

平成 13 年度 農林水産省補助事業
木材産業技術実用化促進緊急対策事業

木材産業技術実用化促進緊急対策事業報告書

V 成型品、防・耐火編（5 課題）

平成 15 年 1 月

財団法人 日本住宅木材技術センター

まえがき

地球温暖化対策森林資源の炭素固定機能の高度発揮が求められている中、我が国においては、スギ等人工林を中心とした森林資源が成熟しつつあり、木材の持続的利用を担う木材産業の発展が緊急の課題となっております。

また、我が国の木材産業は、木材需要及び価格の低迷、木材製品輸入の増大等から厳しい経営環境におかれており、木材産業の活性化が必要となっております。一方、木材関連企業の中には、木材利用の推進に資する新たな製品及び利用技術等の開発に真剣に取り組んでいる企業も見受けられます。

こうした中で、林野庁の平成13年度補正予算により、「木材産業技術実用化促進緊急対策事業」が実施されることになり、(財)日本住宅・木材技術センターが事業実施主体となって実施したところです。

この事業は、木材の利用推進や木材産業の発展に資する幅広い分野での新製品あるいは新技術の実用化に向けて必要な品質性能試験、市場調査、技術可能性評価等の試験調査課題を公募し、122件の応募課題の中から外部委員による評価を経て31課題を選定し、これらの課題に必要な試験調査を当センターと実施企業及び試験研究機関と共同で実施したものです。

これらの試験調査結果については、各課題毎に報告書を取りまとめたところですが、31分冊にもなるため、ここでは、活用と保存の便宜を考慮し、下記のように課題を7分類し、それぞれを合本・編集したところです。

- I 木質構造編
- II 集成材、合板、LVL編
- III 乾燥編
- IV ボード製造、利用編
- V 成型、防・耐火編
- VI 樹皮利用、廃棄物抑制編
- VII 高齢者対策、圧密化、サッシ保存編

多くの方にご活用頂きますようお願いする次第です。

平成15年1月

財団法人 日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

木材産業実用化促進緊急対策事業報告書

V 成型品、防・耐火編

- 1322 リサイクル木質建材の実用化促進試験
- 1329 接着剤を使用しない食品用深底木質トレイの実用化
- 1308 準耐火構造ログハウスの開発
- 1313 不燃加工を施した間伐材の内装材、外装材の開発
- 1323 木造土壁構法による防耐火構造・準耐火構造の開発

1322 リサイクル木質建材の実用化促進試験

課題番号：1322

リサイクル木質建材の実用化促進試験

株式会社 コーハン

要旨

混合溶融法によって木材とプラスチックからなる複合材料の試作と性能試験を行った。木材率は60%程度まで安定した品質が得られ、プラスチックについてはポリプロピレンやポリエチレンなどとの組み合わせが有効であることが明らかになった。また、木材とプラスチックを複合させることで、プラスチック単体に比べてより高い曲げヤング率の材質が得られ、一方、耐水性に優れた木質材料としても位置づけられることが明らかになった。柱状の試験体については、土台や根太などの部材を想定し横圧縮試験を行った結果、極めて高い性能が得られた。建築材料としての実用化に当たっては様々な接合具との相性が課題となるが、釘よりも木ねじとの組み合わせが適していることも明らかになった。

木材産業のいわゆるゴミをリデュースし、木材資源活用の歩留まりを上げて木質材料のリユースを図り、木材資源のリサイクル率を高めることに対して本試験で明らかにした手法は極めて有効性が高いものと思われる。

キーワード

木質材料、プラスチック、混合溶融法、金型成型、リサイクル、廃棄物処理

目 次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	2
3. 試験調査の内容	2
3.1 試験体の製作	2
3.2 試験実施項目	4
4. 試験調査の日程	4
5. 試験調査の結果	5
5.1 木質系原料の混合割合と基礎物性の検討	5
5.2 用いる熱可塑性樹脂の種類と異樹脂混合の影響	11
5.3 製造条件（熔融温度、圧縮条件）の検討	14
5.4 木質系原料の含水量の影響	17
5.5 木質系原料の粒度の影響	19
5.6 住宅建材としての実用性の検討	21
6. 実用化の見通し	30
7. 今後の対応	30
8. 特筆すべき成果	31
9. 試験調査委員会 委員	31
10. 技術者	31
11. 他からの指導又は協力事項	31
12. 参考文献	31
13. 参考資料	32

リサイクル木質建材の実用化試験

株式会社 コーハン

1. はじめに

21世紀の課題として環境との共生が大きくクローズアップされている。地球温暖化、大量生産・大量消費の工業化社会、化石資源の枯渇化等に対して、次世代、次々世代への技術開発が各分野で広く行われていることは遅きに失した感があるものの、これから真摯に取り組まなければならない重要課題の一つである。木材資源に対しても「環境に優しい」「二酸化炭素を固定する」との説明だけでは不十分であり、森林資源の活用が森林資源を育成するという基本的なスタンスが必要であり、その具体的な技術革新が望まれているところである。木材産業は丸太を製材して、柱、梁や板類を製造したり、あるいは細分化したエレメント、即ち、合板であればベニア、集成材であればラミナ、ボード類であればチップやファイバー等を接着剤によって再構成して木質材料を製造することを行ってきた。そして、その加工工程から副次的に生産されるのこ屑やプレーナー屑、あるいは端材は様々なに利用する試みがなされているものの最終的には焼却されてきた。この過程の中で、大気汚染の観点から使用する焼却炉にも規制が加わり、木材製品にとって副生産物であるいわゆる屑の再資源化が大きな課題となってきたのである。一方、プラスチックについても回収、再資源化がやはり大きなテーマとしてあげられており、多くの開発研究がなされている。さらに、木材とプラスチックを複合させる試みと実用化は既に海外では歴史があるものの、我が国における現状はこれからの課題と言えよう。

本試験においては、のこ屑、プレーナー屑を対象にして、プラスチックとの複合材料の開発を行った。プラスチックは熱可塑性樹脂としてポリエチレン、ポリプロピレンを利用し、乳白色の樹脂に木材が混合されても木質感が残る状態で試験を行った。しかしながら、容器リサイクル法によって回収される着色されたプラスチックであっても複合化が可能であることも実証されており、最終的には被覆されたり、見えない部位への商品化については、木質廃棄物とプラスチック廃棄物の再利用、再資源化が可能な技術として今回の加工プロセスが確立することを期待している。

複合材料としては木材の性質とプラスチックのそれとが如何に組み合わせられるのかが、注目される点であり、この点を明らかにした上で、実用化への用途開発を具体化しようとしている。なお、本試験で用いた混合溶融ミキシング機（Kミキシング）は当社が独自に開発、製品化したものであり、プラスチック廃棄物の溶融機として実績を有している。木材との混合は研究の端緒についたところであるが、外部加熱不要で連続生産が可能なラインが構成できる点で、木質廃棄物の再資源化にも役立つ可能性が実証された。

2. 試験調査の目的

のこ屑、おが屑に加え、今後大量に排出される建築解体廃材や間伐材の木材処理についても、大規模処理、あるいは再資源化が緊急課題となっている。これらの課題を克服するため、プラスチックを高速回転で衝撃摩擦を起こさせ、それによる自己発熱で熔融させて、その中に木屑・木粉を重量比 51%以上の割合で混合させる新機構のミキシングを採用し、木質・プラスチック複合材料の開発とその実用化に向けての試験研究を行うことを目的とした。

3. 試験調査の内容

本調査では、元来プラスチックリサイクルマシンであるKミキシング機を木質・プラスチック複合材料に応用するための製造条件のほか、製造した試験体の基礎物性について調べるとともに、建築資材としての実用性を考え、接合方法の検討を行った。

3.1 試験体の製作

試験体の製造は(株)コーハン・西春テスト工場にて、Kミキシング機、5Lマシン(当社製)を用いて行った(写真1)。Kミキシング機は高速回転の羽根が内臓されているチャンバーを搭載している。熔融温度の異なる投入された混合材料は、それぞれの比重の差により、同じ比重の材料同士ぶつかりあう。そこに衝突摩擦熱が発生して溶け始める。さらに回転攪拌して団子状のゲルとし、圧縮成型する機構となっている。

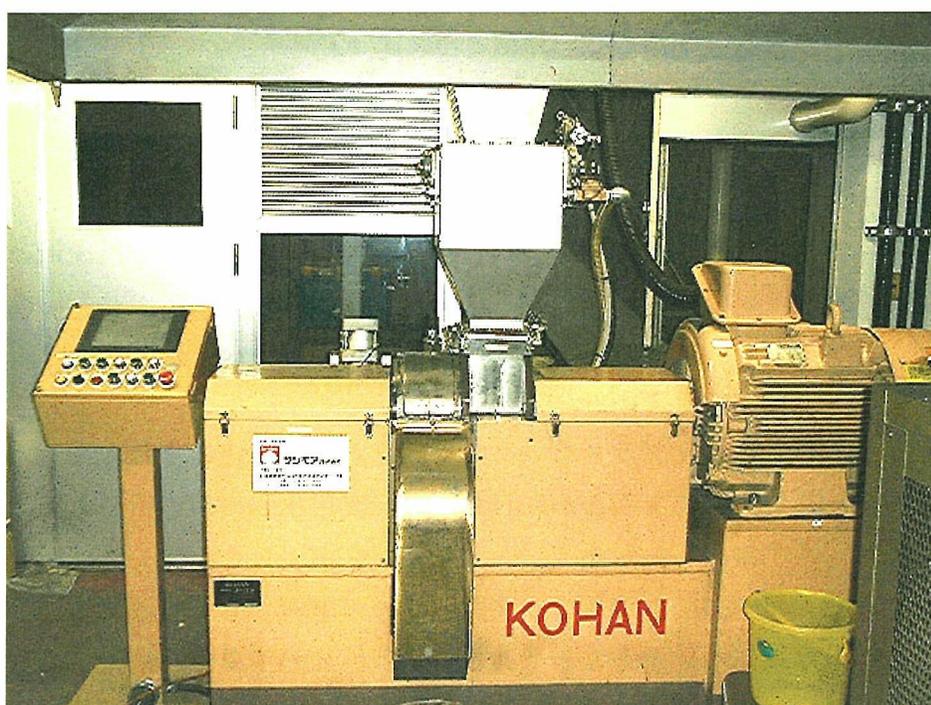


写真1 Kミキシング機 5Lマシン

3.1.1 板状試験体の製作

木質・プラスチック複合材料の製造条件や基礎物性について調べる為にKミキシング機 1 Lマシン、5 Lマシンを用いて 250×250×5(mm)、300×300×5(mm)のボードを製作した。木質原材料には廃棄物であるスプルスモルダー屑、スギ鋸屑を用いた。また、熱可塑性樹脂には汎用プラスチックの主流であると考えられるペレット状のポリプロピレン(MI-13)、ポリエチレン(MI-13)の他、フレーク状に粉砕した廃棄ペットボトルを用いた。

3.1.2 柱状試験体の製作

建材としての実用を考えた各種試験を行う為、同様のミキシング機を用いてモルダ一屑とポリエチレンを混合溶融し、圧縮成型して 50×50×300(mm)の角柱を製造した(写真2、写真3)。

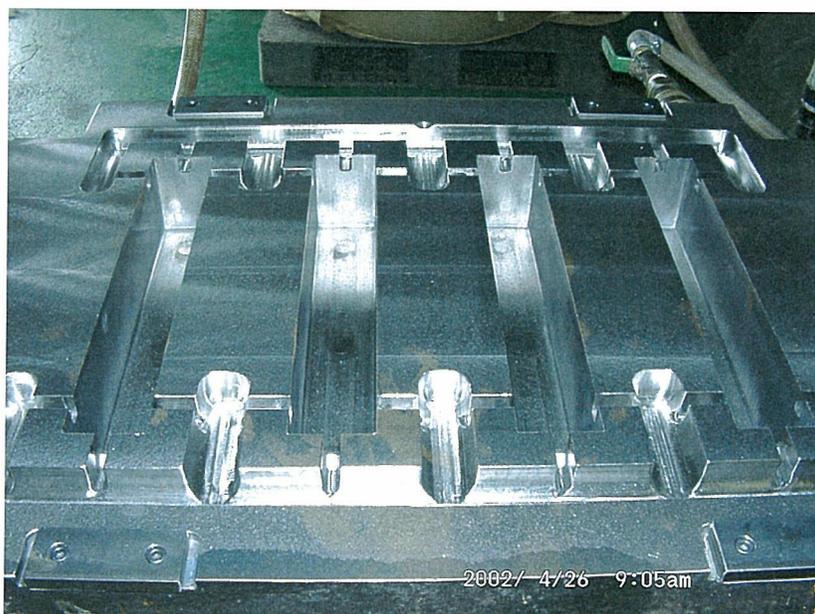


写真2 柱状試験体用の金型



写真3 柱状試験体例

3.2 試験実施項目

試験体の基礎物性、実用性の検討のために以下の項目の試験を行った。試験方法については、第5項の試験調査の結果で報告する。

- ・密度の測定
- ・曲げ強度性能試験
- ・吸水試験
- ・熱膨張率の測定
- ・部分圧縮試験
- ・釘の引抜き抵抗試験
- ・木ねじの引抜き抵抗試験
- ・釘接合部の一面せん断試験

4. 試験調査の日程

平成14年4月から平成14年6月まで	試験体製作
平成14年5月から平成14年7月まで	特性試験
平成14年7月から	報告書作成

5. 試験調査の結果

5.1 木質系原材料の混合割合と基礎物性の検討

熱可塑性樹脂に木質系材料を混合することによるボードの基礎物性の変化を検討することを目的とし、ボード状の試験体を製造し、各種物性試験に供した。ボード原料総重量に対する木質系原料の混合割合を以降、混合比と称し、次式のように定義する。

〔混合比＝木質系原料の重量／原材料総重量〕

5.1.1 試験体

混合溶融機（K ミキシング機、（株）コーハン）を使用し、200×200×5(mm)のボードを製造した。

木質系原料としては、スプルースマルダーク層《M》、スギパウダー《F》を用いた。熱可塑性樹脂としては、ポリプロピレン（MI-13）《PP》を用いた。以降、複合ボードを《》内の略称を用いて表記する。（例：マルダーク層とポリプロピレンの複合ボード＝M+PP）

ボード製造の際の溶融温度は170℃、圧縮圧力は42kgf/cm²とした。試験体種類を表1に示す。

表1 試験体種類

原材料総重量:225(g)	
試験体名	混合比
PP	0
M+PP	0.2
	0.4
	0.5
	0.6
	0.65
F+PP	0.2
	0.4
	0.5
	0.6
	0.65
	0.7

5.1.2 曲げ強度性能試験

(1) 試験方法

ボードから200×25(mm)の試験片を採取し、インストロン型万能試験機を用いて中央集中3点曲げ試験を行った。この際、スパン長150(mm)、荷重速度10(mm/min)とした。

(2) 結果及び考察

まず、各ボードの密度を図1に示す。混合比0（PPのみ）のボードの密度が0.89(g/cm³)であるのに対し、混合比が大きくなるほど密度が上昇し、最大のものが1.12(g/cm³)を示した。また、混合比0.7のF+PPは混合比0.65のものより密度が低下し、ばらつきが大きくなっているが、これは、混合比0.7ではボードの端まで熱可塑性樹脂が行き渡らないため

であると考えられる。木の一般的な比重は約 0.5 (スギ 0.38) であるのに対し、コントロール(PP)の密度は $0.89(\text{g}/\text{cm}^3)$ であり、混合比の増加に伴って密度が増加することは説明がつきにくい。プレス工程において木質系材料が圧密化されること、熔融工程において木質系原料の空隙部分に熱可塑性樹脂が充填されることに起因していると考えられる。

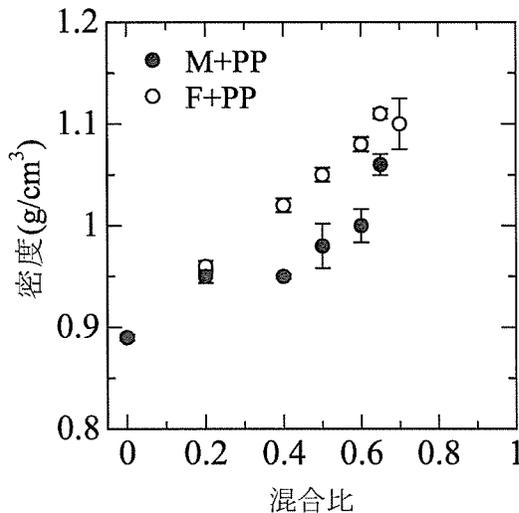


図1 混合比と密度の関係

試験から得られた曲げヤング率(MOE)を図2に示した。MOEは混合比の増加に伴い大きくなる傾向にあり、最大で3(GPa)を超える値となった。この値はPB、MDF等の木質系ボードに比べて小さい傾向にあり、プラスチックのもつ靱性の影響が大きいと考えられる。

曲げ強さ(MOR)を図3に示した。ポリプロピレンのみからなるコントロールのボードのMORは47~48(MPa)であった。コントロールに比べて、木質系材料を加えた複合ボードではMOR値のばらつきが大きくなり、混合比の増加に伴ってMORは減少する傾向にあった。混合比0.7のF+PPではMORの低下率が著しく、この手法の木質・プラスチック複合材料の限界に近いと考えられる。また、木質系材料にスギパウダー(F)を用いたものが、いずれの混合比においてもモルダ層(M)を用いたものより高い値を示しており、木質系材料の形状がボードの曲げ強度性能に影響を及ぼし、粒子の小さな木質系材料を用いることで曲げ強さの低下を抑える可能性が示唆された。混合比の増加に伴い、MORは減少する傾向にあるが、混合比0.5のF+PPにおいてJIS A 5908で規定されたパーティクルボードの曲げ強さを上回る値となった。

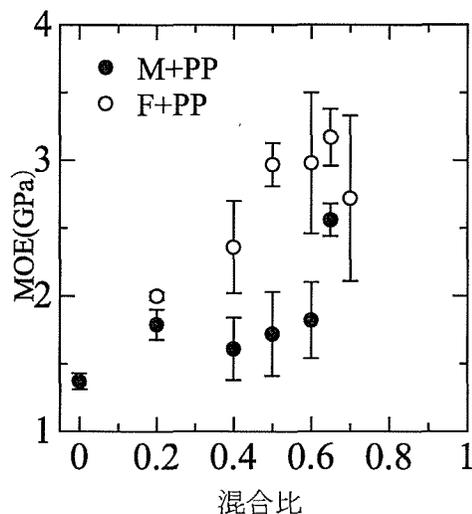


図2 木質系原料の混合比と MOE

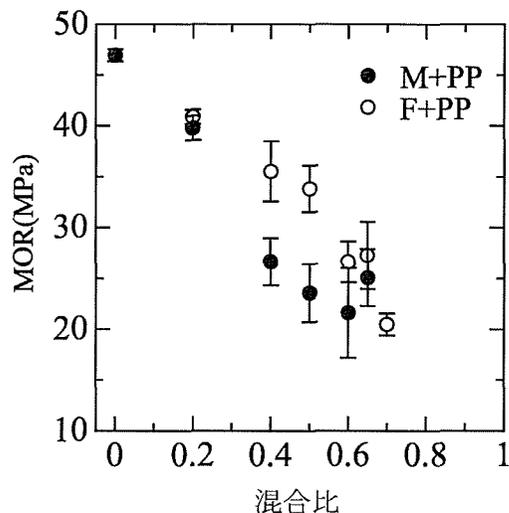


図3 木質系原料の混合比と MOR

5.1.3 吸水試験

(1) 試験方法

前項と同様、表1のボードから50×50(mm)の試験片を採取し、室内で23℃の水に24時間浸した(水面下3cm)。

(2) 結果及び考察

試験結果から算出した厚さ膨潤率(TS)を図4に示した。M+PP、F+PPのいずれも混合比の増加に伴ってTSは大きくなる傾向がみられるが、M+PPは混合比0.2、F+PPは混合比0.4まではほとんど変化がないことが分かる。また、M+PPは混合比0.4で約5.5(%)を示し、混合比0.4～混合比0.6での変化が小さいため、この複合材料はこれ以上の吸水がないことがうかがえる。最も値の大きな混合比0.6のM+PPで7(%)以下であり、高い耐水性能が示されている。また、各混合比において比較するとモルダ層(M)を用いた複合ボードよりスギパウダー(F)を用いたものが小さい値を示した。

重量変化率(WA)を図5に示した。TSと同様、いずれの複合材料においても混合比の増加に伴って大きくなる傾向がみられるが、F+PPは混合比0.6以下の変化が非常に小さかった。最も大きい混合比0.7のF+PPで15(%)程度であり、WAからも高い耐水性能が示されたといえる。また、TSと同様、各混合比でモルダ層(M)を用いたボードよりスギパウダー(F)を用いたものが小さい値を示した。

線膨張率(LE)を図6に示した。線膨張率はいずれのボードでも1(%)以下であり、非常に変化が小さいが、混合比0.7のF+PPでは値が大きくなっている。混合比0.7のF+PPはボードの端まで熱可塑性樹脂が行き渡っておらず、吸水試験片の一部は水に浮いた。この結

果から、混合比 0.7 では、ボード内の密度が不均一であることが分かった。

また、コントロール(PP)のボードの吸水による変化はほとんどなかった。

ボード内部の木質系材料は、周りをすべてプラスチックに覆われているため、吸水することはなく、吸水による変化はボードの表面に露出している一部の木質系材料によって起こる。そのため、粒子の小さな木質系材料を用いて表面がより熱可塑性樹脂で覆われたボードを製造することで耐水性が向上することが示唆された。

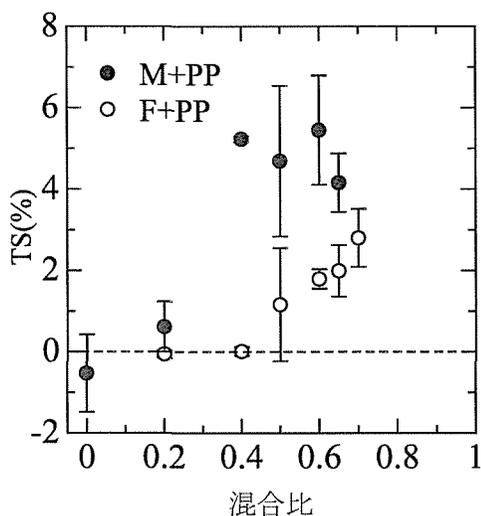


図4 木質系原料の混合比と厚さ膨潤率(TS)

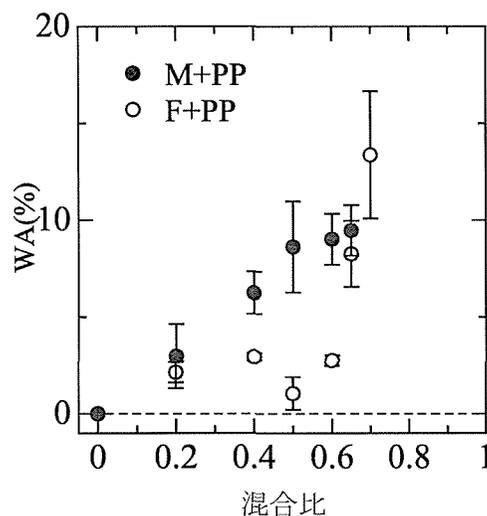


図5 木質系原料の混合比と重量変化率(WA)

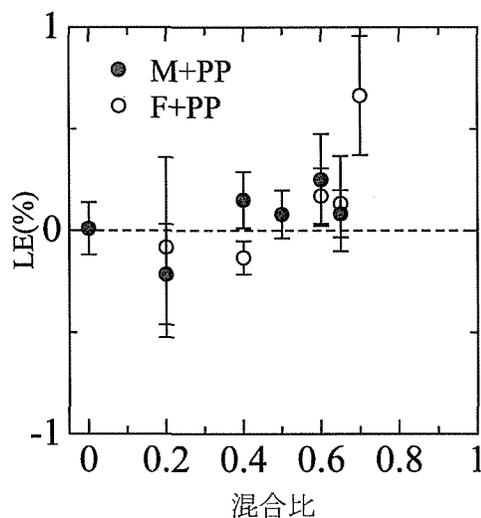


図6 木質系原料の混合比と線膨張率(LE)

5.1.4 熱膨張率の測定

(1) 試験方法

前項において吸水試験を行ったが、熱可塑性樹脂のみのコントロールは線膨張率(LE)、厚さ膨潤率(TS)で負の値を示す傾向にあった。その原因として、吸水中に水温が 5(°C)程度低下したことが考えられる。本項では木質・プラスチック複合材料が温度によって寸法にどの程度の変動が生じるのかを検証する熱膨張率測定を行った。

前項の吸水試験で用いたものと同様、表 1 の割合で原材料を混合して製造したボードから 12.5×100(mm)の試験片を採取した。室温 (23°C) での長さを測定した後、試験片を 12 時間冷凍庫(-5°C)にいれ、長さを測定した。これらの値から、温度 1(°C)当たりの熱膨張の割合 (熱膨張率) を次式で算出した。

$$\alpha = \Delta l / (L \cdot \Delta T)$$

α : 熱膨張率

L : 室温における試験片の長さ(mm)

Δl : -5°C~23°Cにおける長さの変化(mm)

ΔT : 温度差(28°C)

(2) 結果及び考察

各ボードの熱膨張率を図 7 に示した。コントロール(PP)の熱膨張率は 0.0017 程度であったが、M+PP、F+PP のいずれも混合比が増加するに従って熱膨張率が減少する傾向にあった。最小値は小さな混合比 0.7 の F+PP で 0.0003 程度であり、コントロールの 1/5 以下となった。このことから、熱可塑性樹脂に木質系材料を混合することで、温度による寸法変化が抑えられることが示唆された。木質系材料の熱による寸法変化は非常に小さいため、混合比が上がると、熱可塑性樹脂の熱膨張を抑える効果があると考えられる。

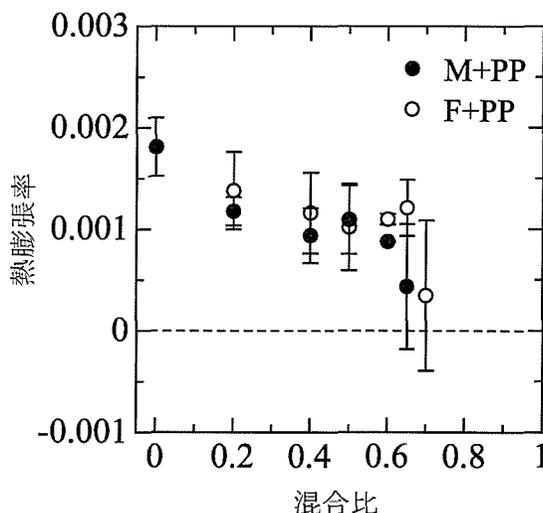


図 7 木質系原料の混合比と熱膨張率

5.1.5 均一性の評価

熱可塑性樹脂と木質系材料が均一に混合しているか、ボード内の材質が均一であることを調べることを目的とし、ボード内の密度の分布を測定した。

(1) 試験方法

ボードの種類はポリプロピレン、ポリエチレンにスギパウダーを原料総重量の50%加えたボード(F+PP、F+PE)、ポリエチレンにスプールのモルダ層を50%加えたボード(M+PE)の3種類とした。

図8のようにボードから3×3(cm)の試験片を切り出し、それぞれの密度を測定した。長さの測定にはノギス、厚さの測定にはマイクロメーターを用いた。

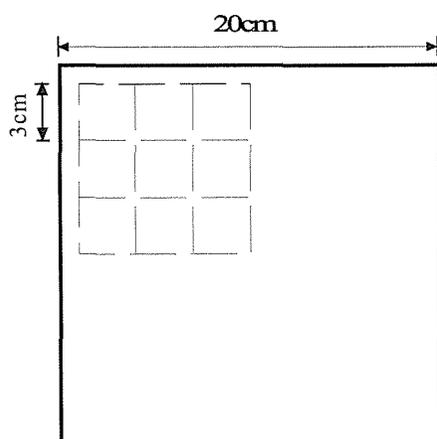


図8 試験片の取り方

(2) 結果及び考察

3種類のボードの平均密度と最大値、最小値、標準偏差を表2に示す。

ボードの密度はF+PEが最も大きく、続いてF+PP、M+PEの順になった。PEのみのボードの密度が $0.95(\text{g}/\text{cm}^3)$ 、PPのみのボードが $0.90(\text{g}/\text{cm}^3)$ であった。このことから、スギ粉を用いることでボードの密度が大きくなることが示唆された。

3種類ともボード内の密度に $0.05(\text{g}/\text{cm}^3)$ 程度の差がみられた。各ボードで比較すると、標準偏差の値が小さいものから、F+PE、M+PE、F+PPとなっており、ポリエチレンを用いたボードの方がポリプロピレンを用いたボードより均一に木質系材料が混合していることが示唆された。

また、木質系材料には粒子の小さなスギ粉を用いた方が均一なボードが製造できることが示唆された。

図9～図11にボード内(1/4)の密度の分布を示した。図の右下がボード中央となる。

ボード中央部ほど密度が大きくなると予想していたが、結果からはそういった傾向は見られなかった。ボード内で極端に他の部分より密度が小さくなっている所がみられるが、

これは木質系材料が偏って混合した部分だと考えられる。

図9～図11を比較すると、F+PEのばらつきが小さいことがうかがえる。

以上から、粒子の小さな木質系材料を用いると、密度の増加率が大きくなり、ボード内のばらつきが小さくなること、熱可塑性樹脂はポリプロピレンを用いたボードより、ポリエチレンを用いたボードの方が密度のばらつきが小さいことが分かった。

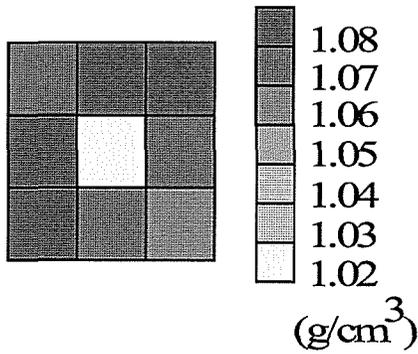


図9 F+PP

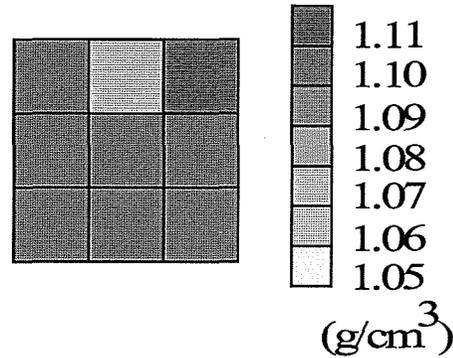


図10 F+PE

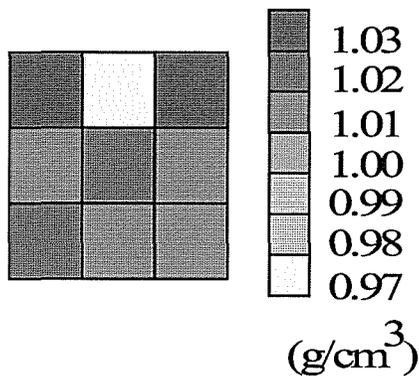


図11 M+PE

表2 各ボードの密度

	密度 (g/cm^3)			標準偏差
	平均	最大	最小	
F+PP	1.07	1.08	1.02	0.017
F+PE	1.10	1.11	1.06	0.013
M+PE	1.01	1.03	0.97	0.016

5.2 用いる熱可塑性樹脂の種類と異樹脂混合の影響

プラスチック廃棄物には様々な樹脂が混合しており、分別が難しいものが多い。混合溶解プレス成形法を用いることで、複数種類の熱可塑性樹脂の混合ボードが製造可能であるが、これに木質系材料を加えたボードを製造し、プラスチック廃棄物利用の可能性を検討した。今回の実験では廃棄物を想定して、ペレット状のピュアなPPとPE、PETボトル粉砕物を混合して用いた。

5.2.1 試験体

表3の割合で熱可塑性樹脂を混合したボードを比較のためのコントロールとして製造し、さらにパウダー状のスギ粉(F)を原料総重量の50%加えたボードを複合材料として製造した。これらのボードから試験片を採取して曲げ試験、吸水試験、吸水試験に供した。

表3 試験体種類

原料総重量:200g
パターン1

	コントロール		複合材料		
	PP(%)	PE(%)	F(%)	PP(%)	PE(%)
A	100	0	50	50	0
B	75	25	50	37.5	12.5
C	50	50	50	25	25
D	25	75	50	12.5	37.5
E	0	100	50	0	50

パターン2

	コントロール			複合材料			
	PP(%)	PE(%)	PET(%)	F(%)	PP(%)	PE(%)	PET(%)
α	80	0	20	50	40	0	10
β	40	40	20	50	20	20	10
γ	0	80	20	50	0	40	10

5.2.2 曲げ強度性能試験

試験片の密度を図12、試験結果から算出した曲げヤング率(MOE)と曲げ強さ(MOR)を図13、図14に示した。

まず、パターン1について考察する。コントロールのボードにおいて、PPが最も密度が小さく、PEの割合が増加するにしたがって密度が増加した。スギを混合したボードにおいても同様の傾向が見られ、この複合材料の密度は熱可塑性樹脂のボードよりも一様に約0.15(g/cm³)大きくなっていることが分かる。

曲げ強さ(MOR)は、コントロールのボードにおいてPPが最も大きく、PP25%・PE75%が最も小さくなった。熱可塑性樹脂は異種のもものが混じり合っていると割れが生じやすく、この結果もその影響であると考えられる。スギパウダーを加えたボードはいずれにおいてもコントロールよりも減少しているが、熱可塑性樹脂にPE100%を用いたものでは低下率が小さい。このことから、木と相性がよい熱可塑性樹脂があると考えられる。曲げヤング率(MOE)はコントロールのボードにおいて、密度とは逆にPEが最も小さく、PPの割合が増加するにしたがって大きくなった。スギを混合したボードはコントロールのボードよりも曲げヤング率が1.2~1.6(GPa)大きくなっており、コントロールと同様、PPの混合割合が大きいほど大きい傾向にあった。

次に、パターン2について考察する。密度は、コントロールのボードにおいて、パターン1と同様にPEの混合割合が大きくなるほど増加したが、PETが混合している分だけ密度の値は大きくなった。スギを混合した場合、PE80%、PET20%(γ)を用いたボードではコントロールに対する密度の増加が小さいが、このことはPETの熔融温度がPP、PEに

比べて高く、PE80%、PET20% (γ) のボードは最も原料のゲル化に時間がかかったため、スギ粉が焦げたことが原因であると考えられる。

曲げ強さ(MOR)は、コントロールにおいて、PP40%、PE40%、PET20% (β) と混合したものが最も値が小さい。これも、パターン1と同様、異種のプラスチック混合による割れが原因であると考えられる。また、PP75%、PE25%(B)にスギ混合したボードでの曲げ強さの低下にも、スギの焦げが影響している可能性がある。

曲げヤング率(MOE)は、コントロール、スギ混合ボードのいずれにおいても、PPの混合割合が大きいほど増加する傾向にあり、コントロールに対してスギ混合ボードのMOEは一様に増加することが分かった。

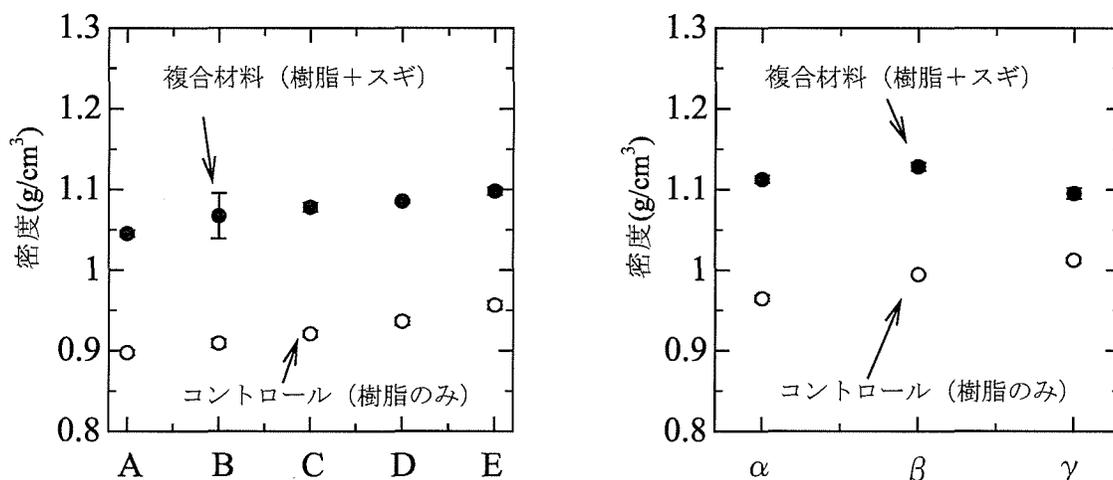


図 12 熱可塑性樹脂の種類と密度

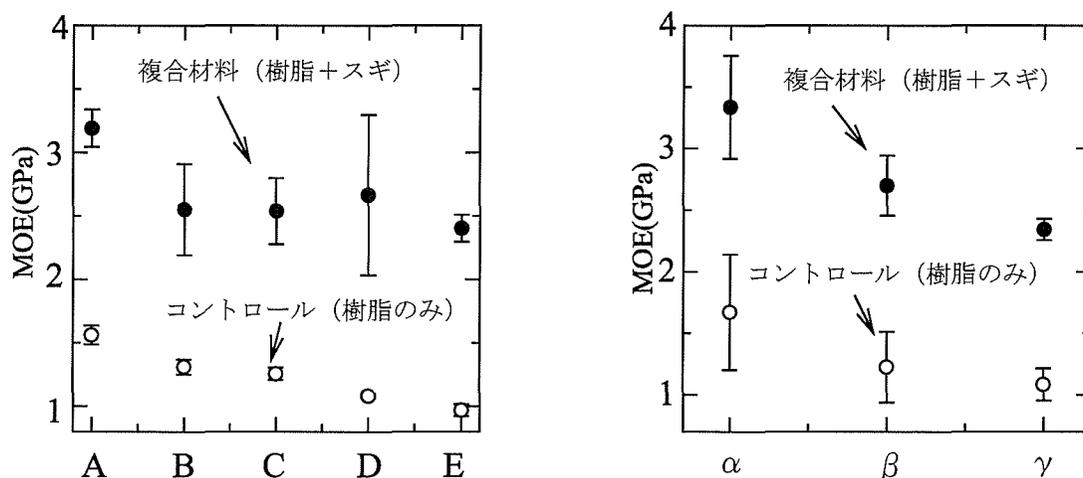


図 13 熱可塑性樹脂の種類と MOE

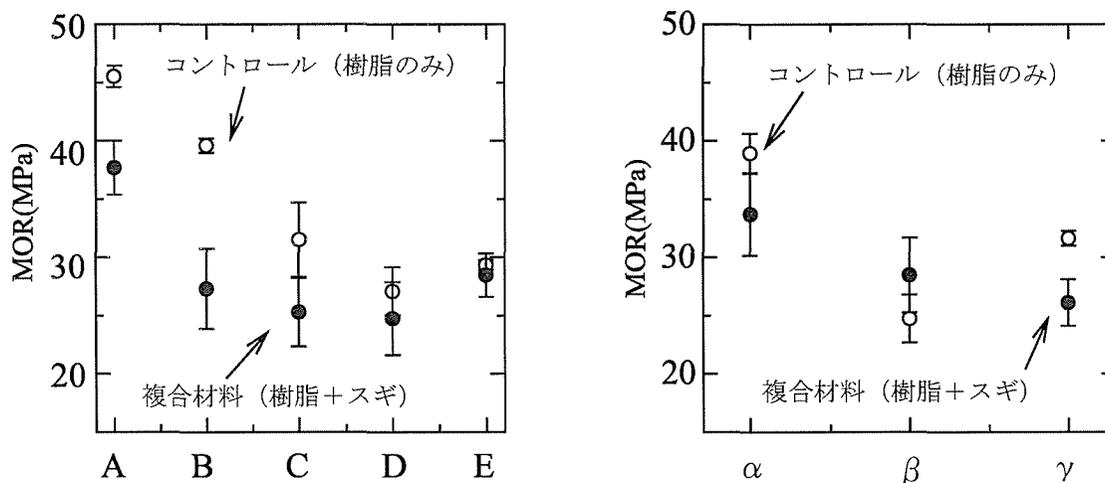


図 14 熱可塑性樹脂の種類と MOR

5.3 製造条件（溶融温度、圧縮条件）の検討

木質・プラスチック複合ボードの物性は、製造の際の溶融温度、圧縮圧などの製造条件によりどの程度影響をうけるのか検証することを目的とした。

5.3.1 試験体

表 4 のように製造条件を設定し、気乾状態のモルダー屑(M)とポリプロピレン(PP)を 1:1 の割合で混合溶融したボードを製造した。ボードから試験片を採取し、曲げ試験に供した。

表 4 試験体の製造条件

複合材料			
ボードNo.	溶融温度(°C)	圧縮圧(kgf/cm ²)	圧縮時間(sec)
1	170	30	120
2	180	30	120
3	190	30	120
4	180	10	120
5	180	60	120
6	180	30	5
7	180	30	60
コントロール			
ボードNo.	溶融温度(°C)	圧縮圧(kgf/cm ²)	圧縮時間(sec)
8	170	30	120
9	180	60	120

5.3.2 密度の測定

製造したコントロール（ボード No.8, 9）の密度は共に 0.89(g/cm³)であり、ポリプロピレンのみのボードの密度は、溶融温度、圧縮条件に関わらず一定であることが示唆された。

次に複合材料の密度を各製造条件ごとに図 15～図 17 に示した。図 15 より、溶融温度が高い程、密度が大きくなることが示唆された。これは、溶融温度が高い程、熱可塑性樹脂

の流動性がよくなるために、何らかの形でモルダー層の空隙部分に熱可塑性樹脂が充填され、ボード内でモルダー層の見かけの比重が真比重（スプルース：1.44）に近づくためだと考えられる。また、熔融温度の違いに伴って、熔融時間も約 1sec の差がある。図 3 の圧縮時間 5sec のボードはプレス機による圧縮をほとんど行っていない状態であるが、このボードの密度は $0.98(\text{g}/\text{cm}^3)$ であり、熱可塑性樹脂のみのボードよりも大きい。このことから、熔融過程においてポリプロピレンがモルダー層の空隙部分に充填されている可能性が示唆された。

図 16、図 17 において、圧縮圧、圧縮時間の値がそれぞれ大きくなるほど、密度も大きくなっている。このことから、圧縮によりモルダー層の空隙がつぶされることも密度の上昇につながっていることが示唆された。

また、モルダー層が熔融過程で絶乾状態になると仮定し（モルダー層の含水率 15%）、ボード密度からモルダー層の比重を逆算すると、1.11~1.26 となり、非常に大きな値となる。

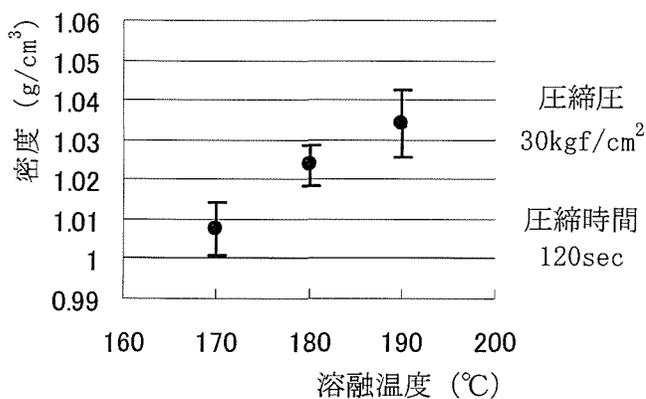


図 15 熔融温度と密度

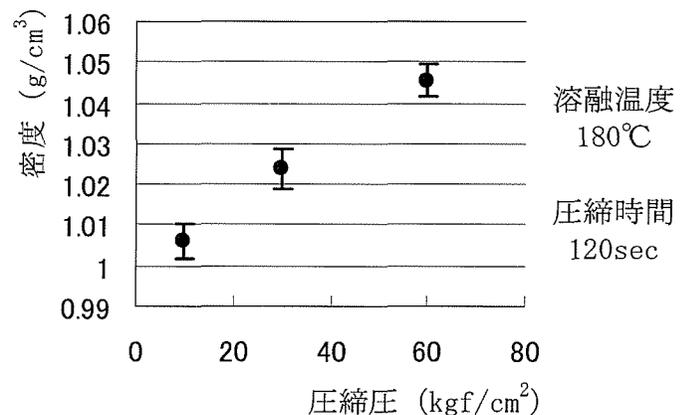


図 16 圧縮圧と密度

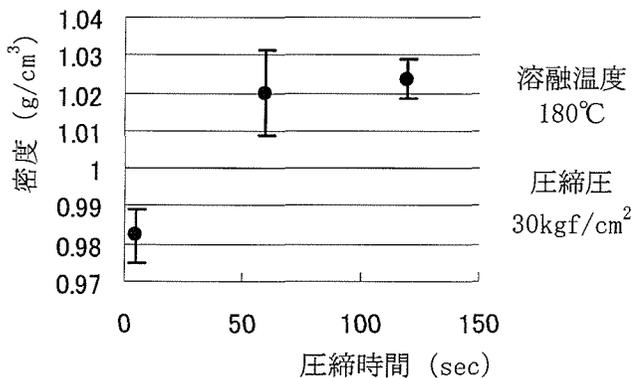


図 17 圧縮時間と密度

5.3.3 曲げ強度性能試験

(1) 試験方法

製造条件によるボード強度の違いを検討するために曲げ試験を行った。今回製造したボード (No. 6, 7 は表面の凹凸が大きいため除外) から 250×50 (mm) の試験片を切り出し、スパン長 200 (mm)、クロスヘッドスピード 10 (mm/min) で中央集中荷重 3 点曲げ試験を行った。

(2) 結果及び考察

各ボードの製造条件と曲げ試験結果 (曲げヤング率、曲げ強さ) の関係を図 18～図 21 に示した。

コントロールのボードの試験結果を以下に示す。

No. 8 MOE 1.9 (GPa)

MOR 50 (MPa)

No. 9 MOE 1.9 (GPa)

MOR 52 (MPa)

コントロールのボードにおいては製造条件の違いによって曲げ強度性能に大きな差は見られなかった。一般に、プラスチックを高温で溶融すると強度が落ちるといわれているが 170～190℃の差では大きな差がないことが分かった。

複合材料の MOE はいずれも、コントロールに対して約 1.5 倍の値を示したが、MOR は約 0.8 倍の値となった。また、図 18、図 19 より、溶融温度の上昇に伴い、曲げ強度性能が向上する傾向が見られた。これは、溶融温度が高いほど原料が均一に混合したためだと考えられ、圧縮条件が同一ならば密度が大きくなるほど各曲げ物性値が大きくなる傾向を示した。

圧縮圧が大きくなるほど曲げ強度性能も向上すると予想していたが、今回の実験ではそういった傾向は見られなかった (図 20, 21)。

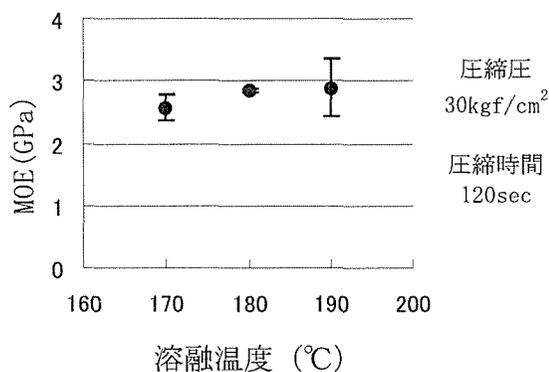


図 18 溶融温度と MOE

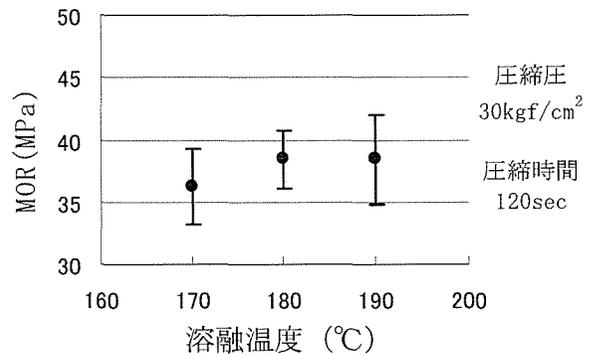


図 19 溶融時間と MOR

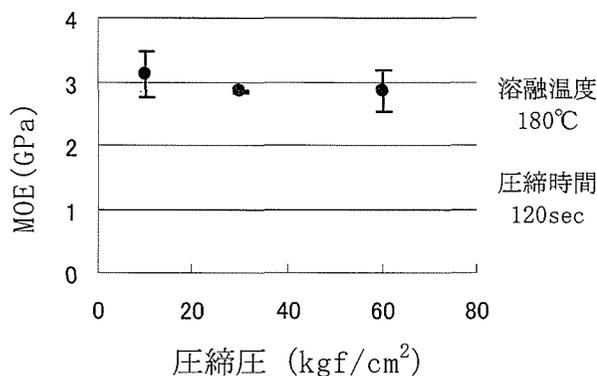


図 20 圧縮圧と MOE

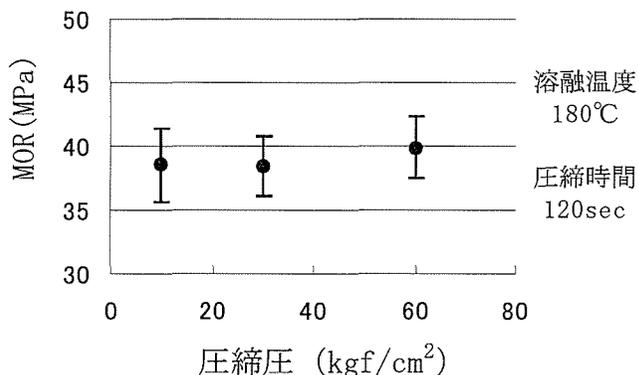


図 21 圧縮圧と MOR

5.4 木質系原料の含水量の影響

混合溶融プレス成形法を用いて木質・プラスチック複合ボードを製造する際、木質原料に含まれる水分量によってボード性能がどう変化するか調べる実験を行った。

5.4.1 試験体

原材料としてスプルースのモルダー屑（1cm 角以下に篩い分けしたもの）とポリプロピレン（MI-13、ペレット状のもの）を用い、複合ボードの原材料は両者を全乾重量で 250g ずつ 1:1 に混合したものとした。

あらかじめ混合溶融機の溶融温度（ゲルが排出される際のチャンバー内温度）を 180°C に設定した。

混合溶融機には、原材料から発生する水蒸気を機械内に閉じこめておく為のバックファイヤー防止シャッターがあるが、原材料の溶融はこのシャッターが閉の状態（A）と開にして機械内で発生した水蒸気を排出する状態（B）の二つのパターンで行った。その後、排出されたゲルを金型にいれ、圧縮圧 19 (kgf/cm²)で 300×300×5(mm) のボードにプレス成形した。モルダー屑の含水率を 0~100%の間で任意に設定し、それに相当する水分を全乾状態のモルダー屑に噴霧した。その後、前の製造条件に従ってボードを製造した。

5.4.2 曲げ強度性能試験

ボードから 250×50(mm)の試験片を採取し、スパン長 200(mm)、クロスヘッドスピード 10(mm/min)で中央集中 3 点曲げ試験を行った。

図 22 に含水率と溶融時間の関係を示した。含水率が高い程、水分の蒸発にかかる時間が長い為、原材料を溶融するのに時間を要することが示唆された(図 23)。また、溶融時間においてパターン A と B に有意な差は見られなかった。

次に、含水率とボード密度の関係を図 24 に示した。いずれのボードの密度も 1.0~1.1(g/cm³)を示し、含水率の増加に伴い微増する傾向にあった。溶融時間が長い程、モルダー屑が機械内で細分化されることから、プレス工程での圧密化が喚起され密度が増大したものと考えられる。

密度と MOE、MOR の関係を図 25、26 に示した。いずれのボードも MOE は 2~4(GPa)、MOR は 25~45(MPa)を示し、密度と MOE、MOR は比例関係にあることが示唆された。また、各ボードの密度の差は最大 $0.06(\text{g}/\text{cm}^3)$ であるのに対し、MOE は $1.5(\text{GPa})$ 、MOR は $15(\text{MPa})$ の差を生じたことから、密度の微小な差が曲げ強度性能に大きな差を生むことが示唆された。

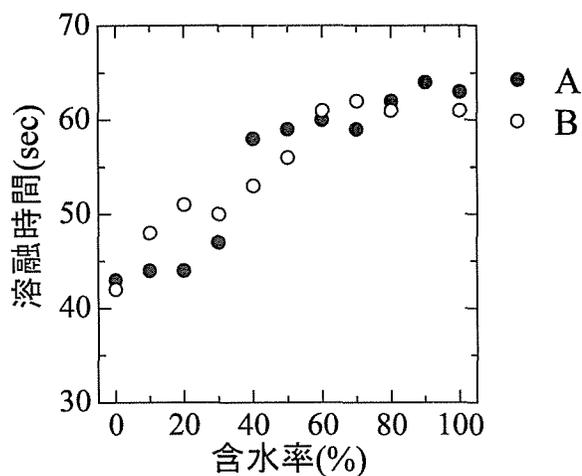


図 22 含水率と溶融時間

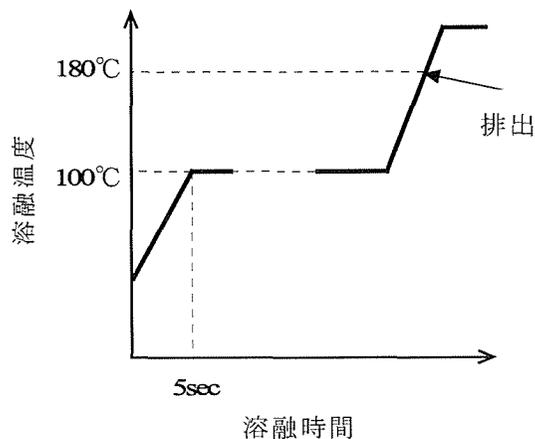


図 23 温度上昇の模式図

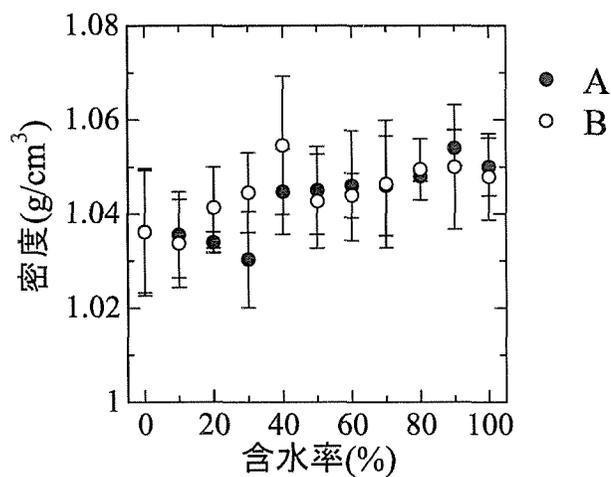


図 24 含水率と密度

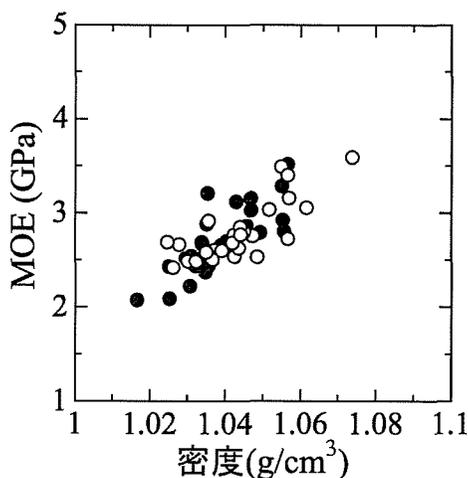


図 25 密度と MOE

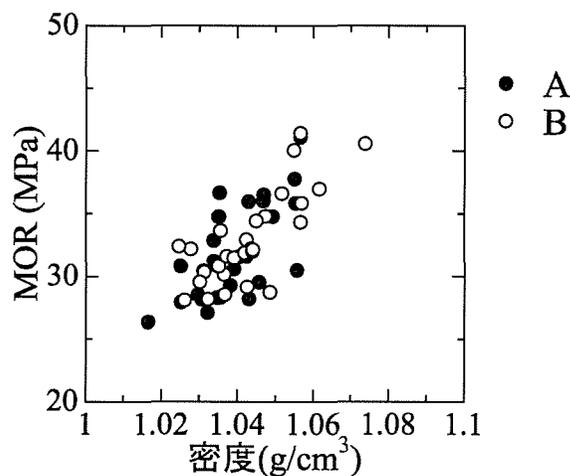


図 26 密度と MOR

5.5 木質系原料の粒度の影響

混合熔融法は熱可塑性樹脂とともに木質系材料も高速回転羽根により攪拌するため、混合熔融中に木質系原料の粒度が細くなることが予想される。本項では、混合熔融による木質系原料の細分化の度合を調べ、実際に複合ボード中に含まれる木の粒径を予測した。

(1) 試験方法

モルダ層の含水率を 50% に調整した後、モルダ層のみを混合熔融機に投入して攪拌した。排出されたモルダ層の粒度を網ふるいで測定 (JIS Z 8801) し、攪拌時間との関係を調べた。その後、モルダ層を 9.5~4.5mm のものと 4.75mm 以下のものに分けてボードを製造し、曲げ試験に供した。さらに、曲げ試験の試験体製造にかかった熔融時間の長さだけモルダ層を攪拌し、ボード内の実際の木の粒径を予測した。

(2) 結果及び考察

図 27 に攪拌時間とモルダ層の粒度の質量百分率を示した。混合熔融機に投入する前のモルダ層は 9.5~4.75mm のものが約 50% であったのに対し、攪拌後は細分されて 65~70% が 0.355mm 以下となった。また、攪拌時間が長いほどモルダ層が細分され、攪拌時間 50sec では 20sec のものと比べて 0.50mm 以下の粒が 4.2% 増える結果となった。

前項の図 22 の含水率 0% のものと 100% のものとは熔融時間に約 20sec の差があるが、モルダ層の粒度にも 0.50mm 以下の範囲で差があると推測される。

表 5 にモルダ層の大きさと曲げ強度性能を示した。また、図 28 に熔融時間に相当する時間、モルダ層を攪拌した結果を示した。結果から、細かいモルダ層を用いた方が高い曲げ強度性能を示すことが分かった。

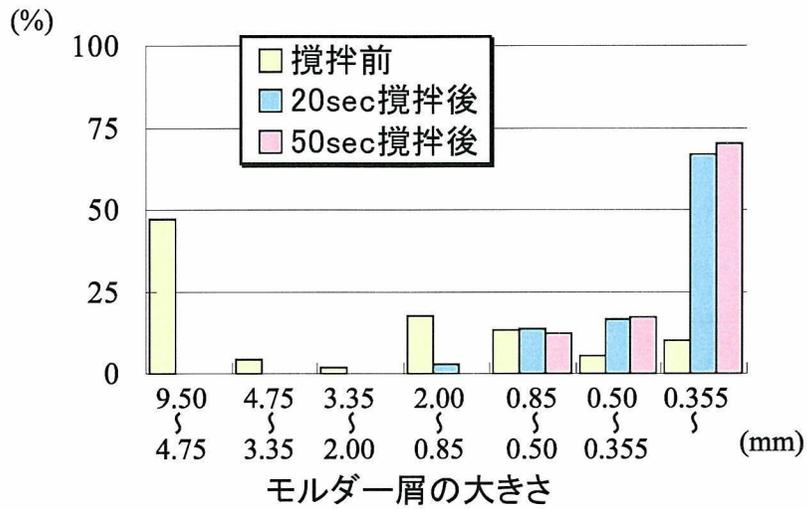


図 27 混合溶融機による攪拌時間とモルダ一屑の粒度

表 5 投入時の木質系原料の大きさと曲げ強度性能

モルダ一屑の大きさ	密度(g/cm ³)	MOE(GPa)	MOR(MPa)	溶融時間(sec)
9.5~4.75mm	1.031	2.5	32	52
4.75mm以下	1.047	3.2	37	49

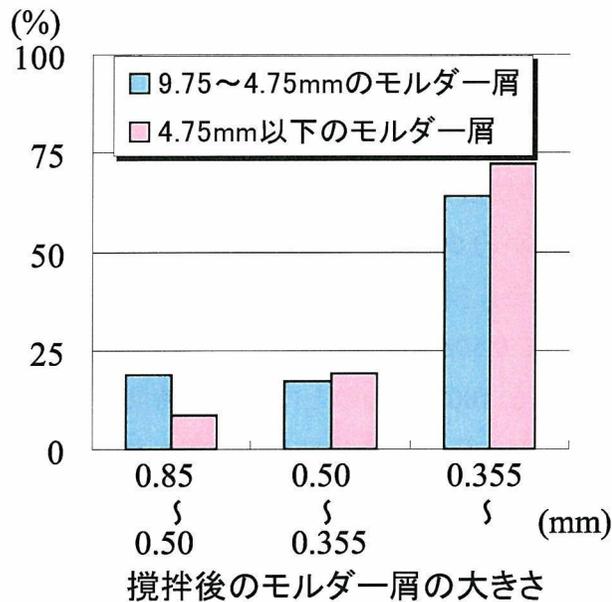


図 28 ボード中における木の大きさの予測

5.6 住宅建材としての実用性の検討

前項までの試験で混合溶融プレス成型による木質・プラスチック複合材料の特性、製造条件について検討した。本項では、実際に住宅建材として利用する事を考え、釘・木ねじによる接合、めりこみに対する性能について検証した。

5.6.1 ボードの釘打ちによる割裂

混合溶融プレス成型法で製造した木質・プラスチック複合ボードは高密度で硬い為、切削がしにくく、釘打ちによる接合が困難であるといった欠点が挙げられる。本項ではボードを釘打ちし、釘打ちによる割裂の度合を調べる試験を行った。

(1) 試験方法

表6の試験体について試験を行った。図29の釘打ちの位置(a)を5~15mmで変化させ、GN40釘で釘打ちした際にボードが割裂する端距離を調べた。各パターン4回ずつ行った。

表6 試験体種類と密度、厚さ

	密度(g/cm ³)	ボード厚さ(mm)
PE	0.99	4.8
M+PE	1.11	4.2
F+PE	1.17	4.4
PP	0.98	5.2
M+PP	1.04	4.3

PE:ポリエチレン(MI-13)
 PP:ポリプロピレン(MI-13)
 M:スプルースモルダー屑
 F:パウダー状のスギ粉

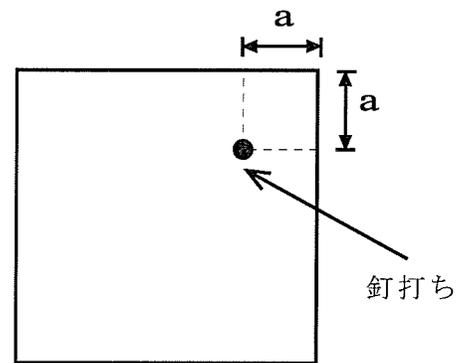


図29 釘打ち位置

(2) 結果及び考察

4回の試験で何体が割裂したかを表7に示した。端距離が15mmの場合に割裂した試験体はなかったが、5mmとした場合に木質混合ボードの多くが割裂した。プラスチックのみのボードは全く割裂しなかったが、釘が曲がって打てないものがみられ、やはり釘打ちには不向きであるといえる。釘打ちの際の負荷が小さい木質混合ボードは逆に、割裂する試験体数が多かった。また、均一に木質系原料が混合しているF+PPの方が、M+PPよりも割裂した試験体数が多かった。

表7 割裂した試験体数

	a		
	5mm	10mm	15mm
PE	0	0	0
M+PE	1	0	0
F+PE	4	1	0
PP	0	0	0
M+PP	3	0	0

5.6.2 釘引抜き抵抗試験（ボード）

試験体は前項と同様、表5の種類を用いた。また、比較の為にスギ板(s)についても試験を行った。

(1) 試験方法

各ボードから60×60mmの試験片を3個採取し、試験片中央をCN50釘で釘打ちした(図30)。ボードを万能試験機の治具に固定して、鉛直方向に釘を引き抜いた際の最大荷重(Pmax)を測定した。引抜き速度は2.5mm/minとした。

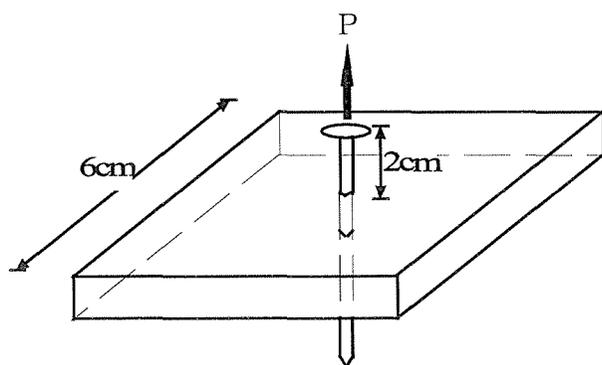


図30 釘引抜き抵抗試験

(2) 結果及び考察

プラスチックのみのボードは釘打ちの際の負荷が非常に大きく、釘打ちには不向きだった。木質原料を混合したボードは比較的釘打ちが容易であったが、釘打ちした際に割裂を生じるボードがあった。

各試験片の厚さと密度、最大荷重(Pmax)、最大荷重を厚さで除した値(Tw)を表8に示した。

釘引抜き抵抗力は、プラスチックのみのボードが大きな値を示した。これは、釘打ちした際の摩擦でプラスチックが熔融し、釘にまとわりついたために抵抗が大きくなったと考えられる。木質原料を混合したボードの釘引抜き抵抗力は、プラスチックのみのボードと比べて小さいが、スギ板とほぼ同等の値を示した(図31)。今回試験を行った混合熔融ボードでは、釘打ちの際の負荷が小さいものほど、釘引抜き抵抗力が小さい傾向がみられた。

M+PE と F+PE を比較すると、F+PEの方が釘打ちの負荷が小さかったが、釘引抜き抵抗力も小さい値を示した。このことから、木質系原料が熱可塑性樹脂に均等に混合しているボードほど、釘を打ちやすいが抜けやすいことが示唆された。

表8 ボードの釘引抜き抵抗試験結果

	密度(g/cm ³)	厚さ(mm)	Pmax(N)	Tw(N/mm)
PE	0.99	4.8	80.9	16.7
M+PE	1.11	4.2	54.6	12.9
F+PE	1.17	4.4	35.5	8.1
PP	0.98	5.2	101.3	19.4
M+PP	1.04	4.3	41.4	9.7
S(スギ板)	0.53	11.3	121.7	10.8

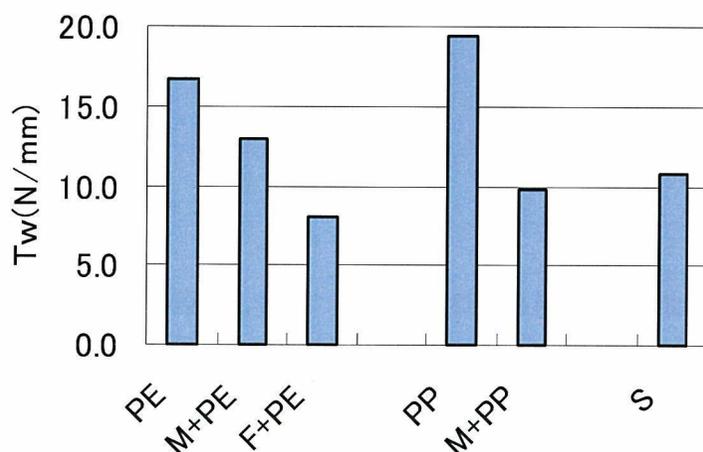


図31 各ボードの釘引抜き抵抗力

5.6.3 住宅土台としての利用を考えた角柱試験体

木質系原料としてスプルー屑（集成材工場の廃棄物）とポリエチレンを用い、木質原料の割合を原材料総重量の 60, 50, 40% の 3 種類に設定した。原材料を混合熔融機に投入し 150~160℃ でゲル化させた。ゲルを金型に入れて冷却圧縮し、50×50×300 の角柱状に成形した（圧縮圧 200kgf/cm²、圧縮時間 10min）。

また、次項からの試験では比較の為に同サイズのベイツガを用意した。

5.6.4 部分圧縮試験

(1) 試験方法

製造した試験体一種類につき各 3 体、部分圧縮試験を行った。試験方法の概略を図 32 に示す。ベイツガについては、荷重方向を年輪に対して半径方向および接線方向とし、木表から荷重を加えた。

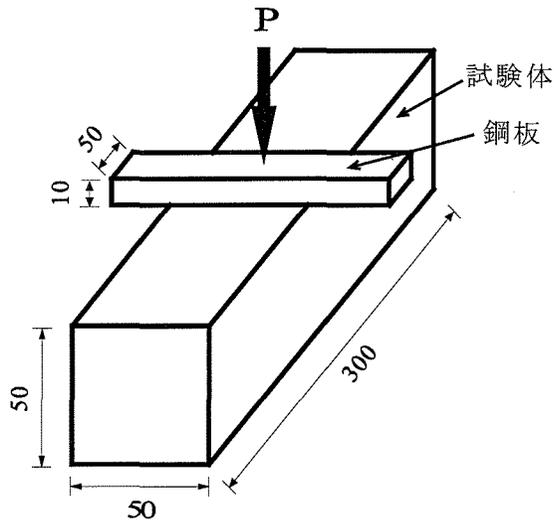


図 32 部分圧縮試験体

(2) 結果及び考察

試験から得られた荷重変位曲線の一例を図 33 に示す。また、荷重変位曲線から各物性値を算出した結果を表 9 に示す。

部分圧縮比例限度 (σ_p) = P_p/A

辺長 5%部分圧縮強さ (σ_s) = P_s/A

P_p : 比例限度荷重

P_s : 縮みが辺長の 5%変形時の荷重

A : 断面積

ボードの曲げ試験で得られた曲げヤング率は木材より小さい傾向を示したが、ベイツガと比較して圧縮に対する初期剛性が 4~5 倍程度大きくなった (表 9)。

複合材料の最大荷重は木材の割合が多くなるに従って低下する傾向にあるが、ベイツガと比較して 2.5~4 倍の大きな値を示した。

部分圧縮比例限度についても複合材料はベイツガに対して 4~5 倍の値を示したが、塑性域に達した後に急に荷重が低下する傾向にあった。ベイツガの接線方向以外は辺長の 5% 変位時に比例限度を超えた。複合材料は木材と比較して初期剛性、最大荷重、比例限度が大きい結果となったが、靱性に乏しかった。住宅の土台としては非常に剛であると思われる。

表 9 部分圧縮試験結果

試験体		比重(g/cm ³)	初期剛性(kN/mm)	最大荷重(kN)	σ_p (MPa)	σ_s (MPa)
複合材料	木60%	1.03	52	78	17.5	28.6
	木50%	1.03	68	87	24.2	29.0
	木40%	1.00	48	102	24.2	26.1
ベイツガ	半径方向	0.63	13	29	4.2	5.7
	接線方向	0.62	10	29	5.2	4.9

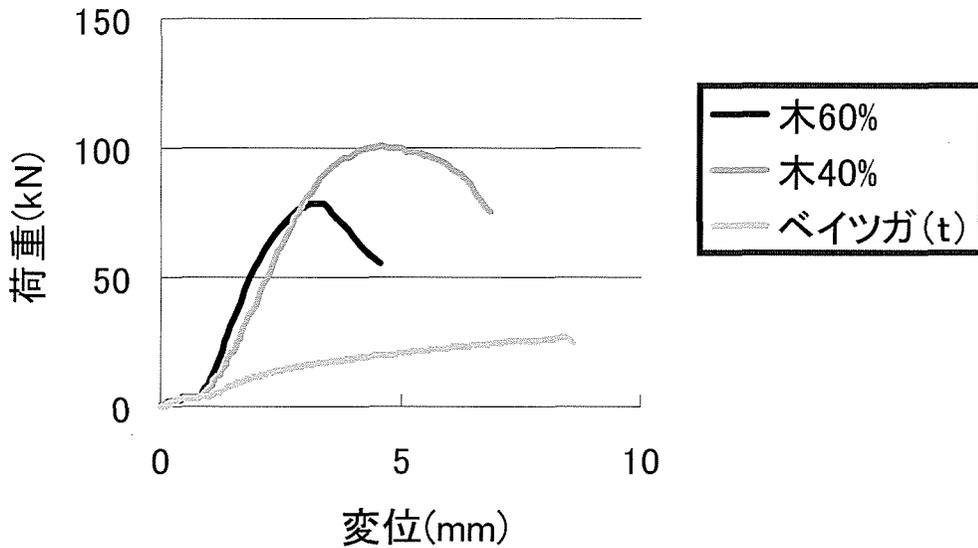


図 33 部分圧縮試験荷重変位曲線例

5.6.5 釘引抜き抵抗試験（角柱試験体）

(1) 試験方法

製造した角柱状の複合材料(50×50×300mm)を2個の試験体(50×50×150mm)に裁断して用いた。試験体の種類は木の割合が60%、50%、40%の複合材料とベイツガ（比較対照用）とした。釘には市販のCN50を用いた。試験体の中央部にCN50を35mm打ち込み、インストロン型万能試験機で釘を引き抜いた（図34参照）。このとき引抜き速度を2.5mm/minとした。

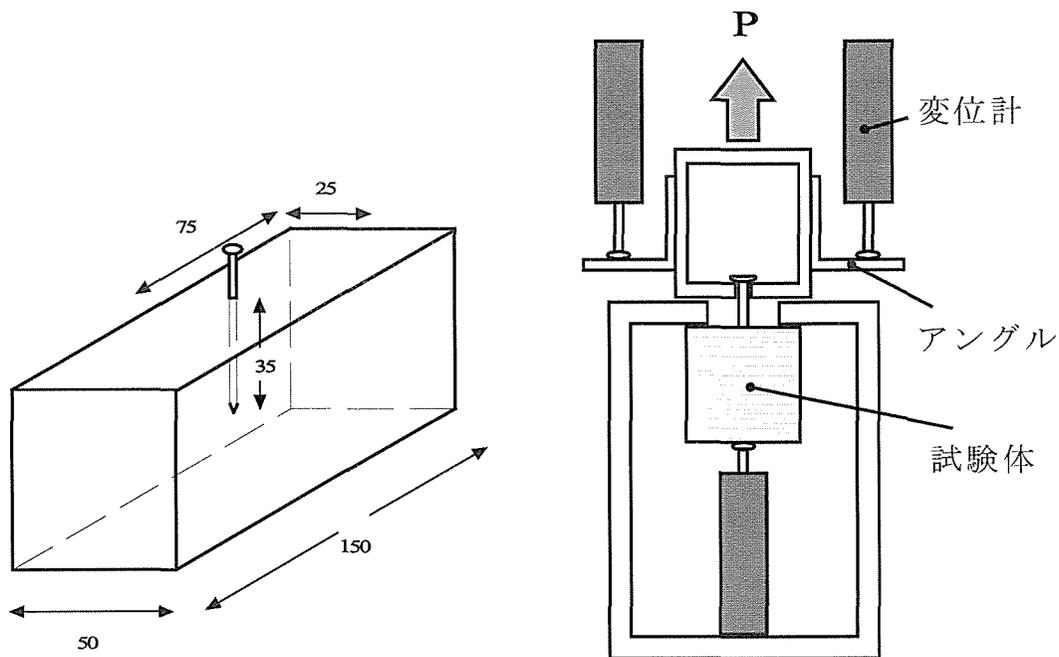


図 34 釘引抜き抵抗試験の試験体と試験方法概略

(2) 結果及び考察

試験体の比重および、最大荷重(P_{max})、短期許容引抜き耐力($P_w = P_{max} \times 3/4 \times 1/2$)を表 10 に示した。また、試験から得られた荷重変位曲線の例を図 35 に示した。

複合材料の短期許容引抜き耐力はベイツガの約 30%という小さな値を示した。複合材料は木材そのものと異なり、まとまった繊維がなくなっていることや、プラスチックの釘引抜きに対する抵抗力が小さいことが原因だと考えられる。また、試験では釘の打ち込みの際に先穴を設けなかったが、複合材料はプラスチックの比率が高いほど、釘打ちに労力を要した。先穴を設けることで釘打ちの労力は軽減されるが、引抜き抵抗力がさらに小さくなることが予想される。

表 10 角柱の釘引抜き抵抗試験結果

試験体	比重(g/cm^3)	$P_{max}(N)$	$P_w(N)$
複合材料			
木60%	1.04	416	156
木50%	1.02	446	167
木40%	0.99	396	148
ベイツガ	0.62	1483	556

P_{max} : 最大荷重
 P_w : 短期許容引抜き耐力

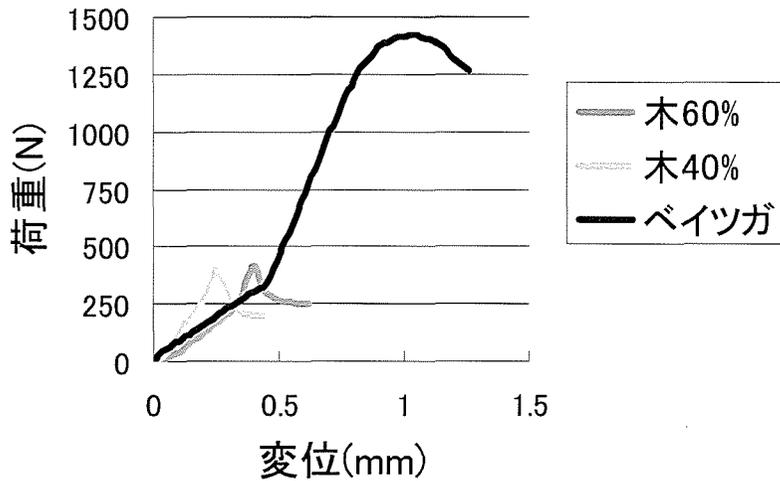


図 35 釘引抜き抵抗試験荷重変位曲線例

5.6.6 木ねじ引抜き抵抗試験

(1) 試験方法

釘引抜き抵抗試験と同様の試験体を製造し、4.5(呼び径)×32(長さ)mm の木ねじを同様の箇所からねじ込んだ。ねじ込み長さは 15mm とした。この際、先穴なしのねじ込みが困難であった為、2.8mm の先穴を 10mm の深さまであけた。試験体を釘引抜きと同様の試験機で試験した。引抜きの際の荷重速度は 2.5mm/min とした。

(2) 結果及び考察

試験から得られた木ねじ引抜き抵抗力を表 11、荷重変位曲線の例を図 36 に示した。

木ねじ引抜き抵抗力は各複合材料ともにベイツガと比べて 1.5~2 倍の大きな値を示した。また、プラスチックの比率が高くなるほど大きな値を示したが、木の比率が 60% の試験体においても十分に優秀な結果となった。

表 11 木ねじ引抜き抵抗試験結果

試験体	比重(g/cm ³)	Tw(N/mm)
複合材料	木60%	129
	木50%	148
	木40%	148
ベイツガ	0.62	86

Tw: 木ねじ引抜き抵抗力(Tw=最大荷重/ねじ込み長さ)

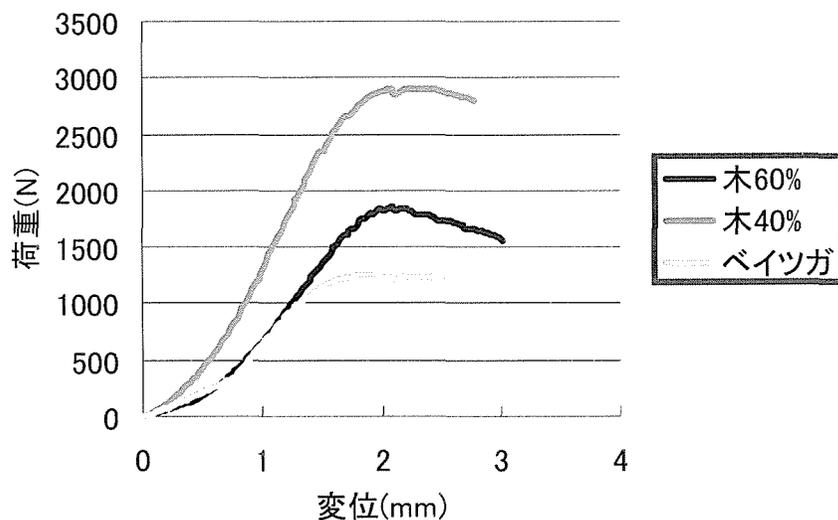


図 36 木ねじ引抜き抵抗試験荷重変位曲線例

5.6.7 一面せん断試験

住宅土台として利用する際、面材が張り付けられることを想定し、合板と釘を用いた一面せん断試験を行った。

(1) 試験方法

主材を $50 \times 50 \times 300\text{mm}$ の複合材料とし、側材に 9mm 厚針葉樹合板を用いた。釘には CN50 釘を用い、試験体 1 体につき計 4 本打ち込んだ。試験体の概略を図 37 に示す。また、比較のために主材をベイツガとした試験体についても試験を行った。各試験体 3 体ずつ行い、荷重速度は $1.5\text{mm}/\text{min}$ とした。

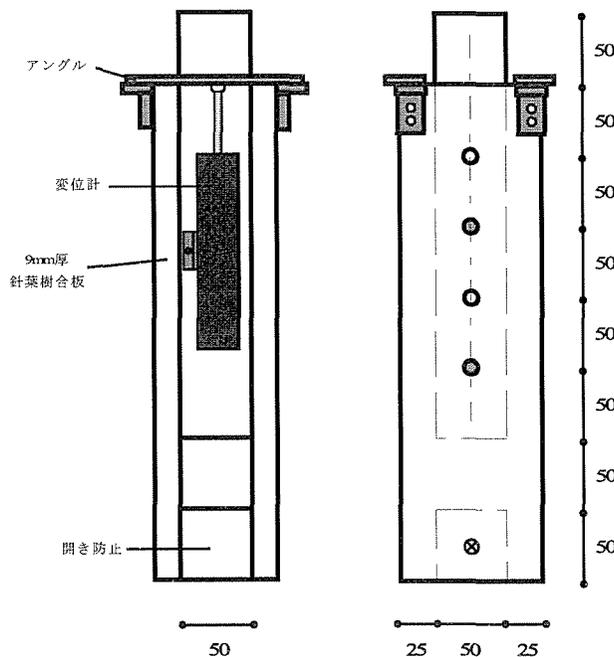


図 37 一面せん断試験体概略

(2) 結果及び考察

試験から得られた荷重変位曲線の例を図 38 に示す。また、荷重変位曲線から算出した各物性値を表 12 に示す。

複合材料の最大荷重は木の割合が大きくなるに従って大きな値を示したが、ベイツガの 2/3 程度の値となった。試験許容耐力、短期許容せん断耐力についても同様の傾向を示したが、複合材料は δy が非常に小さく、剛性はベイツガよりも大きな値となった。

先のめりこみ試験においても複合材料の剛性の値がベイツガに対して非常に大きかった。このことから、複合材料に対する釘のめりこみ量は小さいが、引抜き抵抗力が弱い為に最大荷重が小さくなったと考えられる。

また、破壊形態は木 60%の複合材料の内 2 体が主材からの釘の引抜けによるもので、他の試験体は合板からのパンチングアウトによるものであった。

表 12 一面せん断試験結果

試験体	比重(g/cm ³)	Pmax(kN)	Py(kN)	δy (mm)
複合材料 木60%	1.02	3.67 (0.92)	2.10 (0.54)	0.41
木50%	1.00	3.56 (0.89)	2.04 (0.51)	0.27
木40%	0.99	3.14 (0.78)	1.73 (0.43)	0.36
ベイツガ	0.63	5.62 (1.40)	2.72 (0.68)	1.01

試験体	K(kN/mm)	P _{1.00} (kgf)	_s P(kgf)
複合材料 木60%	5.32	2.82 (0.71)	1.37 (0.34)
木50%	7.73	3.09 (0.77)	1.33 (0.33)
木40%	5.20	2.63 (0.66)	1.18 (0.29)
ベイツガ	3.27	3.08 (0.77)	2.11 (0.53)

Pmax: 最大荷重

Py: 試験許容耐力

δy : 試験許容耐力に対する変位

K: 剛性

P_{1.00}: 相対変位1mm時の荷重

_sP: 短期許容せん断耐力 (_sP=Pmax × 3/4 × 1/2 か _sP=P_{1.00} × 3/4の小さい方)

()内は釘1本当たりを示す

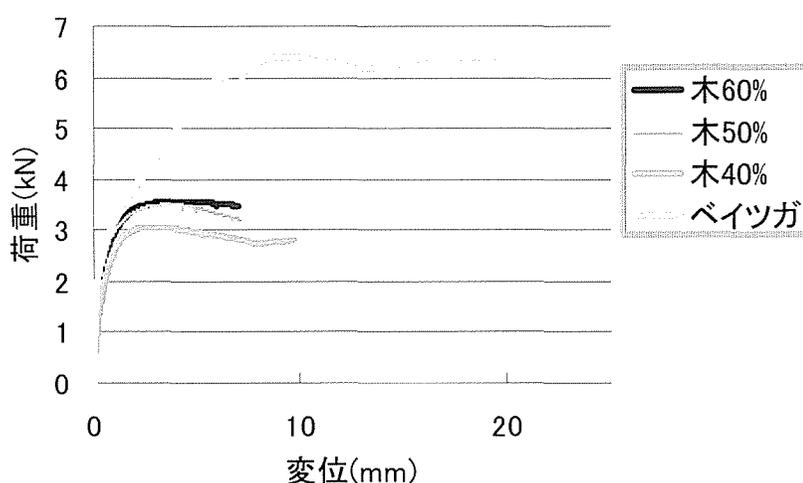


図 38 一面せん断試験荷重変位曲線例

6. 実用化の見通し

木材率60%でプラスチックとの混合溶融を行うことで、工業的に安定した生産が可能であることが明らかになった。従来のボード類とは異なり、成型することで最終製品に3次元の形状を与えられることが分かり、新しい木材製品製造の可能性が高まったといえよう。得られる新材料の性質は、木材とプラスチックの特徴を併せ持つものであり、長所はプラスチックが透明のPPやPEであれば木材の色や質感を損なわず、耐水性の高い材料となる点であろう。また、再生プラスチックとの混合の観点では、曲げヤング率を増大させることが可能であり、木材の活用法の一つであることが明らかになっている。また木材と比較すると、圧縮性能においては新材料は極めて高い性能を示した。一方、欠点としては、従来木材や木質材料に用いられてきた釘に対して、打ち込みにくい欠点があり、木ねじに対しては良好であるものの、3次元の成型が可能なることから新しい接合方法も実用化に当たっては視野に入れるべきとの結論を得た。

以上のことから、新木質材料としての性質を生かした最終製品に対する製造技術が確認され、実用化に向けた具体的な用途開発を行う必要があると考えている。

7. 今後の対応

木材工業において副次的に大量排出される木屑に対して付加価値を高め、工業的に再利用を図る一つの手法、技術であることが確認されたので、今後は建築・土木資材としての用途開発を積極的に行うことを予定している。さらに技術的な課題としては、木材率をさらに高める手法、あるいは金型成型ではなく押し出し成型を利用した木質新素材の開発を遂行する予定である。

8. 特筆すべき成果

製材の鋸屑やプレーナー屑であれば、きわめて良好な原料としてそのまま利用でき、ほかの方法でなされているような、木材をすりつぶしてパウダー状にする工程が不要である点が特筆される。また、耐水性の高い新木質材料としての基本的性質を有している。

また、建築解体材や端材等についてもチップ化することで混合熔融法が適用でき、木材資源のリサイクルについて有効な手段と考えている。

9. 試験調査委員会 委員

委員長 安藤 直人 東京大学大学院 助教授
委員 小林武千代 株式会社コーハン 技術担当相談役
加登 忠晴 サンモア株式会社 常務取締役
瀧口 二郎 株式会社コーハン 技術主任

10. 技術者

主任技術者 小林武千代 株式会社コーハン 技術担当相談役
技術者 瀧口 二郎 株式会社コーハン 技術主任

11. 他からの指導又は協力事項

なし

12. 参考文献

- 1) 大阪市立工業研究所, プラスチック技術協会他: プラスチック読本
- 2) 岡本忠: 木質/プラスチック複合材料の開発研究の動向 (第16回木質ボード・木質複合材料シンポジウム〔I〕)、木材工業 55(7)、296(2000)
- 3) 藤井智之, 秦特夫: 木材とポリプロピレン複合材料の微細構造、森林総合研究所研究報告 Vol.1-No.1(No.382)(2002)

13. 参考資料

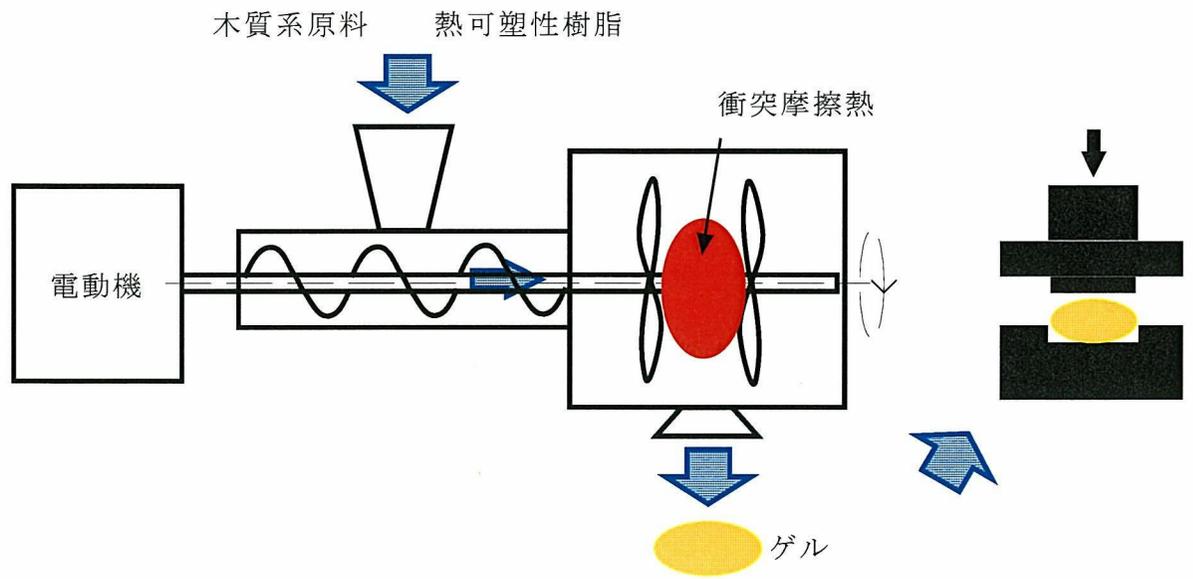


図 39 Kミキシング機の模式図



写真 4 柱状試験体用の金型上面



写真5 柱状試験体製造過程



写真6 部分圧縮試験

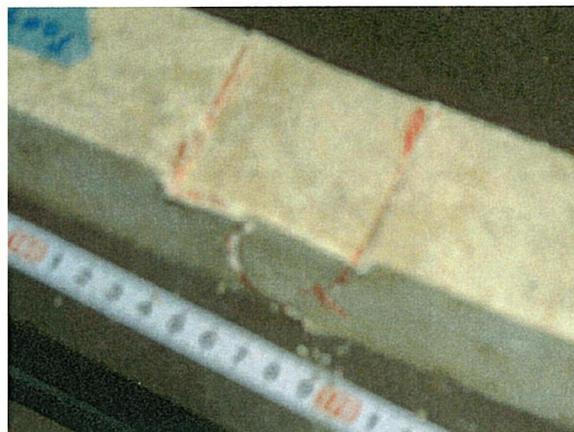
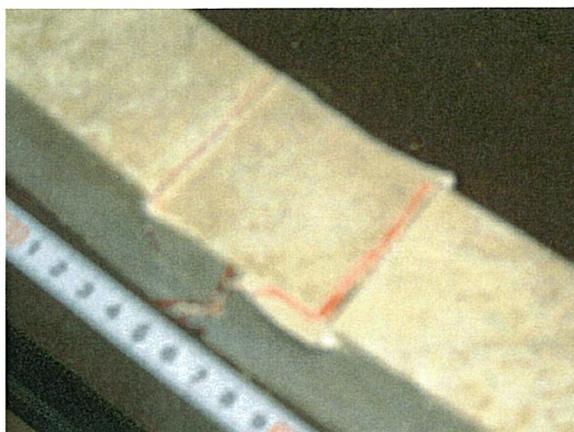


写真 7, 8 部分圧縮試験破壊性状 (左: 木 40% 複合材料 右: 木 60% 複合材料)

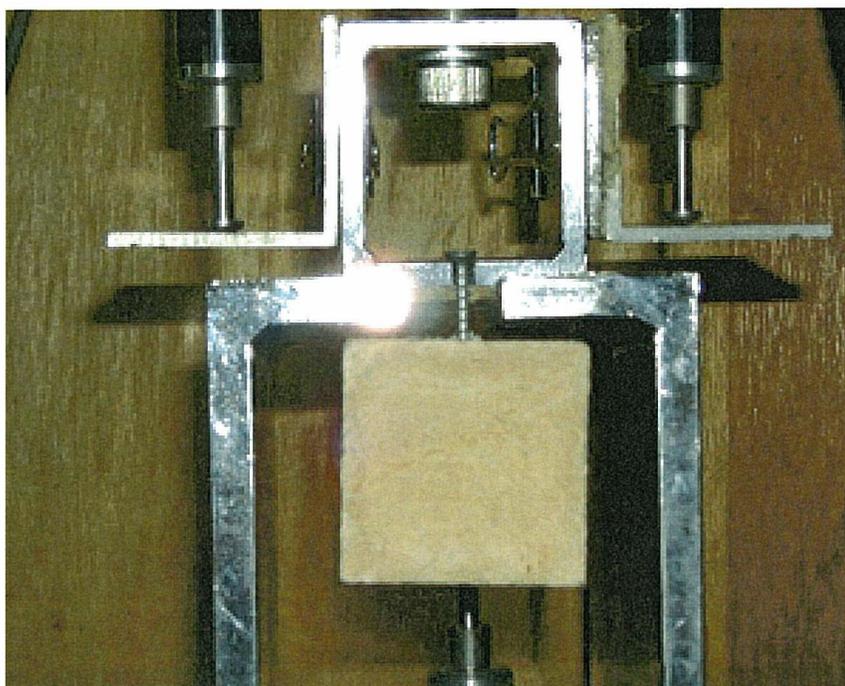


写真 9 木ねじ引抜き抵抗試験

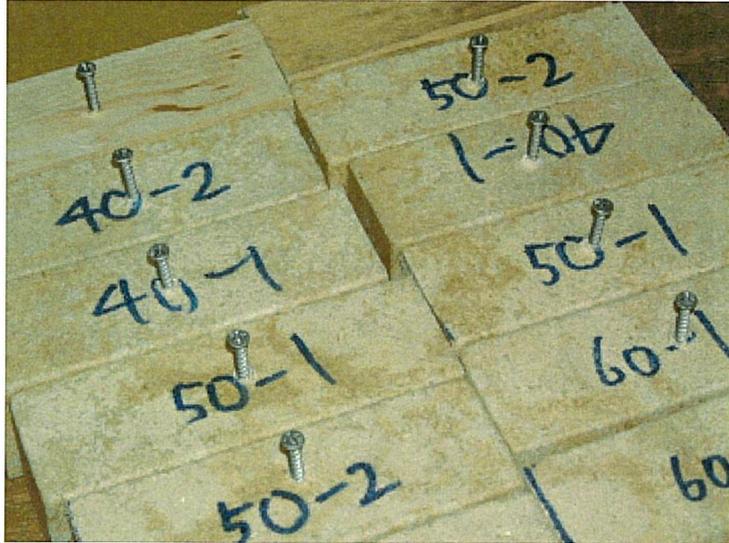


写真 10 木ねじ引抜き抵抗試験試験体例



写真 11 一面せん断試験

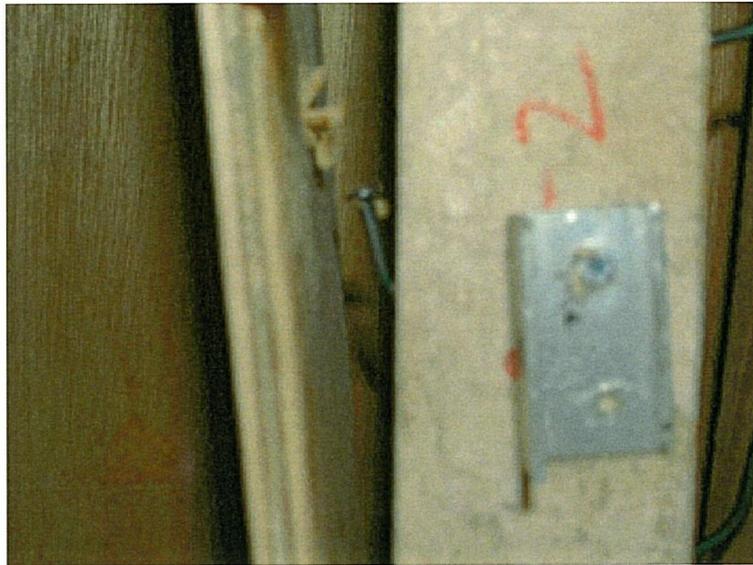


図 12 一面せん断試験破壊性状
(合板のパンチングアウト、試験体：木 50%の複合材料)



写真 13 木 60%複合材料の一面せん断試験における釘の引抜け

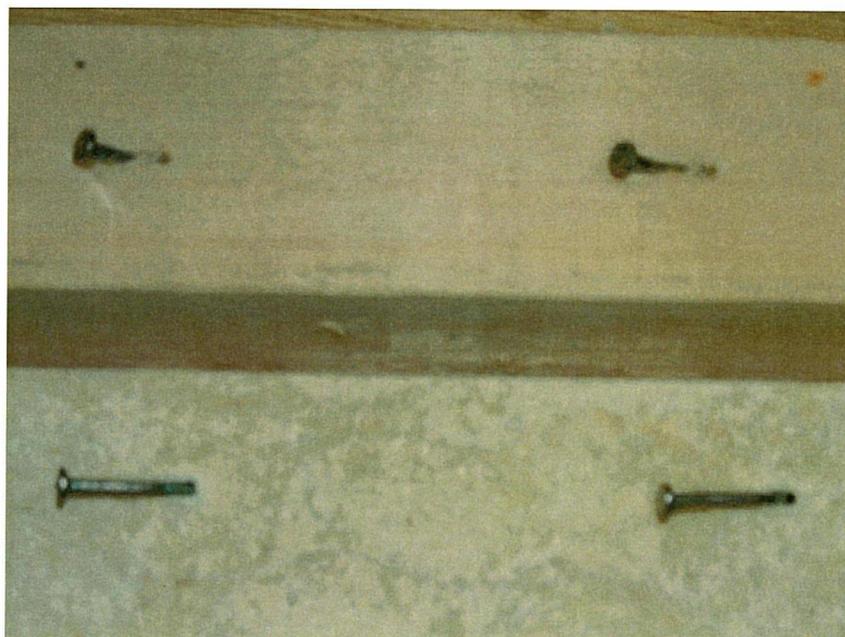


写真 14 一面せん断試験による釘の引抜け量
(写真上：ベイツガ 下：木 50%複合材料)

1329 接着剤を使用しない食品用深底木質トレイの実用化

課題番号：1329

接着剤を使用しない食品用深底木質トレイの実用化

株式会社 合電

要 旨

木材を原材料とし、接着剤を使用せずに深底の食品用トレイを製造する技術の実用化に関する試験研究を行った。これは深絞りによる単板の割れを防ぐために単板を直交させて重ね合わせ、その単板を熱圧により接合しトレイを成形しようとする技術である。トレイの成形に先立ち、2枚の単板を熱圧により接合可能であることを確認し、その適正条件について明らかにした。また、トレイの試作を通して、トレイ成形のための適正製造条件を得るとともに、実用化における問題点の把握とその改善策について検討を行った。また、食品用容器としての保存性について検討した結果、他のトレイと同等以上の性能であることを確認した。なお、スギ葉抽出成分から得た防かび剤の抗菌性は確認したが、木質トレイへの応用については、希釈に用いた油脂分により木材の調湿性が損なわれるため、効果が認められなかった。

キーワード

スギ、間伐材、深底、トレイ、接着剤不使用、熱圧、重ね合わせ、編み込み、スギ葉抽出成分、防かび剤

目 次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	2
3. 試験調査の内容	2
4. 試験調査の日程	3
5. 試験調査の結果	4
5.1 各種トレイの実態調査	4
5.2 熱圧による単板接合	6
5.3 金型による成型プレス	19
5.4 スギ葉抽出成分による抗菌処理	37
5.5 変形・変質等試験	41
6. 実用化の見通し	46
7. 今後の対応	46
8. 特筆すべき成果	47
9. 試験調査委員会	47
10. 技術者	47
11. 他からの指導又は協力事項	47
12. 参考文献	48
13. 参考資料	48

接着剤を使用しない食品用深底木質トレイの実用化

株式会社 合電

1. はじめに

現在、食品用トレイの大部分は石油資源に由来するものであり、使用後に燃やしたり、腐らせたりすることができず、廃棄処理が非常に困難である。また、樹脂系の食品用トレイの回収、再資源化のシステムは未だ構築されておらず、将来、重要な環境問題へと発展するものと予測される。市場に出回っている食品用のトレイの数は相当数に上るため、これらに代わり合成樹脂を用いない木質トレイの使用が促進されることは、地球温暖化防止をはじめとして環境問題改善に大きく貢献できるものと思われる。

当社では、平成 15 年度よりハタケシメジの生産及び販売を新規事業として開始する計画を立てており、商品であるハタケシメジを入れる容器として木質トレイを検討してきた。

近年、消費者の環境問題に対する意識の高揚と、天然物志向の高まりから、材料として木材を用いた、いわゆる木質トレイの開発が盛んに行われるようになってきている。しかしながら、これまで開発されている木質トレイの多くは、合板のように単板を奇数枚直交させ接着剤を用いて成形したものであり、接着剤の使用による食品への影響や焼却による排ガスの問題などが危惧されている。また、接着剤を使用せずに単板を熱圧することにより塑性加工し成型するものもあるが、深絞りでは底部曲面における割裂などの破損が避けられず、深底トレイの製造は非常に困難であるため、トレイの深さは 3cm 程度に限られており、嵩のある食品を入れられるような形状のものがない。

このような状況の中、当社では、接着剤を用いずに深底木質トレイを製造する技術を新しく開発し、その可能性を確認している。この技術は、底部と側部 4 枚のスライス単板の端部を編み込み、欠き込み、あるいは重ね合わせたものを、熱圧して箱状に成型するものである。原料として比較的柔らかい材質のスギ単板を使用することで部材相互のめり込みにより接合を実現するものであり、極めて新規性の高いものである。

しかしながら、その深底トレイの強度特性や、製造条件の確立、製造工程の効率化などについての検討が不十分であり、実用化に向けて、これらについての検討が急務である。また、食品用の容器であることから、天然系の抗菌剤による処理が必要不可欠であることから、これまでの研究で明らかにされているスギ葉抽出成分の抗菌作用を実証する必要がある。

そこで、本課題では、当社で開発した接着剤を用いずに深底木質トレイを製造する技術を発展させ、ハタケシメジなどの嵩のあるものを入れるために要求される深さ 60mm 以上の深底トレイを、接着剤を使用せずに量産できるよう実用化を図るための知見を得る。

この成果を基に、平成 15 年度より開始するハタケシメジの生産及び販売事業に合わせ、商品の容器として深底木質トレイを製造し、供給する計画である。

2. 試験調査の目的

当社が開発した編み込み、欠き込み、あるいは重ね合わせした単板をプレス加工により接着剤を用いずに深底木質トレイを製造する技術の実用化を検討する。すなわち、温度、圧力、時間などの熱圧条件と単板接合部の強度性能との関係を把握し、接着剤を使用せずに深底木質トレイを製造するための、適正圧縮条件について検討を行う。また、木質トレイの試作を通して、大量生産を実現し実用化する上での問題点などを明確にし、その対応策について検討する。

また、食品を入れる容器としての使用目的から、食品に対する安全性、食品を入れたときの保存性について検討する。さらに、スギ葉抽出成分から得られる抗菌剤の木質トレイへの塗布性、固着性など抗菌処理の可能性について検討するとともに、防菌・防かび性などの抗菌効果について検討する。とくに今回の試験調査では、キノコを中心とした食材を用いて、抗菌処理したものとしらないものの比較試験をすることにより、安全性の高い容器を製作するための基礎的試料を得ることを目的とする。

3. 試験調査の内容

3.1 各種トレイの実態調査

都市圏のデパートにおいて、キノコを中心とした野菜が、どのようなトレイを使用して販売されているのか、また、販売する陳列棚の寸法あるいはトレイの陳列方法などについて調査を行った。併せて、販売担当者を対象に、食品販売用のトレイの現状、問題点及び要望などについて聞き取り調査を行った。

調査の結果を基に、陳列し易く、トレイ間隔が大きくなならないようなトレイの適正形状、適正寸法を決定した。

市場調査は当社選任従業者を、東京、大阪、福岡の三大都市圏に派遣して行った。

3.2 熱圧による単板接合

熱圧による単板どうしの接合について、単板含水率、単板厚さ、熱圧温度、熱圧時間などが単板接合部の引張せん断強さや板厚方向引張強さなどの接合性能に及ぼす影響について検討した。また、間伐材などから得られる幅の狭い単板の利用を目的とし、単板の端部を編み込みあるいは欠き込みを設けることにより単板どうしを熱圧接合する場合の、接合条件及び接合性能について検討を行った。熱圧による単板接合試験及び単板接合部の強度試験は、宮崎県木材利用技術センターにて行った。

3.3 金型による成型プレス

トレイの実態調査の結果を踏まえ、また、木質トレイに入れるものとして予定しているハタケシメジの形状寸法などを考慮し、トレイの適正形状を決定した。それに基づき設計、作製した金型を用い、トレイの試作を行った。トレイの試作を通して、実用化する上での問題点などを把握し、その改善策について検討を行った。また、後述の変形・変質試験に供する木質トレイの製造を行った。深底木質トレイの試作試験は、宮崎県木材利用技術センターにて行った。

3.4 スギ葉抽出成分による抗菌処理

スギ材は、ダニ及びゴキブリに対して抵抗性があることが経験則として知られている。また、窒素、リン、カリウムの無機栄養素は、木材の部位において、葉に最も多く含まれることや、葉油が長期徐放性に優れていること、抽出成分の総量が幹の10倍以上含有されていることなどから、本試験研究においては、スギ葉の抽出成分を抗菌剤として利用することを考えた。

スギ葉抽出成分による抗菌剤の木製トレイへの塗布性、固着性など抗菌処理の可能性について検討するとともに、防菌・防かび性などの抗菌効果について検討した。スギ葉抽出成分から得られた抗菌剤の木質トレイへの塗布性、固着性、抗菌効果について試験した。スギ葉からの防かび剤の抽出、抗菌作用の検討は宮崎県木材利用技術センターにて行った。

3.5 変形・変質試験

食品用容器としての利用を目的としているため、実際に数種の食品をトレイに入れ、容器を密封した状態での外部温度及び湿度状態が食品に及ぼす影響を調査するとともに、食品から出てくる水分によるトレイの変形、破損の状況について調べた。食品に及ぼす影響については、キノコ類4種のものについて検討を行った。

さらに、コーティングの有無が多品種商品を入れたときのトレイの変形・変質に及ぼす影響について試験を実施した。

また、スギ葉抽出成分のコーティング処理試験も実施した。

4. 試験調査の日程

平成14年2月から平成14年7月まで

5. 試験調査の結果

5.1 各種トレイの実態調査

東京・大阪・福岡のデパートの地下売り場9ヶ所において調査した。東京及び大阪のデパートにおいては写真の撮影を拒否されたため、報告できる資料としては、福岡の2店舗のみの写真に限られる。調査の結果、いずれの都市においても、写真1及び2に示す博多Iデパートの売り場のように、特設ステージを設けて各種商品ごとにディスプレイする方法、また写真3及び4に示す博多Dデパートの売り場のように、低温陳列棚に多品種を並べてディスプレイする方法の2通りが主流であった。その容器の材質については、非晶ポリエチレンテレフタレート、発泡ポリスチレン、透明ポリプロピレンなど各種多様にわたっていたが、木製トレイの使用は全く認められなかった。また、商品のイメージなどを考慮し、商品の生産者が独自で開発したような容器も見受けられなかった。

特設ステージ、低温陳列棚のいずれの場合においても、限られた売り場面積のなかで多品種を多数ディスプレイする必要があるために、商品の入った容器を何段も重ねているようであった。キノコ、硬いものなどはいいが、ぶどう、ミニトマト、イチゴなどは重ね置きすると破損するので、箱や嵩の高い容器を使用していた。

以上の調査を基に、本試験調査においては、重ね置きができて、嵩が高く、内容物を破損させないような容器として楕円形で長さ210mm、幅150mm、深さ90mmの深底木質トレイを製作することとした。



写真1 博多Iデパート地下売り場（その1）



写真2 博多Iデパート地下売り場（その2）



写真3 博多Dデパート地下売り場（その1）



写真4 博多Dデパート地下売り場（その2）

5.2 熱圧による単板接合

木質トレイの製造において2枚の単板が重ね合わせられた接合部分の接合力を検討することにより、木質トレイの適正製造条件を明らかにすることを目的として、各種の接合条件（熱圧条件）を設定した単板どうしの熱圧接合試験を行った。その後、接合が確認された試験体について、接合部の引張せん断試験あるいは板厚方向引張試験を行った。

5.2.1 熱圧接合試験方法

接合条件としては、おもに単板含水率、単板厚さ、熱圧温度及び熱圧時間を考え、これらの因子が単板接合に及ぼす影響について検討した。また、単板の繊維方向が互いに直交するように重ねた場合の接合力についても一部実験を行った。

単板の寸法は全て180×180mmとし、端部から50mmずつを重ね合わせた。また、単板の含水率は、含水率を変化させた場合の単板を除いて、概ね30%弱（湿潤状態）であった。

各種試験における熱圧の設定条件は以下に示すとおりである。

①熱圧温度及び熱圧時間

熱圧温度 : 160、180、200℃

熱圧時間 : 60、120、180sec

単板厚さ : 1.0、1.5、2.0mm

②単板含水率

単板含水率 : 飽水状態（200%程度）、湿潤状態（30%弱）、気乾状態（15%程度）、乾燥状態（10%未満）

熱圧温度 : 180℃

熱圧時間 : 60、120、180sec

単板厚さ : 1.0、2.0mm

③繊維方向直交

熱圧温度 : 180℃

熱圧時間 : 120、180sec

単板厚さ : 1.0、2.0mm

④圧縮時間短縮化

熱圧温度 : 200℃

熱圧時間 : 15、30、45sec

単板厚さ : 1.0、1.5mm

⑤板厚方向引張試験用

熱圧温度 : 180℃

熱圧時間 : 120、180sec

単板厚さ : 1.0、1.5、2.0mm

5.2.2 熱圧接合試験結果

平面プレスによる単板どうしの熱圧接合は各種の熱圧条件により、全く接合されていないものから、かなり強固に接合されているものまで、さまざまであった。とくに、単板が乾燥状態で厚さが1mmと薄い場合、また単板が飽水状態で厚さが2.0mmと厚い場合には、熱圧時間60及び120secと短い場合に単板は接合されていなかった。単板が湿潤状態であっても、単板が2.0mmと厚いものについては、熱圧温度160℃、熱圧時間60secと熱圧が充分でない場合に、単板どうしの接合が確認されなかった。また、熱圧温度が200℃と高い場合であっても、熱圧時間が15secと非常に短くなると、良好な接合が得られず、単板間に部分的な隙間が認められた。

5.2.3 引張せん断試験方法

接合された単板のそれぞれを繊維方向に引張荷重を与えることにより試験を行い、その最大荷重を接合部の面積で除することにより引張せん断強さを求め、接合性能を評価した。試験の概略を図1及び写真5に示す。試験は、万能試験機（島津オートグラフAG100KNG）を用い、荷重速度1mm/minで行った。なお、単板接合部の面積は30×50mmとした。

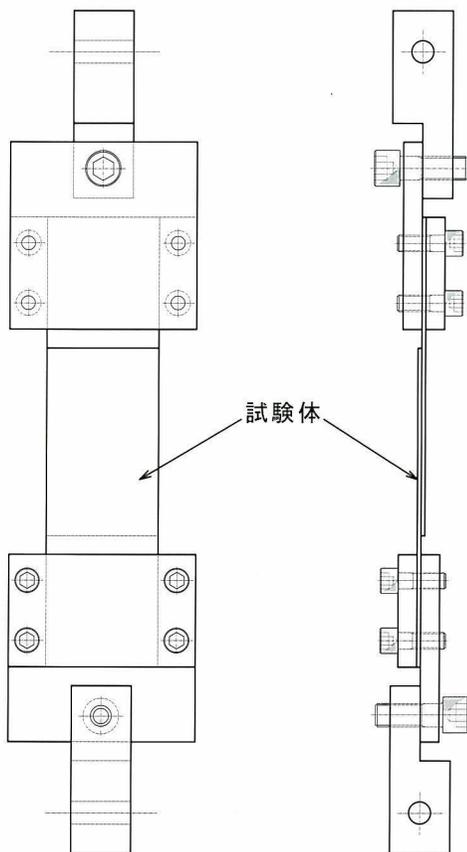


図1 熱圧接合部の引張せん断試験の概略



写真5 引張せん断試験状況

5.2.4 板厚方向引張試験方法

接合された単板のそれぞれを板厚方向に引き剥がすような形の試験、すなわちはく離試験を行い、接合性能を評価した。試験の概略を図2及び写真6に示す。接合部の端部にL字形治具をそれぞれの単板の表面に接着し、その治具を試験機のチャックに挟み引張荷重を与えた。L字形治具の接着面積は15×30mmであったので、最大荷重をこの面積で除することによりはく離強さを求めた。試験は、万能試験機（島津オートグラフ 100kNG）を用い、荷重速度1mm/minで行った。

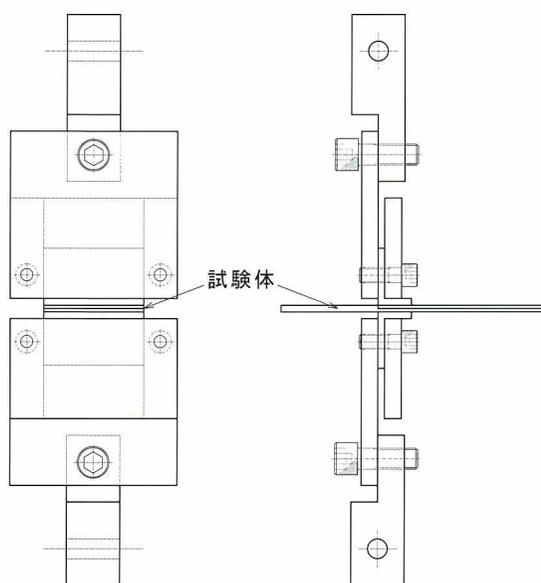


図2 板厚方向引張試験の概略



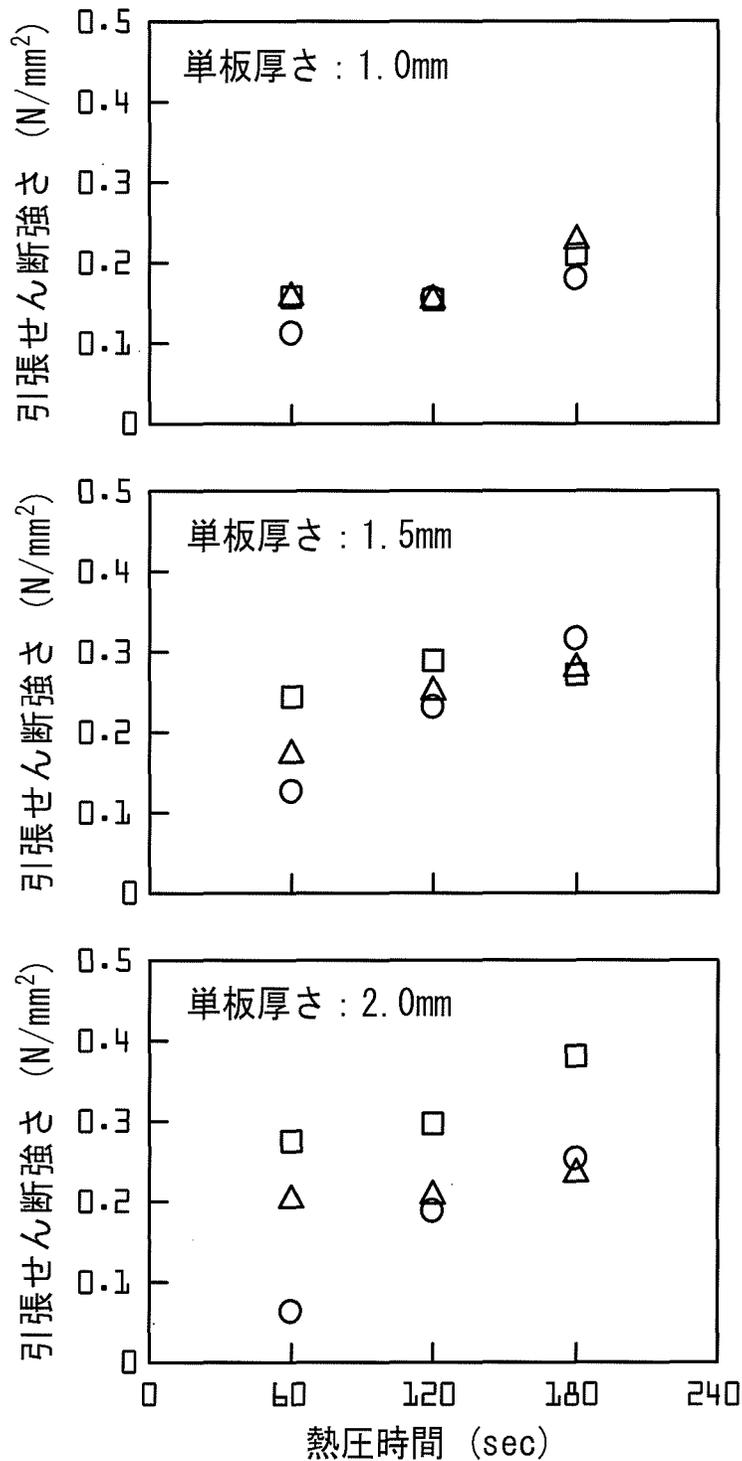
写真6 板厚方向引張試験状況

5.2.5 引張せん断試験結果

(1) 熱圧温度及び熱圧時間の及ぼす影響

板厚が異なる場合に熱圧温度及び熱圧時間が単板接合部の接合力（引張せん断強さ）に及ぼす影響について、単板厚さごとの試験結果を図3に示す。引張せん断強さは、いずれの単板厚さ、熱圧温度においても、熱圧時間が長くなるほど増大した。また、単板が薄い場合には熱圧温度による引張せん断強さの差は少ないが、単板が厚いものほど熱圧温度の影響が著しくなる傾向にあった。単板厚さが厚いものほど引張せん断強さが大きくなる傾向にあった。単板が厚いものほど、単板どうしのめり込みが大きくなり、引張せん断強さが増大するものと考えられる。

なお、引張せん断強さが 0.25N/mm^2 を超えるような条件においては、接合部のせん断破壊ではなく、単板の非接合部で破壊しているものが認められた。単板にはスライスド単板を利用しているため、単板の厚さ方向の目切れにより破壊が生じているものが認められた。



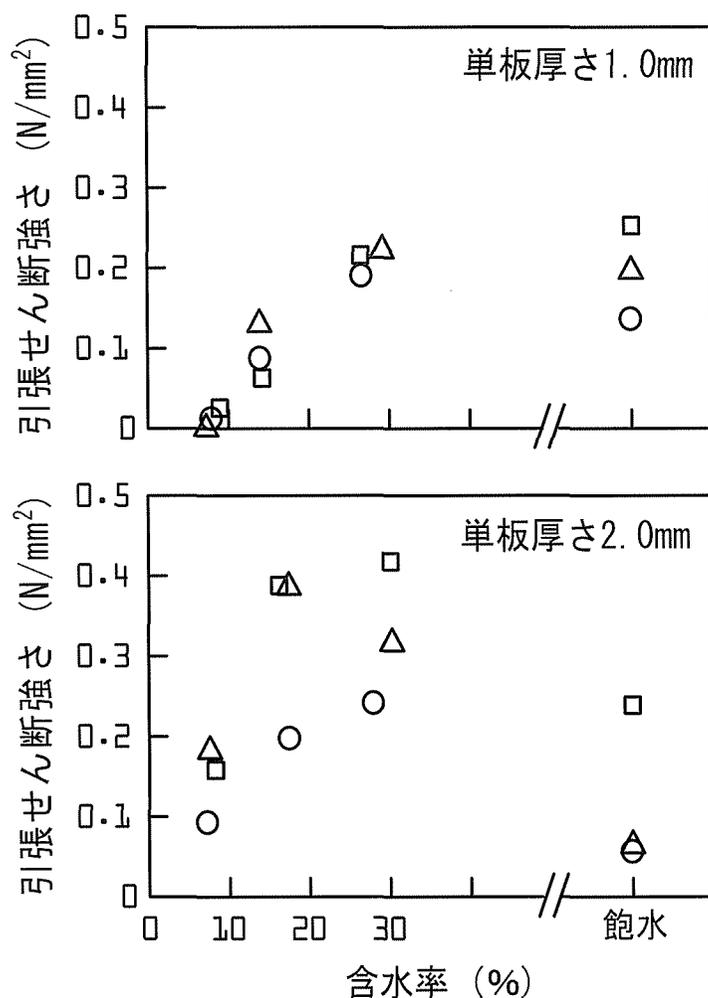
注： 熱圧温度 ○ : 160°C、△ : 180°C、□ : 200°C

図3 熱圧温度及び熱圧時間が単板接合力に及ぼす影響

また、厚い単板では接合部の端部において、めり込まれた方の単板が大きく変形していることから、その変形部分で破壊しているものが観察された。いずれにせよ、熱圧による接合部分以外で破壊を生じたものは、接合力が単板の強度を上回っていることであり、十分な接合が得られているものと判断できる。

(2) 単板含水率の及ぼす影響

単板含水率が単板の熱圧接合に及ぼす影響について検討するため、単板の含水率状態を飽水状態（含水率 200%超）、湿潤状態（含水率 30%弱）、気乾状態（含水率 15%程度）及び乾燥状態（含水率 10%未満）の4段階に調整し、熱圧による接合を行った。単板厚さが 1.0mm 及び 2.0mm の場合について、引張せん断試験結果をそれぞれ図 4 に示す。



注：熱圧時間 ○：60sec、△：120sec、□：180sec

図4 単板含水率が単板接合力に及ぼす影響
(単板厚さ1.0mm)

いずれの単板厚さの場合においても、乾燥状態から含水率 30%までの範囲では、含水率が高いものほど引張せん断強さが増大した。この含水率の範囲においては、単板厚さが 1.0mm のときには、熱圧時間による差は認められなかったが、単板厚さ 2.0mm では、熱圧時間が長くなるほど引張せん断強さは増大する傾向にあった。

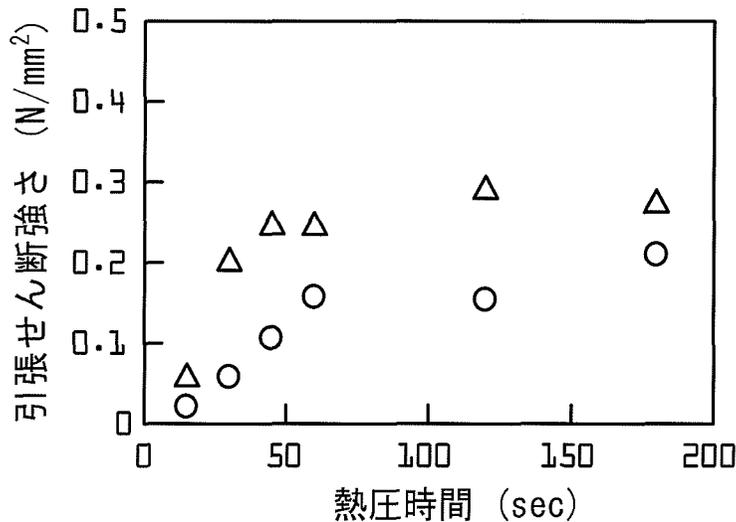
飽水状態のものでは、熱圧時間が短く十分な熱量が得られない条件では、引張せん断強さが低下し、良好な接合が行われていなかった。また、単板厚さが 1.0mm の場合は、熱圧時に水蒸気の逃げ道が確保されなくなり、パンク損傷を生じるものが観察された。

以前に行った金型による木質トレイの成型試験においては、単板が飽水状態であると熱圧時に樹脂分が出てきて、単板表面が着色により汚い感じになり、また、繰返し熱圧を行うことにより金型がヤニ等の付着により汚染され、製品表面が汚くなることが確認されている。

以上のことから、木質トレイの成型においては、単板を飽水状態で使用するよりも、含水率を 15%から~30%程度の間で調節して使用するのが適していると判断できる。

(3) 熱圧時間短縮に関する検討

単板の接合に要する圧縮時間が数分にも及ぶと、木製トレイの量産に大きな障害となることが予測されるため、熱圧温度を高く設定することによる熱圧時間短縮の可能性について検討した。本研究で使用したホットプレスで設定できる上限値である熱圧温度 200°Cにおいて、熱圧時間を 15、30 及び 45sec の 3 段階に設定した場合の、引張せん断強さについて検討した。単板厚さは 1.0mm 及び 1.5mm とした。結果を図 5 に示す。



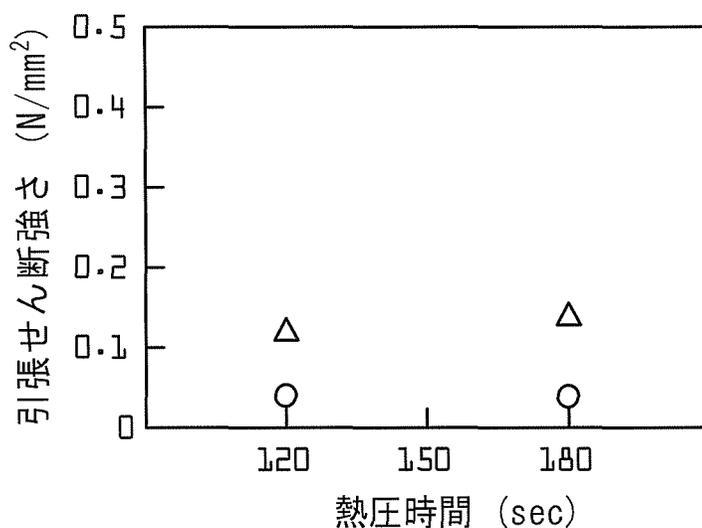
注：単板厚さ ○：1.0mm、△：1.5mm

図5 熱厚温度200°Cにおいて熱圧時間が単板接合力に及ぼす影響

図5には同様の条件で、熱圧時間が60、120及び180secの場合の結果を併せて示す。熱圧時間が60sec以上の場合に比べ、60sec未満では引張せん断強さは熱圧時間に強く依存していることが分かる。また、単板厚さが1.0mm及び1.5mmのいずれの場合においても、熱圧時間は少なくとも60sec程度は必要であると考えられる。したがって、熱圧接合に要する熱圧時間の短縮を図るには、200℃を超える温度で検討を行う必要がある。

(4) 単板の繊維方向を直交させたときの接合力

木質トレイの金型による成型においては、単板はそれぞれの繊維方向が直交するように重ねて熱圧されるために、単板の繊維方向を直交させた場合の接合力の検討が事実上重要であると考えられる。そこで、単板の繊維方向を直交させて熱圧接合し、そのときの引張せん断試験を行った。結果を図6に示す。いずれの条件においても、同条件の繊維方向を揃えて接合した場合の引張せん断強さと比較して低い値となっている。この結果には、接合面の破壊による試験結果がほとんど含まれていない。単板の繊維方向を直交させた試験体の引張試験では、一方の単板は必ず繊維と直角方向に荷重が加わるため、大部分の破壊が単板の横引張りによるものであった。したがって、結果は非常に小さな引張せん断強さを示しており、熱圧時間による影響はほとんど認められなかった。また、引張せん断強さは接合面の面積を基に計算しており、単板の断面積は考慮されていない。単板が厚いものほど引張荷重を受ける断面積が大きくなるため、引張せん断強さは大きな値を示した。単板の繊維方向を直交させた場合の接合力を評価するには、繊維と直角方向に引張られる単板を接着剤塗布などにより補強するなど、試験方法を工夫する必要がある。



注：板厚さ ○：1.0mm、△：2.0mm

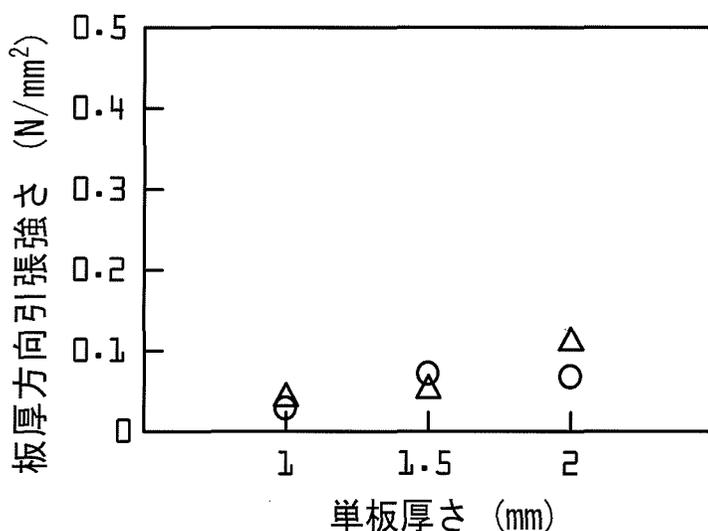
図6 単板を直交させた場合の接合力

5.2.6 板厚方向引張試験結果

熱圧による単板の接合部は、単板の繊維方向に加わる引張力に対してはある程度の強度を示すものの、単板の厚さ方向の引張力、すなわち2枚の単板をはく離するような力に対しては非常に抵抗力が小さいことが経験的に確認されていた。そこで、実際にはどの程度の接合力であるのか、また、その接合力は単板厚さや熱圧条件でどのように変化するのかを検討するために、単板の厚さ方向の引張強さについて実験を行った。単板の板厚方向引張強さの評価にはいろいろな方法が考えられるが、本研究では単板接合部の一部にL字形治具を接着し、それを介して引張荷重を加えたことから、実験で得られた最大荷重をL字形治具の接着面積により除することにより求めた。

結果を図7に示す。板厚方向引張強さは引張せん断強さに比べ小さい面積で除して求めているため、数値的にはそれほど極端に小さいとは感じられないが、最大荷重でみると板厚方向引張試験では引張せん断試験の1/10程度であった。熱圧による単板接合部は繊維方向と板厚方向とで接合強度が大きく異なることから、外力の方向を考慮することにより、使用時には強く、使用目的を果たした後は弱い力で簡単に分解できるような、機能性を備えた製品が設計できるものと期待できる。

熱圧時間による差は、単板厚さ 2.0mm 以外ではほとんど認められなかった。単板厚さが 2.0mm の時には、熱圧時間が長い方がより大きな引張強さを示した。また、単板が厚いものほど、単板どうしのめり込み量が大きくなるためか、板厚方向引張強さが大きくなる傾向にあった。



注：熱圧時間 ○ : 120sec、△ : 180sec

図7 単板厚さ方向の接合力

5.2.8 欠き込み等による単板接合

間伐材等の小径木を原料として利用する場合、幅の広い単板を得ることが不可能であるため、必然的に幅の狭い単板を重ね合わせて利用することを考えなければならない。トレイを成型する場合には、単板を重ね合わせたのみでは熱圧時に単板がずれてしまう恐れがある。そこで、単板がずれないように単板に切り込みを設け組み合わせる方法について検討を行った。欠き込み方法の一例を図8に示す。

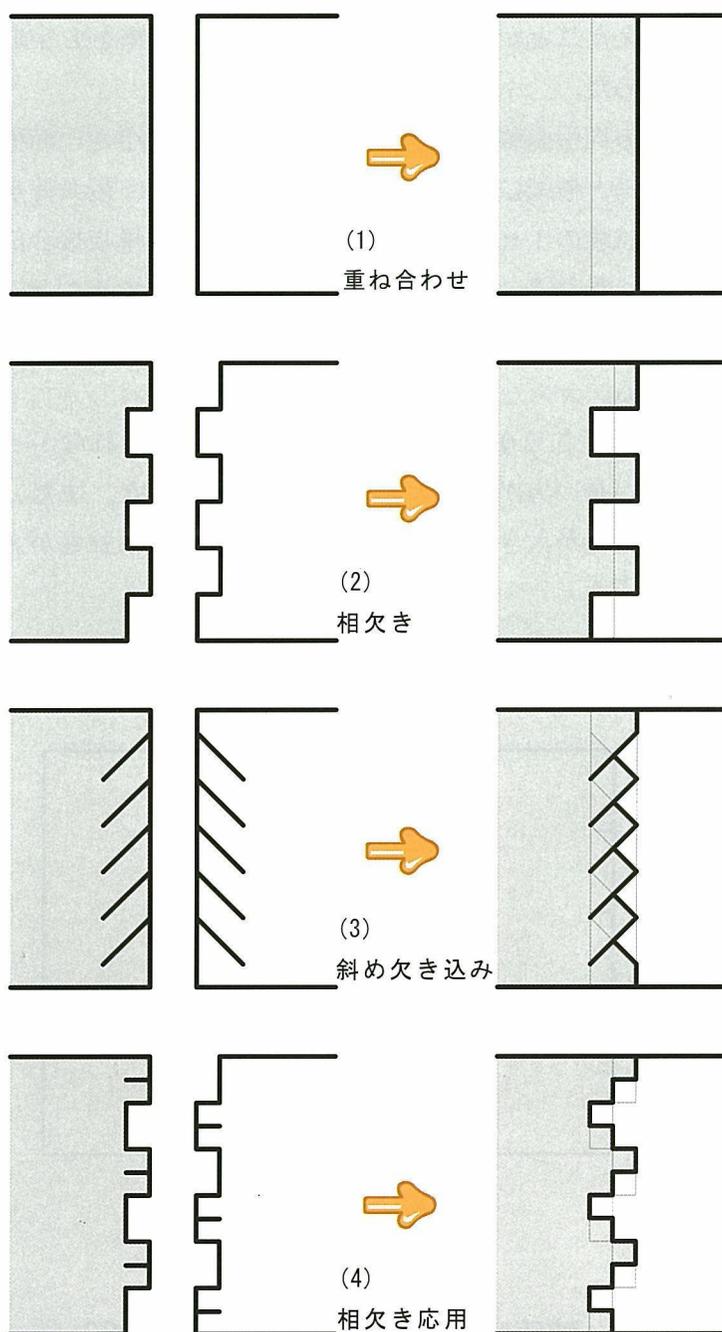


図8 重ね合わせ、欠き込みを用いた単板どうしの熱圧接合の一例

図中(2)の一般的な欠き込み方法である相欠きによるものは、重ね合わされた方が凹となるように接合単板を曲げた場合には強いが、逆に重ね合わされた部分が凸になるように曲げられると、重ね合わされた部分がはく離しやすく、非常に弱くなる。したがって、相欠きの場合には単板に加わる力の向きを考慮しておくことが必要となる。

単板の厚さ方向に対する強度を高めるためには、(3)斜め欠き込みや(4)相欠き応用のように、欠き込みの重ね合わせられた部分がそれぞれの単板を両側から挟み込むような形で組み合わせることが考えられる。接合部の強度試験は行っていないが、写真7及び8に示すように、斜め欠き込みや相欠きの応用により、非常にしっかりした接合部を得ることができた。また、写真9のように斜め欠き込みの応用である山形欠き込みを用いた場合には、より強固な接合部が得られた。しかしながら、欠き込みが複雑になるほど接合部はしっかりしたものとなるものの、欠き込みの加工が煩雑となる、または組み合わせ時に単板の裂け等の損傷が生じやすくなる等の問題が考えられる。



写真7 斜め欠き込みによる単板の組み合わせ



写真8 欠き込みの応用による単板の組み合わせ



写真9 斜め欠き込みの応用による単板の組み合わせ

5.2.9 エンボスによる単板接合試験

単板の重ね合わせによる接合では、とくに厚さ方向の接合強度が得られにくい、また、欠き込み等を用いた接合では、欠き込みの加工等が煩雑であることから、単板どうしを重ね合わせた部分にエンボス加工を施すことによるスギ単板接合の可能について検討を行った。

エンボス用の金型は、参考資料1及び2に示すとおりであり、エンボスの形は三角形、正方形及び菱形の3種類とした。厚さ1.0mm及び1.5mmの単板を用い、それぞれの繊維方向が平行となるように重ね合わせ、その部分をエンボスの金型により圧縮した。熱圧の条件は、熱盤温度180℃、圧縮時間60secとした。

試験結果は、金型の設計にミスがあったために、満足できるものが得られなかった。当初、細長い単板の両端を重ね合わせ、そこを接合し輪状のものを加工することを目的としていたため、下部金型は写真10に示すように、厚みを120mmとし、下部金型と熱盤との間に4mmの間隙を設けていた。このためホットプレスの熱盤からの熱が下部金型に充分伝わっておらず、さらに下部金型が大きいために充分に加熱されていないことから、接合に必要な温度が確保できていなかったものと思われる。また、熱圧時にエンボス金型の雌型の空間に、木材から生じた水蒸気がこもってしまい、除圧時にパンクが生じ単板が粉々になることがあった(写真11)。さらに、写真12に示すように、エンボス金型の雌型の凹部が深すぎて、単板を突き破ってしまうことが見受けられた。

以上のことから、下部金型の厚さを写真13に示すように30mmとし底面を平坦にする、雌金型の凹部の深さを3.2mmから2.2mmに加工する、また、凸金型に厚さ1.2mm、0.7mmのスペーサーを準備する等の修正を加えた。その後、再度エンボス試験を行う計画であったが、ホットプレスが故障したため、エンボス試験を期限内に終了することが不可能となった。今回の木質トレイ製造に関しては、エンボス加工は直接的に必要とはならなかったことから、本試験研究の遂行には大きな影響はなかったが、エンボスによる単板接合は他の用途としても充分利用可能な技術であると考えられるため、今後、実験を継続する計画である。



写真 10 エンボス加工用下部金型



写真 11 エンボス試験を行った単板のパンク損傷



写真 12 エンボス試験を行った単板の損傷



写真 13 修正後のエンボス加工用下部金型

5. 2. 10 まとめ

スギ単板を熱圧することにより接合が可能であることを確認した。接合される単板の含水率は、気乾状態よりやや湿っている程度、含水率 20～30%が適正であり、熱圧時の温度は 180～200℃程度、圧縮時間は 60～180sec が適正な条件と考えられる。

熱圧によるスギ単板の繊維方向の外力に対する接合力は、一部の試験において満足な評価が行えなかったが、適正条件で接合がなされれば、木材単板自身の強度を上回っていることが確認された。単板の厚さ方向の接合力は、繊維方向のそれに比べ非常に低いものの、外力を受ける方向を工夫することにより、むしろ使用後に壊しやすく処分が容易となるような機能性を製品に付与することが可能になるものと考えられる。

2 枚の単板が熱圧により接合されることのメカニズムは、現在のところ明白ではないが、その大部分は木材のめり込みによる物理的な要因に基づくものと思われる。部分的には、ヘミセルロースの変質、リグニンの溶出・硬化等の化学的な要因に基づく接合がなされているものと考えられるが、このことに関しては今後さらに検討を要する。

なお、使用状況下においては、木質トレイにおける接合部は、中に入れられた食品等に含まれる水分により、常に湿度の高い状況にさらされる可能性が高いため、現実的には、湿潤状態における接合力の評価が必要と考えられる。このことについては、今後、評価方法を含めて検討を行う予定である。

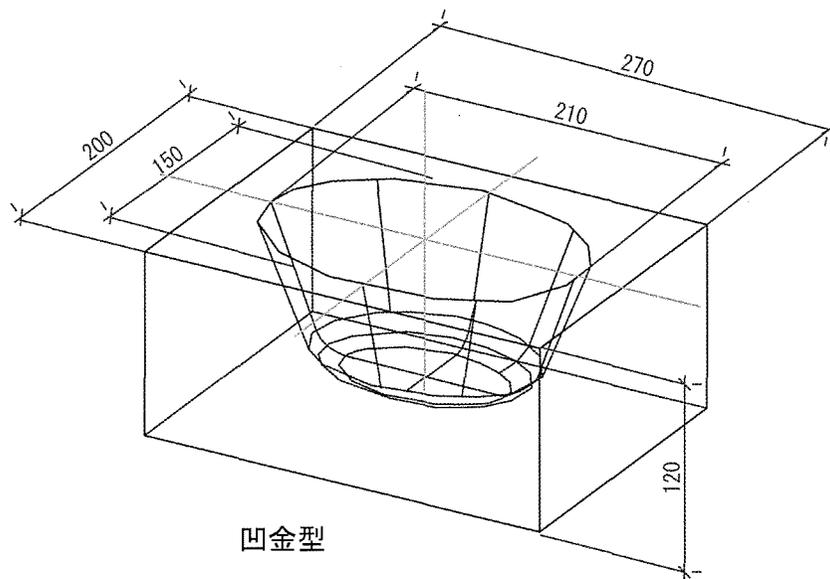
5.3 金型による成型プレス

5.3.1 金型の設計及び作製

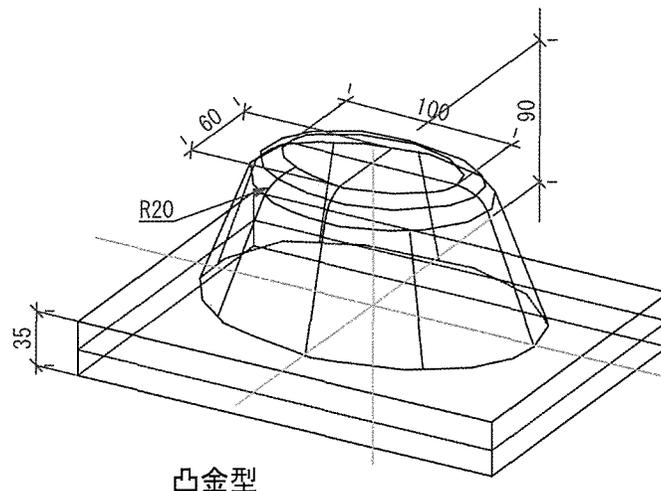
市場調査の結果、一般的に市場で使用されているスチロール製トレイの寸法は概ね幅 100～150mm、長さ 180～230mm 程度であったことから、今回製造するトレイの大きさは、幅 150mm、長さ 210mm となるようにした。この寸法は、対象としているハタケシメジ 2 株が余裕を持って入る大きさである。ハタケシメジを入れるためには少なくとも 60mm の深さが必要であることから、金型の深さは余裕をみて 90mm とした。また、成型加工における単板の割れ、裂け等の損傷を防ぐために、底部の丸みは半径 21mm とした。また、写真 14 に示すように、トレイを重ねて陳列できるようにすることを考え、トレイどうしの 4 隅に空間を持たせるためにトレイの上から見た形が楕円形となるようにした。側面の立ち上りの角度は、ハタケシメジの形状及びトレイの安定性を考慮するとともに、可能な限り急な角度で、しかも側面に充分圧縮力が加わるように考慮し、60° となるようにした。詳細については金型の専門メーカーである旭鐵工所（宮崎県延岡市）と相談し、最終的には、図 9 に示すような形状とした。なお、金型の詳細な図面を参考資料 3 及び 4 に示す。



写真 14 木質トレイを重ねた陳列状況



凹金型



凸金型

図9 木質トレイ成型用金型

5.3.2 木質トレイの試作

スギ単板を用い、成型金型により深底トレイが製造可能かどうか検討するために、試作を行った。試作には厚さ 1.0mm あるいは 1.5mm のスギ単板を 2 ないし 4 枚用いた。熱圧温度は、金型がかなり大きいことから、金型の温度上昇不足を避けるため、熱盤温度 200℃ と高めに設定した。また、熱圧時間も 120、180 及び 300sec と長めに設定した。以下に、試作において検討した事項、あるいは留意すべき事項について説明する。

(1) 単板含水率

当初、材料を柔らかくし、曲げ加工を容易にするために飽水状態の単板を使用した。除圧時にパンク現象が起り、単板が損傷することがあった。また、飽水材ではトレイの色が

黒っぽくなったり、繰り返し成型を続けるとヤニ等が付着したりしてトレイが汚い感じになった。また、ヤニ等が金型に付着することにより、成型後にトレイが金型から取り外しにくくなることもあった。金型をこまめに洗浄し、常に清潔にしておかなければならないと思われる。また、離型剤等を使用すれば容易に取り外せるようになると考えられるが、食品を入れる容器としての用途を考えると安全性を確認する必要がある。

なお、気乾状態よりやや湿っぽい程度（含水率 20%前後）の単板を用いた場合においてもトレイの成型が充分可能であったことから、単板を飽水状態にしておかなくて良いと思われる。むしろ、気乾状態の単板を用いて製造したトレイの方が、色が黒ずまずにきれいな感じであった。また、単板を飽水状態にしておくために浸せき処理を行う場合、その期間中において衛生上の問題が生じる恐れがあるものと思われる。

(2) 成型時の厚さ設定

今回、木質トレイの成型実験に用いたホットプレスは、位置制御による熱圧が可能であったため、単板厚さに応じて熱盤の位置を設定することにより、金型間の間隙すなわち製品の厚さを設定し、トレイの成型を行った。厚さの設定は、使用した単板の厚さと同じか、それより若干（1割程度）薄くなるように行った。単板厚さより、成型時の設定厚さが厚い場合には、単板が重ね合わされた部分とそうでない部分との境界付近で割れが生じることが観察された。単板が重なっていない部分では、単板の乾燥により収縮し変形しようとするが、単板が重ね合わされた部分では単板が圧縮されているため、乾燥による変形が抑制されている。したがって、両者の境界で、乾燥による変形の拘束状態が異なることから、そこで単板に破損が生じたものと推察される。

また、両金型の位置が適正に調整されていない場合、すなわち金型の位置が前後、あるいは左右方向にずれている場合、トレイの前後、あるいは左右で両金型間の間隔が不均一になるため、前述のような単板の破損が生じるようになる。したがって、金型の位置を正確に調整しておかなければならない。

なお、実用的には、凹凸両金型間にディスタンスピースを挿入し、成型時の厚さを制御できるものと考えられる。

(3) 単板重ね合わせ

最初に行った木質トレイの試作では、単板が小さく満足する成型品は得られなかった。そこで、単板を複数枚重ねて並べることにより成型を行った。2枚の単板を平行に並べて成型した場合は、単板が割れてしまい成型が不可能であった。そこで、もう1枚の単板を加え2枚の平行に並べた単板と直交するように配置して成型を行うと、直交する単板がもう一方の単板の繊維と直角方向の裂け（割れ）を抑制し、単板が割れずに成型できるようになった。2枚の単板を平行に並べる場合には、重なり部分がトレイ底部の幅より若干大きめになるようにすることにより、単板のずれを抑制することが可能となる。厚さが 1.5mm の単板を用いる場合、熱圧時間 120sec では、十分な

加熱が行われず、単板が十分に乾燥していなかったため、成型に必要な時間は少なくとも 120sec、推奨は 180sec 以上である。しかしながら、この程度の熱圧時間であると、トレイを量産するには非常に時間がかかりすぎるように思われる。実用化に向けては、いかに成型に必要な時間を短くするかが重要な問題となる。今後、さらに検討を要するところである。

(4) 熱圧速度

トレイ成型時の単板を押し込んでいくときの速さ、すなわち圧縮速度については細かく設定した実験を行ってはいないが、あまりに圧縮速度が速いと単板が熱せられることにより発生する水蒸気が金型の間に閉じこめられ、除荷時にパンク現象が生じ、単板が破損してしまうことが確認された。このため、なるべくゆっくりと単板を押し込んだ方がよいと考え、今回は、単板の変形が始まってから設定厚さに至るまでの間の圧縮速度を 1.5mm/sec とした。凹金型の深さは 90mm あることから、単板の変形はほぼ 60sec にわたって行われている。圧縮時間は、設定厚さに達してからの時間としているので、例えば、熱圧時間 60sec で行ったトレイの成型では、熱圧工程で実際には 120sec の時間を要している。熱圧速度はトレイを量産する場合には、生産性を支配する非常に重要な因子になると思われるので、今後、息抜きを行えるような金型の設計などを考えて、圧縮時間を短縮していくよう改善していく必要がある。

(5) トレイ上端外周部のリブ

一般的な樹脂製トレイでは、写真 15 に示すように、トレイの強度を高めるに、トレイの上端外周部に折れ曲がった部分を設けリブを形成させる方法がとられている。薄底の木質トレイにおいても、写真 16 に示すように、リブの角度が緩やかであるが同様のリブを設けてある。



写真 15 一般的樹脂製トレイのリブ部分



写真 16 薄底木質トレイのリブ部分

しかしながら、今回検討を行った深底木質トレイでは、写真 17 に示すように単板の一部の長さを長くして部分的にリブを形成させることは可能であるが、写真 18 のようにトレイ上端外周部の全周にわたってリブを形成しようとする、長軸方向の端部の曲面部分で単板が繊維方向に沿って裂けてしまい、うまく加工することが困難であった。

今回試作した深底トレイでは、2 枚の単板が重ね合わされた部分では、単板が 2 倍程度の圧縮比で圧縮されており、また、トレイ長軸方向両端部は、単板が折りたたまれ圧縮されているため密度が高く丈夫になっていることから、ある程度トレイの強度が確保されていると判断し、とくにトレイ上端外周部にリブを設ける形状にはしなかった。



写真 17 一部にリブを持った深底木質トレイ



写真 18 全外周にリブを持たせようとした深底木質トレイ

(6) 最終試作品

試作を繰り返し、検討を重ねた結果、試作品の最終形状を決定した。使用する単板の寸法及び形状は、図 10 に示すとおりである。単板 A は、単板の寸法をあまりに大きくすると、トレイ端部での重なりが多くなり、圧縮時に大きな圧力を必要とするばかりでなく、重なり部分の圧縮破壊が著しくなるため、繊維方向の長さを 250mm、幅（繊維と直角方向）を 220mm と若干小さめにし、トレイ長軸方向端部における単板の重なりが少なくなるようにしてある。また、単板 A には 4 隅に半径 40mm の面取りを行った。この単板を用いてトレイを成型したときに、図 11 に示す見取り図のように、両端部の形状の見栄えをよくすることと、食品を入れラップで包装するとき、単板の角によるラップ等の破損を防ぐ目的から単板の 4 隅に大きめの面取りを設けた。単板 B は、繊維方向の長さを 180mm、幅（繊維と直角方向）を 200mm とした。これらの 2 種類の単板を図 12 に示すように、面取りを行っていない単板 B の繊維方向が金型の短軸方向となるようにし、その上に 4 隅の面取りを行った単板 A の繊維方向が金型の長軸方向になるように配置した。

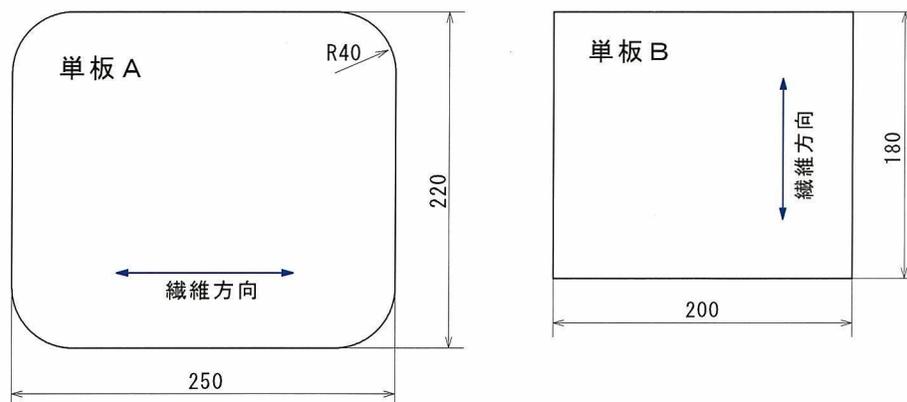


図 10 深底木質トレイ製造用単板の木取り図

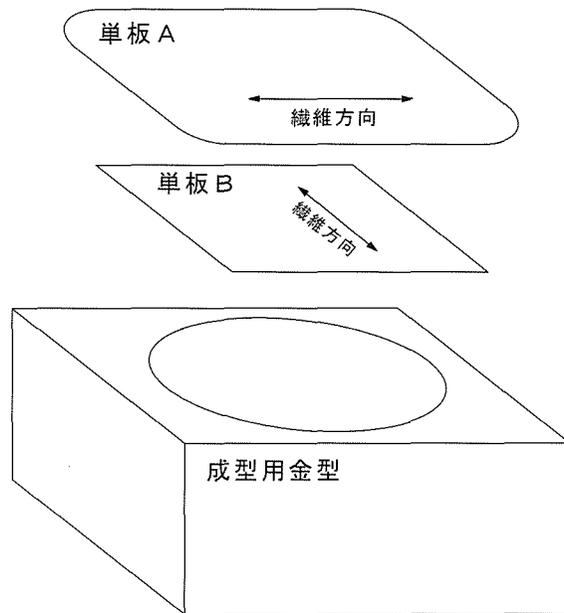


図 11 深底木質トレイ製造用単板の組み合わせ図

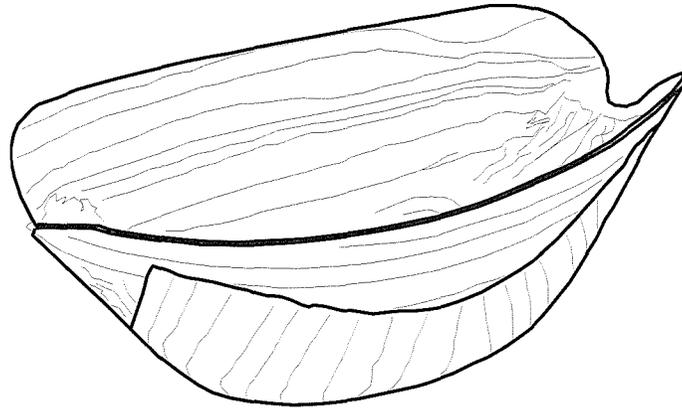


図 12 深底木質トレイ最終試作品の見取り図

(7) 単板の位置合せ

今回の深底木質トレイの製造においては、可能な限り工程を減らす目的から、前述の単板 2 枚を熱圧することにより成型を行い、成型後に形を整えるような工程を設けていない。したがって、2 枚の単板の位置がずれていると、製品のトレイの形がおかしくなってしまうことから、それぞれの単板の中心位置や向きが正確に調整されている必要がある。今回は、写真 19 に示すような治具を用いて単板が正確に置かれるようにしたが、実用的には金型あるいはプレス設計において単板の位置決めが行えるように配慮することは可能であると思われる。

しかしながら、スライス単板は、とくに小径木などから得られる場合、丸太をだら挽きするような形で連続的に単板を加工していくことから、ほとんどは板目板のような単板となっている。スライス単板を製造する場合には、切削力を減少させるため一般的には含水率の高い生材状態で行われる。この単板を、含水率 20%程度にまで乾燥させると、単板が木裏側に凸になるように幅そりが生じてしまう。このため、写真 20 のように変形した単板をそれぞれの繊維が直交するように正確に配置するには、工夫を要するものと思われる。また、単板を切削した後、変形を拘束した状態で乾燥を行うか、あるいは含水率 20%程度に調節した木材から単板を切削し、すぐに熱圧の工程へ移すような仕組みを考えておかなければならない。

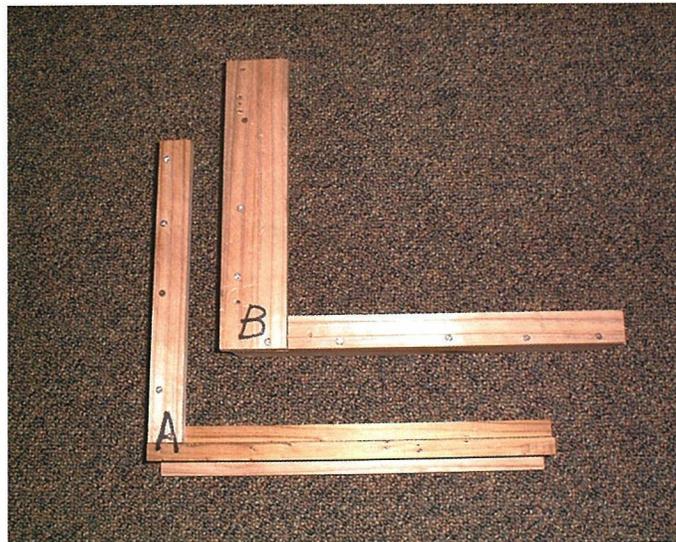


写真 19 単板の位置合わせ用治具



写真 20 乾燥により変形した単板

5.3.3 変形・変質試験用トレイの製造

中に各種食品を入れ、各種温湿度条件にさらした場合の木質トレイの性能評価を行う試験に用いる木質トレイを製造した。木質トレイと合成樹脂製のトレイとの比較を行う第1回変形・変質試験用のトレイ 30 個、スギ葉抽出成分から得られた抗菌剤を塗布して同様の試験を行う第2回変形・変質試験用のトレイ 30 個の計 60 個を2回にわたり製造した。試験用木質トレイの形状・寸法は、最終試作品の形状・寸法と同様のものとした。単板の厚さは 1.5mm であり、成型は熱盤温度 200℃、熱圧時間 120sec で行った。いずれの単板も凹側になっている面がきれいであったので、単板の凹面が下部金型に向かうように、すなわち製品では外側面がきれいな面になるようにして単板を配置した。

また、熱圧成型過程を後方正面と斜め後ろから、写真撮影した（写真 21 及び写真 22）。とくに、写真 22 に示す斜め後方から観察した様子では、凸金型の押し込みに伴いトレイ長さ方向両端部分で、単板の端がきれいに折りたたまれ、その後、次第に圧縮されて固められていく過程が非常によく分かる。今回使用した金型のとくに長軸方向の端部の形状が非常に適切であったものと判断できる。

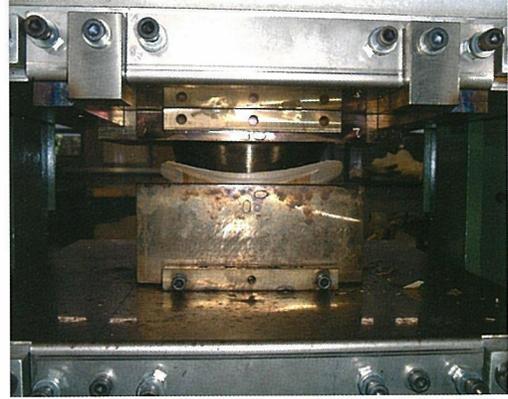
5.3.4 狭幅単板を用いた木質トレイの製造

間伐材等の小径木の利用を目的とし、幅の狭い単板 2 枚の一部分を重ねあわせて用いることにより、トレイの製造が可能であるかどうか検討した。

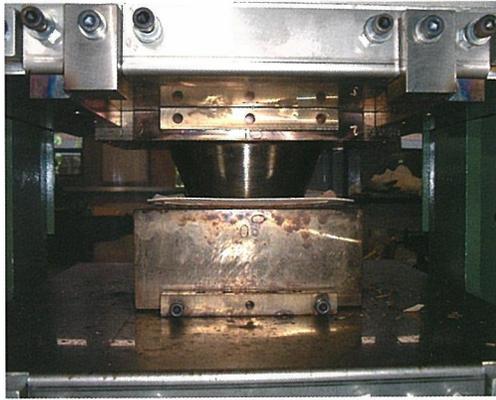
単板は図 13 に示すように、A, B ともに幅 115mm としその端部を、A では 10mm ずつ、B では 30mm ずつ重ね合わせることにより、それぞれ幅 220mm 及び 200mm とするにした。また、重ね合わせただけでは、圧縮時に単板がずれてしまうことがあるため、両面テープ等で軽く固定する必要がある。そこで、図 14 に示すように、それぞれの単板の重ね合わされる端部の中央に幅 1mm 程度の切込みを設け、そこで単板同士を組み合わせるようにしたもの



1



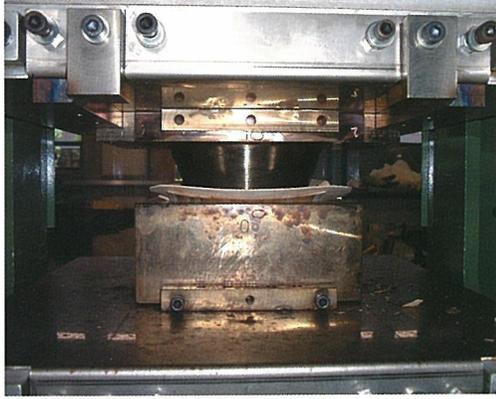
5



2



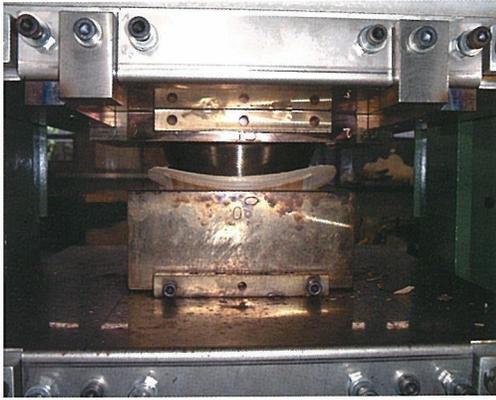
6



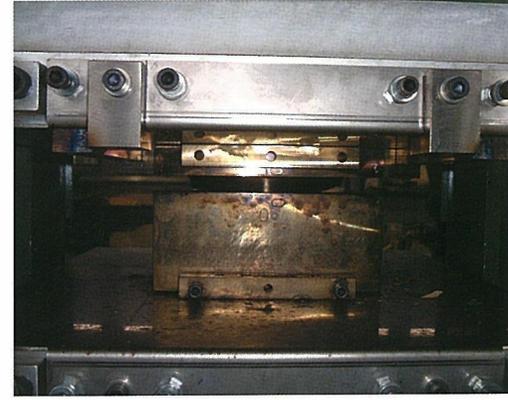
3



7



4



8

写真 21 木質トレイの熱圧成型課程（後方正面より）



1



5



2



6



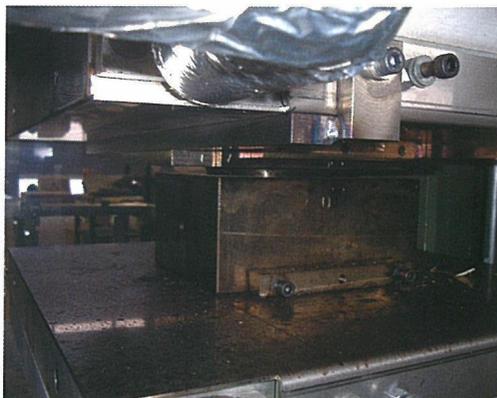
3



7



4



8

写真 22 木質トレイの熱圧成型課程（斜め後方より）

についても検討を行った。単板厚さはいずれも 1mm とした。

金型を用いた成型は、熱圧温度 200℃、熱時間 120sec で行った。

単板の端面を重ね合わせただけの場合は、前述のようにプレス時に単板がずれてしまうことがあるため、重ね合わせ部分を広くする、あるいは両面テープ等で軽く固定するなどの必要が生じた。成型は広い単板を用いた場合と同様に行うことが可能であり、特に大きな問題はなかった。しかしながら、今回の試験では熱圧時間が短かったためか、容器内側の重ね合わせ部分がうまく接合されておらず、単板間に若干の隙間が認められた（写真 23）。

単板の重ね合わせ部分に切り込みを設けたものについては、単板同士を組み合わせることにより、プレス時の単板のずれを拘束することが可能であり、非常に有効な手段であることが確認された。また、組み合わせることで単板同士の上下が組み合わせ部分を境に交互に入れ替わることにより、単板同士の接合が非常に良好となった（写真 24）。

以上、幅の狭い単板でも、単板の端部に切込みを設け、そこで組み合わせることにより幅の広い単板と同様にトレイを成型できることが確認されたことから、単板の原料として間伐材等の小径木の利用が十分可能であると推察される。

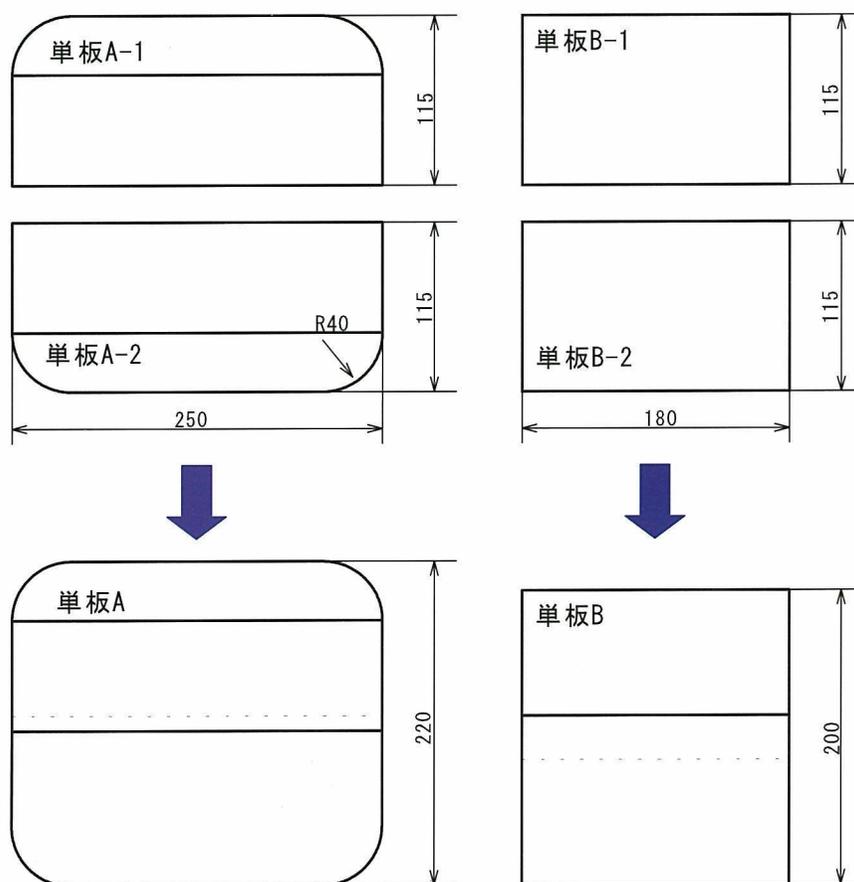


図 13 幅の狭い単板の重ね合わせ方法

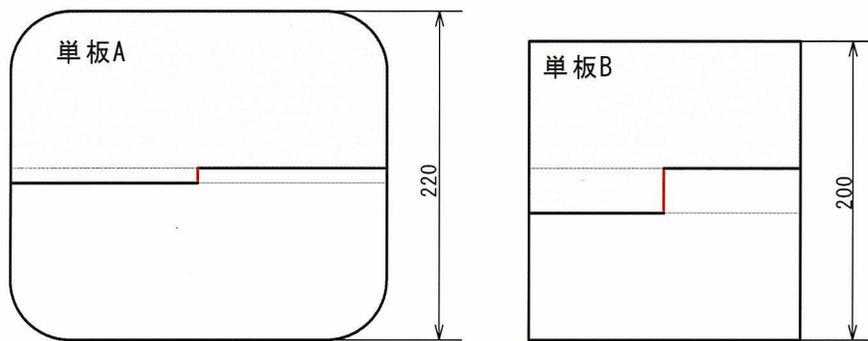


図 14 幅の狭い単板の切込みを用いた重ね合わせ方法



写真 23 幅の狭い単板を用いて製造した木質トレイ（重ね合わせ）



写真 24 幅の狭い単板を用いて製造した木質トレイ（切り欠き）

5.3.3 狭幅薄板の編み込みによる木質トレイの製造

小径木などの活用を目的として、厚さが 0.2mm で幅が 40mm あるいは 115mm の単板を編み込んで 420mm×420mm の大きさにしたものを準備し、これを複数枚重ねて熱圧を行い、深底木質トレイの成型を試みた。成型は熱盤温度 200℃、熱圧時間 180sec で行った。

結果の一例として、厚さ 0.2mm、幅 40mm、長さ 420mm の幅の狭い単板を縦横 10 枚ずつ編み込んだ板状のものを 7 枚重ねて成型した場合の試験状況を写真 25 に示す。編み込んだ単板に大きなずれ、あるいは割れは認められず、金型どうりのトレイが成型できた。しかしながら、単板どうしの接合はなされておらず、底面及び側面は柔らかくふくらんでいた。トレイ上端部周囲の大きく屈曲した部分が接合されたような形になっており、その強固な部分で形を維持しているようであった。したがって、細長い単板を編み込んだ板状のものを重ねて成型したトレイは、容器としてよりもクッション材としての用途に向いているように思われた。

また、厚さ 0.2mm、幅 115mm、長さ 420mm の幅の狭い単板を縦横 3 枚ずつ編み込んだ板状のものを 6 枚重ねて成型した場合もほぼ同様の結果となった。試験状況を写真 26 に示す。

なお、この編み込みを利用した深底木質トレイの検討風景を写真 27 に示す。



写真 25 単板の編み込みにより製造した木質トレイ（単板幅 40mm）



写真 26 単板の編み込みにより製造した木質トレイ（単板幅 115mm）



写真 27 編み込みによる木質トレイ製造の検討風景

5.3.3 ローターリー単板を用いた木質トレイの製造

今回の木質トレイの製造は主にスライス単板を用いて行ったが、ロータリー単板では幅の広い大判の単板が得られることから、間伐材等の小径木の活用に非常に有効であると思われる。厚さ

1.0mm 及び 2.0mm のスギロータリー単板を用いて実験を行った。熱圧は温度 200℃、時間 180sec で行った。ロータリーレースを用いて単板を切削する場合には、必然的に裏割れが生じるため、単板の横引張強度が著しく低下してしまっている。このため、とくに厚さ 1.0mm のロータリー単板では、熱圧時に単板 A が繊維に直角方向に引離されるような割れが生じ、トレイを成型することが困難であった。また、厚さ 2mm のロータリー単板では、単板の剛性が高すぎて、成型時に板が割れてしまい、トレイが成型できなかつた。その後、厚さ 1.5mm のロータリー単板を用いて、成型実験を行う予定であったが、ホットプレスの不調により実験が実施できなかつた。今後、厚さ 1.5mm のロータリー単板での検討を行うとともに、単板の裏割れ面の向きなど、単板の重ね合わせ方について検討を加え、ロータリー単板の利用が可能になるようにしていきたい。

5.3.7 スギ以外の樹種を用いた木質トレイの成型

今回は主にスギ間伐材を利用した深底木質トレイの製造について検討を行ったが、実用化を進めより広い用途へ対応できるようにするためには、スギ以外の樹種から得られた単板の利用についても検討を行う必要があると考え、ここでは、スギ以外にスプルース、ヒノキ、ベイマツ、タイヒ、タモ及びタケ皮について、スギ単板と同様に深底トレイが成型可能かどうか検討を行った。それぞれの単板を用いた木質トレイの成型品を図 28～図 33 に示す。

これらの樹種の中で、スプルースを用いた場合は、単板に割れが生じることなく非常によい成型品が得られた。しかしながら、長軸方向両端部の単板が折り重なった部分が若干黒く変色していた。また、2 枚の単板が重ね合わされた部分の接合状態はあまり良好ではなかつた。スプルースは木肌が白くきれいであるので、変色を押さえられれば、非常に高級感のあるトレイが得られるのではないかと思われる。

ヒノキ及びベイマツでは成型時に単板に若干の割れが生じていた。また、単板が重ね合わされた部分が異常に黒く変色していた。この黒い変色は、恐らく熱圧時の厚さ設定が適切でなかつたためと思われる。もう少し単板が圧縮される程度を小さくすることにより改善できるものと思われる。

単板の厚さが 1.2mm と他の樹種の 1.0mm より若干厚かつたヒノキ、タイヒ及びタモでは、熱圧時における単板の割れが著しく良好な成型品が得られなかつた。熱圧時に割れの生じやすい樹種については、適正単板厚さを検討するとともに、熱圧直前に蒸煮などを行うことにより単板を変形しやすいようにしておく必要があるものと考えられる。

タケ皮は厚さが 0.2mm 程度と非常に薄かつたこと、また幅 200mm 以上、長さ 350mm 以上とトレイの成型には十分な大きさであると思われたことから、1 枚のみを用いて成型を行った。側面に割れが生じてはいるが、両端の折り込まれた部分の接合状態は良く、概ね良好な成型品を得ることができた。タケ皮は繊維に沿って裂け易いため、この点に注意すれば非常によい製品を得られるものと考えられる。

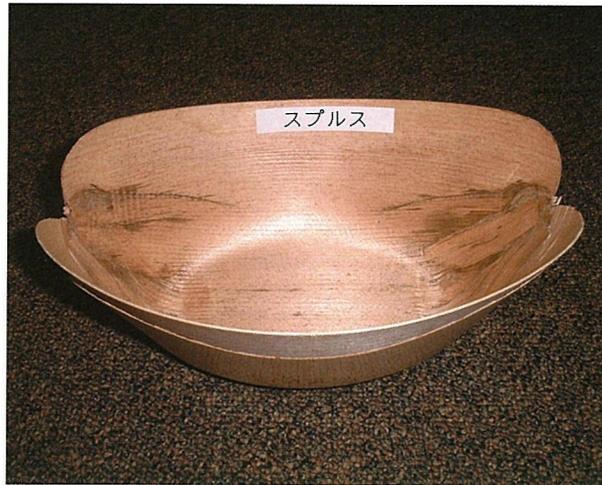


写真 28 スプルス単板を用いた木質トレイ



写真 29 ヒノキ単板を用いた木質トレイ

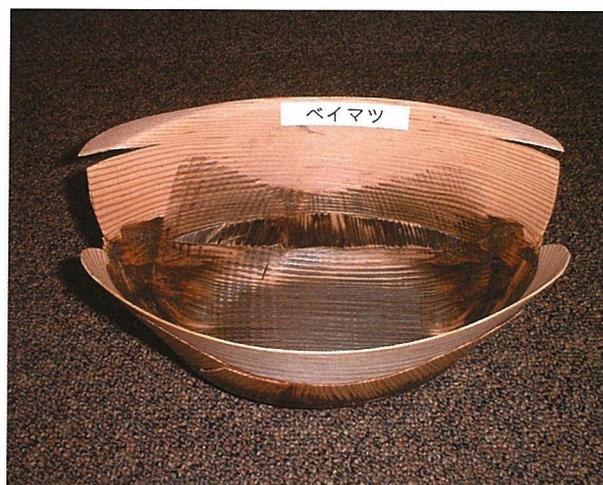


写真 30 ベイマツ単板を用いた木質トレイ



写真 31 タイヒ単板を用いた木質トレイ



写真 32 タモ単板を用いた木質トレイ



写真 33 タケ皮を用いた木質トレイ

5.4 スギ葉抽出成分による抗菌処理

5.4.1 試験方法

(1) スギ葉成分の抽出方法

スギ葉は、三股町の島津山林より5月にタノアカ（品種名）を採取した。スギ乾燥葉 160g を4回に分け3リットル三角フラスコに入れ、常温で約2週間の浸せき抽出を行った。1回の抽出が終わるごとに水温を40℃に設定したロータリーエバポレータを使用して注意深く濃縮を行った。抽出物の分離は、カラムクロマトグラフィを使用した。展開方法、展開溶媒は図15に示すとおりに行った。

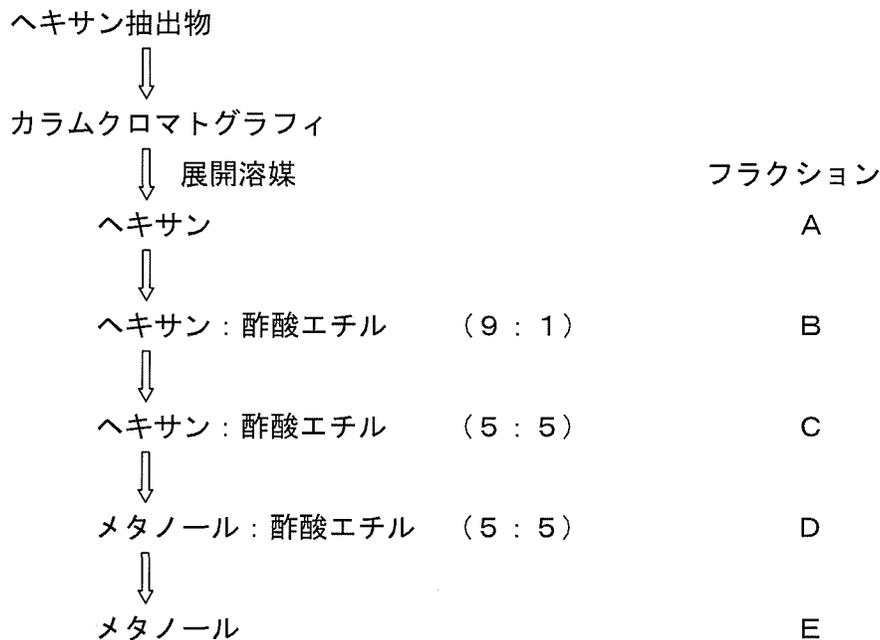


図15 カラムクロマトグラフィによるヘキサン抽出物の分離

(2) 抗菌試験方法

抗菌試験用の菌としては、大腸菌を使用した。大腸菌は、嫌気性グラム陰性菌で腸内細菌の一種で、生化学的研究材料として最も頻繁に用いられる細菌である。

大腸菌は感受性ブイヨン培地に、 10^8 cell/mL程度になるように調整し塗布した。スギ葉抽出物1%を環境対応型塗料に添加しトレイ作成用のスギ材（心材、辺材）に塗装した。ミュラーヒントンS寒天培地に大腸菌を塗布し、培地上にスギ塗装材とスギ未塗装材を置いた。37℃に設定したインキュベータに10日間培養し、増殖の程度を観察した。

5.4.2 試験結果

(1) スギ葉成分抽出結果

フラクション A は、無色透明で抽出成分はほとんど含まれないと思われたが、スギの芳香を有していた。これは芳香の主成分であるセスキテルペン、クリクトメリジオールと推定された。フラクション B から Isopimaric acid、Cis-Communic acid、ferruginol の 3 種類の抽出成分が確認された。これらの化学構造式を図 16 に示す。フラクション C から oplopanone の抽出成分が確認された。

ferruginol は、フェノール性ジテルペン類で、シイタケ菌の育成に強い阻害作用のあることが報告されている。

また、スギ全種には α -Pinen、Sabinen、D-Limone、Elemol、 α -Edesmol、Kaurene の存在が確認されている。 α -Pinen は森林浴として有名であり、Terpinen-4-ol、Elemol はラットに対して抗潰瘍作用を持つことが知られている。

(2) 抗菌試験結果

スギ未塗装材に多種類の菌が混合した状態でカビが発生した。この原因は不明であるが、スギ材に元々付着していたカビが大腸菌の影響を受け発生したものと推察される。辺材部では写真 34 に示すように全体に増殖し、心材部では写真 35 に示すように一部にコロニーが形成された。このことは、心材部には抽出成分が多く含まれているため、カビの増殖が辺材部より少なかったものと推察される。

スギ塗装材は、写真 36 及び写真 37 に示すように、辺材部及び心材部のいずれにおいてもカビあるいはコロニーの発生はなかった。このことは、塗装することによりスギ材に付着したカビの浮遊が押さえられたこと、塗料に添加したスギ葉抽出成分の作用によるものと考えられる。

また、大腸菌によるスギ材への汚染は、確認できなかった。

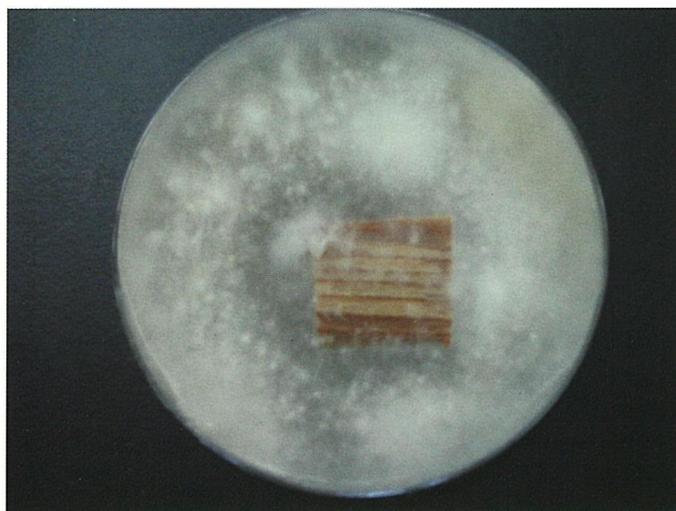


写真 34 未塗装辺材部



写真 35 未塗装心材部

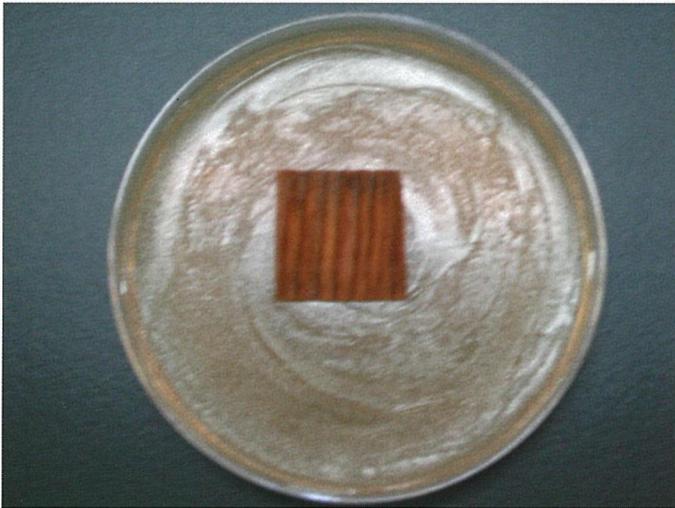


写真 36 塗装処理辺材部

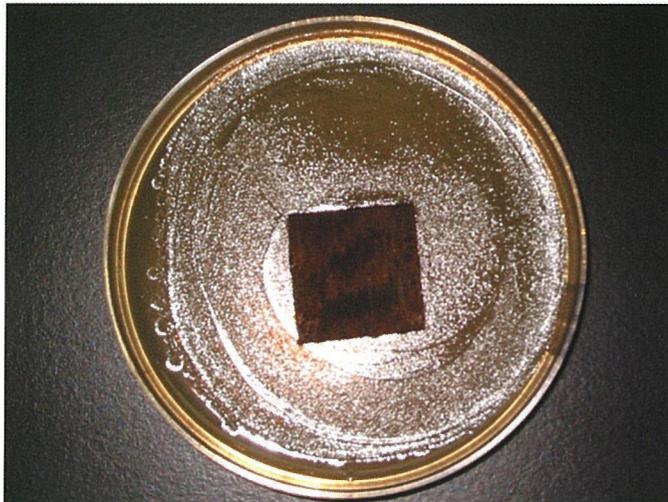
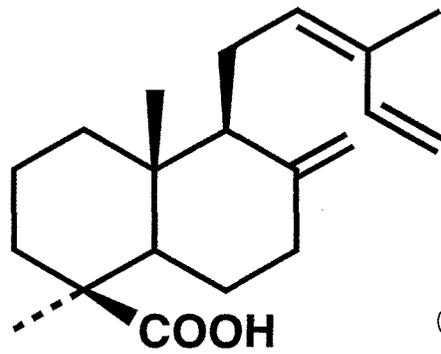
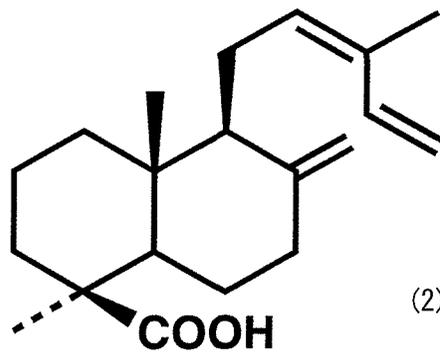


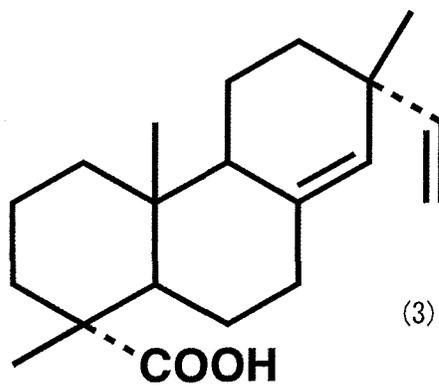
写真 37 塗装処理心材部



(1) Isopimaric acid



(2) Cis-Communic acid



(3) ferruginol

図 16 スギ葉からの主な抽出成分の化学構造式

5.5 変形・変質等試験

本試験研究においては、深底木質トレイの用途を食品用の容器として考えていることから、実際に食品を入れた場合の保存状態における食品の変質あるいは容器の変形などの性能について検討を行った。

5.5.1 試験方法

試験には、本試験研究で試作した深底木質トレイ及び深底木質トレイにスギ葉抽出成分から得られた抗菌剤を塗布したものを供した。また、比較のために、平形木質トレイ、ペーパートレイ、石油精製（スチロール）トレイに竹製かごトレイを加え、合計6種類のトレイについて実験を行った（写真38）。



写真38 変形・変質試験に供試した各種のトレイ

トレイに入れる食品としては、キノコ類の中から、ハタケシメジ、マイタケ、エリンギ及びシイタケの4種類を選定した。

それぞれの食品を入れ樹脂製フィルムにより密封された各種トレイを、恒温器の中へ放置し、毎日定時に観察並びに写真撮影を行い、供試トレイの変形や食品の変質について調査した。食品の変色あるいはカビの発生が確認された以降は食品が変質したものとし、それより前の期間を健全期間とみなし、その期間の長さによりトレイの食品保存性能を評価した。

温度条件としては、高温、常温及び低温の3段階の状態として、それぞれ28℃、22℃及び5℃を設定した。それぞれの温度を一定に保持した状態で行う実験に加えて、生産者～市場～販売店という流通の現状を想定し、温度が変動する状態での実験を行った。温度の変動は、季節に応じ、夏期、冬季及びその間の春、秋に相当する中間期を想定した3種類とした。温度一定及び温度変動のそれぞれの温度設定は以下に示すとおりであり、試験期間はいずれも22日とした。

- ① 高温 (28℃) 22 日間
- ② 常温 (25℃) 22 日間
- ③ 低温 (5℃) 22 日間
- ④ 夏期条件 低温 (2 日間) ~ 高温 (2 日間) ~ 常温 (1 日間) ~ 低温 (17 日間)
- ⑤ 中間期条件 低温 (2 日間) ~ 常温 (3 日間) ~ 低温 (17 日間)
- ⑥ 冬期条件 低温 (4 日間) ~ 常温 (1 日間) ~ 低温 (17 日間)

抗菌剤を塗布した深底木質トレイは6月10日から6月30日までの期間で実験を行い、それ以外のトレイについては5月20日から6月9日の期間に実験を行った。試験の状況を写真39及び写真40に示す。



写真39 食品を入れ密封した各種のトレイ



写真40 試験で使用した恒温器（インキュベータ）

5.5.2 試験結果

各温度条件における試験記録を参考資料 5 から参考資料 10 に示す。また、抗菌剤を塗布した深底木質トレイの試験記録は、試験期間が異なっていたため、別途、参考資料 11 に示す。これらの試験記録から、トレイの中に入れた食品に変色やカビの認められない健全な状態であった期間（日数）を読みとり、これを各種トレイの保存性能として評価を行った。

なお、今回の実験においては、試験環境内の湿度はとくに設定を行っていない。今回の試験条件の範囲においては、トレイの変形及び破損等は発生していなかった。

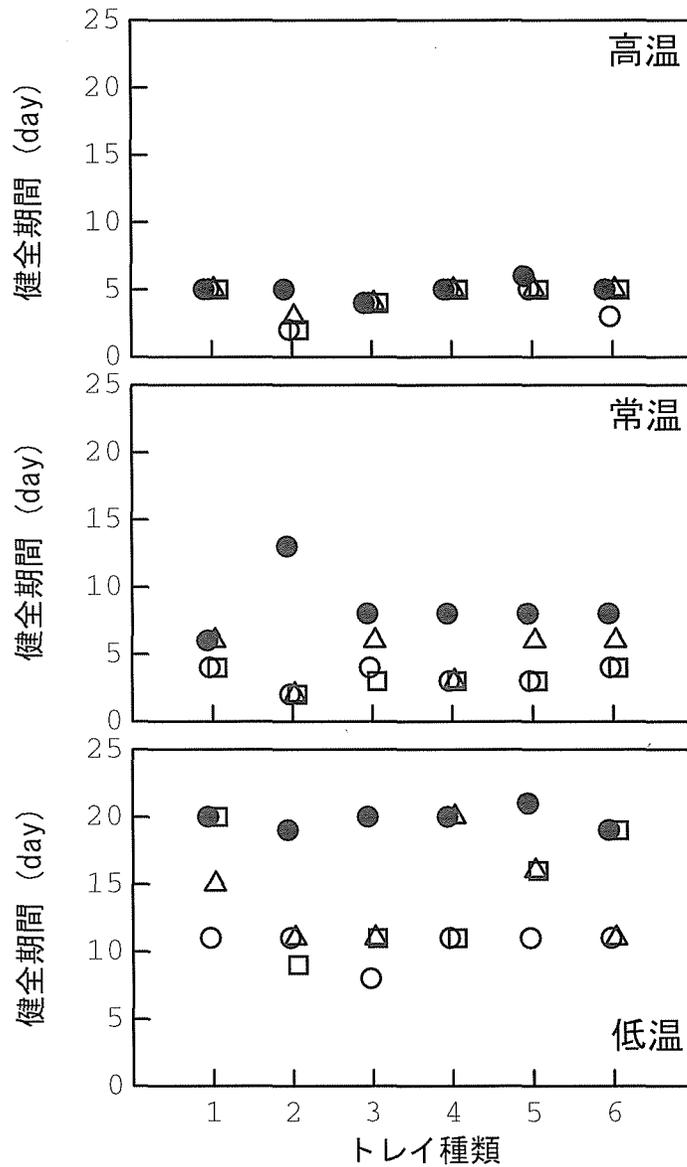
(1) 温度一定状態

温度一定状態における試験結果を図 17 に示す。高温の条件下においては、トレイの種類及びキノコの種類に関係なく、ほぼ 5 日程度で変色が生じていた。常温及び低温と保存温度が低くなるに伴い健全期間が増加し、キノコの種類による差が明白となった。ハタケシメジは、他のキノコに比べて健全状態が長く続く傾向にあった。トレイの違いによる差は、ハタケシメジにおいては抗菌塗装した深底木質トレイの常温状態において健全期間が長かったものの、その他のトレイでは大きな差は認められなかった。その他のキノコにおいては、低温状態において、深底木質トレイ及びスチロールトレイにシイタケあるいはエリンギを入れた場合、また、竹製カゴにシイタケを入れた場合に、他のものより若干長く健全な状態を保っていた。

(2) 温度変動状態

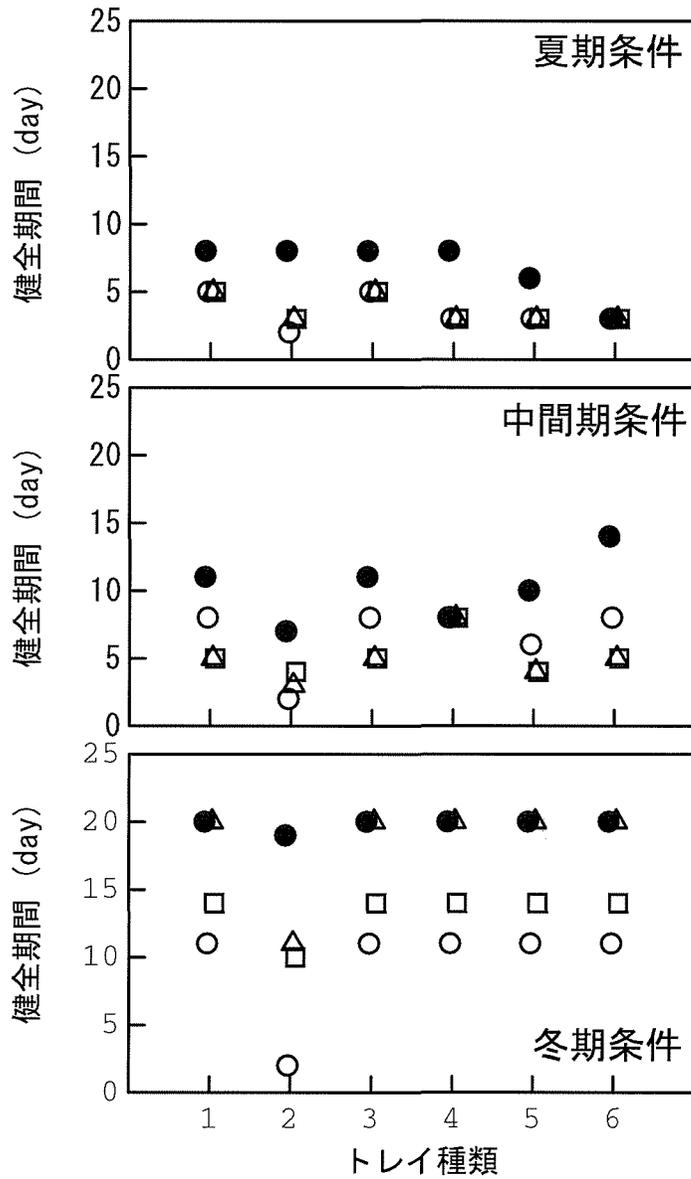
温度変動状態における試験結果を図 18 に示す。全体的に見ると、温度の高い状態が長く続く夏期条件において健全期間が短く、中間条件から冬期条件へと健全期間が長くなる傾向にあった。夏期条件においては、ハタケシメジを入れた場合には、スチロールトレイ及び竹製カゴで健全期間が短く、その他のトレイでは差は認められなかった。その他のキノコを入れた場合には、深底木質トレイと平型木質トレイにおいて若干長い健全期間を示した。木質トレイでは、木材がトレイ内部の湿気の調整や、容器内に発生する気中菌糸の調整を行うことで日持ちが良くなったものと考えられる。しかしながら、抗菌塗装を行った深底木質トレイは、他の温度条件においてもそうであるが、他のトレイに比べ保存性能に劣る傾向にあった。原因の一つとして、抗菌塗装をした深底木質トレイは他のトレイと試験をした期間が異なっており、そのとき準備したハタケシメジ以外のキノコ類では、その初期状態に問題があるものが含まれていた可能性があると考えられる。また、抗菌塗装トレイは、スギ葉抽出成分から得た抗菌剤をアマニ油で希釈し塗装しているため、その油分が木質トレイの吸湿性を抑制し、トレイ内の湿気の調整や気中菌糸の調整ができず、他のトレイとの差はないか、また、低い保存性を示したものと考えられる。

中間期条件では、木質トレイが他のトレイより、若干よい保存性を示したが、冬期条件ではトレイの種類による差はほとんど認められなかった。



注：1) トレイ種類 1:木質・深底、2:木質・深底・塗装、
 3:木質・平型、4:ペーパー、5:スチロール、6:カゴ
 2) 内容物 ● :ハタケシメジ、○ :マイタケ、
 △ :エリンギ、□ :シイタケ

図17 温度一定状態における各種トレイの保存期間



注：1) トレイ種類 1:木質・深底、2:木質・深底・塗装、
 3:木質・平型、4:ペーパー、5:スチロール、6:カゴ
 2) 内容物 ● :ハタケシメジ、○ :マイタケ、
 △ :エリンギ、□ :シイタケ

図18 温度変動状態における各種トレイの保存期間

6. 実用化の見通し

今回の試験調査において、2枚のスギ単板を直交するように重ね合わせ熱圧することにより、接着剤を使用せずに深底の木質トレイが成型可能であることを確認し、その適正熱圧条件を明確にすることができた。また、試作を繰り返し行っていく中で、大量生産を行う場合の問題点やその解決方法についてかなり検討することができた。今後、実際に製造するためのホットプレスをどのように設計していくのかが重要な問題となると考えられるが、今回の試験調査で設計に必要な知見を十分に得ることができたと判断する。

また、食品販売用の容器としての性能も、実際に食品を入れて行った変質試験において、他の種類のトレイに勝るとも劣らない性能であることが確認され、まだキノコ類という限られた範囲ではあるが、食品流通においても充分通用するものと考えられる。

近年、消費者は自然、天然をキーワードとするものを志向する傾向にあり、また環境問題に対する意識も高まってきており、環境保全のため、あるいは自分の健康のためには少々価格が高くても購入するという人が増えつつある。本深底木質トレイは、天然資源である木材を使用しており、製造において接着剤を使用していないことから、使用後は燃やしたり、土の中で腐らせたりすることができ、環境に非常に優しいことが特徴である。また、スギの木肌が優しい感じを与え、形状もユニークであることから、市場で受け入れられるものと期待している。

なお、今回試作した深底木質トレイは、単板を複数枚組み合わせるだけでという非常に簡単な操作で製造可能であることから、製造技術の普及は非常に容易であると考えられる。

最後に、製造コストを如何に抑えられるかが実用化に向けての非常に重要な問題の一つであろうと考えられるが、これには製造装置、製造工程、原材料の供給体制、販路の開拓など様々な問題が控えており、早々の解決は困難であると考えられる。当面の間は、高級食材の販売用容器としての用途を開発することにより、少々高くても市場で利用される体制を確保しておき、販路の拡大や生産体制の充実を図りつつ、製造コスト削減を実施していかなければならないと考える。

7. 今後の対応

実用化に向けてまずは、実際製造を行うための装置の設計と製作を行う必要があるが、そのためには市場調査を行い、どのくらいの需要があり、その中でどれだけのシェアが確保できるのかを見極め、その数量を製作するための装置の規模、数量を決定しなければならない。また、相当量の需要が見込まれる場合には、単独の事業体では生産能力、設備資金などに非常に無理があり、十分な供給体制が整えられないため、複数の事業体で協力して事業化を進める必要があると考えられる。また、原材料を確保する体制を確立しておく必要があることから、例えば、森林組合、林業者、企業あるいは行政が一体となって地域ぐるみで事業化を進めて行くことも考えられる。

これまでに、宮崎県の西都、児湯、西米良などの地域において、この深底木質トレイに非常に関心を抱いている事業者があり、早急な実用化を望んでいる。この期待に応えるべく、実用化に向けてさらに努力をしていかなければならない。

実用化に向けては、キノコ類用のトレイとしての用途だけではなく、その他の食品への利用についての要望が高いことから、深底木質トレイの製造技術を利用し、他にどのような形状のものが製造可能であるか検討を行わなければならない。それに応じて、現在、8月より四角、長方形、丸など5種類の金型を用いた木製深底用器の成型実験を計画しているところである。

8. 特筆すべき成果

スギ単板を熱圧することにより接着剤を使用せずに深底木質トレイを製造する技術について研究を進めてきたが、その中で、幅の狭い単板を重ね合わせたり、編み込んだりすることにより、幅の広い単板を用いるのと同様に深底トレイを製造可能であることを確認した。このことは、間伐材などの小径木の有効活用に大きく貢献できるものと期待できる。

また、深底木質トレイの製造条件を検討する基礎試験において、ある熱圧条件においては単板どうしを熱圧のみにより接合可能であることを確認した。この熱圧による単板接合のメカニズムは現在のところ明らかになっていないが、この現象を利用することにより、さらに新しい技術が生まれてくるのではないかと期待している。

また、この単板接合部は接合面と平行方向の外力に対してはかなり大きな接合力を示すが、接合面と直交方向には非常に弱いという性質を持っている。この外力の方向により接合強度が大きく異なるという性質は、利用の仕方次第では非常におもしろい機能を有する製品が開発できるのではないかと考える。

9. 試験調査委員会 委員

委員長	藤元嘉安	宮崎県木材利用技術センター	木材加工部	部長
委員	岩崎新二	宮崎県木材利用技術センター	材料開発部	主任研究員
	落合裕司	株式会社 合電	テクニカルサポートグループ	研究員 (主任技術者)
	稲田啓次	株式会社 合電	総合企画グループ	研究員

10. 技術者

主任技術者	落合裕司	株式会社	合電	テクニカルサポートグループ	研究員
技術者	稲田啓次	株式会社	合電	総合企画グループ	研究員
	小林久孝	株式会社	合電	技術管理グループ	研究員
	野崎久美子	株式会社	合電	エンジニアリンググループ	研究員
	迫田博美	株式会社	合電	テクニカルサポートグループ	研究員

11. 他からの指導又は協力事項

①木質トレイのプレス試験

藤元嘉安 宮崎県木材利用技術センター 木材加工部 部長

②木質トレイのコーティング処理試験

岩崎新二 宮崎県木材利用技術センター 材料開発部 主任研究員

12. 参考文献

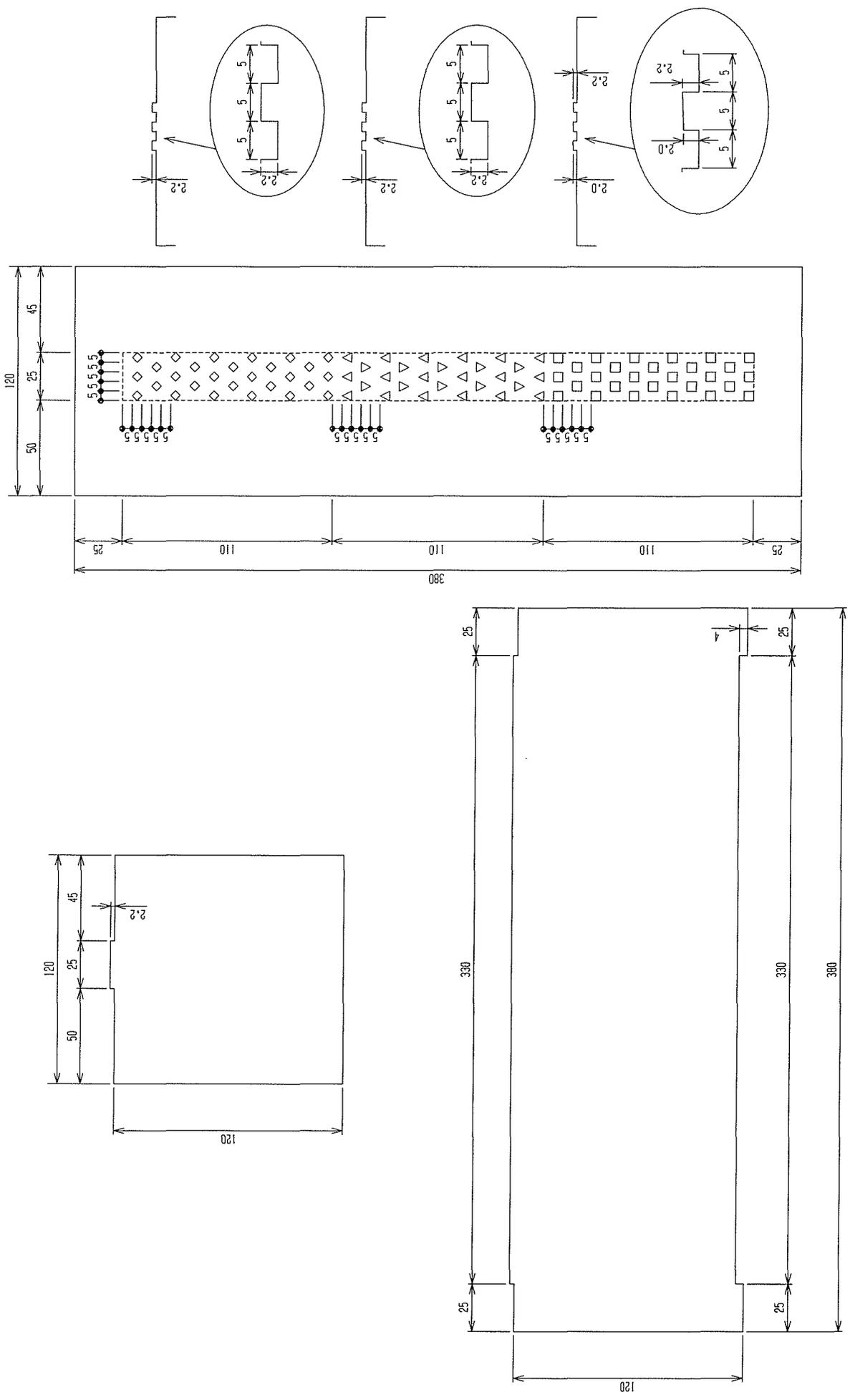
なし

13. 参考資料

- ①エンボス加工用凸金型設計図
- ②エンボス加工用凹金型設計図
- ③深底木質トレイ成型用凸金型設計図
- ④深底木質トレイ成型用凹金型設計図
- ⑤木質トレイ変形・変質試験記録（条件①高温）
- ⑥木質トレイ変形・変質試験記録（条件②常温）
- ⑦木質トレイ変形・変質試験記録（条件③低温）
- ⑧木質トレイ変形・変質試験記録（条件④夏期条件）
- ⑨木質トレイ変形・変質試験記録（条件⑤中間期条件）
- ⑩木質トレイ変形・変質試験記録（条件⑥冬期条件）
- ⑪木質トレイ変形・変質試験記録（スギ葉成分塗布試験）

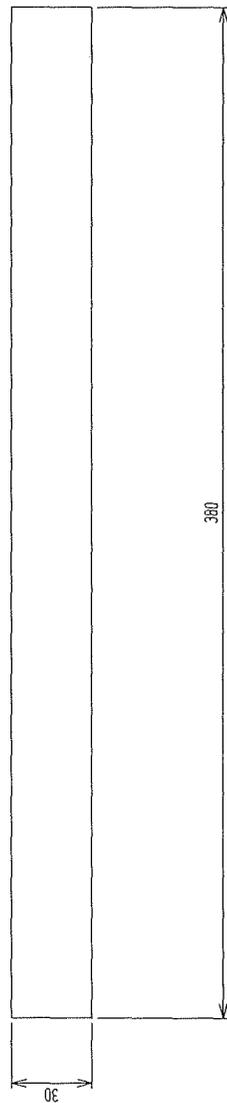
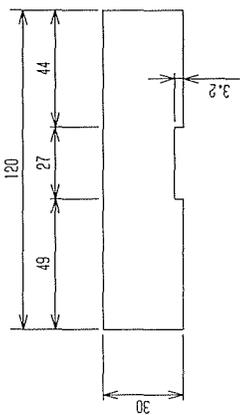
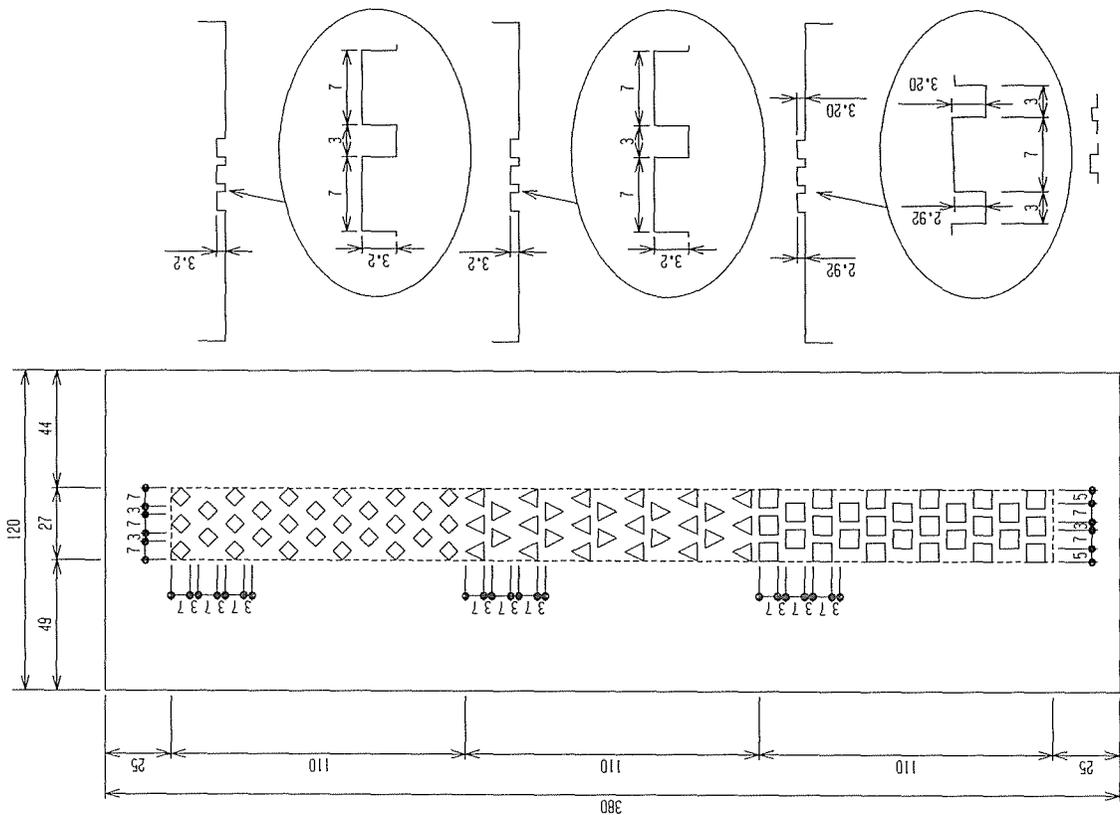
参考資料 1 エンボス加工用凸金型設計図

トレイ用金型 (1) - 1

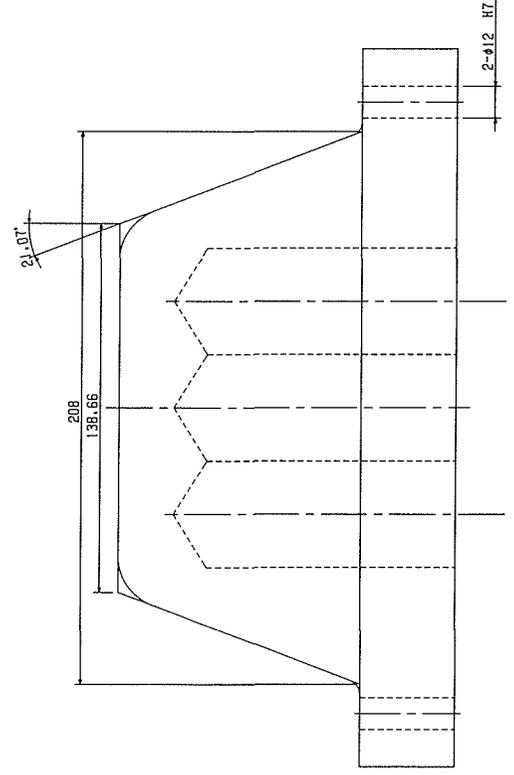
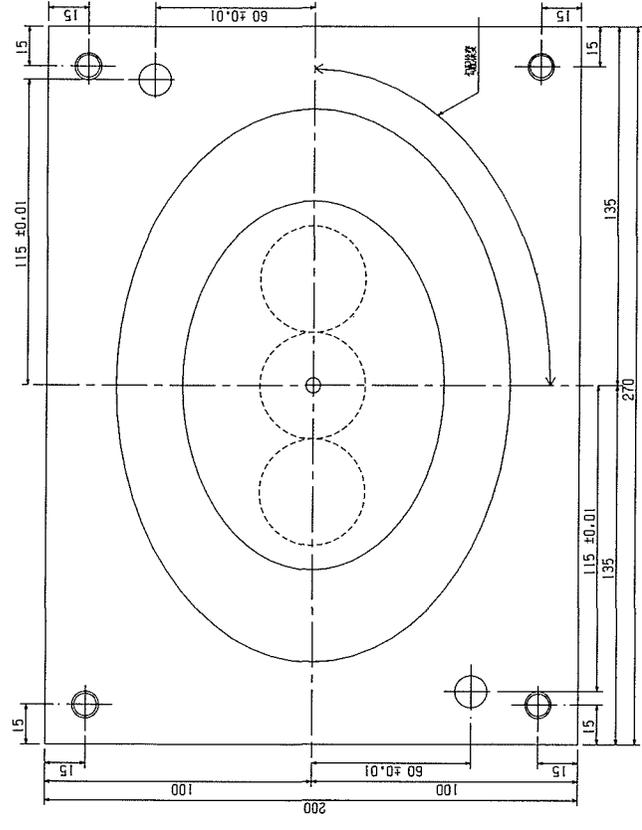
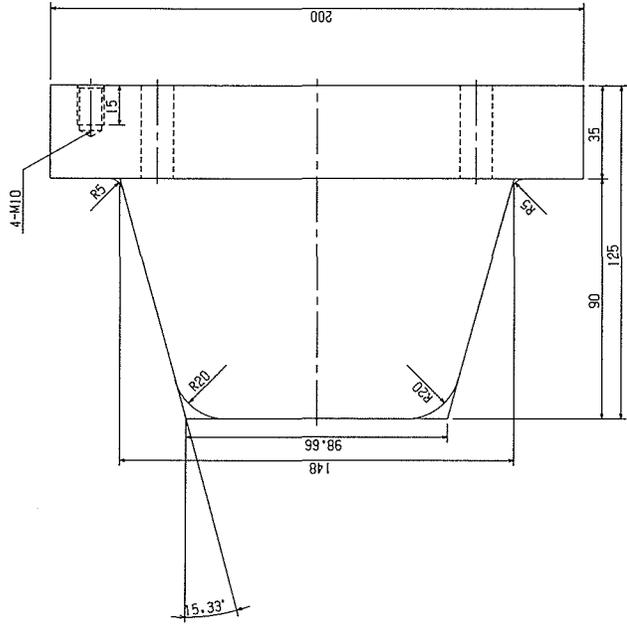


参考資料2 エンボス加工用凹金型設計図

トノイ用金型 (1) - 2

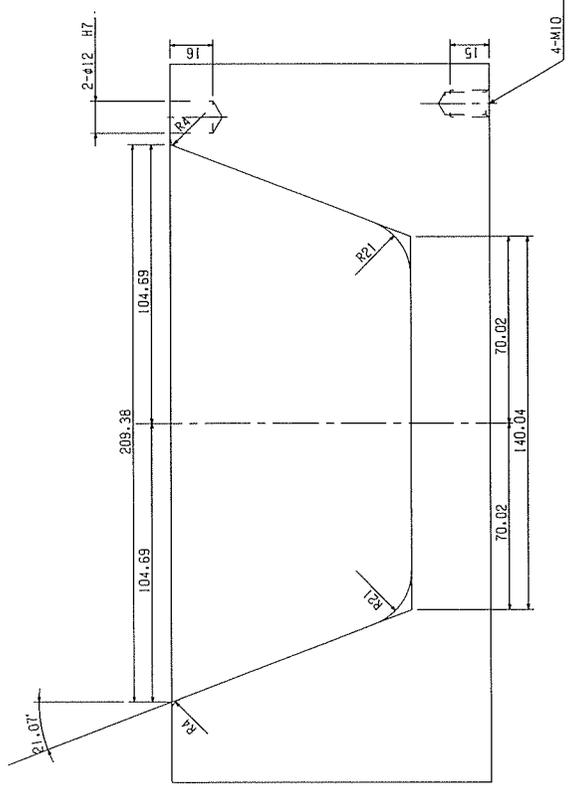
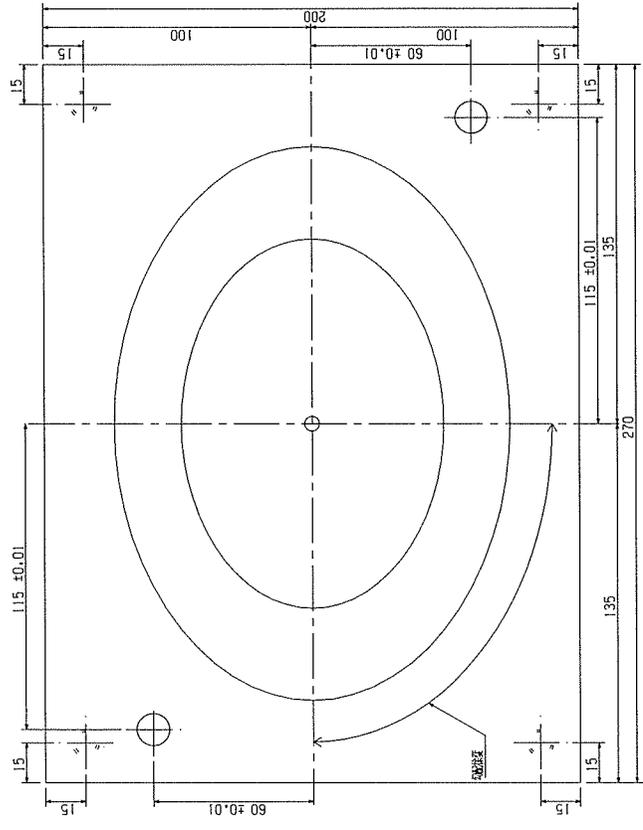
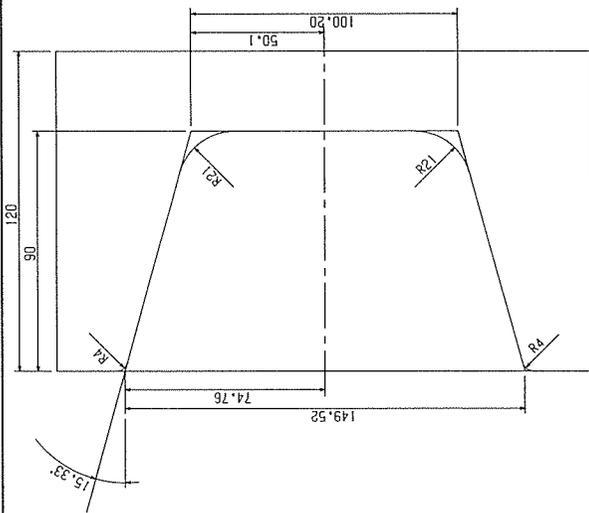


参考資料3 深底木質トレイ成型用凸金型設計図



1	図名	200×270×125	SE5C	1
1	数量		材質	硬質
	製品名	椎草トレイ	名称	加工図
	工番	K-03-900	甲種	株
	尺度	1/2	日付	02.03
			甲種	株
			甲種	株
			株	式
			社	地
				鐵
				工
				所

参考資料 4 深底木質トレイ成型用凹金型設計図



1	可動型 名称	200×270×120	S55C	1
	番号	寸法	材質	図紙
	製品名	材質トレイ	名称	加工図
図番	工程	K-03-900	株式会社	旭鐵工所
尺規	1/2	日付	02.03	氏名
			申経	1800
			申経	04

1308 準耐火構造ログハウスの開発

課題番号：1308

準耐火構造ログハウスの開発

ログハウス協会

要旨

平成12年6月施行された（2年目の施行）新しい建築基準法では、木造の建築物であっても必要な防火性能が満たされれば、防火地域及び準防火地域にも一定規模以下のものであれば、ログハウスも含め建築が可能になった。

この改正された建築基準法を有効に活用するために、ログハウスのそれぞれの部位についての耐火試験を公的試験機関でおこない、国土交通大臣の準耐火構造の認定を受け、これを公表することでログハウス建築の需要拡大を図りたい。

現在、準防火地域に建築可能なログハウスは、防火構造の大臣認定を取得しているケースで、階数が2の建物で延べ面積が500㎡以下の住宅等となっているが、今回の技術検証により準耐火構造の大臣認定が許可された場合には、防火地域において100㎡以下、準防火地域において1,500㎡以下のログハウスが建築可能となる。

このことにより、大都市やその周辺にもログハウスの建築が可能となり環境問題の改善や潤いのある街づくりに大きく貢献できることとなる。

キーワード

準耐火構造、ログウォール、載荷加熱試験、45分耐火、プレカット、含水率、NOTCH、重なり幅、加熱発泡材、通しボルト、だぼ、防火認定、木材の需要拡大

目次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	1
3. 試験調査の内容	2
4. 試験調査の日程	2
5. 試験調査の結果	11
5.1 試験方法	11
5.2 耐火試験の結果	14
6. 実用化の見通し	48
7. 今後の対応	48
8. 特筆すべき成果	48
9. 試験調査委員会 委員	48
10. 技術者	48
11. 他からの指導又は協力事項	49
12. 参考文献	49

準耐火構造ログハウスの開発

ログハウス協会

1. はじめに

21世紀を迎えて、地球環境保全と健康生活空間の構築が大きな問題となっている。木造建築物は、自然素材の木材を使用する建物として、その需要拡大は大きな意義がある。中でも壁をムク材だけで建築するログハウスは有害物質の発生も少なく、そのうえ調湿効果や、健康住宅として優れた性能があり、地球環境を守る中でログハウスの持つ役割も大なるものがあると考えられる。

改正された建築基準法では、木造でも所定の防火性能が満たされれば防火地域でもログハウスの建設が可能になった。現在、既に準防火性能（20分耐火）、防火構造（30分耐火）の大臣認定が109社に与えられ市街地にもログハウスの建設が可能となっており、住宅としてログハウスが徐々に建築されている。今後は、防火地域及び準防火地域の特殊建築物も建築できるよう準耐火構造（45分耐火）の開発を行い都市にもログハウスが建築可能にする必要がある。

ログハウス協会では、今後さらにこの成果を基に床・梁・屋根・階段等についても早急に試験調査を実施して準耐火構造ログハウスの実用化を図り、需要拡大に努めることとしたい。

この度、国土交通省により「丸太組構法に関する新告示411号」が制定され、この中でログハウスの用途や規模が大きく広がり、多様なログハウスの建築が可能となった。今後も更なる技術開発に努め、住宅は勿論、公共建築物や特殊建築物へも採用可能なログハウスを検討していくことが重要である。

2. 試験調査の目的

新しい建築基準法では、木造の建築物であっても防火性能が満たされれば、建築基準法に基づく防火地域及び準防火地域にもログハウスが建設可能となった。更に、国土交通省から平成14年5月15日付けで出された「丸太組構法技術基準の新告示の第411号」によれば、新たにログハウスの総2階建て、ログハウスと木造軸組工法、2×4工法、RC工法、S造の混構造も建築可能になった。

こうした状況の中で、ログハウスの準耐火構造の防火認定が得られれば殆どの都市でログハウスが自由に建設できるようになり、木材の需要拡大はもとより地球環境の改善にも寄与できると考えられる。

3. 試験調査の内容

(1) 試験体の概要

現在、国産スギ材を使用しているマシンカット方式のログハウスで一般的に普及している代表的な形状の中で、木材生産の地域性をも勘案し、下図形状の4タイプ各1体でいずれも重なり幅12cm前後の試験体とした。

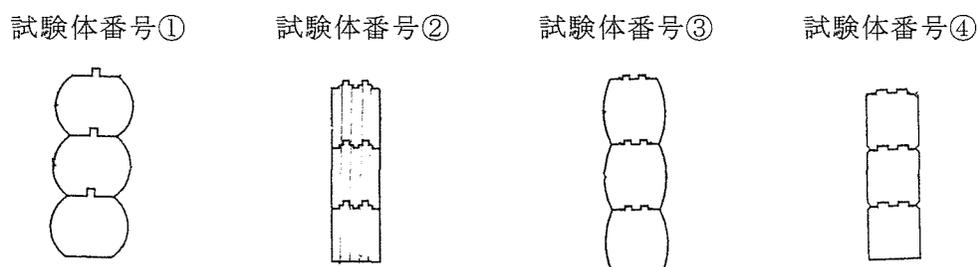


図 3-1 試験体断面形状

試験体① 丸形ログ一枚実、継手：本実継手 (図 3-3)

試験体② 集成材角形ログ二枚実、継手：あり継手 (図 3-5)

(接着剤：水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤)

試験体③ 楕円形ログ二枚実、継手：本実継手 (図 3-7)

試験体④ 角形ログ二枚実、継手：あり継手 (図 3-9)

ログ壁体の寸法は、幅 3,000 mm、高さ 3,150 mm で両端部より 375 mm の位置に袖壁を組み込んだ形状で、ログ壁内の上下方向を径 13 mm の通しボルト (1 体はダボ併用) により緊結し、加熱側の左右端部には平型鋼、非加熱側の左右端部には溝型鋼を取り付けて固定した。

また、試験体番号①、③、④の接合部、継手周辺部には加熱発泡材を挿入した。加熱試験体の壁体図の詳細を図 3-2～9 に示す。

(2) ログ壁体の載荷耐火試験

45 分耐火を確認するためのログの重なり幅、継手の形状、交差部の性能、加熱発泡材の効果等を検証した。試験は(財)ベターリビングに委託した。

4. 試験調査の日程

平成 14 年 2 月から平成 14 年 7 月まで

- 1-9:ロウ 接合部 加熱履歴図
- 10-18:ロウ 接合部 中央履歴図
- 19-27:ロウ 接合部 履歴図
- 40-43:ロウ 交差部 中央履歴図
- 44-47:ロウ 交差部 履歴図
- 28-31:ロウ 継手部 加熱履歴図
- 32-35:ロウ 継手部 中央履歴図
- 36-39:ロウ 継手部 履歴図

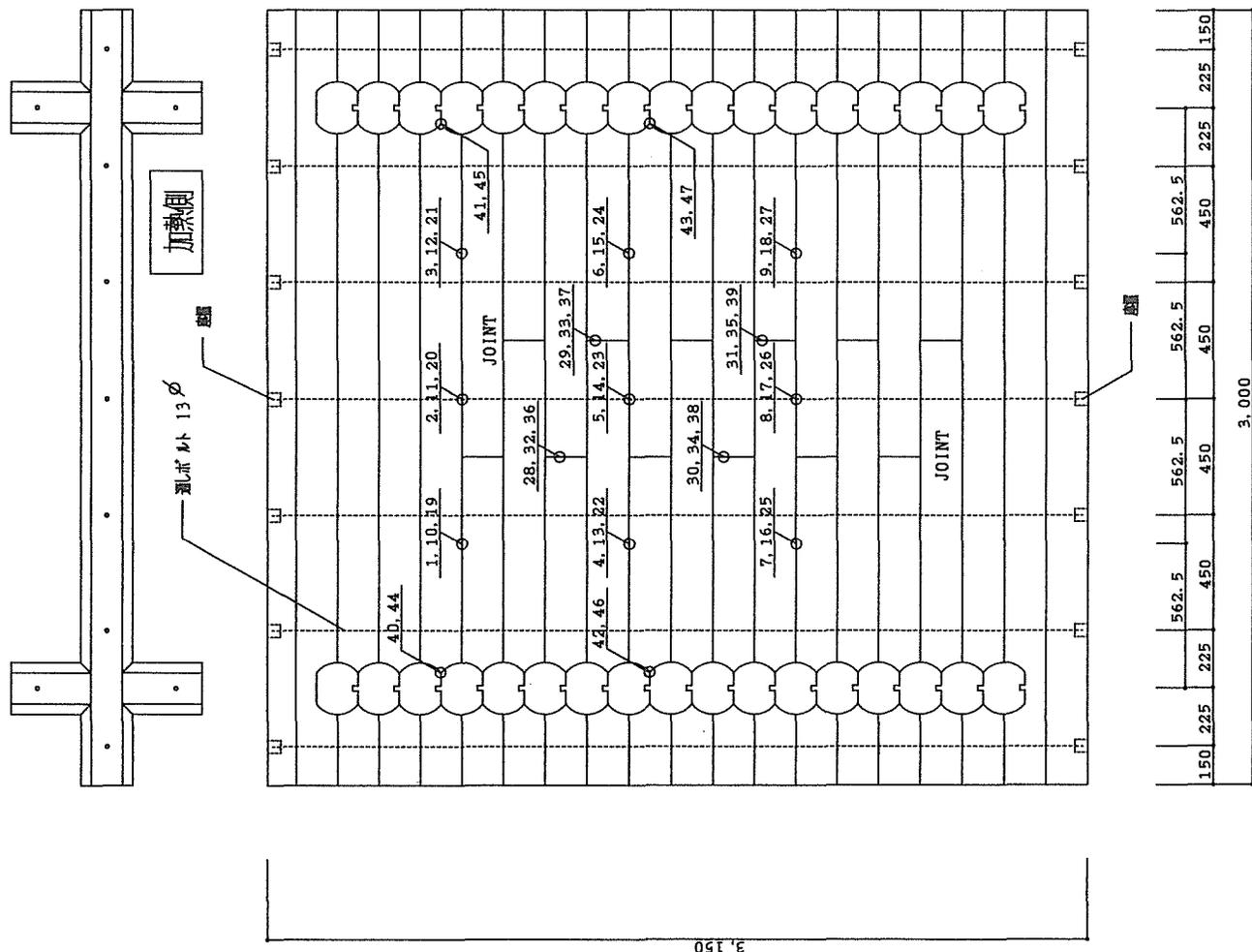
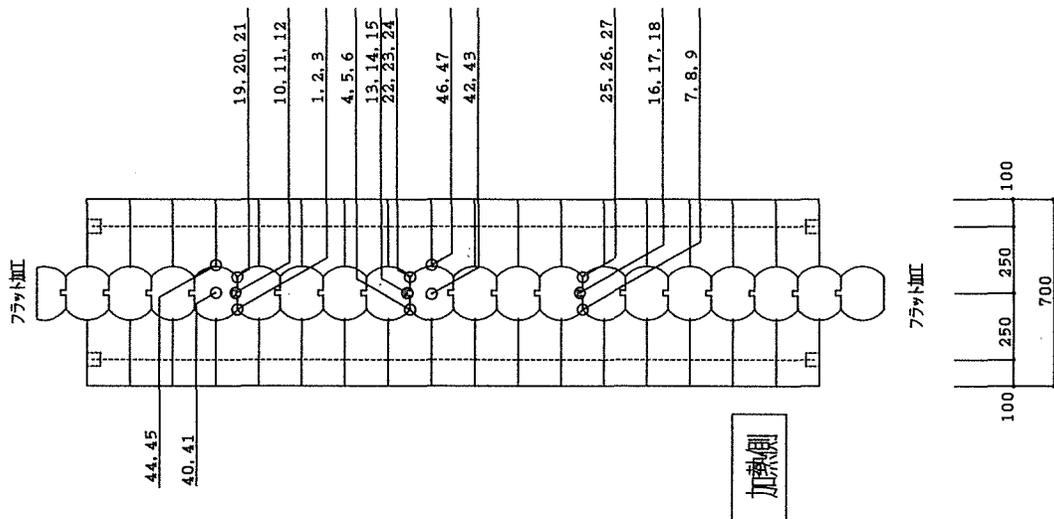
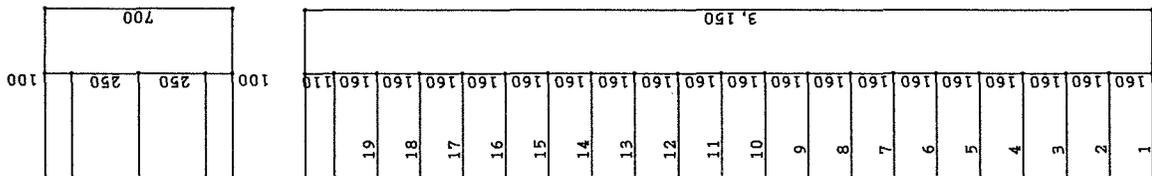
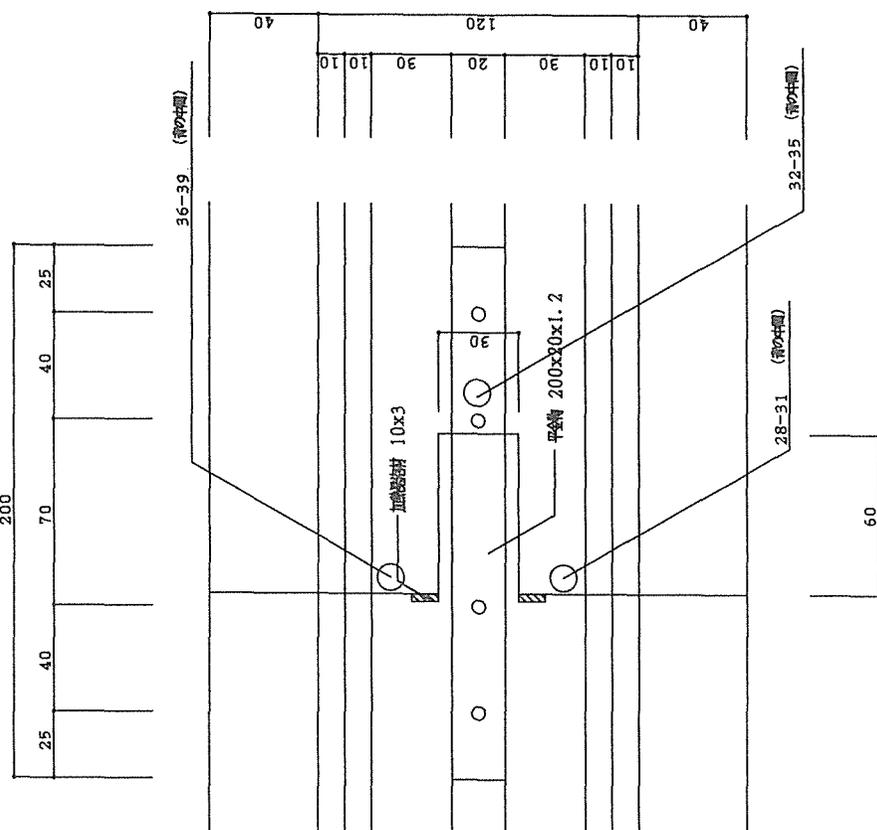
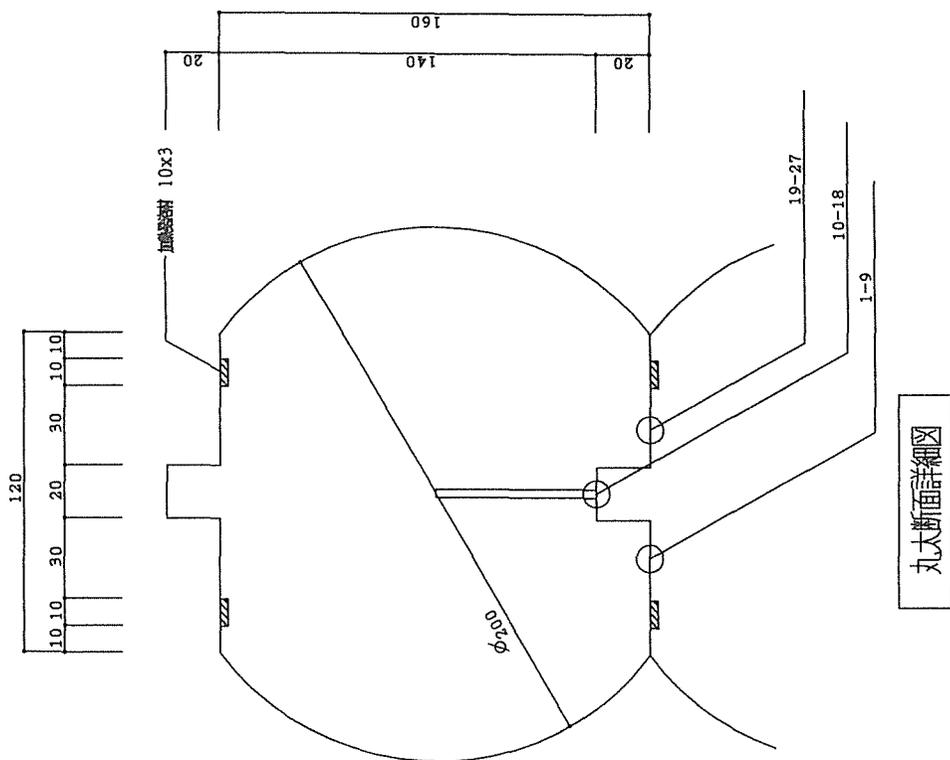


図 3-2 (試験体① 全体図)



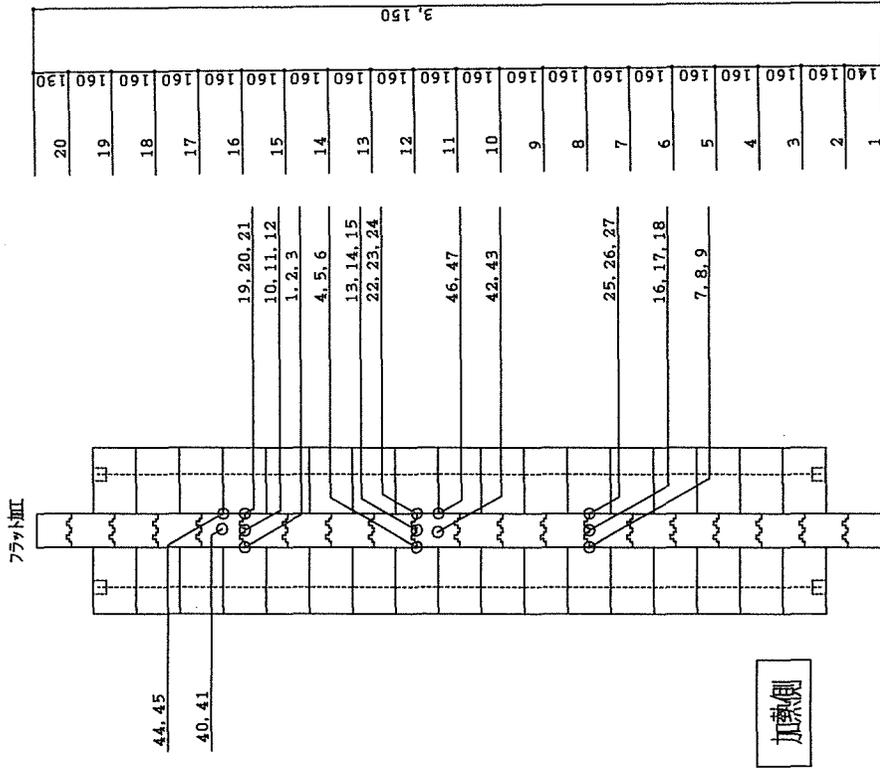
継手詳細図

丸太断面詳細図

図 3-3 (試験体①) 断面詳細・継手詳細

- 1- 9: □/ 接合部、加熱部裏面図
- 10-18: □/ 接合部、中央部裏面図
- 19-27: □/ 接合部、裏面図
- 40-43: □/ 交差部、中央部裏面図
- 44-47: □/ 交差部、裏面図
- 28-31: □/ 継手部、加熱部裏面図
- 32-35: □/ 継手部、中央部裏面図
- 36-39: □/ 継手部、裏面図

100	625
212.5	212.5
100	



100	212.5	212.5	100
625			

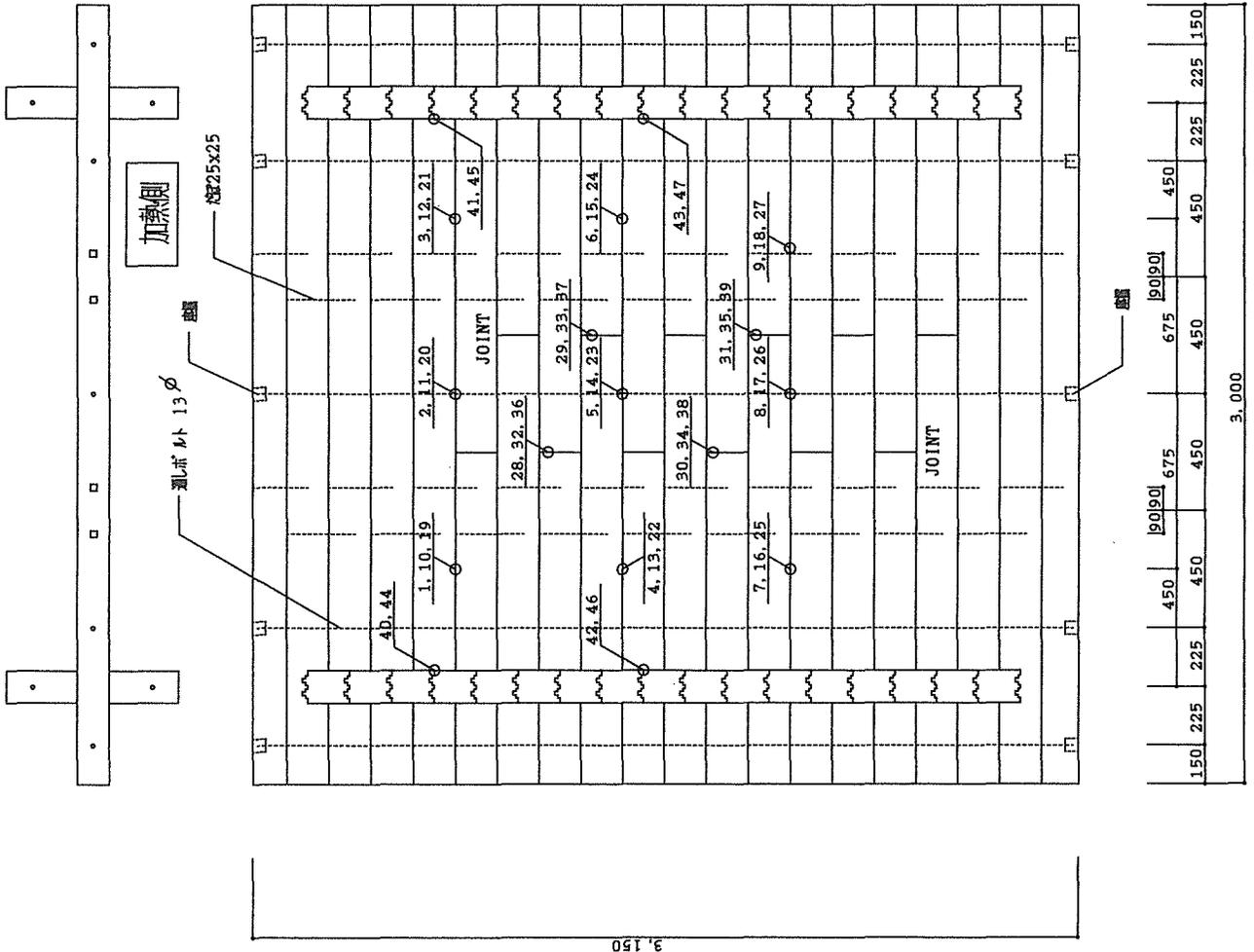


図 3-4 (試験体②) 全体図

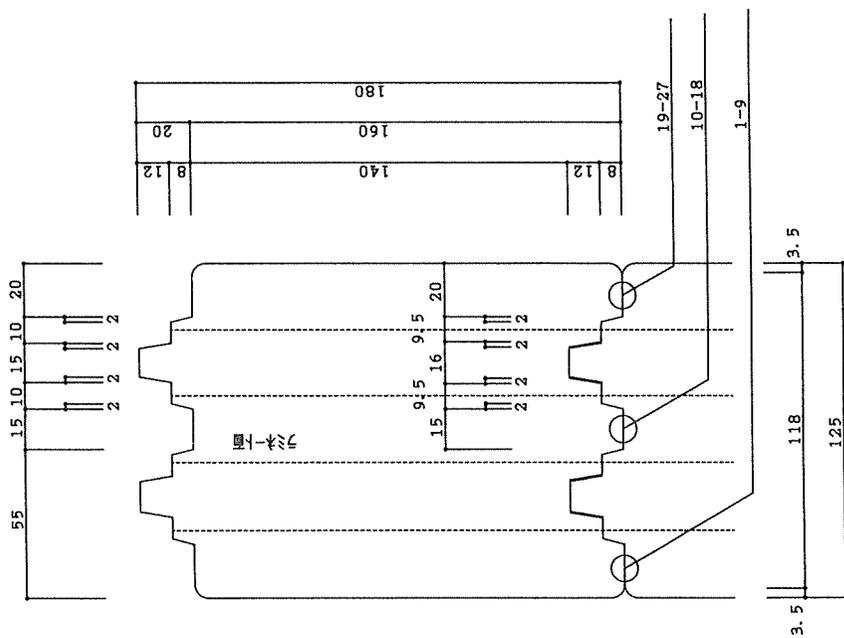
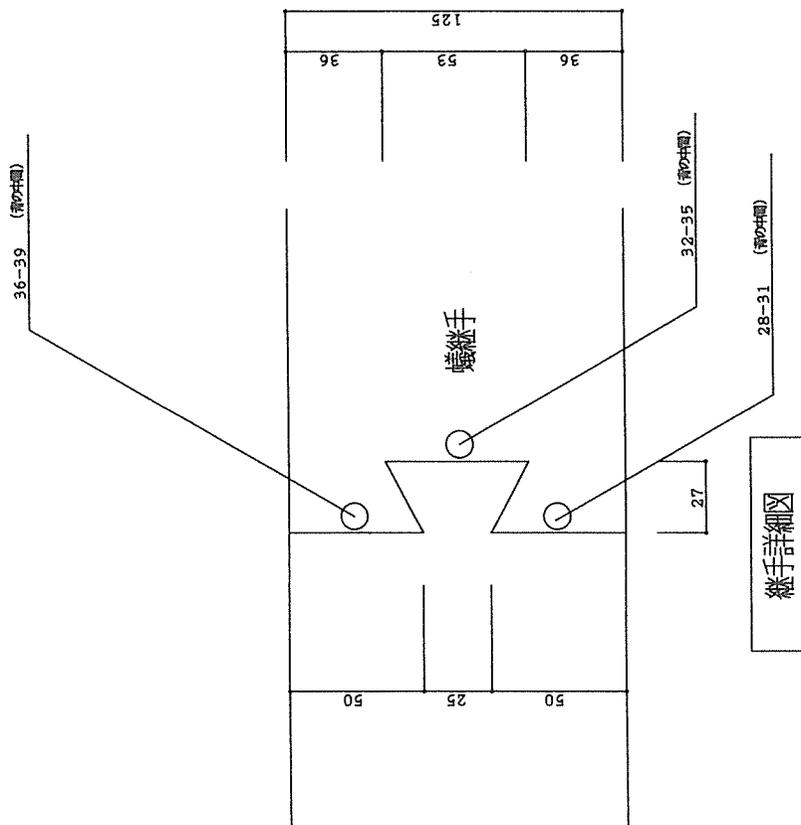


図 3-5 (試験体②) 断面詳細・継手詳細

- 1- 9: ロウ 接合部, 加熱部, 加熱部, 加熱部
- 10-18: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部
- 19-27: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部
- 40-43: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部
- 44-47: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部
- 28-31: ロウ 接合部, 加熱部, 加熱部
- 32-35: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部
- 36-39: ロウ 接合部, 中央部, 加熱部

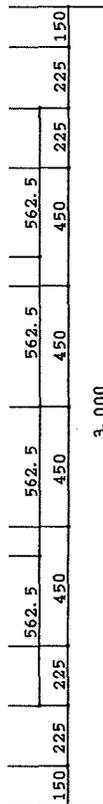
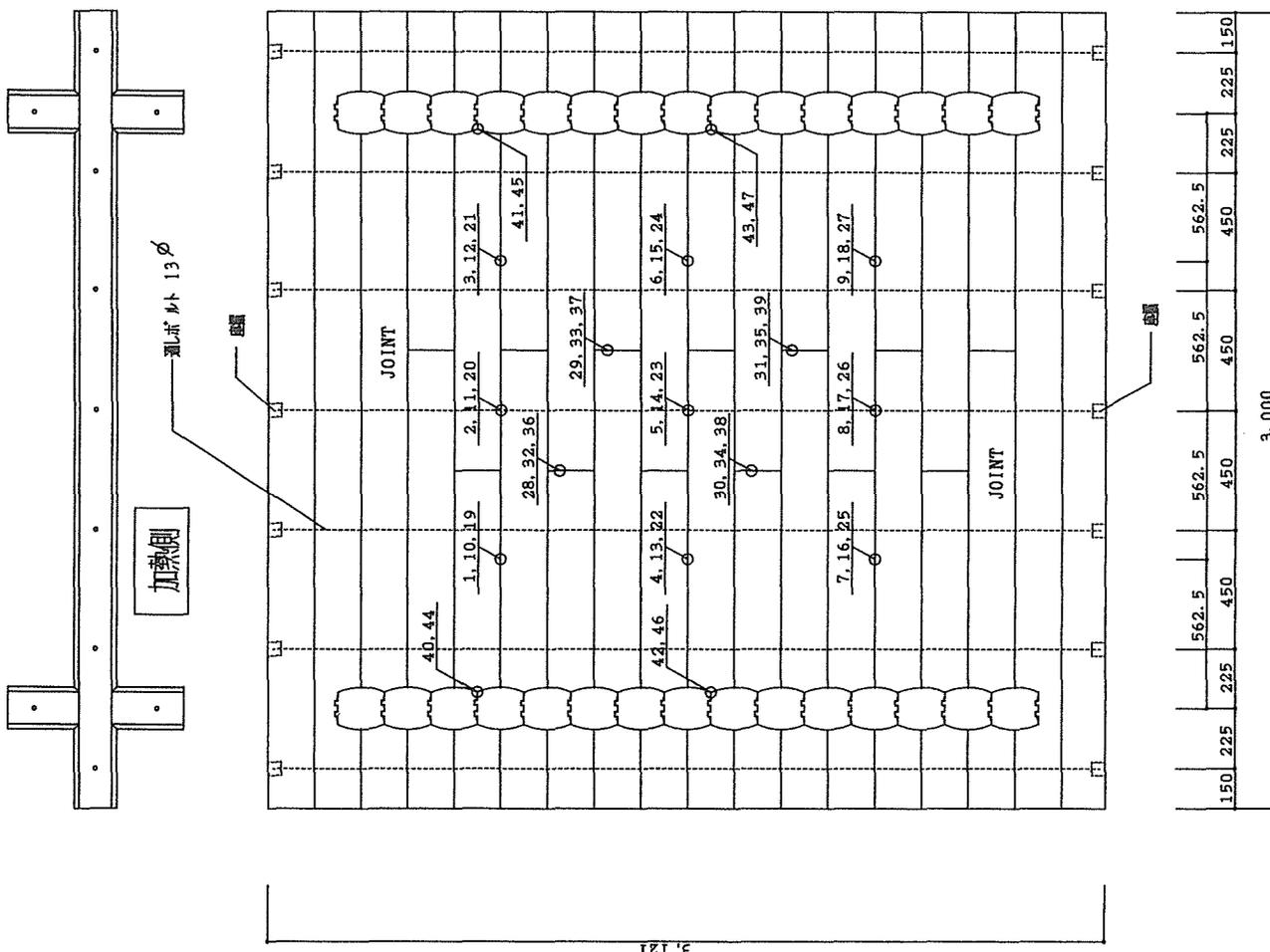
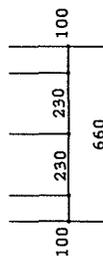
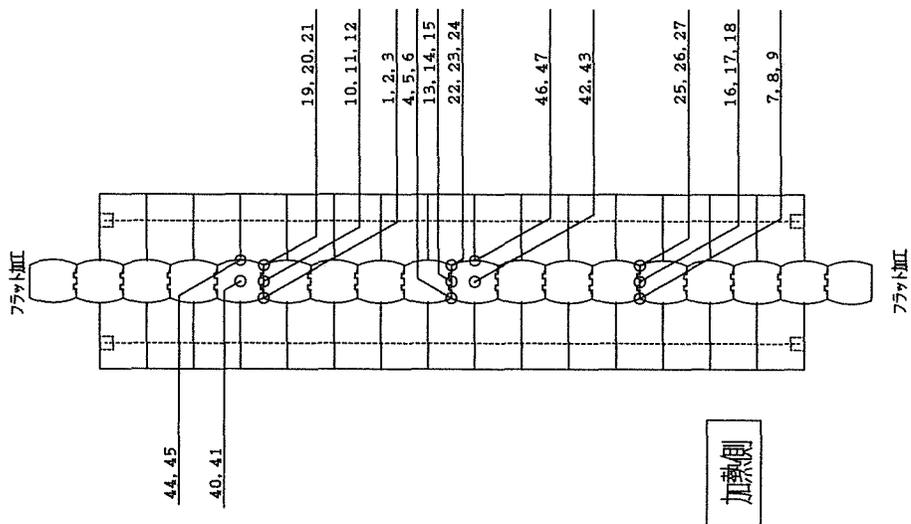
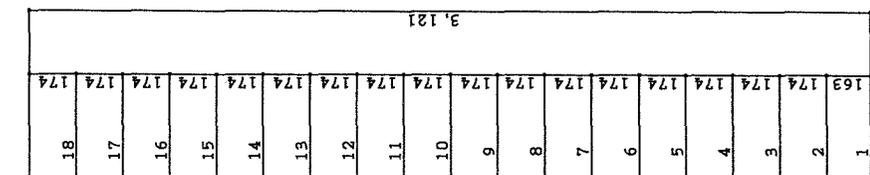
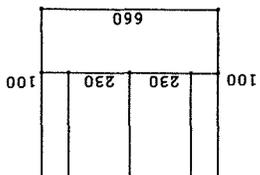


図 3-6 (試験体③) 全体図

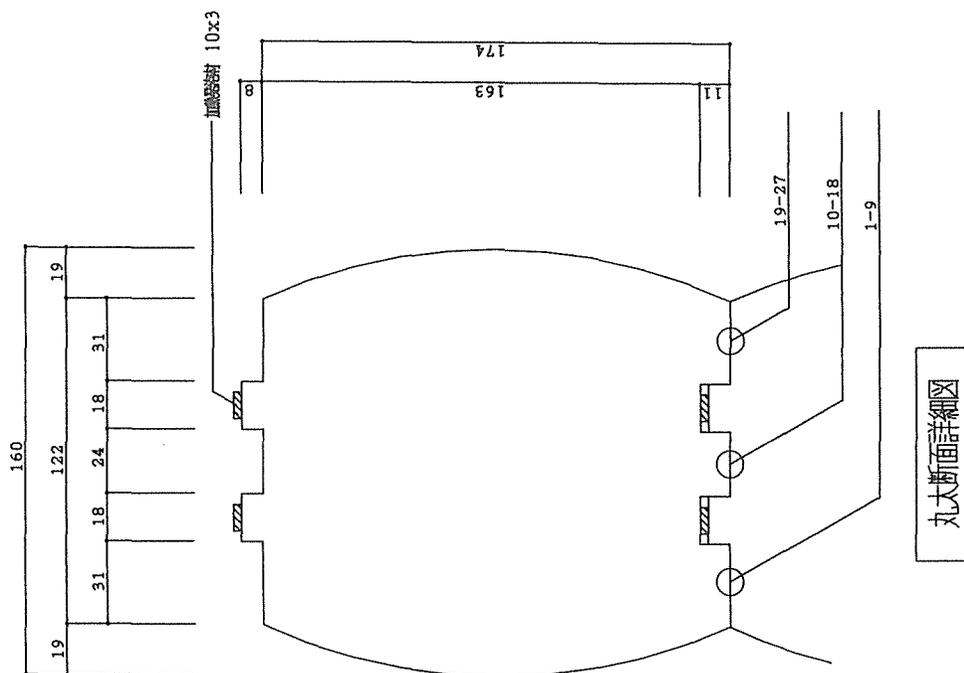
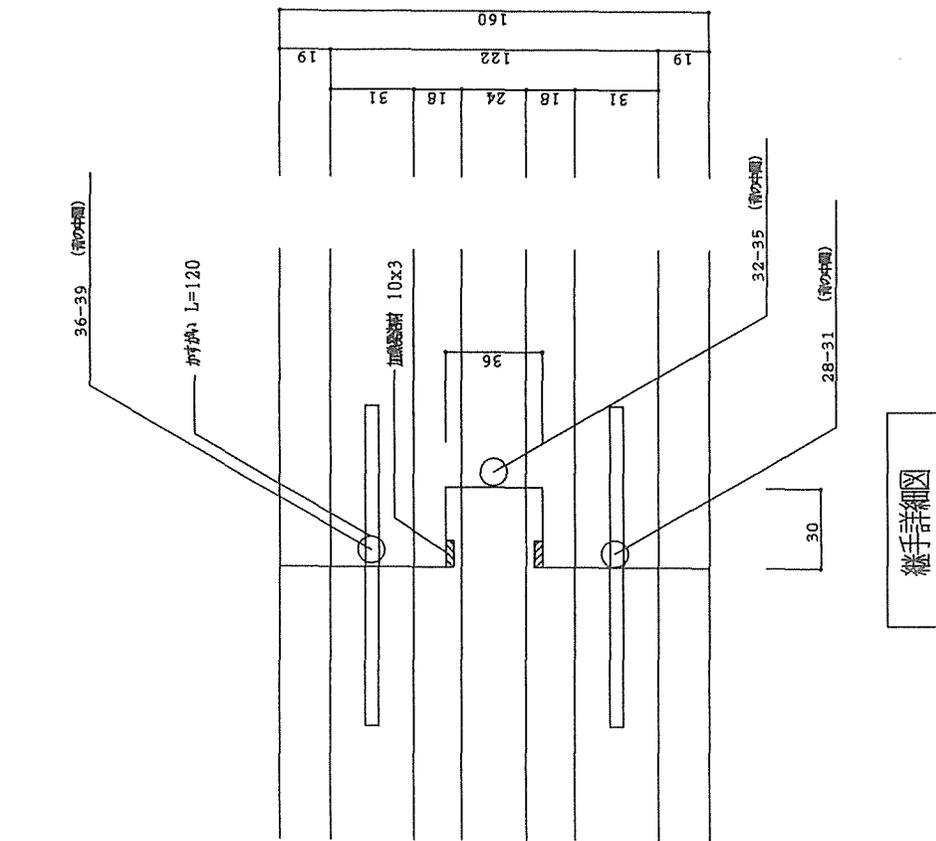


図 3-7 (試験体③ 断面詳細・継手詳細)

- 1-9: ロウ 接合部 加熱部 温度計設置部
- 10-18: ロウ 接合部 中央位置温度計
- 19-27: ロウ 接合部 温度計設置部
- 40-43: ロウ 接合部 中央位置温度計
- 44-47: ロウ 接合部 温度計設置部
- 28-31: ロウ 接合部 加熱部 温度計設置部
- 32-35: ロウ 接合部 中央位置温度計
- 36-39: ロウ 接合部 温度計設置部

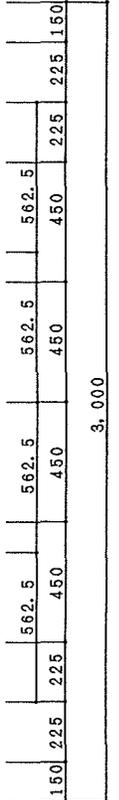
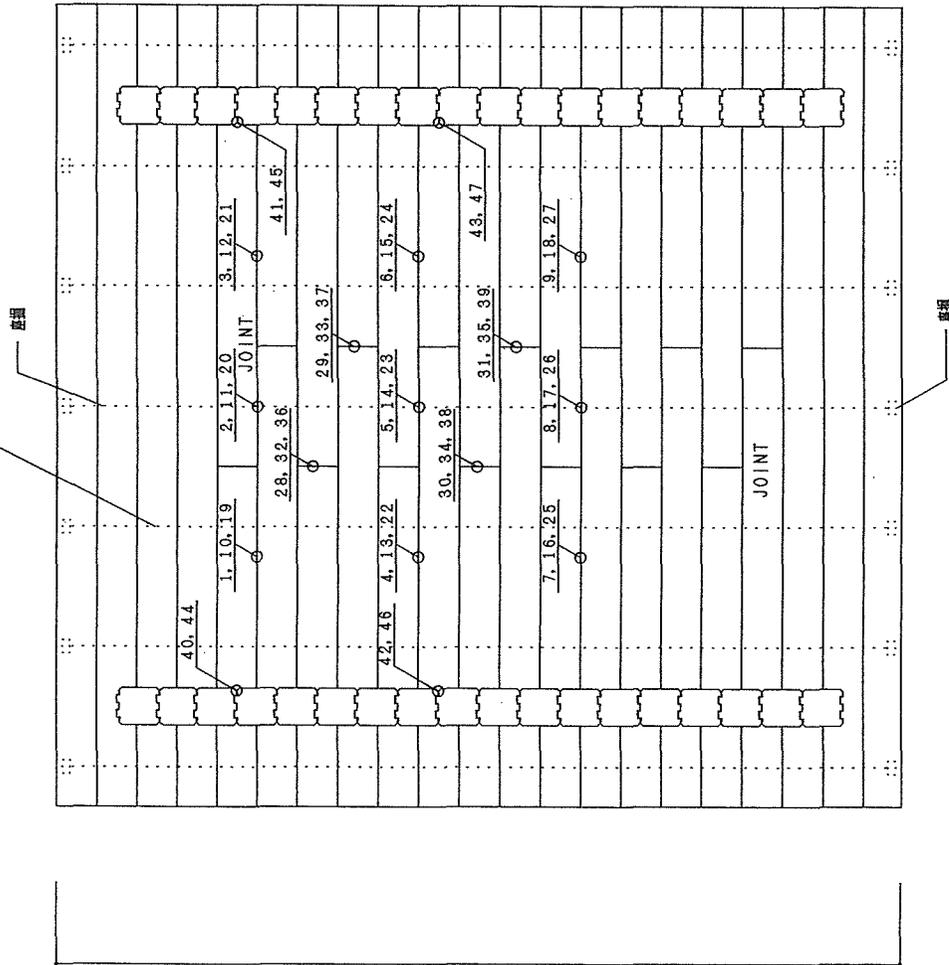
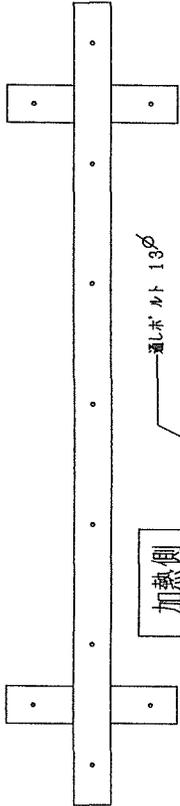
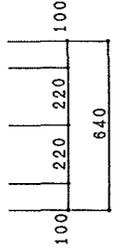
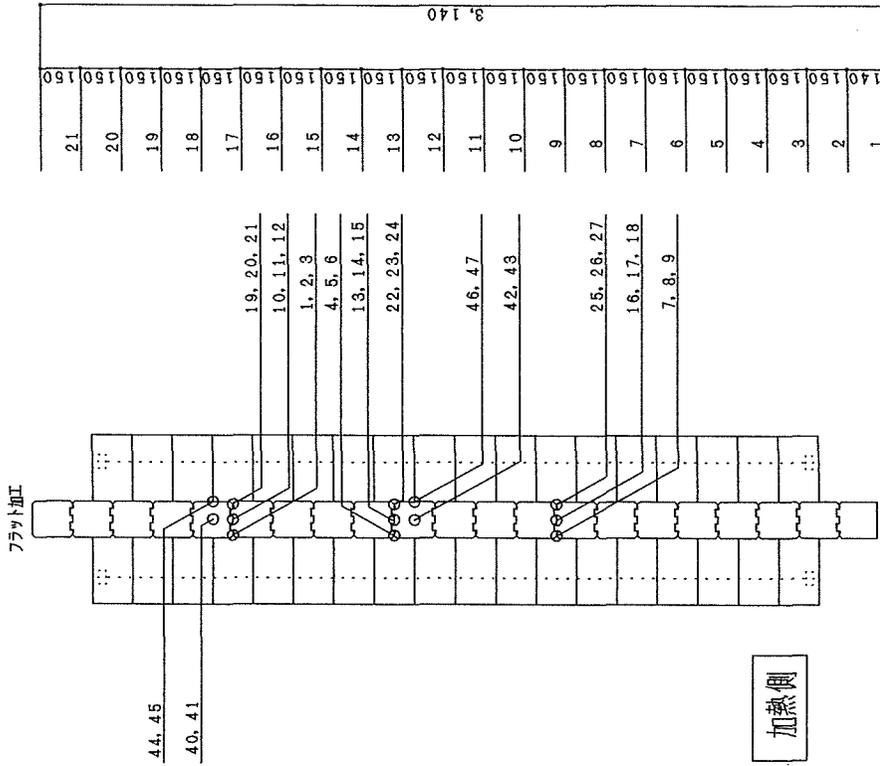
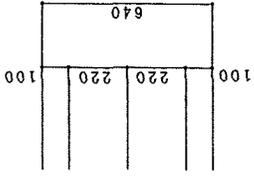


図 3-8 (試験体④) 全体図

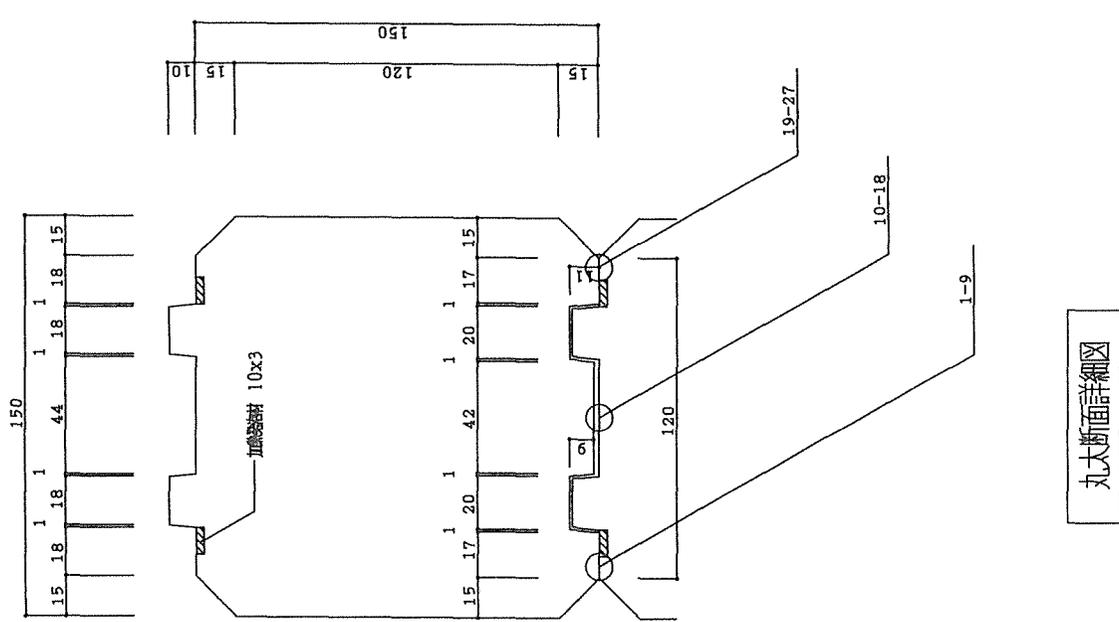
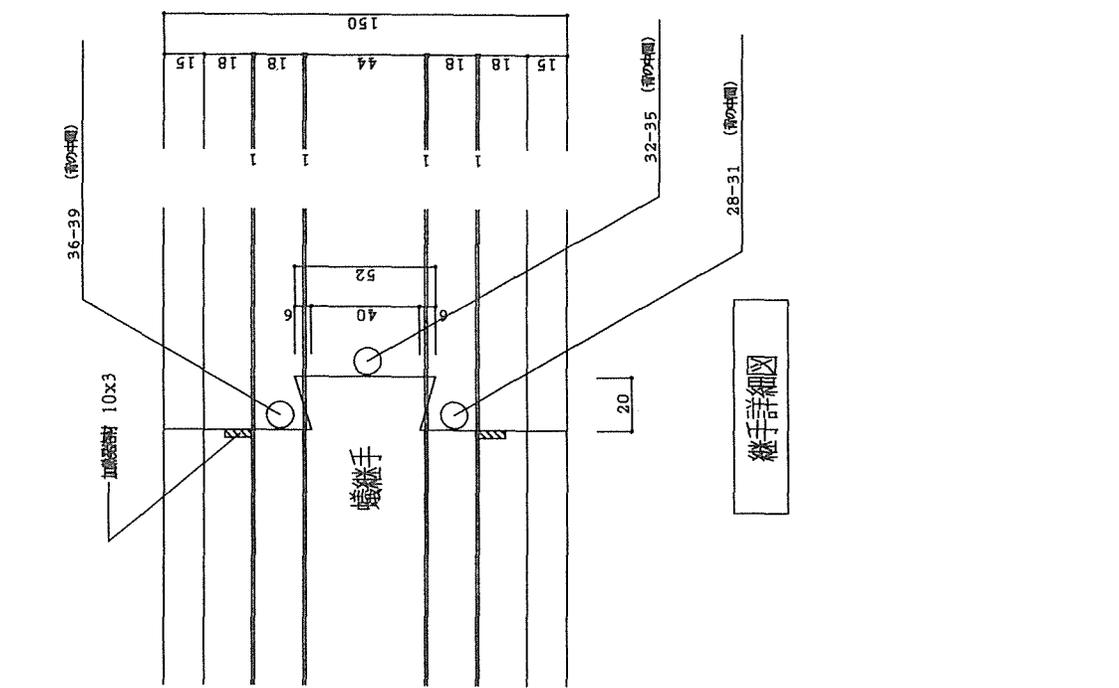


図 3-9 (試験体④) 断面詳細・継手詳細

5. 試験調査の結果

5.1 試験方法

(1) 加熱方法

加熱試験には、図 5-1 に示す垂直加熱試験炉（幅 3,000 mm、高さ 3,000 mm）を用いた。
この試験炉は、都市ガス（13A）を燃料としている。

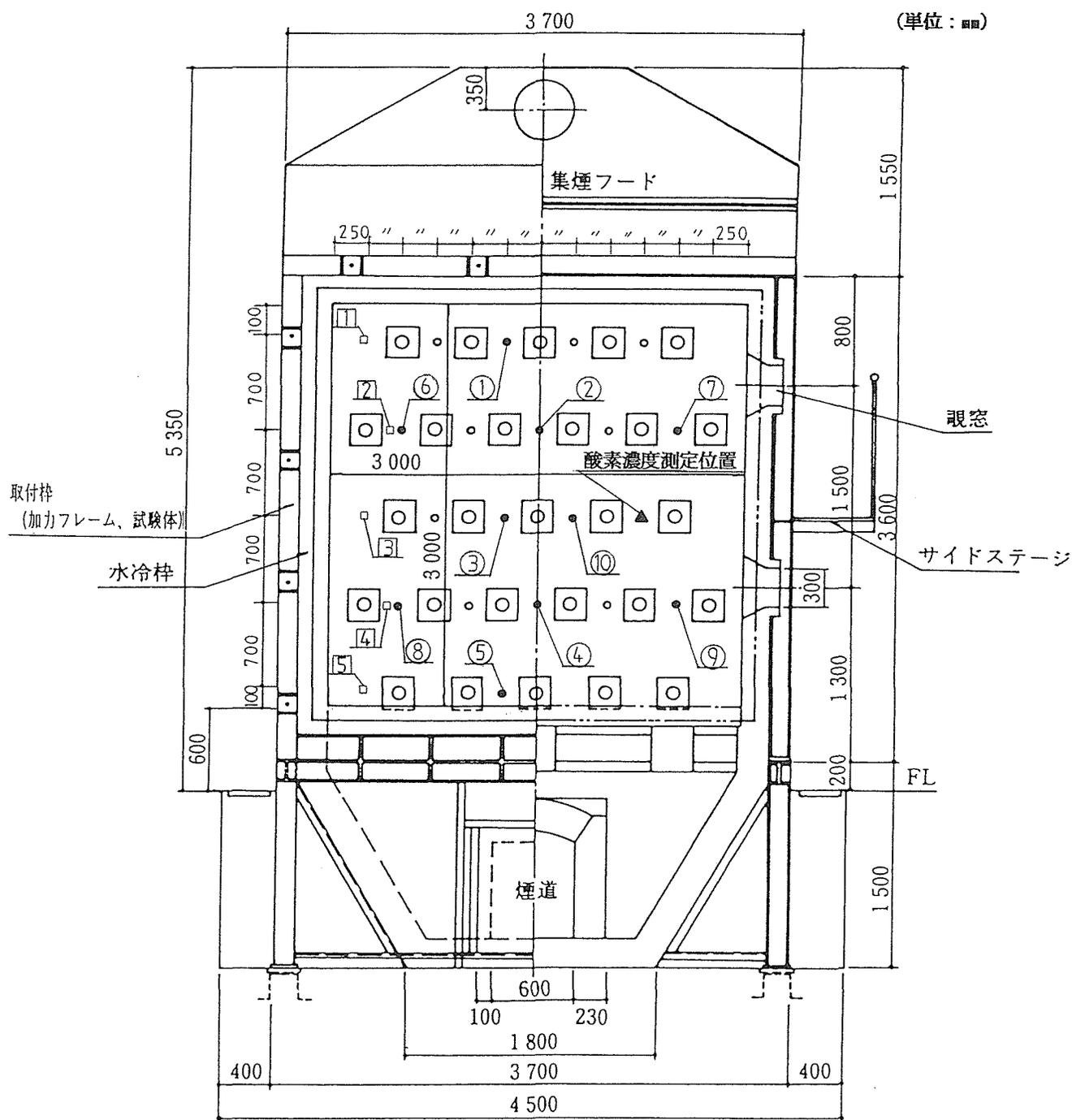


図 5-1 垂直加熱試験炉 概要図

凡 例	
①～⑩	: 加熱温度測定位置
①～⑤	: 炉内圧力測定位置

(2) 載荷荷重の算定

1) 試験体番号①／榊北陸リビング社

$$D=12.0\text{cm} \quad (\text{有効重なり幅})$$

$$Lb=300\text{cm} \quad (\text{試験体幅})$$

$$A=3600\text{cm}^2$$

$$i=D/3.46=12.0/3.46=3.468\text{cm}$$

$$Lk=315\text{cm} \quad (\text{試験体高さ})$$

$$\lambda=Lk/i=315/3.468=90.830$$

$$\eta=1.3-0.01\lambda=0.3917$$

$$Lfc\perp=8.272\text{kgf/cm}^2 \quad (\text{許容めり込み圧縮応力度})$$

$$Lfk=\eta \times Lfc\perp=0.3917 \times 8.272=3.2401\text{kgf/cm}^2$$

$$N=Lfk \times A=11664.4\text{kgf}$$

$$M=1 \text{ 本}$$

$$P=N \times M=11664.4\text{kgf} (114388.7\text{N})$$

$$W=11664.4/3.0=3888.1\text{kgf/m} (38129.6\text{N/m})$$

2) 試験体番号②／日田郡森林組合

$$D=11.8\text{cm} \quad (\text{有効重なり幅})$$

$$Lb=300\text{cm} \quad (\text{試験体幅})$$

$$A=3540\text{cm}^2$$

$$i=D/3.46=11.8/3.46=3.410\text{cm}$$

$$Lk=315\text{cm} \quad (\text{試験体高さ})$$

$$\lambda=Lk/i=315/3.410=92.38$$

$$\eta=1.3-0.01\lambda=0.3762$$

$$Lfc\perp=8.272\text{kgf/cm}^2 \quad (\text{許容めり込み圧縮応力度})$$

$$Lfk=\eta \times Lfc\perp=0.3762 \times 8.272=3.1119\text{kgf/cm}^2$$

$$N=Lfk \times A=11016.1\text{kgf}$$

$$M=1 \text{ 本}$$

$$P=N \times M=11016.1\text{kgf} (108031.0\text{N})$$

$$W=11016.1/3.0=3672.0\text{kgf/m} (36010.3\text{N/m})$$

3) 試験体番号③／小国町森林組合

$$D=12.2\text{cm} \quad (\text{有効重なり幅})$$

$$Lb=300\text{cm} \quad (\text{試験体幅})$$

$$A=3660\text{cm}^2$$

$$i=D/3.46=12.2/3.46=3.526\text{cm}$$

$$Lk=312\text{cm} \quad (\text{試験体高さ})$$

$$\lambda = Lk/i = 312/3.526 = 88.49$$

$$\eta = 1.3 - 0.01\lambda = 0.4150$$

$$Lfc \perp = 8.272 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{許容めり込み圧縮応力度})$$

$$Lfk = \eta \times Lfc \perp = 0.4150 \times 8.272 = 3.433 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N = Lfk \times A = 12564.8 \text{ kgf}$$

$$M = 1 \text{ 本}$$

$$P = N \times M = 12564.8 \text{ kgf} (123218.6 \text{ N})$$

$$W = 12564.8/3.0 = 4188.27 \text{ kgf/m} (41072.9 \text{ N/m})$$

4) 試験体番号④／龍神村森林組合

$$D = 12.0 \text{ cm} \quad (\text{有効重なり幅})$$

$$Lb = 300 \text{ cm} \quad (\text{試験体幅})$$

$$A = 3600 \text{ cm}^2$$

$$i = D/3.46 = 12.0/3.46 = 3.468 \text{ cm}$$

$$Lk = 314 \text{ cm} \quad (\text{試験体高さ})$$

$$\lambda = Lk/i = 314/3.468 = 90.54$$

$$\eta = 1.3 - 0.01\lambda = 0.3946$$

$$Lfc \perp = 8.272 \text{ kgf/cm}^2 \quad (\text{許容めり込み圧縮応力度})$$

$$Lfk = \eta \times Lfc \perp = 0.3946 \times 8.272 = 3.264 \text{ kgf/cm}^2$$

$$N = Lfk \times A = 11750.4 \text{ kgf}$$

$$M = 1 \text{ 本}$$

$$P = N \times M = 11750.4 \text{ kgf} (115232.1 \text{ N})$$

$$W = 11750.4/3.0 = 3916.8 \text{ kgf/m} (38410.7 \text{ N/m})$$

備考：材料強度は、平成12年建設省告示第1452号（木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件）に基づき、木構造設計基準・同解説（日本建築学会）に記載されている、木材の繊維方向の許容圧縮応力度に、0.125の係数を乗じて許容横圧縮応力度に換算したものをを用いる。載荷荷重量の算出式は、平成13年国土交通省告示第1024号（木材のめりこみ及び圧縮材の座屈の許容応力度等）に基づく。

(3) 載荷方法

本実験では、2本の油圧ジャッキで下部のH型鋼を上昇させることによって壁体に加力しロードセルの抵抗変化により載荷荷重を計測した。

(4) 試験体の温度測定位置

各試験体における温度測定位置は図 3-2～3-9 に示す。

(5) 映像記録

加熱中の試験体の非加熱側の変化状況を写真撮影と、VTR により記録した。

5.2 耐火試験の結果

各試験体の温度測定概要、観察概要、加熱終了後の炭化の状況等は以下のものであった。

5.2.1 試験体①について

(1)加熱開始(13:57)後 3 分、左右交差部の重なり部中斷以上より煙が出始め、5 分後には中段以下の交差部からも発煙が見られたが、10 分後位から徐々に減少し以降安定した。

(写真 5-2)

(2)見付け部分については継手部分を含め、煙の発生はほとんど観察されなかった。

(3)試験体は安定した状態で推移したが、40 分経過頃から面外の変位量が 40 mm 前後に達したため経過 45 分をもって試験を終了させた。

(4)炭化の状況：炭化の深さはほぼ 35 mm 内外で重なり面の加熱発泡材挿入箇所は発泡効果もあり炭化深さは表面より 15 mm 内外で発泡材の上下部の位置で炭化は止まっていた。
(炭化は 0.78 mm/分)

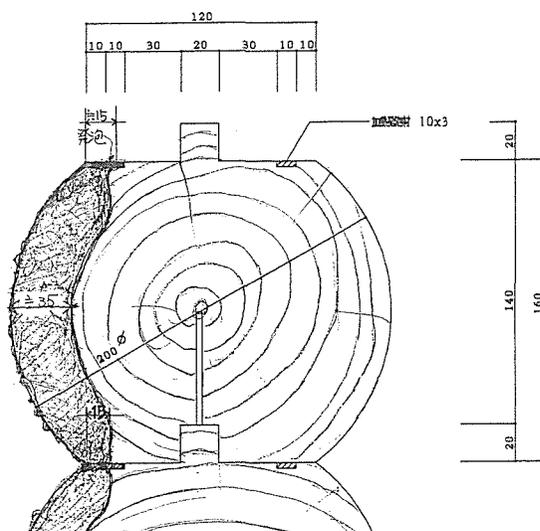
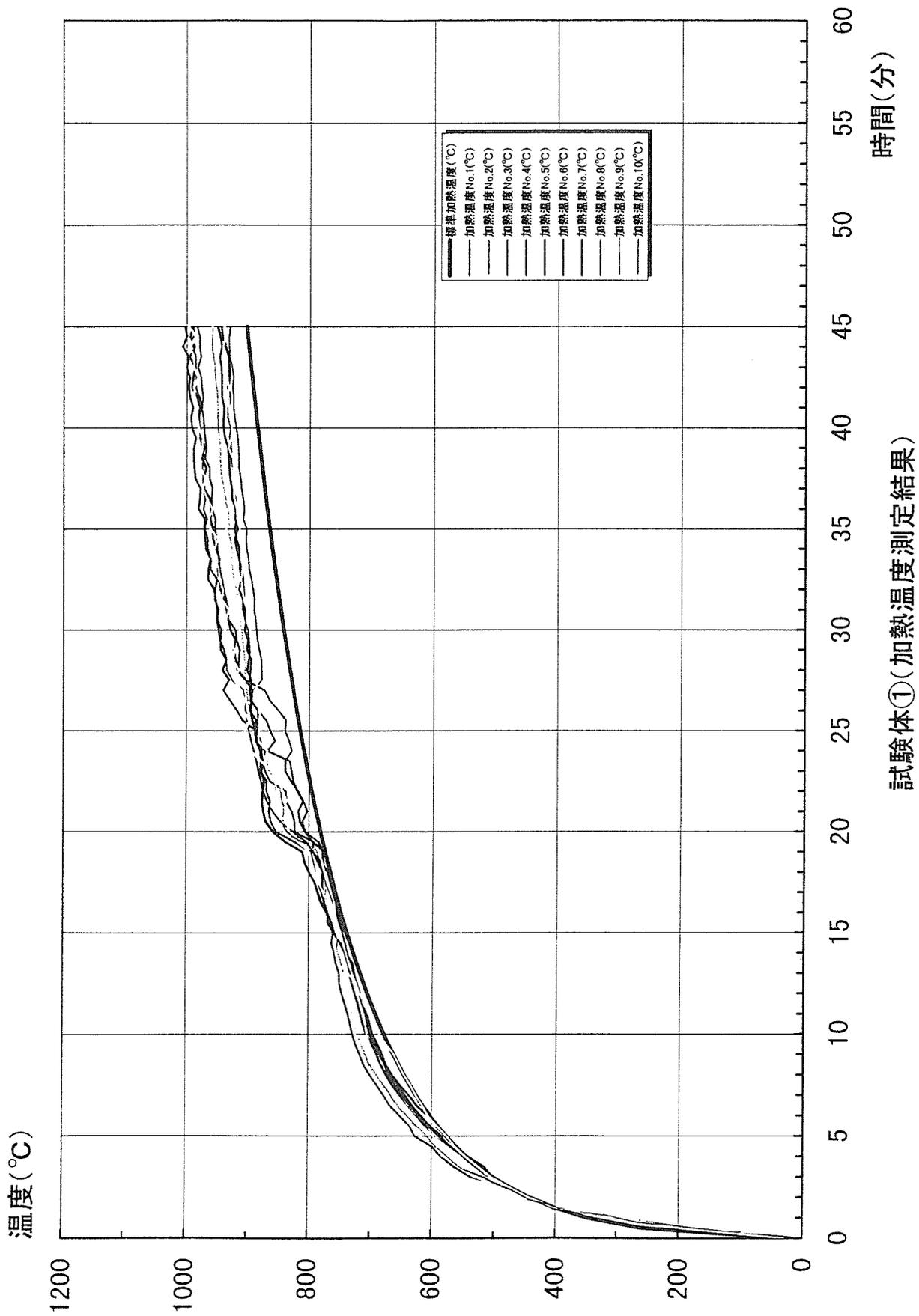


図 5-2 試験体①の炭化状況

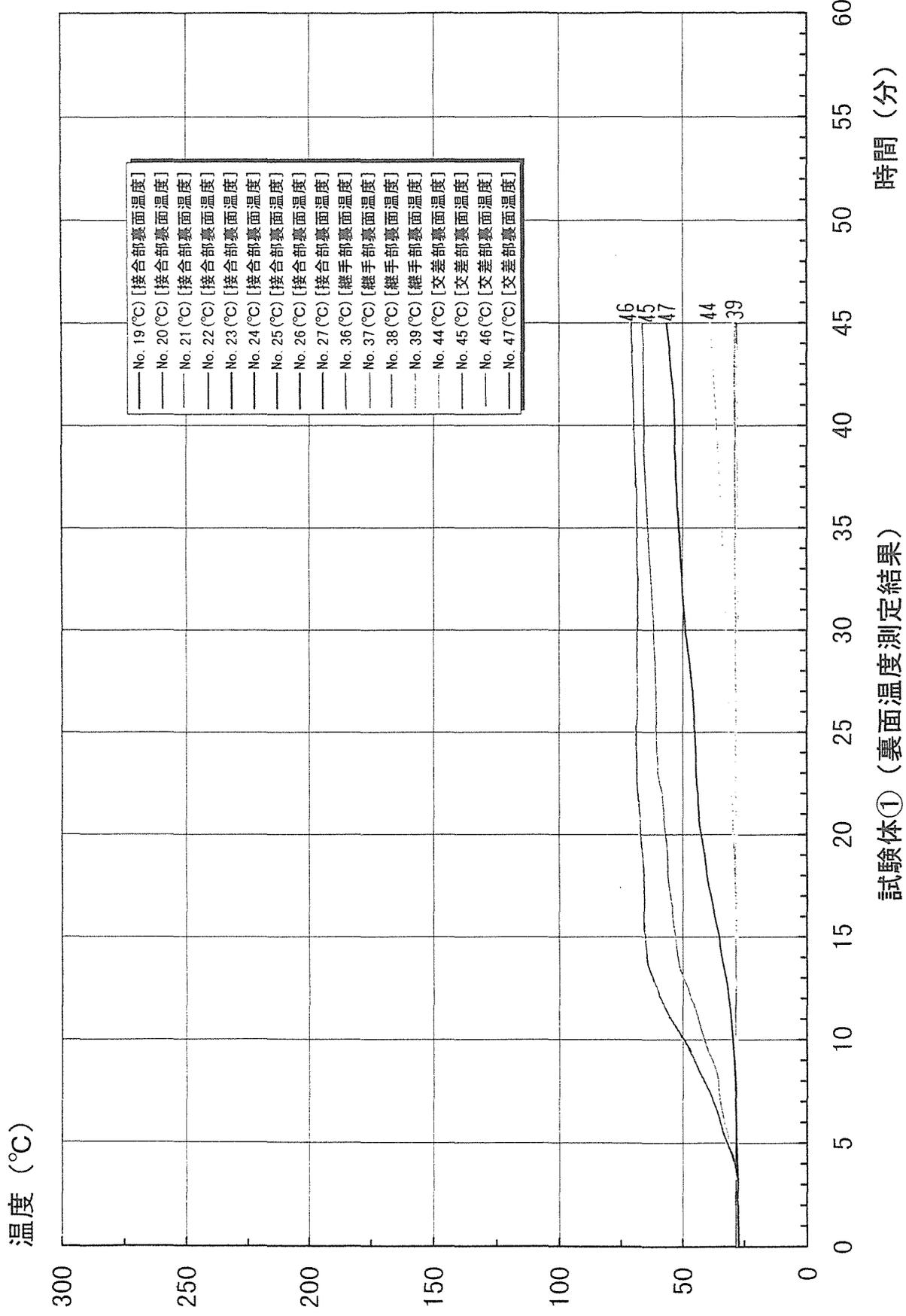
(5) 今後の課題

木口背割り部からの火災の侵入による燃焼を押さえるため、木口にカバーを取り付けることが効果的と思われるが、ログ材収縮とカバーの取り付け方法が課題である。

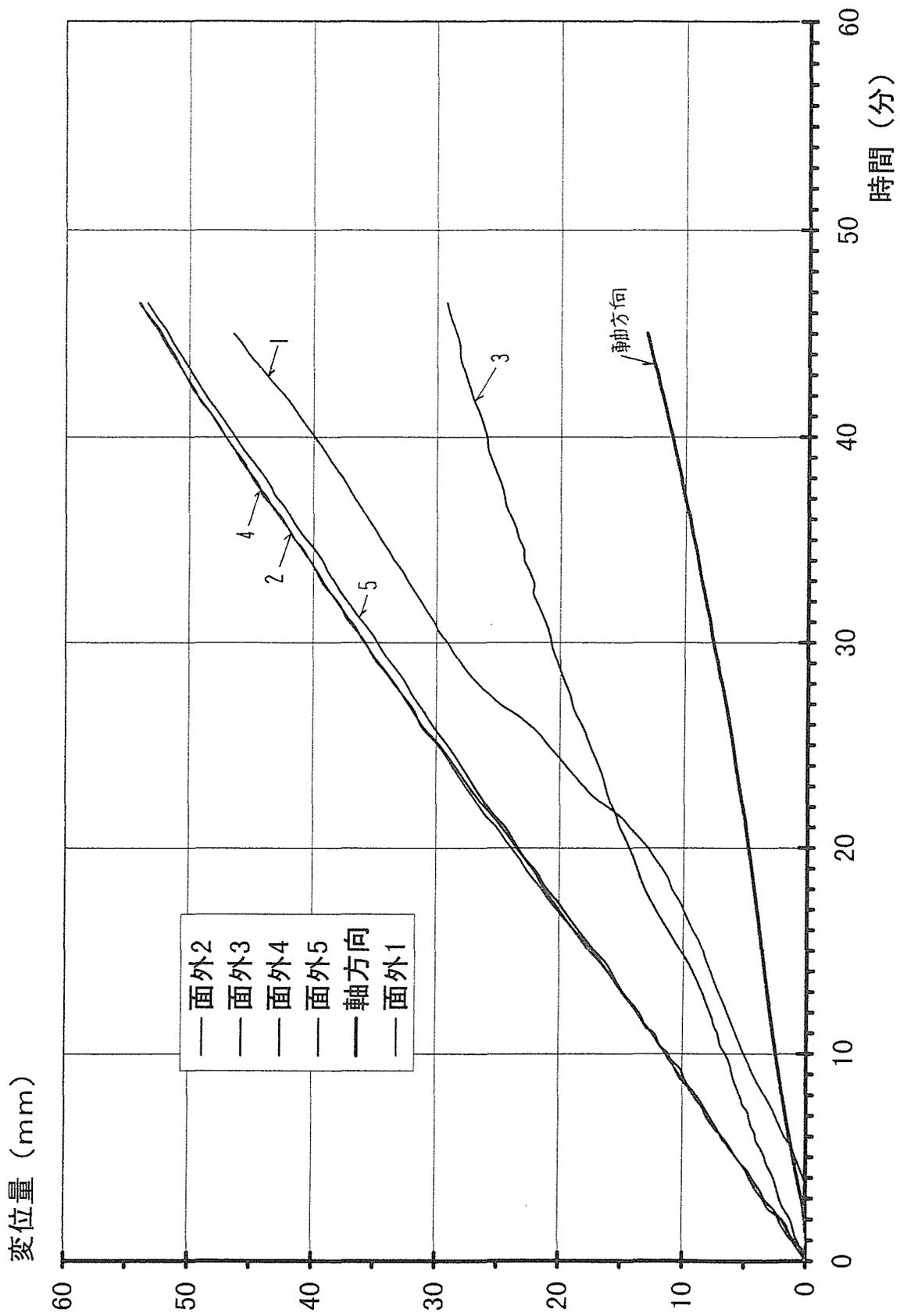
図 5-3～図 5-5 及び写真 5-1～写真 5-5 参照



(図 5-3)

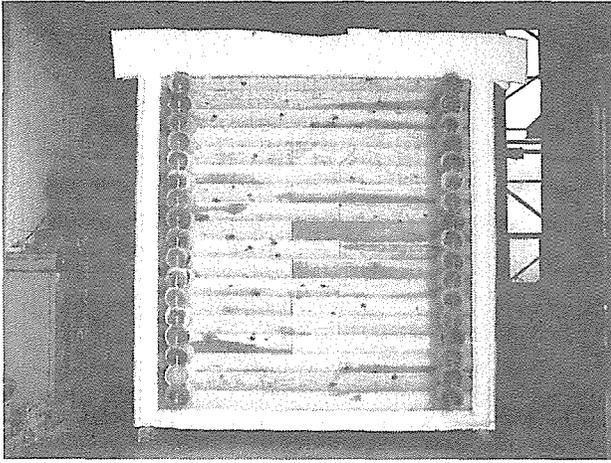


(図 5-4)

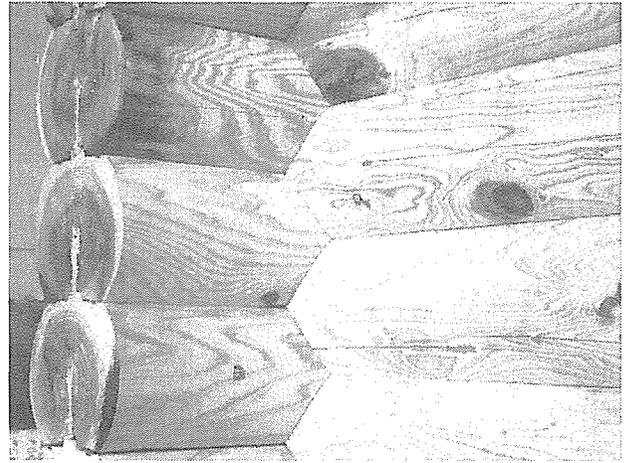


(图 5-5)

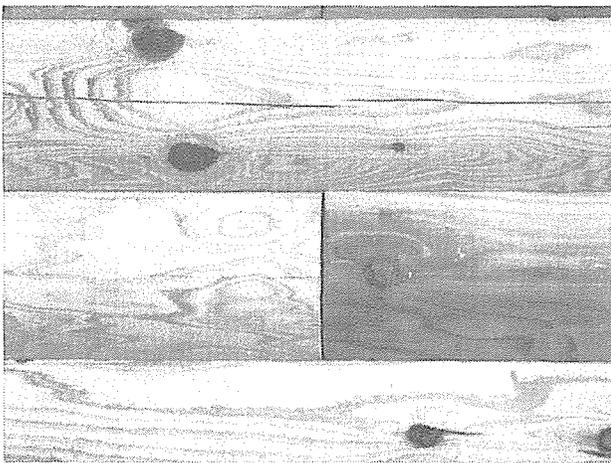
試驗体① (面外・軸方向変位測定結果)



加熱側全景



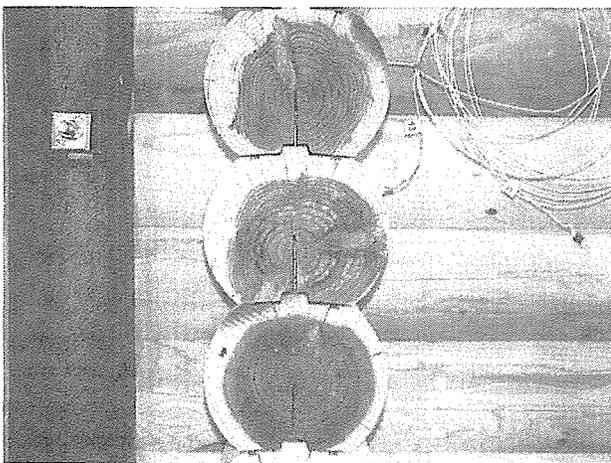
袖壁交差部



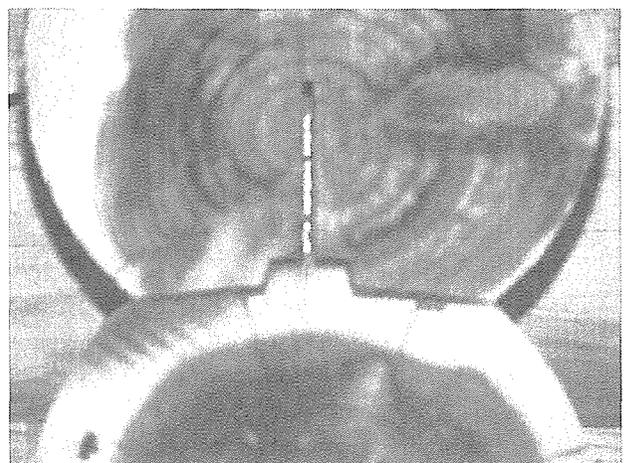
継手部



同上



袖壁木口部



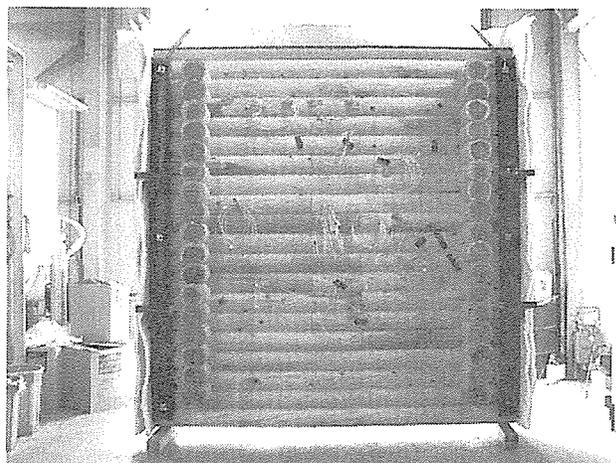
同左

試験体①

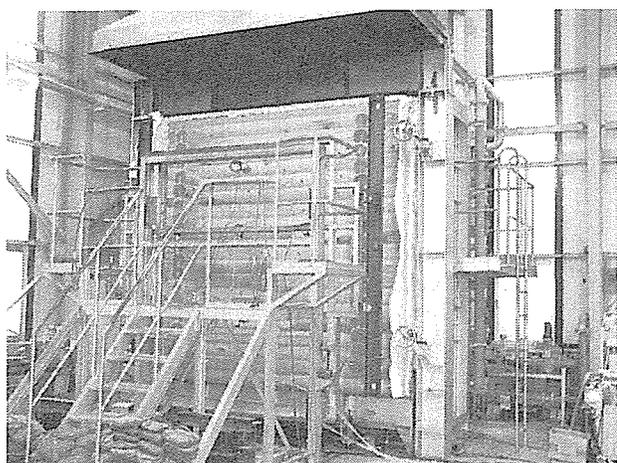
(写真 5-1)



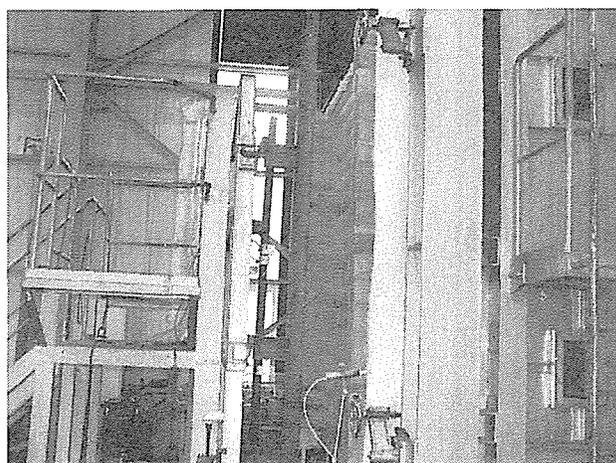
袖壁木口部拡大



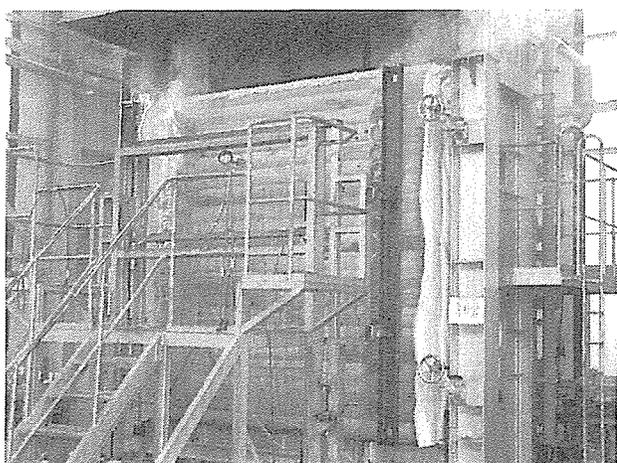
加熱試験炉へのセット



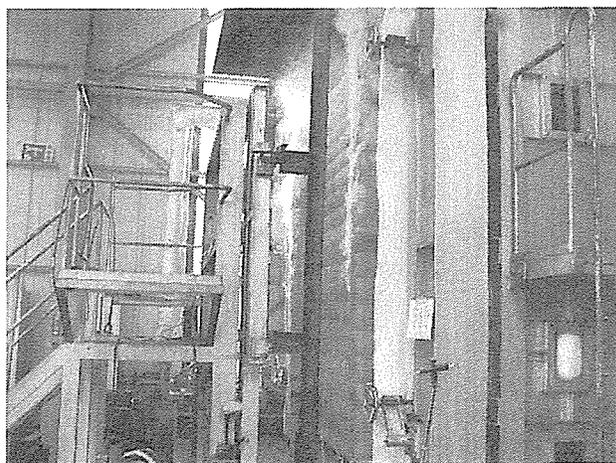
セット完了



同左



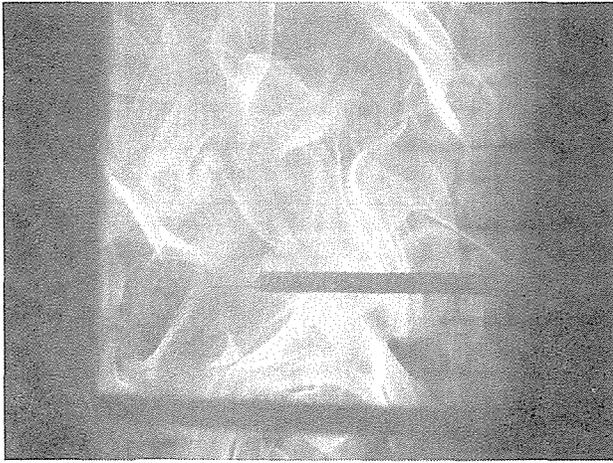
加熱開始後約 32 分経過



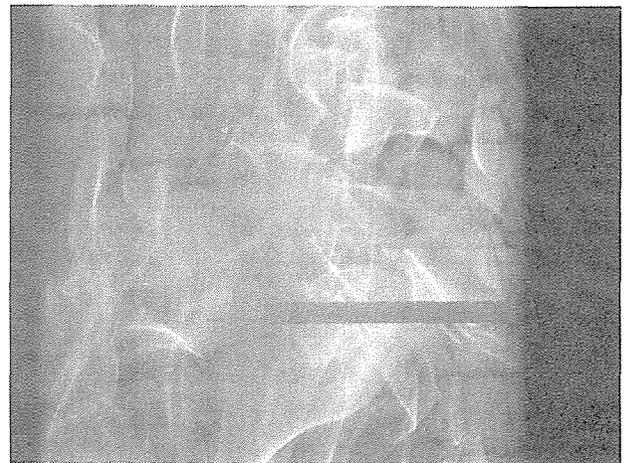
加熱開始後約 33 分経過

試験体①

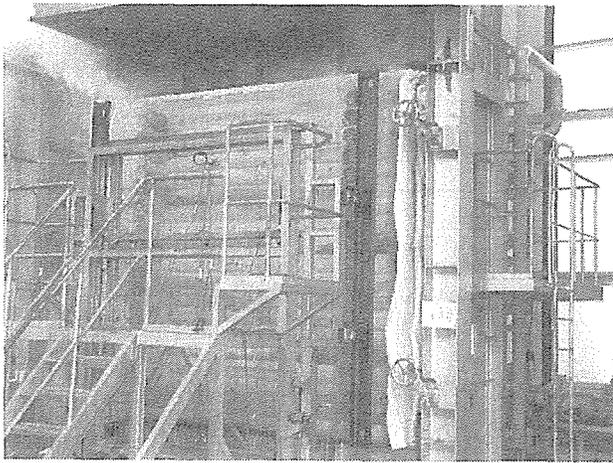
(写真 5-2)



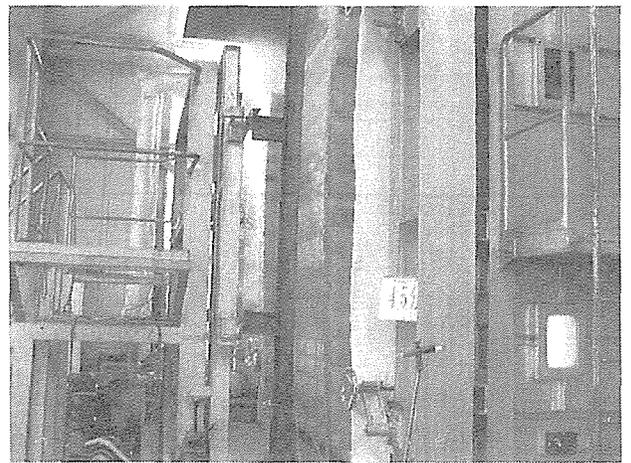
炉内燃焼状況／33分経過頃



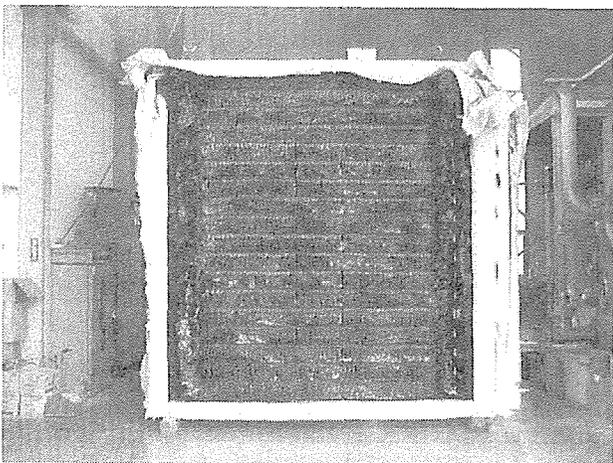
同左



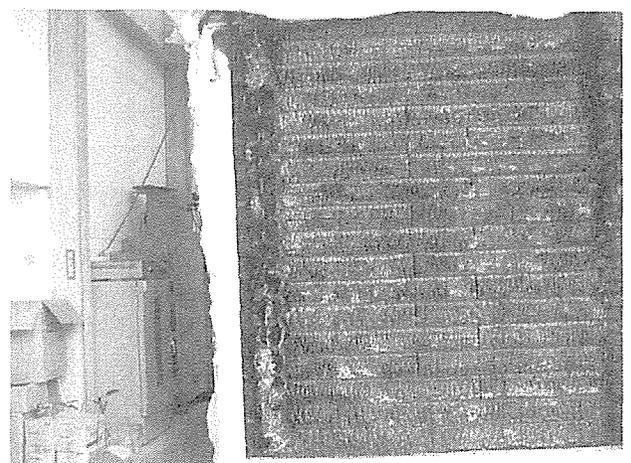
試験終了直後／47分経過頃



同左



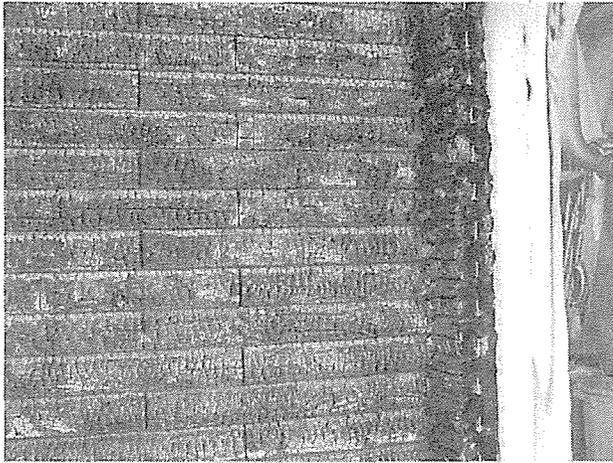
加熱側炭化状況



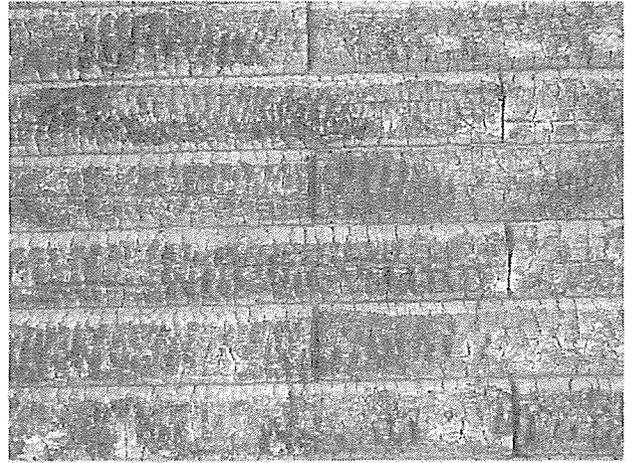
同左

試験体①

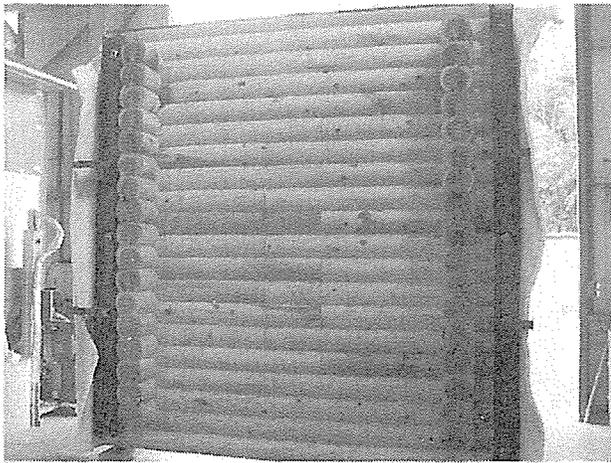
(写真 5-3)



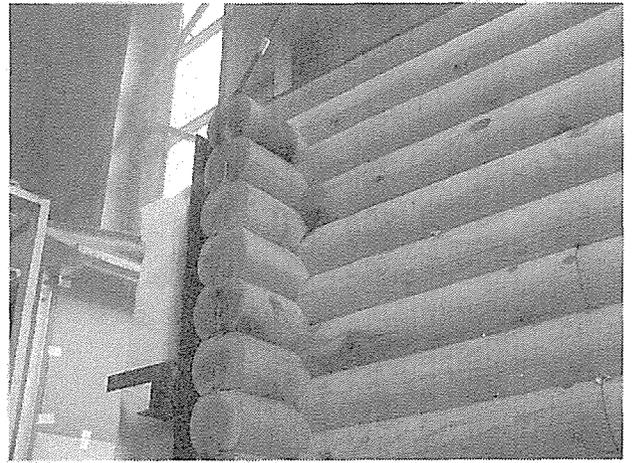
炭化状況



継手部分の炭化状況



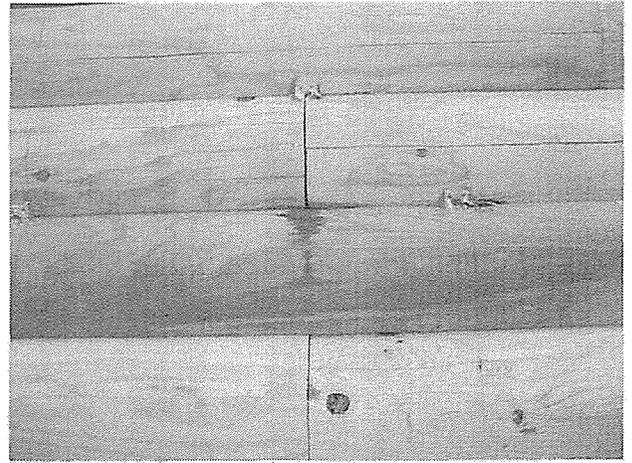
試験終了後の非加熱面全景



試験終了後の袖壁交差部



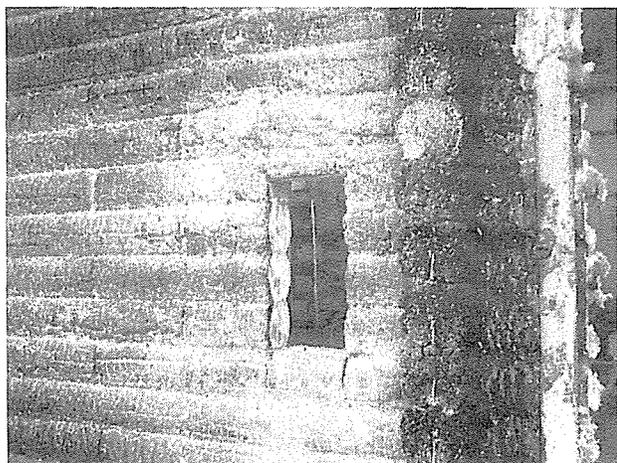
同右上



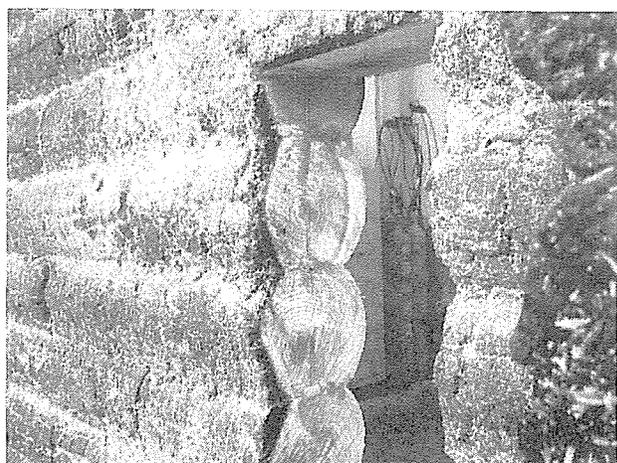
非加熱側継手部の状況

試験体①

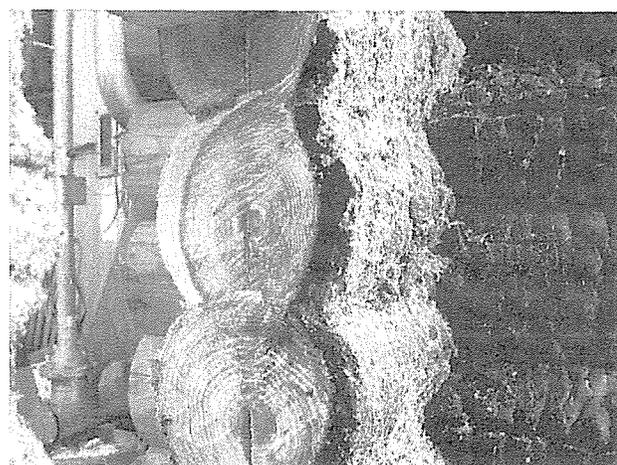
(写真 5-4)



壁面切削による炭化調査と袖壁炭化状況



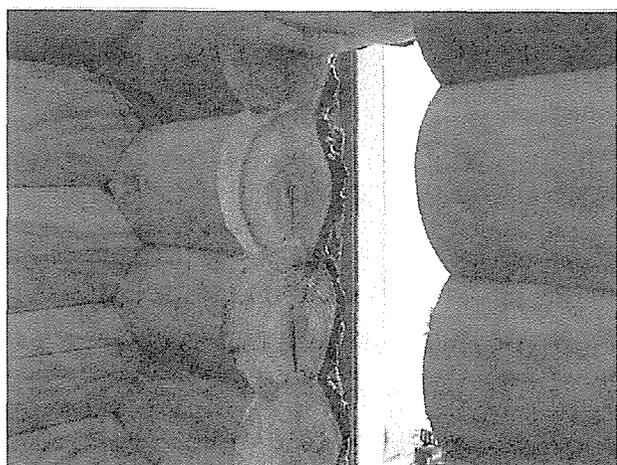
壁面切削による炭化調査



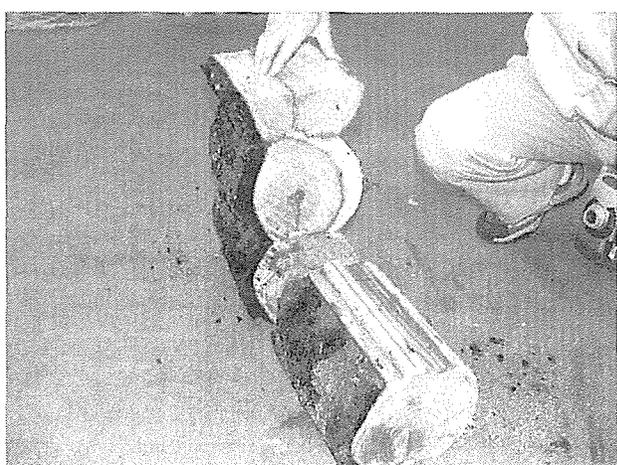
加熱側から見た炭化状況断面



同左



非加熱側から見た炭化状況断面



サンプル採取

試験体①

(写真 5-5)

5.2.2 試験体②について

(1)加熱開始(13:42)後4分経過後、交差部の1カ所より発煙が見られ、その後も控壁木口部より少量の発煙が継続的に続いたが見付け面部分からの発煙は並びに発炎は継手部分も含め観察されなかった。

(2)35分経過頃より面外方向変位が40mm前後に達しその後も急速に進行したため(図5-7, 5-8)38分経過を以て試験を中止した。

(3)炭化の状況：炭化深さは約45mm前後(1分間当たり1.18mm)と大きくなった。この要因として考えられることは、燃焼の進行によりラミナ1層分が剥落し2層目に進行したものと推察される。交差部加熱側控壁は三方向より加熱されたためほぼ完全に燃え尽きラミナごとに剥離した状態で炭化していた。熱による接着剤の剥離が考えられる。

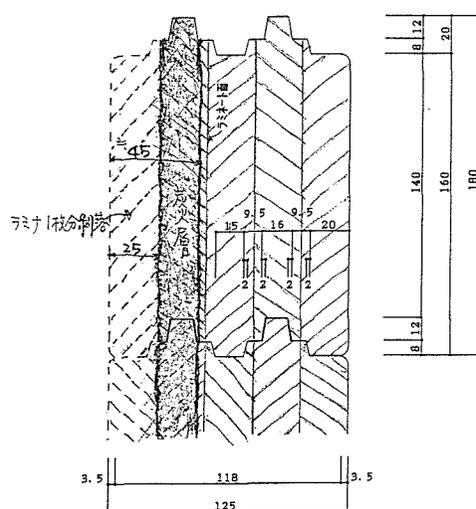
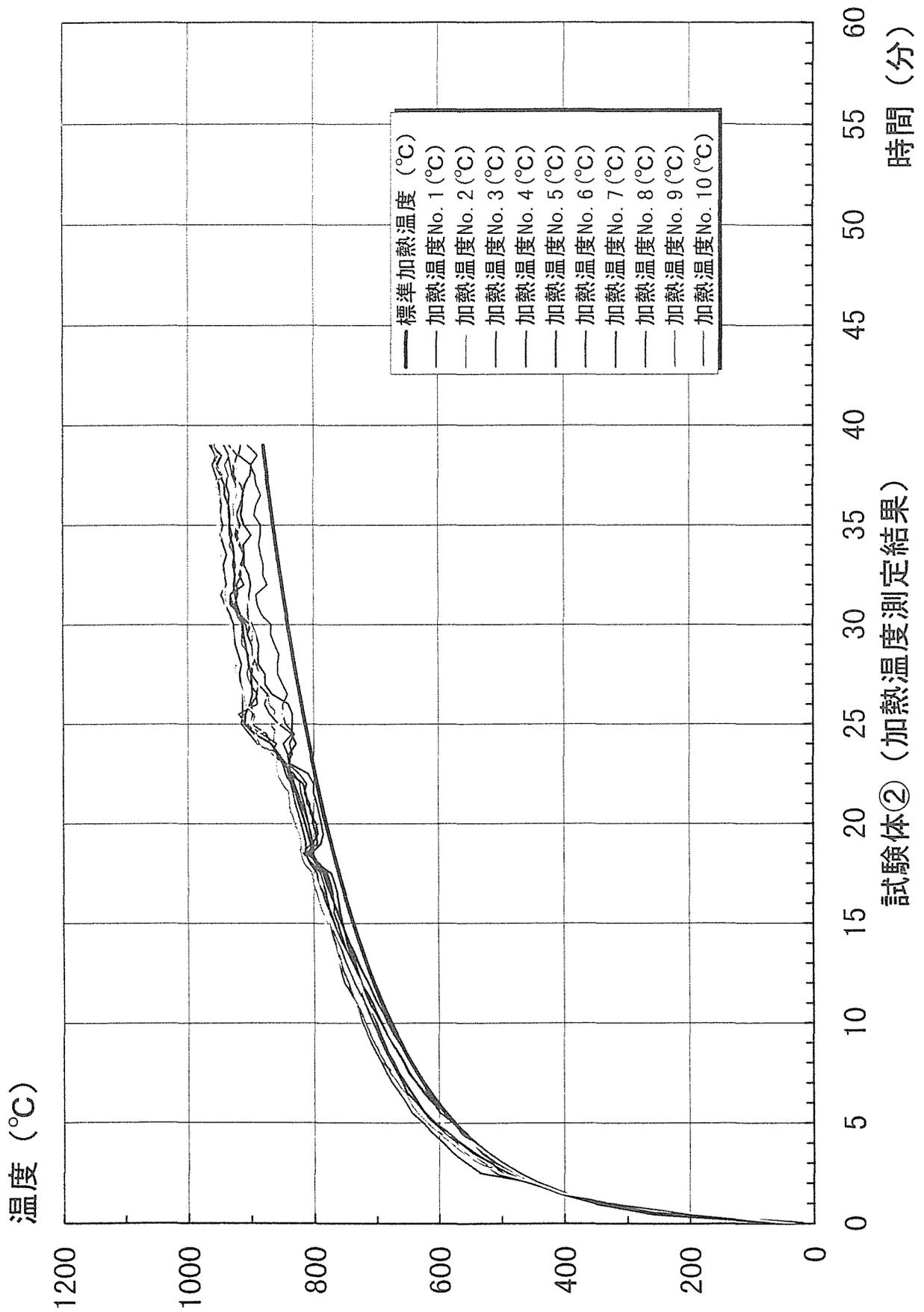


図 5-6 試験体②の炭化状況

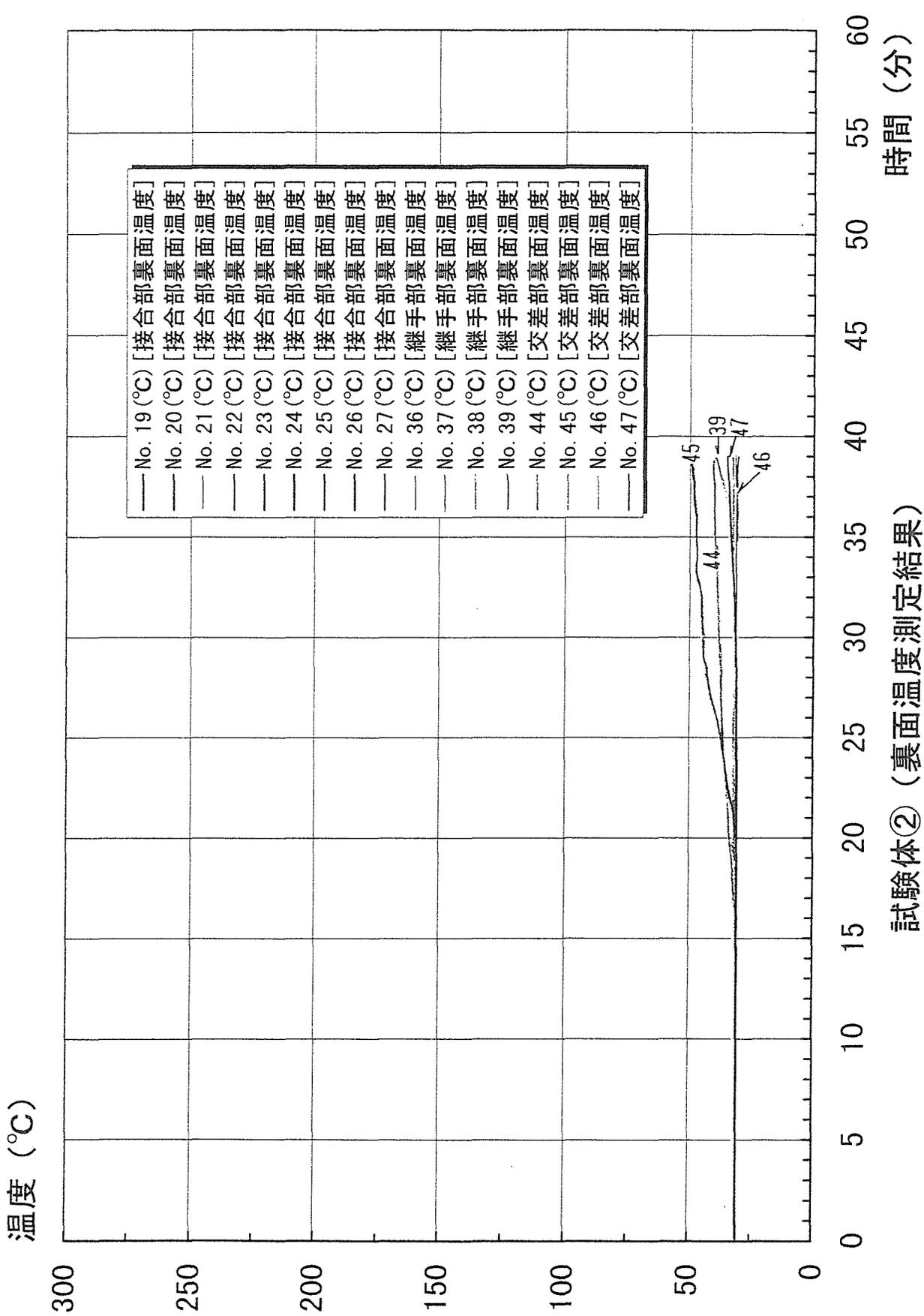
(4)今後の課題

- ・38分間で45mmの燃焼となっている。従って壁厚を160mm以上とする事が必要と思われる。
- ・接着剤に問題があると考えられることから、構造用集成材で認められている接着剤に変更する等、対応の検討が必要である。
- ・集成材でなく製材にすれば準耐火壁となろう。

図 5-7～図 5-9 及び写真 5-6～写真 5-8 参照

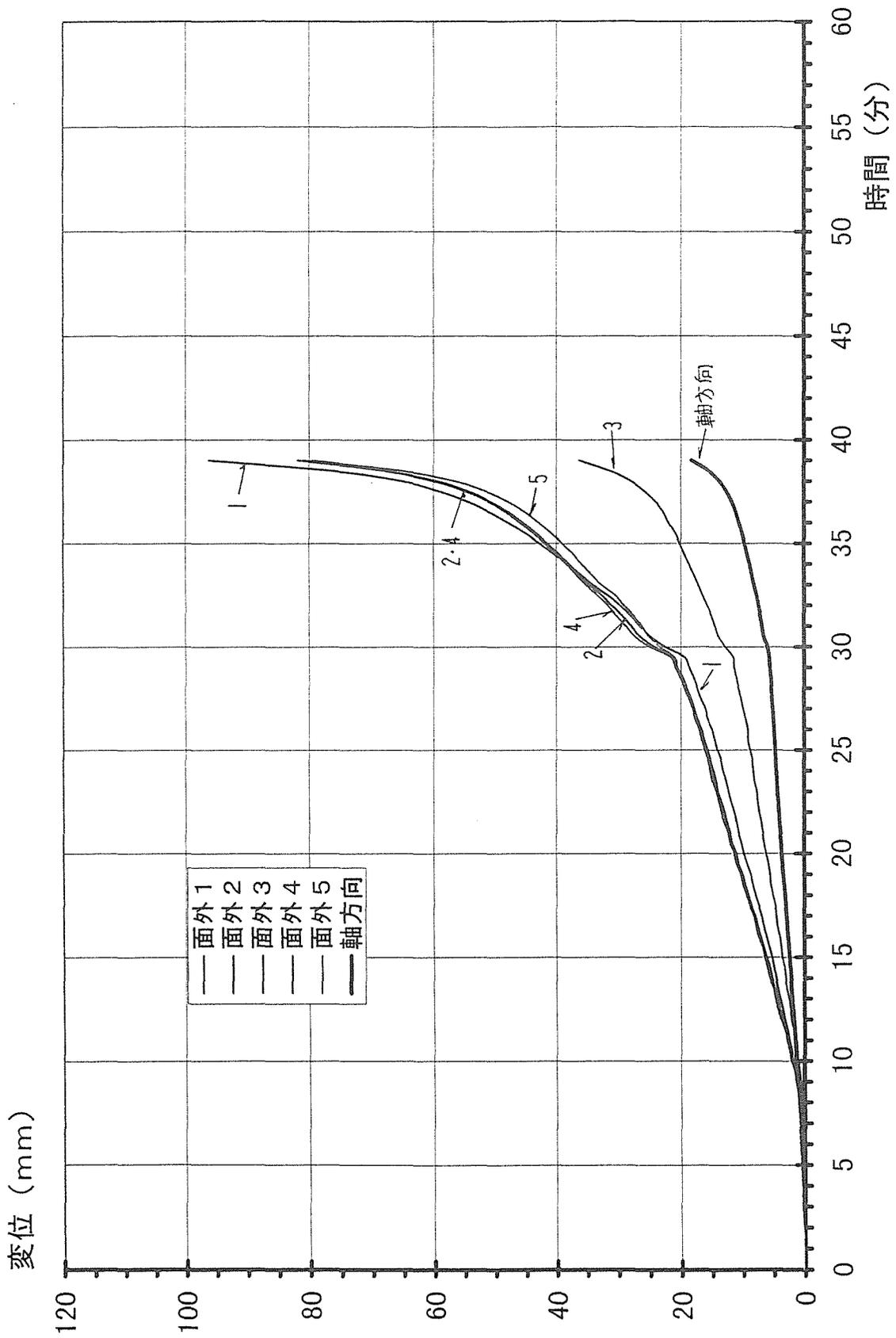


(図 5-7)



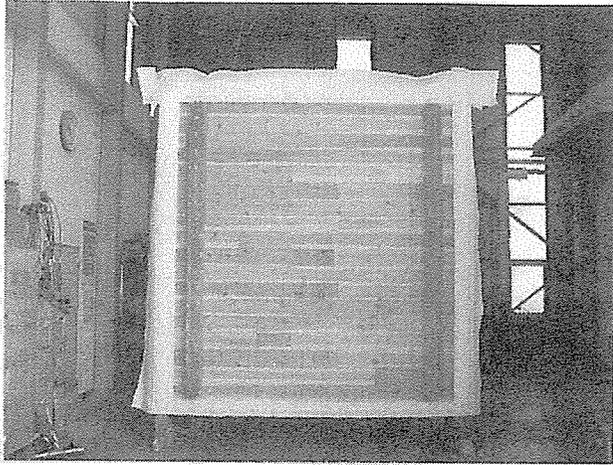
試験体② (裏面温度測定結果)

(図 5-8)

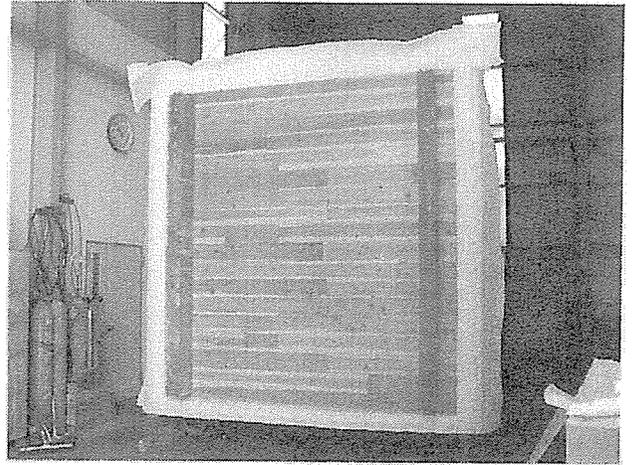


(圖 5-9)

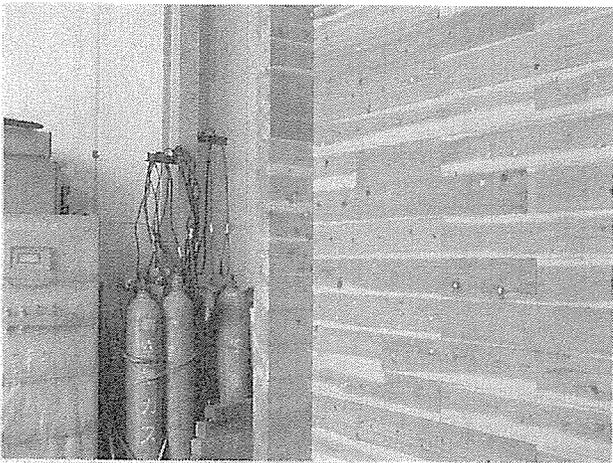
試驗體② (面外方向變位測定結果)



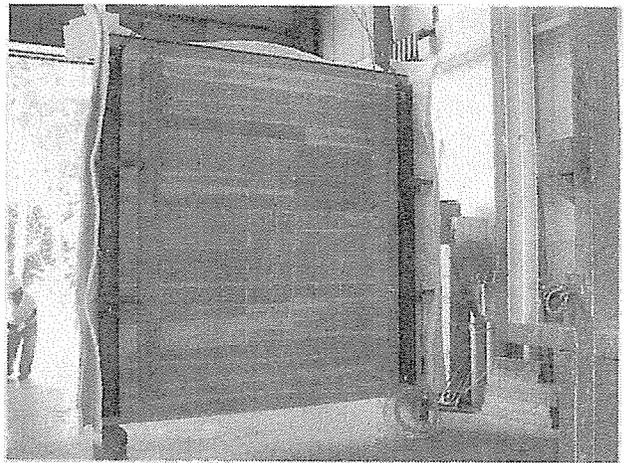
加熱側全景



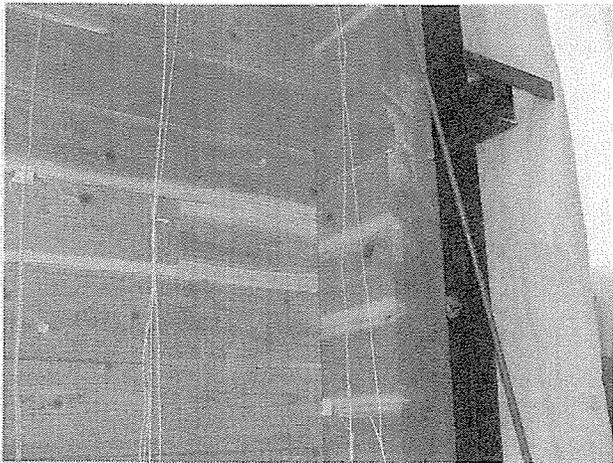
同左



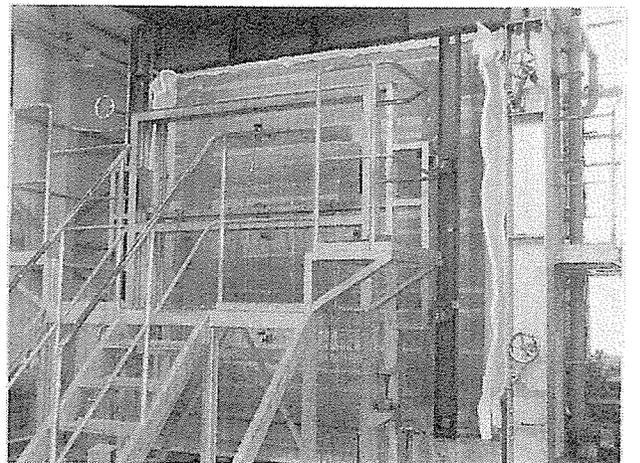
非加熱側



加熱試験炉へのセット作業



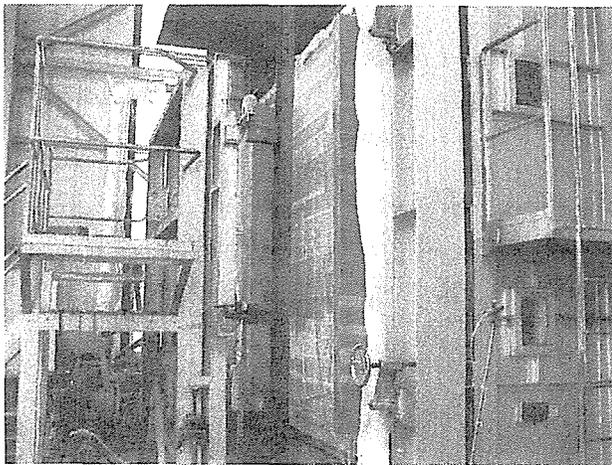
非加熱側袖壁部



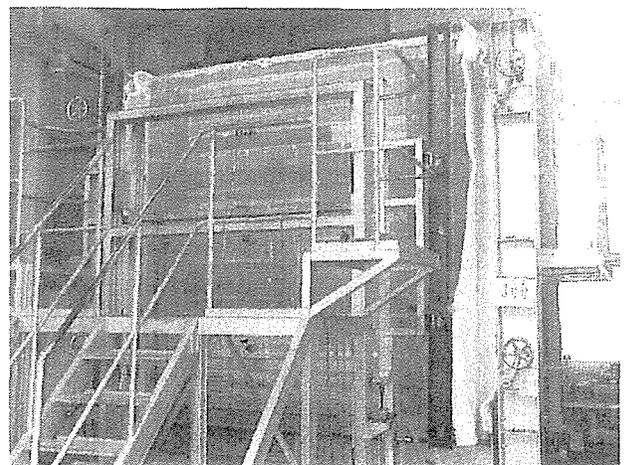
セット完了

試験体②

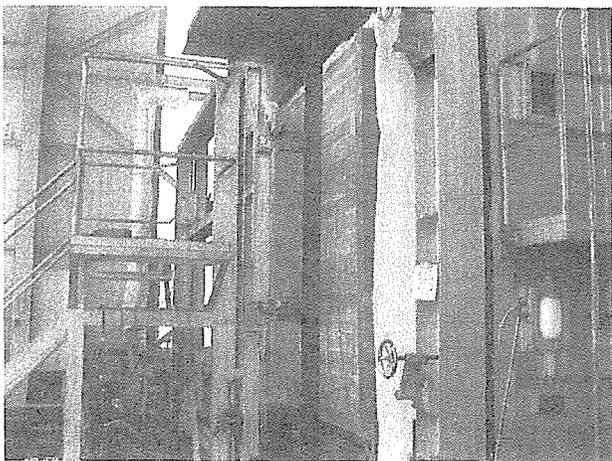
(写真 5-6)



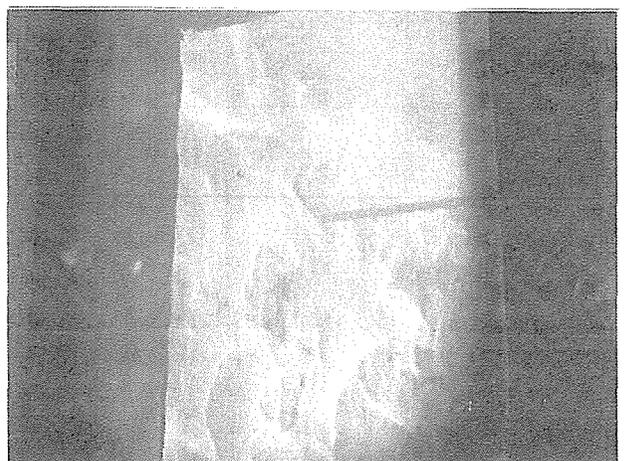
セット完了



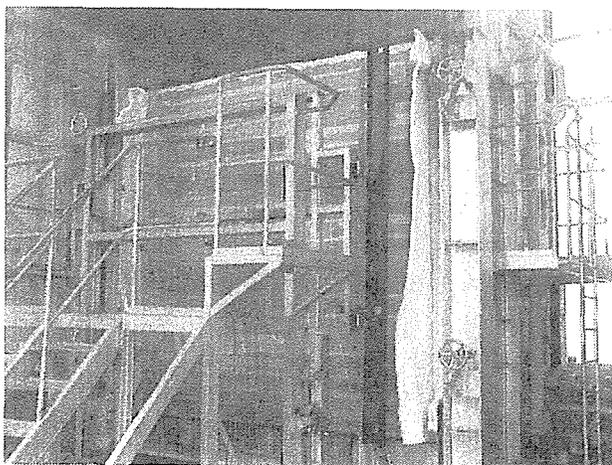
加熱開始後約 31 分経過



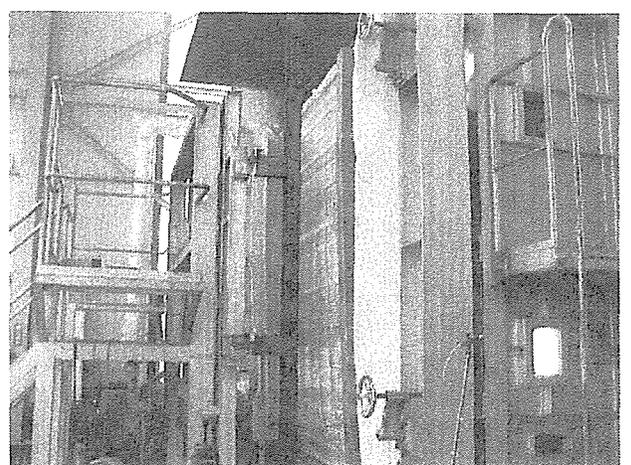
加熱開始後約 32 分経過



同左 炉内の様子



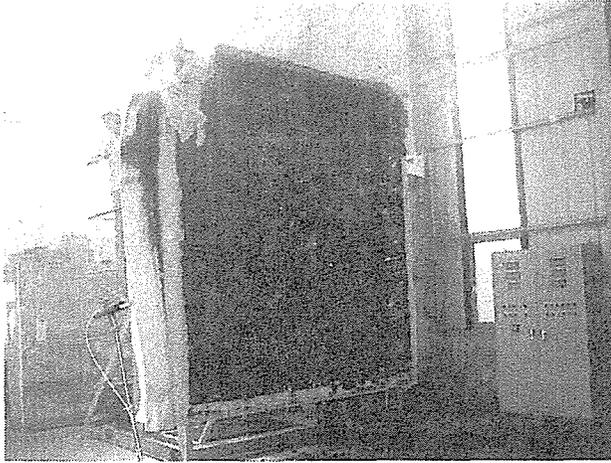
試験中止／加熱開始後 38 分経過



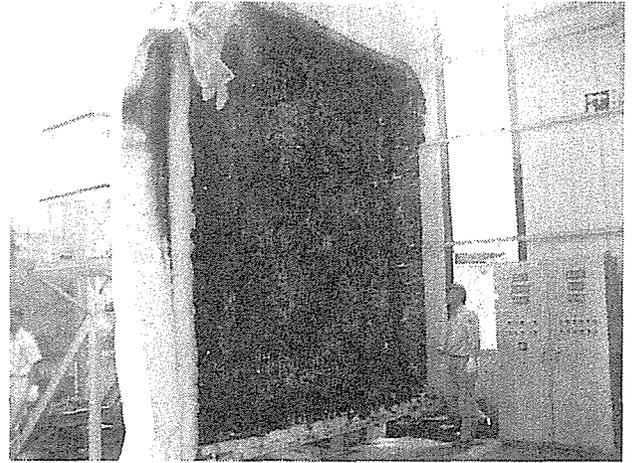
同左

試験体②

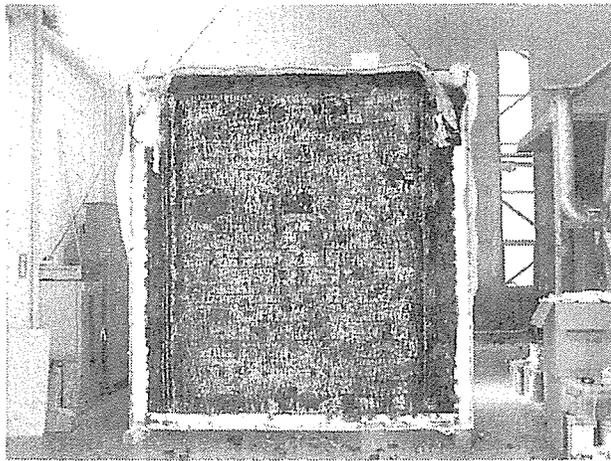
(写真 5-7)



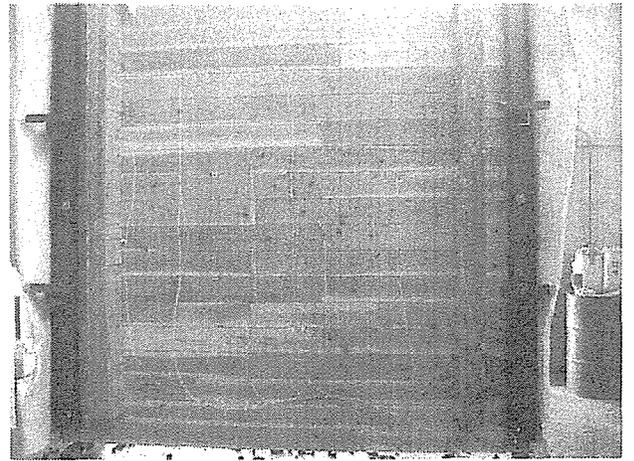
炭化の状況



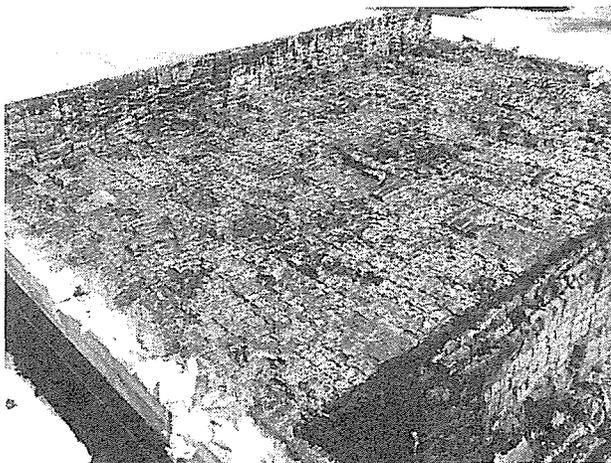
同左



同上



非加熱側の状況／試験終了後



炭化の状況／アップ



同左

試験体②

(写真 5-8)

5.2.3 試験体③について

(1)加熱開始(14:58)後3分経過頃より、左右最上段交差部及び正面のジョイント部3カ所より発煙が見られたがジョイント部の発煙は経時とともに減少しほとんど見られなくなった。

(2)45分経過時点でも面外方向変位が20mmを越えた位置はなく、その後も試験を続したが50分経過後頃より面外の変位量が急速に進み始めたため、51分経過を以て試験を終了させた。

(3)継手部を含む見付け面部分からの発煙並びに発炎は観察されなかった。

(4)炭化の状況：炭化深さは壁最厚部で28mm前後、重なり部分で30mm前後で実上部に挿入した加熱発泡材は完全発泡に至っていなかった。原因は中央の膨らみが有効に働いた。(炭化は1分間0.55mm～0.59mm)

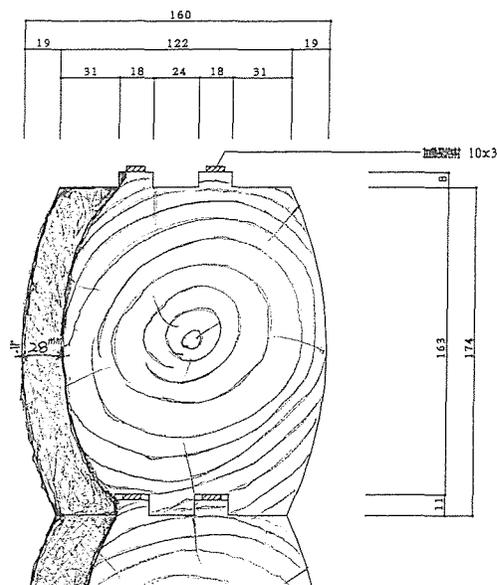
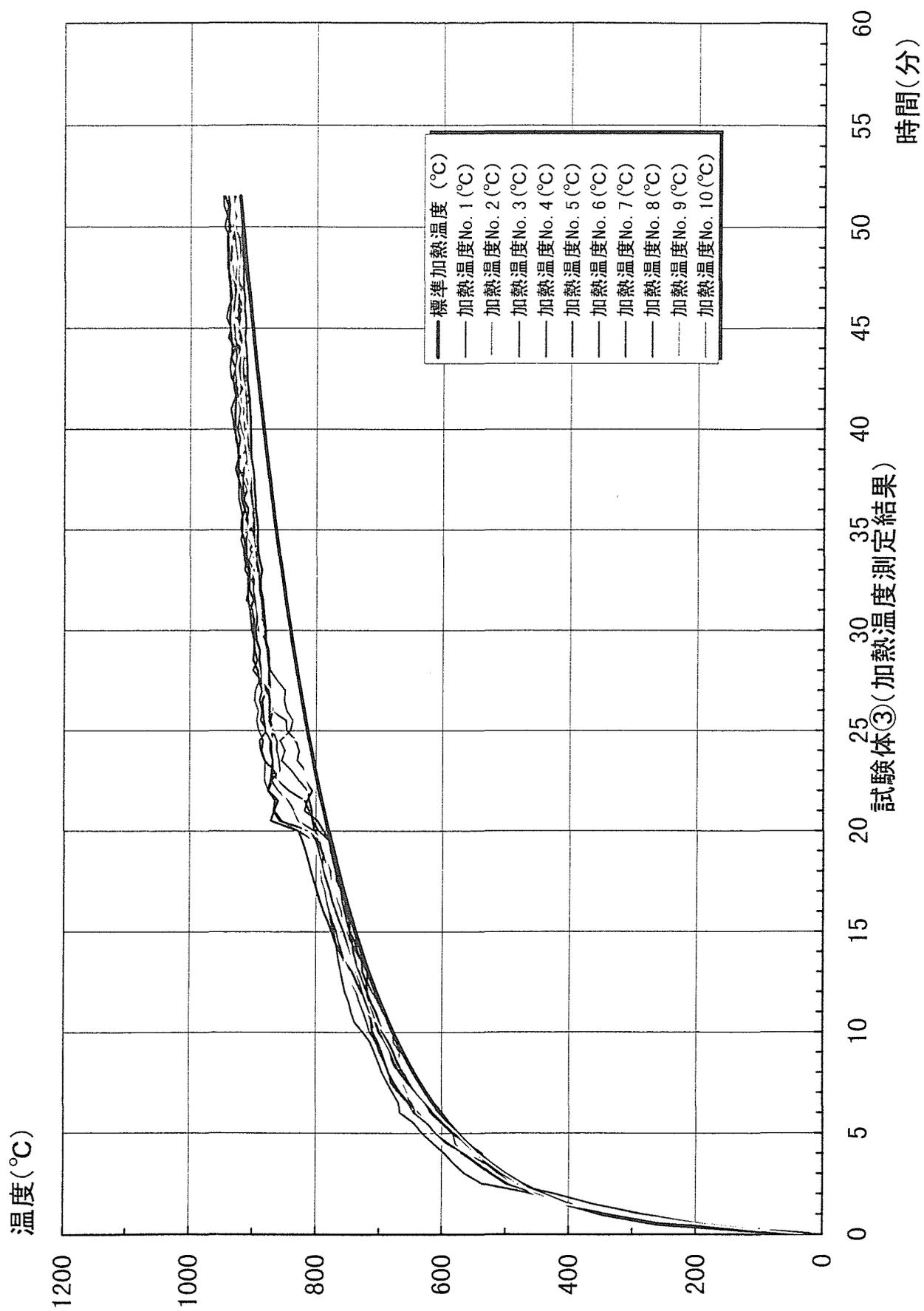


図 5-10 試験体③の炭化状況

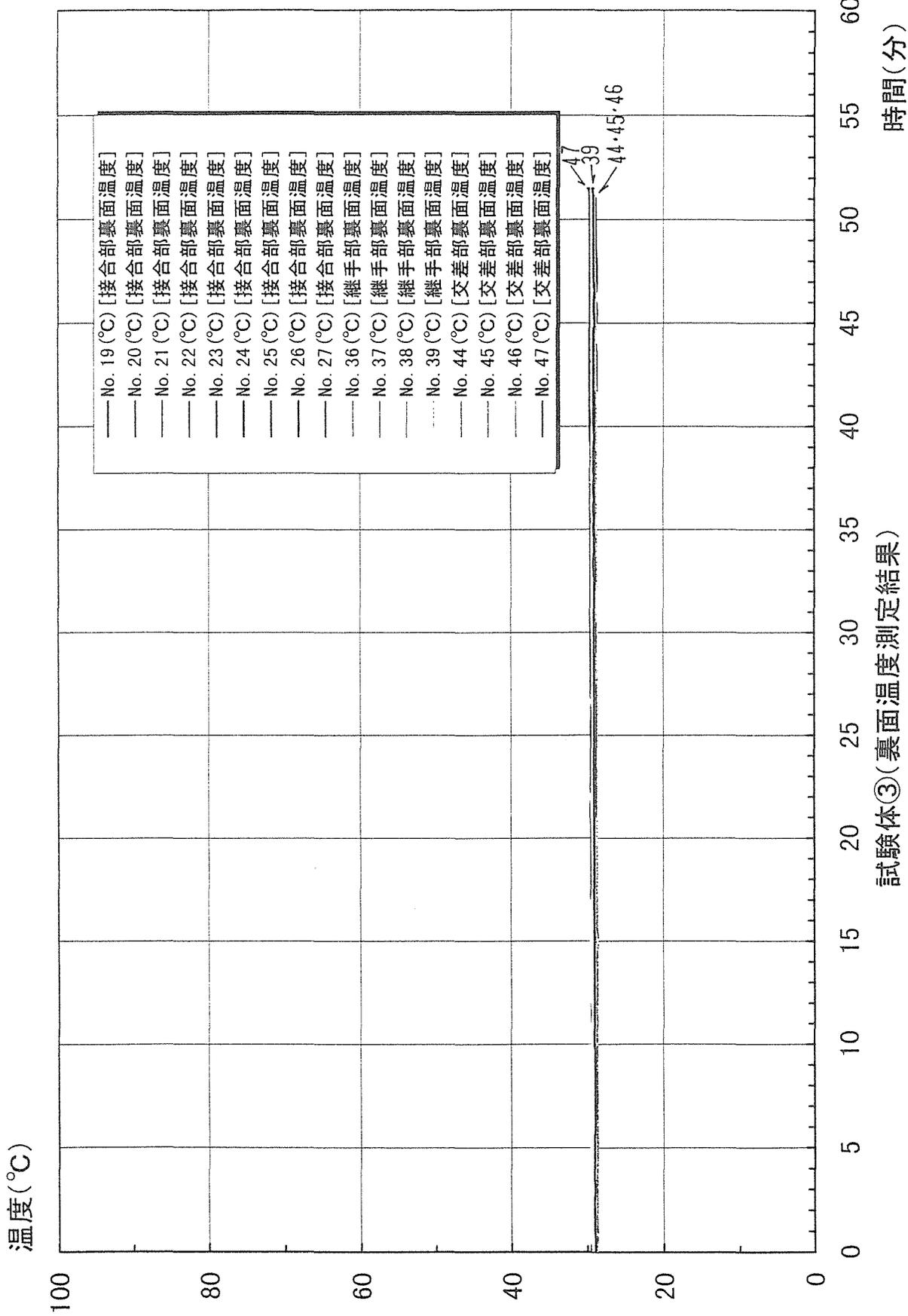
(5)今後の課題

今回、実の上部に加熱発泡材(10×3 mm)を貼って試験をしたが発泡材が発泡しないで残った部分も多いことから交差部以外では必要ない可能性もある。乾燥を含めて要検討。

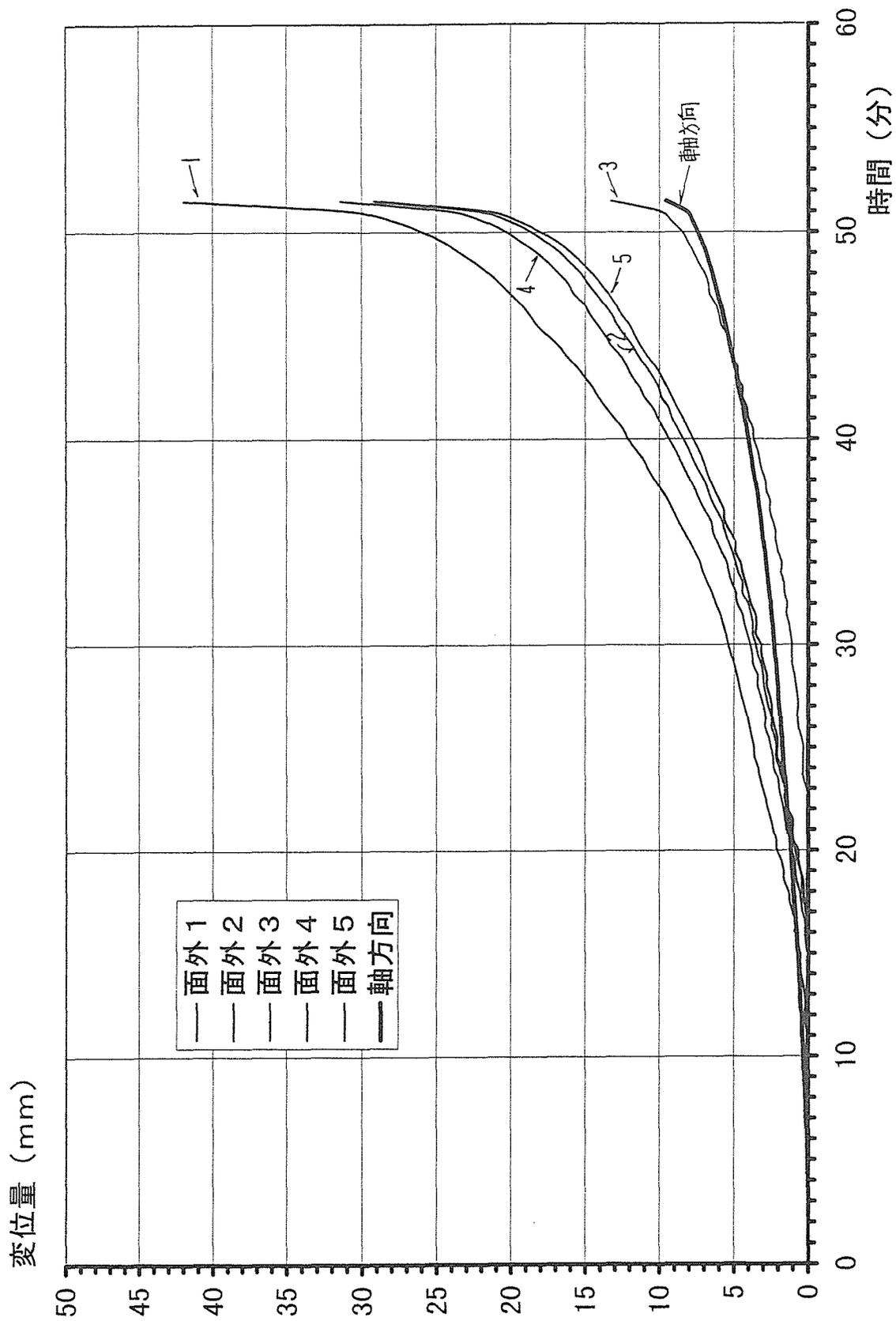
図 5-11～図 5-13 及び写真 5-9～写真 5-13 参照



(圖 5-11)

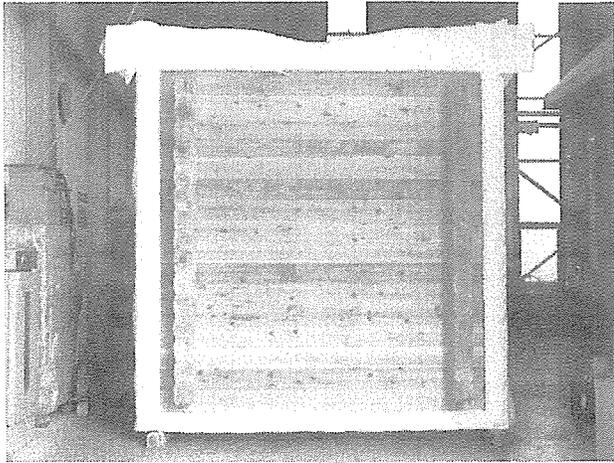


(図 5-12)

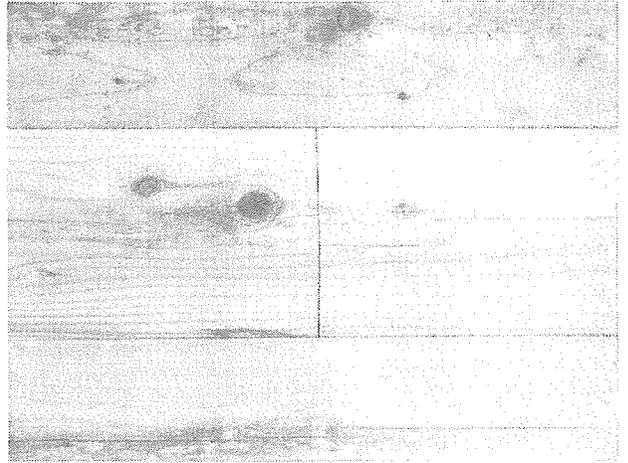


試験体③ (面外・軸方向変位測定結果)

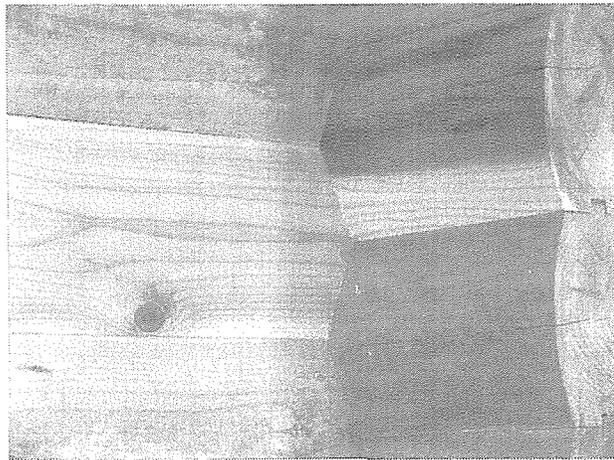
(図 5-13)



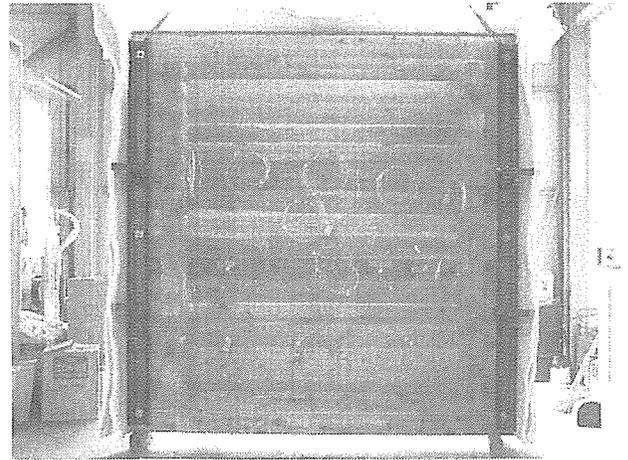
加熱側全景



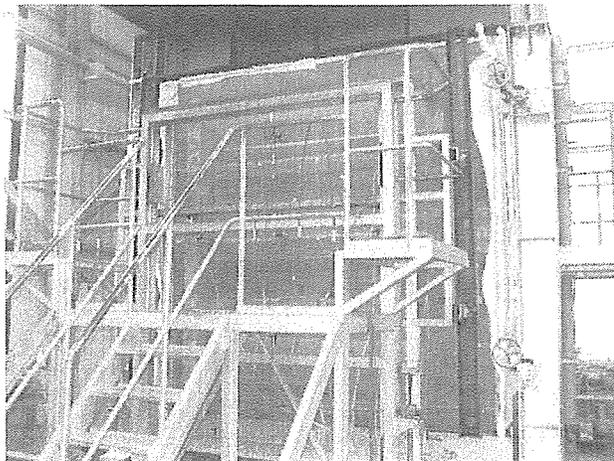
継手部



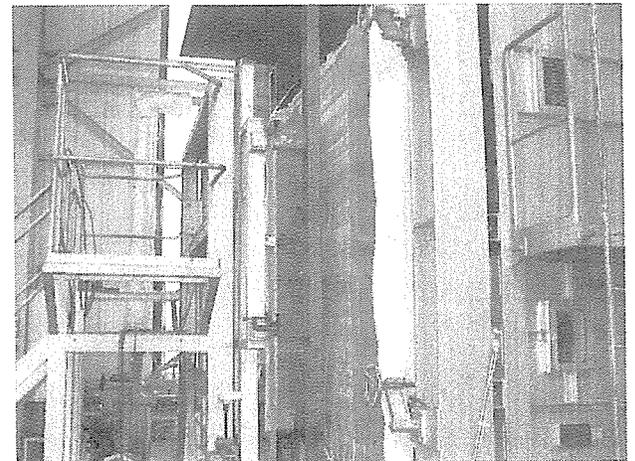
袖壁交差部



加熱試験炉へのセット作業



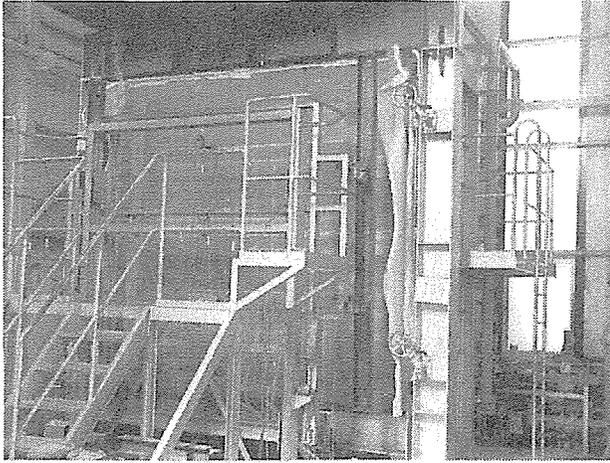
セット完了



同左

試験体③

(写真 5-9)



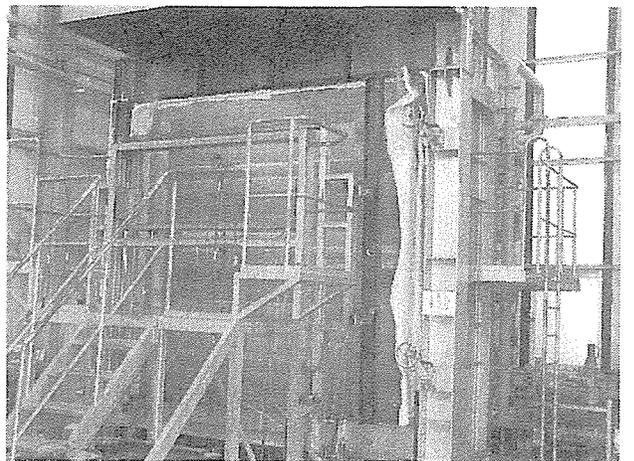
加熱開始後約 31 分経過



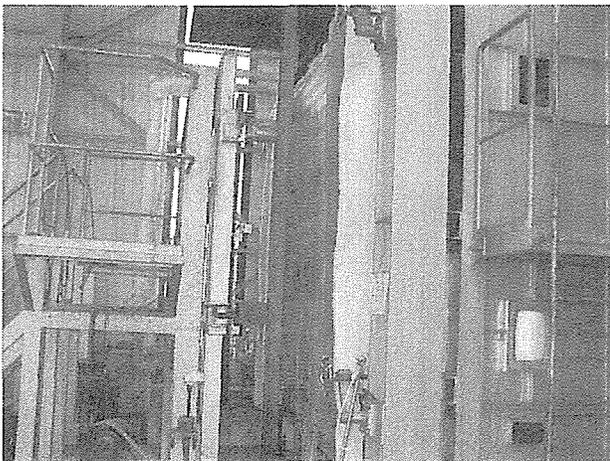
同左



同上／炉内の状況



加熱開始後約 46 分経過



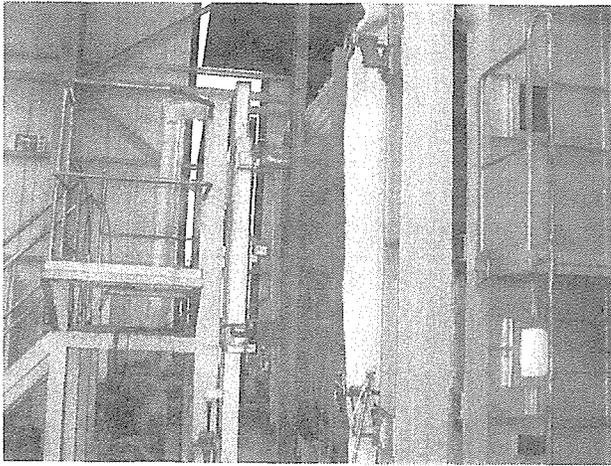
加熱開始後約 46 分経過



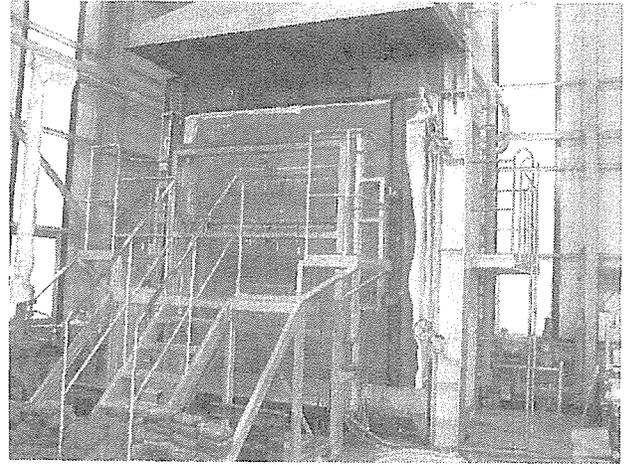
同左／炉内の状況

試験体③

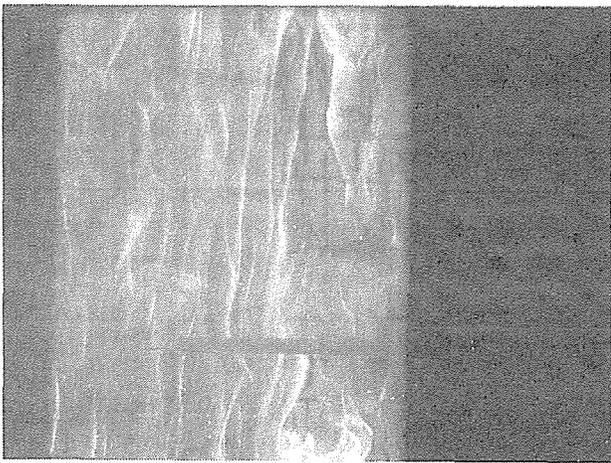
(写真 5-10)



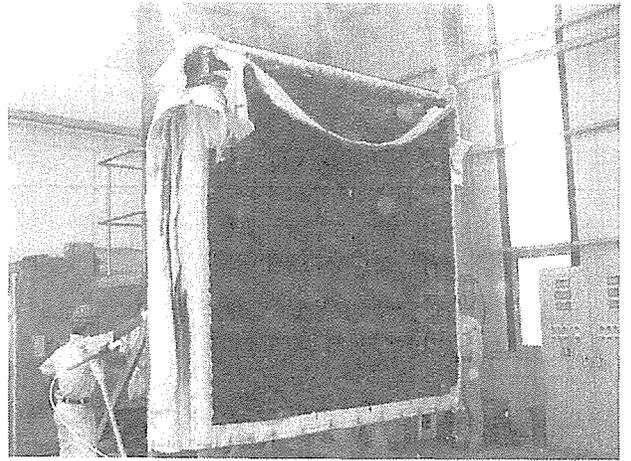
試験終了／加熱開始後 51 分



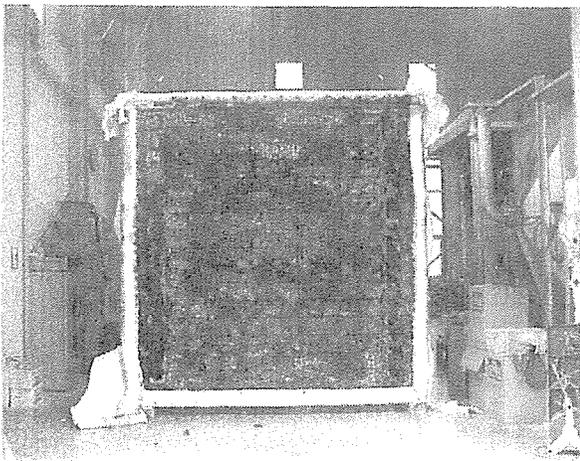
同左



試験終了時の炉内



炭化の状況

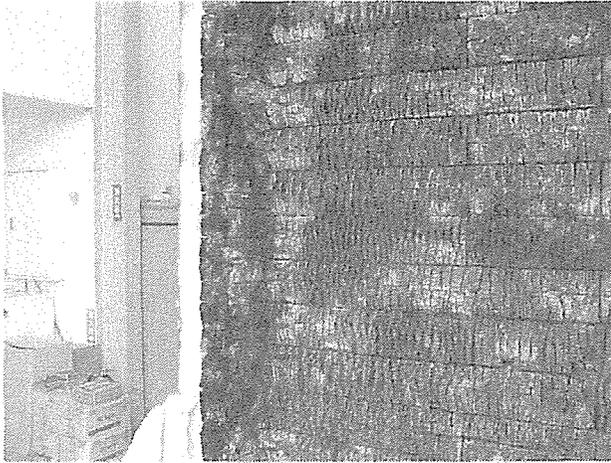


炭化の状況

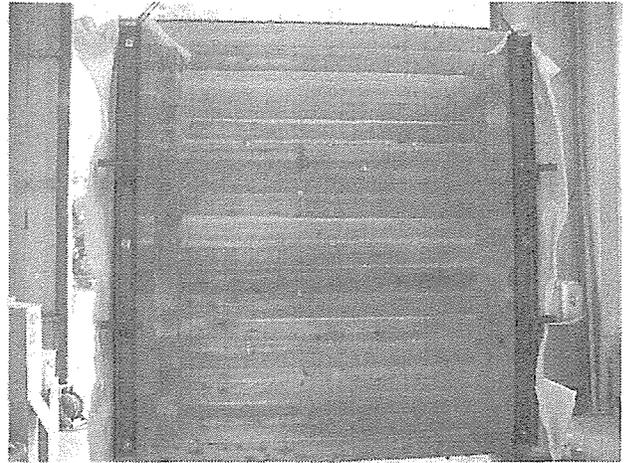


同左

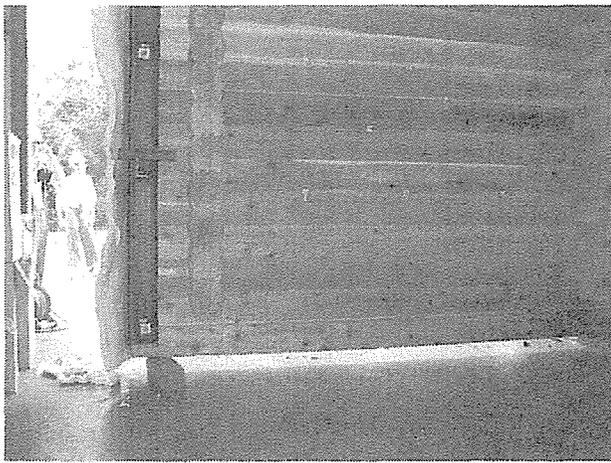
試験体③
(写真 5-11)



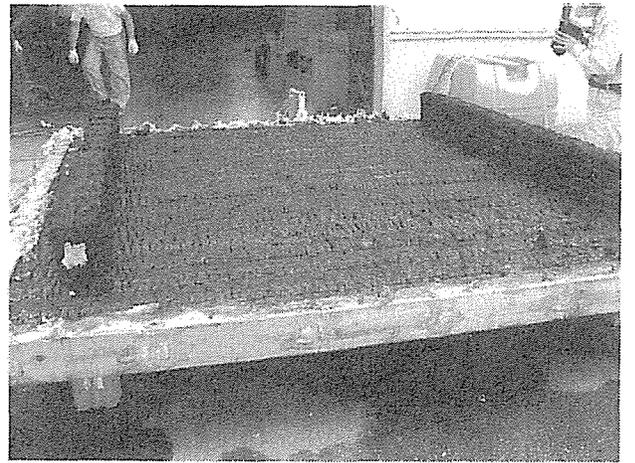
炭化の状況／アップ



非加熱側の状況



非加熱側の状況



炭化の状況



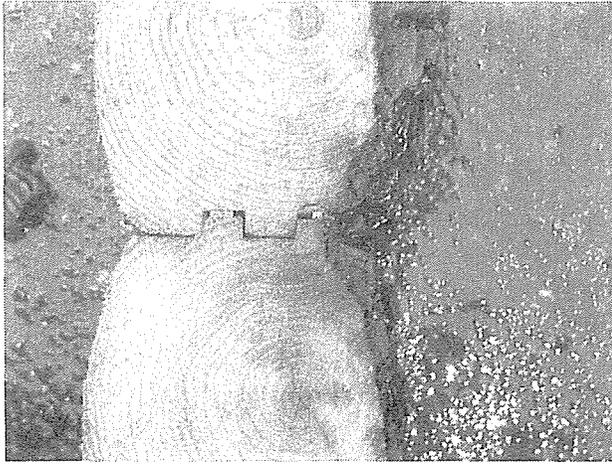
炭化の状況／アップ



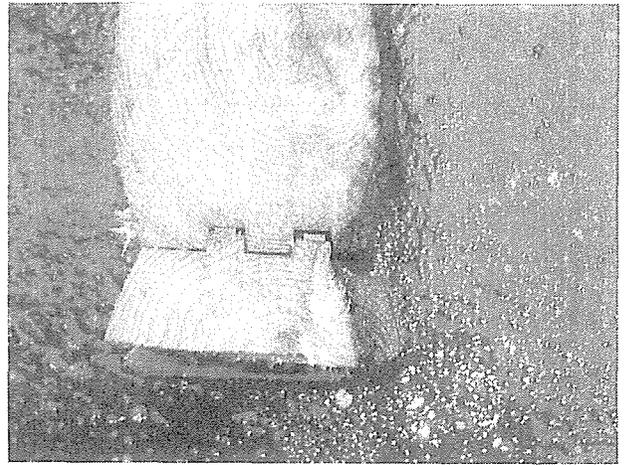
炭化の状況／袖壁部分

試験体③

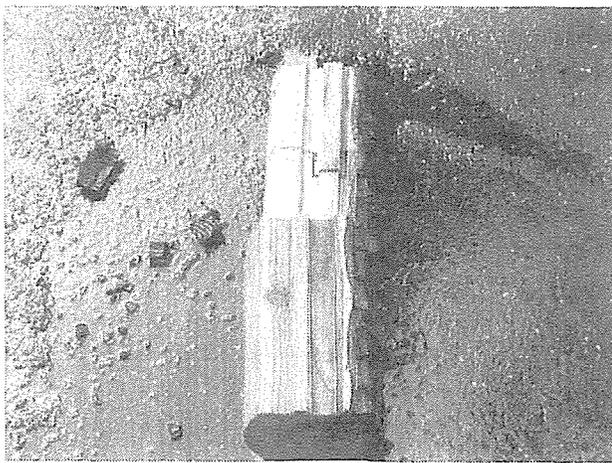
(写真 5-12)



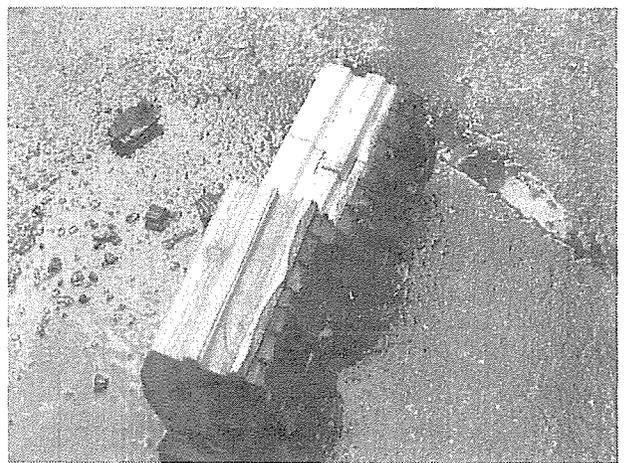
炭化の状況断面



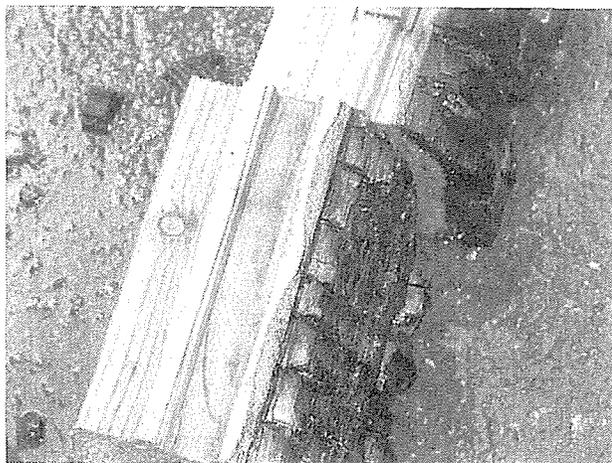
同左



抜取りサンプル



同左



同上



継手部分のサンプル

試験体③

(写真 5-13)

5.2.4 試験体④について

(1)加熱開始(13:55)3分経過後頃より交差部木口背割り部より発煙(特に正面左側上方部が多量)が始まった。

(2)その後、多少減少した状態で推移したが終了まで続いた。

(3)壁面接合部、継手部からの煙の吹き出しはほとんど観察されなかった。

(4)面外方向変位量は加熱開始数分後より均一的に進行し、30分経過時点で50mm弱となり(図5-16)、その後も進行し試験続行を加熱開始後35分で中止した。

(5)炭化の状況:炭化深さは30mmから重なり部分で38mm前後であった。加熱発泡材は炭化深度以内に位置していたため完全に発泡状態で炭化していた。交差部加熱側控壁は背割りの影響もあり、木口部からの燃え込みが大きく見受けられた。

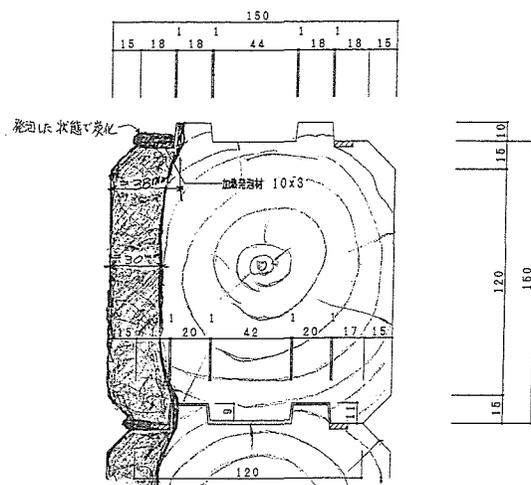
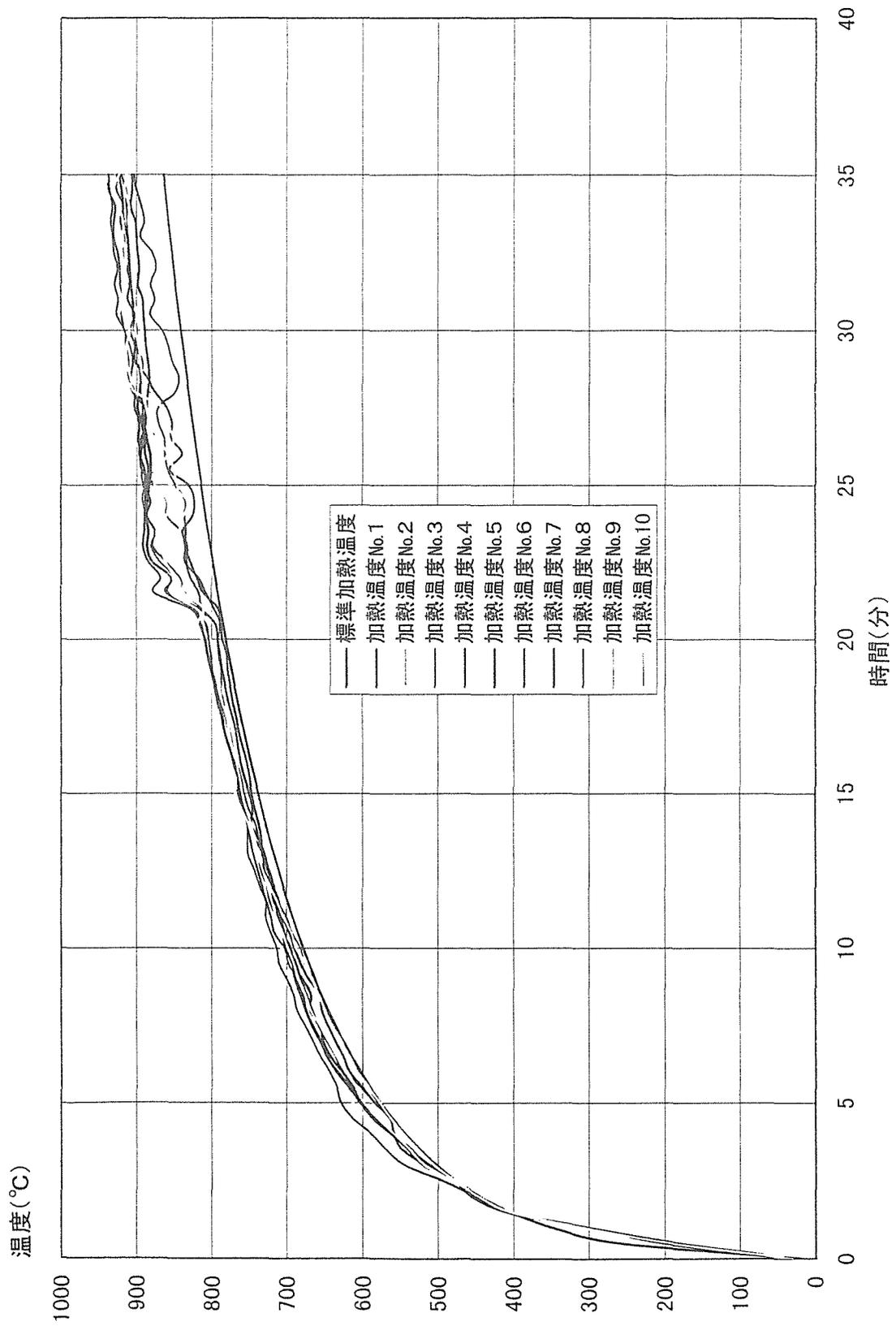


図 5-14 試験体④の炭化状況

(6)今後の課題

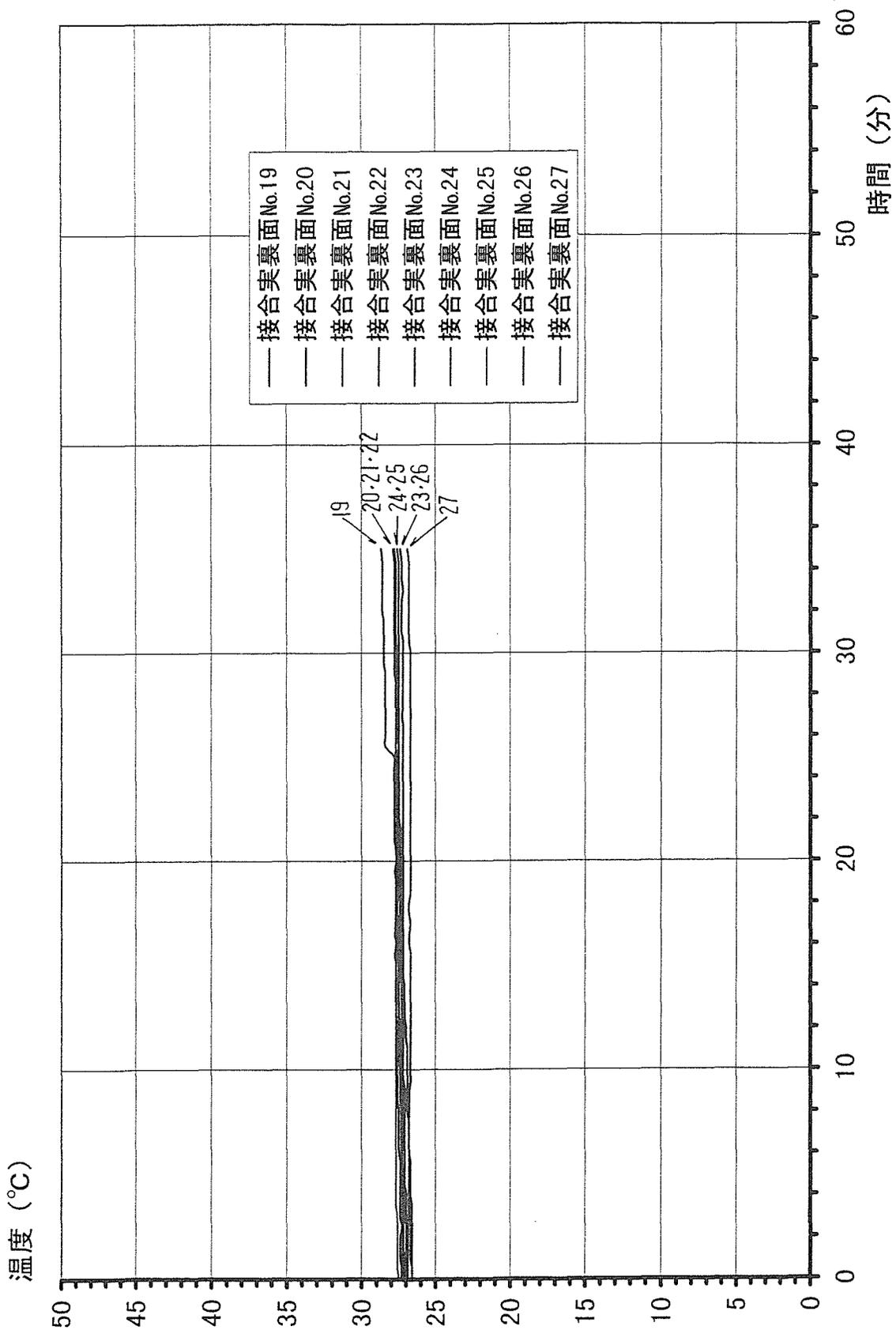
- ・角ログの利用者が8割と多い中で、このタイプの耐火時間が非常に大きい問題である。
- ・1分当たり1.14mm燃焼しており、45分間の耐火には51.3mm燃焼に耐える必要がある。
- ・角ログの壁厚方向の大きさを最低160mm以上とする等の試験が必要と思われる。
- ・現在の試験方法では加熱側交差部木口に燃焼処置が必要である。

図 5-15～図 5-17 及び写真 5-14～写真 5-18 参照



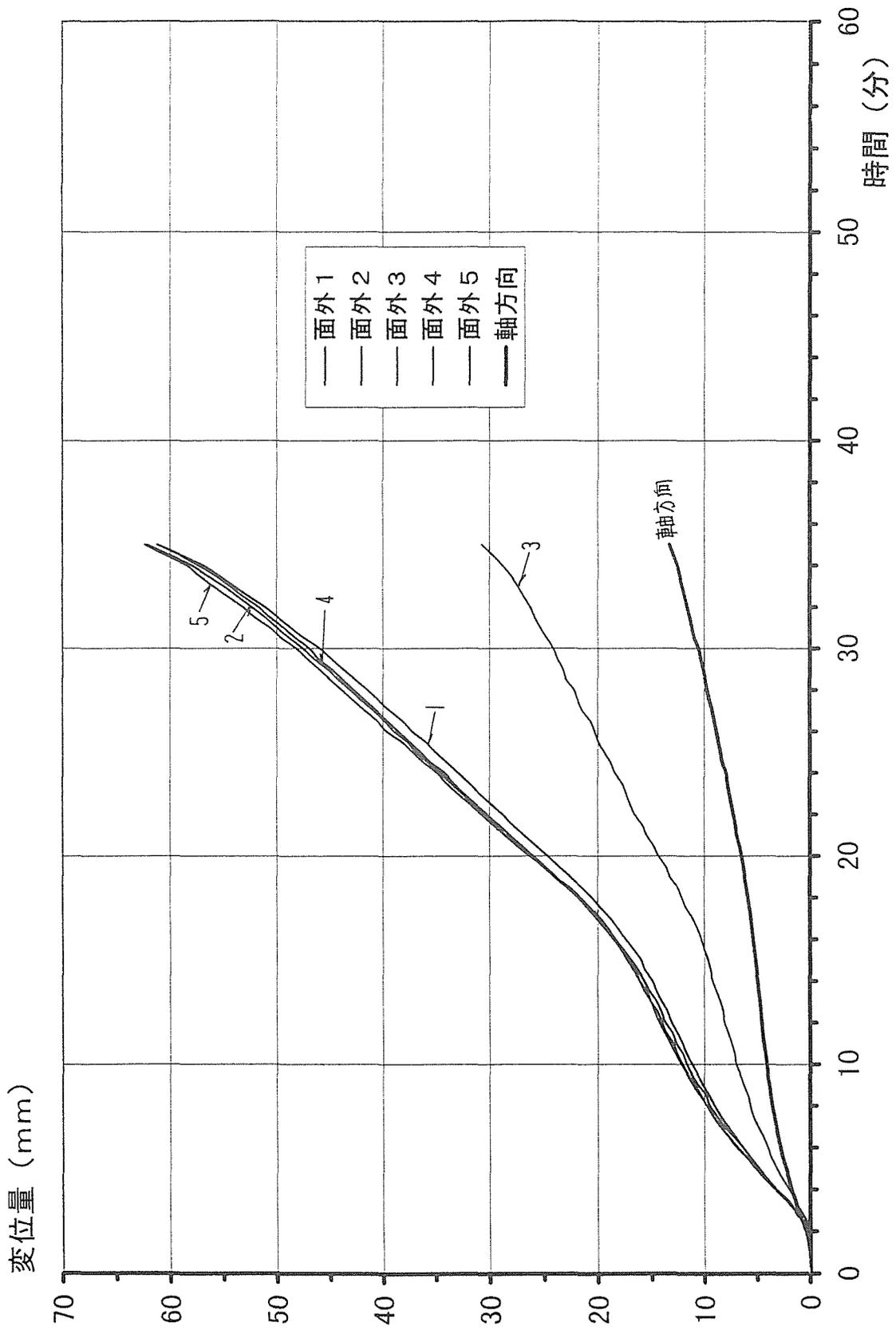
試驗體④(加熱溫度測定結果)

(圖 5-15)



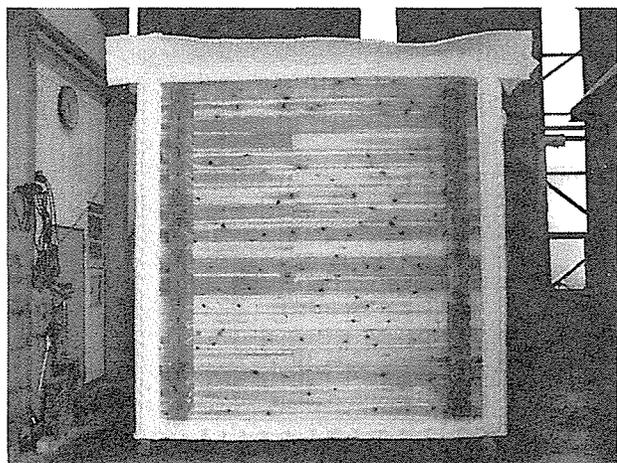
試験体No.④ (接合部実裏面温度測定結果)

(図 5-16)

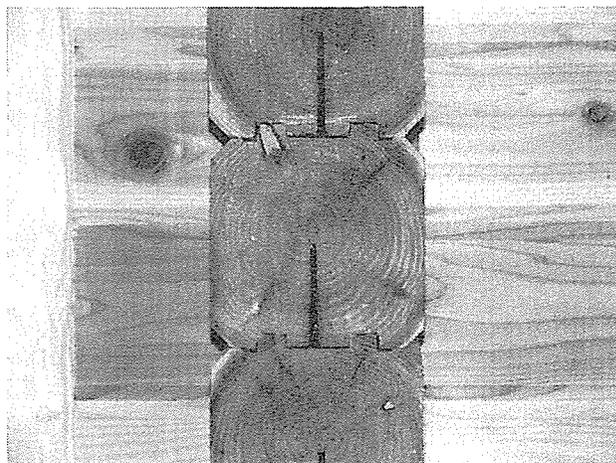


(圖 5-17)

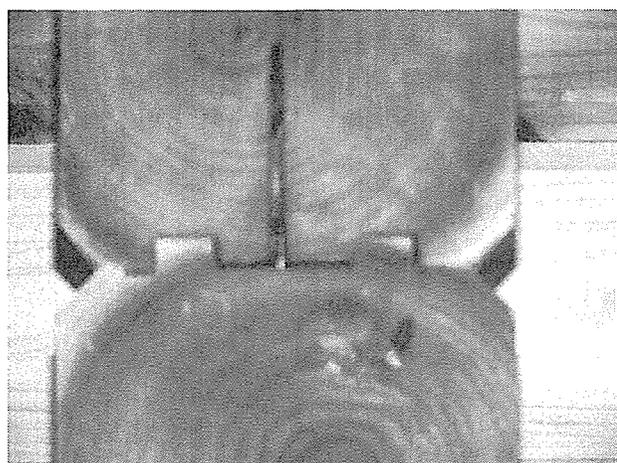
試驗體④ (面外・軸方向變位測定結果)



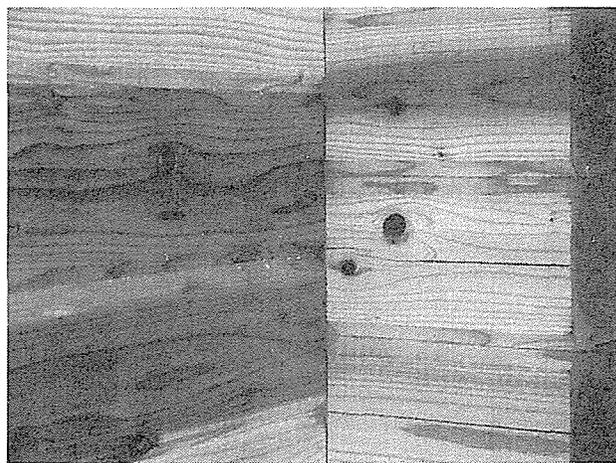
加熱側全景



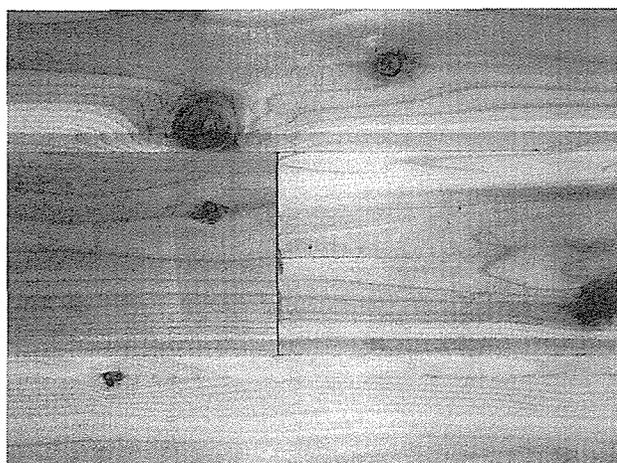
袖壁木口部



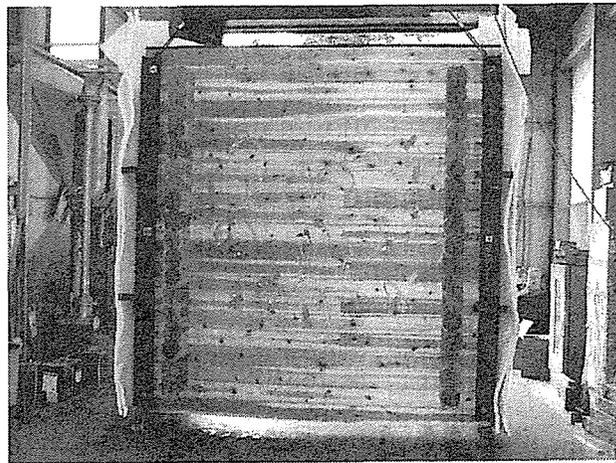
木口部アップ



袖壁交差部



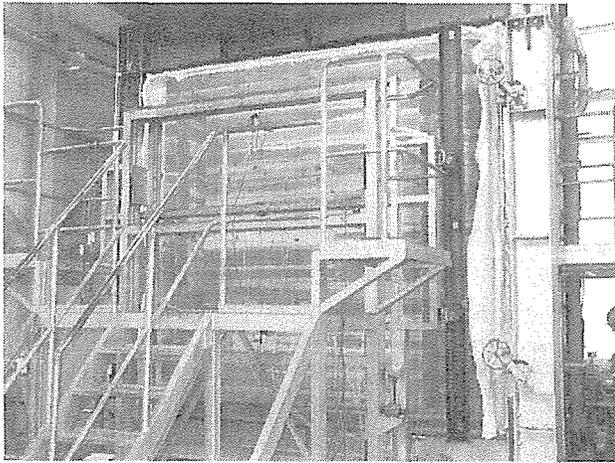
継手部



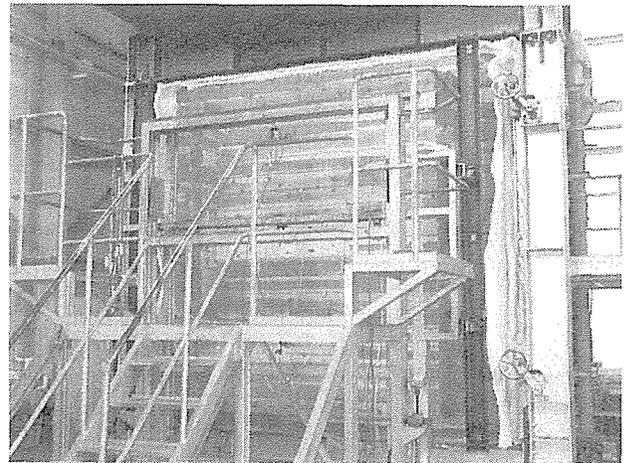
加熱試験炉へのセット作業

試験体④

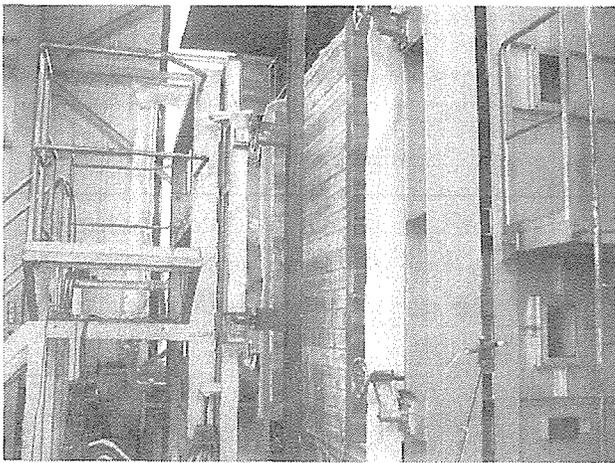
(写真 5-14)



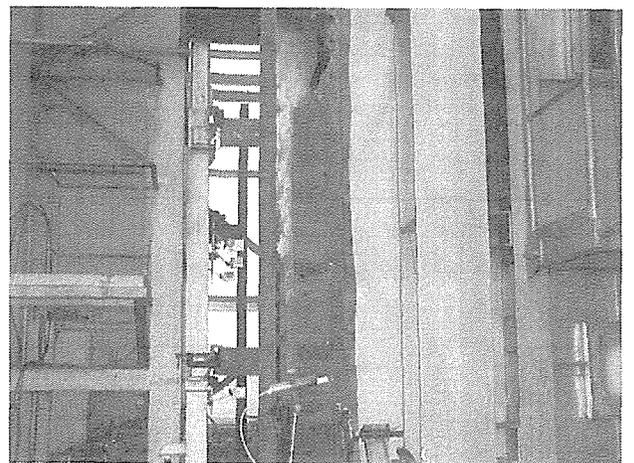
セット完了



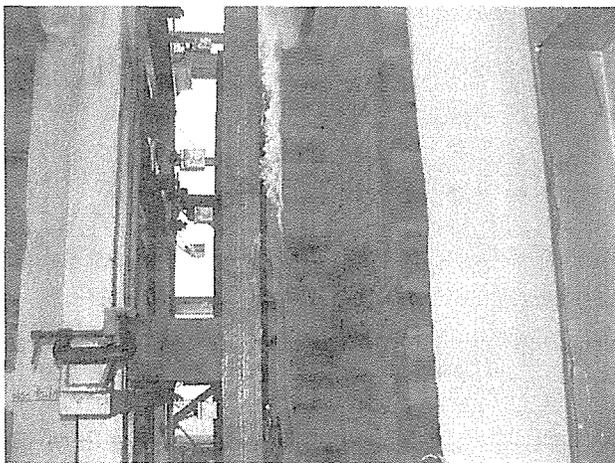
同左



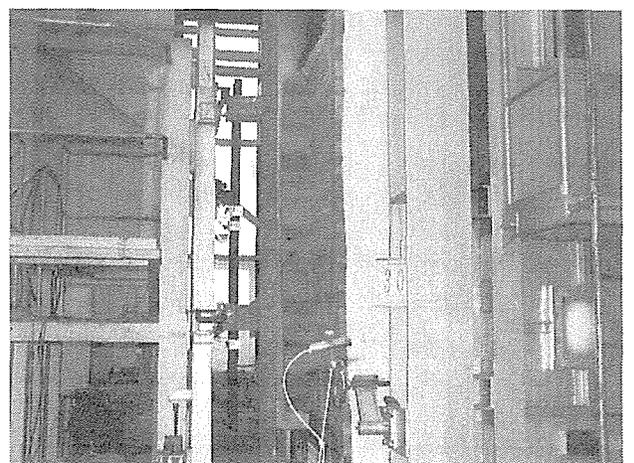
同上



加熱開始後約 28 分経過



同右上



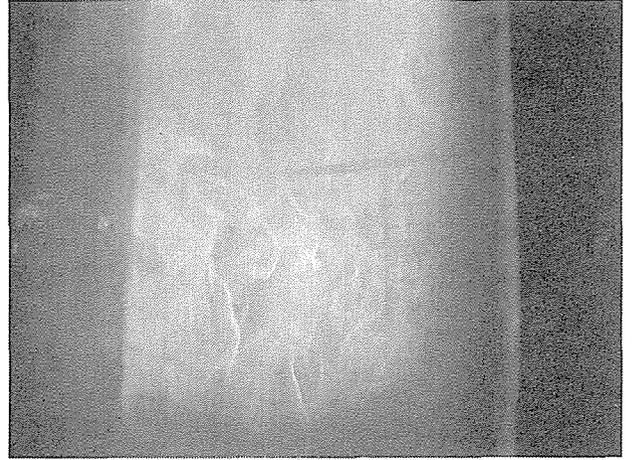
加熱開始後 30 分経過

試験体④

(写真 5-15)



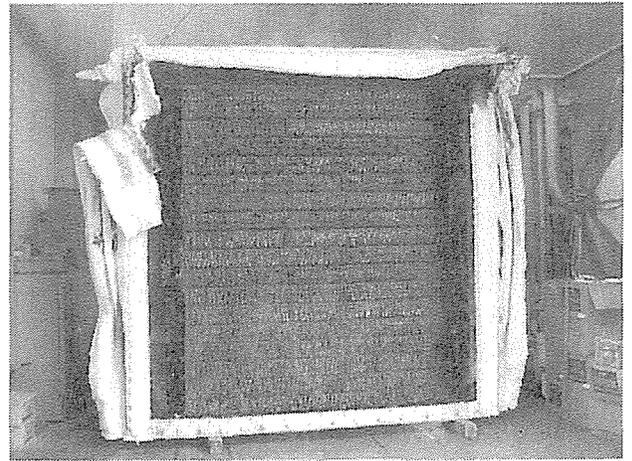
加熱開始後約 30 分経過



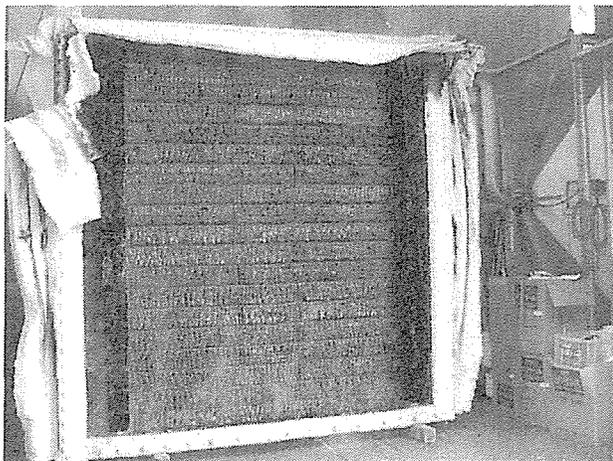
同左／炉内の状況



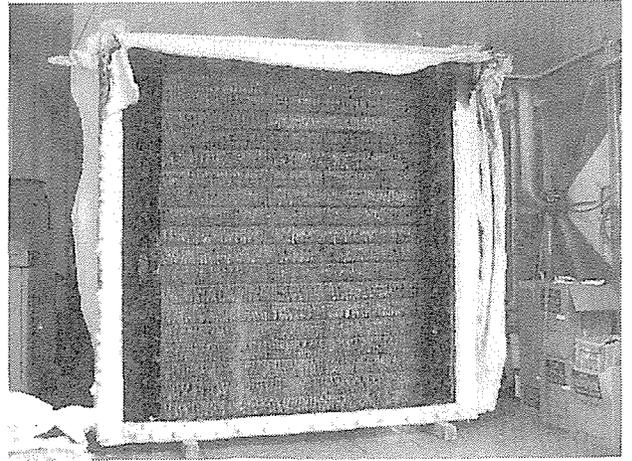
試験中止／加熱開始後 35 分



炭化の状況



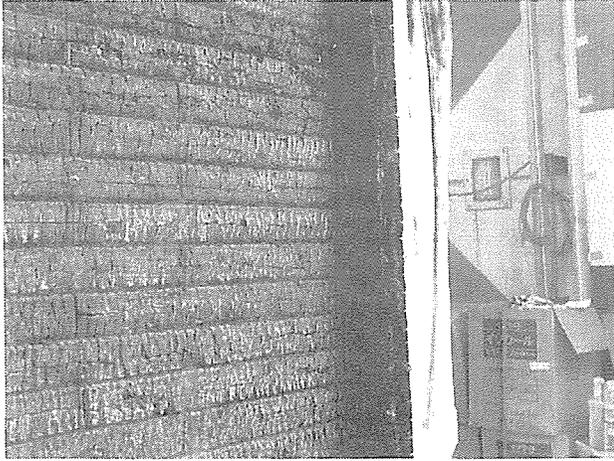
炭化の状況



同左

試験体④

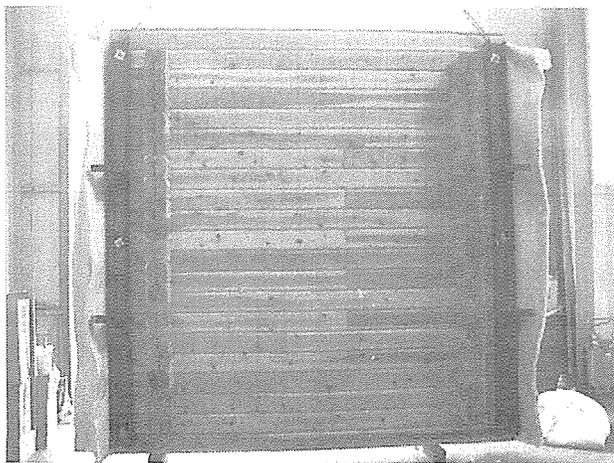
(写真 5-16)



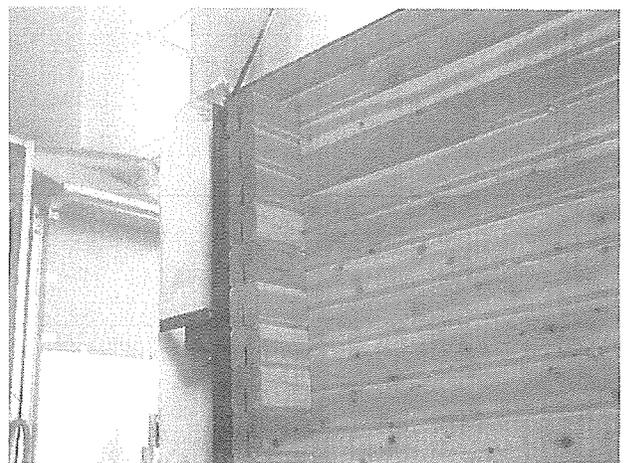
炭化の状況



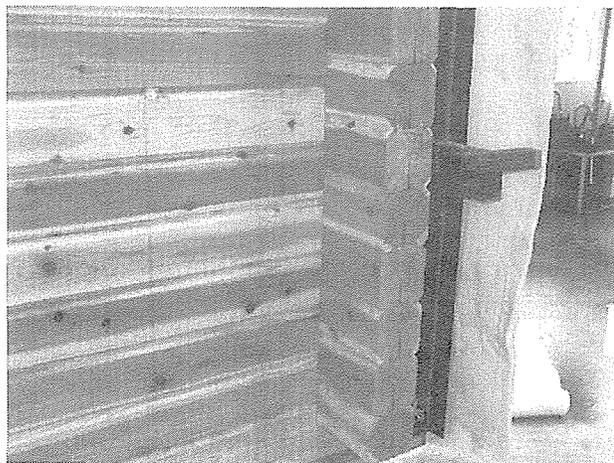
同左／アップ



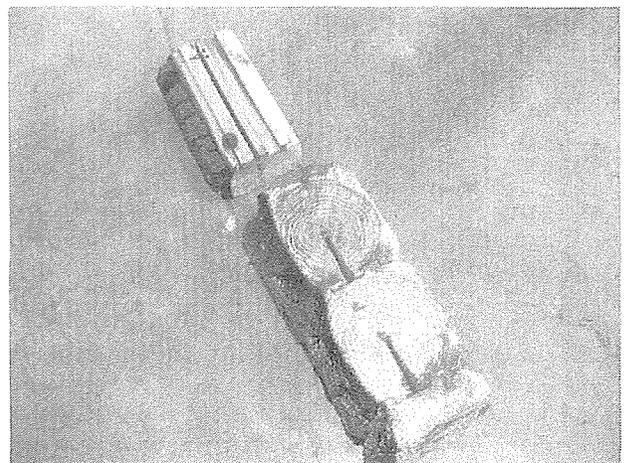
非加熱側の全景



非加熱側袖壁部



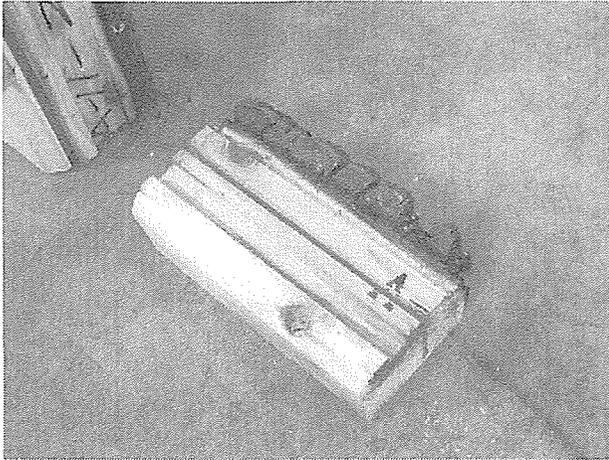
同右上



断面サンプル

試験体④

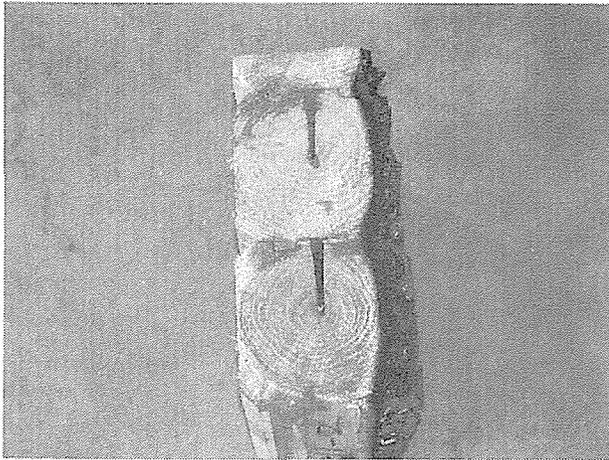
(写真 5-17)



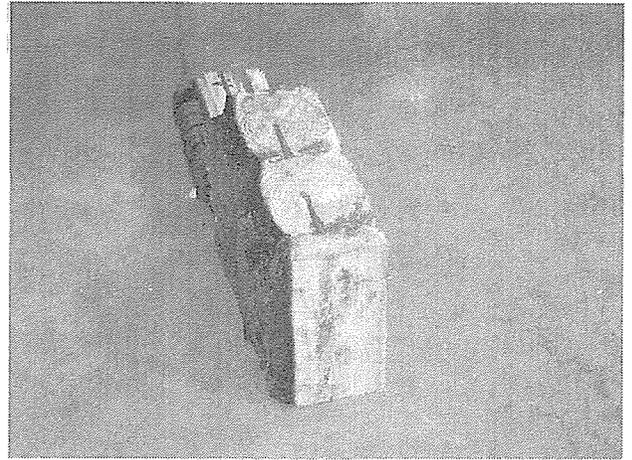
炭化状況サンプル



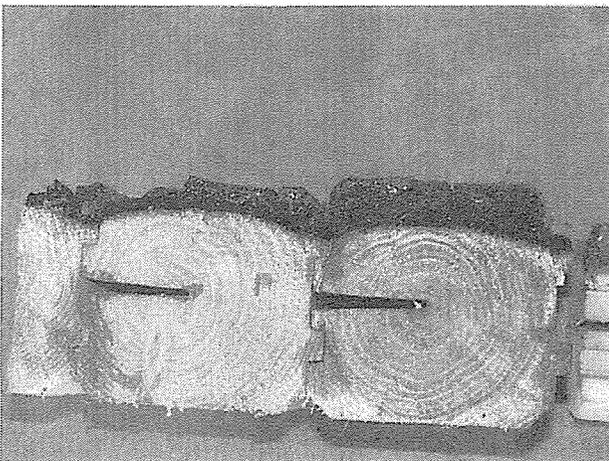
同左



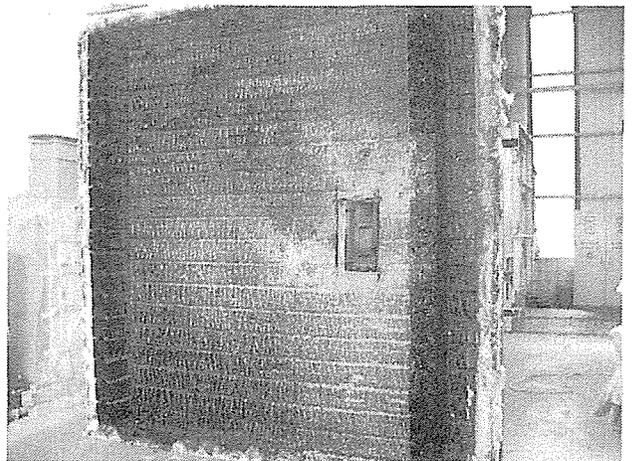
同上



同上



同上



サンプル採取後の加熱側壁面

試験体④

(写真 5-18)

6. 実用化の見通し

ログハウス建築の現状は丸ログから角ログに移っている状況にある。今回の試験で交差部や継手部、重なり部の燃え抜けや発炎は認められなかった。丸型ログタイプは燃えしろが丸みの部分が有利に働き荷重による座屈が起きにくいと考えられる。

角形ログは、その点断面が直接減少するためログ幅が大きくなると荷重による座屈に耐えきれない。ログ幅を今回より大きくして試験を再度実施しコスト面等を考慮した上で断面寸法を見出す必要がある。角ログでの耐火時間 45 分が確認できれば実用化の方向が見えてくる。

7. 今後の対応

今回の試験調査の成果を踏まえ、

- ①断面寸法の再検討（断面を大きくする）
- ②ダボ緊結による座屈対応
- ③加熱発泡材の挿入位置と不採用による低コスト化
- ④ハンドカットログの耐火検証

など、今後当協会会員に対して準耐火構造（壁）の普及推進を求め、併せて他の部位（柱・床・はり・屋根・階段）についても準耐火性能の認定（大臣認定）を受け、実用化に向けて取り組むことが必要である。ログハウス協会が中心となって、開発を進めていくこととしている。

8. 特筆すべき成果

今回の準耐火構造試験では、重なり幅 12 cm前後の一般的なログを用いて、45 分耐火を確認する載荷耐火実験を実施し、4 体中不合格が 2 体（試験体 No. ②及び No. ④）あったもののそれらの耐火性能は 30 分以上 45 分の間にあり、全試験体を通じて耐火性能を向上させるための問題点を把握するとともに、大臣認定への足掛かりをつけることが出来た。

9. 試験調査委員会 委員

委員長	菅原 進一	東京大学工学部建築学科 教授
	中村 賢一	(財)ベターリビングつくば建築試験センター 常任参与・試験第二部長
	福本 雅嗣	住友林業(株)嘱託
	征矢 隆	木構造振興(株)専務取締役
	諏訪 勝志	(有)諏訪設計事務所 代表取締役 (主任技術者)

10. 技術者

主任技術者	諏訪 勝志	(有)諏訪設計事務所 代表取締役
技術者	堀内 計治	ログハウス協会 常務理事・事務局長

11. 他からの指導又は協力事項

なし

12. 参考文献

- 1) (財)日本・住宅木材技術センター:平成6年度木質資源利用事業
「ログハウス壁構造の加熱試験」報告書

1313 不燃加工を施した間伐材の内装材、外装材の開発

課題番号：1313

不燃加工を施した間伐材の内装材、外装材の開発

浅野木材工業株式会社

要 旨

当社では、ここ4年程前より森林植物資源の有効利用ということで21世紀への循環型社会を見据えた商品開発づくりを進めてきた。その手法として県産間伐材（主にスギ材）を活かした、人と環境にやさしい、高付加価値商品開発に取り組んできた。

その開発内容として木材の難燃化技術確立を目指し、不燃薬液開発・木材への加圧注入含浸技術を独自開発し、木材で初めて不燃材料として平成13年11月7日付けで国土交通大臣認定を取得した。

本事業はこの不燃木材の実用化に向けた技術・用途開発を行うもので、それにより、各地の間伐材活用拡大と森林植物資源の持続的確保にも資するものとする。

キーワード

森林植物資源、有効利用、循環型社会、県産間伐材、商品開発、不燃材料、不燃薬液、加圧注入含浸、技術・用途開発、

目 次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	1
3. 試験調査の内容	1
3.1 不燃木材の製作	1
3.2 不燃処理済み材の接着性試験	1
3.3 不燃処理済み材の塗装耐候性試験	3
3.4 塗装後、異樹種に処理した場合の不燃性の確認試験	4
3.5 不燃処理済み材の有毒性の確認調査	5
3.6 不燃処理済み材の強度試験	9
3.7 不燃木材の仕様・用途並びに市場調査	10
3.8 その他の試験	10
4. 試験調査の日程	11
5. 試験調査の結果	11
5.1 不燃木材の製作	11
5.2 不燃処理済み材の接着性試験	11
5.3 不燃処理済み材の塗装耐候性試験	13
5.4 塗装後、異樹種に処理した場合の不燃性の確認試験	17
5.5 不燃処理済み材の有毒性の確認調査	21
5.6 不燃処理済み材の強度試験	31
5.7 不燃木材の仕様・用途並びに市場調査	33
5.8 その他の試験	34
6. 実用化の見通し	36
7. 今後の対応	36
8. 特筆すべき成果	36
9. 試験調査委員会 委員	37
10. 技術者	37
11. 他からの指導又は協力事項	37
12. 参考文献	37

不燃加工を施した間伐材の内装材、外装材の開発

浅野木材工業株式会社

1. はじめに

現在、日本の森林資源活用のために間伐材の積極的な利用が望まれている。そこで木材の難燃化により、より広い分野での利用促進を図る必要がある。今回、木材の不燃加工が可能となり、その商品開発が早急な課題である。

2. 試験調査の目的

不燃処理木材の利用分野としては、これまで防火規定で制限されている場所での使用である。一般市場の要望としては、内装制限下での使用、都市部防火地域での外装材としての使用等である。従って、まず内装材、外装材としての基礎データ収集、それに基づいた改善が必要不可欠である。本課題はこのような基礎データを収集して用途開発を図り、実用化を目指すものである。

3. 試験調査の内容

3.1 不燃木材の製作

今回の試験で用いた試験体の製作については次のとおりである。

まず、材料として乾燥した（含水率約 15 %）スギの辺材を用意した。それを加圧含浸・乾燥の工程で不燃処理（現在特許申請中）し、仕上げとして鉋盤で 1~2 mm 切削加工を施し、試験体寸法調整を行った。また、各不燃処理済み試験体の含水率は恒温恒湿槽で 15~20 % に調整した。

一般に難燃処理木材は、通常の木材よりも高い吸湿性を示すものが多い。今回の不燃処理済み材も高い吸湿性をもっていることが分かっており、これは硼素化合物を主成分とする難燃薬剤（現在特許申請中）を使用しているためと考えられる。不燃処理済み材の薬剤量は不燃処理後の薬剤重量を体積で除したもので表している。

$$\text{薬剤量 (kg/m}^3\text{)} = (\text{不燃処理全乾重量} - \text{含浸前全乾重量}) / \text{体積}$$

このように不燃木材を製作しているが、これら試験体の難燃性能は薬剤含浸量に依存すると考えられ、240 kg/m³以上の薬剤量が必要ということを確認（浅野木材工業株調べ）している。よって、試験体には原則的に薬剤量を 240 kg/m³以上のものを用いた。

3.2 不燃処理済み材の接着性能試験

不燃処理済み材のフィンガージョイント（以下 FJ）加工の検討を行った。強度試験で FJ 加工部の接着強度を測定した。接着強度試験は、まず、予備試験を行い、その結果をもとに公的機関で試験を行うこととした。

予備試験は、不燃処理済み材と種々の接着剤との相性の検討も行う予定であったが、今回は時間の関係上、レゾルシノール樹脂のみの検討を行った。この接着剤の選択理由は、熱硬化型という点から燃焼性の面、取り扱いの容易さの面から選択した。試験内容は次のとおりである。

3.2.1 予備的接着強度試験

不燃処理済み材の接着強度の検討を行った。試験は曲げ試験、ブロックせん断試験、はく離試験によった。

(1) 試験体の作製

試験体材料は繊維方向=1900 mm、接線方向=125 mm、放射方向=27 mm（以下、L：繊維方向 R：接線方向 T：放射方向）の乾燥材（含水率約 15%）を用意し、それを不燃処理後、仕上げ切削加工し、L=900 mm、R=120 mm、T=25 mmに調整した。

(2) 試験方法

1) 曲げ試験

FJ 加工部の接着強度を曲げ試験にて検討した。FJ 加工については、接着後の不燃性、意匠性を考慮し、接着面が材面に表れない水平FJでの接着強度の検討を行った。接着試験体寸法はL=900 mm、R=120 mm、T=22 mmとした。

2) ブロックせん断試験

不燃処理済み材と接着剤の相性をブロックせん断試験にて検討した。試験体は、JAS のブロックせん断試験に基づき、4 層に積層した試料から積層方向の全ての接着層が含まれるように試験片を作製した。試験方法は、試験片のせん断面と接着軸が平行になるように設計されたせん断装置を用い、荷重速度毎分約 1,000 kgを標準とし、その破壊荷重を測定してせん断強さを求めた。

3) はく離試験

不燃処理済み材と接着剤の相性をはく離試験にて検討した。試験体は、100 mm×100 mm×L75 mmの 4 層に積層した試験片を作製した。試験方法は次の 2 通りとした。

① 浸せきはく離試験（JAS で規定する構造用集成材の浸せきはく離試験）

試験片を室温（10～25℃）の水中に 24 時間浸せきした後、70±3℃の恒温乾燥機で 24 時間以上乾燥した。このサイクルを 2 回繰返した後、両木口面におけるはく離の長さ 3 mm以上のものについて測定した。

② 煮沸はく離試験（JAS で規定する構造用集成材の煮沸はく離試験）

試験片を煮沸水中に 4 時間浸せきし、更に室温（10～25℃）の水中に 1 時間浸せきした後、

水中から取り出した試験片を $70 \pm 3^\circ\text{C}$ の恒温乾燥機で 24 時間以上乾燥した。このサイクルを 2 回繰返した後、両木口面におけるはく離の長さ 3 mm 以上のものについて測定した。

3.2.2 公的機関での接着強度試験

公的機関での不燃処理済み材の接着強度試験を行った。試験は財団法人日本合板検査会に委託した。試験内容は次のとおりである。

(1) 接着強度試験体の作製

試験体材料は、繊維方向=1,000 mm、接線方向=125 mm、放射方向=27 mm（以下、L：繊維方向 R：接線方向 T：放射方向）の乾燥材（含水率約 15 %）を用意し、それを不燃処理後、仕上げ切削加工し、L=1,000 mm、R=120 mm、T=25 mm に調整した。そして、その材の FJ 加工は協力工場に依頼した。加工内容は、FJ 切削加工→接着後→鉋盤仕上げで、寸法を L=1,200 mm、R=115 mm、T=22 mm に調整し試験体とした。また、試験体は 10 体用意した。

(2) 接着強度試験方法

試験方法は、構造用集成材の日本農林規格に基づき、曲げ試験（3 等分点 4 点加重）、引張り試験を行った。曲げ試験はその破壊荷重を測定し、曲げ強度、曲げヤング係数を求めた。引張り試験は破壊荷重を測定し、引張り強さを求めた。試験体数は各試験 5 体ずつとした。

3.3 不燃処理済み材の塗装耐候性試験

不燃処理済み材と各種塗料との相性の確認を行うことにより、適切な塗料の選択を模索する必要がある。そこで、塗料との相性確認としてサンシャインウェザーメーターによる塗装耐候性試験により検討した。試験は森林総合研究所に委託した。試験内容は次のとおりである。

3.3.1 塗装耐候性試験体の作製

寸法 L=1000 mm、R=120 mm、T=25 mm の不燃処理済み材から切削加工し、L=140 mm、R=65 mm、T=8 mm の試料片を作製した。そして、その試料片の各種塗装を協力工場に依頼した。塗料には浸透型（含浸型）の有機塗料 6 種と塗膜形成型（造膜型）の無機塗料 1 種を用意した（表 1）。塗装はいずれも 2 回塗り、1 回目の塗装が指触乾燥後に 2 回目の塗装を行った。木口面には 4 面隠ぺい処理（フタル酸樹脂エナメル塗装）を行う（無塗装材とも）。試験体数は各 2 個である。

表1 各試験体に使用した塗料の一覧

記号	メーカー	商品タイプ	色
A	A社	浸透型有機塗料	ナチュラル
B	B社	浸透型有機塗料	パイン
C	C社	浸透型有機塗料	ピニー
D	D社	浸透型有機塗料	パイン
E	E社	浸透型有機塗料	パインイエロー
F	F社	造膜型無機塗料	クリア
G	G社	浸透型有機塗料	クリア
H	無塗装		

3.3.2 塗装耐候性試験方法

(1)サンシャインウェザーメーター試験

今回の試験では、屋外の試験を想定しつつ水分の影響を除外した試験環境を設定するため、JIS K 5600-7-7 の促進耐候性試験法（キセノンランプ法）の方法1を用い、かつ湿潤サイクルなしとして以下の条件で耐光性を評価した。なお、アンダーグラス条件ではない。

- ・チャンパー：アトラス社、キセノンアーク灯式サンシャインウェザオメーター Ci35A
- ・放射照度：340nmの放射照度を0.50 W/m²として連続照射（290-800nmのエネルギー：550W/m²）
- ・湿度：30-40%
- ・ブラック標準温度：65±2℃、チャンパー内温度50±2℃
- ・試験時間：500時間まで

(2)色差・光沢度測定

- 1) 色差の測定には、ミノルタ CM-5081i を用い、試験前および試験100時間、300時間、500時間後に、L*, a*, b*値を得て、 ΔE^*ab により表した（JIS K 5600-4-6）。
- 2) 光沢の測定には、日本電色 PG-3D を用い、試験前および試験100時間、300時間、500時間後に、入射角60°における光沢度を求めた（JIS K 5600-4-7）。

3.4 塗装後、並びに異樹種に処理した場合の不燃性の確認試験

不燃処理済み材に塗装した場合の燃焼性、並びにスギ以外の樹種に不燃処理を施した場合の燃焼性の検討を行った。異樹種の燃焼性の検討については、前述したとおり、難燃性は薬剤含浸量に依存すると思われることから不燃液の薬剤浸透性の検討から行うこととした。試験内容は次のとおりである。

3.4.1 試験体の作製

(1) 塗装試験体

試験体材料には、寸法 L=1000 mm、R=120 mm、T=25 mm の不燃処理済み材を用いた。3 個の有機塗料塗布試験体は、1 個の不燃処理済み材から作製し、木口を 10 cm 切断し、そこから順に L=100 mm、R=100 mm、T=23 mm の試験体を切断採取した。有機塗料には塗装耐候性試験で用いたオスモカラ一、シッケンズ、キシラデコールを選択した。塗布方法は、はけ塗りで 24 時間養生の 2 度塗りを行った。また、無機塗料塗布試験体も有機塗料塗布試験体と同様の方法で作製した。塗料はナノコートで、塗布は塗料メーカーに依頼した。

(2) 異樹種試験体

現在、既往の研究により、樹種ごとの薬剤浸潤性は明らかとなっている。しかしながら、本件の不燃薬液は一般的な防腐防蟻薬剤（AAC、ACQ 等）と比較して粘性が高く、注入性に顕著な差があると考えられた。

試験体にはヒノキ、アカマツ、ヒバの 3 樹種を用いた。まず、薬剤注入性の調査のため、寸法は L=1000 mm、R=100 mm、T=25 mm の材料を各樹種 3 体ずつ用意し、薬剤含浸処理を施した。そして、燃焼試験体は木口から 10 cm 切断し、L=100 mm、R=100 mm、T=23 mm の試験体を切断採取した。

3.4.2 燃焼試験方法

試験は森林総合研究所に委託した。試験方法は ISO 5660-1 のコーンカロリメーターを用いた発熱速度試験を行い、試験時間は 20 分間を基準とした。

防火材料は、不燃材料、準不燃材料、難燃材料に区分され、コーンカロリメーター試験では燃焼発熱性が評価される。難燃材料、準不燃材料、不燃材料には表 1 に示す性能が要求される。

表 2 コーンカロリメーター試験における防火材料の性能評価基準

	難燃材料	準不燃材料	不燃材料
加熱時間	5 分間	10 分間	20 分間
輻射強度	50 kW/m ²		
判定基準	(1) 総発熱量が 8 MJ/ m ² であること。 (2) 防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がないこと。 (3) 最高発熱速度が 10 秒以上継続して 200 kW/ m ² を超えないこと。		

3.5 不燃処理済み材の有毒性有無の確認、調査

3.5.1 ホルムアルデヒド放散性試験方法

不燃処理済み材の VOC の検討の一部としてホルムアルデヒド放散性の検討を行った。試験は財北陸公衆衛生研究所に委託した。試験内容は次のとおり。

試験は不燃木材を検体として、JIS A 5905 (1994) 繊維板「5.15 ホルムアルデヒド放出量試

験」に準拠した。試験体は寸法L=150 mm、R=50 mm、T=24 mmの不燃処理済み材を7個用意した。

3.5.2 毒性試験方法

不燃処理済み材の毒性を検討するため、急性経口毒性試験、急性経皮毒性試験、皮膚一次刺激性試験、眼刺激性試験、変異原性試験、皮膚感作性試験の6種類の試験を行った。試験は財団法人日本食品分析センターに委託した。

(1)マウスを用いた急性経口毒性試験

不燃木材（1辺が1cmの立方体10個）を検体として、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 401(1987)に準拠し、マウスによる急性経皮毒性試験を行った。試験方法は、1cm立方の検体表面積3cm²当たり1mLの純水を用い、121℃±2℃で1時間加熱抽出して得たものを試験液とした。そして、試験群には体重1kg当たり検体総表面積60cm²相当の試験液を、対照群には同一条件で加熱した純水を雌雄マウス（試験群・対照群ともに雌雄それぞれ10匹）に強制単回経口投与した。

観察期間は14日間とし、投与日は頻回、翌日から1日1回の観察を行った。投与後7及び14日に体重を測定し、t-検定により有意水準5%で群間の比較を行った。観察期間終了時に動物すべてを剖検した。

(2)ラットを用いた急性経皮毒性試験

不燃木材（1辺が1cmの立方体を粉碎し、これを目開き600μmのふるいにかけて、ワセリンに混合し20%の試料として調整したもの）を検体として、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 402(1987)に準拠し、ラット（試験群・対照群ともに雌雄それぞれ5匹、試験開始日前日に背部被毛を剪毛）による急性経皮毒性試験（限度試験）を行った。試験方法は、試験群には2,000mg/kgの用量の試料を、4cm×6cmの大きさのろ紙に塗布し、24時間閉鎖貼付した。対照群には基剤として用いたワセリンを1匹につき雄2.9g、雌では2.2gを24時間閉鎖貼付した。また、貼付後24時間にろ紙を取り除き、貼付部位を70%エタノールで清拭した。

観察期間は14日間とし、投与日は頻回、翌日から1日1回の観察を行った。投与後7及び14日に体重を測定し、t-検定により有意水準5%で群間の比較を行った。観察期間終了時に動物すべてを剖検した。

(3)ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験

不燃木材(1cm×1cm×3.5cmの直方体を粉碎し、37℃で約2時間保存、これを目開き600μmのふるいにかけて、通過した2.0gに純水3mLを加え試料としたもの)を検体として、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 404(1992)に準拠し、ウサギによる皮膚一次刺激性試験を行った。試験方法は、検体粉碎物をウサギ3匹の無傷及び有傷皮膚に4時間閉鎖貼付した。具体的には、試験動物1匹につき、約6cm²の面積4箇所を設定、そのうち2箇所には18ゲージの注射針を用い

て、真皮までは達しないように角化層に井げた状のすり傷を付け（有傷皮膚）、他の 2 箇所を無処置（無傷皮膚）とした。約 2 cm×3 cm のガーゼパッチに、試料 0.8 g を均一に載せ、無傷及び有傷皮膚の各 1 箇所ずつに貼付、残りの無傷及び有傷皮膚は対照とした。

曝露時間は 4 時間とし、その後パッチを取り除き、曝露面を純水で清拭した。除去後 1、24、48 及び 72 時間に観察を行い、刺激反応の採点を実施した。刺激反応が除去後 72 時間で認められた場合は、14 時間を限度として反応が消失するまで観察を続けた。

また、Federal Register (1972) に準拠してパッチ除去後 1、24 及び 48 時間の採点値を合計して 6 で除し、更に各試験動物の平均を算出して一次刺激性インデックス (P. I. I.) とし、ISO 10993-10 の基準に基づき、検体の刺激性の評価を行った。

(4)ウサギを用いた眼刺激性試験

不燃木材(1 辺が 1 cm の立方体 2 個)を検体として、OECD Guidelines for the Testing of Chemicals 405 (1987) に準拠し、ウサギによる眼刺激性試験を行った。試験方法は、検体を純水中で 121°C ±2°C 1 時間加熱して得た試験液を、また、純水を同様の条件で加熱して得た空試験液を調製した。そして、ウサギ 3 匹の片眼に試験液、他眼に空試験液をそれぞれ 0.1 mL 点眼した。点眼後 1、24、48 及び 72 時間にスリットランプ (×10) を用いて角膜、虹彩、結膜などの観察を行い、Draize 法の基準に従って眼刺激性の程度を採点した。得られた採点値を用いて各試験動物の合計評点を計算し、各観察時間ごとに 3 匹の合計評点を求めた。観察期間中の平均合計評点の最高値から、試験液の眼刺激性について評価を行った。

(5)変異原性試験

不燃液の突然変異誘起性を労働省告示第 77 号 (昭和 63 年 9 月 1 日) に準じて調査した。検体について、Escherichia coli WP2 uvrA 株及び Salmonella typhimurium TA 系 4 菌株を用いて代謝活性化を含む復帰突然変異試験を 156~5,000 µg/プレートの用量で行った。

検体は不燃液をひょう量し、注射用水を加え、試験管ミキサーによるかくはんを行い、50 mg/mL の溶液を調整した。これを試験原液として注射用水を用いて適宜希釈し試験に供した。陰性対照は試験液の調整に用いた注射用水とした。

試験操作方法はプレインキュベーション法 (代謝活性化法によらない場合及び代謝活性化法による場合の両条件) により試験を行った。所定の濃度に調整した試験液 0.1 mL、S9Mix または 0.1 mol/L Na-リン酸緩衝液 (pH7.4) 0.5 mL 及び菌懸濁液 0.1 mL を順次滅菌小試験管に加えた。37°C の恒温槽中で 20 分間振とう (プレインキュベーション) した後、これをトップアガー 2 mL (S. typhimurium TA 系 4 菌株については、別に滅菌した 0.5 mmol/L L-ヒスチジン-0.5 mmol/L D-ビオチン溶液を 1/10 容量、また、E. coli WP uvrA 株については、0.5 mmol/L L-トリプトファン溶液を 1/10 容量加えたもの。) を加え混合して、最小グルコース寒天平板培地上に一様に広げ固化させた。37°C の恒温器中で 48 時間培養し、復帰突然変異により出現したコロニーを計数した。

(6)モルモットを用いた Maximization 法による皮膚感作性試験

不燃液を検体として、Maximization 法によりモルモットを用いて皮膚感作性試験を行った。

試験群には 10 匹、陰性対照群には 5 匹、陽性対照群（既知感作性物質処置群）には 6 匹の試験動物を使用した。

試験方法は以下の 3 段階で行った。

1) 感作誘導 1（皮内注射）

試験群、陰性対照群及び陽性対照群それぞれについて、試験動物の体重を測定した後、肩甲骨上を電気バリカンで剪毛した。左右各 1 箇所、

試験群においては、

A : E-FCA

B : 検体の生理食塩液溶液 (25 w/v%)

C : 検体の生理食塩液溶液 (50 w/v%) に等量の FCA を加えて乳化させたもの

陰性対照群においては、

A : E-FCA

B : 生理食塩液溶液

C : E-FCA

陽性対照群においては、

A : E-FCA

B : DNCB のオリブ油溶液 (0.1 w/v%)

C : DNCB の FCA 溶液 (0.2 w/v%) に等量の生理食塩液を加えて乳化させたもの

をそれぞれ 0.1 mL ずつ皮内注射した。

2) 感作誘導 2（48 時間閉鎖貼付）

皮内注射後 1 週間に注射部位を再度剪毛及び剃毛し、ラウリル硫酸ナトリウム（ワセリン中 10 %）を塗布した。

塗布後 24 時間に塗布部位を 70 %エタノールで清拭し、試験群では検体原液、陰性対照群では注射液、陽性対照群では DNCB の 0.1 %ワセリン混合物をそれぞれ 0.2 mL ずつ 2 cm×2 cm のろ紙に塗布し、試験動物の皮内注射部位に 48 時間閉鎖貼付した。

3) 感作誘発及びその観察・判定法

感作誘導 2 終了後 2 週間に感作誘発処理を行った。

試験群では検体の 50、10 及び 1 w/v%溶液、陰性対照群では注射用水、また、陽性対照群では DNCB の 0.1 %ワセリン混合物をそれぞれ 0.1 mL ずつ 2 cm×2 cm のろ紙に塗布し、あらかじめ剪毛及び剃毛した側腹に閉鎖貼付した。

なお、陰性対照群には試験群と同様に検体の 50、10 及び 1 w/v%溶液を貼付した。

貼付（誘発）開始を 0 時間として、24 時間後に貼付部位を 70 %エタノールで清拭した。誘発後 48 及び 72 時間に貼付部位を肉眼的に観察し、Draize 法の基準に従って皮膚反応の採点を行い、その平均値を算出した（平均評価点）。また、各観察時間における陽性率[%]（陽性

動物数/1群の動物数)×100]を求めた。

3.6 不燃処理済み材の強度試験

不燃処理済み材の強度試験を行った。試験は福井県総合グリーンセンターに委託し、曲げ、縦圧縮、縦引張り試験での検討を行った。試験内容は次のとおりである。

3.6.1 強度試験体の作製

各試験の寸法は以下のとおりである。試験体数は不燃処理済み材、無処理材ともに10体ずつ用意した。

(1) 曲げ試験

32 mm×32 mm×482 mm

(2) 縦圧縮試験

32 mm×32 mm×92 mm

(3) 縦引張り試験

図1に示す。

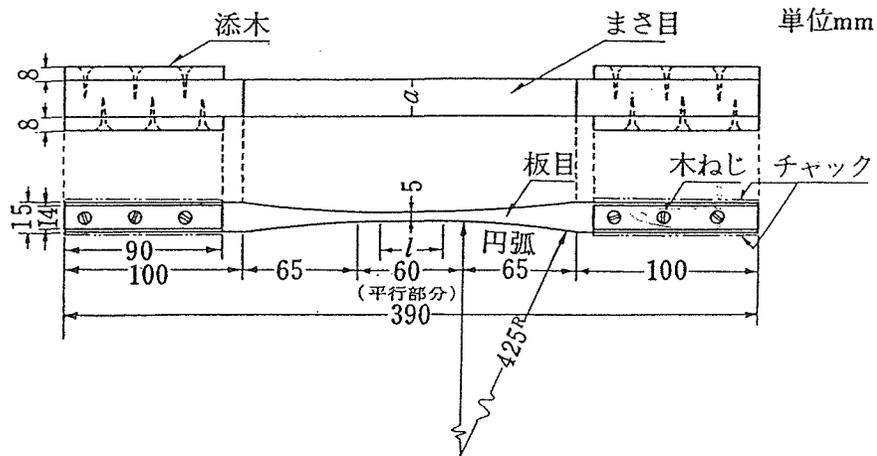


図1 縦引張り試験体形状

3.6.2 強度試験方法

試験は、JIS Z 2101 に準拠して行った。方法は、不燃処理済み材、無処理材ともに 20°C、相対湿度 65%の条件の恒温恒湿槽で 2 週間含水率調整を行い、各試験を行った。各試験条件は以下のとおりである。

(1)曲げ試験

試験機器：東洋ボールドウィン(株) UTM-III-500 型

荷重条件：最大荷重 500kgf、加力ヘッド速度 2mm/min

(2)縦圧縮試験

試験機器：東京衝機製造所 油圧式強度試験機 AU 10 型

荷重条件：最大荷重 10 tf、加力ヘッド速度 2mm/min

(3)縦引張り試験

試験機器：東京衝機製造所 油圧式強度試験機 AU 10 型

荷重条件：最大荷重 5 tf、加力ヘッド速度 2mm/min

3.7 不燃木材の仕様・用途並びに市場調査

市場でどのような仕様での、またどのような用途での不燃木材の需要があるかを調査した。調査方法は主に「展示会等でのアンケート調査」「電話・FAX・メール等による問合せの要望分析」「問合せ元へ直接訪問しての調査」で、サンプル数は 220 件（複数回答あり）である。

3.8 その他の試験

3.8.1 鉄腐食性試験

不燃処理済み材の鉄腐食性の検討を行った。試験は福井県総合グリーンセンターに委託した。試験方法は次のとおりである。

試験は JIS K 1571 に準拠して行った。試験材料は、寸法 L=45 mm、R=20 mm、T=20 mm の不燃処理済み材、及び無処理材を 5 体ずつ用意した。その試験体に鉄くぎを打ち込み、40℃±2℃、相対湿度約 97% に調湿し 10 日間放置し、その鉄くぎの重量減少率を測定した。

3.8.2 実用機での含浸、及び乾燥の実証

実際の生産を行っていく際に予想される問題点として、実験と実用機との誤差、不燃処理材の不良率等が挙げられる。したがって、大規模な生産を行う前に、それら問題点がどの程度であるか把握することが必要である。

試験材料は、表 20（後述）に示した寸法のスギ板を用いた。それらを栈木間隔 40 cm で 7 列、17 段に栈積みした。栈木は 25mm 角のスギ材を用いた。含浸方法は、栈積み材をベルトで台車に固定し、1 MPa で 1 時間加圧含浸した。その後、含浸済み材を、実際の生産に使用する乾燥機で乾燥した。

乾燥方法は、乾球温度 70℃で、湿球温度 55℃から 47℃まで一定の速度で下げ、10 日間乾燥させた。乾燥方法は蒸気式乾燥を用いた。また、湿度コントロールには生蒸気を用いないことを条件とした。乾燥機内は 17 段の栈積み材を 2 段に積み、上部の隙間は約 15cm であった。

以上のように不燃処理を施し、その乾燥後の含水率、含浸量を測定した。

4. 試験調査の日程

平成14年2月から平成14年8月まで

5. 試験調査の結果

5.1 不燃木材の製作

前述したように、今回の実験で製作した不燃処理済み木材には高い吸湿性が改めて確認された。これは硼素化合物を主成分とした薬剤（現在特許申請中）の吸湿によるものであり、薬剤溶脱の容易さに関係するものである。今後、外装材としての仕様を視野に入れた薬剤の改良（現在特許申請中）を行っていかなければならない。

5.2 不燃処理済み材の接着性能試験

5.2.1 予備的接着性能試験結果

(1) 曲げ試験結果

不燃処理済み材への FJ 加工が困難であったため、試験体の作製ができなかった。加工状態は FJ の先端部分に割れ、欠けが生じた状態になり、接着面として機能しないものであった。これは、不燃処理を施すことにより木材にガラス質の硼素化合物が含浸された為であると考えられる。また、FJ 加工は薬剤含浸量の比較的多い木口部分を切削加工する為、材中心部分よりさらに切削困難なことが推察される。

このことから、加工速度を遅くする、刃を超硬のものを使用する等の検討を行った結果、加工可能であることが分かった。しかし、それを行うことにより作業効率の低下、コストの増加等の問題発生が考えられる。FJ 加工は不燃木材を商品化する為に必要な要素であり、更に検討が必要である。

(2) ブロックせん断試験

試験結果は表 3 のとおりであった。試験結果からは次のことが分かった。せん断強さの値にかなりのばらつきがみられる。これは、接着時の試験体含水率が高かったためと考えられ、表 3 には記載していないが、せん断強さが高い値を示しているものは、いずれも、含水率 10 % 付近であった。

このことから、含水率が低い状態での乾燥後すぐの接着が必要条件となり、製造工程の圧迫が懸念される。今後、不燃処理工程の乾燥技術の向上、難燃薬剤の吸湿性の抑制が必要であると考えられる。

表3 ブロックせん断試験結果

	規格値	試験片 1			試験片 2			試験片 3		
せん断強さ (kgf/cm ²)	54	80	68	69	82	69	63	65	43	94
木部破断率 (%)	70	75	90	80	75	80	70	40	80	100

	規格値	試験片 4			試験片 5			試験片 6		
せん断強さ (kgf/cm ²)	54	58	72	69	41	52	61	129	85	51
木部破断率 (%)	70	100	75	80	70	65	90	75	85	80

(3)はく離試験

試験結果は表 4 のとおりであった。いずれの数値を見ても、はく離の程度は微量である。このことから、接着後の含水率増加による接着強度の低下は小さいことが推測できる。

表 4 はく離試験結果

		試験片 1		試験片 2		試験片 3	
浸せき	はく離長さ (mm)	0	9	0	0	0	0
	はく離率 (%)	0	15	0	0	0	0
煮沸	はく離長さ (mm)	0	13	29	8	12	0
	はく離率 (%)	0	2.1	4.8	1.3	2.0	0

		試験片 4		試験片 5		試験片 6	
浸せき	はく離長さ (mm)	0	0	0	0	0	0
	はく離率 (%)	0	0	0	0	0	0
煮沸	はく離長さ (mm)	12	10	0	18	0	11
	はく離率 (%)	2.0	1.6	0	2.9	0	1.8

5.2.2 接着性能試験

試験の結果は表 5 のとおりであった。曲げ試験から分かるように最大破壊荷重、曲げ強さの値はともに低い。しかしながら曲げヤング係数は無処理に近い値を示している。この結果は接着界面破壊によるものと考えられる。また、曲げ、引張り試験ともに、値にばらつきが見られる。これは接着時の含水率の違いによるものか、薬剂量の違う部材の組み合わせによるものか定かではない。

今後は、含水率 10 %前後の部材での測定、また薬剂量の違いと接着強度の相関の有無を確認する必要がある。

表5 接着性能試験結果（曲げ試験及び引張り試験）

試験体 No.	最大荷重 (N)	曲げ強さ (N/mm ²)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	試験体 No.	最大荷重 (N)	引張り強さ (N/mm ²)
1	2860	26.9	8.8	1	19300	7.5
2	1380	13.1	8.0	2	13650	5.3
3	1280	12.1	6.6	3	29700	11.6
4	1710	16.3	9.3	4	22350	8.7
5	2020	19.2	9.5	5	18050	7.0

5.3 不燃処理済み材の塗装耐候性試験

5.3.1 試験結果

(1)外観

- 1) 難燃加工あり：試験前の段階で、一部の試験体表面にむらのある白色物の存在（無塗装のHあるいはクリア系のF,G）あるいは色むら（着色系のA,E）が見られた。また、後述のように難燃加工なしに比べて光沢が低い傾向があった。試験 500 時間後でも、これらの傾向は維持されていた。なお、500 時間後の変色については、後述のように難燃加工なしに比べて大きい場合と小さい場合があった。
- 2) 難燃加工なし：500 時間後の外観に関し、後述する変色と光沢度の変化以外に目立った変化は生じていない。

(2)色差

図 2、3 に試験体の色差の変化を示す。なお、元々の色調が異なる試験体間で変色を比較する場合には、色差値のみではなく目視・写真による検討・確認も重要である。

- 1) 難燃加工あり（図 2）：試験時間 500 時間後の色差はおよそ 1~11 の範囲にあり、小さいほうから順に試験体記号 C≒D≒B<A<G<E<F<H（無塗装）となったC,D,Bの結果はほぼ同等である。難燃加工なしの場合と比較すると、多くの試験体についておおむね同程度の変色傾向が見られたが、Gの色差がかなり小さい点、Eの色差がやや大きい点で異なっていた。この結果として、クリア系と着色系の色差の差異は、難燃加工なしの場合ほど顕著ではない。なお、G,Eの色差については、試験前から表面に存在していた白色物や色むらの影響を受けた可能性もある。H（無塗装）の色差の変動が大きいことについても同様の影響がある。
- 2) 難燃加工なし（図 3）：試験時間 500 時間後の色差はおよそ 3~14 の範囲にあり、小さいほうから順に試験体記号 B≒E≒C≒D≒A<F<H 無塗装<Gであった。B,E,C,D,Aの結果はほぼ同等である。なお、クリア系のF,Gは、他の着色系の塗装に比べて色差が大きく、特にGは無塗装とほぼ同様の大きな色差を示した。

表6 試験体の難燃化加工と塗装

試験体記号	難燃化加工	塗料製造元	塗装色調
A	あり (処)、なし (無)	A社	ナチュラル
B	あり (処)、なし (無)	B社	パイン
C	あり (処)、なし (無)	C社	ピニー
D	あり (処)、なし (無)	D社	パイン
E	あり (処)、なし (無)	E社	パインイエロー
F	あり (処)、なし (無)	F社	クリア
G	あり (処)、なし (無)	G社	クリア
H	あり (処)、なし (無)	無塗装	

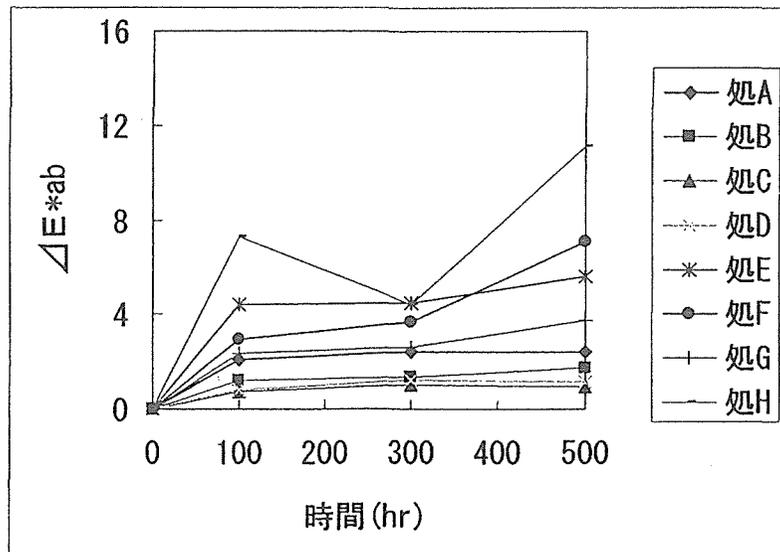


図2 試験500時間までの色差 (難燃化加工あり)

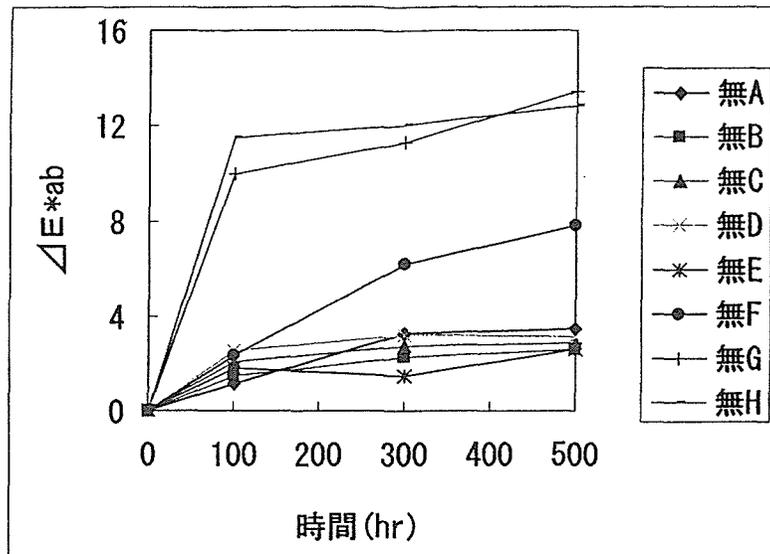


図3 試験 500 時間までの色差 (難燃化加工なし)

(3)光沢

図4、5に試験体の光沢度の変化を示す。

- 1) 難燃加工あり (図4) : すべての試験体の初期光沢度が、難燃加工なしの場合に比べて低く、塗膜型のFでも浸透型なみの光沢度であった。このため、試験 500 時間までの光沢度変化は相対的に小さい結果となった。
- 2) 難燃加工なし (図5) : 試験 500 時間まで、木材表面に膜を作る (造膜型) タイプのFは高い初期光沢度を維持した。B, C, Dの光沢度が300時間までに大きく低下しているが、これらの塗料は主として木材に含浸するタイプ (含浸型) であり、塗装直後に若干の成分が造膜した後、このように光沢度が低下するのは通常よく観察される傾向である。他の試験体 (A, G, E) も含浸型であるが、含浸型としての特徴がより明確に現れており、初期光沢度が低いまま500時間まであまり変化しなかった。

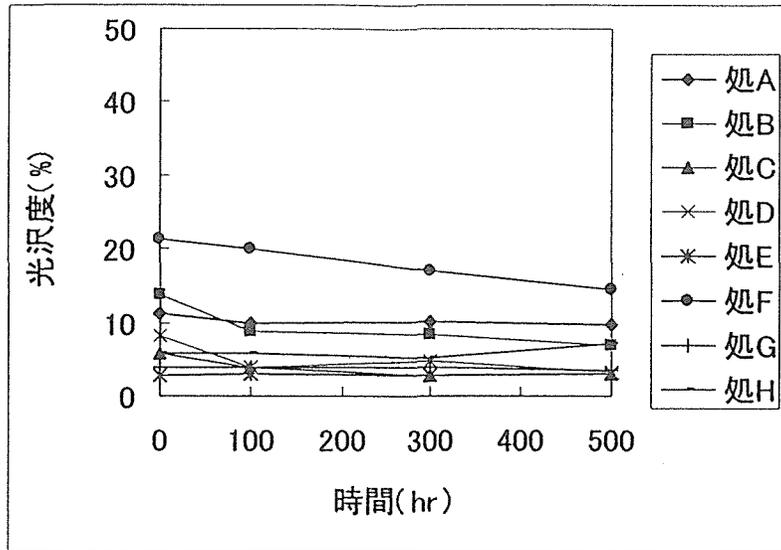


図4 試験 500 時間までの光沢度 (難燃化加工あり)

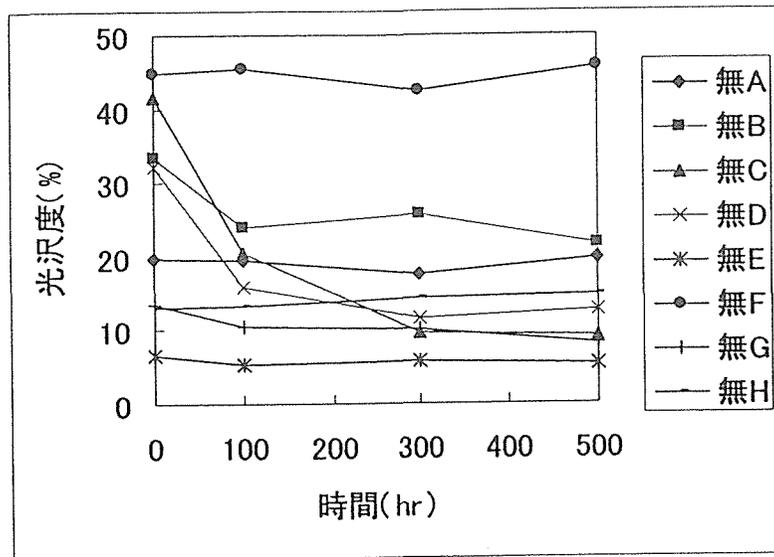


図5 試験 500 時間までの光沢度 (難燃化加工なし)

5.3.2 まとめ

難燃化加工済み木材に塗装処理することにより、試験 500 時間まで、試験体の色調変化を抑制する効果が認められた。多くの試験体について、この効果は難燃加工なしの場合と同程度であったが、一部の着色系塗量については色差が大きくなり、また、一部のクリア系塗装については色差が小さくなる場合があった。ただし、これらの結果は、試験前から表面に存在した白色物や色むらの

影響を受けた可能性がある。一方、光沢度については、いずれも難燃加工ありの方が低い結果となった。

今回の結果は、屋外での日射条件を想定しつつ水分の影響を除外した試験環境を設定して得られたものである。雨水あるいは湿度変化の影響を考慮して性能比較する為には、他の試験が必要である。

5.4 塗装後、並びに異樹種に処理した場合の不燃性の確認試験

5.4.1 塗装後の耐火性

試験結果を図 6、7、8、9 に示す。難燃薬剤が 250 kg/m³以上注入された難燃処理スギは、いずれも、20 分間の総発熱量が 8MJ/m²以下であり、不燃材料の基準を満たす性能が得られた。それぞれの試験結果にばらつきがみられるが、これは比重からも分かるように実質的な薬剤含浸量の差による影響も考えられ、塗装材料の影響によるものかどうかは不明である。

今後、正確な含浸量測定に基づいた試験体での燃焼性能の確認が必要である。

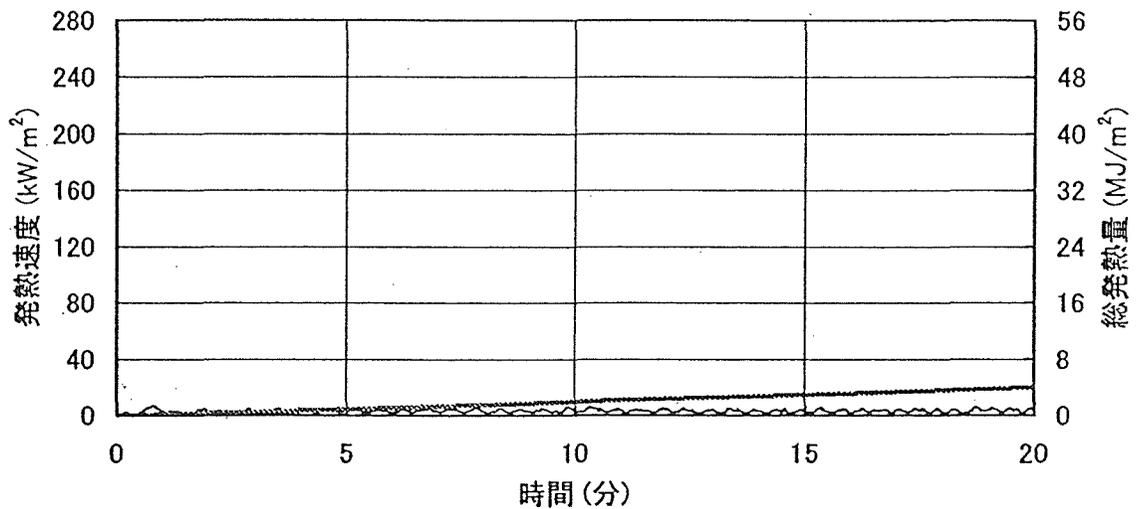


図6 塗装試験体のコーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (A社製塗料)

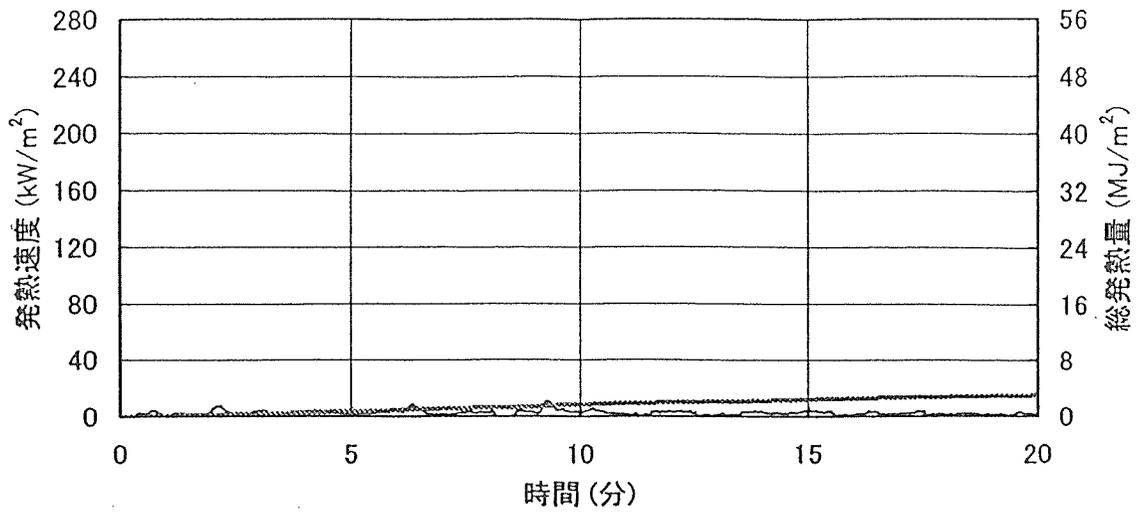


図7 塗装試験体のコーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (D社製塗料)

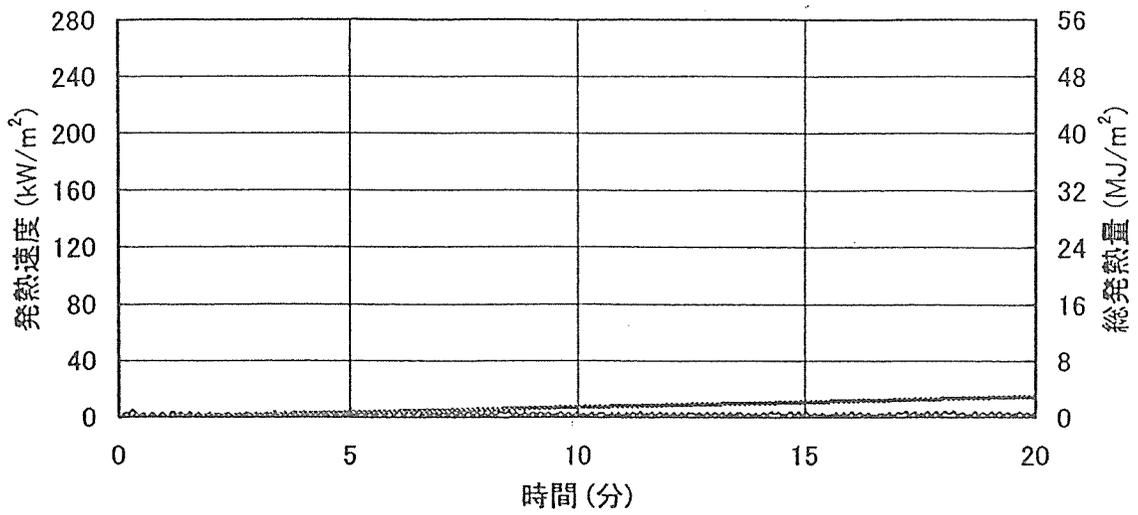


図8 塗装試験体のコーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (F社製塗料)

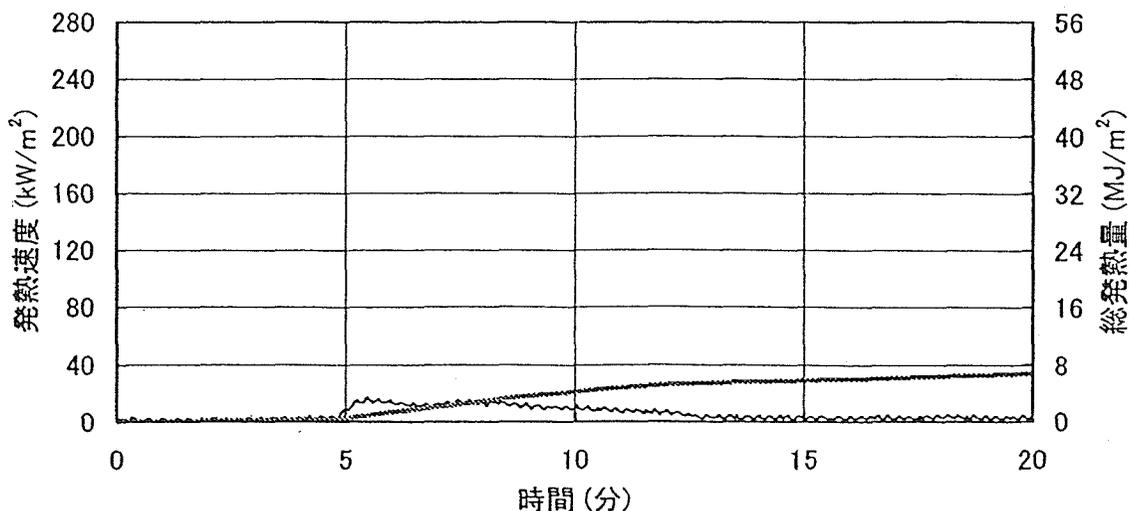


図9 塗装試験体のコーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (G社製塗料)

5.4.2 異樹種に処理する場合の薬剤注入性とその耐火性

不燃液のヒノキ、アカマツ、ヒバに対する薬剤注入性を見ると、各樹種の薬剤含浸量の平均はヒノキが 193 kg/m^3 、アカマツが 230 kg/m^3 、ヒバが 23 kg/m^3 であった。公知の液浸透性でそれぞれ、ヒノキは困難、アカマツはやや良好、ヒバは良好というようように分類されている。しかし、今回ヒバは薬剤注入性が悪く、逆にアカマツは良好という結果になった。

燃焼試験結果を図 10、11、12 に示す。これらの試験体は、スギ材と同様の難燃処理を施したものである。

試験体の薬剤固定量が多い程、発熱量が低いことが分かる。ヒバについては薬剤浸透性が容易な樹種として知られているが、薬剤の固定量が 24 kg/m^3 となり、不燃液の浸透性は良好ではなかった。燃焼試験結果では5分間でも 18.39 MJ/m^2 と判定基準の一つである 8 MJ/m^2 を上回った。

実験結果から不燃液に関しては公知の樹種別薬剤浸透性との間に差があることから、今後、これら3樹種に限らず他の樹種についても浸透性を調べる必要がある。

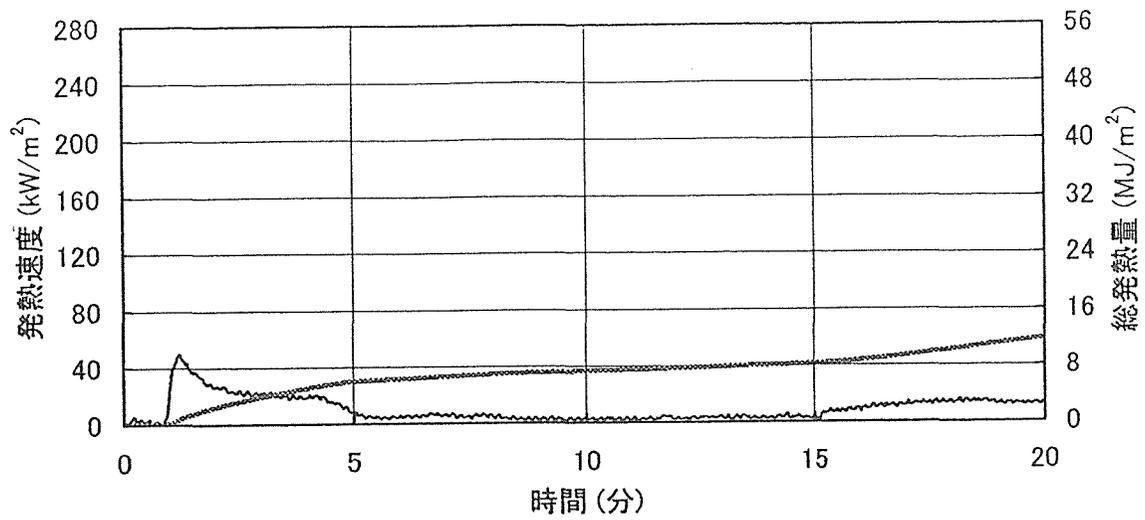


図10 コーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (ヒノキ)

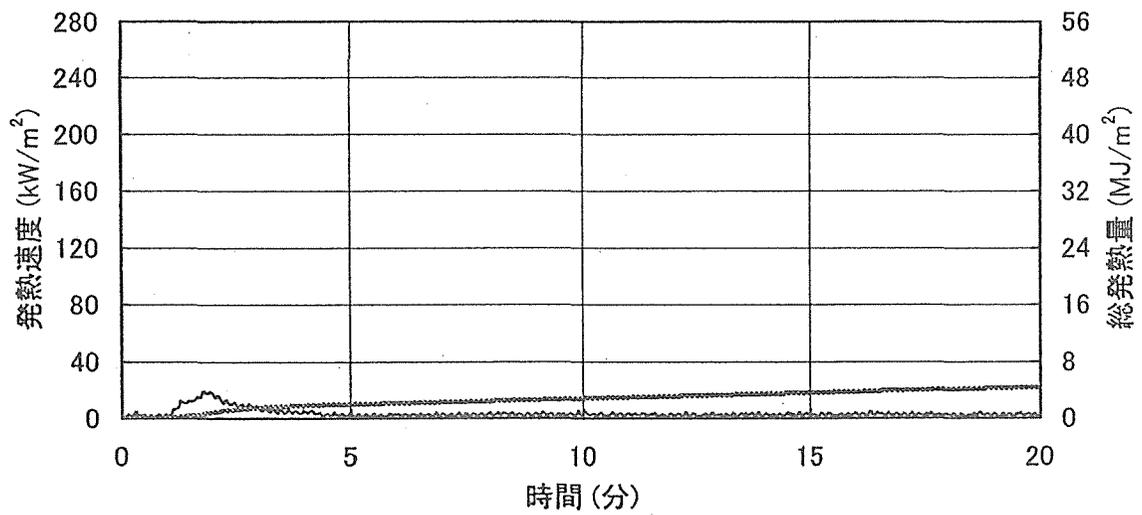


図11 コーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (アカマツ)

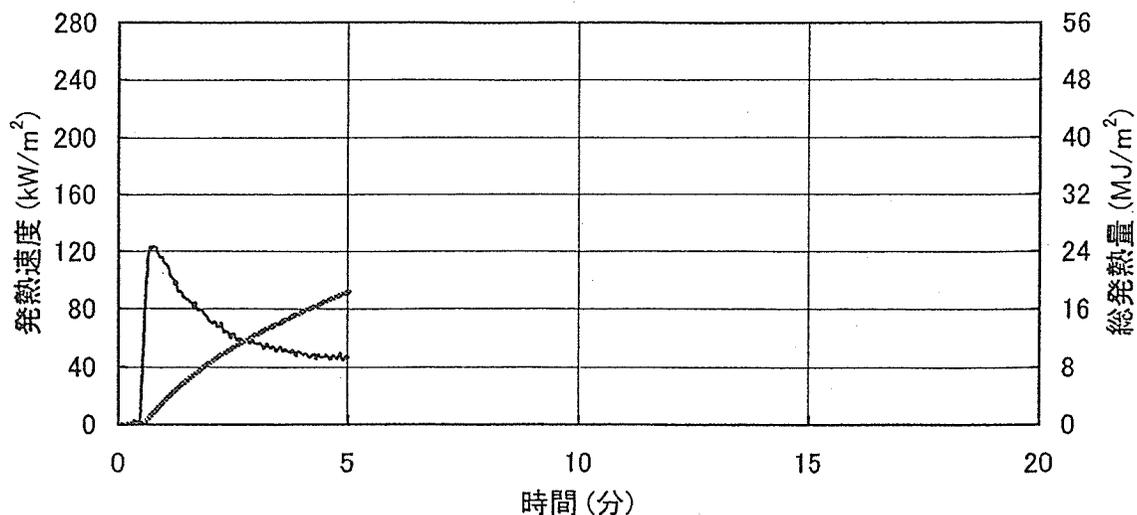


図12 コーンカロリメーターによる発熱速度試験結果 (ヒバ)

5.5 不燃処理済み材の有毒性の確認調査

5.5.1 ホルムアルデヒド放散性

試験の結果、不燃木材からのホルムアルデヒド放出は不検出であった。

5.5.2 毒性試験

(1) マウスを用いた急性経口毒性試験

1) 試験結果

① 死亡例

雌雄ともに観察期間中に死亡例は認められなかった。

② 一般状態

試験群では雌雄ともに全例で、投与直後から自発運動の低下が見られたが、投与後 5 時間には回復し、その後異常は見られなかった。

対照群では雌雄ともに、観察期間中に異常は見られなかった。

③ 体重変化

投与後 7 及び 14 日の体重測定で、雌雄ともに各群間で体重増加に差は見られなかった。

表7 急性経口毒性試験におけるマウスの体重変化 (雄)

投与群	投与前	投与後 (日)	
		7	14
試験群	27.4±1.1 (10)	33.5±1.8 (10)	37.9±2.2 (10)
対照群	27.3±1.2 (10)	33.0±1.8 (10)	36.4±1.6 (10)

体重は平均値±標準偏差で表した (単位: g)。

括弧内に動物数を示した。

表8 急性経口毒性試験におけるマウスの体重変化 (雌)

投与群	投与前	投与後 (日)	
		7	14
試験群	25.3±1.2 (10)	27.9±1.2 (10)	31.0±2.2 (10)
対照群	25.0±1.3 (10)	26.1±1.3 (10)	30.0±1.7 (10)

体重は平均値±標準偏差で表した (単位: g)。

括弧内に動物数を示した。

④ 剖検所見

観察期間終了時の剖検では、雌雄ともに全ての試験動物の主要臓器に異常は見られなかった。

2) 考察

本試験はOECD Guideline for the Testing of Chemicals 401(1987)に準拠して行った限度試験である。

雌雄マウスに体重 1 kg当たり検体総表面積 60 cm²相当の試験液を単回経口投与したところ、試験動物に死亡例は認められなかった。

したがって、検体は本試験条件下ではマウスに対し死亡を引き起こすことはないものと考えられた。

(2)ラットを用いた急性経皮毒性試験

1) 試験結果

① 死亡例

雌雄ともに観察期間中に死亡例は認められなかった。

② 一般状態

試験群及び対照群ともに、雌雄いずれも曝露部位に局所的な出血または紅斑の見られる例があった。これらの所見は投与後5日までに回復し、その後異常は見られなかった。

③ 体重変化

投与後7及び14日の体重測定で、雌雄ともに各群間で体重増加に差は見られなかったが、個別別に見ると、投与後7日の体重測定において試験群で雌の1例に体重減少が見られた。

表9 急性経皮毒性試験におけるラットの体重変化 (雄)

投与群	投与前	投与後 (日)	
		7	14
試験群	280.5±1.5 (5)	288.7±2.6 (5)	314.6±2.5 (5)
対照群	280.4±5.4 (5)	288.7±8.1 (5)	312.2±12.2 (5)

体重は平均値±標準偏差で表した (単位: g)。

括弧内に動物数を示した。

表10 急性経皮毒性試験におけるラットの体重変化 (雌)

投与群	投与前	投与後 (日)	
		7	14
試験群	212.5±2.2 (5)	215.6±6.2 (5)	228.6±9.1 (5)
対照群	211.1±3.3 (5)	220.1±3.9 (5)	231.3±5.9 (5)

体重は平均値±標準偏差で表した (単位: g)。

括弧内に動物数を示した。

④ 剖検所見

観察期間終了時の剖検では、雌雄ともに全ての試験動物の主要臓器に異常は見られなかった。

2) 考察

本試験はOECD Guideline for the Testing of Chemicals 402(1987)に準拠して行った限度試験である。本ガイドラインでは、2,000 mg/kgの用量で死亡例が認められた場合は、LD50 値を求める詳細な試験が必要であると指示している。しかし、本試験ではこの用量で死亡例は認められず、剖検時にも異常は認められなかった。したがって、検体のラットにおける24時間経皮曝露によるLD50 値は、雌雄ともに2,000 mg/kg以上であるものと考えられた。

(3)ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験

検体粉砕物を閉鎖貼付した後、1時間後にそれを除去した。除去後1時間にすべての適用部位で非常に軽度な紅斑が見られたが、24時間に2例で消失した。残る1例では、無傷皮膚では48時間に消失したが、有傷皮膚では72時間からはっきりした紅斑が見られるようになった。この紅斑は10日に消失した。

Federal Register(1972)に準拠して求めた一時刺激性インデックス(P. I. I.)は0.5となり、ウサギを用いた皮膚一次刺激性試験において、検体は「弱い刺激性」の範疇(はんちゅう)に入るものと評価された。

表 11 ウサギにおける一時刺激反応のカテゴリー (ISO 10993-10 の基準)

反応のカテゴリー	P. I. I
無刺激性	0～0.4
弱い刺激性	0.5～1.9
中等度の刺激性	2～4.9
強い刺激性	5～8

(4)ウサギを用いた眼刺激性試験

検体試験液を点眼後 1 時間に全例で眼瞼結膜の発赤が見られたが、24 時間に 2 例、48 時間に残る 1 例で消失した。また、角膜表面の粗造化が点眼後 1 時間から全例で見られたが、7 日に 1 例、10 日に残る 2 例で消失した。フルオレセインナトリウムによる検査を点眼後 24 及び 72 時間並びに最終観察日に行ったが、いずれも染色は見られなかった。空試験眼では点眼後 24 時間に 1 例で眼瞼結膜の発赤が見られたが、48 時間に消失し、その後刺激反応は見られなかった。残る 2 例では、観察期間を通して刺激反応は見られなかった。

観察期間中の平均合計評価点の最高値は試験眼で 2.0 (点眼後 1 時間)、空試験眼で 0.7 (点眼後 1 時間) であった。

表 12 合計評点の経時的推移及び眼刺激性の評価

試験動物	各観察時間における合計評点			
	1 時間	24 時間	48 時間	72 時間
①	2*(0)	2*(0)	0*(0)	0*(0)
②	2*(0)	0*(0)	0*(0)	0*(0)
③	2*(0)	0*(0)	0*(0)	0*(0)
平均合計評点	2.0(0)	0.7(0.7)	0(0)	0(0)

試験動物	各観察時間における合計評点		
	4 日	7 日	10 日
①	0*(0)	0*(0)	—
②	0*(0)	0*(0)	0(0)
③	0*(0)	0*(0)	0(0)
平均合計評点	0(0)	0(0)	0(0)
眼刺激性の評価	無刺激物		

括弧内に空試験眼の結果を示した。

* 角膜表面の粗造化が見られた。

—：観察せず

すでに刺激が消失し、観察しなかった動物の合計評点は0点として計算した。

表 13 眼刺激性の評価

平均合計評価点	区分
0 ~ 5.0	無刺激物
5.1 ~ 15.0	軽度刺激物
15.1 ~ 30.0	刺激物
30.1 ~ 60.0	中等度刺激物
60.1 ~ 80.1	中～強度刺激物
80.1 ~ 110.0	強度刺激物

以上の結果からウサギを用いた眼刺激性試験において、試験液は「無刺激物」の範疇にあるものと評価された。ただし、角膜表面の粗造化が見られたことから、角膜上皮に軽度な影響を及ぼすことが示唆された。

(5)変異原性試験

試験結果を表 14~16 に示した。

本試験の代謝活性化法によらない場合の TA1537 株の 2,500 μ g/プレート の用量において、また代謝活性化法による場合の TA1535 株の 156 及び 313 μ g/プレート の用量で、復帰変異コロニー数が陰性対照の 2 倍に増加した。試験の再現性を確認するために、本試験と同じ用量で確認試験を実施した。その結果、復帰変異コロニー数の増加は認められず、用量設定試験と確認試験で試験結果に再現性が得られた。なお、その他の菌株では用量設定試験及び本試験のいずれの場合においても、陰性対照に比べ復帰変異コロニー数を増加させなかった。以上のことから、本試験条件下における検体の突然変異誘起性は陰性と結論した。

無菌試験では試験液及び S9Mix とともに菌の発育は観察されなかった。

表 14 変異原性試験結果表 (用量設定試験)

代謝活性化系の有無	検体の用量 (μg/プレート)	復帰変異数(コロニー数/プレート)					
		塩基対置換型			フレームシフト型		
		TA100	TA1535	WP2 <i>uvrA</i>	TA98	TA1537	
S9Mix (-)	陰性対照	103 79 (91)	7 7 (7)	29 17 (23)	24 17 (21)	9 14 (12)	
	4.88	81 83 (82)	4 5 (5)	25 26 (26)	22 14 (18)	10 11 (11)	
	19.5	80 90 (85)	7 7 (7)	22 24 (23)	16 23 (20)	10 19 (15)	
	78.1	101 101 (101)	10 2 (6)	25 17 (21)	17 24 (21)	14 13 (14)	
	313	94 81 (88)	5 7 (6)	34 23 (29)	24 25 (25)	16 13 (15)	
	1250	102 101 (102)	8 6 (7)	24 20 (22)	20 26 (23)	16 11 (14)	
	5000	87 108 (98)	10 3 (7)	18 23 (21)	20 20 (20)	10 16 (13)	
	S9Mix (+)	陰性対照	99 110 (105)	9 9 (9)	20 20 (20)	17 32 (25)	21 30 (26)
4.88		88 102 (95)	7 6 (7)	38 27 (33)	23 23 (23)	16 28 (22)	
19.5		90 110 (100)	5 5 (5)	27 27 (27)	41 30 (36)	31 18 (25)	
78.1		92 100 (96)	8 6 (7)	28 20 (24)	28 25 (27)	27 14 (21)	
313		107 91 (99)	7 5 (6)	30 24 (27)	29 30 (30)	20 24 (22)	
1250		110 96 (103)	9 8 (9)	18 26 (22)	21 33 (27)	23 32 (28)	
5000		104 106 (105)	10 8 (9)	27 21 (24)	18 28 (23)	26 25 (26)	
陽性対照		S9Mixを必要としないもの	名称 AF-2	ENNG	AF-2	AF-2	9-AA
	用量(μg/プレート)	0.01	5	0.01	0.1	80	
陰性対照	S9Mixを必要とするもの	名称 2-AA	2-AA	2-AA	2-AA	2-AA	
	用量(μg/プレート)	1	2	10	0.5	2	
		コロニー数/プレート	1818 1428 (1623)	126 132 (129)	766 752 (759)	405 375 (390)	78 78 (78)

2-AA : 2-aminoanthracene
 AF-2 : 2-(2-furyl)-3-(5-nitro-2-furyl)acrylamide
 ENNG : N-ethyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine
 9-AA : 9-aminoacridine

括弧内は各プレートのコロニー数の平均値を示す。
 陰性対照 : 試験液の調製に用いた溶媒

表 15 変異原性試験結果表 (本試験)

代謝活性化系 の有無	検体の 用量 (μg /プレート)	復帰変異数(コロニー数/プレート)				
		塩基対置換型			フレームシフト型	
		TA100	TA1535	WP2 <i>uvrA</i>	TA98	TA1537
S9Mix (-)	陰性対照	86	9	32	15	9
		92 (89)	9 (9)	13 (23)	17 (16)	7 (8)
	156	79	7	25	16	9
		93 (86)	4 (6)	23 (24)	18 (17)	12 (11)
	313	106	9	16	33	11
		91 (99)	11 (10)	10 (13)	21 (27)	9 (10)
	625	111	4	22	19	8
		111 (111)	4 (4)	22 (22)	21 (20)	7 (8)
	1250	96	4	29	21	18
		86 (91)	7 (6)	28 (29)	25 (23)	12 (15)
	2500	107	6	25	29	13
		111 (109)	3 (5)	16 (21)	17 (23)	18 (16)
	5000	90	7	29	30	12
		101 (96)	3 (5)	29 (29)	16 (23)	12 (12)
S9Mix (+)	陰性対照	90	6	33	22	25
		99 (95)	4 (5)	36 (35)	31 (27)	28 (27)
	156	105	6	38	27	30
		89 (97)	14 (10)	30 (34)	31 (29)	37 (34)
	313	94	9	35	27	25
		112 (103)	10 (10)	40 (38)	29 (28)	20 (23)
	625	102	10	26	31	22
		100 (101)	5 (8)	31 (29)	29 (30)	19 (21)
	1250	92	7	31	34	33
		91 (92)	9 (8)	33 (32)	29 (32)	11 (22)
	2500	110	9	38	35	15
		101 (106)	8 (9)	41 (40)	26 (31)	26 (21)
	5000	110	4	34	22	20
		100 (105)	8 (6)	28 (31)	22 (22)	16 (18)
陽性 対照	名称	AF-2	ENNG	AF-2	AF-2	9-AA
	用量(μg /プレート)	0.01	5	0.01	0.1	80
S9Mixを 必要とし ないもの	コロニー数	816	7486	280	647	1156
	/プレート	789 (803)	8212 (7849)	299 (290)	694 (671)	845 (1001)
S9Mixを 必要とす るもの	名称	2-AA	2-AA	2-AA	2-AA	2-AA
	用量(μg /プレート)	1	2	10	0.5	2
対照	コロニー数	1827	546	1122	364	390
	/プレート	1483 (1655)	496 (521)	1129 (1126)	376 (370)	425 (408)

2-AA : 2-aminoanthracene
 AF-2 : 2-(2-furyl)-3-(5-nitro-2-furyl)acrylamide
 ENNG : N-ethyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine
 9-AA : 9-aminoacridine

括弧内は各プレートのコロニー数の平均値を示す。
 陰性対照 : 試験液の調製に用いた溶媒

表 16 変異原性試験結果表 (確認試験)

代謝活性化系 の有無	検体の 用量 (μg /プレート)	復帰変異数(コロニー数/プレート)	
		塩基対置換型	フレームシフト型
		TA1535	TA1537
S9Mix (-)	陰性対照	-	10
		(-)	12 (11)
	156	-	6
		(-)	7 (7)
	313	-	14
		(-)	18 (16)
	625	-	9
		(-)	17 (13)
S9Mix (+)	陰性対照	6	-
		(6)	(-)
	156	7	-
		(10)	(-)
	313	9	-
		(8)	(-)
	625	10	-
		(10)	(-)
陽性対照	名称	ENNG	9-AA
	用量(μg /プレート)	5	80
	コロニー数 /プレート	-	394
		(-)	369 (382)
	名称	2-AA	2-AA
	用量(μg /プレート)	2	2
	コロニー数 /プレート	434	-
		407 (421)	(-)

2-AA : 2-aminoanthracene

ENNG : N-ethyl-N'-nitro-N-nitrosoguanidine

9-AA : 9-aminoacridine

括弧内は各プレートのコロニー数の平均値を示す。

陰性対照 : 試験液の調製に用いた溶媒

(6)モルモットを用いた Maximization 法による皮膚感作性試験

試験群では、誘発後 48 及び 72 時間の各観察時間において、検体の 50 w/v%溶液誘発部位では紅斑が見られた。陽性率は誘発後 48 及び 72 時間でそれぞれ 50 及び 70%であった。(平均評価点:0.6 及び 0.9)。検体の 10 及び 1 w/v%溶液誘発部位では皮膚反応は観察されず、陽性率は誘発後 48 及び 72 時間でいずれも 0%であった。(平均評価点:いずれも 0)。

一方、陽性対照群では、誘発後 48 時間に壊死及び痂皮形成、72 時間に痂皮形成が見られた。陽性率は誘発後 48 及び 72 時間でいずれも 100%であった(平均評価点:ともに 4.0)。

なお、陽性対照群の 1 例で試験期間中に体重減少が認められたが、一般状態に異常は見られなかった。陽性対照群の残りの例並びに試験群及び陰性対照群においては試験期間中の体重変化に異常は見られず、一般状態にも異常は見られなかった。

以上のことから、検体はモルモットにおいて皮膚感作性を有することが明らかとなり、その最低感作誘発濃度は 50 w/v%であった。

表 17 感作誘発結果

群	1 群の動物数	誘発濃度 (w/v%)	観察時間 (時間)	陽性率 (%)	平均評価点		
試験群	10	50	48	50	0.6		
			72	70	0.9		
		10	48	0	0		
			72	0	0		
		1	48	0	0		
			72	0	0		
陰性対照群	5	0	48	0	0		
			72	0	0		
		50	48	0	0		
			72	0	0		
		10	48	0	0		
			72	0	0		
		1	48	0	0		
			72	0	0		
		陽性対照群 (DNCB)	6	0.1	48	100	4.0
					72	100	4.0

(7) (1)~(6)の毒性試験の考察

(1)~(6)の毒性試験結果を見ると、多少の刺激性が見られることから、不燃処理済み木材は低毒性であるが人体に大きな影響を及ぼす害はないと結論した。今後不燃液の改良を進め、毒性をさらに低下させる研究を行う必要がある。

5.6 不燃処理済み材の強度試験

JIS 規格に準じて試験を行い、それぞれの破壊荷重を測定した。試験結果は表 18 のとおりである。

曲げ試験で、無処理の試験材は破断することはなかったが、不燃処理した試験材はその大部分が破断する結果となった。また、縦引張り試験を見ると無処理材よりも下回っていることが分かる。このことから、不燃処理後の木材は木材特有のねばりがなく、脆性が高い部材であることが分かった。

表 18 強度試験結果

		無処理材		不燃処理材	
曲げ試験	曲げ強さ	53.3 N/mm ²	標準偏差 8.9	62.0 N/mm ²	標準偏差 12.3
	曲げヤング係数	7.14 kN/mm ²	標準偏差 1.43	9.27 kN/mm ²	標準偏差 0.63
縦圧縮試験	縦圧縮強さ	25.9 N/mm ²	標準偏差 1.8	36.7 N/mm ²	標準偏差 4.2
縦引張り試験	縦引張り試験	75.2 N/mm ²	標準偏差 13.4	69.2 N/mm ²	標準偏差 13.2

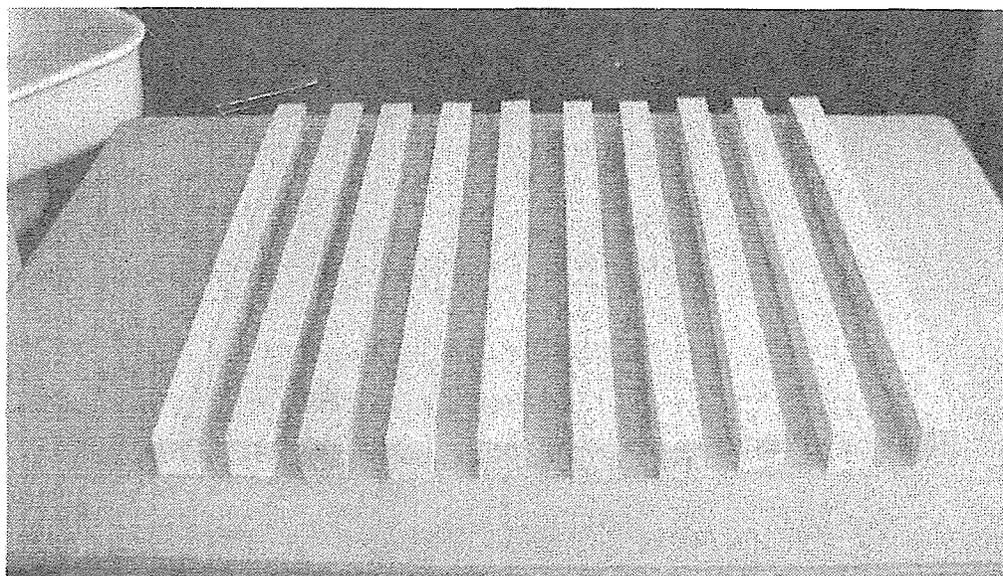


写真1 曲げ試験 無処理材試験後状況

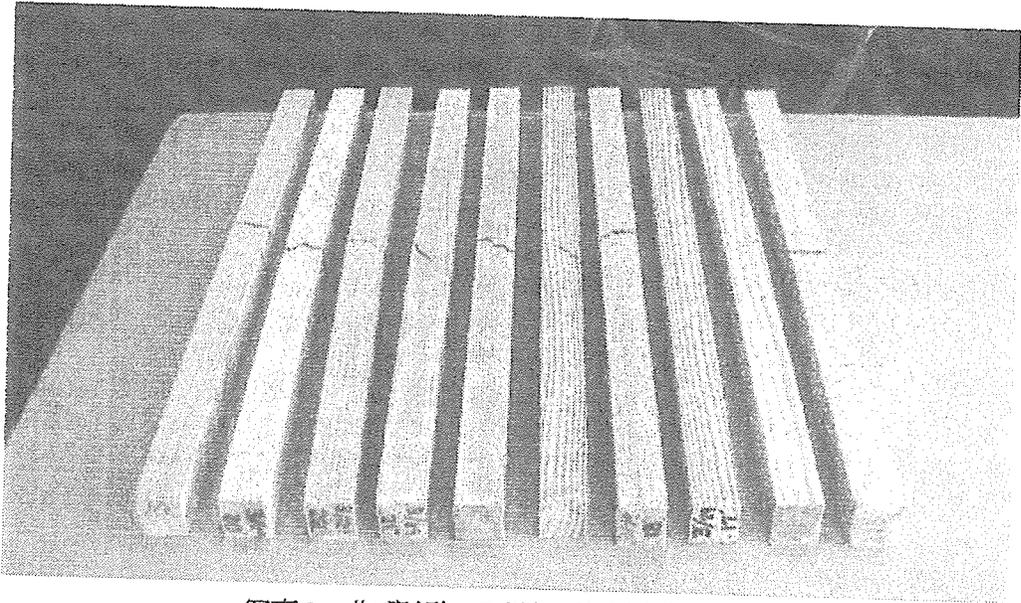


写真2 曲げ試験 不燃処理材試験後状況

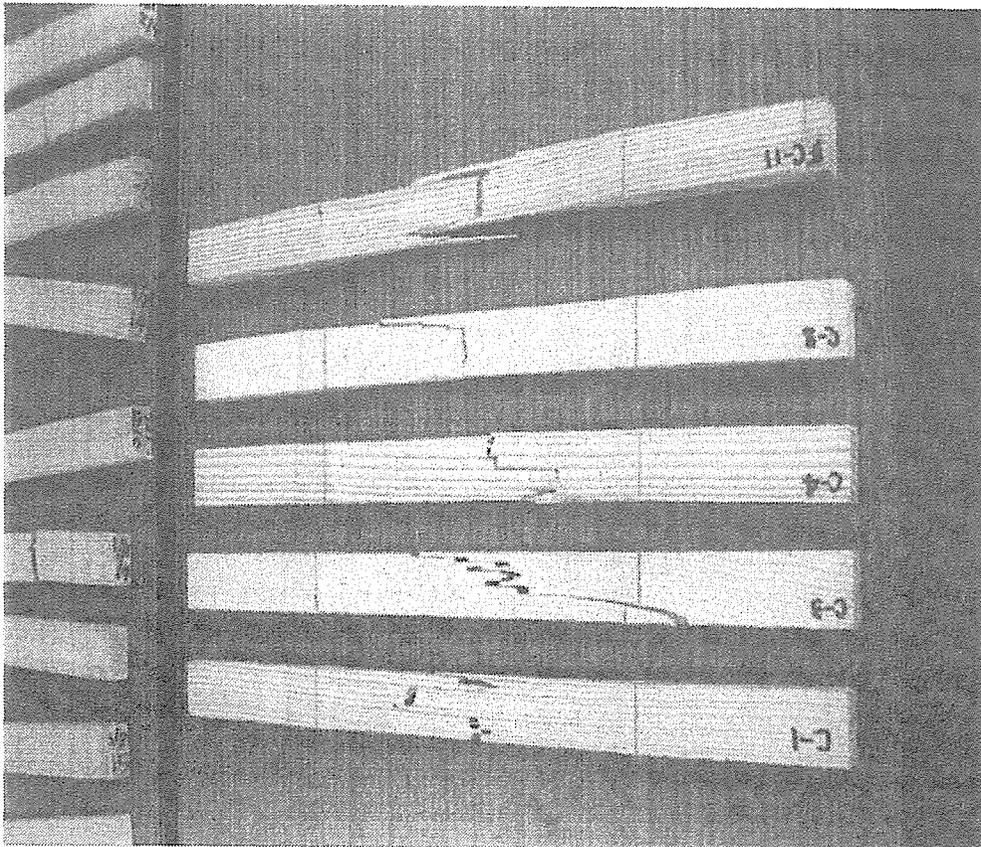


写真3 縦引張り試験 無処理材試験後状況

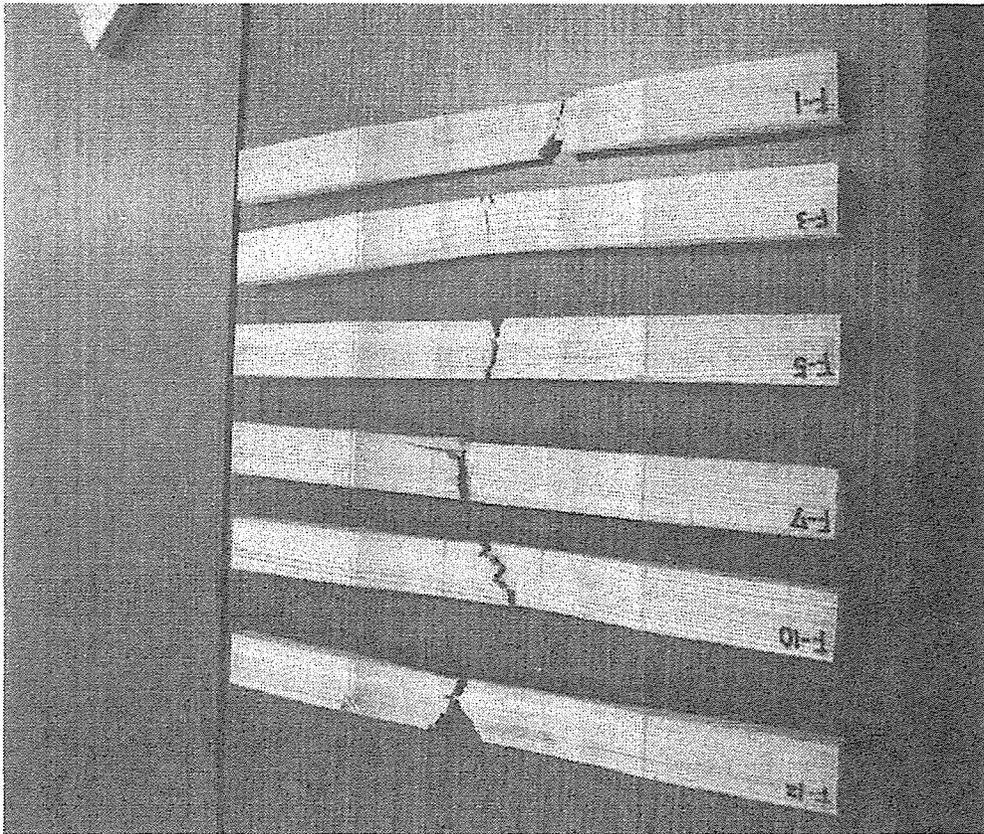


写真4 縦引張り試験 不燃処理材試験後状況

5.7 不燃木材の仕様・用途並びに市場調査

5.7.1 市場調査の対象者

市場調査を行った対象者(220件)の業種内訳は以下の通りである。

行政・団体	18
設計・デザイン	92
建設・土木	25
ハウスメーカー	7
建材	29
木材	13
内装	14
家具	5
その他	17

5.7.2 不燃木材の仕様に関する市場調査

不燃木材の仕様に関する要望を以下にまとめる。

長尺もの (3~4m) が欲しい	153
厚みの厚いものが欲しい	122
幅の広いものが欲しい	50
角材が欲しい	7
その他	
○ 尺単位の材料が欲しい	
○ 丸太そのものを不燃化したい	

不燃木材は製造時の諸事情、大臣認定の関係上、製造できる寸法が限られるため、規格品の寸法は厚 24 mm、幅 87・102・117 mm、長 980・1980 mm に限定されている。そのため、規格以上の寸法のもものが欲しいという要望が多い。この要望に応えるため、フィンガージョイントや集成技術の早期確立が必要である。

5.7.3 不燃木材の用途に関する市場調査

不燃木材の用途に関する要望を以下にまとめる。

外装材	187
内装材	141
構造材	55
基材	6

用途としては外装材が最も多く、特に外壁材に使用したいという要望が多かった。外壁材以外では破風板、鼻隠し等に使用したいという要望も目立った。不燃木材を外装材として使用するためには、不燃性の品質確保のための最適な塗料の選別が必要である。

また、内装材の中では店舗や公共建築物等、内装制限の多い建築物で使用したいという要望が多かった。不燃木材を内装材として使用するためには、不燃木材の人体への安全性が求められるため、今回の安全性試験により人体への影響は低いとの結果が出たことは、内装材としての使用に充分適していると考えられる。

構造材として使用するためには集成の技術の確立が求められる。

基材としての使用は大企業との共同研究が期待できるため、要望は少ないものの、各要望について個別に対応していく必要がある。

5.8 その他の試験

5.8.1 鉄腐食性試験

試験の結果、不燃処理済み材は無処理木材よりも鉄腐食性はないことが判明した。鉄くぎの腐食率は表 19 のとおりである。

表 19 くぎ質量減少率等計算データ

不燃処理試験体 NO.	くぎ質量減少率	無処理試験体 NO.	くぎ質量減少率
1	0.39 %	6	0.48 %
2	0.30 %	7	0.04 %
3	0.30 %	8	0.52 %
4	0.35 %	9	0.52 %
5	0.30 %	10	1.46 %
1~5 平均	0.33 %	6~10 平均	0.60 %

5.8.2 実用機での含浸、及び乾燥の実証

実験の結果は表 20 の通りである。

表 20 実用機での含浸結果

試験体 No.	試験体寸法	平均含浸量(kg/m ³)	標準偏差
1~40	L=1020 mm, R= 95 mm, T=26 mm	290.2	23.8
41~84	L=2020 mm, R= 95 mm, T=26 mm	266.8	26.2
85~644	L=1010 mm, R=120 mm, T=26 mm	292.2	31.1
645~784	L=2010 mm, R=120 mm, T=26 mm	263.3	35.7

実験結果から次のことが分かった。含浸量を見ると、平均値で目標とする含浸量 240 kg/m³ を上回っていることが分かる。また、平均値で 1m 材が 2m 材よりも含浸量が多いことが分かる。このことは、放射方向よりも繊維方向が液浸透性で良好であることに起因する。

また、実験時と同様に含浸により材に変型が発生したものが多数見受けられた。このことは、不燃薬液の粘度が高いために起ったと考えられる。不燃薬液の粘度は 8 mPa・s であった。

乾燥実験の結果、平均含水率は 45.2 % であった。材の状態は、表面に粘度の高い状態で薬液が残存していた。また、材木口から不燃薬液が少量流出していた。

このことから、実用機での乾燥と、恒温恒湿槽での乾燥との間にはずれがあることが分かった。これは、乾燥機の容量が大きくなったために、部材間の通風が変化したことが考えられる。今後は、乾球温度を上げた場合、また、乾湿度差を広げた場合の含水率の経時変化の測定を行う必要がある。

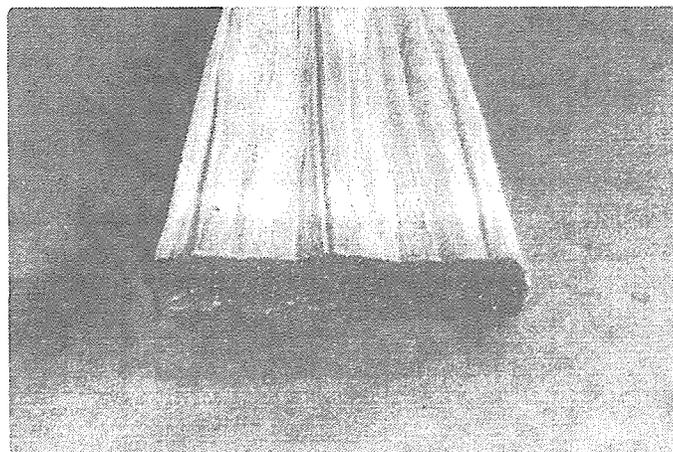


写真5 含湿による材の変型例

6. 実用化の見通し

不燃木材は、今まで木材の利用が制限されてきた場所に不燃材料として用いることのできるものである。しかし、現状の不燃木材には欠点、および改良すべき点が多数あることが分かってきた。今回、不燃処木材の基礎データの収集を行ったことにより、不燃処理済み材の材料特性を数値で確認、把握することができた。

今回確認することができたことの一つに、接着性の問題がある。この問題を改善していくことにより、材料の歩留まりが向上し、商品としての価値を高めることにつながると考えている。また、接着性の問題の根本的原因ともなっている薬剤の高い吸湿性を改善すれば、さらに利用分野が拡大すると考えている。

7. 今後の対応

まずは、外装材として使用していく場合の問題点の解決が早急な課題である。市場要望としては外装材としてムク材を用いたいという要望が多数確認されている。また、前にも触れたように接着の問題も木材にとっては重要な要素である。歩留りの問題、長尺ものの需要等それらに 대응していくには、フィンガージョイント技術の実用化も重要である。

8. 特筆すべき成果

不燃木材の材料特性の把握ができたことは、これからの不燃木材の開発の重要な参考になるものといえる。

また、商品化する上で有利な点として、最近関心が高まってきている VOC の問題、有毒性の確認を行ったことである。これにより、不燃処理済み材の低毒性が判明し、建築材料としての安全性、信頼性が高まった。また、不燃液薬剤に鉄腐食性がないことも建築材料として有利な点である。

9. 試験調査委員会 委員

委員長 上杉 三郎 森林総合研究所 木材保存研究室 室長
委員 源濟 英樹 福井県総合グリーンセンター 木材研究開発グループ
小林 辰美 三井物産林業(株) 営業推進部 技術開発チーム リーダー
浅野 成昭 浅野木材工業(株) 代表取締役 (主任技術者)
浅野 天仁 浅野木材工業(株) 新事業部 新事業課 課長

10. 技術者

主任技術者 浅野 成昭 浅野木材工業(株) 代表取締役
技術者 浅野 天仁 浅野木材工業(株) 新事業部 新事業課 課長

11. 他からの指導又は協力事項

(指導又は協力事項)	(氏名)	(所属・職名)
・鉄腐食性試験実施協力・指導	上原 義孝	福井県総合グリーンセンター
・処理材の恒温恒湿乾燥の利用協力	松浦 次雄	福井県工業技術センター
・不燃木材燃焼量測定試験実施協力	原田 寿郎	森林総合研究所 木材保存研究室
・不燃木材の耐候性能試験協力	片岡 厚	森林総合研究所 木材改質研究領域 機能化研究室
・接着強度試験協力	中島 章宏	(財)日本合板検査会 大阪検査場
・接着剤の予備試験、塗装試験体の作製	三井物産林業(株)	

12. 参考文献

- ・改訂3版「木材工業ハンドブック」(1982. 6. 30 発行) 農林水産省林業試験場 監修、丸善
- ・「木材の接着・接着剤」(1999. 1. 20 発行) 日本木材加工技術協会 編
- ・「木材保存学入門 改訂版」(1998. 1. 10 発行) (社)日本木材保存協会 発行

1323 木造土壁構法による防耐火構造・準耐火構造の開発

課題番号：1323

木造土壁構法による防火構造・準耐火構造の開発

京都府建築工業協同組合

要 旨

京都等の歴史的市街地では、伝統町家の保存・再生・活用や伝統木造技術の継承が重要な課題となっている。しかし、伝統的な町家の土壁や軒裏は一般に防火構造の条件を満たさないため、現状では伝統的町家のほとんどが既存不適格建築物であり、伝統仕様での大規模改修や新築の道は閉ざされている。また、準耐火構造以上の木造土壁構法が存在しないため、市街地で建設可能な木造土壁の規模・階数が大きく制約され、容積率の有効利用が阻まれている。本課題では、実大規模の土壁・軒裏・開口部の試験体を製作し、性能評価試験と同様の耐火加熱試験を行い、木造土壁構法で防火構造・準耐火構造を実現するための推奨仕様および技術開発上の問題点を明確化した。この成果より、本課題終了後、明確化された技術開発上の問題点を解決し、推奨仕様で性能評価を受け認定（国土交通大臣認定）を取得することにより実用化が可能となる。

キーワード

木造土壁、伝統仕様、裏返し塗り、木造化粧軒裏、木製格子、市街地、準防火地域、防火構造、準耐火構造、性能評価・認定

目 次

1. はじめに	1
2. 試験調査の目的	1
3. 試験調査の内容	1
4. 試験調査の日程	2
5. 試験調査の結果	3
5.1 防耐火実験	3
5.1.1 試験体概要	3
5.1.2 実験方法	14
5.1.3 実験結果	20
5.2 推奨仕様の提案	57
5.3 施工管理基準	60
5.4 準耐火建築物のケーススタディー	63
6. 実用化の見通し	67
7. 今後の対応	68
8. 特筆すべき成果	69
9. 試験調査委員会 委員	69
10. 主任技術者・技術者	69
11. 他からの指導または協力事項	69
12. 参考文献	70
13. 参考資料	71

木造土壁構法による防火構造・準耐火構造の開発

京都府建築工業協同組合

1. はじめに

これまで伝統木造土壁構法の防耐火性能に関する研究は、山田らの行った小規模な土壁実験¹⁾や、長谷見、安井らが行った実大木造土壁の火災安全性実験²⁾、軒裏に関しては十倉、岡村らの行ったドレンチャーを用いた水幕実験³⁾がある。しかし、これらの実験は試験体が小さかったり、一般的な仕様とは少し違ったり、加熱条件が建築基準法に規定するものではなかったりと現行の法令に則した試験条件で、現実に近い木造土壁の防火性能の把握は行われていない。本課題では、京都の町家で、法適合上問題となっている木造土壁の仕様について防火性能を把握するためのプロセスを明確にした。

2. 試験調査の目的

日本の伝統構法であり、歴史的市街地の主要な構成要素でもある木造土壁構法については、現在、土蔵・裏返し塗り土壁が防火構造に指定されているにすぎず、戸境壁の裏返し塗りができない町家型建築、軒裏の延焼防止性能が確認されていない化粧軒裏等については準防火地域での新築・大規模改修が不可能である。このため歴史的町並み保存の障害となっているだけでなく、都市部での軸組木造の衰退の大きな原因となっている。また、準耐火構造の木造土壁構法が存在しないため、市街地で建設可能な木造土壁の規模・階数が大きく制約され、容積率の有効利用が阻まれている。本課題では、施工性・経済性を考慮した木造土壁構法による防火構造・準耐火構造の仕様を明確化するとともに、その施工管理手法を整備し、準防火地域に防火構造・準耐火建築物として建設可能な木造土壁構法仕様を開発する。

3. 試験調査の内容

①木造土壁構法による耐火加熱試験(防火・準耐火)の試験体の設計・製作

防火構造(外壁)、準耐火構造(外壁、軒裏)並びに関連する部位(防火戸周り建具)について、従来の実験結果を基に試験体を設計・製作した。

②木造土壁構法の耐火加熱試験(防火・準耐火)の実施

上記試験体について、耐火加熱試験を実施した。試験にあたっては、認定試験の測定項目以外に詳細な温度分布等の測定と試験終了後の状態検査を行い、更に改良の検討のための資料とした。防火戸周り建具については、建具の燃焼が防火戸の延焼防止性能に影響しないことの確認を目的とした。

③木造土壁構法による防火構造・準耐火構造の推奨仕様の設計

上記試験に基づき木造土壁構法による防火構造に必要な部位(外壁)及び準耐火構造の各部位(外壁、

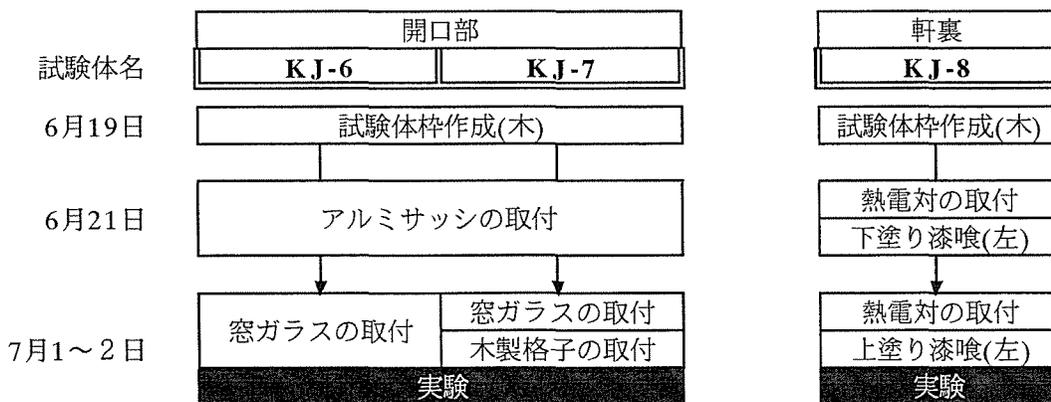
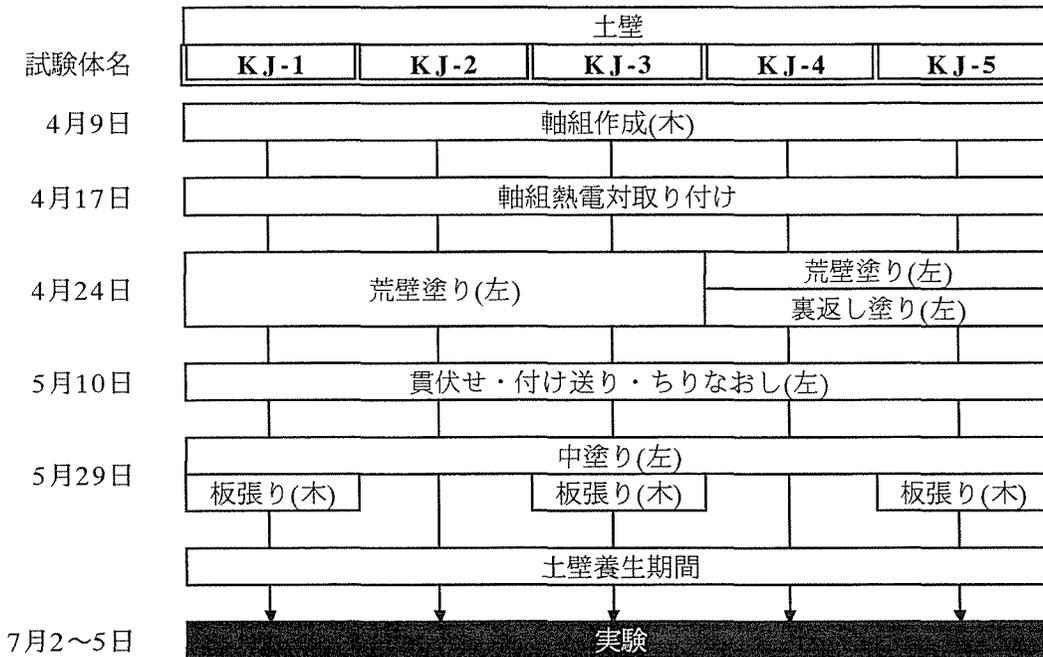
軒裏)の推奨仕様を設計した。本課題終了後、この推奨仕様での認定取得による実用化を図る。

④推奨仕様に関する施工管理基準の整備

推奨仕様が現場で確実に施工されるための管理マニュアルを整備した。

4. 試験体の日程

図4-1 に試験体調査作業工程表を示す。



(木)は木工事、 (左)は左官作業

図4-1 試験体調査作業工程表

5. 試験体概要

5.1 防耐火実験

5.1.1 試験体概要

試験体は土壁 5 種類、開口部 2 種類、軒裏 1 種類の計 8 体で、関西木造住文化研究会が設計を行い、(株)東亜理科と京都府建築工業協同組合が製作した(製作日程については「4.試験調査の日程」を参照)。裏返し塗りのない土壁の試験体(KJ-1~3)は、輸送時に土壁に亀裂が入らないよう、(財)日本建築総合試験所の防耐火実験棟内で製作し、その他は(株)東亜理科大阪工場で作成した。試験体仕様一覧を表 1-1~1-3 に、試験体製作図を図 1-2~1-11 に示す。

(1) 実大木造土壁

試験体は京都で一般的に施工されている仕様に柱のチリジャクリ等の防火的補強を施した仕様で 5 体製作した。下地は図 5-1 の様に通し貫(スギ/15×105 mm)仕様とし、縦に 1 本、横に 3 本配置した。また、中央 2 本の柱間は京都の町家で用いられる最大の柱スパン(柱の内々で 6 尺 3 寸=1908 mm)とした。

表 5-1 実大木造土壁仕様一覧

試験体名	試験体寸法	土壁仕様	裏返し塗	チリジャクリ	外部杉板	柱	桁・土台	えつり/木舞	軸組平均含水率	土壁含水率	温度測定点	
			有無	有無	有無	材料/寸法	材料/寸法	材料				
土壁	w=3000mm H=3190mm	荒壁(深草土)=20mm(片面) 中塗(深草土)=10mm(片面) 総厚=30mm、大壁構造	無	有 (9mm)	有	スギ 105角	スギ 105角	割竹	32.4 %	5.8 %	46点	
		荒壁(深草土)=20mm(片面) 中塗(深草土)=10mm(片面) 総厚=30mm、真壁構造	無		無	スギ 120角	スギ 120角	割竹	17.3 %	3.6 %	39点	
		荒壁(深草土)=20mm(片面) 中塗(深草土)=10mm(片面) 総厚=30mm、真壁構造	無		有	スギ 12mm厚板	スギ 120角	スギ 120角	割竹	16.4 %	2.6 %	39点
		荒壁(深草土)=20mm(両面) 中塗(深草土)=10mm(両面) 総厚=60mm、真壁構造	有		無	スギ 120角	スギ 120角	割竹	16.9 %	1.6 %	52点	
		荒壁(深草土)=20mm(両面) 中塗(深草土)=10mm(片面) 総厚=50mm、大壁構造	有		有	スギ 12mm厚板	スギ 120角	スギ 120角	割竹	20.4 %	2.8 %	52点

※：軸組の含水率は最大値と最小値を除いた平均の値とする

(2) 開口部

試験体は木製格子の燃焼が防火戸の性能に影響を与えるかどうかを調べるため同じアルミ防火戸を 2 体製作し、うち 1 体は外側に木製格子を取り付けて実験を行った。

表 5-2 開口部仕様一覧

試験体名	防火戸	木製格子の有無	軸組材料	軸組含水率	裏面入射熱測定点数
開口部	アルミ製 (1800mm×1800mm)	無	スギ	18.4 %	1点
	アルミ製 (1800mm×1800mm)	有 (スプルス製*)	スギ		1点

*枠はスギ材

(3) 軒裏

軒裏は木造建築物の外観意匠を大きく左右するため、試験体の垂木ピッチ(1尺2寸6分=387mm)と太さ(45mm角)はできるだけ京都で用いられている寸法とし、厚野地板(30mm厚)と厚面戸板(45mm厚)で防火的補強を行った。面戸板裏には防火被覆として漆喰を一度で塗れる厚み(20mm)で施工し、経年変化による木材の収縮に対応できるようにした。

表 5-3 軒裏仕様一覧

軒裏	試験体名	試験体外寸	面戸板 材料/寸法	野地板 材料/寸法	垂木 材料/寸法	桁 材料/寸法	屋根勾配	軒の出	含水率			測定点数
									垂木	野地板	桁	
	KJ-8	W=1990mm H=2690mm	スギ 45厚	スギ 30厚	スギ 45角	米松 120×240mm	4/10	500mm	13.6 %	14.6 %	14.2 %	16点

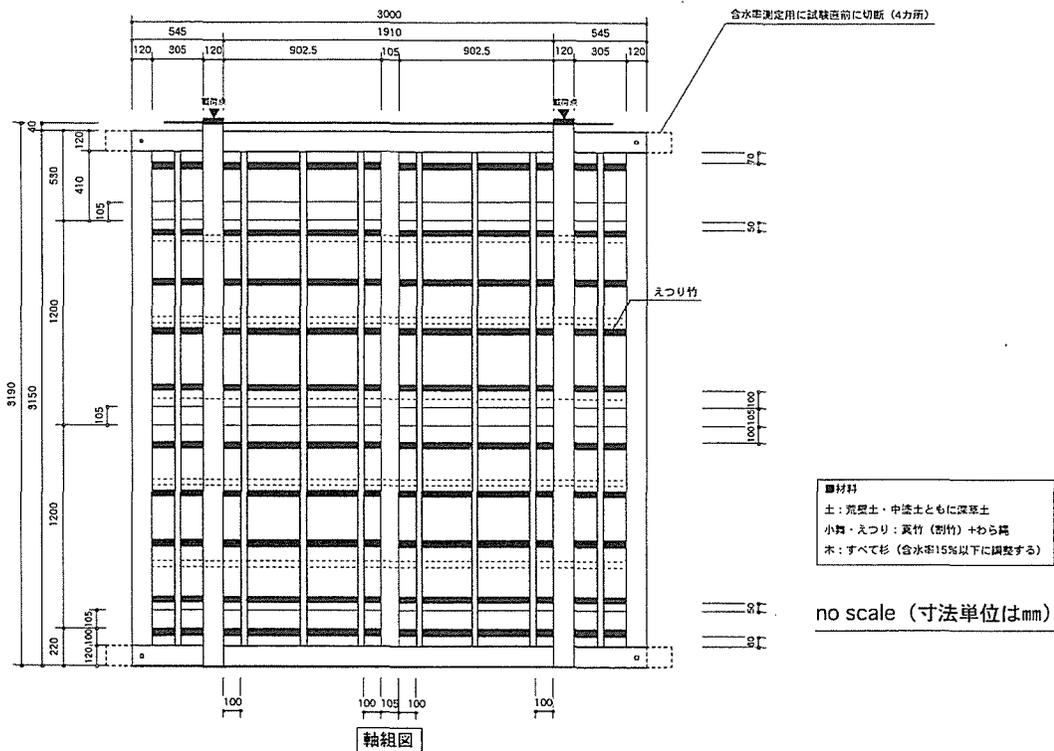


図 5-1 土壁下地配置図

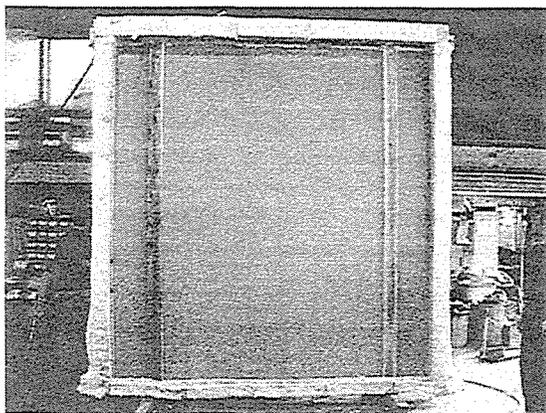
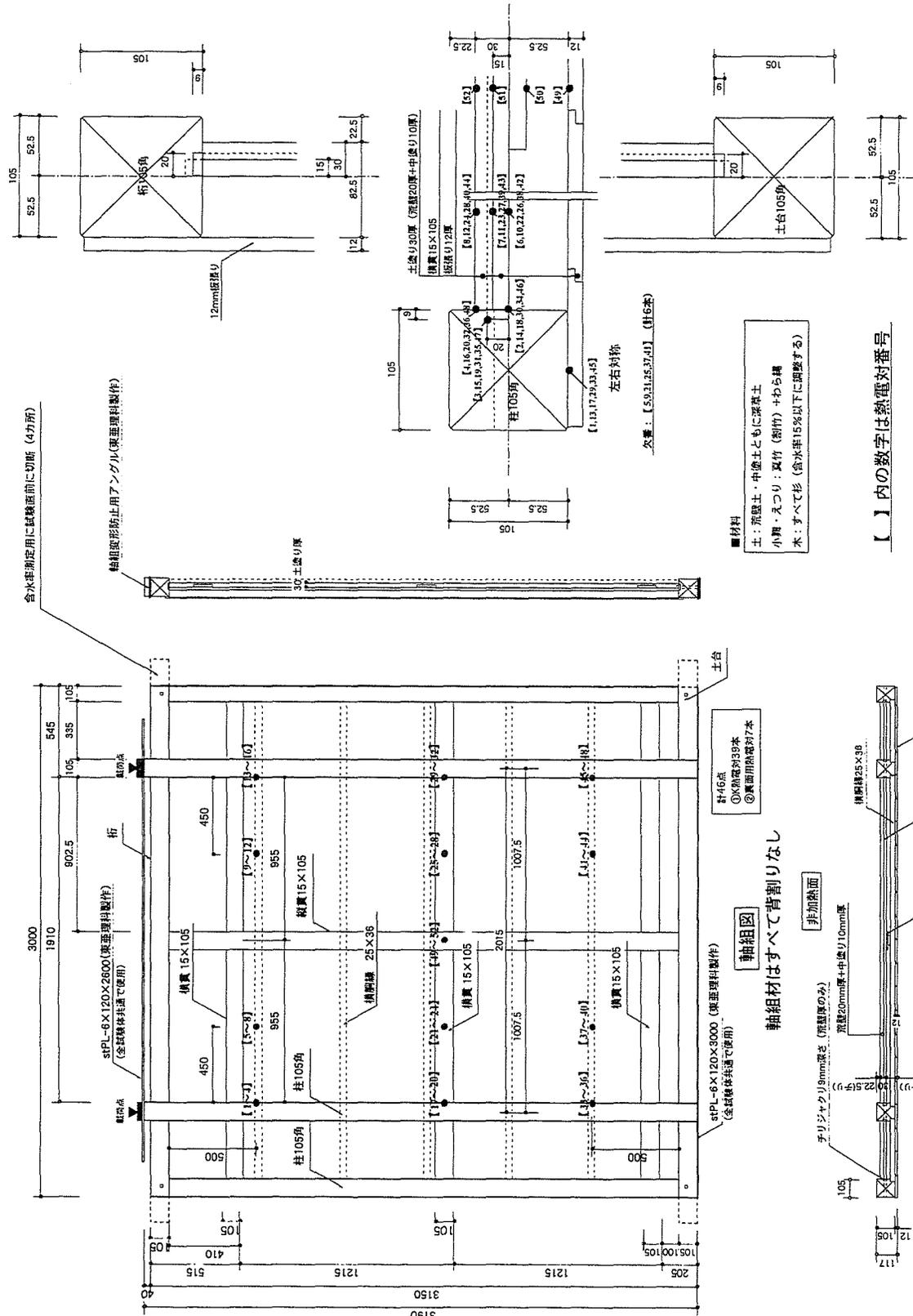
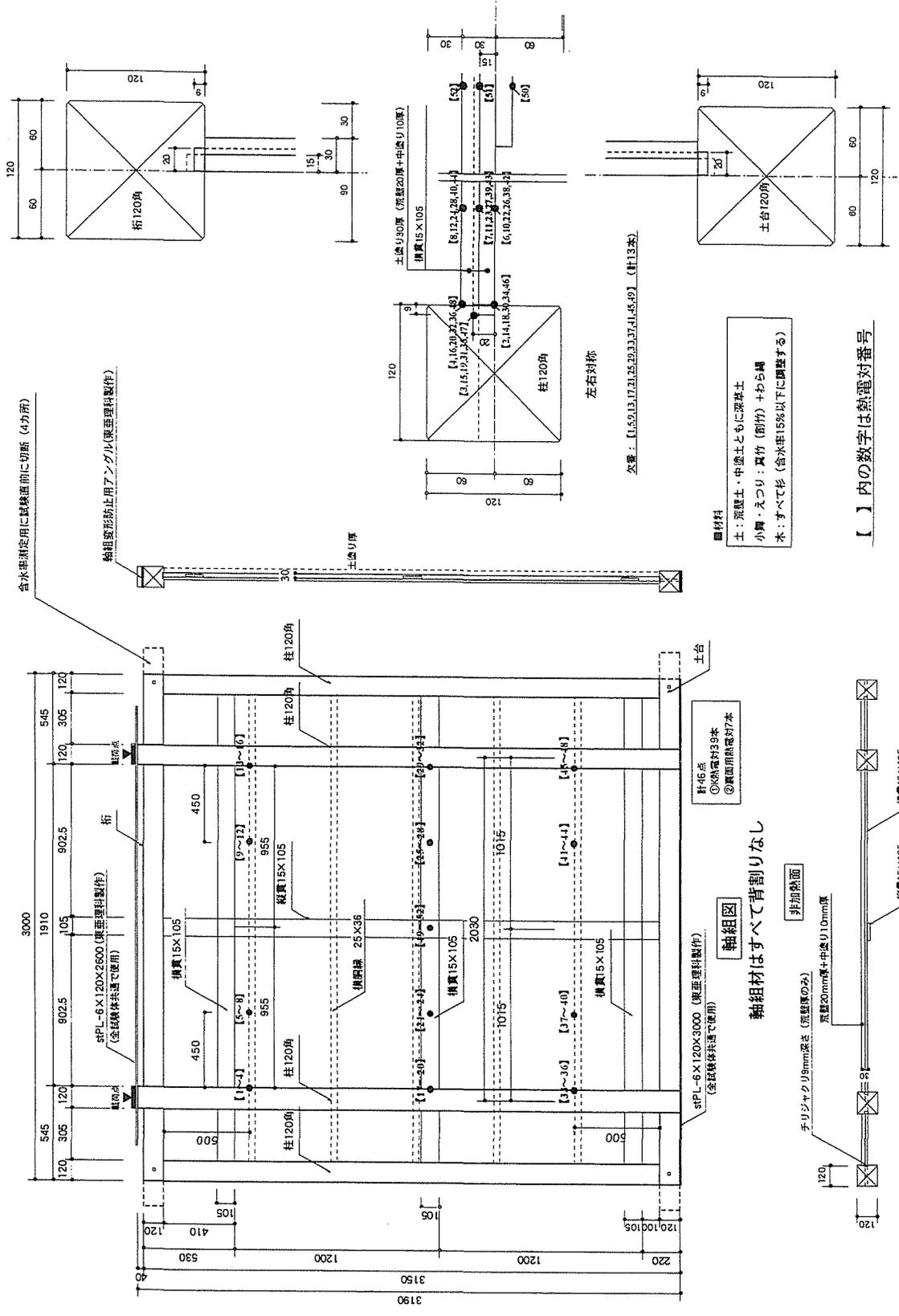


写真 5-1 土壁試験体全景



no scale (寸法単位はmm)

図 5-2 KJ-1 試験体製作図<3.5 寸柱真壁裏返し塗り無し+12 mm板張り(アイジャクリ緊張り)、大壁>



含水率測定用に試験直前に切断(4カ所)

軸組変形防止用アングル(東亜理料製作)

土盛り厚

土盛り30厚(流懸20厚+中盛り10厚)

鋼管15x105

左右対称

欠番：【1,5,9,13,17,21,25,29,33,37,41,45,49】(計13本)

■材料

土：流懸土・中盛土ともに深草土
小舞・スつり：真竹(割竹) + おら編
木：すべて杉(含水率15%以下に調整する)

【 】内の数字は軸組対番号

■加熱面

非加熱面

軸組材はすべて背割りなし

■軸組図

sPL-6 X 120 X 3000 (東亜理料製作)
(全試験体共通で使用)

計46点
①水筒電対39本
②表面加熱電対7本

手リジヤクリ9mm径さ(流懸厚のみ)
高懸20mm厚+中盛り10mm厚

鋼管15x105

鋼管15x105

■加熱面

図5-3 KJ-2 試験体製作図<4寸柱真壁裏返し塗り無し>

no scale (寸法単位はmm)

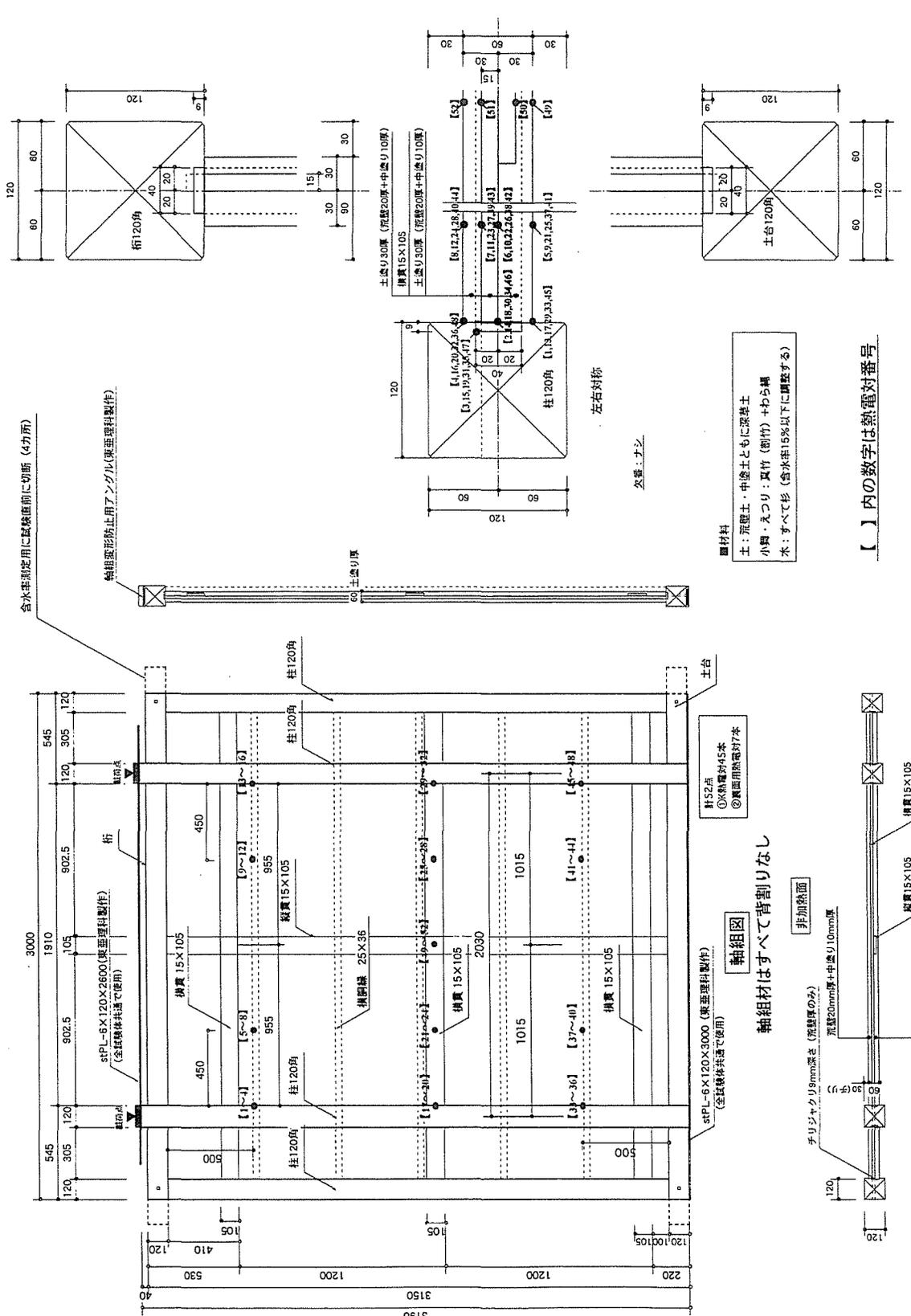
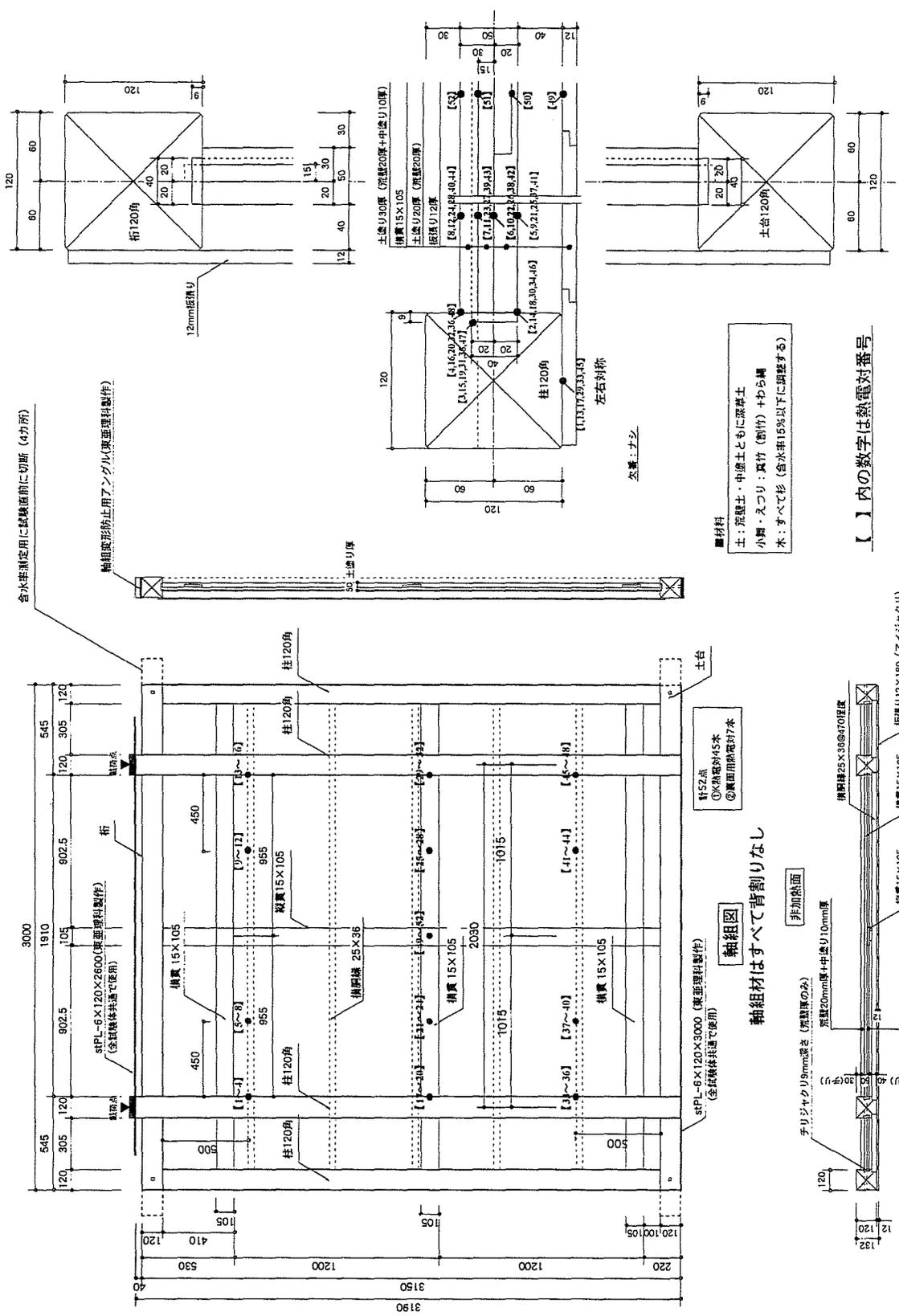


図5-5 KJ-4 試験体製作図<4寸柱真壁裏返し塗り有り>

no scale (寸法単位はmm)



含水率測定用に試験直前に切筋 (4カ所)

軸組形状防止用アングル(東亜理科製作)

12mm板張り

50土盛り厚

土盛り15x105
土盛り20厚 (深さ20厚)

土盛り30厚 (深さ20厚+中盛り10厚)

縦筋り12厚

柱120角

左右対称

女壁土ナシ

構梁15x105

構造筋25x36

120

120

120

120

120

120

120

120

120

120

120

120

120

120

■ 材料
土：荒壁土・中盛土ともに蒸草土
小舞・えつり：真竹(削竹) + から編
水：すべて形 (含水率15%以下に調整する)

【】内の数字は熱電対番号

針52点
①水筒電対45本
②真面目熱電対7本

■ 軸組図

軸組材はすべて背割りなし

■ 非加熱面

深さ20mm厚+中盛り10mm厚

構造筋25x36@170程度

縦筋り12x180 (アイジャクリ)

構造筋15x105

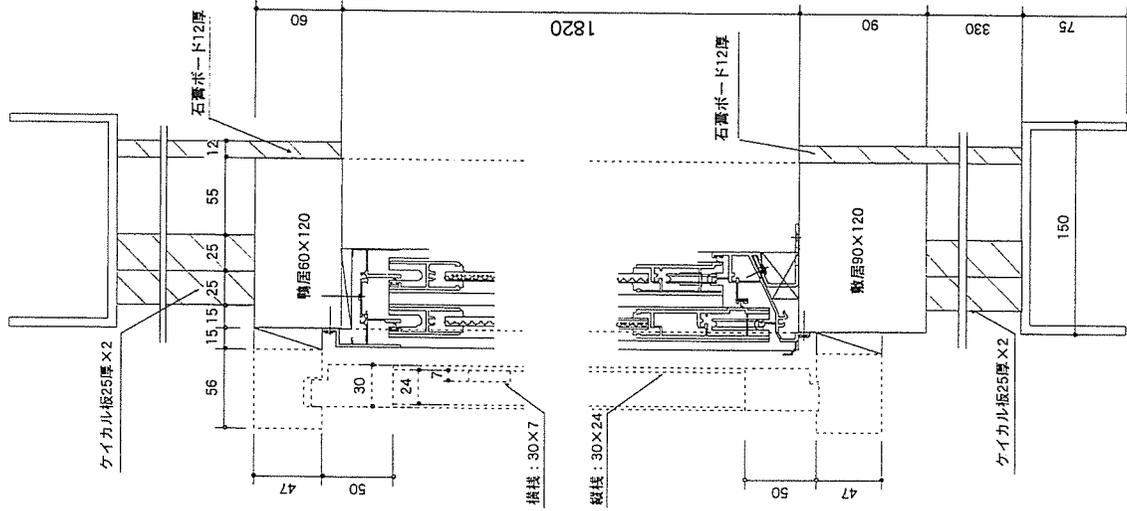
構造筋15x105

深さ20mm厚

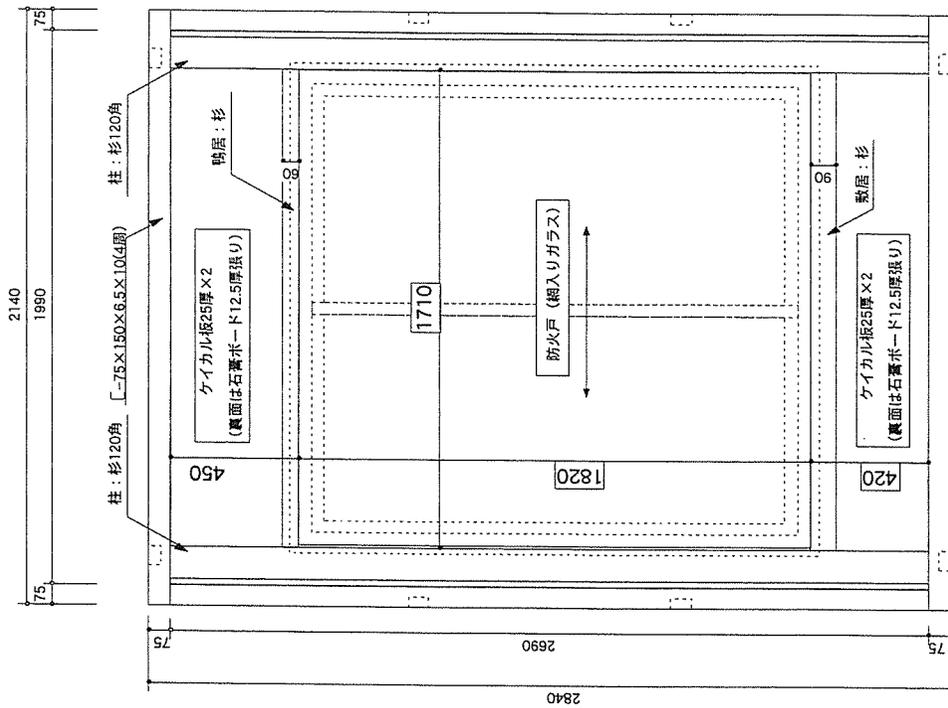
■ 加熱面

図 5-6 KJ-5 試験体製作図<4寸柱真壁裏返し塗り有り+12 mm板張り(アイジャクリ緊張り)、大壁>

no scale (寸法単位はmm)



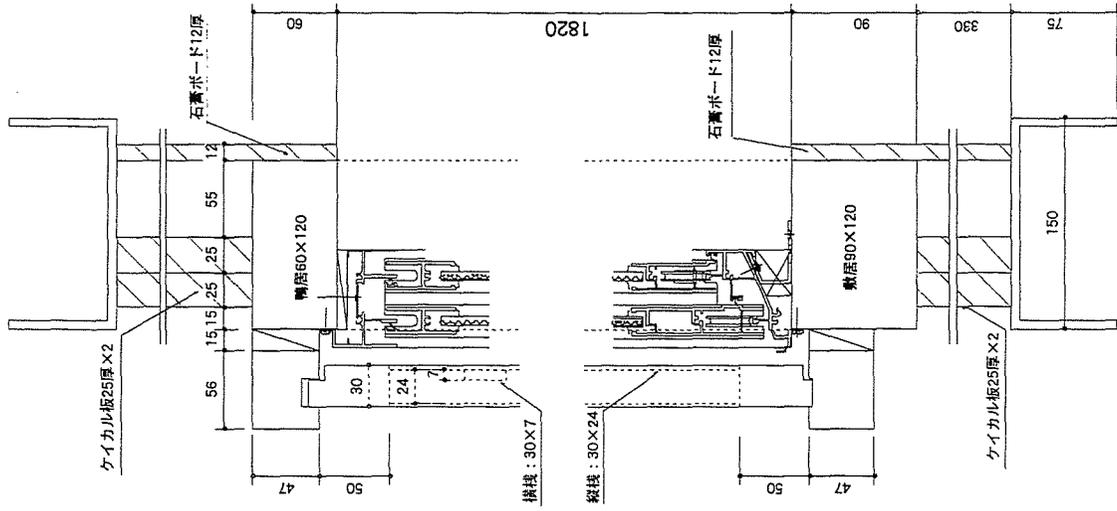
no scale (寸法単位はmm)



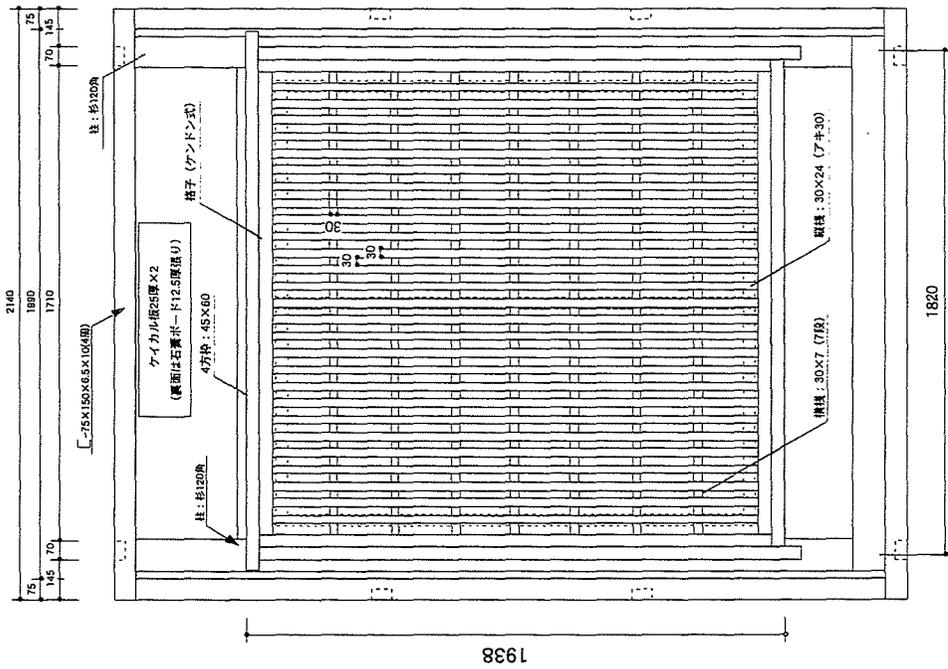
KJ-6

材料：すべて杉 (含水率15%以下に調整)

図 5-7 KJ-6 試験体製作図<防火戸木製格子無し>



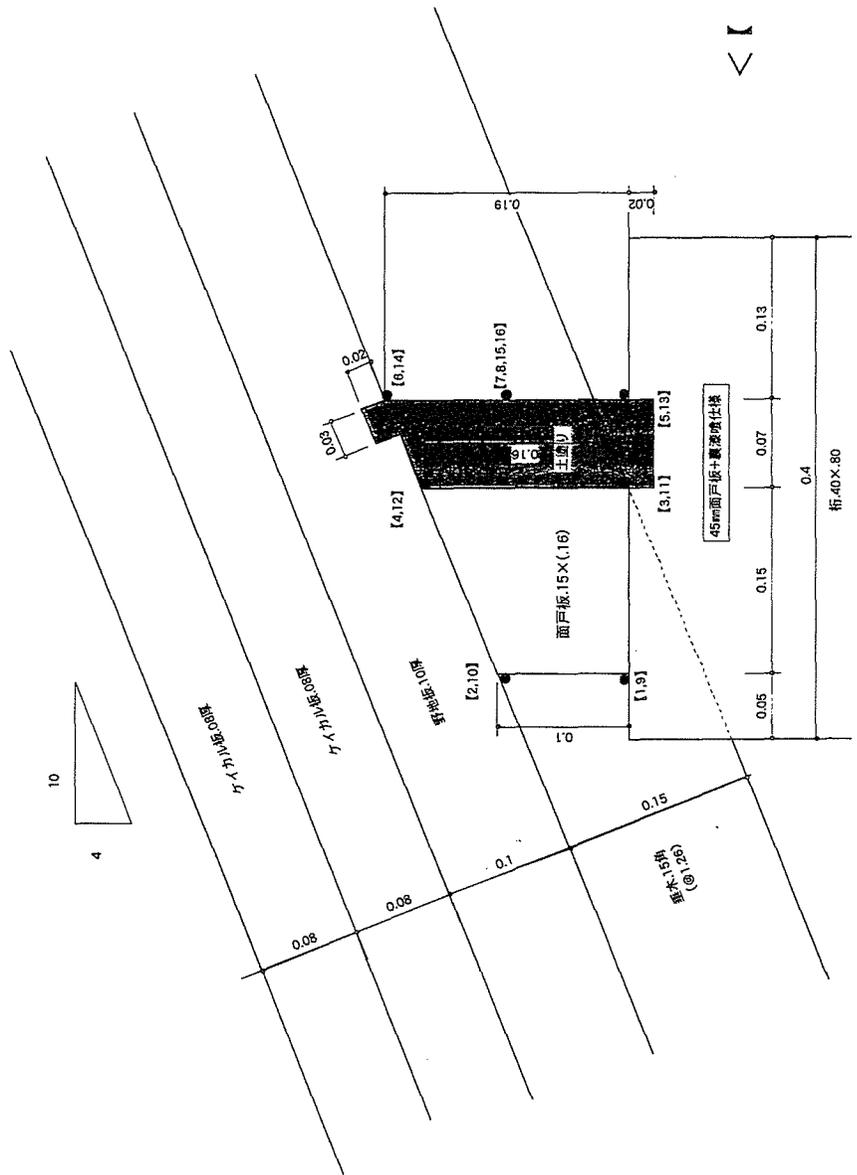
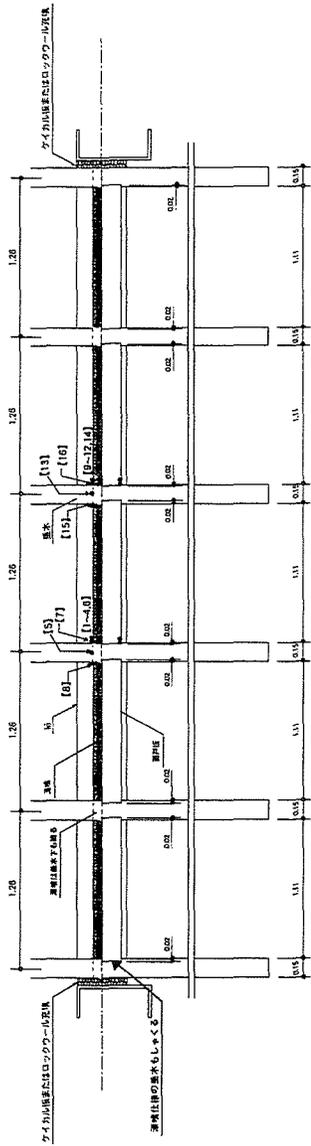
no scale (寸法単位はmm)



KJ-7(木製格子付き)

材料： 桧はすべて杉 (含水率15%以下に調整)
格子はスプルーース (含水率15%以下に調整)

図 5-8 KJ-7 試験体製作図<防火戸木製格子有り>



<【】内の数字は熱電対番号>

no scale

(寸法は尺表示：1尺=303mm)

図5-10 KJ-8 試験体製作図 詳細図<木造化粧軒裏>

5.1.2 実験方法

防耐火性能試験は、平成 14 年 7 月 1 日～5 日に(財)日本建築総合試験所耐火防火実験棟の大型耐火炉(土壁)、中型耐火炉(開口部、軒裏)を使用して行った。

(1)実大木造土壁防火実験(KJ-1～KJ-5)

試験体を図 5-11 に示す加熱試験装置に設置し、(財)日本建築総合試験所の「防耐火性能試験評価業務方法書」に準拠して荷重加熱実験を行った。

1.荷重方法

加熱される軸組部材(試験体中央 2 本の柱)に長期許容応力度に相当する応力が生じるよう油圧ジャッキを用いて鉛直荷重を加えた。なお、この鉛直荷重は座屈許容耐力とめり込み耐力のうち小さい方(座屈許容耐力)を用い、KJ-1(105 角)に 47.3 kN(23.7kN/本)、KJ-2～5(120 角)には 86.5 kN(43.3kN/本)の荷重をした。

表 5-4 荷重荷重計算

		軸組工法 (柱二本, 105 角)	軸組工法 (柱二本, 120 角)
材種		スギ (一級)	
b×d: 材の断面		105×105 mm	120×120 mm
L: 材長		3190 mm	3190 mm
Fc: 基準強度		21.6 N/mm ²	21.6 N/mm ²
Fev: めり込みに対する基準強度(建設省告示1452号)		9 N/mm ²	9 N/mm ²
柱本数		2 本	2 本
荷重	計算	$f_c = 2.147 \text{ N/mm}^2$ $\lambda = 30.31$	$f_c = 3.002 \text{ N/mm}^2$ $\lambda = 34.64$
	結果	長期許容荷重(1本) = 23670 N/本 47340 N 47.34 kN 4827 kgf 柱1本あたりの荷重 2414 kgf/本	長期許容荷重(1本) = 43230 N/本 86460 N 86.46 kN 8816 kgf 柱1本あたりの荷重 4409 kgf/本

2.加熱方法

ISO 834 に規定する標準加熱曲線に準拠し、加熱を行った。

3.加熱時間

加熱は以下の場合に中止することとした。

- ・試験体非加熱面への火炎貫通により実験の継続が困難となった場合。
- ・壁あるいは柱の座屈による変形が進み、荷重の継続が困難となった場合。
- ・上記以外で安全上問題があると判断した場合。

4.測定項目

ア) 試験体各部温度

φ0.68 mmのK熱電対を試験体の各測定位置に埋め込み、温度変化を30秒間隔で測定した。

イ) 炉内温度

試験体の加熱面から10 cm離れた位置で先端が露出するステンレス製保護管に入ったシース型K熱電対を用いて30秒間隔で測定した。

ウ) 軸方向収縮量と面外方向変形量

軸方向収縮量は図 5-13 に示すように、耐火炉下部に3カ所設置した変位計で30秒間隔で測定した。同様に、面外方向変形量は図 5-13 に示すように試験体中央2本の柱と土壁のそれぞれ中央部に合計3カ所設置し、変位計を用いて30秒間隔で測定した。

エ) その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影、試験終了後の軸組の炭化深さ(中央2本の柱の土台上から600 mm、桁下から600 mmの計4点で測定)等の測定を行った。

(2)開口部防火実験(KJ-6・KJ-7)

試験体を図 5-12 に示す加熱試験装置に設置し、(財)日本建築総合試験所の「防耐火性能試験評価業務方法書」に準拠して加熱実験を行った。

1.加熱方法

ISO834 に規定する標準加熱曲線に準拠し、加熱を行った。

2.加熱時間

防火設備に要求される準遮炎性能を満たす20分間の加熱実験を行った。

3.測定項目

ア) 入射熱量

Gardon 型熱流計を用い、試験体から1 m離れた試験体中央部で非加熱面側の入射熱量を測定した。

イ) 炉内温度

試験体の加熱面から10 cm離れた位置で先端が露出するステンレス製保護管に入ったシース型K熱電対を用いて30秒間隔で測定した。

ウ) その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影等を行った。

(3)木造化粧軒裏防火実験(KJ-8)

試験体を図 5-12 に示す加熱試験装置に設置し、(財)日本建築総合試験所の「防耐火性能試験評価業務方法書」に準拠して加熱実験を行った。

1.加熱方法

ISO 834 に規定する標準加熱曲線に準拠し、加熱を行った。

2.加熱時間

加熱は以下の場合に中止することとした。

- ・試験体非加熱面への火炎貫通により実験の継続が困難となった場合。
- ・上記以外で安全上問題があると判断した場合。

3.測定項目

ア) 試験体各部温度

$\phi 0.68$ mmのK熱電対を試験体の各測定位置に埋め込み、温度変化を30秒間隔で測定した。

イ) 炉内温度

試験体の加熱面から10 cm離れた位置で先端が露出するステンレス製保護管に入ったシース型K熱電対を用いて30秒間隔で測定した。

エ) その他

試験体加熱面及び非加熱面の目視観察、VTR撮影、試験体非加熱面の熱映像撮影、試験終了後の軸組の炭化深さ（中央2本の垂木まわり）等の測定を行った。

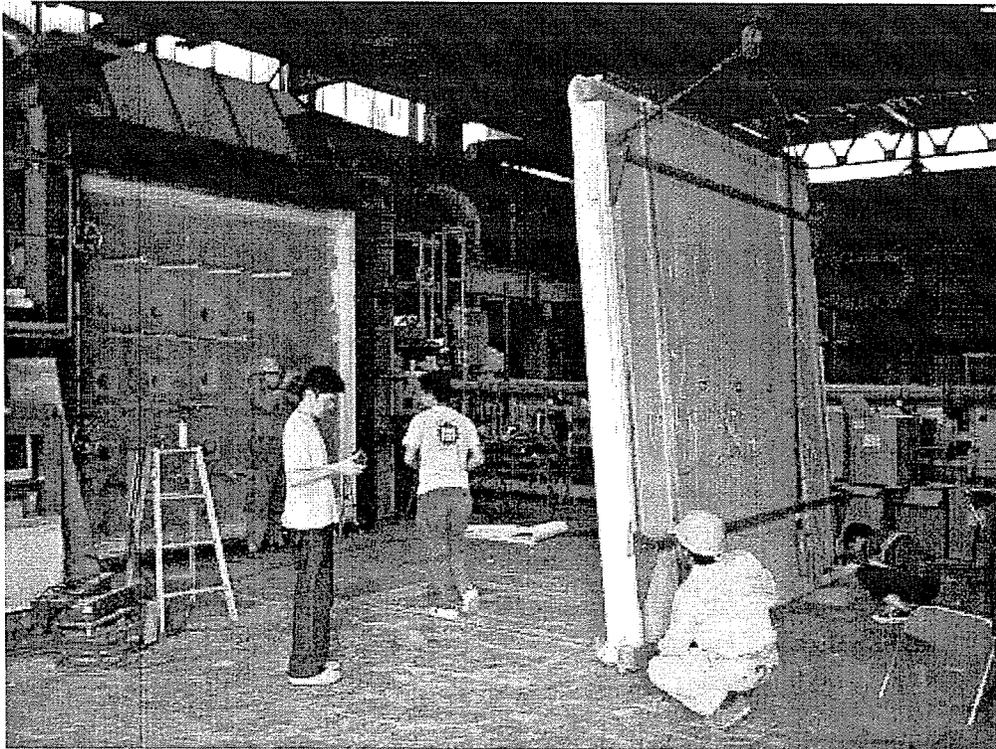


写真 5-2 試験装置 (大型炉)

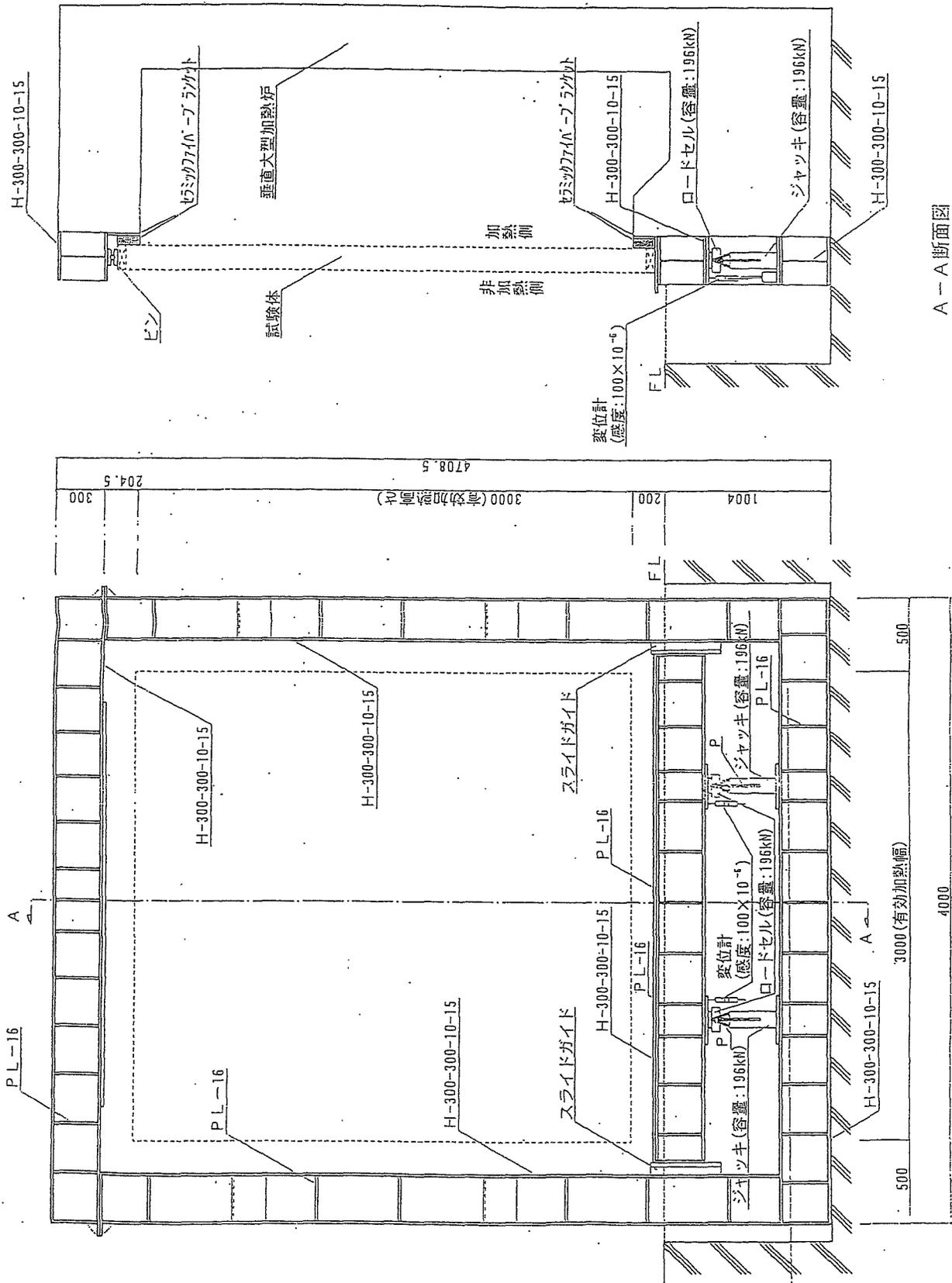


図 5-11 大型耐火炉外形図

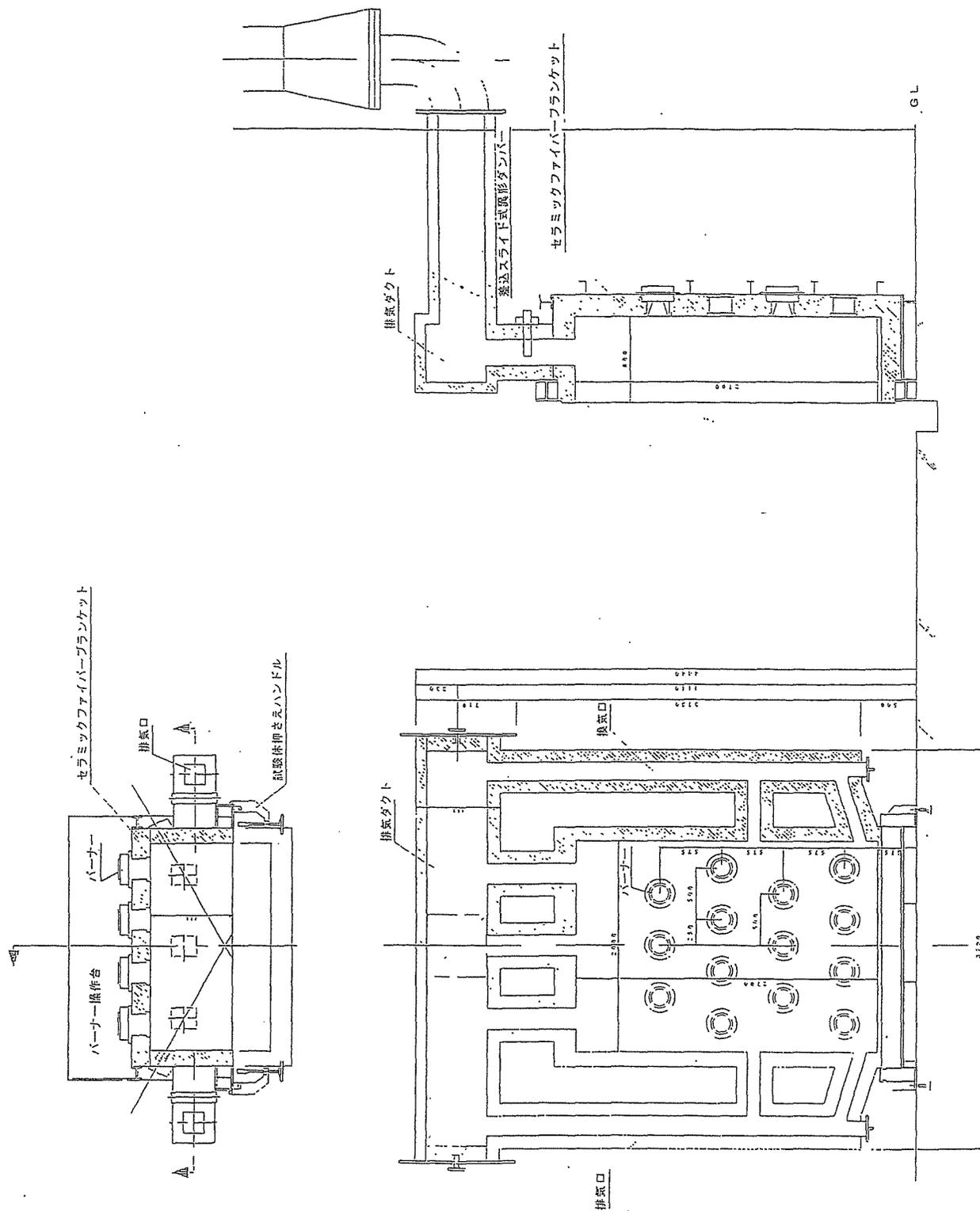


図 5-12 中型耐火炉外形図

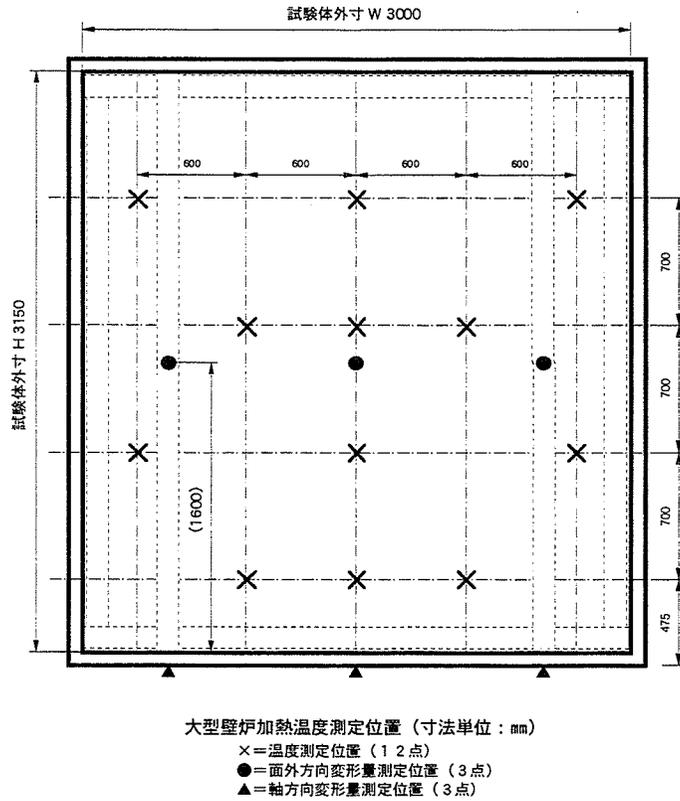


圖 5-13 大型壁炉加熱溫度測定位置 (寸法單位: mm)

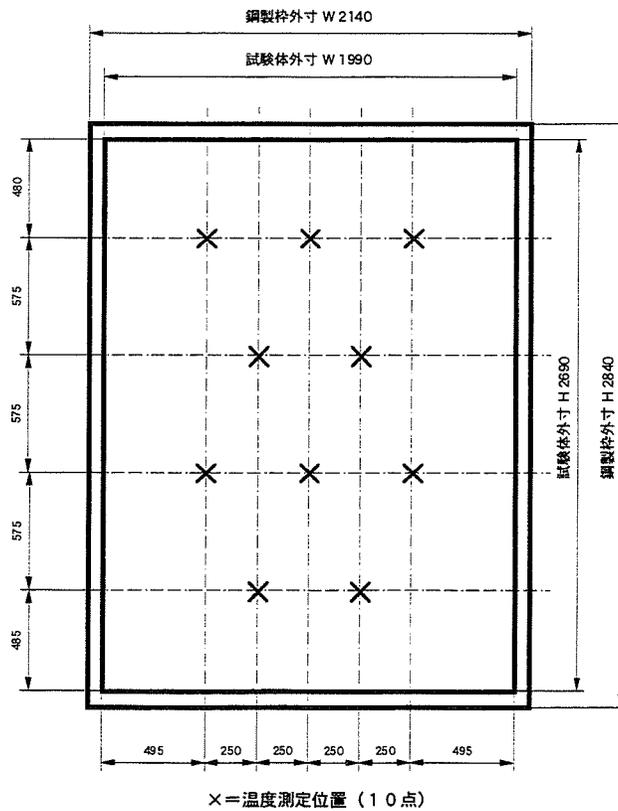


圖 5-14 中型壁炉加熱溫度測定位置 (寸法: mm)

5.1.3 実験結果

実験結果一覧を以下の表 5-5、温度変化と軸組の変形量のグラフを図 5-15～5-31、観察記録を表 5-6～5-7、熱映像を写真 5-3～5-11 に示す。

表 5-5 実験結果一覧

部位	試験体名	仕様	加熱終了時間	火災貫通	最高裏面*1	最高裏面*1	軸組方向	軸組方向	面外方向最大変形量*2		最大表面入射熱量
					平均温度	温度	最大収縮量	最大収縮速度	壁中央	柱	
土壁	KJ-1 (柱105角)	裏返し塗り無し 板張り(大壁)	31分55秒	チリ際 (25.3分)	146℃ <160℃	185℃ <200℃	5.7mm (31.5分)	1.7mm/分	+22mm (28.5分)	-53mm (31.5分)	-
	KJ-2 (柱120角)	裏返し塗り無し	22分30秒	チリ際 (22.5分)	105℃ <160℃	137℃ <200℃	14mm (22.5分)	6.2mm/分	-	-16mm (22.5分)	-
	KJ-3 (柱120角)	裏返し塗り無し 板張り(真壁)	21分40秒	チリ際 (21分)	88℃ <160℃	108℃ <200℃	24mm (21.5分)	16mm/分	-	-119mm (21.5分)	-
	KJ-4 (柱120角)	裏返し塗り有り	30分45秒	-	88℃ <160℃	96℃ <200℃	15mm (30.5分)	12mm/分	+52mm (24.5分)	-55mm (30.5分)	-
	KJ-5 (柱120角)	裏返し塗り有り 板張り(大壁)	30分15秒	-	74℃ <160℃	89℃ <200℃	13mm (29.5分)	15mm/分	-	-63mm (29.5分)	-
開口部	KJ-6	アルミ防火戸	20分00秒	△	-	-	-	-	-	-	1.47W/cm ²
	KJ-7	アルミ防火戸 木製格子	20分00秒	△	-	-	-	-	-	-	1.42W/cm ²
軒裏	KJ-8	木造化粧軒裏	60分00秒	-	61℃ <160℃	73℃ <200℃	-	-	-	-	-

△：実験趣旨とは直接関係のない、アルミ防火戸を固定するための木枠部より火災貫通有り

*1. 裏面温度は表面測定用熱電対で測定した値

*2. 面外方向変形量：+が表面（加熱面）方向、-が表面（非加熱面）方向

(1) 実大木造土壁防火実験

1. KJ-1 (裏返し塗り無し/板張り/大壁/105角)

実験日 7/3 午前 気温 30℃ 湿度 71%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 2 分で表面の板が炭化し始め、6 分過ぎに着火した。その後、板が激しく燃焼し、炉内に炎が充満して観察困難となる。炎の勢いが低下し、視界が開けた 12 分にはすでに板が焼け落ち始め、19 分には表面の板はほぼ全て脱落し、内部の木舞と貫がむき出しとなり、その後柱・縦貫のみが燃え続ける。25 分に縦貫の上半分が焼け落ち、柱下部のみが燃え続けた。試験終了直前の 31 分になると柱のチリ際がよく燃えていた。

非加熱面側では試験開始後 4 分に桁下から大量の煙が発生し、やがてチリ際からも大量に発生した。12 分に一時煙の量がおさまるが、再び増加し始め、19 分には白色だった煙の色が黄土色へと変化した。20 分を過ぎると柱・壁中央部が非加熱面側にせり出し、25 分には縦貫中央付近の壁が今度はへこみ始めた。この後チリ際が燃えぬけ、31 分 55 秒に試験終了となった。

イ) 温度変化

加熱面の温度は試験開始後ゆっくりと上昇し、着火以後 (6 分過ぎ) は速度を上げて上昇するが、全ての板が落ち、裏返し塗りをした土壁が炎にさらされ始めた 19 分以後は 800℃前後にとどまり、温度変化が少なくなっている。一方、非加熱面側の温度はほぼ一定の速度で緩やかに上昇し続け、燃えぬけたチリ際終了時に最高裏面平均温度 146℃、最高裏面温度 185℃を記録した。

ウ) 軸組の変形

軸方向最大収縮量 5.7 mm、軸方向最大収縮速度 1.7 mm/分と比較的値は小さいが、面外方向の変形量は板が全焼した 19 分から土壁中央部が加熱面方向に変形し、最大変形量 22 mmを記録した。この時柱も非加熱面方向に変形し、終了時には最大変形量 53 mmを記録した。

エ) 試験終了後の軸組の炭化状況

炭化深さは柱の前面で最小右上柱 10 mm、右下柱 7 mm、左上柱 10 mm、左下柱 6 mmとなり、最大炭化深さは右上柱 21 mm、右下柱 20 mm、左上柱 20 mm、左下柱 17 mmとなった。

2.KJ-2(裏返し塗り無し)

実験日 7/2 午後 気温 29°C 湿度 79%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後約 3 分で柱に着火しやがて軸組全体が燃焼するが、6 分付近で一時燃え止まりを見せている。7 分には再び軸組全体が燃え始めるが、やがて柱、縦貫のみが燃えそれ以外は燃え止まった。その後、21 分に縦貫下部が脱落した。

非加熱面側は試験開始後 3 分に桁下から水蒸気が発生し、やがて柱上部チリ際からも発生した。10 分頃から桁下の壁がへこみ、桁との隙間が広がり、17 分半にその隙間から一瞬火が出た。21 分には柱の変形が顕著になり、やがてチリ際の隙間から燃えぬけ、22 分 10 秒に試験終了となる。

イ) 温度変化

加熱面の温度は耐火炉内温度と同様の変化を示した。一方、非加熱面は試験終了までほぼ一定の速度で温度上昇し続け、終了時に最高裏面平均温度 105°C、最高裏面温度が 137°Cを記録した。

ウ) 軸組の変形

軸方向最大収縮量 14 mm、軸方向最大収縮速度 6 mm/分を記録し、面外方向最大変形量は土壁中央部で非加熱面方向に 16 mmを記録した。ともに試験終了前の約 2 分間で大きく変化した。

エ) 試験終了後の軸組の炭化状況

炭化深さは柱の前面で最小右上柱 9 mm、右下柱 16 mm、左上柱 10 mm、左下柱 11 mmとなり、最大炭化深さは右上柱 24 mm、右下柱 24 mm、左上柱 21 mm、左下柱 23 mmとなった。

3.KJ-3(裏返し塗り無し/板張り/真壁)

実験日 7/3 午後 気温 33°C 湿度 64%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 2 分過ぎで表面の板に着火し、その後燃え止まるものの、4 分には炉内に炎が充満し観察困難となった。視界が開けた 6 分には板全体が燃焼し、9 分を過ぎると脱落し始めた。その後、再び炉内が炎で観察困難となり、炎が少しおさまった 13 分頃にはほぼ全ての板が焼け落ちた。この時、木舞・柱・貫が燃え、壁全体から炎が出ていた。17 分には木舞はほとんど燃え尽き、柱・貫のみが燃えた。

非加熱面側は加熱面着火時、桁下から水蒸気が噴き出し、4 分には桁下、チリ際から黄土色の煙が大量発生し始めた。11 分頃から煙の勢いが低下し始め、18 分には煙の量が微量となった。やがて柱の変形、土壁中央部のへこみが明らかとなり、21 分には柱が音を立てて折れ、これと同時に

チリ際から燃えぬけた。試験終了時間は 21 分 45 秒となった。

イ) 温度変化

試験開始直後、耐火炉内温度が急上昇しているにもかかわらず加熱面の温度はほとんど変化がなく、2 分過ぎの板の着火後ようやくゆるやかに上昇した。板が落ち始めた 10 分からは 3 分間で 700°C 以上の急上昇を見せていたが、板が全焼し土壁が出てきた 13 分からは少しずつ温度が下がり終了時までそれぞれ 50°C 前後減少した。一方、非加熱面は試験終了までほぼ一定の速度で温度上昇し続け、終了時に最高裏面平均温度 88°C、最高裏面温度 108°C を記録した。

ウ) 軸組の変形

軸方向収縮は終了前の柱が折れる直前に急激に進み、最大収縮量 24 mm、最大収縮速度 16 mm/分を記録した。この時、面外方向最大変形量は非加熱面方向に 119 mm を記録した。

エ) 試験終了後の軸組の炭化状況

炭化深さは柱の前面で最小右上柱 14 mm、右下柱 15 mm、左上柱 11 mm、左下柱 14 mm となり、最大炭化深さは右上柱 26 mm、右下柱 24 mm、左上柱 26 mm、左下柱 26 mm となった。

4.KJ-4 (裏返し塗り有り)

実験日 7/4 午前 気温 31°C 湿度 76%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 3 分で柱が炭化し始めたが、着火したのは 9 分過ぎであった。その後柱のみ燃え続け、17 分には壁全体がせり出した。柱は部分的に焼け落ちつつも燃焼し続けた。

非加熱面側は試験開始後 3 分でチリ際より水蒸気が発生し、やがて激しくなり、11 分にはチリ際が焦げた。15 分に縦貫付近がへこみ、16 分をすぎた頃、中央横貫付近にひび割れが確認できた。22 分にはひび割れが大きくなり、煙がチリ際・桁下・敷居上から噴出し、やがて大きくなったひび割れからも出るようになった。29 分には上側横貫上にもひび割れが生じ、柱の変形が顕著となり 30 分 45 秒で試験終了となった。

イ) 温度変化

非加熱面は試験終了までほぼ一定の速度で緩やかに温度上昇し続け、最高裏面平均温度 88°C、最高裏面温度 96°C を記録した。

ウ) 軸組の変形

軸組方向収縮量は終了 3 分前から収縮速度を急激に増し、終了時に最大収縮量 15 mm、最大収縮速度 12 mm/分を記録した。面外方向変形量は土壁中央部が先に加熱面側に変形し最大変形量が 52 mm となったが、柱 2 点が非加熱面側に変形し始めると同様に非加熱面方向へ戻っていった。非加熱面方向の最大変形量は試験終了時に 55 mm を記録した。

エ) 試験終了後の軸組の炭化状況

炭化深さは柱の前面で最小右上柱 17 mm、右下柱 17 mm、左上柱 14 mm、左下柱 13 mm となり、最大炭化深さは右上柱 24 mm、右下柱 23 mm、左上柱 19 mm、左下柱 21 mm となった。

5.KJ-5 (裏返し塗り有り/板張り/大壁)

実験日 7/5 午前 気温 31°C 湿度 77%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 1 分半で板に着火後、炎の勢いが激しくなり 3 分で観察困難となった。視界が開け 5 分には板全体が燃焼していた。8 分頃から板が落ち始め、21 分にはほぼ全ての板が焼け落ち、柱・縦貫のみが燃えた。この時露出した土壁は炭で黒ずんでいた。26 分過ぎには木舞の姿が土壁上に浮かび上がった。

非加熱面側は 4 分から黄土色の煙が桁まわりから発生し始め、やがてチリ際からも激しく発生した。10 分過ぎから煙の勢いが低下し始め、黄土色から白色へと変わった。24 分半に柱の変形が明らかとなり、30 分には音を立てて折れ、これと同時に上部横貫上にひび割れが入った。試験終了時間は 30 分 15 秒となった。

イ) 温度変化

加熱面は着火後温度が上昇し始め、板が全焼した 21 分付近で 700°C前後に達し、その後の温度上昇は緩やかで試験終了時は約 800°Cとなる。一方、非加熱面は試験終了までほぼ一定の速度で緩やかに上昇し続け、試験終了時に最高裏面平均温度 74°C、最高裏面温度 89°Cを記録した。

ウ) 軸組の変形

軸方向収縮は終了前の柱が折れる直前に急激に進み、最大収縮量 13 mm、最大収縮速度 15 mm/分を記録した。面外方向の変形は非加熱面側に板が落ち始めた 9 分から変形し始め、これも柱が折れる直前に急激に進み、最大値 63 mmを記録した。

エ) 試験終了後の軸組の炭化状況

炭化深さは柱の前面で最小右上柱 14 mm、右下柱 10 mm、左上柱 10 mm、左下柱 9 mmとなり、最大炭化深さは右上柱 21 mm、右下柱 24 mm、左上柱 22 mm、左下柱 19 mmとなった。

(2)開口部防火実験

1.KJ-6(アルミ防火戸)

実験日 7/1 午前 気温 28°C 湿度 75%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 2 分にガラス面にひびが入り、3 分で柱・敷居に着火しやがて鴨居も燃え始めた。7 分にはサッシ全体が真っ黒になり、12 分を過ぎると下部の方が溶け始めた。

非加熱面側は 2 分にガラス面にひびが入った後、6 分過ぎからサッシ上部*から水蒸気が発生した。7 分にはサッシ下部*からも水蒸気が発生し、サッシが茶色く変色した。9 分にサッシ上部から火が出てその後激しくなり、11 分半にはサッシ全体がほぼ真っ黒になった。火の粉が飛び散り始めた 14 分にはサッシ上部*が垂れ下がりやがて上部全体が燃えぬけた。その後サッシ左わき*、サッシ下部*からも燃えぬけ試験終了時間 20 分となった。

※サッシとサッシ固定用木枠の取合い部を指す

イ)非加熱面入射熱量

試験中を通してほぼ一定の速度で上昇し続け、試験終了時には最大入射熱量 1.47W/cm² を記録した。

2.KJ-7 (アルミ防火戸/木製格子)

実験日 7/1 午後 気温 28°C 湿度 75%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始 1 分半にガラス面にひびが入り、2 分で格子に着火した。9 分頃から格子が落ち始め 12 分過ぎにはほとんどの格子が焼け落ち、残った木枠のみが燃えた。

非加熱面側は 1 分半にガラス面にひびが入った後、サッシ上部から水蒸気が発生し、やがて右わきからも発生した。15 分過ぎにサッシ上部が燃えぬけ、試験終了時間 20 分を迎えた。

イ) 非加熱面入射熱量

試験開始後 12 分からの 8 分間の測定となった。測定開始後上昇続けていたが、13 分に急に減少し始めた。しかし 14 分半には再び上昇し始め、最初よりも緩やかに上昇した。試験終了時には 1.42 W/cm² を記録した。

(3) 軒裏防火実験

1.KJ-8 (木造化粧軒裏)

実験日 7/2 午前 気温 31°C 湿度 71%

ア) 加熱面、非加熱面観察

加熱面側は試験開始後 3 分に垂木に着火し、以後燃え続ける。20 分になると全体の炭化が進み 40 分にまず垂木が焼け落ち、その後野地板も徐々に落ちていき試験終了時 60 分には垂木、野地板は接合部付近のみ残り、桁とともに加熱面は全て炭化していた。

非加熱面は試験時間中所々白煙が生じる程度で大きな変化は見られなかった。

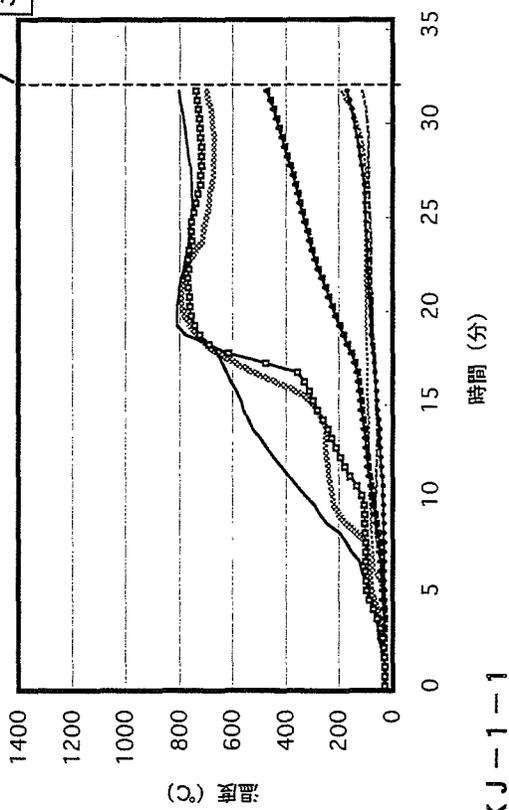
イ) 温度変化

加熱面側である面戸板の温度は耐火炉内温度が急上昇する 6 分に 80°C 程度になり、その後放物線を描くように上昇し試験終了時 60 分は 800°C を超える温度となった。一方、非加熱面側は試験開始 30 分を過ぎても気温と変わらずその後少しずつ上昇していくが、試験終了時でも最高裏面平均温度 61°C、最高裏面温度 73°C にとどまった。

ウ) 試験終了後の軸組の炭化状況

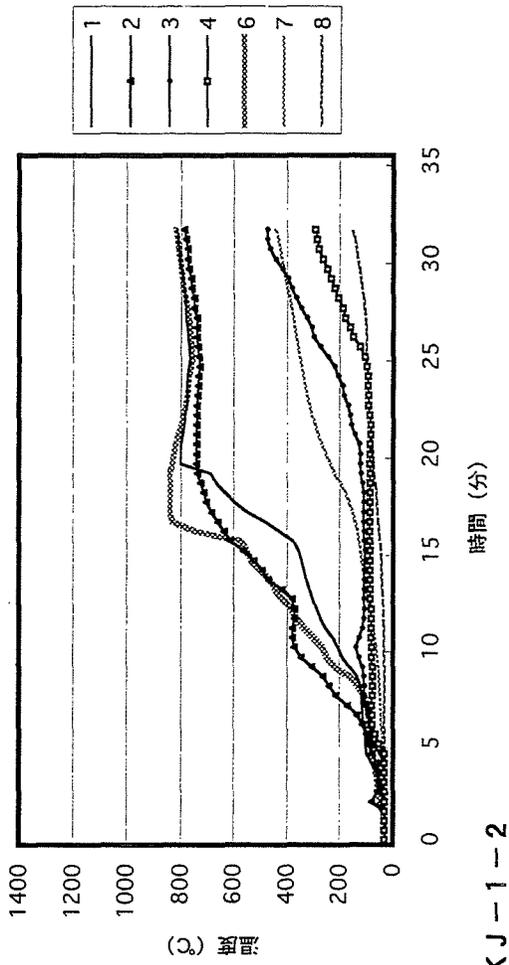
最大炭化深さは右側の垂木まわりは面戸板 32 mm、桁 40 mm となり、左側の垂木まわりは面戸板 37 mm、桁 45 mm となった。

土壁温度時系列変化 (左上部)



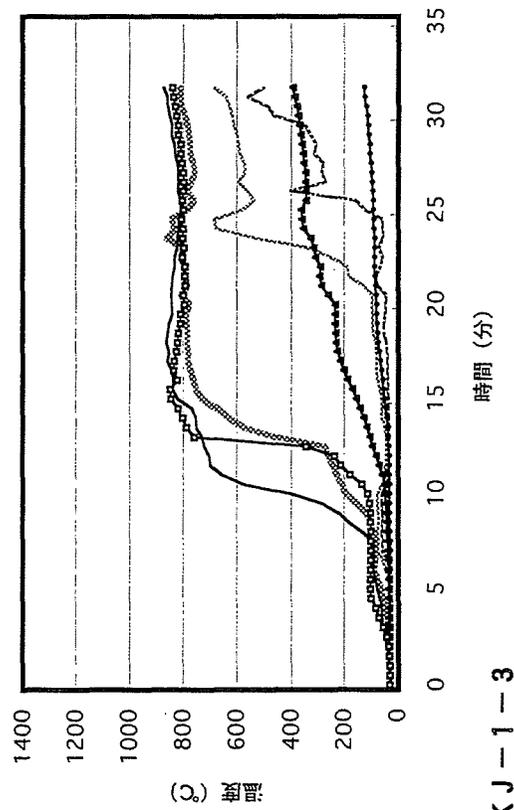
KJ-1-1

土壁温度時系列変化 (右上部)



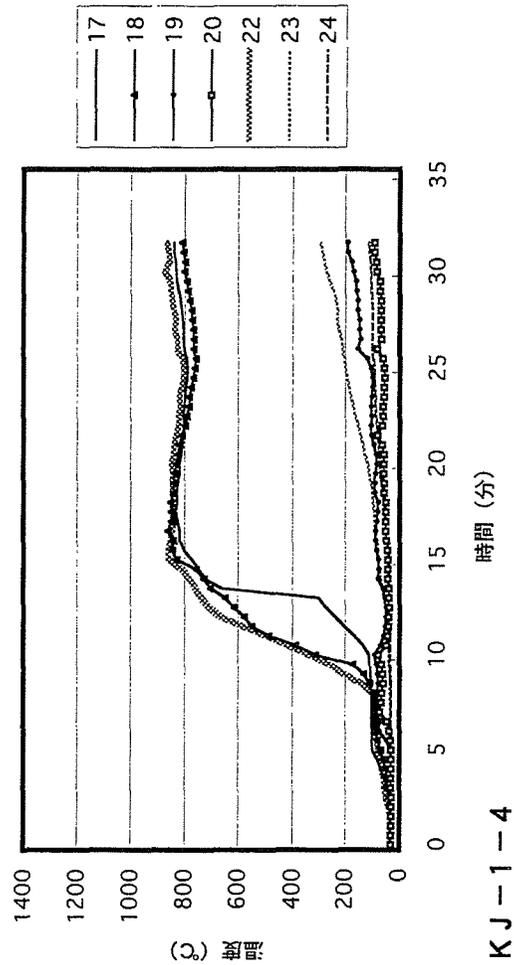
KJ-1-2

土壁温度時系列変化 (左中部)



KJ-1-3

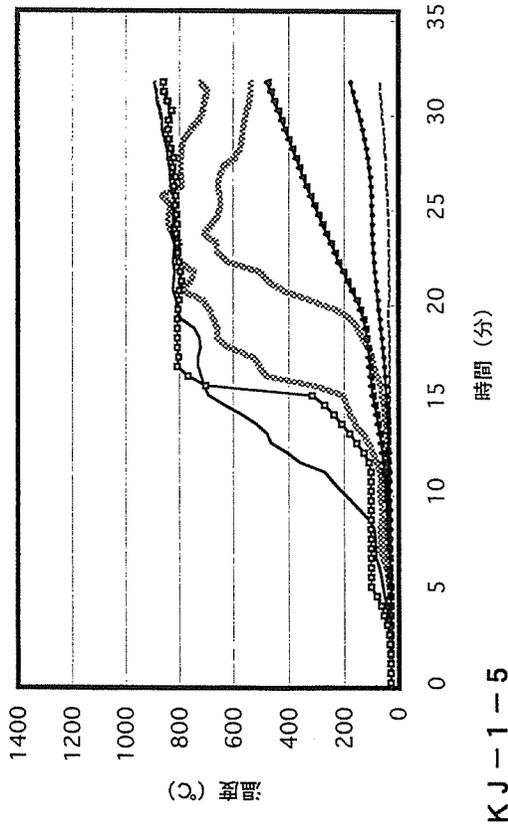
土壁温度時系列変化 (右中部)



KJ-1-4

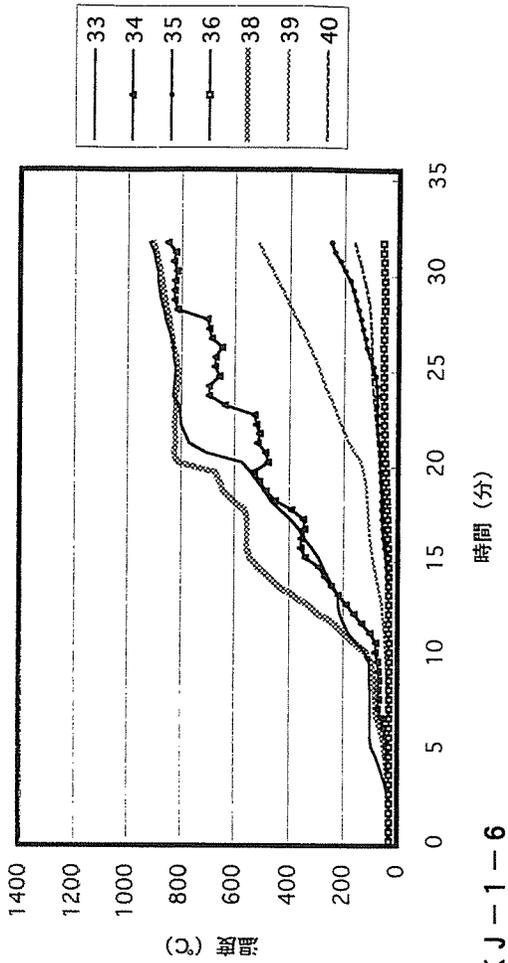
図5-15 温度の時系列変化 (KJ-1:裏返し塗り無し土壁+板張り 大壁)

土壁温度時系列変化 (左下部)



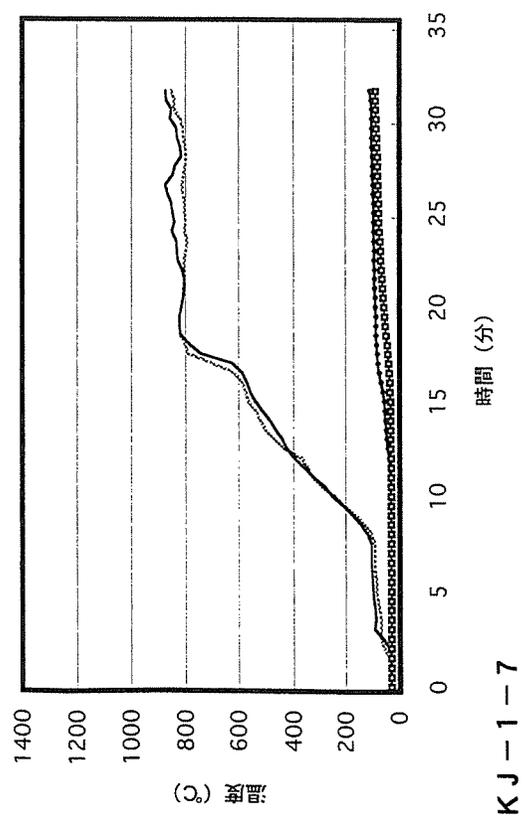
KJ-1-5

土壁温度時系列変化 (右下部)



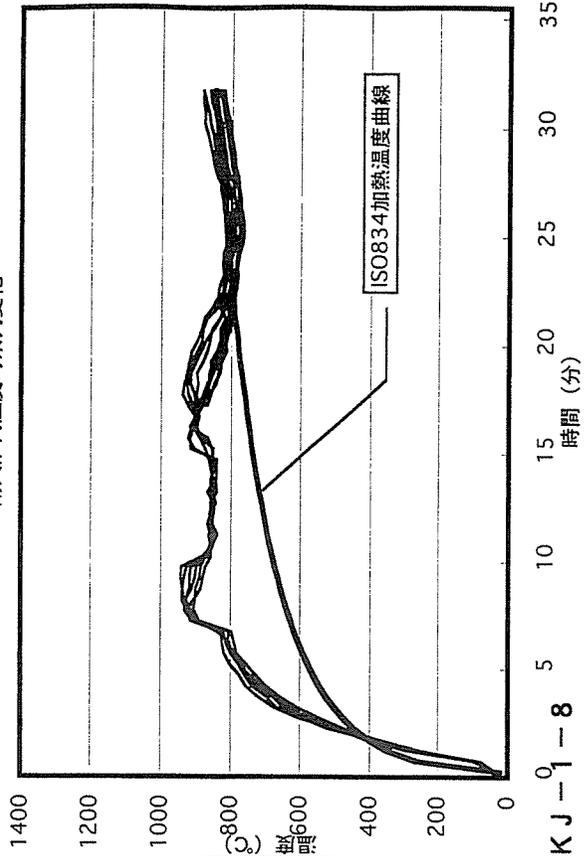
KJ-1-6

土壁温度時系列変化 (中央部)



KJ-1-7

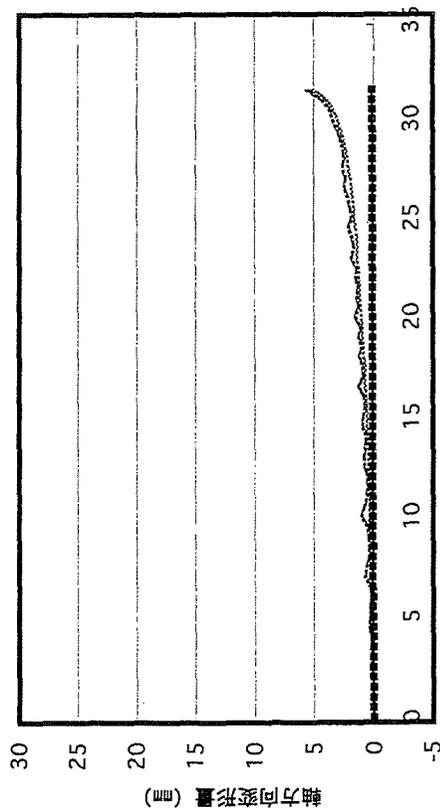
耐火炉内温度時系列変化



KJ-1-8

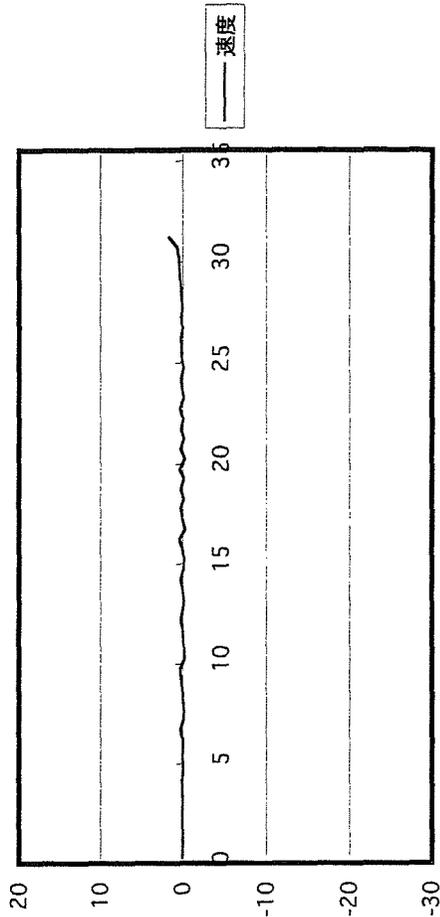
図5-16 温度の時系列変化 (KJ-1:裏返し塗り無し土壁+板張り 大壁)

軸方向収縮量



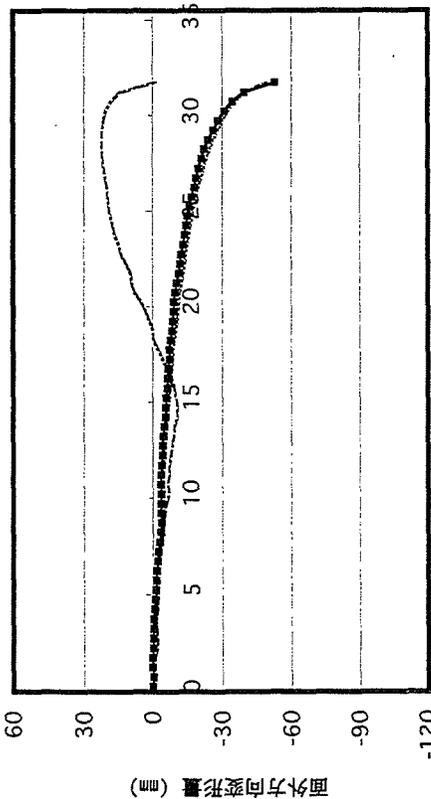
KJ-1-9

軸方向変形速度



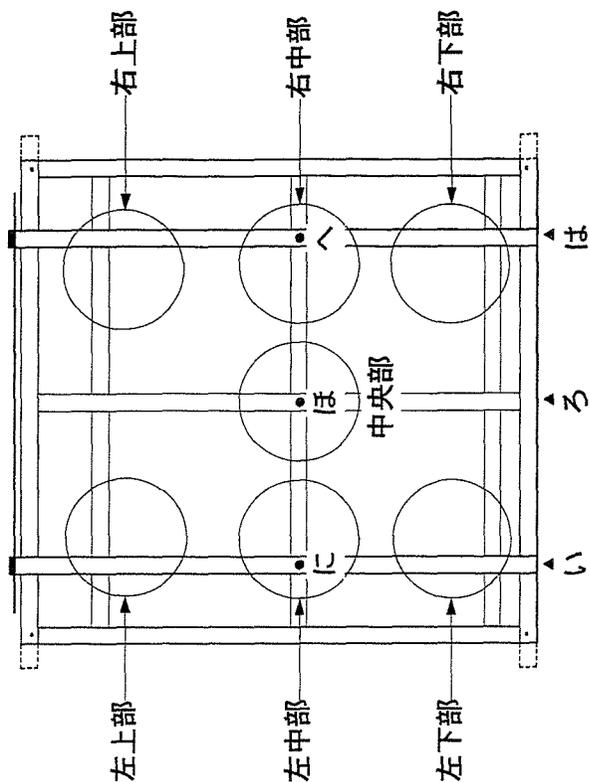
KJ-1-10

面外方向変形量



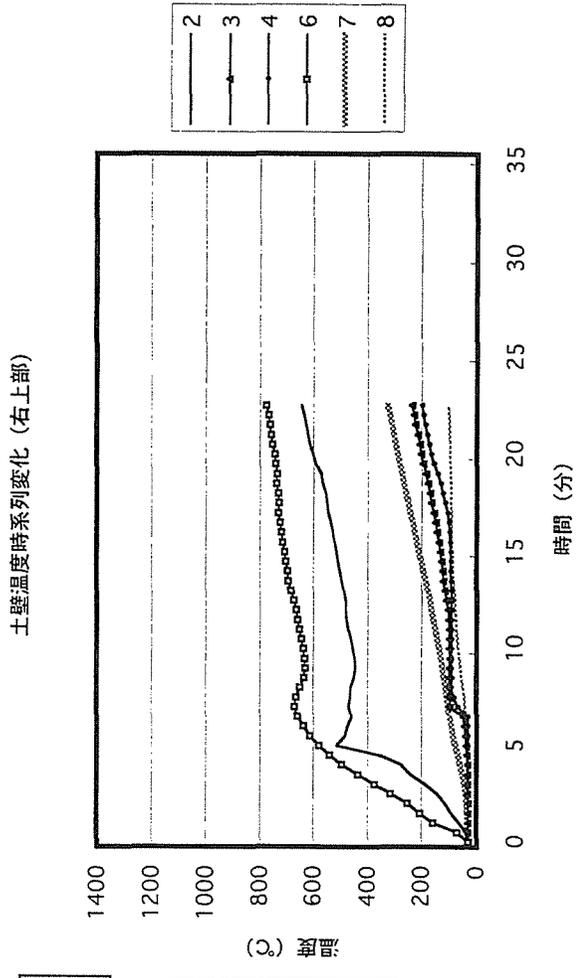
KJ-1-11

時間 (分)

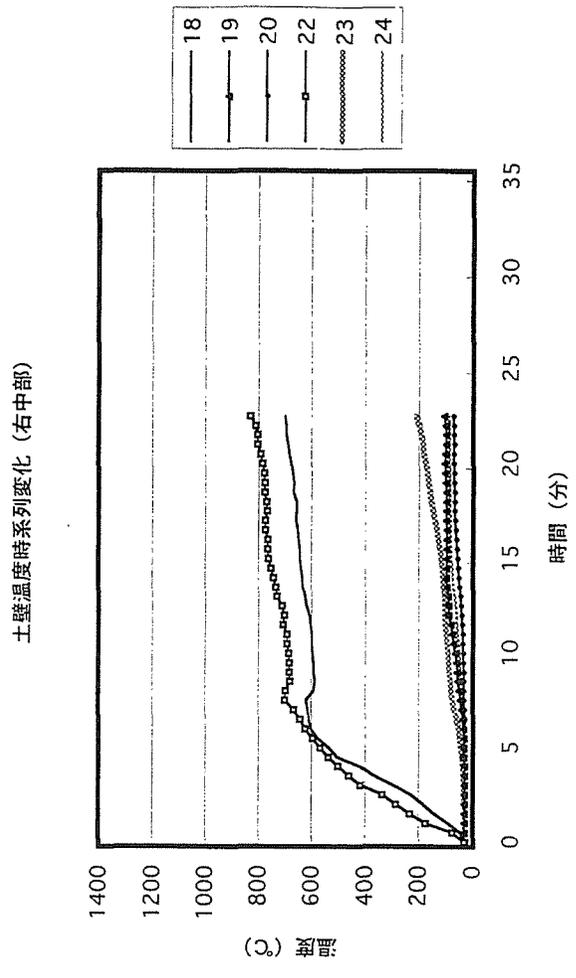


土壁測定位置 (非加熱側側)

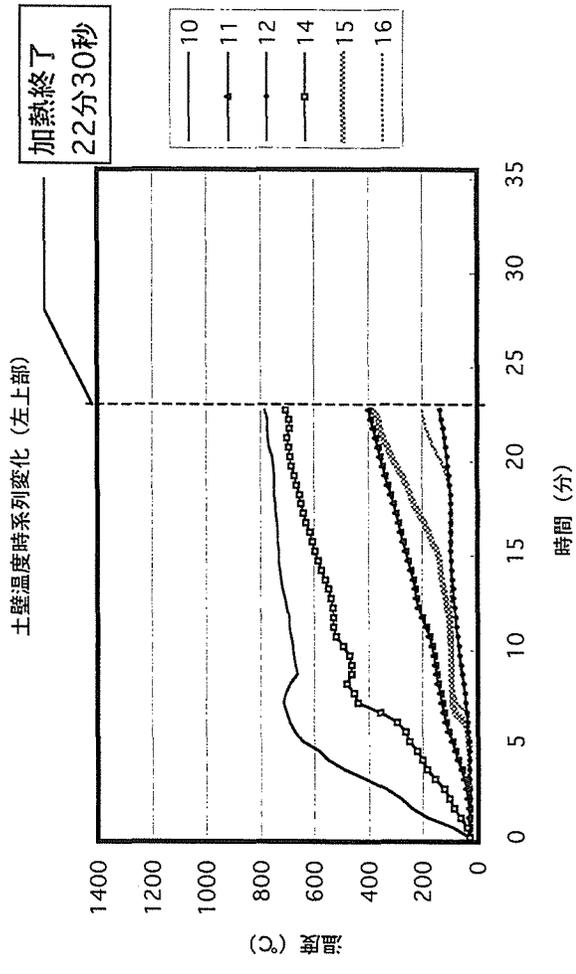
図5-17 軸組の変形量 (KJ-1:裏返し塗り無し土壁+板張り 大壁)



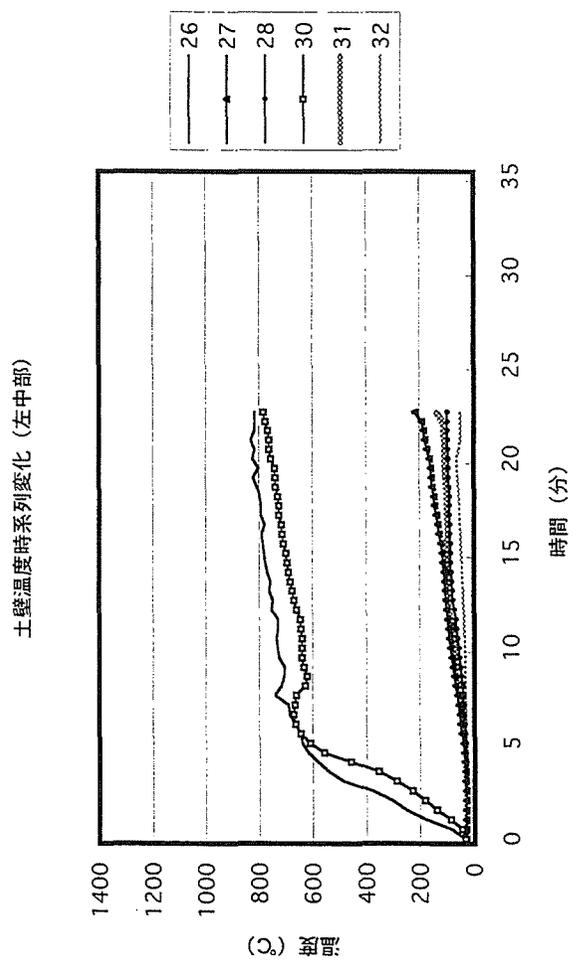
KJ-2-2



KJ-2-4



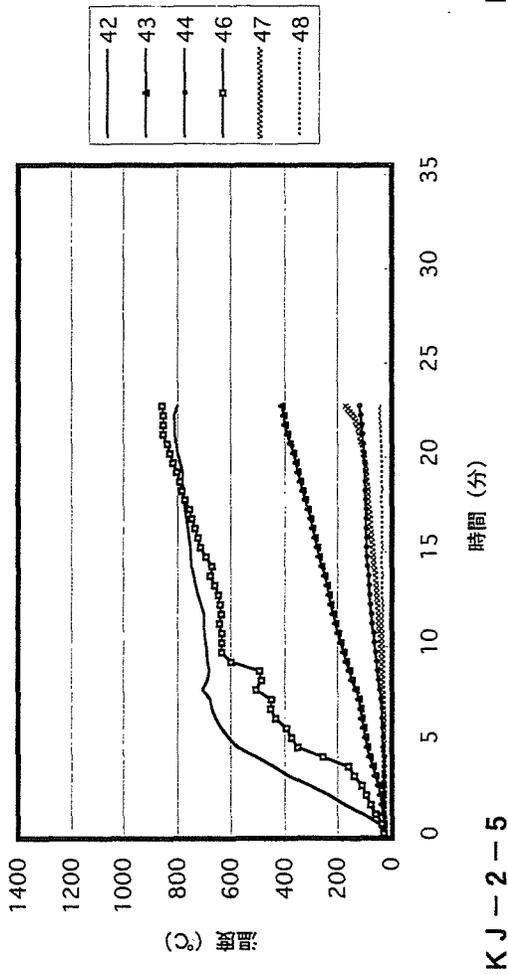
KJ-2-1



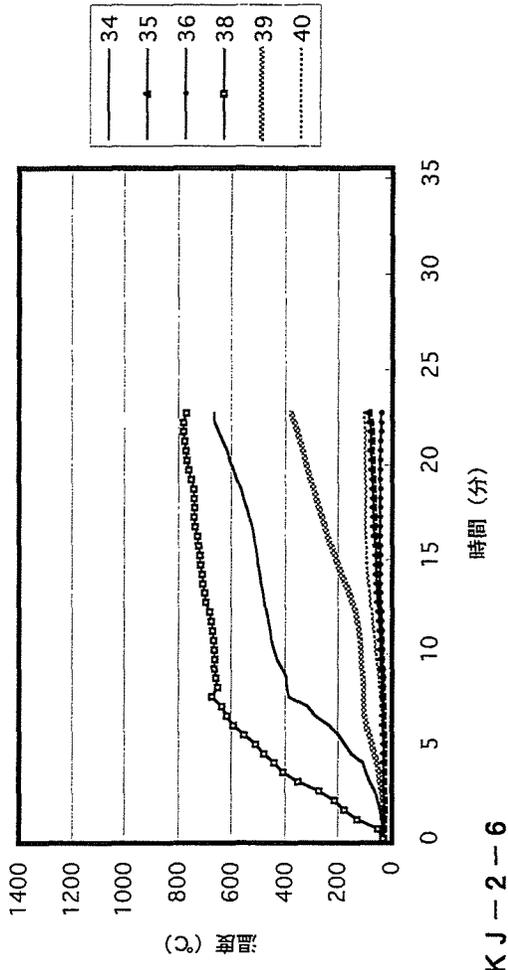
KJ-2-3

図5-18 温度の時系列変化 (KJ-2 : 裏返し塗り無し土壁)

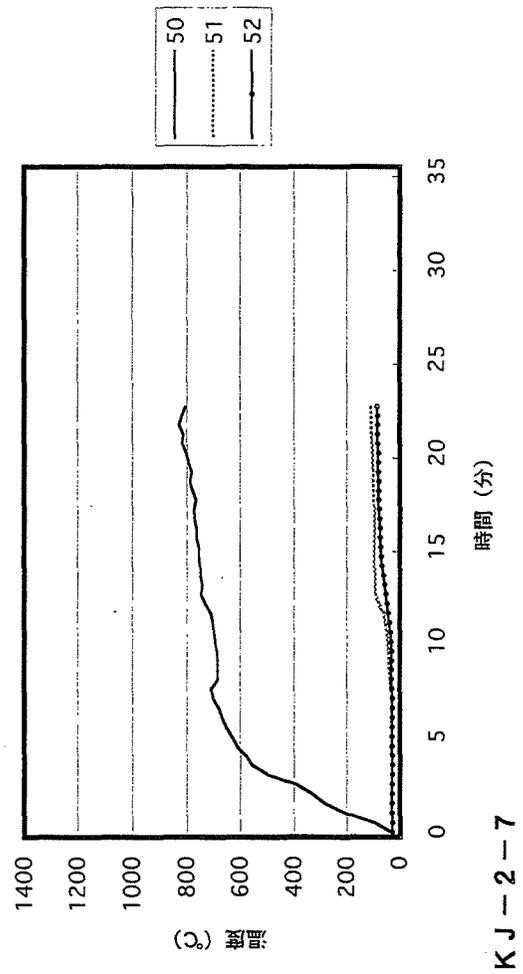
土壁温度時系列変化 (左下部)



土壁温度時系列変化 (右下部)



土壁温度時系列変化 (中央部)



耐火炉内温度時系列変化

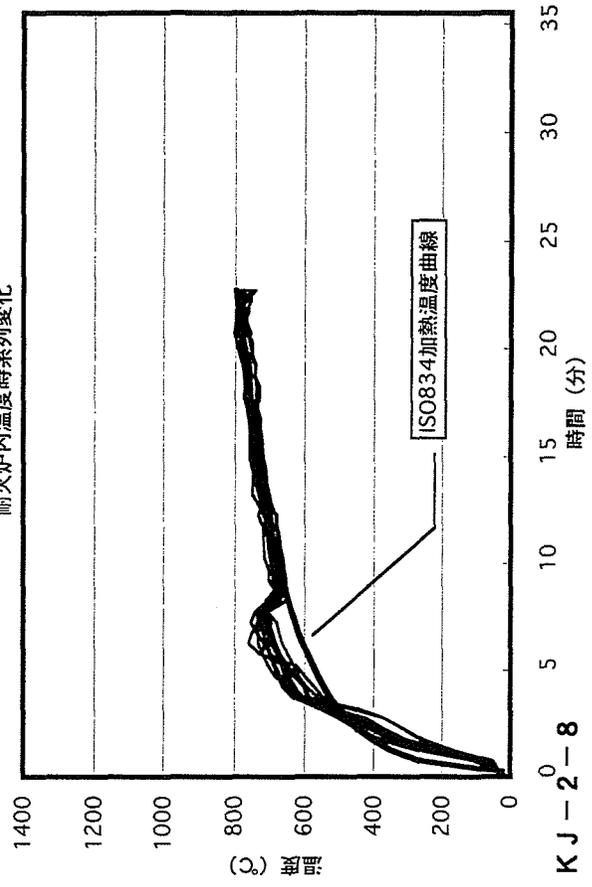
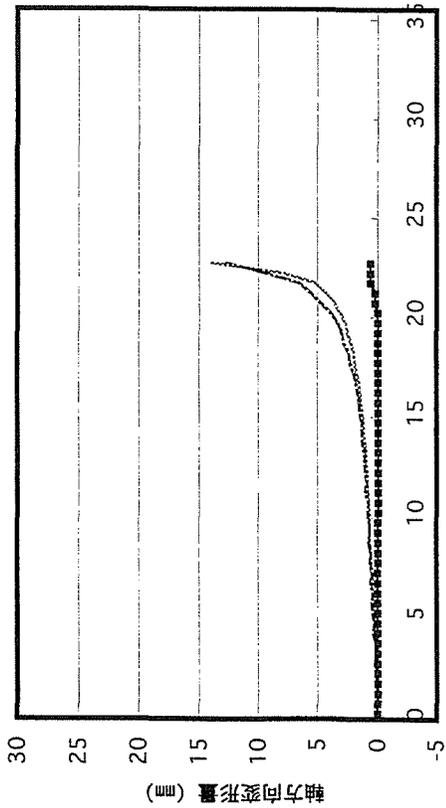


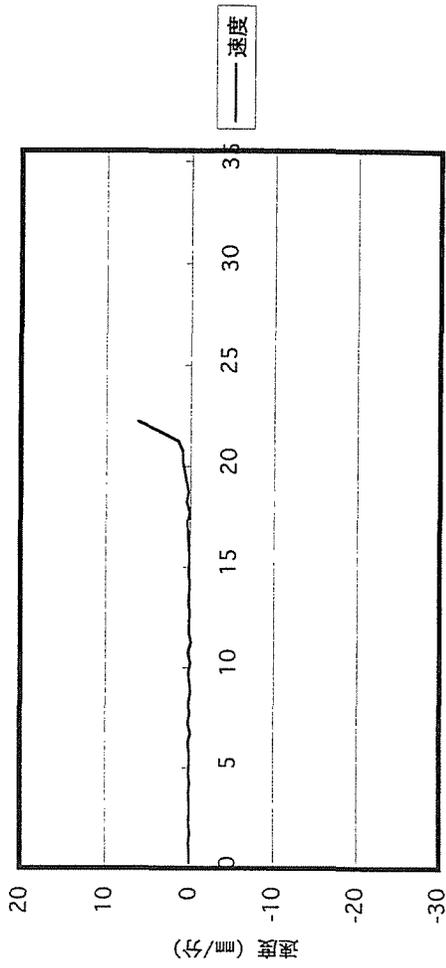
図5-19 温度の時系列変化 (KJ-2:裏返し塗り無し土壁)

軸方向変形量



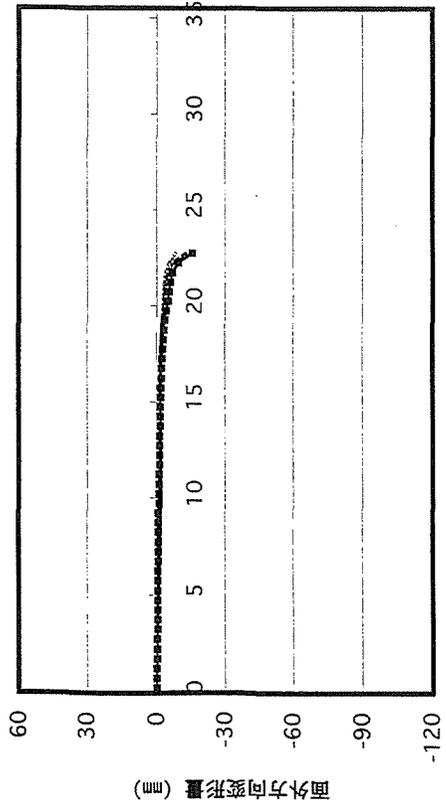
KJ-2-9

軸方向変形速度



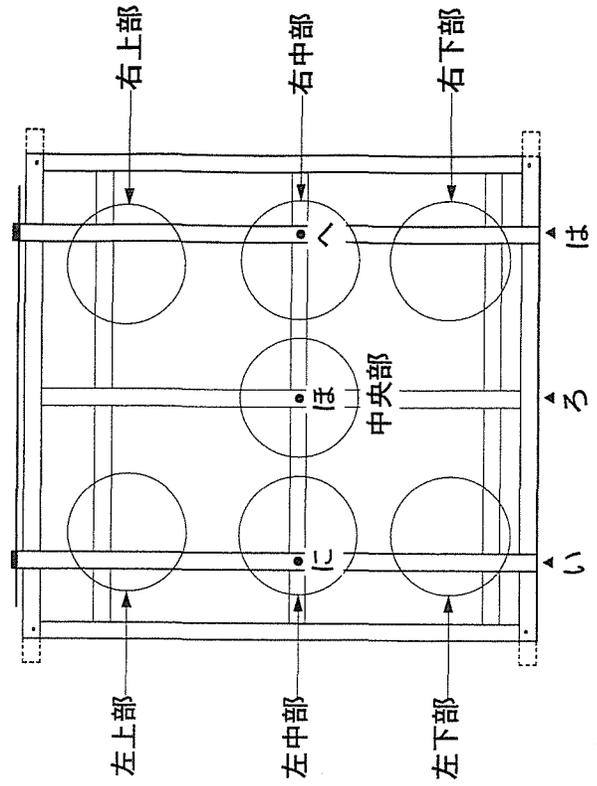
KJ-2-10

面外方向変形量



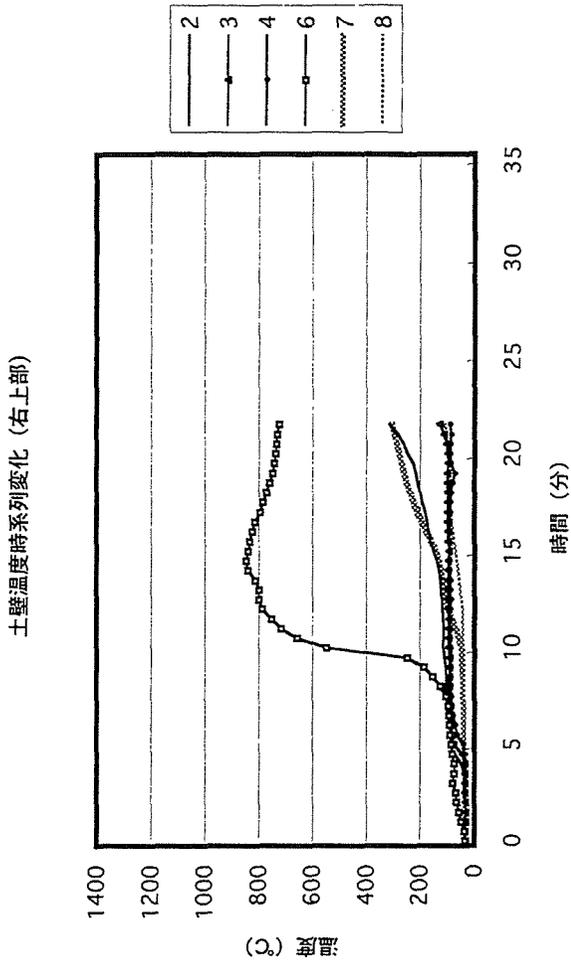
KJ-2-11

時間 (分)

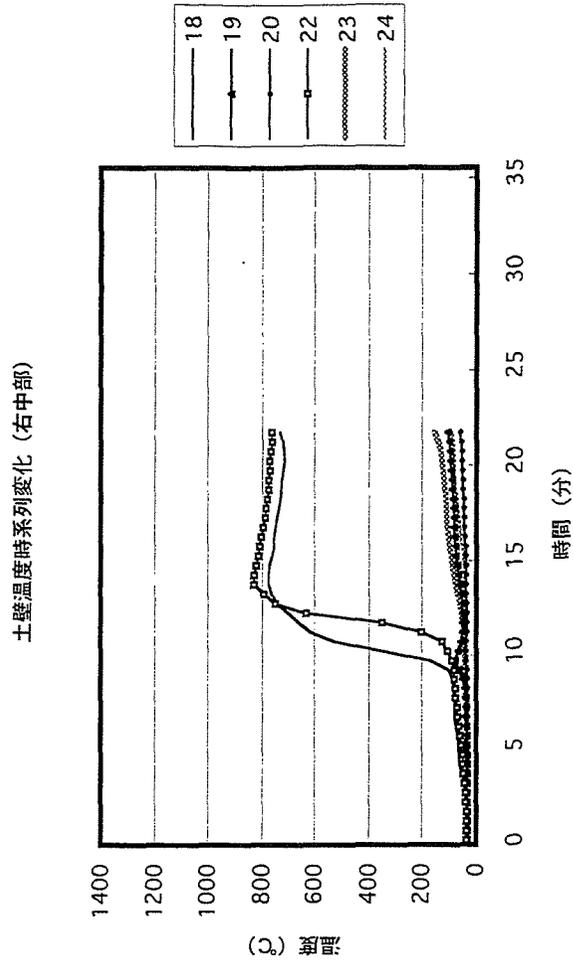


土壁測定位置 (非加熱側)

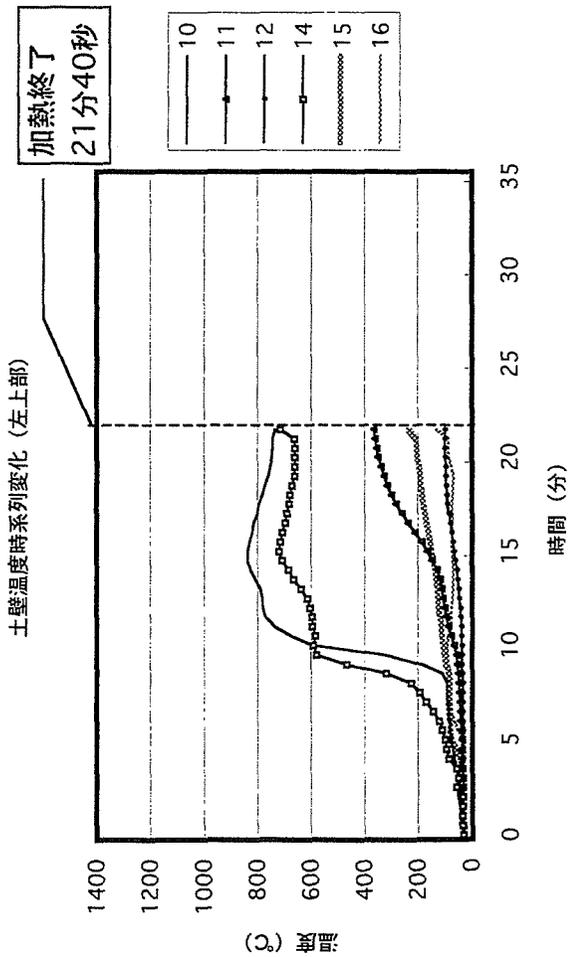
図5-20 軸組の変形量 (KJ-2 : 裏返し塗り無し土壁)



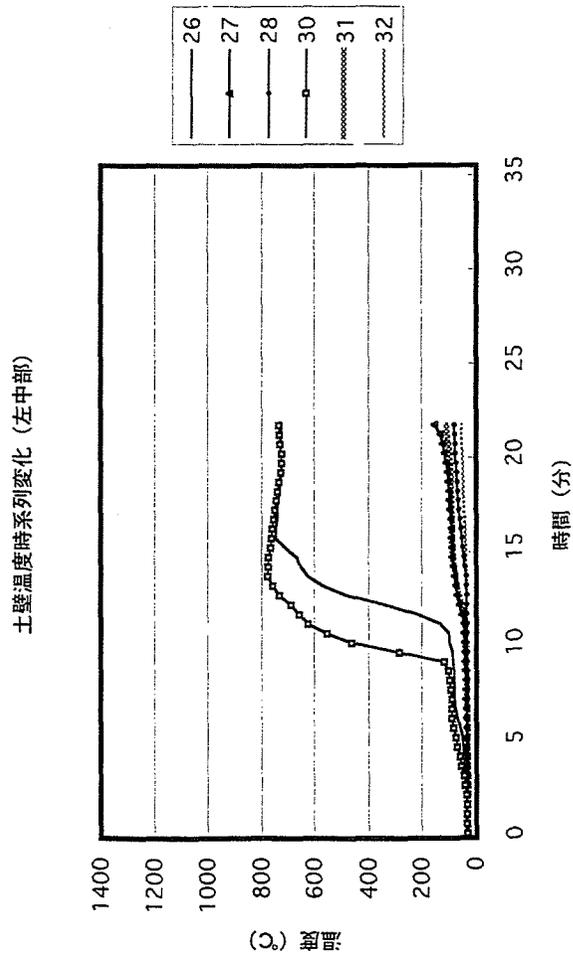
KJ-3-2



KJ-3-4



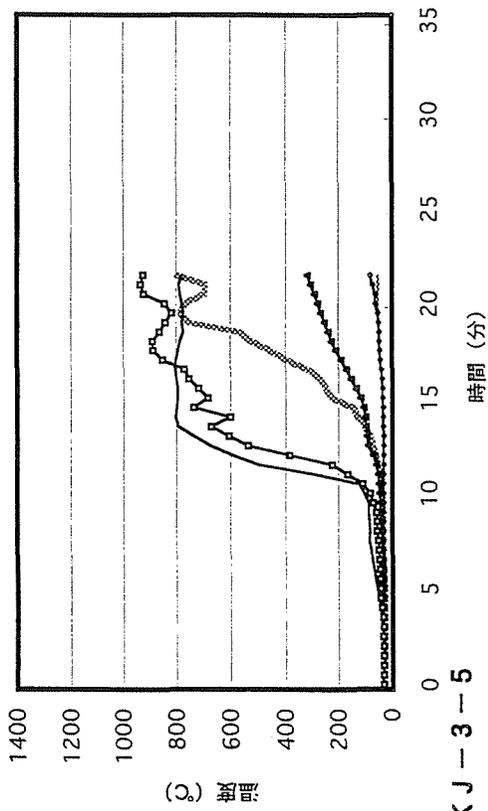
KJ-3-1



KJ-3-3

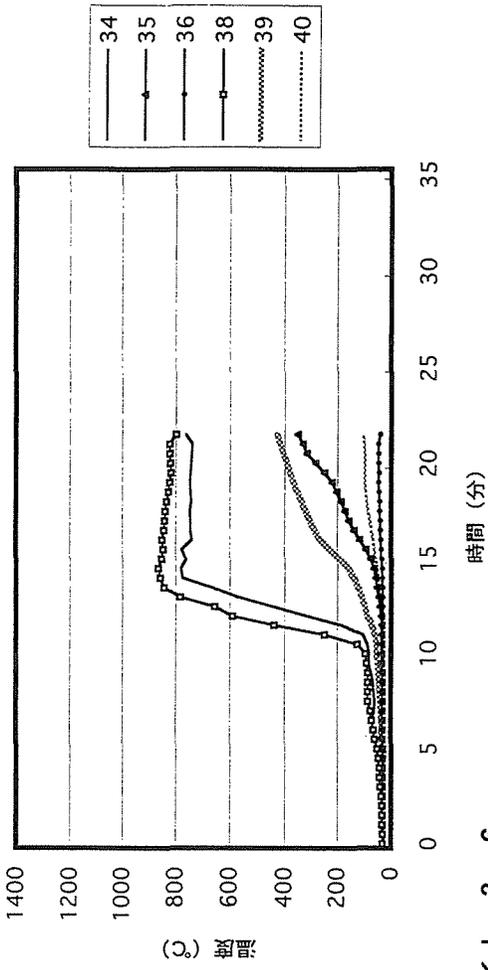
図5-21 温度の時系列変化 (KJ-3:裏返し塗り無し土壁+板張り 真壁)

土壁温度時系列変化 (左下部)



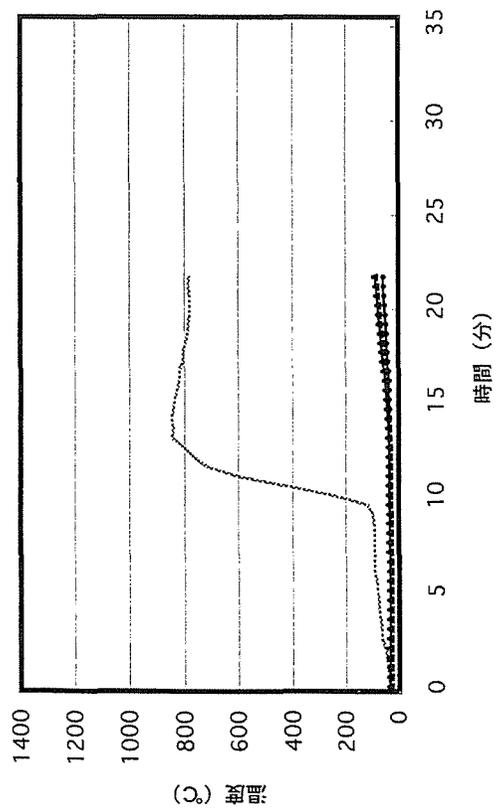
KJ-3-5

土壁温度時系列変化 (右下部)



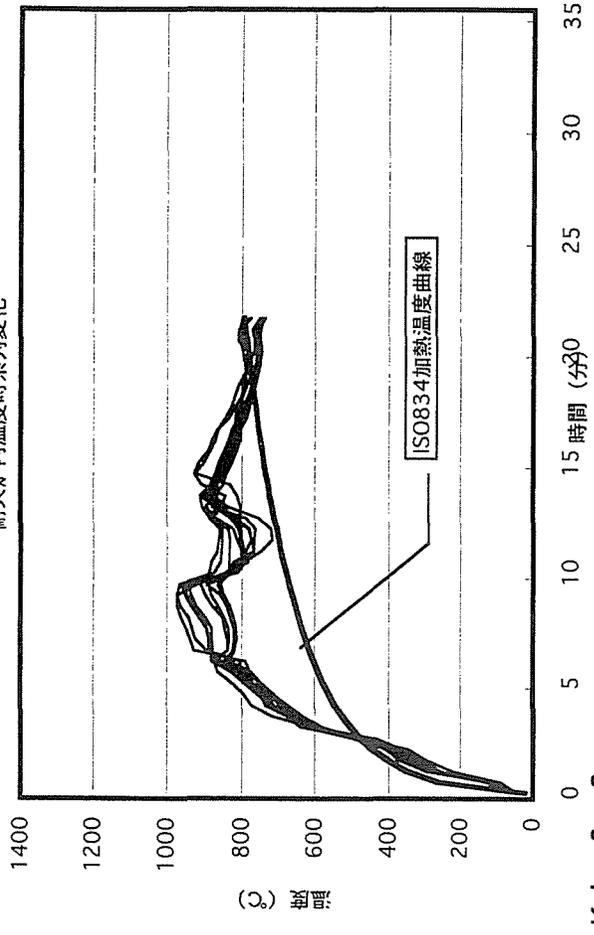
KJ-3-6

土壁温度時系列変化 (中央部)



KJ-3-7

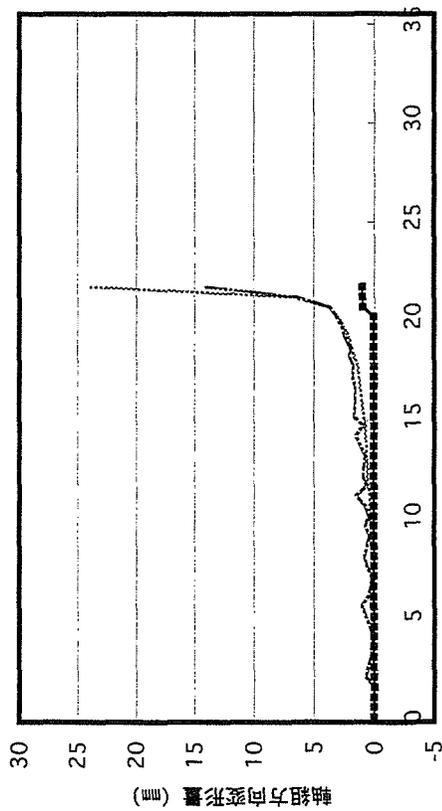
耐火炉内温度時系列変化



KJ-3-8

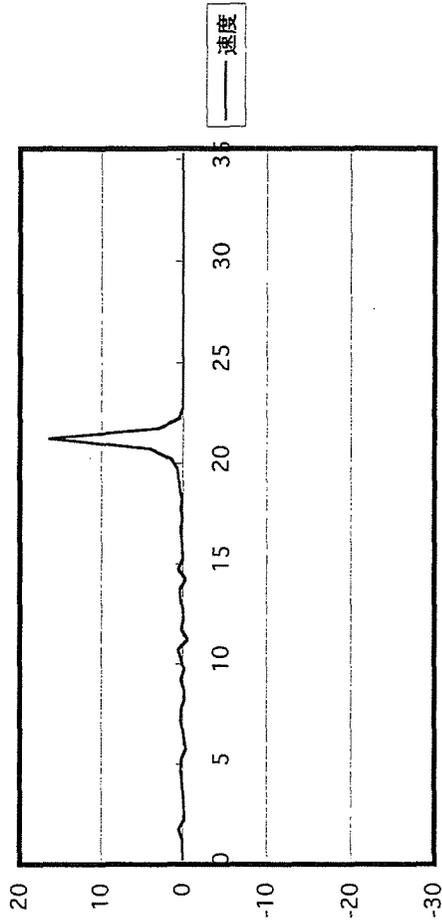
図5-22 温度の時系列変化 (KJ-3 : 裏返し塗り無し土壁+板張り 真壁)

軸組方向変形量



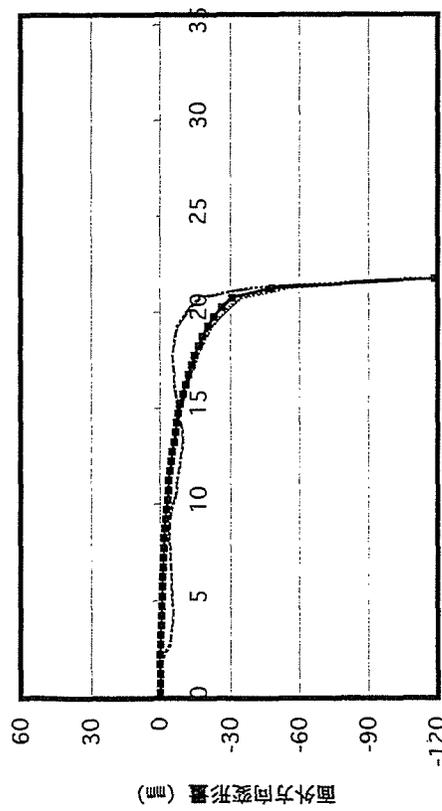
KJ-3-9

軸方向変形速度



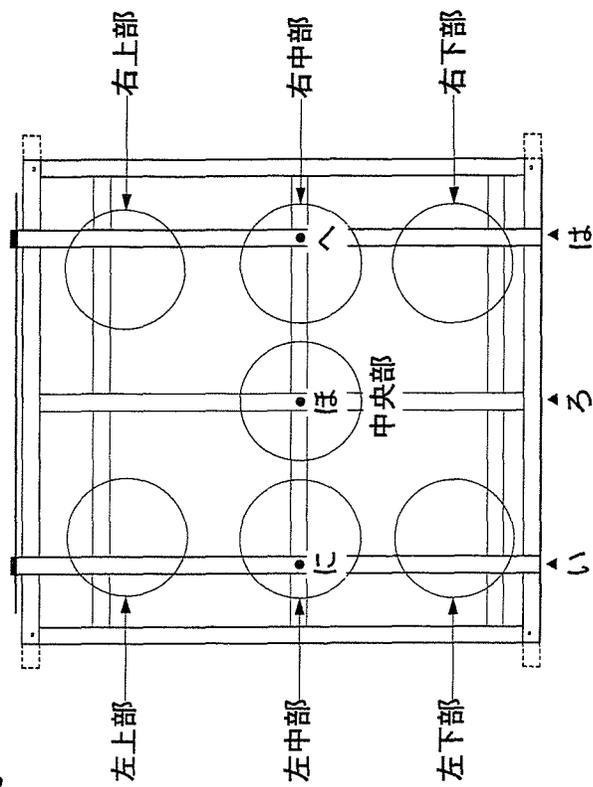
KJ-3-10

面外方向変形量



KJ-3-11

時間 (分)

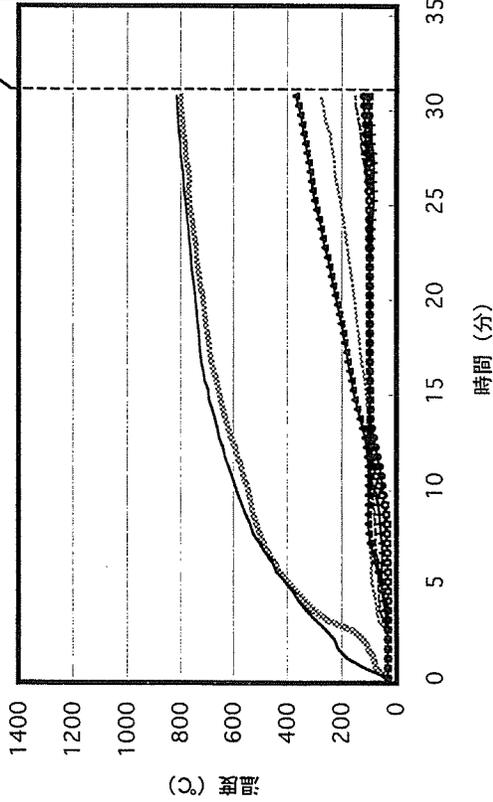


土壁測定位置 (非加熱面側)

図5-23 軸組の変形量 (KJ-3 : 裏返し塗り無し土壁+板張り 真壁)

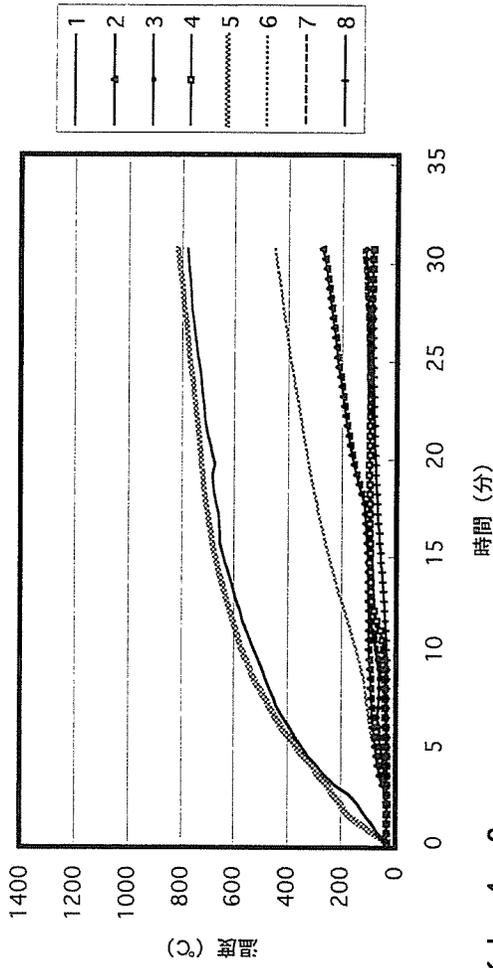
土壁温度時系列変化 (左上部)

加熱終了
30分45秒



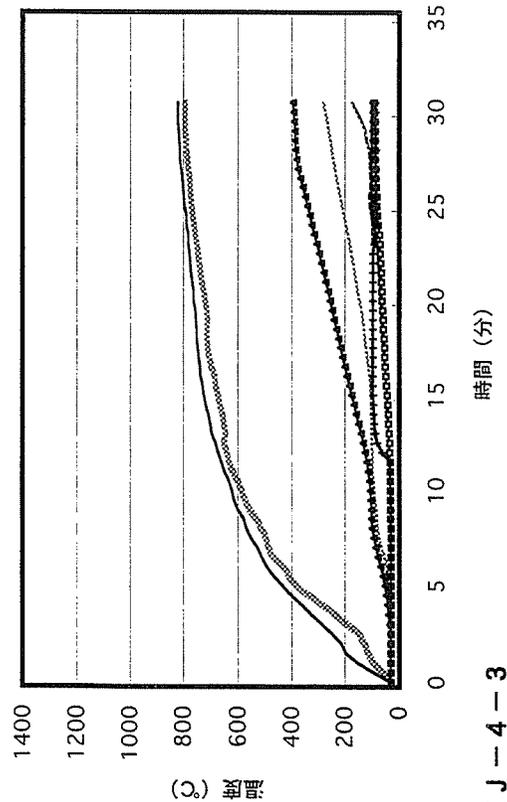
KJ-4-1

土壁温度時系列変化 (右上部)



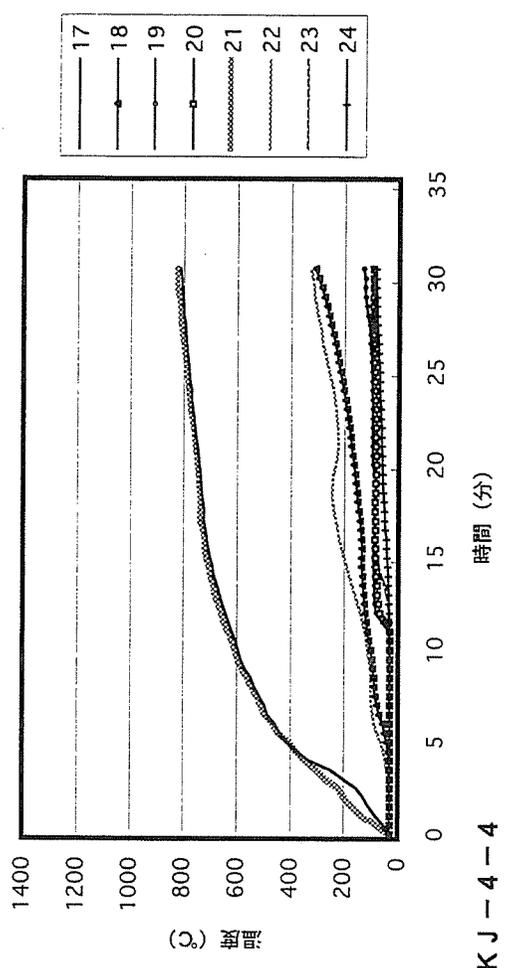
KJ-4-2

土壁温度時系列変化 (左中部)



KJ-4-3

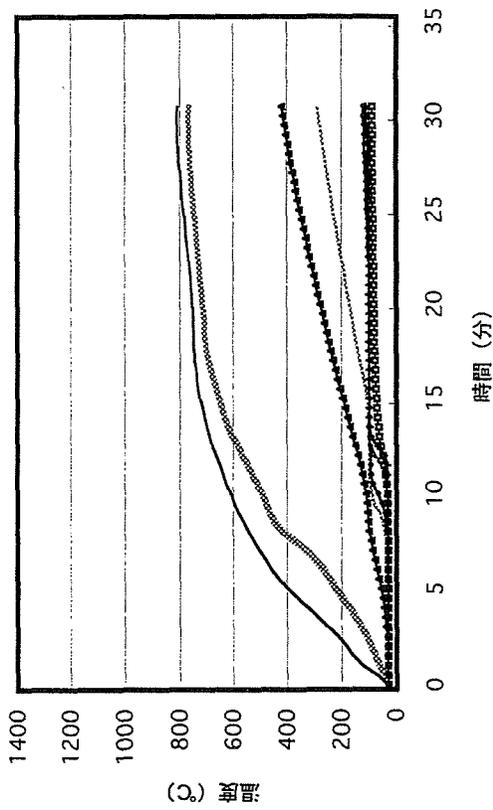
土壁温度時系列変化 (右中部)



KJ-4-4

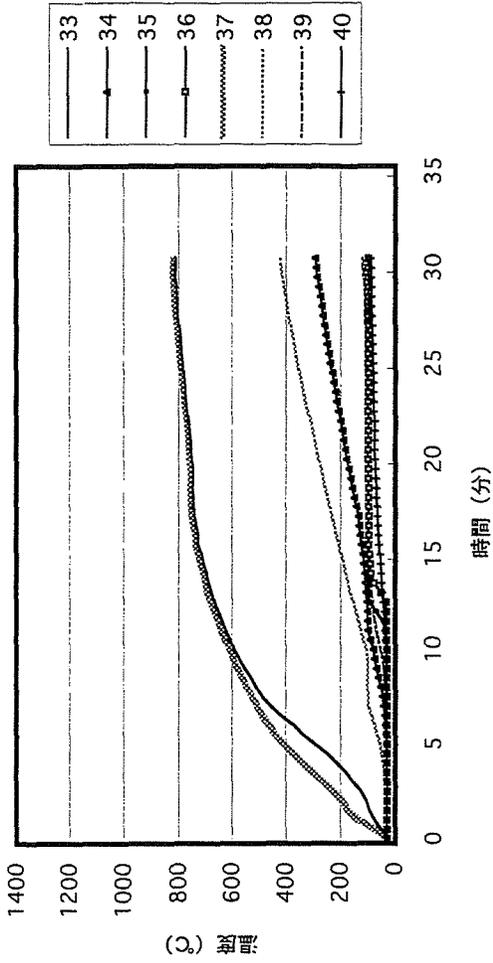
図5-24 温度の時系列変化 (KJ-4:裏返し塗り有り土壁)

土壁温度時系列変化 (左下部)



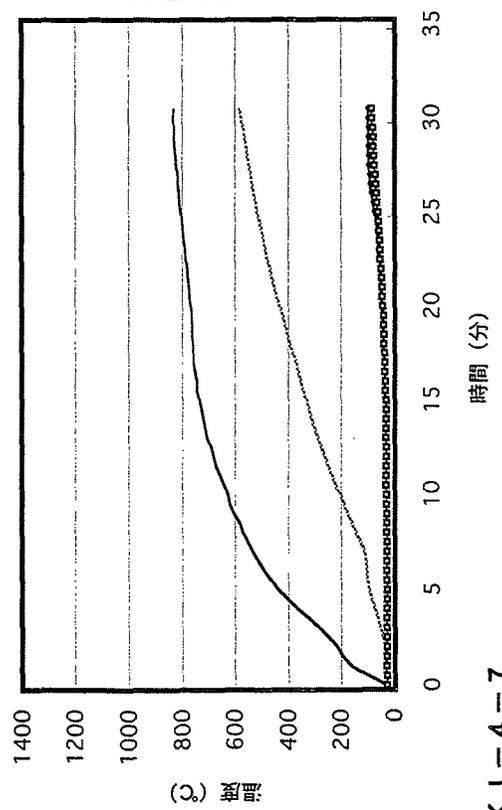
KJ-4-5

土壁温度時系列変化 (右下部)



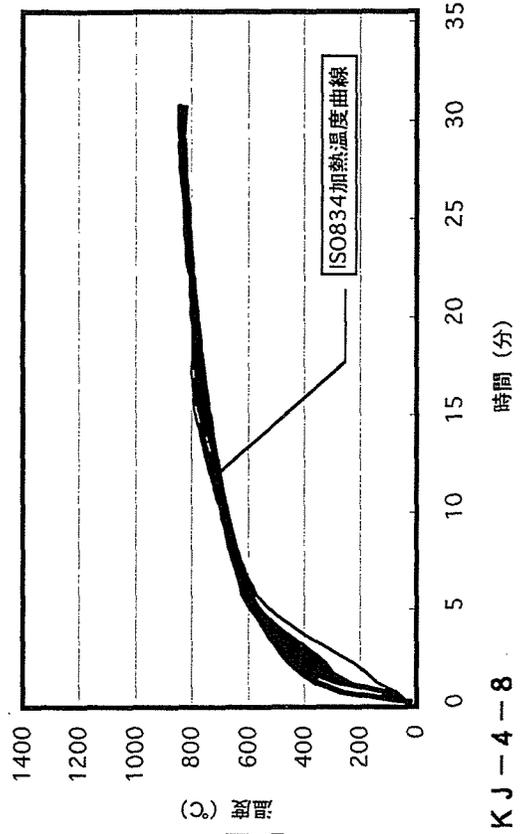
KJ-4-6

土壁温度時系列変化 (中央部)



KJ-4-7

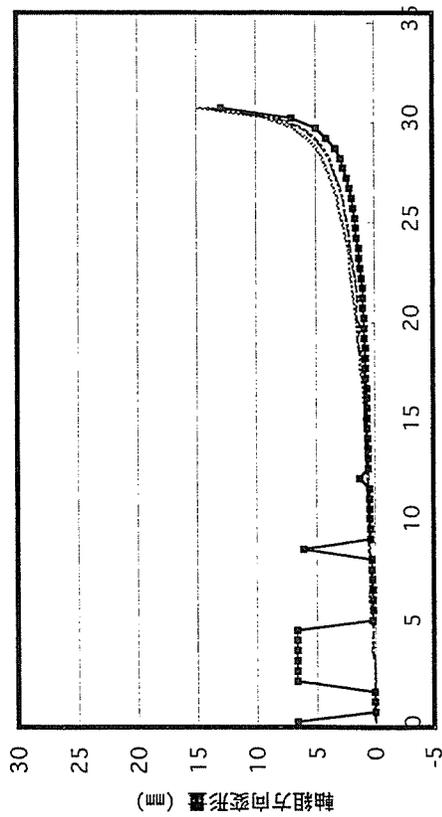
土壁温度時系列変化



KJ-4-8

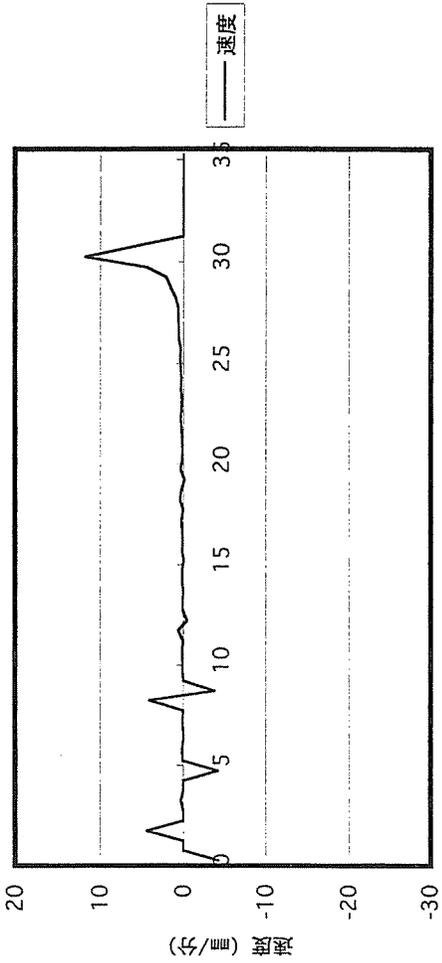
図5-25 温度の時系列変化 (KJ-4:裏返し塗り有り土壁)

軸組方向変形量



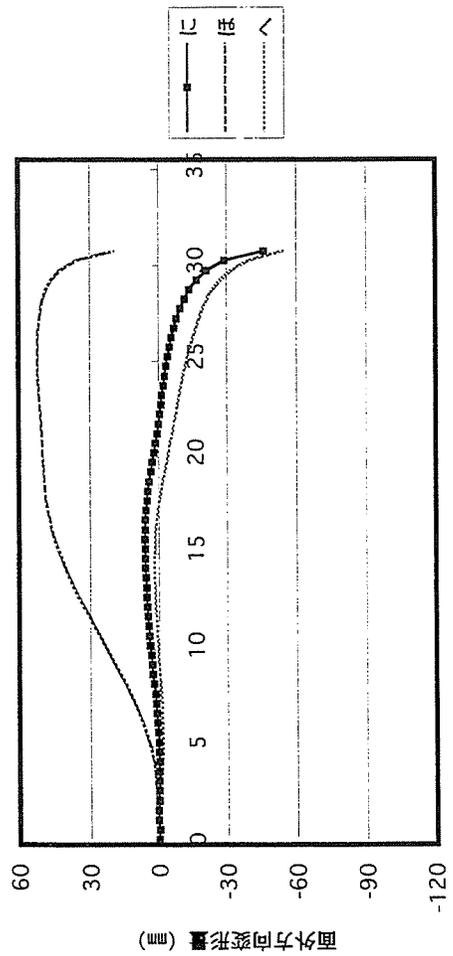
KJ-4-9

軸方向変形速度



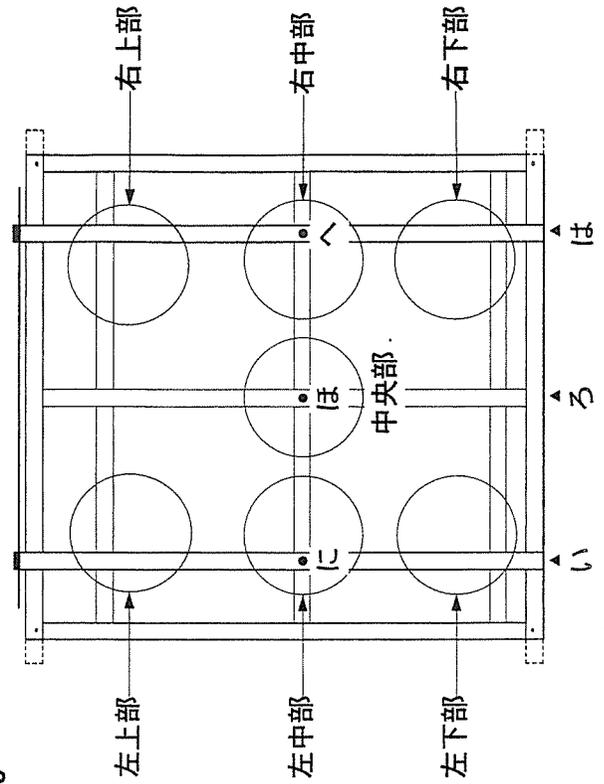
KJ-4-10

面外方向変形量



KJ-4-11

時間 (分)

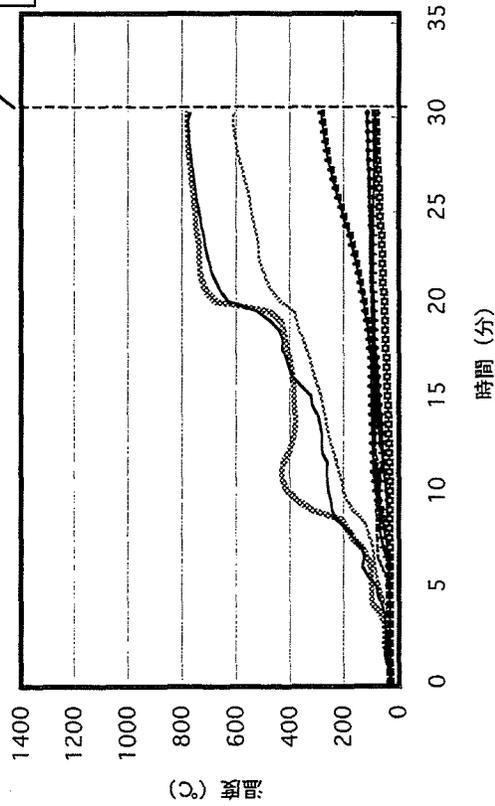


土壁測定位置 (非加熱側)

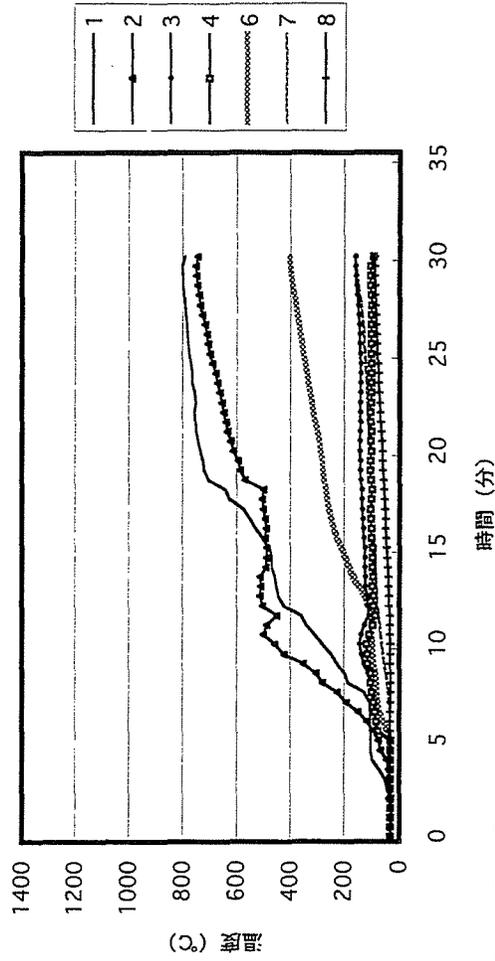
(目) 断面変形図

図5-26 軸組の変形量 (KJ-4:裏返し塗り有り土壁)

土壁温度時系列変化 (左上部)



土壁温度時系列変化 (右上部)

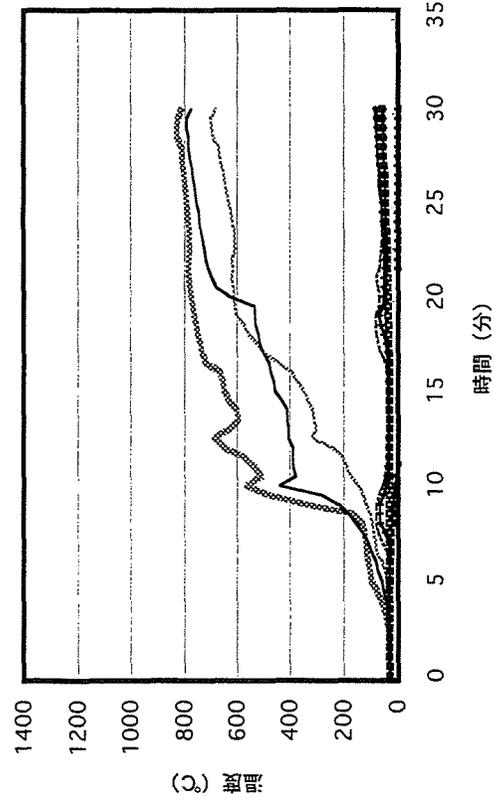


加熱終了
30分15秒

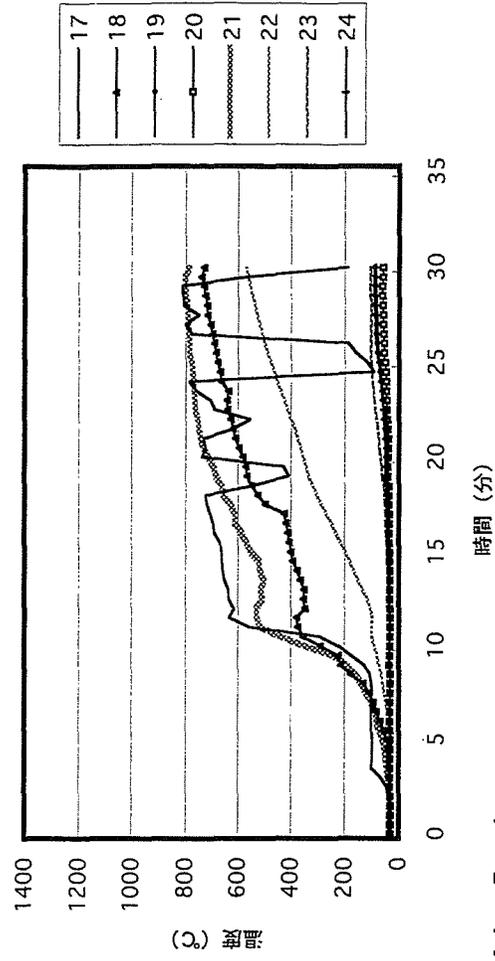
- 9
- 10
- 11
- 12
- 13
- 14
- 15
- 16

KJ-5-1

土壁温度時系列変化 (左中部)



土壁温度時系列変化 (右中部)



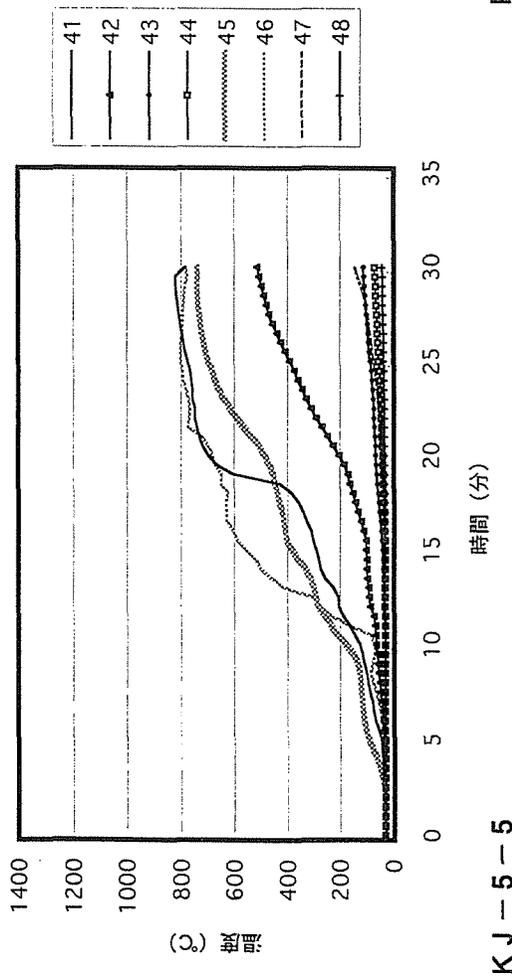
- 17
- 18
- 19
- 20
- 21
- 22
- 23
- 24

KJ-5-3

KJ-5-4

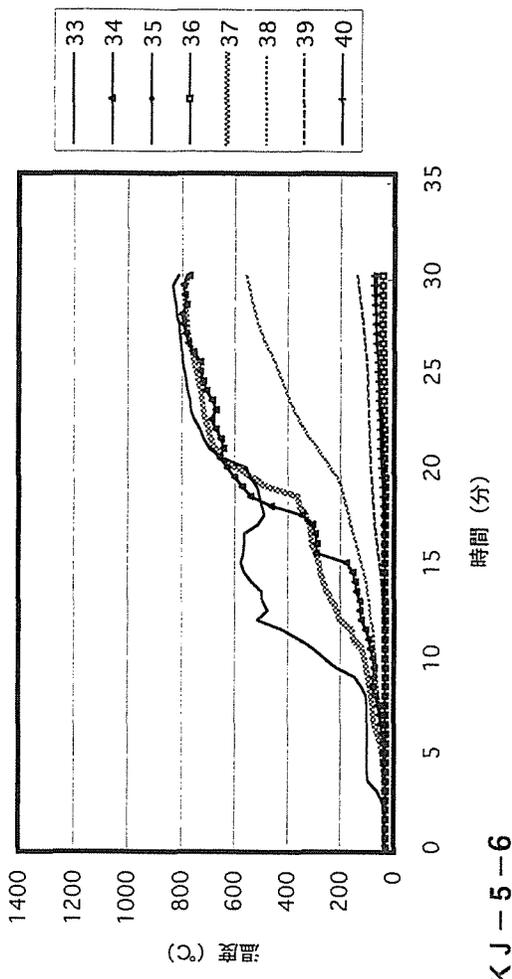
図5-27 温度の時系列変化 (KJ-5 : 裏返し塗り有り土壁+板張り)

土壁温度時系列変化 (左下部)



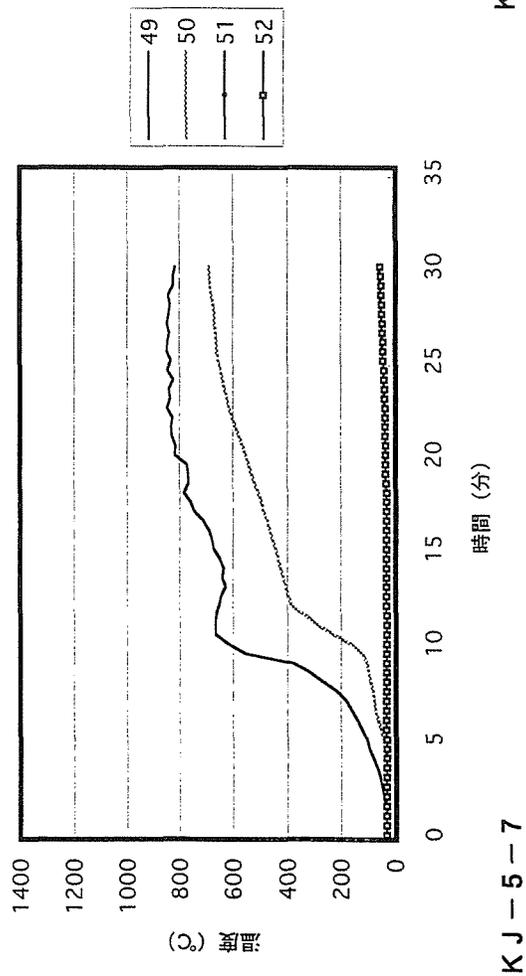
KJ-5-5

土壁温度時系列変化 (右下部)



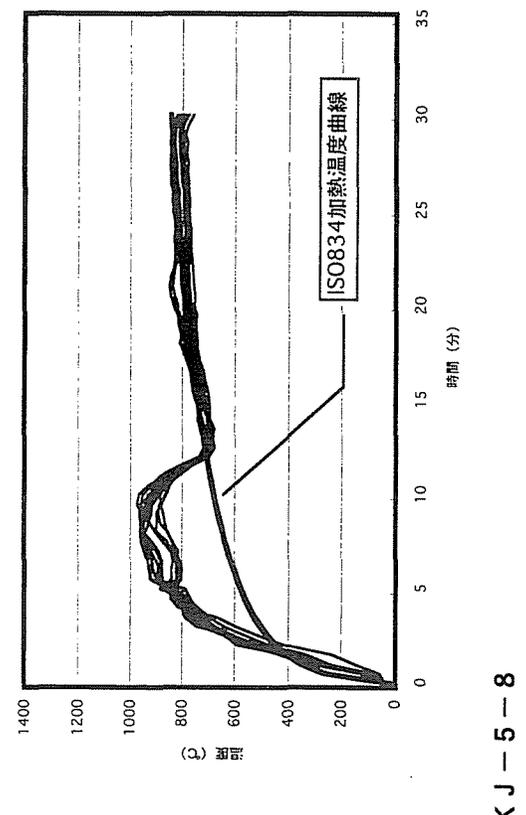
KJ-5-6

土壁温度時系列変化 (中央部)



KJ-5-7

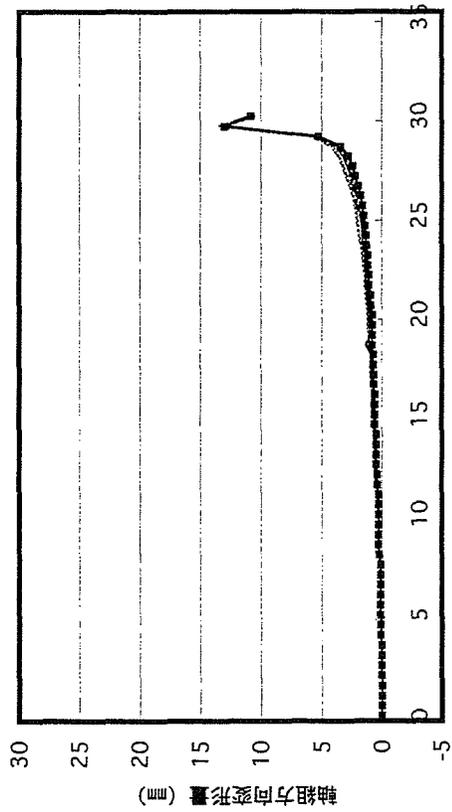
耐火炉内温度時系列変化



KJ-5-8

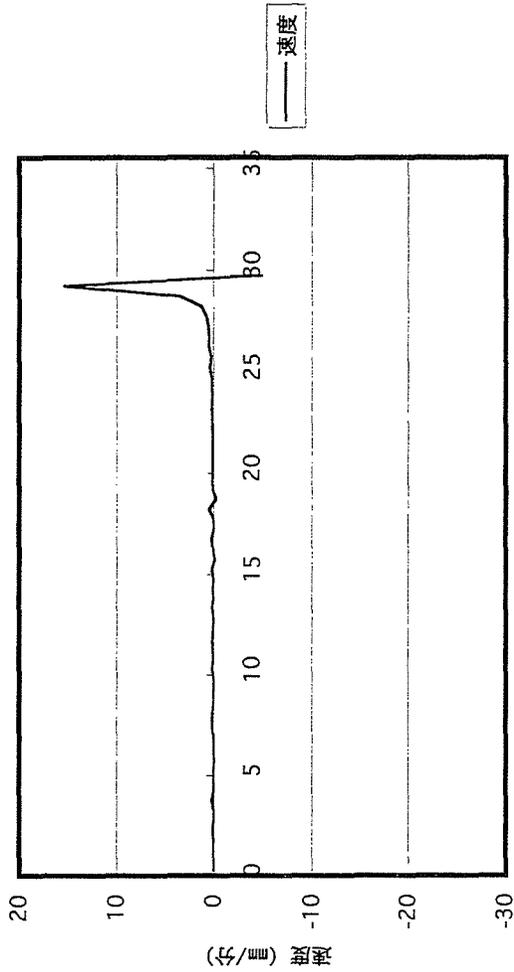
図5-28 温度の時系列変化 (KJ-5 : 裏返し塗り有り土壁+板張り)

軸組方向変形量



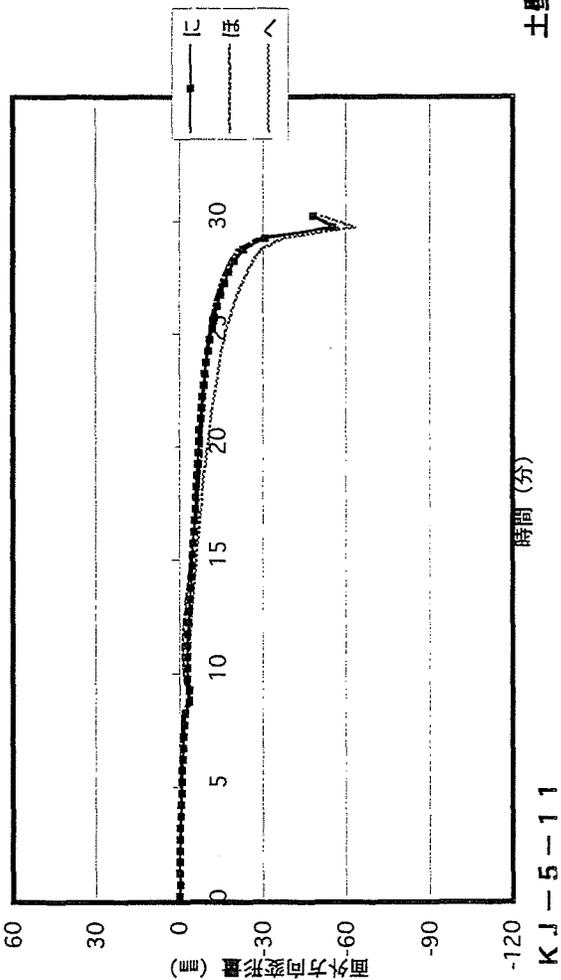
KJ-5-9

軸方向変形速度

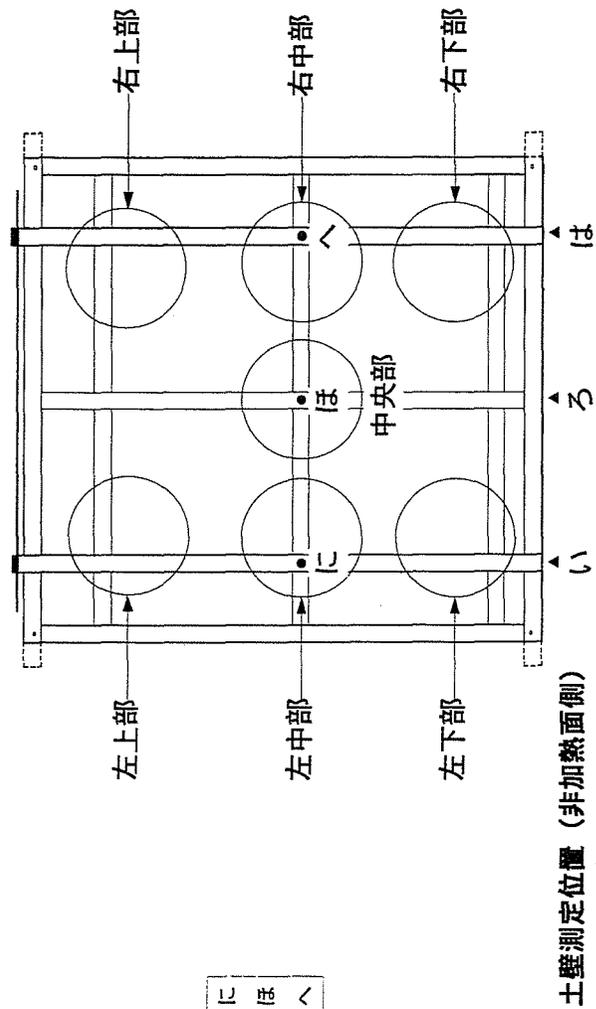


KJ-5-10

面外方向変形量



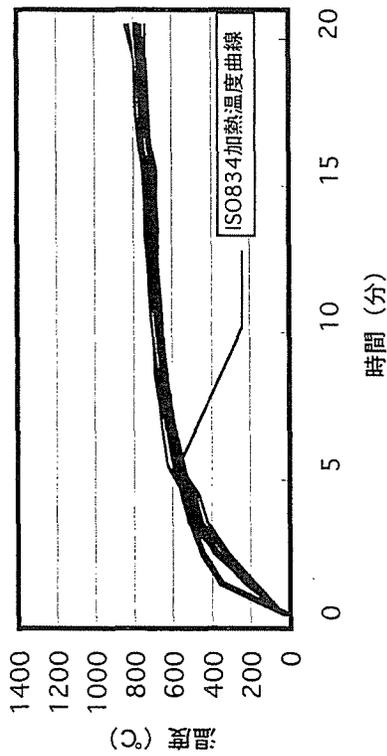
KJ-5-11



土壁測定位置 (非加熱側)

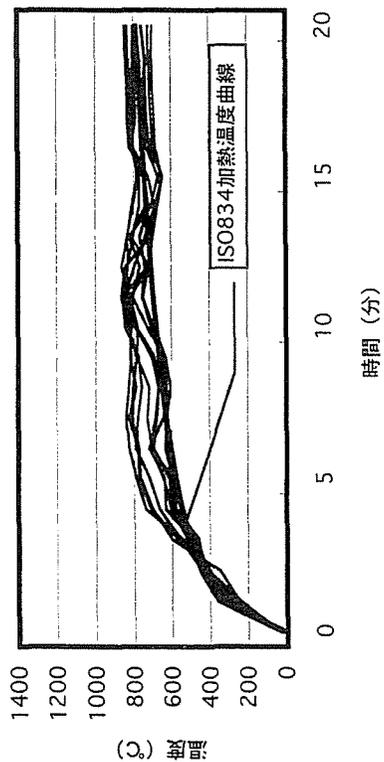
図5-29 軸組の変形量 (KJ-5 : 裏返し塗り有り土壁+板張り)

耐火炉内温度時系列変化



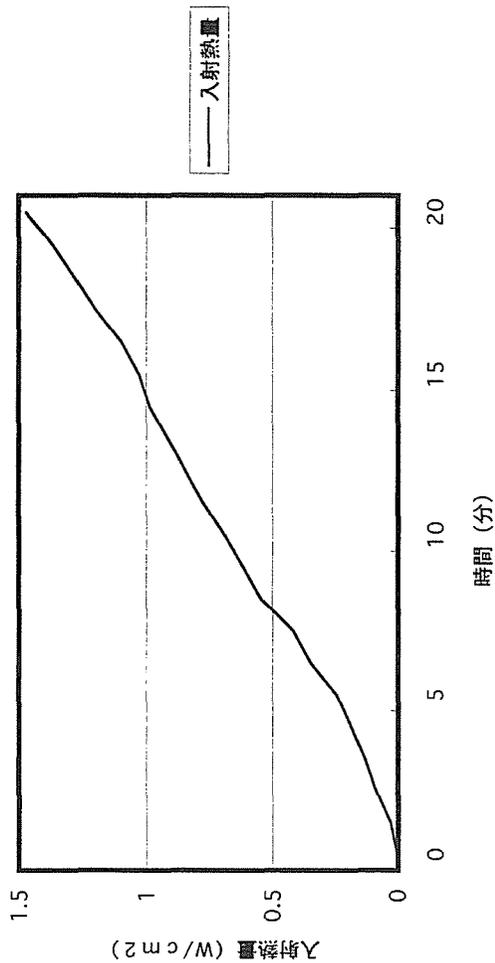
KJ-6-1

耐火炉内温度時系列変化



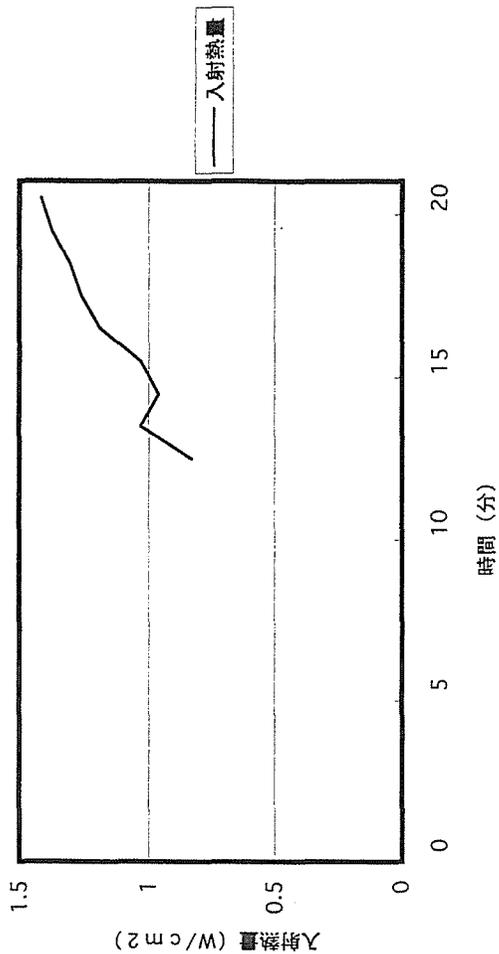
KJ-7-1

非加熱側 (裏面側) 入射熱量



KJ-6-2

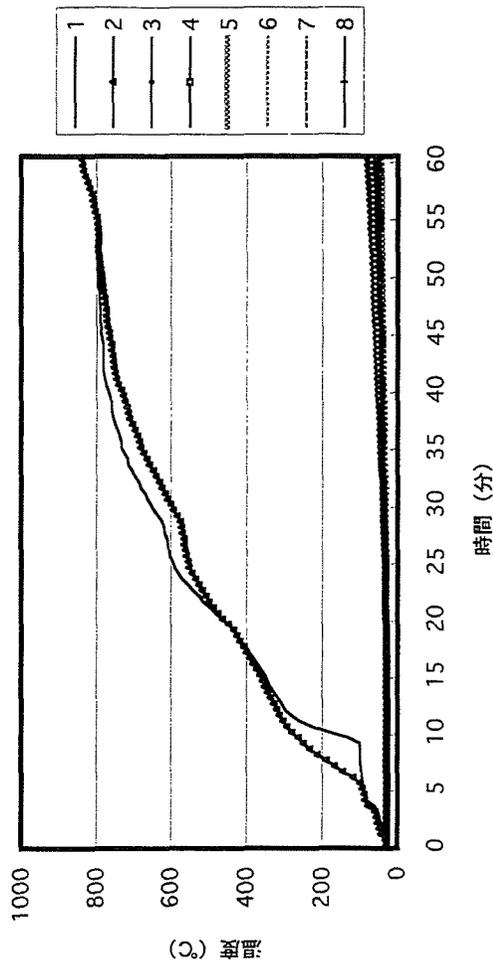
非加熱側 (裏面側) 入射熱量



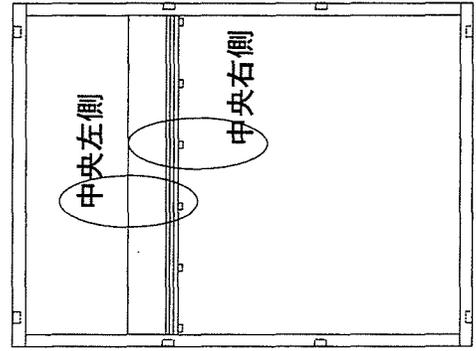
KJ-7-2

図5-30 温度の時系列変化 (KJ-6 : アルミ防火戸、KJ-7 : 木製格子付きアルミ防火戸)

軒裏温度時系列変化 (中央右側)

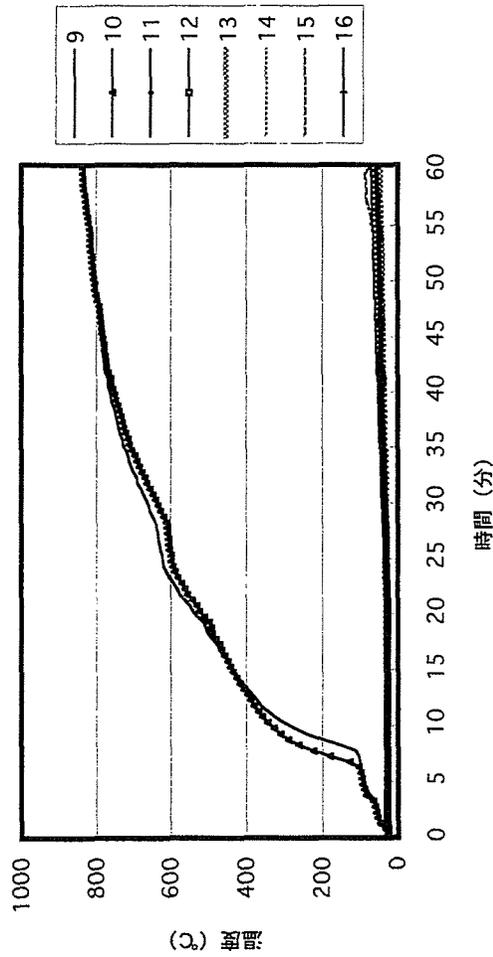


KJ-8-2



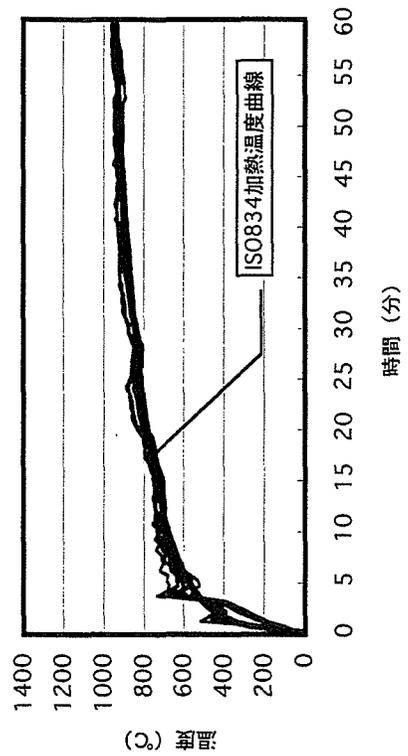
軒裏測定位置 (非加熱面側)

軒裏温度時系列変化 (中央左側)



KJ-8-1

耐火炉内温度時系列変化



KJ-8-3

図5-31 温度の時系列変化 (KJ-8 : 木造化粧軒裏)

表5-6 KJ-1観察記録

表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
表面が炭化し始める	02:00	試験体周囲から大量の水蒸気発生する
	04:00	桁下から大量の煙発生する
	04:40	柱チリ際上半分から煙発生
杉板に着火する	06:20	柱下部チリ際から煙り発生
	06:50	柱B,Cの桁隙から大量の煙発生する
	08:00	柱チリ際全体から煙噴出する
杉板一部落下する	08:55	
杉板の燃焼が激しくなり、炉内に炎が充滿する	09:45	柱上部チリ際焦げる
炎の勢いやや低下/板の破片が落ちている	12:00	煙量やや減少する
炭化した杉板が落下する	14:00	再び煙量増加する
炎の勢いやや低下する/杉板落ちつづけ、中の小舞が現れる	15:00	
ほとんどの杉板が焼け落ち小舞むきだしになる	19:00	煙が黄土色に変色する
/柱、縦貫のみ燃える	20:45	柱B,Cが曲がり、壁中央部が盛り上がってくる
	23:00	壁5, 6, 9, 10が黒ずみ、小舞の跡が浮かび上がる
縦貫が上半分焼け落ち、柱下部のみ燃え続ける	25:00	縦貫中央付近がへこむ
	25:20	柱Cチリ際中央から火の粉がでる
	26:00	柱B,Cチリ際の隙間大きくなり、中が見える
	30:00	壁のへこみ、柱B,Cの変形明らかとなる
	30:30	柱Bのチリ際燃えぬける
柱チリ際盛んに燃える	31:00	
試験終了	31:55	試験終了
	33:40	放水
放水	40:45	

表5-7 KJ-2観察記録

表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
柱B下部付近に着火する	02:50	
	03:00	桁下から水蒸気発生する
壁4付近に着火する	03:05	
柱B下部の燃え止まる	03:15	
柱Dに着火する	03:50	
壁11, 12, 15, 16付近に着火する	04:00	水蒸気の発生一時止まる
壁3, 4付近に着火する	04:10	
柱Aに着火する	04:20	
壁7, 8, 11, 12付近の燃え止まる	06:15	桁下から水蒸気が大量発生する
/柱B, Cに着火する		/柱上部チリ際からも水蒸気発生する
炎の勢いやや低下する	06:40	水蒸気が桁下、柱上部チリ際全体から発生する
壁全体再び燃え始め、小舞の一部落下する	07:00	
火の粉があがり始める	08:20	
柱と縦貫が燃え、それ以外の燃え止まる	09:30	
	10:00	桁下の壁がへこみ、桁下と壁の間に隙間があく
火の勢いやや低下する	12:00	水蒸気が柱上部チリ際から柱を包み込むように大量発生する
	17:30	桁と縦貫との接合部から一瞬火がでる
縦貫下部崩れ落ちる	21:00	柱A,Bの変形明らかになる
	22:10	柱B左側チリ際中間部から燃えぬける
試験終了	22:30	試験終了
放水	31:20	放水

KJ-1: 裏返し塗り無し/板張り(大壁)

KJ-2: 裏返し塗り無し

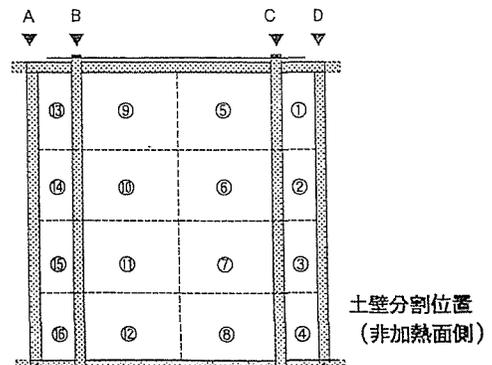


表5-8 KJ-3観察記録

表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
杉板に着火する	02:25	桁下から水蒸気一気に噴出す
杉板の燃焼一時止まる	02:50	
炉内に炎が充満する (観察困難)	04:00	桁下、柱上部チリ際から黄土色の煙が激しく発生する
表面杉板全体が燃えている	06:00	
	06:30	煙がさらに激しく発生する
壁9, 10辺りから杉板の小片落下し、以後続々と焼け落ちる	09:40	一瞬2度ほど柱チリ際全体から煙が噴き上げる
	10:50	煙の勢い低下する
炉内に再び炎が充満する (観察困難)	11:40	
ほとんどの杉板が焼け落ちる	13:15	
／小舞、柱、貫が燃焼し、面全体から炎が出ている		
小舞はほとんど燃え尽き、柱、貫のみ燃えている	17:00	
	18:00	煙の勢いさらに低下する
	20:00	柱B,C曲がり始め、壁中央部もへこみ始める
	21:10	柱B,Cの横貫イ上がバキバキと音をたてて折れる
試験終了	21:45	試験終了
	22:45	放水
放水	30:10	

表5-9 KJ-4観察記録

表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
柱B炭化する	03:00	柱B,C上部チリ際から水蒸気発生
	04:00	柱B,C上半分チリ際から水蒸気激しく発生
柱C下部赤くなる	06:00	水蒸気量やや少なめになる
	08:30	水蒸気量は微量になる
柱C下部に着火する	09:40	
燃え一時止まる	10:00	
柱C,D下部再び燃え始める／柱Bは着実に炭化が進んでいる	11:00	柱B,C上半分チリ際焦げる
柱C,D下部が弱い炎で燃え続ける	13:00	土台上が所々黒ずむ
柱C,Dの下半分が燃える	14:30	
	15:00	壁5, 9の縦貫付近へこむ
	16:20	横貫口上にひび割が生じる
柱C,D激しく燃える／壁全体がふくらみ、縦貫の姿が浮かび上がる	17:00	
柱Cの一部が欠ける	19:00	横貫イの姿浮かび上がる
柱C全体が燃焼する	20:00	
柱B上半分から煙が発生し、時々炎も出る	22:00	ひび割れ大きくなる／チリ際、桁下、敷居上から煙発生する
	24:00	ひび割れからも煙発生
土台が燃える	24:30	全体的に煙の量増える
柱Dの一部が欠ける／炎の勢い増加する	28:00	
	29:00	横貫イ上にもひび割れが生じる／柱の歪み確認
試験終了	30:45	試験終了
放水	36:35	放水

KJ-3:裏返し塗り無し/板張り(裏壁)

KJ-4:裏返し塗り有り

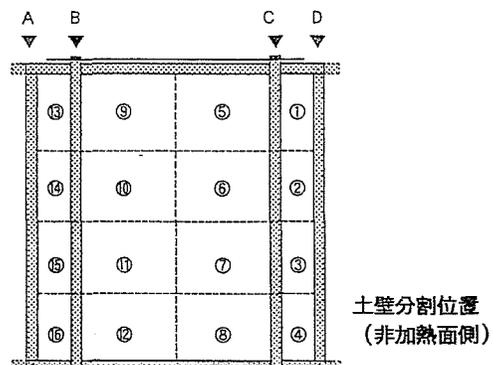


表5-10 KJ-5観察記録

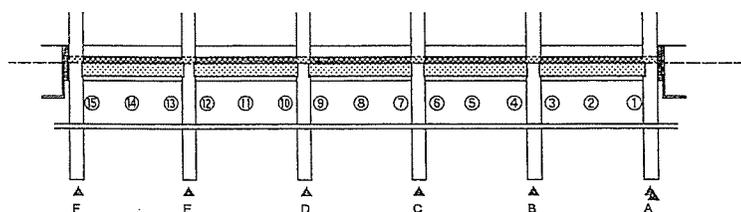
表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
杉板に着火する	01:40	桁上、柱の桁隙から一瞬水蒸気が噴き出る
	03:00	柱Bの桁隙から水蒸気発生する
炉内に炎が充満する (観察困難)	03:20	
	04:00	桁下、柱の桁隙から黄土色の煙発生する
杉板全体が燃焼する	04:50	
	05:30	柱B,Cチリ隙上半分から煙激しく噴き出る
炎の勢い強くなり、木片が落下する	08:00	
杉板が焼け落ち、柱燃え始める	08:50	柱B,C全体から煙噴き出る
	10:40	煙量は減少し、黄土色から白色に変わる
杉板が半分ほど焼け落ちる	13:00	
	14:00	柱の桁隙が焦げる
	18:00	煙量や増加する
横貫イ、ハ上の杉板のみ残る / 露出した土壁は黒ずんでいる	19:00	
ほとんどの杉板が焼け落ち、柱と縦貫のみが燃える	21:40	
	24:30	柱の曲がり明らかになる / チリ隙焦げる
貫の姿が浮かび上がる	26:30	
	28:40	柱C上部チリ隙より火の粉が一つ二つ上がる
横貫口からも少々火が出る	29:00	
	30:00	柱B,Cバキバキと音を立てて折れる / 横貫イ上にひびが入る
試験終了	30:15	試験終了
放水	36:00	放水

表5-11 KJ-8観察記録

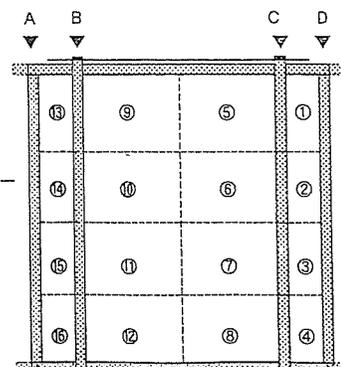
表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
垂木C,桁11辺りに着火する	03:05	
	03:10	桁下2付近から白煙が一時発生する
	05:25	桁の左から白煙が一時発生する
炎の勢い強くなる	05:40	
	08:00	垂木F下部から白煙が一時発生する
桁下5付近黒ずむ	09:40	桁下から白煙が発生する
全体の炭化進む / 垂木D,Eの付け根細くなる	20:00	
	25:00	野地板上8辺りから白煙が発生する
垂木根元3分の1ほど炭化する	30:00	
垂木B付け根付近落下する (残った垂木はケイカル板についている)	39:00	
垂木C一部落下する	42:00	
屋根5付近落下する	44:00	
桁11付近落下する	44:30	
野地板はほぼ落下し、ケイカル板が現れる	45:00	
屋根6付近落下する	47:00	
屋根8付近落下する	48:40	
屋根2付近落下する	49:40	
垂木C一部落下する	50:00	
	52:30	垂木D付け根辺りから白煙が少量発生する
垂木D一部落下する	53:00	
試験終了	60:00	試験終了
放水	65:00	放水

KJ-5: 裏返し塗り有り/板張り (大壁)

KJ-8: 木造化粧軒裏



軒裏分割位置 (非加熱面側)



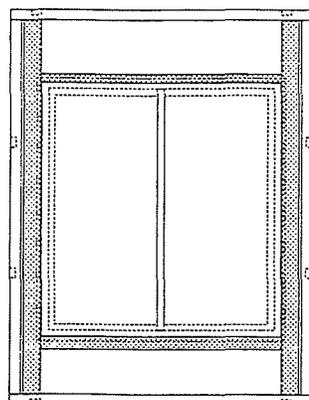
土壁分割位置 (非加熱面側)

表5-12 KJ-6 観察記録

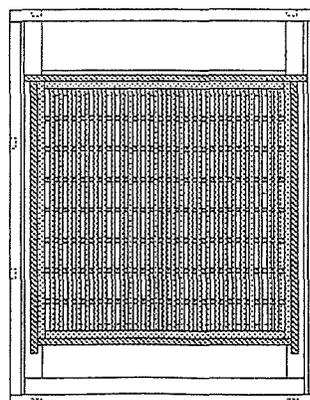
表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
ガラス面にひびが入る	02:00	ガラス面にひびが入る
柱、サッシ下部燃え始める	03:10	
サッシ上部燃え始める	04:30	
	06:40	サッシ上部から水蒸気が発生する
	06:50	サッシ両側から水蒸気が発生する
サッシ黒くなる	07:00	
	07:15	サッシ下部から水蒸気が発生し、茶色く変色する
	08:55	サッシ上部から火が出る
	09:40	サッシ上部の火が激しくなる
	11:30	サッシ全体がほぼ真っ黒になる
サッシ下部左側溶け始める	12:30	
サッシ下部左側大分溶ける	13:15	
	14:00	火の粉が飛び散る /サッシ上部と木枠の間に大きな隙間があき、サッシ垂れ下がる
	17:00	サッシ上部ほぼ全体燃えぬける
	17:40	鴨居一部落ちる
	19:10	サッシ左側から燃えぬける
	19:55	サッシ下部から燃えぬける
試験終了	20:00	試験終了
	22:10	放水
放水	25:55	

表5-13 KJ-7 観察記録

表面 (加熱面)	経過時間	裏面 (非加熱面)
試験開始	00:00	試験開始
ガラス面にひびが入る	01:35	ガラス面にひびが入る
格子に着火する	02:10	
	03:15	サッシ上部から水蒸気が発生する
格子右側燃え止まる	04:00	
格子右側再び燃え始める	05:00	
	06:50	サッシ上部から水蒸気が大量発生する
格子左側切れ始める	08:30	
格子の破片落ち始める	09:00	
格子左下倒れ落ちる	11:00	サッシ右側から水蒸気が大量発生する
格子左半分倒れ落ちる	12:00	
格子右半分倒れ落ちる	12:30	
/ほとんどの格子が落ち、残った木枠が激しく燃える		
	15:20	サッシ上部から燃えぬけ、やがて右側にも炎まわる
左側の縦枠が傾く	19:00	
試験終了	20:00	試験終了
	21:30	放水
放水	24:20	



開口部KJ-6
(アルミ防火戸)



開口部KJ-7
(アルミ防火戸木格子)

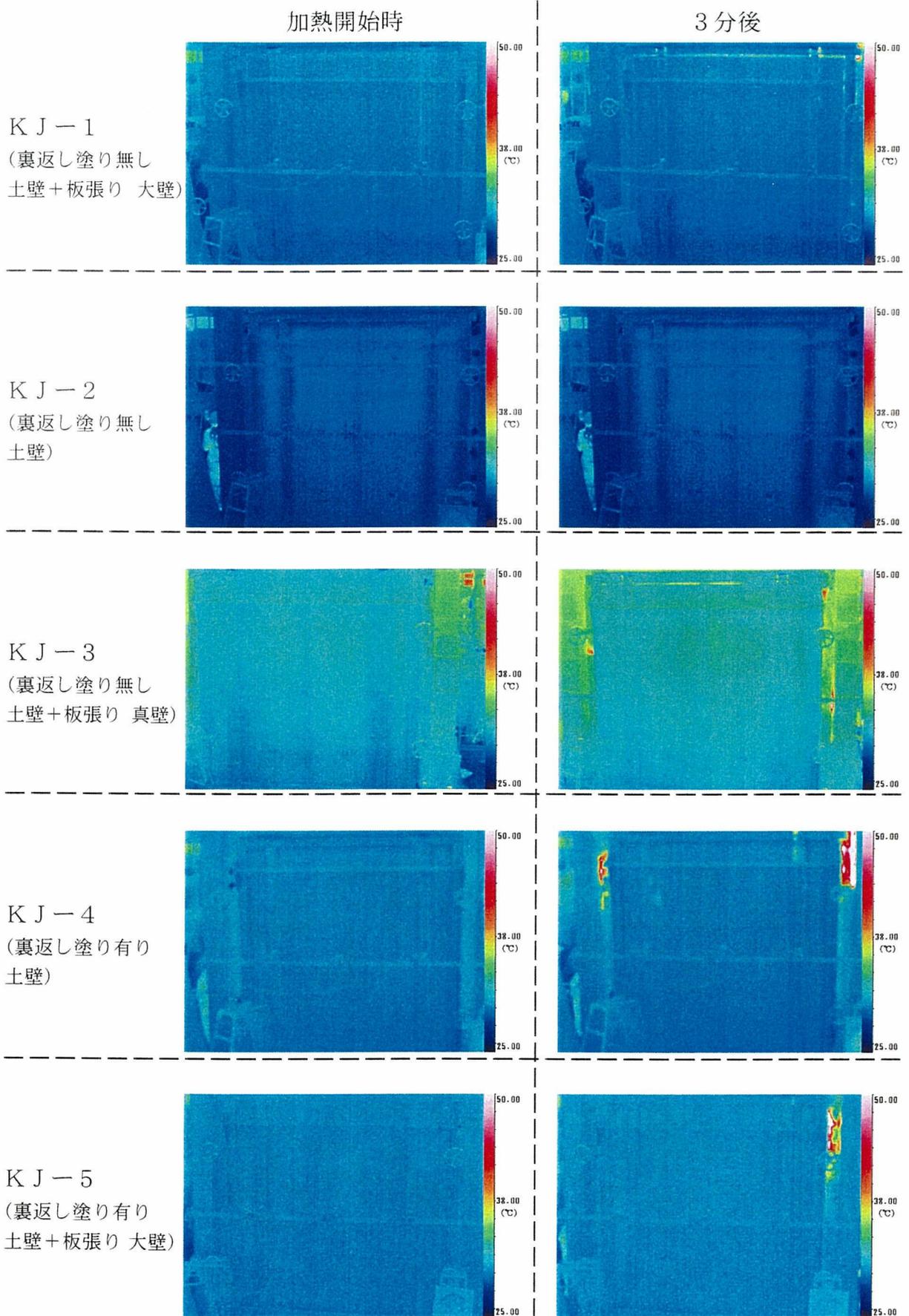


写真 5-3 土壁試験体非加熱面温度分布

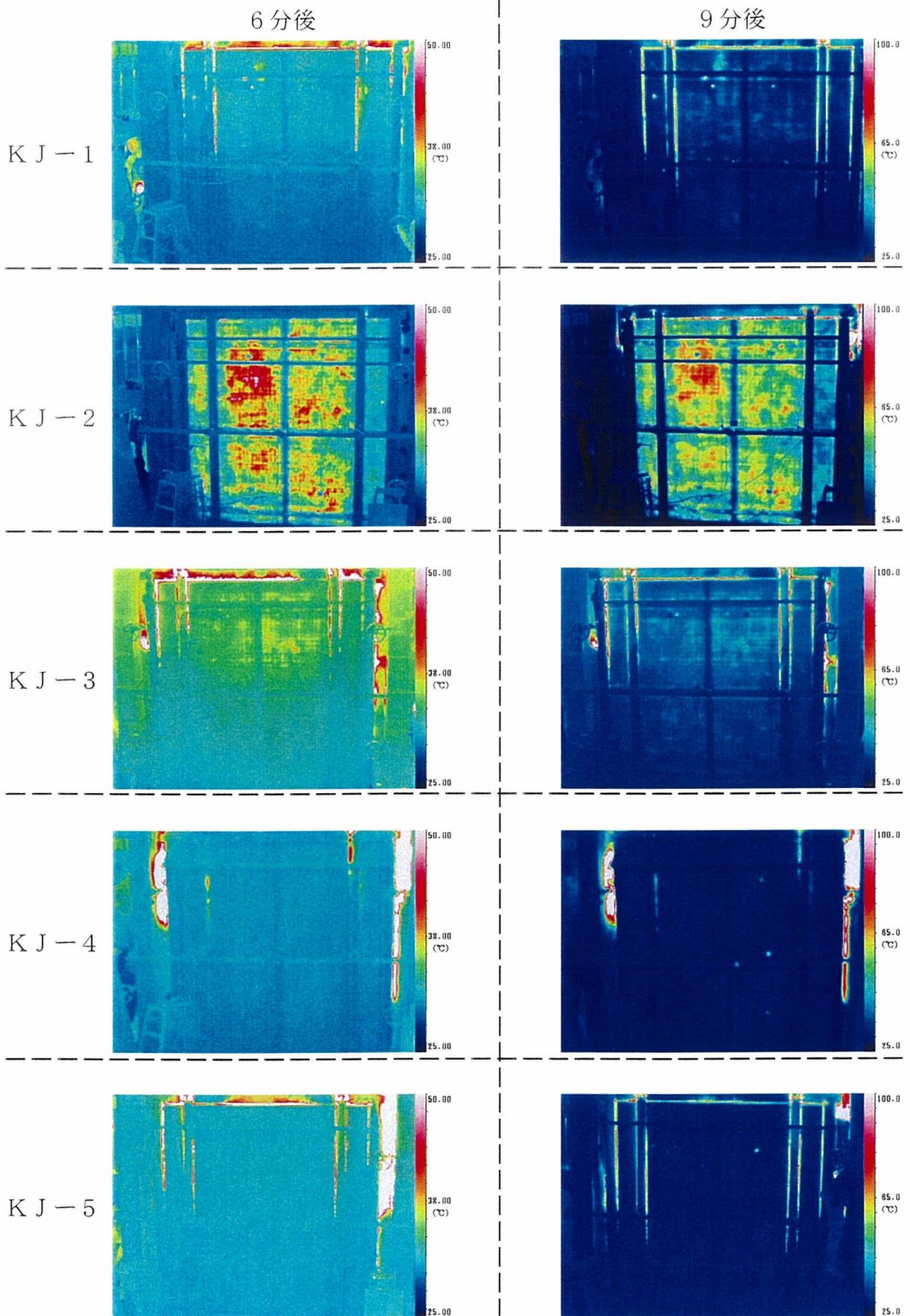


写真 5-4 土壁試験体非加熱面温度分布

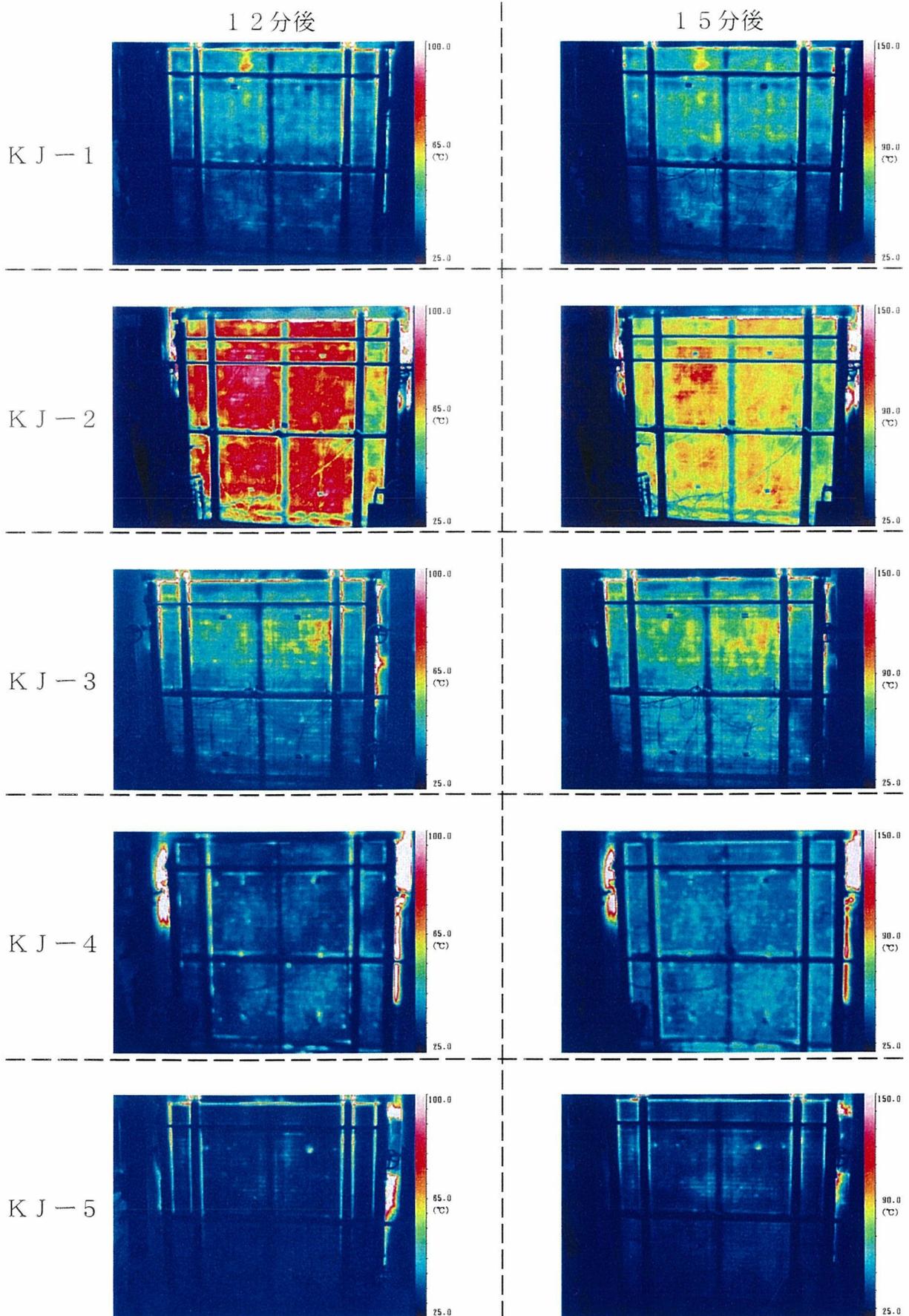


写真 5-5 土壁試験体非加熱面温度分布

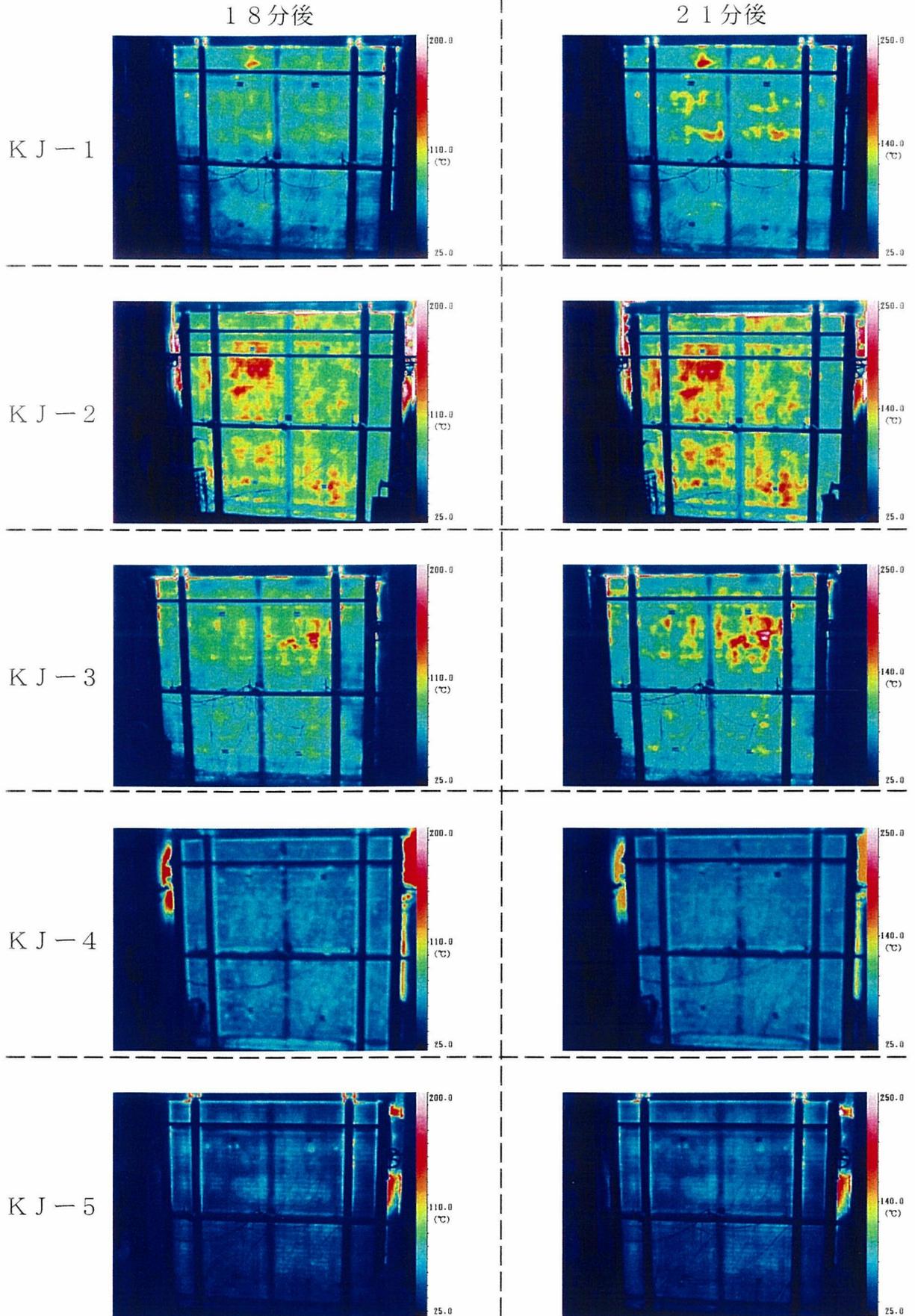


写真 5-6 土壁試験体非加熱面温度分布

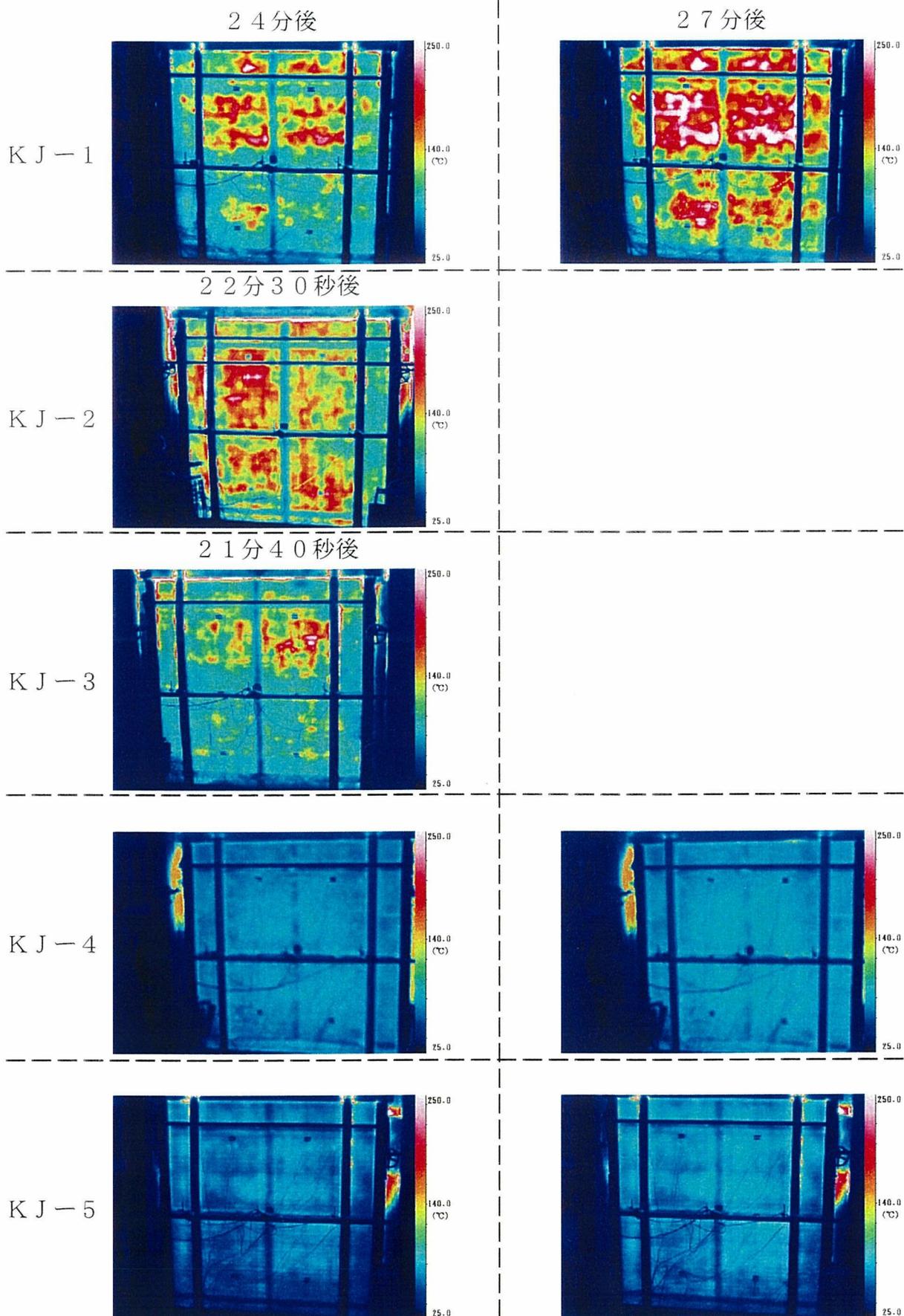


写真 5-7 土壁試験体非加熱面温度分布

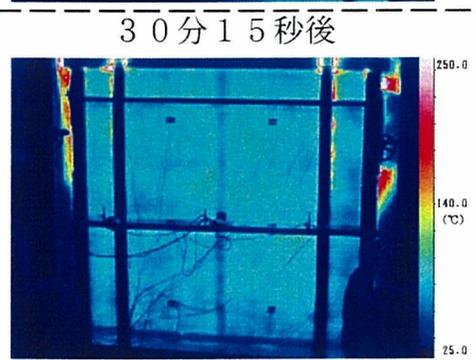
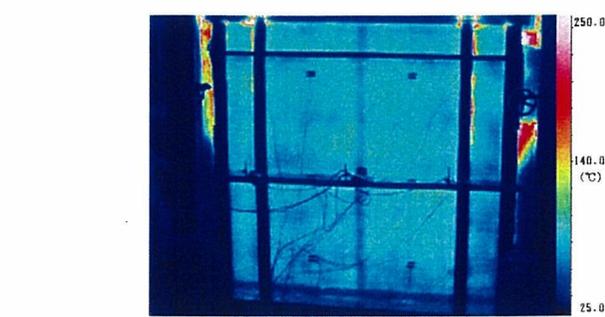
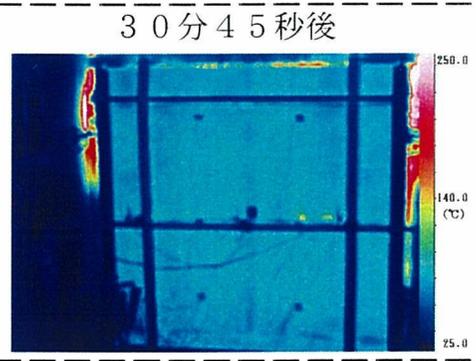
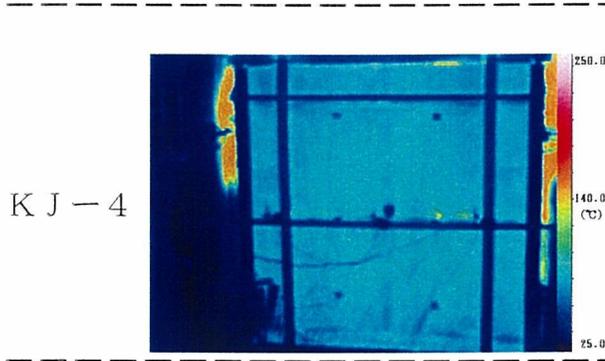
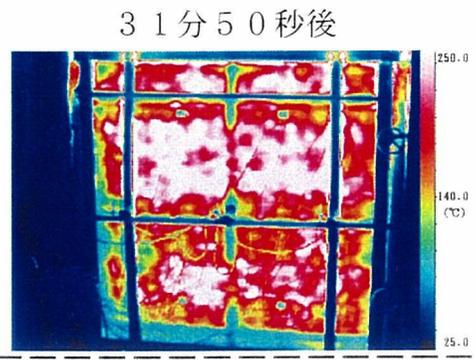
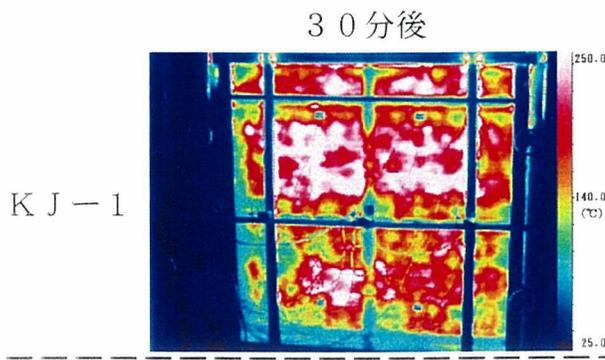


写真 5-8 土壁試験体非加熱面温度分布

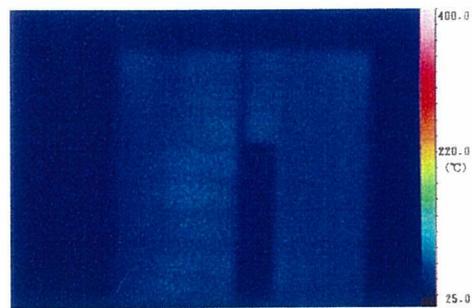
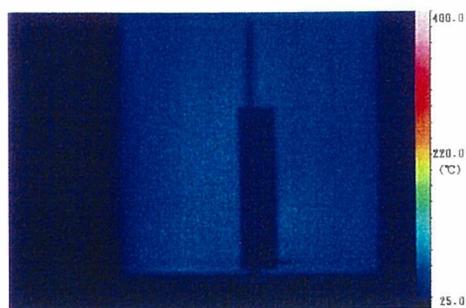
K J - 6 (アルミ防火戸)

K J - 7 (木製格子付きアルミ防火戸)

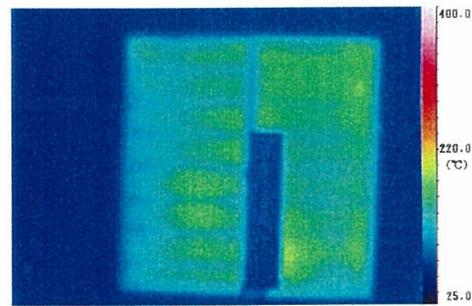
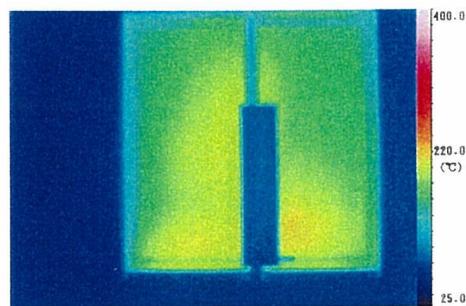
加熱
開始時



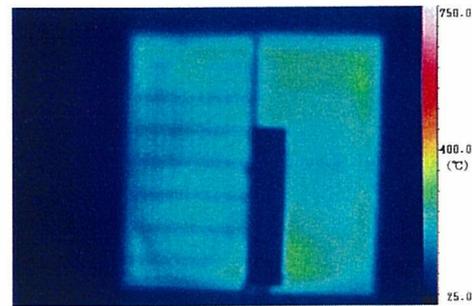
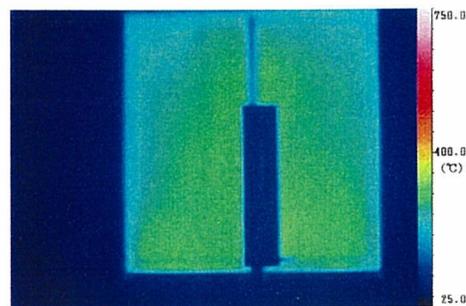
2分後



4分後



6分後



8分後

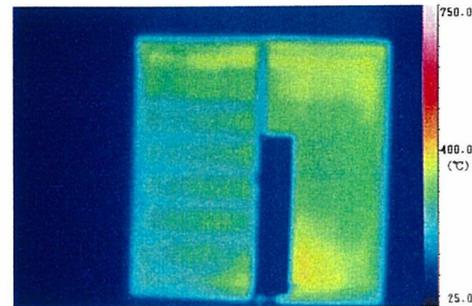
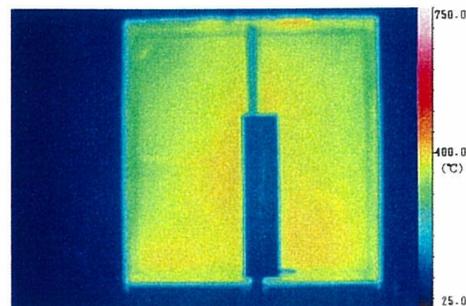


写真 5-9 開口部試験体非加熱面温度分布

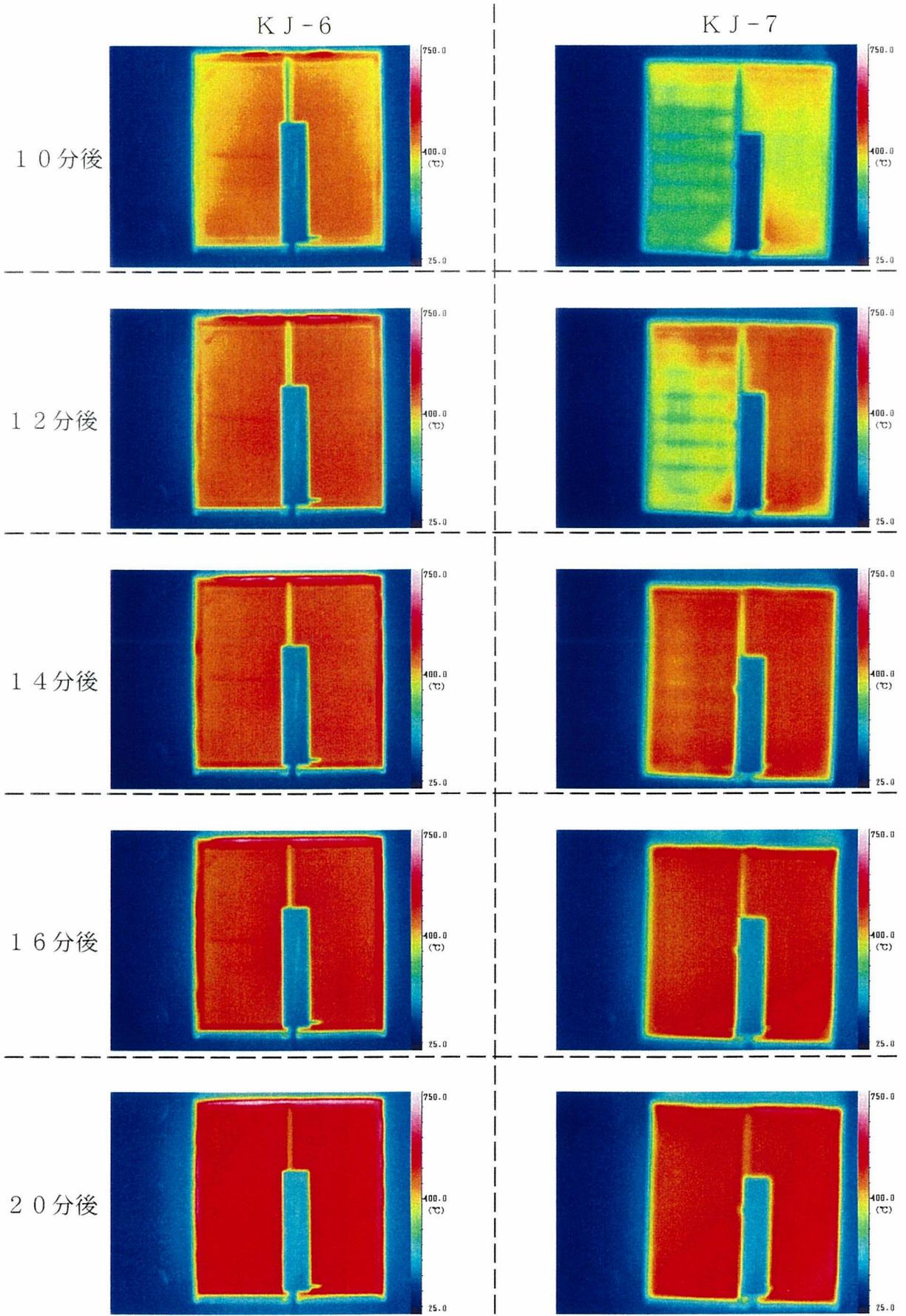
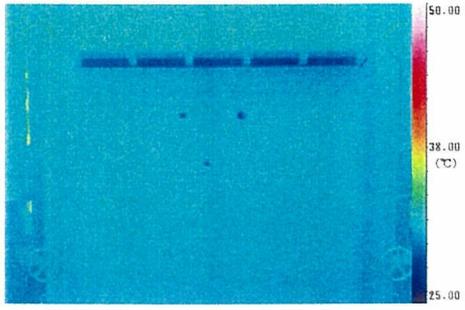


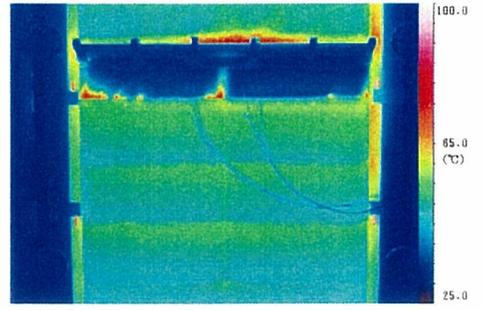
写真 5-10 開口部試験体非加熱面温度分布

K J - 8 (木造化粧軒裏)

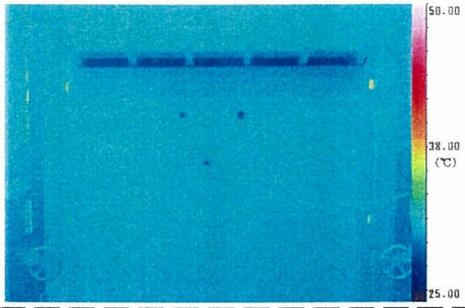
加熱
開始時



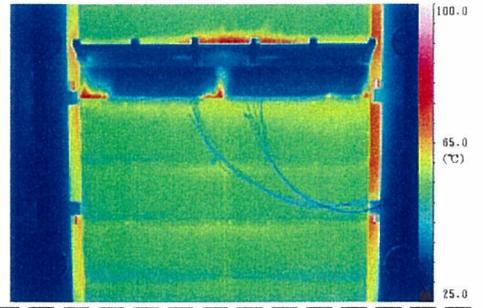
3 0 分後



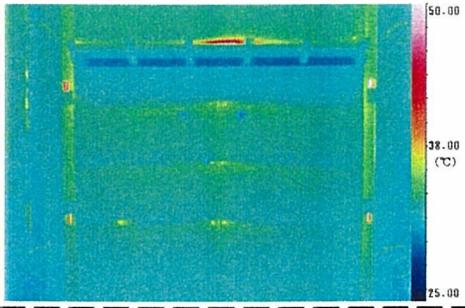
6 分後



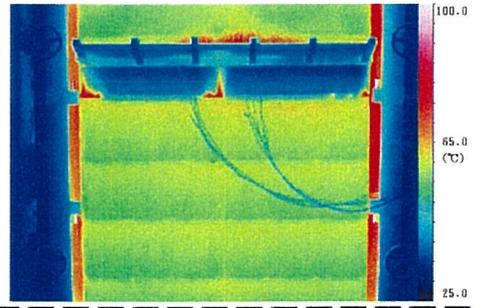
3 6 分後



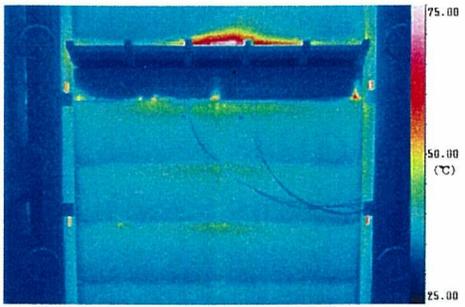
1 2 分後



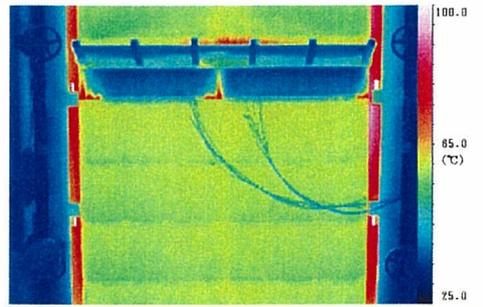
4 5 分後



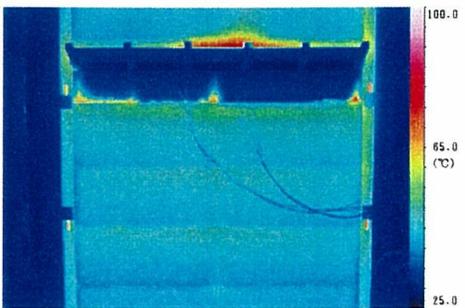
1 8 分後



5 4 分後



2 4 分後



6 0 分後

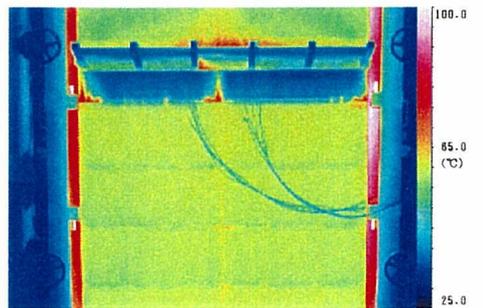
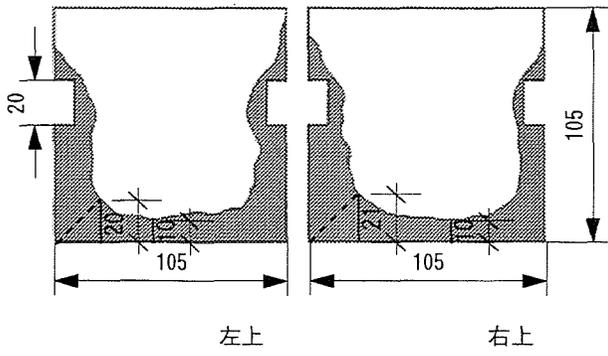
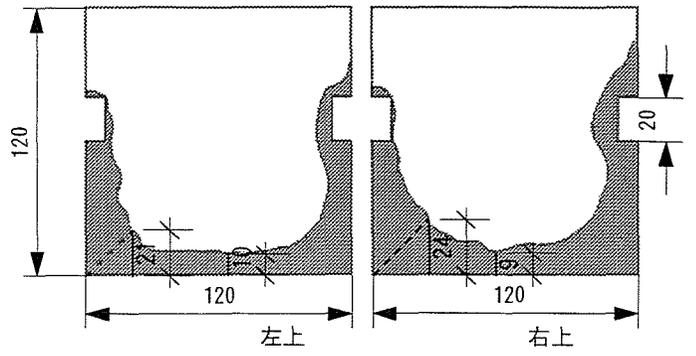


写真5-11 軒裏試験体非加熱面温度分布



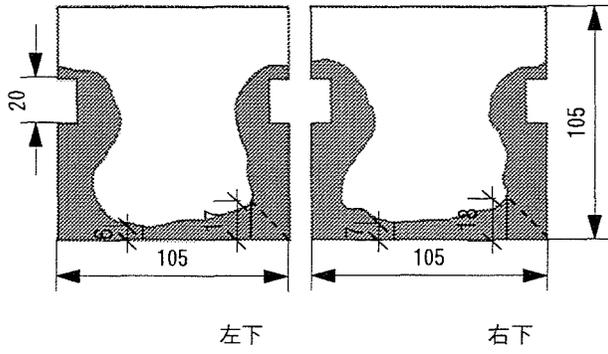
左上

右上



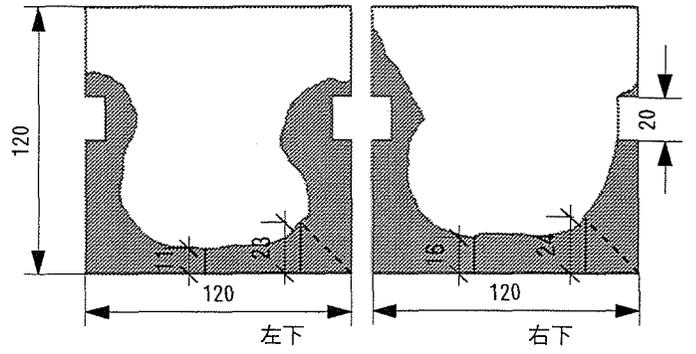
左上

右上



左下

右下

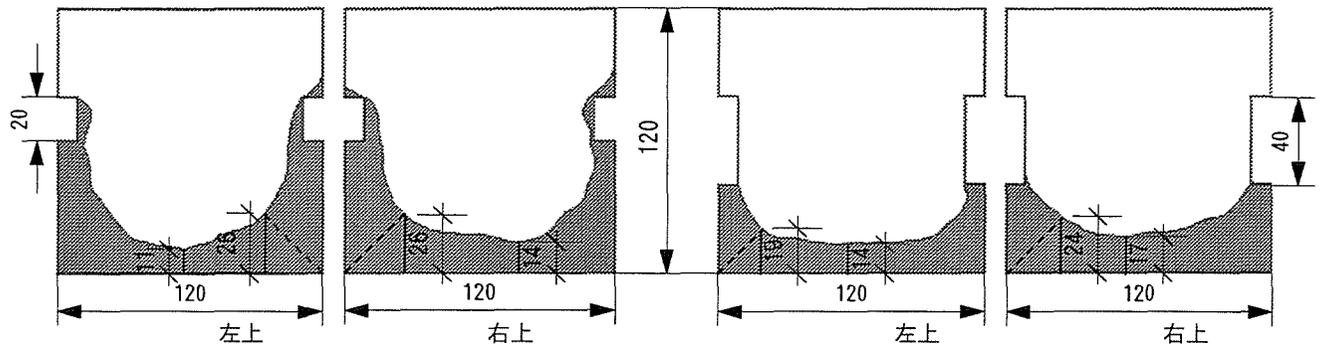


左下

右下

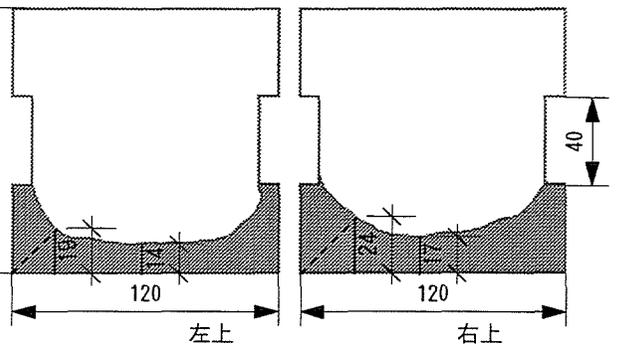
KJ-1 (裏返し塗り無し/板張り/大壁)

KJ-2 (裏返し塗り無し)



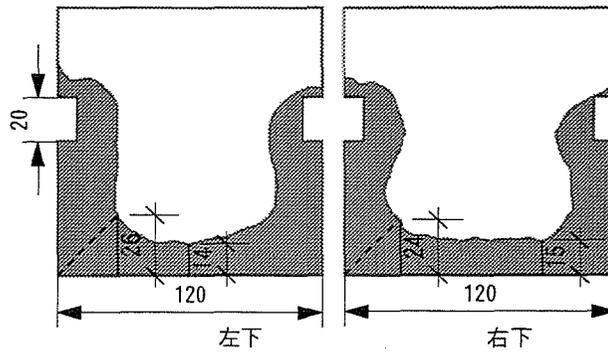
左上

右上



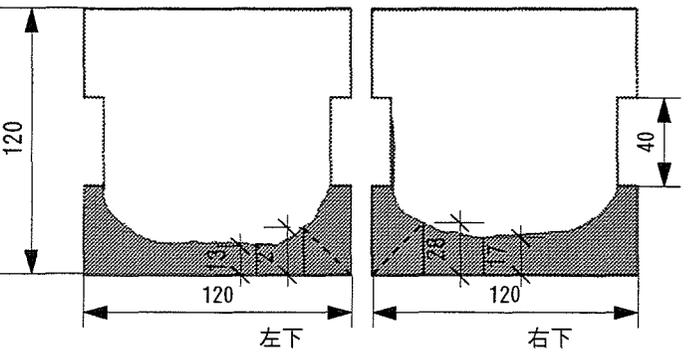
左上

右上



左下

右下



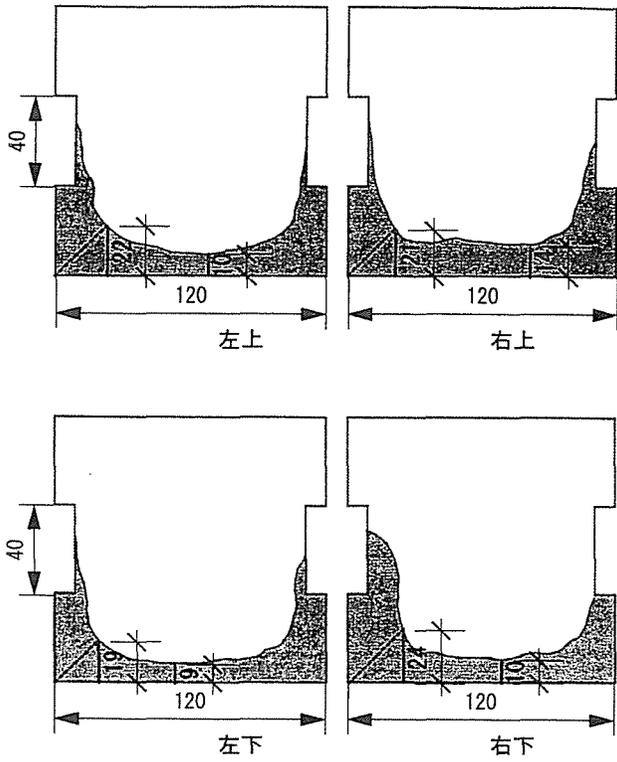
左下

右下

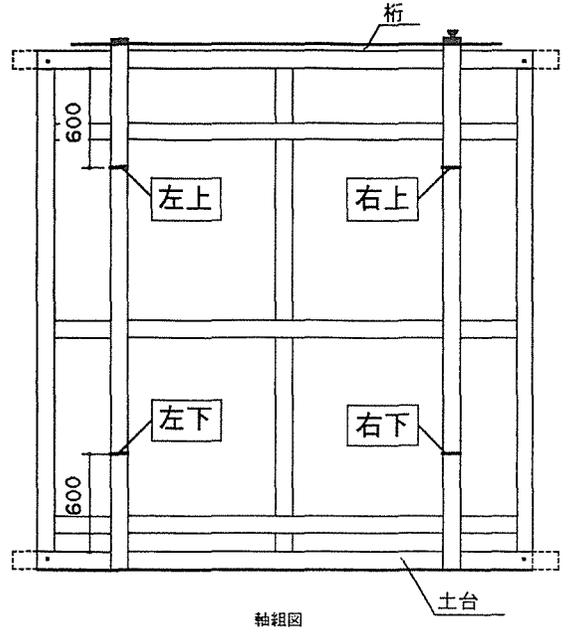
KJ-3 (裏返し塗り無し/板張り/真壁)

KJ-4 (裏返し塗り有り)

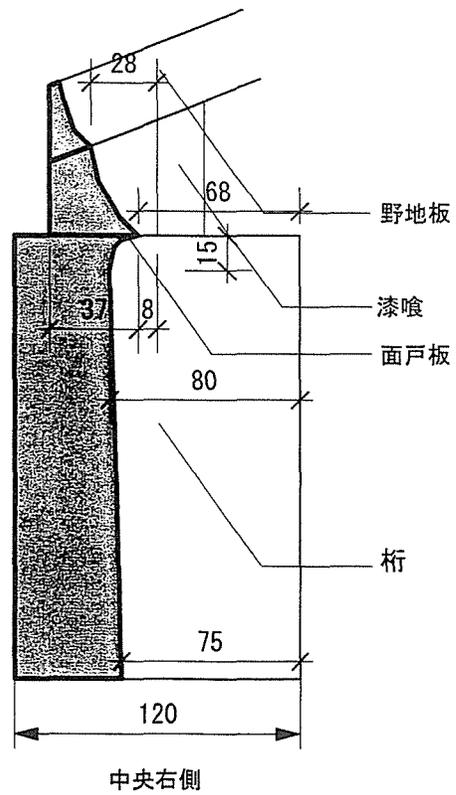
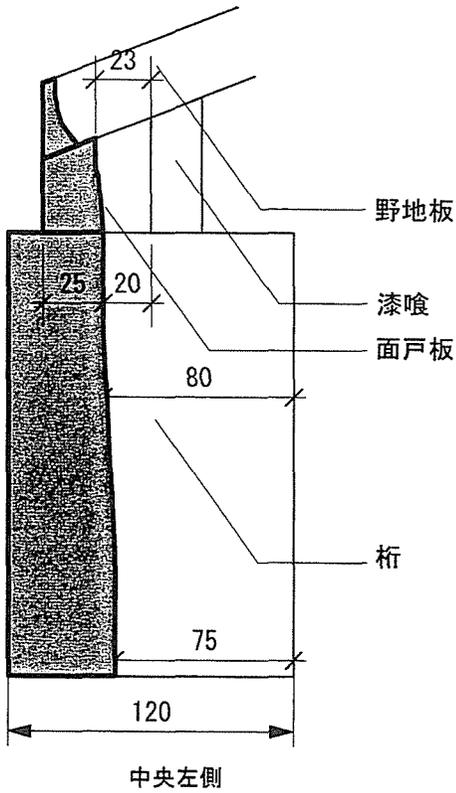
図5-32 加熱終了後の柱の炭化状況 (土壁)



KJ-5 (裏返し塗り有り/板張り/大壁)



— ; 炭化状況切断位置 (非加熱面より見る)



KJ-8 (木造化粧軒裏)

図5-33 加熱終了後の柱の炭化状況 (土壁/軒裏)

5.2 推奨仕様の提案

土壁の実験では、柱の燃焼により断面が減少し座屈が起きた。この座屈を防止する方法は、柱に防火被覆（木材など）をするなど、さらに研究開発を進めていくことが必要である。ここでは、その他の部位について防火的に強化された推奨仕様の提案を行う。

(1) 土壁裏返し塗りなし（防火構造 30 分）

① 土塗り厚：30 mm以上（片面）

30 mm厚が、防火構造の性能を確保する限界の厚みなので、施工精度なども考え 40 mm程度とすることが望ましい。

② 柱：－

今回の結果から、105 mm角、120 mm角のうち、防火上どちらが有利とはいえない。どちらにしても燃焼による断面減少を抑制する方法を開発する必要がある。

③ チリジャクリ：深さ 9 mm

柱にチリジャクリを入れ、そこに土壁を充填することで、防火上の弱点であるチリ部の燃え抜け防止効果が高まる。チリジャクリの幅は、今回の試験体では、荒壁部（20 mm幅）としたが、荒壁施工時に自重で荒壁が下がり、桁の部分でチリ切れが出やすかった。そこで、荒壁部ではなく、荒壁が乾燥してから施工する中塗り部にチリジャクリをつけることで、より確実なチリ部分の施工が可能となるだろう。

④ 表面板張り：12 mm厚（アイジャクリ）

12 mm板をアイジャクリで施工すれば、少なくとも板が燃えぬけるまでの約 10 分間は、土壁や柱などへの延焼を遅延する効果がある。また、板の厚みを増すほど、燃えぬけに要する時間がかかるため、躯体にとってはより安全側になる可能性がある。

表面をあらかじめ燃焼させた焼き板を用いたほうが、着火後すぐにあらわれる急激な燃焼を抑制することができる。

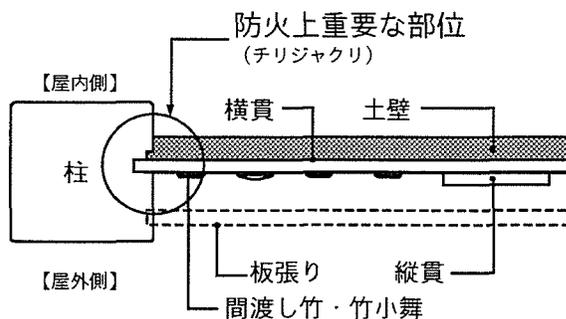


図 5-34 裏返し塗りのない土壁の納まり

(2) 土壁裏返し塗りあり（準耐火構造 45 分）

① 土塗り厚：60 mm以上（両面）

60 mm厚の塗り厚があれば、45 分間の加熱を受けても裏面温度は可燃物の燃焼温度（平

均160℃、最高200℃)まで、上がらない。

② 柱：－

今回の結果から、105 mm角、120 mm角のうち、防火上どちらが有利とはいえない。どちらにしても燃焼による断面減少を抑制する方法を開発する必要がある。また、5.4項で述べるように、3.5 cmの燃え代設計（集成材のみ）をすることで、準耐火構造とすることができる。

③ チリジャクリ：深さ9 mm

柱にチリジャクリを入れ、そこに土壁を充填することで、防火上の弱点であるチリ部の燃え抜け防止効果が高まる。チリジャクリの幅は、今回の試験体では、荒壁部（40 mm幅）としたが、荒壁施工時に自重で荒壁が下がり、桁の部分でチリ切れが出やすかった。そこで、荒壁部ではなく、荒壁が乾燥してから施工する中塗り部にチリジャクリをつけることで、より確実なチリ部分の施工が可能となるだろう。

④ 表面板張り：12 mm厚（アイジャクリ）

(1)の④と同様。

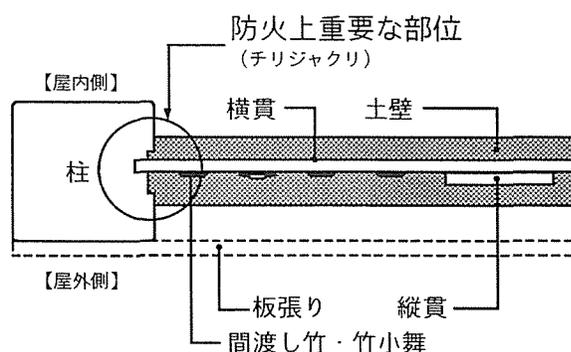


図 5-35 裏返し塗りのある土壁の納まり

(3) 木造化粧軒裏

① 面戸板：45 mm＋裏面漆喰 20 mm塗り

裏面の漆喰塗りは、経年変化により木材が収縮し、隙間ができた場合に備えて施工する。また、漆喰が乾燥収縮により脱落しないように、野地板と桁に小穴を突き、その部分にも漆喰を充填する。

② 野地板：30 mm（サネ加工）

サネ加工をし、木材が乾燥収縮しても隙間ができないようにする。板幅は今回の試験体では180 mmとしたが、防火性能には大きな影響はないだろう。

③ 垂木：45 mm角

45 mm角以上であればよい。垂木と面戸板の取り合い部が防火上の弱点となることがわかっているの、垂木そのものが太くなれば燃え代が確保されるので、防火上はより有利となる。また、今回は垂木ピッチを1尺2寸6分（382 mm：京都でよく使われるピッチ）

としたが、一般的に使われる 303 mm や 455 mm ピッチでも防火性能には大きな影響はないだろう。

④ 軒の出：－

今回の実験では、試験装置の都合で軒の出を 500 mm としたが、防火性能は、軒の出部分よりも、面戸板、野地板、垂木の取り合い部の納まりに左右されるので、一般的に使われている 455 mm や 910 mm でも防火性能には大きな影響はないだろう。

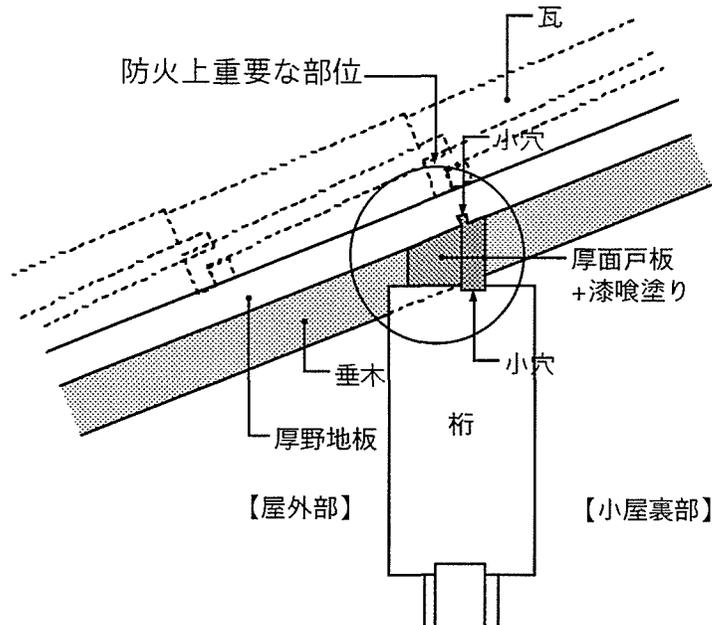


図 5-36 木造化粧軒裏の納まり

(4) 開口部

① 木格子：－

防火戸の外側に設けられた木格子の燃焼は、防火戸の遮炎性能に影響を与えない。また、木格子の形状やピッチは、防火性能には大きな影響を与えない。

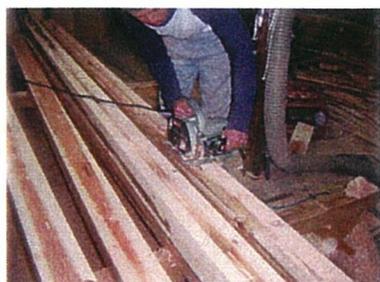
5.3 施工管理基準

伝統木造土壁構法の防火性能は、軸組の組み立てや土塗りの精度により大きく左右されると考えられる。ここでは一連の実験結果を実際の施工現場に反映させるための施工管理基準について写真や図を使って説明する。

5.3.1 土壁施工管理基準

(1) 木工事

■ 軸組の加工（チリジャクリ加工）



伝統木造土壁構法で使用される土壁は、ほとんどの場合、真壁である。この真壁の柱と壁の取り合い部（以下チリ部とよぶ）は土や木の経年変化による収縮で隙間が生まれ、この部分が防火上の弱点となる可能性がある。それを防止する方法として、柱に図5-37のようなチリジャクリを入れてそこに土を充填することを提案する。今回の実験では幅40mm（裏返し塗りなしは20mm）、深さ9mmのチリジャクリを入れた。

■ 軸組組み立て



(2) 左官工事

■ 小舞かき



■ 荒壁塗り

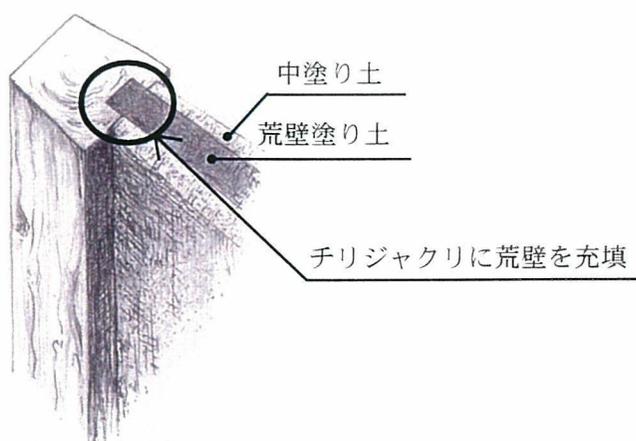
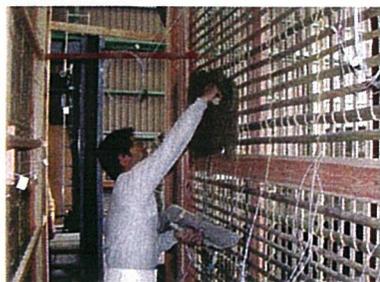


図5-37 チリジャクリ概念図

木工事で柱や梁・桁などに施したチリジャクリに確実に荒壁土が充填されるように施工する。特に、土壁上部の梁・桁との取り合い部は荒壁を塗った後、自重で壁が下がるため特に注意が必要である。

■ 荒壁裏返し塗り



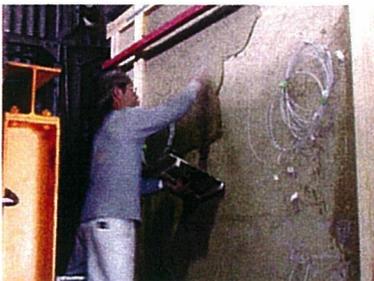
■ 貫伏せ



■ チリなおし、付け送り

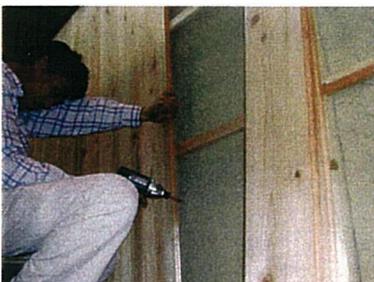


■ 中塗り



(3)仕上工事

■ 板張り



(4)材料の含水率

木材は、施工後の乾燥収縮をできるだけ防ぐために、含水率 15%以下の材料を使用する。

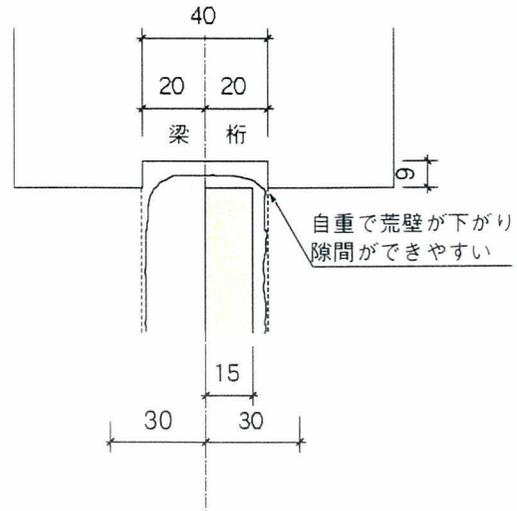


図 5-38 荒壁部概念図

チリなおしの際に、荒壁土がチリジャクリに充填されていない部分があればできる限り充填する。

乾燥収縮によるチリ切れがないように中塗りを行う。また柱に所定の土塗り厚を確保するためチリ墨を打ち、後に中塗りを行う。

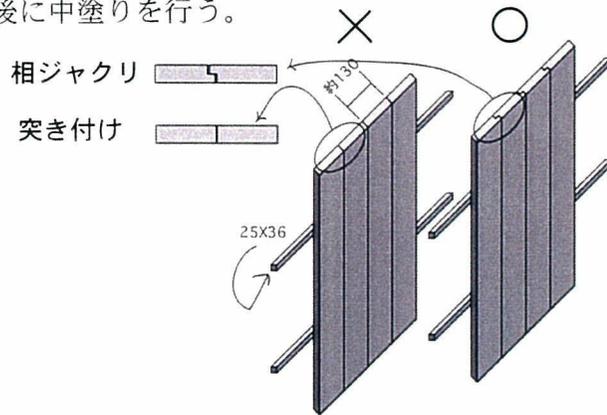


図 5-39 表面板張り概念図

風雨から土壁を守るために土壁表面に板を張ることがある。条件にもよるがこの板 (12mm厚で約10分) は外部からの火災に対して柱や壁を一定時間守り、防火上も有効である。この効果を有効に発揮するためには横胴縁を450mmピッチ以下とし、表面の板どうしの納まりは図 5-39 のように相ジャクリ、またはサネ加工とすること。

5.3.2 軒裏施工管理基準

木造化粧軒裏では、厚野地板（30 mm厚）・厚面戸板（45 mm厚）・垂木（45 mm角）の3部材で外部で起こった火災を内部（小屋裏）に延焼させないようにしているため、これらの3部材の施工精度が防火上最も重要となる。

(1) 木工事

■ 垂木と面戸板との取り付け

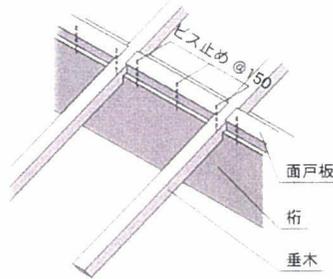
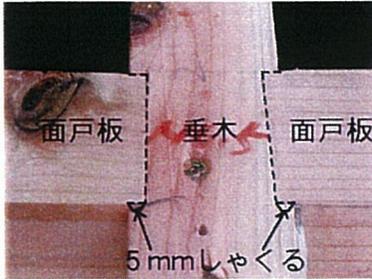


図 5-40 面戸板部概念図

垂木と面戸板の取り付け部は、経年変化により木材が収縮した場合でも隙間ができないように、垂木を約5 mmシャクリ込み、そこに面戸板を落とし込んで納める。面戸板と桁の納まりは、つき突けだが90 mm以上のビスで約150 mmピッチで面戸板を桁に留めつける。

■ 面戸板裏の防火被覆

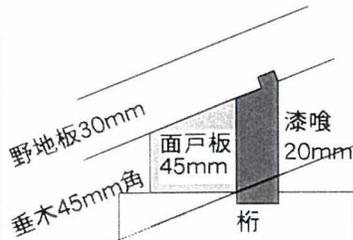


図 5-41 漆喰塗り概念図

防火被覆として面戸板に漆喰を塗る場合、その下地処理として漆喰が食いつきやすいよう面戸板の表面をあらしヒゲコを打つ。また、経年変化で漆喰が脱落しないよう野地板を桁に図 5-41 のように小穴を突く。

■ 野地板の取り付け



野地板はサネ加工した材料を用いる。野地板は90 mm以上のビスで約150 mmピッチで垂木と面戸板に留めつける。

■ 面戸板裏の防火被覆（漆喰塗り）



防火被覆として面戸板裏に塗る漆喰は、一回塗りで仕上げられる厚み（20 mm）とし、小ゴテで押し込むように詰め塗りする。桁と野地板に設けた小穴に漆喰を確実に充填する。取り付け部に隙間ができた場合、再度仕上げ漆喰を薄塗りする。

(2) 材料の含水率

木材は、施工後の乾燥収縮をできるだけ防ぐために、含水率15%以下の材料を使用する。

5.4 準耐火建築物ケーススタディー

京都等の歴史的市街地で町家がビルなどに建て替えられるのは、伝統木造町家が現在の建築基準法では準防火地域での新築・大規模改修が不可能であるという法律上の問題と、さらに 1、2 階建の伝統木造町家では地域に指定された容積率を有効に利用できず、不動産としての活用の幅も狭いという事情も重要な背景となっている。しかしこれまでの研究で木造土壁構法の外壁と軒裏に関しては準防火構造を実現できる見通しがついている。よって木造土壁構法で、新築・大規模改修ができ、さらに住宅以外にも様々な用途が考えられる 3 階建て町家を実現できる準耐火建築物を実現できれば、歴史的市街地のビル化等による景観の変容に歯止めをかけることができると考えられる。

京都のような歴史的市街地の大半を占める準防火地域では図 5-42 のように構造制限が設定されており、容積率を有効利用できる 3 階建てにするためには①準耐火建築物、②防火上必要な技術基準に適合する建築物（以後、準防火木 3）にする必要がある。また 500m² 以上の大規模な建物を実現するためには準耐火建築物とする必要がある。京都のような密集市街地において準防火木 3 では外壁の開口部制限（法 62 条一号、二号）によって、思うような開口部配置ができないおそれがあるため、ここでは準耐火建築物を中心にケーススタディーを行う。

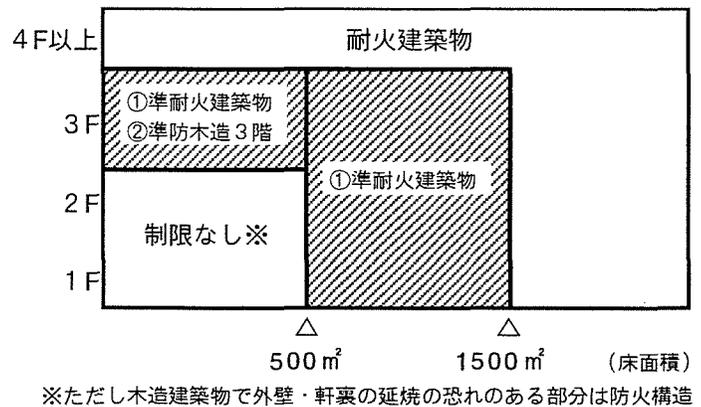


図 5-42 準防火地域の構造制限

5.4.1 準耐火建築物の種類

準耐火建築物には、主要構造部に要求される防火性能によって以下のように 3 種類ある。

- ① イ準耐【主要構造部準耐火構造】（法 2 条九号の三イ）
- ② ロ準耐一号【外壁耐火】（法 2 条九号の三口）
- ③ ロ準耐二号【主要構造部不燃】（法 2 条九号の三口）

①②③ともに外壁開口部で延焼のおそれのある部分に防火設備を設置する必要がある。

ここで主要構造部とは壁、柱、床、梁、屋根、階段を指す。

このうち①イ準耐が木造建築一般に適した仕様である。ちなみに、②ロ準耐一号は外壁を耐火構造にすること、また、③ロ準耐二号は柱・梁などを不燃材にする必要があるなど木造建築物で対応することは困難である。

5.4.2 イ準耐建築物

イ準耐建築物の主要構造部には表 5-14 のような準耐火性能が必要とされる。（法 2 条七号の二、令 107 条の 2、平成 12 年建設省告示 1358 号）

表 5-14 準耐火性能 (45 分) の必要性能

部 位			通常の火災		屋内側からの通常火災 屋外に火災を出す原因となるき裂その他損傷を生じない		
			構造耐力上支障のある変形、溶融、破壊その他の損傷を生じない	加熱面以外の面（屋内に面するもの）の温度が可燃物燃焼温度以上に上昇しない			
壁	間仕切壁	耐力壁	—	45分	45分	—	
		非耐力壁	—	—		—	
	外壁	耐力壁	—	45分		45分	45分
		非耐力壁	延焼のおそれのある部分	—			
		上記以外の部分				30分	
柱	—	—	45分	—	—		
床	—	—	45分	45分	—		
はり	—	—	45分	—	—		
屋根	下記以外	—	—	30分	—	30分	
	軒裏	下記以外	延焼のおそれのある部分	—	45分		
			上記以外の部分		30分		
		外壁によって小屋裏または天井裏と防火上有効にさえぎられているもの	—	—	—		
階段	—	—	30分	—	—		

注 時間は、各加熱開始後。—は制限なし

5.4.3 木造土壁構法の準耐火建築物への対応

木造土壁構法に関する準耐火構造の仕様は表 5-15 のようになっている。旧建築基準法でいう両面防火構造が準耐火構造に格上げされたことにより、かろうじて間仕切り壁の二仕様が準耐火構造として認められているだけである。ここではそれぞれの主要構造部について準耐火構造の実現の可能性を検討する。

表 5-15 伝統木造の位置付け

耐火性能	部 位	仕 様	備 考
準耐火構造 (法2条7号) (告示1358号)	間仕切壁 (耐力壁含む)	①土葺造	ただし、両側に施工する必要あり(旧基準法でいう両面防火構造)
		②土塗真壁造で裏返し塗りをしたもの	
	外壁	—	
	柱	—	
	梁	—	
	床	—	
	屋根	—	
	軒裏	—	

(1) 外壁 (耐力壁)

今回の試験調査の結果より「土塗り真壁造に裏返し塗り」をした仕様の柱部の防火的補強方法を開発すれば実現可能と考えられる。

(2) 軒裏

今回の試験調査の仕様「厚面戸板(45mm)、厚面戸板(45mm)に漆喰塗り(20mm)」で実現可能と考えられる。

(3) 柱

3階建ての建築物は構造計算を行うため、燃え代設計 35mm（平成 12 年建設省告示 1358 号第 2）の考え方が適用できる。ただし、現状では燃え代設計は集成材のみ（令 46 条第 2 項一号、昭和 62 年建設省告示 1612 号）の運用となっている。

(4) 梁

3階建ての建築物は構造計算を行うため、燃え代設計 25mm（平成 12 年建設省告示 1358 号第 2）の考え方が適用できる。ただし、現状では燃え代設計は集成材のみ（令 46 条第 2 項一号、昭和 62 年建設省告示 1612 号）の運用となっている。

(5) 床

平成 12 年告示 1358 号第 3 によると、例えば床板を厚さ 30mm 以上の木材や畳とし、裏側の部分をまたは直下の天井に厚さ 15mm 以上の強化石膏ボード等で防火被覆をすればよい。現在の建築基準法の仕様規定でここまでは対応できる。

(6) 屋根

平成 12 年建設省告示 1358 号第 5 によると、例えば屋根を不燃材（瓦、金板等）でふき、裏側の部分は厚さ 12mm 以上の強化石膏ボード等で防火被覆をすればよい。現在の建築基準法の仕様規定でここまでは対応できる。

(7) 階段

平成 12 年告示 1358 号第 6 によると例えば、段板及び段板を支える桁が厚さ 6cm 以上の木材で造られたものにすればよい。現在の建築基準法の仕様規定でここまでは対応できる。

(8) 間仕切壁

平成 12 年建設省告示 1358 号第 1 によると「土蔵造」「土塗り真壁造で裏返し塗り」を両面施工すれば、仕様規定に対応できる。しかし現実的には両面に施工することは不可能である。よって先に述べた (1) 外壁の仕様を開発できれば、ほぼ同じ仕様である間仕切壁も対応できると考えればよい。

(9) 開口部

延焼のおそれのある部分に準遮炎性能を有した防火設備（アルミ防火戸等）を用いればよい。

以上の (1) ～ (9) で示した仕様を図 5-43 に表す。

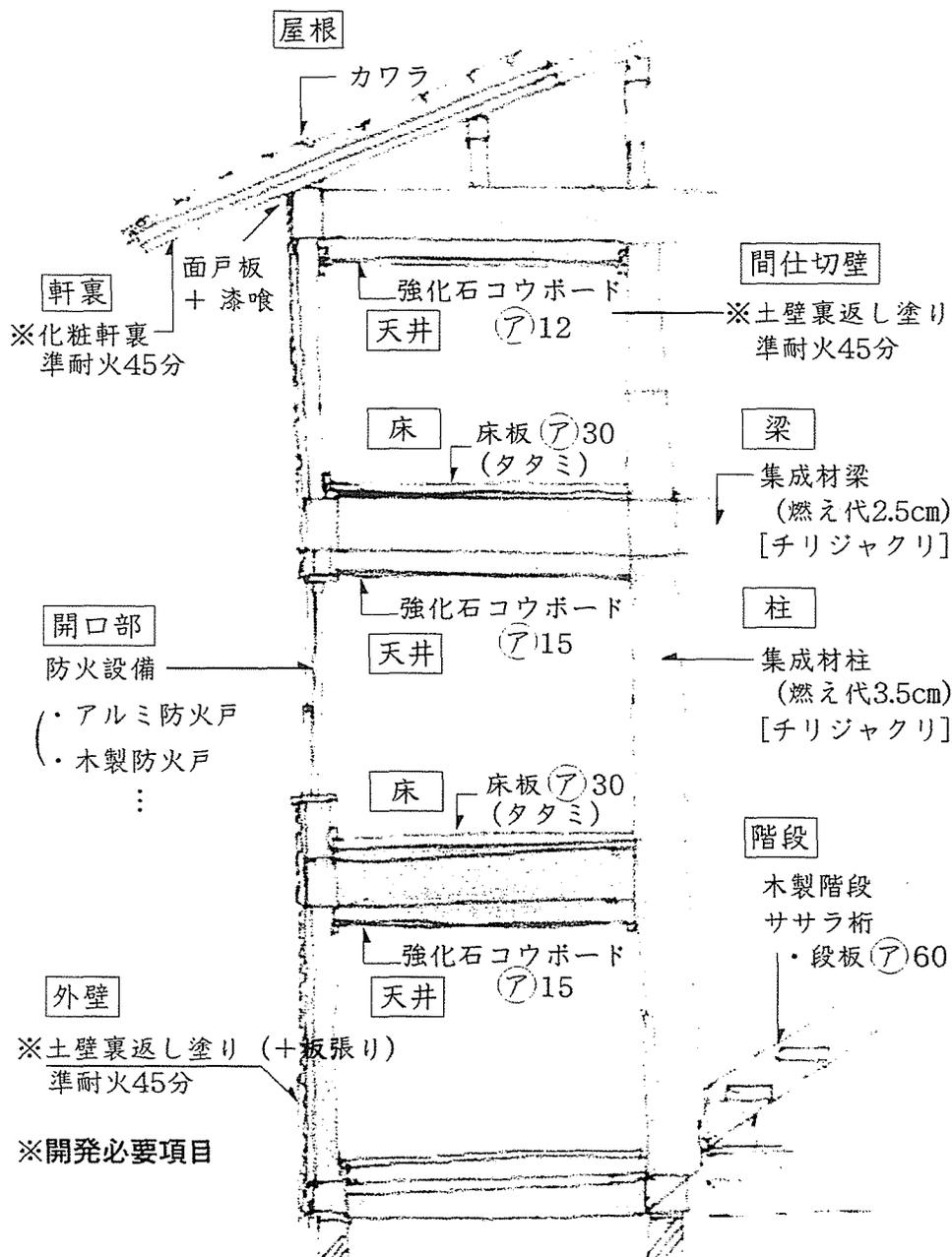


図5-43 イ準耐具体的仕様

外壁（間仕切壁）と軒裏の準耐火構造の仕様が実現できるとして、その他の部位は当面仕様規定のうち、伝統木造と共存し得る仕様で対応すれば、一部に集成材や石膏ボードを使用することになるが、伝統木造の延長上で準耐火建築物を実現できる見通しが出てくる。3階建てが可能になれば、1、2階の町家では個人住宅や店舗併用住宅などのように単純な使い方しかできなかったものが、3階建てで容積率を活用すれば、例えば1階を店舗等に貸した上で2、3階を住宅にするなど、町家の使い方や住まい方の多様化を図ることができる。また1、2階建ての建物だけでは、集会所・保育所等、地域の生活に必要な施設の整備は困難だが、新築時に伝統町家型準耐火建築物を利用すれば、生活空間としての歴史的町並みの再整備に新しい視野を開けるかもしれない。

6. 実用化の見通し

今回の試験調査では、これまで、建築基準法に位置付けのなかった木造土壁構法の仕様で防火構造・準耐火構造を実現するための防耐火性能実験を行った。その結果、以下のような見通しを得た。

(1) 土壁

土壁の防耐火性能の評価基準は、以下ようになっており、この3点のどれか一つでも満たされない場合、防火構造、準耐火構造には認められない。

- ①裏面への火炎の貫通がないこと（遮炎性）
- ②裏面の温度が可燃物の燃焼温度まで上がらないこと（遮熱性）
- ③軸組の変形が規定値に達しないこと（非損傷性）

- ・裏返し塗りのない土壁（KJ-1～3）は、①②③の理由で加熱を中止した。これらの試験体は、裏返し塗りのない面から加熱されるので、貫や木舞が直接加熱され、かなり過酷な条件である。①②の対処法としては、土塗り厚の確保があげられる（例えば、30 mm→40 mm）。また、構造柱のスパンを狭くし土壁の熱膨張によるチリ切れを防止すれば、①の対策としてはなおよいだろう（例えば、1970 mm→985 mm）。③に関しては、柱の燃焼による断面減少が問題となるので、柱に防火被覆（例えば、木材など：燃え代設計の考え方を応用）を施せばよいだろう。
- ・裏返し塗りをした土壁（KJ-4～KJ-5）は③の理由で加熱を中止した。前述のように柱の燃焼による断面減少が問題となるので、柱に防火被覆（例えば、木材など：燃え代設計の考え方を応用）を施せば良いだろう。

ともに、木造土壁構法の延長上の補強方法で、裏返し塗りがない土壁は防火構造、裏返し塗りがあある土壁は準耐火構造を実現できる見通しはある。この改良仕様で、それぞれの防火性能を確保できれば、性能評価及び認定を経て、実用化が可能である。

(2) 軒裏

土壁の防耐火性能の評価基準は、以下ようになっており、この2点のどちらか一つでも満たされない場合、防火構造、準耐火構造には認められない。

- ①裏面への火炎の貫通がないこと（遮炎性）
- ②裏面の温度が可燃物の燃焼温度まで上がらないこと（遮熱性）

- ・今回の仕様で加熱時間は60分であった。この仕様そのまま、性能評価試験を受ければ準耐火構造として認められ実用化が可能である。
- ・仮に防火構造を目指すのであれば、面戸板、野地板、漆喰の厚みを薄くすることが考えられる。寸法については、十分な検討が必要である。ちなみに、これまでの実験によると面戸板は30 mm厚程度（野地板30 mm、漆喰塗り厚20 mm）が防火構造のボーダーラインになりそうである。

(3) 開口部

木製格子をつけた開口部の方が、つけない場合よりも、室内側への入射熱が小さくなることが分かった。しかし、今回の実験では、アルミ防火戸を木軸組（真壁）に取り付けていたため、加熱時間(20分)中に木軸組とアルミ防火戸の取り付け部から火炎が貫通した。今回の結果からも格子が燃え落ちるまでは、室内側への入射熱量が減ることがわかったが、より正確な熱量を把握するためには、不燃材の枠にアルミ防火戸を取り付け、裏面への火炎の貫通が起こらない条件で測定をする必要があるだろう。

この開口部の問題は、どちらかという、法解釈上の問題であるので、これらのデータを整備することにより、現在、準防火地域内での延焼の恐れのある部分で防火戸の外側に木格子を取り付けることを認めていない行政への説明資料となり、火災安全性を裏付けされた仕様として運用が可能となるだろう。

7. 今後の対応

土壁については、前述のように柱の座屈を抑制する方法を確立するという課題が残るが、今後の研究開発で解決できる見通しはある。

そして、その結果を実際に建築基準法に認められた仕様として運用していくためには以下の二通りの方法がある。

- ①仕様規定（国交省告示第1684号：平成13年12月改正）に定められた仕様を使用する。
- ②国土交通大臣の認定を受けたものを使用する。

①の仕様規定に告示化されるためには、防火性能の確認が十分にされていることと、納まりが単純で、かつ条文化しやすい仕様であることが必要である。

②は防火構造や準耐火構造の要求性能を満足することを性能評価試験で確認するもので、法人格をもつ、団体・企業などがその申請者になることができる。単独の工務店や企業で認定を受けることも考えられるが、研究開発や性能評価試験に必要な費用が少なくないことや地域の共通仕様となるべきこと等を考えると、工務店等で構成される建築組合や連合会などの団体が性能評価認定の取得を進めていくことが望ましいと考えられる。

現在、京都府建築工業協同組合の上部組織である（社）全国中小建築工事業団体連合会（以後、全建連）が②の取得準備を始めている。この性能評価認定を取得することにより、まずは、全建連の組合員限定ではあるが、建築確認申請時に認定書を添付することにより、実際に施工可能な仕様となり得る。

今後、今回の実用化がプロトタイプとなり、京都の仕様だけではなく、全国各地の仕様においても研究開発から認定取得までの一連の動きが促進されることが望まれる。

8. 特筆すべき成果

2000年6月の改正建築基準法施行により、防火規定は性能規定化され、木材のような可燃物であっても防火構造や準耐火構造の要求性能を満足すれば、法令に適合した仕様として認めら

れるようになった。今回の試験調査で防火実験を行った木造化粧軒裏は、建築基準法が改正されたことにより実現可能となった仕様といえる。軒裏の防火要求性能は、外部で起こった火災に対して、防火構造であれば30分間、準耐火構造であれば45分間（60分間）、裏面への延焼を防止すればよい。今回の実験の防耐火時間60分は、準耐火構造（60分間）に該当し、認定取得のプロセスを踏めば、木造3階建て共同住宅の軒裏仕様としても使用できる。これは、木造では最高ランクに位置づけられる仕様で、この仕様を木造が露出した化粧軒裏で実現できることは、木造建築にとって大変、意義のある成果といえる。

9. 試験調査委員会 委員

- ①長谷見雄二 早稲田大学理工学部建築学科 教授
(委員長)
- ②木村忠紀 京都府建築工業協同組合 理事
- ③北後明彦 神戸大学都市安全研究センター 助教授
- ④畑俊充 京都大学木質科学研究所 助手
- ⑤田村佳英 関西木造住文化研究会 代表幹事

10. 主任技術者・技術者

- ①木村忠紀 (キムラ タダノリ) 【主任技術者】
京都府建築工業協同組合 理事 (株)木村工務店 代表取締役
- ②光田 彰 (ミツタ アキラ) 【技術者】
京都府建築工業協同組合 総代 (株)光田工務店 代表取締役
- ③堀 榮二 (ホリ エイジ) 【技術者】
京都府建築工業協同組合 総代 (堀工務店 代表)

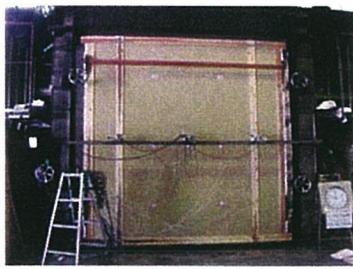
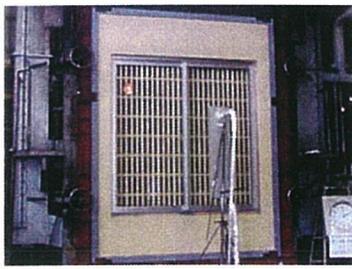
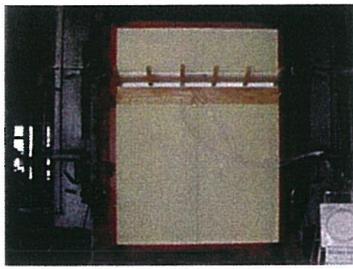
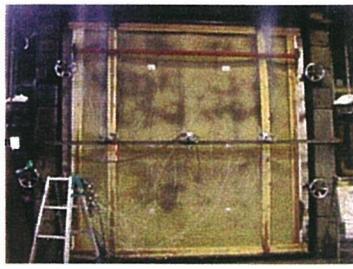
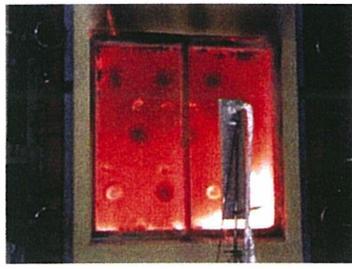
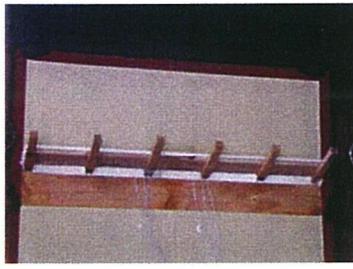
11. 他からの指導または協力事項

- ①安井昇 早稲田大学理工学部建築学科 博士課程
(試験体の設計・管理及び推奨仕様設計)
- ②吉田正友 (財)日本建築総合試験所 建築物理部長
(試験調査の統括管理)
- ③山本幸一 (財)日本建築総合試験所 建築物理部 耐火防火試験室
(試験調査の管理)

12. 参考文献

- 1) 山田誠・菅原進一：木造住宅壁体の防耐火性能について(1)(2)
木材工業 Vol.39-8, P.24-29 Vol.39-9, P.21-27, 1984
- 2) 安井昇・山本幸一・長谷見雄二・木下孝一他：
伝統軸組構法による木造土壁の火災安全性実験（その1）（その2）
日本建築学会学術講演梗概集 2000年度 P.43-46
- 3) 岡村義徳・堀内三郎・十倉毅他：
伝統的木造住宅における延焼防止に関する研究
日本建築学会学術講演梗概集 1995年度 P.183-188
- 4) 安井昇・長谷見雄二・秋月通孝・田村佳英他：
市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価
（その1）町家型伝統木造の防火上の問題点と防火技術開発の目標
日本建築学会関東支部研究報告集 2001年度 p.369-372
- 5) 上島基英・長谷見雄二・安井昇・畑俊充・木村忠紀・村上博他
市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価
（その2）木造土壁の防火性能に関する実験的研究
日本建築学会関東支部研究報告集 2001年度 p.373-376
- 6) 馬屋原敦・長谷見雄二・安井昇・上島基英・吉田正友他
市街地型軸組木造土壁構法の防火性能の再評価
（その3）京町家における化粧軒裏の延焼防止手法
日本建築学会関東支部研究報告集 2001年度 p.377-380
- 7) 関西木造住文化研究会（KARTH）：
伝統軸組構法による木造土壁の載荷加熱試験報告書 2000年9月
- 8) 増田秀昭：建物間における延焼防止設計に関する研究
日本建築学会学術講演梗概集 1995年度 P.181-182
- 9) 山田誠・長谷見雄二・安村基・阿部市郎：
木造3階建て共同住宅外壁部材の準耐火性能に関する水平加力の影響
日本建築学会技術報告集 1992年度 第7号 p.75-78

13. 参考資料

	木造土壁	開口部	木造化粧軒裏
試験体製作写真			
実験装置写真	 *写真は KJ-1	 *写真は KJ-7	 *写真は KJ-8
試験終了時裏面写真	 *写真は KJ-1	 *写真は KJ-7	 *写真は KJ-8
試験終了直後表面写真	 *写真は KJ-1	 *写真は KJ-7	 *写真は KJ-8 (放水後)
試験終了後の試験体	 *写真は KJ-5	 *写真は KJ-6	