

平成5年度 農林水産省補助事業
(財)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

「建造物適用技術推進」

平成6年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

まえがき

1. 建造物適用技術推進事業について

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、建築等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6課題の建造物を選定し構造安全性・耐久性・経済性等に関する技術開発を推進し設計・施工等に係わるマニュアル化を図ろうとするものである。

2. 平成5年度事業の実施方法及び内容

1) 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 教授 |
| 〃 | 古澤富志雄 | 職業能力開発大学校 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 |
| 〃 | 井上 武 | 日本道路公団技術部緑化推進課 課長 |
| 〃 | 藤内 誠一 | (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 真 | 日本木材防腐工業会 専務理事 |

2) 下記の分科会を設置し、それぞれの事業を実施した。

- ア. 木製遮音壁分科会では、試験体による音響性能試験及びマニュアル作成
- イ. 木槽分科会では、モデル木槽による水質試験・木材の耐薬品性の検討及びマニュアル作成並びに大阪営林局における木製受水槽新設工事の指導・助言
- ウ. 木橋分科会では、集成材アーチ橋におけるアーチリブ接合部の設計・1/2モデルによる剛性耐力実験及びマニュアル作成並びに愛媛県広田村における木製アーチ橋新設工事の指導・助言
- エ. 木製栈橋分科会では、マニュアル作成及び水上ベンチの追跡調査
- オ. 木製舗装分科会では、マニュアル作成及び試作展示木製舗装の追跡調査
- カ. 木製遊具分科会では、マニュアル作成及び試作展示木製遊具の追跡調査

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 |
| 〃 | 武井富喜雄 | 長野県林業総合センター 所 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 |
| 〃 | 三村 典彦 | 信州カラマツ工業会 専務理事 |
| 〃 | 永井 哲 | 大建工業株式会社 デザイン室長 |

木槽分科会

| | | |
|-----|-------|---------------|
| 主 査 | 古澤富志雄 | 職業能力開発大学校 助教授 |
| 委 員 | 福田 清春 | 東京農工大学農学部 助教授 |
| 〃 | 赤松 明 | 職業能力開発大学校 助教授 |
| 〃 | 信田 聡 | 東京大学農学部 助手 |
| 〃 | 財満やえ子 | 東京造形大学 助教授 |
| 〃 | 藤井 雄史 | 藤井製桶所 |

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 | 足利工業大学土木工学科 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 |

木製棧橋分科会

| | | |
|-----|-------|-----------------------|
| 主 査 | 信田 聡 | 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) ザイエンス中央研究所 商品開発課長 |
| 〃 | 岩崎 重治 | ゼニヤ海洋サービス(株) 技術部 部長 |
| 〃 | 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) ザ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 |

- 3) 実施結果の取りまとめに当たっては、実験等に関わる部分と試作展示品の追跡調査結果は一括した報告書に編集したが、6課題(木製遊具、木製遮音壁、木槽、木橋、木製棧橋、木製舗装)のマニュアル類は、普及の便を考慮して単独の手引き書に作成配付して、その普及を図った。

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 6 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 木製遮音壁の試作とその音響性能 | 1 |
| 1. 緒言 | 1 |
| 1.1 本実験の目的と概要 | 1 |
| 1.2 遮音性と吸音性 | 1 |
| 2. 遮音壁の設計と試作 | 4 |
| 3. 音響性能測定 | 10 |
| 3.1 透過損失の測定方法 | 10 |
| 3.2 残響室法吸音率の測定法 | 11 |
| 4. 結果 | 13 |
| 5. 考察 | 23 |
| 5.1 試作木製遮音壁の透過損失について | 23 |
| 5.2 試作木製遮音壁の吸音率について | 23 |
| 5.3 他材料の遮音壁との比較 | 23 |
| 6. 結言 | 26 |
| 付 試験成績書 | 27 |
| 第2章 木製水槽の水質 | 34 |
| 1. はじめに | 34 |
| 2. 水質に関する実験方法 | 34 |
| 2.1 測定項目 | 34 |
| 2.2 水槽について | 34 |
| 2.3 各項目の測定方法 | 35 |
| 3. 結果 | 37 |
| 3.1 過マンガン酸カリウム消費量 | 38 |
| 3.2 残留塩素 | 39 |
| 3.3 一般細菌と大腸菌群 | 40 |
| 3.4 水素イオン濃度 (pH) | 40 |
| 3.5 全硬度 | 41 |
| 3.6 塩化物、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素 | 41 |
| 3.7 シアン、六価クロム、鉄、銅、亜鉛 | 41 |
| 3.8 濁度と色度 | 42 |
| 3.9 味と臭気 | 42 |
| 4. まとめ | 42 |

| | |
|---|-------|
| 第3章 木材の耐薬品性 | 4 3 |
| 1. はじめに | 4 3 |
| 2. 木材の耐薬品性 | 4 3 |
| 3. 塩素殺菌剤に対して | 4 5 |
| 第4章 集成材アーチ橋におけるアーチリブ接合部の設計と1/2モデルを用いた接合部の剛性耐力実験 | 4 7 |
| 1. はじめに | 4 7 |
| 2. 集成材アーチ橋の概要 | 4 7 |
| 2. 1 基本データ | 4 7 |
| 2. 2 橋の特徴 | 4 7 |
| 2. 3 橋一般図 | 4 8 |
| 2. 4 主な接合部 | 5 0 |
| 3. アーチリブ接合部の許容耐力設計 | 5 2 |
| 3. 1 荷重条件 | 5 2 |
| 3. 2 FEMモデルの詳細と接合部に作用する応力 | 5 2 |
| 3. 3 接合部の許容耐力設計 | 5 7 |
| 3. 4 接合部の最終形態 | 6 7 |
| 4. 1/2スケールモデルを用いた接合部の曲げ強度実験 | 6 9 |
| 4. 1 1/2スケール接合部の概要 | 6 9 |
| 4. 2 集成材継手試験体の材料常数の測定 | 6 9 |
| 4. 3 継手試験体のエッジワイズ曲げ試験 | 7 2 |
| 4. 4 BO×型継手試験体の弱軸方向曲げ試験 | 7 3 |
| 5. 結果および考察 | 7 6 |
| 5. 1 供試集成材の弾性常数 | 7 6 |
| 5. 2 継手試験体のエッジワイズ曲げ試験の結果 | 7 6 |
| 5. 3 BO×型試験体の弱軸方向曲げ破壊試験の結果 | 8 7 |
| 6. 引用文献 | 1 0 3 |
| 7. Appendix-1 鋼板挿入ドリフトピン接合のすべり係数 | 1 0 4 |
| 8. Appendix-2 広田村アーチ橋に使用されたスギラミナの曲げヤング係数の分布 | 1 0 7 |

II 試作展示

| | |
|-----------------|-----|
| 第1章 試作親水ベンチ追跡調査 | 108 |
| 1. 目的 | 108 |
| 2. 設置場所 | 108 |
| 3. 調査日 | 108 |
| 4. 調査項目 | 109 |
| 5. 調査結果 | 109 |
| (1) 外観調査 | 109 |
| (2) デッキの含水率調査 | 115 |
| (3) デッキ材の色差 | 118 |
| 6. まとめ | 125 |
| 第2章 試作舗装の経過観察 | 126 |
| 1. 目的 | 126 |
| 2. 調査対策 | 126 |
| 3. 調査項目 | 126 |
| 4. 調査結果 | 126 |
| 4.1 目視及び写真観察 | 126 |
| 4.2 弾力性調査 | 128 |
| 4.3 摩擦係数調査 | 129 |
| 4.4 変退色調査 | 130 |
| 第3章 試作遊具の経過観察 | 134 |
| 1. 遊具の利用状況 | 135 |
| 2. 遊具の劣化 | 137 |

I 性能実験

第1章 木製遮音壁の試作とその音響性能

1. 緒言

1.1 本実験の目的と概要

木材を主たる遮音材料として用いた道路用の遮音壁を木製遮音壁とよぶ。現在はコンクリートやアルミパネルの遮音壁が一般的であるが、新しい素材やデザインの遮音壁、多様な機能を持つ遮音壁、アメニティーに優れた遮音壁が求められる機運にある。木製遮音壁はこのような要求に応えられる可能性を持つ。

木製遮音壁は多様なデザインが可能で、豊かなアメニティー感覚をドライバーや沿線住民に与えることができる。欧米では比較的良好に用いられているが、日本ではあまり設置されていない。しかし、数少ない設置個所の周辺では評判がよい。

木製遮音壁の普及しない理由は、音響性能の不十分さ、コストの高いこと、耐久性への不安などである。コストや耐久性については、加工や施工の能率化や防腐や塗装技術の向上によって克服されねばならない。音響性能は遮音性と吸音性で評価される。木材素材の遮音性は10cm程度の厚みがあれば、日本道路公団の規格に合うが、吸音性は不十分である。

このため、音響性能の優れた木製遮音壁を開発するために、木材表面に溝切り加工や穴明け加工を施した3種類の遮音壁を試作し、それらの溝や穴が吸音性能に及ぼす影響を実験した。その結果、溝や穴を木材表面に加工することにより、公団規格にはおよばないものの、吸音性能は著しく改善され、今後さらにその形状を改良することにより、デザイン的にも優れた木製遮音壁の製作が可能であることを示した。

1.2 遮音性と吸音性

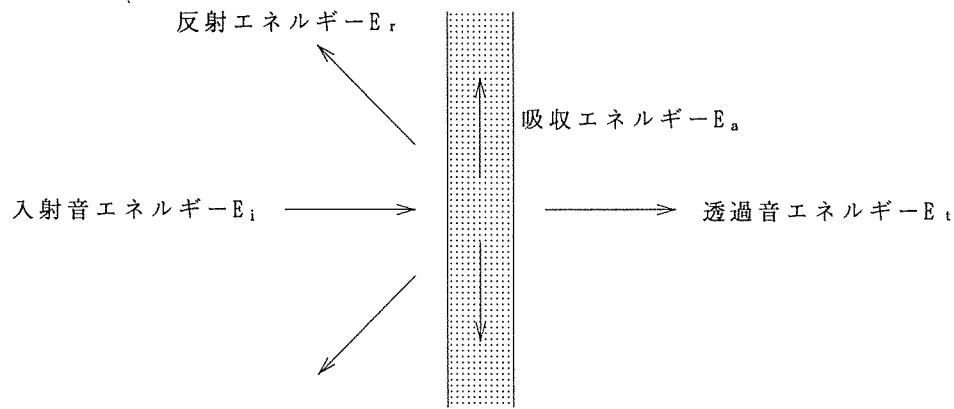
1. 遮音性

入射音エネルギー E_i に対する透過音エネルギー E_t の割合を（音響）透過率 τ 、さらにその逆数を常用対数にとって10倍した値を（音響）透過損失TL(Transmission Loss)という。遮音性はこの透過損失で表し、材料の遮音性能の表示量としている。 τ が小さいほど、あるいは透過損失TLが大きいほど遮音性能が高いことを意味する。

$$\tau = E_t / E_i \quad (1-1)$$

$$TL = 10 \log(1/\tau) \text{ (dB)} \quad (1-2)$$

壁の重い壁、すなわち面密度の大きい壁ほど、音をよくさえぎる。一般に透過損失は、透過する壁の単位面積当たりの壁材の質量に比例している。木質系と非木質系（コンクリート、アルミ、金属、プラスチック）について透過損失と面密度との関係を調べると、木質系材料は質量の割に透過損失が優れている。日本道路公団の規格においては、遮音壁の遮音性は周波数400Hzに対して25dB以上、1000Hzに対して30dB以上の透過損失を必要とする。



遮音壁の断面図の模式図

図1-1 音の入射・反射・吸収・透過

2. 吸音性

物体の一方に音波が入射したとき、入射した音波のエネルギーと物体内に吸収されたエネルギーの比を吸音率という。一般に硬くて滑らかな表面を持つ材料は、音をよく反射して吸音率が小さく、軟らかい毛ばった材料または多孔性の材料の吸音率は大きい。また周波数が高く波長の短い音は吸収されやすいが、低周波の音は吸収されにくい。日本道路公団の吸音タイプの遮音壁にあっては、周波数400Hzに対して70%以上、1000Hzに対して80%以上の吸音率を必要とする。

3. 吸音材料の種類

・ 多孔質吸音材料

一般的にグラスウール、ロックウール、発泡樹脂などの繊維質または多孔質材料でボード状、フェルト状、吹き付けなどの厚めのものを壁に密着、または空隙をおいて張り付けるものである。これらの通気性のある材料に音波があたると、細孔中の空気の運動に対して摩擦抵抗が働き、また繊維自体も振動するので、音のエネルギーの一部が熱のエネルギーに変換されて吸音される。平均吸音率は一般に高く、厚さが厚くなるほど全般的に吸音率が上昇するうえ、低音部の吸音性能が特によくなる。材料と剛壁との間に空隙を置くことは更に低音の吸音性能をよくするのに有効である。

・ 板状吸音構造

板や膜に入射すると、板や膜が振動して吸音効果を生じる。特に共鳴周波数付近では顕著な吸音効果がみられる。この形式の吸音材料として、合板、石膏ボード、スレートボードなどの背後に空気層を設けて枠組みなどに取り付けた構造が利用されている。この種材料は、一般に300Hz以下の低周波数領域での吸音性能を期待して用いられることが多い。この種の構造の吸音率は、最大でも0.5(50%)を越えることはない。

・ 共鳴器型吸音構造

いわゆる穴あきボード構造体の吸音で、これは材質自体は吸音性のないアルミニウム、石膏、スレートなどであるが、これに規則的に小孔があけてあるものを一般に剛壁の全面に若干の空間を置いて張り付ける。

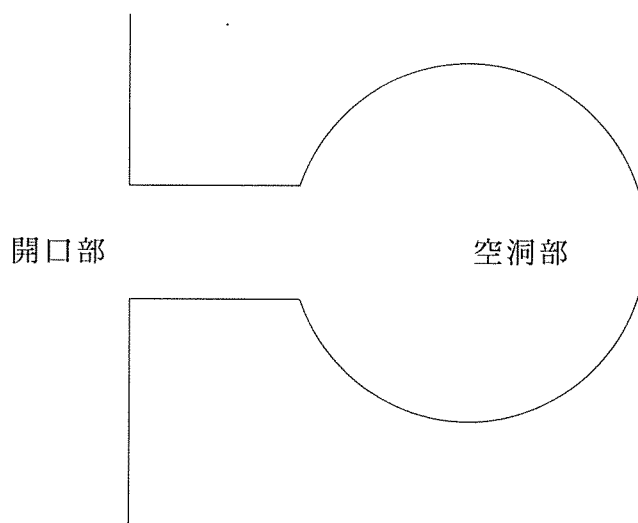
表面の板状材料にあけられる穴の形状は、円形に限られることなく、小さい孔から大きい孔や楕円状、スリット状に孔をあけたものもある。

この孔と背後の空間とで共鳴器を作り孔の部分での空気粒子の出入りの抵抗損失で、エネルギーの消耗を起こし吸音させるものである。図による模式的解説をすると、空洞部の空気がバネで、開口部の空気が重りとなって、ある周波数で共振し、その際の摩擦熱として音のエネルギーが消費される。

従って、特定の共鳴周波数を中心にした、鋭い山形の吸音特性を持つ。穴あき板構造体の吸音特性は、式によって使用目的に応じた周波数範囲に設定することが可能なため、特定の周波数を対象とした場合には、効果的に利用することができる。この共鳴周波数 f_0 は孔の開口率と板の厚さおよび背後空気層の厚さで決まる。理論的には c を音の速度、 t を板厚、 d を孔の直径、 p を開口率、 l を背後空気層の厚さとすると、 l が50cm以下で求められる。

$$f_0 = \frac{c}{2\pi} \sqrt{\frac{p}{(t+0.8d)l}} \quad (1-3)$$

本研究で試作した遮音壁は、この吸音構造での吸音を期待したものである。



共鳴器（レゾネーター）

図1-2 共鳴器型吸音構造の模式図

2. 遮音壁の設計と試作

木材を用いて、遮音壁を製作する方法としては、角材をつなぎ合わせたパネルを作り、このパネルをH型鋼等の鋼材で支持し、遮音壁に組み立てる方法が一般的である。角材の積み方に、縦方向に地面に垂直に並べる方法と、横方向に地面に水平に並べる方法とがあるが、この実験では加工性や作業性の良いと思われる横方式をとることにした。

材料は、スギの100mm角材とし、つぎの3種類の遮音壁を試作した。壁体は、協同組合信州カラマツ工業会が製作した。

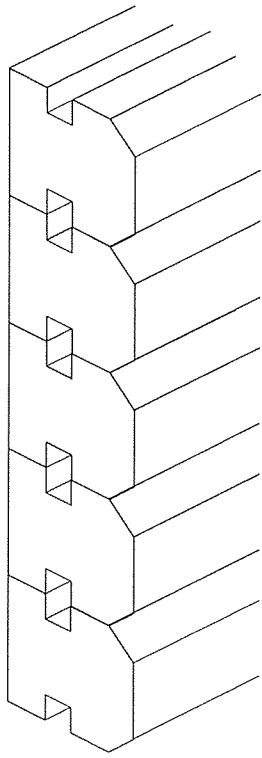
3種類の遮音壁パネルは図に示すとおりである。その製作意図は次の通りである。

No.1：簡単な面取りをする事により、多少の吸音性を期待するもの。主に遮音効果を狙ったもの。

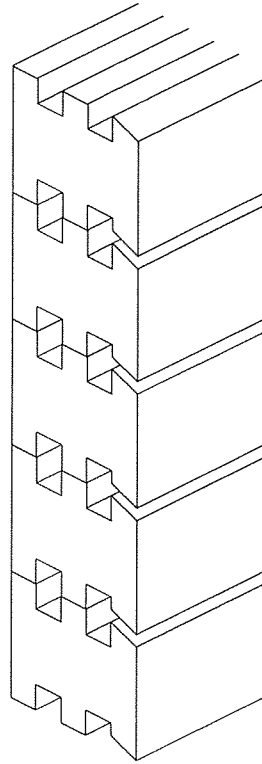
No.2：共鳴型吸音構造の一種であるスリット構造による吸音性を期待したもの。

No.3：No.2と共通のパネルに、更に穴をあけることで吸音性を高める効果を狙うもの。共鳴型吸音構造のうちの、スリット構造と有孔板構造の二つを合わせ持った吸音効果が期待できるもの。

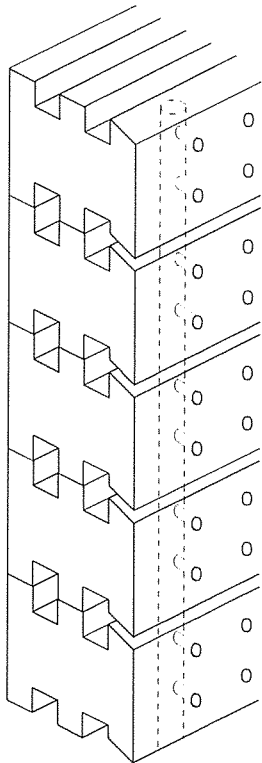
各パネル間、パネル内のパーツ間の結合は雇核（やといざね）はぎで行った。



No.1



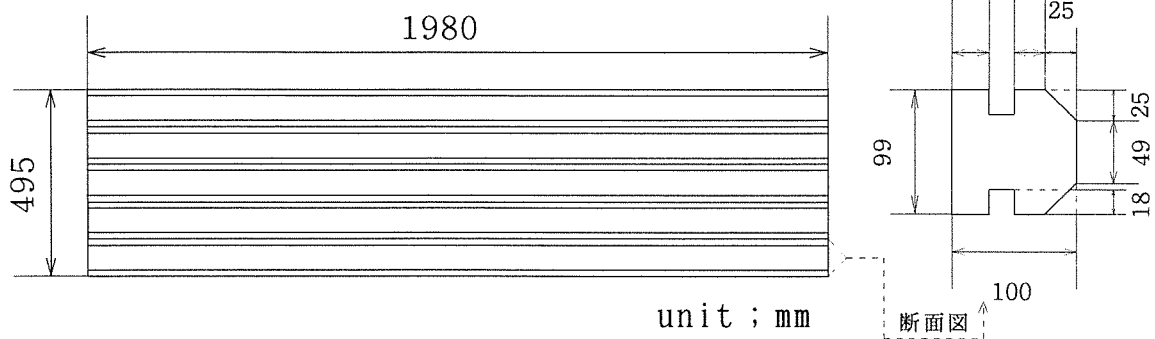
No.2



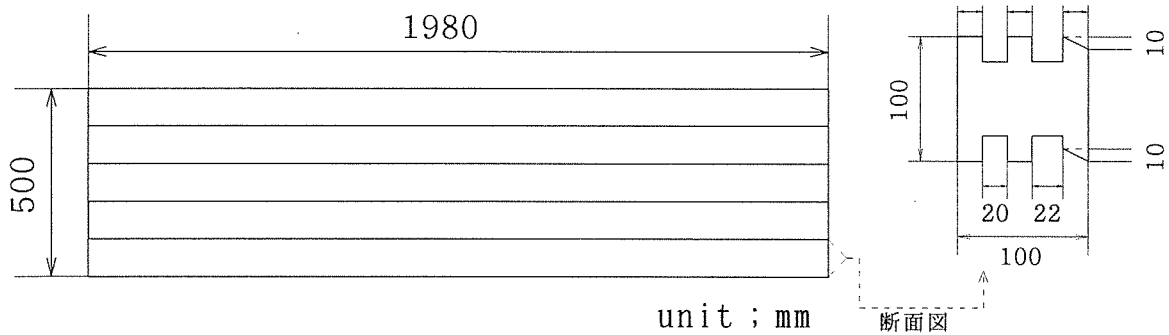
No.3

図2-1 試作3各壁体の端面図

No.1



No.2



No.3

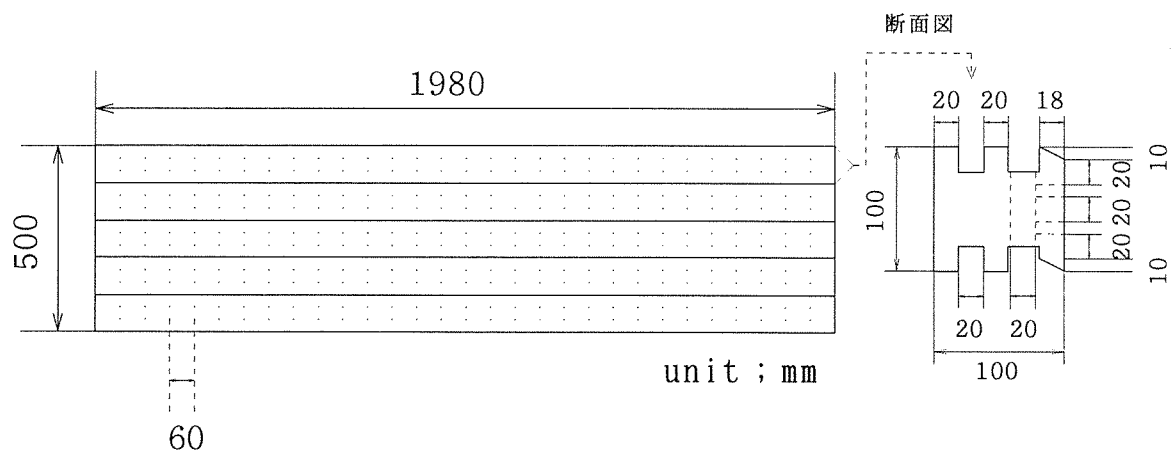


図2-2 各パネルの断面図と正面図

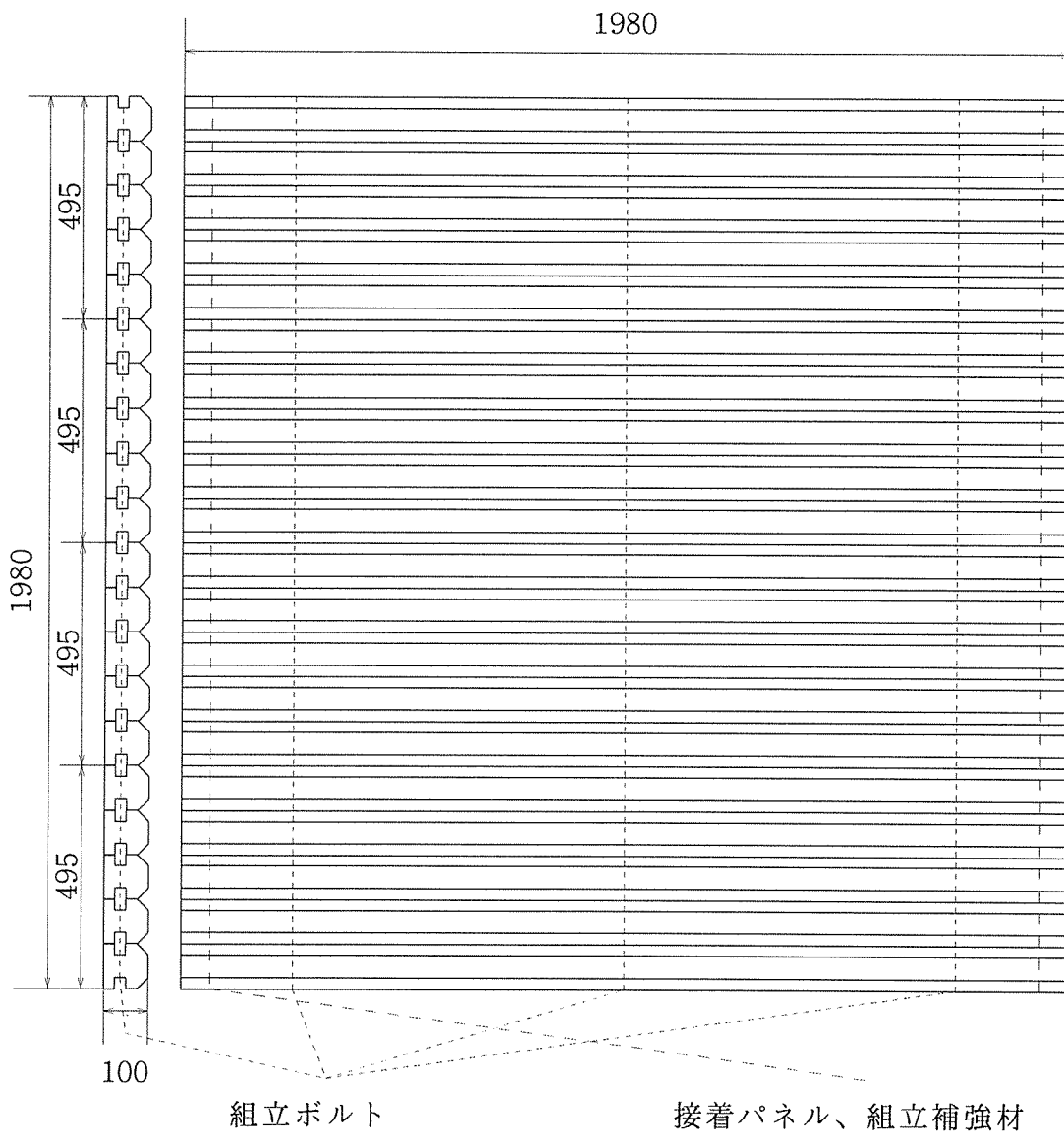


図2-3 No.1の壁体の全体図 unit:mm

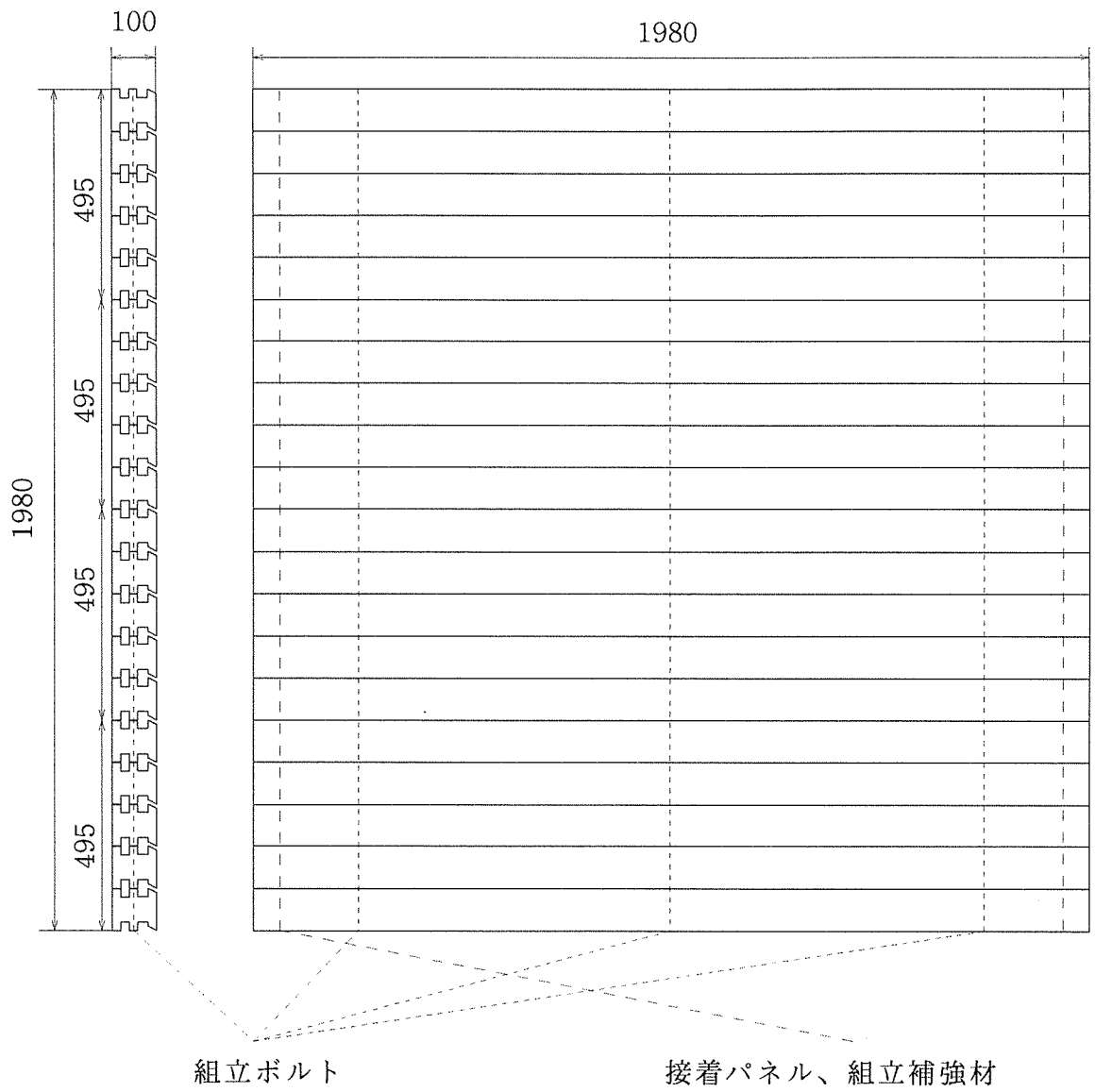


図2-4 No.2の壁体の全体図 unit:mm

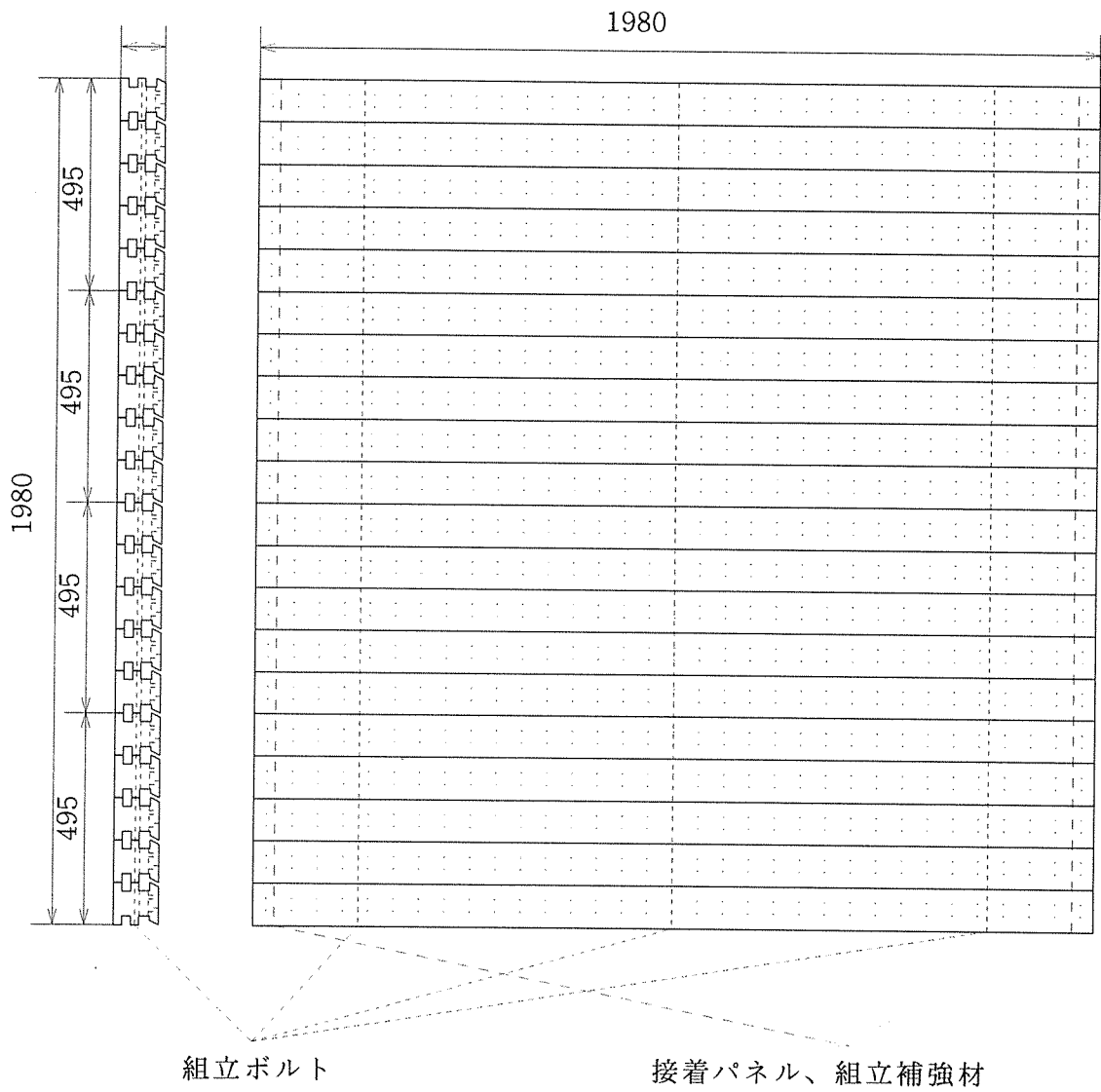


図2-5 No.3の壁体の全体図 unit:mm

3. 音響性能測定

3. 1 透過損失の測定方法

JIS A 1416に準じて行った。測定の基準を以下に示す。

1. 測定装置

試料取り付け用開口部をはさむ二つの残響室、音源装置および受信装置で構成され、図のように組み合わされる。

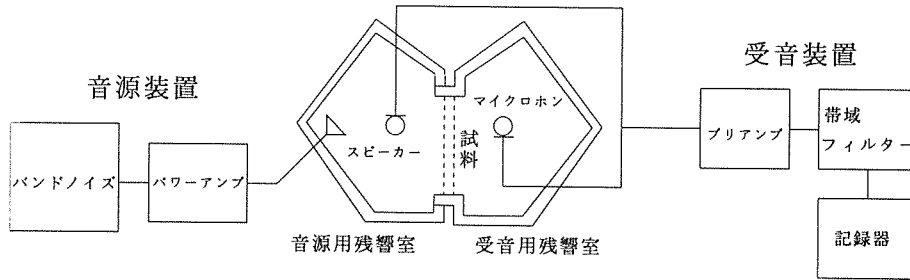


図3-1 透過損失測定装置

2. 残響室の吸音力の測定

測定された残響時間の平均値から、次の式によって算出する。

$$A = \frac{55.3V}{cT} \quad (3-1)$$

A : 受信側残響室吸音力(m²)

T : 受信側残響室残響時間(s)

V : 受信側残響室容積(m³)

c : 空気中の音速(m/s)

$$c = 331.5 + 0.61t$$

t : 空気の温度(°C)

音源用残響室に、音源となるスピーカーを設置する。中心周波数が125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150, 4000Hzにおいて測定を行う。

音源側残響室と受信側残響室の、それぞれの平均音圧レベル差と、受信室側の吸音力から、透過損失を算出する。

$$TL = (L_1 - L_2) + 10 \log S/A \quad (3-2)$$

- TL：音響透過損失(dB)
- L_1 ：音源側残響室平均音圧レベル(dB)
- L_2 ：受音側残響室平均音圧レベル(dB)
- S：試料面積(m^2)
- A：受音側残響室吸音力(m^2)

3. 2 残響室法吸音率の測定方法

JIS A 1409に準じて行った。測定基準を以下に示す。

1. 測定装置

測定装置は、残響室、音源装置、受音および記録装置で構成され、図のように組み合わせられる。

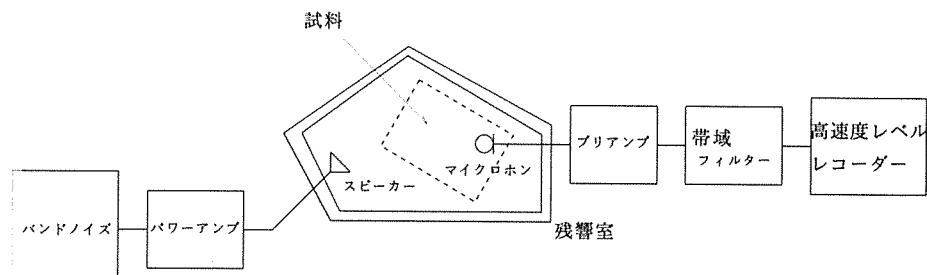


図3-2 残響室法吸音率の測定方法

・ 残響室

残響室の容積は $150m^3$ 以上とする。

残響室の全体的な形状は、6面ないし8面で構成されるものとする。なお、主要な壁面は平行でなく、各対角線の長さの比は1~2の間であって、なるべく等しくならぬようにすることが望ましい。

残響室の残響時間は、試料をいれない場合は以下の値以上になるようにする。

表3-1 試料を入れない状態における残響時間

| 中心周波数(Hz) | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
|-----------|-----|-----|-----|------|------|------|
| 残響時間(s) | 5.0 | 5.0 | 5.0 | 4.5 | 3.5 | 2.0 |

・ 音源装置

音場発生に用いるスピーカーは、測定周波数帯域で十分な出力と、良好な周波数特性を持つものとする。

発生音はバンドノイズである。これは白色雑音(white noise)をバンドパスフィルタ

を通したものである。白色雑音は、理想的にはそのバンド内で、単位周波数域(1kHz)に含まれる成分の強さが、周波数に無関係である音を言う。

2. 測定試料

測定試料はパネル3枚(合計面積11.776m²)とし、長さに対する幅の比が1.3~1.5までの長方形として、室内の中央部に集中配置した。

試料の周辺は、周囲の壁面から1m以上離れているようにした。

3. 測定方法

測定は、中心周波数125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 3150, 4000Hzの各周波数について行った。

残響室吸音率は、残響室に試料を入れた状態と、入れない状態の残響時間を測定することから求めた。

4. 残響時間

音源が停止した後も、室内に残る音を残響という。定常状態の音が停止した後、最初の音圧レベルから-60dBになるまでの時間のことを残響時間という。残響時間の測定は、残響室内に受音点を3点以上選んで行った。受音点は、試料面、壁面、音源に近接しないようにした。

測定回数は、各受音点での測定回数の和が以下に示す回数になるようにした。

表3-2 125~800Hzまでの中心周波数における測定回数

| 中心周波数(Hz) | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | |
|-----------|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|--|
| 測定回数(回) | 25以上 | | | | 15以上 | | | | | |

表3-3 1000~4000Hzまでの中心周波数における測定回数

| 中心周波数(Hz) | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 | 4000 |
|-----------|------|------|------|------|------|------|------|
| 測定回数(回) | 9以上 | | | | | | |

5. 残響室法吸音率の算出

読み取られた残響時間の平均値から、次の式によって算出する。

$$\alpha = \frac{55.3V}{cS} \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (3-3)$$

α : 残響室吸音率
 T_1 : 試料をいれた状態における残響時間(s)
 T_2 : 試料をいれない状態における残響時間(s)
 V : 残響室容積(m^3)
 S : 試料面積(m^2)
 c : 空気中の音速(m/s)
 $c=331.5+0.61t$
 t : 空気の温度($^{\circ}C$)

ただし、 T_1 と T_2 の測定の間、残響室内の温度には $\pm 5^{\circ}C$ 、相対湿度には $\pm 10\%$ 以上の変化がないものとする。

6. 測定施設の仕様

構造 : RC造
室形状 : 不定形7面体
表面積 : 音源側残響室 $233.2m^2$
 受音側残響室 $189.4m^2$
容積 : 音源側残響室 $250.6m^3$
 受音側残響室 $181.5m^3$
壁面開口部 : W(幅) $1.92m \times 1.91m$
標準床スラブ : PC, 厚さ $150mm$

4. 結果

試作した3つの木製遮音壁の透過損失の測定結果を、表4-1~4-3、図4-1に示す。これらの表で、音源とは、音源側残響室での平均音圧レベル(dB)、受音とは、受音側残響室での平均音圧レベル、補正值とは受音室自身が吸音する値のことで式(3-2)に記されている $10\log S/A$ のことである。吸音力は式(3-1)によって算出し、透過損失は式(3-2)によって算出した。

試作した3つの木製遮音壁の残響室法吸音率の結果は、表4-4~4-6、図4-2~4-5に表示した。吸音率は式(3-3)によって算出した。

表4-1 No.1の壁体の透過損失試験の結果

| 中心周波数 | 音源 | 受音 | 残響時間 | 吸音力 | 補正值 | 透過損失 |
|-------|------|------|-------|------|------|------|
| 100 | 77.3 | 56.5 | 12.34 | 2.4 | 1.8 | 22.6 |
| 125 | 83.2 | 60.4 | 14.27 | 2.1 | 2.4 | 25.2 |
| 160 | 84.5 | 61.8 | 15.27 | 2.0 | 2.7 | 25.4 |
| 200 | 83.8 | 59.5 | 15.73 | 1.9 | 2.8 | 27.1 |
| 250 | 85.3 | 59.5 | 15.31 | 2.0 | 2.7 | 28.5 |
| 315 | 91.2 | 62.9 | 14.12 | 2.1 | 2.4 | 30.7 |
| 400 | 92.2 | 63.0 | 13.56 | 2.2 | 2.2 | 31.4 |
| 500 | 93.2 | 62.8 | 12.85 | 2.3 | 1.9 | 32.3 |
| 630 | 94.3 | 62.0 | 11.65 | 2.6 | 1.5 | 33.8 |
| 800 | 93.1 | 59.1 | 9.38 | 3.2 | 0.6 | 34.6 |
| 1000 | 94.1 | 56.6 | 8.19 | 3.7 | 0.0 | 37.5 |
| 1250 | 93.4 | 53.4 | 7.87 | 3.8 | -0.2 | 39.8 |
| 1600 | 92.0 | 52.3 | 6.54 | 4.6 | -1.0 | 38.7 |
| 2000 | 91.1 | 52.4 | 5.56 | 5.4 | -1.7 | 37.0 |
| 2500 | 89.8 | 49.7 | 4.89 | 6.2 | -2.3 | 37.8 |
| 3150 | 91.0 | 48.2 | 3.19 | 9.4 | -4.1 | 38.7 |
| 4000 | 91.9 | 45.4 | 2.53 | 11.9 | -5.1 | 41.4 |
| 5000 | 91.8 | 41.2 | 2.29 | 13.1 | -5.5 | 45.1 |

測定日：1994.1.23

試験体：No.1

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

温度：3.2℃

湿度：63%

測定機関：財団法人ベターリビング

試験体周辺：粘土でシール

表4-2 No. 2の壁体の透過損失試験の結果

| 中心周波数 | 音源 | 受音 | 残響時間 | 吸音力 | 補正值 | 透過損失 |
|-------|------|------|-------|------|------|------|
| 100 | 72.7 | 50.5 | 13.00 | 2.3 | 2.0 | 24.2 |
| 125 | 75.6 | 53.8 | 14.29 | 2.1 | 2.4 | 24.2 |
| 160 | 76.2 | 52.3 | 15.26 | 2.0 | 2.7 | 26.6 |
| 200 | 74.4 | 49.9 | 15.65 | 1.9 | 2.8 | 27.3 |
| 250 | 77.7 | 51.8 | 15.00 | 2.0 | 2.6 | 28.5 |
| 315 | 82.5 | 56.4 | 13.89 | 2.2 | 2.3 | 28.4 |
| 400 | 79.8 | 54.5 | 12.53 | 2.4 | 1.8 | 27.1 |
| 500 | 82.6 | 55.8 | 12.01 | 2.5 | 1.7 | 28.5 |
| 630 | 89.3 | 59.1 | 10.89 | 2.8 | 1.2 | 31.4 |
| 800 | 90.6 | 58.1 | 9.34 | 3.2 | 0.6 | 33.1 |
| 1000 | 91.9 | 57.1 | 8.21 | 3.7 | 0.0 | 34.8 |
| 1250 | 92.6 | 56.8 | 7.74 | 3.9 | -0.3 | 35.5 |
| 1600 | 91.7 | 54.2 | 6.48 | 4.6 | -1.0 | 36.5 |
| 2000 | 91.0 | 51.7 | 5.59 | 5.4 | -1.7 | 37.6 |
| 2500 | 90.1 | 47.5 | 4.95 | 6.1 | -2.2 | 40.4 |
| 3150 | 91.2 | 47.5 | 3.20 | 9.4 | -4.1 | 39.6 |
| 4000 | 92.3 | 47.1 | 2.51 | 12.0 | -5.1 | 40.1 |
| 5000 | 92.2 | 46.5 | 2.16 | 13.9 | -5.8 | 39.9 |

測定日：1994. 1. 24

試験体：No. 2

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

温度：3.2℃

湿度：63%

測定機関：財団法人ベターリビング

試験体周辺：粘土でシール

表4-3 No. 3の壁体の透過損失試験の結果

| 中心周波数 | 音源 | 受音 | 残響時間 | 吸音力 | 補正值 | 透過損失 |
|-------|------|------|-------|------|------|------|
| 100 | 72.7 | 49.8 | 12.47 | 2.4 | 1.8 | 24.7 |
| 125 | 75.3 | 54.1 | 14.55 | 2.1 | 2.5 | 23.7 |
| 160 | 76.1 | 57.2 | 15.07 | 2.0 | 2.6 | 21.5 |
| 200 | 74.2 | 50.1 | 15.65 | 1.9 | 2.8 | 26.9 |
| 250 | 77.0 | 52.8 | 14.71 | 2.0 | 2.5 | 26.7 |
| 315 | 81.9 | 56.8 | 13.99 | 2.1 | 2.3 | 27.4 |
| 400 | 79.3 | 53.6 | 12.85 | 2.3 | 2.0 | 27.7 |
| 500 | 82.0 | 53.9 | 12.05 | 2.5 | 1.7 | 29.8 |
| 630 | 88.4 | 57.2 | 11.11 | 2.7 | 1.3 | 32.5 |
| 800 | 89.7 | 56.4 | 8.96 | 3.4 | 0.4 | 33.7 |
| 1000 | 90.6 | 52.9 | 8.01 | 3.8 | -0.1 | 37.6 |
| 1250 | 91.7 | 54.0 | 7.49 | 4.0 | -0.4 | 37.3 |
| 1600 | 91.1 | 50.6 | 6.38 | 4.7 | -1.1 | 39.4 |
| 2000 | 90.3 | 48.4 | 5.44 | 5.5 | -1.8 | 40.1 |
| 2500 | 89.2 | 45.8 | 4.81 | 6.3 | -2.3 | 41.1 |
| 3150 | 90.5 | 45.3 | 3.04 | 9.9 | -4.3 | 40.9 |
| 4000 | 91.7 | 44.4 | 2.47 | 12.2 | -5.2 | 42.1 |
| 5000 | 91.5 | 43.4 | 2.13 | 14.1 | -5.9 | 42.2 |

測定日：1994. 1. 24

試験体：No. 3

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

温度：3.8℃

湿度：56%

測定機関：財団法人ベターリビング

試験体周辺：粘土でシール

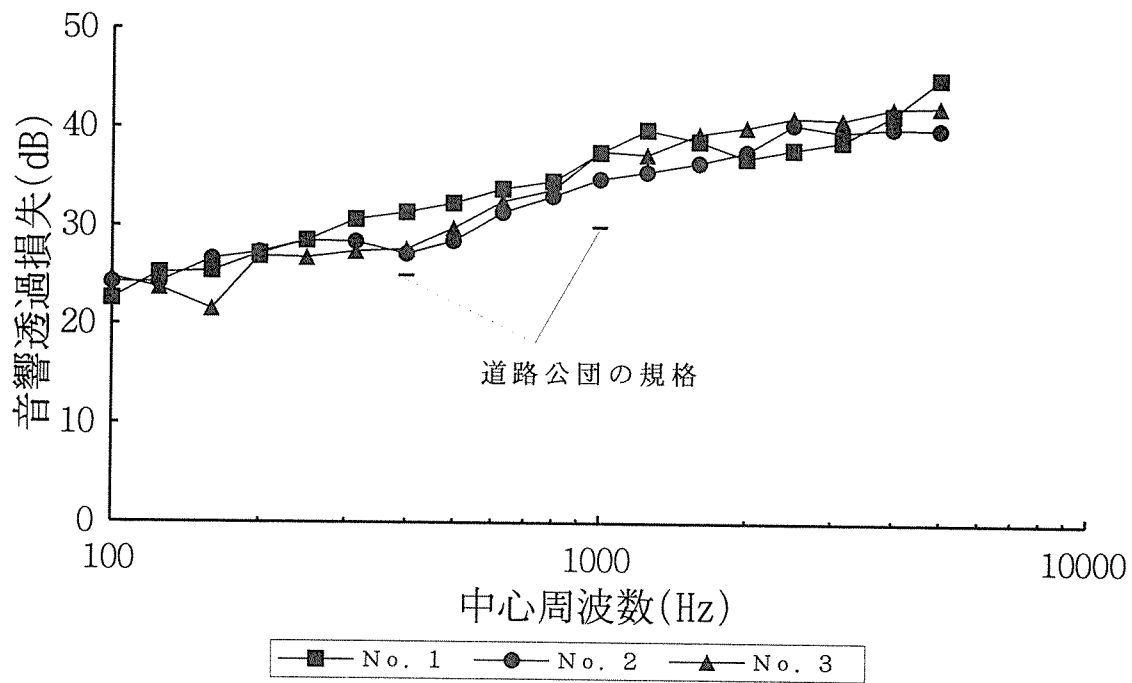


図4-1 試作3壁体の音響透過損失

表4-4 No.1の壁体の残響時間と吸音率

| 中心周波数 | 残響時間(S) | | 吸音率 |
|-------|---------|------|------|
| | 試料有り | 試料なし | |
| 100 | 14.7 | 16.8 | 0.03 |
| 125 | 14.5 | 17.2 | 0.04 |
| 160 | 13.0 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 10.9 | 17.3 | 0.12 |
| 250 | 10.0 | 16.4 | 0.14 |
| 315 | 9.7 | 15.2 | 0.13 |
| 400 | 8.7 | 13.6 | 0.15 |
| 500 | 8.1 | 12.7 | 0.16 |
| 615 | 7.3 | 11.3 | 0.17 |
| 800 | 6.3 | 10.0 | 0.21 |
| 1000 | 4.8 | 8.9 | 0.34 |
| 1250 | 4.8 | 8.0 | 0.29 |
| 1600 | 5.0 | 6.4 | 0.15 |
| 2000 | 4.6 | 5.5 | 0.13 |
| 2500 | 4.2 | 4.7 | 0.09 |
| 3150 | 3.0 | 3.1 | 0.04 |
| 4000 | 2.5 | 2.5 | 0.00 |
| 5000 | 2.2 | 2.3 | 0.07 |

測定日：1994.1.26

試験体：No.1

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

材料の寸法：W(幅)=3.965m, H(高さ)=2.970m

$S(\text{面積})=11.776\text{m}^2$

試験室容積：250,62 m^3

温度：5.2℃

相対湿度：69%

測定機関：財団法人ベターリビング

表4-5 No.2の壁体の残響時間と吸音率

| 中心周波数 | 残響時間(S) | | 吸音率 |
|-------|---------|------|------|
| | 試料有り | 試料なし | |
| 100 | 14.7 | 16.8 | 0.03 |
| 125 | 14.5 | 17.2 | 0.04 |
| 160 | 13.0 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 10.9 | 17.3 | 0.12 |
| 250 | 10.0 | 16.4 | 0.14 |
| 315 | 9.7 | 15.2 | 0.13 |
| 400 | 8.7 | 13.6 | 0.15 |
| 500 | 8.1 | 12.7 | 0.16 |
| 615 | 7.3 | 11.3 | 0.17 |
| 800 | 6.3 | 10.0 | 0.21 |
| 1000 | 4.8 | 8.9 | 0.34 |
| 1250 | 4.8 | 8.0 | 0.29 |
| 1600 | 5.0 | 6.4 | 0.15 |
| 2000 | 4.6 | 5.5 | 0.13 |
| 2500 | 4.2 | 4.7 | 0.09 |
| 3150 | 3.0 | 3.1 | 0.04 |
| 4000 | 2.5 | 2.5 | 0.00 |
| 5000 | 2.2 | 2.3 | 0.07 |

測定日：1994.1.26

試験体：No.2

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

材料の寸法：W(幅)=3.965m, H(高さ)=2.970m

S(面積)=11.776m²

試験室容積：250.62m³

温度：4.6℃

相対湿度：64%

測定機関：財団法人ベターリビング

表4-6 No.3の壁体の残響時間と吸音率

| 中心周波数 | 残響時間(S) | | 吸音率 |
|-------|---------|------|------|
| | 試料有り | 試料なし | |
| 100 | 15.0 | 16.8 | 0.03 |
| 125 | 14.0 | 17.2 | 0.05 |
| 160 | 13.0 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 11.0 | 17.3 | 0.12 |
| 250 | 9.7 | 16.4 | 0.15 |
| 315 | 8.8 | 15.2 | 0.17 |
| 400 | 7.9 | 13.6 | 0.19 |
| 500 | 6.8 | 12.7 | 0.24 |
| 615 | 5.9 | 11.3 | 0.28 |
| 800 | 4.8 | 10.0 | 0.38 |
| 1000 | 3.5 | 8.9 | 0.61 |
| 1250 | 3.4 | 8.0 | 0.59 |
| 1600 | 4.2 | 6.4 | 0.29 |
| 2000 | 4.0 | 5.5 | 0.24 |
| 2500 | 3.6 | 4.7 | 0.23 |
| 3150 | 2.7 | 3.1 | 0.17 |
| 4000 | 2.2 | 2.5 | 0.19 |
| 5000 | 1.9 | 2.3 | 0.32 |

測定日：1994.1.26

試験体：No.3

製造業者：協同組合信州カラマツ工業会

材料の寸法：W(幅)=3.965m, H(高さ)=2.970m

S(面積)=11.776m²

試験室容積：250.62m³

温度：4.6℃

相対湿度：65%

測定機関：財団法人ベターリビング

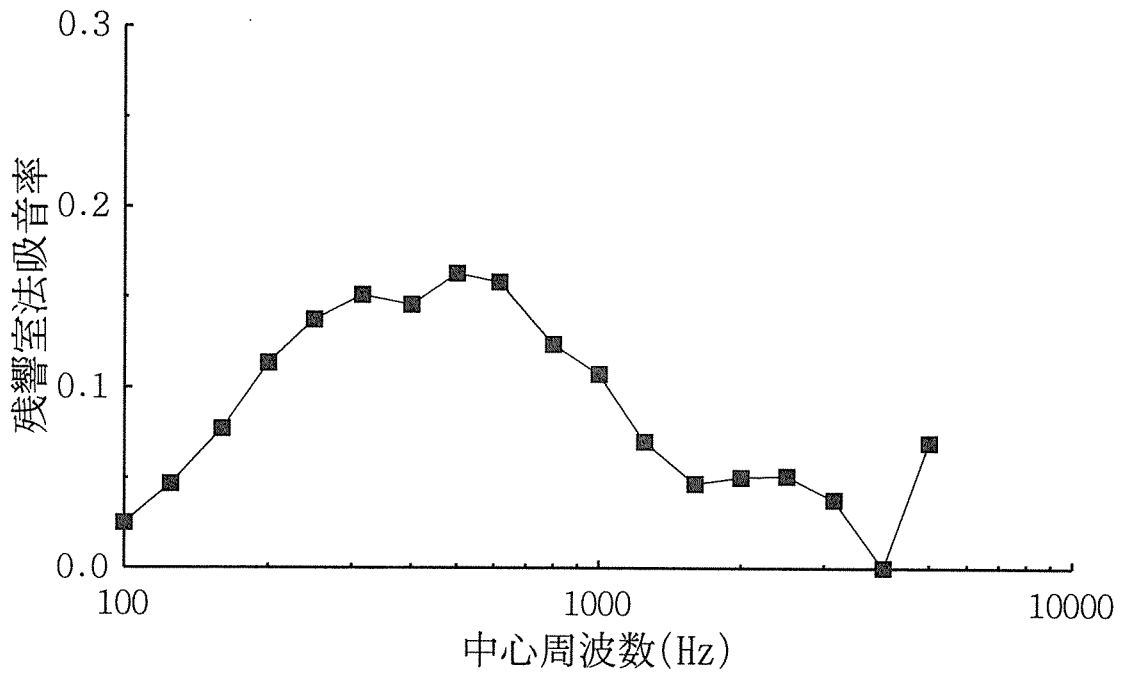


図4-2 No. 1の壁体の残響室法吸音率

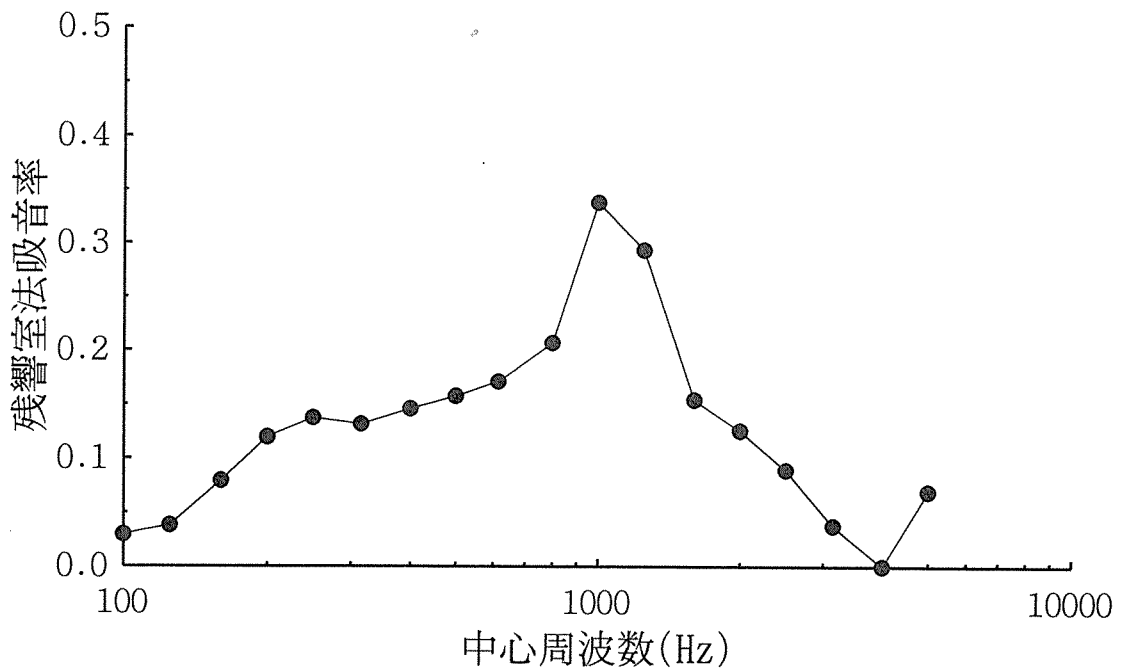


図4-3 No. 2の壁体の残響室法吸音率

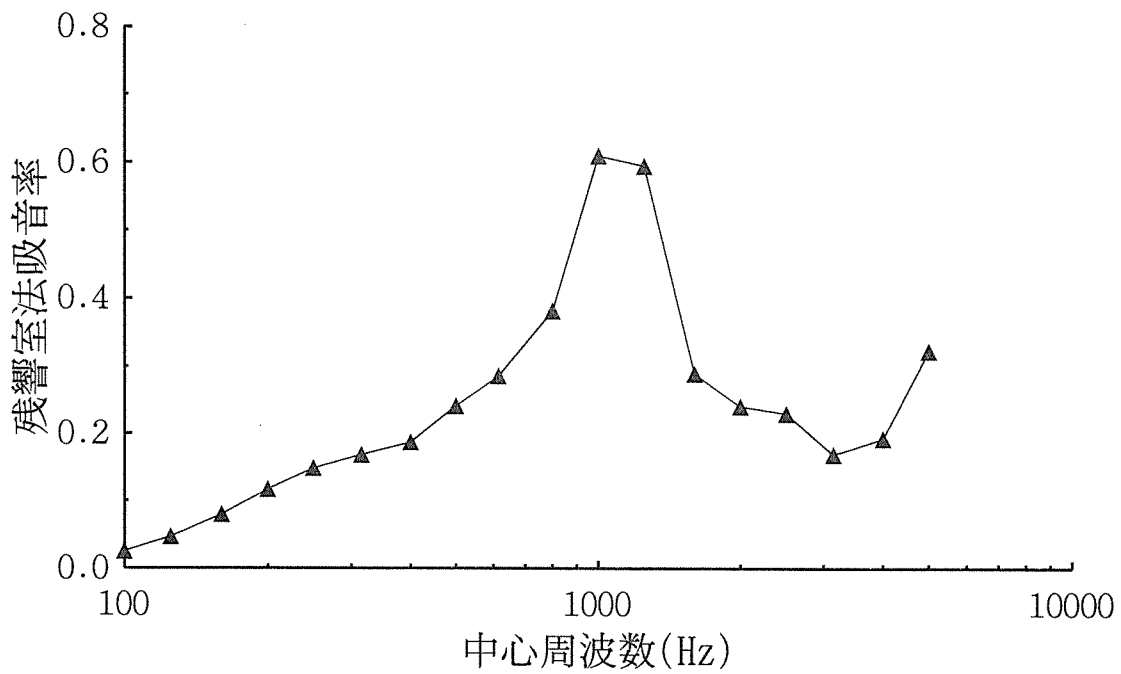


図4-4 No. 3の壁体の残響室法吸音率

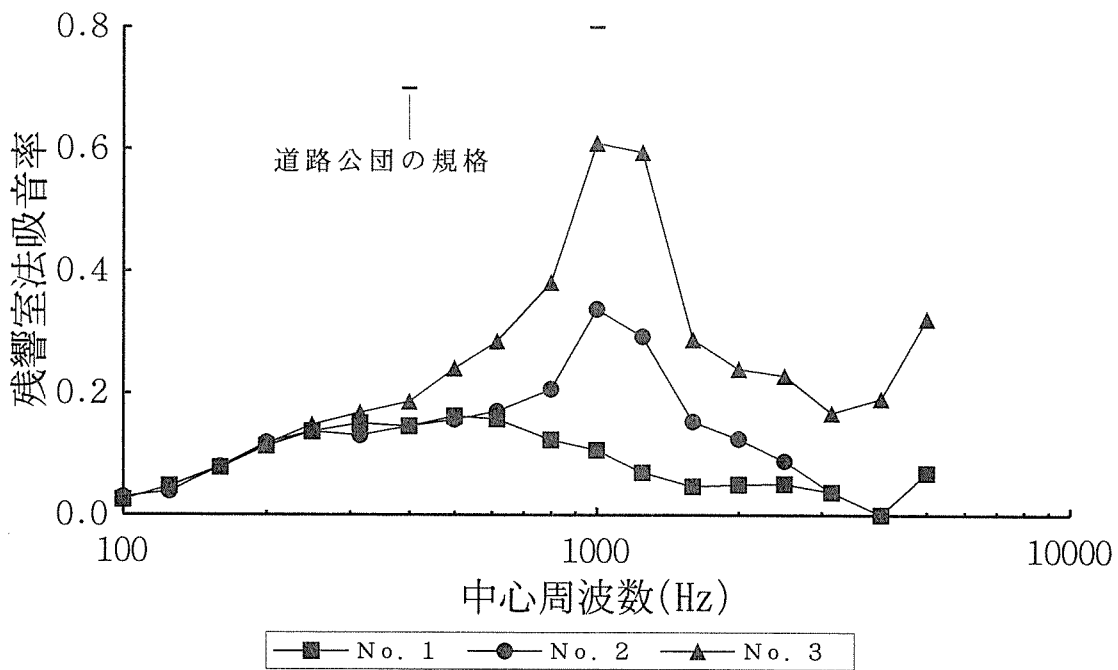


図4-5 試作壁体の残響室法吸音率の比較

5. 考察

5. 1 試作木製遮音壁の透過損失について

図4-1に示すように透過損失に関しては3種類の遮音壁に特に差はなく、いずれも日本道路公団の基準値（400Hzに対して25dB以上、1000Hzに対して30dB以上）を上回る値を持っている。100mm厚さの木材は透過損失に関しては、遮音壁にふさわしい材料とってよい。

5. 2 試作木製遮音壁の吸音率について

溝切り加工や穴明け加工することによって、吸音率は大幅に改善された。

ほとんど表面に加工を施していないNo. 1の壁体は、図4-2に示すように吸音率は最大でも0.2を上回ることはないが、溝加工を施したNo. 2の壁体は図4-3に示すようにNo. 1の吸音率の最大値より倍近くも吸音率が増している。溝がありさらに穴明け加工をしたNo. 3の壁体は図4-4に示すように最大値61%の吸音率を得る。これは、スリット構造にさらに穴あけ構造を施した効果と考えられる。図4-5は全ての壁体の比較をしている。文献によると、スリットパネルを使用した吸音構造は、一般に1000Hz以下に主な吸音領域を持っているとあり、今回はちょうどNo. 2、No. 3とも1000Hz位の吸音領域を持っており、このことを裏付けている。

5. 3 他材料の遮音壁との比較

コンクリート製の遮音壁は反射タイプ遮音壁ともいわれ、吸音性はほとんどなく、遮音機能のみのものである。木製遮音壁は、素材のままでもある程度の吸音力があり、遮音性能は道路公団規格を満足している。軽量で作業性のよいことやデザイン的に優れたものを作ることが出来ることなどから、コンクリート製に比べれば、木製遮音壁は総合的に見て優れているといえよう。

いわゆる吸音タイプのアルミパネルの遮音壁と試作した3つの木製遮音壁との音響性能の比較を、図5-1と図5-2に示す。図5-1は透過損失を比較している。高周波になるほどアルミ製遮音壁の音響透過損失の方が優れているが、低周波ではむしろ木製遮音壁の方が優れた遮音性能を持つ。吸音率では、特に低周波数でその性能に差がある。表面形状を吸音性が高まるようにさらに改良し、構造的にも工夫をこらせば、さらに音響性能に優れた木製遮音壁が実現する可能性がある。

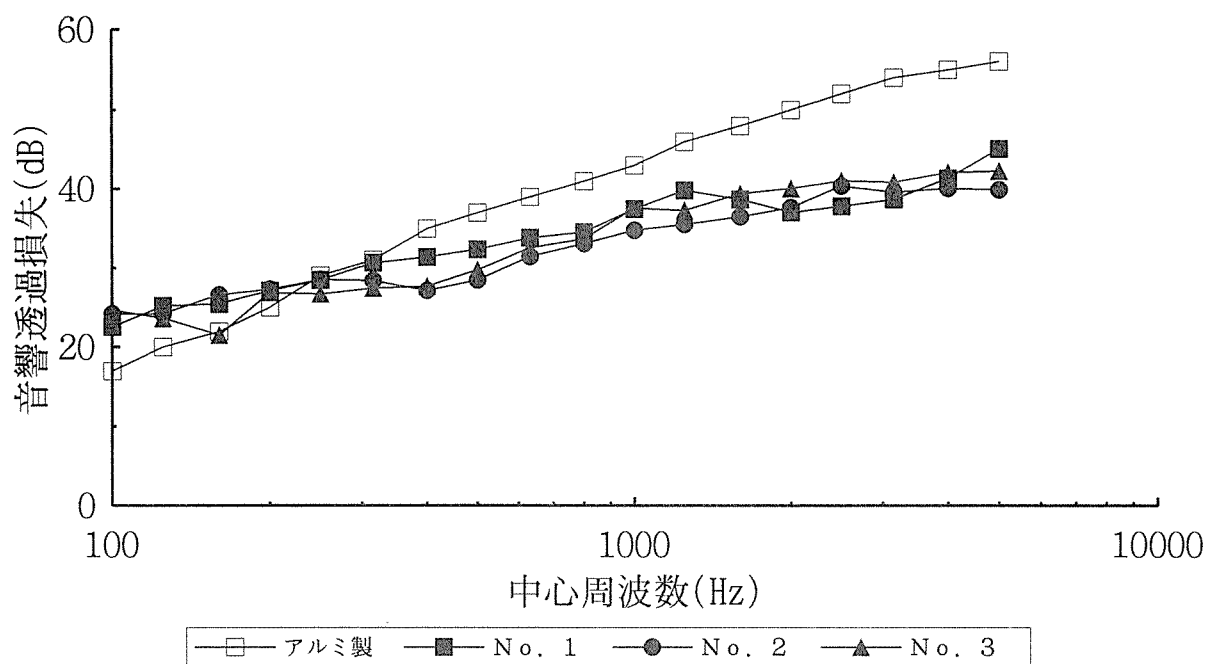


図5-1 アルミ製防音壁と試作木製遮音壁との透過損失の比較

測定日：1976年9月

試験体：アルミ製防音壁

「サイレンスエスKT-100」

製造業者：日鐵建材工業株式会社

温度：23℃

湿度：90%

測定機関：(財)小林理学研究所

試験体周辺：ガラスパテでシール

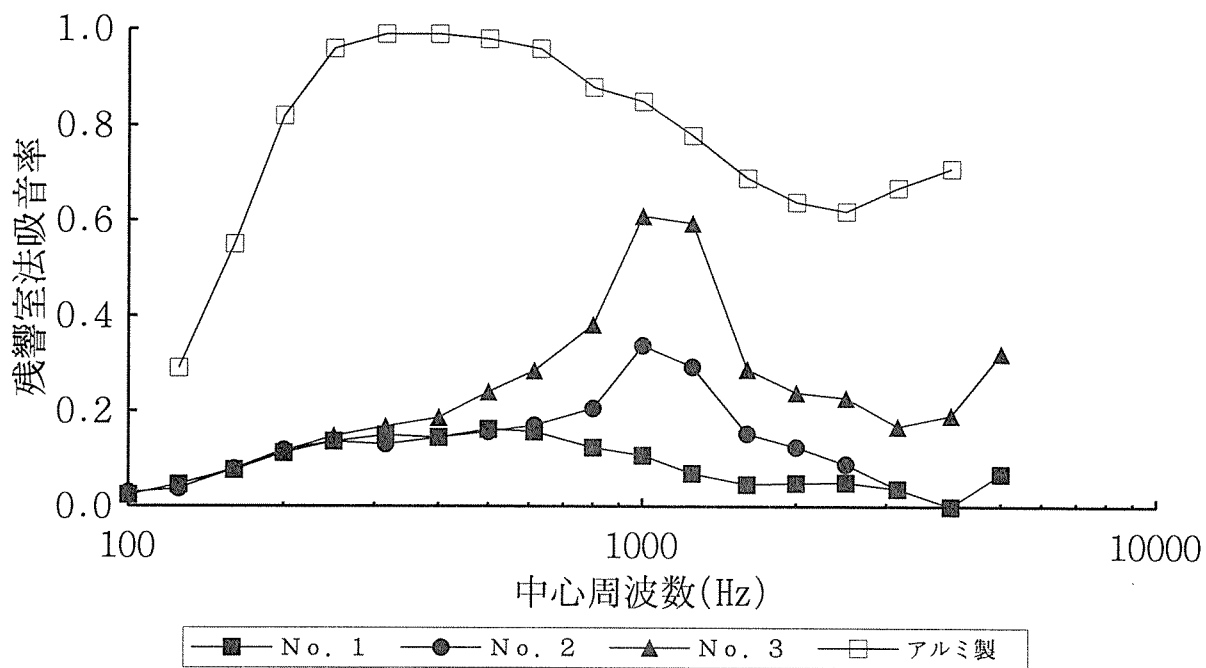


図5-2 アルミ製防音壁と試作木製遮音壁との吸音率の比較

測定日：1976年9月

試験体：防音壁「サイエンスエスKT-100」

製造業者：日鐵建材工業株式会社

試験体面積：10m²

温度：26℃

湿度：90%

測定業者：（財）小林理学研究所

6 . 結 言

試作した木製遮音壁は、遮音性は十分、日本道路公団の基準を満たしており、吸音性については基準には満たないものの、木材表面のままのものよりかなり改善された。

コンクリート製遮音壁と比べると、はるかに高い吸音性能を持ち、アルミ製遮音壁の遮音性と吸音性を兼ね備えた性質に近づいている。木材の比重は、コンクリート、アルミニウムのそれぞれ約1/4～1/5と小さく、木製遮音壁はかなり軽量である。従って、多層道路や橋等のように設置に重量規制が要求されるところには最適な壁体である。

また、木の持つ肌合い、暖かさを大いに生かせる場所として住宅地に近接した道路、景勝地、パーキングエリア等での設置に適していると言える。また、木材はコンクリートやアルミニウムに比べ、現場での加工が容易であり、市街地を走る道路上では周辺の建物に、郊外や山村、リゾート地山あいの景勝地における道路やパーキングエリアでは、その土地に即したデザイン、色調の遮音壁を製作できる。

今後さらに木製遮音壁の表面加工や内部構造に工夫をしたり、他材料との複合化などを行えば、さらに高い吸音性能が得られるものと思われ、日本道路公団の基準値を満足する遮音性を持つ木製遮音壁も可能であると思われる。潤いのある都市づくりや、地域環境に調和する優れたデザインの木製遮音壁の実用化が待たれるところである。

試験成績書

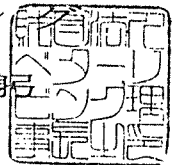
| | | | |
|-----|---------|---|----------------------------|
| 依頼者 | 住 | 所 | 東京都千代田区永田町2-4-3 永田町ビル4F |
| | 社 | 名 | 財団法人 日本住宅・木材技術センター |
| | 依頼者 | | 理事長 下川英雄 |
| | 受託試験の名称 | | 木製遮音パネルの音響透過損失と 吸音率の測定 |

平成6年1月11日付契約した依頼試験について、当財団法人ベターリビング
筑波建築試験センターにおいて試験を実施した結果はつぎのとおりである。

平成 年 月 日

東京都千代田区二番町4番地5 相互二番町ビルディング 3階

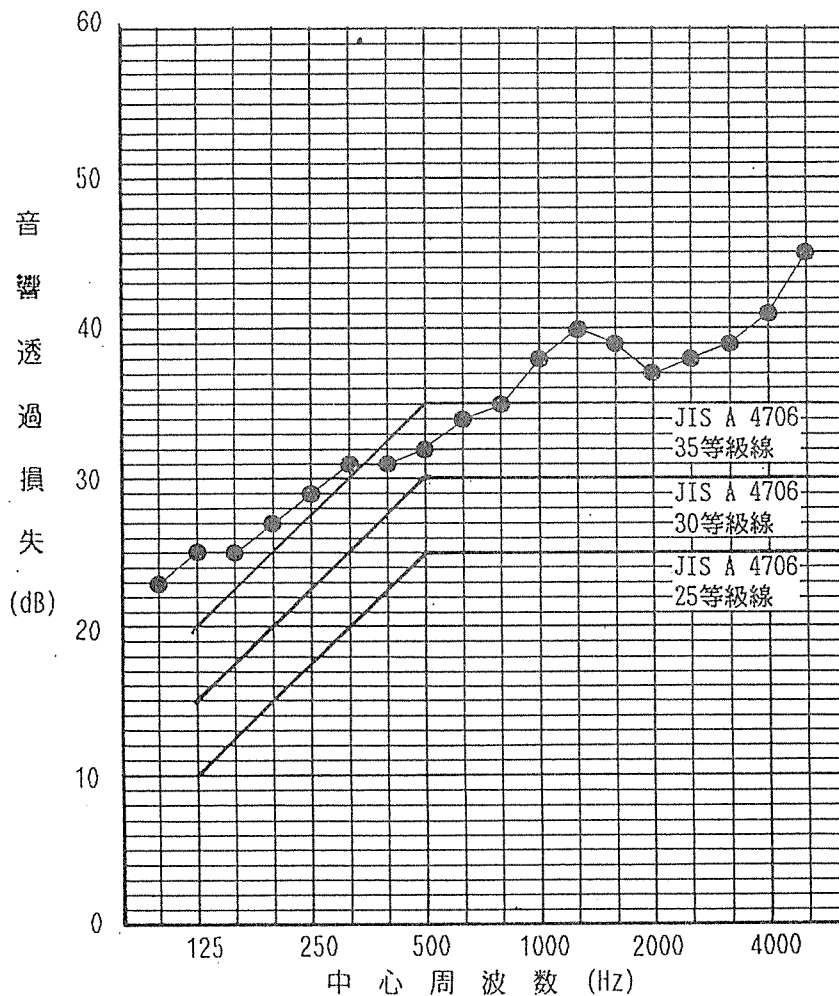
財団法人 ベターリビング
理事長 北 島 照 身



音響透過損失の測定結果

試験体：木製遮音壁 Aタイプ

| 1/3 オクターブ 帯域中心 周波数(Hz) | 平均音圧レベル (dB) | | | 吸音力 補正値 (dB) | 透過損失 (dB) | 1/1 オクターブ 帯域中心周 波数 (Hz) | 透過損失 (dB) |
|------------------------------|--------------|------|------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | 音源側 | 受音側 | レベル差 | | | | |
| 100 | 77.3 | 56.5 | 20.8 | 1.8 | 22.6 | | |
| 125 | 83.2 | 60.4 | 22.8 | 2.4 | 25.2 | 125 | |
| 160 | 84.5 | 61.8 | 22.7 | 2.7 | 25.4 | | |
| 200 | 83.8 | 59.3 | 24.5 | 2.8 | 27.3 | | |
| 250 | 85.3 | 59.5 | 25.8 | 2.7 | 28.5 | 250 | |
| 315 | 91.2 | 62.9 | 28.3 | 2.4 | 30.7 | | |
| 400 | 92.2 | 63.0 | 29.2 | 2.2 | 31.4 | 500 | |
| 500 | 93.2 | 62.8 | 30.4 | 1.9 | 32.3 | | |
| 630 | 94.3 | 62.0 | 32.3 | 1.5 | 33.8 | | |
| 800 | 93.1 | 59.1 | 34.0 | 0.6 | 34.6 | 1000 | |
| 1000 | 94.1 | 56.6 | 37.5 | 0.0 | 37.5 | | |
| 1250 | 93.4 | 53.4 | 40.0 | -0.2 | 39.8 | | |
| 1600 | 92.0 | 52.3 | 39.7 | -1.0 | 38.7 | 2000 | |
| 2000 | 91.1 | 52.4 | 38.7 | -1.7 | 37.0 | | |
| 2500 | 89.8 | 49.7 | 40.1 | -2.3 | 37.8 | | |
| 3150 | 91.0 | 48.2 | 42.8 | -4.1 | 38.7 | 4000 | |
| 4000 | 91.9 | 45.4 | 46.5 | -5.1 | 41.4 | | |
| 5000 | 91.8 | 41.2 | 50.6 | -5.5 | 45.1 | | |

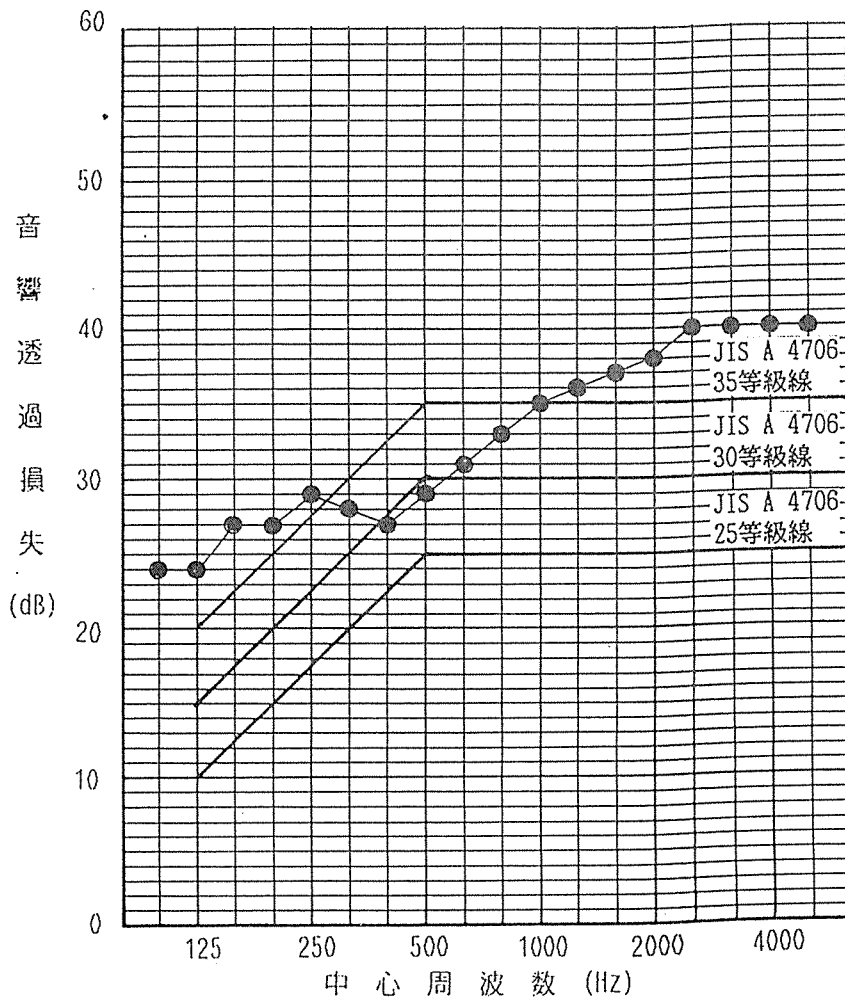


| | | |
|--|------------------------|-------------------------|
| 試年 | 1994年 | |
| 験月 | 1月 | |
| 日 | 23日 | |
| 遮音面寸 | W 1920 mm H 1910 mm | |
| 受音室 | 温度 | 3.2 °C |
| | 湿度 | 63 % |
| 試験体 | 寸法 | W 1980 mm H 1980 mm |
| | 面密度 | 42.71 kg/m ² |
| 既設開口部と試験体の間には、油粘土を充填した。 | | |
| 試験方法：JIS A 1410「実験室における音響透過損失測定法方」に基づく。 | | |
| 左記グラフは、得られた透過損失を四捨五入し、整数で表示した。 (● — ●：図中記号) | | |
| 試験担当者 | | |
| 所長 | 前田 勇 | |
| 副所長 | 斎藤 文春 | |
| 試験部長 | | |
| 第3試験室長 | 清水 則夫 | |

音響透過損失の測定結果

試験体：木製遮音壁 Bタイプ

| 1/3 オクターブ 帯域中心 周波数(Hz) | 平均音圧レベル(dB) | | | 吸音力 補正值 (dB) | 透過損失 (dB) | 1/1 オクターブ 帯域中心周 波数 (Hz) | 透過損失 (dB) |
|------------------------------|-------------|------|------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | 音源側 | 受音側 | レベル差 | | | | |
| 100 | 72.7 | 50.5 | 22.2 | 2.0 | 24.2 | | |
| 125 | 75.6 | 53.8 | 21.8 | 2.4 | 24.2 | 125 | |
| 160 | 76.2 | 52.3 | 23.9 | 2.7 | 26.6 | | |
| 200 | 74.4 | 49.9 | 24.5 | 2.8 | 27.3 | | |
| 250 | 77.7 | 51.8 | 25.9 | 2.6 | 28.5 | 250 | |
| 315 | 82.5 | 56.4 | 26.1 | 2.3 | 28.4 | | |
| 400 | 79.8 | 54.5 | 25.3 | 1.8 | 27.1 | | |
| 500 | 82.6 | 55.8 | 26.8 | 1.7 | 28.5 | 500 | |
| 630 | 89.3 | 59.1 | 30.2 | 1.2 | 31.4 | | |
| 800 | 90.6 | 58.1 | 32.5 | 0.6 | 33.1 | | |
| 1000 | 91.9 | 57.1 | 34.8 | 0.0 | 34.8 | 1000 | |
| 1250 | 92.6 | 56.8 | 35.8 | -0.3 | 35.5 | | |
| 1600 | 91.7 | 54.2 | 37.5 | -1.0 | 36.5 | | |
| 2000 | 91.0 | 51.7 | 39.3 | -1.7 | 37.6 | 2000 | |
| 2500 | 90.1 | 47.5 | 42.6 | -2.2 | 40.4 | | |
| 3150 | 91.2 | 47.5 | 43.7 | -4.1 | 39.6 | | |
| 4000 | 92.3 | 47.1 | 45.2 | -5.1 | 40.1 | 4000 | |
| 5000 | 92.2 | 46.5 | 45.7 | -5.8 | 39.9 | | |

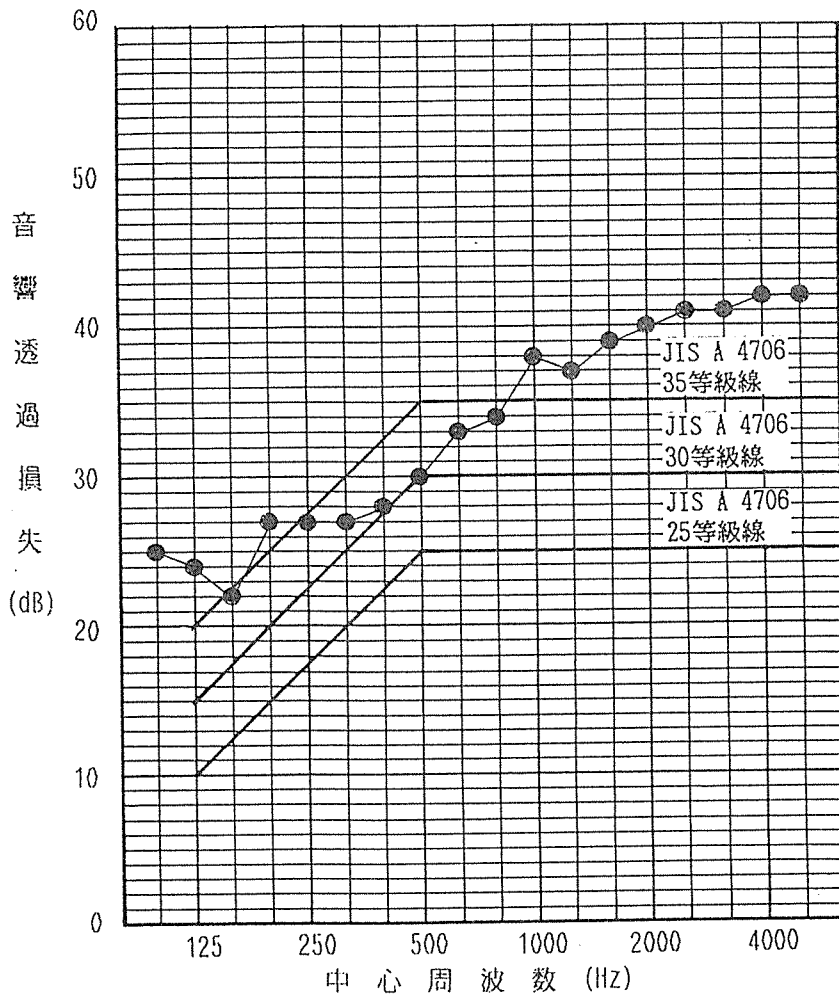


| | | | |
|-------------|--|--------|-------------------------|
| 試年 | 1994 | 験日 | 1994年 |
| 月 | 1 | 月 | 1月24日 |
| 日 | 24 | 日 | |
| 遮音面 寸法 | W 1920 mm H 1910 mm | 温度 | 3.2 °C |
| 受音室 | | 湿度 | 63 % |
| 試 験 体 | 寸法 W 1980 mm H 1980 mm | 面密度 | 43.29 kg/m ² |
| | 既設開口部と試験体の間には、油粘土を充填した。 | | |
| | 試験方法：JIS A 1410 「実験室における音響透過損失測定方法」に基づく。 | | |
| | 左記グラフは、得られた透過損失を四捨五入し、整数で表示した。 (● — ●：図中記号) | | |
| | 試験担当者 | | |
| 所長 | 前田 勇 | 副所長 | 斎藤 文春 |
| 試験部長 | 清水 則夫 | 第3試験室長 | 清水 則夫 |

音響透過損失の測定結果

試験体：木製遮音壁 Cタイプ

| 1/3 オクターブ 帯域中心 周波数(Hz) | 平均音圧レベル (dB) | | | 吸音力 補正値 (dB) | 透過損失 (dB) | 1/1 オクターブ 帯域中心周 波数 (Hz) | 透過損失 (dB) |
|------------------------------|--------------|------|------|--------------------|--------------|-------------------------------|--------------|
| | 音源側 | 受音側 | レベル差 | | | | |
| 100 | 72.7 | 49.8 | 22.9 | 1.8 | 24.7 | | |
| 125 | 75.3 | 54.1 | 21.2 | 2.5 | 23.7 | 125 | |
| 160 | 76.1 | 57.2 | 18.9 | 2.6 | 21.5 | | |
| 200 | 74.2 | 50.1 | 24.1 | 2.8 | 26.9 | | |
| 250 | 77.0 | 52.8 | 24.2 | 2.5 | 26.7 | 250 | |
| 315 | 81.9 | 56.8 | 25.1 | 2.3 | 27.4 | | |
| 400 | 79.3 | 53.6 | 25.7 | 2.0 | 27.7 | | |
| 500 | 82.0 | 53.9 | 28.1 | 1.7 | 29.8 | 500 | |
| 630 | 88.4 | 57.2 | 31.2 | 1.3 | 32.5 | | |
| 800 | 89.7 | 56.4 | 33.3 | 0.4 | 33.7 | | |
| 1000 | 90.6 | 52.9 | 37.7 | -0.1 | 37.6 | 1000 | |
| 1250 | 91.7 | 54.0 | 37.7 | -0.4 | 37.3 | | |
| 1600 | 91.1 | 50.6 | 40.5 | -1.1 | 39.4 | | |
| 2000 | 90.3 | 48.4 | 41.9 | -1.8 | 40.1 | 2000 | |
| 2500 | 89.2 | 45.8 | 43.4 | -2.3 | 41.1 | | |
| 3150 | 90.5 | 45.3 | 45.2 | -4.3 | 40.9 | | |
| 4000 | 91.7 | 44.4 | 47.3 | -5.2 | 42.1 | 4000 | |
| 5000 | 91.5 | 43.4 | 48.1 | -5.9 | 42.2 | | |

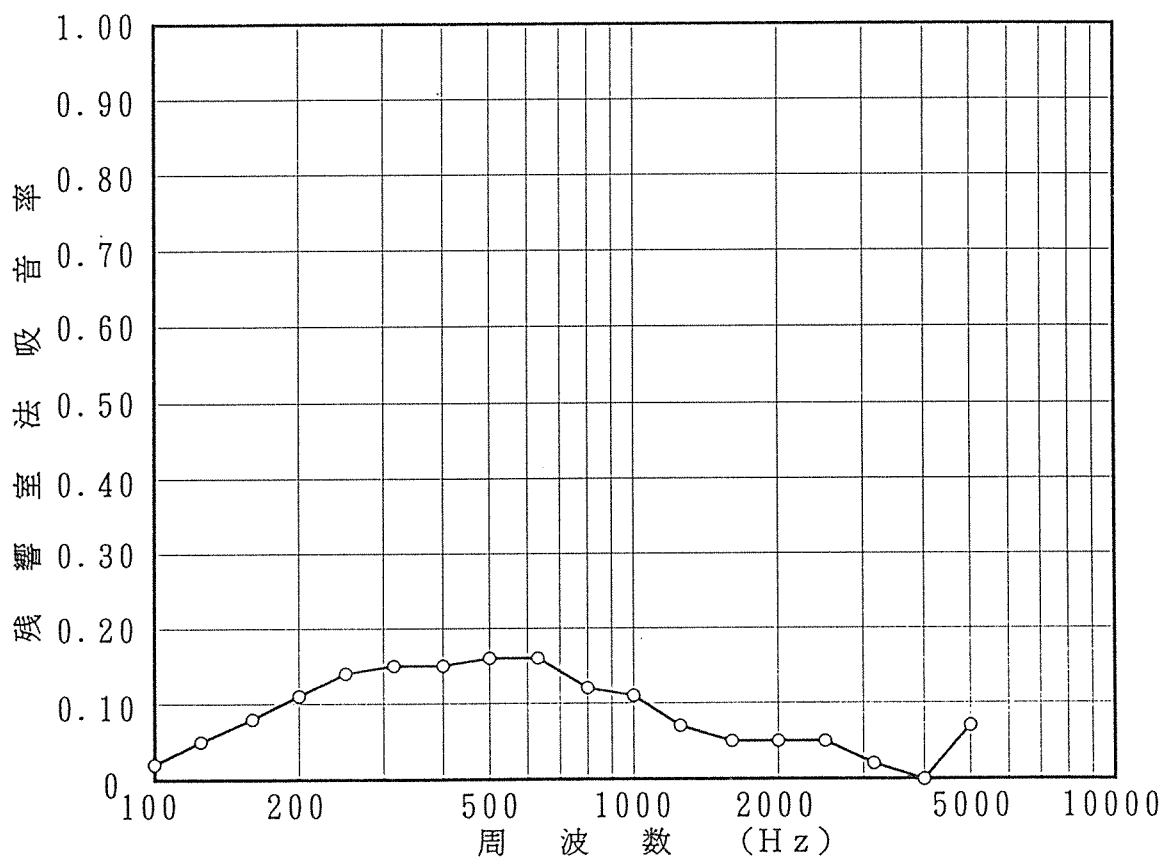


| | | |
|--|------------------------|-------------------------|
| 試年 | 1994年 | |
| 月 | 1月 | |
| 験日 | 24日 | |
| 遮音面 寸法 | W 1920 mm H 1910 mm | |
| 受音室 | 温度 | 3.8 °C |
| | 湿度 | 56 % |
| 試験 体 | 寸法 | W 1980 mm H 1980 mm |
| | 面密度 | 39.10 kg/m ² |
| 既設開口部と試験体の間には、油粘土を充填した。 | | |
| 試験方法：JIS A 1410 「実験室における音響透過損失測定法方」に基づく。 | | |
| 左記グラフは、得られた透過損失を四捨五入し、整数で表示した。 (● — ● : 図中記号) | | |
| 試験担当者 | | |
| 所長 | 前田 勇 | |
| 副所長 | 齋藤 文春 | |
| 試験部長 | 清水 則夫 | |
| 第3試験室長 | 清水 則夫 | |

吸音率の測定結果

| | | | |
|-------------|---------------------------------|--|-----|
| 試 験 体 | 木製遮音壁 Aタイプ | | |
| 試 験 年 月 日 | 1994 年 1 月 26 日 | | |
| 温 湿 度 | 5.2 °C、69 % | | |
| 試 験 体 | 試料の規格 | 別図に示す | |
| | 試料の寸法 ・ 面積 | W 3.965 m、H 2.970 m A 11.776 m ² | |
| | そ の 他 | 試験体は残響室の床面に設置した。今回の測定結果は試料の厚みからの吸音を含んだ吸音率である。 | |
| 試 験 方 法 | JIS A 1409「残響室法吸音率吸音率の測定方法」に基づく | | |
| 試 験 担 当 者 | | | |
| | 所 長 | 前 田 | 勇 |
| | 副 所 長 | 齋 藤 | 文 春 |
| | 試 験 部 長 | 清 水 | 則 夫 |
| | 第 3 試 験 室 長 | | |

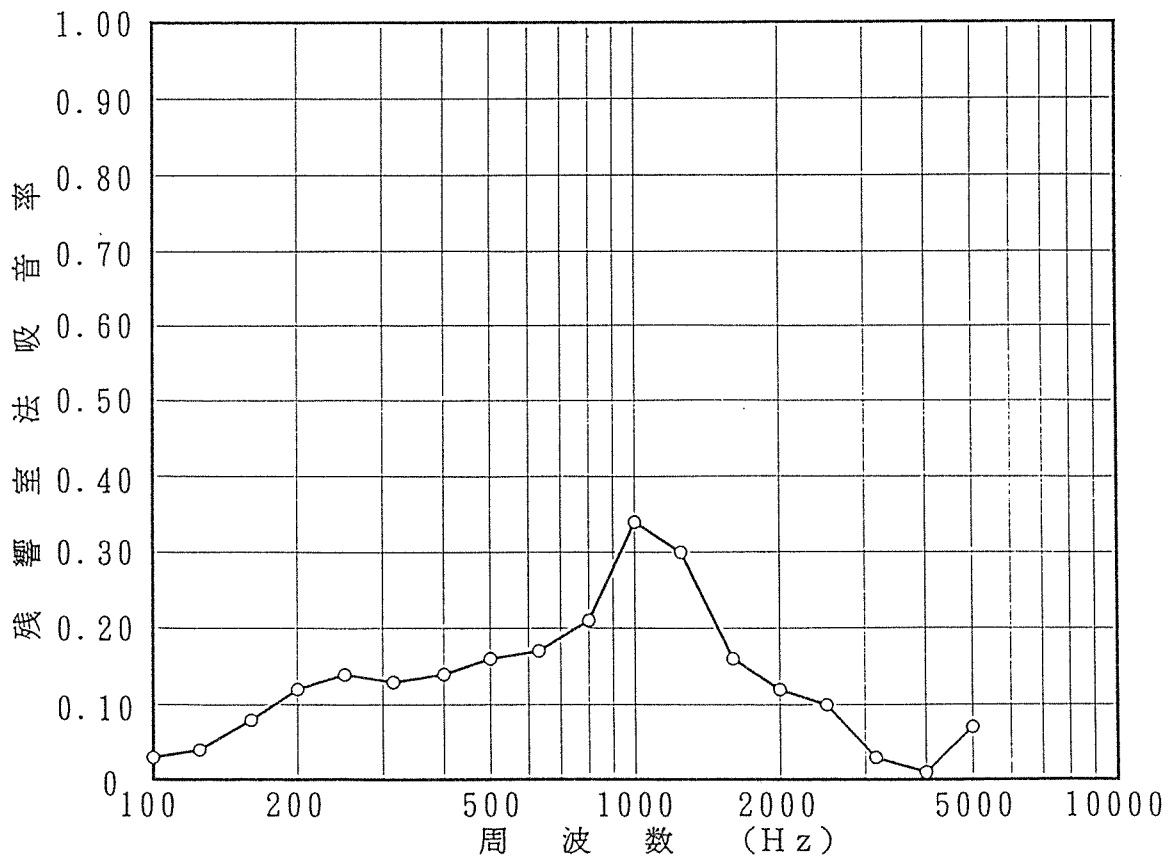
| 1/3 オクターブ 帯域中心 周波数(Hz) | 残響時間 (秒) | | |
|------------------------------|----------|-------|-------|
| | 試 料 有 | 試 料 無 | 吸 音 率 |
| 100 | 15.0 | 16.8 | 0.02 |
| 125 | 14.0 | 17.2 | 0.05 |
| 160 | 13.1 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 11.1 | 17.3 | 0.11 |
| 250 | 10.0 | 16.4 | 0.14 |
| 315 | 9.2 | 15.2 | 0.15 |
| 400 | 8.7 | 13.6 | 0.15 |
| 500 | 8.0 | 12.7 | 0.16 |
| 630 | 7.5 | 11.3 | 0.16 |
| 800 | 7.4 | 10.0 | 0.12 |
| 1000 | 7.0 | 8.9 | 0.11 |
| 1250 | 6.9 | 8.0 | 0.07 |
| 1600 | 5.9 | 6.4 | 0.05 |
| 2000 | 5.1 | 5.5 | 0.05 |
| 2500 | 4.4 | 4.7 | 0.05 |
| 3150 | 3.0 | 3.1 | 0.02 |
| 4000 | 2.5 | 2.5 | 0.00 |
| 5000 | 2.2 | 2.3 | 0.07 |



吸音率の測定結果

| | | | |
|-------------|---------------------------------|--|-----|
| 試 験 体 | 木製遮音壁 Bタイプ | | |
| 試験年月日 | 1994年 1月 26日 | | |
| 温 湿 度 | 4.6 °C、 64 % | | |
| 試 験 体 | 試料の規格 | 別図に示す | |
| | 試料の寸法 ・ 面積 | W 3.965 m、H 2.970 m A 11.776 m ² | |
| | そ の 他 | 試験体は残響室の床面に設置した。今回の測定結果は試料の厚みからの吸音を含んだ吸音率である。 | |
| 試 験 方 法 | JIS A 1409「残響室法吸音率吸音率の測定方法」に基づく | | |
| 試 験 担 当 者 | | | |
| | 所 長 | 前 田 | 勇 |
| | 副 所 長 | 齋 藤 | 文 春 |
| | 試 験 部 長 | 清 水 | 則 夫 |
| | 第 3 試 験 室 長 | | |

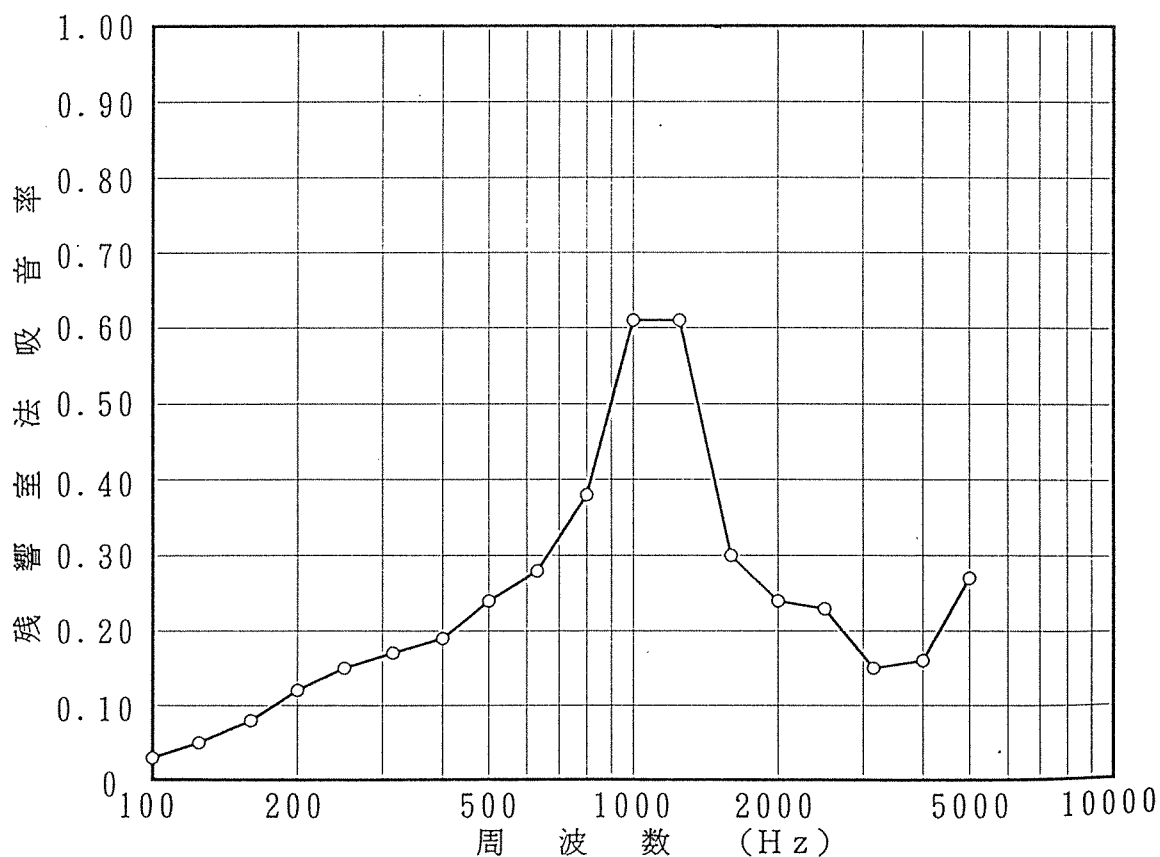
| 1/3 オクターブ帯域中心周波数(Hz) | 残響時間 (秒) | | 吸音率 |
|----------------------|----------|------|------|
| | 試料有 | 試料無 | |
| 100 | 14.7 | 16.8 | 0.03 |
| 125 | 14.5 | 17.2 | 0.04 |
| 160 | 13.0 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 10.9 | 17.3 | 0.12 |
| 250 | 10.0 | 16.4 | 0.14 |
| 315 | 9.7 | 15.2 | 0.13 |
| 400 | 8.7 | 13.6 | 0.14 |
| 500 | 8.1 | 12.7 | 0.16 |
| 630 | 7.3 | 11.3 | 0.17 |
| 800 | 6.3 | 10.0 | 0.21 |
| 1000 | 4.8 | 8.9 | 0.34 |
| 1250 | 4.8 | 8.0 | 0.30 |
| 1600 | 5.0 | 6.4 | 0.16 |
| 2000 | 4.6 | 5.5 | 0.12 |
| 2500 | 4.2 | 4.7 | 0.10 |
| 3150 | 3.0 | 3.1 | 0.03 |
| 4000 | 2.5 | 2.5 | 0.01 |
| 5000 | 2.2 | 2.3 | 0.07 |



吸音率の測定結果

| | | | |
|-------------|---------------------------------|--|--|
| 試 験 体 | 木製遮音壁 Cタイプ | | |
| 試験年月日 | 1994年 1月 26日 | | |
| 温 湿 度 | 4.6 °C、 65 % | | |
| 試 験 体 | 試料の規格 | 別図に示す | |
| | 試料の寸法 ・ 面積 | W 3.965 m、H 2.970 m A 11.776 m ² | |
| | そ の 他 | 試験体は残響室の床面に設置した。今回の測定結果は試料の厚みからの吸音を含んだ吸音率である。 | |
| 試験方法 | JIS A 1409「残響室法吸音率吸音率の測定方法」に基づく | | |
| 試験担当者 | | | |
| 所 長 | 前 田 | 勇 | |
| 副 所 長 | 斎 藤 | 文 春 | |
| 試 験 部 長 | 清 水 | 則 夫 | |
| 第 3 試 験 室 長 | | | |

| 1/3 オクターブ 帯域中心 周波数(Hz) | 残響時間 (秒) | | |
|------------------------------|----------|------|------|
| | 試料有 | 試料無 | 吸音率 |
| 100 | 15.0 | 16.8 | 0.03 |
| 125 | 14.0 | 17.2 | 0.05 |
| 160 | 13.0 | 18.4 | 0.08 |
| 200 | 11.0 | 17.3 | 0.12 |
| 250 | 9.7 | 16.4 | 0.15 |
| 315 | 8.8 | 15.2 | 0.17 |
| 400 | 7.9 | 13.6 | 0.19 |
| 500 | 6.8 | 12.7 | 0.24 |
| 630 | 5.9 | 11.3 | 0.28 |
| 800 | 4.8 | 10.0 | 0.38 |
| 1000 | 3.5 | 8.9 | 0.61 |
| 1250 | 3.4 | 8.0 | 0.61 |
| 1600 | 4.2 | 6.4 | 0.30 |
| 2000 | 4.0 | 5.5 | 0.24 |
| 2500 | 3.6 | 4.7 | 0.23 |
| 3150 | 2.7 | 3.1 | 0.15 |
| 4000 | 2.2 | 2.5 | 0.16 |
| 5000 | 1.9 | 2.3 | 0.27 |



第2章 木製水槽の水質

1. はじめに

高置水槽や受水層として木槽を使用する場合、木槽には耐久性とともに水質の善し悪しが最も重要な問題となる。ここでは木槽の水質に関して行った実験と実験結果について報告する。

2. 水質に関する実験方法

2.1 測定項目

現在、水道により供給される水の水質は、飲料水の水質基準に関する法令で規定され、その規定は多くの項目に及んでいるが、ここでは地方公共団体などにより水道水として供給される水を一時貯水する事を想定して、以下の項目について測定を行った。

水質測定項目

① 濁度， ② 色度， ③ 水素イオン濃度， ④ 全硬度，
⑤ 過マンガン酸カリウム消費量， ⑥ 硝酸性窒素， ⑦ 亜硝酸性窒素
⑧ 塩化物， ⑨ 残留塩素， ⑩ シアン， ⑪ 6価クロム， ⑫ 鉄
⑬ 銅， ⑭ 亜鉛， ⑮ 一般細菌， ⑯ 大腸菌， ⑰ 味， ⑱ 臭気

2.2 木槽について

水槽は、株式会社ウッドワーク（大阪府堺市）で製作されたもので、大きさ等は次表の通りである。

水槽の大きさ等

上部外径：34.5cm， 下部外径：32.5cm， 外側高さ：34.2cm
内側高さ：31.3cm， 側板は柾目木取りで板厚：1.7cm，
タガ：巾2cm， 厚さ1mmの鋼性， 2カ所を締める。
蓋：直径38.5cmで取っ手付き， 板厚：1.7cm

また、木槽は4種類作り、その材質は下記の通りであり、いずれも心材を用いた。

木槽材料

-
- ①スギ (*Cryptomeria japonica*),
 - ②ヒノキ (*Chamaecyparis obtusa*),
 - ③ベイマツ (*Pseudotsuga menziesii*),
 - ④ベイヒバ (*Chamaecyparis nootkatensis*)
-

2.3 各項目の測定方法

東京都府中市より東京農工大学農学部内林産加工場に供給される飲料水を試料とした。この試料水を4種の木槽に18ℓ入れ、1昼夜貯水した。次いで、その一部を採取し、湯煎で水温を30℃とした後、各項目の測定を行った。第1回目の測定終了後、再び試料水を木槽に入れ1昼夜貯水し、2回目の分析を行った。この1日貯水と分析は、その後も繰り返して実施した。

(1) 過マンガン酸カリウム消費量

試料水 100mlをあらかじめ数個の沸騰石を入れた三角フラスコに採り、硫酸溶液(注1) 5mlと0.01N過マンガン酸カリウム溶液10mlとを加え、5分間煮沸した後、0.01Nシュウ酸ナトリウム溶液10mlを加えて脱色を確認する。その後、直ちに0.01N過マンガン酸カリウムを用いて微紅色が消えずに残るまで滴定し、前後に要した過マンガン酸カリウム溶液のml数 a から次式により試料水に含まれる過マンガン酸カリウム消費量 (mg/ℓ) を算出する。

$$\text{過マンガン酸カリウム消費量 (mg/ℓ)} = (a \times f - 10) \times (1000/100) \times 0.316$$

ここで f は過マンガン酸カリウムの力価(注2)を表す。

(注1) 蒸留水 200mlに硫酸 100mlを徐々に加え、水浴上で加温しながら過マンガン酸カリウム溶液(0.5W/V%)を過マンガン酸カリウムの微紅色が消えずに残るまで加える。

(注2) 力価の求め方：蒸留水 100mlをあらかじめ数個の沸騰石を入れた三角フラスコに採り、硫酸溶液(注1) 5mlと0.01N過マンガン酸カリウム溶液10

mlとを加え、5分間煮沸した後、0.01Nシュウ酸ナトリウム溶液10mlを加えて脱色を確認する。その後、直ちに0.01N過マンガン酸カリウムを用いて微紅色が消えずに残るまで滴加する。次ぎにこれに硫酸溶液（注1）5mlと0.01N過マンガン酸カリウム溶液10mlとを加え、5分間煮沸した後、0.01Nシュウ酸ナトリウム溶液10mlを加えて、直ちに0.01N過マンガン酸カリウムを用いて微紅色が消えずに残るまで滴定し、これに要した過マンガン酸カリウム溶液のml数bから次式により力価を算出する。

$$f = 10 / (b + 5.0)$$

(2) 残留塩素

ここでは0-トリジン亜ヒ酸法（日本分析化学会北海道支部編：新版水の分析，化学同人，1973，P.330-332）を用いた。100ml比色管に0-トリジン溶液（注3）5mlをとり、次いで試料水95mlを加えて混ぜる。5分後に塩素標準比色液と比較して残留塩素のmg/lを求め、この値をAとする。

別の比色管に試料水95mlをとり、0.5%NaAsO₂溶液1mlを加えてよく混ぜ、次いで0-トリジン溶液（注3）5mlを加え、よく混ぜてこの溶液の呈色を対応する残留塩素のmg/lとして求める。この値をBとする。

試料水の残留は次式にて求める。

$$\text{残留塩素 (mg/l)} = A - B$$

（注3）0-トリジン二塩酸塩 [(CH₃C₆H₃·NH₂)₂·2HCl] 1.35gを水500mlに溶かす。この溶液を(3+7)塩酸500ml中にかき混ぜながら加える。この溶液を褐色ビンに入れて冷暗所に保存して使用する。

(3) 水素イオン濃度(pH)

ガラス電極式水素イオン濃度計にて測定した。

(4) 一般細菌

試料水1mlを殺菌済みペトリ皿に入れる。これにあらかじめ加熱溶解させておいた約45℃の高圧蒸気殺菌済み寒天培養基（注4）を15ml加えて十分に混合し、培養基が固化したら37℃の孵卵器内で24時間培養する。培養後、生ずるコ

ロニー数を数えて細菌数とする。なお、ペトリ皿は1試料水に対して3枚以上を用いて結果はそれらの平均値とした。

(注4) 培養基組成：ペプトン5g，粉末酵母エキス2.5g，ブドウ糖1g，寒天粉末15gを水1ℓに溶解し，pHを7.0に調節した後，121℃で15分間高圧蒸気殺菌する。

(5) 大腸菌群

普通大腸菌群の試験は，推定試験，確定試験，完全試験の3段階に分けて実施する。しかしここで用いた試料水は府中市が飲料用に供給するものであり，当然ながら大腸菌は存在しない。そこで，ここでは推定試験のみ実施した。その方法は下記の通りである。

試料水50mlを3倍濃厚乳糖ブイヨン培養基(注5)を入れた発酵管に加え，37℃の孵卵器で約48時間培養し，ガスの発生を調べた。この際，ガスの発生が認められないものが大腸菌群陰性である。

(注5) 培養基組成：肉エキス9g，ペプトン30g，乳糖15gを蒸留水1ℓに溶解し，pHを7に調整した後，ブロムチモールブルー溶液(0.2W/V%)12mlを加え，ダーラム発酵管に約10mlずつ入れ，121℃で15分間高圧蒸気殺菌する。これを冷却させて用いる。

(6) その他

全硬度，硝酸性窒素，亜硝酸性窒素，塩化物，シアン，6価クロム，鉄，銅，亜鉛の測定は，株式会社共立理化学研究所製飲料水検査用パックテストを利用して行った。

濁度，色度は同じく理化学研究所製飲料水検査用比色管テストにて測定した。

臭気および味については，数名の協力を得て，測定した。

3. 結果

木製水槽を普及する上で，水質に関する科学的データがほとんど無いことが一つの障害となっている。保健所等へ木製水槽の安全性を説明するのに，昔

から使われ問題を起こしたことはない，等の感覚的説明では説得力に欠け，化学分析に基づくデータが必要である。そこで，木製水槽の水質に関するデータを得る為に実験を行った。

3.1 過マンガン酸カリウム消費量

木槽の使用を考える場合，入水は公的な水道であり，水質規定に合っていることは言うまでもない。従って調べねばならないのは，水槽に一定時間滞留後，水質がどのように変化するかである。そこで重要になるのは木材が水に接することによる水質の変化であり，この原因になる木材の水可溶性成分である。水可溶性成分の量は樹種や個体によって異なるが，主要な樹種についてはおおよそ表-1のとおりである。

主要木材の水可溶性成分量(%)

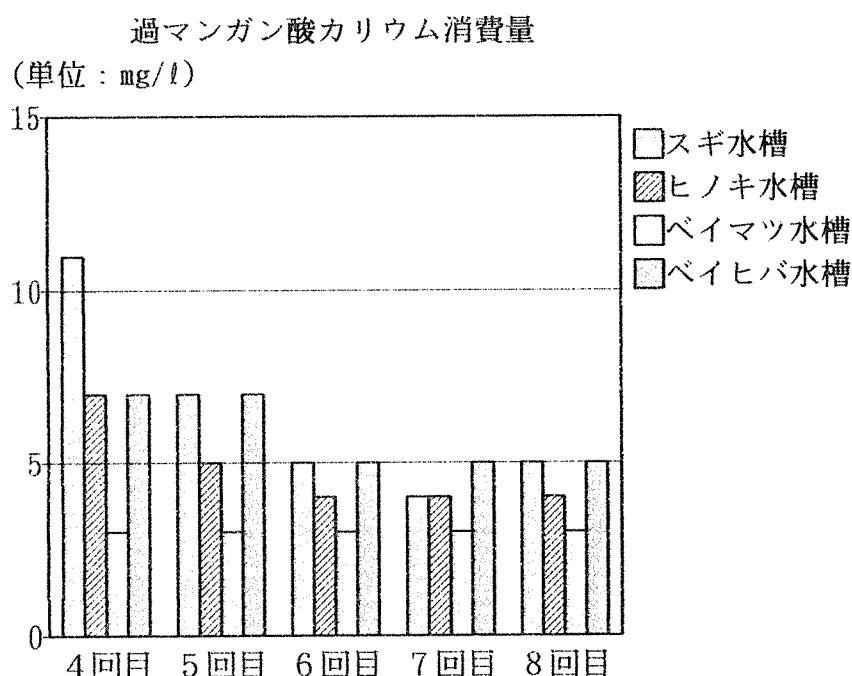
| 樹種 | 冷水抽出物 | 温水抽出物 |
|------|-----------|-----------|
| アカマツ | 0.5-0.9 % | 1.6-3.6 % |
| スギ | 1.0-2.8 | 1.3-3.0 |
| ヒノキ | 1.1-3.5 | 2.1-4.8 |
| エゾマツ | 1.1-3.9 | 1.8-5.5 |
| モミ | 2.1 | 1.0-3.0 |
| カラマツ | 2.1-11.2 | 3.9-20.1 |
| ブナ | 0.6-3.0 | 1.5-3.6 |
| ナラ | 2.1-5.0 | 3.3-8.0 |

(中野準三他：木材化学，ユニ出版，p. 11，1983 より)

これらの水可溶性成分を質的に見ると，遊離の単糖類やオリゴ糖類，ペクチン，澱粉，カラマツ材に特異的なアラビノガラクトン等の多糖類，配糖体，環状の糖アルコール，有機酸，タンパク，アルカロイド等である。これら木材の水可溶性成分は，滞留時間の経過とともに水槽中の水に溶け出てくることが予想される。しかし，個々の成分を個別に分析することは繁雑で時間のかかる作業を必要とする。そこでこれらの成分を総体として分析する化学的酸素消費量(COD)の測定を行うことが能率的である。ここでは，水道法規定の過マンガ

ン酸カリウム消費量を測定する方法を用いた。

試料水の貯水前測定値は1 - 8回の測定で0 - 3 mg/lであった。これを水槽で24時間貯水すると、各水槽では1回目の貯水で17-20mg/lの過マンガン酸カリウム消費量となる。その後数回の貯水を経て測定値は安定する。その際の測定結果を次図に示す。



水道法によると、飲料水の過マンガン酸カリウム消費量は10mg/l以下であることが規定されている。したがって、実験結果から木槽で貯水した水は、過マンガン酸カリウム消費量については飲料水としての規定に十分合格する。

3.2 残留塩素

水道水には細菌、特に病原菌類を殺菌するために塩素消毒がなされている。

貯水前の試料水は $0.5-0.2\text{mg}/\ell$ の残留塩素を含んでいた。これをガラス製ビーカーにて1昼夜貯水すると $0.3-0.2\text{mg}/\ell$ に減少する。一方、各種木槽に貯水した場合、 $0.1-0.2\text{mg}/\ell$ となり、ガラス容器に比べて、木槽では残留塩素をやや多く消費するものと考えられる。

なお、水道法による残留塩素の規定値は $0.1\text{mg}/\ell$ 以上である。したがって、木槽はこの点についても問題を生じない。

3.3 一般細菌と大腸菌群

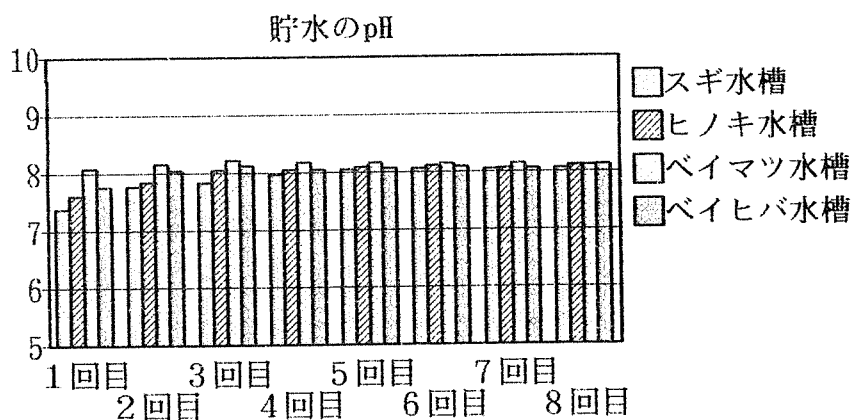
木槽内に水が滞留する間に、水可溶性成分を栄養源として微生物が繁殖する可能性がある。そこで一般細菌の数の測定を行うとともに、大腸菌群の測定をも行った。

試料水は、当然ながら 1-8回の測定でいずれも一般細菌と大腸菌群を全く含まなかった。各木槽に24時間貯水した水についても、これら一般細菌と大腸菌群を検出することはなかった。したがって、一般細菌と大腸菌群についても木槽は十分飲料水用として用いることが可能である。

なお、水道法では一般細菌が1 ml中100個以内、大腸菌群が検出されないことと規定されている。

3.4 水素イオン濃度(pH)

試料水のpHはおよそ8.31から8.34の範囲にあった。水道法によると5.8-8.6が基準である。この試料水を木槽に貯水した結果を次図に示す。結果は木槽で問題を生じない事を示す。



3.5 全硬度

全硬度とは、水中に存在するカルシウムイオンおよびマグネシウムイオンの合計量を、これらに対応する炭酸カルシウムCaCO₃のppm(mg/ℓ)で表示したものである。水道法による基準値は300mg以下となっている。

ここで用いた府中市の水道水は190から195mg/ℓの全硬度を有し、やや硬水に区分される。この試料水を各種木槽に貯水すると、次表の様に幾分硬度を低下させるが、無論貯水後の全硬度はいずれの木槽においても基準以内で、問題を生ずることはない。

| 各種木槽に貯水した水の全硬度 | |
|----------------|---------|
| スギ水槽 | 165-170 |
| ヒノキ水槽 | 165-170 |
| ベイマツ水槽 | 160-170 |
| ベイヒバ水槽 | 160-170 |

3.6 塩化物、硝酸性窒素、亜硝酸性窒素

塩化物は水中に存在する塩素イオンの量を反映するもので、海水の混入や水質汚濁の指標となっており、水道法では200mg/ℓ以下と規定されている。硝酸性窒素、亜硝酸性窒素の規定はそれぞれ10mg/ℓ以下である。

試料水の塩化物、硝酸性窒素量は、それぞれおよそ30と5mg/ℓの値を示した。亜硝酸性窒素は全く検出出来なかった。この水を各種木槽に貯水すると各木槽ともに塩化物で20-25mg/ℓ、硝酸性窒素で2-5mg/ℓと幾分低下する。無論亜硝酸性窒素が増加することはない。

3.7 シアン、六価クロム、鉄、銅、亜鉛

水道法ではシアンが0.01mg/ℓ以下、六価クロムが0.05mg/ℓ以下、鉄が0.3mg/ℓ以下、銅が1.0mg/ℓ以下、亜鉛が1.0mg/ℓ以下と規定されている。

試料水のシアン、六価クロム、鉄、銅、亜鉛の測定値はいずれも全て0mg/ℓであった。この水を木槽に入れ、貯水しても当然ながらシアン、六価クロム、鉄、銅、亜鉛が新たに出現することなく、測定値はいずれも全て0mg/ℓであった。

3.8 濁度と色度

濁度は一定粒度の白とう土1 mgが水1 ℓ中に含まれている場合の濁り度を1として定義される。色度は一定組成の着色溶液を作り、この標準溶液の色を基準として、試料の色度を表す。水道法による基準値は、濁度が2°以下、色度が5°以下である。

試料水、木槽貯水ともに濁度と色度の測定値は0°であり、木槽によって貯水に異常が生じないといえる。

3.9 味と臭気

味と臭気については成人男女数名の協力を得て、測定を行ったが、特に異常な結果は得られなかった。

4. まとめ

飲料水の受水槽に木槽を使用することを推定し、木槽で貯水した水の水質を調べたが、貯水によって異常が生ずることは全くなかった。

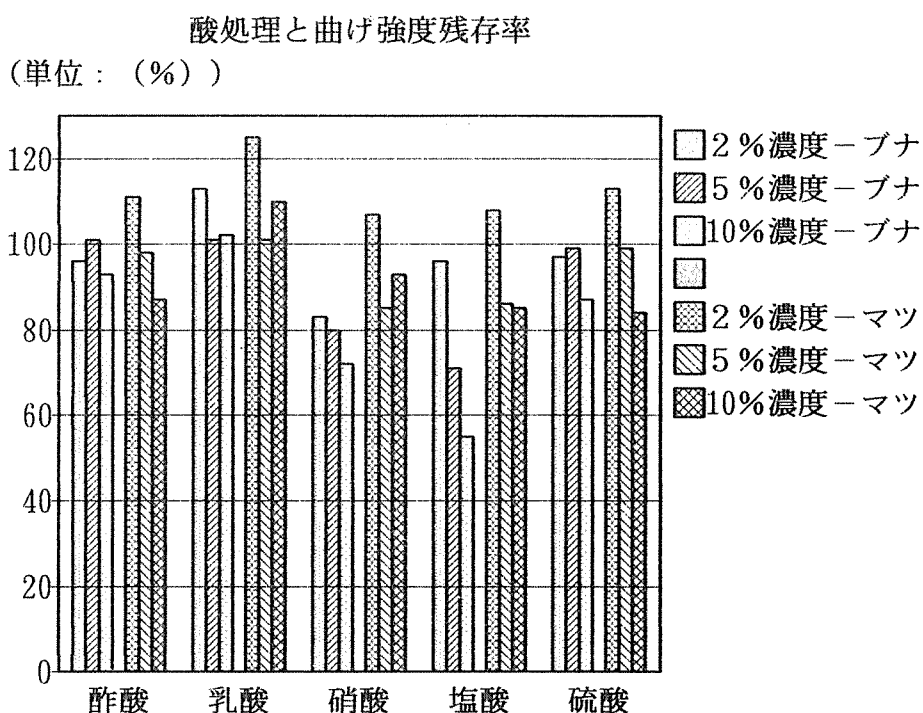
第3章 木材の耐薬品性

1. はじめに

木材を飲料水槽として使用する場合、耐久性は重要である。ここでは①木材の耐薬品性、②飲料水の消毒に用いられている塩素殺菌剤に対する木材の抵抗性について記す。

2. 木材の耐薬品性

次図に木材を各種酸で処理した場合の曲げ強度残存率を示す。（右田伸彦：木材化学，産業図書，1950，P. 233-241より作図したもの）



次に、数種の酸類に対する木材および金属材料の抵抗性を示す。

各種材料の耐酸性

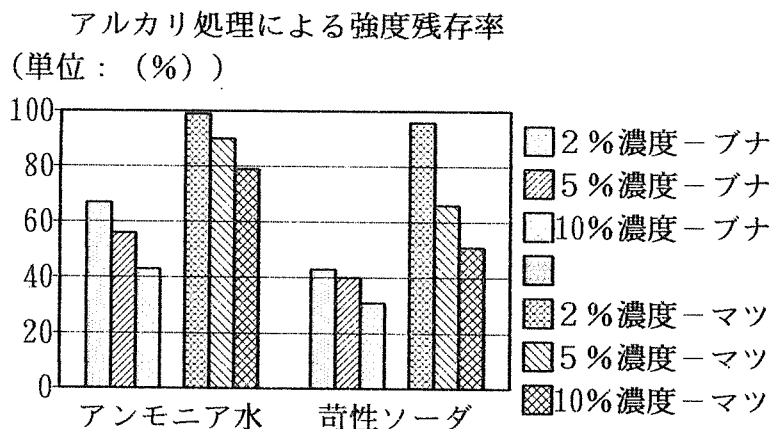
| | 木 材 | スチール | ステンレス | アルミニウム |
|-------|-----|------|-------|--------|
| 有機酸 | | | | |
| ギ 酸 | 良 好 | 使用不可 | 乏 しい | 使用不可 |
| 酢 酸 | 優れる | 使用不可 | 乏 しい | 優れる |
| 無機酸 | | | | |
| 10%塩酸 | 優れる | 使用不可 | 使用不可 | 使用不可 |
| 10%硫酸 | 優れる | 乏 しい | 良 好 | 乏 しい |

(National Wood Tank Institute Technical Bulletin 758,

Wood Tanks, 1975より)

これらの図表から分かる通り、木材は酸類、特に有機酸類に対して高い抵抗性を持っている。また、低温では無機の鉍酸類に対しても抵抗性に富む。

一方、アルカリに対しては幾分抵抗性が低下する。次ぎの図は、アルカリ処理による木材の曲げ強度残存率を示す。



木材が酸よりもアルカリに弱いのは、木材を構成するセルロースやリグニンが酸に対して抵抗性であるのに比して、ヘミセルロースやリグニンはアルカリと反応し易く、一部溶解する事による。

なお、アルカリの強度についてpHが10以下では木材はほとんど分解されない。また、広葉樹のヘミセルロースは針葉樹のよりもアルカリに溶解し易い事

から、一般に針葉樹は広葉樹よりもアルカリに対する抵抗性に富む。

ある種の塩類は防腐や防火の目的で木材に注入して使われる。このことから分かる通り、一般に木材の耐塩類性能は高い。

アルコールなど有機溶媒に対して、常温常圧下では木材を構成する主要成分の抵抗性は極めて高い。

3. 塩素殺菌剤に対して

飲料水には細菌類（特に病原性の細菌）に対して迅速な殺菌効果を示すことから塩素消毒が行われている。また、飲料水槽の保守管理の上から消毒剤が水槽に直接使用されることも十分に想定される。しかし、塩素殺菌剤に対する木材の抵抗性などについてはほとんど報告がない。そこでパルプ漂白における知見を基に、塩素殺菌剤と木材の抵抗性について考えてみる。

塩素は水中に溶けた場合、 $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} = \text{HOCl} + \text{H}^+ + \text{Cl}^-$ の反応を生ずる。この反応における平衡は、周囲の水素イオン濃度によって左右どちらかへ移る。つまり周囲のpHによって次表の様に組成が異なる。

水中での塩素の存在状態

pH 2 以下：大部分元素状塩素

pH 2 - 3：元素状塩素および次亜塩素酸

pH 4 - 6：大部分次亜塩素酸

pH 7 - 9：大部分次亜塩素酸および次亜塩素酸塩

pH 9 以上：大部分次亜塩素酸塩

(林業試験場編：木材工業ハンドブック，丸善，1973，P. 886)

塩素と有機物との反応は水素原子と塩素原子の置換反応，二重結合への塩素の付加，酸化などである。次亜塩素酸の場合，特にアルカリ下では酸化反応が主となる。木材の構成成分の中で，リグニンや着色性抽出成分の酸化分解と溶出が生ずる結果，木材は白く漂白される。これは塩素殺菌剤によって，木材が劣化する可能性を示している。しかし，この様な木材に対する分解反応は，極

めて高い薬品濃度下に行われる。一方、水中で残留塩素が0.1-1 ppm の濃度存在すると殺菌効果が発揮され、この濃度は極めて低いものである。したがって、殺菌の目的で行われる塩素消毒では木材はほとんど劣化しないと考えられる。

第4章 集成材アーチ橋におけるアーチリブ接合部の設計と

1 / 2 モデルを用いた接合部の剛性・耐力実験

1. はじめに

建造物適用委員会の一分科会である木橋分科会の当初の目標の一つに、分科会において策定された設計・施工マニュアルに基づいて、実際の木橋を試作・展示することが含まれていた。計画当初は公園内の小規模な歩道橋程度の木橋を試作・展示することが想定されていた。しかし、分科会活動の進展に伴い、当分科会で目標とする木橋の規模がどんどん大規模なものへと発展し、ついには我が国で最初の集成材アーチ形式の一等橋を設計・施工することになった。木橋の設計・施工に関する詳細な指針（案）ならびに、設計計算書は別途報告される予定であるが、本報告書においては、その中で、平成5年度の分科会予算に基づいて実行したアーチリブ接合部の設計と、1 / 2 スケールモデルを用いた接合部の剛性・耐力実験の結果を報告する。

2. 集成材アーチ橋の概要

2. 1 基本データ

- (1) 橋格 一等橋 TL-20
- (2) 形式 集成材 2 ヒンジアーチ
- (3) 支間長 $l = 23\text{m}$
- (4) 橋長 26.36m
- (5) 幅員 車道 5m
- (6) 使用木材（主たる部材について）

| | | |
|-------|---|------------------------|
| アーチリブ | ： | 愛媛県広田村産すぎ構造用大断面集成材 |
| 対傾構 | ： | 愛媛県広田村産すぎ構造用大断面集成材 |
| 横構 | ： | 愛媛県広田村産すぎ構造用大断面集成材 |
| 床桁 | ： | 愛媛県広田村産すぎ構造用大断面集成材 |
| 補剛桁 | ： | 愛媛県広田村産すぎ構造用大断面集成材 |
| 床板 | ： | サザンパイン製材（北米式プレストレス木床板） |

2. 2 橋の特徴

- (1) 新しく設計された木橋として我が国最初の一等橋である。
- (2) アーチリブ他主要な構造部材に、地元産出の「すぎ」大断面集成材を使用している。
- (3) 化学的に耐久性を付与するため、集成材ラミナの段階で防腐剤（DDAC）を注入し、その後積層接着して大断面集成材を製造している。防腐剤注入が接着力に

及ぼす影響については、森林総研や奈良林試等で実験を行い、JASの接着耐久性試験に合格することを確認している。

- (4)床の構造に、北米で盛んな「プレストレス床板」という経済的な方法を採用している。
- (5)構造的に耐久性を増すために、アーチリブの全長にわたって、その上面に小屋根を付け、更に対傾構、横構等が集中する部分に大屋根を設置している。
- (6)アーチリブの運送上の制約から、アーチリブの2カ所に接合部を儲け、現場で剛接合している。
- (7)アーチリブの横安定性を増すために、アーチリブをダブルに、かつ間隔を広くとって箱型に配置している。

2. 3 橋一般図

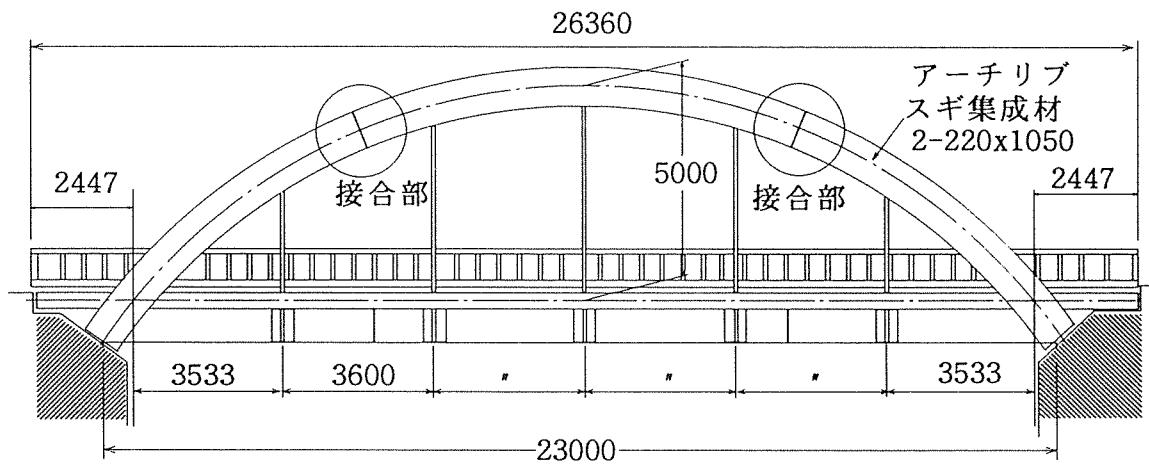


図1 集成材2ヒンジアーチ橋の一般図

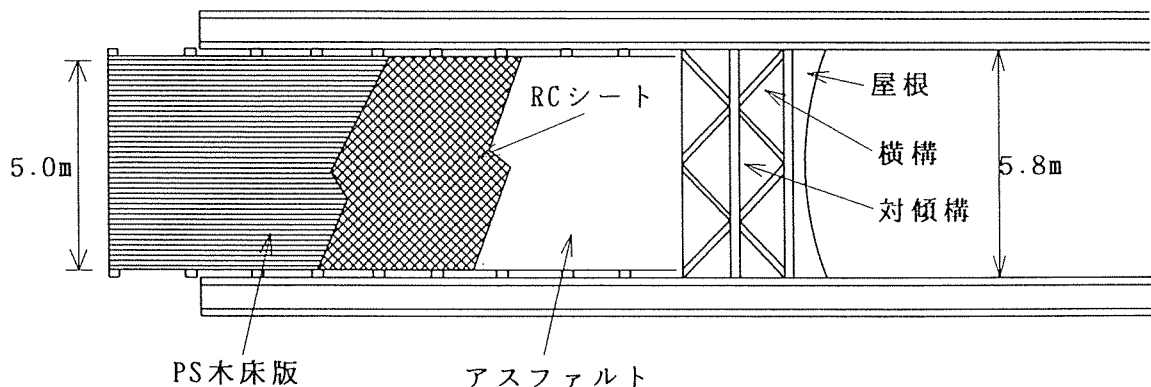


図2 平面図

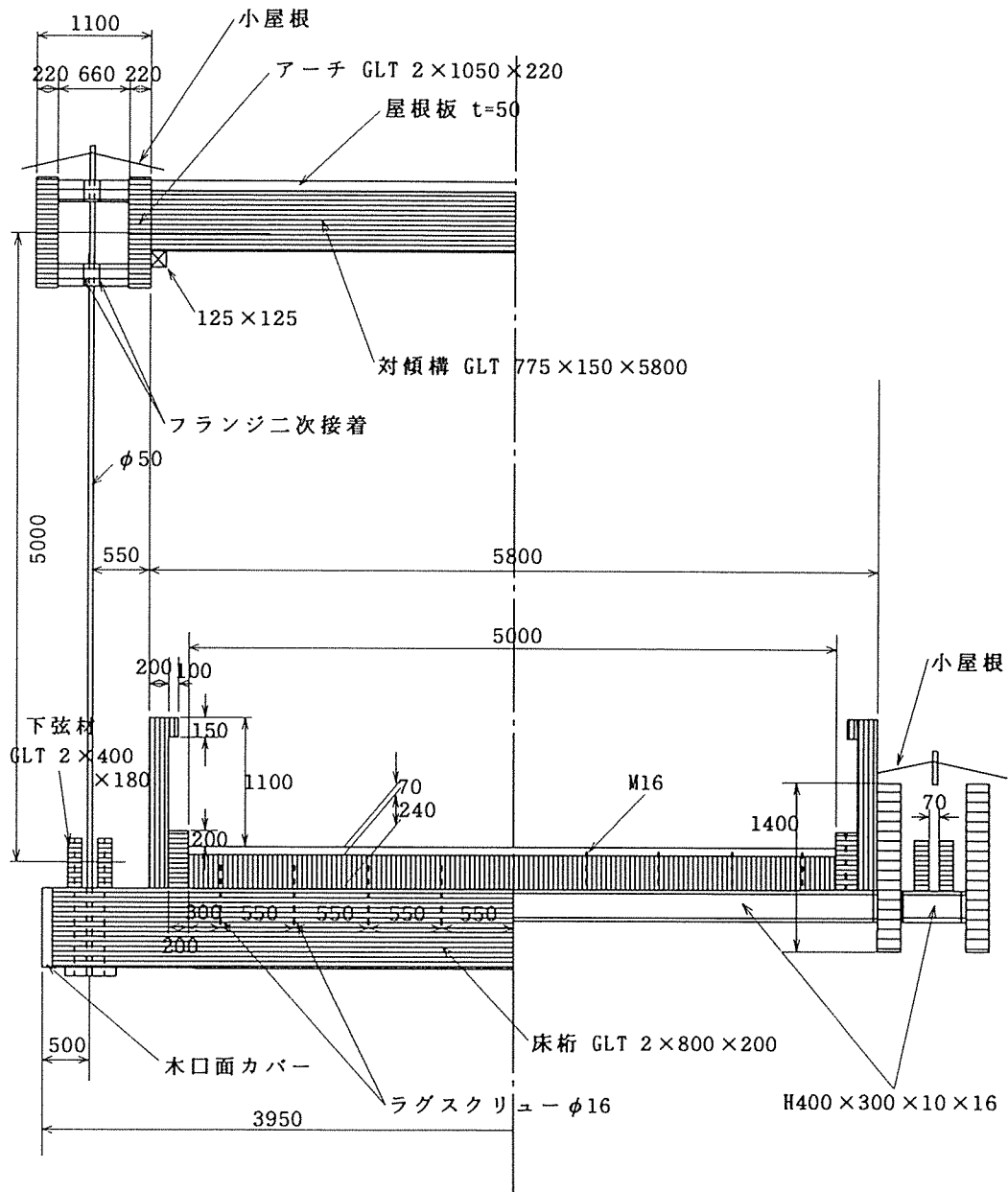


図3 アーチ橋断面図

2. 4 主な接合部

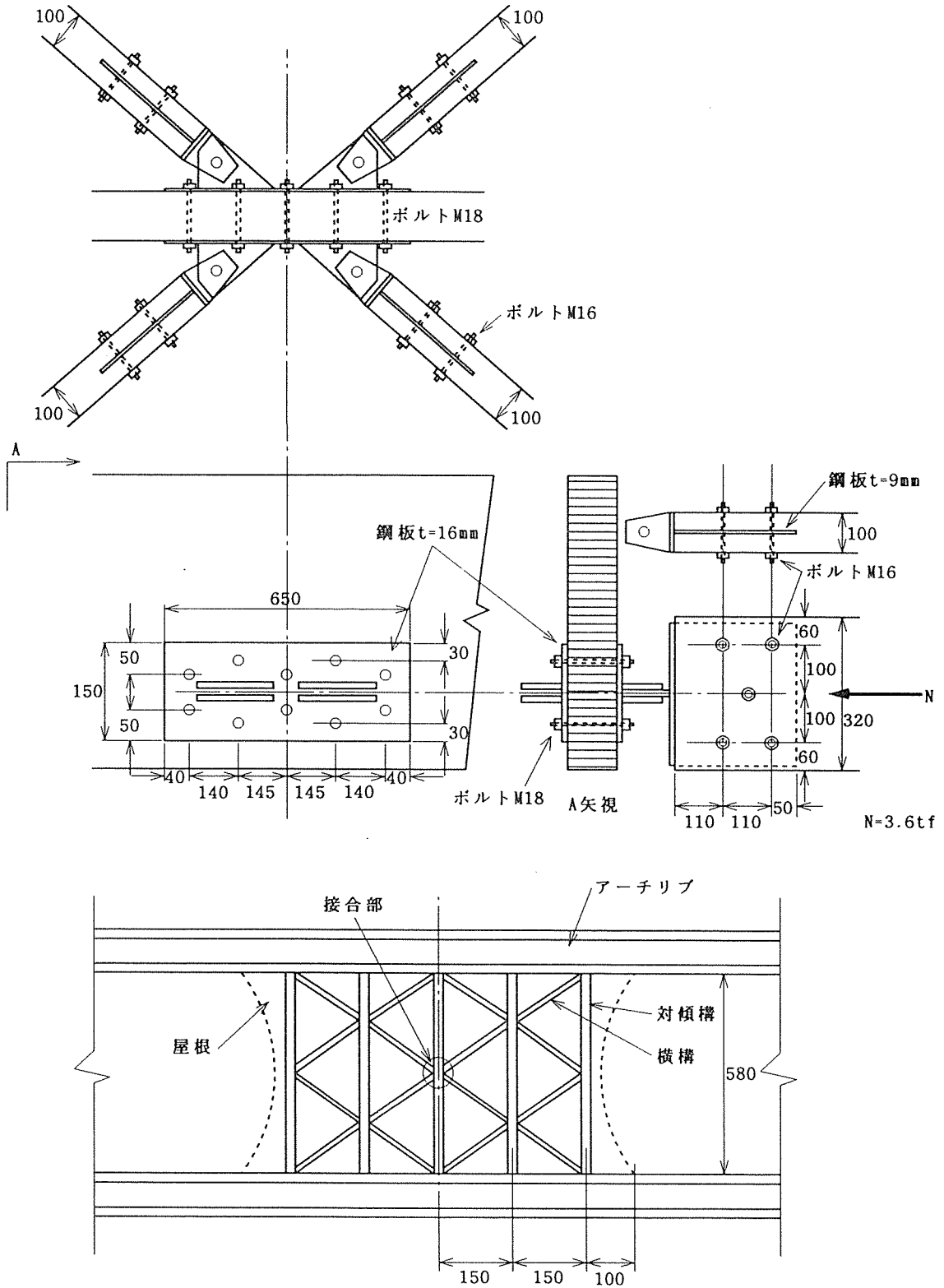


図4 アーチリブ、対傾構、横構等の接合部

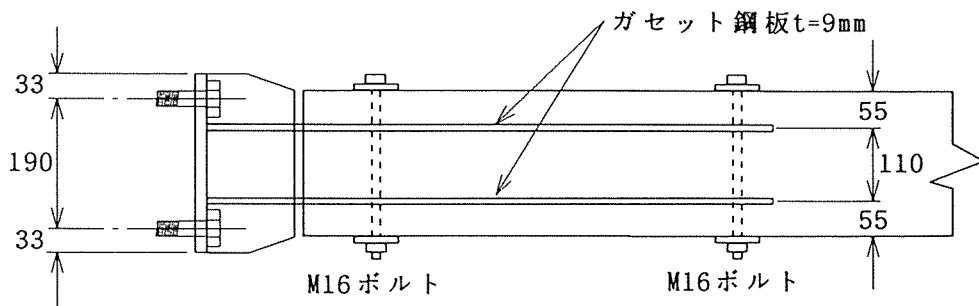
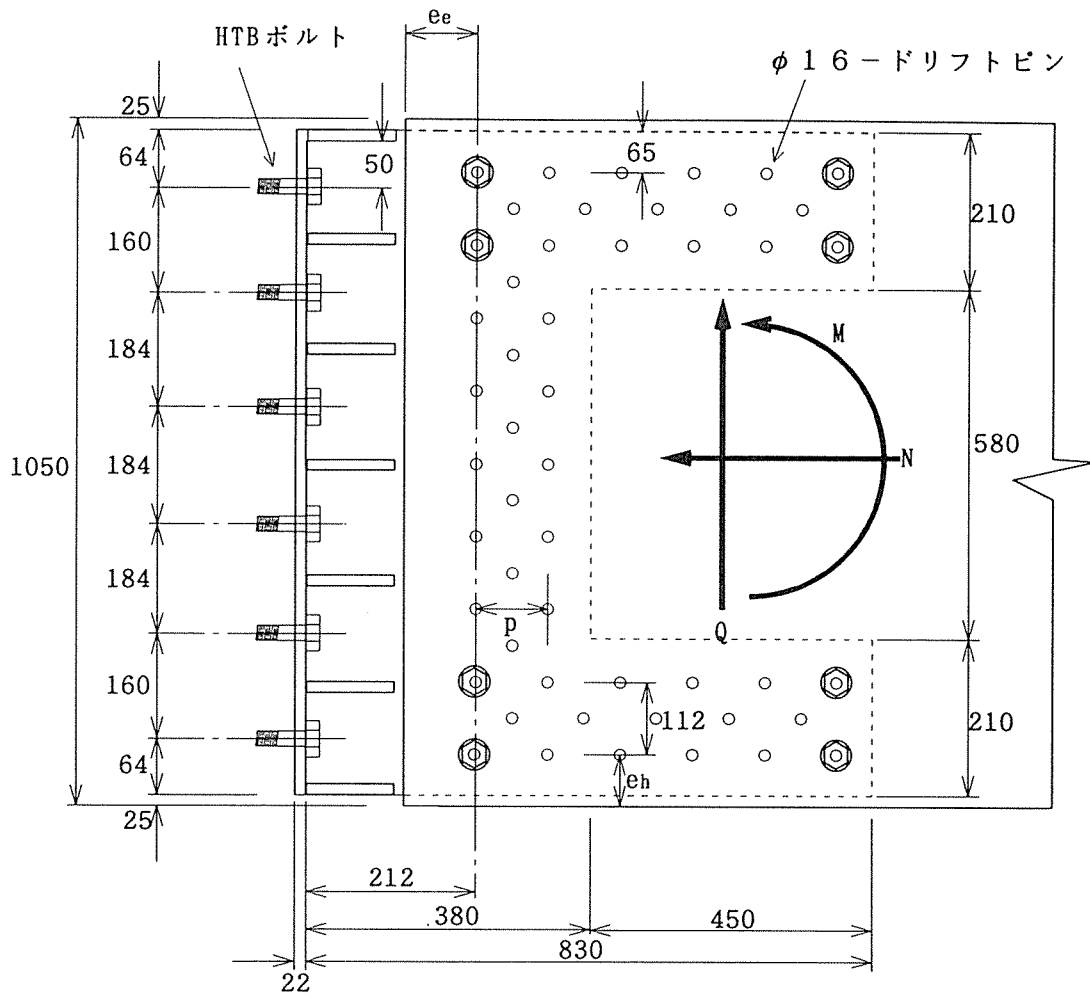


図4 アーチリブ剛接合部

3. アーチリブ接合部の許容耐力設計

3. 1. 荷重条件

薄木先生の計算書¹⁾より、アーチ接合部に作用する応力を求める。図5に荷重条件を、図6に2次元FEM（自作BASICプログラム）の要素分割を示す。

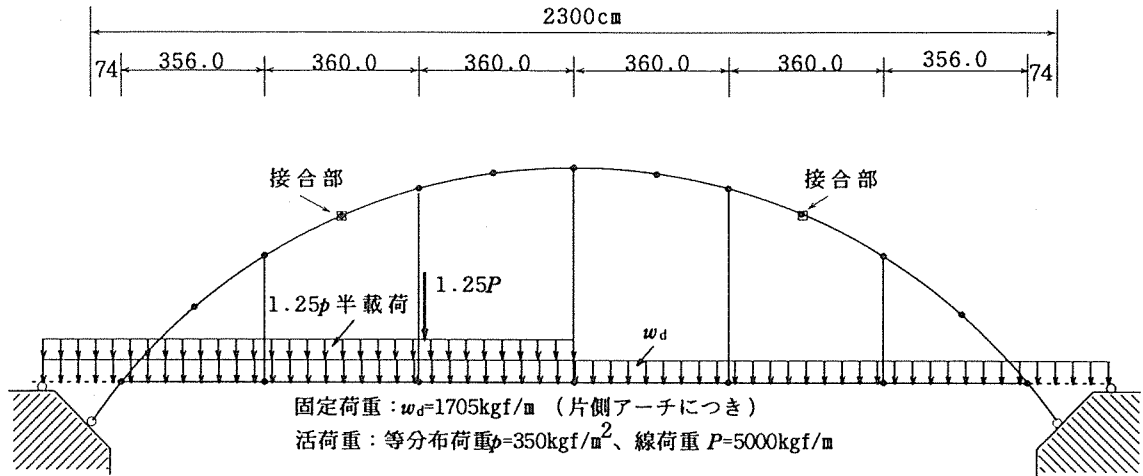


図5 主集成材アーチの接合部に作用する応力を算定するための荷重条件

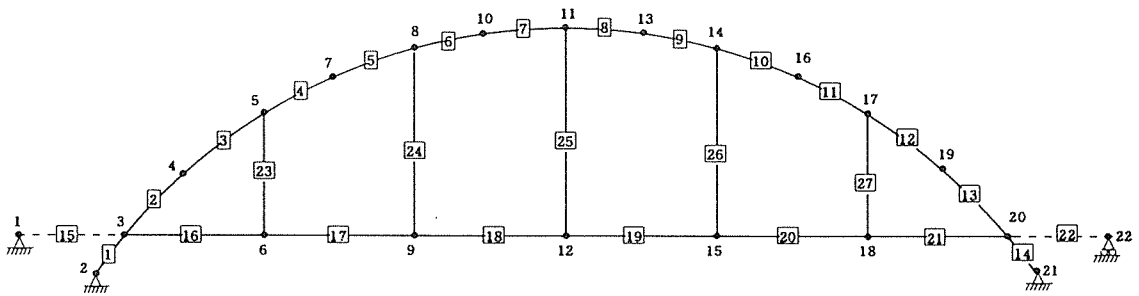


図6 FEMの要素分割図 接合部は接点7（要素4-5）
及び接点16（要素10-11）

3. 2 FEMモデルの詳細と接合部に作用する応力

3. 2. 1 入力データ

計算に用いたFEMモデルの入力データは以下の通り（BASICのデータ文）

```

1000 '*****
1010 '***** DATA DIVISION FOR PROGRAM ="NEWTON0.BAS" *****
1020 '*****
1030 '
1040 PDFN$="f:arch02.BAS" : REM (PROGRMA NAME FOR DATAFILE CREATION)
1050 ' SAVE "d:arch02.BAS",A
1060 DFN$="f:TEMPORARY" : REM ( DATA FILE NAME )
1070 '
1080 T1$="広田村集成材アーチ橋の応力-変形弾性解析 改良案"

```

1090 T2\$="スパン 1 = 23 m 橋長 26.36 m "
 1100 T3\$="接合は全てピンと剛と仮定 Ew=80tf/cm2 タイプームは集成材"
 1110 T4\$="荷重 半分載荷 L = 20 荷重ケース1 "

1120 '
 1130 '

**** 基本的データ ****

1140 '-----
 1150 DATA " 全節点数 (NP<40) = ", 22
 1160 DATA " 材料常数又は断面の異なる部材数 (NM<10) = ", 3
 1170 DATA " 全要素数 (NE<40) = ", 27
 1180 DATA " 支点の数 (NB<10) = ", 4
 1190 DATA " 増分荷重の作用する節点数 (NL<10) = ", 0
 1200 DATA " 非増分荷重の作用する節点数 (NF<20) = ", 9
 1210 DATA " 接合要素の数 (NS<6) = ", 0
 1220 '-----

1230 '
 1240 '

**** 節点の x, y 座標値 ***

1250 '-----
 1260 '-----
 1270 ' x y
 1280 ' No (cm) (cm)
 1290 '-----
 1300 DATA 1, 0. , 95.8
 1310 DATA 2, 168. , 0.
 1320 DATA 3, 244.7 , 95.8
 1330 DATA 4, 421.35 , 273.3
 1340 DATA 5, 598. , 397.75
 1350 DATA 6, 598. , 95.8
 1360 DATA 7, 778. , 488.1
 1370 DATA 8, 958. , 549.
 1380 DATA 9, 958. , 95.8
 1390 DATA 10, 1138. , 584.2
 1400 DATA 11, 1318. , 595.8
 1410 DATA 12, 1318. , 95.8
 1420 DATA 13, 1498. , 584.2
 1430 DATA 14, 1678. , 549.
 1440 DATA 15, 1678. , 95.8
 1450 DATA 16, 1858. , 488.1
 1460 DATA 17, 2038. , 397.75
 1470 DATA 18, 2038. , 95.8
 1480 DATA 19, 2214.65 , 273.3
 1490 DATA 20, 2391.3 , 95.8
 1500 DATA 21, 2468. , 0.
 1510 DATA 22, 2636. , 95.8
 1520 '-----

1530 '
 1540 '

**** 材料常数と断面寸法 (矩計断面に限る) ****

1550 '-----
 1560 '-----
 1570 '-----
 1580 ' NM M.O.E 材幅 材せい 備考
 1590 ' No. (ton/cm2) (cm) (cm)
 1600 '-----
 1610 DATA 1, 80 , 44.0 , 105.0 , 集成材アーチ

1620 DATA 2, 80, 36.0, 40.0, 集成材桁
 1630 DATA 3, 2100, 7.85, 7.85, 鋼ロッドφ50等価

1640

1650

1660

1670 **** 要素データ ****

1680 i j ET 節点のタイプ

1690

1700 *-----* 1 剛 - 剛

1710 *-----0 2 剛 - ピン

1720 0-----* 3 ピン - 剛

1730 0-----0 4 ピン - ピン

1740 ++@++ 5 -接合要素-

1750

1760 要素 節点番号 材料 節点タイプ

1770 番号 (I) (J) 番号 番号 ET

1780

1790 DATA 1, 2, 3, 1, 1

1800 DATA 2, 3, 4, 1, 1

1810 DATA 3, 4, 5, 1, 1

1820 DATA 4, 5, 7, 1, 1

1830 DATA 5, 7, 8, 1, 1

1840 DATA 6, 8, 10, 1, 1

1850 DATA 7, 10, 11, 1, 1

1860 DATA 8, 11, 13, 1, 1

1870 DATA 9, 13, 14, 1, 1

1880 DATA 10, 14, 16, 1, 1

1890 DATA 11, 16, 17, 1, 1

1900 DATA 12, 17, 19, 1, 1

1910 DATA 13, 19, 20, 1, 1

1920 DATA 14, 20, 21, 1, 1

1930 DATA 15, 1, 3, 2, 1

1940 DATA 16, 3, 6, 2, 1

1950 DATA 17, 6, 9, 2, 1

1960 DATA 18, 9, 12, 2, 1

1970 DATA 19, 12, 15, 2, 1

1980 DATA 20, 15, 18, 2, 1

1990 DATA 21, 18, 20, 2, 1

2000 DATA 22, 20, 22, 2, 1

2010 DATA 23, 5, 6, 3, 4

2020 DATA 24, 8, 9, 3, 4

2030 DATA 25, 11, 12, 3, 4

2040 DATA 26, 14, 15, 3, 4

2050 DATA 27, 17, 18, 3, 4

2060

2080

2090

2100 *** 境界条件 ***

2110

2120 節点 X Y M

2130 番号 (1 = 固定 0 = 自由)

2140

2150 DATA 1, 1, 1, 0


```

2160 DATA      2,          1 , 1 , 0
2170 DATA     21,          1 , 1 , 0
2180 DATA     22,          0 , 1 , 0
2190 '
2200 '
2220 '
2230 ' *** 増分荷重が作用する節点と荷重 ***
2240 ' -----
2250 '      節点      Px      Py      M
2260 '      番号      ( kgf ) ( kgf ) ( kgf*cm )
2270 ' -----
2280 ' DATA      8 ,          0. , -100 . , 0 :' P0
2290 ' -----
2300 '
2320 '
2330 ' *** 非増分荷重が作用する節点と荷重値 ***
2340 ' -----
2350 '      節点      Px      Py      M
2360 '      番号      ( kg ) ( kg ) ( kg*cm )
2370 ' -----
2380 ' DATA      1 ,          0. , -3425. , 0 :' P0
2390 ' DATA      3 ,          0. , -8370. , 0 :' P0
2400 ' DATA      6 ,          0. , -9983. , 0 :' P0
2410 ' DATA      9 ,          0. , -25701. , 0 :' P0
2420 ' DATA     12 ,          0. , -8107. , 0 :' P0
2430 ' DATA     15 ,          0. , -6138. , 0 :' P0
2440 ' DATA     18 ,          0. , -6081. , 0 :' P0
2450 ' DATA     20 ,          0. , -5098. , 0 :' P0
2460 ' DATA     22 ,          0. , -2086. , 0 :' P0
2470 ' -----
2480 '
2490 '
2510 '
2520 ' *** 接合要素 (増分解析用) ***
2530 ' -----
2540 '      要素      接合要素のデータが      接合要素が
550 '      入っているFILE名      連結している要素      2
2560 ' -----
2570 ' DATA      9,          "B:N2J2.DAT",      1
2580 ' -----
2590 '
2600 CHAIN MERGE "f:NEWTONIN.BAS", 5000, ALL
2610 END

```

3. 2. 2 計算結果

計算結果 (BASICのDATA FILE "RESULT.DAT"をそのまま) を以下に示す。

"広田村集成材アーチ橋の応力-変形弾性解析 改良案"
 "スパン l=23m 橋長 26.36m "
 "接合は全てピンと剛と仮定 Ew=80tf/cm2 タイプは集成材"
 "荷重 半分載荷 L=20 tf 荷重ケース1"
 Date =93/11/22 Time =11:17:16
 Data file maker =f:arch02.BAS
 Incremental Load Cycle = 0
 「変形」

| Node | U(cm) | V(cm) | Sita(rad.) |
|------|-------|--------|------------|
| 1 | 0.000 | 0.000 | -0.00001 |
| 2 | 0.000 | 0.000 | -0.00052 |
| 3 | 0.043 | -0.060 | -0.00072 |
| 4 | 0.222 | -0.284 | -0.00158 |
| 5 | 0.425 | -0.618 | -0.00187 |
| 6 | 0.071 | -0.642 | -0.00212 |
| 7 | 0.555 | -0.927 | -0.00135 |
| 8 | 0.583 | -1.073 | -0.00001 |
| 9 | 0.098 | -1.160 | -0.00005 |
| 10 | 0.541 | -0.938 | 0.00141 |
| 11 | 0.503 | -0.610 | 0.00218 |
| 12 | 0.126 | -0.642 | 0.00233 |
| 13 | 0.513 | -0.189 | 0.00235 |
| 14 | 0.573 | 0.207 | 0.00194 |
| 15 | 0.154 | 0.185 | 0.00195 |
| 16 | 0.649 | 0.491 | 0.00106 |
| 17 | 0.672 | 0.581 | -0.00015 |
| 18 | 0.182 | 0.566 | -0.00006 |
| 19 | 0.556 | 0.459 | -0.00138 |
| 20 | 0.209 | 0.152 | -0.00207 |
| 21 | 0.000 | 0.000 | -0.00213 |
| 22 | 0.209 | 0.000 | 0.00010 |

「要素応力」

| Elem. No. | N(i) (Kg) | Q(i) (Kg) | M(i) (Kgcm) | N(j) (Kg) | Q(j) (Kg) | M(j) (Kgcm) | Length (cm) | Area (cm ²) | Z (cm ³) |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------------------|----------------------|
| 1 | 60855 | -9024 | -0 | -60855 | 9024 | -1107469 | 122.7 | 4620.0 | 80850 |
| 2 | 46995 | -725 | 1075511 | -46995 | 725 | -1257002 | 250.4 | 4620.0 | 80850 |
| 3 | 46411 | 7425 | 1257002 | -46411 | -7425 | 347416 | 216.1 | 4620.0 | 80850 |
| 4 | 40248 | 5141 | -347416 | -40248 | -5141 | 1382864 | 201.4 | 4620.0 | 80850 |
| 5 | 39148 | 10666 | -1382864 | -39148 | -10666 | 3409736 | 190.0 | 4620.0 | 80850 |
| 6 | 32632 | -8543 | -3409736 | -32632 | 8543 | 1842803 | 183.4 | 4620.0 | 80850 |
| 7 | 33458 | -4282 | -1842803 | -33458 | 4282 | 1070354 | 180.4 | 4620.0 | 80850 |
| 8 | 34266 | -8245 | -1070354 | -34266 | 8245 | -416814 | 180.4 | 4620.0 | 80850 |
| 9 | 35041 | -3777 | 416814 | -35041 | 3777 | -1109498 | 183.4 | 4620.0 | 80850 |

| | | | | | | | | | |
|----|--------|-------|---------|--------|-------|----------|-------|--------|-------|
| 10 | 37219 | -4965 | 1109498 | -37219 | 4965 | -2053046 | 190.0 | 4620.0 | 80850 |
| 11 | 37548 | 238 | 2053046 | -37548 | -238 | -2005171 | 201.4 | 4620.0 | 80850 |
| 12 | 40786 | 559 | 2005171 | -40786 | -559 | -1884394 | 216.1 | 4620.0 | 80850 |
| 13 | 40073 | 7614 | 1884394 | -40073 | -7614 | 22292 | 250.4 | 4620.0 | 80850 |
| 14 | 36429 | 2526 | 310028 | -36429 | -2526 | 0 | 122.7 | 4620.0 | 80850 |
| 15 | -20338 | -361 | 0 | 20338 | 361 | -88330 | 244.7 | 1440.0 | 9600 |
| 16 | -8924 | 335 | 120288 | 8924 | -335 | -1892 | 353.3 | 1440.0 | 9600 |
| 17 | -8924 | 501 | 1892 | 8924 | -501 | 178493 | 360.0 | 1440.0 | 9600 |
| 18 | -8924 | -428 | -178493 | 8924 | 428 | 24493 | 360.0 | 1440.0 | 9600 |
| 19 | -8924 | -225 | -24493 | 8924 | 225 | -56546 | 360.0 | 1440.0 | 9600 |
| 20 | -8924 | -163 | 56546 | 8924 | 163 | -115171 | 360.0 | 1440.0 | 9600 |
| 21 | -8924 | 157 | 115171 | 8924 | -157 | -59563 | 353.3 | 1440.0 | 9600 |
| 22 | 0 | -1115 | -272757 | 0 | 1115 | -0 | 244.7 | 1440.0 | 9600 |
| 23 | -10149 | 0 | 0 | 10149 | 0 | 0 | 301.9 | 61.6 | 81 |
| 24 | -24772 | 0 | 0 | 24772 | 0 | 0 | 453.2 | 61.6 | 81 |
| 25 | -8310 | 0 | 0 | 8310 | 0 | 0 | 500.0 | 61.6 | 81 |
| 26 | -6200 | 0 | 0 | 6200 | 0 | 0 | 453.2 | 61.6 | 81 |
| 27 | -6401 | 0 | 0 | 6401 | 0 | 0 | 301.9 | 61.6 | 81 |

接合部のある節点7（要素4-5）または 節点16（要素10-11）に作用する応力で最大のものは、要素10のJ節点側（網掛け部分）に現れており、

$$M = 20.5 \text{ tfm}$$

$$Q = 5.0 \text{ tf}$$

$$N = 37.2 \text{ tf}$$

である。接合部の設計は、上記の1/2（アーチ1本分の応力）を設計外力として、専用の計算プログラム（自作 BASICプログラム WSD2.BAS）で実施した。

3. 3 接合部の許容耐力設計

3. 3. 1 設計計算に際しての仮定

- 1) ガセット鋼板自身の変形はドリフトピンの木材中へのめり込み変形に比べて無視できるほど小さいと考えられ、接合部の変形はガセット鋼板の剛体変位とドリフトピンの木材中へのめり込み変形で代表できるものと仮定する。ドリフトピンのめり込み変形とは別の木材の局所的弾性変形も無視する。
- 2) ドリフトピンに作用する力は、曲げモーメント、せん断力、軸力によるそれぞれの力の重ね合わせによって求められるものと仮定する。
- 3) モーメントの作用によって、各ドリフトピンが変形する方向（すべり方向と呼ぶ）は、回転中心から各ドリフトピンに引いた法線に対して直角の方向であると仮定する。
- 4) 回転中心は各ドリフトピンの剛性と座標値から決定される。

5)せん断力は集成材の繊維平行方向と直交する方向に作用する力であると定め、その作用によって、ドリフトピンは繊維直交方向にめり込み変位するものと仮定する。

6)軸力は集成材の繊維平行方向に作用する力であると定め、その作用によって、ドリフトピンは繊維平行方向にめり込み変位するものと仮定する。

3. 3. 2 設計計算式²⁾ (建築学会へ提案中の式)

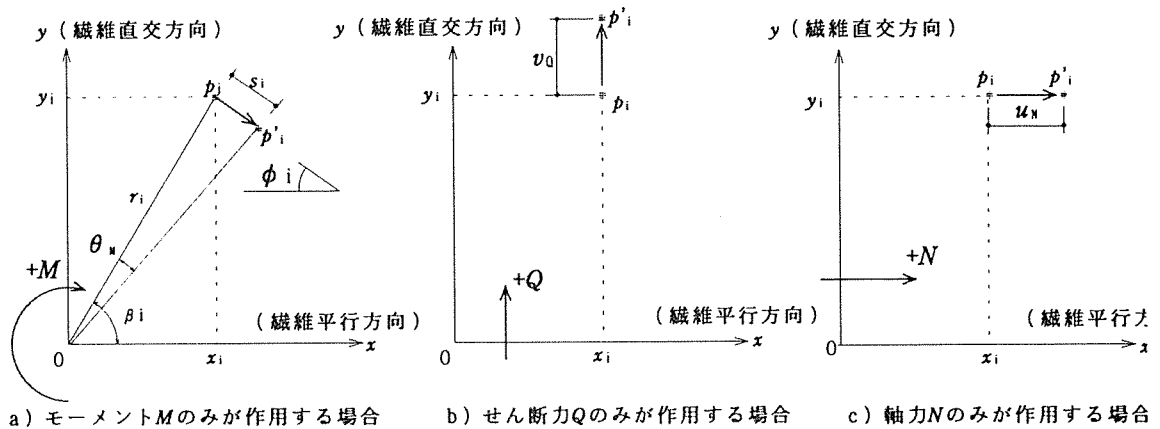


図7 接合部に作用する外力とi-番接合具が負担する力

①外力と接合部変形量との比例関係の定義

$$\theta_M = M/R_J \quad : \quad \text{回転角} - \text{モーメントの関係} \quad \dots 1)$$

$$u_N = N/D_J \quad : \quad \text{繊維平行方向変位} - \text{軸力の関係} \quad \dots 2)$$

$$v_Q = Q/S_J \quad : \quad \text{繊維直交方向変位} - \text{せん断力の関係} \quad \dots 3)$$

ただし、 θ_M : モーメント M による接合部回転角
 u_N : 軸力 N による繊維平行 (x -軸) 方向の接合部変位
 v_Q : せん断力 Q による繊維直交 (y -軸) 方向の接合部変位

②接合部剛性の算定

$$R_J = n_s \sum K_{\phi i} \cdot r_i^2 \quad : \quad \text{接合部回転剛性} \quad \dots 4)$$

$$D_J = n_s \sum K_{0i} \quad : \quad \text{接合部軸方向伸縮剛性} \quad \dots 5)$$

$$S_J = n_s \sum K_{90i} \quad : \quad \text{接合部軸直交方向伸縮剛性} \quad \dots 6)$$

ただし、 Σ は $i=1 \sim n_i$ まで加算の意味

n_i : 一せん断面あたりの接合具の数

n_s : 一接合部あたりのせん断面の数

$K_{\phi i}$: 繊維平行方向 (x -軸) と ϕ 度の角度をなす方向のすべり係数

K_{0i} : 繊維平行方向 (x -軸) に関する接合具のすべり係数

K_{90i} : 繊維直交方向 (y -軸) に関する接合具のすべり係数

ここで、

$$K_{\phi i} = K_{0i} \cdot K_{90i} / (K_{0i} \cdot \sin^2 \phi_i + K_{90i} \cdot \cos^2 \phi_i) \quad \dots 7)$$

$$\phi_i = \pi/2 - \beta_i = \pi/2 - \tan^{-1}(y_i/x_i) \quad (\text{図 7-a 参照}) \quad \dots 8)$$

$$r_i = \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

x_i, y_i は i -番接合具の座標で、原点は回転中心とする。

③外力 M の作用で i -番接合具の一せん断面が負担する力

$$P_{Si} = K_{\phi i} \cdot r_i \cdot M/R_j \quad \dots 9)$$

④外力 Q の作用で i -番接合具の一せん断面が負担する力

$$P_{Qi} = K_{90i} \cdot Q/S_j \quad \dots 10)$$

または、 $P_{Qi} = Q/(n_i \cdot n_s)$ (K_{90i} が全て同じと仮定できる場合) $\dots 10)$ '

⑤外力 N の作用で i -番接合具の一せん断面が負担する力

$$P_{Ni} = K_{0i} \cdot N/D_j \quad \dots 11)$$

または、 $P_{Ni} = N/(n_i \cdot n_s)$ (K_{0i} が全て同じと仮定できる場合) $\dots 11)$ '

⑥ 3 つの力 P_{Si} 、 P_{Qi} 、 P_{Ni} の重ね合わせによる合力 F_{res-i} の計算

$$F_{res-i} = \sqrt{F_{xi}^2 + F_{yi}^2} \quad \dots 12)$$

ただし、 $F_{xi} = K_{\phi i} \cdot y_i \cdot M/R_j + N/(n_i \cdot n_s)$ $\dots 13)$

$$F_{yi} = -K_{\phi i} \cdot x_i \cdot M/R_j + Q/(n_i \cdot n_s) \quad \dots 14)$$

⑦接合具の一せん断面あたりの ω 度方向許容耐力 $P_{\omega i}$ の算定

$$P_{\omega i} = P_0 \cdot P_{90} / (P_0 \sin^2 \omega_i + P_{90} \cos^2 \omega_i) \quad \dots 15)$$

ただし、 $\omega_i = \tan^{-1}(F_{yi}/F_{xi})$ $\dots 16)$

P_0 : 繊維平行方向 (x -軸方向) 加力時の接合具一せん断面あたりの許容耐力

P_{90} : 繊維直交方向 (y -軸方向) 加力時の接合具一せん断面あたりの許容耐力

⑧合力の検定

$$F_{res-i} \leq P_{\omega i} \quad \dots 17)$$

3. 3. 3 ドリフトピンの許容耐力の誘導

現在、建築学会木構造計算規準は改定作業中であり、ドリフトピンの許容耐力は現在のボルトの許容耐力算定式と同じ「ヨーロッパ型剛塑性理論式³⁾」により算定することになる公算が大きい。以下に、この考え方を先取りして、今回使用するドリフトピン一本の許容耐力を誘導する。

図 8-a)、b)、c) に鋼板挿入式ドリフトピン接合で予想される降伏タイプを示す。

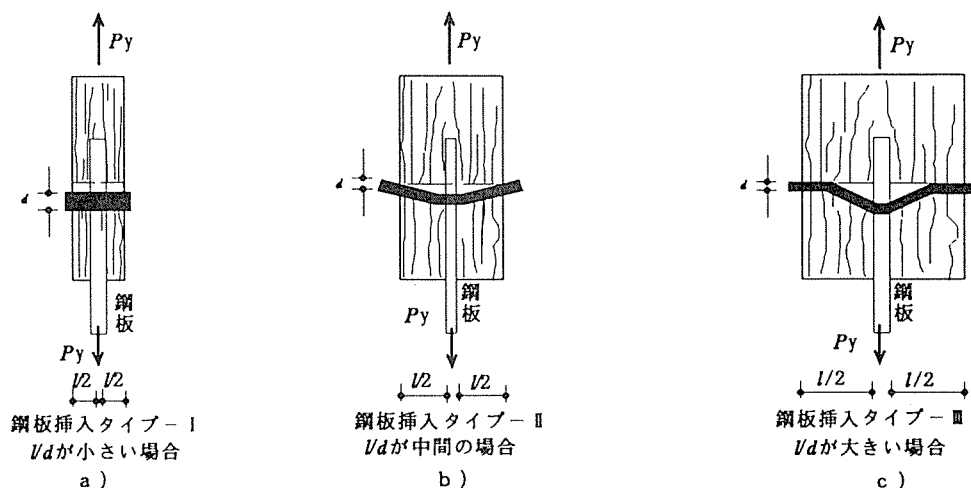


図 8 鋼板挿入型ドリフトピン接合部の予想降伏パターン

図 8 に示すそれぞれの降伏パターンにおける予想降伏耐力 P_y は以下の式で計算できる。

- ① 鋼板挿入降伏タイプ - I (図 8 - a) : ドリフトピンの降伏耐力が木材に比べて大きすぎて鋼棒が曲げ降伏せず、木材中でめり込み変形を起こす。

$$P_y = l d \sigma_{e_y} \quad \dots 18)$$

- ② 鋼板挿入降伏タイプ - II (図 8 - b) : 鋼板内でドリフトピンが曲げ降伏を起こすが、木材中では鋼棒は曲げ降伏を起こさず木材にめり込む。

$$P_y = l d \sigma_{e_y} \left\{ \sqrt{2 + \frac{16 M_y}{l^2 d \sigma_{e_y}}} - 1 \right\} \quad \dots 19)$$

- ③ 鋼板挿入降伏タイプ - III (図 4 - c) : ドリフトピンが鋼板および木材双方で曲げ降伏を起こす場合に起こる。

$$P_y = 2 \sqrt{4 M_y d \sigma_{e_y}} \quad \dots 20)$$

ここで、

M_y : ドリフトピン自体の曲げ降伏モーメント = $\sigma_{e_y} \cdot d^3 / 6$

d : ドリフトピンの直径 (cm)

l : ドリフトピンの有効長さ (cm)

σ_{e_y} : 鋼棒の曲げ降伏応力で実測値⁴⁾として 5000kgf/cm² を採用した。

σ_{e_y} : 円型断面鋼棒の集成材へのめり込み降伏応力度 (密度に依存する)

アメリカの計算基準である N D S (National Design Specification) に従うと 5% オフセット値 (図 5 参照) を採用する。

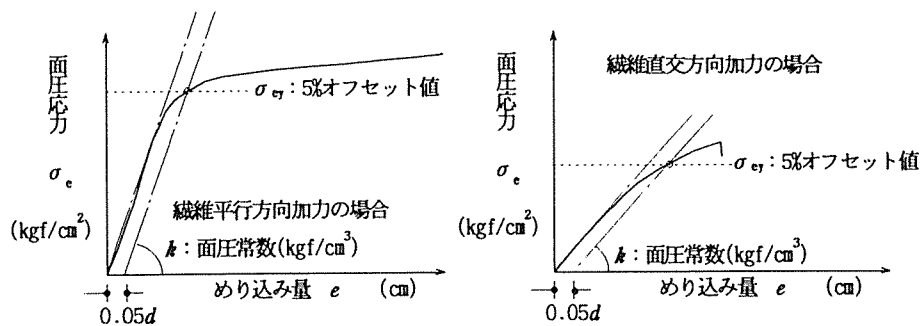


図5 降伏面圧応力（5%オフセット値）の求め方

今回の供試樹種のスギ集成材での降伏面圧応力のデータは得られていないので、次善の策として平井⁵⁾の提案した以下の木材密度（TD）-めり込み最大応力（ σ_{max} ）の回帰式より降伏面圧応力を推定する。

$$\text{（繊維平行方向加力） } \sigma_{0-max} = 0.93215TD - 160.74 \quad \dots 21)$$

$$\text{（繊維直交方向加力） } \sigma_{90-max} = (0.25522TD - 5.27)d^{-0.4} \quad \dots 22)$$

また、最大面圧応力と降伏面圧応力（5%オフセット応力）との関係は、森林総研接合研究室の平成4年度研修報告⁶⁾より、

$$\sigma_{0-ey} \approx \sigma_{0-max} / 1.2 \quad \dots 23)$$

$$\sigma_{90-ey} \approx \sigma_{90-max} \quad \dots 24)$$

今回の接合部は、平均密度 $TD=350\text{kg/m}^3$ のスギ集成材と直径 $d=16\text{mm}$ のドリフトピンを使用するので、その条件に合致するドリフトピンの最大面圧応力（ σ_{max} ）、降伏面圧応力（ σ_{ey} ）は、

$$\text{繊維平行方向加力 } : \sigma_{0-max} = 0.93215TD - 160.74 = 166 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots 25)$$

$$\text{繊維直交方向加力 } : \sigma_{90-max} = (0.25522TD - 5.27)d^{-0.4} = 70 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots 26)$$

$$\text{繊維平行方向加力 } : \sigma_{0-ey} \approx \sigma_{0-max} / 1.2 = 138 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots 27)$$

$$\text{繊維直交方向加力 } : \sigma_{90-ey} \approx \sigma_{90-max} = 70 \text{ kgf/cm}^2 \quad \dots 28)$$

のように推定される。最終的に、鋼板一枚当たりの有効長さ $l=10.1\text{cm}$ の鋼板挿入式ドリフトピン接合部の推定降伏耐力は、式27), 28)の値を式18), 19), 20)に代入した場合の最小値として、以下のように決定される。

① 鋼板挿入降伏タイプ-I : (片側一枚の鋼板部分についての値)

$$P_{0-y} = ld\sigma_{0-ey} = (11-0.9) \times 1.6 \times 138 = 2230 \text{ kgf} \quad \dots 29)$$

$$P_{90-y} = ld\sigma_{90-ey} = (11-0.9) \times 1.6 \times 70 = 1131 \text{ kgf} \quad \dots 30)$$

② 鋼板挿入降伏タイプ - II : (片側一枚についての値)

$$P_{0-y} = l d \sigma_{0-ey} \left\{ \sqrt{2 + \frac{16M_y}{l^2 d \sigma_{0-ey}}} - 1 \right\}$$

$$= (11-0.9) \times 1.6 \times 138 \times \left\{ \left[2 + \frac{16 \times 3413}{(10.1^2 \times 1.6 \times 138)} \right]^{0.5} - 1 \right\}$$

$$= 2461 \text{ kgf} \quad \dots 31)$$

$$P_{90-y} = l d \sigma_{90-ey} \left\{ \sqrt{2 + \frac{16M_y}{l^2 d \sigma_{90-ey}}} - 1 \right\}$$

$$= (11-0.9) \times 1.6 \times 70 \times \left\{ \left[2 + \frac{16 \times 3413}{(10.1^2 \times 1.6 \times 70)} \right]^{0.5} - 1 \right\}$$

$$= 1814 \text{ kgf} \quad \dots 32)$$

③ 鋼板挿入降伏タイプ - III : (片側一枚についての値)

$$P_{0-y} = 2 \sqrt{4M_y d \sigma_{0-ey}} = 2 \times (4 \times 3413 \times 1.6 \times 138)^{0.5} = 3472 \text{ Kgf} \quad \dots 33)$$

$$P_{90-y} = 2 \sqrt{4M_y d \sigma_{90-ey}} = 2 \times (4 \times 3413 \times 1.6 \times 70)^{0.5} = 1749 \text{ Kgf} \quad \dots 34)$$

以上より、今回設計対象の鋼板挿入式ドリフトピン接合部は、① 鋼板挿入降伏タイプ - I で降伏し、その降伏耐力は以下のように算定される。

$$P_{0-y} = 2230 \text{ kgf} \quad (2 \text{ 面せん断の値})$$

$$P_{90-y} = 1131 \text{ kgf} \quad (2 \text{ 面せん断の値})$$

建築学会木構造計算規準における接合具の(長期)許容耐力は、降伏耐力の1/3とする方針であるから、求める $d=1.6\text{cm}$, $l=10.1\text{cm}$ のドリフトピンの許容耐力は以下の値となる。

$$P_0 = P_{0-y}/3 = 743 \text{ kgf} \quad (2 \text{ 面せん断の値})$$

$$P_{90} = P_{90-y}/3 = 377 \text{ kgf} \quad (2 \text{ 面せん断の値})$$

3. 3. 4 ドリフトピンの許容耐力の検定

a. 接合具配置

予備検討の結果、図 6 に示す「II 型配列の鋼板挿入ドリフトピン接合部」が仮決定された。II 型配列となった最大の理由は、スリット加工機の加工深さに制限があったためである。大規模集成材建築物の場合は、接合部に粘りを持たせるため、木材に割裂を起こさずにピンが大変形できる鋼板一枚挿入タイプを採用することが多い。しかし、木橋アーチリブの場合、圧縮力が卓越しており、接合部での横安定性確保の面から、鋼板を 2 枚挿入することが構造設計サイドから要求された。以下に各ドリフトピンに作用する力の検定経過を示す。

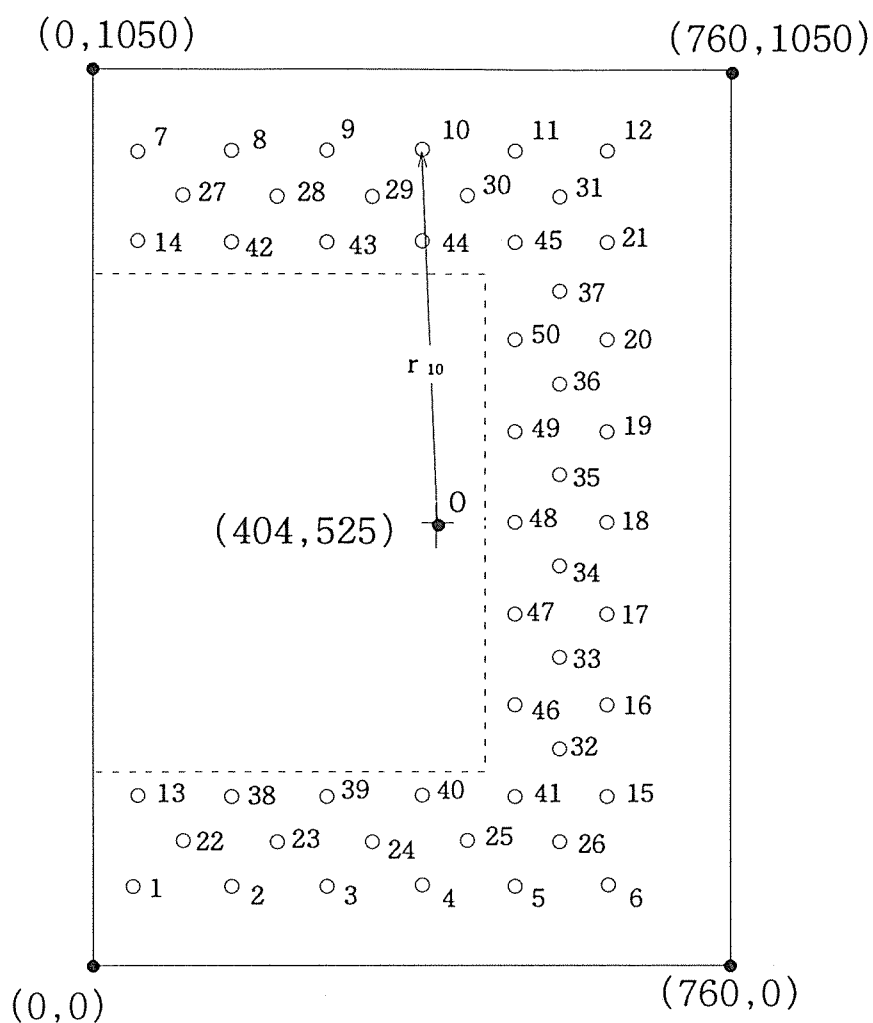


図6 接合部におけるドリフトピンの位置と番号

b. 接合部剛性の算定

3. 3. 2の「設計計算式」で述べたように、先ず接合部の応力と変形量の比例係数である回転剛性 R_j 、軸方向伸縮剛性 D_j 、軸直交方向伸縮剛性 S_j を決定する。これらの諸量の決定は、各接合具の座標値とドリフトピンの繊維平行方向（x軸方向）および繊維直交方向（y軸方向）のすべり係数 K_o 、 K_{90} から計算できる。

[すべり係数 K_o 、 K_{90} の決定]

$TD=350\text{kg/m}^3$ 、 $l=110\text{mm}$ 、 $d=16\text{mm}$ の鋼板1枚挿入タイプのドリフトピン接合のせん断断面あたりのすべり係数 K_o 、 K_{90} は、APPENDIXの表にはないので、最も近い $l=120\text{mm}$ 、 $d=16\text{mm}$ の値を充当する。

$$K_o = 22000 \text{ kgf/cm}$$

$$K_{90} = 8000 \text{ kgf/cm}$$

[回転剛性の決定]

回転剛性の計算は全接合具の K_{ϕ_i} と r_i^2 を求めることに帰着する。

図6を参照して、最も厳しい力が作用していた $i=10$ 番ドリフトピンの場合を例にとって、検定経過を具体的に示す。

$$x_{10} = -1.6\text{cm}, y_{10} = 44.8\text{cm}, r_{10} = \{ -1.6^2 + 44.8^2 \}^{0.5} = 44.8\text{cm}$$

$$r_{10}^2 = 44.8^2 = 2007.04\text{cm}^2$$

$$\phi_{10} = \pi/2 - \tan^{-1}(y_{10}/x_{10}) = \pi/2 - \tan^{-1}(44.8/-1.6) = 3.1066\text{rad.}$$

ϕ_{10} 方向のすべり係数 K_{ϕ_i} は Hankinson式 により、

$$\begin{aligned} K_{\phi_{10}} &= K_0 \cdot K_{90} / (K_0 \cdot \sin^2 \phi_{10} + K_{90} \cdot \cos^2 \phi_{10}) \\ &= 22000 \cdot 8000 / (22000 \cdot \sin^2 3.1066 + 8000 \cdot \cos^2 3.1066) \\ &= 21953 \text{ kgf/cm (一せん断面あたり)} \end{aligned}$$

$$r_{10}^2 \cdot K_{\phi_{10}} = 2007.04 \times 21953 = 44060549 \text{ kgf.cm}$$

以上の計算を $i=1\sim 50$ まで行い合計を求めると、 Π 型接合部の回転剛性はせん断面の数 $n_s=4$ より、

$$R_J = n_s \sum r_i^2 \cdot K_{\phi_i} = 4 \times 1235735000 = 4942940000 \text{ kgf.cm/rad.}$$

[軸方向伸縮剛性、軸直交方向伸縮剛性の決定]

軸方向伸縮剛性、軸直交方向伸縮剛性は、全ての接合具($i=1\sim n_i, n_i=50$)で K_0, K_{90} はすべてのドリフトピンで共通と仮定すると、

$$\text{軸方向伸縮剛性: } D_J = n_i \cdot n_s \cdot K_0 = 50 \times 4 \times 22000 = 4400000 \text{ kgf/cm}$$

$$\text{軸直交方向伸縮剛性: } S_J = n_i \cdot n_s \cdot K_{90} = 50 \times 4 \times 8000 = 1600000 \text{ kgf/cm}$$

c. 接合具が負担する力と合力の算定

[モーメント M による力]

$$M = 1025000 \text{ kgf.cm (集成材 1 本あたり)}$$

$$P_{s_{10}} = K_{\phi_{10}} \cdot r_{10} \cdot M / R_J = 21953 \times 44.8 \times 1025000 / 4942940000 = 204 \text{ kgf}$$

(一せん断面あたり)

[せん断力 Q による力]

$$Q = 2500 \text{ kgf (集成材 1 本あたり)}$$

$$\begin{aligned} P_{Q_{10}} &= K_{90-10} \cdot Q / S_J \\ &= Q / (n_s \cdot n_i) = 2500 / (4 \times 50) = 13 \text{ kgf (一せん断面あたり)} \end{aligned}$$

[軸力 N による力]

$$N = 18600 \text{ kgf (集成材 1 本あたり)}$$

$$\begin{aligned} P_{N_{10}} &= K_{0-10} \cdot N / D_J \\ &= N / (n_s \cdot n_i) = 18600 / (4 \times 50) = 93 \text{ kgf (一せん断面あたり)} \end{aligned}$$

[力の重ね合わせによる合力 F_{res} の算出]

設計計算式の(13), (14)式に従って、3つの力を重ね合わせる。

$$\begin{aligned}F_{x10} &= P_{s10}\sin\beta_{10} + P_{N10} \\ &= P_{s10}\cdot(y_{10}/r_{10}) + P_{N10} \\ &= 204\times(44.8/44.8) + 93 = 297 \text{ kgf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{y10} &= -P_{s10}\cos\beta_{10} + P_{Q10} \\ &= -P_{s10}\cdot(x_{10}/r_{10}) + P_{Q10} \\ &= -204\times(-1.6/44.8) + 13 = 20 \text{ kgf}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}F_{res-10} &= \{F_{x10}^2 + F_{y10}^2\}^{0.5} \\ &= \{297^2 + 20^2\}^{0.5} = 298 \text{ kgf (一せん断面あたり)}\end{aligned}$$

d. 接合具の ω 度方向許容耐力の検定

合力 F_{res-10} の作用方向は、

$$\omega_{10} = \tan^{-1}(F_{y10}/F_{x10}) = 0.066 \text{ rad.}$$

力 F_{res-10} の作用方向がx-軸（繊維平行方向）に対して ω_{10} 度傾いている接合具の許容耐力は Hankinson式 によって算定する。

$$\begin{aligned}P_{\omega10} &= P_0\cdot P_{90}/(P_0\sin^2\omega_{10} + P_{90}\cos^2\omega_{10}) \\ &= (743\times 377)/\{743\cdot\sin^2(0.066) + 377\cdot\cos^2(0.066)\} \\ &= 740 \text{ kgf (2面せん断について)}\end{aligned}$$

$i = 10$ 番ドリフトピンの許容耐力を一面せん断で検定

$$F_{res-10} = 298 \text{ kgf} < P_{\omega10}/2 = 740/2 = 370 \text{ kgf} \quad \text{O.K.}$$

最終的には、上述の検定を $i=1\sim n_i=50$ まで繰り返し、全ての接合具で $F_{res} < P_{\omega}$ が満足されていることを確認する。

表1はこの検定を一覧表にしたもので、実際の計算は自作 BASIC Program = WSD
2.BAS で行ったものである。

表1 接合部に配置されている全接合具の許容耐力検定表
(WSD2.BASの出力をファイル転送したもので、ミスタイプはない)

| No | x | y | r | ϕ | $K\phi$ | P_s | P_q | P_n | F_x | F_y | ω | F_{res} | $3P_\omega$ | F_{res}/P_ω |
|----|-------|-------|------|--------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-----------|-------------|--------------------|
| | (cm) | | | (rad.) | (kgf/cm) | | | (kgf) | | | (rad.) | (kgf) | | |
| 1 | -35.2 | -44.8 | 57.0 | 0.6655 | 13196 | 156 | 13 | 93 | -30 | 109 | -1.3051 | 113 | 583 | 0.580 |
| 2 | -24.0 | -44.8 | 50.8 | 0.4913 | 15834 | 167 | 13 | 93 | -54 | 91 | -1.0354 | 106 | 646 | 0.492 |
| 3 | -12.8 | -44.8 | 46.6 | 0.2776 | 19444 | 188 | 13 | 93 | -88 | 64 | -0.6306 | 109 | 831 | 0.392 |
| 4 | -1.6 | -44.8 | 44.8 | 0.0350 | 21953 | 204 | 13 | 93 | -111 | 20 | -0.1752 | 113 | 1082 | 0.312 |
| 5 | 9.6 | -44.8 | 45.8 | 2.9298 | 20421 | 194 | 13 | 93 | -97 | -28 | 0.2846 | 101 | 1035 | 0.292 |
| 6 | 20.8 | -44.8 | 49.4 | 2.7063 | 16780 | 172 | 13 | 93 | -63 | -60 | 0.7618 | 87 | 760 | 0.343 |
| 7 | -35.2 | 44.8 | 57.0 | 2.4761 | 13196 | 156 | 13 | 93 | 216 | 109 | 0.4671 | 241 | 930 | 0.779 |
| 8 | -24.0 | 44.8 | 50.8 | 2.6503 | 15834 | 167 | 13 | 93 | 240 | 91 | 0.3630 | 257 | 992 | 0.777 |
| 9 | -12.8 | 44.8 | 46.6 | 2.8640 | 19444 | 188 | 13 | 93 | 274 | 64 | 0.2297 | 281 | 1061 | 0.795 |
| 10 | -1.6 | 44.8 | 44.8 | 3.1066 | 21953 | 204 | 13 | 93 | 297 | 20 | 0.0660 | 298 | 1110 | 0.805 |
| 11 | 9.6 | 44.8 | 45.8 | 0.2118 | 20421 | 194 | 13 | 93 | 283 | -28 | -0.0997 | 284 | 1104 | 0.772 |
| 12 | 20.8 | 44.8 | 49.4 | 0.4353 | 16780 | 172 | 13 | 93 | 249 | -60 | -0.2365 | 256 | 1058 | 0.726 |
| 13 | -35.2 | -33.6 | 48.6 | 0.8082 | 11489 | 116 | 13 | 93 | 13 | 96 | 1.4371 | 97 | 568 | 0.513 |
| 14 | -35.2 | 33.6 | 48.6 | 2.3334 | 11489 | 116 | 13 | 93 | 173 | 96 | 0.5077 | 198 | 905 | 0.657 |
| 15 | 20.8 | -33.6 | 39.5 | 2.5866 | 14806 | 121 | 13 | 93 | -10 | -51 | 1.3759 | 52 | 573 | 0.274 |
| 16 | 20.8 | -22.4 | 30.6 | 2.3925 | 12144 | 77 | 13 | 93 | 37 | -40 | -0.8294 | 54 | 727 | 0.224 |
| 17 | 20.8 | -11.2 | 23.7 | 2.0641 | 9332 | 46 | 13 | 93 | 71 | -28 | -0.3718 | 77 | 987 | 0.233 |
| 18 | 20.8 | 0.0 | 20.8 | 1.5708 | 8000 | 35 | 13 | 93 | 93 | -22 | -0.2329 | 96 | 1059 | 0.271 |
| 19 | 20.8 | 11.2 | 23.7 | 1.0775 | 9332 | 46 | 13 | 93 | 115 | -28 | -0.2379 | 118 | 1057 | 0.335 |
| 20 | 20.8 | 22.4 | 30.6 | 0.7491 | 12144 | 77 | 13 | 93 | 149 | -40 | -0.2613 | 155 | 1046 | 0.444 |
| 21 | 20.8 | 33.6 | 39.5 | 0.5550 | 14806 | 121 | 13 | 93 | 196 | -51 | -0.2566 | 203 | 1048 | 0.580 |
| 22 | -29.6 | -39.2 | 49.1 | 0.6462 | 13459 | 137 | 13 | 93 | -16 | 95 | -1.3998 | 96 | 571 | 0.507 |
| 23 | -18.4 | -39.2 | 43.3 | 0.4382 | 16729 | 150 | 13 | 93 | -43 | 76 | -1.0573 | 88 | 639 | 0.411 |
| 24 | -7.2 | -39.2 | 39.9 | 0.1809 | 20821 | 172 | 13 | 93 | -76 | 43 | -0.5179 | 88 | 899 | 0.293 |
| 25 | 4.0 | -39.2 | 39.4 | 3.0391 | 21604 | 177 | 13 | 93 | -83 | -6 | 0.0672 | 83 | 1110 | 0.224 |
| 26 | 15.2 | -39.2 | 42.1 | 2.7710 | 17893 | 156 | 13 | 93 | -52 | -44 | 0.6982 | 68 | 793 | 0.259 |
| 27 | -29.6 | 39.2 | 49.1 | 2.4954 | 13459 | 137 | 13 | 93 | 202 | 95 | 0.4389 | 224 | 947 | 0.708 |
| 28 | -18.4 | 39.2 | 43.3 | 2.7034 | 16729 | 150 | 13 | 93 | 229 | 76 | 0.3213 | 241 | 1015 | 0.713 |
| 29 | -7.2 | 39.2 | 39.9 | 2.9607 | 20821 | 172 | 13 | 93 | 262 | 43 | 0.1642 | 266 | 1086 | 0.734 |
| 30 | 4.0 | 39.2 | 39.4 | 0.1025 | 21604 | 177 | 13 | 93 | 269 | -6 | -0.0207 | 269 | 1114 | 0.724 |
| 31 | 15.2 | 39.2 | 42.1 | 0.3706 | 17893 | 156 | 13 | 93 | 238 | -44 | -0.1825 | 242 | 1080 | 0.674 |
| 32 | 15.2 | -28.0 | 31.9 | 2.6434 | 15719 | 104 | 13 | 93 | 2 | -37 | -1.5242 | 37 | 563 | 0.198 |
| 33 | 15.2 | -16.8 | 22.7 | 2.4051 | 12294 | 58 | 13 | 93 | 50 | -26 | -0.4833 | 57 | 920 | 0.185 |
| 34 | 15.2 | -5.6 | 16.2 | 1.9231 | 8656 | 29 | 13 | 93 | 83 | -15 | -0.1770 | 84 | 1082 | 0.234 |
| 35 | 15.2 | 5.6 | 16.2 | 1.2185 | 8656 | 29 | 13 | 93 | 103 | -15 | -0.1430 | 104 | 1093 | 0.286 |
| 36 | 15.2 | 16.8 | 22.7 | 0.7365 | 12294 | 58 | 13 | 93 | 136 | -26 | -0.1915 | 138 | 1076 | 0.386 |
| 37 | 15.2 | 28.0 | 31.9 | 0.4982 | 15719 | 104 | 13 | 93 | 184 | -37 | -0.1989 | 188 | 1073 | 0.525 |
| 38 | -24.0 | -33.6 | 41.3 | 0.6196 | 13835 | 118 | 13 | 93 | -3 | 81 | -1.5290 | 81 | 563 | 0.433 |
| 39 | -12.8 | -33.6 | 35.9 | 0.3631 | 18021 | 134 | 13 | 93 | -33 | 60 | -1.0751 | 68 | 634 | 0.324 |
| 40 | -1.6 | -33.6 | 33.6 | 0.0466 | 21917 | 153 | 13 | 93 | -60 | 20 | -0.3176 | 63 | 1017 | 0.185 |
| 41 | 9.6 | -33.6 | 35.0 | 2.8624 | 19419 | 141 | 13 | 93 | -42 | -26 | 0.5560 | 50 | 875 | 0.171 |
| 42 | -24.0 | 33.6 | 41.3 | 2.5220 | 13835 | 118 | 13 | 93 | 189 | 81 | 0.4053 | 206 | 967 | 0.639 |
| 43 | -12.8 | 33.6 | 35.9 | 2.7785 | 18021 | 134 | 13 | 93 | 219 | 60 | 0.2688 | 227 | 1042 | 0.652 |
| 44 | -1.6 | 33.6 | 33.6 | 3.0950 | 21917 | 153 | 13 | 93 | 246 | 20 | 0.0797 | 246 | 1108 | 0.668 |
| 45 | 9.6 | 33.6 | 35.0 | 0.2792 | 19419 | 141 | 13 | 93 | 228 | -26 | -0.1146 | 230 | 1100 | 0.627 |
| 46 | 9.6 | -22.4 | 24.4 | 2.7355 | 17281 | 87 | 13 | 93 | 13 | -22 | -1.0466 | 25 | 642 | 0.119 |
| 47 | 9.6 | -11.2 | 14.8 | 2.4313 | 12615 | 39 | 13 | 93 | 64 | -13 | -0.1967 | 65 | 1074 | 0.181 |
| 48 | 9.6 | 0.0 | 9.6 | 1.5708 | 8000 | 16 | 13 | 93 | 93 | -3 | -0.0374 | 93 | 1113 | 0.251 |
| 49 | 9.6 | 11.2 | 14.8 | 0.7103 | 12615 | 39 | 13 | 93 | 122 | -13 | -0.1034 | 123 | 1103 | 0.334 |
| 50 | 9.6 | 22.4 | 24.4 | 0.4061 | 17281 | 87 | 13 | 93 | 173 | -22 | -0.1264 | 175 | 1097 | 0.478 |

(ただし： $3P_\omega = \omega$ 度方向降伏耐力、 $P_\omega = \omega$ 度方向許容耐力)

この接合部において最も厳しい接合具は $i=10$ の接合具で、合力と許容耐力との比 F_{res}/P_ω が 0.805に達していた。

3. 4. 接合部の最終形態

現場での施工性や横安定性等を考慮して最終的に決定されたアーチリブ接合部の詳細図を図7に示す。図中8本のドリフトピンが同径のボルトと置き代わっているのは、これらのボルトを用いて、後述するような方法で、アーチリブ接合部に特殊性のフランジ材を施工現場で現場接着するためである。

e_e : 端距離 = $7d = 112\text{mm}$ e_h : 縁距離 = 77mm , p : ピッチ = $7d = 112\text{mm}$

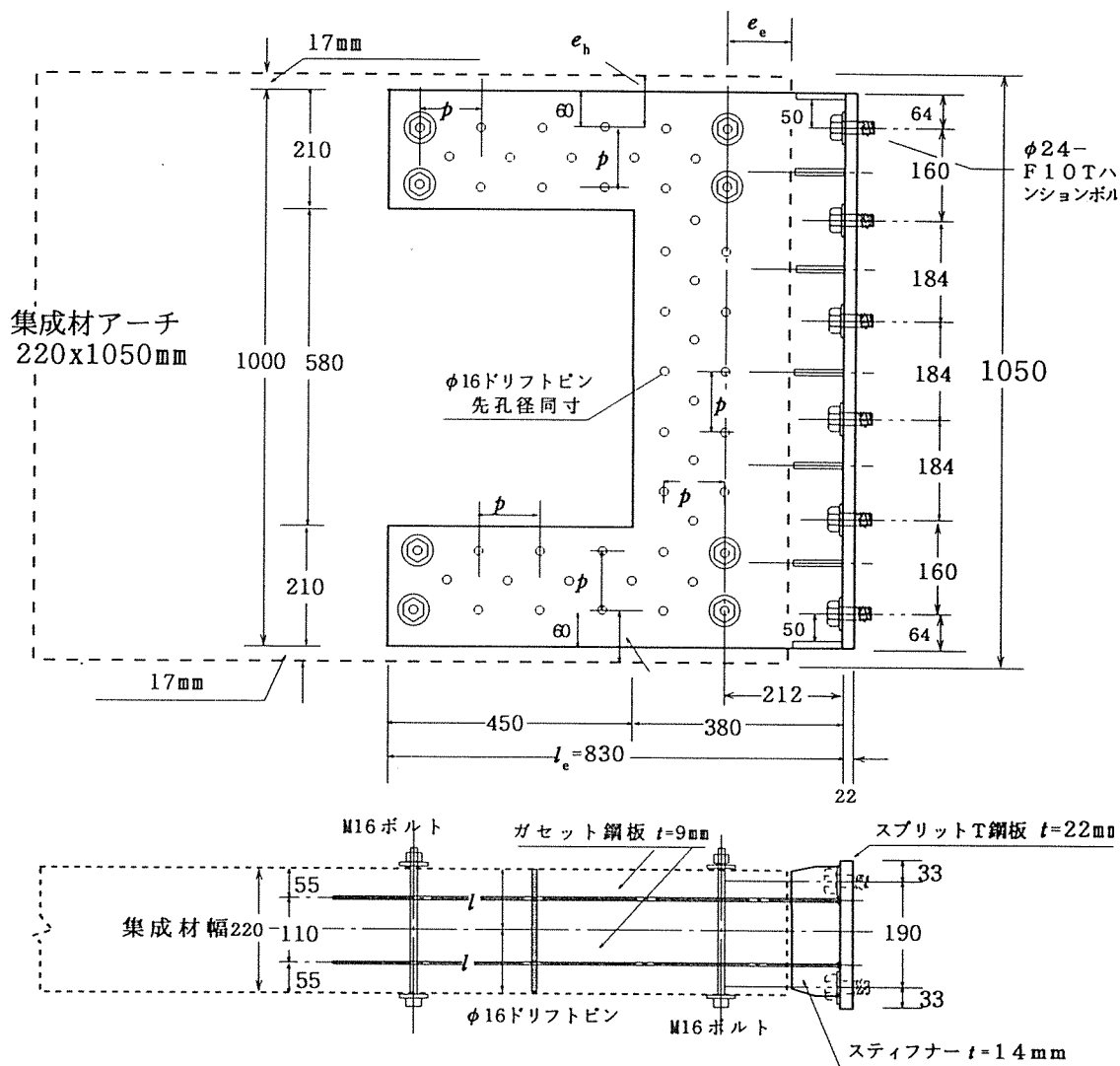


図7 アーチリブ接合部詳細

図8に接合部の現場接着の概念を示す。現場接合の手順（概念、ただし1/2モデルで仮の施工実験を経験した）は以下の通り。

- 1) F10T-φ24ハイテンションボルト（HTB）によって接合部エンドプレート同士を完全に緊結する。
- 2) フランジ開口部に特別フランジ繋ぎ材（集成材）をはめ込み、ボルト締め接着接合法によって開口部を閉鎖し、接合部での横安定性を確保する。

- 3) 接着剤としては、純正の「レゾルシノール樹脂接着剤」を使用する。
- 4) 接着剤は接合部内面、特別製フランジ面の両方に J A S 規定量通りを塗布する（両面接着）。
- 5) 接着剤塗布後は、付属の 8 本の M16 ボルトで圧縮圧を与えつつ、接着部を 30° C 以上に保温できる電気毛布等を接合部に巻いて 24 時間以上養生する。

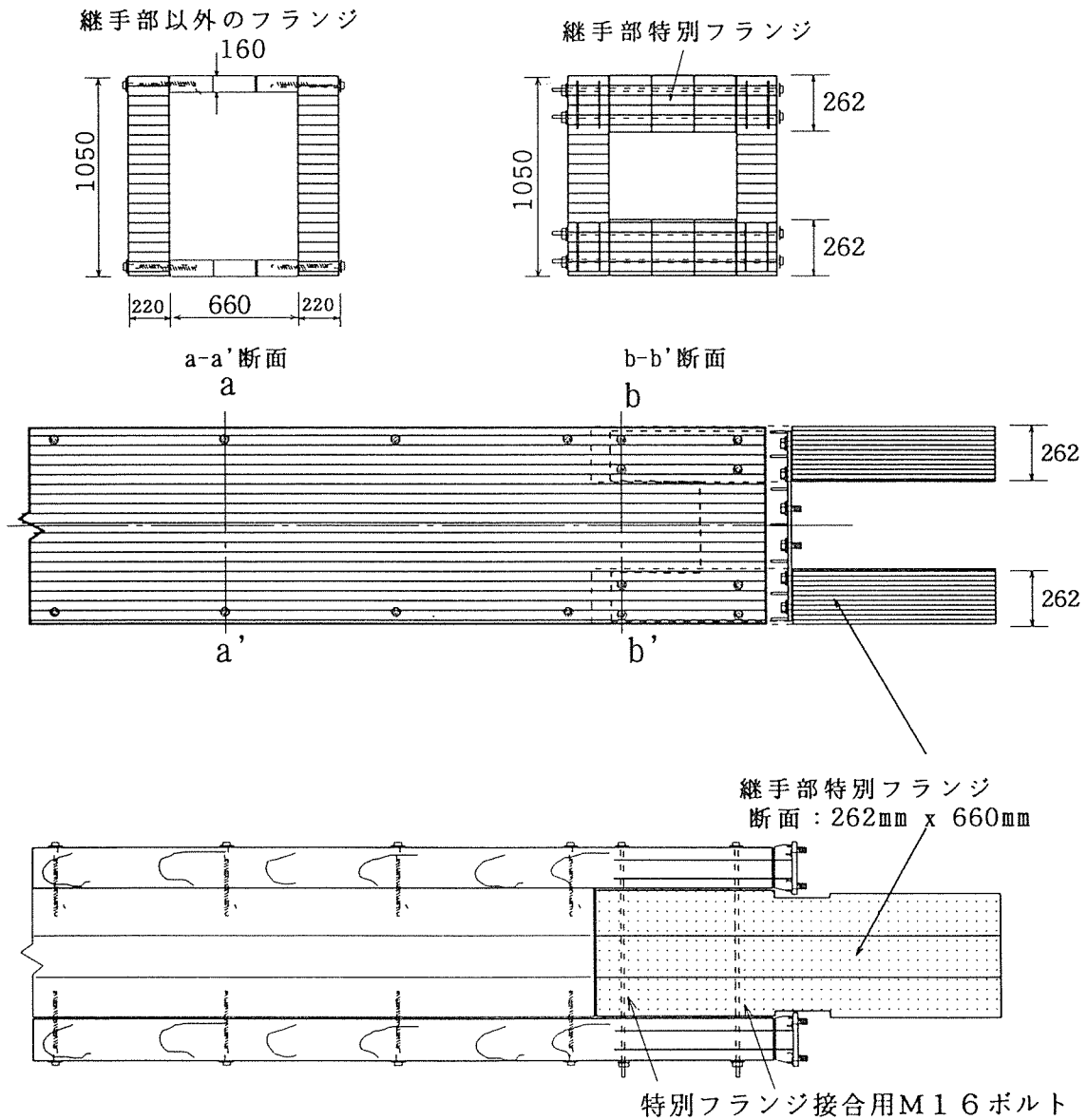


図 8 特別製フランジ継手による接合部の現場接着の概念

4. 1/2スケールモデルを用いた接合部の曲げ強度実験

4. 1 1/2スケール接合部の概要

実際のアーチリブは、愛媛県広田村産の約60年生スギ原木より採材された材幅220mm、材せい1050mmの等断面湾曲（円弧状）大断面集成材で制作された。しかし、試験装置の容量の関係で、接合部の強度実験は実際の1/2スケールの通直集成材を用いて実施した。図9に各部の寸法を単純に1/2としたアーチリブ接合部の詳細を示す。

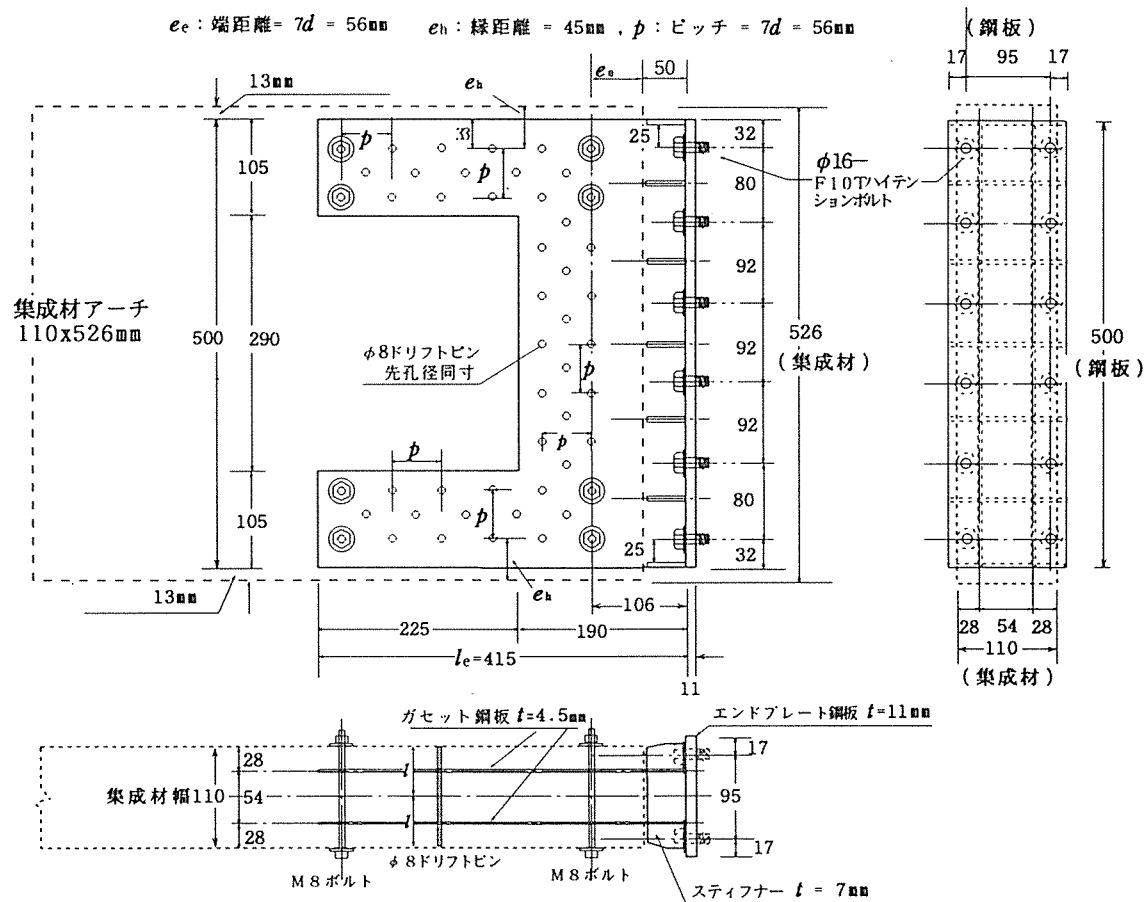


図9 集成材アーチリブ接合部の1/2スケールモデル詳細

なお、接合部試験体に用いた集成材は、実際のアーチリブと同じ広田村産のスギを用い、DDACでラミナを防腐処理したのち集成材へと積層接着するという実際と同じ工程で作成された。

4. 2 集成材継手試験体の材料常数の測定

接合部の強度実験に先だて、供試集成材の強軸方向曲げヤング係数 E_x 、せん断剛性率 G_{xy} 、ならびに弱軸方向曲げヤング係数 E_z を中央集中荷重方式の曲げ試験で測定した。

4. 2. 1 強軸方向（エッジワイズ）剛性の測定

図10に供試集成材の強軸方向曲げ剛性実験の方法を、写真1に実際の加力状況を示す。

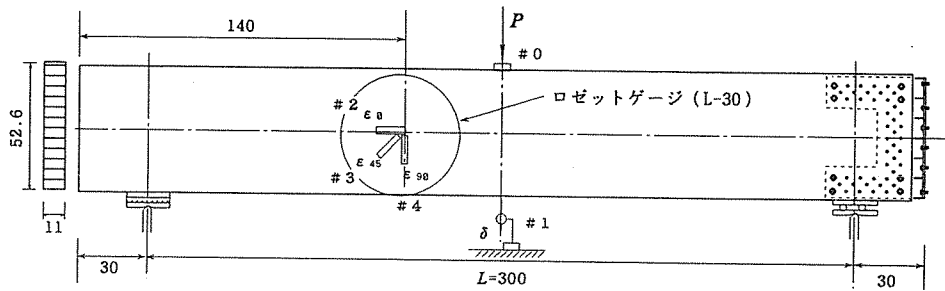


図10 供試集成材（接合部含む）の強軸方向曲げ剛性実験の方法

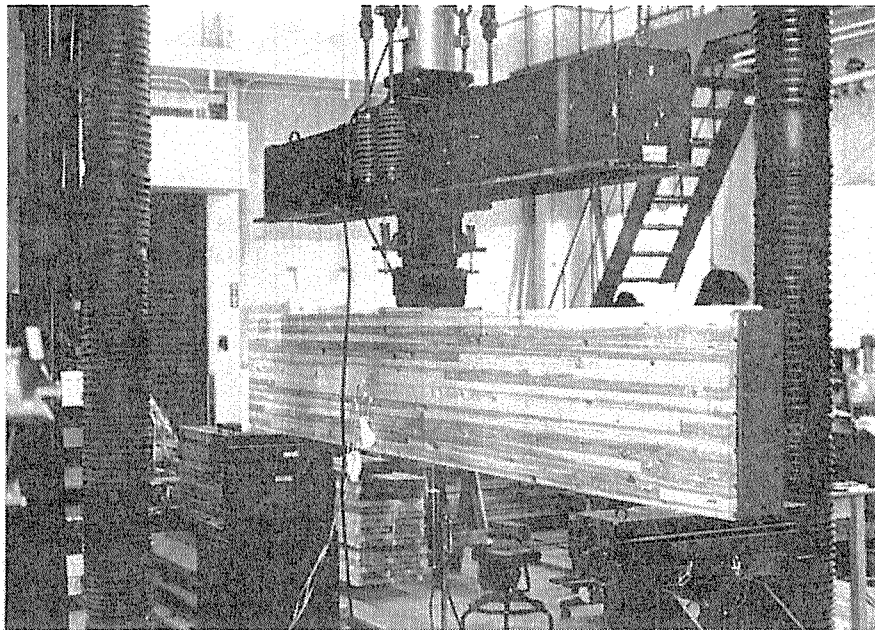


写真1 エッジワイズ曲げヤング係数の測定（CN-C74988/6）

曲げヤング係数 E_x とせん断剛性率 G_{xy} は次式で算出した。

$$E_x = (L^3/48I)(P/\delta)(1 + \Phi) \quad \dots\dots 35)$$

$$\Phi = (E_x/G_{xy})(h/L)^2 \kappa \quad \dots\dots 36)$$

$$G_{xy} = \tau_{xy}/\gamma_{xy} \quad \dots\dots 37)$$

$$\tau_{xy} = 1.5Q/A = 1.5(P/2)/A \quad \dots\dots 38)$$

$$\gamma_{xy} = 2\varepsilon_{45} - (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) \quad \dots\dots 39)$$

ただし

$$I = bh^3/12, \quad A = bh, \quad \kappa = 1.2$$

$$b = 11\text{cm}, \quad h = 52.6\text{cm}, \quad L = 300\text{cm}$$

$$P = \text{荷重}, \quad \delta = \text{スパン中央たわみ}$$

$$\varepsilon_0 = \text{繊維平行方向ひずみ（ストレインゲージの値）}$$

$$\varepsilon_{90} = \text{繊維直交方向ひずみ（ストレインゲージの値）}$$

$$\varepsilon_{45} = \text{45度方向のひずみ（ストレインゲージの値）}$$

なお、荷重 P は集成材の曲げ応力がスギ集成材の許容応力度 $f_b = 115\text{kgf/cm}^2$ を越えない範囲で与えた。すなわち、

$$P_{\max} \leq (4/L) \cdot f_b \cdot (bh^2/6) = (4/300)(115 \times 11 \times 52.6^2/6) = 7.78\text{tf}$$

4. 2. 2 弱軸方向（フラットワイズ）曲げ剛性の測定

図 1 1 に試験体の弱軸方向曲げヤング係数 E_z を求めるための試験方法を、写真 2 に実際の試験状況を示す。

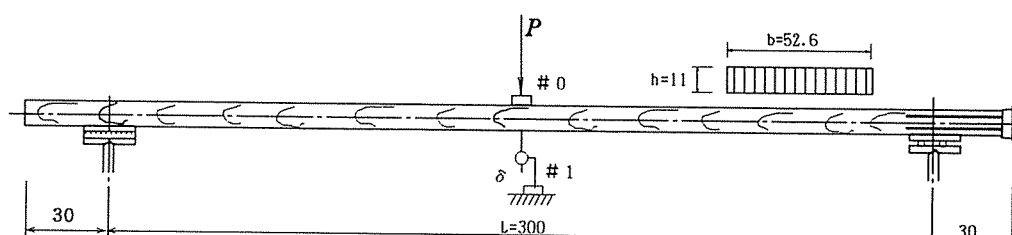


図 1 1 供試集成材の弱軸方向曲げ剛性実験

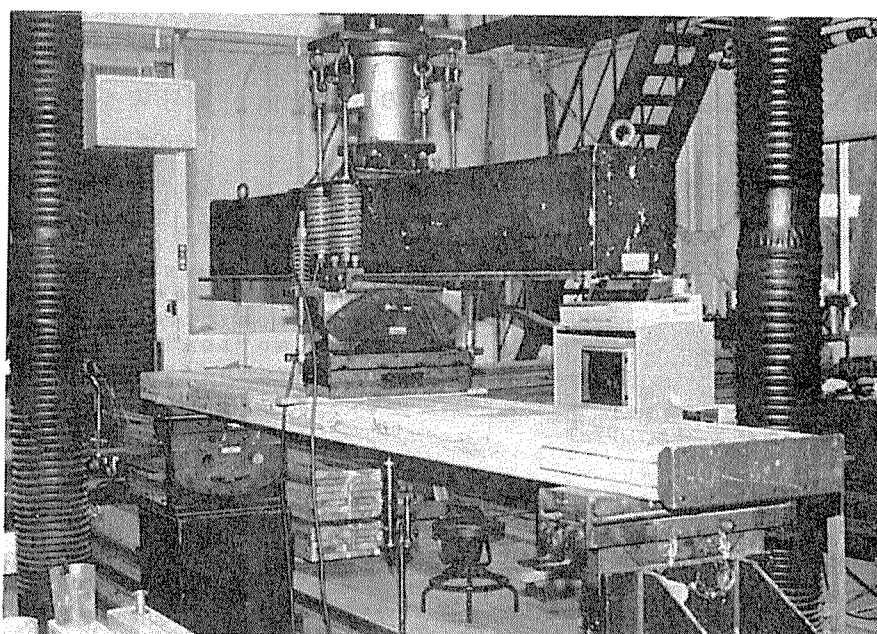


写真 2 フラットワイズ曲げ剛性試験法 (CN-C74988/16)

曲げヤング係数 E_z は次式で算定した（せん断たわみの影響は無視）。

$$E_z = (L^3/48I)(P/\delta) \quad \dots\dots 40)$$

ただし、 $I = hb^3/12$, $h = 52.6\text{cm}$, $b = 11\text{cm}$, $L = 300\text{cm}$

$P =$ 荷重, $\delta =$ スパン中央たわみ

なお、荷重 P は集成材の曲げ最外皮応力度がスギ集成材の許容応力度 $f_b = 115\text{kgf/cm}^2$ を越えない範囲で与えた。

$$P_{\max} \leq (4/L) \cdot f_b \cdot (hb^2/6) = (4/300)(115 \times 52.6 \times 11^2/6) = 1.6\text{tf}$$

[試験機とデータの収録]

すべての実験には、東京衡機製の100tf型油圧試験機を使用した。曲げ試験は中央集中単調増加型加力で行い、荷重(P)—スパン中央たわみ(δ)、ロゼットゲージのひずみ ε_{45} 、 ε_0 、 ε_{90} 等は東京測器社製TDS-301を通じてパソコンのFDにデジタルデータとして収録した。データ収録の際の荷重刻みは $\Delta P=10\text{kgf}$ および変位の刻みは $\Delta \delta=1\text{mm}$ とした。

4.3 継手試験体のエッジワイズ曲げ試験

図9に示した π 型鋼板ドリフトピン接合部の剛性と終局耐力を確認する目的で、継手試験体の強軸方向(エッジワイズ)曲げ強度試験を以下の要領で実施した。

4.3.1 試験方法

長さ3.6mの継手試験体用集成材4体から、剛性の近いもの同士を一組として2体の継手試験体を組み立てた。その際、片方の接合部近傍の集成材表面及びガセット鋼板表面に所定枚数のストレインゲージを貼って、ひずみ分布を測定した。

図12に曲げ強度試験の方法と測定機器類の取付位置、番号等を示す。

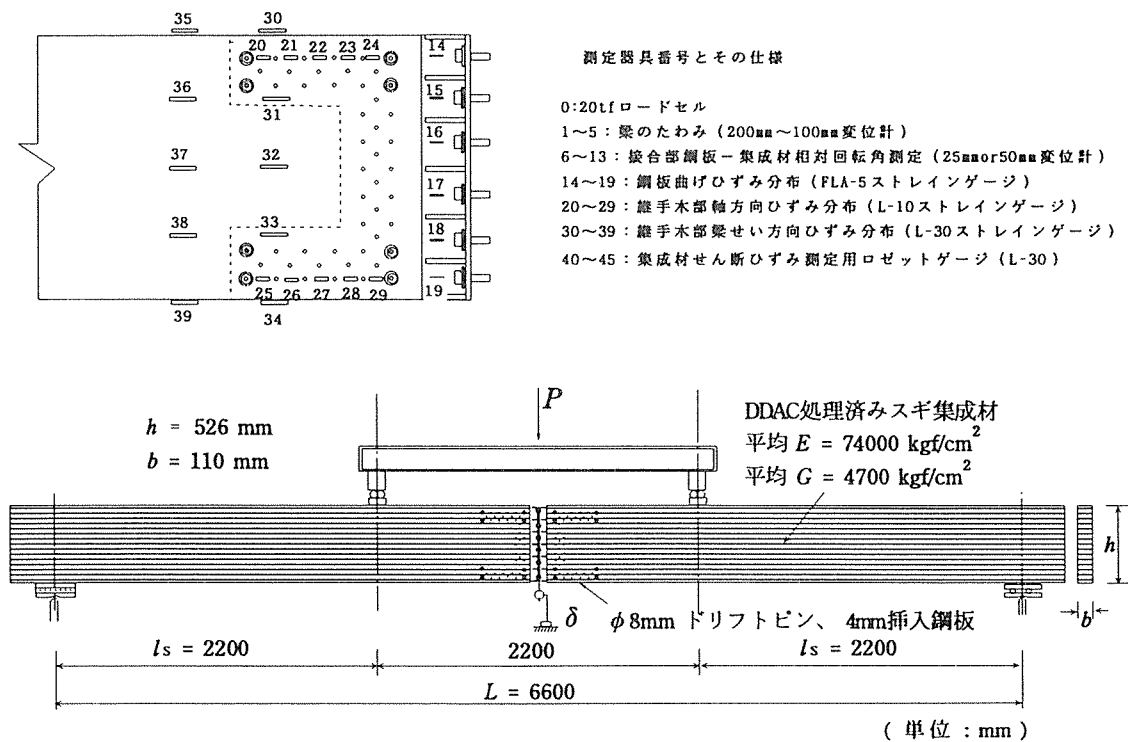


図12 継手試験体の強軸方向(エッジワイズ)曲げ強度試験方法

4.3.2 相当設計荷重 P_d と加力スケジュール

アーチ部材一本に対する設計モーメント $M_d=10.25\text{tfm}$ によって集成材最外皮に発生する応力度と等価な応力度を1/2モデルで与える荷重を相当設計荷重 P_d と呼ぶことにする。

設計モーメントによる最外皮応力度 σ_d は

$$\sigma_d = M_d/Z = 10.25 \times 100000 / (22 \times 105^2 / 6) = 25.4 \text{ kgf/cm}^2$$

1/2モデルで等価な応力度を与えるモーメント $M_{e,q}$ は

$$M_{e,q} = \sigma_d \cdot Z = 25.4 \times (11 \times 53^2 / 6) = 130806 \text{ kgfcm} = P_d \times l_s / 2$$

よって、

$$P_d = 2 \times M_{e,q} / l_s = 2 \times 130806 / 220 = 1189 \text{ kgf} \rightarrow 1200 \text{ kgf}$$

以上より、 $P_d = 1.2\text{tf}$ を等価設計荷重として実験結果を評価する。ただし、実際の実験では、等価設計荷重の算定を間違えて $P_d = 5\text{tf}$ として以下の加力スケジュールで片振り繰り返し加力を与えた。

- 1回目： $0 \rightleftharpoons 1/2 P_d$
- 2回目： $0 \rightleftharpoons P_d$
- 3回目： $0 \rightleftharpoons P_{max}$

写真3に継手試験体のエッジワイズ曲げ試験の状況を示す。

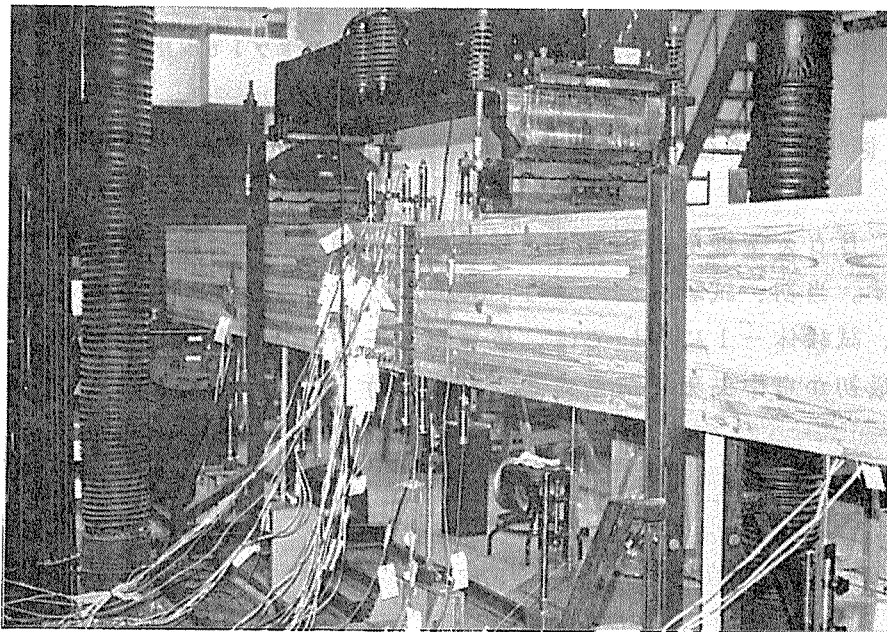
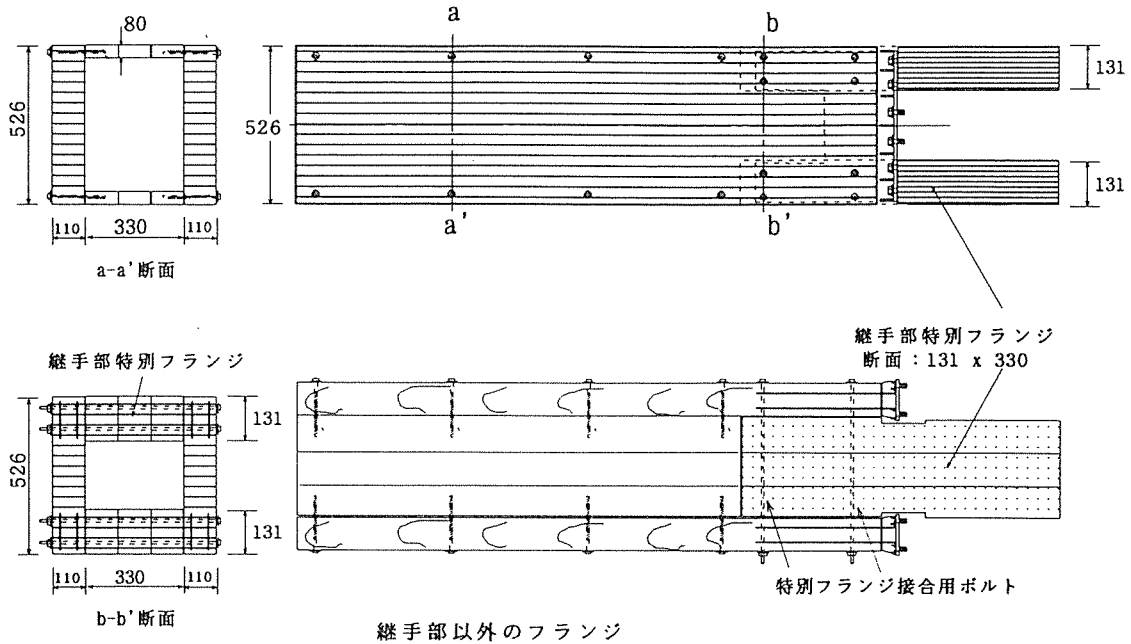


写真3 継手試験体のエッジワイズ曲げ試験の状況 (CN-B00599/7A)

4. 4. B o x 型継手試験体の弱軸方向曲げ試験

2本の集成材アーチをB o x断面化するにあたって、最大のネックは接合部のフランジ部分をどのように一体化するかという点であった。検討の結果、今回の設計では、この部分には図13に示すような特別製フランジを現場接着することになった。設計に際しては、この部分の弱軸方向曲げ性能が未知数であったため、その強度性能を確認する目的で、1/2スケールのB o x型継手試験体の弱軸方向曲げ強度試験を行った。



Box型接合部製作仕様書

1. 一般部分は 80mm x 330mm の集成材フランジをラグスクリュー (φ12mm、L200mm) 締め接着 (レゾルシノール樹脂接着剤) とする。
2. 継手部分は、特別製集成材フランジ (131mm x 330mm x 約1000mm) をボルト締め接着とする。この際のボルトは、鋼板挿入ドリフトピン接合部のボルト孔を利用して接合する。

図 1 3 接合部の現場接着の概念 (図は 1 / 2 モデルを使用)

図 1 4 に Box 型継手試験体の弱軸方向曲げ強度試験方法と測定機器類の取付位置等を示す。当初、試験は図のように 4 点曲げ方式を採用したが、破壊に達しなかったため、試験体-1 については、破壊実験を中央集中荷重で行った。また、試験体-2 は最初から中央集中荷重方式で試験を行った。

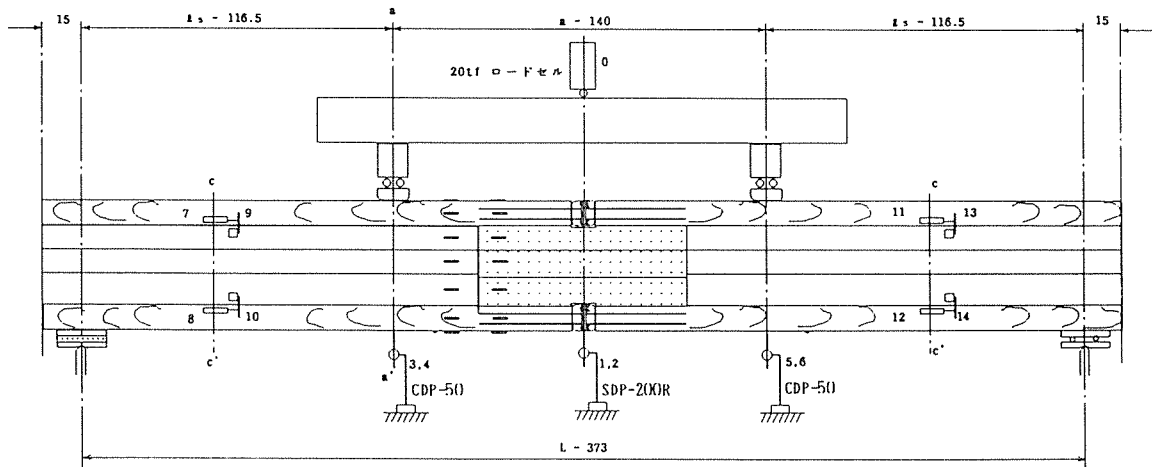


図 1 4 Box 型継手試験体弱軸方向曲げ試験方法

写真4にBox型継手試験体の曲げ試験の状況を示す。

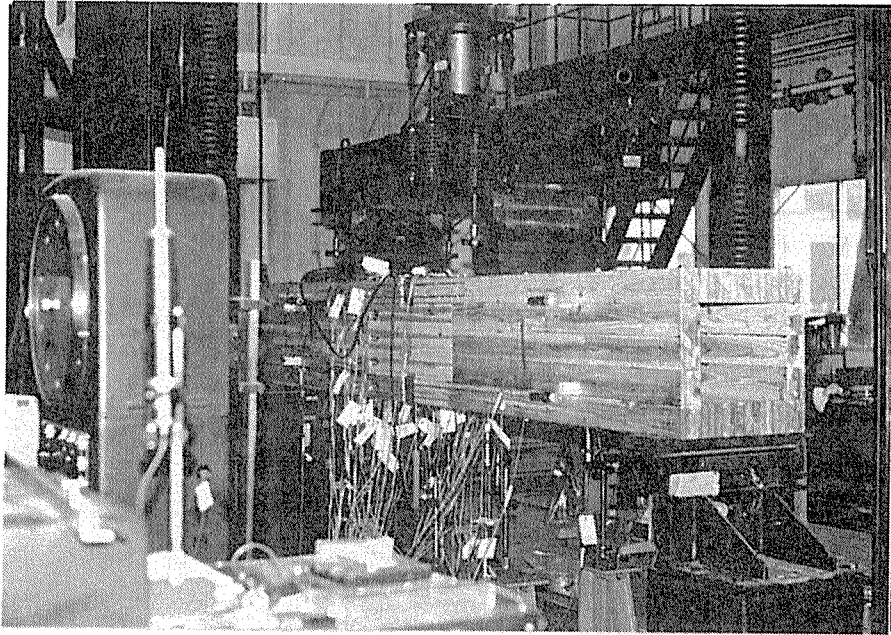


写真4 Box型継手試験体の曲げ試験の状況 (CN-B00599/21A)

図15にひずみゲージの張り付け位置と番号を示す。

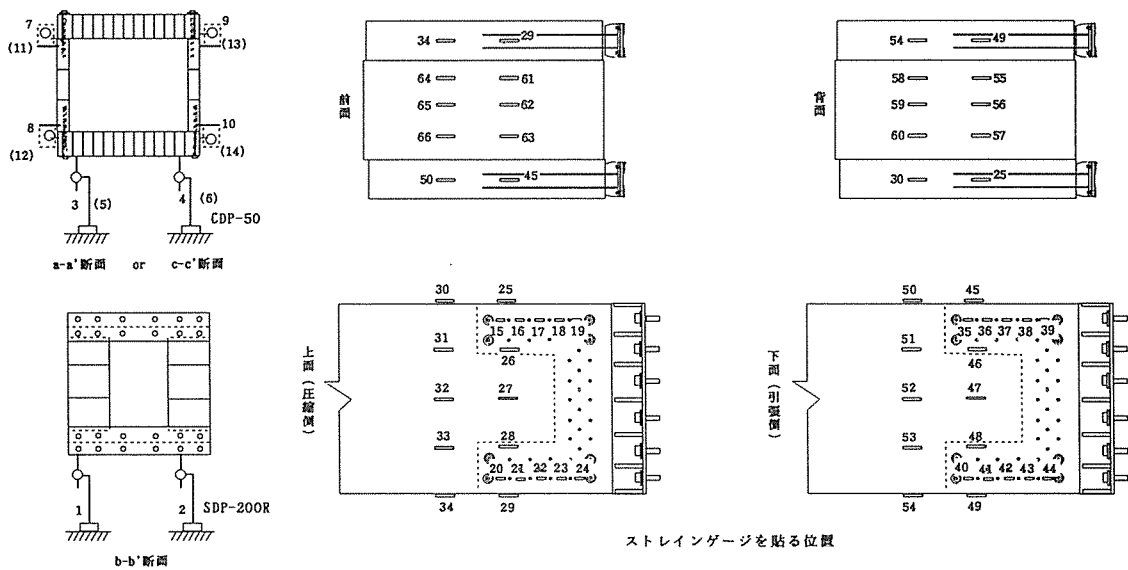


図15 Box型接合部試験体の試験方法と測定機器類の位置

[加力スケジュール]

弱軸方向に関しては設計モーメントが明確ではないので、 $P_e = 3.0tf$ ($M=PL_s/2$ 、 $L_s=116cm$)を仮の基準荷重と仮定して、以下のスケジュールで片振り繰り返し荷重を掛けた。

- 1回目 : $0 \rightleftharpoons 1/2P_e$
- 2回目 : $0 \rightleftharpoons P_e$
- 3回目 : $0 \rightleftharpoons 2P_e$
- 4回目 : $0 \rightleftharpoons 3P_e$
- 5回目 : $0 \rightarrow P_{max}$

5. 結果および考察

5. 1 供試集成材の弾性常数

表2に1/2モデルに使用されたスギ集成材の弾性常数を示す。

表2 供試スギ集成材の弾性常数 (D D A C 処理済み)

| No. | E_x | E_z (kgf/cm ²) | G_{xy} | E_x/G_{xy} |
|-----|-------|---------------------------------|----------|--------------|
| 1 | 77010 | 79952 | 3743 | 20.6 |
| 2 | 72801 | 80899 | 5356 | 13.6 |
| 3 | 82468 | 89518 | 4387 | 18.8 |
| 4 | 63026 | 82271 | 5392 | 11.7 |
| 平均 | 73826 | 83160 | 4720 | 16 |

E_x : G_{xy} を考慮して、エッジワイズ曲げ実験より

E_z : G_{xy} を無視して、フラットワイズ曲げ実験より

G_{xy} : エッジワイズ曲げ実験より (ロゼットゲージより)

表2より、 G_{xy} を考慮して算定したヤング係数は、無視した場合に比べてやや低くなる傾向にあり、接合部の設計で仮定した80000kgf/cm²を下回った。

一方、 E_x/G_{xy} の平均は16で既往の文献値(16~20)の範囲に入っていた。

1/2モデル試験体が製造された時期は、実際の橋用の集成材が製造された時期よりも3, 4カ月前で、原木のロットは1/2モデル実験と実際とは異なるものと考えられる。広田村関係者の話によれば、実際のアーチ橋に使われた集成材は60年生のスギから採材されており、集成材工場(岡山県 銘建工業)での全数グレーディングの結果(Appendix-2)が平均値で80000kgf/cm²を越えていたことを併せて考えると、接合部の設計用に集成材のヤング係数を80000kgf/cm²と仮定したことはほぼ妥当な推定であったと言えよう。

5. 2 継手試験体のエッジワイズ曲げ試験の結果

5. 2. 1 荷重(P) - たわみ(δ) 関係

図15に荷重(P)とスパン中央たわみ(δ)の関係を示す。図15の左側縦軸は荷重Pを、右側縦軸は荷重Pを相当設計荷重 P_d で割った値を示しており、その最大値は一種の安全係数(または荷重係数)を意味している。今回の継手試験体のエッジワイズ曲げ試験の場合、この係数は5.8程度で、設計に対する十分な余裕は確認できたと言えよう。

ただ、アーチリブ接合部の弱軸方向剛性を確保する目的のため、鋼板を二重に挿入することを要求されたため、鋼板一枚に関するドリフトピンの長さlと直径dの比が8以下となった。このことは、木材中でドリフトピンが屈曲してエネルギーを費やす前に、ドリフトピンが通直のまま木材中にめり込み、最終的に木材の割裂を

伴う脆性的な破壊が発生する可能性が高いことを示唆している。結果として、後述するように、モデル実験での接合部の破壊モードはかなり脆性的であった。

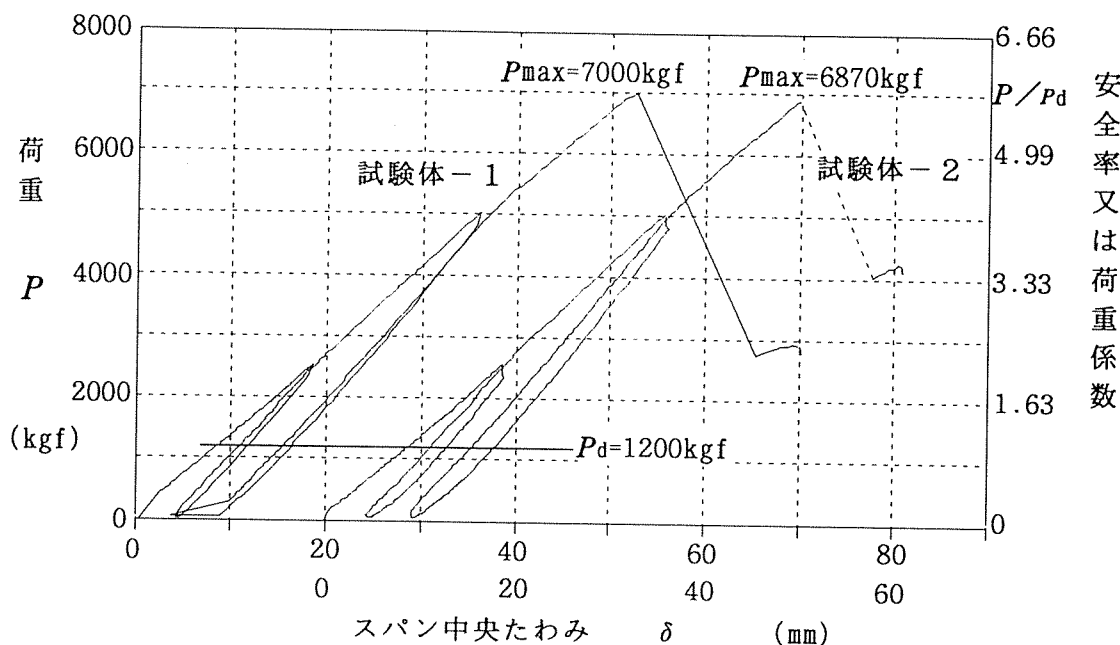


図 15 荷重 (P) とスパン中央たわみ (δ) の関係

5. 2. 2 接合効率と計算予測

表 3 に曲げ試験の結果をまとめて示す。

表 3 接合部の曲げ試験の結果

| | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) | (7) | (8) |
|-------|------------------------|-----|---------|------|------|-------|------|------|
| | (kgf/cm ²) | | (kgf) | | | (比) | | |
| 試験体-1 | 62900 | 162 | 7000 | 7158 | 0.85 | 0.47 | 5.83 | 1.02 |
| 試験体-2 | 61420 | 159 | 6820 | 7158 | 0.83 | 0.46 | 5.73 | 1.05 |

(1)接合試験体の見掛けの MOE : $E' = L^3(3\beta - 4\beta^3)/48I\{\delta/P - \kappa l_s/GA\}$, $\beta = l_s/L$

(2)接合試験体の見掛けの MOR : $\sigma_{max} = P_{max} \cdot l_s/2Z$, $Z = bh^2/6$, $I = bh^3/12$, $\kappa = 1.2$

(3)実測最大荷重 : P_{max} $G = 4700 \text{ kgf/cm}^2$, $A = bh$

(4)推定降伏荷重 P_{ca1} : ヨーロッパ型剛塑性理論式と 3 章の計算法による

(5)剛性接合効率 = (1) / 集成材の平均 MOE (= 74000 kgf/cm²)

(6)強度接合効率 = (2) / すぎ集成材の材料強度 (= 345 kgf/cm²)

(7)荷重係数 = (3) / 相当設計荷重 P_d (= 1200 kgf)

(8)推定最大荷重 / 実測最大荷重 = (4) / (3)

試験体の見掛けのヤング係数を集成材の平均ヤング係数で割った「剛性接合効率」は80%以上を示した。この数字は機械的接合法としてはほぼ満足すべき値と考えられる。

試験体の見掛けの曲げ破壊係数を母材集成材の材料強度で割った「強度接合効率」は50%以下であった。この値は鋼板挿入ドリフトピン接合としては平均的な値と考えられるが、達成目標を80%と見なせば少し見劣りのする値であった。このことに関する一つの原因は、鋼板一枚当たりのドリフトピンの径長比 l/d が8以下で塑性変形能力に乏しかったためと考えられる。

ヨーロッパ型剛塑性理論式³⁾と3章に示した計算法によって推定される降伏荷重 $P_{e,1}$ は実測最大荷重にほぼ等しかった。試験体は破壊するまで殆ど弾性的で、降伏点は認められなかったにも拘わらず、理論的降伏荷重と破壊荷重がほぼ等しかったということは皮肉なことである。このことは、繊維直交方向加力を受ける接合部の場合、ドリフトピン単体の降伏耐力の代わりに最大耐力をヨーロッパ型剛塑性理論式に代入すれば、接合部の最大耐力をおおよその範囲で推定できる事を意味している。

5. 2. 3 ひずみ分布

図16、17に継手試験体エッジワイズ曲げ試験における特定荷重時にストレインゲージによって実測された接合部周辺のひずみ分布を示す。接着が完璧なゲージの場合、荷重-ひずみの関係はほぼ完全な線形関係となる。そうでない場合は接着が一部不良と見て、線形領域に直線を引いて当該荷重時のひずみを推定した。

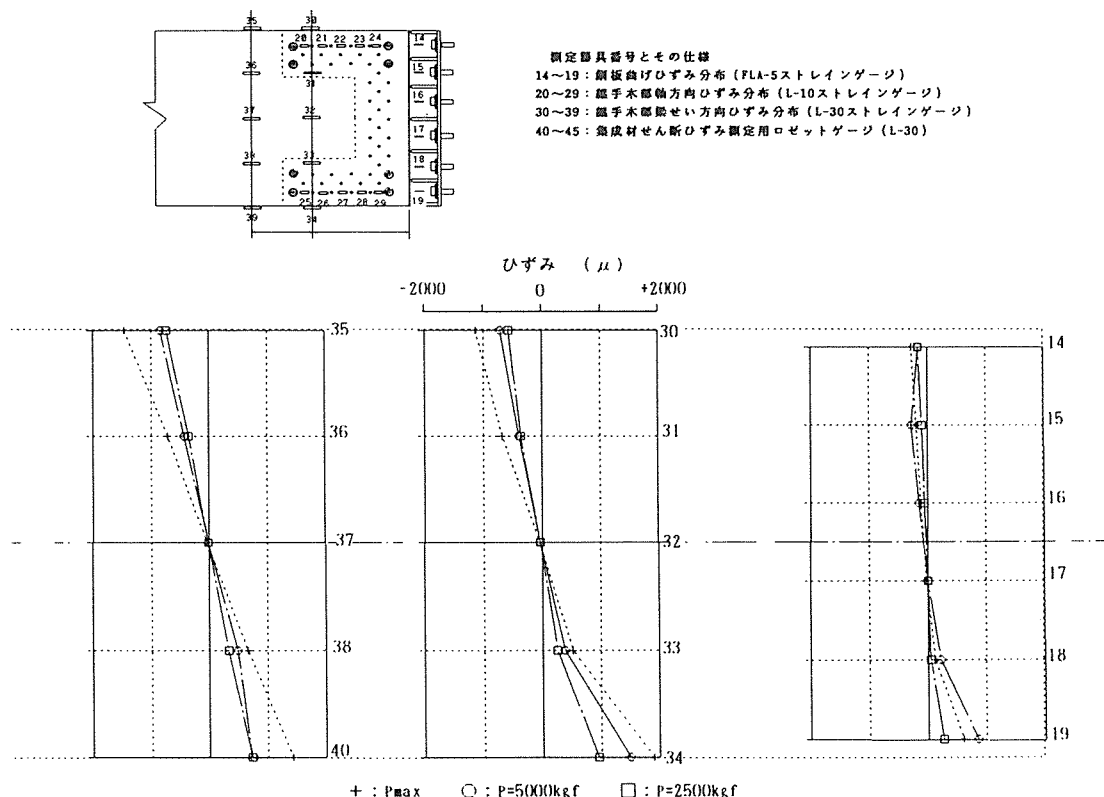
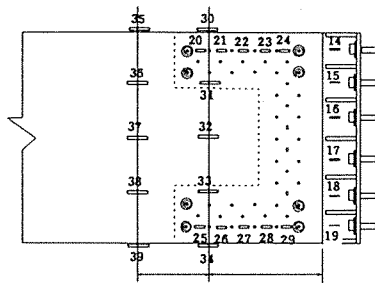


図16 エッジワイズ曲げ試験体-1における接合部近傍の曲げひずみ分布



測定器具番号とその仕様
 14~19：鋼板ひずみ分布 (FLA-5ストレインゲージ)
 20~29：継手木部軸方向ひずみ分布 (L-10ストレインゲージ)
 30~39：継手木部梁せい方向ひずみ分布 (L-30ストレインゲージ)
 40~45：集成材せん断ひずみ測定用ロゼットゲージ (L-30)

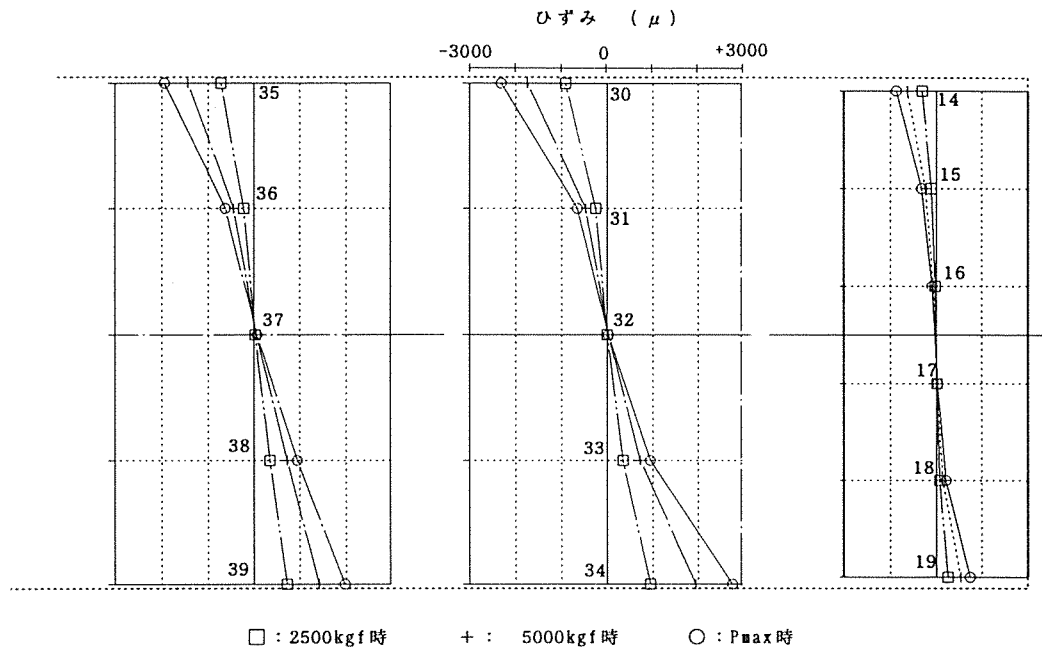


図 1 7 エッジワイズ曲げ試験体-2における接合部近傍の曲げひずみ分布

図 1 6、1 7 より、 π 型ガセット鋼板より外側の完全に集成材の部分 (#35~#39) の曲げひずみは梁の初等理論が教えるように、材中央でひずみゼロの中立軸を有する直線分布を呈することが分かる。

一方、 π 型ガセット鋼板を内部に含む領域の集成材表面のひずみ分布 (#30~#34) は、やや直線分布が崩れた 3 次曲線的なひずみ分布を呈する。これは、ドリフトピンからのせん断力が微妙に影響していることを示している。

スプリット T 型の鋼板部分のひずみ (#14~#19) は集成材表面で測定されたひずみ値のほぼ半分であった。これは鋼板 2 枚で曲げひずみを分担しているためで、一枚あたりのひずみとしては当然のことである。しかし、中立軸は材せいの中央ではなく、若干引張側に下がっていることが看守される。この観察結果は鋼構造設計基準で仮定している条件、すなわち、「リベット、ボルト等に引張応力を生ずるような曲げモーメントが作用する鋼構造接合部の場合、回転中心は引張端から材せいの 0.8 倍の位置に存在する」とむしろ逆の結果となった。

この原因については不明であるが、スティフナーがかなり密に入っていたことや、スプリット T 鋼板の 3 次元構造に由来する複雑な力の分布などが微妙に影響していたとも考えられる。

図18、図19にドリフトピンの中に貼った長さ10mmの小型ゲージによるひずみ測定の結果を示す。圧縮側、引張側とも、集成材表面の軸方向ひずみは木口に向かって減少していく傾向を示している。この結果は軸力を受けるせん断接合部の理論的な軸力分布の形と一致している。

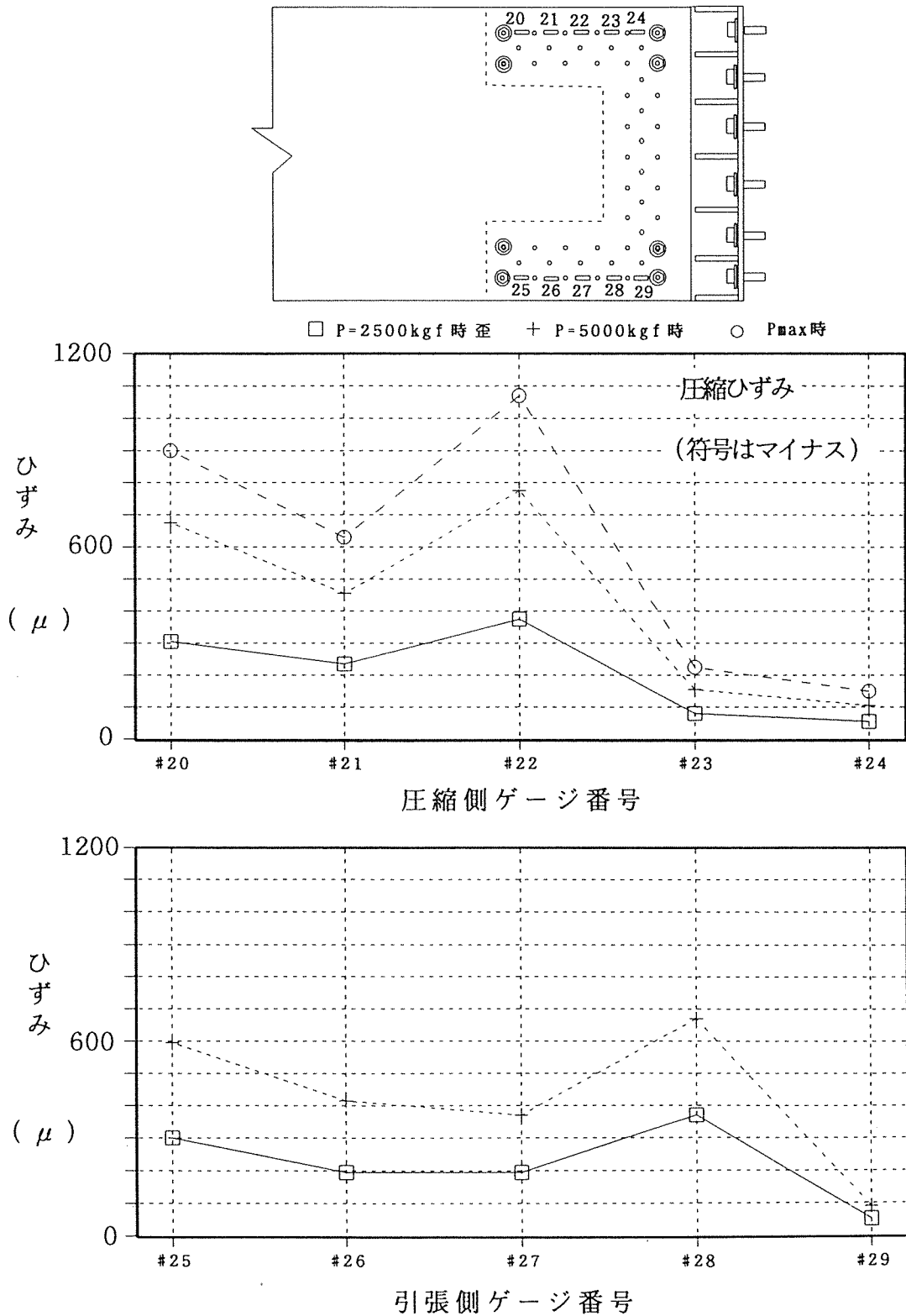


図18 ドリフトピンの中に貼ったゲージのひずみ分布 (試験体-1)

従って、この結果から、 π 型鋼板を用いたドリフトピン接合部の力の流れを、上下フランジ部分だけの接合と見なして解析できるとする考え方も成り立つが、ガセット板を2枚挿入しており、後述するように π 型鋼板ガセット板自体の剛体回転も少なからず起こっているため、ことはそう単純ではないように思える。

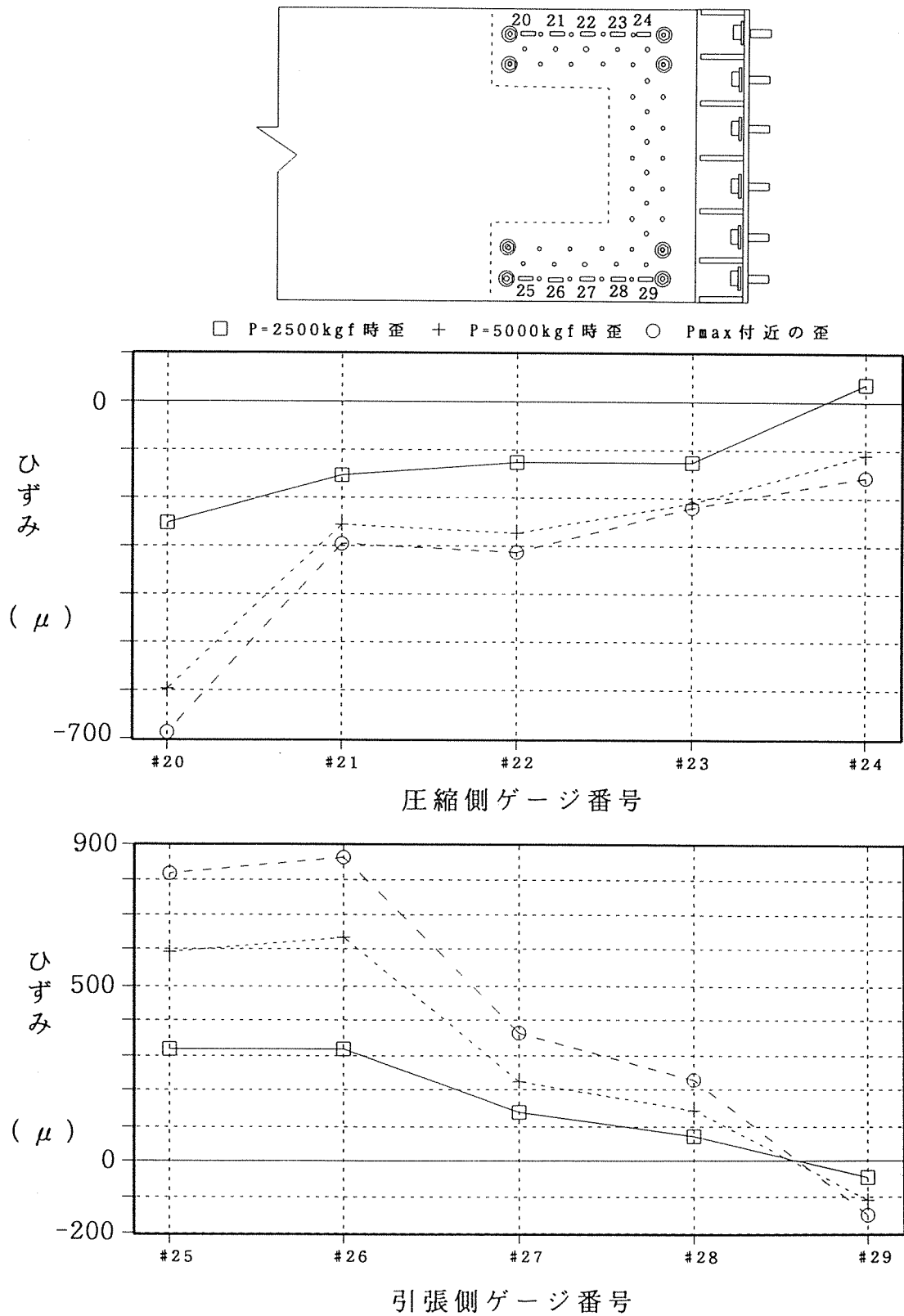


図 19 ドリフトピンの間に貼ったゲージのひずみ分布 (試験体-2)

5. 2. 4 接合部の回転変形

図20、21にπ型鋼板挿入ドリフトピン接合部におけるモーメント ($M=l_s \cdot P/2$)と相対回転角 θ_R 、 θ_L の関係を示す。ここで、 θ_R とは紙面上で右側の接合部の回転角を、 θ_L とは左側の回転角を意味する。この回転角はπ型鋼板自体が弾性変形をしないと仮定すれば鋼板-集成材間の相対回転角を表している。

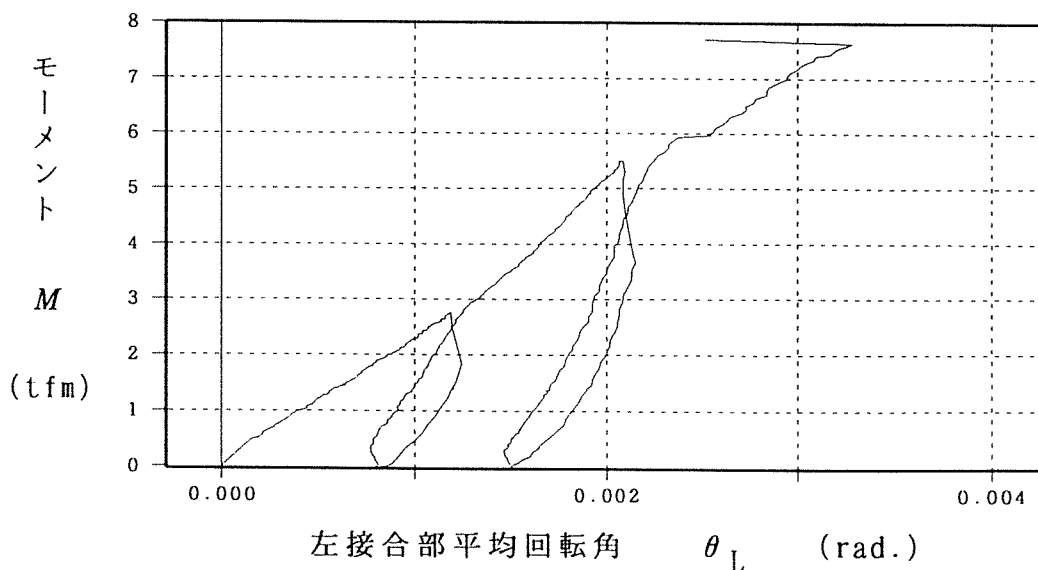
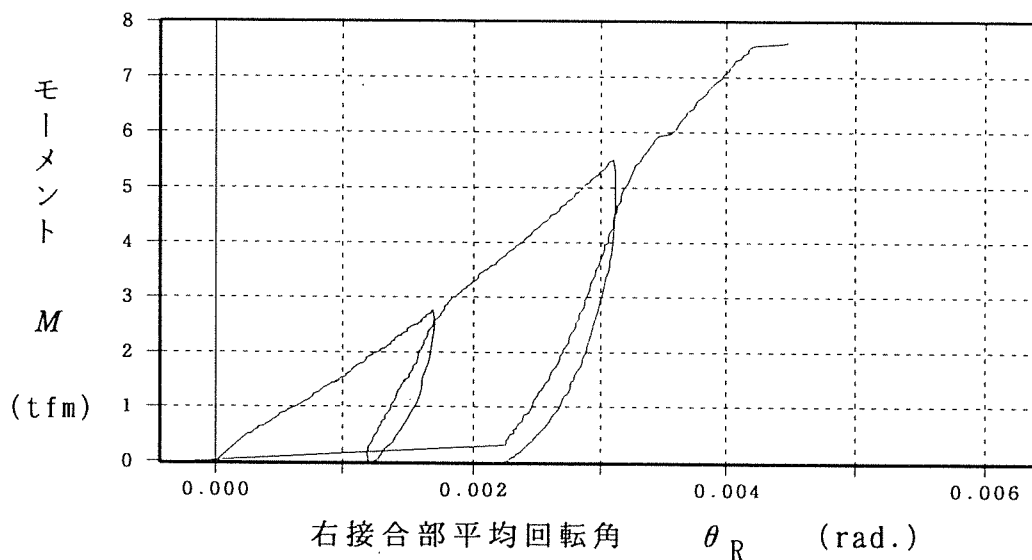
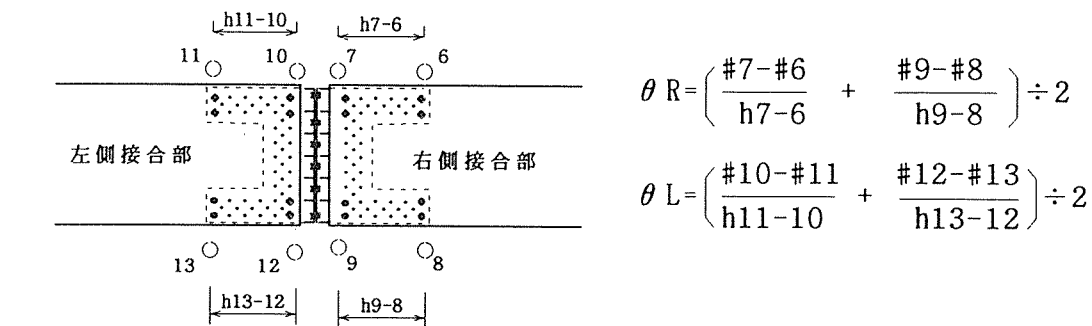
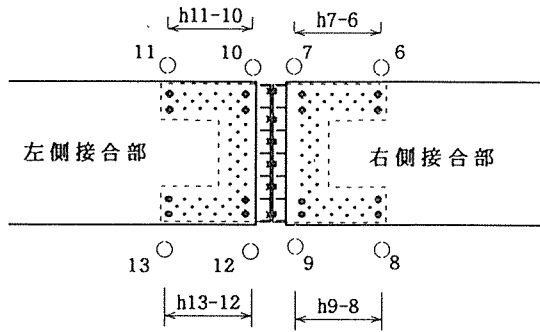


図20 試験体-1 接合部におけるモーメントMと回転角 θ の関係



$$\theta_R = \left(\frac{\#7-\#6}{h_{7-6}} + \frac{\#9-\#8}{h_{9-8}} \right) \div 2$$

$$\theta_L = \left(\frac{\#10-\#11}{h_{11-10}} + \frac{\#12-\#13}{h_{13-12}} \right) \div 2$$

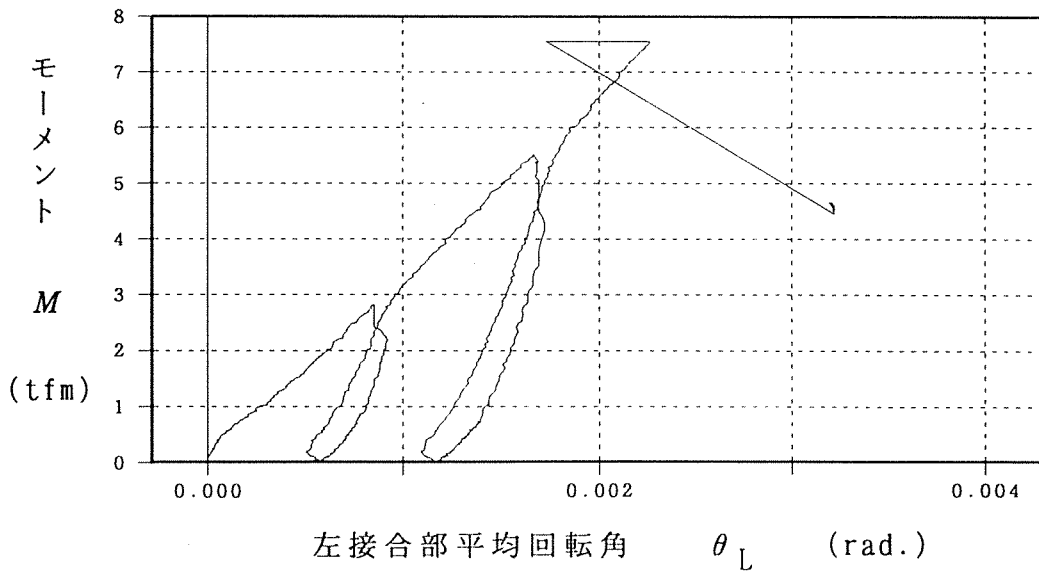
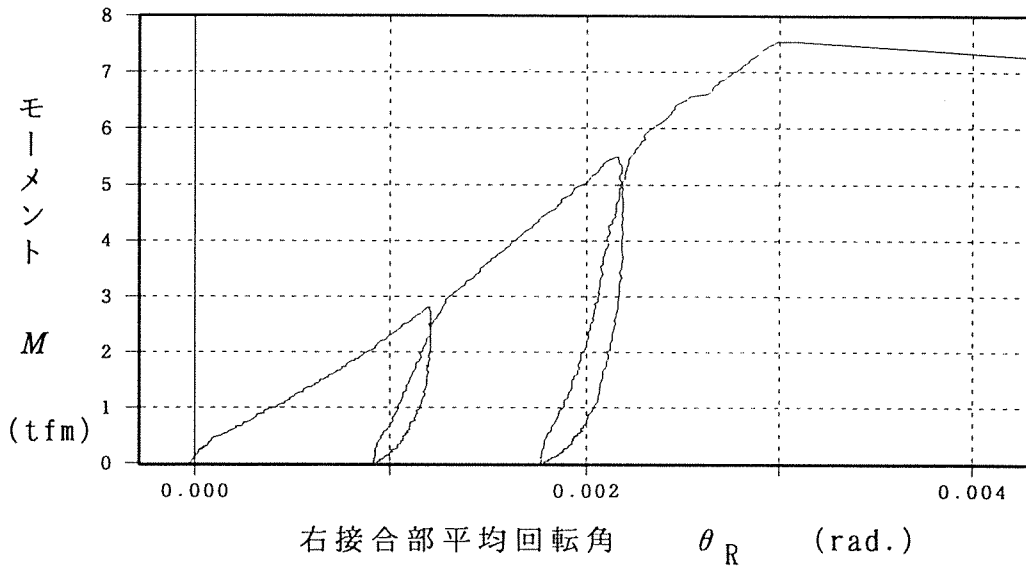


図 2 1 試験体-2 接合部におけるモーメント M と回転角 θ の関係

図 2 0、2 1 の $M-\theta$ 関係の直線域の傾き $R=M/\theta$ が接合部の回転剛性 R_j であるが、最小自乗法で求めたそれらの値は以下の通りである。

試験体-1 : $R_{jR} = 1770$ (右) $R_{jL} = 2540$ (左) tfm/rad.

試験体-2 : $R_{jR} = 2540$ (右) $R_{jL} = 3185$ (左) tfm/rad.

試験体-1、2ともスパン中央よりも右側の接合部の回転剛性が左側の剛性より低かった。このことは、スパン中央に対してたわみ曲線は非対称分布をしている可能性を示唆している。そこで、スパン方向を6等分した5点において測定したたわみ $\delta_1 \sim \delta_5$ を特定荷重別にプロットしてみると、図2.2に示すような分布形を示した。

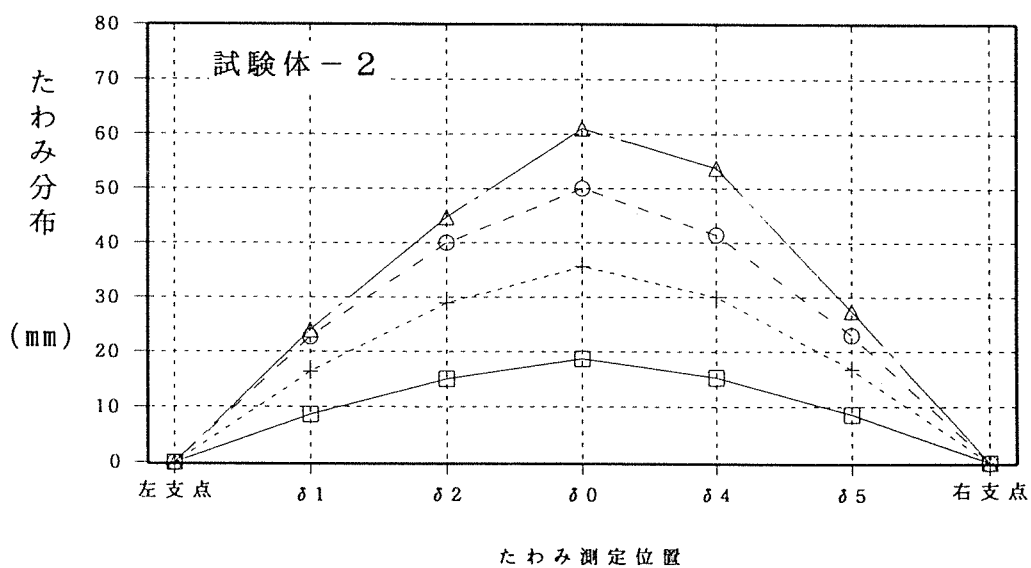
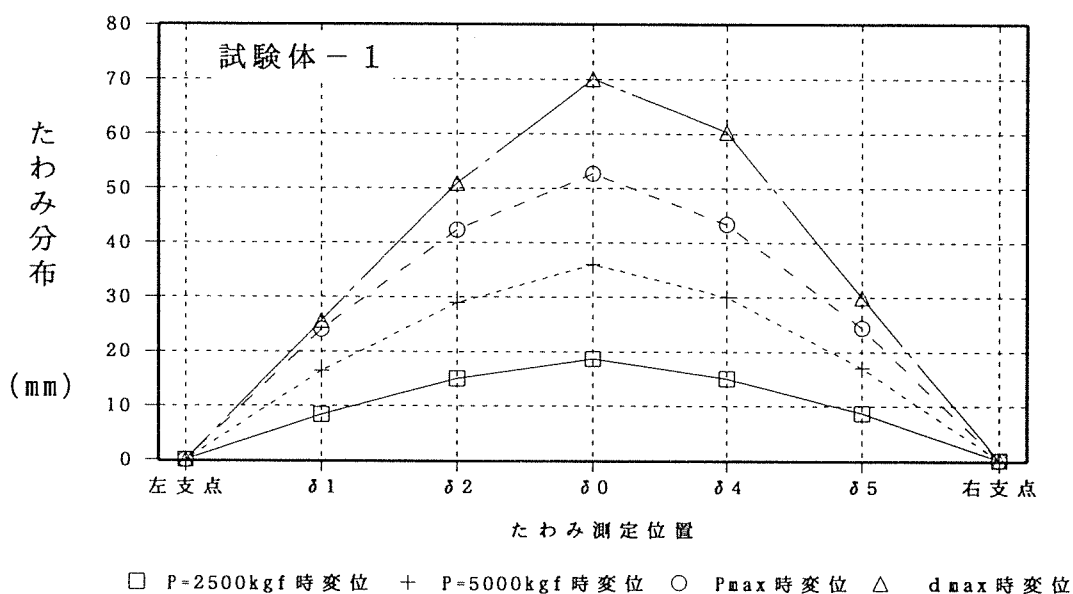
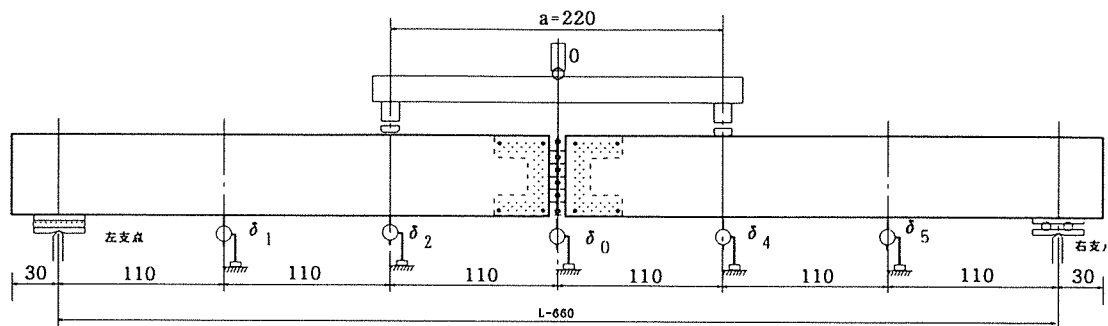


図2.2 たわみ分布曲線

図 2 2 より、試験体 - 1, 2 とも、スパン中央に対して右側の方が少したわみが大きく、接合部の実測回転剛性が右側の方が小さかった（変形は大きい）という結果と定性的には一致している。

5. 2. 5 実験時の観察結果と破壊形態

[試験体 - 1]

第 1 ループ： 戻りは早い 残留たわみ 4.4mm

第 2 ループ： P=4.5tf で異常なし、5tf でも全く異常なし。

No.364 のデータで昼休み。 盛換かえ

第 3 ループ： P = 5200kgf でミシミシと発音。 P=5450kgf で左側 ピンから割裂発生。

Pmax = 6993kgf 非常にもろい破壊。

図 2 3 に破壊のスケッチを、写真 5 に破壊状態をそれぞれ示す。印象として、非常に局部的でかつ脆い破壊であった。

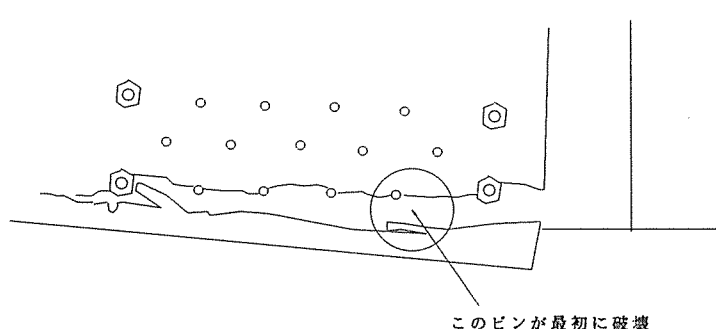


図 2 3 試験体 - 1 の破壊箇所のスケッチ（左・引張側）

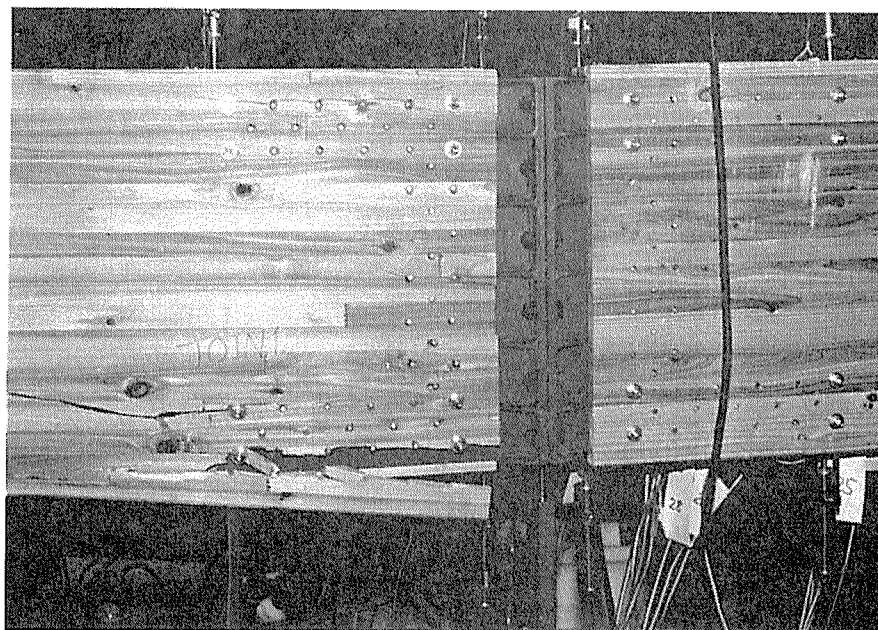


写真 5 試験体 - 1 の破壊状況（CN-B00599/13A）

[試験体 - 2]

第 1 ループ : #2 → CDP-100 に変更。

今回は、加力ビームが試験体にかからない状態で T D S のイニシャルを取る。

: P=2500kgf までは 全く異常なし。

第 2 ループ : P=4300kgf 辺りで初の発音あり

P=4600kgf で左側接合部で発音。しかし異常なし

P= 5tf までで全く異常はない。

第 3 ループ : Pmax = 6870kgf で No.2 の方の部材の下側脆性破壊。

破壊箇所はスギ特有の黒心のような所。試験体 - 1 も黒心のよ
うな所から破壊した。黒心部分は弱い？

図 2 4 に破壊のスケッチを示す (写真はない)。やはり、非常に脆い感じの破壊
であった。

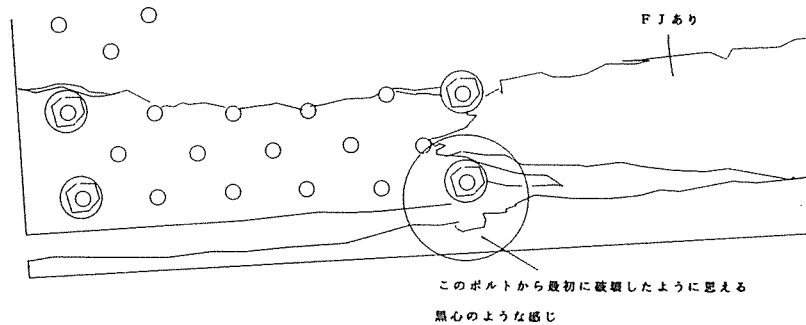


図 2 4 試験体 - 2 の破壊箇所のスケッチ (左・引張側 裏から見ている)

5. 3 Box型試験体の弱軸方向曲げ破壊試験の結果

Box型試験体の曲げ強度実験は最初図14に示す4点曲げ方式で行ったが、スパンが短く試験機の最大容量20tf以内では破壊に至らないことが判明したので、急きょ図26に示す近似的中央集中荷重条件で破壊実験を行った。

本報告書では、Box型試験体の実験結果については、中央集中加力方式で行ったものについてのみ報告する。

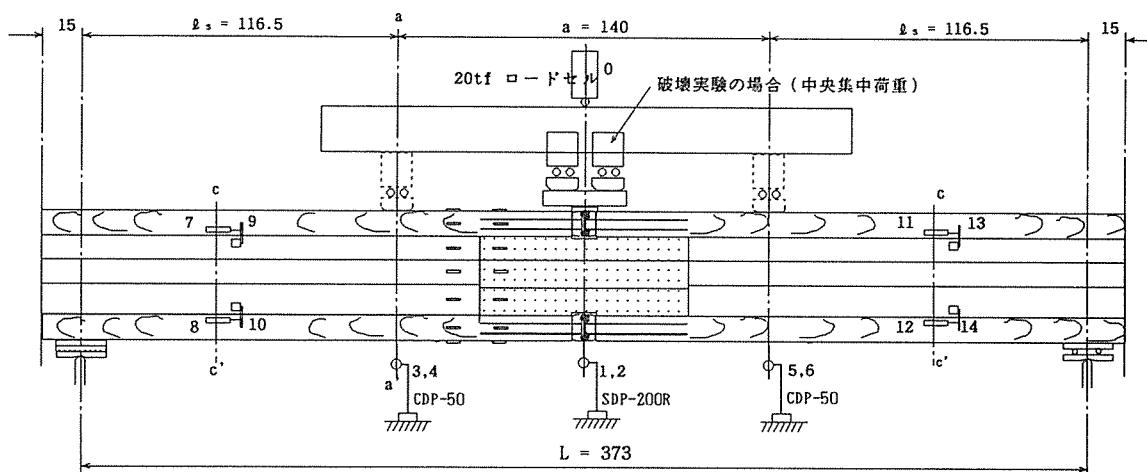


図26 Box型試験体の弱軸方向曲げ破壊試験方法（近似的中央集中荷重）

写真6に加力点付近のクローズアップ写真を示す。

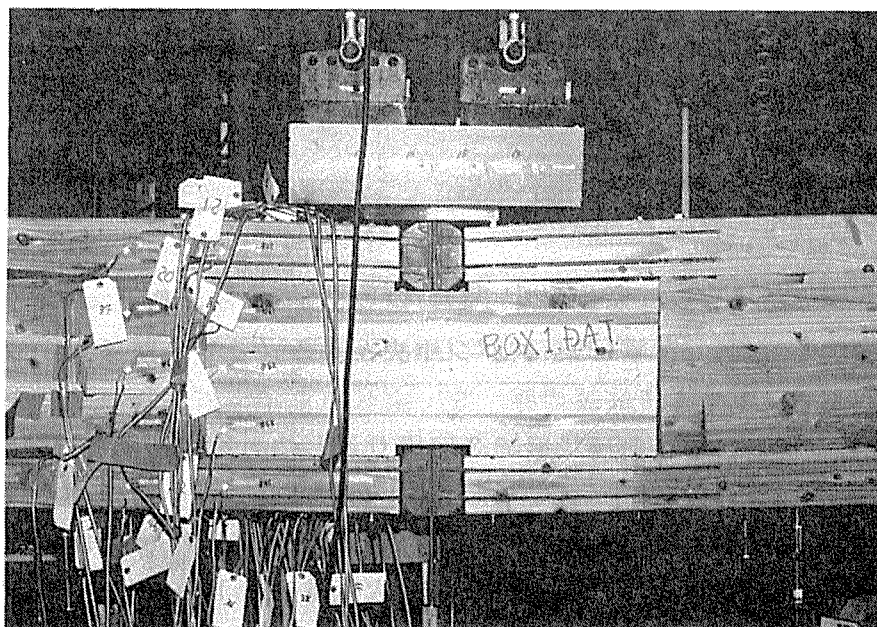


写真6 Box型試験体の弱軸方向曲げ破壊試験 加力点付近の詳細（CN-B00599/23A）

5. 3. 1 荷重 (P) - スパン中央たわみ (δ) の関係

図 2 7 に荷重 (P) - スパン中央たわみ (δ) の関係を示す。ここで、たわみ δ とは Box 梁の前後で測定されたたわみ (図 2 6 の No. 1, No. 2) の平均値である。

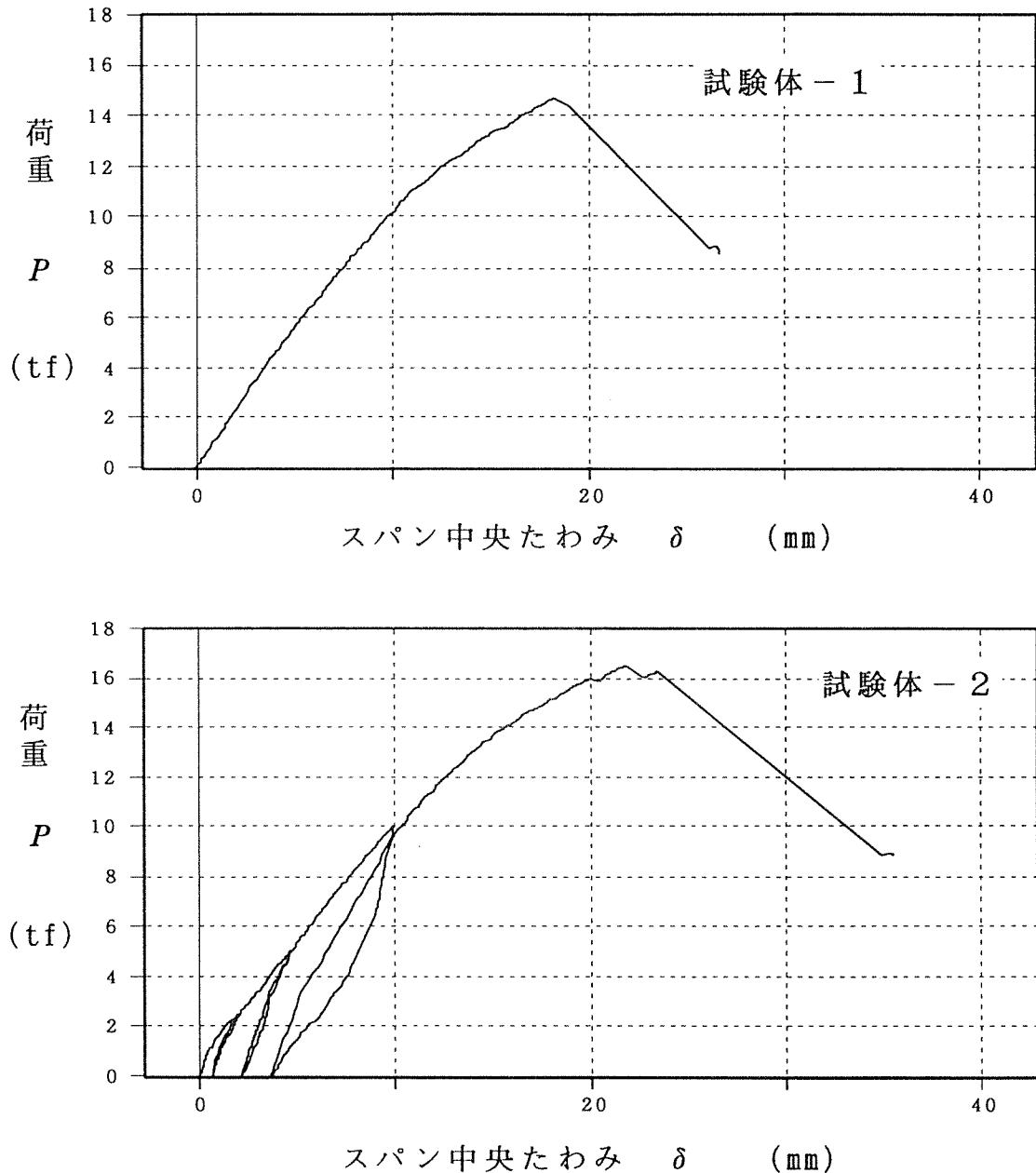


図 2 7 荷重 (P) - スパン中央たわみ (δ) の関係

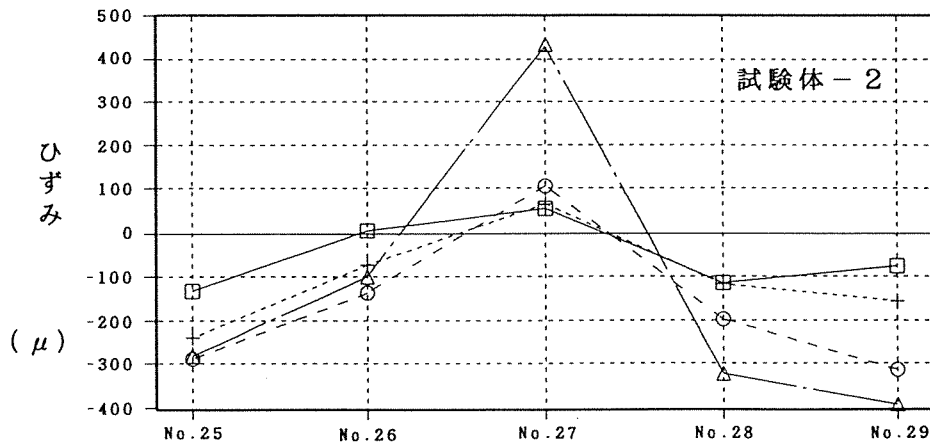
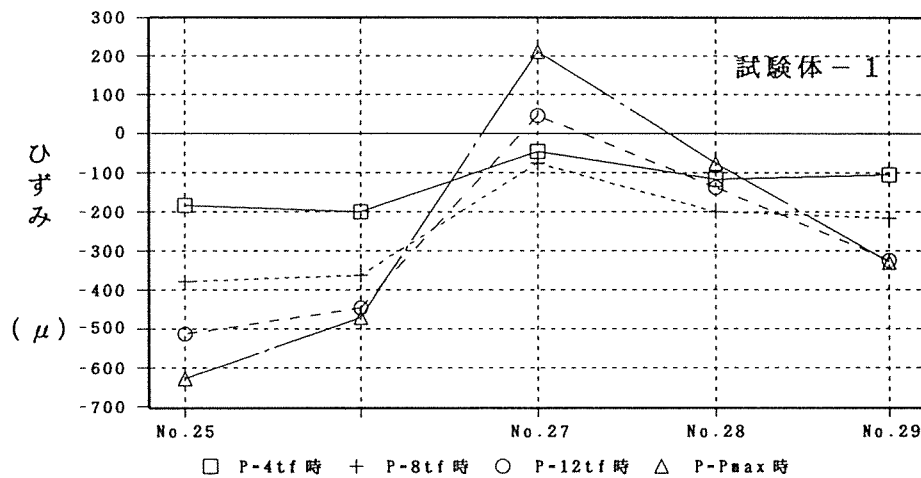
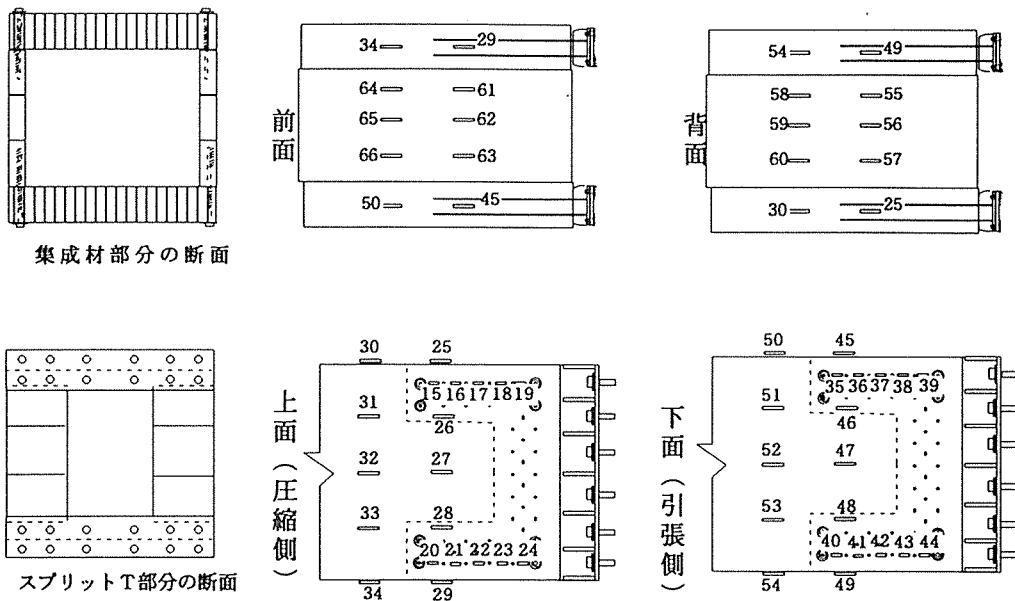
試験体 - 1 の場合、4 点曲げ状態で 3 回繰り返し加力を加えた後に、中央集中荷重によって破壊させた時のデータを示した。一方、試験体 - 2 については、最初から中央集中加力方式の状態で 3 回繰り返し加力した後破壊させた。Box 型試験体の場合、特に設計荷重に相当する指標はなかったが、最大荷重は以下の通りであった。

試験体 - 1 : $P_{max} = 14.60 \text{ tf}$

試験体 - 2 : $P_{max} = 16.48 \text{ tf}$

5. 3. 2 フランジ上面（圧縮側の面）のひずみ分布

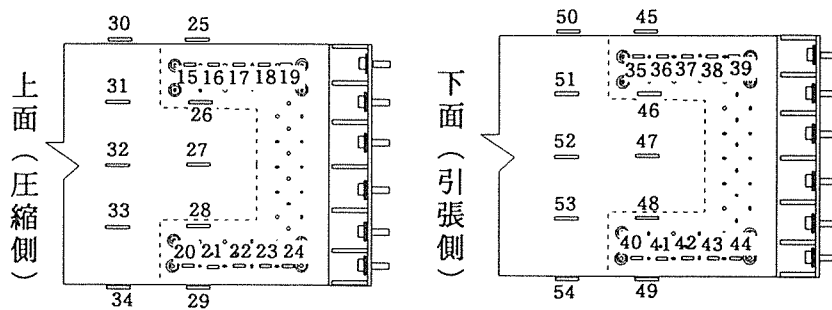
図 2 8 にBox型試験体の上フランジ面（圧縮応力）前列のひずみ分布を示す。



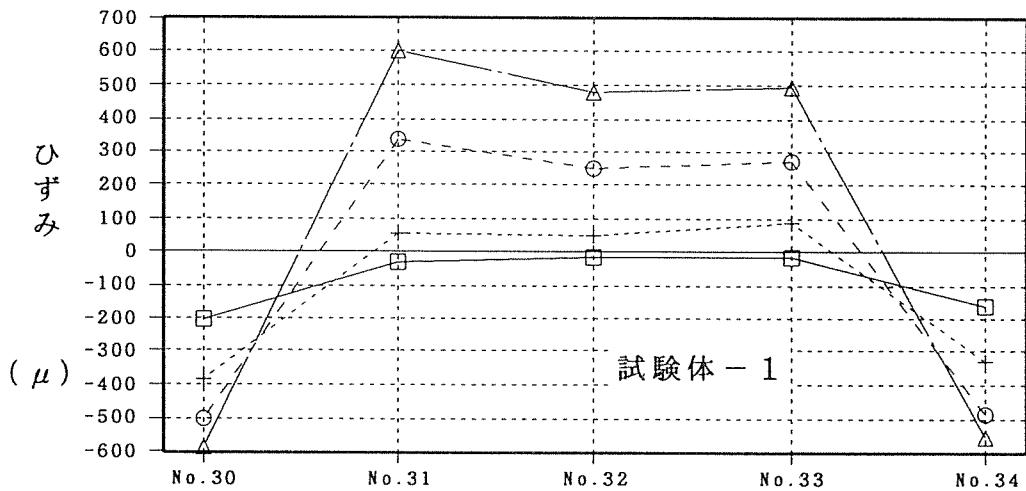
ひずみゲージのNo. と位置

図 2 8 Box型試験体の上フランジ面（圧縮応力）前列のひずみ分布

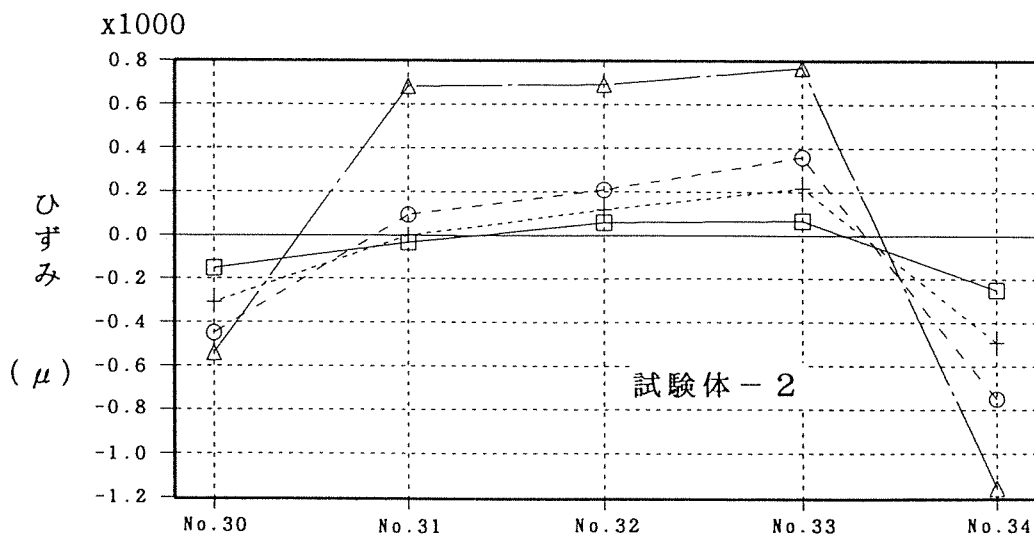
図 29 に Box 型試験体の上フランジ面（圧縮応力）中程のひずみ分布を示す。荷重レベルが大きくなると、フランジ中央部のひずみが圧縮から引張に変わる理由は、5.3.8 で説明するように、フランジが上に凸状に盛り上がりて挫屈的変形を起こしたためである。圧縮サイドでは、非常に複雑な現象が起こっているので、ひずみ分布は一般的に複雑である。



ストレインゲージを貼る位置



□ P=4tf 時 + P=8tf 時 ○ P=12tf 時 △ P=Pmax 時

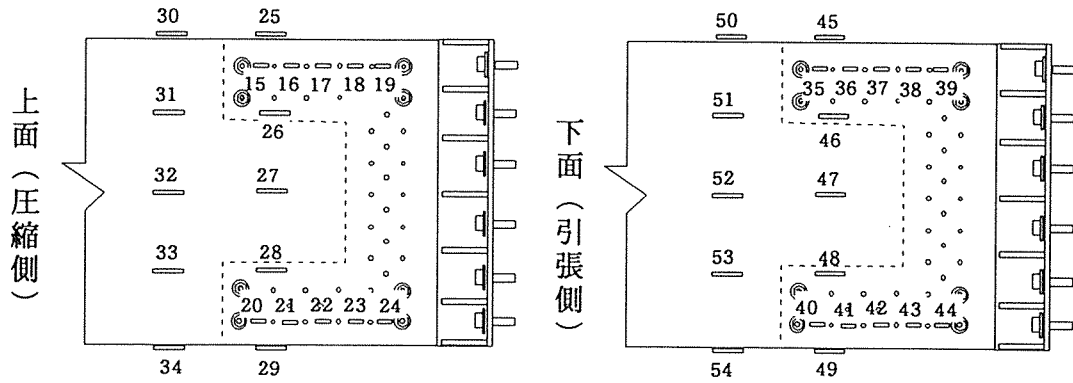


ひずみゲージの No. と位置

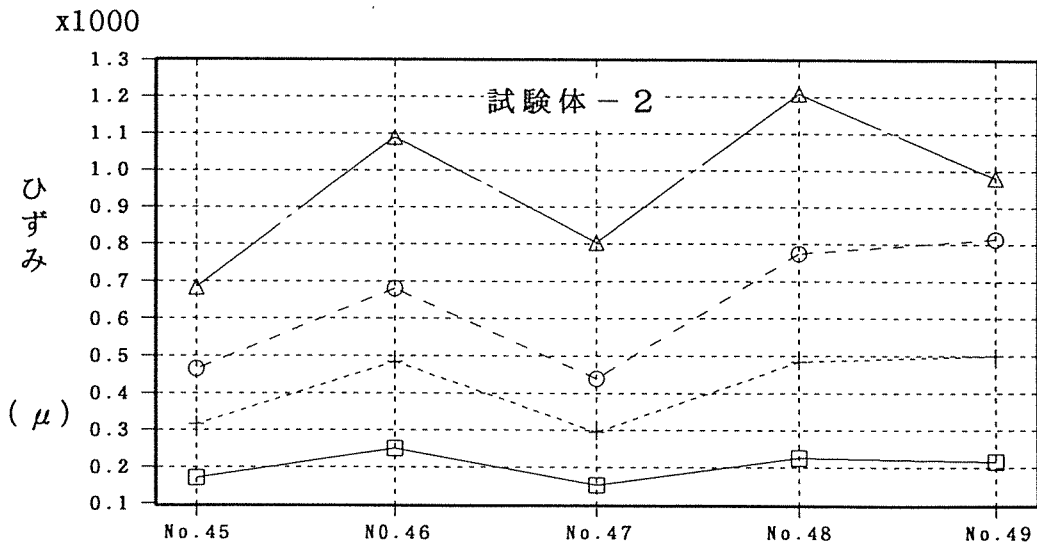
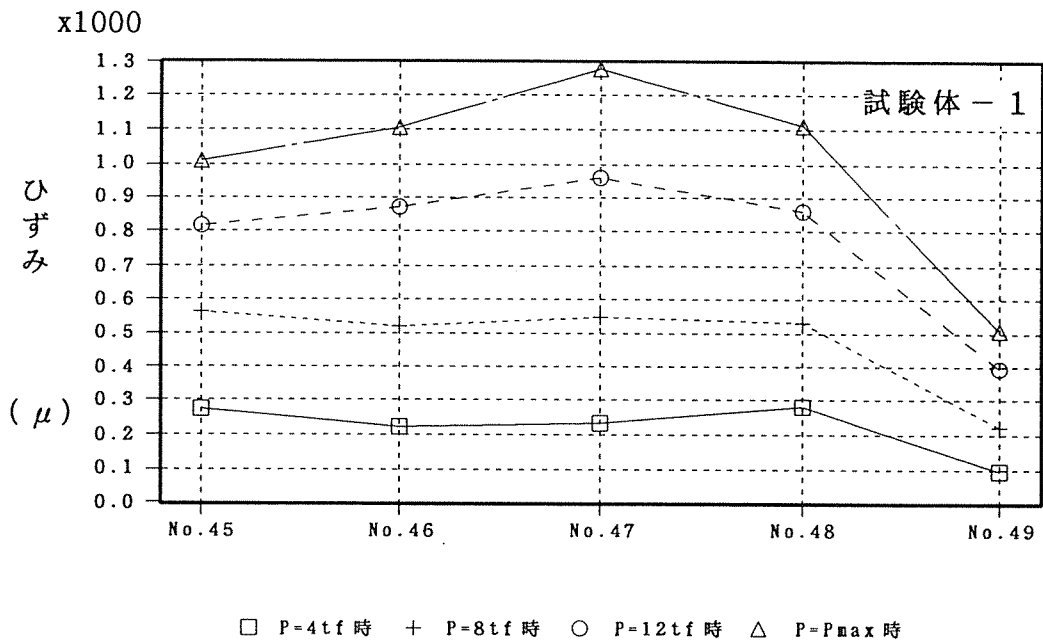
図 29 Box 型試験体の上フランジ面（圧縮応力）中程のひずみ分布

5. 3. 3 フランジ下面（引張側の面）のひずみ分布

図30にフランジ下面（引張側）前列のひずみ分布を示す。



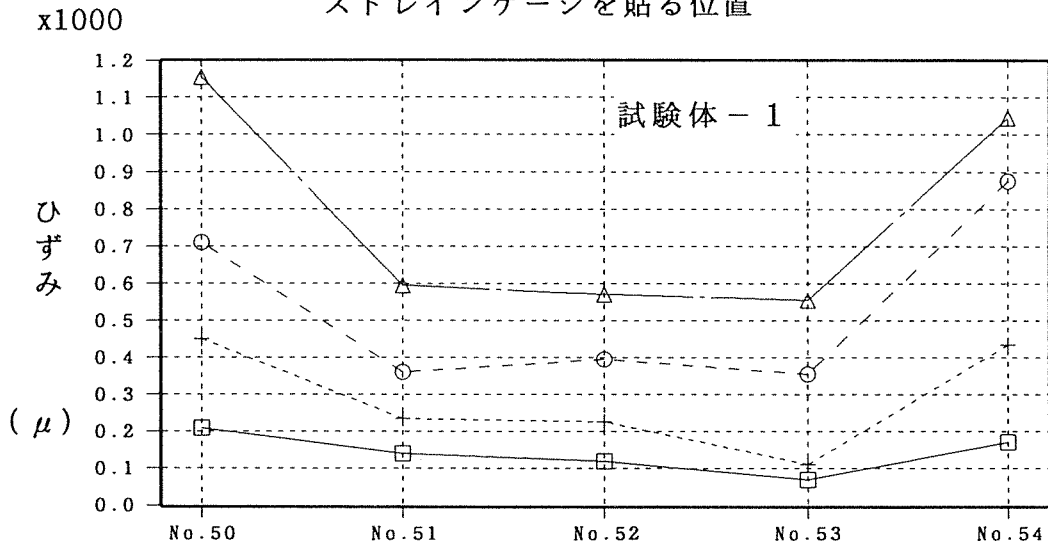
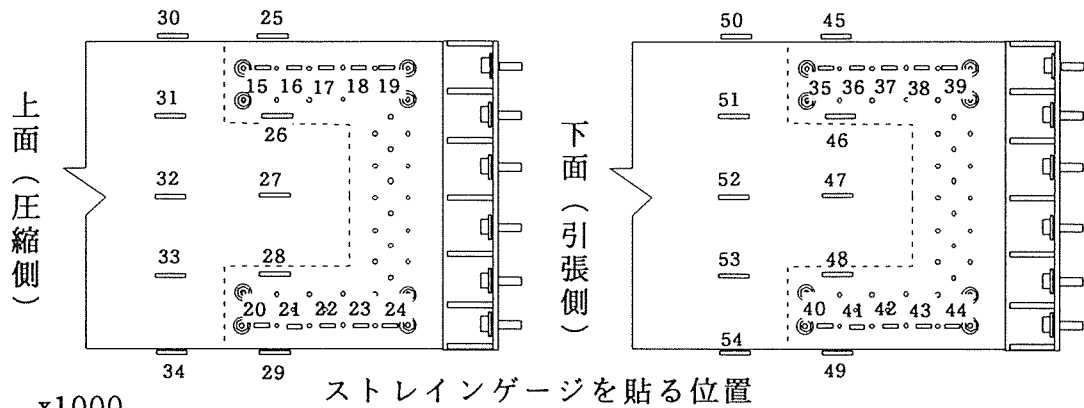
ストレインゲージを貼る位置



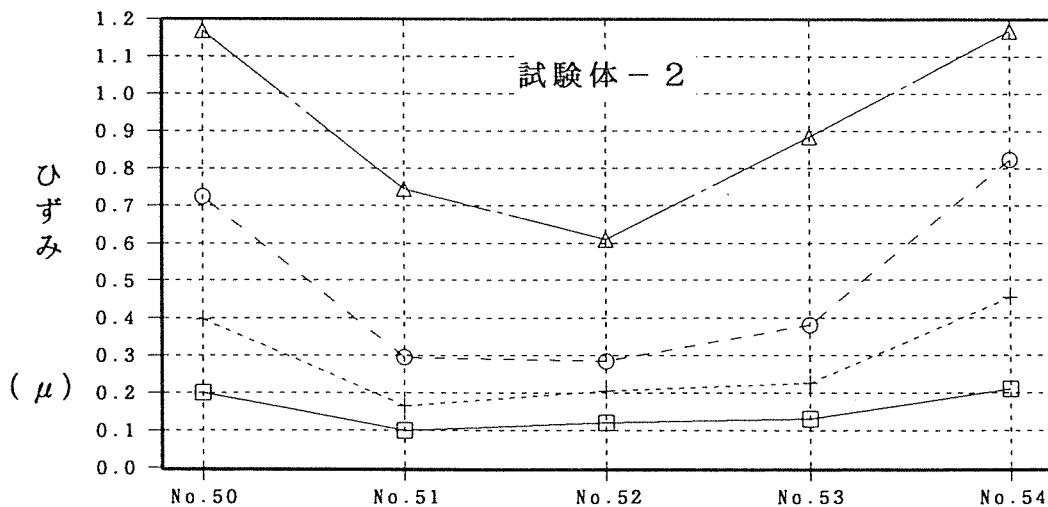
ひずみゲージの位置とNo.

図30 Box型試験体のフランジ下面（引張応力）前列のひずみ分布

図 3 1 にフランジ下面（引張側）中程のひずみ分布を示す。図 3 0 の No. 45～No. 49 のゲージの場合、ドリフトピンからの力の影響で分布形が乱れているが、図 3 1 の No. 50～No. 54 の場合は、ドリフトピンから離れており、シアラゲの影響と見えるような中央部で値が小さくなる軸方向ひずみ分布が見られる。



x1000 □ P=4tf 時 + P=8tf 時 ○ P=12tf 時 △ P=Pmax 時



ひずみゲージの位置と No.

図 3 1 Box型試験体のフランジ下面（引張応力）中程のひずみ分布

5. 3. 4 ウェブ前面のひずみ分布

図 3 2 にウェブ前面前列 (No. 29~No. 45) の曲げひずみ分布を示す。フランジ部分のひずみに比べてウェブ部分のひずみは明らかに小さく、この部分が弱軸方向の曲げに対して有効に作用していないことが分かる。

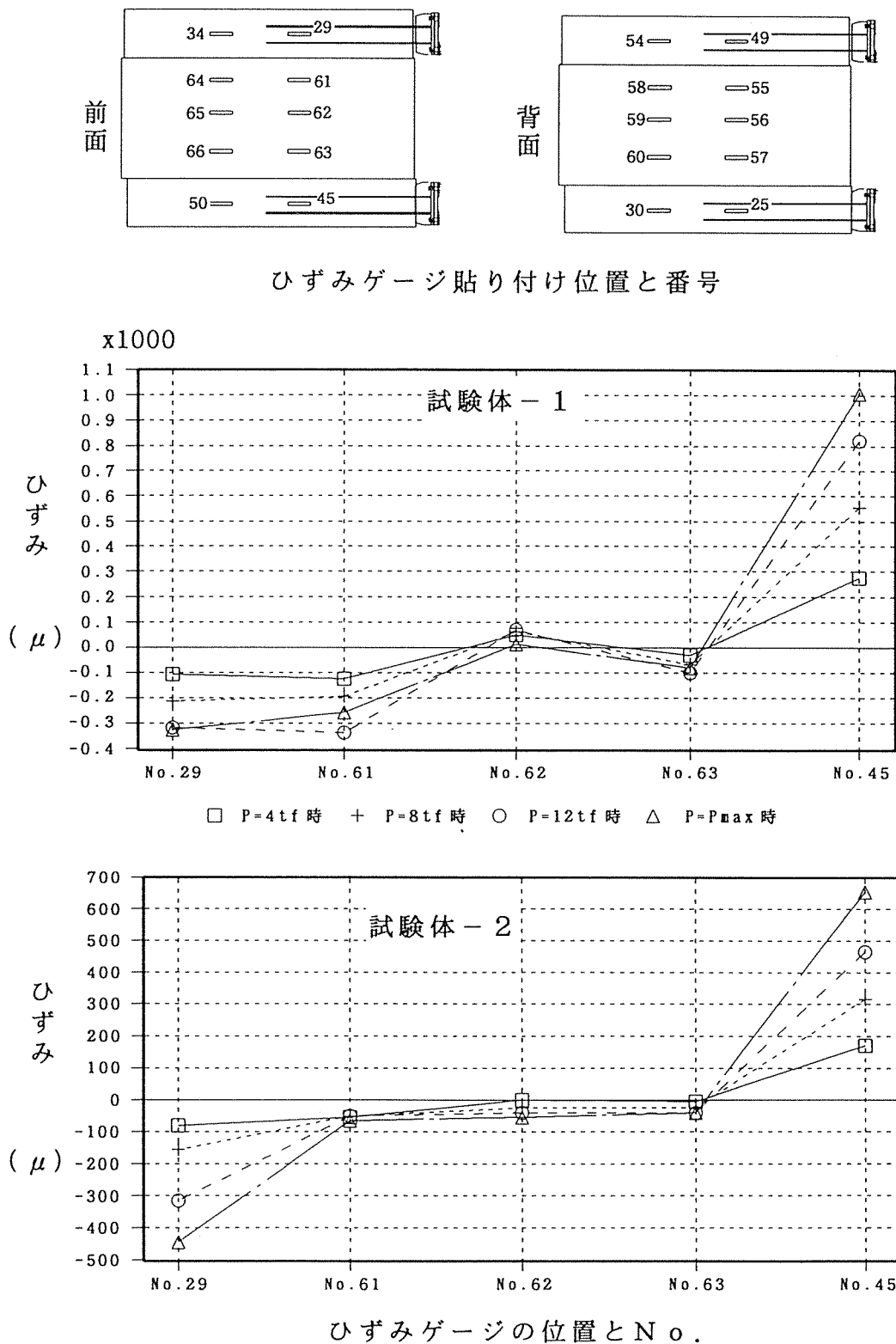
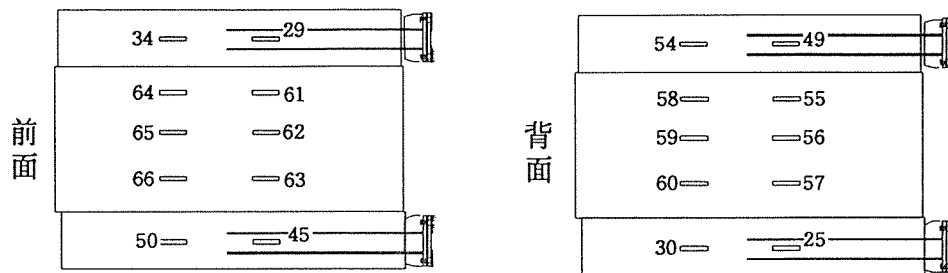
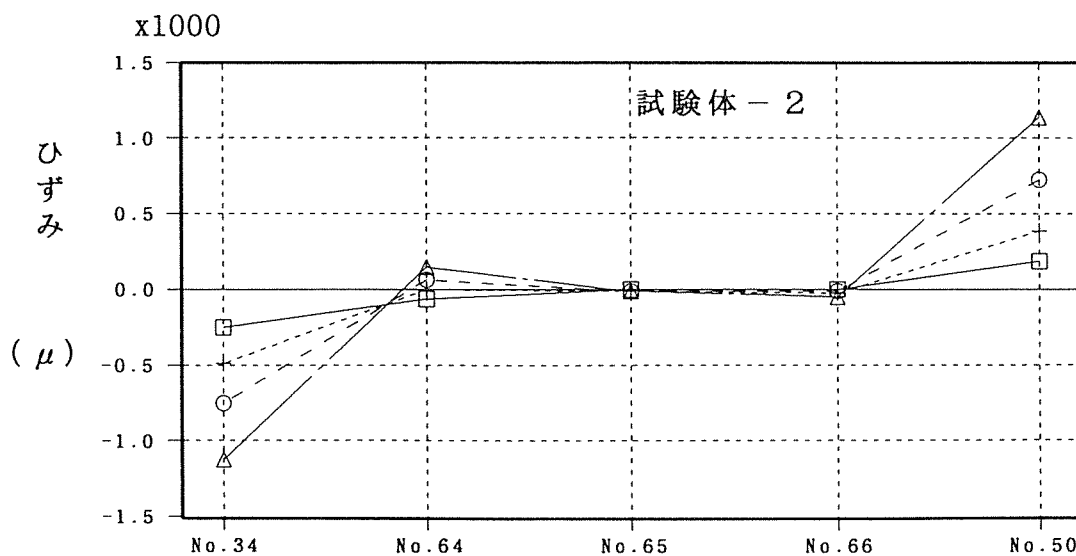
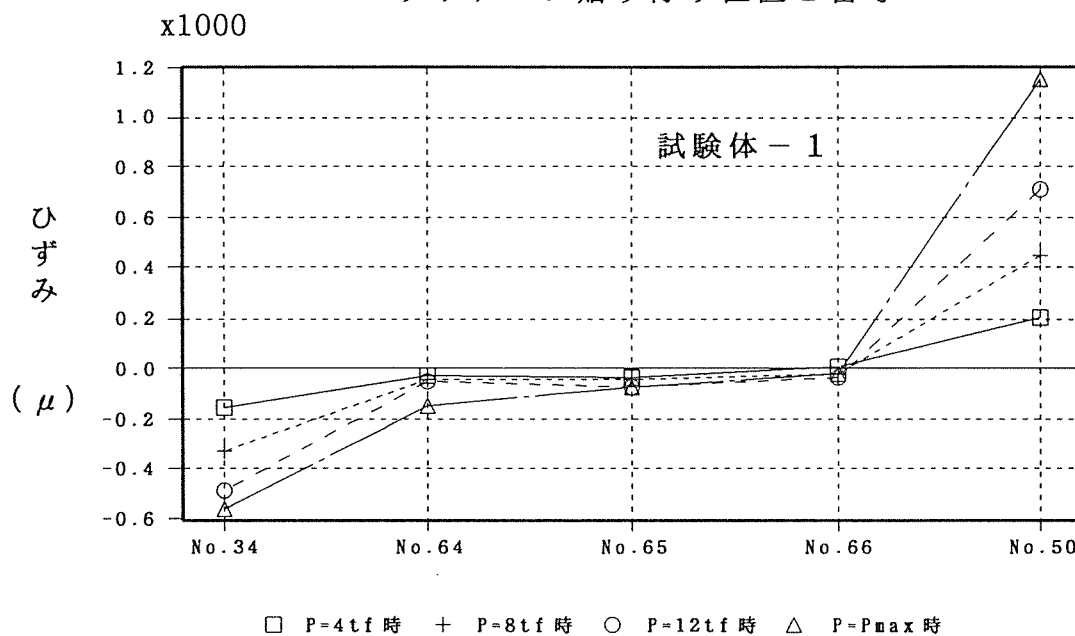


図 3 2 ウェブ前面前列のひずみ分布

図 3 3 にウェブ前面中程 (No. 34~No. 50) のひずみ分布を示す。やはり、ウェブ部分にはほとんどひずみが生じておらず、弱軸方向の曲げに関して有効な断面を構成していないことが分かる。



ひずみゲージ貼り付け位置と番号

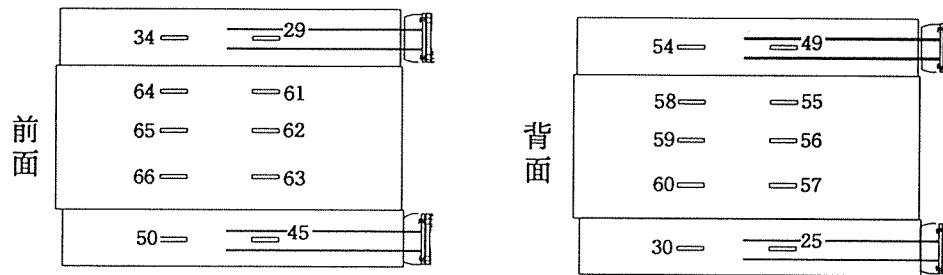


ひずみゲージの位置とNo.

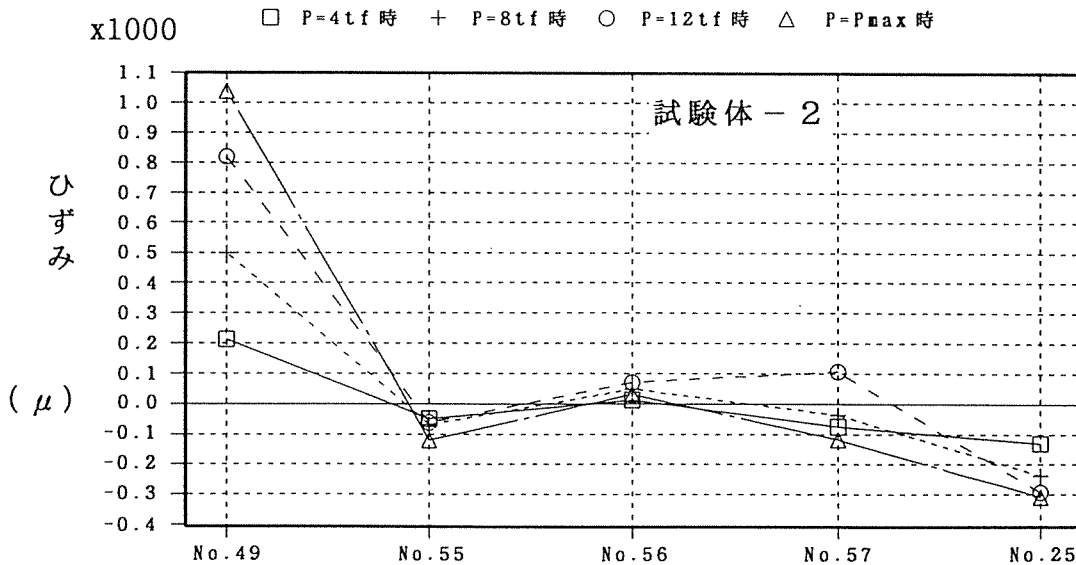
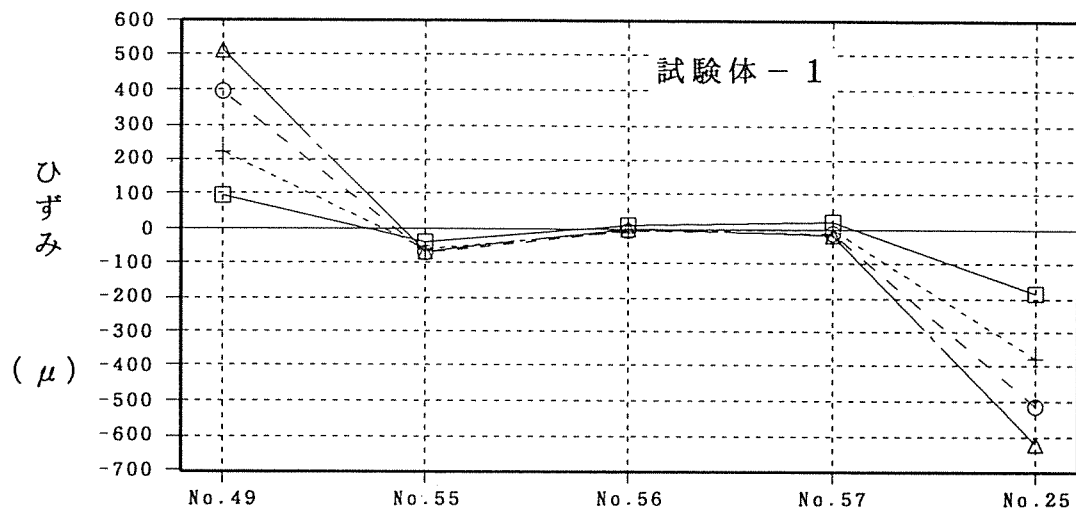
図 3 3 ウェブ前面中程のひずみ分布

5. 3. 5 ウエップ背面のひずみ分布

図34にウエップ背面前列（No. 49～No. 25）に沿ったひずみ分布を示す。前面の結果同様、ウエップ部分のひずみは非常に小さい。



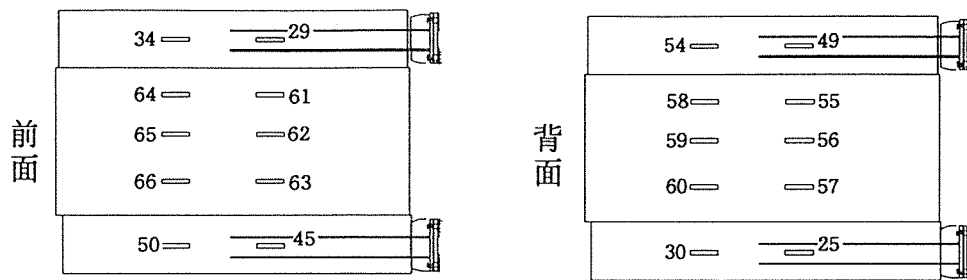
ひずみゲージ貼り付け位置と番号



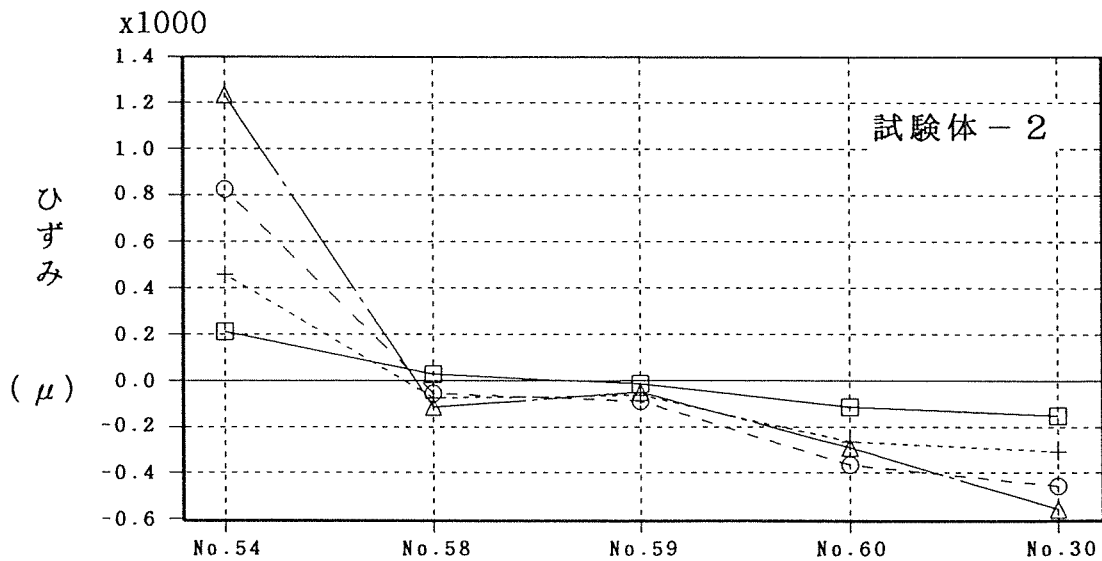
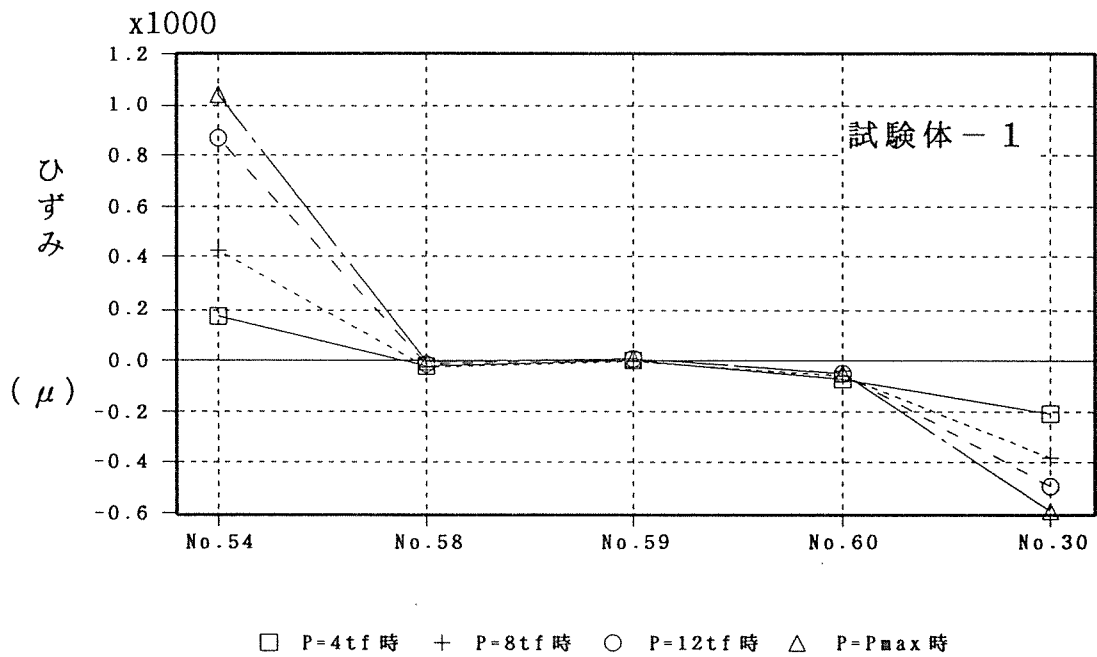
ひずみゲージの位置とNo.

図34 ウエップ背面前列のひずみ分布

図35にウェップ背面中程のひずみ分布を示す。傾向はウェップ前面と同じである。



ひずみゲージ貼り付け位置と番号



ひずみゲージの位置とNo.

図35 ウェップ背面中程のひずみ分布

5. 3. 6 フランジ上面ドリフトピン間のひずみ分布

図36にフランジ上面（圧縮側）奥より（No. 15～No. 19）のドリフトピン間に貼った小型ゲージによるひずみ分布を示す。

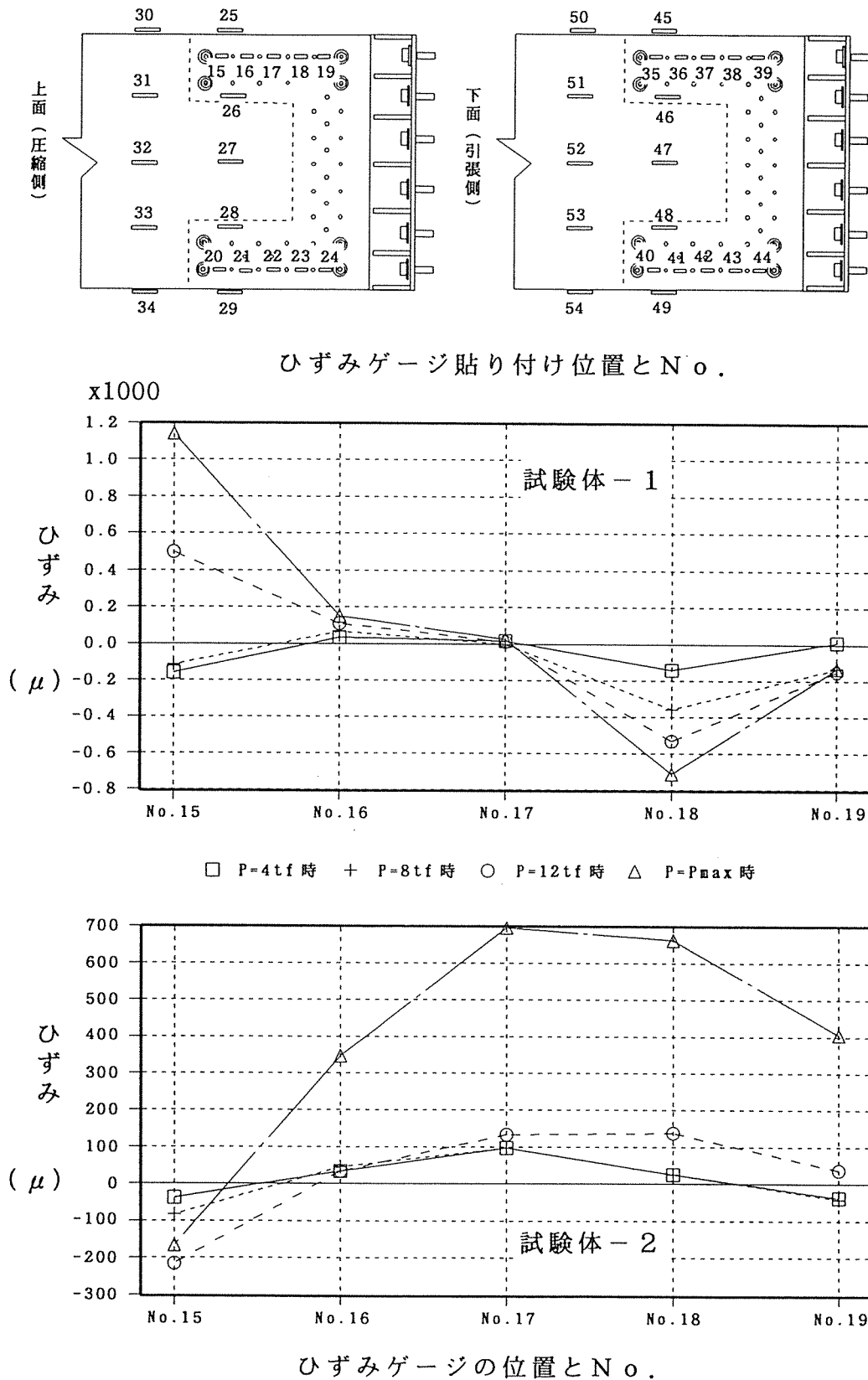
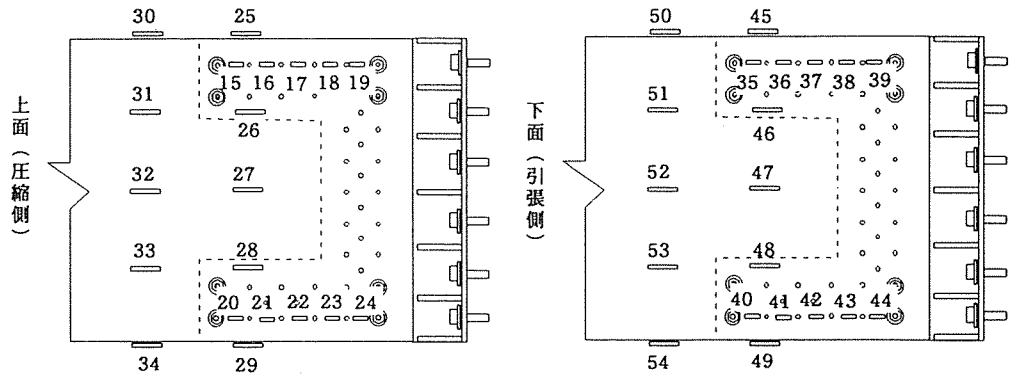
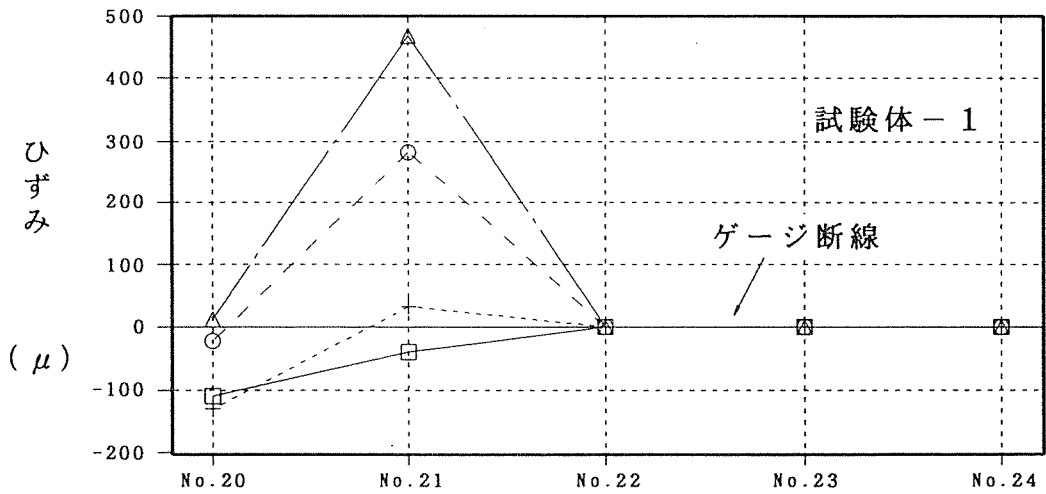


図36 フランジ上面（圧縮側）奥よりのドリフトピン間の軸ひずみ

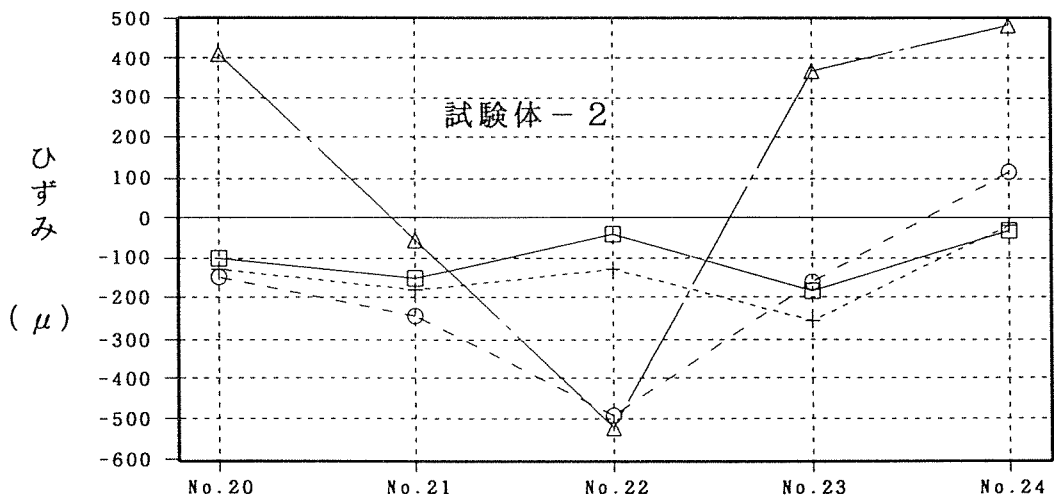
図 3 7 にフランジ上面（圧縮側）前より（No. 20～No. 24）のドリフトピン間に貼った小型ゲージによるひずみ分布を示す。図 3 6、3 7 とともにひずみの絶対値が小さく、バラツキが大きいので傾向はつかめない。



ひずみゲージ貼り付け位置と No.



□ P=4tf 時 + P=8tf 時 ○ P=12tf 時 △ P=Pmax 時

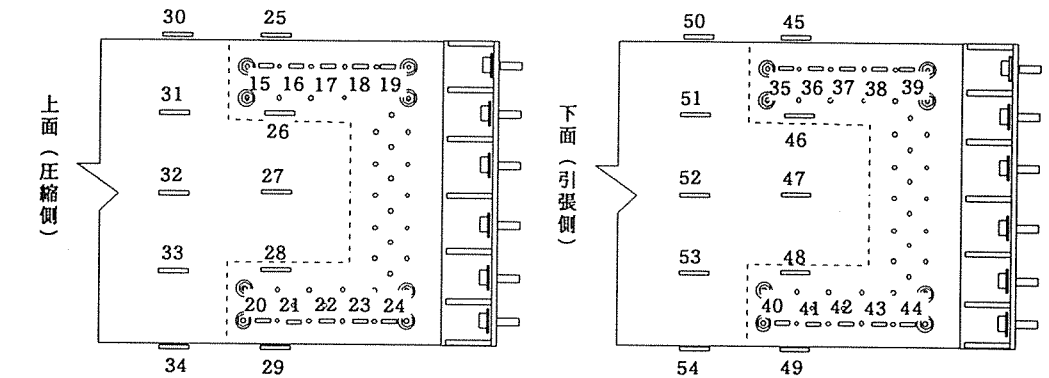


ひずみゲージの位置と No.

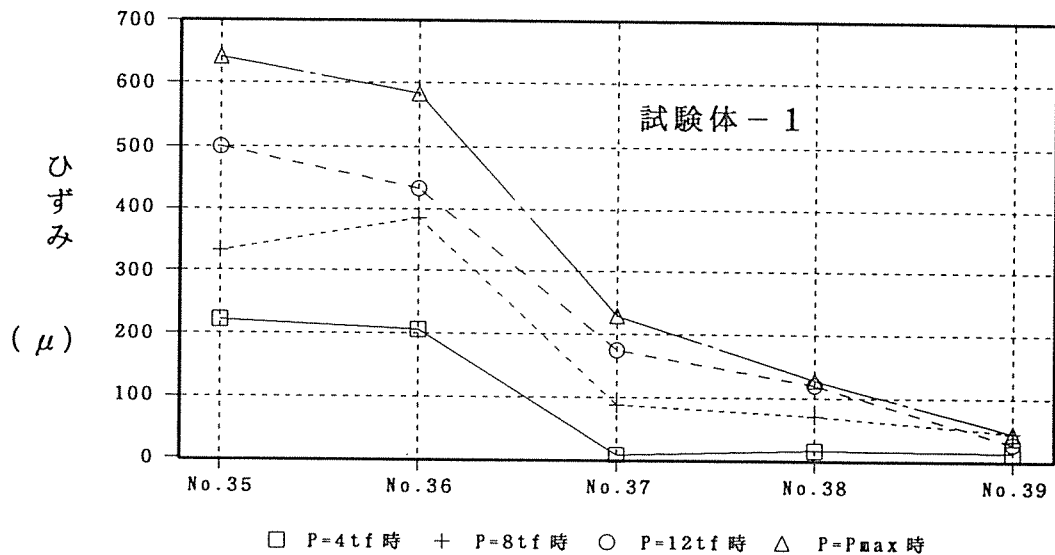
図 3 7 フランジ上面（圧縮側）前よりのドリフトピン間の軸ひずみ

5. 3. 7 フランジ下面ドリフトピン間のひずみ分布

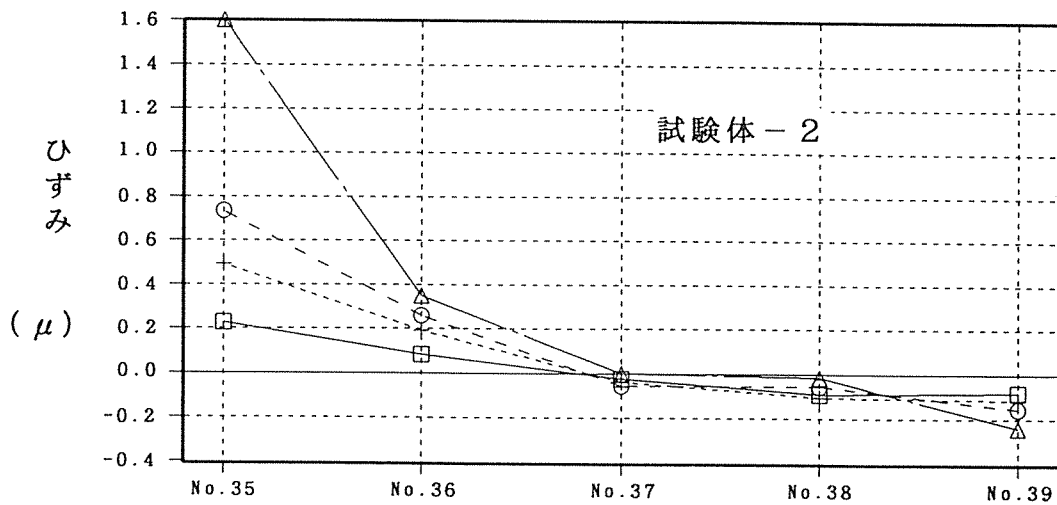
図 3 8 にフランジ下面（引張側）奥より（No. 35～No. 39）のドリフトピン間に貼った小型ゲージによるひずみ分布を示す。



ひずみゲージ貼り付け位置と No.



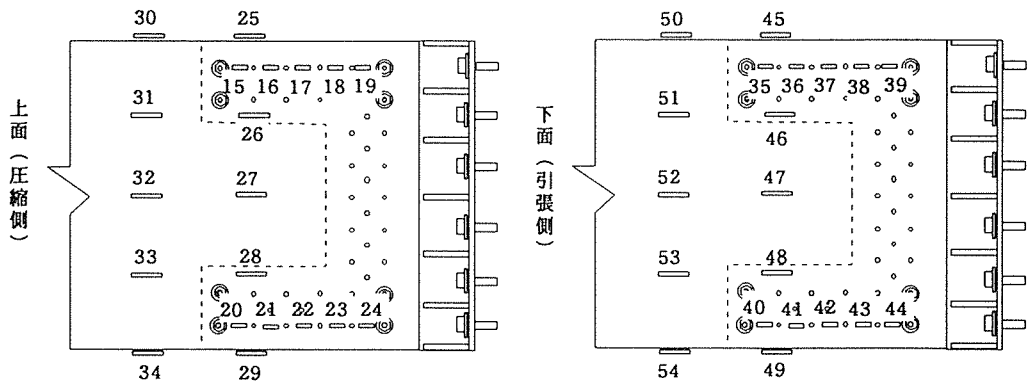
x1000



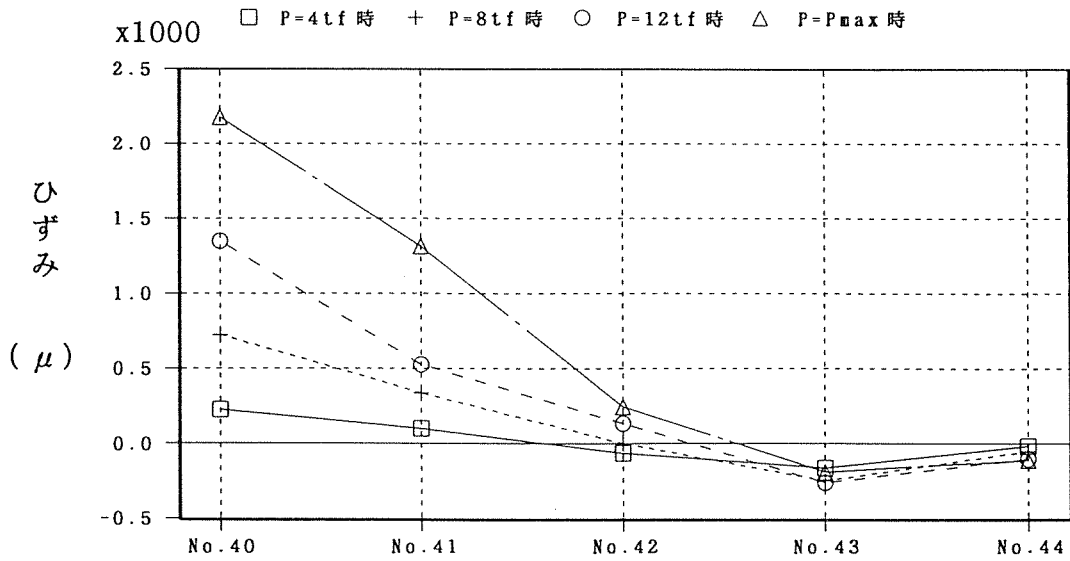
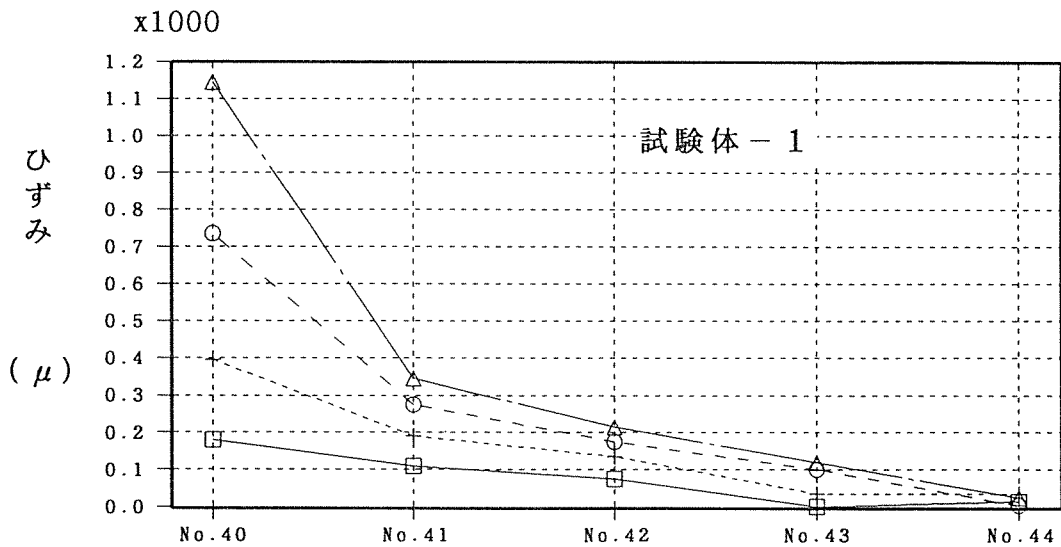
ひずみゲージの位置と No.

図 3 8 フランジ下面（引張側）奥よりのドリフトピン間の軸ひずみ

図 3 9 にフランジ下面（引張側）前より（No. 40～No. 44）のドリフトピン間に貼った小型ゲージによるひずみ分布を示す。図 3 6～3 9 より、引張ひずみは圧縮ひずみに比べて値が大きく、傾向もはっきりしている。一様引っ張りを受ける単純なせん断継手の理論的軸力分布に近い分布形が得られた。



ひずみゲージ貼り付け位置と No.



ひずみゲージの位置と No.

図 3 7 フランジ上面（圧縮側）前よりのドリフトピン間の軸ひずみ

5. 3. 8 実験時の観察結果と破壊形態

[試験体-1]

- ・ P=3300kgfで初めて発音。
- ・ P>5tfで中央部がかなり圧壊状態。
- ・ P=8.2tfで特別製フランジ（弱軸方向曲げ試験体で言えばウェブに相当）の下側角部からクラック発生（図38参照）。
- ・ P=8.456tfでやや大きな破壊。さらにクラック進展。

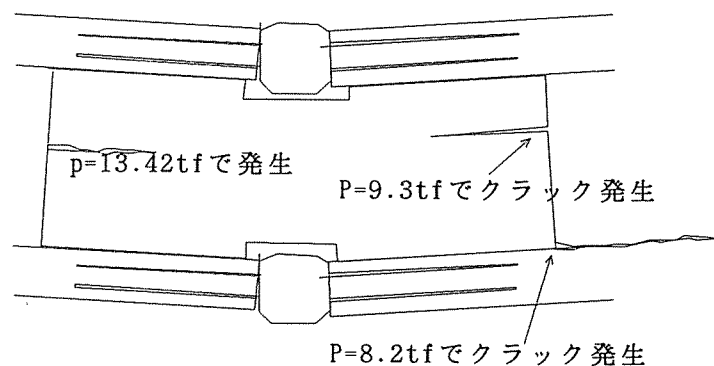


図38 参考図

- ・ P=12.21tfでコーナーからのクラックさらに進展。
- ・ P=13.42tfで特別製フランジ中央にクラック。
- ・ P=14.6tfで最終的なせん断破壊。特別製フランジと集成材アーチリブとの接着層に沿って破壊が梁端部にまで及ぶ。

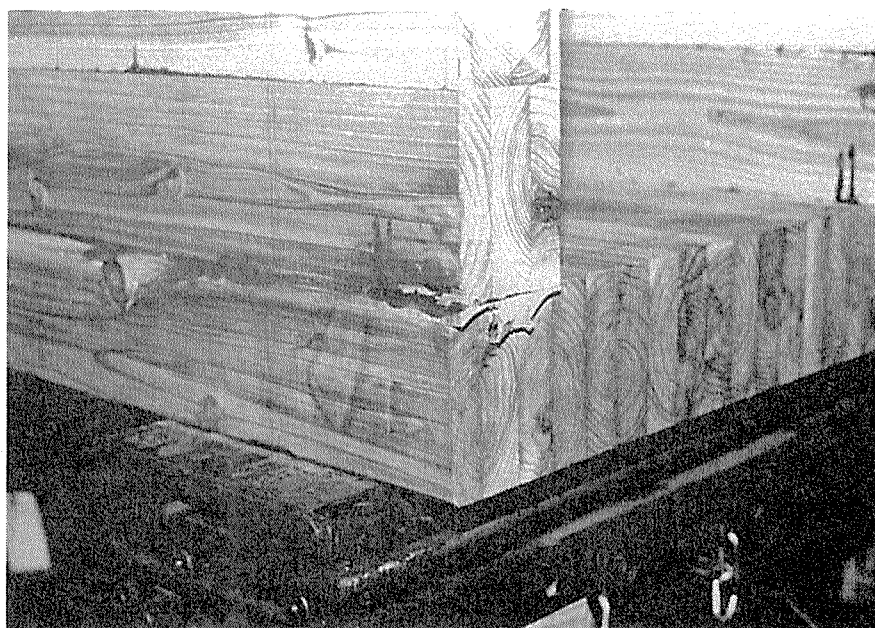


写真7 Box型試験体-1破壊時の写真 (CN-B00599/24A)

[試験体 - 2]

- ・ 右側の金物が4mmぐらい上になって、右にだけ力がかかる（図39参照）。

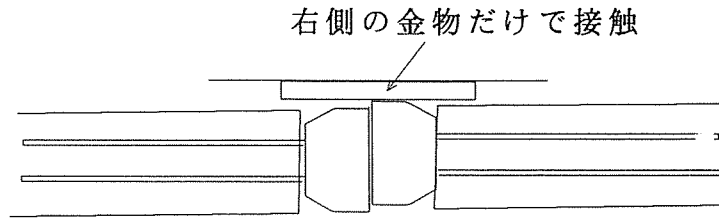


図 3 9 参考図

- ・ 2回目のループ：P=2.52tfでバリッという音。場所不明。
P=3.9tfで継手フランジにメリメリ音。下側の鋼板はむしろ上がり気味
P=4.73tfで左側継手のフランジでメリメリ、すでに2次接着した部分は破壊しているかも
- ・ 3回目のループ：P=5.173tfでバーンという音。
P=6.36tfで盛んに発音。継手コーナーの下側に小さなクラック発生
- ・ 4回目のループ：P=12.6tfでビシ
P=14tfでフランジウエップ間の接着剥離進展
P=14.73tfでバキッ。P - δ 関係は非線形。
P=16.48tfで荷重はかなり低下。フランジウエップ間の接着剥離進展。 P max=16.483tf



写真 8 Box型試験体 - 2 の破壊状況 (CN-B29587/7A)



写真9 Box型試験体-2の破壊状況(CN-B29587/8A)

6. 引用文献

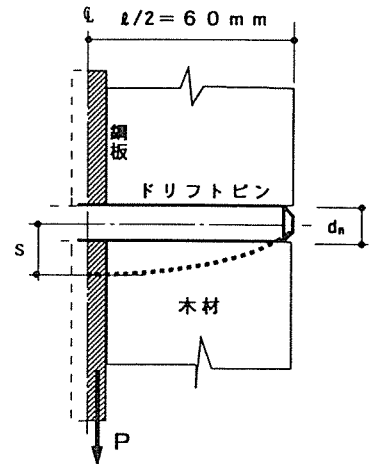
- 1) 薄木征三：スギ集成材アーチ林道橋予備設計計算書、住木センター木橋分科会資料、'93.6.29.
- 2) 小松幸平：「モーメント抵抗接合（案）改定版」、A I J 設計ノート、日本建築学会（投稿中）、1993.
- 3) Larsen, H.J.: "The Yield Load of Bolted and Nailed Joints", IUFRO-5, 9.10, pp.646-654, 1973.
- 4) 川元紀雄：「接合具の降伏耐力と強度」、日本木材学会第3期研究分科会事業大規模木構造分科会報告書、4章、1992.
- 5) 平井卓郎：「木材接合部の基礎性能 2. 木材のボルト面圧性能」、北大農学部演習林研究報告、46(4)、pp.967-988、1989.
- 6) 山吉栄作：「接合具強度性能試験」、森林総合研究所 接合研究室研修レポート、Vol. 1、全94頁、1992.

7. Appendix-1 鋼板挿入ドリフトピン接合のすべり係数

1 幅 $l = 120\text{ mm}$ の場合

付表-1 鋼板1枚挿入ドリフトピン接合のすべり係数 K_s (単位: kgf/cm)

| d (mm) | K_s (kgf/cm) | 集成材(木材)の密度 T D | | | | | | | | | | 解析対象 |
|-----------|------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | (kg/m^2) | |
| 8 | K_o | 10000 | 10500 | 11500 | 12000 | 13000 | 13500 | 14000 | 14500 | 15500 | | |
| | K_{σ} | 4050 | 4300 | 4550 | 4800 | 5000 | 5000 | 5500 | 5500 | 6000 | | |
| 10 | K_o | 12000 | 13500 | 14500 | 15000 | 16000 | 17000 | 17500 | 18500 | 19000 | | |
| | K_{σ} | 5000 | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | 6500 | 7000 | 7000 | 7500 | | |
| 12 | K_o | 15000 | 16000 | 17500 | 18500 | 19500 | 20500 | 21500 | 22000 | 23000 | | |
| | K_{σ} | 6500 | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | 8000 | 8500 | 9000 | 9000 | | |
| 14 | K_o | 17500 | 19500 | 20500 | 22000 | 23000 | 24000 | 25000 | 26500 | 27500 | | |
| | K_{σ} | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10000 | 10500 | | |
| 16 | K_o | 20000 | 22000 | 23500 | 25000 | 26500 | 28000 | 29000 | 30500 | 31500 | | |
| | K_{σ} | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | | |
| 18 | K_o | 22000 | 24500 | 26500 | 28000 | 29500 | 31500 | 33000 | 34500 | 35500 | | |
| | K_{σ} | 7500 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | | |
| 20 | K_o | 23000 | 26000 | 28000 | 30000 | 32000 | 34000 | 35500 | 37500 | 39000 | | |
| | K_{σ} | 7500 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 12000 | 12500 | | |
| 22 | K_o | 23500 | 27000 | 29500 | 31500 | 34000 | 36000 | 38000 | 40000 | 41500 | | |
| | K_{σ} | 7500 | 8000 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12500 | | |

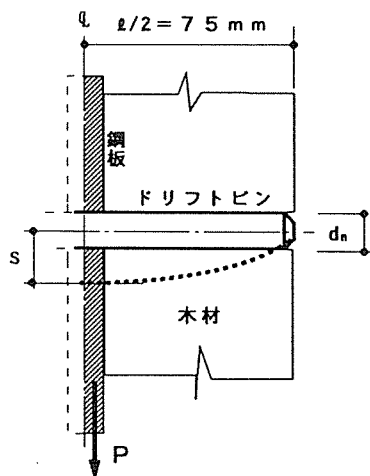


b) 鋼板挿入ドリフトピン接合

2 幅 $l = 150\text{ mm}$ の場合

付2 鋼板1枚挿入ドリフトピン接合のすべり係数 K_s (単位: kgf/cm)

| d (mm) | K_s (kgf/cm) | 集成材(木材)の密度 T D | | | | | | | | | | 解析対象 |
|-----------|------------------------------|----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | (kg/m^2) | |
| 8 | K_o | 10000 | 11000 | 12000 | 12500 | 13000 | 14000 | 14500 | 15000 | 15500 | | |
| | K_{σ} | 4200 | 4450 | 4700 | 4950 | 5000 | 5500 | 5500 | 6000 | 6000 | | |
| 10 | K_o | 12500 | 14000 | 15000 | 16000 | 16500 | 17500 | 18500 | 19000 | 20000 | | |
| | K_{σ} | 5500 | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | 7000 | 7000 | 7500 | 7500 | | |
| 12 | K_o | 15000 | 16500 | 17500 | 19000 | 20000 | 21000 | 22000 | 23000 | 24000 | | |
| | K_{σ} | 6500 | 7000 | 7000 | 7500 | 8000 | 8000 | 8500 | 9000 | 9000 | | |
| 14 | K_o | 17500 | 19500 | 20500 | 22000 | 23000 | 24500 | 25500 | 26500 | 27500 | | |
| | K_{σ} | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | | |
| 16 | K_o | 20500 | 22500 | 24000 | 25500 | 27000 | 28000 | 29500 | 30500 | 32000 | | |
| | K_{σ} | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | | |
| 18 | K_o | 23500 | 25500 | 27500 | 29000 | 30500 | 32000 | 33500 | 35000 | 36000 | | |
| | K_{σ} | 9000 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | 13000 | 13500 | | |
| 20 | K_o | 26000 | 28500 | 30500 | 32500 | 34000 | 35500 | 37500 | 39000 | 40500 | | |
| | K_{σ} | 9500 | 10000 | 11000 | 11500 | 12000 | 13000 | 13500 | 14000 | 14500 | | |
| 22 | K_o | 27500 | 30500 | 33000 | 35000 | 37000 | 39000 | 41000 | 43000 | 44500 | | |
| | K_{σ} | 9500 | 10500 | 11000 | 12000 | 12500 | 13000 | 14000 | 14500 | 15000 | | |



b) 鋼板挿入ドリフトピン接合

3 幅 $l = 180 \text{ mm}$ の場合

付表-3 鋼板1枚挿入ドリフトピン接合のすべり係数 K_s (単位: kgf/cm)

| d (mm) | K_s (kgf/cm) | 集成材 (木材) の密度 TD | | | | | | | | | | 解析対象 |
|-----------|------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | (kg/m^2) | |
| 8 | K_o | 10500 | 11000 | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 14500 | 15000 | 16000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 4350 | 4600 | 4850 | 5000 | 5500 | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | | |
| 10 | K_o | 13000 | 14500 | 15500 | 16500 | 17000 | 18000 | 19000 | 19500 | 20500 | | b) 鋼板挿入ドリフトピン接合 |
| | $K_{s.o}$ | 5500 | 5500 | 6000 | 6500 | 6500 | 7000 | 7500 | 7500 | 8000 | | |
| 12 | K_o | 15500 | 17000 | 18500 | 19500 | 20500 | 21500 | 22500 | 23500 | 24500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 6500 | 7000 | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 | 8500 | 9000 | 9500 | | |
| 14 | K_o | 18000 | 20000 | 21000 | 22500 | 24000 | 25000 | 26500 | 27500 | 28500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | | |
| 16 | K_o | 20500 | 22500 | 24000 | 25500 | 27000 | 28500 | 30000 | 31000 | 32500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | | |
| 18 | K_o | 23500 | 25500 | 27500 | 29000 | 30500 | 32000 | 33500 | 35000 | 36500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | 13000 | 13500 | 14000 | | |
| 20 | K_o | 26500 | 28500 | 30500 | 32500 | 34000 | 36000 | 37500 | 39000 | 40500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 10500 | 11500 | 12000 | 12500 | 13000 | 14000 | 14500 | 15000 | 15500 | | |
| 22 | K_o | 29000 | 31500 | 34000 | 36000 | 38000 | 40000 | 41500 | 43500 | 45000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 11000 | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 15000 | 15500 | 16000 | 17000 | | |

4 幅 $l = 210 \text{ mm}$ の場合

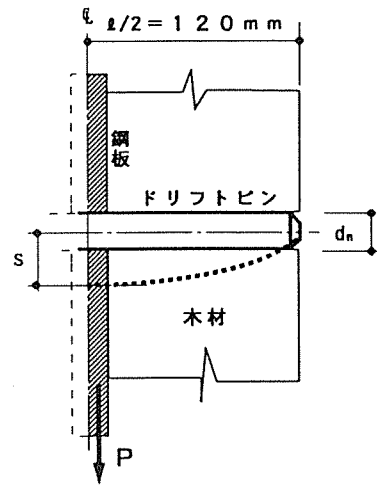
付表-4 鋼板1枚挿入ドリフトピン接合のすべり係数 K_s (kgf/cm)

| d (mm) | K_s (kgf/cm) | 集成材 (木材) の密度 TD | | | | | | | | | | 解析対象 |
|-----------|------------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|-----------------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | (kg/m^2) | |
| 8 | K_o | 10500 | 11000 | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 14500 | 15000 | 16000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 4400 | 4700 | 4950 | 5000 | 5500 | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | | |
| 10 | K_o | 13500 | 14500 | 15500 | 16500 | 17500 | 18000 | 19000 | 20000 | 20500 | | b) 鋼板挿入ドリフトピン接合 |
| | $K_{s.o}$ | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | 7000 | 7000 | 7500 | 8000 | 8000 | | |
| 12 | K_o | 16000 | 17500 | 19000 | 20000 | 21000 | 22000 | 23000 | 24000 | 25000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 9500 | | |
| 14 | K_o | 18500 | 20500 | 22000 | 23500 | 24500 | 26000 | 27000 | 28500 | 29500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 7500 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 10500 | 11000 | | |
| 16 | K_o | 21000 | 23000 | 25000 | 26500 | 28000 | 29500 | 30500 | 32000 | 33500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | | |
| 18 | K_o | 23500 | 26000 | 27500 | 29500 | 31000 | 32500 | 34000 | 35500 | 37000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | 13000 | 13500 | 14000 | | |
| 20 | K_o | 26500 | 28500 | 30500 | 32500 | 34500 | 36000 | 38000 | 39500 | 41000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 11000 | 11500 | 12500 | 13000 | 13500 | 14000 | 14500 | 15500 | 16000 | | |
| 22 | K_o | 29000 | 31500 | 34000 | 36000 | 38000 | 40000 | 41500 | 43500 | 45000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 15000 | 15500 | 16000 | 17000 | 17500 | | |

5 幅 $l = 240$ mm の場合

付表-5 鋼板1枚挿入ドリフトピン接合のすべり係数 K_s (kgf/cm)

| d (mm) | K_s (kgf/cm) | 集成材 (木材) の密度 TD | | | | | | | | | | 解析対象 |
|-----------|-------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------|------|
| | | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | (kg/m ²) | |
| 8 | K_o | 10500 | 11500 | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 14500 | 15000 | 16000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 4450 | 4700 | 5000 | 5000 | 5500 | 5500 | 6000 | 6000 | 6500 | | |
| 10 | K_o | 13500 | 14500 | 15500 | 16500 | 17500 | 18000 | 19000 | 20000 | 20500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 5500 | 6000 | 6500 | 6500 | 7000 | 7500 | 7500 | 8000 | 8000 | | |
| 12 | K_o | 16500 | 18000 | 19000 | 20500 | 21500 | 22500 | 23500 | 24500 | 25500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 6500 | 7000 | 7500 | 8000 | 8500 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | | |
| 14 | K_o | 19000 | 21000 | 22500 | 24000 | 25000 | 26500 | 27500 | 29000 | 30000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 8000 | 8000 | 8500 | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | | |
| 16 | K_o | 22000 | 24000 | 25500 | 27000 | 28500 | 30000 | 31500 | 33000 | 34500 | | |
| | $K_{s.o}$ | 9000 | 9500 | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | 13000 | | |
| 18 | K_o | 24000 | 26500 | 28500 | 30000 | 32000 | 33500 | 35000 | 36500 | 38000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 10000 | 10500 | 11000 | 11500 | 12000 | 12500 | 13500 | 14000 | 14500 | | |
| 20 | K_o | 26500 | 29000 | 31000 | 33000 | 35000 | 37000 | 38500 | 40500 | 42000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 11000 | 11500 | 12500 | 13000 | 13500 | 14000 | 14500 | 15500 | 16000 | | |
| 22 | K_o | 29000 | 32000 | 34000 | 36500 | 38500 | 40500 | 42000 | 44000 | 46000 | | |
| | $K_{s.o}$ | 12000 | 13000 | 13500 | 14500 | 15000 | 15500 | 16500 | 17000 | 17500 | | |



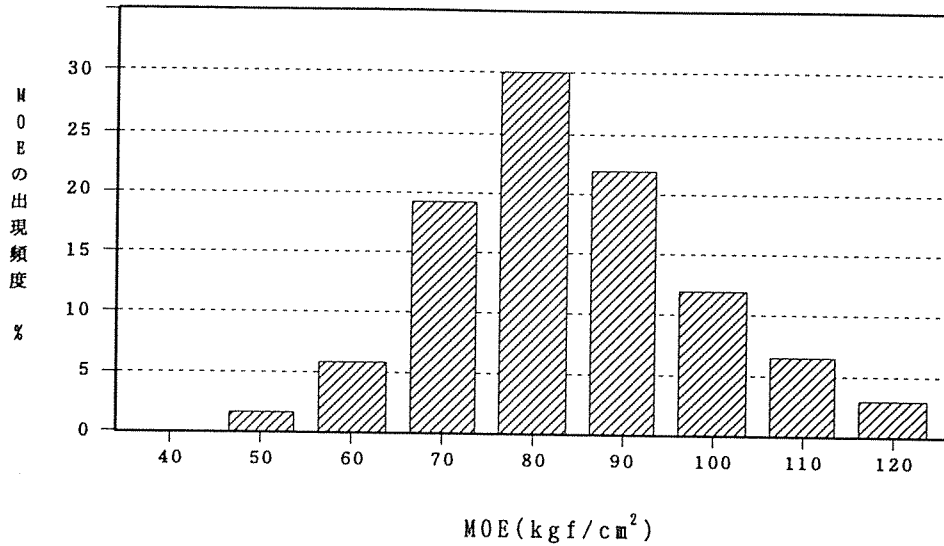
b) 鋼板挿入ドリフトピン接合

8. Appendix-2 広田村アーチ橋に使用されたスギラミナの曲げヤング係数の分布

樹種：DDAC注入済みのスギラミナ

寸法：35mmx240mm

ロット：29

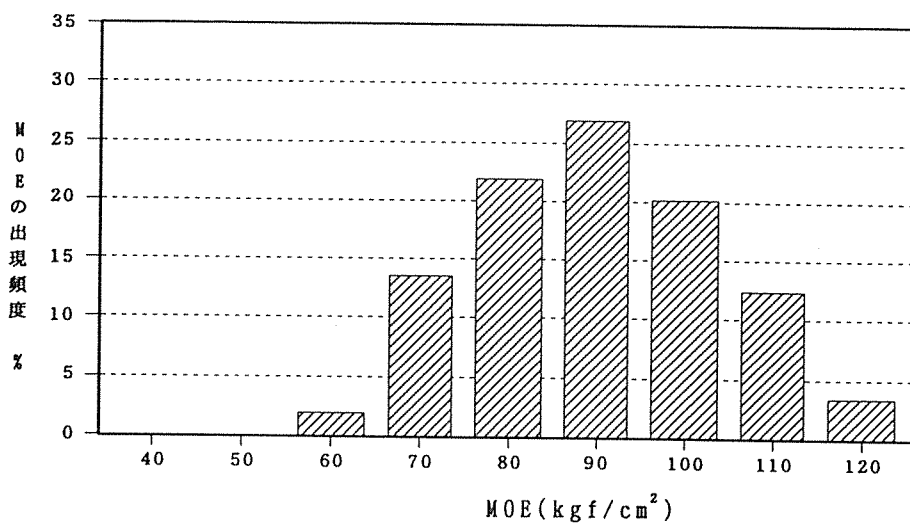


付図1 ロット29のMOE出現頻度

樹種：DDAC注入済みのスギラミナ

寸法：36mmx225mm

ロット：30



付図2 ロット30のMOE出現頻度

Ⅱ 試作展示

第1章 試作親水ベンチ追跡調査

1. 目的

親水ベンチは、浮棧橋構造を応用して水面に浮かせた状態で親水施設として利用するものである。昨年度試作した親水ベンチの定期点検を通して、ベンチの損傷、使用された木材（防腐処理材）の変色、含水率、割れ等の調査を行い、今後の技術的な面での検討資料を得ようとするものである。

2. 設置場所

埼玉県日部市薬師沼親水公園に設置した（写真1）。

薬師沼親水公園は、春日部市が管理し東武伊勢埼線一ノ割駅から約2の位置にある。面積は1.6ヘクタールのうち沼地は、約0.8ヘクタールで主に魚釣りを楽しむためのものである。沼の中央部に沼を横断する形で八ツ橋が設けられている。沼の周囲には空地を利用して、子供広場、お花見広場、ゲートボール場があり、子供広場には木製のコンビネーション遊具が置かれている。

ベンチには、転落事故等を未然に防止するため周囲に高欄を設けるとともに、アメニティーを配慮してパーゴラを設置する。また、フロート部分は、金属フレームの目隠しとして幕板（側板）で覆うこととした。使用した材はスギ材で2種類の防腐処理加工が施されている。

3. 調査日

第1回：1993年 7月 1日

第2回：1993年 8月30日

第3回：1993年11月30日

第4回：1994年 2月17日

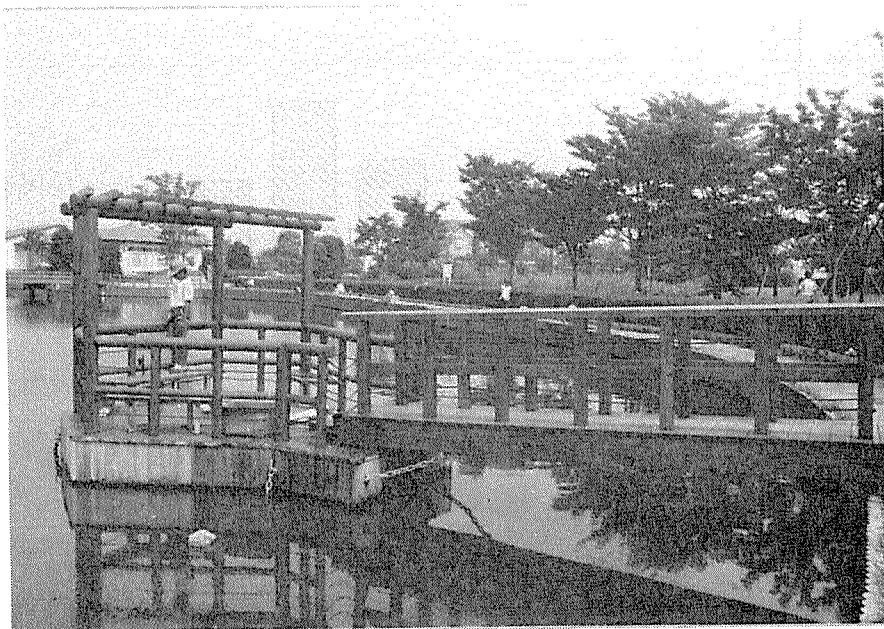


写真1 親水ベンチ

4. 調査項目

(1) 外観調査

メンテナンス要領を参考に目視によるチェック（割れ、狂い、腐れ、その他）および写真による記録。

(2) 材料の含水率

渡り橋デッキの電気式水分計による含水率測定。使用機器：高周波式水分計（ケット科学、MOCO2）

(3) 材料の色差計測

色彩色差計による渡り橋および側板の変退色調査。使用機器は色彩色差計（ミノルタ、CR-100）

5. 調査結果

(1) 外観調査

4回の定期的調査を実施したが、その際、本事業で検討した「点検要領」に準じて、親水ベンチの目視による点検を行った。その結果を表1から表4に示す。また主要な変化は以下の通り。

[第1回] 7月1日

設置後2、3カ月経過した時点での調査であった。特に重大な異常は認められない。

ただし、渡橋の欄干の笠木に材面割れが認められた（写真2）。

[第2回] 8月30日

渡橋デッキ材の端部の木口割れが目だつ（写真3）。ベンチ側にゴミ入れ、あるいは釣った魚を入れておくために使用したと思われるブリキ缶が置かれていた（写真4）。

[第3回] 11月10日

ベンチ部欄干のロープ破断。交換が必要となる（写真5）。この破断は人為的なもの（鈍器による摩擦）であり、老朽化による破損ではなかった。対応策として同様ロープと交換した。

第2回調査で認められた親水ベンチ上に置かれていたブリキ缶（写真4）の中で物を燃やした形跡があった。その下面のデッキは黒く焦げていた（写真6）。寒い季節となったためか焚火が行われたものと思われる。調査時にはすでに缶は撤去されていた。

[第4回] 2月17日

ベンチ座面およびデッキの塗装のハゲが目だつ（写真7）。3つのベンチのうち中央部の塗装の塗膜のはげが顕著であったが、主に子供が座面の上に土足で立ち釣竿を池面に垂れることが原因である。デッキ部も足裏に土の付いた状態での往来が多く、塗膜のハゲが認められた。

表1 第1回の調査点検結果（7月1日）

| 凡例 ○：正常 △：要補修 ×：要交換 ※：使用禁止 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|----|------|--------|-------|-----------|
| 点検部位 | ボルトの緩み | 損傷 | 付着物 | 腐蝕 | 変形 | 割れ | 反り | 抜節 | 摩耗 | カビ・苔 | 釘等の抜出し | 塗装・塗膜 | 短評 |
| フロート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| フレーム | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 根太 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 床板 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 防舷材 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 上載施設 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 渡橋笠木に割れあり |

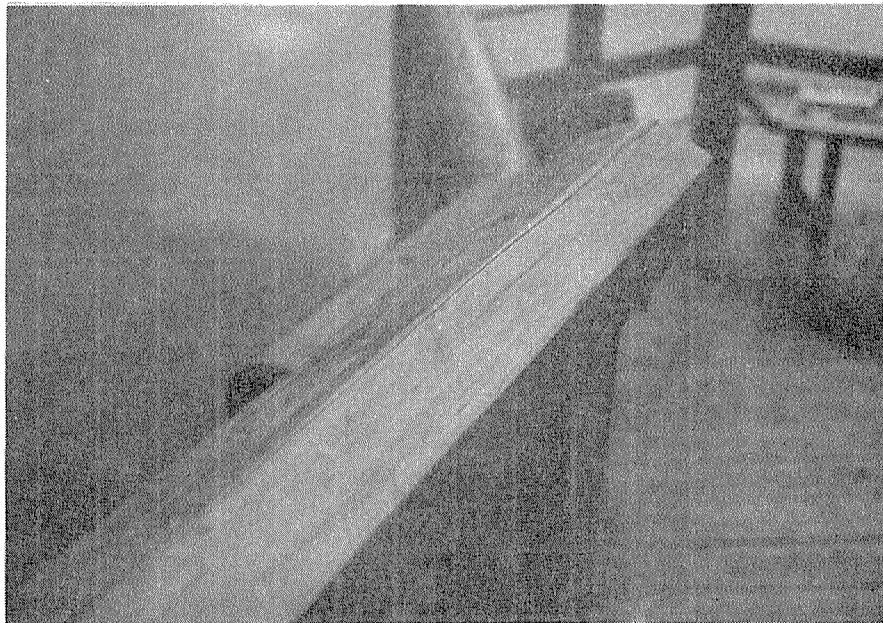


写真2 渡橋欄干の笠木の割れ

表2 第2回の調査点検結果（8月30日）

| 凡例 ○：正常 △：要補修 ×：要交換 ※：使用禁止 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|----|------|--------|-------|-----------|
| 点検部位 | ボルトの緩み | 損傷 | 付着物 | 腐蝕 | 変形 | 割れ | 反り | 抜節 | 摩耗 | カビ・苔 | 釘等の抜出し | 塗装・塗膜 | 短評 |
| フロート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| フレーム | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 根太 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 床板 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 防舷材 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 上載施設 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 渡橋デッキ木口割れ |

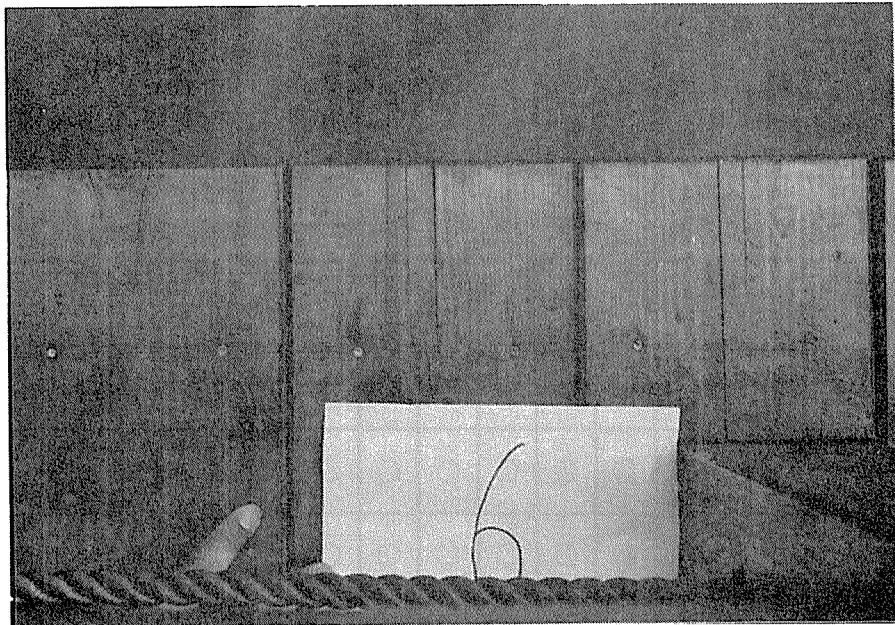


写真3 渡橋デッキ材の木口割れ

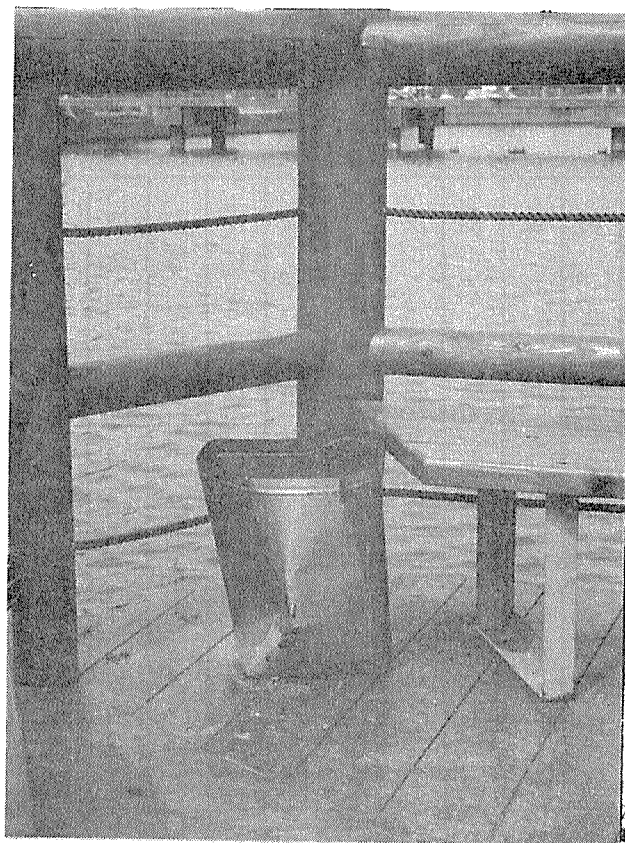


写真4 ベンチ側に置かれたブリキ缶

表3 第3回の調査点検結果(11月10日)

| 凡例 ○：正常 △：要補修 ×：要交換 ※：使用禁止 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|----|------|--------|-------|------------|
| 点検部位 | ボルトの緩み | 損傷 | 付着物 | 腐蝕 | 変形 | 割れ | 反り | 抜節 | 摩耗 | カビ・苔 | 釘等の抜出し | 塗装・塗膜 | 短評 |
| フロート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| フレーム | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 根太 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 床板 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | 焚き火による一部炭化 |
| 防舷材 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 上載施設 | ○ | × | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ロープ破断要交換 |



写真5 ベンチ部欄干のロープ破断

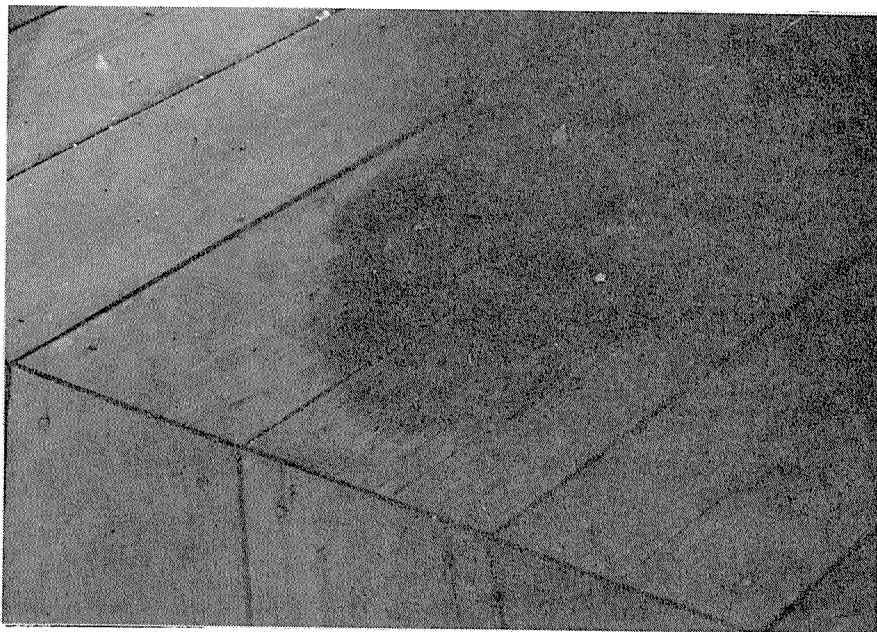


写真6 焚火によるデッキの炭化

表4 第4回の調査点検結果（2月17日）

| 凡例 ○：正常 △：要補修 ×：要交換 ※：使用禁止 | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|--------|----|-----|----|----|----|----|----|----|------|--------|-------|------------|
| 点検部位 | ボルトの緩み | 損傷 | 付着物 | 腐蝕 | 変形 | 割れ | 反り | 抜節 | 摩耗 | カビ・苔 | 釘等の抜出し | 塗装・塗膜 | 短評 |
| フロート | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| フレーム | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 根太 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 床板 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 防舷材 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 上載施設 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | △ | 座面、デッキ塗膜ハゲ |



写真7 ベンチ座面およびデッキの塗装のはげ

(2) デッキの含水率調査

含水率調査は、渡橋に張られたデッキについて測定を行った。測定箇所は図1に「●」で示した19枚のデッキ材の片側端部とした。

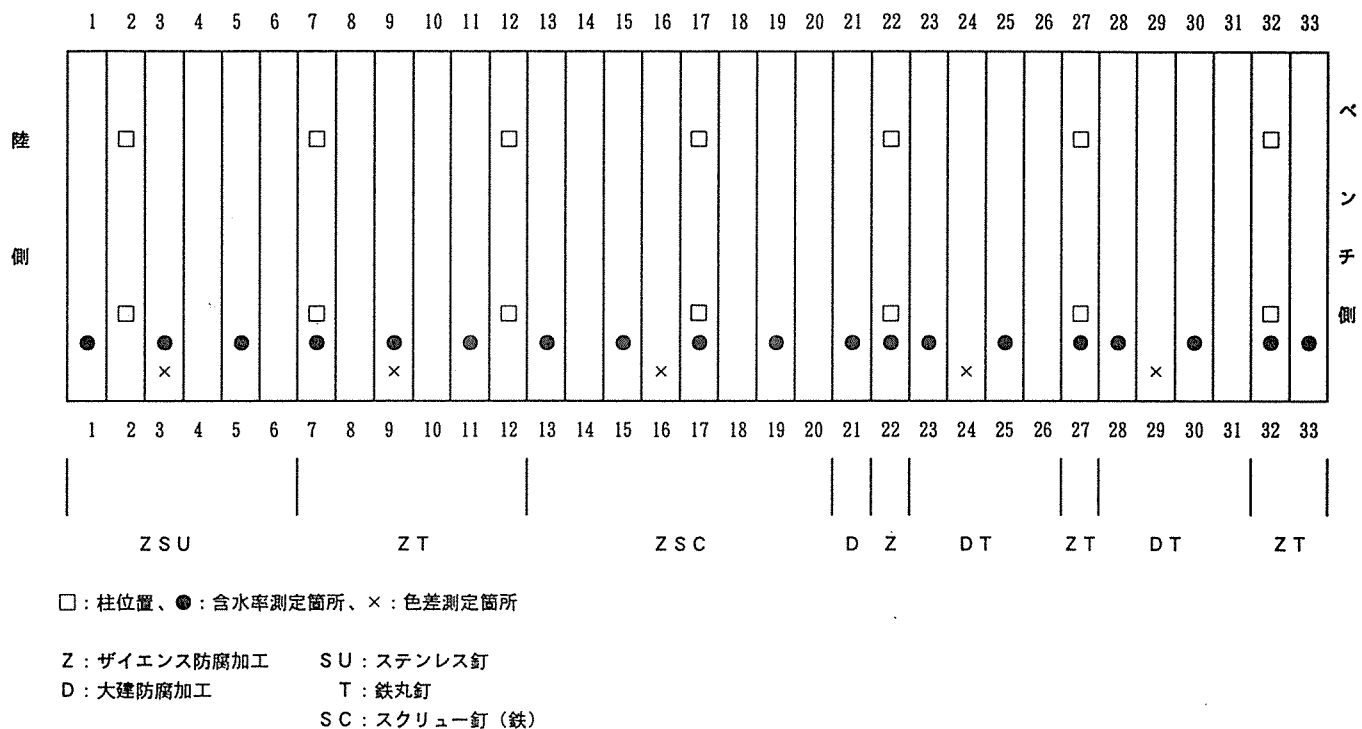


図1 渡り橋平面図

4回の測定結果をまとめて表5に示す。これより分かることは、

- 第1回目は調査直前まで降雨があったため含水率が高い状態が認められた。
- 時間が経過するにつれ含水率のバラツキ（標準偏差）が少なくなり、含水率が均一化してくる。
- 含水率は平均値で20%前後に落ちついている。

表5 渡り橋デッキ材の含水率

| 調査回数 | 日数 | 含水率 (%) | | | | |
|------|-------|---------|------|------|------|------|
| | | 平均値 | 標準偏差 | 最大値 | 最小値 | |
| 第1回 | 7/1 | 0 | 26.0 | 10.1 | 38.5 | 11.0 |
| 第2回 | 8/30 | 60 | 16.7 | 6.0 | 29.0 | 11.0 |
| 第3回 | 11/10 | 132 | 22.0 | 5.9 | 38.0 | 16.5 |
| 第4回 | 2/17 | 231 | 17.4 | 4.9 | 28.2 | 12.0 |

高周波容量式水分計使用。測定数は19枚

さらに、渡橋デッキ材の位置と含水率の関係を図2に示す。この図は上から調査第1回、第2回、第3回、第4回の測定結果である。これより分かることを以下に示す。

欄干の柱を立てた直下のデッキ材（No. 17、22、27番のデッキ材）には柱を納めるための切り欠きがあるが（写真8）、その付近の含水率が高い傾向がある。つまり、切り欠きによりデッキ材の木口面が露出するが、そこでは柱上部から伝って落ちてくる水が接し、そこから吸水しやすくなっている。

また、柱をサポートするためにデッキの下には補強材があるため水切りが悪い状況があり、保水しやすい状態となっていることが原因として考えられる。

降雨などにより含水率が高くなり、その状態が持続することは、木材が腐朽しやすい状態となるため好ましくない。

その対策として、柱とデッキ材の縁を切る（目地を設ける）構造として、水切りを良くするか、切り欠き部の防水処理が必要であろう。

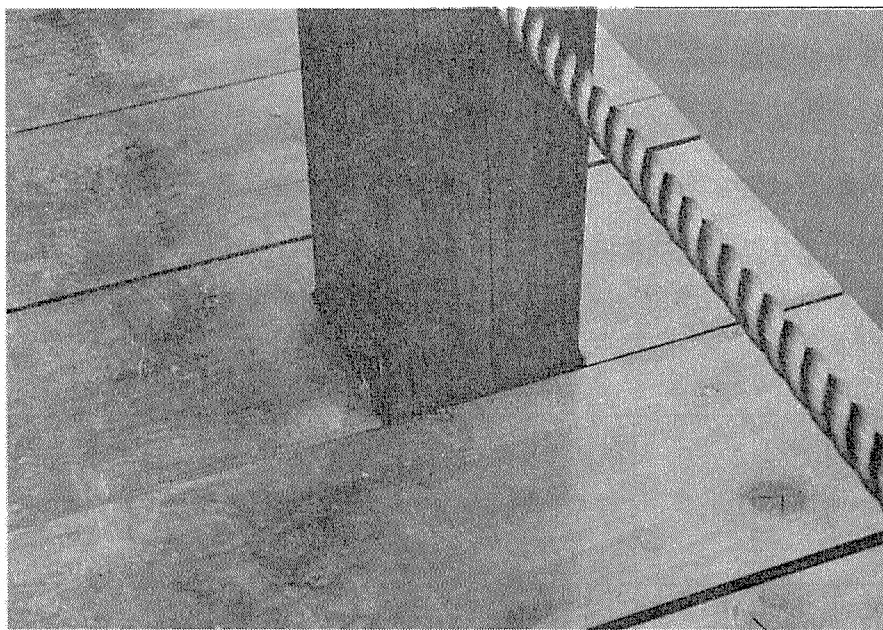


写真8 渡橋欄干の柱とデッキ材の取り合い

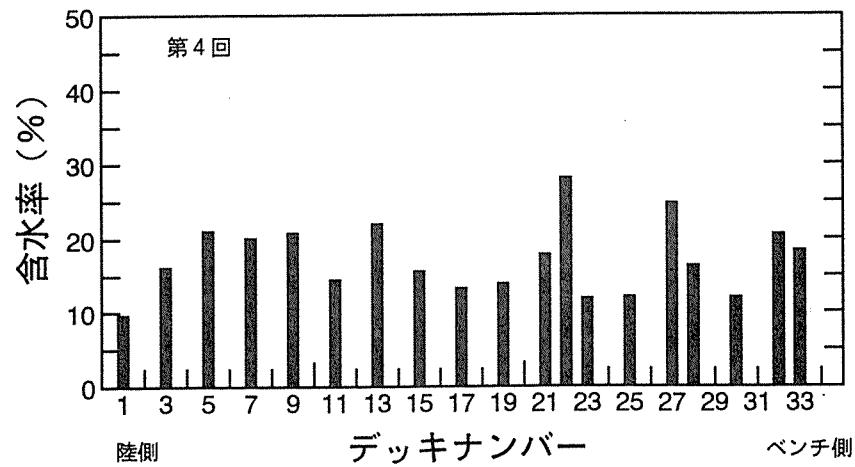
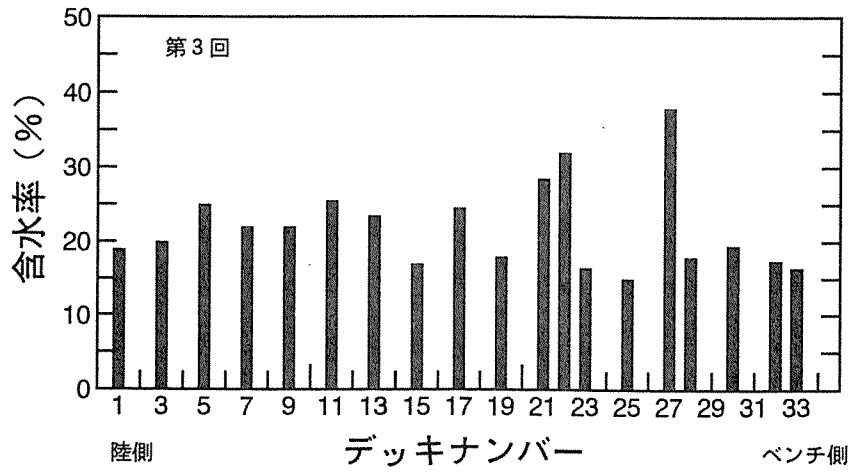
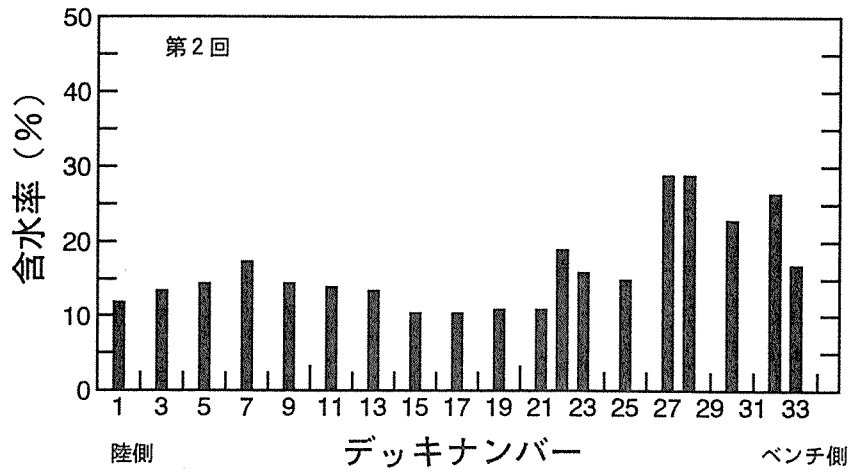
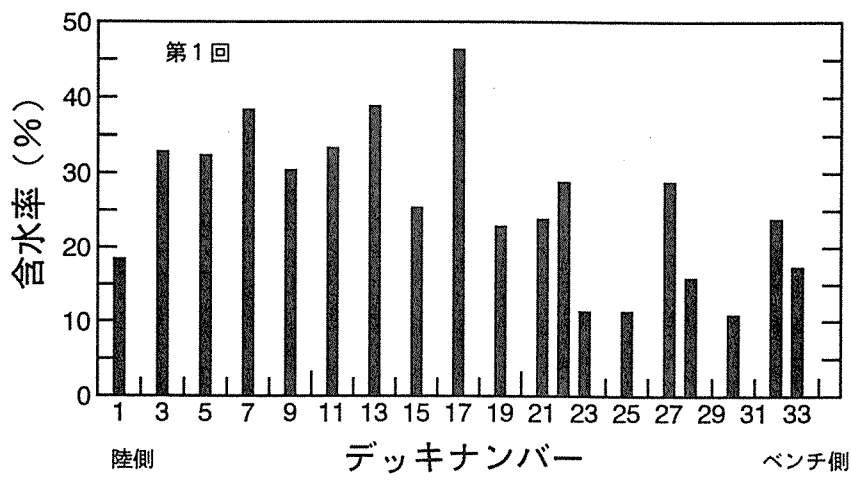


図2 渡橋デッキの含水率

(3) デッキ材の色差

色彩色差計（ミノルタCR-100，JIS Z 8722準拠）によるデッキ材の色差の経時変化を測定した。標準の光はC光源（平均的な昼光の可視波長域の特性を代表する光）とした。

色座標としては、知覚的にほぼ均等な歩度を持つ色空間の一つであるL*a*b*色空間（国際照明委員会（CIE）が1976年に定めた均等色空間のひとつ）によった。この色空間は以下の3座標により表現される。

- L* : 知覚的にほぼ均等な歩度を持つ3次元色空間における座標の一つで、明度を表す指数。
- a*、b* : クロマティックネス指数といわれ、等明度面内の位置を表す2つの座標である。色相と彩度からなる色感覚の属性に対応する。

色差（ ΔE^*_{ab} 、CIE LAB色差）はこれら3座標を用いて、白色標準板（ $L^*=94.86$ ， $a^*=-0.48$ ， $b^*=-0.78$ ）と測定するデッキ材の色差を(1)式により求める。すなわち色差はL*a*b*色空間における白色標準板の座標との距離で表される。この色差のイメージを図3に示す。

$$\Delta E^*_{ab} = [(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2]^{1/2} \dots\dots (1)$$

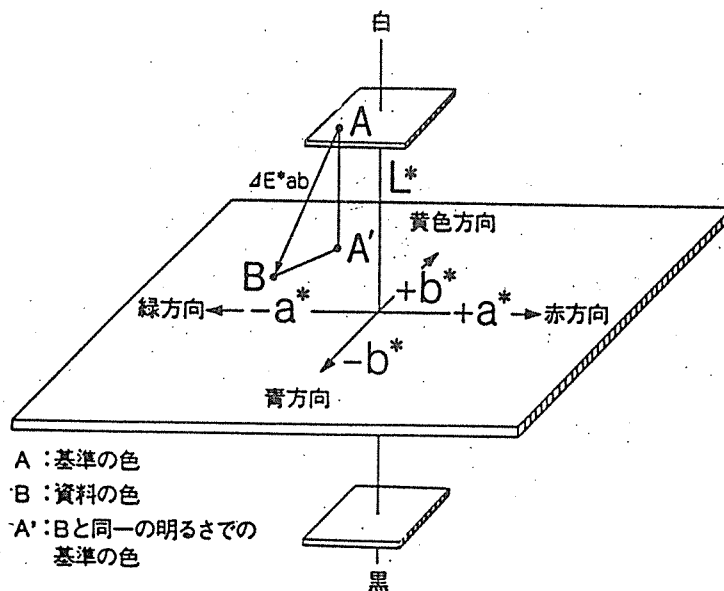


図3 L*a*b*色空間における色差（ ΔE^*_{ab} ）（ミノルタCR-100取説より）

●色差の測定箇所

色差は図1に示した渡橋のデッキ材5箇所（図中の×印）と水面に接するベンチ側面の幕板3箇所（図4のP1、P2、P3付近の各々2枚、計6枚の板の、釘下、釘から離れた場所）である。

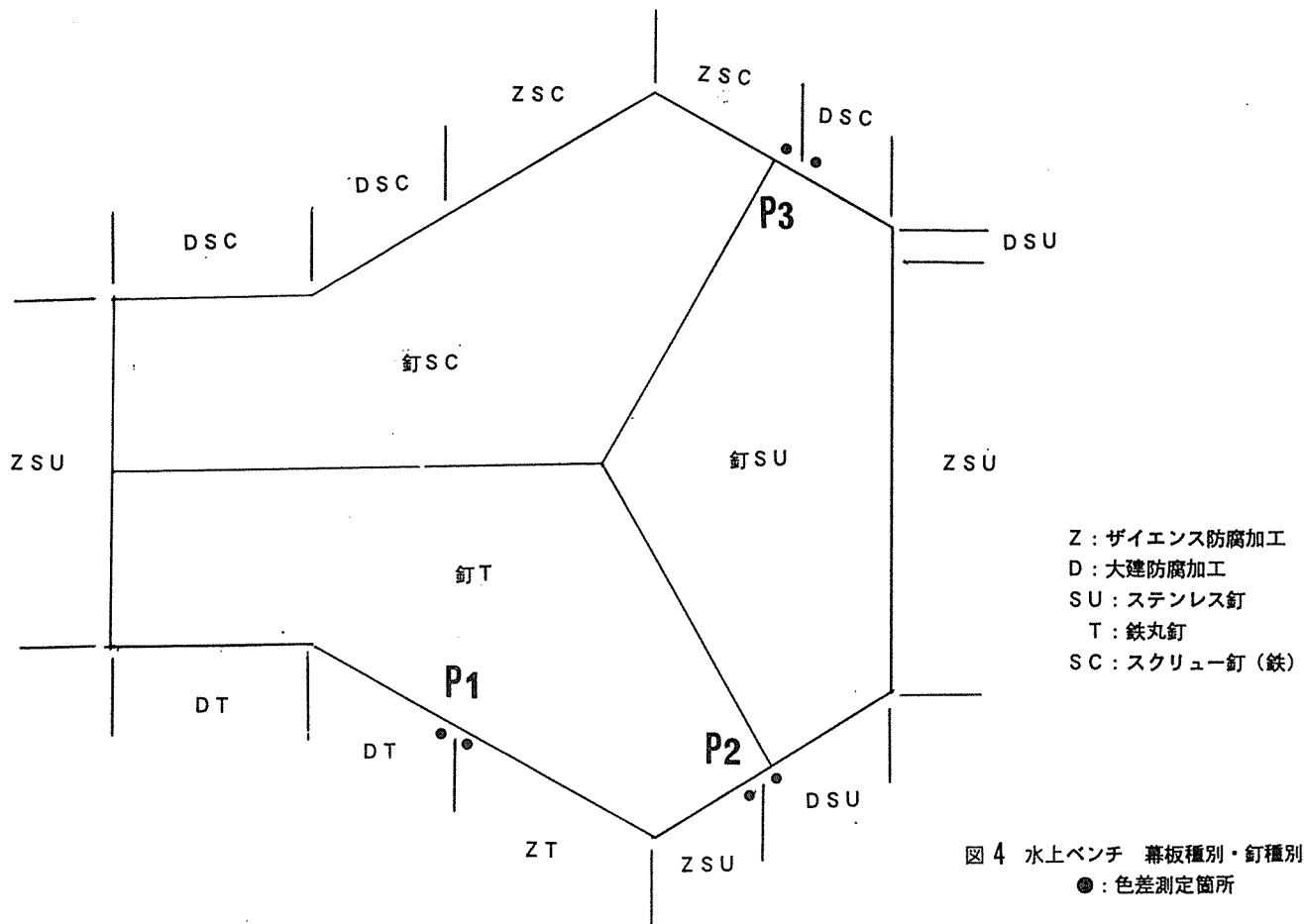


図4 水上ベンチ 幕板種別・釘種別区分
● : 色差測定箇所

●明度の経時変化

図5に、明度指数 (ΔL^*) の変化を示す。材の防腐処理の違いにより2つ (D社、Z社) に分けて示した。

渡橋のデッキ材は明度の変化は非常に少ない (図5、左上)。これは、仕上げとして木材保護塗料を塗布してあることと、また、高欄の外側端部での測定であり、人の往来がほとんどない部分であったため、汚れなどの影響が少なかったことが挙げられる。それに比べ幕板の明度は大きくばらついている。これは塗装の影響が大きいことを示している。

ベンチの幕板はZ社の方がD社のものより白っぽい傾向があった。経時的な変化は明瞭ではなく、ほとんど変化しないが、全体としてみれば幾分「黒っぽい」方向へ向かう。しかし、P1位置で測定したZ社の場合 (図5、右上) 時間とともに「白っぽい」方向へ向かう例もあった。

この材の位置は南面であるため日射による影響も考えられる。

釘の直下位置と釘から離れた位置の明度を比較すると、釘下の部分の方が明度が低い（写真9）。特に鉄丸釘を使用したD社の板（図5、右上）で顕著であった。この傾向は第1回の測定時から見られた。設置後比較的短時間に発生したものと思われる。

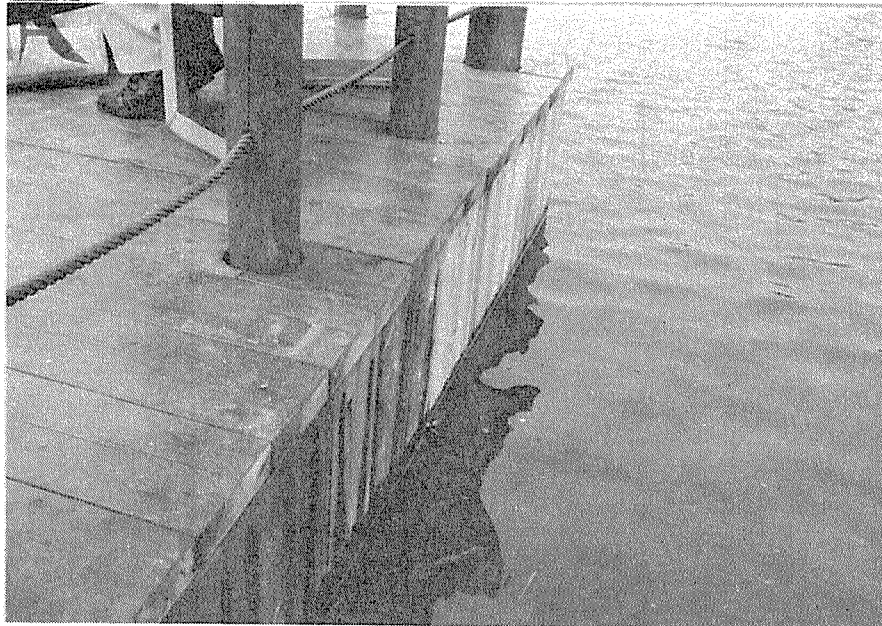


写真9 ベンチ幕板の明度（鉄丸釘使用部分の様子）

●クロマティックネス指数の変化（ Δa^* ：緑－赤）

緑～赤の間の色彩の変化を図6に示す。

D社の板の方がZ社の板よりも「赤」が強い傾向がある。これは目視においても明らかに区別することができる。設置当初の状態から1年弱の期間内では変化に一定の傾向は認められない。

●クロマティックネス指数の変化（ Δb^* ：青－黄）

青～黄間の色彩の変化を図7に示す。

図7の右上を除いて全体的には、黄から青の方向へ経時的に変化するよう思える。最もその傾向が明確なのは幕板（P3位置、日当たりが少ない）。この傾向はD社、Z社ともに同様である。また釘直下は釘から離れた部分に比較し、わずかではあるが、「青」方向にシフトしている。

●色差（ ΔE^*_{ab} ）

図8に色差の結果を示す。

特徴的なのは、木材保護塗装を施した渡橋デッキ材の色差が、4回の追跡調査（231日）では、ほとんど変化なく比較的良く初期の色彩を維持していることである。塗料の効果が伺える。

また、ここで調べた色差は測定した材の基準白色板との3次元色空間における幾何学的な距離

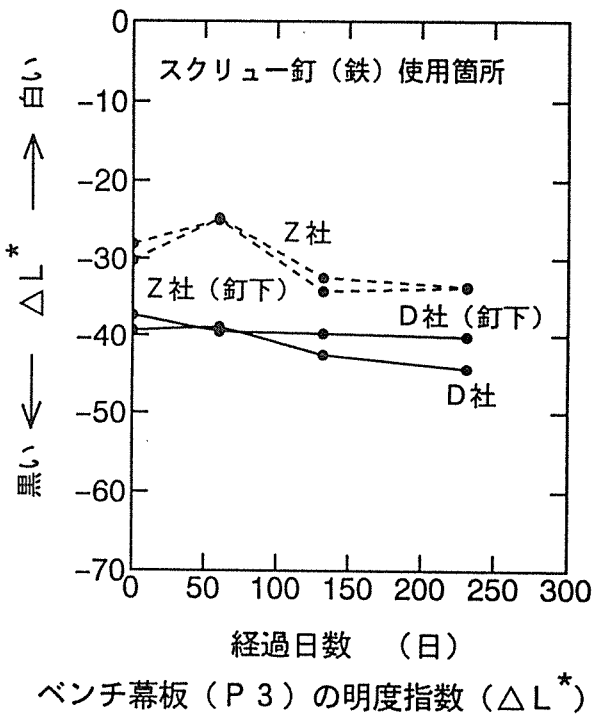
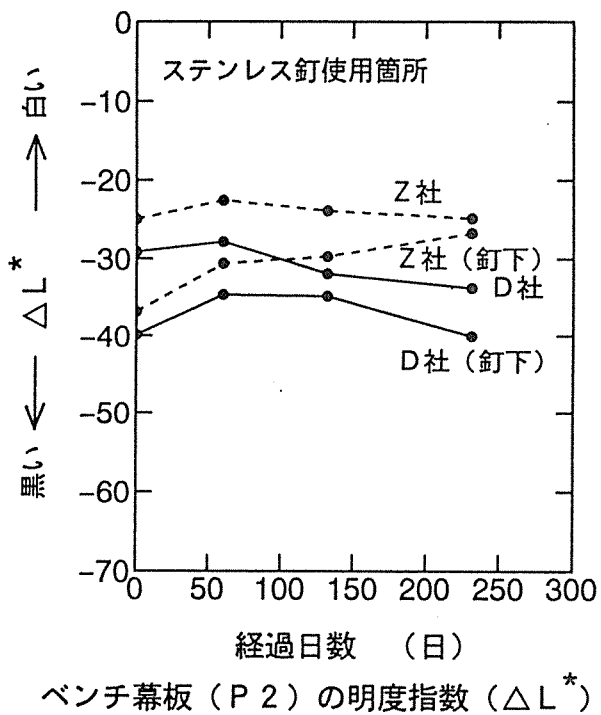
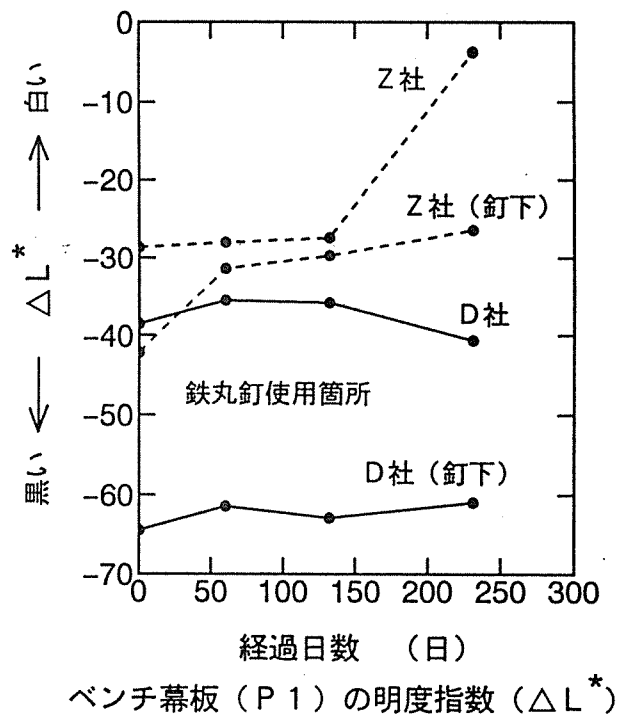
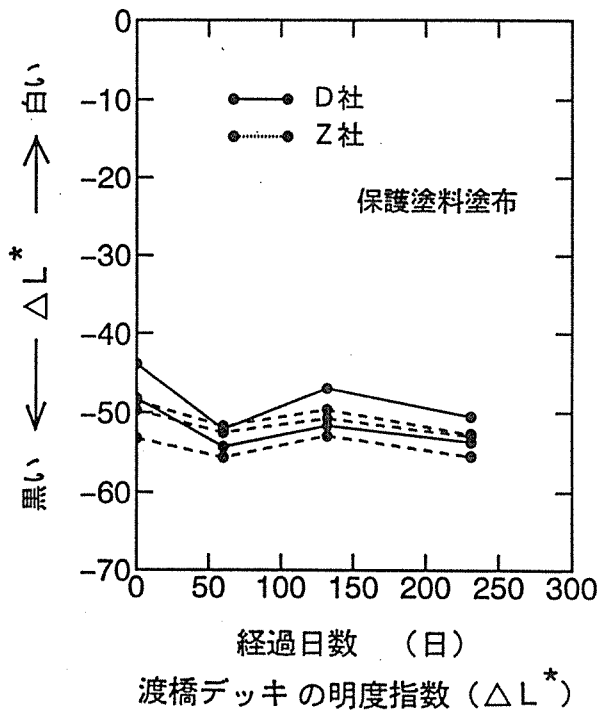


図5 渡橋デッキ材およびベンチ側面幕板の明度指数 (ΔL^*)

左上：渡橋デッキ材、 右上：幕板 (P1)

左下：幕板 (P2)、 右下：幕板 (P3)

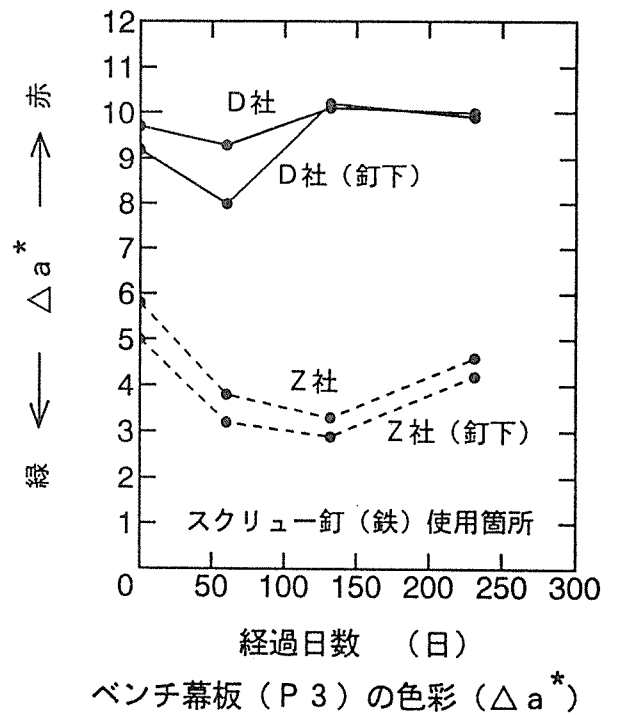
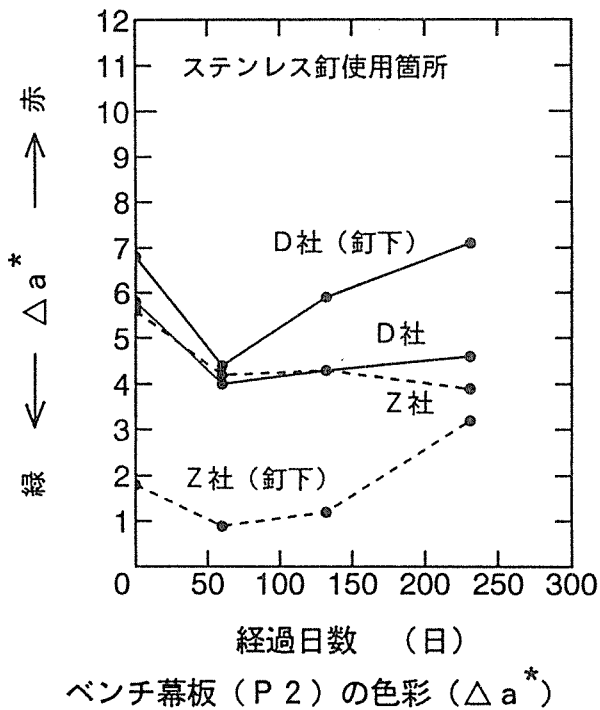
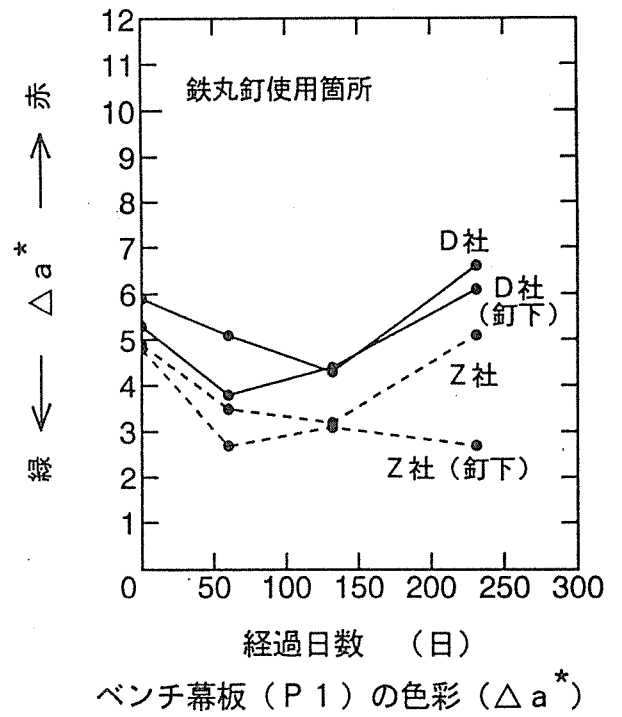
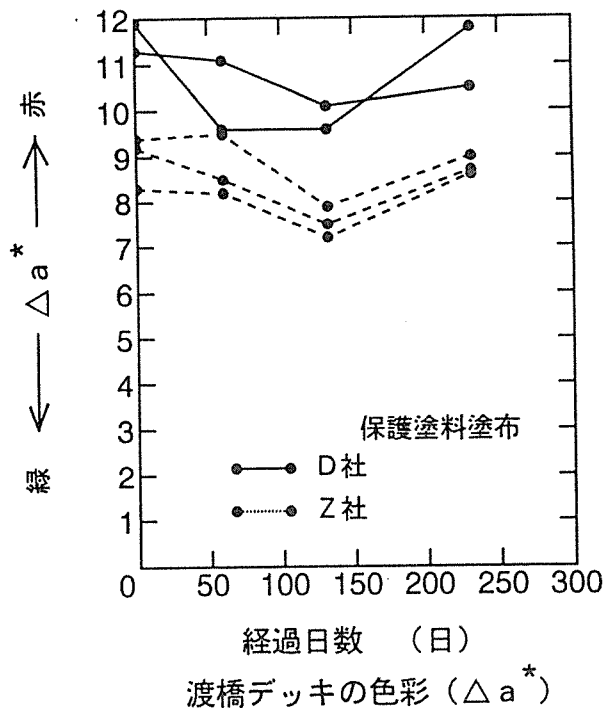


図6 渡橋デッキ材およびベンチ側面幕板の色彩 (Δa^*)

左上：渡橋デッキ材、 右上：幕板 (P1)

左下：幕板 (P2)、 右下：幕板 (P3)

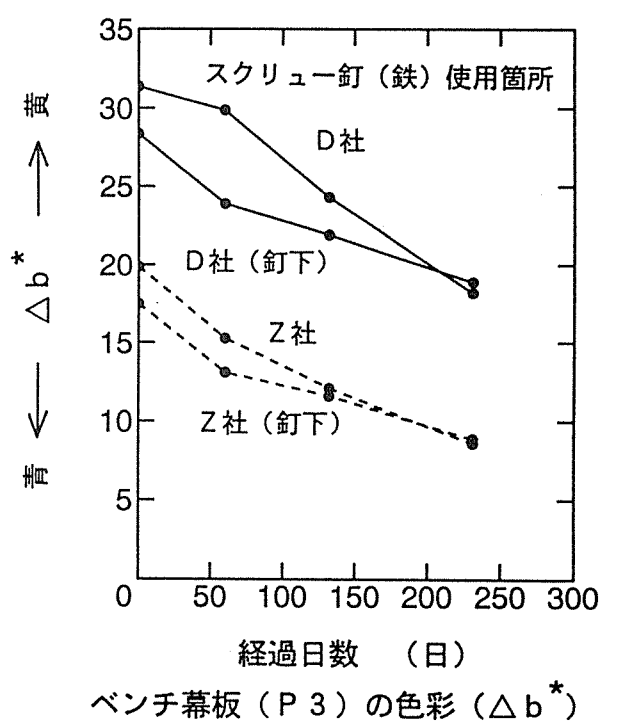
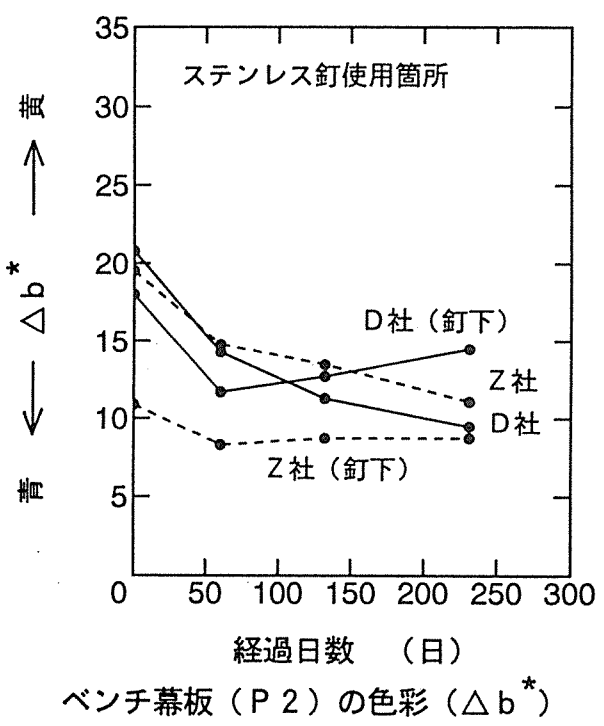
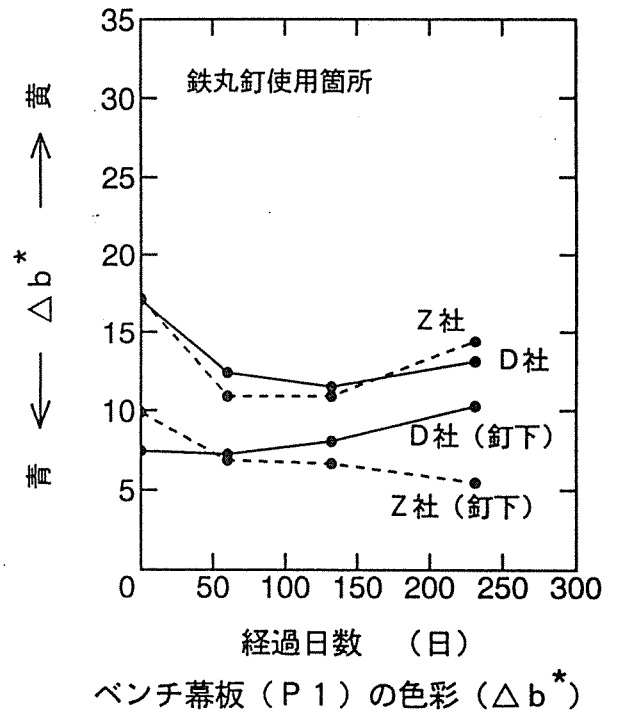
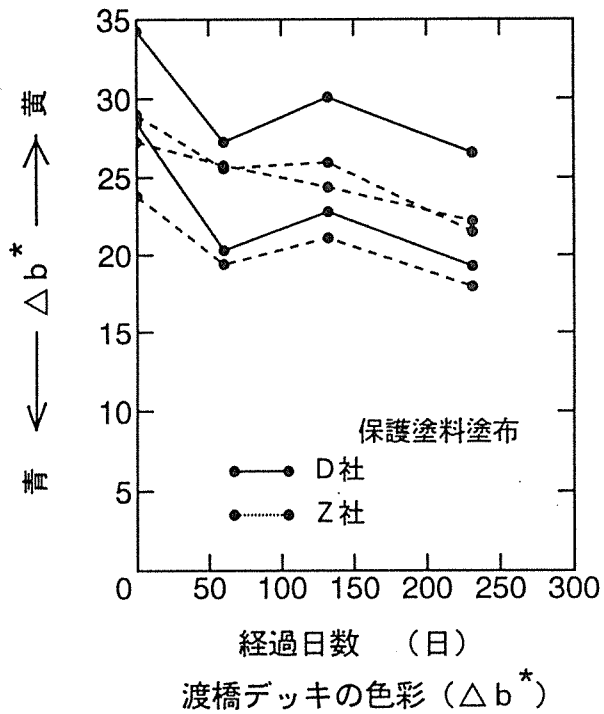


図7 渡橋デッキ材およびベンチ側面幕板の色彩 (Δb*)

左上：渡橋デッキ材、 右上：幕板 (P1)

左下：幕板 (P2)、 右下：幕板 (P3)

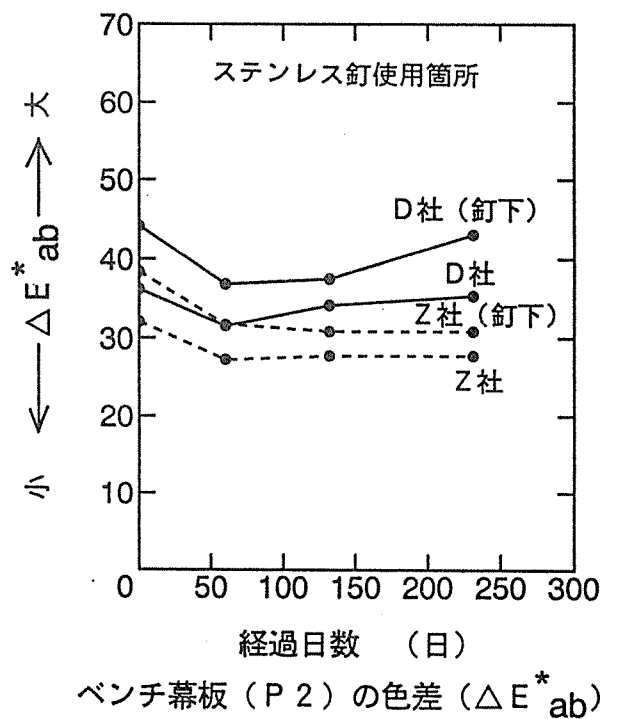
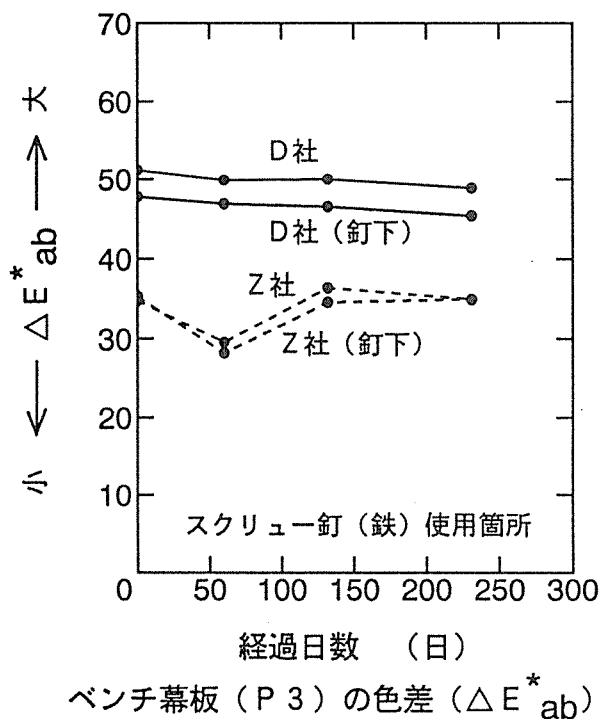
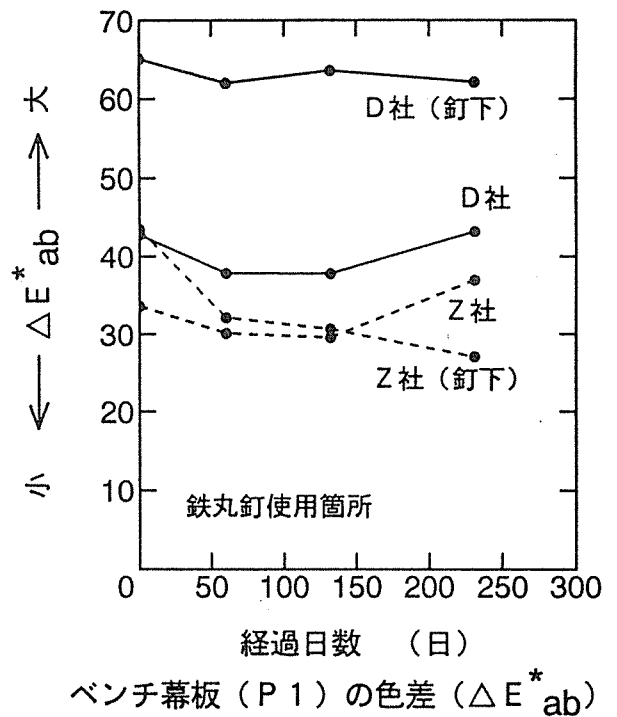
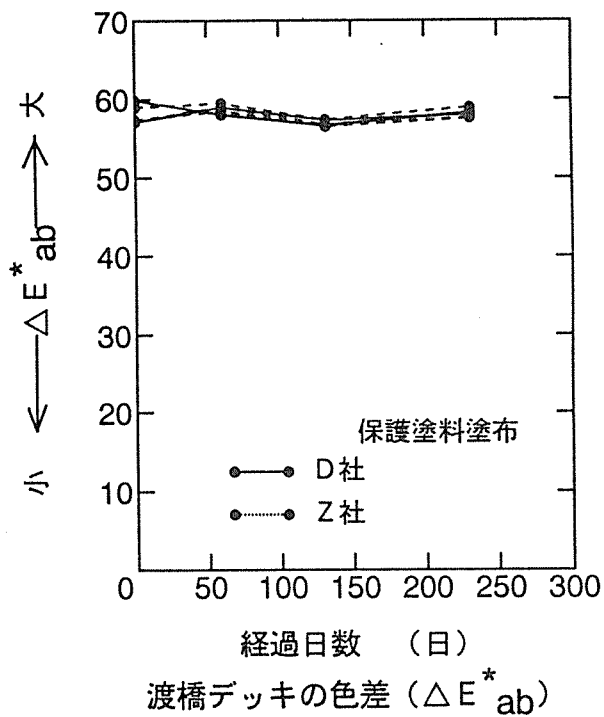


図8 渡橋デッキ材およびベンチ側面幕板の色彩 (ΔE^*_{ab})

左上：渡橋デッキ材、 右上：幕板 (P1)

左下：幕板 (P2)、 右下：幕板 (P3)

を示すが、D社の方が、Z社より色差が大きい傾向がある。見た目にはD社の板は赤身が強く、Z社は白っぽい。また、D社の板で鉄丸釘を打った直下の色差は、釘を打たない部分の色差に比べて大きかった（図8の右上）。これは明度の違いが大きく影響している。

6. まとめ

ベンチ設置後、2か月間隔で合計4回（231日）の調査で明らかになった点をまとめると以下のとおりである。

[外観調査]

- 木材には干割れが認められたが、構造に影響を及ぼす重大な損傷は発生しなかった。
- 安全対策として設置したロープの人為的破断があった。同様なロープに交換した。
- ベンチ上での焚火によるベンチ床板表面の一部炭化があった。原因となった金属性缶はその後片づけられた。
- 床板、ベンチ座面の塗膜面の摩耗が見られた。とくに最も水面に張りだした部分のベンチは、子供が座面に乗って釣りをすることが多く、他の2つのベンチ座面に比べてそれが顕著であった。

[木材の含水率]

- 時間が経過するにれ渡橋デッキ材の含水率は均一化し、含水率20%前後に落ちついた。
- 渡橋の高欄の鉛直部材である柱とデッキ材の交差部では含水率が高い傾向が認められた。
デッキ材の切り欠きによる木口部の防水処理および、その部分の水切りの良さが検討課題である。

[デッキ材の色差]

- 1年未満の調査では色差（ ΔE^*_{ab} ）変化は少ない。木材保護塗料の塗布は木材色の明度を低くし、色差を大きくするが、経時的な変化は他の無塗装の板よりも少ない。
- 木材の明度（ ΔL^* ）はわずかではあるが低くなる（黒方向）。
- 釘、特に鉄丸釘を打った直下の木材の黒色化が目だった。とくにD社の板で顕著であった。
- 色彩、赤－緑軸についてはD社の板はZ社の板より「赤」方向にシフトしている。経時的には一定の傾向はなく、本調査期間内での変化は少ない。
- 色彩、黄－青軸については、時間を経ると「黄」から「青」方向へと変化している。ただ日当たりの良い位置では、変化が明確ではないように思われた。

第2章 試作舗装の経過観察

1. 目的

歩行を主とした木製舗装にあっては、歩行者が常に安全で且つ快適な歩行感が得られるものでなければならない。そのためには、路面が平坦性を保ち、滑らず、足当たりが良く、見た目にも優しいことが要求されるであろう。これらの視点に着目して、前々年度に試作展示した木製舗装が経時的にどのような変化をもたらしたかを測定し、今後の技術的な面での検討資料を得ようとするものである。

2. 調査対象

平成3年度にウッディランド東京管理事務所前に試作展示した舗装（江東区潮見、1992年3月27日竣工）を対象とする。コンクリートを基層とし、次の4タイプの材料により表層が構成されている。木レンガはいずれも金属フレームに装着されてユニット化され、表面には施工の際に珪水性着色剤（BCナチュラル）が塗布された。

木レンガ：ヒノキ木口面タイプ、90×90×40（以下木レンガaという。）

木レンガ：ヒノキ板目面又は柃目面タイプ、90×190×40（以下木レンガbという。）

木レンガ：ヒノキ板目面又は柃目面タイプ、90×590×40（以下木レンガcという。）

自然石：花コウ岩の切り石を不整形に割ったもの
舗装全体の面積は約100 m²である。

3. 調査項目

調査項目は次の4項目である。

- ① 目視及び写真観察
- ② 弾力性調査
- ③ 摩擦係数調査
- ④ 変退色調査

4. 調査結果

4.1 目視及び写真観察

前年度に引続き、舗装の全景と材料のタイプ別に1993年11月30日にカラー写真撮影をした。目視または撮影した写真によって明確にわかるほどの、木レンガのピースの水平的、垂直的な位置の移動は見られず、構造物としては安定している。

（写真1、2参照）

ただし、木レンガcのピースの一部にがたつきが発生しているほか、木レンガaのピースには、かなりの干割れが見られ、そのごく一部には、欠けも見られる。また各木レンガピースの変退色はカラー写真によっても明らかである。



写真1 試作舗装の経過観察 1993.11.30 ウッディランド東京
木レンガ a (木口面), b (板目面 l=190), c (板目面 l=590) いずれも
干割れが目立ち、退色も著しい。cは、がたつくものが
少なくない。

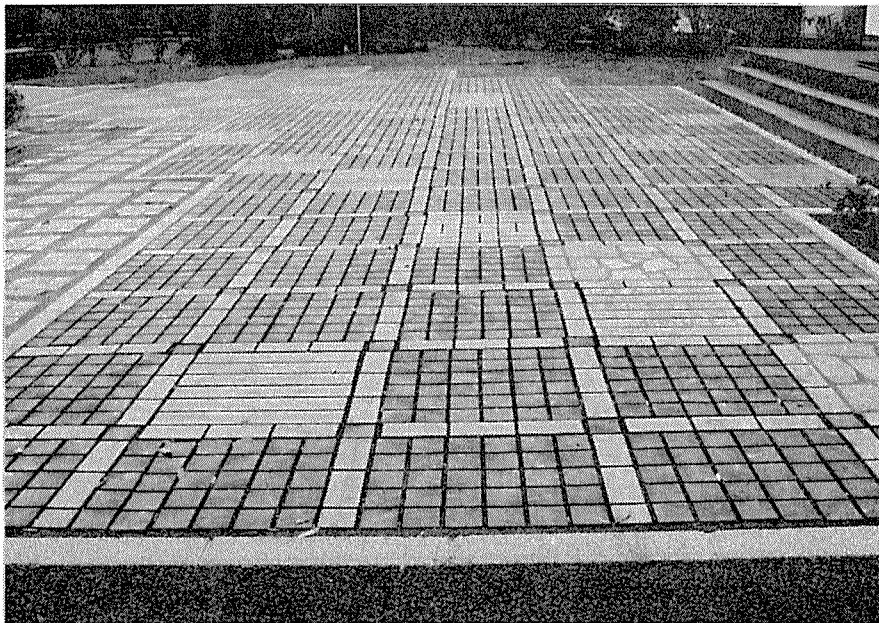


写真2 試作舗装の経過観察 1993.11.30 ウッディランド東京
がたつく木レンガもあるが、全体としては安定している。

4. 2 弾力性調査

長さ100 cmの鋼尺をあらかじめ決めておいた箇所に垂直に立て、100 cmの高さから2種類のゴルフボール（p r o 500 及びm a x f l i 432）を自由落下させ、反発する高さを計測した。なお計測は一箇所について連続5回行い、平均値を採用しているこのとき、反発係数=ゴルフボールの反発した高さcm / 100cmとした。

4タイプの舗装材について一箇所ずつ1992年6月27日、8月6日、9月27日、12月6日に引続き1993年11月30日に測定した。反発係数は、『木レンガc < 木レンガb < 木レンガa < 自然石』の順序は変わっていない。また、木レンガcの反発係数は一時減少傾向にあったがその後元に戻る傾向を示している。（図1、2参照）

図1 試作展示舗装の反発係数（ゴルフボールpro500）
経時変化（1992-1993）

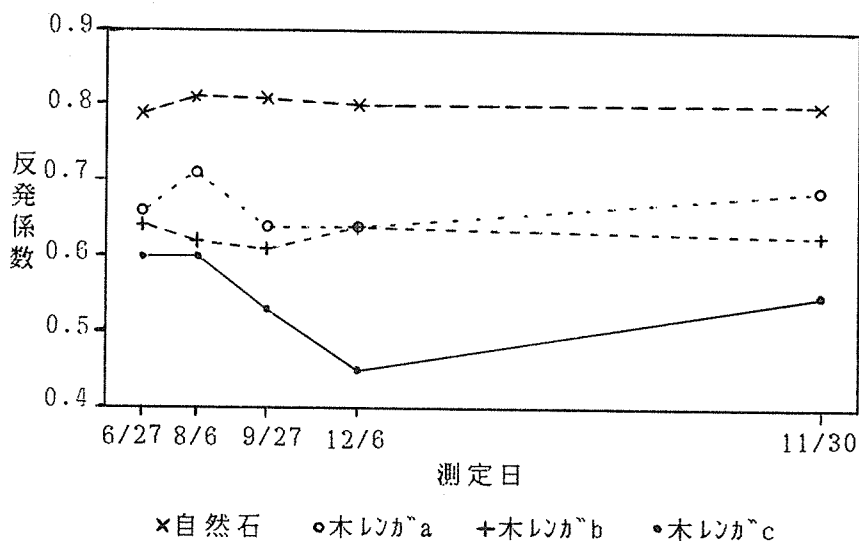
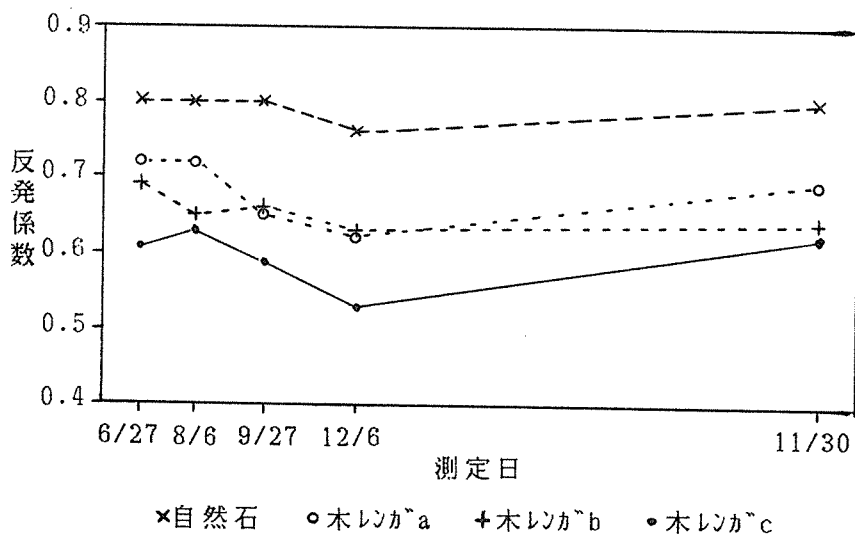


図2 試作展示舗装の反発係数（ゴルフボールmaxfli432）
経時変化（1992-1993）



4. 3 摩擦係数調査

前年度に作成した試験器（板の裏にテニスボールに代えて婦人靴のかかとを張りつけたもの）を用いた（写真3）。

その試験器全体の重量を10kgf とし、舗装面が乾いている状態で上に置き、最大秤量10kgf のバネ秤で水平方向に引っ張り、試験器の動きだしたときの引張力をバネ秤で読みとり摩擦係数（静止摩擦係数）を求めるものとした。

このとき、摩擦係数 $\mu = F / W$ とした。

F：試験器の動きだしたときの引張力（kgf）

W：試験器の全重量（10kgf）

木レンガ a、木レンガ c、自然石について一箇所ずつ測定した。

測定にあたっては、あらかじめ決められた箇所に試験器を置き、婦人靴のかかところが舗装の目地にかからないように注意した。基本的には各舗装材一箇所についてタテ方向、ヨコ方向に往復各2回、（つまり $2 \times 2 \times 2 = 8$ ）8回計測した。ただし、自然石においてはタテ、ヨコ方向にはこだわらなかった。

測定日は、1992年8月6日、9月27日、12月6日 に引続き1993年11月30日 に行った。摩擦係数の値は木レンガ a > 木レンガ c > 自然石で、その経時的変化は、自然石がやや上昇しているのに対し、木レンガはやや低下傾向を示している。（図3）

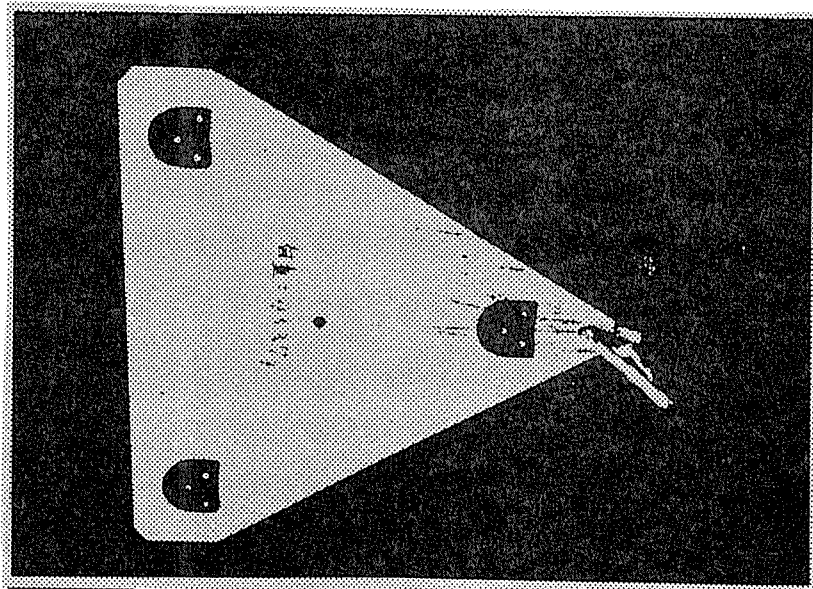
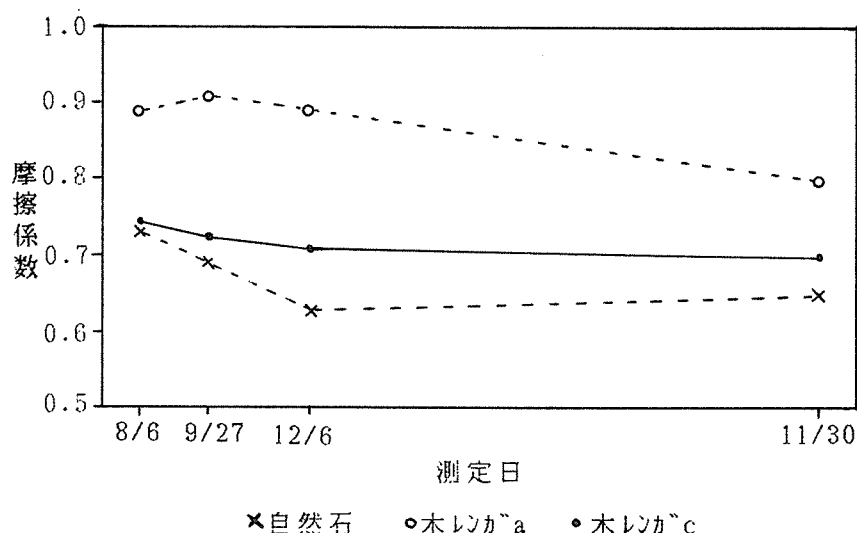


写真3 舗装の摩擦測定試験器 板に婦人靴のかかとを取り付け、かかを舗装面に接して測定する。

図3 試作展示舗装の摩擦係数の経時変化(1992-1993)



4. 4 変退色調査

測定には色彩色差計(MINOLTA 製CR-100)を使用した。Yxy が直接表示されるもので Y は視感反射率、xy は色度座標である。またデータプロセッサ DP-100 により Yxy をマンセル表色系 HVC に変換した。H は色相、V は明度、C は彩度である。標準の光は C 光源を使用し、測色面は径 8 mm の円である。

前年度に引続き 9 箇所の測定点を測色した。測定日は、1992 年 11 月 30 日 で、舗装材の表面は気乾状態であった。測色結果を表 1～9 に示す。木レンガはいずれも彩度が経時的に低下している。ことに板目面タイプの木レンガ b, c は施工後日の浅いうちは木口面タイプの木レンガ a に比べて相対的に高い彩度を保っていたが、施工後 613 日経った時点では板目面と木口面での彩度の差が少くなり木材らしい色彩の鮮やかさが失われつつある。明度については、板目面タイプではいずれも低下している。木口面タイプでは、歩行者の通行の多いところのものは明度がやや上昇、歩行者の少ないところのものは明度が低下している。色相はほとんど Y (イエロー) の範囲内で、微妙に変化している。HV/C にもとづいて色名で表すと、613 日目で木口面タイプはいずれも「黄みの暗い灰色」、板目面タイプは「黄みの灰色」とされる。

表 1 木レンガ a (心材) の色彩 木口面 ※歩行者の通行の多い場所にある。測定箇所No.1

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|--------|---------|---------|------|---------|---------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 10.63 | 0.3952 | 0.3532 | 1.4Y | 3.7/1.4 | 苔みの暗い灰色 |
| | | | ± 0.56 | ±0.0026 | ±0.0026 | | | |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 8.61 | 0.3468 | 0.3502 | 2.6Y | 3.4/1.2 | |
| | | | ± 0.48 | ±0.0027 | ±0.0009 | | | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 9.82 | 0.3416 | 0.3474 | 3.5Y | 3.7/1.1 | |
| | | | ± 1.49 | ±0.0003 | ±0.0002 | | | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 10.08 | 0.3385 | 0.3440 | 3.4Y | 3.8/1.0 | |
| | | | ± 1.32 | ±0.0021 | ±0.0021 | | | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 13.36 | 0.3285 | 0.3351 | 4.0Y | 4.2/0.7 | 苔みの暗い灰色 |
| | | | ± 0.69 | ±0.0015 | ±0.0028 | | | |

MINOLTA 配色彩色色差計CR100 (JIS Z 8722 準拠) ,C光源 以下の表も同様の測色方法

表 2 木レンガ a (辺材) の色彩 木口面 ※歩行者の通行の多い場所にある。測定箇所No.2

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|--------|---------|---------|------|---------|---------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 10.15 | 0.3498 | 0.3524 | 1.8Y | 3.7/1.1 | 苔みの暗い灰色 |
| | | | ± 0.56 | ±0.0048 | ±0.0028 | | | |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 8.50 | 0.3467 | 0.3477 | 1.5Y | 3.4/1.2 | |
| | | | ± 1.09 | ±0.0025 | ±0.0021 | | | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 9.18 | 0.3395 | 0.3462 | 3.5Y | 3.7/1.1 | |
| | | | ± 1.20 | ±0.0034 | ±0.0029 | | | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 10.51 | 0.3359 | 0.3421 | 3.8Y | 3.8/1.0 | |
| | | | ± 1.05 | ±0.0020 | ±0.0017 | | | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 10.43 | 0.3314 | 0.3410 | 6.1Y | 3.8/0.8 | 苔みの暗い灰色 |
| | | | ± 1.28 | ±0.0011 | ±0.0029 | | | |

表 3 木レンガ b の色彩 板目面 l=190 ※歩行者の通行の多い場所にある。測定箇所No.3

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|--------|---------|---------|------|---------|-------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 18.15 | 0.3589 | 0.3584 | 1.0Y | 4.9/2.2 | 深黄 |
| | | | ± 1.94 | ±0.0045 | ±0.0033 | | | |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 16.91 | 0.3492 | 0.3528 | 2.3Y | 4.7/1.7 | |
| | | | ± 0.73 | ±0.0029 | ±0.0020 | | | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 16.14 | 0.3408 | 0.3492 | 4.5Y | 4.6/1.4 | |
| | | | ± 0.97 | ±0.0018 | ±0.0016 | | | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 17.16 | 0.3347 | 0.3422 | 4.3Y | 4.7/1.1 | |
| | | | ± 1.04 | ±0.0034 | ±0.0040 | | | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 16.89 | 0.3350 | 0.3396 | 2.3Y | 4.7/1.1 | 苔みの灰色 |
| | | | ± 1.21 | ±0.0015 | ±0.0015 | | | |

表4 木レンガcの色彩 板目面l=590 ※歩行者の通行の多い場所にある。測定箇所No.4

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|------|---------|-------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 21.46 ± 1.50 | 0.3802 ±0.0089 | 0.3751 ±0.0074 | 0.6Y | 5.2/3.3 | 暗い黄 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 17.93 ± 1.61 | 0.3606 ±0.0089 | 0.3641 ±0.0066 | 1.6Y | 4.8/2.2 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 17.03 ± 1.24 | 0.3471 ±0.0053 | 0.3531 ±0.0044 | 3.4Y | 4.7/1.7 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 16.17 ± 0.99 | 0.3435 ±0.0056 | 0.3512 ±0.0041 | 4.3Y | 4.6/1.5 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 17.98 ± 1.51 | 0.3346 ±0.0026 | 0.3394 ±0.0025 | 2.4Y | 4.8/1.1 | 黄みの灰色 |

表5 木レンガa (心材)の色彩 木口面※歩行者の通行の少ない場所にある。測定箇所No.5

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|------|---------|---------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 14.16 ± 2.67 | 0.3614 ±0.0092 | 0.3613 ±0.0058 | 1.6Y | 4.3/2.1 | 暗い灰黄 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 11.35 ± 1.67 | 0.3581 ±0.0049 | 0.3575 ±0.0032 | 1.3Y | 3.9/1.8 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 11.43 ± 1.88 | 0.3539 ±0.0074 | 0.3568 ±0.0055 | 2.5Y | 3.9/1.9 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 12.61 ± 1.64 | 0.3493 ±0.0062 | 0.3546 ±0.0039 | 3.3Y | 4.1/1.6 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 11.24 ± 1.63 | 0.3331 ±0.0042 | 0.3420 ±0.0042 | 5.6Y | 3.9/0.9 | 黄みの暗い灰色 |

表6 木レンガa (辺材)の色彩 木口面※歩行者の通行の少ない場所にある。測定箇所No.6

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|------|---------|---------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 10.71 ± 1.53 | 0.3655 ±0.0048 | 0.3622 ±0.0042 | 0.8Y | 3.8/2.0 | 暗い灰黄 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 9.18 ± 1.08 | 0.3518 ±0.0058 | 0.3598 ±0.0036 | 2.3Y | 3.5/1.7 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 8.94 ± 0.77 | 0.3533 ±0.0033 | 0.3562 ±0.0034 | 2.5Y | 3.5/1.5 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 10.46 ± 1.47 | 0.3447 ±0.0023 | 0.3502 ±0.0033 | 3.5Y | 3.8/1.3 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 9.91 ± 1.50 | 0.3357 ±0.0022 | 0.3482 ±0.0029 | 7.2Y | 3.7/1.0 | 黄みの暗い灰色 |

表7 木レンガbの色彩 板目面l=190 ※歩行者の通行の少ない場所にある。測定箇所No.7

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|------|---------|-------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 19.81 ± 1.93 | 0.3833 ±0.0130 | 0.3755 ±0.0108 | 0.1V | 5.1/3.3 | 暗い青 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 17.70 ± 2.53 | 0.3743 ±0.0168 | 0.3719 ±0.0125 | 1.2V | 4.8/2.8 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 18.50 ± 1.62 | 0.3758 ±0.0152 | 0.3719 ±0.0122 | 0.8V | 4.9/2.9 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 18.73 ± 3.22 | 0.3584 ±0.0198 | 0.3616 ±0.0143 | 2.3V | 4.9/2.2 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 18.77 ± 2.12 | 0.3319 ±0.0064 | 0.3384 ±0.0078 | 3.6V | 4.9/1.0 | 黄みの灰色 |

表8 木レンガcの色彩 板目面l=590 ※歩行者の通行の少ない場所にある。測定箇所No.8

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|-------|---------|-------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 19.81 ± 1.39 | 0.3892 ±0.0091 | 0.3763 ±0.0071 | 9.9VR | 5.0/3.5 | 暗い青 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 16.02 ± 0.72 | 0.3844 ±0.0160 | 0.3727 ±0.0084 | 0.1V | 4.6/3.0 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 16.74 ± 1.26 | 0.3742 ±0.0165 | 0.3760 ±0.0081 | 0.1V | 4.7/2.7 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 17.70 ± 1.77 | 0.3542 ±0.0082 | 0.3584 ±0.0046 | 2.7V | 4.8/2.0 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 17.43 ± 1.15 | 0.3367 ±0.0032 | 0.3420 ±0.0032 | 2.8V | 4.8/1.2 | 黄みの灰色 |

表9 自然石の色彩 ※測定箇所No.9

| 年月日 | 日数 | n | Y(%) | x | y | H | V/C | 色名 |
|------------|-----|---|-----------------|-------------------|-------------------|-------|---------|-------|
| 1992. 6.27 | 92 | 6 | 21.77 ± 2.64 | 0.3315 ±0.0044 | 0.3291 ±0.0029 | 6.0VR | 5.3/1.0 | 赤みの灰 |
| 1992. 8. 6 | 132 | 6 | 25.65 ± 2.14 | 0.3313 ±0.0020 | 0.3327 ±0.0012 | 9.5VR | 5.7/1.0 | |
| 1992. 9.27 | 184 | 6 | 25.60 ± 2.85 | 0.3321 ±0.0023 | 0.3334 ±0.0017 | 9.5VR | 5.7/1.0 | |
| 1992.12. 6 | 254 | 6 | 24.48 ± 2.02 | 0.3318 ±0.0020 | 0.3334 ±0.0014 | 9.8VR | 5.6/1.0 | |
| 1993.11.30 | 613 | 6 | 26.22 ± 2.19 | 0.3336 ±0.0038 | 0.3364 ±0.0022 | 0.2V | 5.7/1.1 | 黄みの灰色 |

第3章 試作遊具の経過観察

横浜市の若葉台北小学校（横浜市旭区若葉台2-14-1）の校庭に、平成3年1月に設置された試作遊具は、児童の使用に供されて3年経過した。設置後1年間の利用状況と部材の劣化状況については、すでに平成4年3月の報告書に記載済なので、ここではその後の2年間の経過について報告する。調査月日と調査内容を表1に示す。また調査の結果、何らかの不都合が発見され、対応処置を行なった場合はその内容も表1に記載した。

表1 調査月日と調査内容・対応処置

| 調査月日 | 調査内容 | 不都合な個所の対応処置 |
|--------|--------|--|
| 平成4年 | | |
| 6月11日 | 利用状況調査 | 吊橋の転落防止ネットに緩みがあったので張り調整。 |
| 8月1日 | 利用状況調査 | グランドカバーの砂の不陸を敷きならし。 |
| 9月15日 | 利用状況調査 | |
| 10月25日 | 利用状況調査 | ①スプレー塗料による落書きを多数発見：濡れ雑巾で拭き取り。 ②ロープウェイの金属部に汚れ：拭きとった後アクリルペイントで塗装。 ③ロープウェイスタート部のケーブル支持柱の干割れ：紙やすりでエッジを丸めた後、浸透性保護着色塗料を塗布。 |
| 11月8日 | 利用状況調査 | |
| 平成5年 | | |
| 2月28日 | 利用状況調査 | 変退色の目立つ上部の水平部材（非歩行）に浸透性保護着色塗料を塗布。 |
| 5月30日 | 利用状況調査 | |
| 8月15日 | 利用状況調査 | |
| 11月21日 | 利用状況調査 | グランドカバーの砂の不陸を敷きならし。 |
| 平成6年 | | |
| 2月6日 | 利用状況調査 | |
| 4月14日 | 利用状況調査 | |

1 遊具の利用状況

授業のある平日の場合、遊具は朝の登校直後、中休み、放課後に利用される。中でも中休みは高頻度に利用されている（写真1）。この時間になると30名以上の児童が日常的に遊んでいる。男女比は2～3で、男児の利用頻度が常に高い。1日の延べ利用人数は100名を超えており、平成3年度の調査と比べ、あまり低下していない。

中休みにおける遊び内容は仲間が多いので集団による吊り橋揺らしや、遊具を舞台にした「天国と地獄」、「鬼ごっこ」などのゲームが多い。朝や放課後に一人または二人で遊ぶ場合には、ほとんどロープウェイが使われている。

授業では体育の時間にしばしば利用される。ロープウェイを使ったりレー（写真2）、遊具全体を使った速回り競争などである。もちろん授業時間の全体を遊具遊びに使うわけではなく、授業の一部として10～15分間利用している。

各プレイユニット上での遊びは、必ずしも当初の設計通りに行われるわけではない。例えばロープウェイのスタート台上の保護柵は、より速いスピードで発進するための飛び出し台に使われている。丸太わたりの上部水平部材はしばしば平均台遊びやまたがり遊びの対象になっている（写真3）。これらの多くは安全上支障はないが、高所での平均台遊びは足を滑らしたり、バランスを崩したりしたときに危険がある。本遊具は設計時に危険な横棒の排除に努めたが、児童とくに高学年の児童の遊び実態を考慮すると、まだ改善の余地があると言えよう。

休日の利用頻度は、校庭を休日開放しているものの小学校の中にあるので、あまり高くない。校庭を利用する少年サッカーチームの関係者を主体に常時5～10人程度である。ただし、夏休み中の日中はほとんど使われない。午後4時以降の涼しくなった時間帯に数名の子供たちが遊ぶ程度である。小人数で遊ぶとき、使われるプレイユニットはロープウェイが圧倒的に多く、次いで滑り台となっている。



写真1 遊具を利用した鬼ごっこ



写真2 ロープウェイを利用した体育の授業（リレー）

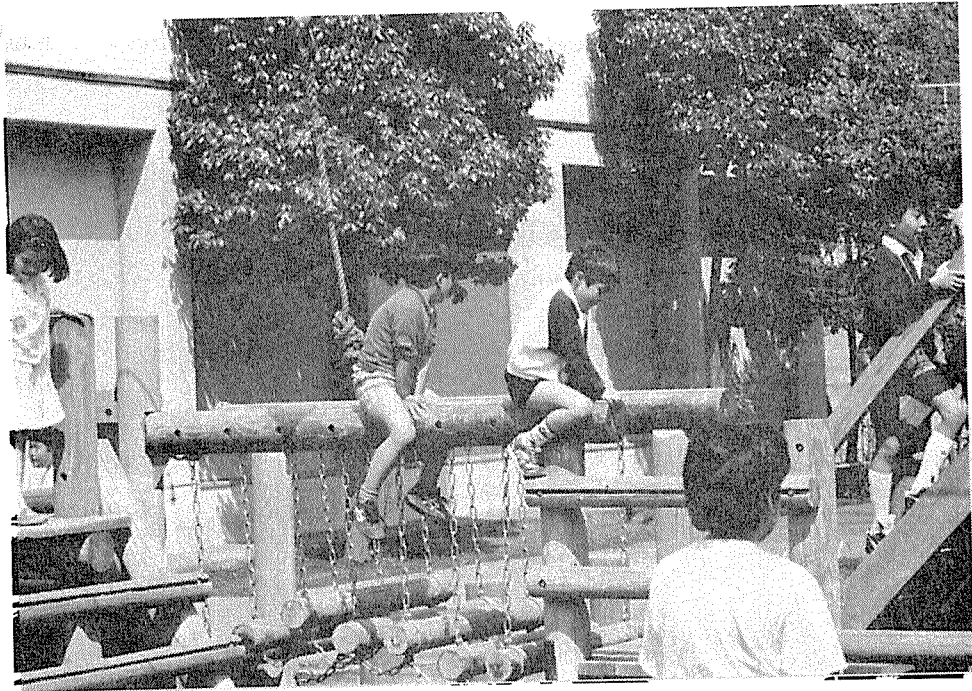


写真3 丸太渡りの吊り材を利用したまたがり渡り

2 遊具の劣化

変退色 当初美しい黄白色であった遊具部材は、その後の風化・摩耗により灰白色に変色した。また、歩行などによって摩耗を生じる部分と、そうでない部分で色むらを生じる結果にもなっている。対策として、表1に示したように非歩行部の一部に浸透性保護着色塗料を塗布しているが、日常的に手で擦られる部分については、摩耗による色変化は避けられない。したがって、全く手足が触れる可能性のない部材については着色塗装も可能であるが、それ以外の部材については汚れを落としたのち、透明の浸透性は水塗装程度に留めることが長期的に見て有効であろう。

摩耗 砂場の上にあるため、その後も摩耗は進行している。とくに児童がしばしばサッカー用のスパイク靴で利用するので、損耗が著しい。写真4は雨後のロープウェイのスタート台デッキの様子である。スタートは特定の位置から行われ、その部分だけが優先的に摩耗し凹になるので、水溜りになっている。3年経過しても50mmの板厚に対し摩耗量は最大で2mm程度であるので、強度上は支障ないが、雨水の滞留による悪影響は避けられないであろう。階段部の踏み面のエッジも摩耗して丸くなっているが、これも安全上支障はない。

滑り台スタート部のデッキは児童のおしりが触れるので平滑性が要求されるが、3年間の使用によって木材の摩耗が進行し、釘が約1.5mm突出する形になっている(写真5)。げんので叩き込んで平滑にしたが、この部分の釘接合については、施工時に釘締めを使う等の工夫が必要であろう。

干割れ 干割れは設置後約1年間で発生し尽くしてしまい、その後はほとんど変化していない。前回の報告書で最大の割れ幅(4.4mm)を記録した部材は、ロープウェイ支持柱を支える南向きの斜め材であった(写真6)。これはロープウェイをスタートしようとする児童がしばしば手で触れる部材であったので、鋭いエッジによる手指の切傷の可能性がある。そこで対策として、紙やすりでエッジを丸く面取りして、さらに浸透性保護着色塗料で塗装した(表1参照)。本試作遊具に加圧注入した保存剤には干割れ抑制剤も添加されていたが、心持ち材の場合まだその効果は不十分と言える。屋外用にはさらに濃度増加等の検討が必要であろう。

接合部のがたつき あらかじめ木材に切り欠き等のがたつき防止加工を施し、収縮抑制効果のある保存剤を注入してあったため、3年経過後もボルト・ナットの緩みはほとんど発生していない。一般に吊り橋は激しく揺り動かされるので接合部が緩みがちであるが、本試作遊具はそれも発生していない。踏み材を回し金具吊りにした効果が出ているのである。

腐朽 外見上、3年経過後も腐朽の兆候は全く認められない。超音波劣化診断器による伝播時間にも全く変化が認められない。接地部の木部をげんので打診しても変化が認められない。したがって、本試作遊具は3年経過後も腐朽の兆候がないと結論される。

一般の公園遊具では、防腐処理をしないスギ丸太は2年目に、表面に防腐塗装をしただけの丸太は2~3年目に腐朽が現れる。防腐剤を加圧注入する場合でも、予備乾燥をせずに生材のまま処理すると3年目には腐朽の兆候が現れる。これは生材では木の中に含まれている水に邪魔されて、防腐剤が材料の内部に浸透していないためである。3年間のデータとは言え、本試作遊具の測定結果からも材料の予備乾燥の重要性が伺われる。

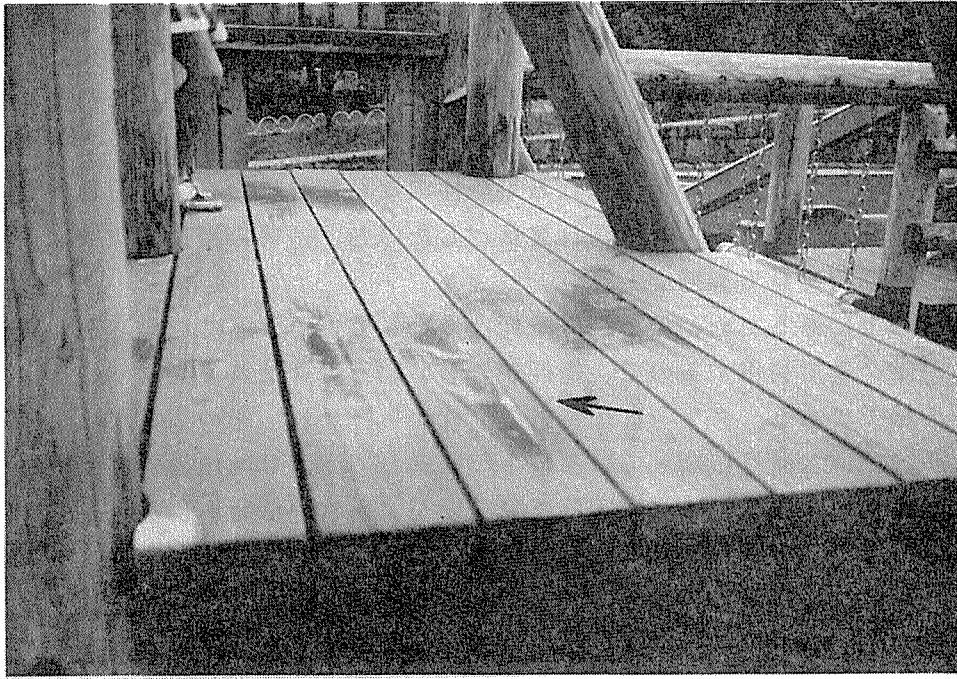


写真4 ロープウェイのスタート台デッキの不均一摩耗

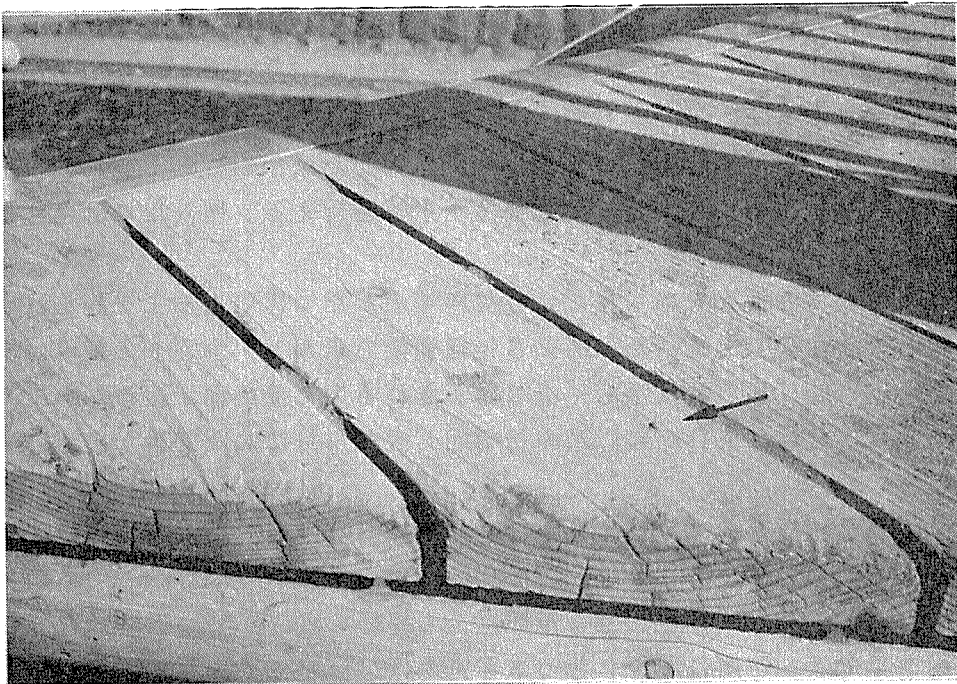


写真5 摩耗による釘の突出

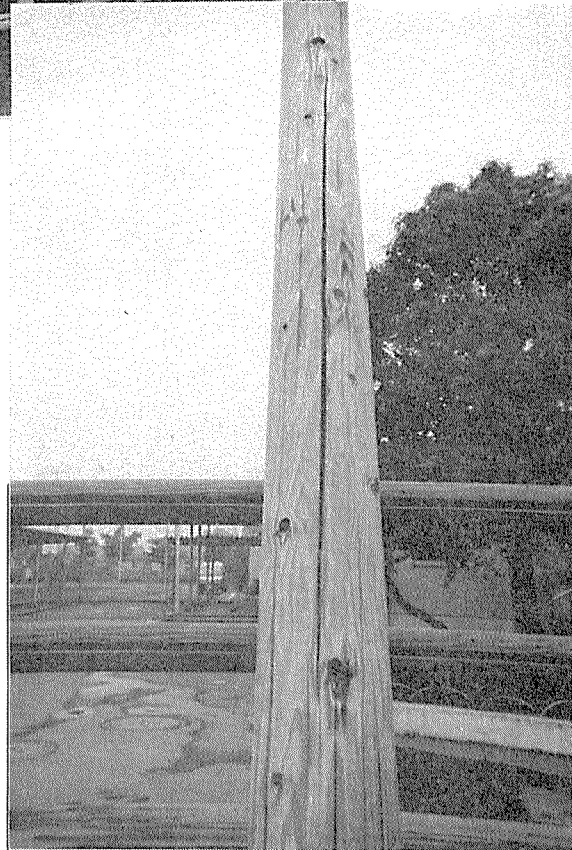
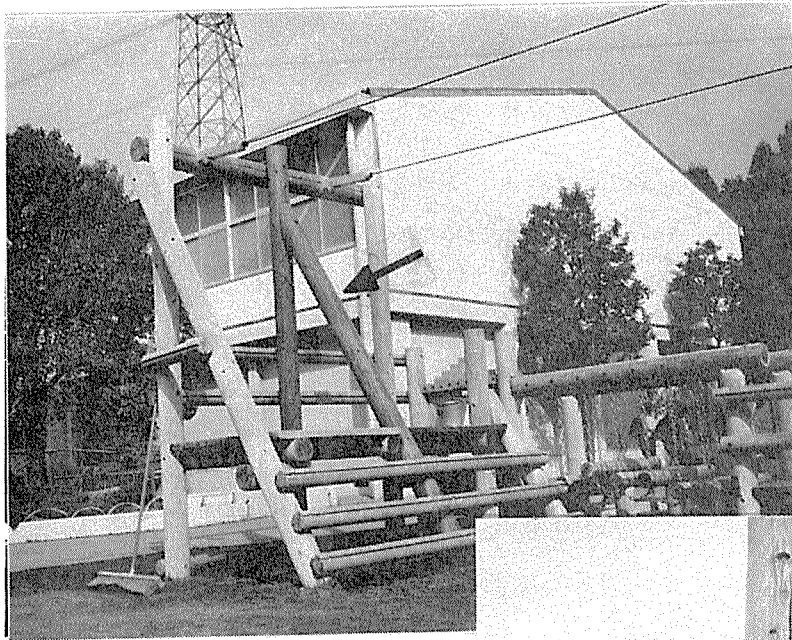


写真6 南向きの斜め材に発生した干割れ