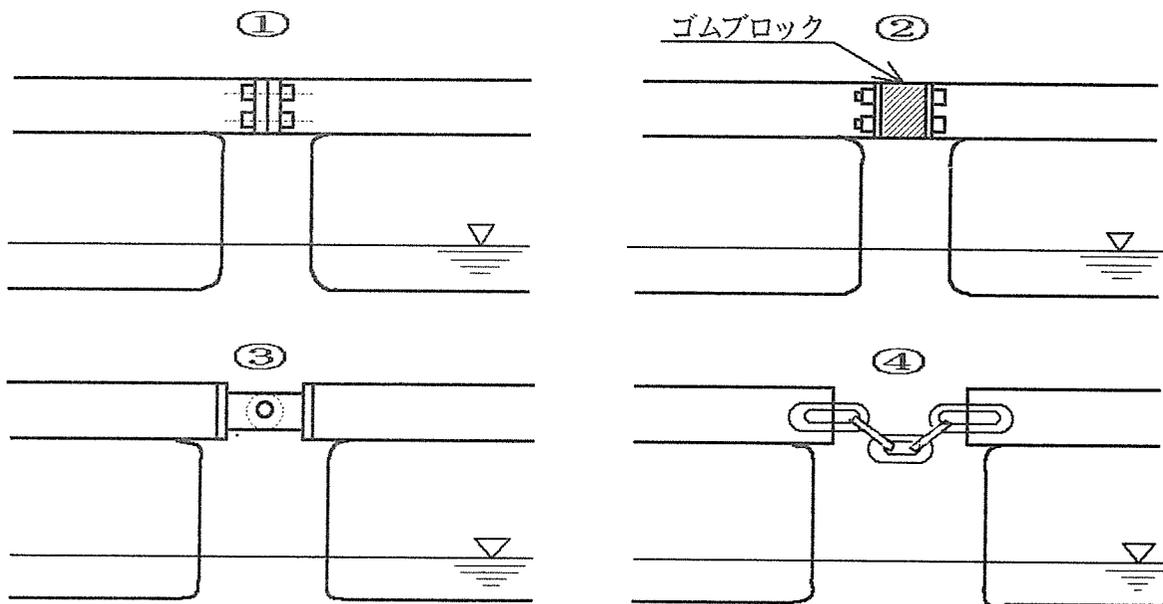


図13 浮棧橋の連結装置

2.7 渡橋

浮棧橋と岸壁・陸地あるいは固定棧橋との連絡のために渡橋を設置する。

〔解説〕

渡橋は、浮棧橋と岸壁、陸地、あるいは固定棧橋とを連結する橋をいう。

形状は幅0.6m～1.2m程度のフレームに浮棧橋同様のデッキを張り、両側に手摺を取り付けたもので、長さは、渡橋取り付け高さ、水位差により異なるが、最大傾斜角15度になるよう設定され、通常、長さ6.0m～12.0mが多い。陸側の取り付けはヒンジ方式が多く用いられ、浮棧橋側は水位変動により移動するためローラー支持とする。

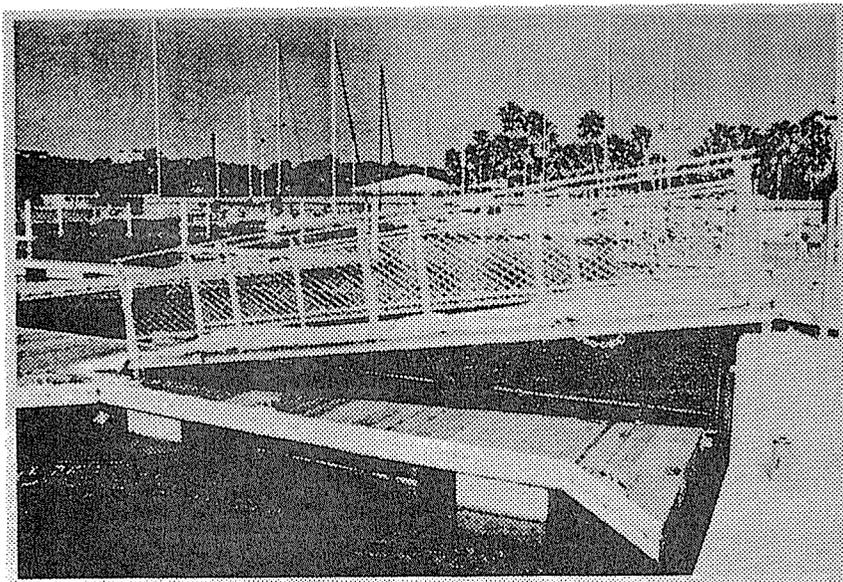


図14 渡橋

3. 木製デッキの性能

3.1 木製デッキの基本性能

浮棧橋デッキに要求される性能を理解する必要がある。

3.1.1 摩耗性

耐摩耗性の目安について

デッキに使用される床板は摩耗し難い材料の方が歩行による摩耗耐久性が大きいと判断される。摩耗し難い性能、すなわち耐摩耗性はテーパ型摩耗試験機を用いて測定した厚さ摩耗量の大小で表されるが、実際に使用される場合には、かなり経験的な判断に頼っていることが多く、特別に数値化された基準はない。しかし、あえて耐摩耗性の基準を設定するとすれば、少なくともスギ材、ヒノキ材、ベイスギ材、ベイマツ材がデッキ材料として使用されており、実用上、特別な支障はないようであるから、これらの樹種の耐摩耗試験データが以下の数値であれば、実用上支障がない基準として一応の設定が可能かと考える。

なお、摩耗量は比重の大きな樹種の方が小さい傾向があり、摩耗量と木材の容積重の間には、 $d = 14.30 \times r^{-1.435}$ (柱目) $d = 13.29 \times r^{-1.756}$ (板目) の関係がある。

表1 各樹種の摩耗量測定値 (柱目で100回転目)

樹種	摩耗量 (μm)	樹種	摩耗量 (μm)
スギ	74	ベイツガ	80
ヒノキ	75	ベイマツ	53
ベイスギ	80	アピトン	25
アカマツ	52	カプール	30
エゾマツ	79	レッドラワン	37
トドマツ	84	サワラ	88
カラマツ	37	キリ	121
モミ	46		

木材工業ハンドブック、P.124-125から抜粋

3.1.2 表面形状

望ましい表面形状について

床材料として望ましい表面形状としては歩行感覚に訴えるもの、外観(デザイン)に関するもの機能性に関するもの等の要因が上げられる。以下のような要求性能に着目して表面形状の設計を行うことが望ましい。

歩行感に関するもの

- 1) すべりにくい
- 2) 足がつかれない
- 3) 歩きやすい
- 4) その他

機能面に関するもの

- 1) 反りにくい
- 2) 割れにくい
- 3) 刺がたちにくい
- 4) 苔、カビが付着しにくい
- 5) 水がたまらない
- 6) その他

デザインに関するもの

- 1) 美しい
- 2) イメージが浮かび易い
- 3) その他

以上のような要求性能を満たすためには床板表面には、波付け加工、面とり加工、仕上げ加工等の各種の工夫がなされている。

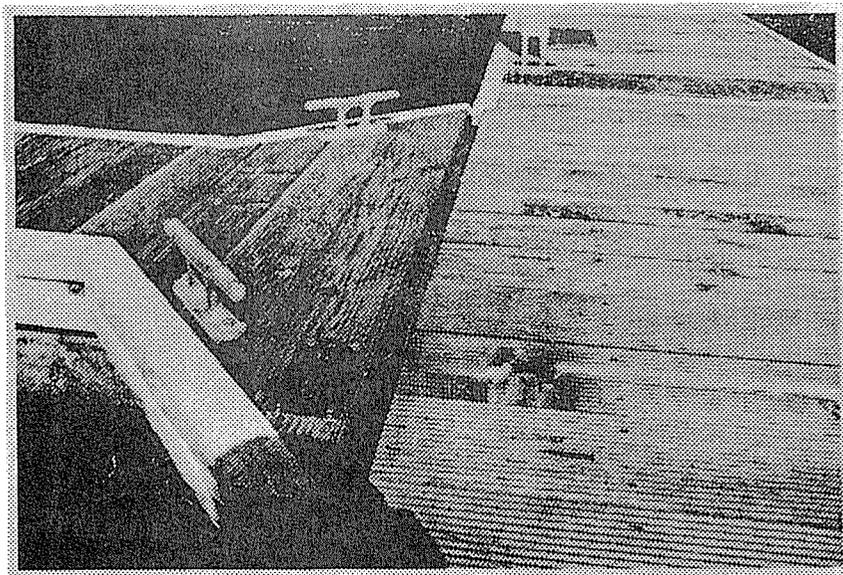
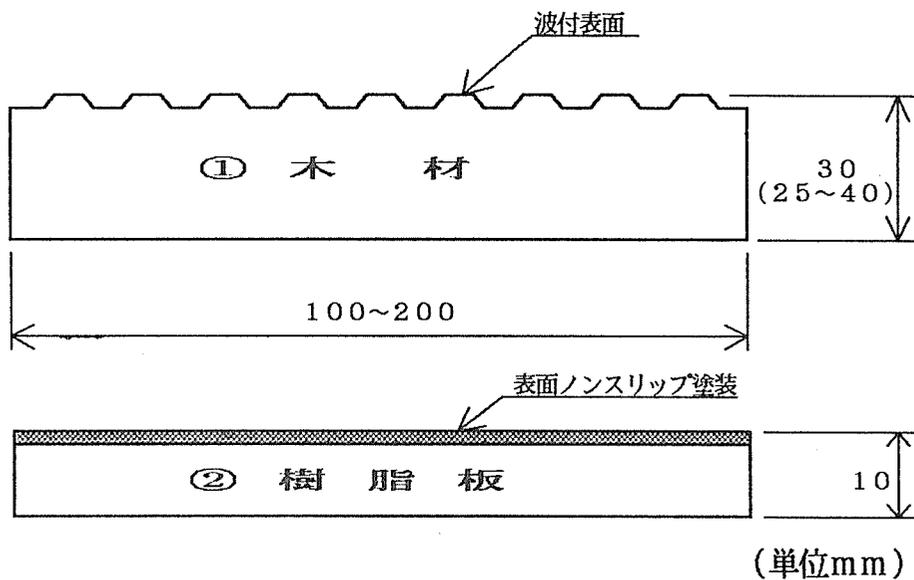


図15 各種の表面加工例

3.1.3 接触温冷感

感覚的な面で望まれる条件は？

浮棧橋のデッキ材として、木材の評価は高い。その理由は比強度（軽量の割には強度が高い）が高いため、浮棧橋の適正浮力を保つために有効な材料であること、また利用者の声として触感が柔らかく接触時の温冷感も人間にとってふさわしいものであることなどが上げられる。このようにデッキ材の選択には感覚的な要素を取り入れる設計も重要である事がわかる。

デッキ材の接触温冷感を示す指標として、心理的な尺度構成法（間隔尺度）を用いた官能試験結果があり、このような評価をもとに材料の選択をすることができる。

表2はデッキ材を夏を想定して、60℃に加熱し、その状態で表面に触れたときの温冷感を示したものである。針葉樹材（スギ、ベイツガ、レッドウッド）などは、温冷感覚の面から適材といえよう。また冬には、極端に冷たくなならない特性を持っている。

表2 デッキ材料の接触温冷感（夏）

デッキ材料	温冷間隔指数 ^{*1}	温冷程度
スギ	-0.73	やや冷たい
ベイツガ（表面波付き）	-0.50	
レッドウッド	-0.11	
ベイツガ	-0.03	
ヒノキ	0	ちょうどよい
チーク	0.92	やや熱い かなり熱い
ボンゴシ	1.09	
樹脂板	2.00	

*1：一対比較法による測定値をサーストンのケースVで処理。

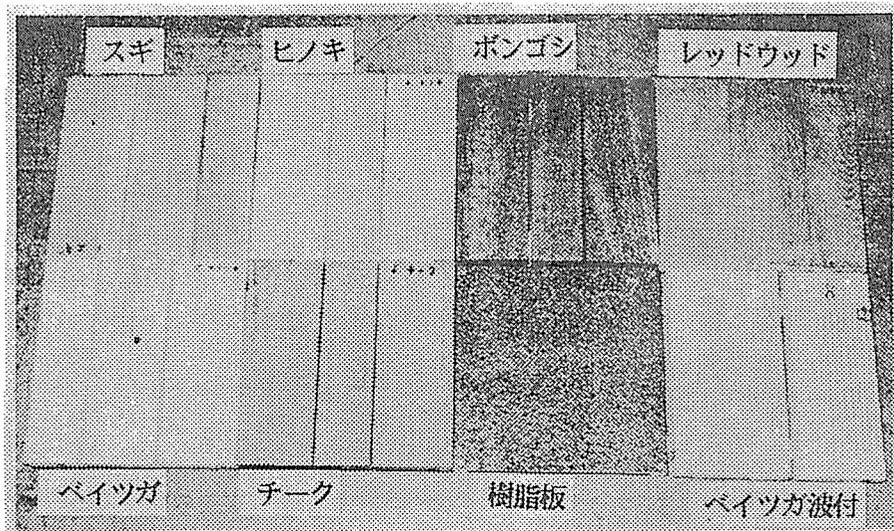


図16 温冷感試験に用いたデッキ材サンプル

3.1.4 すべり

安全で快適な歩行感を生み出す材料条件は？

浮き桟橋デッキ材に要求される項目として、「すべり」がある。すべりすぎれば、転倒あるいは、水中への落下などの危険が伴う。安全の確保という面からも材料のすべりを考慮することは重要である。

歩行時のすべりの評価については実際の歩行をよく再現した状態で、材料のすべりを評価できる小野らが開発したすべり試験機 (O-Y PULL SLIP METER)を用いた試験結果がある。

これは、様々な靴底を試験材料に接触させ鉛直荷重 (W) 80kgの状態ですべり片 (試験材料) を引っ張り、靴底との接触面にすべりが生じるときの引っ張り荷重の最大値 (Pmax) を検出するものである。すべり評価は以下に示す、すべり抵抗係数 (Coefficient of Slip Resistance、以下C.S.Rと記載) を用いる。

$$C.S.R. = P_{max}/W$$

このC.S.R. 値と実際のすべりに関する官能試験結果との関係も整理されており、C.S.R. 値から実際のすべりの感覚的な大小が推定できるようになっている。

図1は、C.S.R値と色々な状態におけるすべり許容範囲の関係を示す表である。

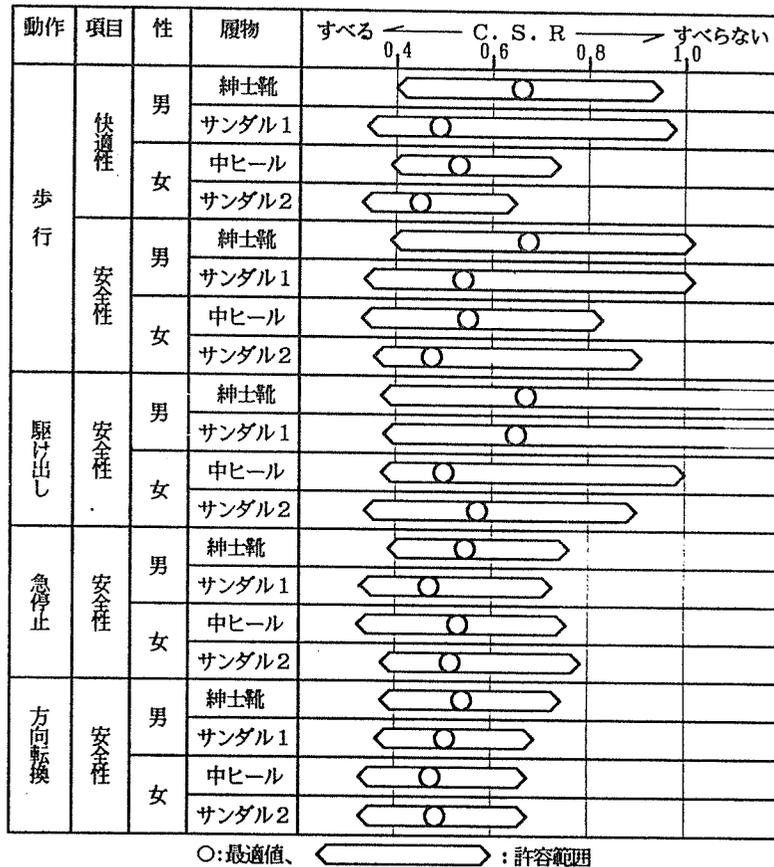


図17 すべり最適値および許容範囲 (下足床の場合) (小野英哲)

浮棧橋デッキ材料のC. S. R測定結果を表3に示す。表3は、紳士皮靴で歩行する場合の、すべり方向の違い（木目に対する）および、表面の乾燥状態、水濡れ状態での測定結果が示してある。一般的傾向は、①水濡れ状態では乾燥状態時よりもすべり易くなる。しかし、快適性、安全性に関する官能検査の評価基準の許容範囲内にある。②荷重方向によるすべりの差は木目に垂直な方向（方向B）の方が木目に平行（方向A）に比べてすべりにくいが、その差は官能的には少ない。水濡れ時にはさらにその差が少なくなる。③表面凹凸加工等により滑りにくくすることができる。④表1の材料はいずれも歩行によるすべりに関しては支障ない材料である。

表3 各種デッキ材料のすべり抵抗係数（C. S. R）

NO.	材 料	C. S. R			
		乾燥状態		水濡れ状態	
		方向A	方向B	方向A	方向B
1	スギ（板目）	0.78	0.88	0.64	0.52
2	スギ（柃目）	0.76	0.83	0.53	0.46
3	焼きスギ（板目）	0.76	0.82	0.58	0.64
4	ボンゴシ（溝付30本/30cm）	0.73	0.79	0.54	0.49
5	ボンゴシ（溝付15本/30cm）	0.77	0.79	0.58	0.62
6	ボンゴシ	0.80	0.77	0.60	0.62
7	レッドウッド（板目）	0.84	0.90	0.56	0.56
8	ベイツガ（板目）	0.75	0.88	0.52	0.50
9	ベイツガ（アセチル化）	0.70	0.74	0.58	0.55
10	ベイツガ（非アセチル化）	0.69	0.71	0.59	0.54
11	チーク	0.75	0.88	0.49	0.53
12	樹脂板	1.06	1.06	0.90	0.90
13	ベイツガ（波付き）	0.81	0.80	0.60	0.67

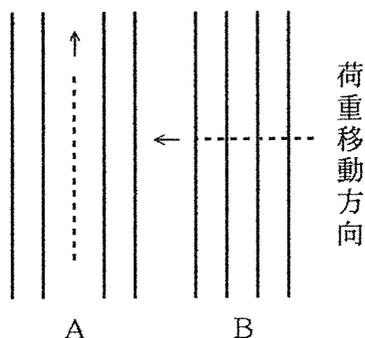


図18 すべり方向と木目の関係

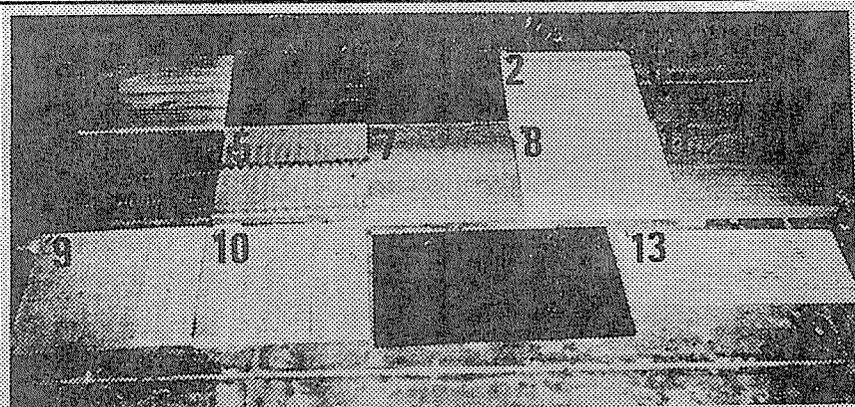


図19 すべり試験に用いた各種デッキ材料サンプル

3.1.5 釘等の引抜き耐力について

デッキ材料を根太に接合するためには、ボルト、木ネジ、スクリュー釘、普通釘などが用いられる。使用中のこれら釘類が引き抜けることは、利用者への安全性確保また浮棧橋の構造安全性にとって問題となる。

釘等の引き抜けの原因は、①外的気象変化による材料の収縮膨張による変形あるいは応力、②人などの往来による繰り返し荷重の作用、などが、木材に打ち込んだ釘等の引き抜き耐力を上回ることにより発生すると考えられる。デッキ用木材、デッキ用釘類の静的な引き抜き耐力についての基準値（測定値）を表4に示す。

表4 デッキ固定用釘類の引き抜き耐力

	ベイツガ	レッドウッド	スギ	チーク	エツキ (ボンゴシ)
材の気乾比重	0.46-0.52	0.37	0.32-0.34	0.75-0.76	1.07
材の含水率(%)	11.7	10.2	11.1	14.5	14.4
材の年輪幅(mm)	6.3	1.1	3.1	2.6	---
材厚(mm)	40	40	40	40	40
100mm普通釘(4.0)	142	84	99	172	---
100mm普通釘(3.0)	194	156	118	---	---
90mmステンレス釘(3.0)	134	105	113	---	258
90mmステンレス釘(2.5)	167	135	122	---	---
90mmスクリュー釘(3.0)	256	173	159	157	208
90mmスクリュー釘(2.5)	266	189	148	---	---
75mmスクリュー釘(2.0)	231	170	104	132	---
60mm木ねじ(3.0)	424	329	321	---	---

数値は5体の平均値で、単位は(kgf)。()内の数値は材の先穴径で、単位は(mm)。

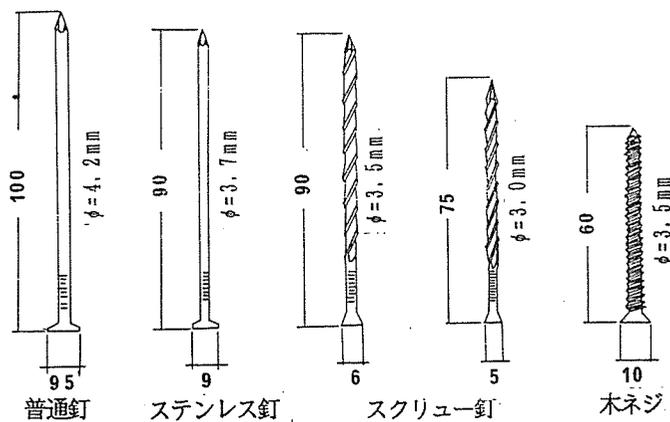


図20 デッキ用釘類

屋外環境の変化すなわち、乾湿繰り返し加わると釘引き抜き耐力は、打ち込んだ直後に比べて表5のように著しく低下してくる。最も引き抜き耐力低下が少ないのは、スクリュー釘である。ステンレス釘は最も低下が著しい。同様に鉄性の普通釘もステンレス釘と同様に低下するが、さらに時間経過すると鉄釘にはサビを生じて、これが引き抜き難くする要因となる。

表5 乾湿繰り返し処理後の釘類の引き抜き耐力とその低下

	ベイツガ	レッドウッド	スギ	チーク	ボンゴシ
100mm普通釘(4.0)	----	4.6 (5.3%)	12.0(12.2%)	31(18.0%)	----
100mm普通釘(3.0)	----	4.0 (2.6%)	----	----	----
90mmステンレス釘(3.0)	1.8(1.3%)	2.0 (2.0%)	2.7(2.4%)	----	181(70.2%)
90mmステンレス釘(2.5)	----	1.1 (1.0%)	----	----	----
90mmスクリュー釘(3.0)	120(47%)	110.0(63.6%)	----	141(89.8%)	225(108%)
90mmスクリュー釘(2.5)	55(21%)	74.1(39.3%)	----	----	----
75mmスクリュー釘(2.0)	----	-----	----	171(130%)	----

()内は初期耐力に対する比率。

乾湿繰り返し処理：常温水浸せき2日→60℃乾燥1日のサイクルを3回繰り返し。

3.1.6 耐久性

木材本来の持つ耐久性を解説

ここでとりあげる耐久性とは、木材が本来持っている物理的、化学的耐久性のことを意味し、加害生物に対する狭い意味での耐腐朽性にはふれないことにする。

耐久性に関する性質には、物理的、強度的性質、釘による接合性能、摩耗性を取り上げて若干の解説を加えることとする。

(1)物理的性質

物理的性質については、水分に関係する吸水性と収縮性（膨張性）に着目することで樹種別の差異を識別することが可能となる。すなわち木材中には空隙が多く水分の吸排出や移動に伴って、発生する木材組織の膨張収縮が吸水性の大小により異なるので樹種の差がある程度明かになると思われる。これら以外の要因には気乾比重についても参考になる。公表されているデータ類として収縮性には接線方向と半径方向の収縮率（％）で示されている。吸水性は木口面と板目面からの吸水しやすさ（ $g/24hr \cdot cm^2$ ）で表されている。物理的性質から耐久性について言及すると吸水性強さ、せん断強さ、板目面の固さ（いずれも含水率15%時）が公表されているので参照するのが便利である。一般的に、これらのデータと比重の大小と相関があり、比重が大きいほど強度が大きい傾向がある。また木材中の水分量の大小で強度が変化するので含水率については着目する必要がある。

(2)釘による接合性能

釘による接合性能はJIS Z 2121に規定される釘引き抜き抵抗試験がある。この性能も木材の比重の大小と相関がある。3.1.5項においてデッキ用釘類の測定結果を示した。

(3)摩耗性 3.1.4項参照。

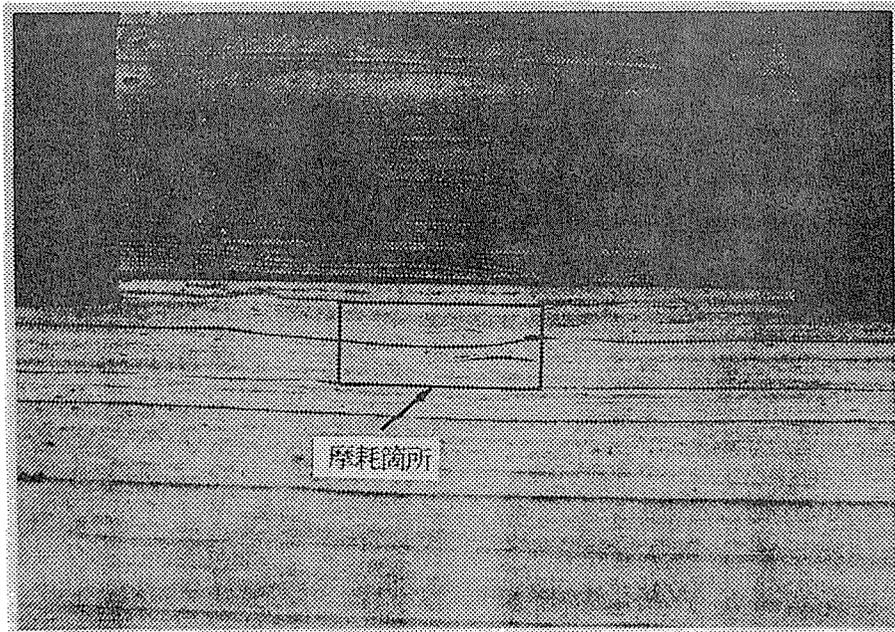


図21 デッキの摩耗状況

4. 木製デッキの設計・施工

4.1 浮棧橋設計全体フロー

浮棧橋は自然条件、水底条件、荷重条件、対象船舶等を配慮して設計する。

【解説】

4.1.1 設計条件

浮棧橋の設計にあたっては、次の条件が必要である。

(1) 自然条件

- ① 潮位または水位 (HWLおよびLWL)
- ② 波浪 (波高および周期)
- ③ 潮流速または流速
- ④ 風速
- ⑤ 積雪深さ

(2) 海底 (水底) 条件

- ① 水深
- ② 土質条件

(3) 荷重条件

- ① 上載荷重 (分布荷重)
- ② 自動車荷重 自動車の通行を考える場合のみ考慮する。

(4) 対象船舶 船舶を係留する場合のみ考慮する。

- ① 艇種
- ② 総トン数
- ③ 接岸速度

4.1.2 配置計画

浮棧橋の配置は次の事項を考慮して計画する。

- (1) 利用者のアプローチが無理なく、自然に行えること。
- (2) 対象船の停泊および他船を含めた航行に支障のないこと。
- (3) 周辺水域および陸域の利用状況および環境に調和すること。
- (4) 利用者 (利用船舶) 数に対して相応するキャパシティーがあること。

4.1.3 基本仕様

(1) 各材料の決定

メインフレーム、フロート、デッキなどの材料を選定する。選定の着眼点は次の通りである。

- ① 耐久性 (耐食性、耐候性)
- ② 強度
- ③ デザイン

④工費

⑤重量

(2)浮棧橋係留方式の決定

係留方式を水深、海底土質、施設の目的により「係留杭」、「アンカー係留」のいずれかを決定する。

4.1.4 構造計画

(1)浮棧橋施設全体寸法の決定

「4.1.2配置計画」および安定性を考慮して総延長、幅員の、寸法を決定する。幅員は通常1.0m~3.0mが多い。

(2)浮棧橋の分割

施設全体を必要な事項を考慮していくつかの浮棧橋（単体）に分割する。

①製作能力・・・工場での製作可能寸法（幅、長さ、高さ）

②輸送・・・輸送可能な寸法（幅、長さ、高さ）

③強度・・・寸法が長くなればフレームにおいて大きな強度を必要とする。

(3)浮棧橋の乾舷の決定

用途において船舶を係留する場合は特に対象とする船舶の大きさに適した乾舷高にする必要がある。また「親水施設」等においては、乾舷は歩行面と水面との高さになるので、バランスのとれた高さにする必要がある。

4.1.5 強度検討

(1)浮棧橋メインフレームは次の荷重状態の縦曲げ強度を検討する。

①波浪による縦曲げモーメント

②据付時の縦曲げモーメント

(2)施設に作用する外力（波、流れ、風、船舶荷重）により次の強度検討を行う。

①係留装置（U環、リング、杭係留装置）

②係留杭

③係留ロープ、チェーン、アンカー

4.1.6 安定計算

浮棧橋の安定性について次の状態について検討する。

①上載荷重満載時・・・安定条件を満たし、必要な乾舷を有すること。

②上載荷重偏載時・・・浮棧橋の傾斜が基準以下で小さい方の乾舷が0以上出ること。

4.1.7 細部設計

次の要目について細部設計を行う。

①浮棧橋床組（デッキ、根太、フレーム）

②浮棧橋連結部

③付帯設備（手摺り、ビット等）

4.2 デッキ材料

木材の良さを活かし、その基本性能を理解した設計が行われる必要がある。

[解説]

4.2.1 樹種と欠点

デッキ材料としては様々な樹種が利用される可能性がある。安価で安定した品質、高耐久性、加工性・施工性がよいことなどが要求される。現在よく利用されている内外の樹種について、その性質を理解して利用することが重要である。

表6 デッキ用材の性質

樹種	気乾 比重	収縮性*1		吸水性		耐 朽 性	加工性				備 考
		接線 方向	半径 方向	木 口 面	板 目 面		鋸 断 性	乾 燥 性	接 着 性	塗 装 性	
スギ	0.38	やや小	やや小	やや小	小	中	良	良	良	普	白線帯の薬 浸透困難
ヒノキ	0.41	やや小	やや小	中	小	大	良	良	良	良	特有の芳香 と光沢有り 保存性低い
エゾマツ	0.43	やや大	中	やや小	やや小	小	良	良	良	普	保存性低い
カラマツ	0.53	中	中	やや小	やや小	中	普	良	普	悪	割れ、狂い 易い、ヤニ
アカマツ	0.53	中	中	やや小	やや小	小	良	良	普	普	青変、水中 保存性良
ベイマツ	0.55	やや小	中	—	—	中	普	良	普	悪	ヤニ
ベイツガ	0.46	小	小	—	—	小	良	良	良	良	保存性低い
レッドウッド	0.46	小	小	—	—	大	良	良	普	良	耐朽性が大 きい
チーク	0.69	小	やや小	小	小	大	普	普	悪	普	貴重材、耐 久性高い
エッキ (ボンゴシ)	1.07	大	大	—	—	大	悪	悪	悪	普	耐久性大

* 1：平均収縮率（含水率が1%変化するときの収縮率）で評価。

木材加工技術協会、「世界の有用木材300種」、農林水産省林業試験場木材部編より抜粋転載。

4.2.2 デッキ材の厚さ、幅、長さ、間隔の標準寸法

デッキ材の樹種は、安価で耐朽性があるベイマツ、パイン類等の松系外材が主に使用される。場合によっては、節の少ない南洋材のアピトンが使用されることもある。

(1)厚さ

一般に、板厚は25mm～40mm程度のもが多い。当然、板としては厚いほど強度が増し、耐朽度は良くなるが、浮棧橋としては重量が増えるため浮力を多くとる必要がある。

(2)板幅

一般に100mm～200mm程度のもが多い。

幅を広くすると曲がりや割れが多くなる。狭くしすぎると取付の手間が増え、節がある場合はその影響が大きくなる。

(3)長さ

デッキ材の長さは浮棧橋の幅方向に張り付ける場合が多いので1m～3mが多い。これより長いものが必要なときは、市場流通サイズを限度として継ぎ足して張り付ける。

(4)間隔

設置時の間隔は0mmであるが、使用時には木材の乾燥により2mm～3mm収縮し、水はけなどに対して適度な間隔となる。

間隔が10mm程度になるとハイヒールの歩行において安全上支障をきたすことがある。

表7 デッキ材の標準寸法例

床板形状	幅×長さ×厚 (mm)	幅×長さ×厚 (mm)
浮棧橋形状		
メイン浮棧橋 2.1×10.0m	175×2100×30	134×2100×30
サブ浮棧橋 1.1×10.0m	175×1100×30	134×1100×30

4.2.3 デッキ材の強度

木材強度については、運輸省港湾局の示す「港湾の施設の技術上の基準」の6章木材の項に、「木材の品質」、「木材の許容応力度」として記載がある。普通構造用木材の基準はJASを準用することになっている。

ここでは、デッキ用途としての木材について、その強度を紹介する。浮棧橋デッキ部材は、軽量な材料を使用して、フロートの浮力負担を少なくすることが構造上必要である。またデッキ部材としての木材は、化粧的要素も強い利用方法であるため、利用する場合、木材の強度値についてはそれほど現密な設計を行わないのが慣習である。しかし、今後、適切な部材設計、フレキシブルな設計のためには、木材の種類による強度値も考慮されていることが重要である。以下に主要木材の強度値を示す。

表8 主要樹種の各種強度値 (単位: kg/cm²)

樹種	気比	乾* 比重	曲げ		縦圧縮 強さ	縦引張 強さ	剪強	断さ
			ヤング 係数	強さ				
			×10 ³					
日本産	針葉樹							
	スギ	0.38	75	650	350	900	60	
	トドマツ	0.40	80	650	330	1,100	65	
	エゾマツ	0.43	90	700	350	1,200	70	
	日モミ	0.44	90	650	400	1,000	70	
	ヒノキ	0.44	90	750	400	1,200	75	
	ヒバ	0.45	90	750	400	1,050	75	
	カラマツ	0.50	100	800	450	850	80	
	ツガ	0.50	80	750	450	1,100	90	
	アカマツ	0.52	115	900	450	1,400	95	
クロマツ	0.54	105	850	450	1,400	90		
広葉樹	産							
	キシリ	0.30	50	350	200	600	55	
	シナノキ	0.49	75	650	350	1,150	110	
	クサノリ	0.60	90	800	430	950	80	
	ブナ	0.65	120	1,000	450	1,350	130	
	ケヤキ	0.69	120	1,000	500	1,300	130	
	アカガシ	0.87	140	1,200	550	1,500	150	
北米産	ベイツ	0.47	122	795	455		76	
	ベイスギ	0.37	79	541	353		60	
	ベイツ							
	米産	コーストタイプ	0.54	137	858	522		82
		中間タイプ	0.49	115	787	472		79
ロッキー山タイプ		0.48	98	675	426		75	
ベイツ	0.47	105	710	437		82		
フィリピン産	ホワイトラワン	0.50	122	822	433		83	
	レッドラワン	0.54	116	818	418		87	
	アピトン	0.84	189	1,310	684		132	

* 日本産材の含水率は約 15%，北米産材とフィリピン産材の含水率は約 12%

林業試験場、木材工業ハンドブック、234-237より抜粋。

表9 数種のデッキ材料の曲げ強さと曲げヤング係数（測定値）

樹種	気乾比重	曲げヤング係数 ($\times 10^3 \text{kg/cm}^2$)	曲げ強さ (kg/cm^2)
レッドウッド	0.36	66	500
ベイツガ	0.47	89	680
スギ	0.37	53	480
チーク	0.68	117	1060
エッキ (ホノゴシ)	1.03	128	1410

支点間隔：55cm。 試験材寸法：4cm（厚さ） \times 14cm（幅） \times 60cm（長さ）

4.2.4 根太材

(1)樹種

根太材はデッキ材と同様の材料（ベイマツ等）を使用する。ただし、根太材は表面に露出しないので、デッキ材よりも安価な材料を使用することもある。

(2)形状・寸法

形状はフレームへの取付やすさから角材を使用することが多い。高さはフレームの構造、強度によって若干変わるが、100mm程度を使用することが多い。

幅はデッキ材の取付寸法（木ネジ、釘）により50mm～60mmが適当である。

(3)間隔

デッキ材を受けるための根太材の間隔はフレームの大きさと床板厚さにより決まり、通常500mm～700mm程度になる。

4.2.5 防舷材

(1)樹種

防舷材に木材を使用する場合は船舶の接岸衝撃力の緩和、吸収するという目的よりも、デッキ材木口保護、デザイン面での要素が大きい。（衝撃力緩和、吸収はゴム系防舷材の方が優れている。）従って、防舷材に適した樹種は特になく、デッキ材同様の材料が使用される。

(2)形状・寸法

形状は、角の欠損を考慮して下図のように角材の角を面取りした形状となる。

寸法は、フレームの寸法などにより異なるが、幅50mm、高さ100mm程度が多い。

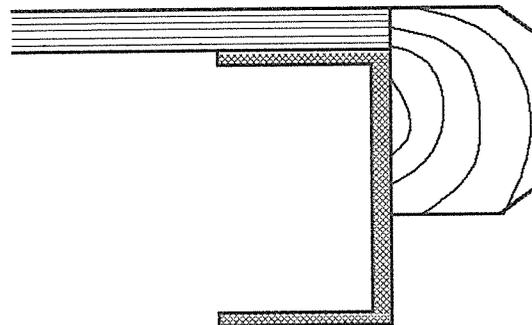


図22 防舷材の取付例

4.3 耐久性向上処理

木材は使用環境に応じて適切な耐久性を保持する必要がある、そのために適切な耐久性向上処理が行われることが望ましい。

[解説]

屋外使用の材料の使用目的別の適切な防腐処理。

陸上に設置されるデッキと違って、浮棧橋は、炎天に暴されたり、海水を被ったりするという、いわゆる乾燥と湿潤の繰り返しで厳しい環境条件下に設置される。あるいは船舶の衝突、m波の衝撃などの物理的な劣化環境下におかれるので耐久性に対する十分な配慮が必要である。この様に厳しい環境下におかれる木材は干割れ、ねじれ、反り、曲がり等の物理的欠陥が発生しやすく、これらの欠点はたちまち強度上の欠陥になりやすいので部材として取付られるまえに木加工に工夫を凝らしたり、薬剤を加圧注入下りすることにより、極力欠陥が発生しないように配慮し、耐久性向上を図ることが大切である。

また、物理的劣化のみではなく、同時に生物的な劣化も起きる。この場合には、劣化の進行速度がきわめて大きく、木材腐朽菌による腐朽やフナクイムシによる穿孔で強度劣化を引き起こすことのないように、部材取付前に、効果の確実な薬剤を加圧注入することで耐久性向上を図ることができる。

4.3.1 防腐処理

防腐防虫効力のある化合物（薬剤）を被処理材に含浸させ、木材中に均一に分布させることにより、防腐防虫効果を発揮させようとするものである。十分な効果を発揮させるためには、下記の条件が最低限不可欠である。

(1) 薬剤

JIS K 1554 (CCA1,2,3号)、JIS K 2439 (クレオソート油)、JIS K 1433 (硫酸銅) もしくは A Q 認証薬剤 (AAC系、AAC+銅系、ナフテン酸銅系、ナフテン酸亜鉛系、CFKZ) 等の加圧処理用薬剤が望ましい。海虫対策としては、海外ではCCAとクレオソート油の二重処理が規格に規定されている。

(2) 処理方法

JIS A 9002に規定されている方法（木材防腐剤の加圧式処理方法）に従って、処理を行わなければならない。

(3) 処理材の性能基準

薬剤の有効成分の浸潤度（処理材表面からの浸潤の深さ、処理材断面の浸潤面積率）、処理材体積当りの有効成分の吸収量により処理材の性能が決まる。なお、（財）日本住宅・木材技術センターの外構部材のA Q 認証基準が参考となる（表10）。

(4) その他

施工時の加工部分（切断、切削、穿孔加工された部分）には薬剤が浸潤していない部分が表れることがある。その場合には補修用として、耐候性に優れた塗布用薬剤を用意しておき、それらの部分に塗布処理を行わなければならない。クレオソート油、ナフテン酸銅、ナフテン酸亜鉛系の薬剤が比較的耐候性があり、浸透性も良好なので便利である。ただし油性系統の製剤に限る。

表10 AQ認証防腐処理材用薬剤

薬剤の種類	防腐性能 (防腐効力値)			屋外使用製品の 推定耐用年数
	最低基準吸収量 (kg/m ³)	耐候操作		
		あり	なし	
1 ナフテン酸銅	銅として 0.23 0.43	99.1 99.2	99.2 99.3	約10年
2 ナフテン酸亜鉛	亜鉛として0.23 0.46	94.7 99.2	99.0 99.3	約10年
3 アルキルアンモニウム 化合物系-1	DDAとして 3.3 6.8	96.0 100.0	97.8 98.2	
4 アルキルアンモニウム 化合物系-2	DDACとして8.0	100.0	100.0	約10年
5 銅・クロム・亜鉛化合 物系	CFK-Zとして8.0	86.0	82.0	約15年
6 銅・アルキルアンモニ ウム化合物	銅として 0.7 AACとして 0.7	92.4	96.7	約10年
7 CCA 1号 2号 3号	CCAとして 6.3 " 4.5 " 5.1	86.0 100.0 100.0	90.0 100.0 100.0	15~20年

7のCCAは、アメリカでの野外テストの結果から、100%注入処理材(100%浸潤材)は、50年の耐朽年数があることが判明している。しかし、実際の木材製品においては、薬剤が浸潤していない部分を含むので、CCA処理材は15年から20年程度の耐朽する年数になる。CCA以外の薬剤については、3のアルキルアンモニウム化合物が、市場で最も先行しており、屋外テストで8年(無処理材が1.5年で耐用年数に達する環境で)以上の耐朽性があるとされている。この薬剤データから他の薬剤の耐朽性を推定して耐用年数を算出した。

4.3.2 寸法安定化処理

木材は、含水率により伸縮を生じる。この木材の欠点を改良するために以下のような方法が、多数の研究者により述べられてきた。

① 塗料などによる表面処理

最も簡単な方法で、撥水性あるいは耐水性の薬品で、処理し表面に水の浸透を妨げる。これに用いられる薬品は、フェノール樹脂ワニス、パラフィン、シリコン樹脂、ポリウレタン樹脂、メラミン樹脂、アクリル樹脂、ポリエステル樹脂等の撥水性塗料、および油性ペイント、ワニス等がある。

② 細胞内部構造への薬剤の沈着

低縮合の熱硬化樹脂を細胞膜中へ注入処理し、不溶性不融性の樹脂を形成し、寸法安定性を付与する。また、含浸処理により寸法安定性だけでなく、各種強度も向上する。さらに、良く知られたものとしてポリエチレングリコール処理があり、注入あるいは塗布により水分湿気による膨潤、収縮を防止し寸法安定化が得られる。

③ 内部表面活性基の化学変化

木材中のOH基をホルマール化、あるいはアセチル化することにより木材の寸法安定化を図る方法がある。

ホルマール化は、メチレンエーテルの橋かけ反応が生じ少量のホルムアルデヒドで高い寸法安定性、防腐、防蟻性をもたらすが未反応性の生成物除去が難しい問題がある。

また、アセチル化は、無水酢酸で処理し、木材中の反応性OH基をアセチル基に置換したものである。

アセチル化処理木材と他の処理による木材の寸法安定性のデータを表11に記す。

アセチル化処理した木材をデッキ等屋外に使用した場合には、寸法安定性が良く、干割れなどが少なく塗膜の耐久性も向上し塗装のメンテナンスをかなり簡単にすることができる。

表11 各種化学処理木材の寸法安定性の比較

		無処理木材	アセチル化処理木材	WPC	防腐処理木材
寸法安定性	幅方向	収縮率0.91	収縮率 0.33 ASE 64	収縮率 アセチル化 処理木材と 同等 ASE 45~60	収縮率 無処理木材と 同程度 ASE 0
	長さ方向	0.44	0.25 43		
	厚さ方向	5.88	2.21 62		

注) 収縮率：20mmHgで1時間減圧吸水してから常圧に戻し、4日間浸漬後、105°Cで24時間乾燥し、測定。単位は(%)。

ASE：(無処理材の収縮率 - 処理材の収縮率) / 無処理材の収縮率 × 100 (%)

4.3.3 耐候性向上処理

前項で触れた寸法安定化処理も含まれるが、ここでは着色成分、塗膜等による木材表面のカビ等による汚染、紫外線による変色・劣化などの防止を意味している。

(1)薬剤

無機顔料、有機顔料を含有する屋外用ステイン類、紫外線吸収剤を配合した、含浸タイプの薬剤が考えられる。比較的安価なのは、屋外用ステインを用いる方法である。

(2)処理方法

塗布等の表面処理、減圧、加圧による含浸処理がある。前項で述べたアセチル化木材に処理することでさらに耐候性の向上が図れる。2～3年毎に再処理することで耐候性を向上できる。

(3)処理材の性能基準

防腐処理材と同様に薬剤吸収量、含浸量で規定することができる。

耐候性向上処理の例を表12に示した。これらの結果によると、防水性木材防腐剤処理でも、ある程度の耐候性向上（表面劣化の遅延効果）が期待できる。ペイント塗装、浸透性油性顔料の塗装をある程度以上になる様に施すと、かなり（10年近く）の耐候性向上が期待される。

表12 各種表面処理による劣化防止効果（屋外暴露時、米国大陸部）

木材表面の種類	防水性木材防腐剤		着色剤		ペイント	
	耐候性	耐候性 期待年数	耐候性	耐候性 期待年数	耐候性	耐候性 期待年数
下見板 シダー・レッドウッド 平滑（柃目） 荒鋸・風化	高	白垢発生 時を目安 1-2年	適度	白垢発生 時を目安 2-4年	高	白垢発生 時を目安 4-6年
ハイン・ファー・スプルース他 平滑（板目） 粗い（板目）	高	2-3年	卓越	5-8年	適度	3-5年
シングル 鋸挽 引き裂き	高	1-2年	低	2-3年	適度	3-5年
合板（ハイン・サウソウ） やすりがけ 荒挽	高	2-3年	高	4-7年	適度	3-5年
合板（シダー・レッドウッド） やすりがけ 荒挽	高	1-2年	低	2-3年	適度	3-5年
合板（シダー・レッドウッド） やすりがけ 荒挽	高	2-3年	高	4-7年	---	---
合板（ハイン・サウソウ） やすりがけ 荒挽	低	1-2年	適度	2-4年	適度	3-5年
合板（シダー・レッドウッド） やすりがけ 荒挽	低	2-3年	高	4-8年	適度	3-5年
ハードボード中密度上塗 （アクリル・ラテックスペイント、） 平滑 砂入り仕上げ	低	1-2年	適度	2-4年	適度	3-5年
工場木材加工品（ハイン） 窓・シャッター・戸・外枠 デッキ 新品（平滑） 風化（粗面）	低	2-3年	卓越	5-8年	適度	3-5年
集成材 平滑 粗面	透明着色剤はハードボードには不適。ペイント塗装が好ましい。					
ウエハーボード	--	--	--	--	高	4-6年
	--	--	--	--	高	4-6年
	高	--	適度	2-3年	高	3-6年
	高	1-2年	適度	2-3年	低	2-3年
	高	2-3年	高	3-6年	低	2-3年
	高	1-2年	適度	3-4年	適度	3-4年
	高	2-3年	高	6-8年	適度	3-4年
	--	--	低	1-3年	適度	2-4年

USDA WOOD HANDBOOK CHAPTER 16より抜粋。

4.4 メインフレームと根太の固定方法

メインフレームと根太は確実に固定し、メンテナンスが容易であることが望まれる。

[解説]

メインフレームと根太は固定の確実性と取り替えを考慮してボルト・ナットで固定する。その方法は、アングルを介してボルト・ナットで固定する図23の方法が良く行く使われる。

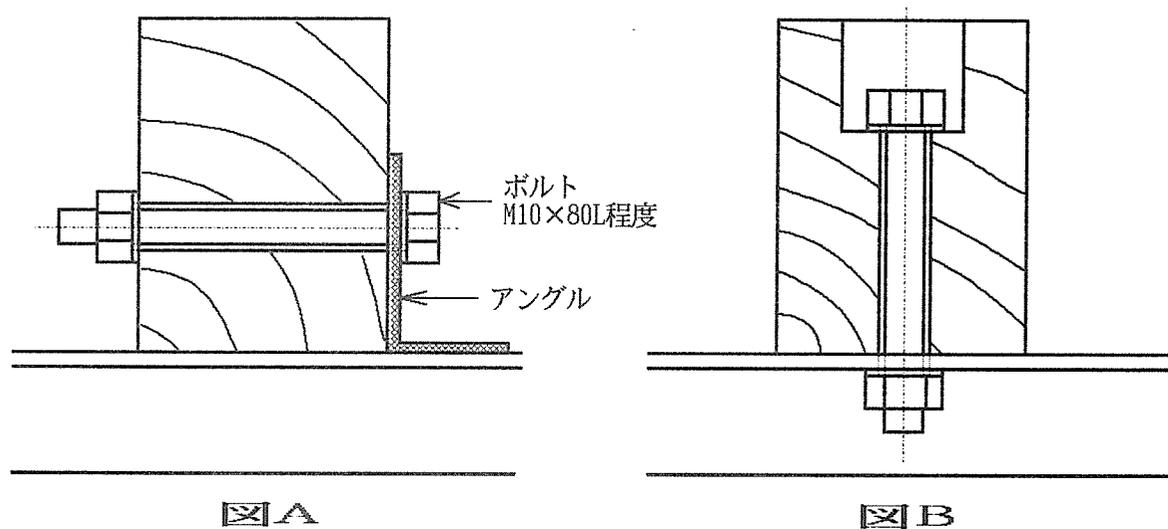


図23 メインフレームと根太の固定方法

4.5 根太とデッキの固定方法

根太とデッキの固定は反り、割れを考慮して確実に固定すること、および交換が容易であることが望まれる。

[解説]

根太とデッキの固定は、施工性、メンテナンス性から木ねじ、くぎを使用することが多い。釘は、木ねじに比べて施工性はよいが、引き抜き強度が小さいため波浪状況の厳しいところには適さない。

デッキ材の反りに対して有効な取付方法は、図Cに示すように根太材をできるだけフレーム近くに配置する方法と、図Dに示すように防舷材を根太材を併用する方法がある。

また、木材の木裏側（樹心に近い方の面）を上面にして張るとデッキ上面が乾燥により凸面となり水の滞留を防ぐ効果がある。この他、デッキ面における水の滞留の危険がある場合には、水切りを設ける必要がある。

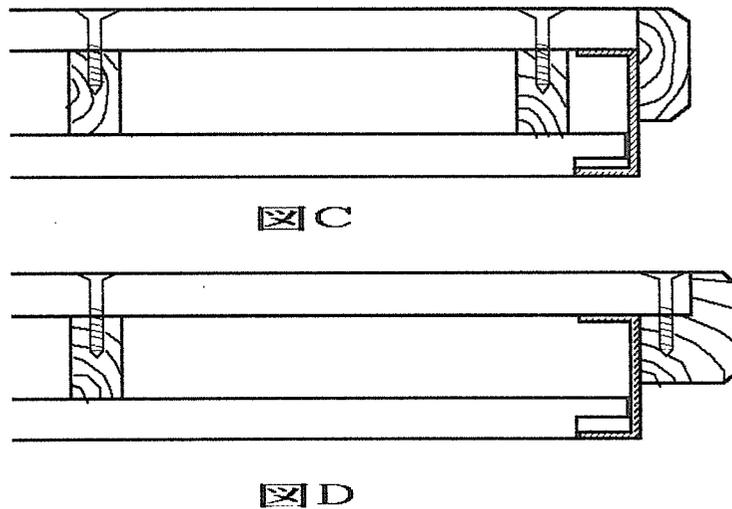


図24 根太とデッキ材の固定方法

4.6 メインフレームと防舷材の固定方法

潮位変動、衝撃、構造安定性など考慮した接合方法を解説する。

【解説】

メインフレームと防舷材の固定は、

①防舷材という性質上、金属部分は露出、突出させない、

②衝撃力に対して、ボルト等に与える影響を極力少なくする、

という、観点から、通常下図のような方法をとる。

ボルト頭が突出しないように、座ぐりをしてボルト頭を沈める。外観上、その穴に「木栓」をしてボルト頭がみえないようにすることもある。

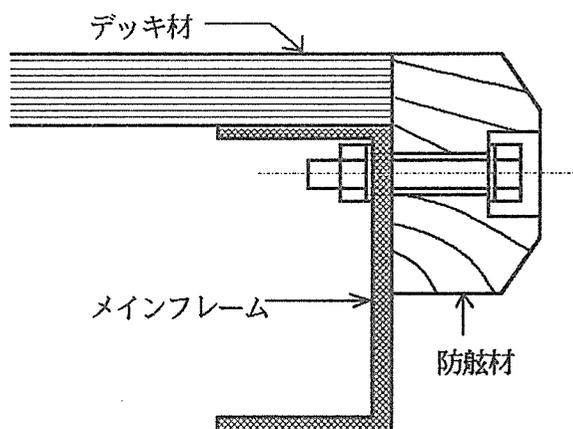


図25 メインフレームと防舷材の固定方法

5. メンテナンス

5.1 補修計画

浮棧橋のメンテナンス計画を予め考慮しておくことが重要である。

[解説]

補修は故障や欠陥が顕著になってから行うのではなく、あらかじめメンテナンス計画を立てておくことが重要である。そのためには、設計の段階からメンテナンスを考慮して各部材の設計、接合の方法等を工夫する必要がある。さらにメンテナンスに対する予算上の配慮も必要である。

メンテナンス項目、点検・補修要領とを予め用意しておき、定期点検に臨む事が重要である。表13に点検要領を示す。

表13 点 検 要 領

点検箇所	点検項目・内容	保守方法	メンテナンス 要 否	定 期				随 時		
				1	3	6	12	台 風	積 雪	季 節 外
フレーム	腐食 変形	補修塗装	塗装仕様の場合 年毎に再塗装 補強、補修			○	○	○	○	○
フロート	取り付けボルトの ガタ 外皮の損傷 付着物	床板はずし ナット締め 付け 除去 (年1回)	著しい時は交換	○	○	○	○	○		○
床板	割れ、腐れ 取付ネジの緩み	締め付け	著しい時は交換		○		○ ○	○	○	○ ○
防舷材	取付ボルトのガタ 割れ、腐れ	締め付け	著しい時は交換				○ ○			

5.2 メンテナンス項目

安全で快適な浮棧橋を維持するためには、重要な項目について定期的な維持管理を行うことが不可欠である。

[解説]

5.2.1 木製部材の欠点項目

木製部材については、以下に示す木材の持つ性質が原因で発生する欠点がある。

- ① 木材は方向により性質が違う： 繊維の方向によって強度が異なる。
- ② 質が均一ではない。： 節、割れ、反り等がある。
- ③ 腐食する。： 菌、虫等におかされる。乾湿繰り返しにより腐食が早い。
- ④ 可燃性である。： 燃え易い。
- ⑤ 温度、湿度の変化により膨張・収縮する。

具体的には、

デッキ材： 腐れ、割れ、反り、抜け節、釘、木ネジの引抜け、摩耗

根太材： 腐れ、割れ、ボルトの緩み

防舷材： 腐れ、欠け、ボルトの緩み

などを監視することが必要である。

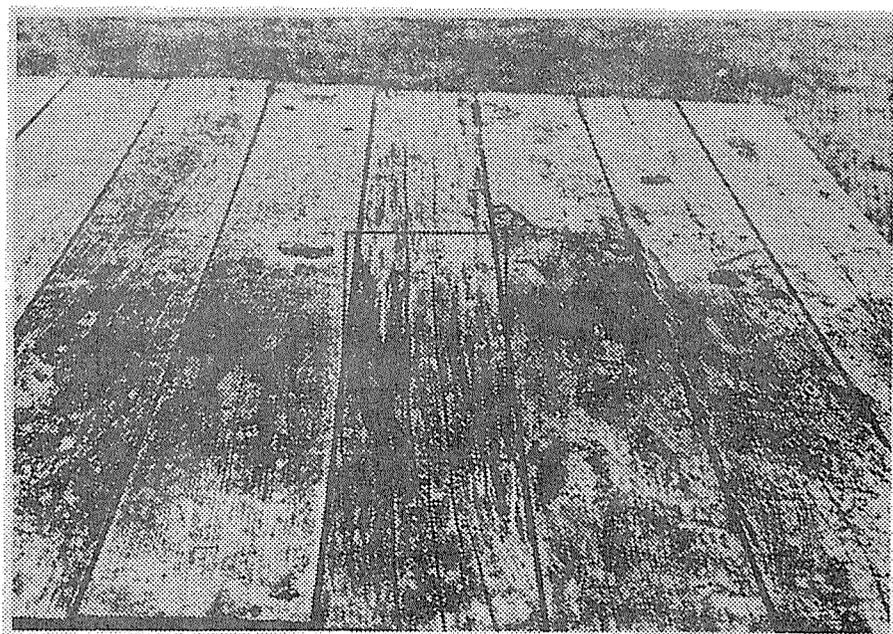


図26 デッキの腐れ (写真中央部)

5.3 点検・補修要領

予め定めた項目について、オンシーズン、オフシーズンごとに点検・補修を行うことが望ましい。

[解説]

5.3.1 オンシーズン、オフシーズンに行う点検、補修

施設の利用上の制約、利用者の利便性を損なう事のないように、オンシーズン、オフシーズンに分けて点検項目を定め、点検を行うことが望ましい。

表13 補修点検項目と補修点検時期

部位	内 容	オンシーズン	オフシーズン
デッキ材	腐れ 割れ 反り 抜け節 釘、木ねじの引抜け カビ・苔(すべり) 摩耗	○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	
根太材	腐れ 割れ ボルトのゆるみ		○ ○ ○
防舷材	腐れ 欠け ボルトのゆるみ	○	○ ○

5.3.2 点検・補修記録（カルテ）

安全性、美観、機能の維持のために定期的点検を行い、予め下表のような点検・補修記録を作成しておくことが重要である。

表14 浮棧橋の点検表例

御中														年 月 日 NO.	
下記の通り点検いたしましたのでご報告致します。											設置場所 所在地				
凡例 ○：正常 △：注意 ×：危険 ※：使用中止											実施者名				
点 検 項 目															
棧橋 番号		デッキ材					根太材			防舷材			備考		
		腐れ	割れ	反り	抜節	釘の木引 ネ抜 ジけ	カビ ・ 苔	摩 耗	腐れ	割れ	ボル 緩 ト み の	腐れ	欠 け	ボル 緩 ト み の	問題のある 箇所等の記述
総括点検結果											〇〇〇〇株式会社				

5.3.3 補修要領

点検・補修記録を作成するに当たっては、点検項目について、傷みの程度の判断基準とその補修方法を定めておくことが望ましい。

表15 デッキ等の補修要領

部位	ランク	項目	状況	補修方法
木	正常	腐れ 割れ 反り 抜け節 木ネジ カビ・苔 摩耗	腐れない 割れはあるがトゲを刺す危険はない 歪や曲がりがない 抜け節がない 釘・木ネジの浮き上がりが少ない カビ・苔等によすべりの危険がなく 摩耗していない	
	注意	腐れ 割れ 反り 抜け節 木ネジ カビ・苔 摩耗	表面が多少腐朽している トゲをさす危険がある割れがある 多少出ているが利用に差し支えない 小さな抜け節がある わずかに頭が浮いている カビ・苔により一部変色がある わずかに摩耗が認められる	<ul style="list-style-type: none"> ┌ サンダーやペーパーがけ、 └ パテ埋めで表面平滑化 ┌ 油性防腐剤の塗布処理 └ 埋木等で補修する ハンマ、ドライバで矯正する デッキブラシ等で洗い流す サンダー等で表面平滑化する
	危険	腐れ 割れ 反り 抜け節 木ネジ カビ・苔 摩耗	内部まで入っているが主要構造部でない 内部まで入っているが主要構造部でない 歪や曲がりがあり利用に支障あり 利用上支障のある抜け節がある 1mm前後の浮きが認められる カビ・苔により滑りの危険がある 表面が3%前後摩耗している	<ul style="list-style-type: none"> ┌ 該当部分の修理または交換 └ 油性防腐剤の塗布処理 該当部分交換、全体ならば撤去 埋木等で補修または部分交換 ハンマ、ドライバで矯正する 該当部分の削除または交換 表面平滑化または交換
木	使用 禁止	腐れ 割れ 反り 抜け節 木ネジ カビ・苔 摩耗	主要構造部に入り事故の危険あり 構造上問題となる割れがある 歪や曲がり著しく危険度が大きい 構造上問題となる抜け節がある 数mm以上の浮きがあり危険 全面にカビ、苔がつき危険である 表面が5%以上摩耗している	<ul style="list-style-type: none"> 該当部分交換、全体ならば撤去 該当部分交換、全体ならば撤去 該当部分交換、全体ならば撤去 交換 別の部位に打ち直しまたは交換 交換 交換

部位	ランク	状 況	補 修 方 法
塗 装	正 常	塗装状況が良好（100～85%）で、剥離はほとんど出ていない	
	注 意	塗装状況が普通（85～70%）で、剥離が多少見受けられる	タッチアップする
	危 険	塗装状況が悪く（70%以下）、腐朽が塗装の内側まで進行している	再全塗装する。その際、下地に油性防腐剤の塗布処理をする
	使用禁止	剥離した箇所から腐朽がかなりの範囲に広がっている	該当部分の交換、全体であれば撤去
ボ ル ト 類	正 常	ボルトに緩み、腐食、摩耗等異常が認められない	
	注 意	ボルトに緩みがある	増し締めをする
	危 険	ボルト径の30%以上、腐食や摩耗が認められる	ボルトを交換する
	使用禁止	ボルト径の50%以上、腐食や摩耗が認められる。ボルトの脱落がある	ボルトを交換する
そ の 他	正 常	異常が認められない	
	注 意	異常が認められるが、危険度は低い	補修する
	危 険	異常が認められ、危険度が大きい	修理または交換
	使用禁止	使用に耐えられる状況ではない	交換

- 材料の破損にあつては、材料の5%以上破損の場合に交換を行う。
- 床板の断面が大きな場合（30mm以上の厚さになった場合）には薬剤の浸潤度が必ずしも、100%にはならないので、施工後、半年から一年程度経過した時点で、発生した、割れに対してナフテン酸銅、ナフテン酸亜鉛系、クレオソート油系の油性塗布剤で処理することにより、大幅に耐久性の向上が図れる。 薬剤処理後、大きな割れには、油性パテの様な充填剤で補修する。 抜け節、埋木、の欠落は、専用の補修キットを準備し、それらにより補修する。

5.4 点検に必要な道具

傷みの程度の測定は目視、触感による他、歩行感、打撃音診断により測定する。

[解説]

5.4.1 歩行感覚 : 歩行時の感覚により脆弱化した箇所を検知

目視だけでは確認できないデッキ材内部もしくは裏側の腐朽、割れ、根太材の傷みなどは歩行感覚である程度確認できる。

表16 歩行感覚によるメンテナンス

点検部位	方法	異常時の現象・状況	傷みの内容
デッキ材	根太と根太の間を歩行する。	デッキ材が他のものよりたわみが大きい。	腐朽、裏面の割れが生じている可能性がある。
根太材	根太の真上を歩く。	他の部位よりもたわみが大きい。	根太に腐朽が生じている可能性がある。

5.4.2 打撃音診断

音波による腐朽箇所の診断

木製部材中に腐朽した部分があるか否かを検出する比較的簡単な方法として、ハンマーを利用して、打撃した時の音の高さ、音色で判断する方法がある。

この方法は、経験的な勘に頼っていることが多く、木材については学術的にはあまり検討されていないが、似たような研究事例にはA E（アコースティックエミッション）を利用した健全木材組織中の欠点（腐朽組織、異常組織、割れ等）の発見の検討の報告がある。

ハンマーを利用する方法では、腐朽組織がある場合には、健全組織のみの場合よりも「にぶい音」、「低い音」がするので、ある程度の経験を重ねることで判定、が可能になる。

表17 ハンマーを利用した打撃音による腐朽箇所の発見方法

材料の種類	耳で感じる音の状況（気乾状態）
健全材	ハンマーで打撃した時の音の立ち上がりが速い。 比較的、シャープな金属音に近い音がする。 発生する音の周波数が高い。
腐朽材もしくは 腐朽組織を含む材	発生する音の周波数が低い。 ハンマーで打撃した時の音の立ち上がりが遅い。 比較的、鈍い音がする。

第3章 木橋のマニュアル作成

1. はじめに

現在、我が国には、木造橋設計の際、参考となるマニュアル類は皆無に近い状況である。（昭和15年、内務省制定「木道路橋設計示方書案」が唯一）

また、昭和23年理工図書（株）発行の「木橋架設法」（畑中健三著）があるが、本書には集成材に関する記述はなく、接合もジベルの紹介に留まっている。

この様なことから、今年度は木橋の設計施工マニュアル作成を進めるうえでの基本となる「木材の強度特性に関する基礎知識」及び昭和23年～昭和32年の間における「木造林道橋（自動車道）の使用実態」について調査取りまとめた。

また、併せて次の資料を収集し検討を行った。

記

- 1) 集成木材単純桁林道橋の設計例
- 2) 歩道橋（県道側道橋）設計例
- 3) 木造建設工法による新しい橋梁および小型橋梁
（スイスの木造研究グループL I G N U Mの報告）
- 4) R e n t i g e n - W i m m i s間のS i m m e川を越える木橋
（スイスの木造研究グループL I G N U Mの報告）

2. 木橋設計のための強度特性に関する基礎知識

2. 1 はじめに

木材は天然材料であるため、強度のバラツキが非常に大きい。同じ樹種の木材でも、強度の最大値と最小値の間に、数百パーセントの違いがあることも珍しくはない。また一本の木の樹幹内における強度値も試験体の採取位置によって異なる。

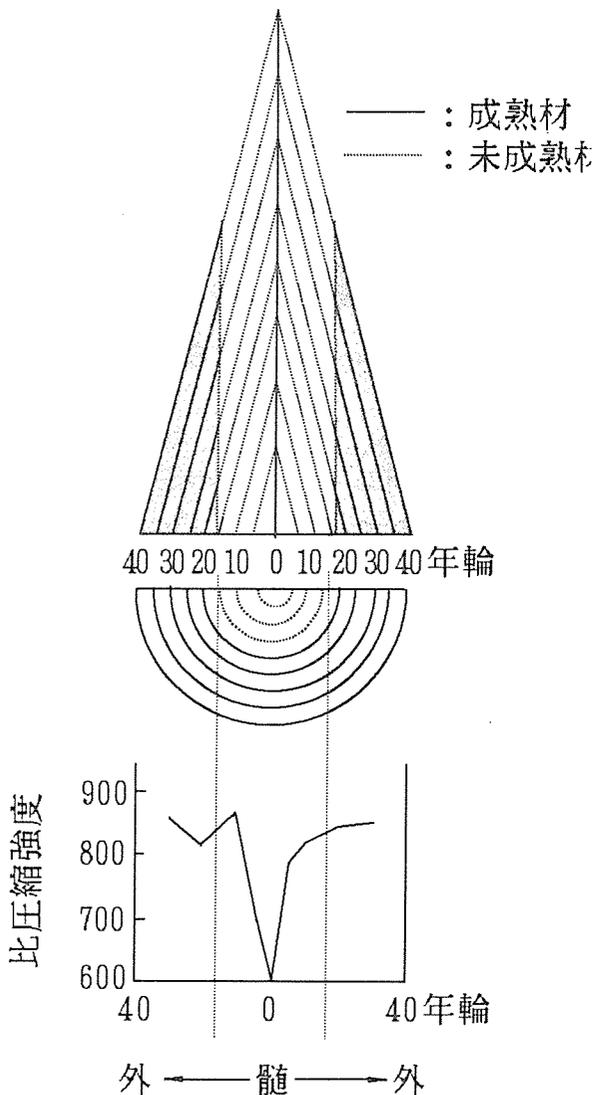


図1 スギ樹幹内の強度分布の例

図1はスギ樹幹内の強度分布の例を示す。中心部10～15年輪までの強度は、外周部

に比較して低く、しかも変動している。この部分は「未成熟材」と呼ばれ、繊維の長さが短く、細胞壁のヤング係数が低く、材質的にも不安定である。このような丸太から製材されるので、実大木材は「木取り」によって強度性状が異なる。

木材の強度の規準値は、欠点のない、目の通った小型の試験体（標準試験体）を用い、JISに規定された標準的な試験法（曲げ試験、引張試験、圧縮試験、その他）によって求められる。既往の試験から、標準試験体の強度に関して次の大小関係が認められている。

$$\text{引張強度} > \text{曲げ強度} > \text{圧縮強度}$$

しかし、節等の欠点を含む実大木材の強度はこれとは大きく異なり、図2に示すように、引張強度が節等の影響を受けて、強度間の大小関係は以下の順となる。

$$\text{曲げ強度} > \text{圧縮強度} > \text{引張強度}$$

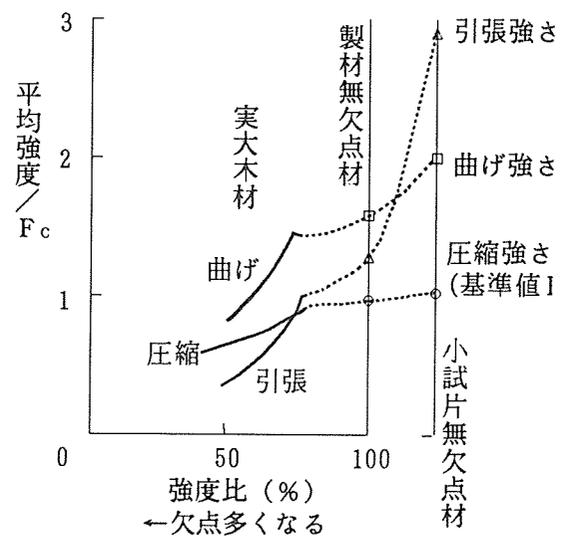


図2 標準試験体と実大試験体の強度の違い

2. 2 実大材の強度の実験例と一般的傾向

ここ十数年余りの間に、実大材の強度が重要視され、各地の林業試験場等で本格的に実大材の強度試験が実施されるようになった。

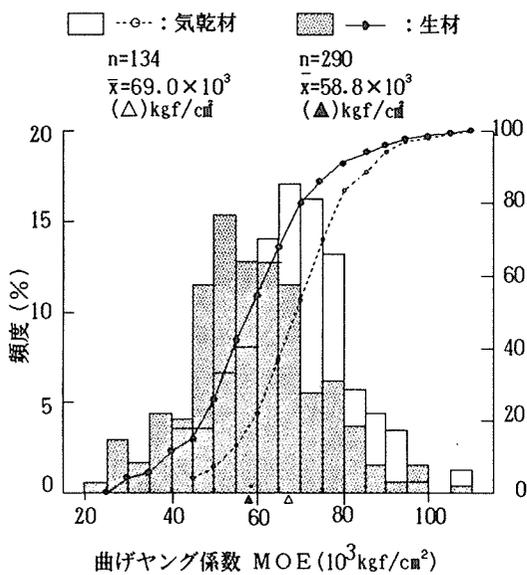
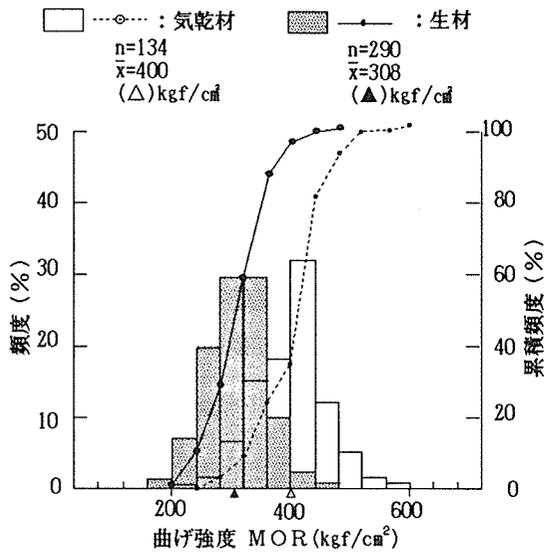


図3 スギ小径材から採材した実大材の曲げ強度性能

図3は、スギ小径材から製材した7cm角の正割材の生材と気乾材(含水率15%程度)の曲げ強度と曲げヤング係数のヒストグラムを示す。このように、一口にスギといっても、強度性能には数百%の大きな幅がある。

図4は市販針葉樹正角材(10.5cm角)の曲げ強度の分布を正規分布と仮定して、樹種群ごとに表示したものである。強度の分布は極

めて広範囲にわたっており、樹種によっても差異が見られる。

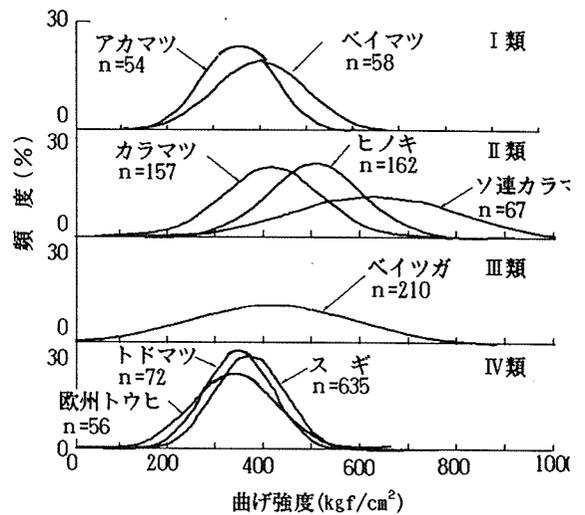


図4 樹種群ごとの曲げ強度分布

2. 3 木材の強度と各種成長特性の関係

1) 比重

図5は無欠点小試験体(断面2cm×2cm)の曲げ強度と比重の関係を示す。

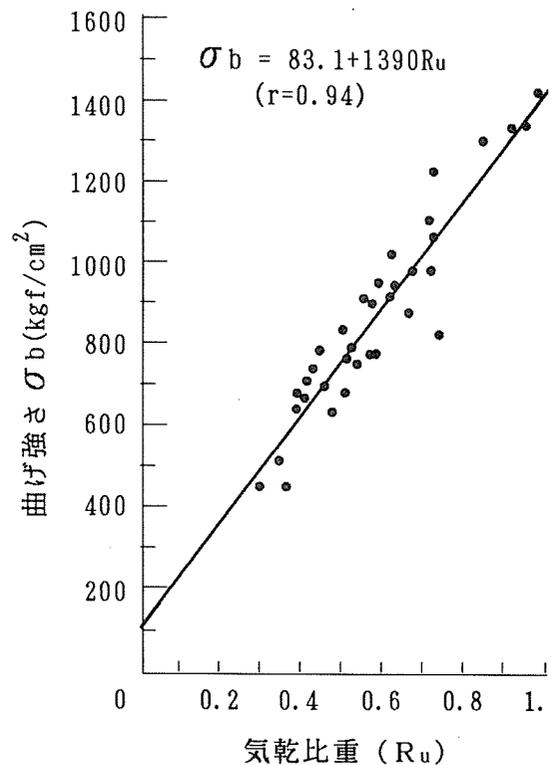


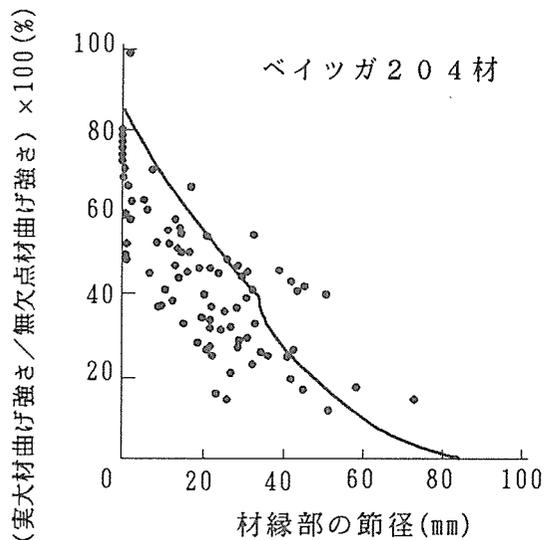
図5 標準試験体における曲げ強度と比重の関係

一般に無欠点木材の強度と比重の間には図5のように高い正の相関関係が認められる。しかし実大材の場合は他の欠点因子が強度に影響を及ぼすので、この相関は余り高くない。

2) 節と強度の関係

節(knot)とは製材した木材の表面に表れる枝の切断面を言う。生きている枝を切断した時に生じる節は「生節」(live knot, tight knot)と呼ばれ、節周辺の材との間に明瞭な境界線が存在せず、繊維などが組織的に連続している。一方、枯れた枝を包み込み、明瞭な境界線があり、組織的に分離している節を「死節」(loose knot)と呼ぶ。

節は化粧性の面でも好まれないが、強度的にも影響は大きく、作用する応力で影響の度合いが異なる。一般的には、縦圧縮の場合、節の種類に関係なく、木口面積に対する節の投影面積の比率に反比例して強度は低下する。引張では、節周辺の繊維の局所的な傾斜が影響を持つ。したがって、曲げ強さは引張側材縁部に節がある場合、強度の低減が著しい。図6に節径比と曲げ強度の関係の一例を示す。



(b) ベイツガ204材の材縁部の節と曲げ強との関係

— : 応力等級計算用の強度比

図6 曲げ強度と節径比の関係

3) 繊維傾斜角 (目切れ)

繊維方向の傾斜(目切れともいう)は、図7に示すように、製材の稜線と繊維走行がある角度をなしていることをいう。目切れは強度を低下させる大きな要因で、角度 θ の強度は次の Hankinson 式で推定可能である。

$$\sigma_{\theta} = \frac{\sigma_0 \cdot \sigma_{90}}{\sigma_0 \sin^n \theta + \sigma_{90} \cos^n \theta}$$

ただし、

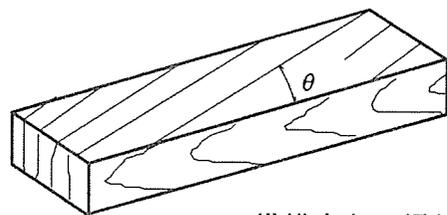
θ : 力の作用方向と繊維走向がなす角度

σ_{θ} : 角度 θ 時の強度

σ_0 : 繊維平行方向加力時の強度

σ_{90} : 繊維直交方向加力時の強度

n : 応力の種類による実験常数で、引張で 1.5~2、圧縮で 2.5、曲げで 2 程度である。



θ : 繊維走向の傾斜角

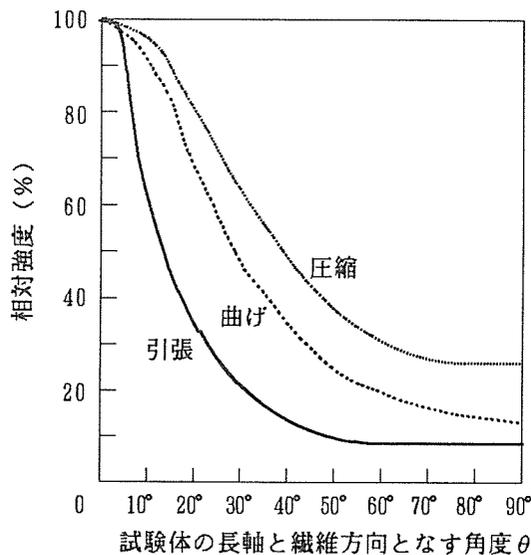


図7 繊維傾斜角と強度の関係

4) 荷重継続時間の影響

(Duration of Load : DOLと呼ぶ)

木材に一定の荷重を継続载荷しておく、時間の経過とともに変形が進行し、クリープ

現象を示す。与える荷重がある限界を越えると、ある時間後に試験体はクリープ破壊を起こす（図8）。

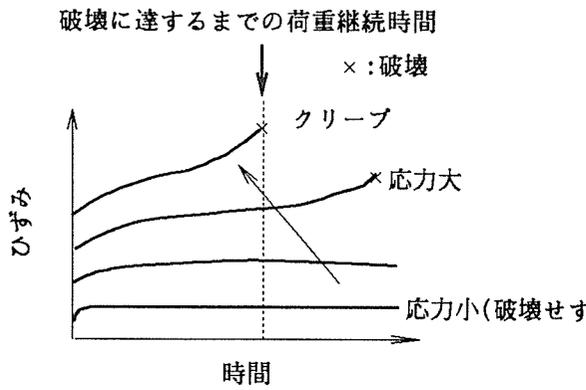


図8 木材のクリープ破壊

図9は、無欠点標準試験体のクリープ破壊を生じるまでの荷重継続時間（duration of load）と荷重との関係の典型例を示す。この関係はアメリカの林産試験場の実験例であるが、各国の許容応力度の荷重継続時間に関する調整係数の根拠ともなっている。

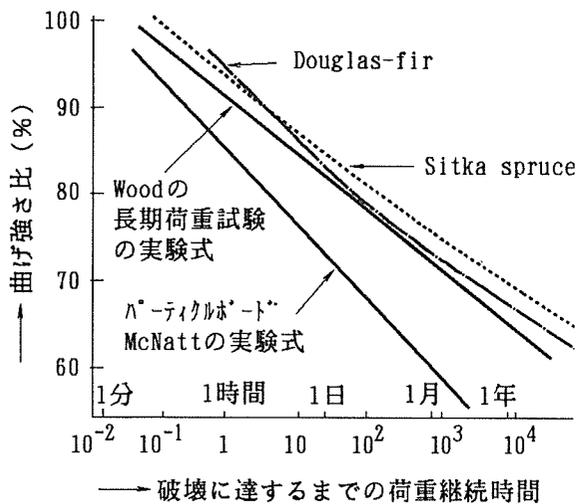


図9 荷重比と荷重継続時間の関係

しかし最近の実大材に関する数多くの実験から、欠点の少ない実大木材では図9のような荷重継続時間の影響は認められるものの、欠点の多い下位等級の実大木材では荷重継続時間の影響がはっきりせず、現在建築学会で規定されているように「長期は短期の1/2」が真に正しいのか疑問視する面もある。

5) 含水率の影響

図10は、木材の標準試験体の強度に及ぼす含水率の影響を示す。このような影響を勘案して、建築基準法の許容応力度の扱いでは、水槽のように常に湿潤状態が想定される時には、示された許容応力度の70%の数値を適用することになっている。

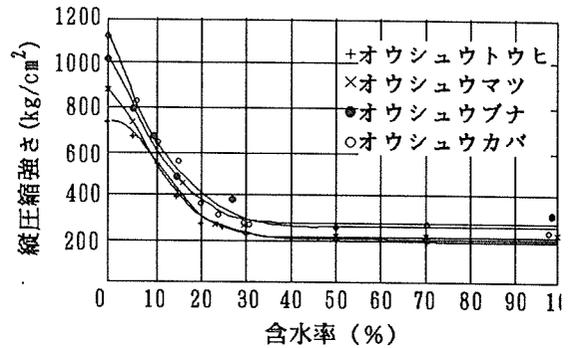


図10 標準試験体の強度と含水率の関係

他に、含水率や湿度条件に関しては、以下の注意事項がある。

- ①木材は含水率が低下すると収縮し、含水率が増加すると膨張する。
- ②乾燥に伴う材の割れや反りを防止するため、含水率は使用環境に合わせて調整する。
- ③湿度の高い状態や水分が停滞しているような状態では、かびや腐朽菌あるいはシロアリなどの生物が生育し、木材は劣化する。
- ④木材の生物劣化は、強度低下が著しく、例えば圧縮強度では重量減少が30～50%でほぼ0になる。
- ⑤構造材料の許容応力度に対し生物劣化は考慮されない。それは、生物劣化の原因は生物の生育環境にあるためである。
- ⑥劣化の予想される場所に木材を使用するには、防腐薬剤処理が必須条件となる。

2. 4 木材の許容応力度と材料強度

式1)に現在我国の建築分野で採用されている木材の許容応力度誘導の基本概念を示す。

$$s f = \alpha \times F_0 \times 4/5 \times 2/3$$
$$L f = L f \times \beta \quad \dots\dots 1)$$

ここで、

$s f$: 短期許容応力度

$L f$: 長期許容応力度

α : 欠点による低減係数で、「製材の日本農林規格」を参考にすると、たとえば一等材の場合、 α は圧縮で0.62、曲げで0.45、せん断で0.5となり、引張は実大試験の結果、曲げの約60%となっている。

F_0 : 各樹種群の標準試験体の基準強度(強度の平均値)

4/5 : 強度のばらつきを考慮して統計的下限値を与える係数。かつてはアメリカ流に3/4を採用していた。なお、4/5とはCV=12%時の下限5%値を意味する。

2/3 : 曲げ、圧縮の場合は比例限度を意味する。基本的に弾性設計を行うことを示唆している。ただし、引張、せん断応力の場合は、比例限度は明確に現れないので、2/3は一種の安全率の逆数を意味する。

β : 荷重継続時間による調整係数で、長期は短期の1/2という値が採用されている。

しかし、近年実大材の強度データが集積されつつあるのに伴い、実大材の強度値を参考にした調整も一部行われているようである。

様々な欠点を含む実大寸法の木材の場合は、式1)の($\alpha \times F_0 \times 4/5$)の項が、その樹種群の強度の統計的下限値を表しており、これは多くの場合下限5%値を意味する。よって欠点を含む実大材の許容応力度はまとめると次式で表現できる。

$$(\text{短期}) \quad s f = F_{0.05} \times 2/3$$

$$(\text{長期}) \quad L f = s f \times \beta = F_{0.05} / 3 \quad \dots\dots 2)$$

ここで、 $F_{0.05}$ は欠点を含む実大木材の強度分布の下限5%値。すなわち、100本の木材を曲げ破壊実験した場合の弱い方から数えて5番目に相当する試験体の強度。

式2)より木材の長期許容応力度は、下限5%値を更に3で割った非常に小さい値に設定されていることが分かる。

一方、建築基準法施行令95条では、「材料強度」という指標を定めている。この値は長期許容応力度の3倍と決められている。

式で表すと、

$$F = \text{材料強度} = 3 \times L f = F_{0.05} = \text{下限5\%値}$$

つまり「材料強度」という指標は、実大材の強度の統計的下限値 $F_{0.05}$ に相当するものである(決して平均値ではない!)

この「材料強度」なる指標は、他材料での定義から見れば、大地震を想定した構造物の保有耐力設計の際の、強度特性値として使われるのが本節である。しかし、木構造の場合、保有耐力設計のルート(ルートⅢと呼ばれる)が適用される構造規模のものは稀であるので、現状では「ある樹種グループが最低限保有すべき強度の合格ライン」といった意味合いで理解されているようである。

以上のような考え方に従って、建築基準法施行令に示された木材の繊維方向の許容応力度は表1のような値となっている。

またこの他に、特殊な許容応力度として、住宅の土台に対する柱からの加圧応力を設計する場合に用いるめり込み許容応力度及び圧縮材(柱)の座屈許容応力度が建設省により表2のように決められている。

表1 木材の繊維方向の許容応力度（単位：kgf/cm²，建築基準法施行令）

樹種		長期応力に対する値				短期応力に対する値 sf	
		圧縮 Lf _c	引張 Lf _t	曲げ Lf _b	せん断 Lf _s		
針葉樹	I	アカマツ、クロマツ、ベイマツ	75	60	95	8	長期応力に対する値の 2倍
	II	カラマツ、ヒバ、ヒノキ、ベイヒ	70	55	90	7	
	III	ツガ、ベイツガ	65	50	85	7	
	IV	モミ、エゾマツ、トドマツ、ベニマツ、スギ、ベイスギ、スプルース	60	45	75	7	
広葉樹	I	カシ	90	80	130	14	
	II	クリ、ナラ、ブナ、ケヤキ	70	60	100	10	

なお、施行令では、許容応力度の数値については強度試験に基づいて定める他は、上表1の数値によるという表現をとっており、実験値を優先する姿勢を示している。

表2 木材の繊維方向に直角の（めり込み）許容応力度（建設省告示）（kgf/cm²）

樹種		長期応力に対する値 Lf	短期応力に対する値 sf	
針葉樹	I	アカマツ、クロマツ、ベイマツ	30	長期応力に対する値の 2倍
	II	カラマツ、ヒバ、ヒノキ、ベイヒ	25	
	III	ツガ、ベイツガ	20	
	IV	モミ、エゾマツ、トドマツ、ベニマツ、スギ、ベイスギ、スプルース	20	
広葉樹	I	カシ	40	
	II	クリ、ナラ、ブナ、ケヤキ	35	

圧縮材の座屈の許容応力度（建設省告示）

有効細長比	圧縮材の座屈の許容応力度（kgf/cm ² ）
$\lambda \leq 30$	$f_k = f_c$
$30 < \lambda \leq 100$	$f_k = f_c (1.3 - 0.01\lambda)$
$\lambda > 100$	$f_k = \frac{0.3 f_c}{\left\{\frac{\lambda}{100}\right\}^2} = \frac{3000 f_c}{\lambda^2}$

注) λ : 有効細長比、 f_k : 圧縮材の座屈の許容応力度(kgf/cm²)
 f_c : 圧縮の許容応力度(kgf/cm²) (表1参照)

なお、長柱の座屈に関しては、オイラー式を基本にして、ヤング係数 E と圧縮強度 σ_c の関係が $E = 300\sigma_c$ になることから誘導されている。また、日本建築学会木構造物計算基準では、 E を実測した場合には、 σ_k をオイラー式から直接算出し、それに安全率を入れて f_k を求めてもよいことが示されている。

2. 5 集成材の許容応力度

集成材は木材（素材）を原料としているため、素材に見られる節や目切れによる強度の低下は避けられない。しかしラミナの積層効果によって、強度の低下は素材よりかなり少なくなる。これは、節等の木材特有の欠点がラミナに挽割ってそれを再接着することで分散できる確率的な効果、及び断面内に働く応力に応じて、たとえば曲げ材として使われる集成材であれば外側により性能の高いラミナを配するなどの、強度上合理的な断面設計がある程度可能となるためである。また、接着積層製品であるため、必然的にラミナは十分乾燥されており、集成材になった後の含水率変化が殆どなく、狂いや割れといった劣化現象も一般製材品にくらべて著しく少ない。

現在、日本農林規格（JAS）では、構造用の集成材を5種類規定しているが、純構造用途に使用されるものは「構造用集成材」と新しく制定された「構造用大断面集成材」の2種類である。表3は、この2種類の構造用の集成材に関するJAS規格の概要を示す。

本来、集成材のメリットは、ラミナの強度性能に基づいて断面を要求性能に合わせて設計できるところにある。しかし、現行のJAS規格では、ラミナの資源的状况と曲げ材として使われる割合が大きいことを勘案して、集成材断面内におけるラミナの等級と配置を表4のようにあらかじめ規定している。

たとえば、特級の集成材を作る場合は、断面の外側 $1/8$ のラミナには1等のラミナを、中間層 $1/8$ には3等以上のラミナを、内層には4等以上のラミナを用いなければならない。

逆に全て1等ラミナだけで作っても良いが、1等ラミナはそう多量に採れるものではないので、表4のような規定が資源的にも、力学

的にも合理的な取り決めと考えられる。

【許容応力度の決定】

製材品の許容応力度が標準試験体の基準強度 F_0 に基づいて決定されたように、我国の集成材の曲げ許容応力度は、梁せい 30cm の集成材の曲げ強度の値に基づいて、3)式で決定されている。

$$f = F_{b-30} \times 3/4 \times 2/3 \times 1/2 \dots 3)$$

ただし

F_{b-30} : 梁せい 30cm の集成材の曲げ強度の平均値

$3/4$: ばらつきの係数で、CV 15%時の下限5%値に相当

$2/3$: 比例限度又は安全係数

$1/2$: 短期と長期の比

F_{b-30} は実大試験体の強度値であるので、その値にはラミナに含まれる節、目切れ、または縦接合部（フィンガージョイント）等の強度低減因子の影響が既に含まれている。

しかし、実際には梁せい 30cm の集成材の F_{b-30} を統計的に十分満足いく数だけ得られるとは限らないので、データが不足する樹種に関しては、製材と同じ誘導方式である、

$$f = F_0 \times 4/5 \times \alpha \times 2/3 \times 1/2 \dots 1)$$

で長期許容応力度を決定する。

ここで

F_0 : 無欠点標準試験体の基準強度

α : 集成材の等級による強度比である。

表3 構造用集成材および構造用大断面集成材の日本農林規格（JAS）の概要

樹 種 群	針葉樹A-1類、A-2類、B-1類、B-2類、広葉樹A類、B類				
接 着 の 程 度	UVレジン系樹脂接着剤またはこれと同等以上の性能を有するもの ブロックせん断、煮沸剥離、浸せき剥離の各試験に合格すること				
含 水 率	15%以下とする				
曲 げ 性 能	集成材の曲げ試験(または外層用ラミナの曲げ試験および縦つぎラミナの曲げ試験)に合格すること				
ラミナの等級		(1 等)	2 等	3 等	4 等
	集中節径比	(1/8以下)	1/4以下	1/3以下	1/2以上
	繊維走向の傾斜比	(1/16以下)	1/14以下	1/12以下	1/8以下
ラミナの厚さ	5~50mm、ラミナ厚別の安全最小曲率半径に合格すること				
集成材の強度等級	(特級)、1級、2級				
ラミナの積層数	(特級:5層以上)、1級:5層以上、2級:4層以上				
ラミナの構成	両外層に上位等級ラミナを配置し、その比率が1/4以上であること				
外層ラミナの等級	(特級:1等)、1級:2等、2級:3等				
縦つぎの方法	スクラップジョイント、フィンガジョイントまたはこれと同等以上の性能を有するもの				
縦つぎの配置	外層の隣接するラミナの縦つぎ部の避距を、スクラップジョイントではラミナ厚の3倍以上、フィンガジョイントではラミナ厚の12倍以上とすること				
集成材の寸法公差	厚さ: +2~-1%、±1.5%、幅: +2~-1%、±1.5%、長さ: -0%以上 (厚さ: ±1.5%、幅: ±1.5%、5mm、長さ: ±5mm、直角度1/100)				
集成材の外観等級	1種:仕上げ良好、2種:仕上げ普通、3種未仕上げ				
ブロックせん断試験	せん断強さ:長期許容応力度の6倍以上、木部破断率:40~60%以上				
煮沸剥離試験	沸とう水浸せき5時間→常温水浸せき1時間→60±3℃乾燥24時間 両木口の剥離率が10%以下、かつ同一接着層の剥離率が1/3以下 であること				
浸せき剥離試験	常温水浸せき24時間→60±3℃乾燥24時間 両木口の剥離率が10%以下、かつ同一接着層の剥離率が1/3以下 であること				
外層用ラミナの 曲げ試験	曲げ強度:長期許容曲げ応力度の3.39倍以上 ヤング係数:75~125×10 ³ kg/cm ³ 以上				
縦つぎラミナの 曲げ試験	曲げ強度:長期許容曲げ応力度の3.39倍以上 ヤング係数:75~125×10 ³ kg/cm ³ 以上				
集成材の曲げ試験	曲げ強度:長期許容曲げ応力度の3倍以上 ヤング係数:70~120×10 ³ kg/cm ³ 以上				

注1: 構造用集成材および構造用大断面集成材の寸法は、次の通りである。

集成材の種類	積層厚さ	幅	断面積
甲種構造用大断面集成材	15.0cm以上	15.0cm以上	300cm ³ 以上
乙種構造用大断面集成材	15.0cm以上	7.5cm以上	102.5cm ³ 以上
構造用集成材	2.0cm以上	-	-

注2: 上表中()内の規定は、構造用大断面集成材にのみ適用する。

表4 構造用集成材のラミナ等級構成

		集成材の等級				
		特級	1級	2級		
	外層	ラミナの構成				
	中間層	外層	1/8以上	1等	2等	3等
	内層	中間層	1/8以上	3等	3等	4等
		内層	1/2未満	4等	4等	4等
	中間層	中間層	1/8以上	3等	3等	4等
	外層	外層	1/8以上	1等	2等	3等

表5 構造用大断面集成材の許容応力度（建設省告示）

許容応力度		長期応力に対する許容応力度 (単位:kgf/cm ²)			短期応力に対する許容応力度 (単位:kgf/cm ²)		
		圧縮または引張	曲げ	せん断	圧縮または引張	曲げ	せん断
針	アカマツ、クロマツ およびベイマツ	特級	115	165			
		1級	105	145	12		
		2級	90	120			
葉	カラマツ、ヒバ、 ヒノキおよびベイヒ	特級	105	155			
		1級	95	135	11		
		2級	85	110			
樹	ツガおよびベイツガ	特級	95	145			長期応力に対する圧縮、引張、曲げまたはせん断の許容応力度のそれぞれの数値の2倍とする
		1級	90	125	10		
		2級	80	105			
広葉樹	モミ、エゾマツ、トドマツ ベニマツ、スギ、ベイスギ およびスプルー	特級	90	135			
		1級	80	115	9		
		2級	70	95			
樹	ミズナラ、ブナ、ケヤキ、 シオジ、タモ、カバ、イタヤカ エデ、ニレおよびアピトン	1級	105	150	12		
		2級	85	125			
	ラワン	1級	90	130	10		
	2級	80	110				

この表において、特級、1級および2級は、それぞれ構造用大断面集成材の日本農林規格（昭和61年農林水産省告示第2054号）に規定する構造用大断面集成材の特級、1級および2級またはこれらと同等以上の品質を有する集成材を表すものとする。

注：構造用集成材の日本農林規格（昭和55年農林水産省告示601号）の許容応力度には特級がなく、1級、2級が上表と同じとなっている。また、上記の他に樹種が追加されている。

以上のようにして決定された集成材の許容応力度は建設省より表5のように与えられている。集成材の許容応力度と製材の許容応力度と異なる点は以下の通り；

- ①集成材の場合は等級ごとに許容応力度が与えられているが、製材では1樹種に1許容応力度しか与えられていない。
- ②集成材の場合は引張が圧縮と同じ数値である。製材の場合、曲げ>圧縮>引張の順となっている。
- ③集成材（1級）の許容応力度は同じ樹種の製材の許容応力度のおよそ1.5倍である。
- ④集成材では、材の乾燥による割り裂けがないことから、せん断許容応力度が製材に比べ約5割ほど大きい。

- ⑤集成材のめり込みの許容応力度は、同一樹種の製材の許容応力度と同じ数値になっている。湿潤状態による扱いも同じである。

なお、湾曲した集成材は、製造時にラミナを無理に曲げた時の応力が内部に残存する。この内部応力は、ラミナの厚さ t と集成材の曲率半径 ρ の比 t/ρ に関係し、実験によると、湾曲集成材の曲げ強度は、 t/ρ が大きくなるほど低下し、その低下の割合は

$$k = 1 - 2000 (t/\rho)^2 \quad \dots\dots 4)$$

($t/\rho = 0$ は通直集成材)

で表現される。

従って、湾曲集成材の許容応力度は通直集成材の許容応力度に k を掛けたものとなる。

3. 木造林道橋（自動車道）の使用実態

3. 1 木造橋の使用樹種

その地域で生産される樹種の中から強度・耐朽性及び、経済性等を考慮して選定し使用されてきた。

例えば、青森地方ではヒバが最良としているが、遠隔地で輸送コストが高む地区では、その地方で生産されるカツラを用いている。同じく前橋地方ではクリを最良とするがクリ材の無い地域では、手近かなスギを用いている。

また、高知地方では、ヒノキは高価なため経済性からスギを主として用い枕木・土台は元玉で、桁は中玉、末木で敷均木のように使い分けている。北海道地方では、エゾマツ、トドマツが主要樹種であるが、強度と耐久性から枕土台や、添接板等には、ナラ材（硬材）を用いている。また、特に長大トラス橋には青森産ヒバを用いたこともある。

このように、当時から各地方とも経済性を重要視しながら使用樹種を選定していた。

また、桁は、主に丸太をタイコ落しにして使用していた。各地域での実態を「表-1」にまとめた。

3. 2 木造橋の耐用年数

架替年数についての規程等は見当たらないが、当時「モモ・クリ3年ハシ8年」とよく言われていたように、一般的には8年程度で架替えていたものが多い。樹種別では、青森ヒバ、木曾ヒノキが最も長く20年の使用実績（クレオソート塗布なし）も見受けられる。一方、エゾ・トドマツ、モミ、ツガ等は6-7年で架替えられていた。

青森ヒバは殆どメンテナンスを必要とせず、現に昭和28年に架設されたものが、今もって現存（通行はしていない）している。15~16年前に秋田スギ（天然）を用いて造られた橋も、支柱補強をしながら今でも運材車が通っているものもある。木曾ヒノキでは木橋架け替えで解体された廃材を販売対象品として評価されていた。

クレオソート塗布（ハケ塗り）は木橋時代の終期（昭和32年頃から木橋は永久橋への架替えが始まった）には一般的であったが、それ以前はあまり行われていなかった。耐用年数を短くする決定的な要因は「水濡れ」「湿気」である。

故に「日照地」では8年程度でも「日蔭地」では6年程度で架替えが行われていた。敷板・敷均木は特に腐蝕し易いため、桁の耐用年数中に1回程度の交換を余儀なくされた。

作用応力の大きいところに使用された桁材等は、解体時に例え腐れが無くても撓みのために繊維が破断され、製材用としての利用は出来なかった。各地方での耐用（架替）年数の状況を「表-1」に併記した。

表-1 地域別 木造桁橋（自動車道）の耐用年数

項目 地域	主たる材料	主たる 型式	耐用（架替）年数
北海道	エゾマツ・トドマツ、枕土台・ 添接板・ブロック等はナラ	板橋	5～7年 クレオソート塗布 8年～10年
青森	ヒバがほとんど 一部地域では、カツラ（若干）	〃	20年（クレオソート塗布なし）
秋田	スギ	〃	7～8年 支柱補強では15～16年あり
前橋	クリ（産地で使用） 3割 スギ（クリの無い地方） 7割	〃	クリ 10年～15年 スギ {日照良好 8～10年 {日照不良 6～7年
東京	スギ・一部ではヒノキ	板橋 土橋	7年～10年
長野	ヒノキ（木曾地方）、伊那・ 北信等モミ・ツガ（杉が無い地方）	板橋	ヒノキ・森鉄では20年実績あり モミ・ツガ 5～6年
名古屋	ヒノキ主体にスギも使用 （モミ・サワラも若干）	土橋	10～15年
大阪	クリが最良（産地） 3割 スギ（産地） 7割	〃	クリ10年以上 スギ {日照良好 7～8年 {日照不良 5～6年
高知	スギ （簡易道ではモミ・ツガも使用）	〃	大径心材（クレオソート塗）20年 良質材 10年 普通 6～7年
熊本	スギ （森鉄ではクリ）	〃	応力少部 12年 応力多部 8年 （クリ） 15年

地域は営林局管轄区域

3. 3 木造橋の腐れ

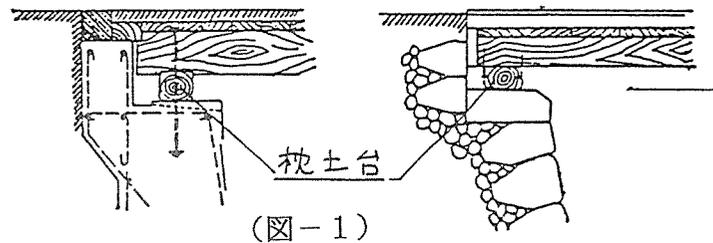
木造橋の耐用年限を支配し、或いは橋の弱点を決定的にする主たる因子は腐蝕である。以下、腐蝕が生じ易い構造部分を列記する。

① 敷板及び敷均木

土橋の敷均木は蒸れ易く、下面には茸が生えることもあり、桁の半分の耐用年数で取り替えが必要となった。板橋では、敷板の隙間から水が侵入して桁を腐らせる原因となっている。また、敷板または敷均木と桁の接触面付近では、双方ともに乾き難いため腐れの進行が早い。

② 桁の端部

桁の端部では、車輛の衝撃荷重が大きいことと、路面流水の侵入が多いことから腐蝕・損傷が早く設計施工上の工夫が大切である。(図-1)

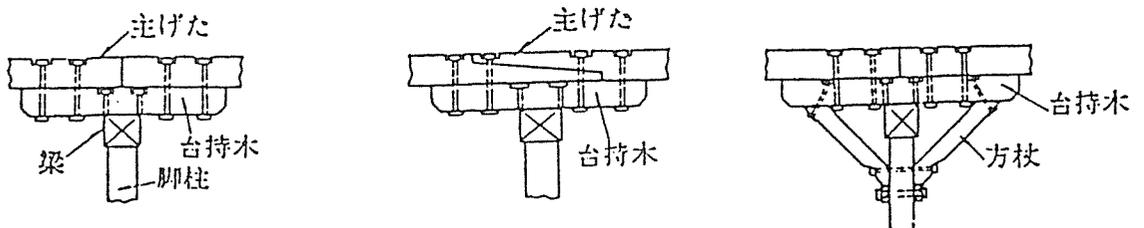


③ 枕土台

枕土台の付近は路面からの流入水や雨水の停滞が最も多く、しかも日当たり、風通りが悪いため腐れが早い。一部地方では、硬木を用い支圧強度に対応させるとともに耐久性の向上も併せ図っていた。

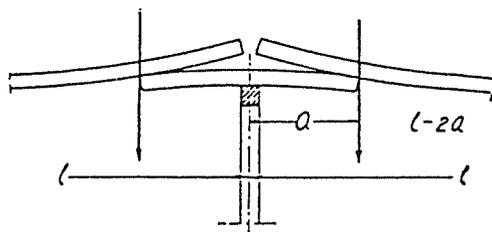
④ 桁橋の継手

桁橋の継手部分では、部材の接合部及びボルト孔から雨水が侵入し乾き難いため腐蝕し易く弱点となっている。(図-2)



(図-2)

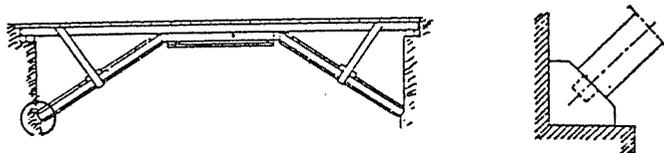
また、継手部分では複雑な繰り返し応力を受けるため、応力上からも弱点となり易い。(図-3)



(図-3)

⑤ 方杖橋の根元

方杖橋の根元は、洪水時に水衝部となる場合もあり橋脚根元と同様に腐れ易く、これらの部材は取り替えが出来ないため事前の対策が肝要である。(図-4)



(図-4)

⑥ 丸太(タイコ落し材)桁

良質材での耐久性は高いが、切削の際の刃物の深い傷跡が原因で渗水腐蝕が発生し致命傷となることがあるため、製作には特段の注意が必要である。

⑦ トラスの継手

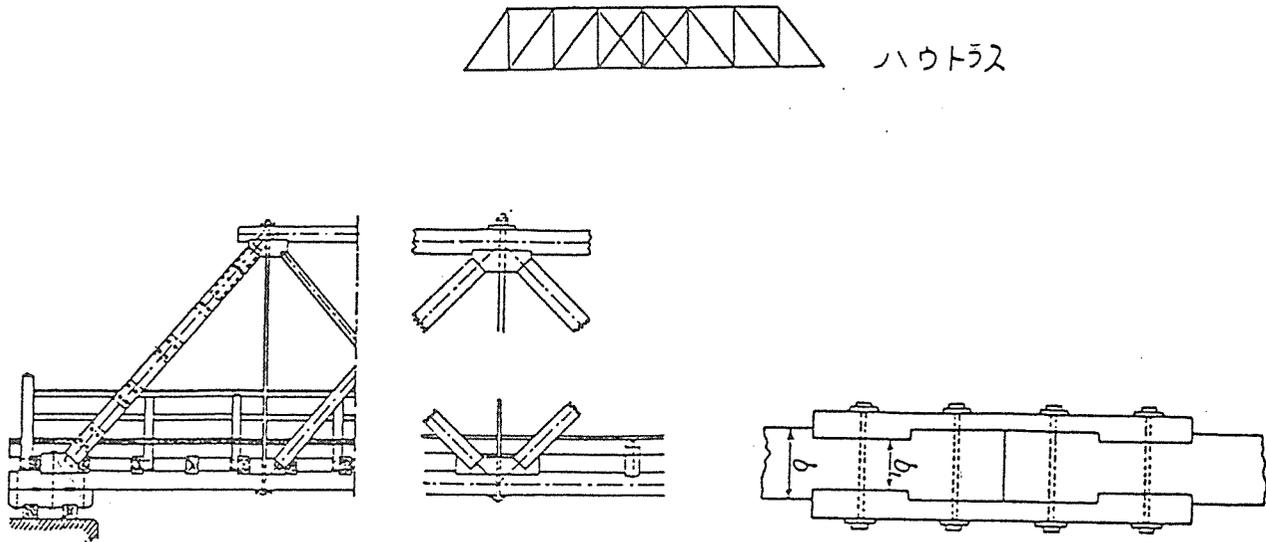
特に、下弦材(引張材)の継手には、硬質の添継板(図-5)を用いても経年によってガタが生じ易く(腐れ・変形のため)製作・管理のむづかしい部分である。腐れ防止のためには、ボルト孔に木栓を施したり、継手部に屋根(鉄板・木)を架けたりする必要がある。

また、トラスは経年によってキャンバーが下ってくるので、維持管理には垂直材(丸鋼)のターンバックルを締め付けることが肝心である。

キャンバーが下がると斜材格点間が伸びるため、格点ブロック構造にガタが生じ、甚だしいときは木製ブロックや、斜材のホゾが外れることもある。

構造は(図-5)のとおりで、これらはキングトラスも同様である。

トラスの継手



(図-5)

⑧ その他

親柱、束柱、笠木等の取付け部は、フレキシブルにするためホゾ構造が多く用いられたが、ホゾ部は細く腐れ等に弱いことは止む得ない。

Ⅲ 試作・展示

第1章 木製舗装の試作・展示

1. 目的

試作・展示の目的は、今後供給の増大化が見込まれる国産材を、建築分野に限らず広く空間構成物に活用し、その需要を拡大することにある。

木レンガ等木材を主な材料とした舗装は、木の感覚的材料特性から歩道等を中心に全国各地で施工が試みられているが、工法として確立されたものがないため路面の不陸、木レンガの剥がれ等のトラブルが散見されるところである。

このような現状に鑑み、木製舗装に要求される性能をもとにモデルプランを作成し、試験体による性能実験、設計・施工マニュアル類の作成の成果を踏まえて試作展示を行ない、その普及を図ろうとするものである。

2. 試作・展示場所の選定

試作・展示場所の選定に当たっては、①年間を通じて大勢の人々が入り出りする場所であること②展示後の経過観察が容易な立地条件であること③事業計画の範囲内で施工可能な規模であることの基本的条件を定め数回に亘り検討を重ねた結果、東京営林局「ウッドイランド東京」に決定した。

ウッドイランド東京は、木の良さを普及、宣伝することを目的に、林野庁（東京営林局）が昭和60年開設したもので、施設の概要は木造住宅（15棟）及びログハウス、三階建て国産材ハウスが展示されており、また木の展示館・木の情報館・木のなんでも相談室が設置されており、更に着々拡大整備が図られている。

入場人員は、平成元年度が約7万名、平成2年度は約15万8千名となっており、特に、平成2年3月JR京葉線が開通し交通が便利となったことから入場者はますます増加することが予想される。

3. 計画区域の条件

試作・展示区域は、ウッドイランド東京の事務所正面出入口前広場で、計画対象面積は190㎡である。北西側アプローチ道路とは約20～40cmの高低差があり通常広場内に車両の通行はないが、来客・物品の搬入等のため車両の乗り入れ及び一時的な駐車が行われている。計画対象区域内北側には、将来、排水施設を設置する予定があり舗装面積は、事業計画や現地の利用状況を考慮して100㎡前後とした。

4. 設計方針

木製舗装の中でも普及性及び汎用性の高いものを目標とし、設計にあたっては、現地の

利用状況からコンクリート基礎とし自動車の進入・駐車に耐えられるものとした。

木レンガは、ヒノキ乾燥材を使用し、金属フレームに装着するユニット方式とし防腐及び撥水処理を行い耐久性・施工性の向上を図ることとした。

また、道や広場のアメニティを配慮して材料・構造面のみならずデザインの側面でも単調とならないよう木レンガのピースに変化を与え、かつ他の素材による舗装も配置して対比させる等の効果も併せ考えることとした。

5・設計図書の作成

前記3・4の検討結果に基づき、モデルプランとしてA・B2案を作成した。モデルプランを図1～3に示す。

プランAは、木レンガ、自然石方形張、小舗石タイルを組み合わせ、長尺($\ell = 600$)の木レンガでラインを強調し、広場全体に造形的な模様付けを行うものである。

プランBは、中尺($\ell = 200$)の木レンガで約70cmの格子を構成し、各格子のなかには標準のピースの木レンガ(90×90)を主体にし、中尺・長尺の木レンガを混えてバラエティに富んだ模様を形づくる。またこの格子のなかには自然石乱張り舗装を加えた。

なお、長尺のピースには、文字を彫り込み、木レンガの特徴的な性能を示した。

上記2案について検討を重ねた結果、木レンガの多様性が、より表現できるB案をベースに実施設計を進めることとした。

しかし、①区域内の利用状況から舗装内への樹木の植栽は行わない②短いスパンでの高低差処理は、階段状に施工する以外は困難であるため、この部分はアスコン舗装とすることとし図4～7の実施設計図を作成した。

計画平面図

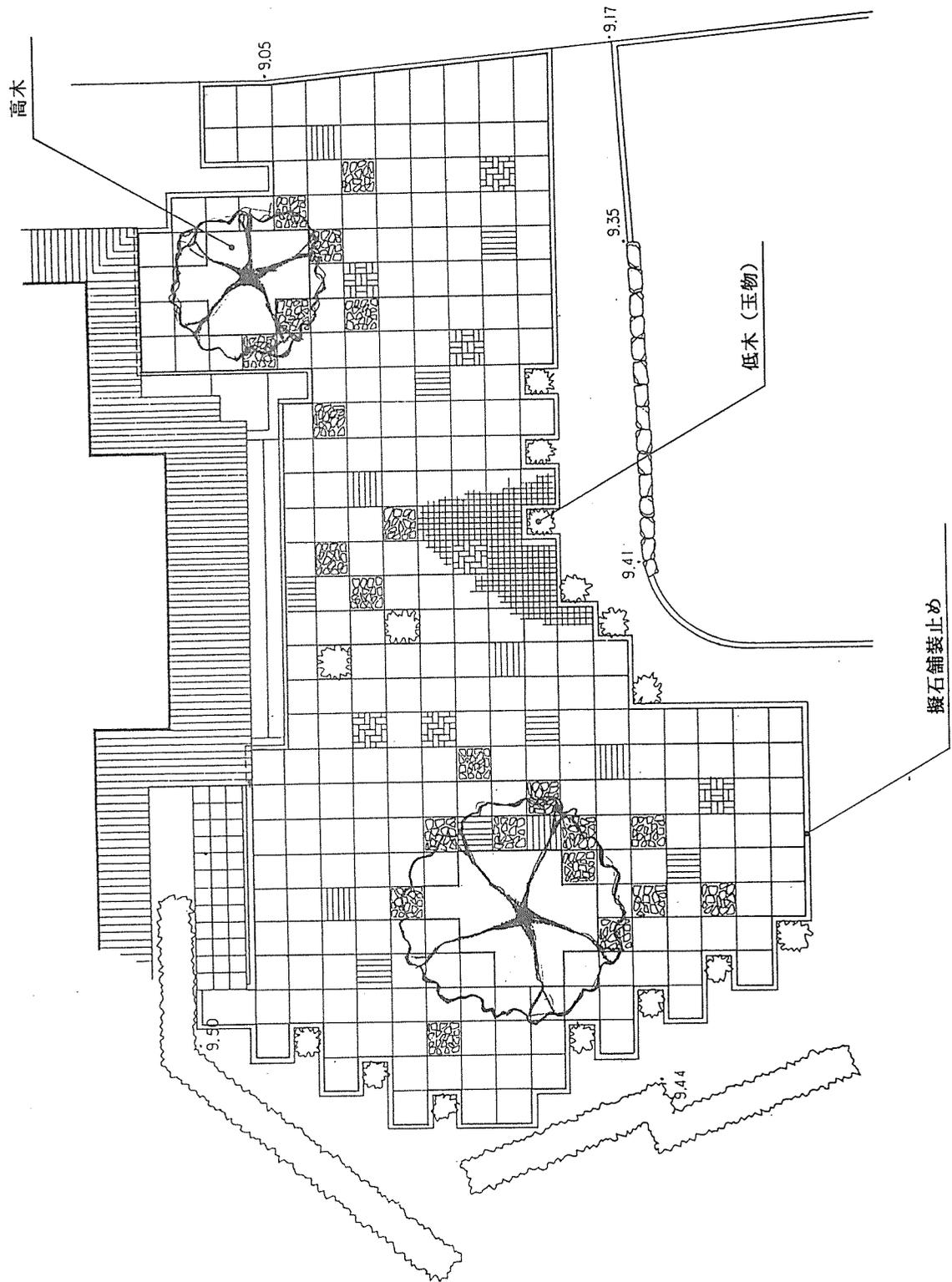


図2 モデルプランB-1

詳細平面図

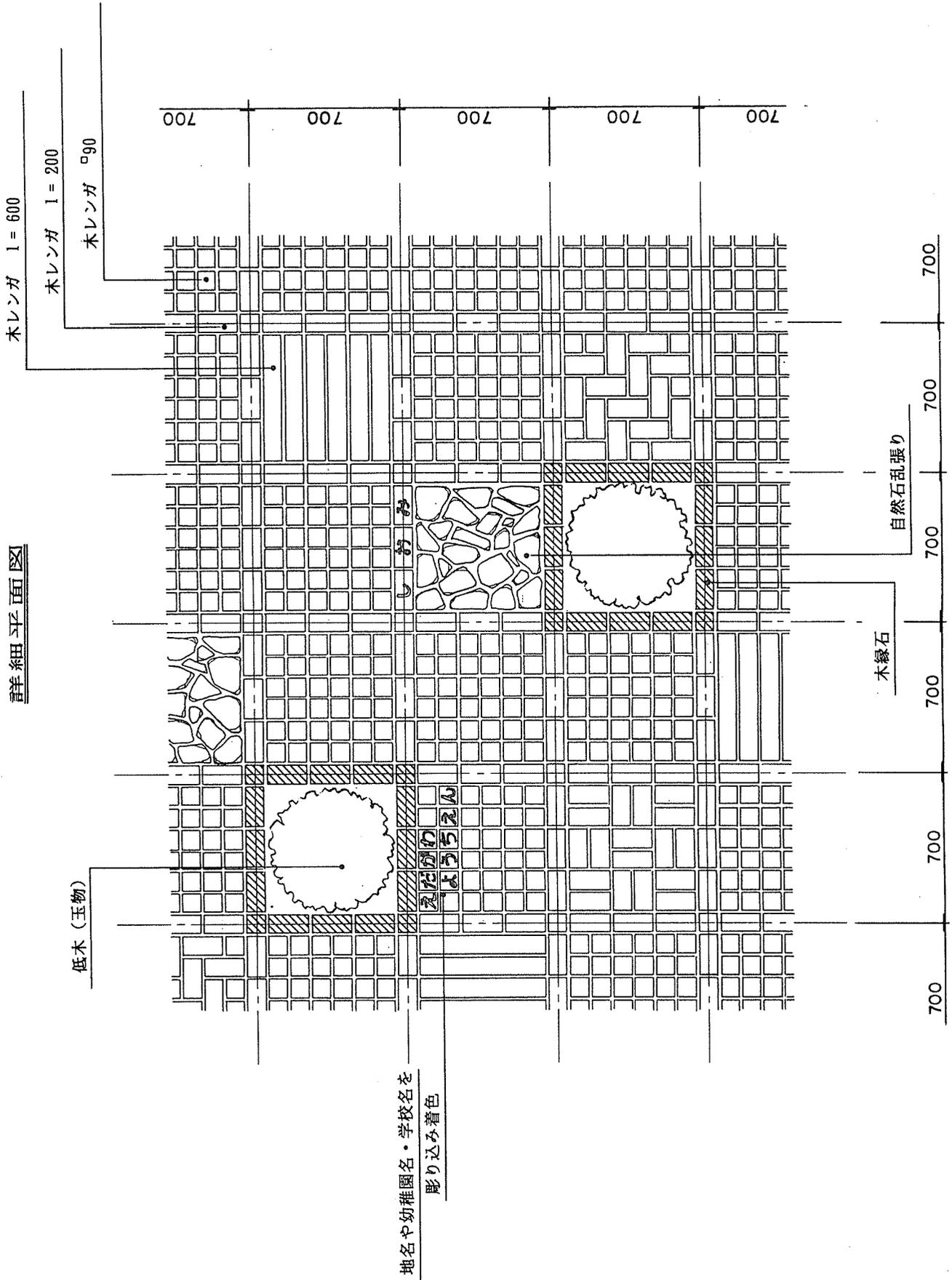


図3 モデルプランB-2

ウッドライラント東京事務所前
木質舗装数量集計表

凡例

記号	名称
	木レンガ ⁹⁰ ユニット工法
	木レンガ ⁹⁰ 及び1=200 ユニット工法
	木レンガ1=600 ユニット工法
	木レンガ1=200 特殊ユニット工法
	"
	木レンガ1=600 特殊ユニット工法
	自然石乱張り
	アスコン舗装
	擬石縁石
	擬石舗装止め

名称・種別	数量
・木レンガ ユニット工法	60.7㎡
・木レンガ 特殊ユニット工法	3.3㎡
・自然石乱張り	4.5㎡
・アスコン舗装	21.7㎡
・擬石縁石	51.5m
・擬石舗装止め	3.5m

図5 実施設計図

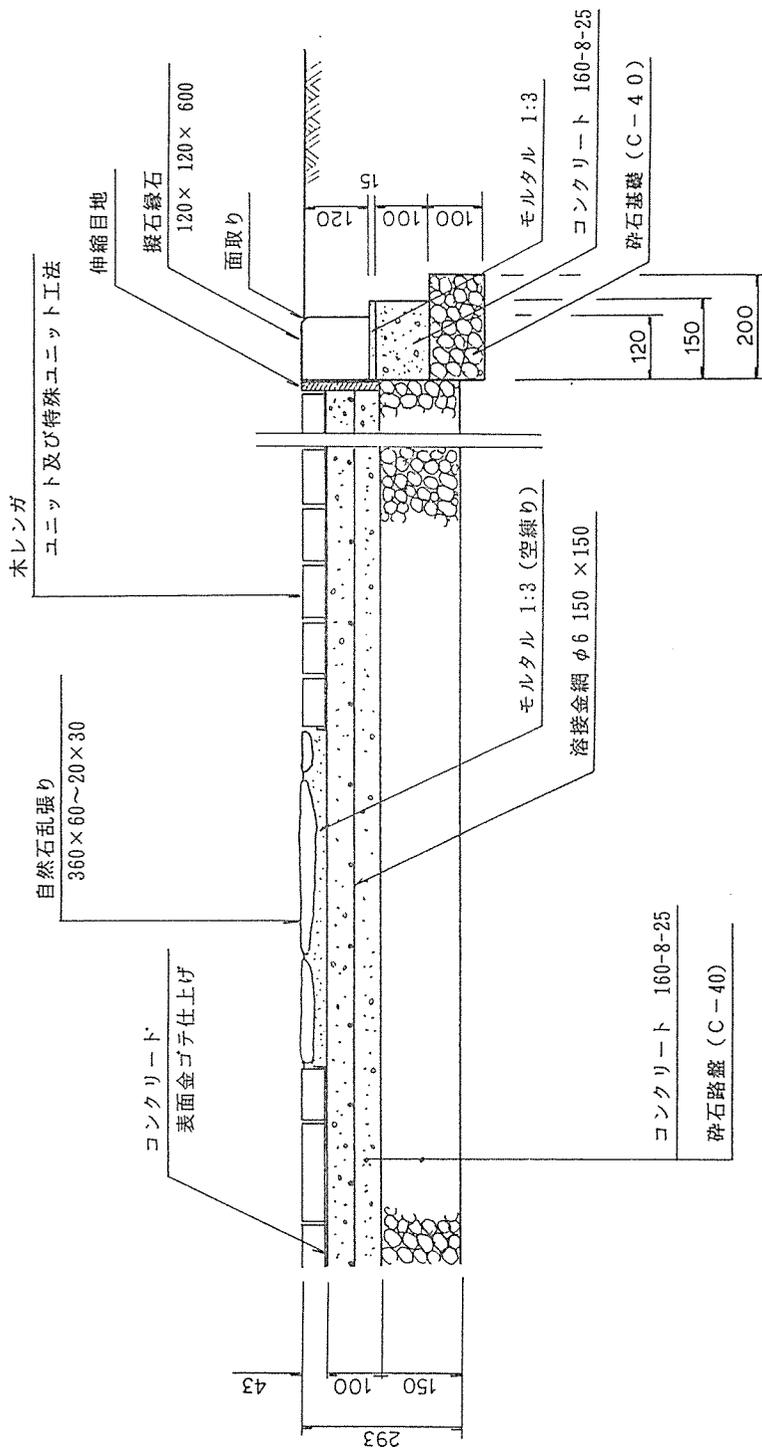


図6 実施設計図……標準断面図一1

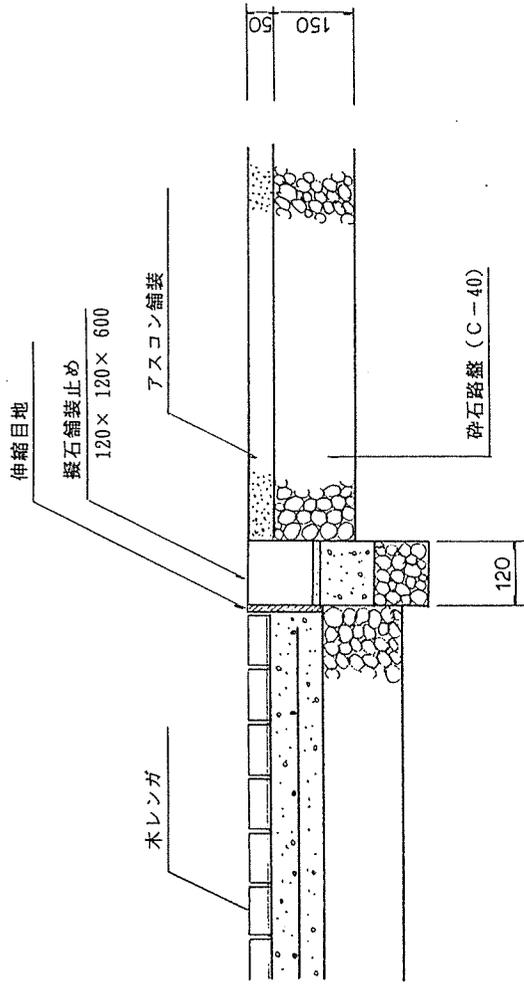


図7 実施設計図……標準断面図-2

6. 施 工

施工は、下記の2社の請負工事とし平成4年2月10日～平成4年3月27日に施工した。以下、工程の順にその概要を述べる。

基礎及び自然石舗装等工事 宝建設株式会社 (東京都渋谷区)
木レンガ舗装工事 株式会社サイエンス (東京都千代田区)

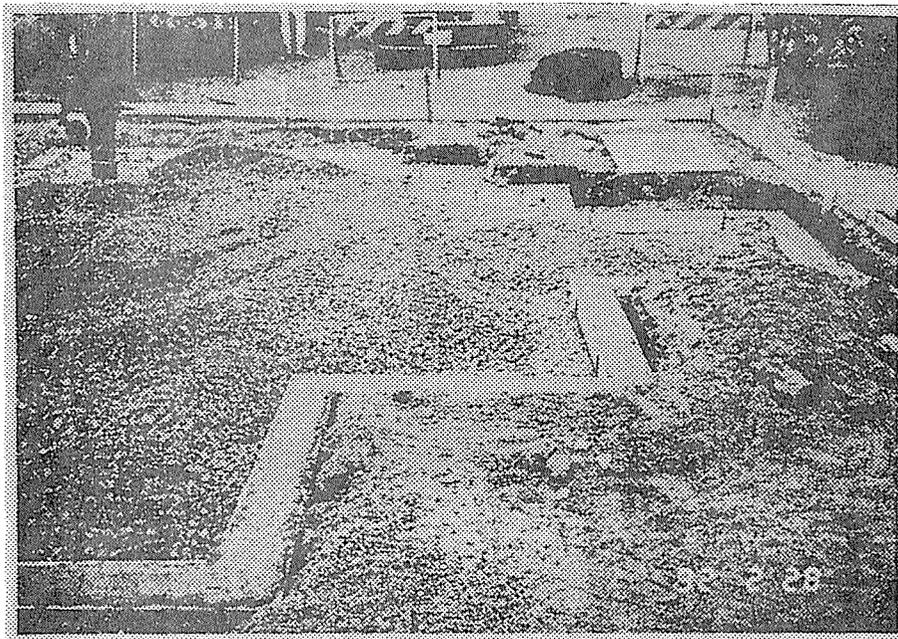
6. 1 基礎工事

(1) 既設舗装の撤去及び排土処理

- ・ 施工区域の周辺に丁張をかけ、これに従ってユンボショベルを使って既設木レンガ舗装を撤去し路床土を所定の高さに平滑に鋤き取った。
- ・ 発生した排土は、ウッドアイランド内の所定の場所に運搬し堆積したが、木レンガは、産業廃棄物として処理した。

(2) 縁石工

- ・ 基礎砕石(C-40)を敷き均し、ビプロランマーで締め固めた上にコンクリート基礎の型枠を設置し、コンクリート(160-8-25)を設計図書に従い打設した。
- ・ 縁石は、白ミカゲの擬石縁石(120×120×600)を使用し、モルタルをつかって所定の位置、高さに設置した。
- ・ 縁石の角は、縁石ブロックの端を斜めに切り取って、突き合わせるように設置した。



縁石基礎コンクリートおよび路盤工
施工状況

(3) 路床工

- ・ 路床は、所定の高さに整正し、ハンドガイドローラによりよく締め固めた。縁石際の締め固めは、ビプロプレートを使用した。

(4) 路盤工

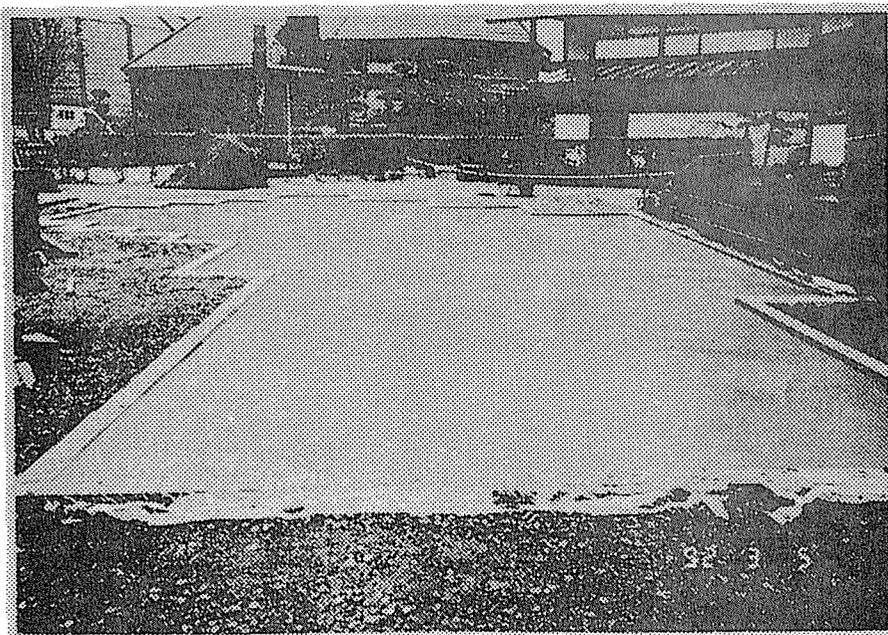
- ・ 切り込み砕石（C-30）を15cmの厚さに小型ブルドーザおよび人力により敷き均しハンドガイドローラによりよく締め固めた。縁石の際の締め固めは、ビプロプレートを使用した。

(5) 周辺の整正

- ・ 縁石の外側の土は、周囲とのバランスを取りながら整正した。

(6) コンクリート舗装工

- ・ コンクリートは、160-8-25を使用した。
- ・ コンクリートを4~5cmの厚さに人力で敷き均した上に、溶接金網（Φ6、150×150）を敷き広げ、その上にさらにコンクリートを総厚10cmになるように敷き均した。
- ・ バイブレーターによってコンクリートをよく締め固め、仕上げは金ゴテを使って平滑に仕上げた。仕上げ面は特に木レンガユニットの接着面となるため、入念に仕上げた。



コンクリート舗装
打設終了

6. 2 木レンガ舗装工

(1) 木レンガの製作

- ・ 木材は、国産のヒノキ材とし腐れのない通直材を使用した。

製材後、 $90 \times 90 \times 3000$ mmまたは、 $90 \times 40 \times 3000$ mmの2種類にプレーナーで仕上げたのち切断して下記の3種類の木レンガを作成した。製作枚数は、10%程度の余裕を見込み①4700枚②840枚③50枚とした。

① $90 \times 90 \times 40$ mm ± 0.5 mm ……木口面タイプ

② $90 \times 190 \times 40$ mm ± 1.0 mm ……板目面あるいは柃目面タイプ

③ $90 \times 590 \times 40$ mm ± 1.0 mm ……板目面あるいは柃目面タイプ

③の木レンガのうち、6枚には文字を彫り込み、油性のパテ（エポキシ樹脂製）を埋め込んだ。

(2) 防腐処理

- ・ 製作した木レンガを、金属性のメッシュパレットに入れ平均含水率30%付近まで乾燥した後、浮き止めを施しペンタキュアニューBMを加圧注入処理した。

(3) ユニット化

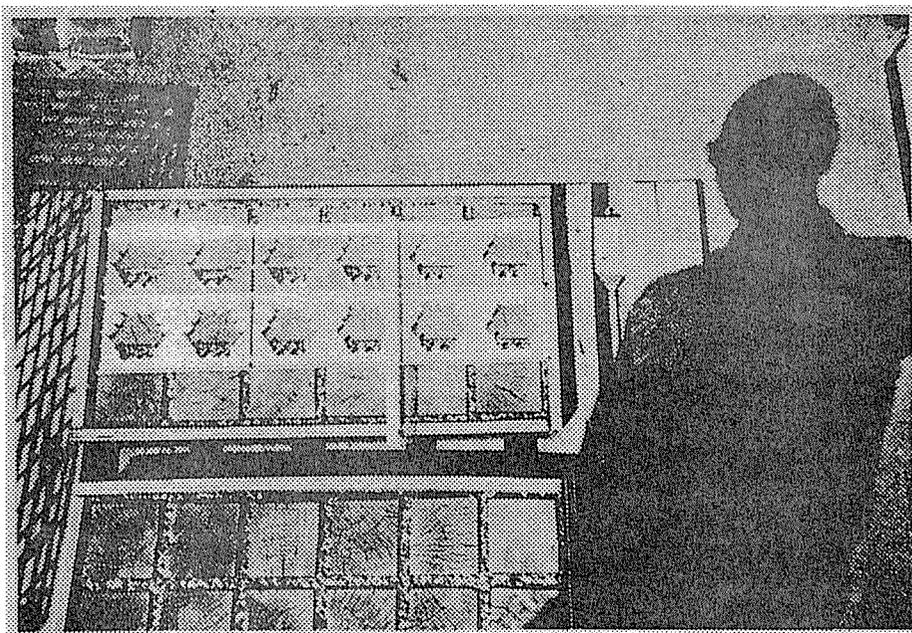
- ・ 木レンガは、すべて溶融亜鉛メッキ鋼板製の木レンガ用ユニット（Aタイプ、Bタイプ、の2種類）を用い、金具をプレス機械により圧縮し固定した。

使用したユニットの規格は次のとおり

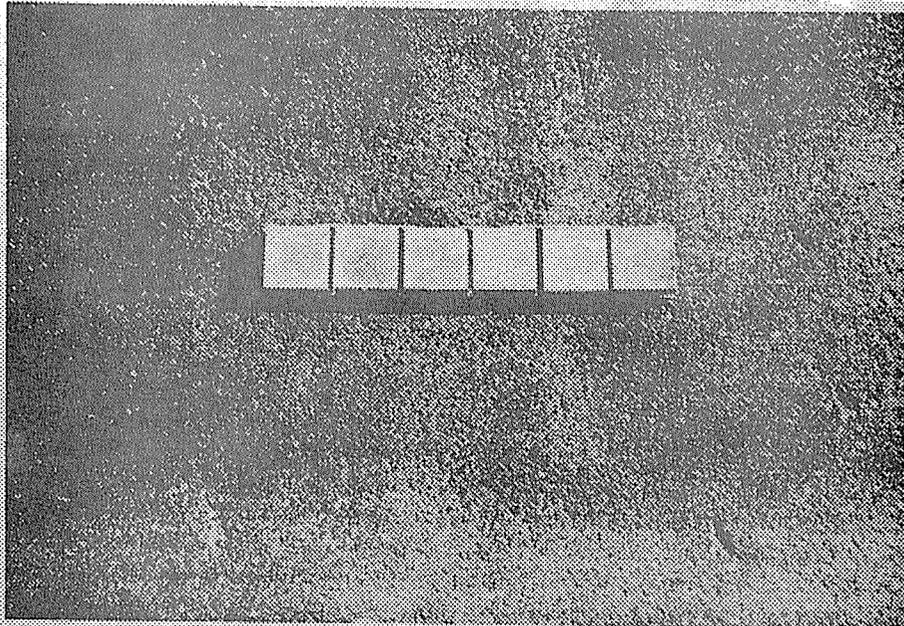
Aタイプ：内法 $100 \times 590 \times 19$ mm

Bタイプ：内法 $95 \times 590 \times 24$ mm

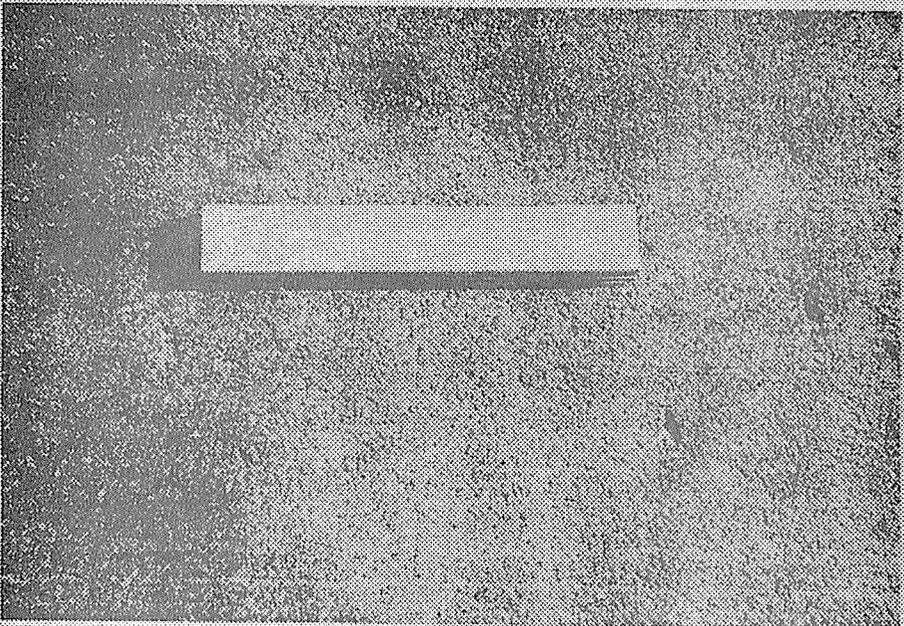
- ・ ユニットは、設計図に従い10種類を作成した。ユニットの切断は、電動カッターを用い目地部分で切断した。



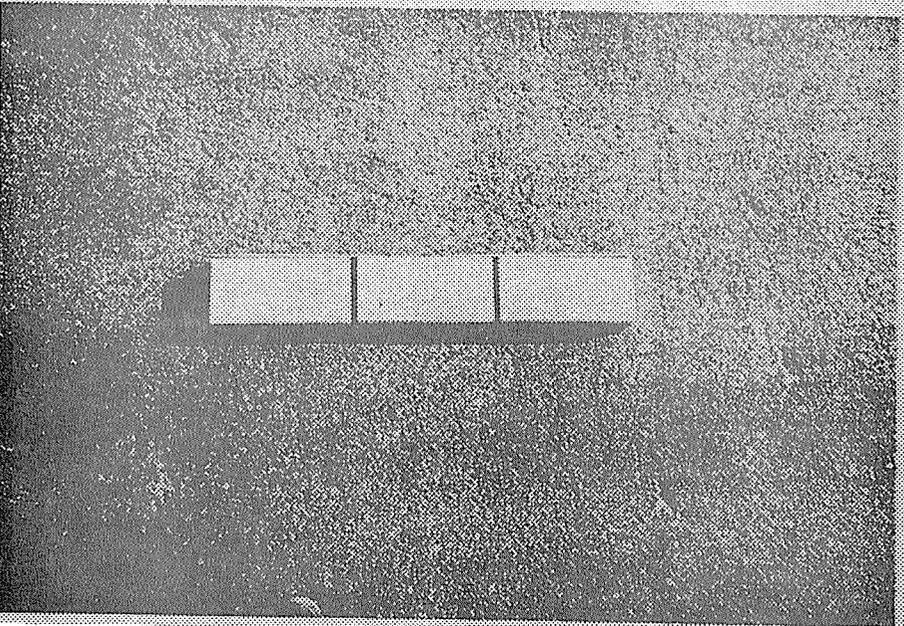
木レンガの金具2種類
上が巾狭の金具（内法95mm）
下が従来の金具（内法100mm）



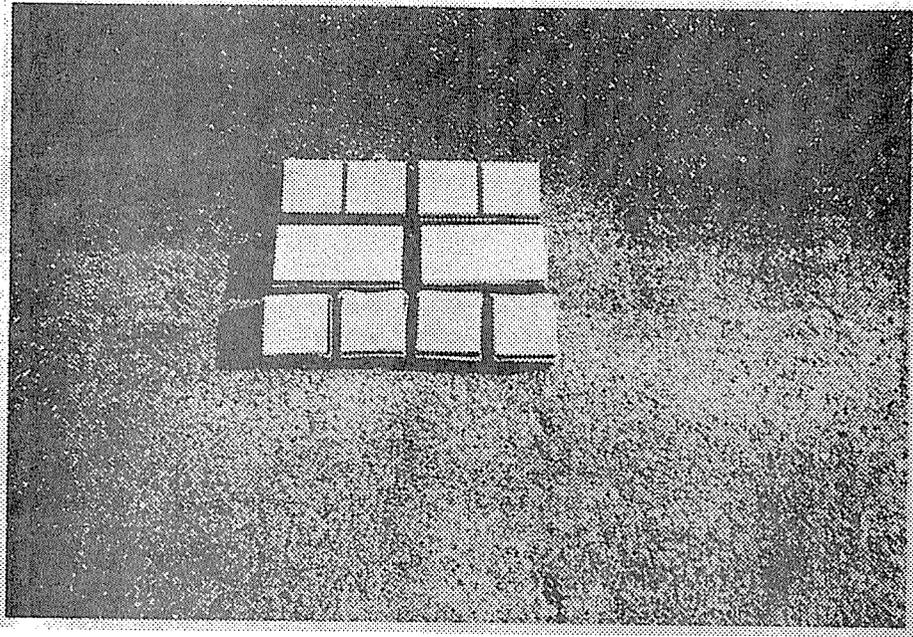
90×90×40mmの
木口状6枚ユニット



90×590×40mm
の板状ユニット。



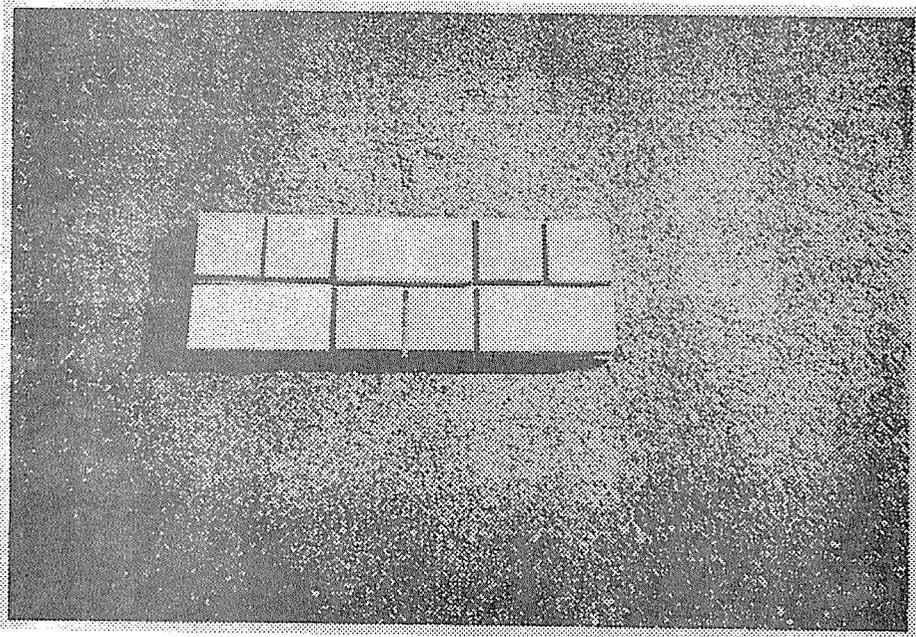
90×190×40mm
の板状3枚ユニット



90×90×40mmの
木口状2枚ユニット

90×190×40mm
の板上ユニット

90×90×40mmの
木口状1枚ユニット



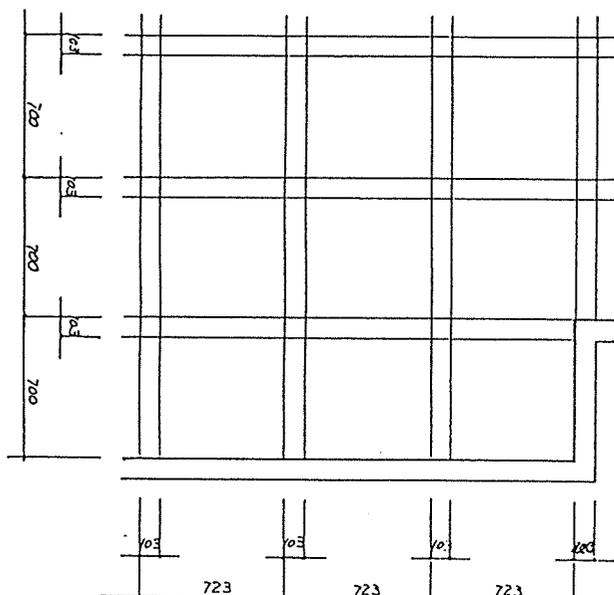
特殊ユニット

(4) 下地調整

- コンクリート下地の養生期間は、晴れの日で3～4日後、コンクリートが硬化し表面が乾いていることを確認した。
- 下地表面を確認し、表面や縁石の内周部の部分的な盛り上がりやバリはケレン棒または平タガネで削り取り下陸を調整した。
- 小石、砂、泥などを箒、デッキブラシで取り除き掃除機もしくは、プロアーで清掃した。
- 縁石の内側には、緩衝材として縁石用伸縮目地を貼付けた。

(5) 割り付け

- 木レンガの割り付けを容易にするため、下図に従いスミツボを用いて割付基準線を明瞭に引き、基準線内に木レンガユニットを割り付けた。

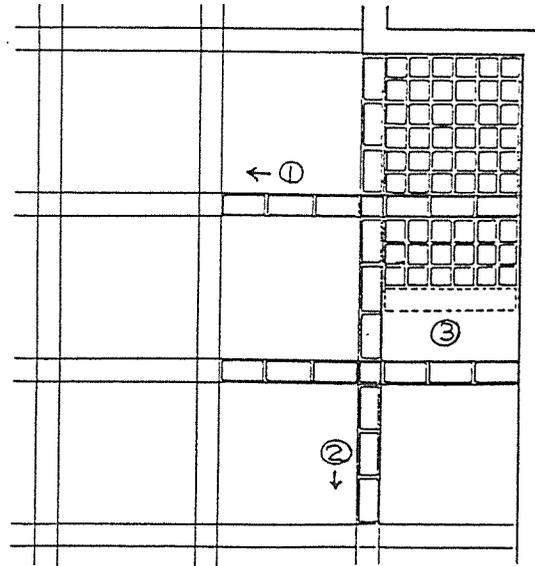


この基準線をガイドとして貼付けを行う事となる。

(6) ユニットの貼付け

- 割り付けが終了した後、下地にハイプライマーを㎡当り280gの割合で平滑に塗布した。
- ハイプライマーが、指先にベトつかない程度に乾燥したことを確認した後、その上にハイボンドを㎡当り320gの割合で平滑に塗布した。
ハイボンドの塗布は、1時間以上経過すると接着力が著しく低下するので、1時間以内に貼れる面積を目安に塗布した。

- ユニットの貼付けは、ハイボンドが乾いたことを確認し、下図の順序で設計図に示されたバリエーションに従い所定のユニットを貼り付けた。切断したユニット（NO1～3, 7, 9, 10）の切断面には伸縮目地を入れた。



(7) 目地材の敷き込み

- ユニットの貼り付けが完了した後、目地材（レミファルト）を㎡当たり 0.08 m^3 を標準にデッキブラシを用いて目地部分に丁寧に敷き込んだ。敷き込みにあたっては、木レンガの表面に付着しないよう注意した。

(8) 仕上げ

- 目地材の敷き込み後、木レンガ表面に撥水性着色剤（BCナチュラル）を㎡当たり 500 g の割合でスプレーを用いて散布した。

6. 3 その他の舗装工

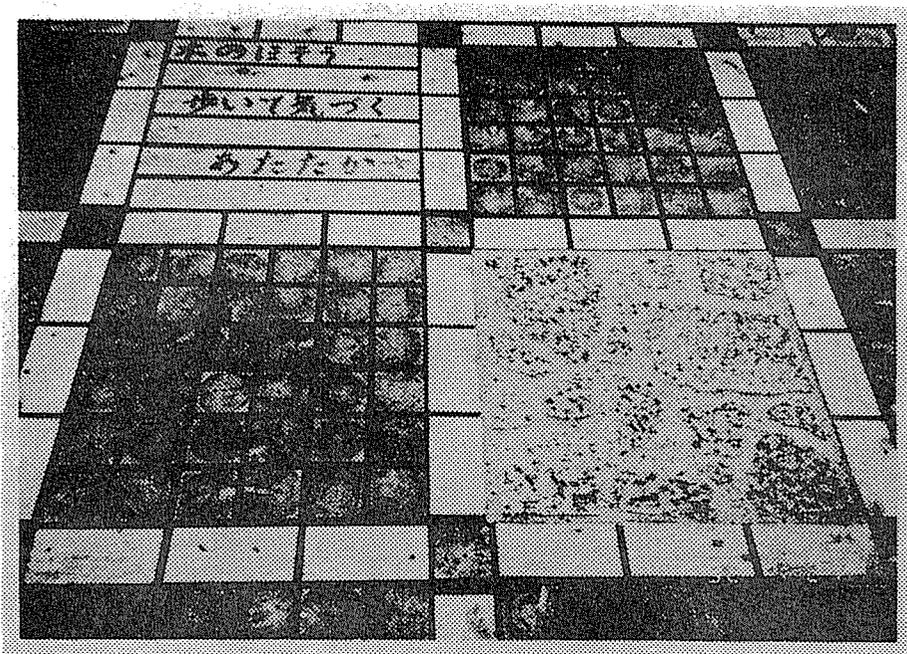
(1) アスファルト舗装工

- アスファルト舗装は、透水性舗装とし、開粒アスコンを敷き均して締め固め仕上げた。

(2) 自然石張り

- 自然石張りは、木レンガの舗装が終了した後、所定の位置にミカゲ石（ピンク系統）乱張り舗装を行った。

- 施工は、下地コンクリート舗装の上にモルタルを敷き均し、その上にミカゲ石を所定の高さにバランスよく設置した。



木レンガの中に舗
設された自然石乱
張り舗装

工 事 仕 様 書

1. 基礎工事

(1) 既設舗装の撤去及び排土処理

- 施工区域の周辺に丁張をかけ、これに従って既設木レンガ舗装および路床土を所定の高さに平滑に鋤き取ること。
- 発生した排土及び木レンガなどは所定の場所に運搬し堆積すること。

(2) 縁石工

- 基礎碎石（C-40）を敷き均し、締め固めた上にコンクリート基礎の型枠を設置し、コンクリート（160-8-25）を設計図書に従い打設すること。
- 縁石は、白ミカゲの擬石縁石（120×120×600）を使用し、モルタルをつかって所定の位置、高さに設置すること。
- 縁石の角は、縁石ブロックの端を斜めに切り取って、突き合わせるように設置すること。

(3) 路床工

- 路床は所定の高さに整正し、よく締め固めること。

(4) 路盤工

- 切り込み碎石（C-30）を15cmの厚さに敷き均し、よく締め固めること。

(5) 周辺の整正

- 縁石の外側の土は、周囲とのバランスを取りながら整正すること。

(6) コンクリート舗装工

- コンクリートは、160-8-25を使用すること。
- コンクリートを4～5cmの厚さに敷き均した上に、溶接金網（Φ6、150×150）を敷き広げ、その上にさらにコンクリートを総厚10cmになるように敷き均らすこと。
- コンクリートはよく締め固め、仕上げは金ゴテを使って平滑に仕上げること。
- 養生期間は、晴れの日で3～4日以上とし、コンクリートが硬化し表面が乾いていることを確認すること。

2. 木レンガ舗装工

(1) 木レンガの製作

- ・ 使用する木材は、国産ヒノキ材とし腐れのない通直材とする。
- ・ 仕上り寸法は、 $90 \times 90 \times 3000$ mmまたは、 $90 \times 40 \times 3000$ mmの2種類とし、歩増し寸法を付して製材したのちプレーナーをかけ仕上げること。
- ・ 木レンガの寸法は、下記の3種類としそれぞれ製材品を切断して作製する。
 - ① $90 \times 90 \times 40$ mm ± 0.5 mm …… 木口面タイプ
 - ② $90 \times 190 \times 40$ mm ± 1.0 mm …… 板目面あるいは柃目面タイプ
 - ③ $90 \times 590 \times 40$ mm ± 1.0 mm …… 板目面あるいは柃目面タイプ

(2) 防腐処理

- ・ 製作された木レンガは、金属性メッシュパレットに入れ平均含水率30%付近まで乾燥した後、浮き止めを施しペンタキュアニューBMを加圧注入処理すること。

(3) ユニット化

- ・ 木レンガは、すべて溶融亜鉛メッキ鋼板製の木レンガ用ユニット（Aタイプ、Bタイプ、の2種類）を用い、金具をプレス機械により圧縮し固定すること。使用するユニットの規格は次のとおり
 - Aタイプ：内法 $100 \times 590 \times 19$ mm
 - Bタイプ：内法 $95 \times 590 \times 24$ mm
- ・ 作製するユニットは、設計図に従い10種類とする。
- ・ ユニットの切断する場合は、電動カッターを用い目地部分で切断すること。

(4) 下地調整

- ・ 下地表面を確認し下地表面や縁石の内周部の部分的な盛り上がりやバリは、ケレン棒または平タガネで削り取り不陸を調整すること。
- ・ 小石、砂、泥などを箒、デッキブラシで取り除き掃除機もしくは、プロアードで清掃すること。
- ・ 縁石の内側には、緩衝材として縁石用伸縮目地を貼付けること。
- ・ 木レンガの割り付けを容易にするため、設計図に従いスミツボを用いて割付基準線を明瞭に引き、基準線内に木レンガユニットを割り付けること。
- ・ 割り付けが終了した後、下地にハイプライマーを m^2 当たり280gの割合で平滑に塗布すること。
- ・ ハイプライマーが、指先にべとつかない程度に乾燥したことを確認した後、そ

の上にハイボンドを㎡当り320gの割合で平滑に塗布すること。

- ハイプライマー、ハイボンドの乾燥に要する時間は天気、気温等により差はあるが、通常10分程度が目安となる。また、ハイボンドは、塗布してから1時間以上経過すると接着力が著しく低下するので、1時間以内に貼れる面積を目安に塗布すること。

(5) ユニットの貼付け

- ユニットの貼付けは、ハイボンドが乾いたことを確認のうえ着手すること。
- 貼付けは、下図の順序で、設計図に示されたバリエーションに従い所定のユニットを貼り付けること。
- 切断したユニット（NO1～3, 7, 9, 10）の切断面には伸縮目地を入れること。

(6) 目地材の敷き込み

- ユニットの貼り付けが完了した後、目地材（レミファルト）を㎡当たり0.08m³を標準にデッキブラシを用いて目地部分に丁寧に敷き込むこと。
- 敷き込みにあたっては、木レンガの表面に付着しないよう注意すること。

(7) 仕上げ

- 目地材の敷き込み後、木レンガ表面に撥水性着色剤（BCナチュラル）を㎡当たり500gの割合いでスプレーを用いて散布すること。

3. その他の舗装工

(1) アスファルト舗装工

- アスファルト舗装は、透水性舗装とし、開粒アスコンを敷き均して締め固め仕上げること。

(2) 自然石張り

- 自然石張りは、木レンガの舗設が終了した後、所定の位置にミカゲ石（ピンク系統）乱張り舗装とすること。
- 施工は、下地コンクリート舗装の上にモルタルを敷き、その上にミカゲ石を所定の高さにバランスよく設置すること。

第2章 試作遊具の利用状況と部材の劣化

昨年度、試作・展示された遊具はその後1年間にわたって小学生によって使用されてきた。この間、継続的に利用実態及び劣化実態調査を行うとともに児童へのアンケート調査を行ったのでその結果をここにまとめる。

1. 試作遊具の利用状況の調査

1. 1 調査方法

試作遊具の利用頻度を知るために、下記の4日間全日にわたって調査した。

表1 調査日

1回目	平成3年5月2日(木)	春季の平日
2回目	〃 8月25日(日)	夏季休業中
3回目	〃 11月2日(土)	秋季の土曜日
4回目	平成4年1月16日(木)	冬季の平日

この他、日曜日についても数回にわたって調査した。使用頻度の調査方法は、所定の時刻に遊具上の各プレイユニットにいる児童数を調査員がカウントすることによって行った。また、必要に応じ写真撮影を行った。

遊具上での行動調査については、目立たない場所に設置したビデオカメラによって児童の動きを撮影し、行動軌跡等の分析を行った。

1. 2 利用状況の調査結果

季節毎の利用状況調査結果を表2～5に示す。季節により利用者数には大きな差が認められる。春季の5月2日は延べ300人近くが利用し、夏休み明け前の8月25日は延べ26人に過ぎない。秋季と冬季は延べ100人程度となっている。冬季の利用頻度が秋季に比較して低下しないことは注目される。比較的温暖な横浜市内という立地条件が冬季の外遊びを容易にしていることは当然考えられるが、遊具素材が熱伝導率の低い木材であることも関与している可能性がある。ちなみに同じ校庭内にある鉄製のジャングルジムは冬季にはまったく利用されない。

日曜日の利用状況については、設置校が校庭を休日開放している関係で常時少年サッカーチームの練習が行われているので、休憩中の子供たちや父母についてきた幼児たちが遊具

を利用している。最大時で15人程度、一日で延べ70～80人の子供たちに利用されている。サッカーチームの子供たちはスパイク靴を履いて遊具上を激しく走り回るので部材表面の損耗が激しい。

一日の中の利用時間帯については、10:20～10:40分の中休みに集中的に利用され、次いで昼休み、登下校時となっている。夕刻の利用者は下校後に再登校して遊ぶ児童が主である。

利用者の男女比を見ると常に男子の利用が多く、全体を通してみると女子の3倍に達している。フィールド・アスレチック風のこの遊具は女子よりも男子にとって魅力的なものになっていることは明白である。小学校では男女の性差なく総合的な運動能力の向上が求められているので、今後の課題として女兒にとって魅力的な遊具のデザイン開発が必要であろう。

プレイユニットの利用頻度については、当初の予想通りロープウェイが高い人気を保っており、昼休みには常に順番待ちの行列ができています。ロープウェイのダイナミックな動きには冒険心がかきたてられるのであろう。上下揺らし、左右揺らし、ねじり揺らし、逆さづり、2人乗り・3人乗り・4人乗り、2対のロープを結んでブランコ乗りなど種々の遊びパターンが工夫されている。滑り台、クライミング、ステップは同程度に利用され、これらのプレイユニットでは『天国と地獄』、『ブランコ・ジャッキ・人間ロープウェイ遊び』、『じゃんけん遊び』等の創作遊びやゲームがしばしば行われている。吊り橋や丸太渡りも利用されるが、横揺らし、前後揺らししかできないため児童の創意工夫の余地が少ないようである。この他、ネットはほとんど利用されない。これは目立たない位置にあることとサイズが小さく変化に欠けるためであろう。

遊具上での行動軌跡の一例を図1に示す。これは下校時に8人組で立ち寄った3年生男児1名の行動をトレースしたものである。主としてロープウェイで遊んでいるがスタートの仕方には多様性が認められる。また、他のプレイユニットでも創造性の高い遊びが観察される。とくにクライミングロープは自由度が高く児童の想像性を刺激するようである。滑り台を下りたこの児童はその後柱をよじ登ってデッキに上がっている。なお、この事例ではステップとネットが利用されていない。他の事例も総合すると、ネットが遊びの流れから取り残されていることが明白となった。ネットの配置には再考が必要であろう。

表2 春期の利用状況(平日)

1991年5月2日(木)

時刻	合計人数		各部の人数										備考	
	男子	女子	ロー ウェイ	振り 台	クライ ミング	吊り 橋	丸太 投げ	スツ ップ	ネット	テッキ	壁 くくり	階段		
8:02	0	0												開門
8:10	5	1	6											
8:20	9	1	6	2	2									
8:30	5	3	8											
10:20	18	3	8	2	2	2	3	2					授業開始チャイム 20分休み開始	
10:30	55	6	15	8	4	9	5	8	3	6	1	2		
10:40	35	9	14	10	3	1	3	4		7		2	20分休み終了 低学年下校開始	
13:30	16	9	12	3	3	3	1	1				2		
13:40	26	4	10	7	8	1		4						
13:50	1	0	1											
14:50	6	0	4				2						全学年授業終了	
15:00	11	1	12											
15:10	13	0	8		2	1	2							
15:20	5	0	4		1	2								
15:30	3	3	4		2									
15:40	7	4	7					3				1		
15:50	5	6	6		5									
16:00	2	3	3	2										
16:10	4	2	5			1								
16:20	4	2	2		2					2				
16:30	0	2	2											
延人数	230	59	137	34	34	18	16	22	5	13	3	7		

表3 夏期休業中の利用状況

1991年8月25日(日)

時刻	合計人数		各部の人数										備考	
	男子	女子	ロー ウェイ	振り 台	クライ ミング	吊り 橋	丸太 投げ	スツ ップ	ネット	テッキ	壁 くくり	階段		
9:30	0	0												プールの帰路
10:00	0	0												
10:30	0	0												
11:00	0	2	2											
11:30	1	0	1											
12:00	2	1			1		2							
12:30	0	0												
13:00	0	0												
13:30	0	0												
14:00	1	0		1										
14:30	10	0	8		2									
15:00	2	0	1				1							
15:30	0	0												
16:00	0	0												
16:30	1	0	1											
17:00	0	0												
17:30	1	0		1										
18:00	5	0	2	3										
延人数	23	3	15	5	3		3							

表4 秋期の利用状況（土曜）

1991年11月2日（土）

時刻	合計人数		各部の人数										備考
	男子	女子	ロー ウェイ	枺 台	クライ ミング	吊 橋	丸太 枺り	ステップ	ネット	デッキ	壁 くぐり	階段	
8:00	2	0	2										開門 朝自習 授業開始チャイム 20分休み開始 20分休み終了 放課後
8:10	3	0	3										
8:20	0	4	4										
8:30	2	0	2										
10:20	0	0											
10:30	9	12	11		5	2		2	1				
10:40	11	1	7			3		2					
11:50	4	0	4										
12:00	2	0						2					
12:30	2	0			1			1					
13:00	0	0											
13:30	0	0											
14:00	0	1					1						
14:30	5	5	5	5									
15:00	8	0	6			2							
15:30	0	5	5										
16:00	3	3	4	2									
16:30	2	2	2					2					
17:00	3	3	3		3								
延人数	56	36	58	7	9	7	3	7	1				

表5 冬期の利用状況（平日）

1992年1月16日（木）

時刻	合計人数		各部の人数										備考
	男子	女子	ロー ウェイ	枺 台	クライ ミング	吊 橋	丸太 枺り	ステップ	ネット	デッキ	壁 くぐり	階段	
8:03	0	0											開門 朝自習 授業開始チャイム 20分休み開始 20分休み終了 昼休み開始 昼休み終了 放課後
8:10	0	0											
8:20	5	0	5										
8:25	8	0	8										
8:30	0	0											
10:20	1	0						1					
10:30	9	10	7	5	1	2		4					
10:40	17	10	13	1	4	2		6	1				
10:45	16	1	6		5	6							
10:50	0	0											
13:10	5	2						7					
13:30	2	2				2		2					
13:40	7	3	5	3		1			1				
13:45	0	0											
14:40	0	5	4	1									
15:00	4	0	2					2					
15:20	4	0	4										
15:40	3	0	3										
16:00	0	0											
16:30	3	0		3									
延人数	84	33	57	13	10	13		22	2				

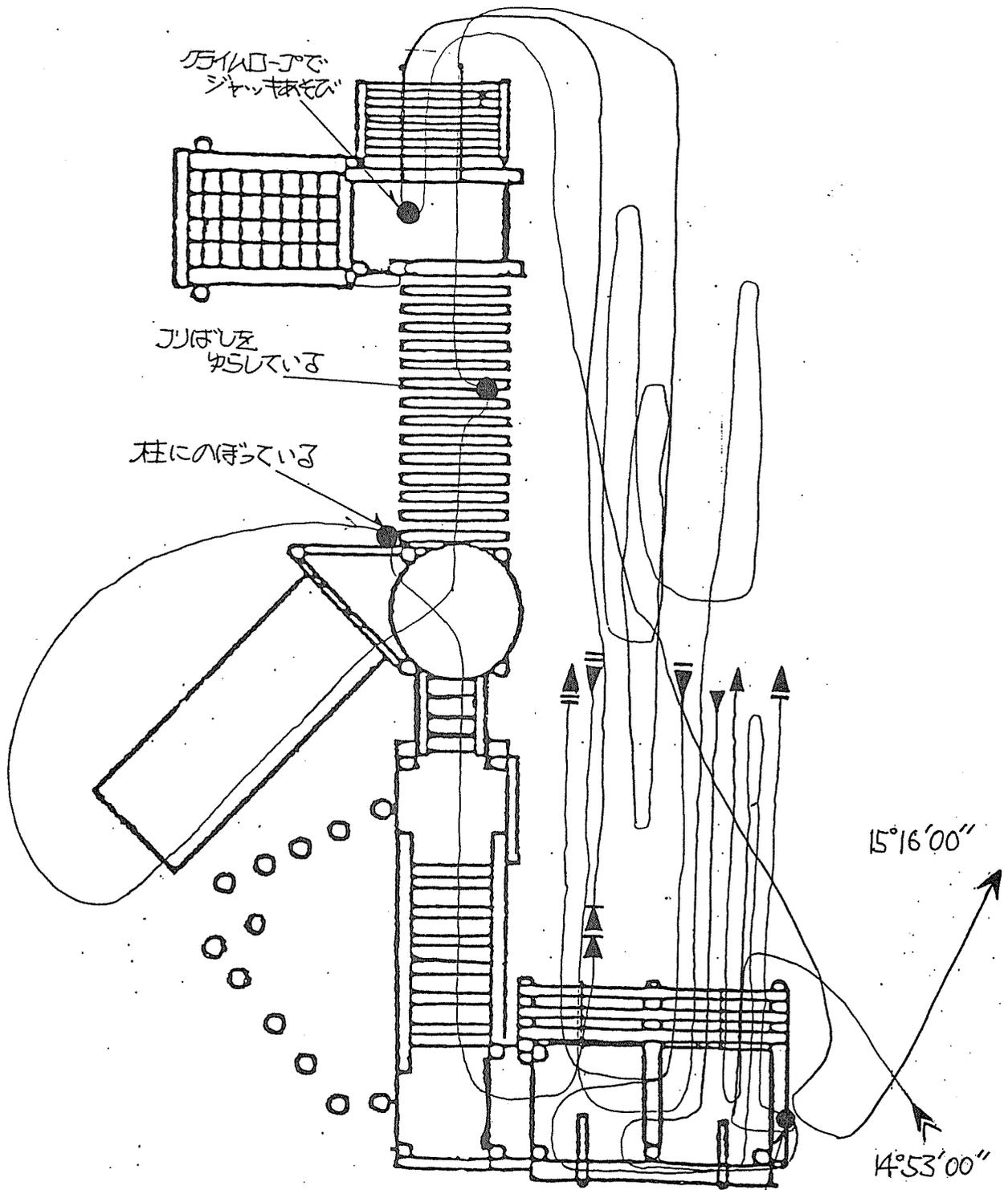


図1 **遊具上挙動調査**
 *実地調査期日
 *対象者 小学校中学年男子
 8人組のうちの1人
 *使用時間 下校時 約23分間
 *主な遊び ターザンロープ6回

2. 児童に対するアンケート調査

2.1 調査方法

児童が試作遊具で普段どのように遊び、どのような危険を感じ、この種の遊具に対してどのような要望を持っているかを知るためにアンケート調査を行なうことにした。各学年2クラス、計12クラス380名の児童を対象に①利用頻度、②危険と感じた事例、③具体的な遊び方、④遊具に対する要望、⑤校庭にある他の運動具との比較、⑥鉄製遊具との材質比較の6項目について質問した。アンケートの実施時期は平成3年11月10日～15日である。児童に手渡したアンケート用紙を表6に示す。

2.2 アンケート調査結果

児童に対するアンケート調査結果を図2に示す。まず利用頻度については全体的に見ると65%の児童が週に1回以上利用している。学年別に見ると1～4年生までは利用頻度が高いが、高学年の5～6年生は50%程度に低下している。

遊ぶ時間帯は低学年では中休みが多く、高学年になるにつれ放課後が多くなっている。一回に遊ぶ時間は低学年ほど長く、高学年ほど短くなっている。全体としては10分程度が50%、30分程度が30%となっている。

『何人で遊ぶか』という質問に対しては学年が上がるにつれ多人数になると答えているが、全体的には2、3人で遊ぶことが多い。

『遊んでいる時に危険を感じたことがあるか』という質問に対しては40%以上の児童が『ある』と答えている。その報告例を見ると不注意や悪戯によるものが多いが、中にはクライムロープによる首吊り遊びが2件含まれている。これはロープを首に巻いてデツキから飛び降りる遊びで、低学年の女子が1名首に擦り傷を負って保健室に運ばれている。この遊びは極めて危険で重大な事故を招く怖れがあるので、全児童に対して教師から厳重な注意を促すとともに、ロープの太さをφ30mmのやや曲がりにくいものに交換した。その後このような危険遊びは報告されていない。

この遊具での具体的な遊びについてはターザンロープでの競争がぬきんでて高い値を示している。ロープを平行に2連取り付けた価値がここに現れている。この他、幅広の滑り台を利用した「天国と地獄」や遊具全体を利用した「鬼ごっこ」など種々のゲームがこの遊具を舞台に繰り広げられており、小学校の校庭遊器具として価値ある存在となっている。

この遊具に対する要望としては、もっと大規模にして欲しいという要望と、もっと数多くのプレイユニットを取り付けて欲しいという要望とがある。ブランコについては危険度が高いため、当初から設置予定に無かった。しかし、要望が強いことを考慮するならば今後の施設設計に当たってはタイヤブランコ等、安全性の高いものを取り付けるべきかも知れない。

この小学校の校庭には試作遊具の他、登り棒、うんてい、ジャングルジム、鉄棒などの遊器具が設置されているので、相互間の楽しさの比較をアンケートしたところ60%の児童は試作遊具が楽しいと答え、その理由として多くの種類のプレイユニットがあつて様々な遊びができる点を挙げている。単体遊器具の中では鉄棒は比較的高い人気があり、その理由として様々な技で楽しめることを挙げている。今後の学校用の複合型遊器具の中には鉄棒をうまく取り込むことも考慮すべきであろう。

金属と木材のどちらが遊びやすいかという質問に対しては、75%の児童が木材を挙げ、その理由として「当たっても痛くない」、「手触りが良い」、「滑りにくい」などと答えている。一方、20%の児童は鉄製の遊具の方が遊びやすいと答え、その理由として「ささくれなどで怪我をしない」、「丈夫である・腐らない」、「細くてつかみやすい」ことを挙げている。児童は干割れやささくれによる手指の怪我の危険を相当に認識しているようである。これらの答えを見ると、児童は遊具で遊ぶ中で材料に対する鋭い観察眼を既に身に付けているといえよう。

表6 児童へのアンケート用紙

アンケートのおねがい

北小にアスレチックができて、もう9ヶ月がたちました。このアスレチックのよいところやわるいところについて教えてください。

(あてはまるものに○をつけてください)



◎一週間に何日くらいアスレチックであそんでいますか？

- ① ほとんど毎日 ② 3～4日 ③ 1～2日 ④ あそばない

◎アスレチックで、いつあそぶことが多いですか？

- ① あさ ② 中休み ③ 昼休み ④ ほうかご ⑤ 日曜日など

◎ほうかごや日曜日にアスレチックであそぶとき、1回に何分くらいあそぶことが多いですか？

- ① 10分くらい ② 30分くらい ③ 1時間くらい

◎アスレチックで、友だち何人くらいとあそぶことが多いですか？

- ① 6人以上 ② 4～5人 ③ 2～3人 ④ 1人

◎アスレチックであそんでいるとき、『あっ、あぶない！』と思ったことはありましたか？

- ① 何回もあった ② 1～2回あった ③ 一回もなかった

—— 『あぶない！』と思ったときのことを、絵や文で書いてください。

◎アスレチックでは、どんなあそびをしますか？ 絵や文で書いてください。

◎アスレチックであそんでみて、もつとこうしたらいいな、こんなものがあったらいいなとおもったことを、絵や文で書いてください。

◎校庭にあるつぎのもののなかで、どれであそぶのがいちばんたのしいですか？

- ① のぼりぼう ② てつぼう ③ うんてい ④ ジャンブルジム ⑤ アスレチック

—— それはどうしてですか？ わけを書いてください。

◎アスレチックは、木でできています。ジャンブルジムやうんていは、鉄でできています。使ってみて、木のものや鉄のものと、どちらがあそびやすいですか？

- ① 木のもの ② 鉄のもの

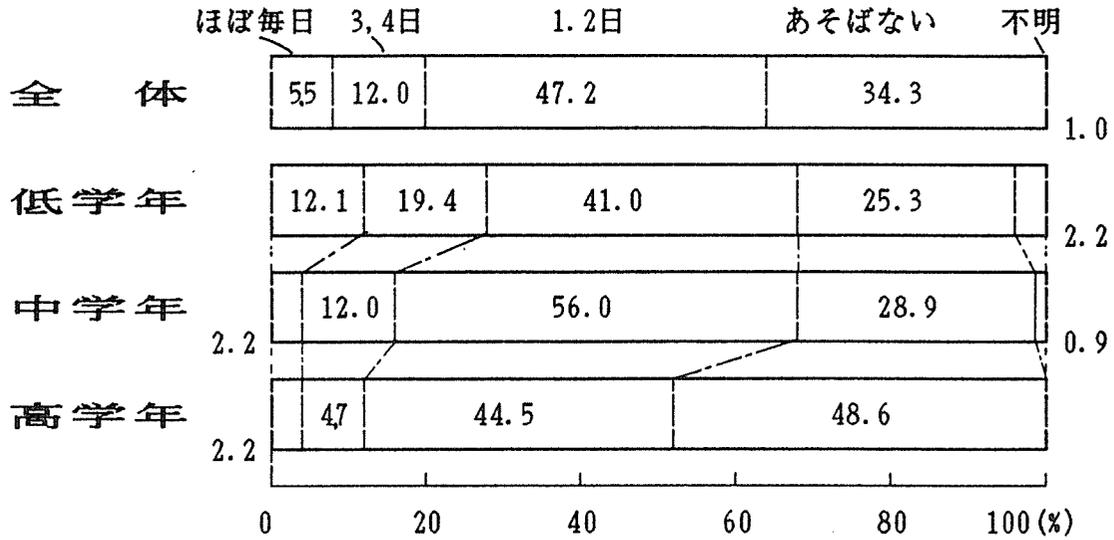
—— それはどうしてですか？ わけを書いてください。

図2 アンケート調査結果

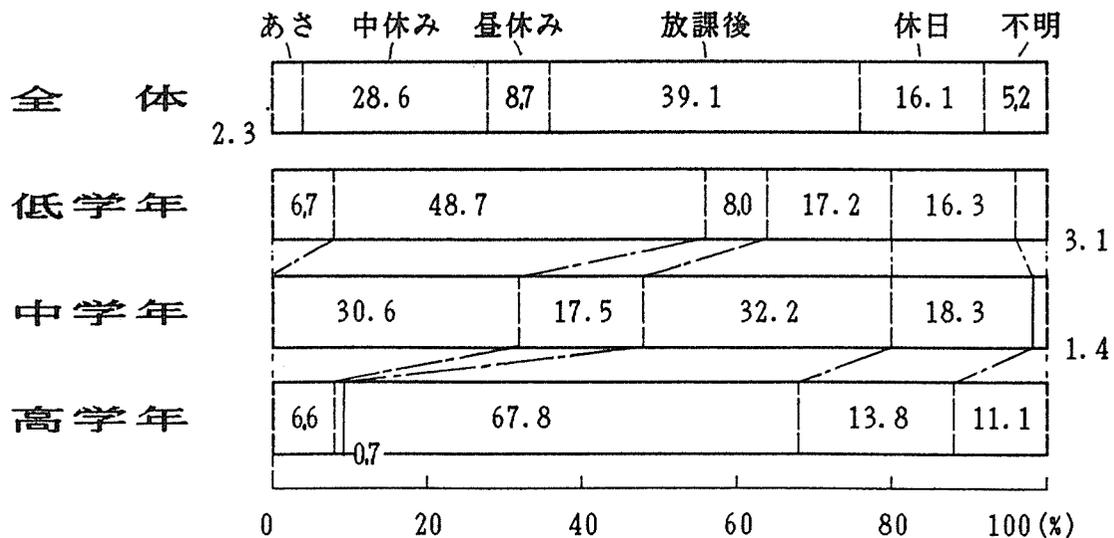
*若葉台北小学校各学年2クラス計12クラス、380名を対象としたもの

- 低学年 132名(1, 2年生)
- 中学年 126名(3, 4年生)
- 高学年 122名(5, 6年生)

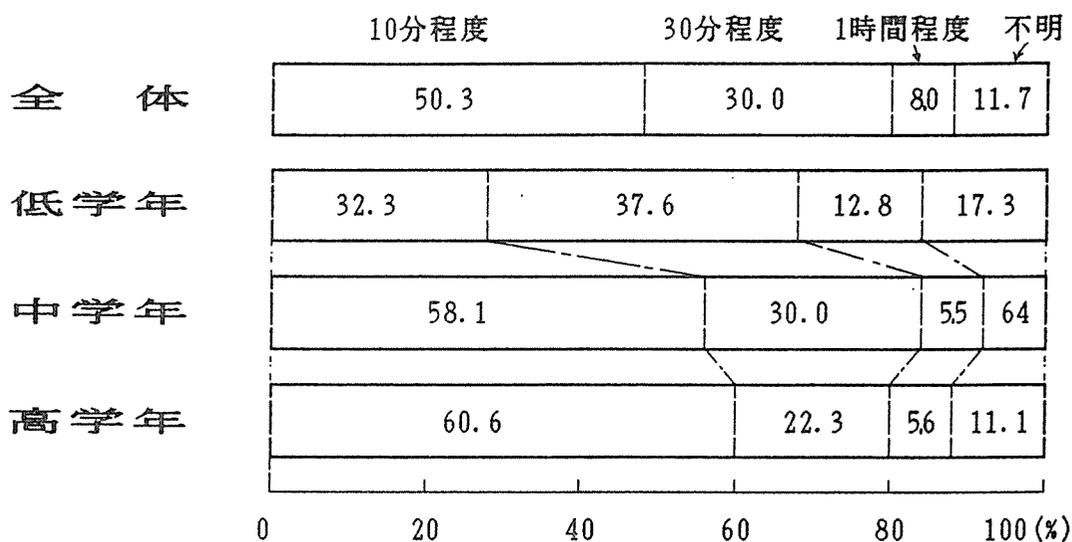
質問A 「一週間にどれくらいアスレチックで遊ぶか」



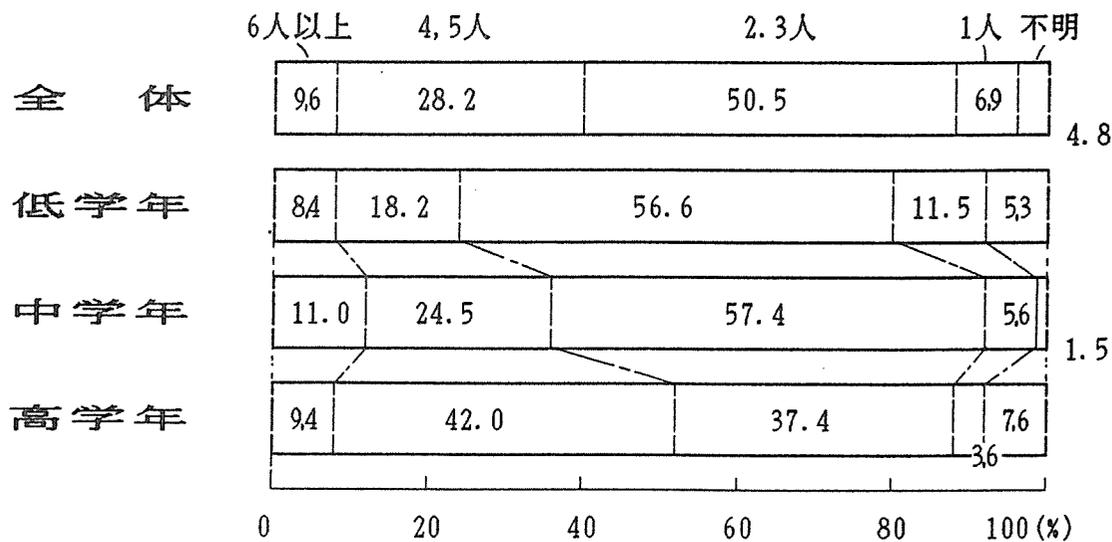
質問B 「アスレチックでいつ遊ぶのが多いか」



質問C 「アスレチックで何分程度遊んでいるか」



質問D 「アスレチックで何人程度の友達と遊ぶのが多いか」



質問E 「アスレチックで遊んでいるとき危険を感じたか」

	何回も	1,2回	1回もない	不明
全体	7.5	34.0	56.2	

2.3

危険と感じたときの理由

	報告例	件数
全学年	ターザンロープ滑走中に人が横切った	50
	ターザンロープのナワが当たった	16
	ターザンロープに大勢で乗った	12
	不注意で落下した	11
	クライムロープをつなげブランコをしていた	4
	クライムロープを首に巻き付けていた	2
	ロープで登っているとき後からひっぱられた	1
	塔に登ろうとしている人がいた	1
	吊り橋の下のネットに入り込んでいた	1
	ターザンロープの滑車の部分にさわっていた	1
	横棒で平均台あそびをしていた	1
	誰かに突き落とされそうになった	1
	合計	101

(複数回答)

質問E 「アスレチックでどのような遊びをするか」

全学年	報告例	件数
	ターザンロープで競争	249
	すべり台で天国と地獄*	94
	鬼ごっこ	51
	丸太ステップでジャンケン遊び	25
	つりばしゆらし	18
	クライムロープでジャッキ・ブランコ遊び	12
	障害物リレー	6
	たかおに***	4
	こおりおに**	4
	丸太わたり	1
	ポコペン****	1
	不明	4
	特になし	10
	未回答	19
	合計	498

(複数回答)

- *) すべり台の上下に子供がわかれ、互いに引っ張りあう遊び
- **) 鬼ごっこの一種(鬼に捕まると動けなくなる)
- ***) 鬼ごっこの一種(鬼よりも高い所にいなければならない)
- ****) カンケリのこと

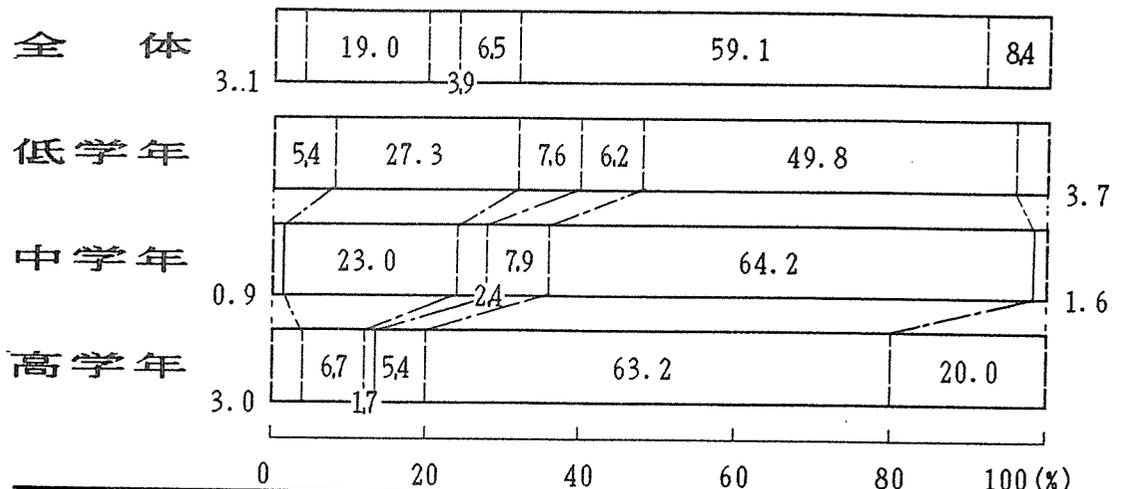
質問G アスレチックへの要望

全学年	報告例	件数
	ブランコがほしい	64
	ターザンロープをもっと長く・多く	45
	施設自体をもっと高く・大きく	29
	すべり台をもっと長く・広く	28
	トランポリンがほしい	23
	タイヤブランコがほしい	19
	ログハウスがほしい	14
	エンピツあたりがほしい	13
	地下室がほしい	11
	屋根をつけてほしい	8
	らせんすべり台がほしい	6
	つり輪がほしい	6
	自然を取り入れてほしい	5
	トンネルがほしい	4
	迷路がほしい	3
	ロープを太くしてほしい	3
	ローラーすべり台がほしい	2
	もっとすべらないようにしてほしい	2
	校庭一周アスレチックがほしい	1
	特になし	65
	未回答	33
	合計	384

(複数回答)

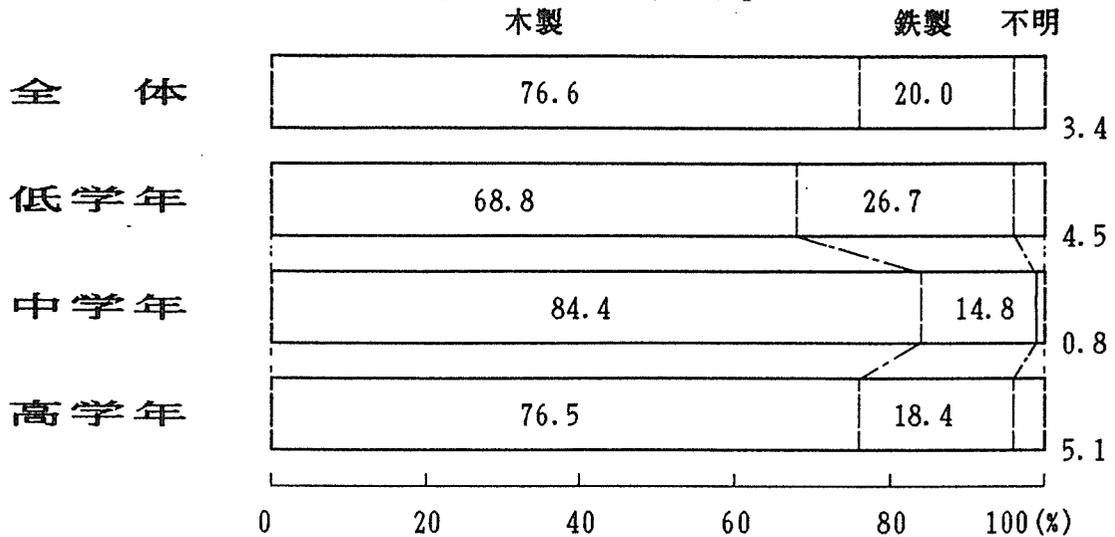
質問H 「校庭にある遊具の中で何が楽しいか」

ホリボウ テツボウ ウンテイ ジャンゲルジム アスレチック 不明



	報告例	件数
(理由)	多くの種類の遊具があるから	100
	たのしい・おもしろいから	40
	さまざまな遊びができるから	36
	他のものは決まった遊びしかできないから	5
	安全にあそべるから	1

質問Ⅰ 「木製と鉄製ではどちらが遊びやすいか」



全学年（理由）

	報告例	件数
木製	あたっても痛くない・けがをしにくい	99
	手ざわりがよい	71
	すべりにくい	43
	見た目、あたたかみがある	18
	つかみやすい	5
	手がよごれにくい	2
	小計	238
	鉄製	ささくれなどで手がけがをしにくい
丈夫である		15
くさらない		6
ほそくてつかみやすい		5
小計		43
合計		281

(複数回答)

3. 試作遊具の劣化

3. 1 調査方法

部材の摩耗、干割れ及び腐朽について、平成3年5月2日、7月17日、11月2日、平成4年1月16日の4回、現地調査を行った。また、接合部のがたつき、金具の弛み等についても随時、点検を行った。各劣化項目の測定方法は以下の通りである。

摩耗：摩耗しやすいと思われる13箇所(図3)を選び、厚みをノギスで測定した。同一部材で摩耗の可能性のない箇所があれば、比較用にその部分の厚さも測定した(表7中の番号に の付してあるもの)。

干割れ：割れを生じやすい心持ち丸材について18箇所を選び(図4)、円周上に表れた干割れ本数及び、そのなかで最も大きな割れの幅(最大幅)をノギス等で計測した。

腐朽：試作遊具部材はまだ腐朽を生じていない。しかし、将来の発生に備え超音波診断を開始することとした。すなわち、図5に示す6箇所の部材について、図6に示す3箇所の超音波伝搬時間を測定器(フジクラ、小型木柱腐朽診断器)で計測するものである。腐朽度に対応して伝搬時間が長くなるので、内部腐朽を非破壊的に診断することができる。なお、伝搬速度は含水率に依存するので、木材含水率を水分計(ケット、HM-520型)で同時に測定した。

3. 2 劣化の測定結果

摩耗：測定結果を表7に示す。デッキ部材では最大3mm/年の摩耗が認められる。丸材の中で最も摩耗が激しかったのは意外にもターザンロープスタート台後部の保護柵上面で、6mm/年もの摩耗が認められた。これは写真1に示すように、児童がこの保護柵をスタート台とするためであり、同一箇所が繰り返し砂のついた靴底でこすられる。これは溝きりした円形断面の上部の摩耗であるから、今後は摩耗深さの進行が次第に低下するものと見込まれるが、それにしても砂場上に設置された木製遊具の床面の摩耗は通常の建築物のそれと比較してはるかに大きいと考えなければならない。床となる水平部材に防腐処理を行う時は深部に及ぶ処理が不可欠となる。

干割れ：測定結果を表8に示す。φ180mmの丸材は円周上に12~26本の割れを1年間に生じ、その最大幅は溝きりしたもので1.8mm、溝切りしないもので4.4mmであった。φ120mmの部材では円周上に6~23本の割れが1年間に発生し、その最大幅は溝切りしたもので1.4mm、溝切りしないもので2.7mmであった。

一般に割れ幅が2mmを越えると手指の怪我の危険性が高まると言われているので、今回の試作遊具部材の場合、溝切りしない心持ち部材では1年以内に危険域に入ったことになる。溝切りした部材では2mmを越える幅の割れは発生していないので、溝切りによる干割れ抑制効果はあったものと判断される。

なお、これらの部材には干割れ抑制剤を配合した防腐剤が加圧注入されている。比較のため同種の丸棒3本について、薬剤を注入しないものを用意して1年間屋外に暴露したところ割れ幅は最大10mmに達した。したがって、干割れ抑制剤添加の効果はあったと判断されるが、まだ遊具部材として満足できる結果には達していない。今後、更に改善の努力が必要であろう。

腐朽：測定結果を表9に示す。まだ、腐朽はまったく発生していないので測定値に目立った変化は認められない。ただ、地上高が高くなるにつれ木材含水率が低下するので伝搬時間が短くなっている。なお、砂場上に設置されたこの遊具の場合も、一般の外構部材と同様に接地部は常に含水率が高く、生物劣化を受けやすい環境にあると言える。

その他の劣化：1年間の使用によって部材は灰白色に退色している。摩耗劣化を受けた部分は元来の淡黄白色に近いままなので、全体としては色むらが目立つ結果となっている。

丸太渡りの踏み材は揺れ動くので他の部材としばしば衝突する。この衝撃により、一部の部材は損傷を受けたが、ここにゴムカバーを取り付けたところその後の劣化は防止された。

接合部のがたつきについては今のところ発生していない。ただし、ロープウェイのワイヤーロープは激しい使用によって弛みを生じたので張り調整を行った。また、スタート部のワイヤー固定部の保護カバーの固定ボルト2本中の1本が繰り返す衝撃で弛み脱落した。このため直ちに補充してしっかり締め付けたところ、その後は緩みを発生していない。これは構造的な欠陥ではなく、当初の施工時の締め付けが不十分だったためであろう。

クライミングロープは当初φ22mmのテトロンロープを用いていたが、安全上の理由により平成3年9月にφ30mmのクレモナロープに交換した。太くしかも重くなったため、低学年児童には使いにくいものとなった。ロープの危険性と使い易さの関係についてはさらに詳細に検討する必要がある。

以上、試作遊具の利用状況と部材の劣化について1年間にわたって実態調査をしたが、木製遊具の製造基準や保守管理マニュアルの整備のためには、さらに継続的な調査が必要とされる。とくに劣化については今後、顕著になる可能性が高いので次年度以降も詳しく調査する予定である。

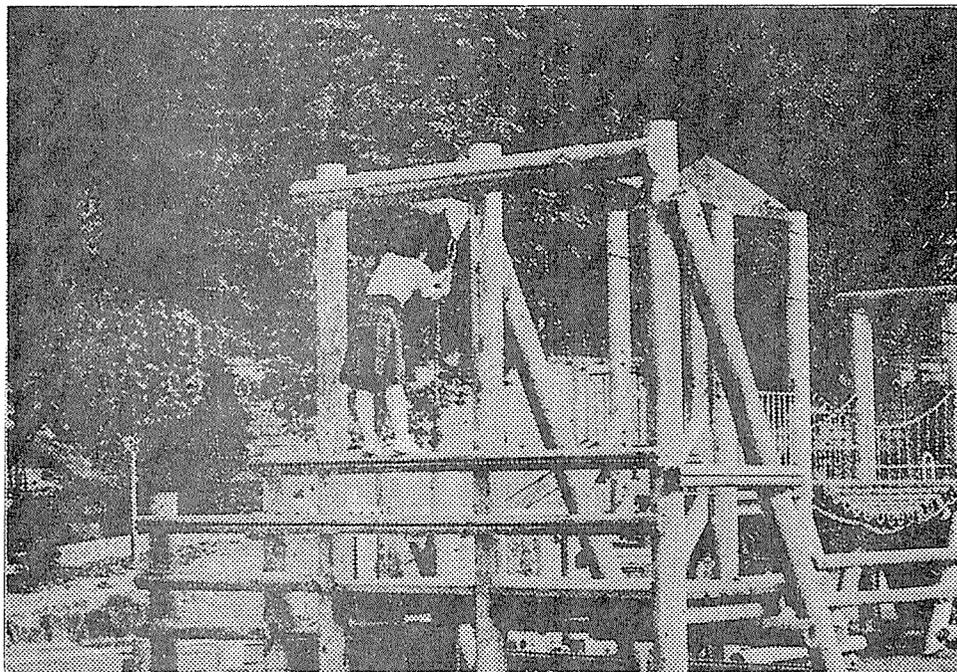


写真1 ターザンロープスタート台として利用される保護柵

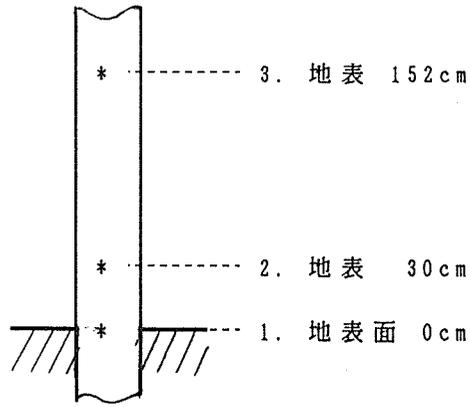


図6 超音波診断位置

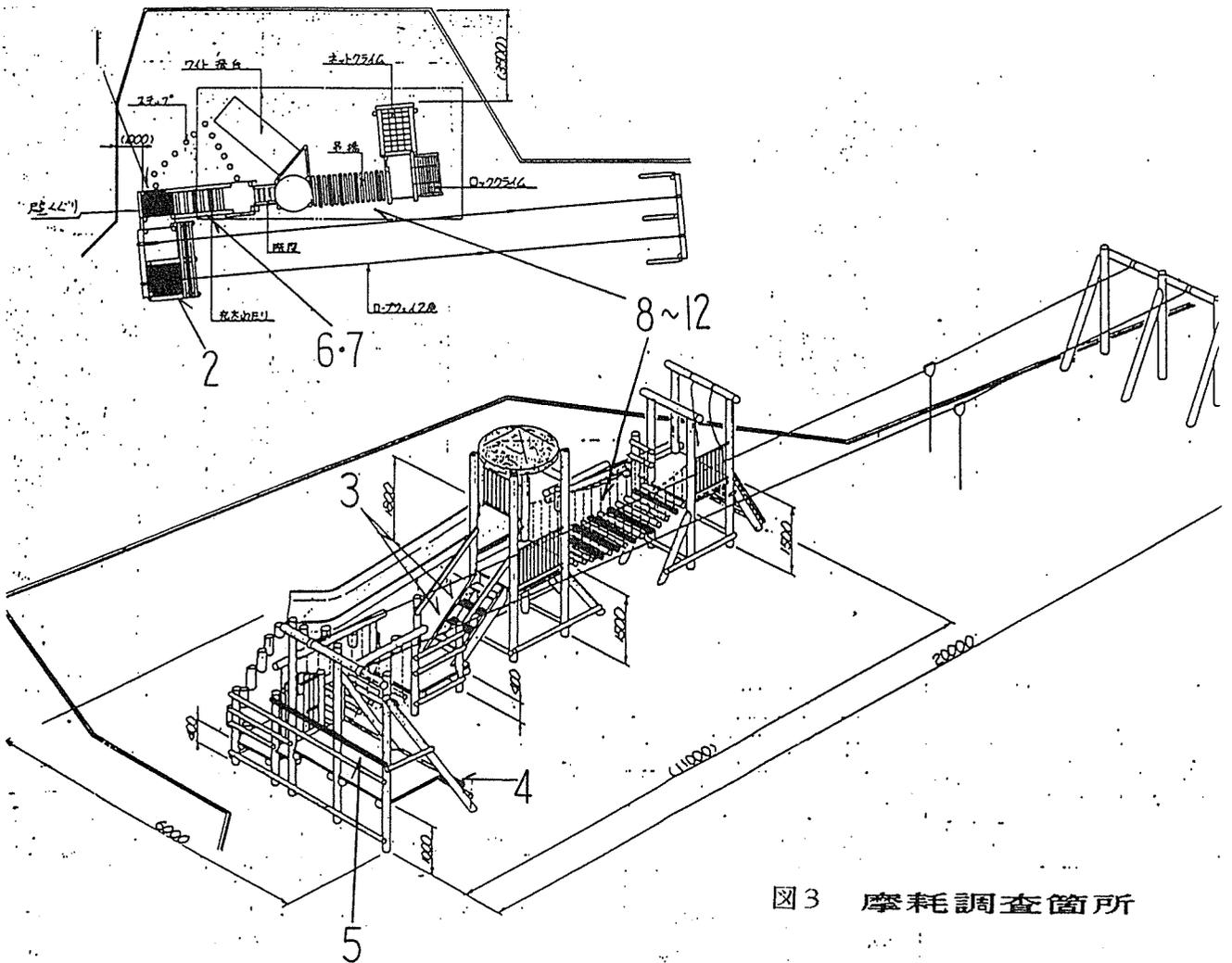


図3 摩耗調査箇所

図4 干割れ調査箇所

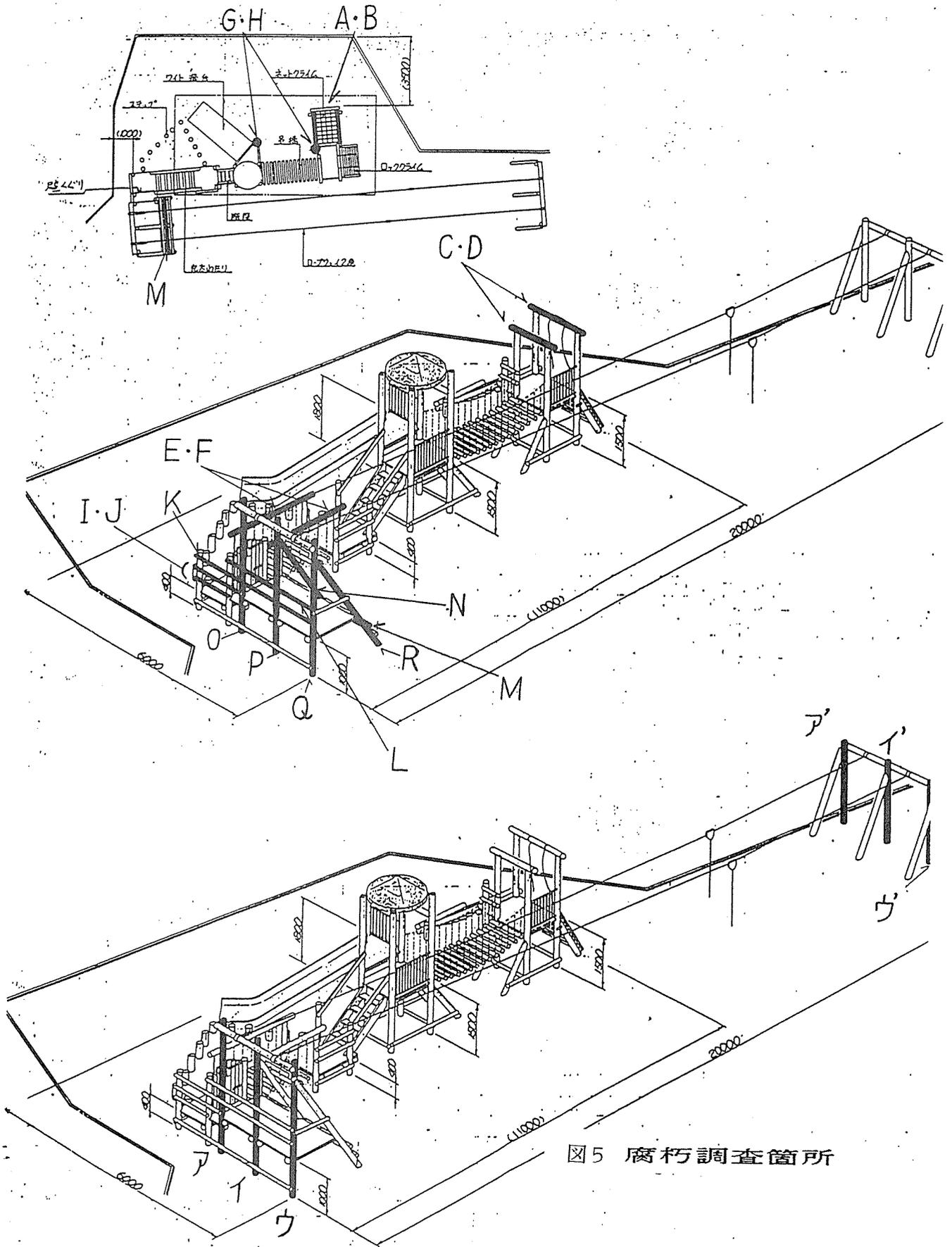


図5 腐朽調査箇所

表7 摩耗測定結果（厚さの変化）

板材（デッキ部材） (mm)

測定箇所	5/ 2	7/17	11/ 2	1/ 6
1 丸太わたりデッキ	49.40	49.00	48.35	47.00
1'	50.95	50.30	50.35	50.20
2 ターザンロープデッキ	50.25	50.00	49.90	49.75
2'	50.10	50.00	50.15	50.10
3 a 階段デッキ	49.90	49.80	49.75	49.65
3 a'	50.20	50.45	50.50	50.30
3 b 階段デッキ			50.10	50.10
3 b'			50.20	50.20

心持丸太材（溝切り） (mm)

測定箇所	5/ 2	7/17	11/ 2	1/ 6
4 ターザンロープ踏み材	121.75	121.30	121.10	120.75
4'	121.40	121.40	121.30	121.00
5 ターザンロープ保護柵	121.80	120.70	116.60	116.05
5'	117.55	117.85	117.85	117.60

心持丸太材 (mm)

測定箇所	5/ 2	7/17	11/ 2	1/ 6
6 (y) 丸太わたり踏み材	120.95	120.75	120.75	120.75
(x)		120.80	120.80	120.80
6'	121.35	121.30	121.40	121.40
7 (y) 丸太わたり踏み材	121.80	121.75	121.55	121.55
(x)		121.50	121.65	121.65
7'	122.00	122.00	122.10	122.20
8 (y) 吊り橋踏み材	121.30	120.25	120.25	119.60
(x)		120.10	121.00	121.10
8'	121.65	121.60	121.70	121.65
9 (y) 吊り橋踏み材	121.10	121.00	120.90	120.75
(x)		122.05	122.05	121.75
9'	122.40	122.30	122.35	122.20
1 0 (y) 吊り橋踏み材		120.05	119.90	119.00
(x)		120.00	120.25	120.20
1 0'		121.75	121.70	121.75
1 1 (y) 吊り橋踏み材		121.70	120.75	120.10
(x)		121.80	122.10	122.00
1 1'		121.55	121.55	121.50
1 2 (y) 吊り橋踏み材		119.40	119.40	119.10
(x)		121.10	120.90	121.45
1 2'		121.90	121.85	121.80

表8 干割れ測定結果

傾斜部材(溝切りせず)

測定箇所	5/ 2	11/ 2	1/ 16
A (割れ本数) ネットクライム (最大幅 mm) ϕ 180mm	13 1.00	22 0.60	23 1.25
B (割れ本数) (最大幅 mm)	3 0.50	20 0.65	26 1.10
N (割れ本数) ターザンロープ (最大幅 mm) ϕ 180mm			26 4.40
R (割れ本数) (最大幅 mm)			28 2.30

鉛直部材(溝切りせず)

測定箇所	5/ 2	11/ 2	1/ 16
G (割れ本数) 主柱 (最大幅 mm) ϕ 180mm	11 0.95	11 0.85	12 1.15
H (割れ本数) (最大幅 mm)	12 0.85	14 0.60	18 1.10
O (割れ本数) ターザンロープ (最大幅 mm) ϕ 180mm			16 1.60
P (割れ本数) (最大幅 mm)			24 1.60
Q (割れ本数) (最大幅 mm)			15 2.10

水平部材 (溝切り)

測定箇所	5/ 2	11/ 2	1/ 16
K (割れ本数) ターザンロープ (みぞ本数) ϕ 120mm (最大幅 mm)		8 2 0.65	10 2 0.90
L (割れ本数) (みぞ本数) (最大幅 mm)		2 1 測定不可	6 1 測定不可
M (割れ本数) (みぞ本数) (最大幅 mm)		10 1 1.00	19 1 1.40

表8 干割れ測定結果 (続き)

水平部材 (溝切りせず)

測定箇所	5/ 2	11/ 2	1/ 16
C (割れ本数) ロックライム (最大幅 mm) $\phi 180\text{mm}$	19 1.05	24 1.15	26 1.80
D (割れ本数) (最大幅 mm)	9 0.75	12 0.70	12 0.95
E (割れ本数) 丸太わたり (最大幅 mm) $\phi 180\text{mm}$	19 0.65	19 1.30	19 2.00
F (割れ本数) (最大幅 mm)	18 1.20	21 1.20	23 1.60
I (割れ本数) 壁くぐり (最大幅 mm) $\phi 120\text{mm}$	16 1.40	22 1.35	23 2.10
J (割れ本数) (最大幅 mm)	16 1.10	19 2.00	23 2.70

表9 超音波診断結果

心持丸太材 (主柱)

	1 1 / 2		1 / 1 6		
	含水率 (%)	伝搬速度 (μsec)		含水率 (%)	伝搬速度 (μsec)
ア 1	51.0	118	119	28.5	115
	24.0	107	107	19.5	103
	20.5	95	95	16.5	89
イ 1	71.0	115	115	32.5	109
	23.5	110	110	18.5	107
	22.0	98	98	17.5	95
ウ 1	66.0	117	129	24.0	114
	24.5	106	107	16.0	102
	22.0	100	102	15.5	99
ア 1	65.0	124	127	24.0	127
	23.0	112	112	17.0	108
	18.0	112	111	16.0	108
イ 1	76.5	121	122	58.5	129
	40.5	125	123	39.5	141
	38.0	130	130	37.0	151
ウ 1	75.0	116	118	30.5	114
	25.0	105	106	23.5	103
	24.0	104	103	22.0	99