

平成12年度農林水産省補助事業
木造建築物耐火性能把握事業

平成12年度農林水産省補助事業
木造建築物耐火性能把握事業

報 告 書 (I)

木造区画部材開発
木質架構部材開発

平成13年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター

平成12年度 農林水産省補助事業
木造建築物耐火性能把握事業報告書

目 次

1. はじめに	1
2. 委員会名簿	2
3. 実施概要	4
4. 実施内容要約	6
第1章 木造区画部材開発	7
I. 目的	7
II. 実施概要	7
III. 実施内容	8
1. 壁構造の1時間耐火構造の開発	9
1.1 壁構造試験体	9
1.2 試験方法	12
1.3 試験結果	28
1.4 結果とまとめ	44
2. 床構造の1時間耐火構造の開発	59
2.1 試験体	59
2.2 試験方法	63
2.3 試験結果とまとめ	74
3. 在来軸組乾式真壁外壁構造の防火構造性能試験	83
3.1 壁構造試験体	83
3.2 試験体	83
3.3 試験方法	84
3.4 試験結果	86
3.5 まとめ	86
写真記録（壁載荷加熱試験、床載荷加熱試験）	95

第2章 木質架構部材開発	
構造用集成材・構造用LVL、梁の載荷加熱試験	
梁、柱接合部の載荷加熱試験	108
1. 断面別構造用集成材の載荷加熱試験	108
1.1 目的	108
1.2 はり試験体	108
2. 柱・はり接合部の載荷加熱試験	113
2.1 目的	113
2.2 試験体	113
2.3 試験方法	114
3. 試験結果	122
3.1 はりの載荷加熱試験	122
3.2 柱・梁接合部の載荷加熱試験	129
4. まとめ	132
4.1 はりの載荷加熱試験	132
4.2 柱・梁接合部の載荷加熱試験	137
写真記録	139
1. 梁試験体の燃焼状況	140
2. 柱・梁接合部の燃焼状況	152

第3章 木造建築物の防・耐火設計マニュアル原案（別冊：報告書Ⅱ）

1. 防・耐火設計マニュアルの概要

- 1.1 目的
- 1.2 範囲
- 1.3 留意事項
- 1.4 防火関係用語の定義

2. 木造建築物に関する防火法規

- 2.1 概要
- 2.2 地域指定、用途等
- 2.3 木造建築物の用途と防火法規

3. 木造建築物の防・耐火設計法

- 3.1 住居
- 3.2 事務所
- 3.3 劇場、映画館、集会場等
- 3.4 観覧場、公会堂等
- 3.5 病院、診療所、養老院、児童福祉施設等
- 3.6 ホテル、旅館等
- 3.7 下宿、共同住宅、寄宿舎
- 3.8 学校、体育館、博物館、美術館、図書館、スポーツ施設
- 3.9 百貨店、マーケット、展示場等
- 3.10 倉庫等
- 3.11 自動車車庫、自動車修理工場等
- 3.12 危険物貯蔵庫、処理場

4. 準耐火構造、防火構造、準防火構造の仕様

- 4.1 準耐火構造
- 4.2 防火構造・準防火構造
- 4.3 防火戸

5. 木造建築物、木質内装等への

耐火性能検証法、避難安全検証法の適用

6. 関係資料等

平成12年度 農林水産省補助事業 木造建築物耐火性能把握事業報告書

1. はじめに

木造建築物については、昭和62年の建築基準法令の改正により準防火地域に木造3階建て戸建て住宅が建築可能になり、平成2年には防火戸の告示により木製の防火戸が認定されることが可能となり、平成5年の建築基準法令の改正で木造の準耐火構造が認められたことにより木造の大規模建築物、特殊建築物、木造3階建て共同住宅の建築が可能となった。また、大断面構造用集成材を用いて大規模木造建築物や準耐火建築物を建築できることとなり、近年は、部材加熱試験や実大規模の建築物の火災実験結果等に基づいて木造の火災安全性能が明らかになってきたことにより建築基準法令の改正が相次ぎ、木造建築物の建築可能範囲が大きく広がってきた。

一方、平成10年の建築基準法の改正により従来の仕様規定から性能規定に移行することとなり、一定の性能を有すれば建築基準法令に定められている以上の木造建築物を建築することが可能な状況となっている。従って、このためには現行の準耐火性能以上の性能を有する木造部材の開発が重要な課題であると考えられるため、本事業を実施することとした。また、木造建築物の防・耐火に関する建築基準は複雑であり、需要の拡大を図るためにはその内容をわかりやすく解説することが必要である。よって、図表を交えながら簡潔な防・耐火設計マニュアルを作成することを目的として本事業を実施することとした。

平成13年3月

財団法人 日本住宅・木材技術センター
理事長 岡 勝 男

2. 委員会名簿

本事業を実施するために学識経験者、関連業界による下記委員会を設置し、事業計画及び成果の検討などを行った。

木造建築物耐火性能把握委員会、委員名簿（敬称略、アイウエオ順）

委員長	菅原 進一	東京大学大学院工学部研究科教授
委員	秋山 禎孝	全国L V L協会事務局長
委員	上杉 三郎	農林水産省森林総合研究所難燃化研究室長
委員	佐藤 寛	武蔵工業大学工学部建築学科講師
委員	鈴木 貴良	安宅防災設計(株)
委員	中川 展彰	日本集成材工業協同組合専務理事
委員	中村 賢一	(財)ベターリビング 筑波建築試験センター試験第2部長
委員	成瀬 友宏	建設省建築研究所基準認証研究センター
委員	西田 慎	(株)キーテック品質管理部長(全国L V L協会)
委員	宮林 正幸	三井木材工業(株)開発研究所長(日本集成材工業協同組合)
委員	遊佐 秀逸	建設省建築研究所防火研究調整官
事務局	西村 勝美	(財)日本住宅・木材技術センター研究開発部長
事務局	山田 誠	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員
事務局	高田 峰幸	(財)日本住宅・木材技術センター試験研究所技術主任

2. 1 木造区画部材防・耐火性能開発分科会（敬称略、アイウエオ順）

主査	佐藤 寛	武蔵工業大学工学部建築学科講師
委員	上杉 三郎	農林水産省森林総合研究所難燃化研究室長
委員	田村 政道	東京大学工学部建築学科技術官
委員	中村 賢一	(財)ベターリビング 筑波建築試験センター試験第2部長
委員	成瀬 友宏	建設省建築研究所基準認証研究センター
事務局	西村 勝美	(財)日本住宅・木材技術センター研究開発部長
事務局	山田 誠	(財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

2. 2 木質架構部材防・耐火性能開発分科会（敬称略、アイウエオ順）

主査	中村 賢一	(財)ベターリビング 筑波建築試験センター試験第2部長
委員	上杉 三郎	農林水産省森林総合研究所難燃化研究室長
委員	佐藤 寛	武蔵工業大学工学部建築学科講師
委員	田村 政道	東京大学工学部建築学科技術官

委員 成瀬 友宏 建設省建築研究所
委員 西田 慎 (株)キーテック品質管理部長(全国LVL協会)
委員 宮林 正幸 三井木材工業(株)開発研究所長(日本集成材工業協同組合)
事務局 西村 勝美 (財)日本住宅・木材技術センター研究開発部長
事務局 山田 誠 (財)日本住宅・木材技術センター試験主任研究員

2. 3 防・耐火設計マニュアル作成分科会(敬称略、アイウエオ順)

主査 菅原 進一 東京大学工学部建築学科教授
委員 佐藤 寛 武蔵工業大学工学部建築学科講師
委員 鈴木 貴良 安宅防火設計(株)代表取締役
委員 中村 賢一 (財)ベターリビング 筑波建築試験センター試験第2部長
委員 成瀬 友宏 建設省建築研究所基準認証研究センター
事務局 西村 勝美 (財)日本住宅・木材技術センター研究開発部長
事務局 山田 誠 (財)日本住宅・木材技術センター主任研究員

3. 実施概要

本事業は平成11年度から平成13年度（1999年度から2001年度）までの3カ年間実施する事業で、表-1に示す実施計画を作成し、事業を実施することとした。平成11年度は、既往のデータを収集して整理し、実験実施項目の選定を行い、木造区画部材、木質架構部材の開発と防・耐火設計マニュアル原案の作成を行うこととした。木造区画部材開発では60分を超える準耐火性能を有する木造の壁構造並びに90分程度の性能を有する木製・木質系防火戸の開発を行ない、木質系架構部材開発ではスギ、カラマツなどの国産材による集成材及びスギLVLの柱、梁の耐火性能開発を行った。防・耐火設計マニュアル原案作成では木造建築物の用途に応じた要求性能とその仕様条件等をまとめた。

平成12年度は、木造区画部材開発において、平成12年6月から施行された改正建築基準法により木造でも一定の耐火性能を満足すれば耐火構造として評価されることが可能となったため、木造壁構造、床構造で1時間耐火構造の性能を有することが可能であるかの検討を実験的に検証することとした。また、防火構造の外壁に柱・梁が露出している在来真壁工法が、防火構造として評価できるかの検討を実験的に検証することとした。木質系区画部材開発では、国産材のスギ、カラマツ集成材及びLVLにおいて、中断面のもので燃えしろ設計が可能であるかの検証実験並びに接合部の耐火性能の検証実験を行うこととした。防・耐火設計マニュアル原案作成事業では、改正建築基準法に基づき、昨年度作成した原案の見直しと木造建築物や木質内装を想定した建築物において耐火性能検証法や避難安全検証法が適用できるかの検討を行うためいくつかのケーススタディを行うこととした。

3.1 木造区画部材開発

既往の実験結果（建設省緊急研究「木造3階建て共同住宅の開発」報告書、平成11年度農林水産省補助事業「木造建築物耐火性能把握事業・木造区画部材開発」報告書等）並びに60分準耐火構造に指定されている材料仕様を基に、1時間の耐火構造の性能を有すると推定される外壁・間仕切壁仕様を選定し、在来軸組工法及び枠組壁工法の壁構造および床構造試験体を製作して載荷加熱試験を行った。また、準防火地域に建築する木造建築物の外壁で延焼のおそれのある部分は防火構造とすることが定められているが、在来真壁造のように木材の柱やはりが露出した場合の防火性能の評価が明確でないため、在来真壁造の試験体を製作して載荷加熱試験を行い、その性能評価を行うこととした。

3.2 木質系架構部材開発

大断面構造用集成材を用いて大規模木造建築物を建築する場合は、燃えしろ設計を行うことや接合部の耐火措置を行うことにより建築可能となっている。これらの開発は樹種としてエゾマツ、トドマツ、バイマツ等で実施され、国産材のスギの実

験データはほとんどないため、平成11年度はスギ及びカラマツを用いた構造用集成材並びに、スギを用いた構造用LVLについて資料を蓄積するためにスギ及びカラマツ集成材及びスギLVLのはり・柱試験体の载荷加熱試験を行ない、その性能評価を行った。本年度は、燃えしろ設計が大断面のみが認められているが、今後国産材を使用した中断面集成材の生産が増加することが想定されるため、中断面集成材においても燃えしろ設計が可能であるかの検討を行うこととした。

3.3 木造建築物の防・耐火設計マニュアルの作成

木造建築物に対しては防火性能が低いと評価され、建築地域や建築面積が制限されていたが、木造に関する開発研究により、昭和62年及び平成5年に建築基準法令の改正と建設省告示の制定等により建築面積や用途などが緩和されてきた。しかし、これらの改訂や制定により木造の防火基準が複雑となったため、需要を開拓するためには容易に理解できるようなマニュアルを作成することが必要である。そこで、平成11年度においては、木造建築物の用途（住宅、事務所、共同住宅、その他特殊建築物等）ごとに建築地域、建築面積、要求される防・耐火性能等を分かり易く表や図にまとめ、代表的な仕様例を図示するなどのマニュアル原案を作成した。本年度は平成12年6月から施行された改正建築基準法令に基づき、原案の手直しを行い、さらに木造建築物や木質内装を行った建築物に対して耐火性能検証法や避難安全検証法が適用できるかの検討を行うためいくつかの建築物を想定し、そのケーススタディを行うこととした。

4. 実施内容要約

建築基準法の性能規定化に伴い高度な耐火性能を有する木造部材の開発と木造建築物の防・耐火設計マニュアルを作成することを目的として本年度の事業を実施することとした。木造部材の耐火性能開発については、木造の外壁、間仕切壁構造及び床構造が1時間耐火構造の性能を有することが可能であるかの検討を行った。木質系架構部材の開発では、国産材のスギやカラマツで構成した構造用集成材及びカラマツ構造用単板積層材（LVL）の柱・はり接合部、並びに中断面集成材のはりに対し載荷加熱試験を行い、荷重支持能力等の耐火性能を評価するためのデータを蓄積した。構造用集成材では日本農林規格により小断面、中断面、大断面の断面構成があるが、今後国産材の活用を考慮すると中断面集成材の生産が増加すると想定される。しかし、燃えしろ設計は大断面を基に開発研究が行われたものであり、中断面集成材についてのデータの蓄積はほとんどない。そこで、本年度は中断面集成材を作成し、載荷加熱試験によってその耐火性能を評価することとした。また、木造建築物の防・耐火に関する建築基準法令は専門家以外の人たちには難解といわれているため、木造建築物の用途ごとに該当する条文や告示等を表や図にまとめてわかりやすく解説することにし、本年度は平成12年6月から施行された改正建築基準法令を基に、昨年度作成した原案を見直して、防・耐火設計マニュアル案を作成することとした。

キーワード

性能評価、1時間耐火構造、載荷加熱試験、在来軸組工法、枠組壁工法、外壁構造、間仕切壁構造、難燃処理枠材、床・天井構造、鋼製野縁、カラマツ・スギ集成材、中断面集成材、カラマツLVL、柱・はり接合部、はり、垂直炉、水平炉、木造建築物、防・耐火設計マニュアル

第1章 木造区画部材開発

I. 目的

平成12年6月から施行された改正建築基準法では、木造建築物でも一定の耐火性能を満足すれば耐火構造として評価されることが可能となった。4階建てを建築する場合は1時間の耐火構造部材が必要とされ、5階建て以上では2時間の耐火構造部材を用いることが要求されている。

本年度は、在来軸組工法、枠組壁工法の外壁構造、間仕切壁構造並びに床・天井構造を製作し、木造で1時間耐火構造の性能を有することが可能であるかの検討を実験的に検証することとした。そのために、既往の実験結果を基に外装材、内装材、天井材、床材の仕様を選定し、ISOの基準に適合する寸法の試験体を製作し、木造を想定した耐火構造の性能評価試験（載荷加熱試験）を行って耐火性能を評価することとした。また、準防火地域に建築する木造建築物の外壁で延焼のおそれのある部分は防火構造とすることが要求され、平成12年建設省告示第1359号の防火構造の構造方法では土塗真壁造裏返し塗りが認められているが、乾式真壁として柱やはりが外壁側に露出したものについての評価は十分でない状況である。そこで、建設省告示を参考に乾式真壁造の試験体を製作し、防火構造の性能評価試験を行い、柱やはりが露出しても防火構造としての性能を満足できるかの検討を行うこととした。

II. 実施概要

木造防火壁の開発については、既往の実験結果（建設省緊急研究「木造3階建て共同住宅の開発」報告書、農林水産省補助事業「平成11年度木造建築物耐火性能把握事業、木造区画部材開発」報告書等）並びに60分準耐火構造に指定されている材料仕様を参考として在来軸組工法と枠組壁工法による壁構造の仕様の選定を行った。在来軸組工法試験体は、試験体左右に2本柱材を配置し、両面に防火被覆材を張った大壁造の外壁、間仕切壁構造及び内装真壁造試験体を製作した。枠組壁工法ではスタッド5本の両面に防火被覆材を張った大壁造外壁・間仕切壁を製作してISO/834に規定する載荷加熱試験を行った。スタッドにはより耐火性能を向上させる目的として難燃薬剤処理を施した2×4材をそれぞれ各1体用いることとした

床・天井構造については、在来軸組工法および枠組壁工法において木製天井野縁としたものと鋼製天井野縁としたものについて、既往の実験結果を基に天井材並びに床材を選定して試験体を製作し、床面に載荷荷重を載荷しながら耐火加熱試験を行うこととした。

Ⅲ. 実施内容

・試験実施概要

在来軸組工法壁構造は、試験体左右にスプルー集成材柱を配置し、両面に防火被覆材を張った大壁造並びに真壁造の外壁、間仕切壁構造を4体製作し、枠組壁工法では難燃薬剤処理を行ったスタッドと無処理スタッド5本の両面に防火被覆材を張った大壁造外壁・間仕切壁を4体製作して載荷加熱試験を行った。

在来軸組工法の天井・床構造では、天井野縁に木製の野縁組のものと鋼製野縁組のものを2体製作し、枠組壁工法の天井・床構造では、根太直張り天井と鋼製野縁吊り天井を2体製作して載荷加熱試験を行った。試験は1時間耐火構造の性能評価方法を用い、1時間の載荷加熱後、載荷を維持したまま3時間放置し、合計4時間中の遮熱性、遮炎性、非損傷性を評価した。

キーワード

在来軸組工法、枠組壁工法、外壁構造、間仕切壁構造、外壁大壁・内壁真壁造、大壁造、耐火構造性能評価試験、載荷加熱試験、軸方向変位、面外方向変位、木製根太、鋼製根太、直張り天井、吊り天井、硬質木片セメント板、繊維混入セメントけい酸カルシウム板、強化せっこうボード、ロックウール、難燃薬剤処理、遮熱性、遮炎性、非損傷性

1. 壁構造の荷重加熱試験

1.1 壁構造試験体

試験体は、在来軸組工法においては内外壁大壁造（No.1）、外壁大壁・内壁真壁造（No.2、No.3）、大壁造間仕切（No.4）の4体、枠組壁工法では外壁大壁構造2体（内一体のスタッドは難燃薬剤処理、No.5、No.6）とし、間仕切大壁造2体（内1体のスタッドは難燃薬剤処理、No.7、No.8）の計8体とした。

試験体寸法は幅3,200mm、高さ3,000mmで、加熱部分の面積は幅3,000mm、高さ2,800mmとした。

在来軸組工法試験体の柱にはヨーロッパアンズ（ホワイトウッド）の構造用集成材を用い、大壁造では105mm角、真壁造では120mm角の柱を試験体左右（芯-芯：1.820mm間隔）に2本配置し、柱-間柱間隔を455mmとした。壁内にはロックウール40K、50mmを充填した。試験体左右に配置した柱部分に荷重するため、柱は上下通しで入れ、上下の桁・土台部材とは切り離して組み立てた。柱と桁・土台とは補助材（30×60mm）を壁上下の両面側から取り付け、柱のぐらつきを押さえた。上下の補助材は上下端から5mm内側に留め付けた。大壁仕様では面材は補助材の内側から張り付けた。下張り材にせっこうボード21mmを用いたものは、幅455mmのものを用いたため上下の目地部が重なることとなった。外壁材では、横目地は上下材の目地が重なったが、縦目地は重ならないように張り付けた。

枠組壁工法試験体スタッドには、38mm×89mmのS-P-Fの204材を用い、試験体外側のスタッド及び上下枠は2本合わせ、スタッド間隔を455mmとし、試験体中央部にスタッド5本を配置した。難燃薬剤処理スタッドは、サザンイエローパインを越井木材工業において加圧注入処理（加圧圧力は12.2Kg/cm²以上）したのものを用いた。薬剤はホウ酸系（商品名：バーネックス、JWPAA5265）を用い、処理薬剤濃度15%、注入量511Kg/m³のものを用いた。

スタッド5本に荷重荷重が加わるように、両端のスタッドと切り離すため、上枠を切り離し、荷重長2,270mmとした。壁内にはロックウール40K、50mmを充填し、面材は上下端から5mm内側の位置から張り付けた。

在来軸組工法の試験体概要図を図1. 1-1及び図1. 1-2に、枠組壁工法の試験体概要図を図1. 1-3に示す。

また各試験体の壁構成材料の耐火性能を基にして、既往の結果を参考に表面材料を選定し、表1. 1-1及び下記に示す仕様とした。

- ① 試験体No.1 EE-KS18+SKS15(C)、在来軸組工法、外壁構造（加熱面：外壁側）
- | | |
|-----|---|
| 外壁側 | ：硬質木片セメント板18mm下張り、
繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り |
| 内壁側 | ：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り |
| 壁内 | ：ロックウール40K、50mm充填 |
| 柱 | ：ホワイトウッド構造用集成材、105mm角 |

試験体No.1の組立図を図1. 1-4に示す。

- ② 試験体No.2 EES-KS18+SKS18(C)、在来軸組工法、外壁構造、加熱面：外壁側
試験体No.3 EIS-KS18+SKS18(C)、在来軸組工法、外壁構造、加熱面：内壁側
- 外壁側：硬質木片セメント板18mm下地、
繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り
- 内壁側：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
(真壁構造)
- 壁内：ロックウール40K、50mm充填
柱：ホワイトウッド構造用集成材、120mm角
- 試験体No.2及びNo.3の組立図を図1. 1-5に示す。

- ③ 試験体No.4 P-GBX21+GBX15(C)、在来軸組工法、間仕切壁構造
- 両面：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
- 壁内：ロックウール40K、50mm充填
- 柱：ホワイトウッド構造用集成材、105mm角
- 試験体No.4の組立図を図1. 1-6に示す。

- ④ 試験体No.5 EE-KS18+SKS15(D)、枠組壁工法、外壁構造
- 外壁側：硬質木片セメント板18mm下地、
繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り
- 内壁側：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
- 壁内：ロックウール40K、50mm充填
- スタッド：SPF、2×4材(38×98mm)
- 試験体No.5の組立図を図1. 1-7に示す。

- ⑤ 試験体No.6 EE'-KS18+SKS15(D)、枠組壁工法、外壁構造
- 外壁側：硬質木片セメント板18mm下地、
繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り
- 内壁側：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
- 壁内：ロックウール40K、50mm充填
- スタッド：SPF、2×4材(38×98mm)、ホウ酸系難燃薬剤処理
- 試験体No.6の組立図を図1. 1-7に示す。

- ⑥ 試験体No.7 P-GBX21+GBX15(D)、枠組壁組工法、間仕切壁構造
- 両面：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
- 壁内：ロックウール40K、50mm充填
- スタッド：SPF、2×4材(38×98mm)

試験体No.7の組立図を図1.1-8に示す。

⑦ 試験体No.8 P'-GBX21+GBX15(D)、枠組壁工法、間仕切壁構造

両面：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り

壁内：ロックウール40K、50mm充填

スタッド：SPF、2×4材(38×98mm)、ホウ酸系難燃薬剤処理

試験体No.8の組立図を図1.1-8に示す。

各壁体構成材料の比重、含水率等を表1. 1-2に示す。

表1. 1-2 各壁鋼製材料の比重、含水率一覧表

記号	壁構成材料（公称厚さ）	比重	含水率
柱	構造用集成材（ホワイトウッド）105mm角	0.48	13.1%
柱	構造用集成材（ホワイトウッド）120mm角	0.45	10.7%
間柱	ベイツガ 45×105mm	0.56	71.6%
間柱	ベイツガ 45×70mm	0.44	15.2%
壁つなぎ	ベイツガ 18×45mm	0.46	12.8%
スタッド	SPF:38×89mm	0.44	19.5%
スタッド	SPF（ホウ酸系難燃薬剤処理）:38×89mm	0.69	18.9%
KS18	硬質木片セメント板 18mm厚	1.49	14.7%
SKS18	繊維混入セメントけい酸カルシウム板 15mm厚	0.94	3.3%
GBX21	強化せっこうボード 21mm厚	0.78	0.3%
GBX15	強化せっこうボード 15mm厚	0.77	0.4%

1.2 試験方法

1.2.1 加熱方法

加熱試験は、都市ガスを燃料とする垂直加熱試験炉（内法：幅3.5m、高さ3.5m）により行った。加熱炉は、図1. 2-1に示すように、耐火煉瓦で組み立て、バーナーヘッド以外の部分にセラミックファイバー（アルミナシリケート繊維）を200mm厚張り付けた構造で、加熱炉と試験体との間に鉄骨の両面にセラミックボードを張った仕切り壁を取り付け、幅3.0m、高さ2.8mの範囲を加熱できるような開口部を設けた。試験方法は、性能評価機関の防耐火業務方法書による耐火性能試験方法を基に、ISO/834に規定する耐火加熱標準曲線に沿って炉内温度を制御し、1.2.2に示すように载荷をしながら加熱を行った。炉内加熱温度は、径3.2mmのシース熱電対を先端を開けたステンレス保護管に挿入して先端を露出し、先端の熱接点部分が加熱面から10cmの位置で10cm以上試験体面に沿うように、炉内に均等に11点設置した。加熱は、上記耐火加熱標準曲線によって1時間载荷加熱し、その後载荷を継続したまま最長3時間まで放置し、合計4時間の試験時間中で試験体の性能評価を行う。試験時間中に加熱側の火炎が壁体を貫通するか、試験体の座屈を生じるかまたは変位の急上昇により载荷が困難になれば、その時点で試験を終了する。耐火性能の評価は、①試験時間中に最大軸方向変位量（ $H \leq h/100$ ：高さ（ $h=3,200\text{mm}$ ）に対し32.0mm）または軸方向変位速度（ $V \leq 3h/1000$ ：高さ（ $h=3,200\text{mm}$ ）で9.60mm/分）を超えた時間、②試験体裏面温度の平均温度が初期温度+140℃を超えた時間又は試験体裏面の最高温度が初期温度+180℃を超えた時間、③試験体が燃え抜けた時間、又は④载荷が困難となった時間のうち、最も早い時間を耐火性能とした。また、試験時間中に上記①～④の条件を満足すれば、1時間耐火構造としての性能を有すると評価することとした。

1.2.2 載荷試験方法

(1) 在来軸組工法試験体

試験体には、柱材の長期許容座屈応力度に相当する荷重を載荷した。試験体の柱には大壁造では105mm角の、真壁造では120mm角のホワイトウッド構造用集成材2本を用い、荷重を受ける柱の長さ（試験体高さ）を3,000mmとしたので、下記に示す計算方法により柱2本に対し大壁造では約6.6 ton（65kN）、真壁造では約12.1 ton（118.4kN）の圧縮力を載荷した。

柱1本当たりの載荷荷重の計算

① 大壁造（柱：105mm角）

L_x (cm)	=	10.5	座屈方向のせい（材厚）
L_b (cm)	=	10.5	材幅
A (cm ²)	=	110.25	断面積
$i = L_x / 3.46$ (cm)	=	3.035	断面二次半径（3.46=長方形断面）
l_k (cm)	=	300	座屈長さ（材長）
$\lambda = l_k / i$	=	98.86	細長比
η	=	0.3114	座屈低減係数
${}_l f_c$ (kgf/cm ²)	=	96.5	長期許容圧縮応力度（スギ）
${}_l f_k (= \eta \times {}_l f_c)$ (kgf/cm ²)	=	30.042	長期許容座屈応力度
$N (= {}_l f_k \times A)$ (kgf)	=	3,312	圧縮応力度
$P (= N \times 2)$ (Kgf)	=	6,624	柱2本分、載荷荷重
P (kN)	=	65.0	載荷荷重

② 真壁造（柱：120mm角）

L_x (cm)	=	12.0	座屈方向のせい（材厚）
L_b (cm)	=	12.0	材幅
A (cm ²)	=	144.0	断面積
$i = L_x / 3.46$ (cm)	=	3.468	断面二次半径（3.46=長方形断面）
l_k (cm)	=	300	座屈長さ（材長）
$\lambda = l_k / i$	=	86.5	細長比
η	=	0.435	座屈低減係数
${}_l f_c$ (kgf/cm ²)	=	96.5	長期許容圧縮応力度（スギ）
${}_l f_k (= \eta \times {}_l f_c)$ (kgf/cm ²)	=	41.962	長期許容座屈応力度
$N (= {}_l f_k \times A)$ (kgf)	=	6,043	圧縮応力度
$P (= N \times 2)$ (Kgf)	=	12,086	柱2本分、載荷荷重
P (kN)	=	118.4	載荷荷重

(2) 枠組壁工法試験体

試験体には、壁体の中央部分に、スタッド材の長期許容座屈応力度に相当する荷重を載荷した。試験体のスタッドには38×89mmの断面寸法のS-P-F材を用い、荷重を受けるスタッドの長さを2,848mmとしたので、下記に示す計算方法により載荷壁長さ2,730mmに対し2.4ton(約23.5kN)の圧縮力を載荷した。

スタッド1本当たりの載荷荷重の計算

L_x (cm)	=	8.9	座屈方向のせい(材厚)
L_b (cm)	=	3.8	材幅
A (cm ²)	=	33.82	断面積
$i=L_x/3.46$ (cm)	=	2.572	断面二次半径(3.46=長方形断面)
l_k (cm)	=	284.8	座屈長さ(材長)
$\lambda=l_k/i$	=	110.72	細長比
η	=	0.245	座屈低減係数
$l.f_c$ (kgf/cm ²)	=	58.3	長期許容圧縮応力度(SPF)
$l.f_k(=\eta \times l.f_c)$ (kgf/cm ²)	=	14.274	長期許容座屈応力度
$N(=l.f_k \times A)$ (kgf)	=	482.74	圧縮応力度
$P(N \times 5)$ (Kgf)	=	2,414	スタッド5本分、載荷荷重
P (kN)	=	23.7	載荷荷重

よって、スタッド5本分では、483(kgf)×5(本分)=2.4(t)とした。

本実験では、図1.2-1に示すように2本のオイルジャッキで下部のH鋼を上昇させることによって壁体に加力を行い、ロードセルの抵抗変化によって載荷荷重を計測し、設定荷重を保持できるよう制御した。

1.2.3 試験体の温度測定位置

加熱中の試験体の温度変化を下記に示す位置にJIS C 1602に定める0.75級以上の性能を有する径0.65mmのK(CA)熱電対を取り付けた。在来軸組工法の温度測定位置は、大壁造を図1.2-2に、内壁真壁造で外壁側加熱を図1.2-3、内壁真壁造で内壁側加熱を図1.2-4に、大壁間仕切構造を図1.2-5に、枠組壁工法の温度測定位置を図1.2-6に示す。

1) 試験体No.1“EE-KS18+SKS18(C)”、在来軸組工法、外壁大壁造(図1.2-2)

- ① 加熱側下地材料裏面温度(測定点番号:1~14)14点
- ② 柱・間柱表面温度(測定点番号:15~25)11点
- ③ 断熱材裏面温度(測定点番号:26~37)12点
- ④ 試験体裏面温度(測定点番号:38~47)10点、ディスク熱電対
- ⑤ 試験体裏面、可動熱電対(測定点番号:48)1点、ディスク熱電対

2) 試験体No.2 "EES-KS18+SKS18(C)"、在来軸組工法、外壁大壁・内壁真壁造
(図1. 2-3)

- ① 加熱側下地材料裏面温度 (測定点番号: 1~14) 14点
- ② 断熱材裏面温度 (測定点番号: 15~26) 12点
- ③ 柱、裏面側角部温度 (測定点番号: 27~34) 8点
- ④ 試験体裏面温度 (測定点番号: 35~44) 10点、ディスク熱電対
- ⑤ 試験体裏面、可動熱電対 (測定点番号: 45) 1点、ディスク熱電対

3) 試験体No.3 "EIS-GBX21+GBX15(C)"、在来軸組工法、内壁真壁・外壁大壁造
(図1. 2-4)

- ① 加熱側下地材料裏面温度 (測定点番号: 1~14) 14点
- ② 柱・間柱表面温度 (測定点番号: 15~28) 14点
- ③ 断熱材裏面温度 (測定点番号: 29~40) 12点
- ④ 試験体裏面温度 (測定点番号: 41~49) 10点、ディスク熱電対
- ⑤ 試験体裏面、可動熱電対 (測定点番号: 50) 1点、ディスク熱電対

4) 試験体No.4 "P-GBX21+GBX15(C)"、在来軸組工法、大壁間仕切造 (図1. 2-5)

- ① 加熱側下地材料裏面温度 (測定点番号: 1~14) 14点
- ② 柱・間柱表面温度 (測定点番号: 15~25) 11点
- ③ 断熱材裏面温度 (測定点番号: 26~37) 12点
- ④ 試験体裏面温度 (測定点番号: 38~47) 10点、ディスク熱電対
- ⑤ 試験体裏面、可動熱電対 (測定点番号: 48) 1点、ディスク熱電対

5) 試験体No.5~No.8、枠組壁工法、外壁構造、間仕切壁構造 (図1. 2-6)

- ① 加熱側下地材料裏面温度 (測定点番号: 1~14) 14点
- ② 柱・間柱表面温度 (測定点番号: 15~25) 11点
- ③ 断熱材裏面温度 (測定点番号: 26~37) 12点
- ④ 試験体裏面温度 (測定点番号: 38~47) 10点、ディスク熱電対
- ⑤ 試験体裏面、可動熱電対 (測定点番号: 48) 1点、ディスク熱電対

試験体裏面温度の測定には、厚さ0.2mm、径12mmのタフピッチ銅板に径0.65mmのK(CA)熱電対を溶接したディスク型熱電対を用い、裏面側を厚さ2mm、2cm角のセラミック板で覆った。

1.2.4 試験体の軸・面外方向変位測定位置

加熱中の試験体の軸・面外方向変位を下記に示す位置で測定した。在来軸組工法の測定位置を図1. 2-7に、枠組壁工法の測定位置を図1. 2-8に示す。

- ・ 載荷荷重位置 (測定点番号: 1、2)

軸方向変位（測定点番号：③，④）

- ・試験体下部（載荷されている両端の柱、スタッドの下端部）

面外方向変位（測定点番号：⑤～⑨）

- ・試験体上部(3/4)（柱、中央スタッド）
- ・試験体中央部(1/2)（間柱、スタッド）及び左右（柱、スタッド）
- ・試験体下部(1/4)（間柱、中央スタッド）

1.2.5 炉内圧力の測定

加熱中の炉内圧力を、(株)サヤマトレーディングの微差圧トランスデューサー モデル 264（SETRA社製） $\pm 2.54\text{mmHg}$ （出力0～5VDC）を用い、バーチカルペンレコーダー TYPE 3056（YOKOGAWA社製）に記録した。測定位置を図1.2-1に示す。

1.2.6 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によって記録した。

1.2.7 目視記録

加熱中の試験体の加熱側・非加熱側の変化状況を、目視により観察記録した。

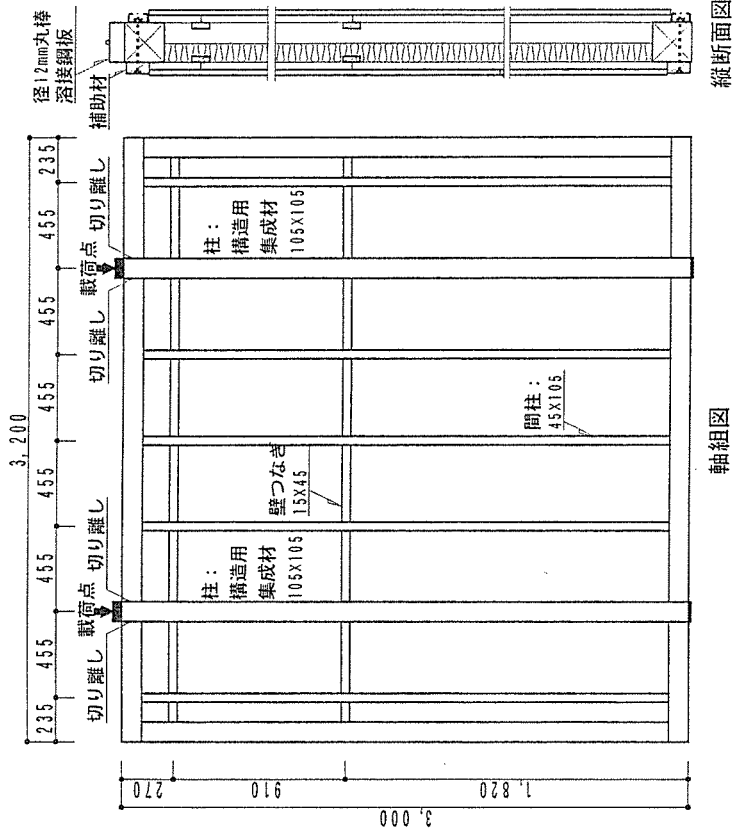
1.2.8 炭化状況の測定

試験体は加熱終了後、軸組工法試験体では載荷された柱と間柱について、枠組壁工法試験体では載荷された5本のスタッドについて、上からおよそ1/4位置、中央、下から1/4位置の炭化深さの測定を行った。

表1. 1-1 壁構造、工法別、試験体仕様一覧表

記号	部位	工法	加熱側被覆材	非加熱側被覆材	壁内部	備考
1 EE-KS18+ SKS15(C)	外壁	在来軸組	硬質木片セメント板(18)+ 繊維混入セメントけい酸カルシウム板(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	大壁仕様
2 EES-KS18+ SKS15(C)	外壁	在来軸組 内装真壁	硬質木片セメント板(18)+ 繊維混入セメントけい酸カルシウム板(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	真壁仕様 柱:120角
3 EIS-GBX21+ GBX15(C)	外壁	在来軸組 内装真壁	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	硬質木片セメント板(18)+ 繊維混入セメントけい酸カルシウム板(15)	RW40K(50)	真壁仕様 柱:120角
4 P-GBX21+ GBX15(C)	間仕切	在来軸組	強化石こうボード(21) 強化石こうボード(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	大壁仕様
5 EE-KS18+ SKS15(D)	外壁	枠組壁	硬質木片セメント板(18)+ 繊維混入セメントけい酸カルシウム板(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40k(50)	大壁仕様
6 EE'-KS18+ SKS15(D)	外壁	枠組壁	硬質木片セメント板(18)+ 繊維混入セメントけい酸カルシウム板(15)	強化石こうボード(21) 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	枠材:薬剤 処理
7 P-GBX21+ GBX15(D)	間仕切	枠組壁	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	大壁仕様
8 P'-GBX21 +GBX15(D)	間仕切	枠組壁	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	強化石こうボード(21)+ 強化石こうボード(15)	RW40K(50)	枠材:薬剤 処理

RW:ロックウール、記号(C)は在来軸組工法を(D)は枠組壁工法を表す。材料名の()は厚さを示す。



縦断面図

軸組図

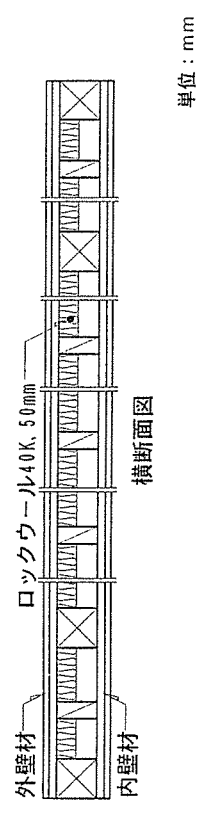
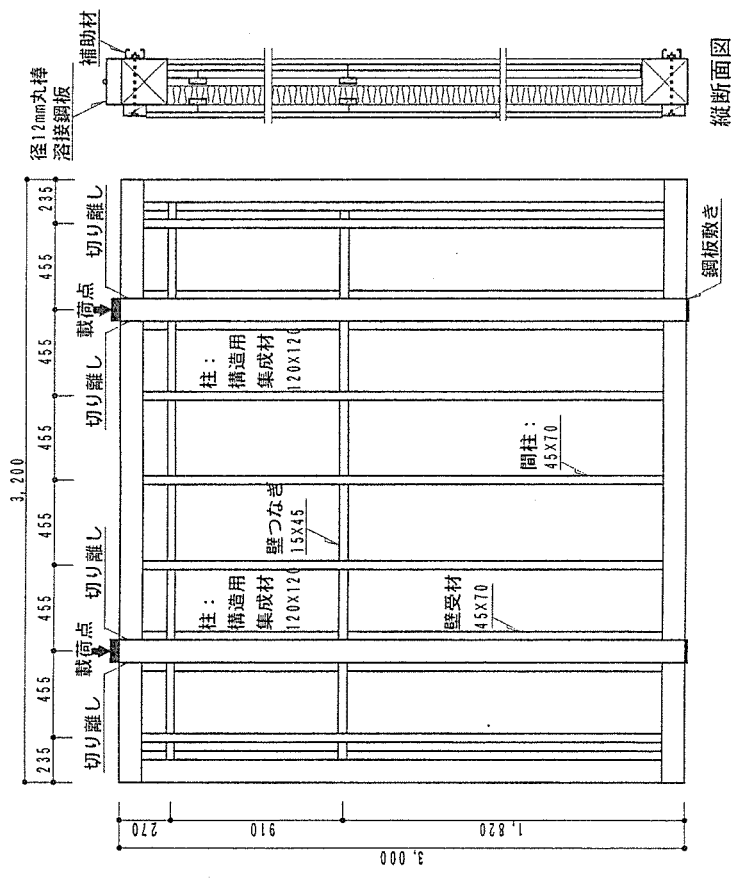
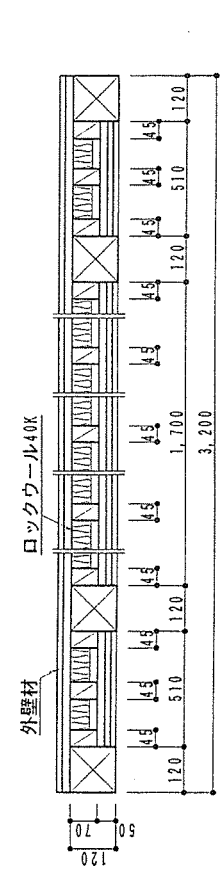


図1.1-1 在来軸組、大壁造試験体軸組図
外壁、間仕切壁、試験体No.1、No.4



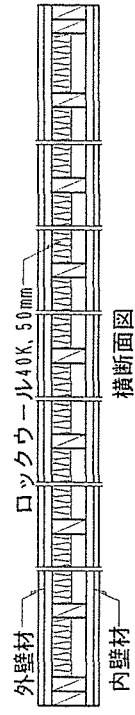
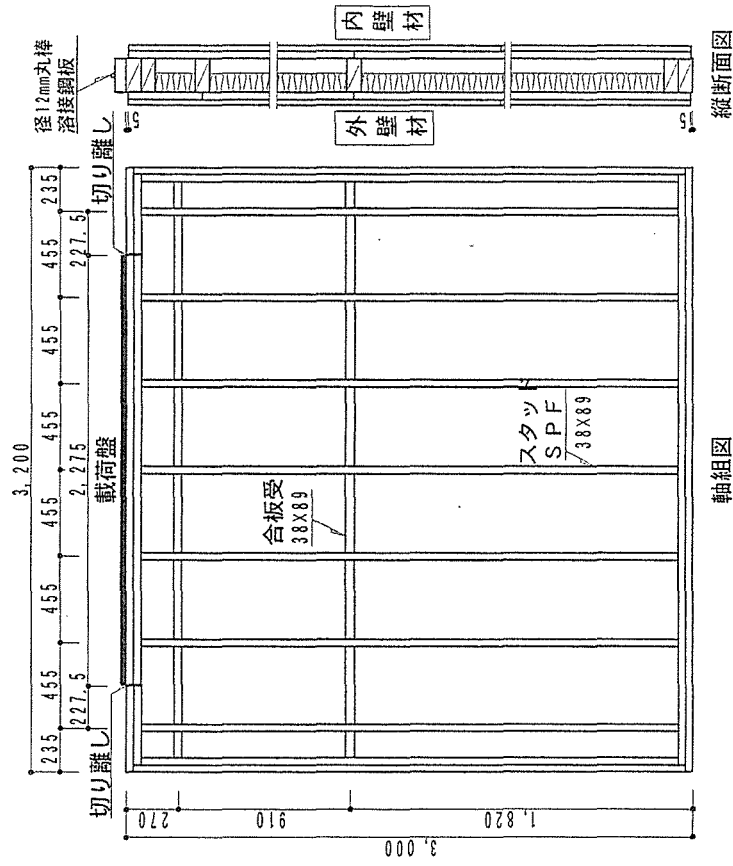
縦断面図

軸組図



横断面図

図1.1-2 在来軸組、外壁大壁・内壁真壁造
試験体軸組図、試験体No.2、3



単位 : mm

図1.1-3 枠組壁、外壁・間仕切壁試験体軸組図
試験体No.5~No.8

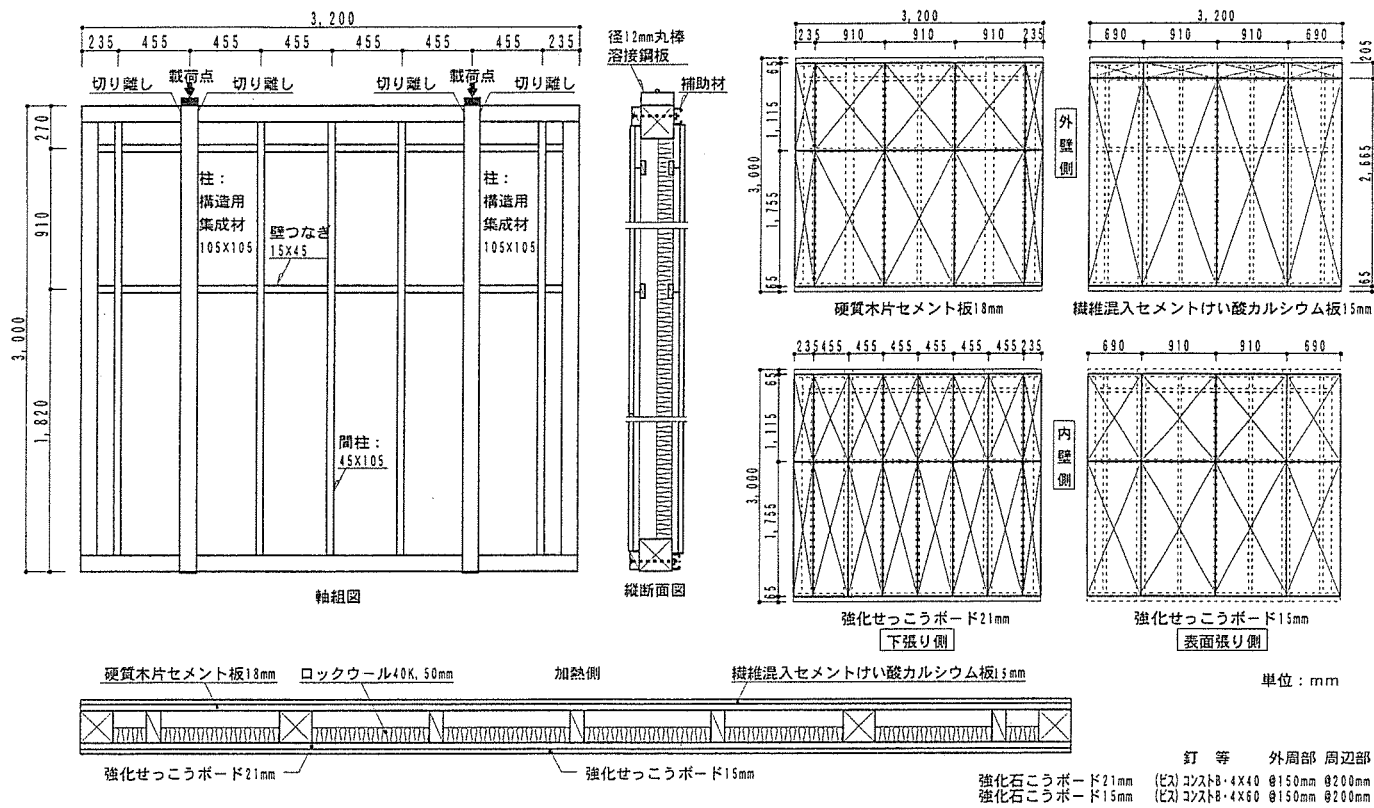


図1.1-4 試験体No.1 在来軸組、大壁造外壁試験体組立図・面材割付図

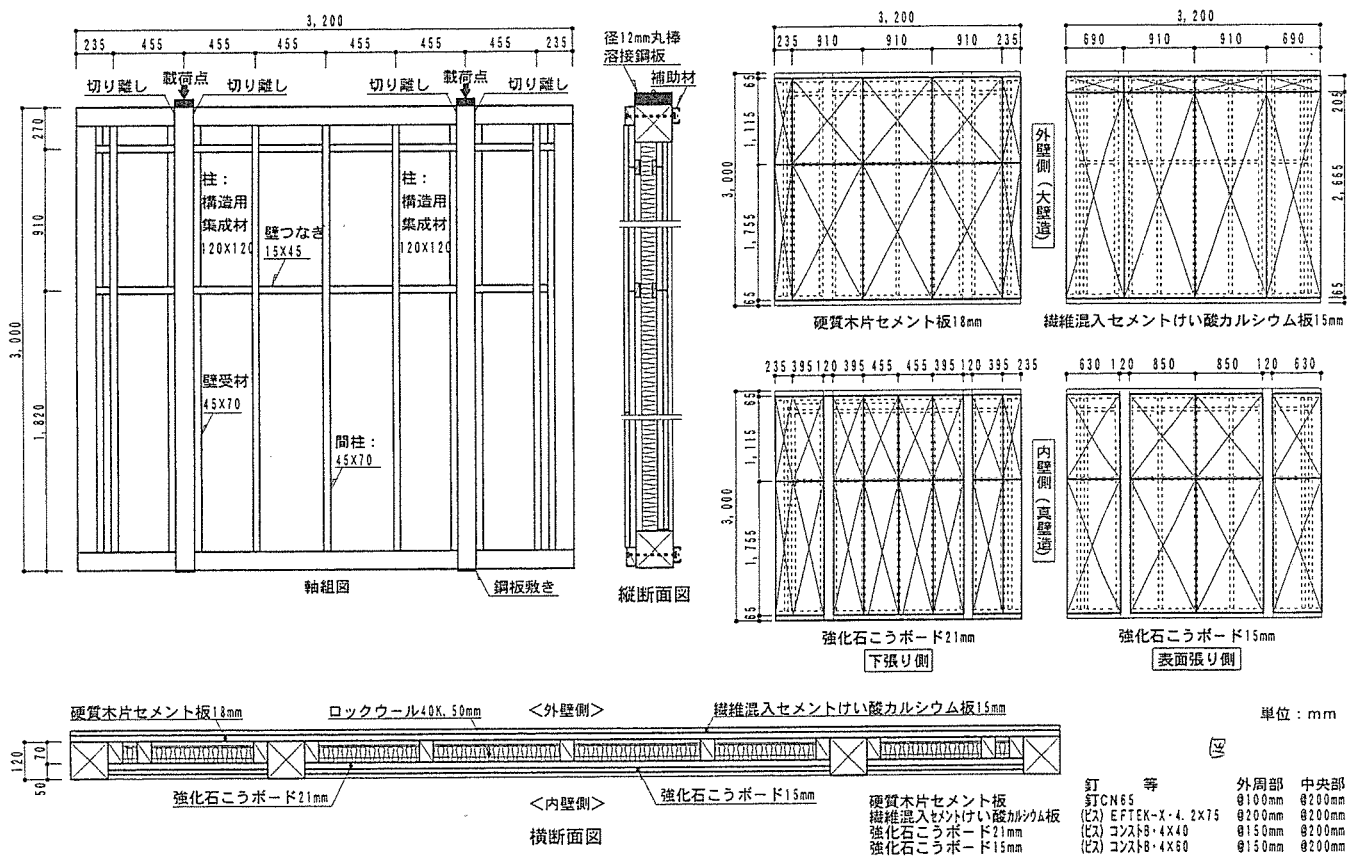


図1.1-5 試験体No.2・3 在来軸組、外壁大壁・内壁真壁試験体組立図・面材割付図

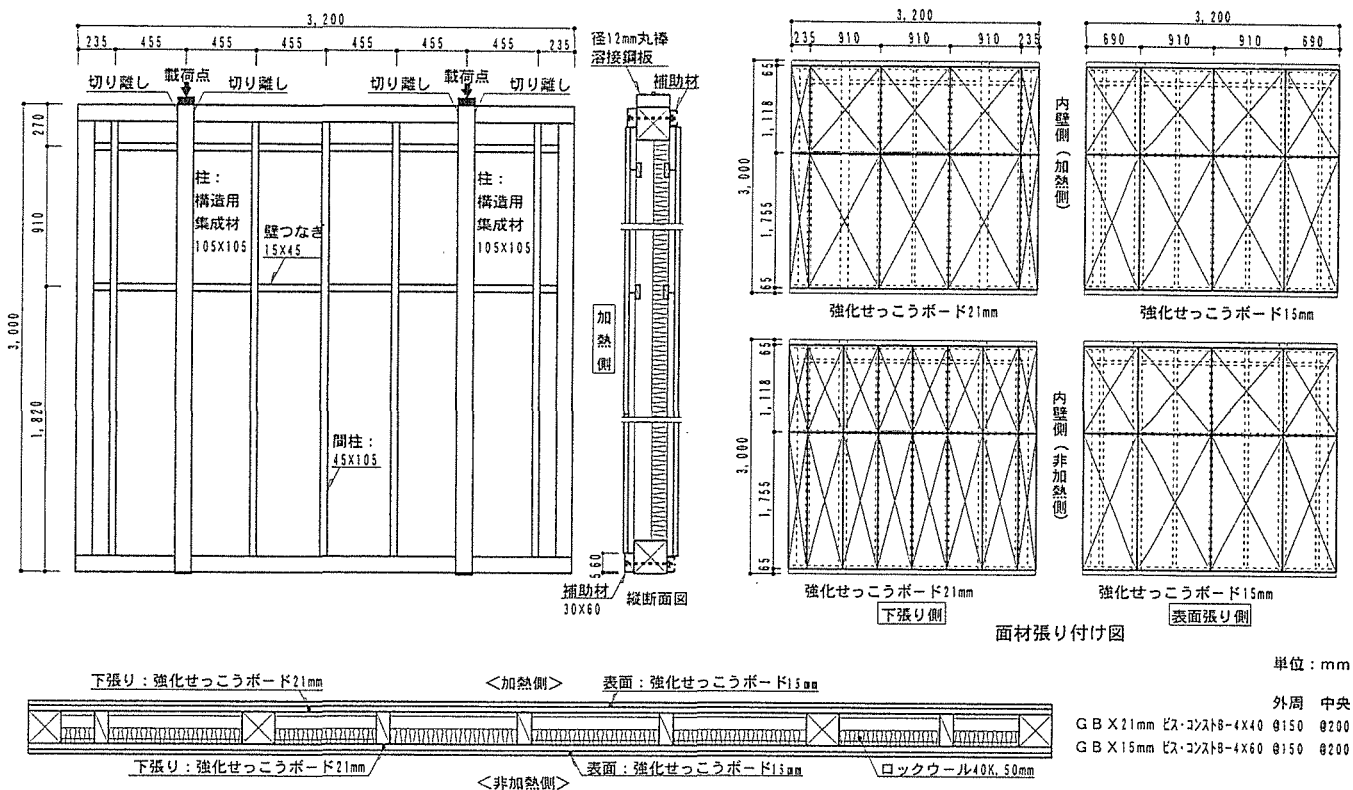


図1.1-6 試験体No.4 在来軸組、間仕切壁試験体組立図・面材割付図

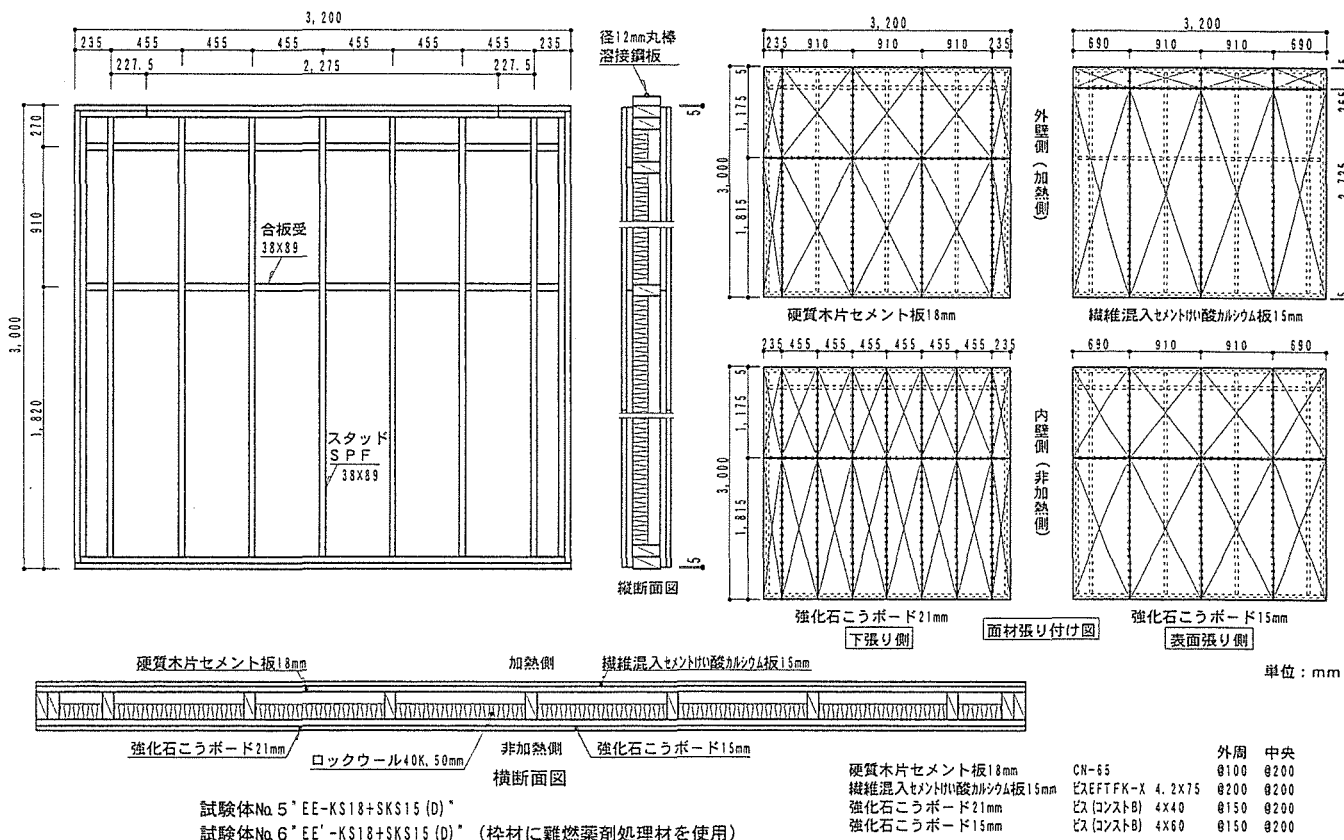


図1.1-7 試験体No.5・6 枠組壁工法、外壁構造試験体組立図・面材割付図

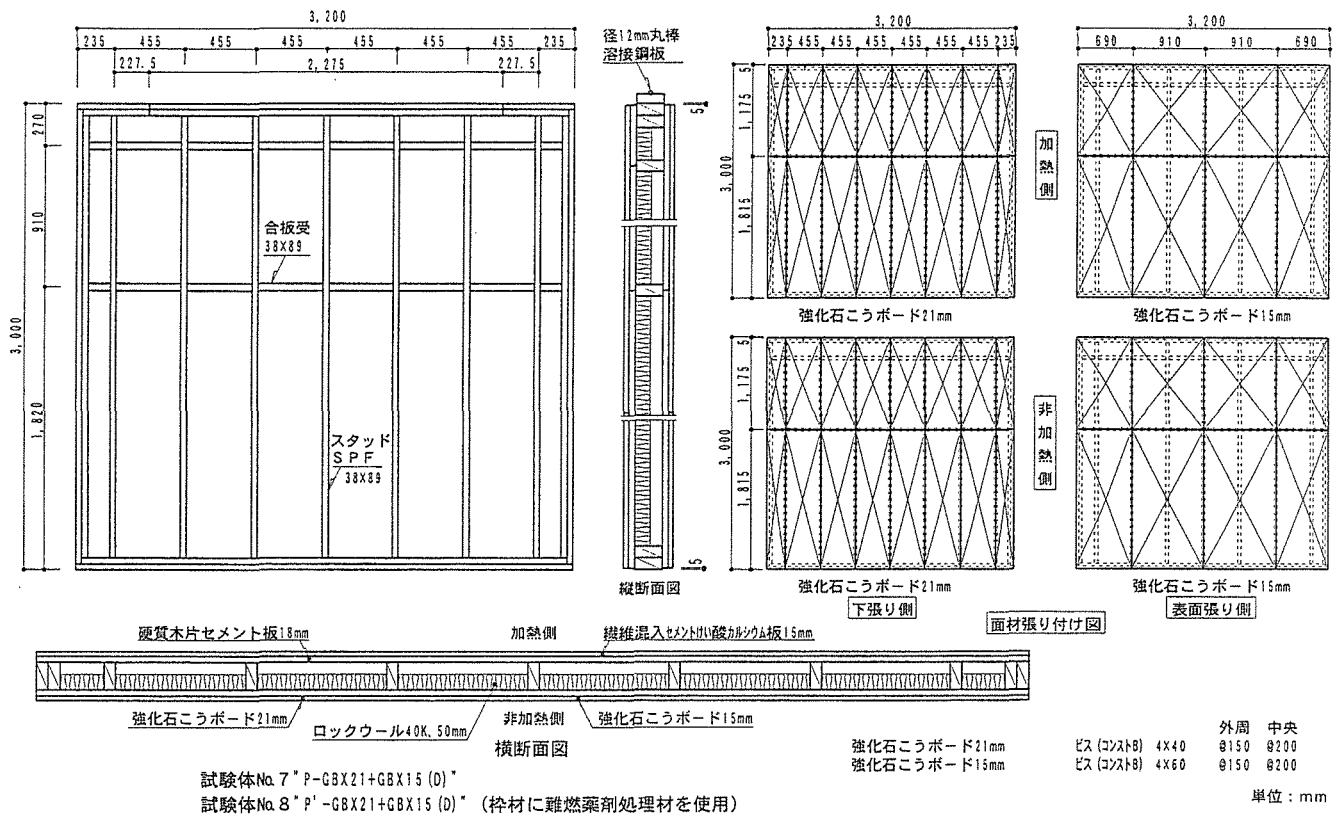
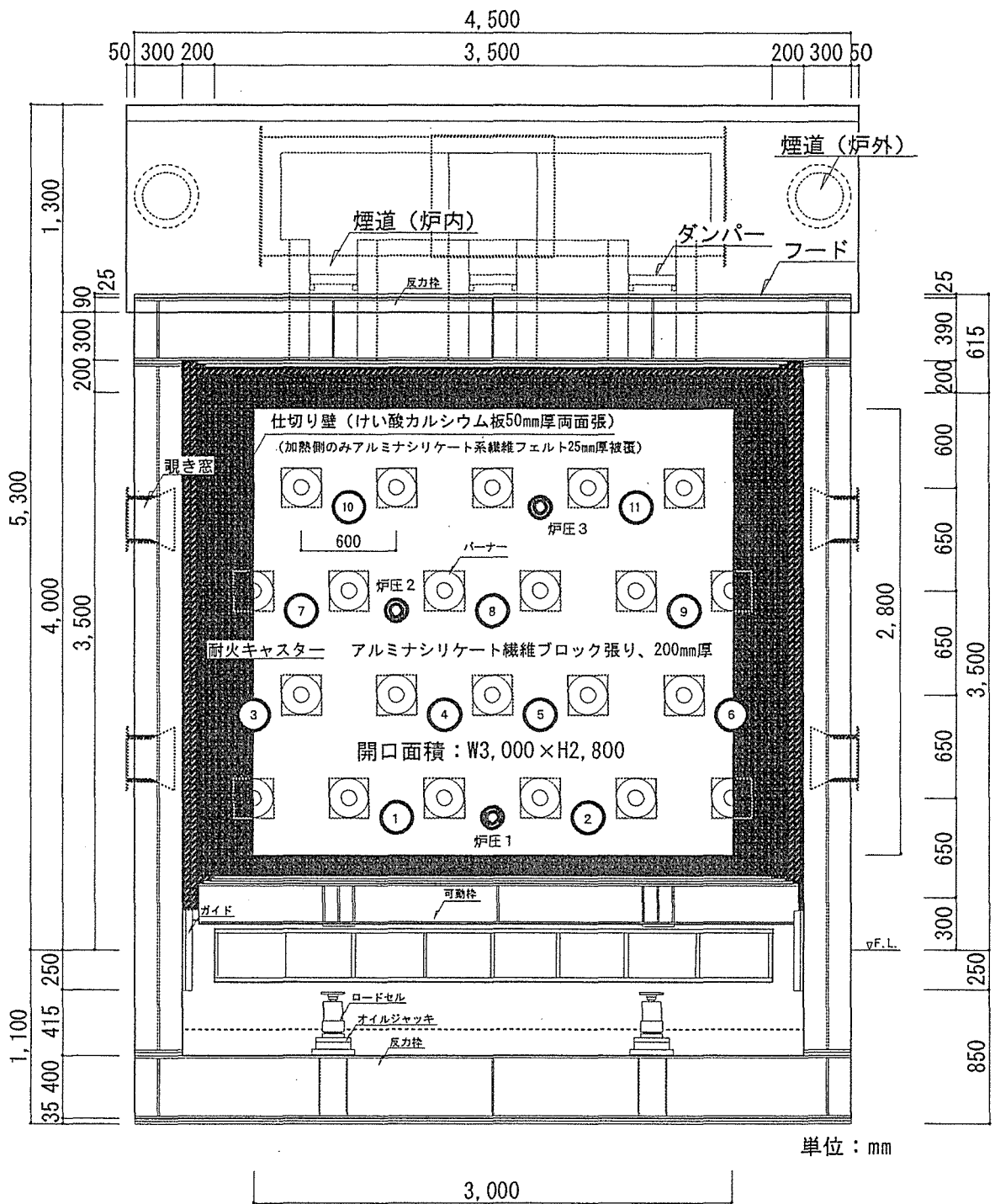


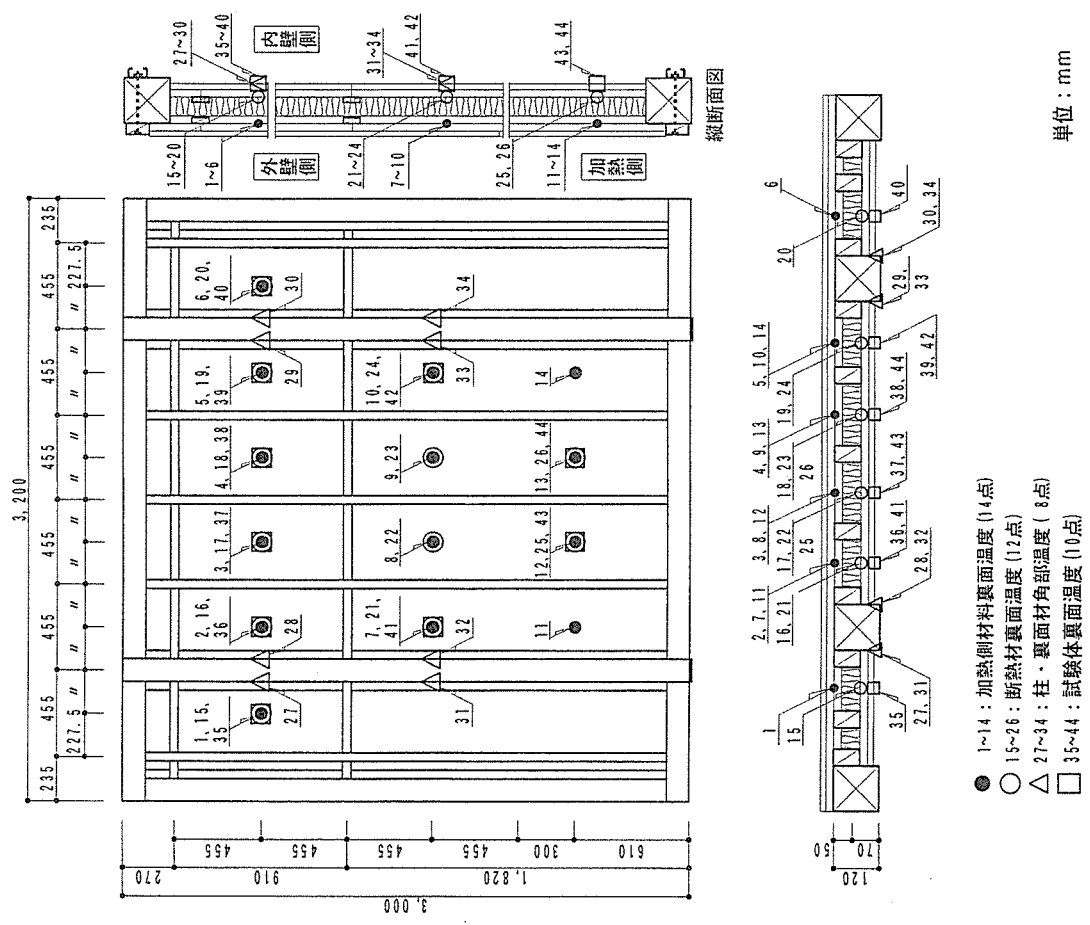
図1.1-8 試験体No.7・8 枠組壁工法、間仕切壁構造試験体組立図・面材割付図



記号

- ①～⑪：炉内温度測定位置
- ◎：炉内圧力測定位置

図1.2-1 鉛直載荷加熱試験炉、温度測定位置



(加熱面 : 外壁側)

図1.2-3 在来組壁工法、外壁大壁・内壁真壁構造温度測定位置

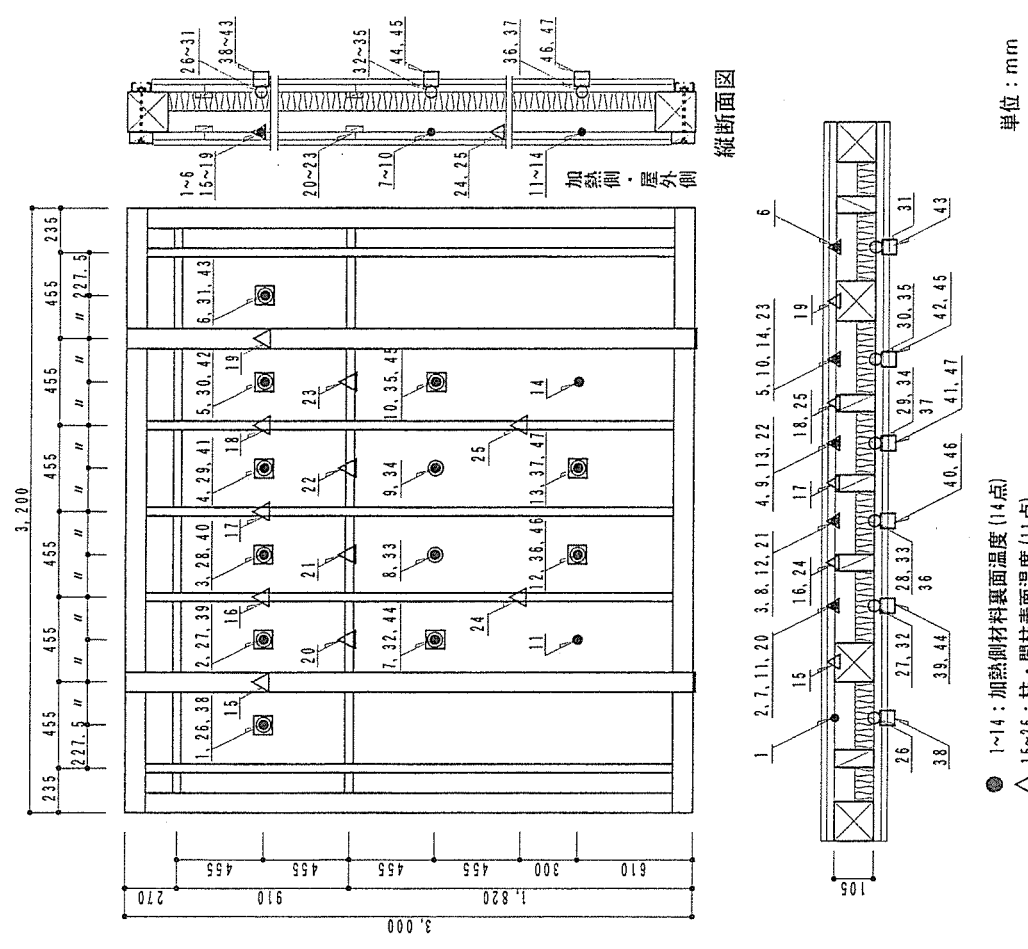
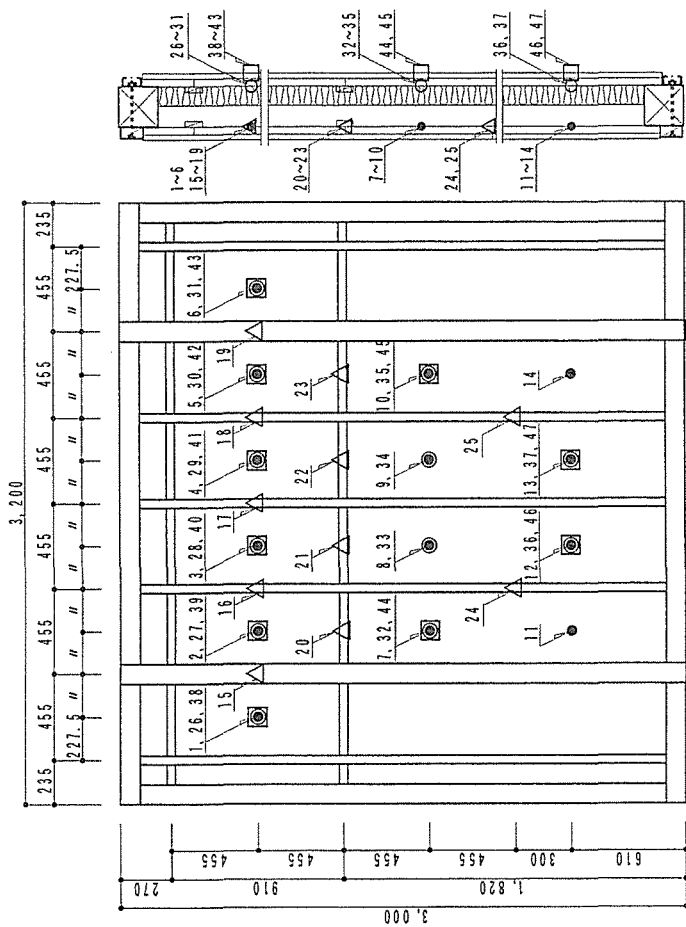


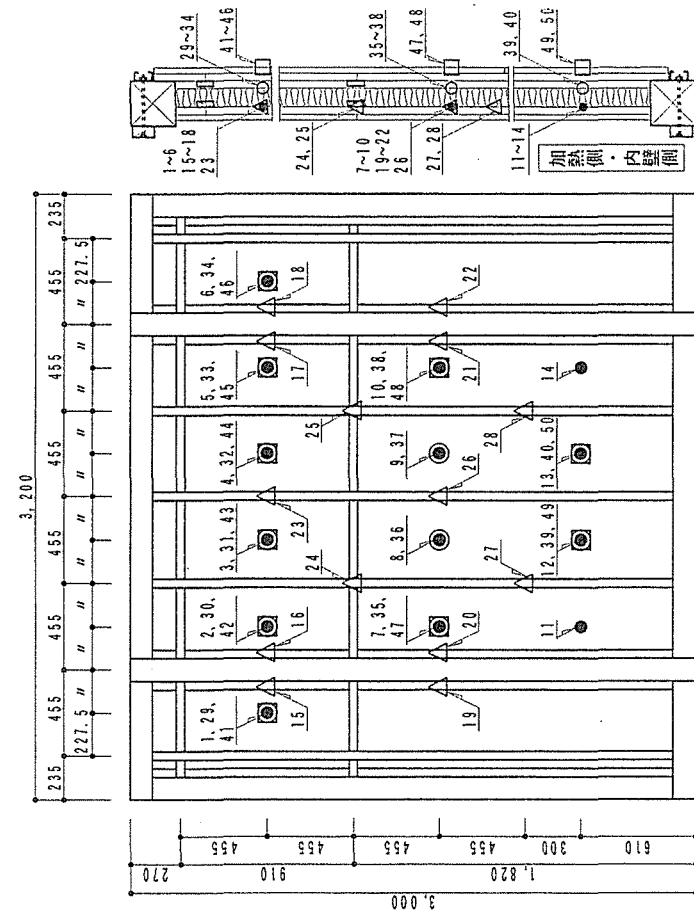
図1.2-2 試験体No.1、在来軸組・大壁外壁構造温度測定位置



縦断面図

- 1~14: 加熱側材料裏面温度 (14点)
- △ 15~25: 柱・間柱表面温度 (11点)
- 26~37: 断熱材裏面温度 (12点)
- 38~47: 試験体裏面温度 (10点)、ディスク熱電対

単位: mm



縦断面図

- 1~14: 加熱側材料裏面温度 (14点)
- △ 15~28: 柱・間柱表面温度 (14点)
- 29~40: 断熱材裏面温度 (12点)
- 41~50: 試験体裏面温度 (10点)

単位: mm

図1.2-5 在来軸組壁工法、間仕切壁構造温度測定位置

図1.2-4 在来軸組壁工法、内壁真壁・外壁大壁造温度測定位置

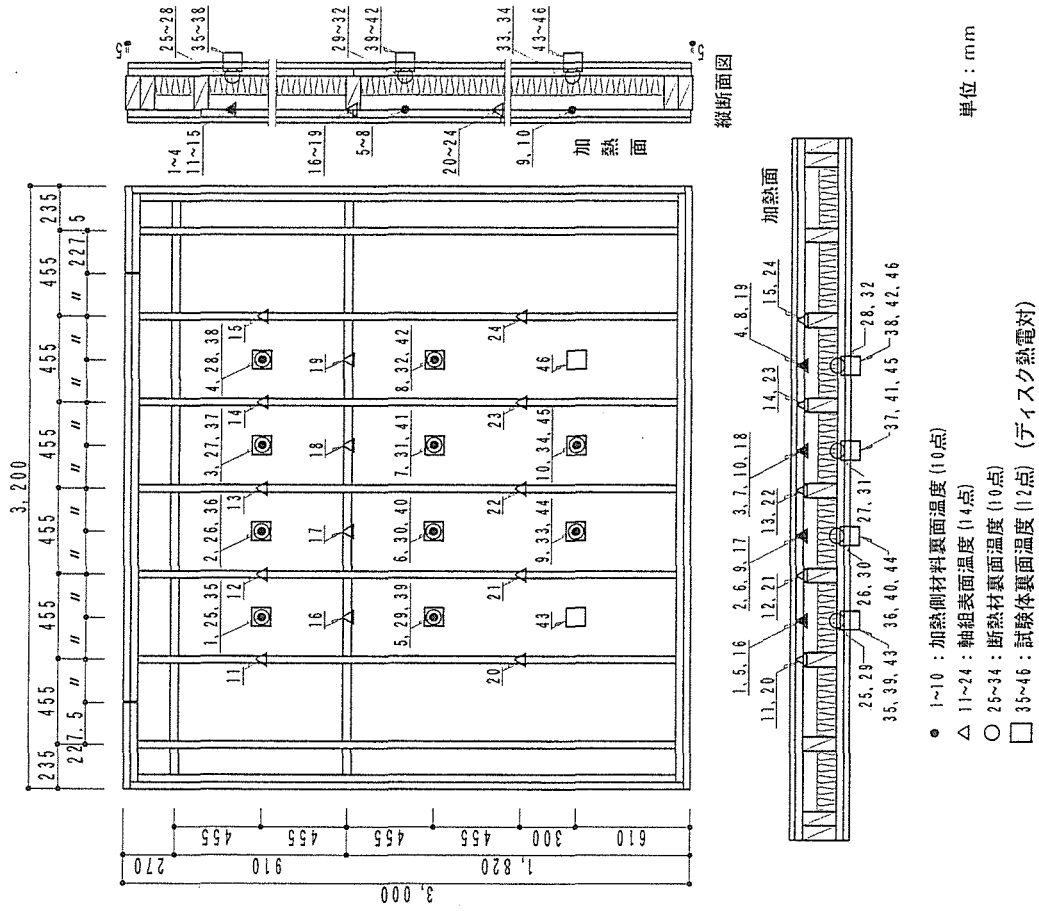


図1.2-6 枠組壁工法、大壁造温度測定位置

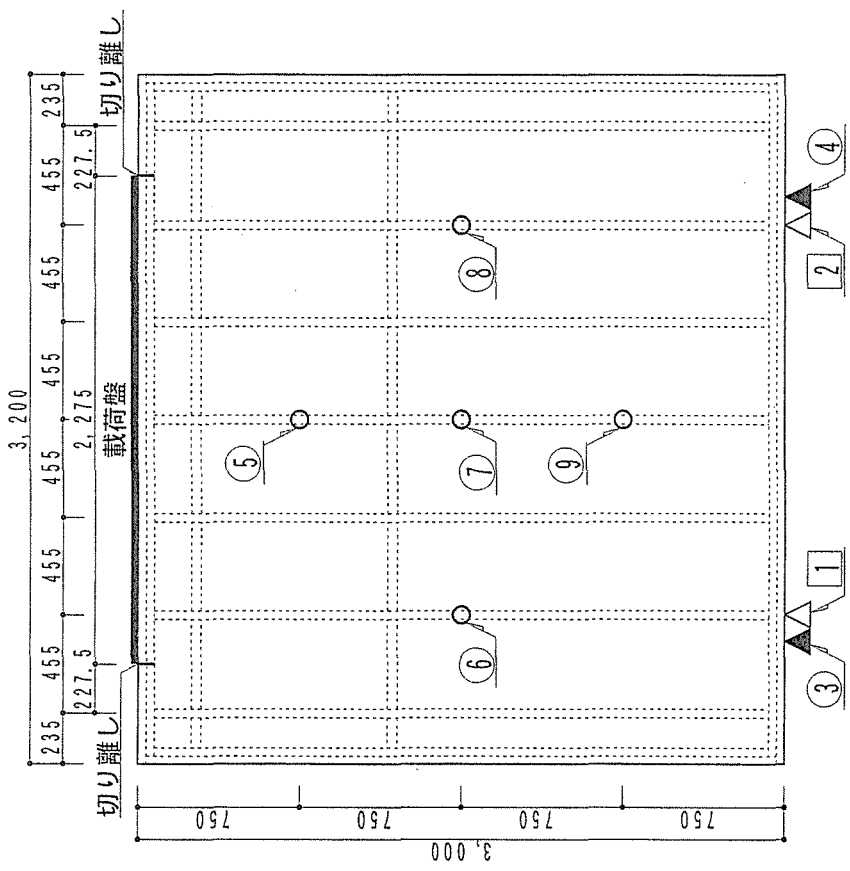


図1.2-8 枠組壁工法、荷重・変位測定位置

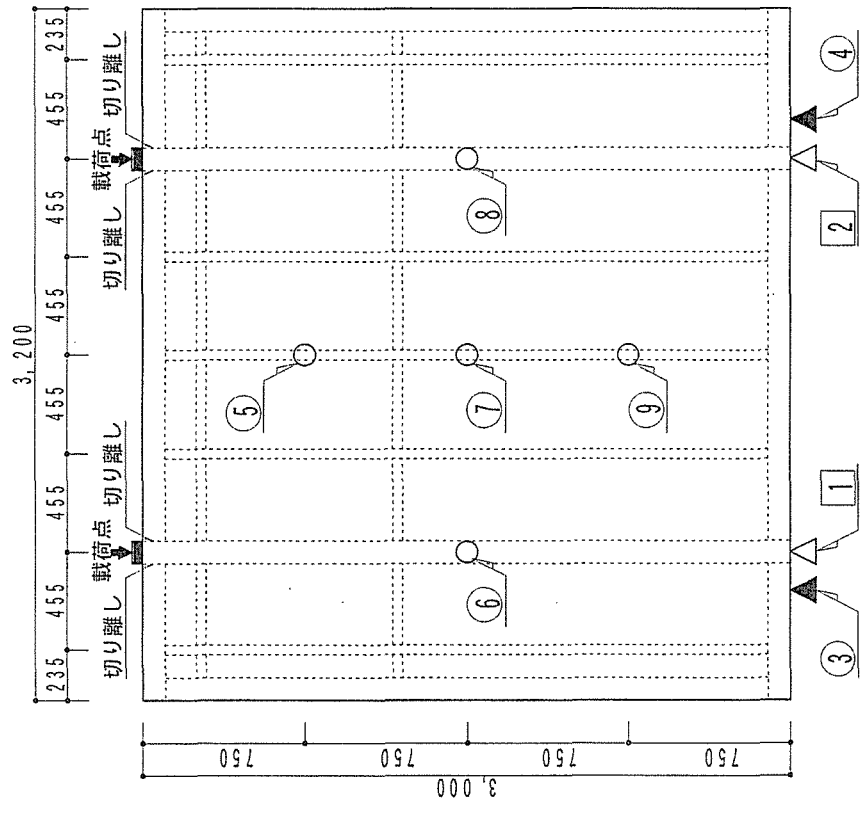


図1.2-7 在来軸組壁工法、荷重・変位測定位置

1. 3 試験結果

各試験体の載荷加熱試験時の観察状況、温度変化の概要、変位量の変化等の測定結果を下記に示す。

1. 3. 1 試験体No. 1 “EE-KS18+SKS15(C)”：在来軸組工法、外壁大壁構造

柱断面寸法：105×105mm、載荷荷重：6.6tonf(約65kN)

加熱側（屋外側）：硬質木片セメント板18mm下張り、

繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り

壁 内：ロックウール40K、50mm充填

非加熱側（屋内側）：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り

加熱開始後加熱側では、9分40秒頃に硬質木片セメント板表面（表面材）が黒く変色し、全体的に広がった後、17分過ぎ頃から目地部が黒く変色し始めた。41分頃に目地部から瞬間的な炎が見え、43分30秒頃から目地部からの燃焼が始まった。49分過ぎには上部の表面材に亀裂が生じ、亀裂部分からも炎が現れた。50分過ぎから表面材の横方向にも亀裂が生じ、亀裂部分から炎が現れた。60分に加熱を終了した後も目地部及び亀裂部から炎が炉内側に噴き出し、その後も試験を終了した170分まで中央部の目地から炎が認められた。非加熱側は、試験開始86分後頃から内部の燃焼による燃焼音が聞こえ始め、170分頃に裏面側にまで達する亀裂が認められ、壁体の面外変位が大きくなったので、170分に試験を終了した。

加熱側材料裏面温度は、25分過ぎに100℃に達し、50分過ぎから上昇し始め80分頃に約400℃に達して停滞し、95分過ぎから再び上昇し、壁体内部の燃焼が始まった。柱・間柱表面温度は、10分頃から上昇し始め、100℃付近で少し停滞した後400℃付近まで上昇し、110分前後から内部燃焼が始まって再び上昇した。断熱材裏面温度は30分頃から100℃に達した後停滞し、115分頃から上昇し始め、最高温度が900℃程度まで上昇した。非加熱側温度は、30分頃から60℃付近まで上昇し、その後徐々に下降し始めたが、120分過ぎから一部が上昇し、試験終了の170分には75℃程度となった。

軸方向変位は80分過ぎから徐々に増加し始め、試験終了の170分には24mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、30分過ぎから炉外側に変形し始め、150分過ぎから変形量が徐々に増加し始め、試験終了の170分時には127mmとなった。軸方向最大変位速度は169.5分時の3.9mm/分であった。

試験体裏面温度は、最高で77℃、平均で57℃と評価基準値以下であったが、試験体が169分に座屈したため170分で試験を終了した。

試験体各部温度の平均を図1. 3. 1-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1. 3. 1-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で24.5Paであった。

・燃料消費量（都市ガス）：49.8(m³)

・0℃を超える加熱温度時間面積：478.84(×100℃・分)

- ・ 0℃を超える標準温度時間面積：478.40 (×100℃・分)
- ・ 加 熱 比 率： 1.001

1.3.2 試験体No.2“EES-KS18+SKS15(C)”：在来軸組工法、外壁構造・内壁真壁造

柱断面寸法：120×120mm

載荷荷重：12.1tonf (約120kN)

加 熱 側：硬質木片セメント板18mm下地、
繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り (屋外側)

壁 内：グラスウール10K, 50mm充填

非加熱側：強化せっこうボード21mm下地、
強化せっこうボード15mm張り (屋内側)

加熱開始後加熱側では、硬質木片セメント板表面 (表面材) の目地部分が25分頃から黒く変色し始め、41分頃に目地部から炎が現れ、その後目地部の燃焼は大きくなっていった。表面材にも亀裂が生じ、亀裂部分から炎が現れ始めた。60分の加熱終了後も燃焼が継続して炎が炉内側に出ていたが、91分半頃には炉内側の炎は認められなくなった。非加熱側は、試験開始19分頃から水蒸気及び煙が目地部から出始めその後発生は止まった。試験開始後130分経過時点で内壁真壁柱と壁との間に隙間が生じ始め、内部の炎が認められるようになり、135分に非加熱側に炎が出現したので試験を終了した。

加熱側材料裏面温度は、25分過ぎに100℃に達して停滞した後、50分過ぎから上昇し始め80分頃に350℃付近に達した後緩やかに下降した。このうち測定番号2は125分頃から急上昇した。断熱材裏面温度は35分頃に100℃に達した後停滞し、120分過ぎに1点 (測定点番号16) が急上昇し、最高温度が950℃程度まで達した。内装真壁受材表面温度は、40分頃から上昇し始め、最高で95℃付近まで上昇したがその後下降して35℃付近で試験終了の135分まで停滞した。

軸方向変位はほとんどなく、試験終了の135分には1.1mmであった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、30分過ぎから炉外側に徐々に増加し始め、試験終了の135分時には17.8mmとなった。軸方向最大変位速度は121.5分時の0.3mm/分であった。

試験体裏面温度は、最高で62℃、平均で48℃と評価基準値以下であったが、試験体が135分に燃え抜けたため試験を終了した。

試験体各部温度の平均を図1.3.2-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.2-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Paであった。

- ・ 燃 料 消 費 量 (都 市 ガ ス)： 51.5 (m³)
- ・ 0℃を超える加熱温度時間面積：479.18 (×100℃・分)
- ・ 0℃を超える標準温度時間面積：478.40 (×100℃・分)
- ・ 加 熱 比 率： 1.002

1.3.3 EI-GBX21+GBX15(C)：在来軸組工法、内壁真壁・外壁大壁造

載荷荷重：12.1tonf(約120kN)

加熱側：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm(屋内側)

壁内：ロックウール40K、50mm充填

非加熱側：硬質木片セメント板18mm下地、

繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り(屋外側)

加熱開始後加熱側では、3分過ぎに強化せっこうボード表面に着火し、13分頃に表面の紙がはがれ落ち、露出した柱の燃焼が継続していた。20分過ぎに中央目地部分が開き始め下地材が目視できるようになった。60分に加熱を終了した後、67分から71分に柱の燃焼がなくなったが、84分頃から柱の一部で小炎が認められ、試験終了の240分まで継続していた。非加熱側は、試験開始6分頃から水蒸気及び煙が試験体周辺部から出始め、61分頃にはその発生は止まった。試験終了の240分経過時まで裏面側への炎の貫通や壁の座屈は認められなかった。

加熱側材料裏面温度は、25分過ぎに100℃に達して停滞した後、45分過ぎから上昇し始め90分から100分頃に450℃付近に達した後緩やかに下降した。このうち測定点番号2は215分頃から、測定点番号7は220分頃から急上昇した。内装真壁の柱受材表面温度は、30分頃に100℃に達した後停滞し50分過ぎから上昇して100分頃に250℃程度に達した後緩やかに下降した。測定点の内、No.17は150分頃から、No.24は155分頃から、No.16・No.20は220分頃から再び急上昇し、最高800℃まで達した。断熱材裏面温度は、20分頃から上昇したが、最高で60分頃の90℃程度となり、その後徐々に下降していった。試験体裏面温度は、40分頃から上昇し始め90分頃から150分頃まで40℃前後で停滞した後緩やかに下降し、試験終了の240分時点では40℃以下となった。

軸方向変位は60分頃から徐々に増加して10mm以下が225分頃まで継続した後増加して試験終了の240分時点では14mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、20分頃から炉外側に徐々に増加し始め、120分頃から緩やかになったが、220分頃から増加し、試験終了の240分時には51.4mmとなった。軸方向最大変位速度は228.5分時の2.2mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で46℃、平均で44℃と評価基準値以下であった。試験体各部温度の平均を図1.3.3-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.3-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Paであった。

- ・燃料消費量(都市ガス)：45.3(m³)
- ・0℃を超える加熱温度時間面積：479.42(×100℃・分)
- ・0℃を超える標準温度時間面積：478.40(×100℃・分)
- ・加熱比率：1.002

1.3.4 P-GBX21+GBX15(C) : 在来軸組工法間仕切壁構造

載荷荷重 : 6.6tonf (約65kN)

両 面 : 強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り

壁 内 : ロックウール40K, 50mm充填

加熱開始後加熱側では、5分過ぎに強化せっこうボード表面に着火し、8分頃に表面の紙がはがれ落ち始め、15分頃からせっこう目地テープが浮き上がり始めた。16分過ぎに表面せっこうボードに亀裂が生じ始め、48分頃には横方向の亀裂も生じた。60分に加熱を終了した後、試験終了の240分時点まで表面からの発炎は認められなかった。非加熱側は、試験開始から試験終了の240分経過時まで裏面側への炎の貫通や壁の座屈は認められなかった。

加熱側材料裏面温度は、25分過ぎに100℃に達して停滞した後、45分過ぎから上昇し始め90分から100分頃に450℃付近に達した後緩やかに下降した。このうち測定点番号3は110分頃から、測定点番号4及び5は135分頃から、測定点番号No.1は140分頃から急上昇したが、その後下降して試験終了の240分時点では最高でも350℃程度となった。柱・間柱表面温度は、30分頃に100℃に達した後停滞し50分過ぎから徐々に70分頃から再度上昇して100分頃に850℃程度に達した後緩やかに下降した。測定点の内、No.17は145分頃から、No.18は115分頃から再び上昇し、最高650℃まで達した。断熱材裏面温度は、20分頃から上昇したが、最高で60分頃の90℃程度となり、その後徐々に下降していった。試験体裏面温度は、40分頃から上昇し始め90分頃から150分頃まで40℃前後で停滞した後緩やかに下降し、試験終了の240分時点では40℃以下となった。

軸方向変位は30分頃から60分頃まで負側となったが、60分以降徐々に増加して試験終了の240分時点では3.6mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、20分頃から炉外側に徐々に増加し始め、160分頃から増加傾向が少し早くなったが、試験終了の240分時には33.9mmとなった。軸方向最大変位速度は142.5分時の0.1mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で60℃、平均で48℃と評価基準値以下であった。試験体各部温度の平均を図1.3.4-1に示し、軸方向・面外方向変位を図1.3.4-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Paであった。

- ・燃料消費量 (都市ガス) : 50.8 (m³)
- ・0℃を超える加熱温度時間面積 : 479.06 (×100℃・分)
- ・0℃を超える標準温度時間面積 : 478.40 (×100℃・分)
- ・加熱比率 : 1.001

1.3.5 EE-KS18+SKS15(D)：枠組壁工法外壁構造、スタッド寸法38×89mm、

載荷荷重：2.4tonf（約25kN）

加熱側：硬質木片セメント板18mm下地、

繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り（屋外側）

壁内：ロックウール40K，50mm充填

非加熱側：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り（屋内側）

加熱開始後加熱側では、5分頃から硬質木片セメント板表面（表面材）が黒く変色し、全体的に広がった後、15分過ぎ頃から全体に白く変色し始めた。51分頃に目地部から炎が見え始め、60分に加熱を終了した後も目地部から炎が炉内側に噴き出し、その後80分頃まで炎が認められた。その後121分過ぎから再び炎が現れ、目地の開いた部分から内部の赤熱状態が認められ、210分頃まで継続した。非加熱側は、試験開始25分後頃から水蒸気、その後煙が側面部から認められ、71分過ぎから内部の燃焼による燃焼音が聞こえ始め、試験終了の240分まで断続的に燃焼音が聞こえた。

加熱側材料裏面温度は、30分頃に100℃に達して停滞した後50分過ぎから上昇し始め90分頃に約300℃に達して停滞したが、95分過ぎから測定点No.1及びNo.5が急上昇して100分頃に最高温度900℃程度に達した後下降した。測定点No.4及びNo.8は190分頃から急上昇し195分頃に800℃に達した。スタッド表面温度は、10分頃から上昇し始め、100℃付近で少し停滞した後250℃付近まで上昇し、95分過ぎに測定点No.12、No.16、No.21が急上昇して100分に約850℃に達し、その後下降した。測定点No.11及びNo.20は

175分頃から急上昇し、加熱停止後の放置中にスタッド表面の燃焼が始まった。断熱材裏面温度は30分頃から100℃に達した後停滞し、測定点No.29、No.30、No.33が100分以降に上昇し、部分的に断熱材裏面まで燃焼した。非加熱側温度は、30分頃から上昇し始め最高で65℃付近まで上昇し、その後徐々に下降して試験終了の240分には40℃から55℃の範囲となった。

軸方向変位は50分過ぎから徐々に増加し、試験終了の240分には5.6mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、30分過ぎから炉外側に変形し始め、75分頃に変形量が緩やかとなり、試験終了の240分時には最高で22.2mmであった。軸方向最大変位速度は62.5分時の0.2mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で67℃、平均で46℃と評価基準値以下であった。

試験体各部温度の平均を図1.3.5-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.5-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Pa以上であった。

- ・燃料消費量（都市ガス）：49.0（m³）
- ・0℃を超える加熱温度時間面積：479.03（×100℃・分）
- ・0℃を超える標準温度時間面積：478.40（×100℃・分）
- ・加熱比率：1.001

1.3.6 EE'-KS18+SKS15(D) : 枠組壁工法外壁構造、スタッド38×89mm、難燃薬剤処理、
載荷荷重 : 2.4tonf (約25kN)

加熱側 : 硬質木片セメント板18mm下地、

繊維混入セメントけい酸カルシウム板15mm張り (屋外側)

壁 内 : ロックウール40K, 50mm充填

非加熱側 : 強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り (屋内側)

加熱開始後加熱側では、12分頃から繊維混入セメントけい酸カルシウム板表面 (表面材) が黒く変色し、全体的に広がった後、30分過ぎ頃から目地が開き始めた。46分頃に目地部から炎が見え始め、60分に加熱を終了した後には目地部からの炎の出現はほぼなくなったが火の粉が残っていた。その後63分頃に亀裂部から炎が認められ、次いで目地部からも炎が現れてきたが、88分頃には炎の発生は認められなくなった。非加熱側は、試験開始21分後頃から水蒸気、その後煙が側面部から認められ、79分過ぎには試験体周辺部からの煙の発生も止まった。

加熱側材料裏面温度は、30分頃に100℃に達して停滞した後55分過ぎから上昇し始め90分頃に約350℃に達して停滞したが、125分過ぎから測定点No.3及びNo.7が急上昇して160分頃に最高温度750℃程度に達した後停滞した。スタッド表面温度は、10分頃から上昇し始め、100℃付近で少し停滞した後300℃付近まで上昇し、115分過ぎから測定点No.11、No.14、No.18、No.20、No.23が急上昇して150分頃に約800℃に達し、その後750℃付近で停滞した。断熱材裏面温度は35分頃から100℃に達した後停滞し、測定点No.30が150分以降に上昇し、試験終了の240分に約350℃に達した。非加熱側温度は、35分頃から上昇し始め最高で60℃付近まで上昇し、その後徐々に下降して試験終了の240分には40℃から60℃の範囲であった。

軸方向変位は50分過ぎから徐々に増加し、試験終了の240分には5.8mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、30分過ぎから炉外側に変形し始め、70分頃から変形量が緩やかとなり、試験終了の240分時には最高で22.9mmであった。軸方向最大変位速度は61.0分時の0.2mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で63℃、平均で49℃と評価基準値以下であった。試験体各部温度の平均を図1.3.6-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.6-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Pa以上であった。

- ・燃料消費量 (都市ガス) : 49.6 (m³)
- ・0℃を超える加熱温度時間面積 : 479.36 (×100℃・分)
- ・0℃を超える標準温度時間面積 : 478.40 (×100℃・分)
- ・加熱比 率 : 1.002

1.3.7 P-GBX21+GBX15(D)：枠組壁工法、間仕切壁構造、スタッド寸法38×89mm、

載荷荷重：2.4tonf（約25kN）

両 面：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り

壁 内：ロックウール40K, 50mm充填

加熱開始後加熱側では、せっこうボード表面（表面材）に着炎した後、10分頃から目地テープが浮き上がり始め、14分30秒頃から表面材に亀裂が発生し、28分頃には目地テープが脱落するようになった。33分頃から表面材の亀裂が増え、49分頃からは目地部が開いてきた。60分の加熱終了後、亀裂部分から火の粉が飛び始め、63分30秒頃から中央の縦目地と横目地交点が開いて赤熱状態が認められ、65分にはフラッシュ炎が現れた。その後も中央部の赤熱状態は試験終了の240分まで継続した。非加熱側では、水蒸気や煙の発生は認められなかったが、150分頃から壁体内部の燃焼音が聞こえるようになった。

加熱側材料裏面温度は、30分頃に100℃に達して停滞した後40分過ぎから緩やかに上昇し始め70分前後から急上昇して90分頃から110分頃に約500℃に達して下降し、その後150分頃から温度上昇が生じ、190分頃に最高温度約800℃程度にまで達した。スタッド表面温度は、10分頃から上昇し始め、100℃付近で少し停滞した後、50分頃から緩やかに上昇し始め、135分過ぎから急上昇して180分頃から210分頃に850℃を超えた。断熱材裏面温度は15分頃から徐々に上昇し始め、100℃前後の状況が試験終了まで継続したが、測定点No.25は220分頃から急上昇して230分頃に430℃程度に達した。非加熱側温度は、25分頃から上昇し始め最高で58℃付近まで上昇し、その後徐々に下降して試験終了の240分には35℃から50℃の範囲であった。

軸方向変位は50分過ぎから徐々に増加し、試験終了の240分には4.2mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、30分過ぎから炉外側に変形し始め、70分頃から変形量が緩やかとなったが180分頃から増加して試験終了の240分時には最高で36mmであった。軸方向最大変位速度は235分時の0.2mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で58℃、平均で42℃と評価基準値以下であった。

試験体各部温度の平均を図1.3.7-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.7-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、上1/4で25Pa以上であった。

- ・燃料消費量（都市ガス）：63.5 (m³)
- ・0℃を超える加熱温度時間面積：479.94 (×100℃・分)
- ・0℃を超える標準温度時間面積：478.40 (×100℃・分)
- ・加熱比率：1.003

**1.3.8 P'-GBX21+GBX15(D)：枠組壁工法、間仕切壁構造、スタッド38×89mm、
難燃薬剤処理スタッド、載荷荷重：2.4tonf (25kN)
両面：強化せっこうボード21mm下地、強化せっこうボード15mm張り
壁内：ロックウール40K、50mm充填**

加熱開始後加熱側では、3分頃から4分頃までせっこうボード表面（表面材）に着炎し、その後表面全体が白く変色していった。14分頃から目地テープが剥落し始め、24分頃からせっこうボード表面に亀裂が発生し始めた。60分の加熱終了後に目地部から火の粉が飛び64分30秒頃にフラッシュ炎が見られ、赤熱していたが、67分30秒頃から赤熱部分も認められなくなった。

一方非加熱側では、45分頃から水蒸気混じりの白煙が発生したが、67分頃には煙の発生は認められなくなった。

加熱側下地強化せっこうボード裏面温度は、30分頃に100℃付近まで上昇し、停滞した後70分頃から上昇し始めて90分頃に340℃程度に達した後下降し、試験を終了した240分時には100℃前後となった。スタッド表面温度は、25分頃に100℃に達した後停滞し、60分を過ぎた頃から再度上昇して100分頃に最高温度で約220℃に達した後下降し、試験終了の240分では約100℃前後となった。断熱材裏面温度は、10分過ぎから上昇し、40分から70分頃に最高温度が90℃を超えたがその後下降し、試験終了時には30℃から40℃程度であった。試験体裏面温度は35分頃から上昇して60分過ぎ頃に最高温度で50℃となったがその後下降し、試験終了時には20℃から30℃となった。

軸方向変位は40分過ぎから徐々に増加し、試験終了の240分には2.8mmとなった。面外方向変位は当初炉内側に変形したが、40分過ぎから炉外側に変形し始め、100分頃からほぼ停滞し試験終了の240分時には最高で7.9mmであった。軸方向最大変位速度は88分時の0.2mm/分であり、軸方向変位量、軸方向最大変位速度とも評価基準以下であった。

試験体裏面温度は、最高で50℃、平均で32℃と評価基準値以下であった。試験体各部温度の平均を図1.3.8-1に示し、載荷荷重変化、軸方向・面外方向変位を図1.3.8-2に示す。

加熱開始後、炉内の上1/4位置の最大炉内圧力は、25Pa以上であった。

- ・燃料消費量（都市ガス）：56.9 (m³)
- ・0℃を超える加熱温度時間面積：480.96 (×100℃・分)
- ・0℃を超える標準温度時間面積：478.40 (×100℃・分)
- ・加熱比率：1.005

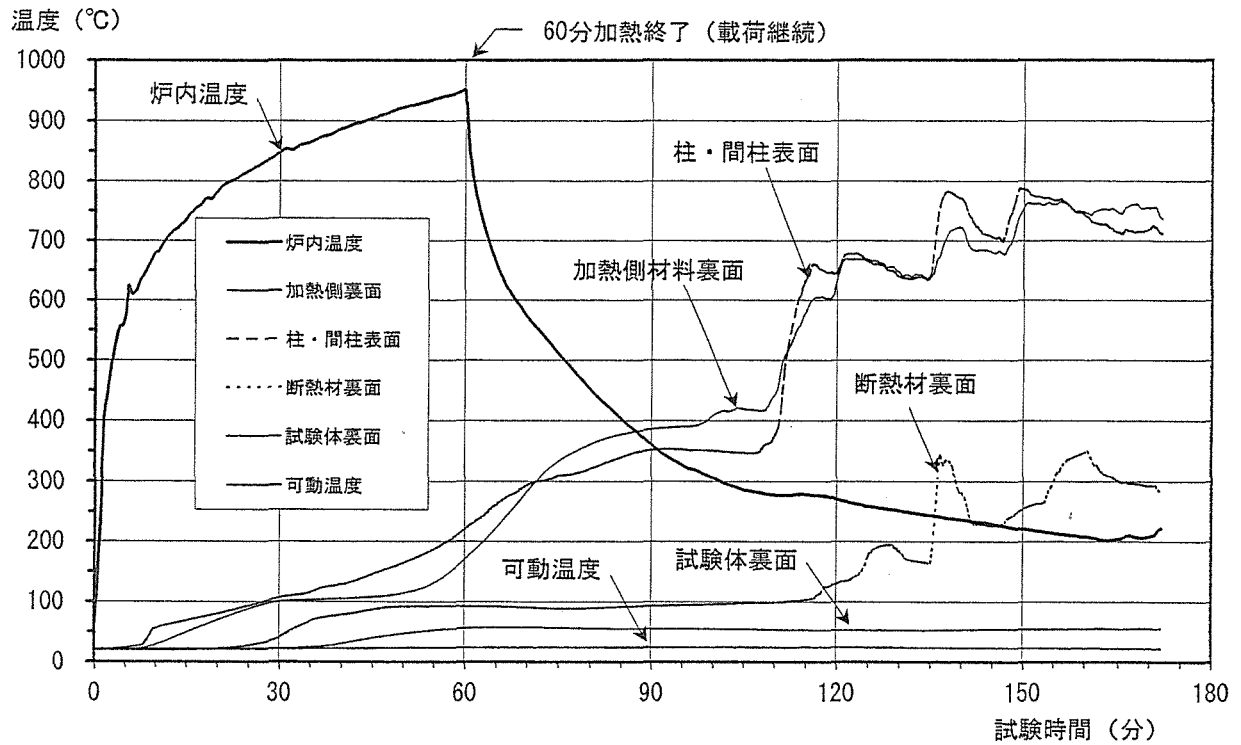


図1. 3. 1-1 試験体No. 1、各部平均温度の推移

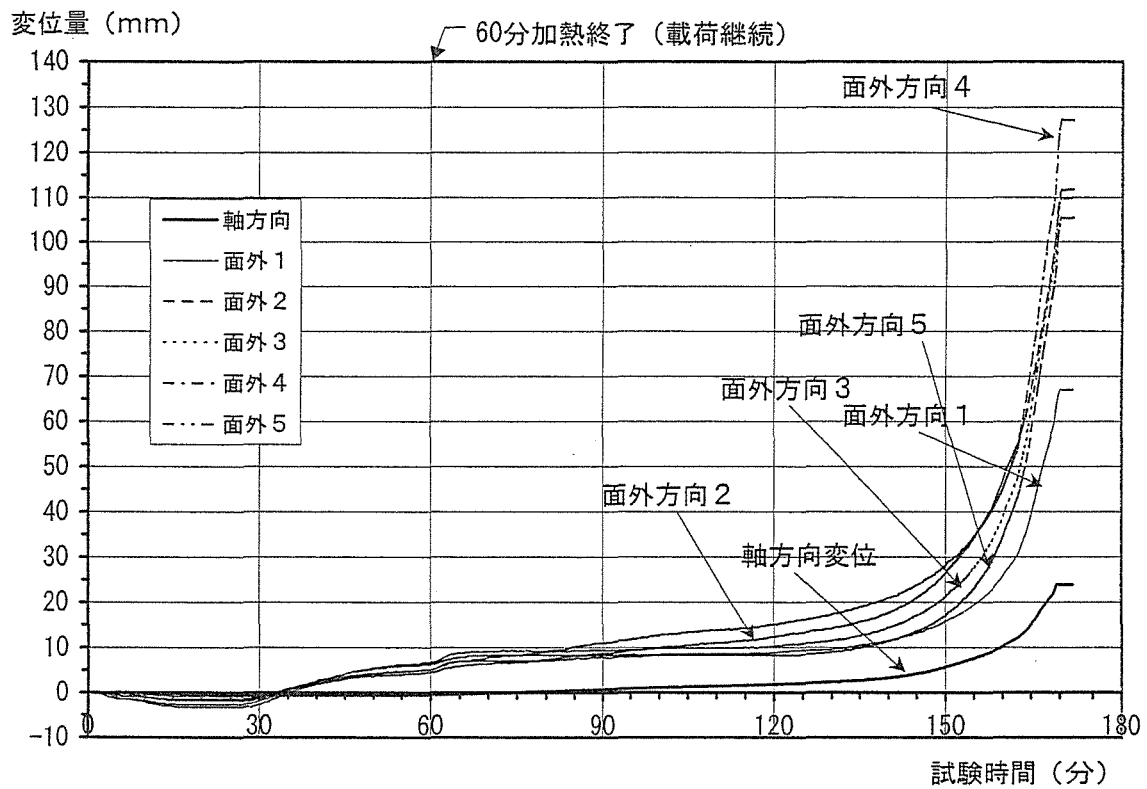


図1. 3. 1-2 試験体No. 1、载荷荷重・変位量の推移

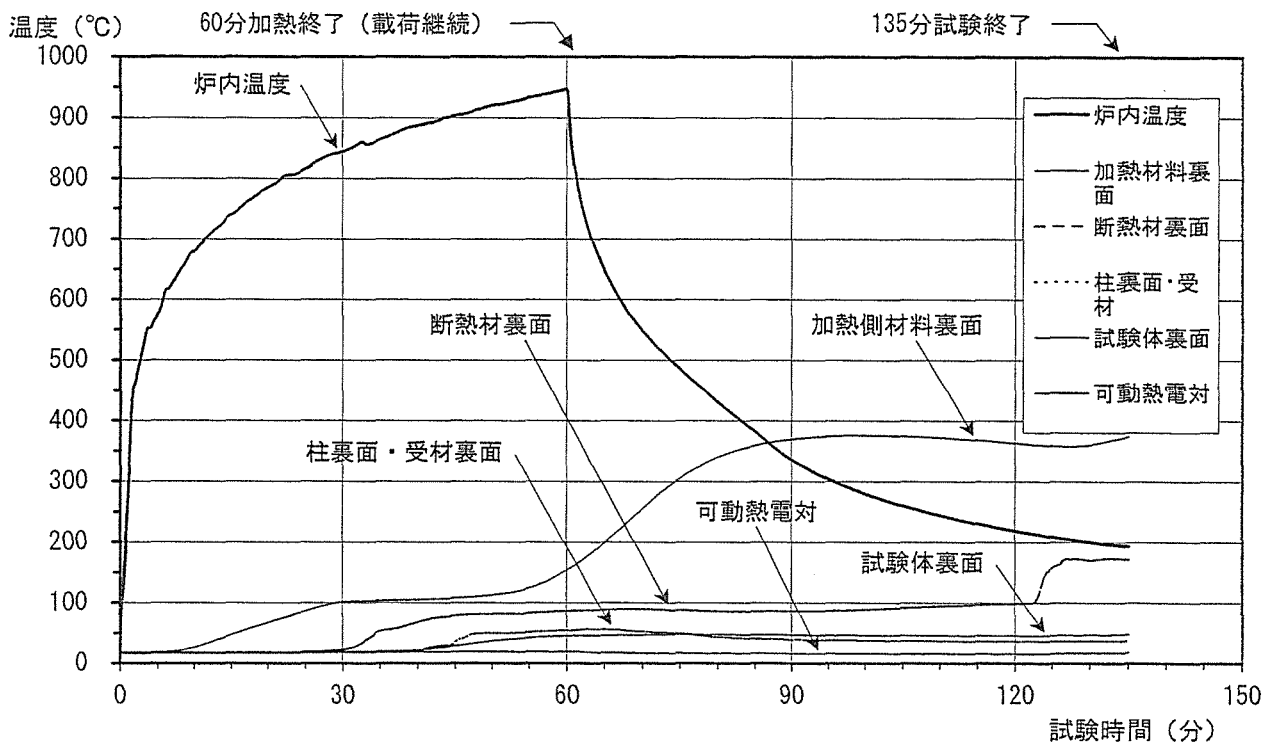


図1. 3. 2-1 試験体No. 2、各部平均温度の推移

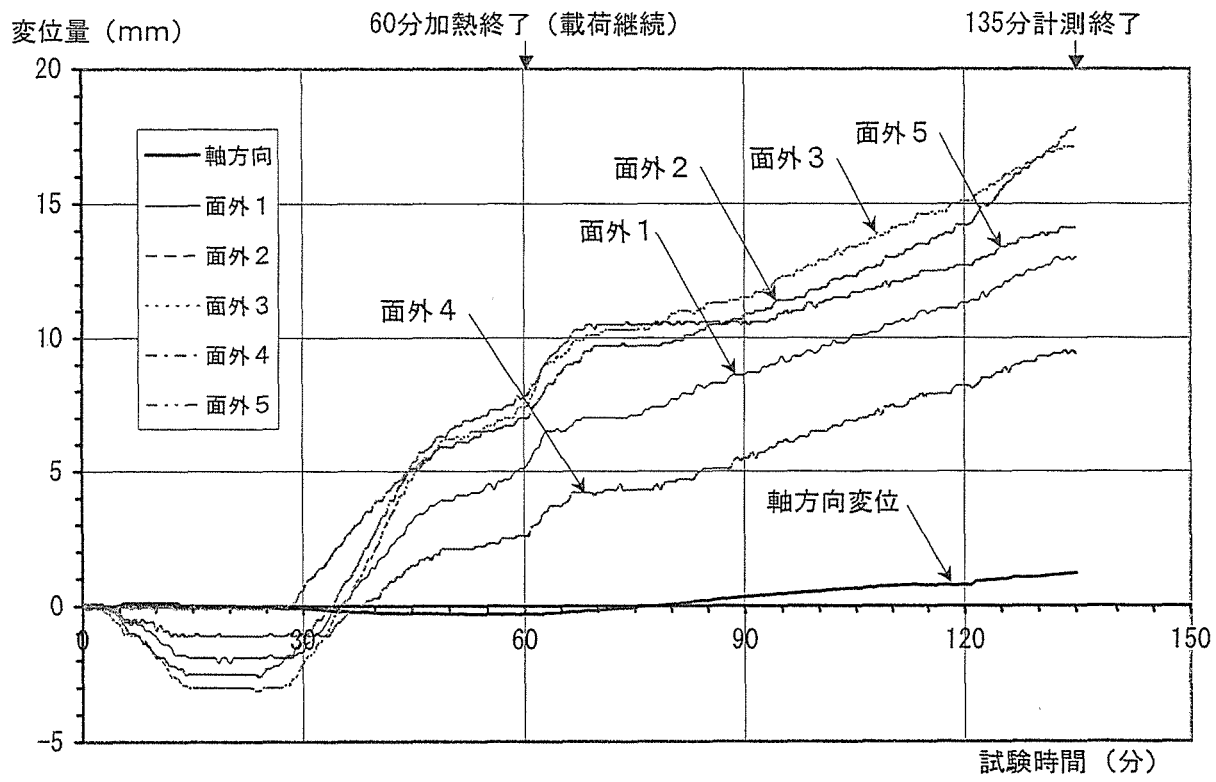


図1. 3. 2-2 試験体No. 2、載荷荷重・変位置の推移

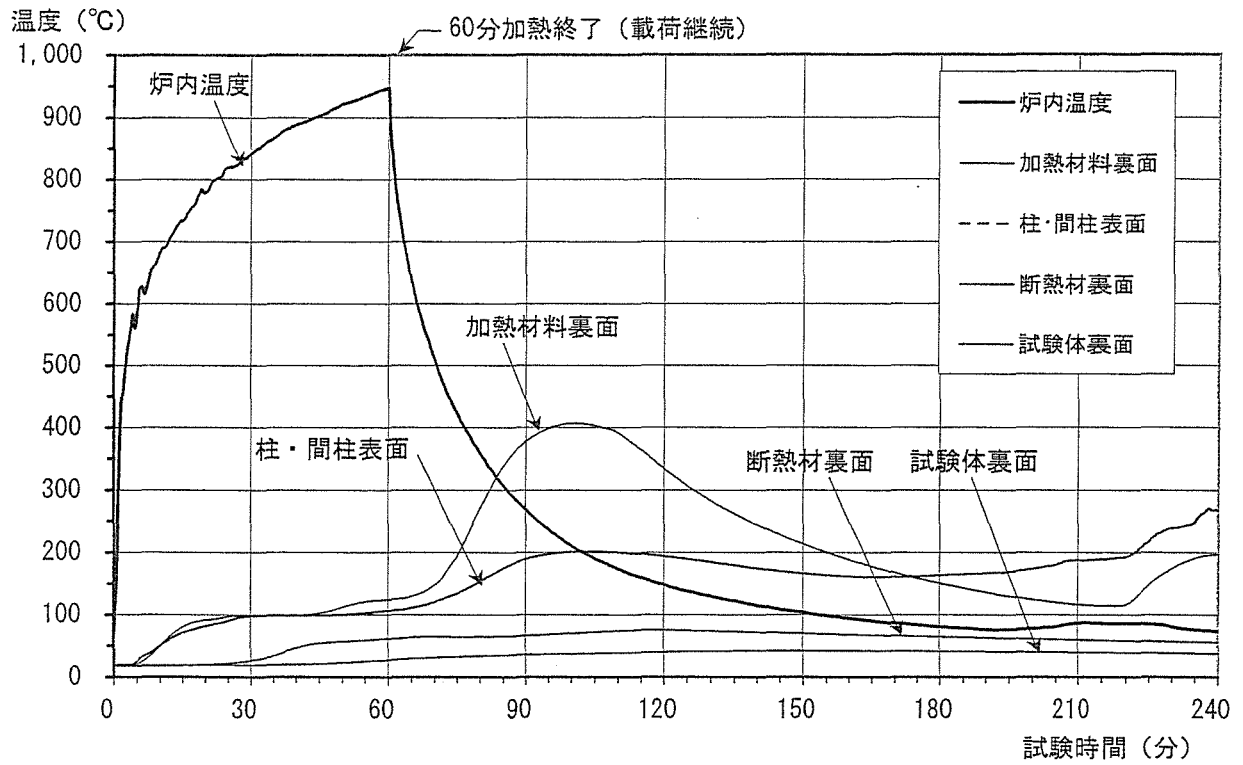


図1. 3. 3-1 試験体No. 3、各部平均温度の推移

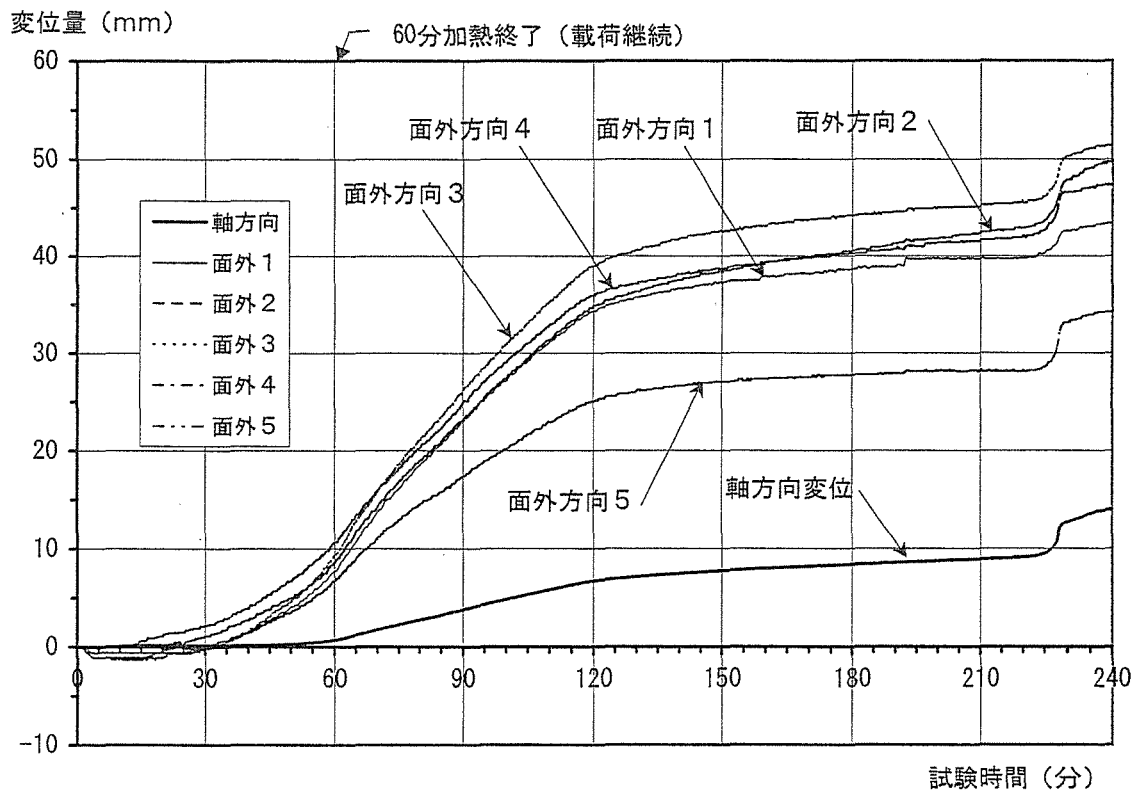


図1. 3. 3-2 試験体No. 3、载荷荷重・変位量の推移

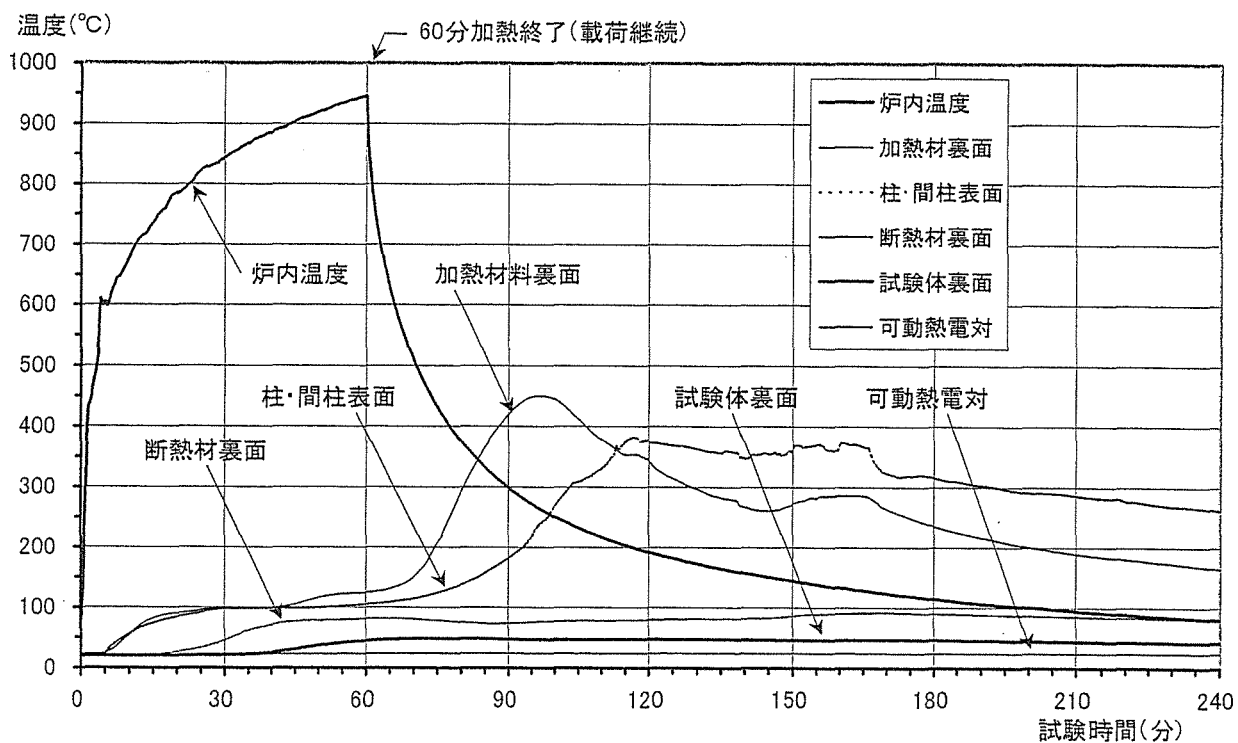


図1. 3. 4-1 試験体No. 4、各部平均温度の推移

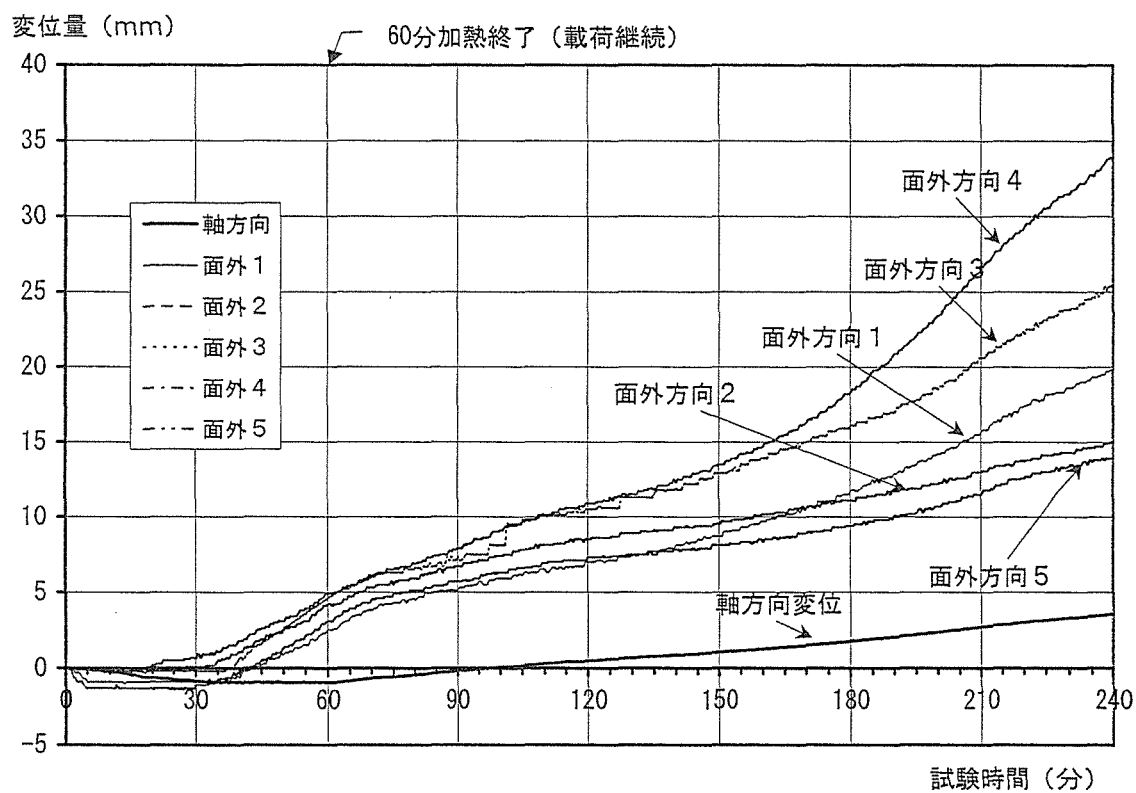


図1. 3. 4-2 試験体No. 4、載荷荷重・変位量の推移

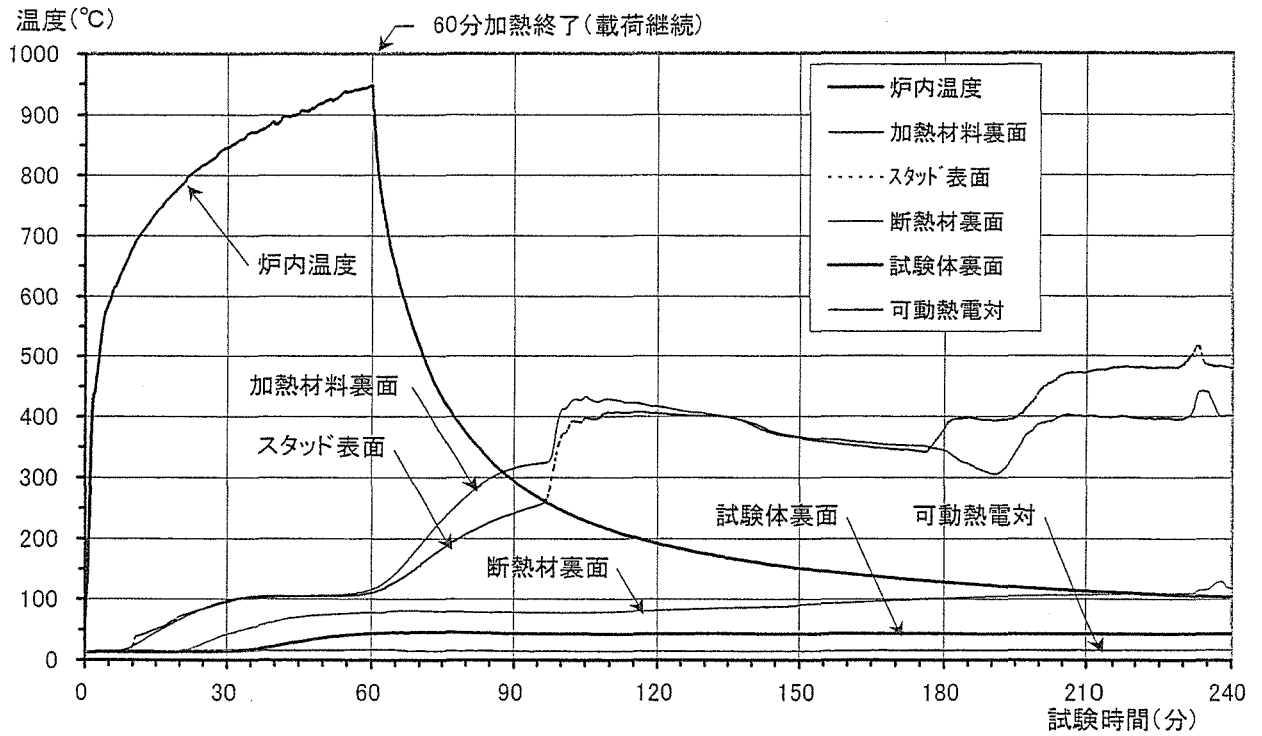


図1.3.5-1 試験体No.5、各部平均温度の推移

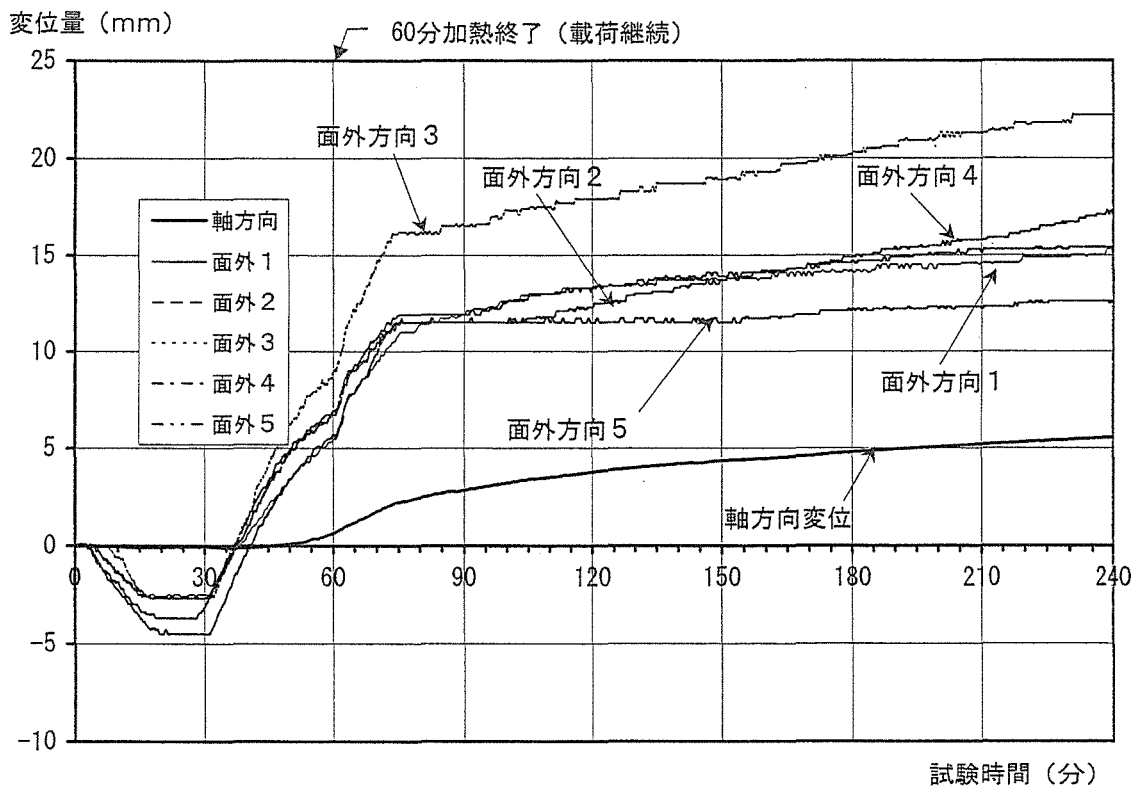


図1.3.5-2 試験体No.5、载荷荷重・変位量の推移

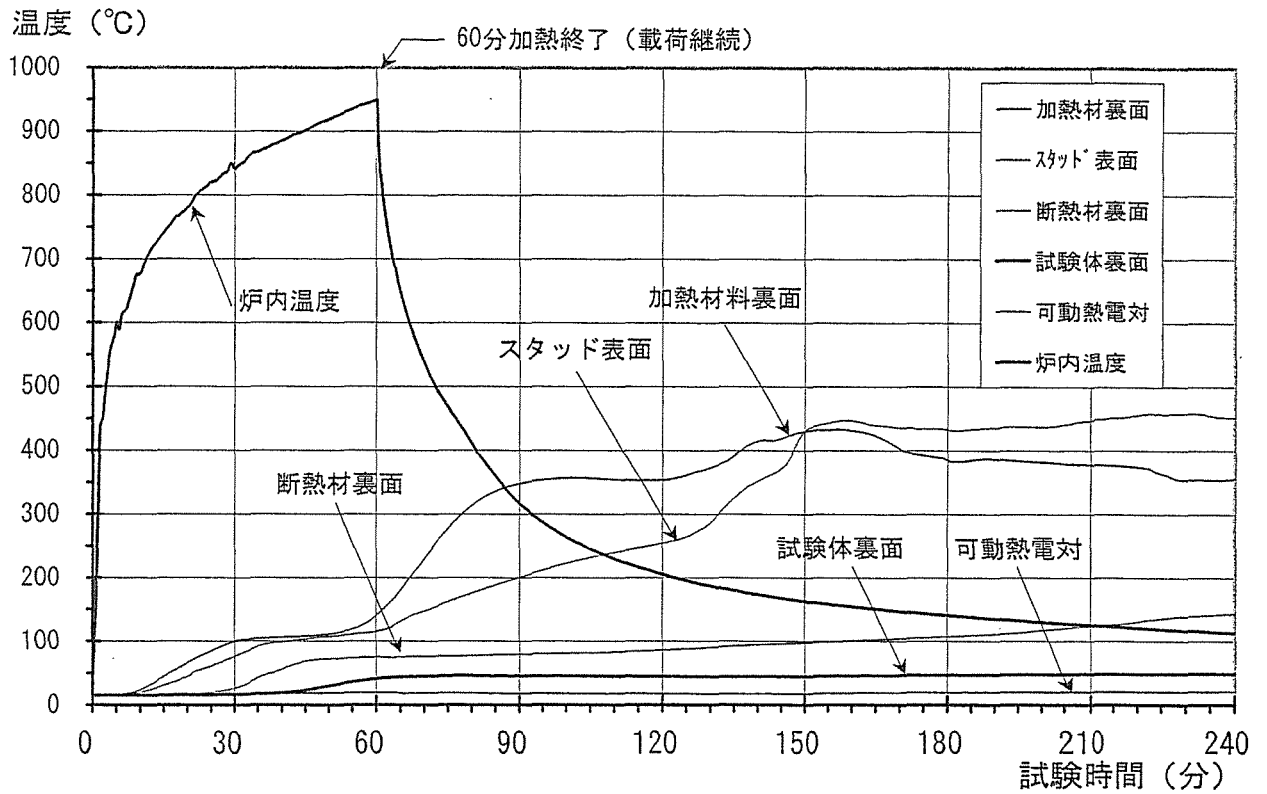


図1. 3. 6-1 試験体No. 6、各部平均温度の推移

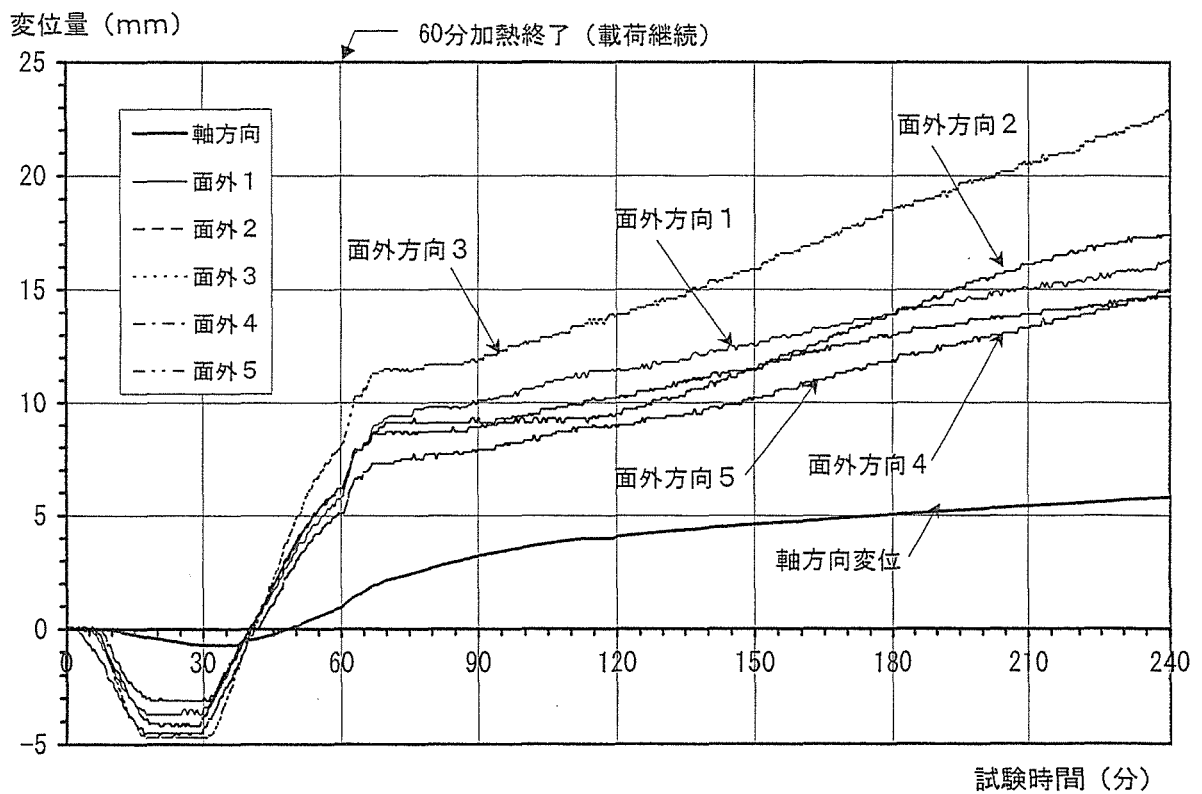


図1. 3. 6-2 試験体No. 6、载荷荷重・変位量の推移

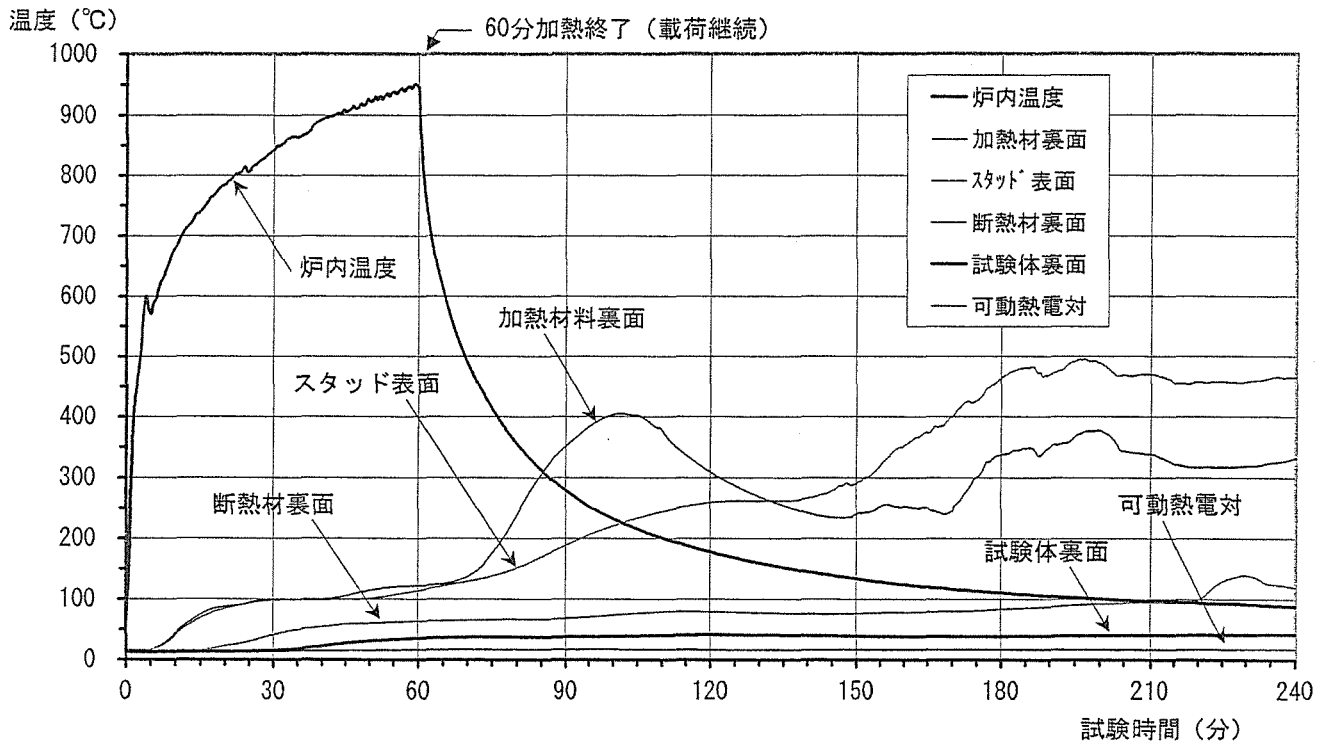


図1. 3. 7-1 試験体No. 7、各部平均温度の推移

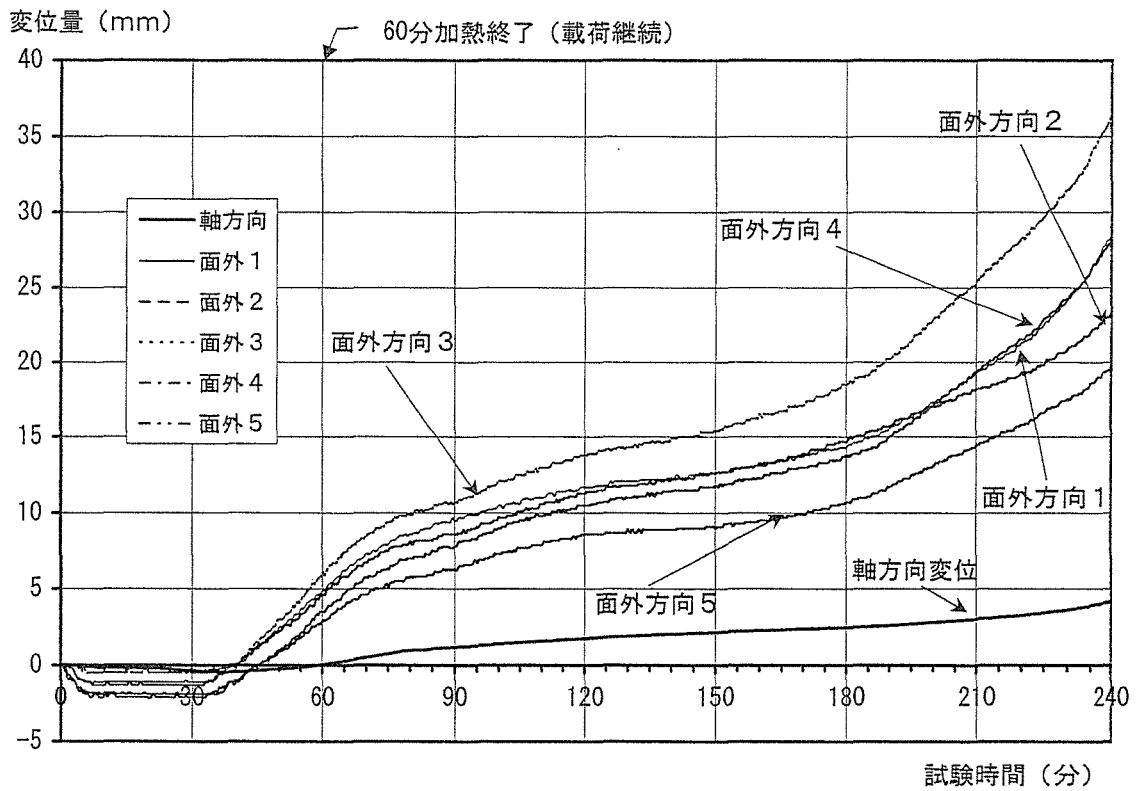


図1. 3. 7-2 試験体No. 7、载荷荷重・変位量の推移

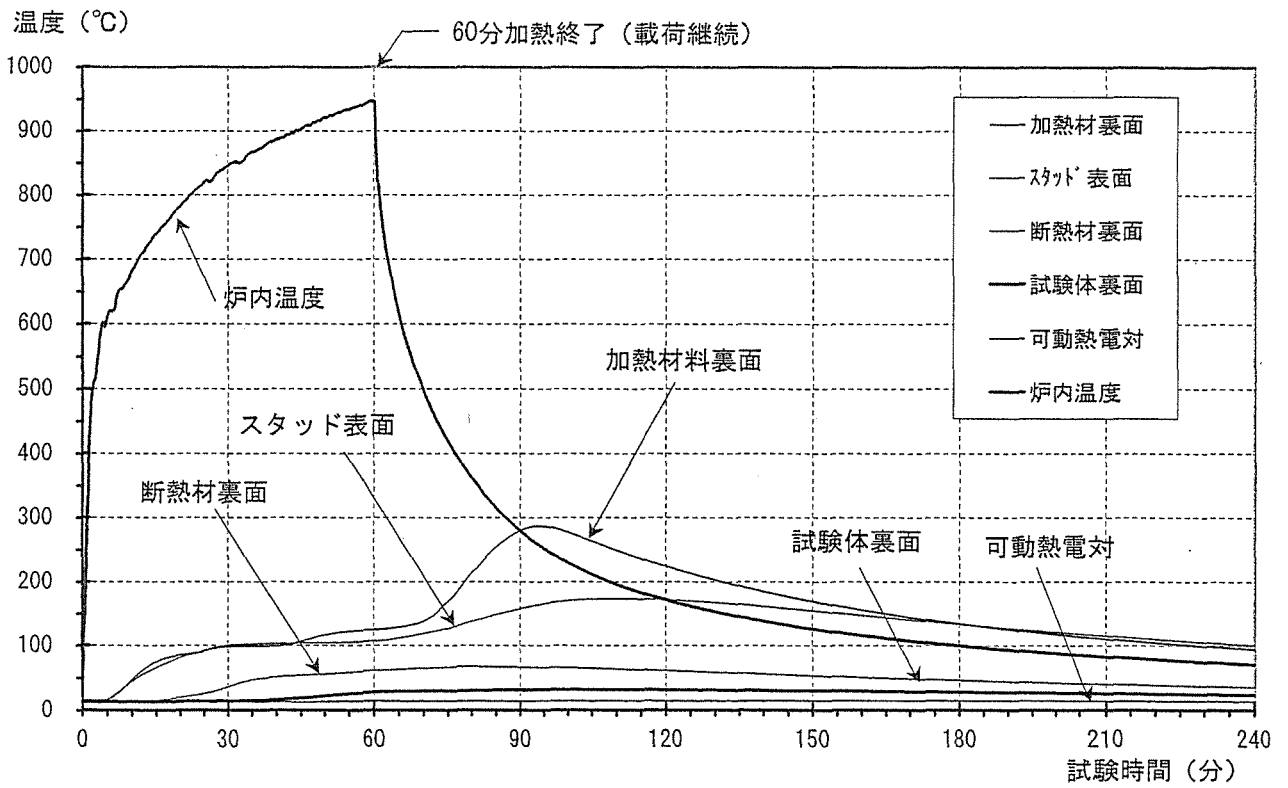


図1. 3. 8-1 試験体No. 8、各部平均温度の推移

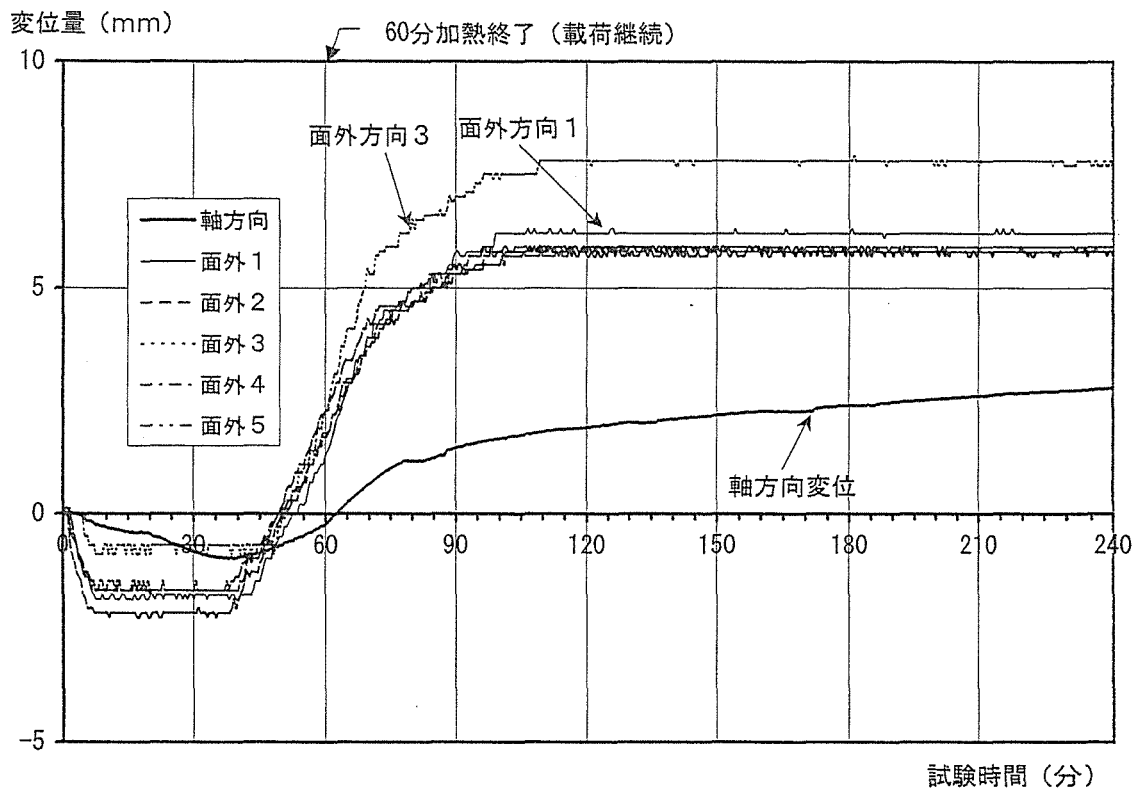


図1. 3. 8-2 試験体No. 8、载荷荷重・変位量の推移

1. 4 結果とまとめ

1.4.1 結果の概要

試験結果の概要を表 1. 4 - 1 に示す

1) 本年度実施した在来軸組工法の試験体No. 1 の外壁構造は、加熱を終了した 1 時間時点の試験体裏面平均温度は 56°C (初期温度： 20°C)、試験を終了した172分時点では 55°C であった。加熱側材料裏面の平均温度は、加熱終了の 1 時間時点で 170°C であったが、その後上昇し、68分頃に 260°C を超え、150分経過時点では 750°C 以上に達した。面外方向変位は168分に100mmを超え、170分頃には裏面側せっこうボードの目地部が開いて柱の燃焼状況が目視で確認されたため172分に試験を終了した。壁内部は、間柱の一部がほぼ消失し、柱部分の燃焼も進んでいた。

2) 試験体No. 2 の内装真壁造で外装大壁造の外壁側から加熱した構造では、130分に裏面側真壁柱と内装材料の突きつけ部分から火炎が認められ、135分に試験を終了した。

試験体裏面平均温度は加熱を終了した 1 時間時点で 45°C (初期温度： 17°C)、試験を終了した135分時点では 48°C であった。加熱側材料裏面温度は、加熱終了の 1 時間時点で 154°C であったが、その後80分過ぎから約 350°C 付近で停滞し、試験終了の135分には 374°C となった。試験終了時の軸方向変位は1.2mm、軸方向最大変位速度は $0.3\text{mm}/\text{分}$ 、面外方向変位は18mmであった。壁内部は、壁つなぎ部材 ($15 \times 45\text{mm}$) は両面側とも燃焼し、一部消失していた。特に横目地部分からの燃焼が激しく、真壁柱受材の燃焼が進行して裏面側へ燃え抜けた。

3) 試験体No. 3 の外装大壁、内装真壁造で、内壁側から加熱した構造では、試験体裏面平均温度は加熱を終了した 1 時間時点で 27°C (初期温度 18°C)、試験終了の240分時点で 38°C で、評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1 時間時点で 124°C 、100分頃に 405°C 程度に達した後徐々に下降し、240分時点では 197°C となった。柱・間柱表面100分頃に約 200°C に達した後いったん下降したが試験終了の240分時点では 270°C にまで達した。試験終了時点の軸方向変位は14mm、軸方向最大変位速度は $2.2\text{mm}/\text{分}$ 、面外方向変位は51mmであったが、評価基準値には達していなかった。試験終了時の加熱面は真壁柱に火炎が残存し、表面材目地部分の間柱及び壁つなぎ部材の一部は燃焼により一部消失していたが、それ以外の部材は表面の釘打ち部分が焦げている程度であった。

4) 試験体No. 4 の在来間仕切壁構造では、試験体裏面の平均温度は 1 時間の加熱終了時には 45°C (初期温度： 20°C)、試験終了の240分時点では 42°C で評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1 時間加熱終了時に 124°C 、78分半頃に 260°C を超え、97分半に最高温度 451°C に達した後下降し、試験終了の240分の温度は 169°C であった。試験終了時点での軸方向変位量は3.6mm、軸方向最大変位速度は $0.1\text{mm}/\text{分}$ 、面外方向変位量は34mmといずれも評価基準以下であった。試験終了時の軸組部材は、加熱側の壁つなぎ材は消失し、壁つなぎ上部の柱及び間柱の燃焼が大きく、

試験終了時においても燃焼が継続していた。

5) 試験体No. 5 の枠組壁工法外壁構造では、試験体裏面の平均温度は1時間の加熱終了時には43℃（初期温度：13℃）、試験終了の240分時点では43℃で評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1時間加熱終了時に116℃、79分頃に260℃を超え、234分に最高温度442℃に達し、試験終了の240分の温度は401℃であった。試験終了時点での軸方向変位量は5.6mm、軸方向最大変位速度は0.16mm/分、面外方向変位量は22.2mmといずれも評価基準以下であった。試験終了時のスタッドは、加熱側の壁つなぎ材と壁つなぎ上部のスタッドの燃焼が大きく、試験終了時においても燃焼が継続していた。

6) 試験体No. 6 の枠組壁工法外壁構造では、試験体裏面の平均温度は1時間の加熱終了時には41℃（初期温度：15℃）、試験終了の240分時点では49℃で評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1時間加熱終了時に140℃、73分頃に260℃を超え、157分に最高温度433℃に達した後下降し、試験終了の240分の温度は356℃であった。

試験終了時点での軸方向変位量は5.8mm、軸方向最大変位速度は0.24mm/分、面外方向変位量は22.9mmといずれも評価基準以下であった。試験終了時の難燃処理したスタッド及び壁つなぎ材は全体的に燃焼し、スタッドの一部は炭化消失していた。試験終了時においては火炎の残存はなく、わずかに火気が認められた。

7) 試験体No. 7 の枠組壁工法間仕切壁では、試験体裏面の平均温度は1時間の加熱終了時には35℃（初期温度：13℃）、試験終了の240分時点では42℃で評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1時間加熱終了時に122℃、81.5分頃に260℃を超え、101.5分頃に最高温度405℃に達した後、試験終了の240分の温度は332℃であった。

試験終了時点での軸方向変位量は4.2mm、軸方向最大変位速度は0.18mm/分、面外方向変位量は36.2mmといずれも評価基準以下であった。スタッドは試験終了時に燃焼が継続して炎が認められ、壁つなぎとスタッドの一部は炭化消失していた。

8) 試験体No. 8 の枠組壁工法間仕切壁構造で、スタッドを難燃薬剤処理をした試験体では、試験体裏面の平均温度は1時間の加熱終了時には28℃（初期温度：13℃）、最高温度は111分頃の32℃、試験終了の240分時点では24℃で評価温度以下であった。加熱側材料裏面平均温度は、1時間加熱終了時に124℃、86分頃に260℃を超え、94分頃に最高温度287℃に達した後下降し、試験終了の240分の温度は94℃であった。試験終了時点での軸方向変位量は2.8mm、軸方向最大変位速度は0.18mm/分、面外方向変位量は7.9mmといずれも評価基準以下であった。加熱終了時の火炎や火気の残存は認められなかった。スタッドや壁つなぎに難燃処理を行った場合は、スタッドなどの表面が変色している程度であった。

1.4.2 試験体各位置の温度状況について

1) 加熱側材料裏面温度は、在来大壁外壁構造（試験体No.1）が60分の加熱を終了した後も徐々に温度が上昇し、110分頃から急上昇した。その他の試験体では90分から100分頃にかけてピークとなり、その後下降し、在来軸組、枠組壁工法の間仕切壁（薬剤処理枠を使用）以外の試験体では再度上昇する傾向を示した。各試験体の平均温度の推移状況を図1.4.2-1に示す。

2) 柱、間柱表面の平均温度は、在来大壁外壁構造（試験体No.1）が110分頃から急上昇し、枠組壁工法の外壁と間仕切壁（試験体No.5・6・7）は加熱停止後も徐々に温度上昇が進み試験終了の240分時点では450℃から500℃程度と緩やかな燃焼が継続している状況であった。在来外壁（内壁：真壁）・間仕切壁及び枠組壁工法間仕切壁（難燃薬剤処理スタッド使用）では100分から110分頃にピークを示した後200℃以下の温度となるまで低下した。No.3の在来軸組・内装真壁外壁では100分頃に約200℃となった後徐々に低下したが、180分頃から再度上昇し始め、試験を終了した240分には平均で約270℃、最高温度で700℃を超えた。各試験体の平均温度の推移状況を図1.4.2-2に示す。

3) 断熱材裏面温度は、在来大壁外壁（試験体No.1）が110分頃から上昇し始め、最高温度が約350℃まで上昇した。No.5、6、7の枠組壁工法外壁、間仕切壁は70℃前後で停滞していたが110分頃から徐々に上昇し始め、試験終了の240分時点では150～180℃程度まで上昇していた。No.2、No.3、No.4、No.8は60分過ぎ頃にピークに達した後緩やかに温度が下降し、80℃以下となった。各試験体の平均温度の推移状況を図1.4.2-3に示す。

4) 試験体裏面温度は、試験終了時点でいずれの試験体においても50℃前後を示し、最高温度（初期温度+140℃）、平均温度（初期温度+140℃）の評価基準に達していなかった。各試験体の平均温度の推移状況を図1.4.2-4に示す。

1.4.3 試験体の変位

1) 軸方向変位は、135分で試験を終了し試験体No.2が1.2mm、170分で試験を終了した試験体No.1が23.9mmであった。240分まで試験を継続した試験体ではNo.3が230分過ぎから上昇して14mmとなったが、それ以外の試験体では6mm以下となり、評価基準の収缩量30mm、軸方向収縮速度9mm/分のいずれにも達しなかった。各試験体の軸方向変位を図1.4.3-1に示す。

2) 面外方向変位は、試験体No.1が試験体の座屈により面外方向に100mm以上の変位が生じ、内壁真壁・外壁大壁のNo.3が約51mmであったが、それ以外の試験体では50mm以下であった。各試験体の面外方向変位を図1.4.3-2に示す、

表1.4-1 壁構造、載荷加熱試験結果概要

試験体記号 ・部位 ・被覆仕様	載荷 荷重 (KN)	初期 温度 (°C)	加熱 時間 (分)	試験時間 (上段) 放置時間 (下段) (分)	面外方向		軸方向		軸方向 最大 変位速度 (mm/分)	試験体裏面			試験終了 時の状況 その他
					最大 変位量 (mm)	最大 変位量 (mm)	最大 変位量 (mm)	最大 変位量 (mm)		最高 温度 (分)	平均 温度 (分)	可動温度 (°C)	
No.1 EE-KS18+ SKS15(C)	65	20	60	170 109	127.1 170.0	23.9 170.0	3.9 169.5	77°C 172.0	57°C 65.0	24°C 119.5	座屈(169分)		
No.2 EE-KS18+ SKS15(C)	120	17	60	135 95	17.8 135.0	1.2 135.0	0.3 121.5	62°C 62.0	48°C 135.0	19°C 60.5	柱横から 燃え抜け		
No.3 EI-GBX21+ GBX15(C)	120	18	60	240 180	51.4 237.0	14.0 240.0	2.2 228.5	46°C 143.0	44°C 124.0	42°C 47.0	壁内の軸組 燃焼あり		
No.4 P-GBX21+ GBX15(C)	65	20	60	240 180	33.9 240.0	3.6 240.0	0.1 142.5	60°C 180.0	48°C 75.5	24°C 161.5	壁内の軸組 燃焼あり		
No.5 EE-KS18+ SKS15(D)	25	13	60	240 180	22.2 230.5	5.6 240.0	0.2 62.5	67°C 64.0	46°C 72.5	17°C 231.0	壁内の軸組 燃焼あり		
No.6 EE'-WS18+ SKS15(D)	25	15	60	240 180	22.9 240.0	5.8 240.0	0.2 61.0	63°C 240.0	49°C 240.0	21°C 237.0	壁内の軸組 燃焼あり		
No.7 P-GBX21+ GBX15(D)	25	13	60	240 180	36.0 240.0	4.2 240.0	0.2 235.0	58°C 68.0	42°C 240.0	17°C 94.5	壁内の軸組 燃焼あり		
No.8 P'-GBX21+ GBX15(D)	25	13	60	240 180	7.9 181.0	2.8 240.0	0.2 88.0	50°C 65.0	32°C 111.0	14°C 108.0	壁内の軸組 燃焼なし		

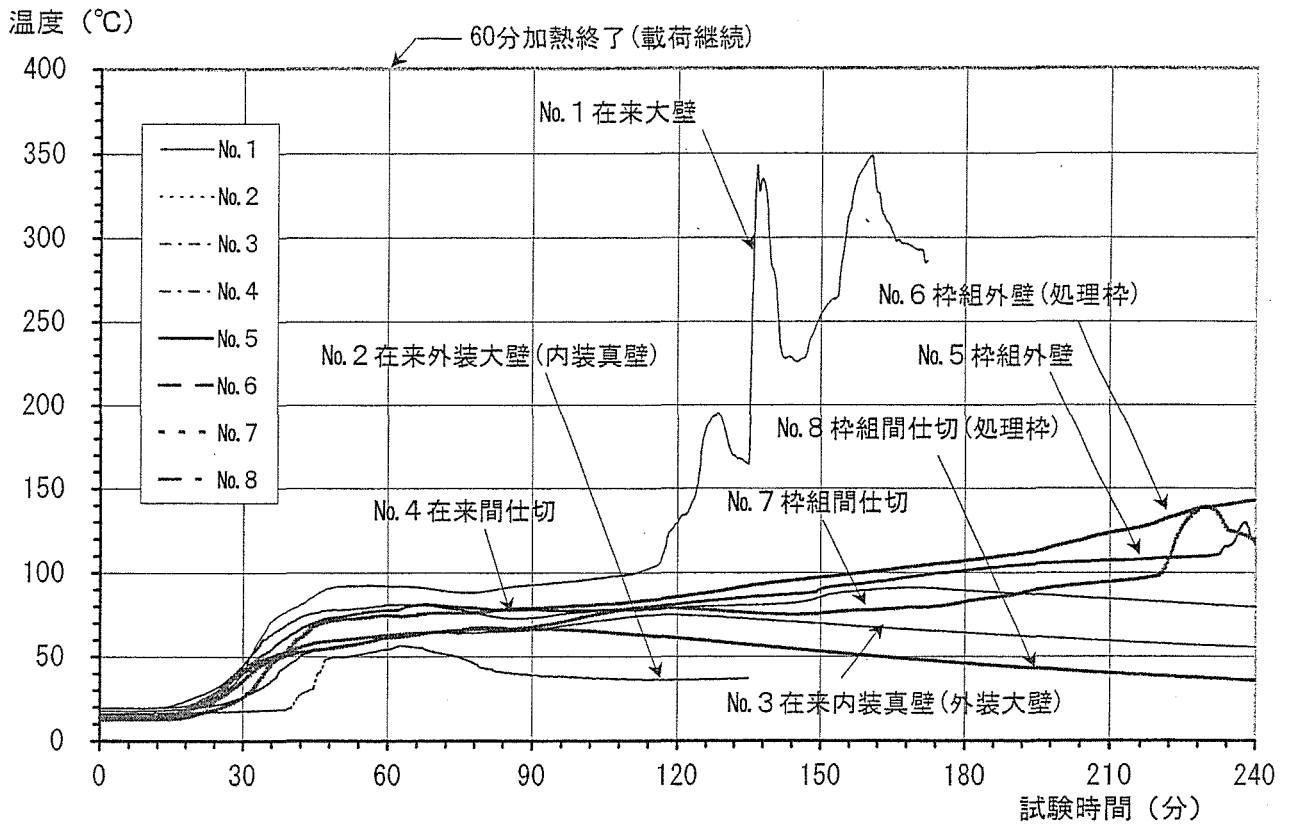


図1. 4. 2-1 壁載荷加熱試験、加熱側材料裏面平均温度の推移

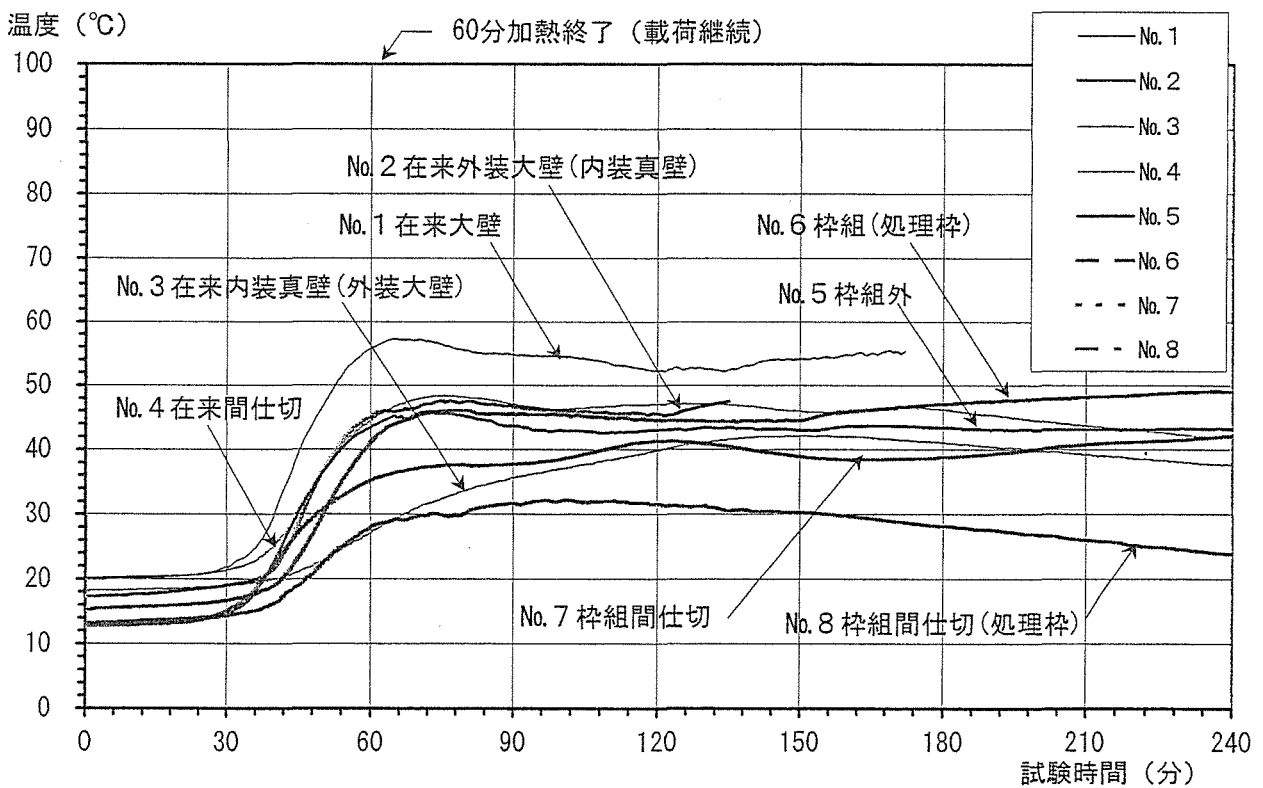


図1. 4. 2-2 壁載荷加熱試験、柱・間柱表面平均温度の推移

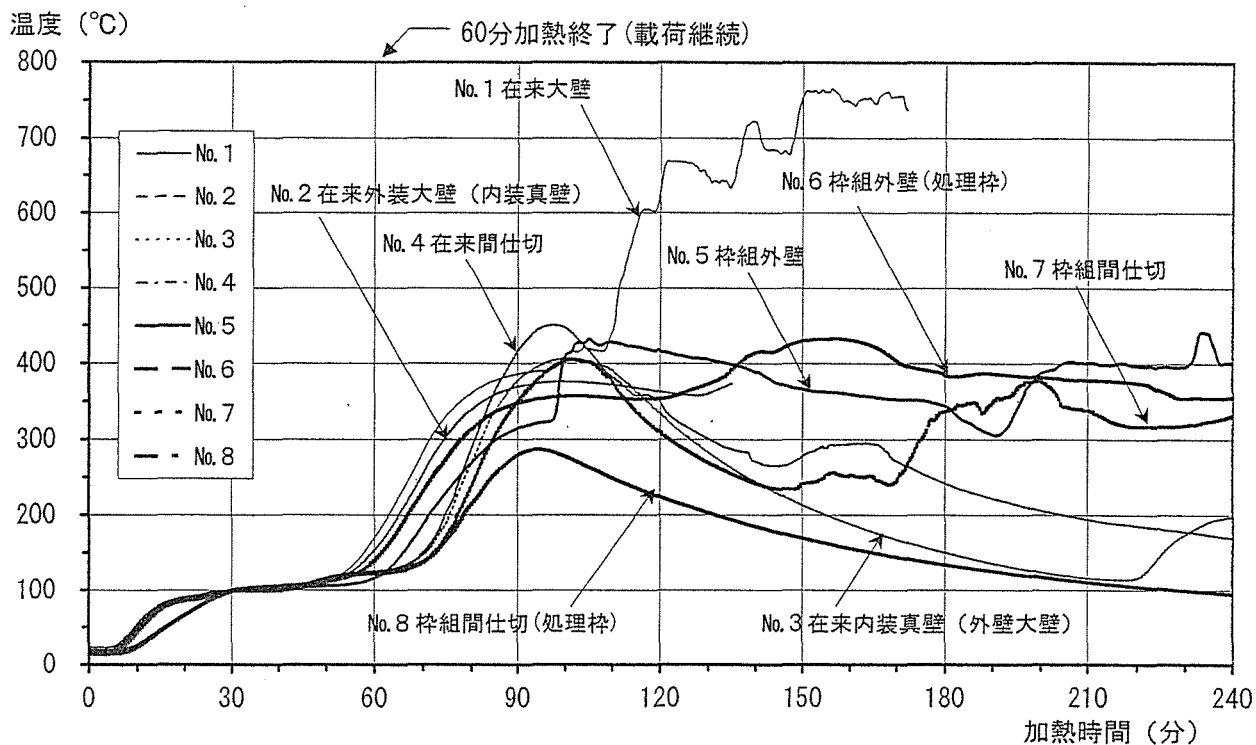


図1. 4. 2-3 壁載荷加熱試験、断熱材裏面平均温度の推移

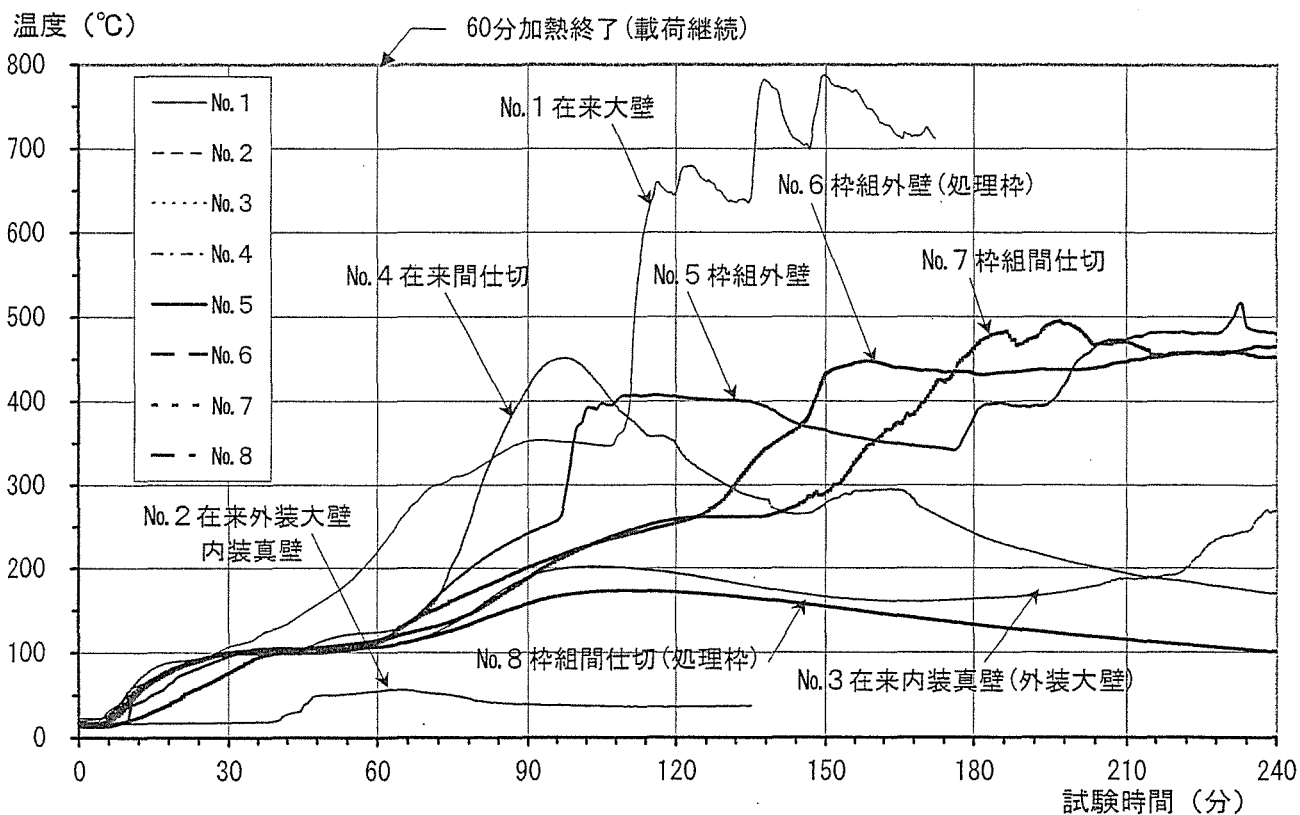


図1. 4. 2-4 壁載荷加熱試験、試験体裏面平均温度の推移

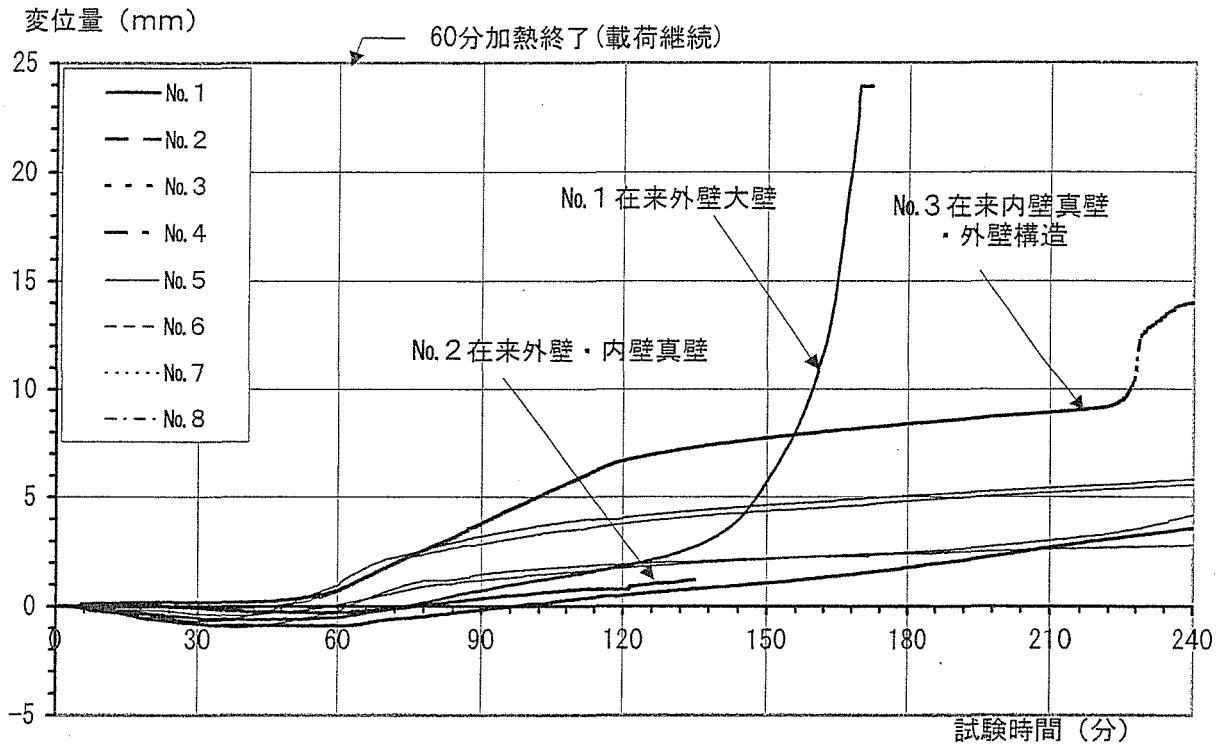


図1. 4. 3-1 壁載荷加熱試験、軸方向変位量の推移

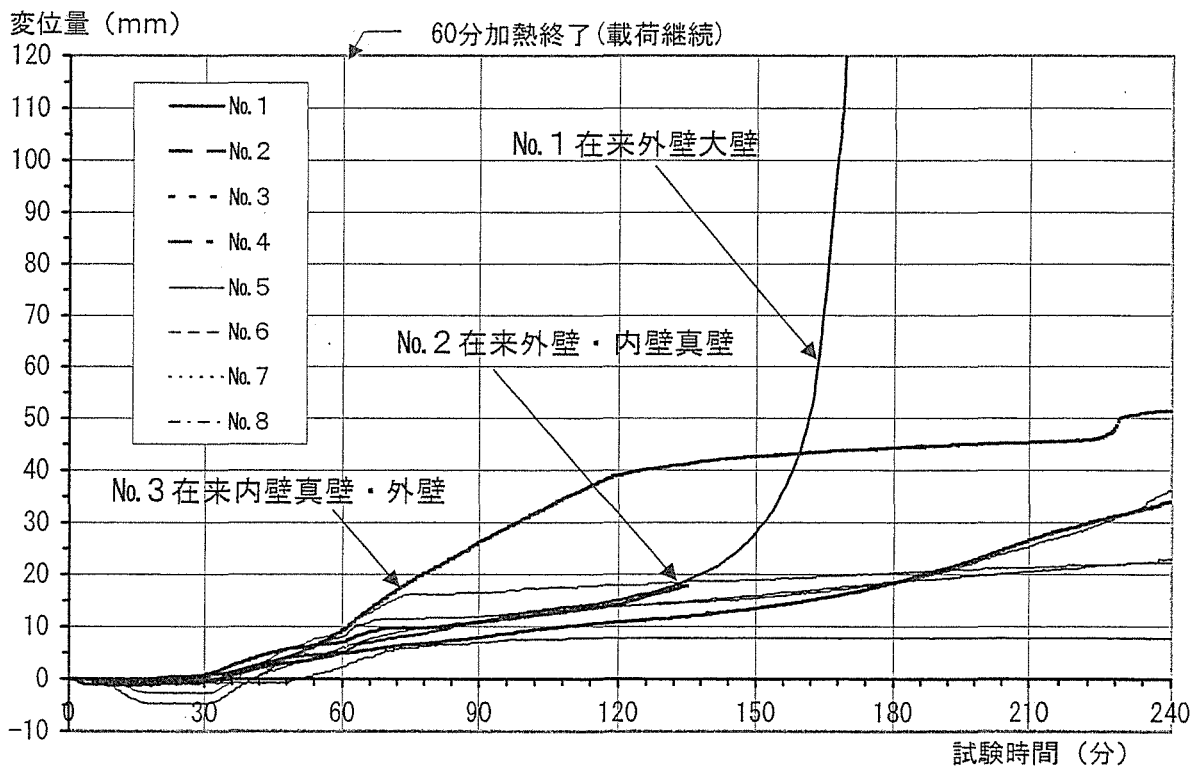
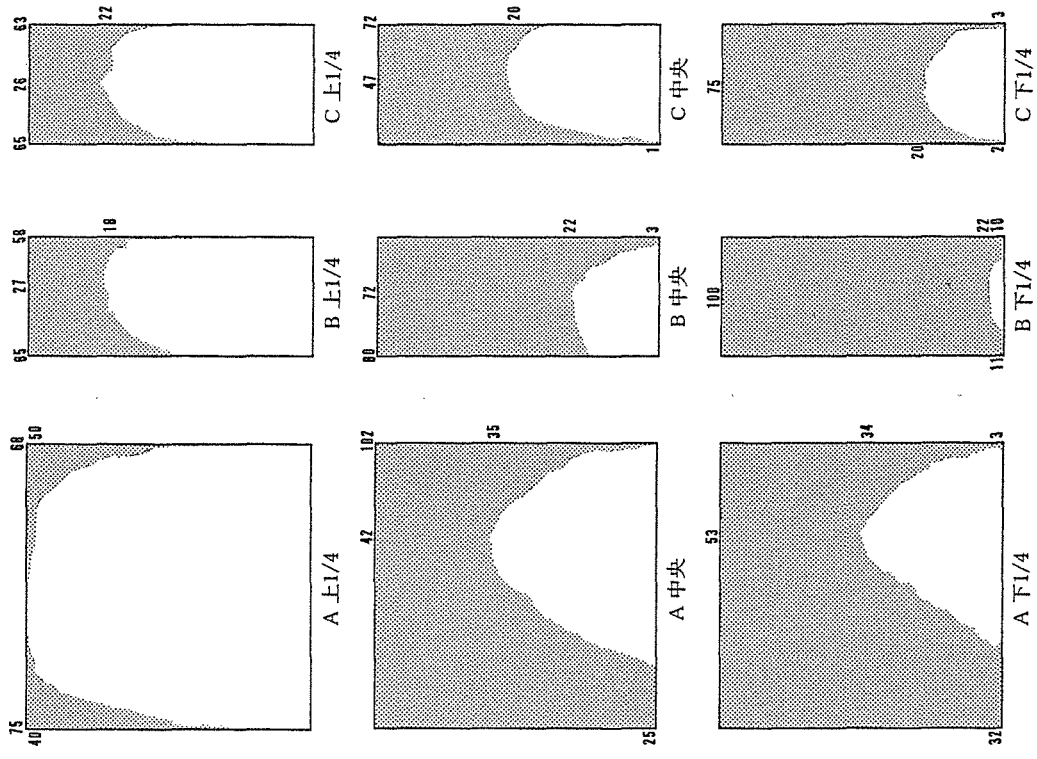


図1. 4. 3-2 壁載荷加熱試験、面外方向変位量の推移

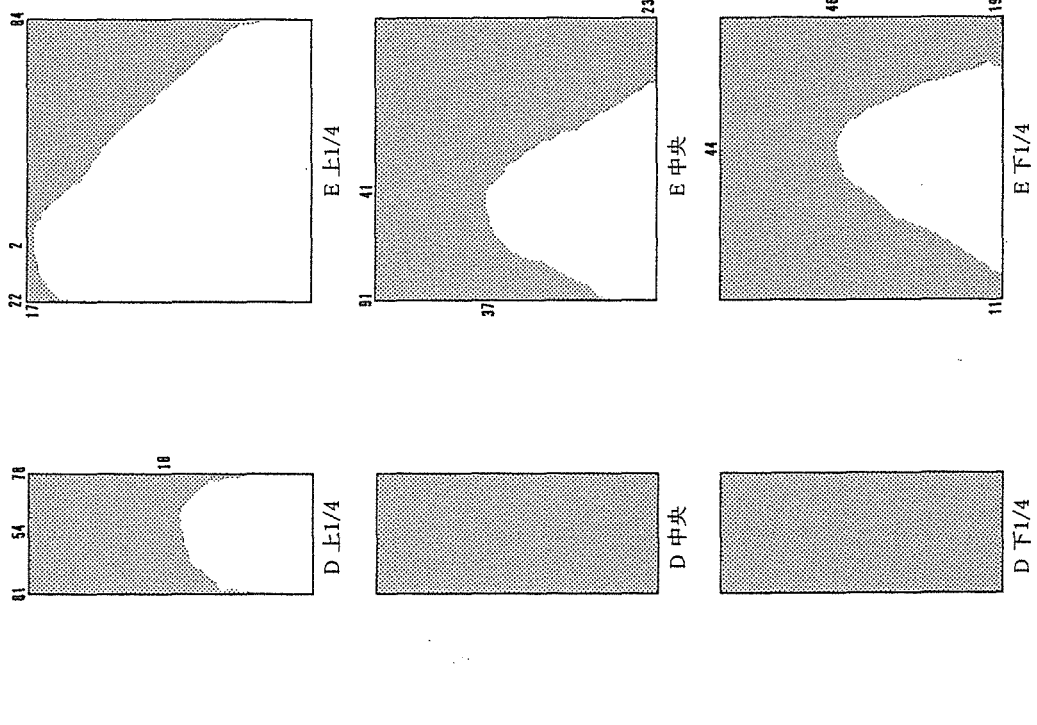
1.4.4 試験体軸組の炭化状況

試験終了後に面材を取り除いた後、柱、間柱、スタッド等に4等分点の炭化深さを測定した。

- 1) 試験体No.1の在来大壁外壁構造では、170分に試験を終了した後の炭化状況は、左右の柱双方とも柱下部の燃焼が大きく、また間柱においても下部の方の燃焼が大きく、炭化消失した部分も見られた。炭化状況を図1.4.4-1に示す。
- 2) 試験体No.2の在来外壁大壁・内壁真壁構造では、135分に試験を終了した後の炭化状況は、柱・間柱とも燃焼は認められなかった。試験終了は、内壁真壁柱の際から燃え抜けが認められたためであるが、加熱側材料の横目地を通して非加熱側に達するような部分的な燃焼が生じたと考えられ、他の部分の燃焼は生じていなかった。炭化状況を図1.4.4-2に示す。
- 3) 試験体No.3の在来内壁真壁・外壁大壁構造では、240分に試験を終了した後の炭化深さ状況は、真壁柱表面は40mm前後の炭化深さであったが、部分的に裏面側まで燃え込んでいた。間柱は横目地の部分で燃焼が生じていたが、それ以外はほとんど燃焼が認められず健全であった。炭化状況を図1.4.4-3に示す。
- 4) 試験体No.4の在来大壁間仕切壁構造では、240分に試験を終了した後の炭化状況は、柱、間柱とも横目地より上部の燃焼が大きく、中央より下部は燃焼が認められず健全であった。炭化状況を図1.4.4-4に示す。
- 5) 試験体No.5の枠組壁工法大壁外壁構造では、240分の試験を終了した後の炭化状況は、燃焼したスタッドと燃焼が少ないスタッドがあり、燃焼したスタッドでは炭化消失した部分も認められた。燃焼したスタッドでは下部の方ほど炭化が大きい傾向であった。炭化状況を図1.4.4-5に示す。
- 6) 試験体No.6の枠組壁工法大壁外壁構造で難燃薬剤処理スタッドを用いた試験体では、240分に試験を終了した後の炭化状況は、スタッド全体が炭化し、一部では消失していた。炭化深さは21mmから89mm(消失)の範囲であった。炭化状況を図1.4.4-6に示す。
- 7) 試験体No.7の枠組壁工法間仕切壁構造では、240分の試験終了後の炭化状況はスタッド下部で炭化消失部分も認められたが、ほぼ健全で燃焼が認められないスタッドもあった。全体的には中央より下部の燃焼が大きい傾向にあった。炭化状況を図1.4.4-7に示す。
- 8) 試験体No.8の枠組壁工法間仕切壁構造で難燃薬剤処理スタッドを用いた試験体では、240分の試験終了後の炭化状況はスタッド表面の変色が認められたが、炭化部分は認められなかった。炭化状況を図1.4.4-8に示す。



試験体記号: No.1 EE-KS18+SKS15(C)



試験体記号: No.1 EE-KS18+SKS15(C)

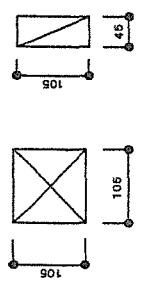


図1.4.4-1 試験体No. 1、加熱後の軸組の炭化状況

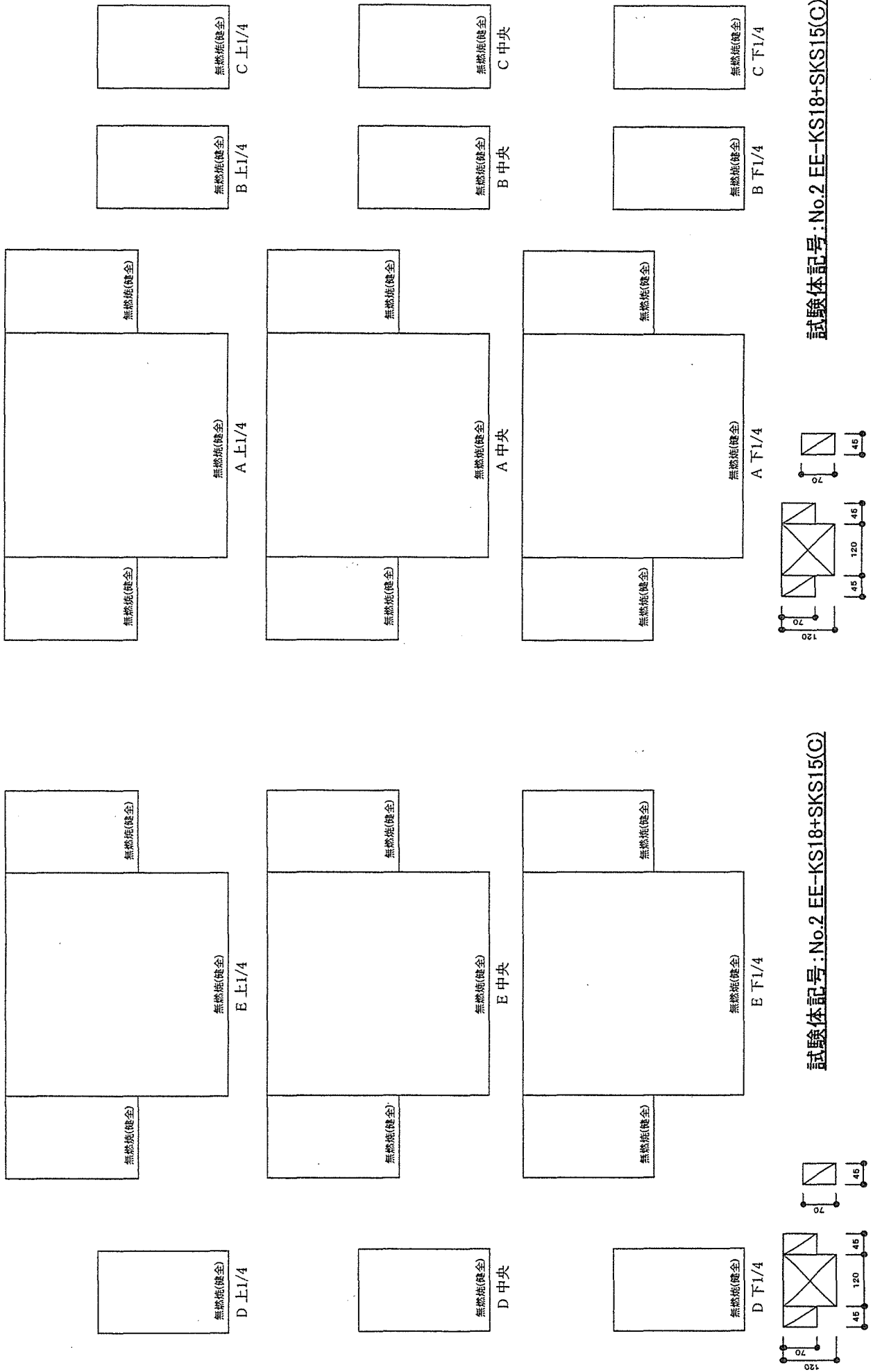


図1.4.4-2 試験体No.2、加熱後の軸組の炭化状況

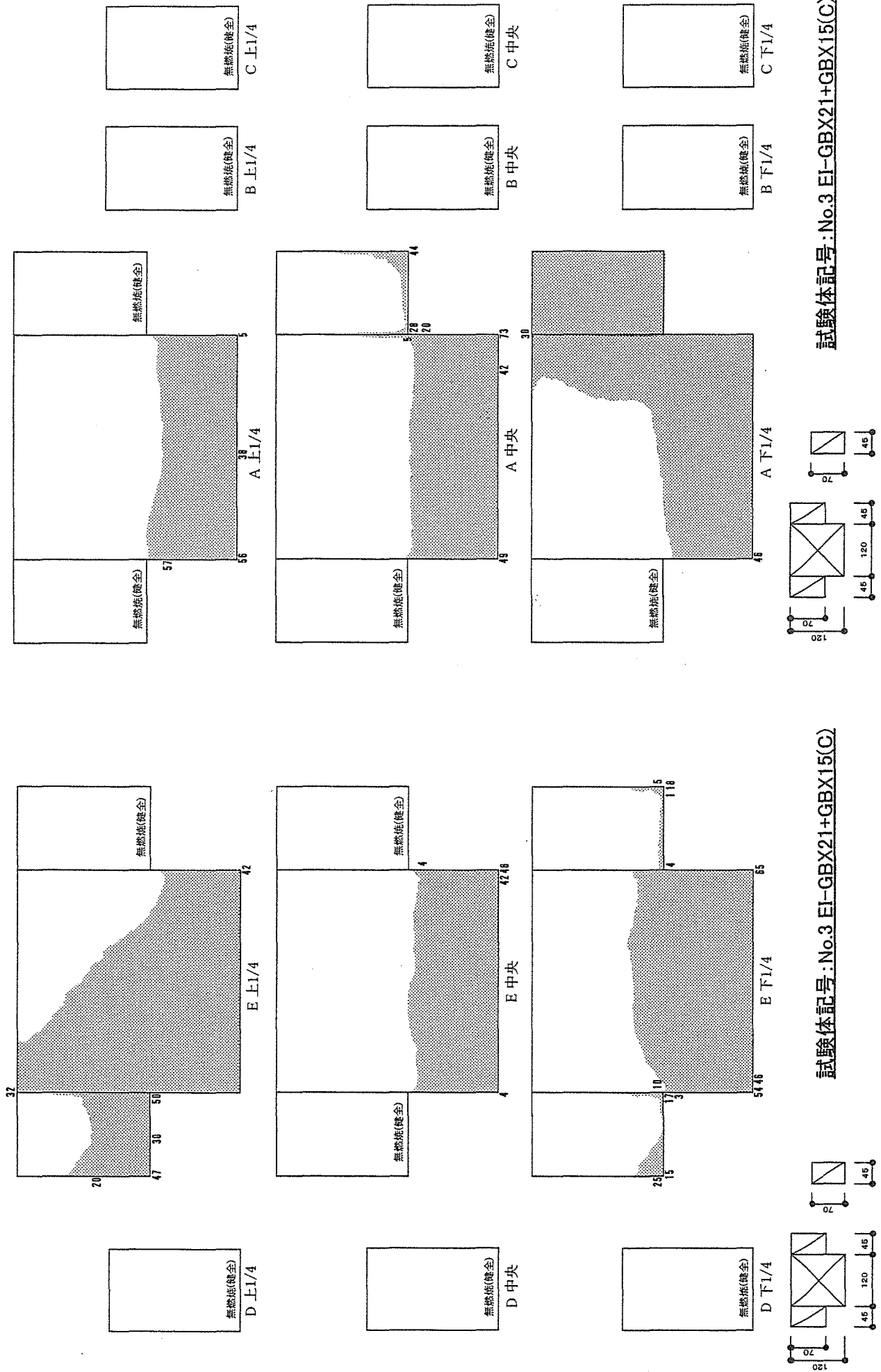
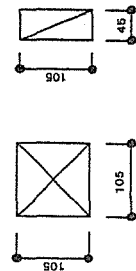
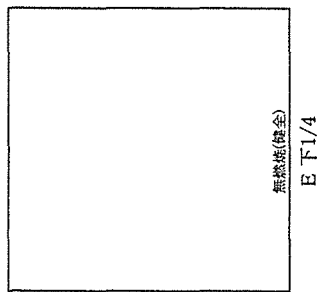
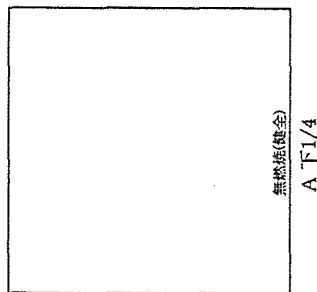
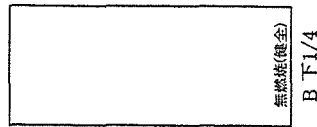
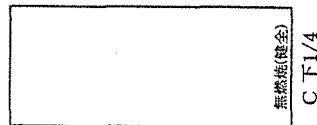
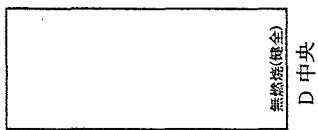
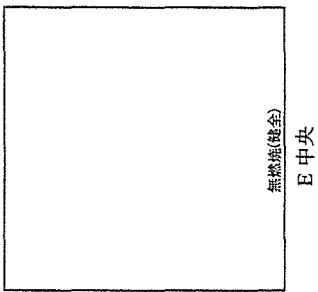
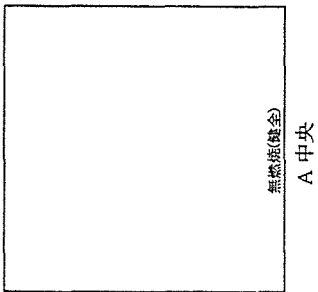
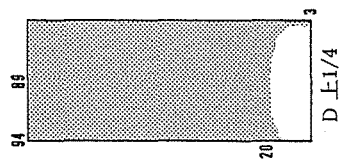
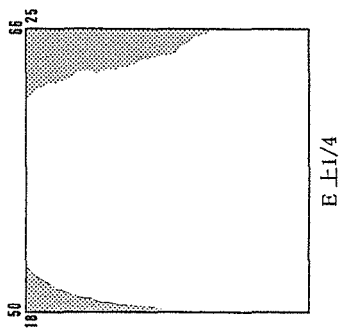
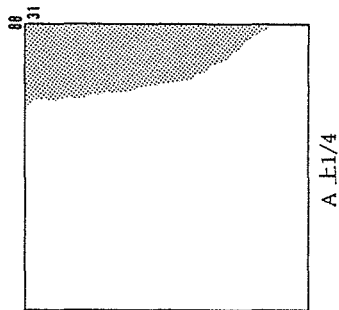
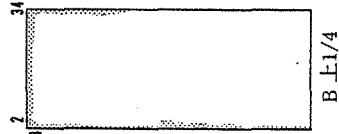
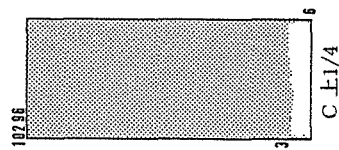


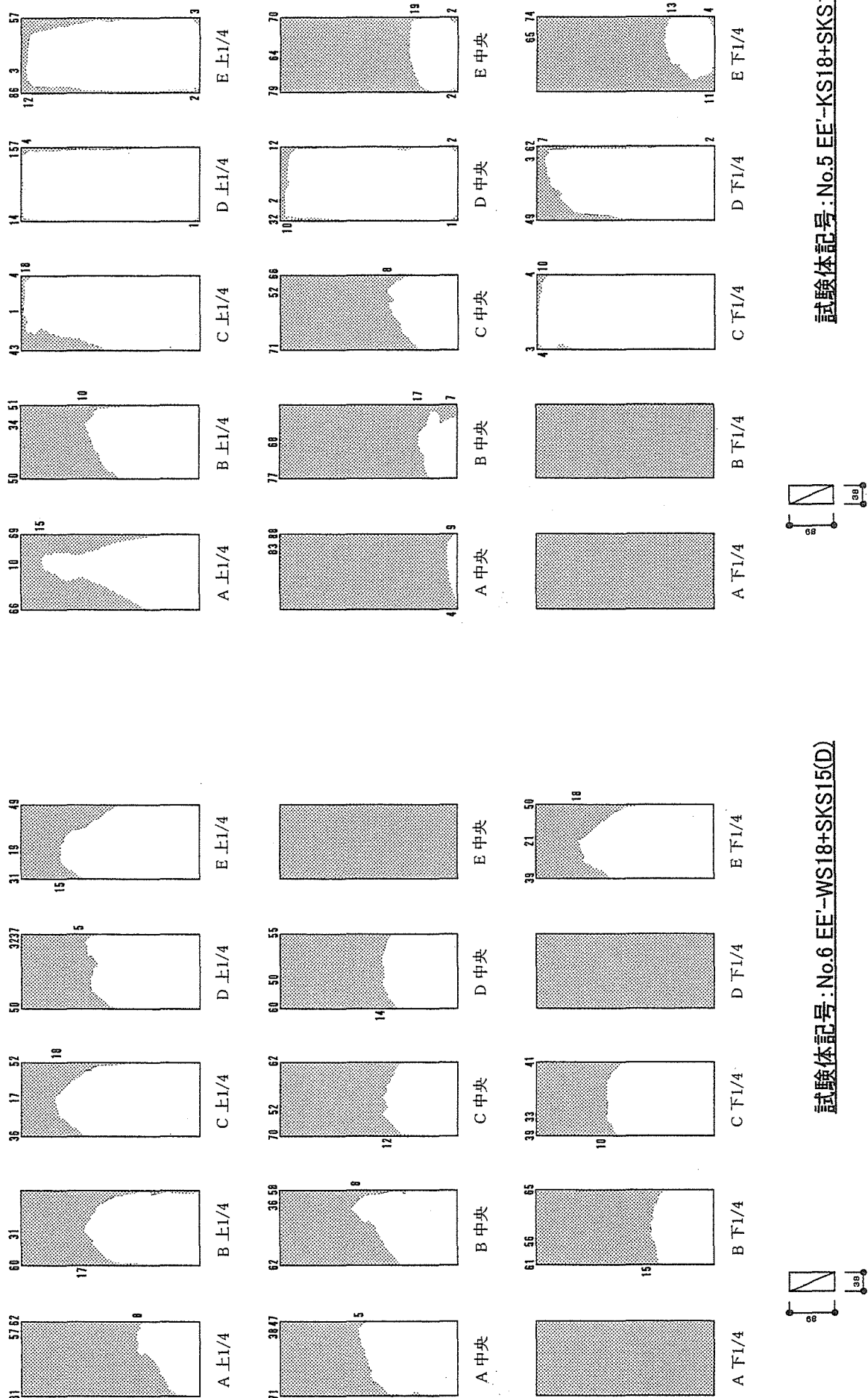
図1.4.4-3 試験体No.3、加熱後の軸組の炭化状況



試験体記号: No.4 P-GBX21+GBX15(C)

試験体記号: No.4 P-GBX21+GBX15(C)

図1.4.4-4 試験体No.4、加熱後の軸組の炭化状況

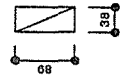
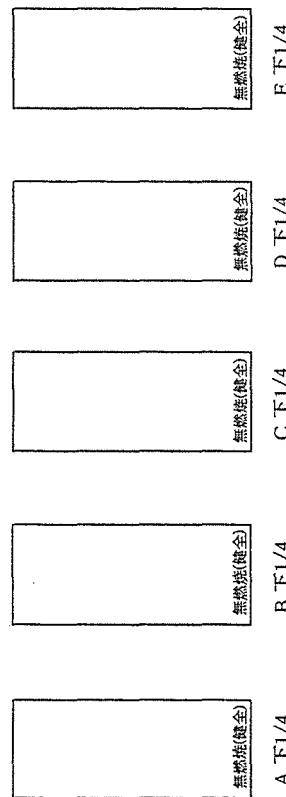
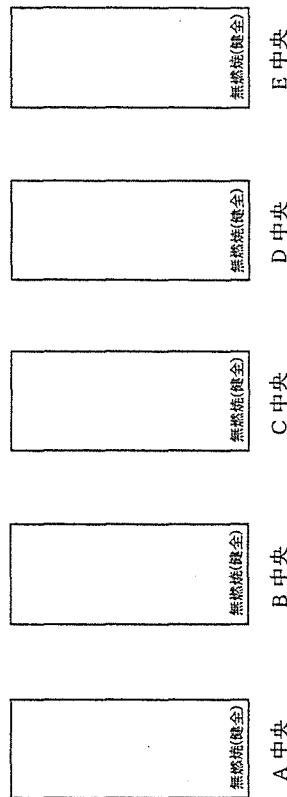
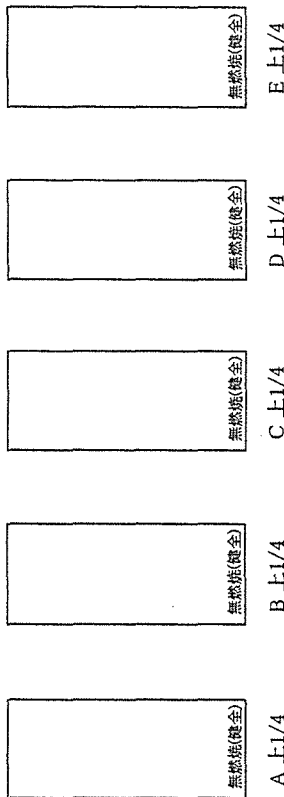
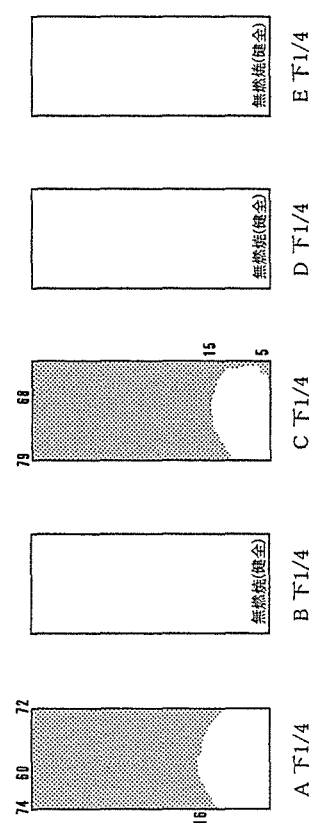
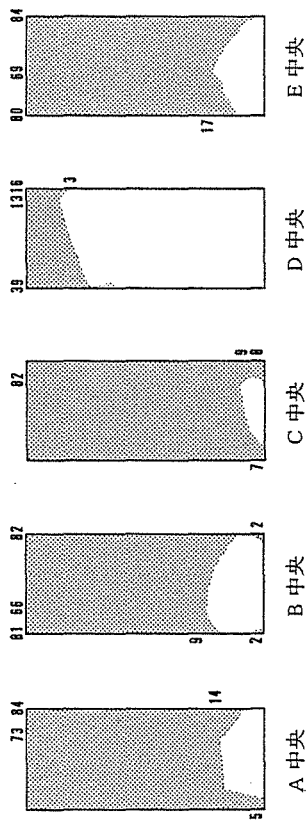
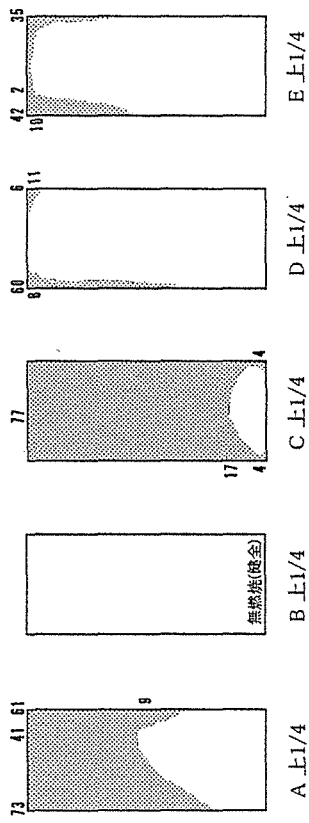


試験体記号: No.5 EE'-KS18+SKS15(D)

試験体記号: No.6 EE'-WS18+SKS15(D)

図1.4.4-5 試験体No.5、加熱後の軸組の炭化状況

図1.4.4-6 試験体No.6、加熱後の軸組の炭化状況



試験体記号:No.8 P'-GBX21+GBX15(D)

試験体記号:No.7 P-GBX21+GBX15(D)

図1.4.4-8 試験体No.8、加熱後の軸組の炭化状況

図1.4.4-7 試験体No.7、加熱後の軸組の炭化状況

1.4.5 まとめ

1) 本年度実施した外壁構造、間仕切壁構造について、在来軸組工法の外壁大壁構造、内壁真壁・外壁大壁造とした構造の外壁側からの試験は、60分の加熱終了時には裏面側への炎の出現もなく、規定温度にも達していなかったが、加熱後の放置中に内部の軸組が燃焼して試験体の燃え抜けや座屈が生じた。

2) 在来軸組工法の内装真壁・外装大壁造で内壁側からの試験及び間仕切壁構造の試験では、60分加熱に続く3時間の放置後においても裏面側の温度は規定温度に達せず、壁の座屈や燃え抜けなどもなく1時間耐火構造の評価基準に適合していた。しかし、試験終了時の軸組部材は火気の残存が認められ、燃焼が継続していた。

3) 枠組壁工法の外壁構造では、60分加熱に続く3時間の経過後においても裏面側の温度は規定温度に達せず、壁の座屈や燃え抜けなどもなく1時間耐火構造の評価基準に適合していた。しかし、試験終了時の軸組部材は火気の残存が認められ、燃焼が継続していた。

4) 枠組壁工法の間仕切壁構造では、60分加熱に続く3時間の経過後においても裏面側の温度は規定温度に達せず、壁の座屈や燃え抜けなどもなく1時間耐火構造の評価基準に適合していた。しかし、試験体No.7では試験終了時の軸組部材は火気の残存が認められ、燃焼が継続していた。難燃処理を行ったスタッドを用いた試験体No.8では、軸組部材の燃焼は認められず、目地部に沿って変色とわずかな焦げが認められる程度であった。

5) 外壁構造は在来軸組工法では評価基準に適合できなかった。また、枠組壁工法では基準に適合していたが内部の軸組部材の燃焼が継続していた。特に外壁材料の目地部からの燃え込みが認められ、軸組部材の燃焼を抑制するためには外壁材の目地部の処理方法を考慮することが必要と考えられる。

6) 間仕切壁構造では評価基準に適合していたが、難燃処理スタッドを用いたもの以外では試験終了後も軸組部材の燃焼が継続していた。内壁下地材の目地部分からの燃え込みが認められ、目地部の処理並びに軸組部材に難燃薬剤処理を行った材料を用いることにより、60分加熱に続く3時間放置においても壁内部の軸組の燃焼を抑制できるものと考えられる。

2. 床構造の載荷加熱試験

木造床組については、在来軸組工法及び枠組壁工法について実験を実施することとし、天井には木製野縁と鋼製野縁を用いて天井材を張り、床面には合板と硬質木片セメント板を張った構造とした。床構造の短辺部分に梁を設け、床根太、野縁を梁で受け、梁部分で床荷重を支持し、長辺方向は床荷重によりたわみが生じるように拘束しないように試験体を製作して載荷加熱試験に供した。

2.1 床構造試験体

2.1.1 試験体仕様

試験体は、在来軸組工法においては天井野縁を木製としたもの (No.1)、鋼製の野縁としたもの (No.2) の2体、枠組壁工法では根太に直接天井材を張った直張り天井仕様のもの (No.3)、鋼製野縁としたもの (No.4) 2体の計4体とした。

試験体寸法は幅3,000mm、長さ4,550mmで、加熱部分の面積は幅2,730mm、長さ4,310mmとした。

在来軸組工法の床試験体は、両端に梁を置き、天井は野縁組、床は大引に床根太を組んだ。野縁には木製と鋼製を用いた。鋼製野縁を用いたものは吊り天井とし、天井裏に断熱材を入れずに製作した。

枠組壁工法の床試験体の梁はベイマツ(120×300mm)、床根太(210材:38×235mm)には甲種2級材を用いた。鋼製根太は厚さ0.6mmの45×100mmを用い、吊り天井仕様とした。鋼製野縁を用いた試験体では、天井裏に厚さ50mmのロックウール(40K)を敷き詰めた。

在来軸組工法の試験体軸組図及び材料割付図を図2.1-1から図2.1-4に、枠組壁工法の試験体軸組図及び材料割付図を図2.1-5及び図2.1-8に示す。

また各試験体の壁構成材料の耐火性能を基にして、既往の結果を参考に表面材料を選定し、表2.1-1及び下記に示す仕様とした。

① 試験体No.1 FS-GBX21+GBX15(C)、在来軸組工法、吊り天井構造

天井材：強化せっこうボード21mm(幅606mm)下張り

強化せっこうボード15mm張り

床面側：構造用合板24mm下地、硬質木片セメント板18mm上張り

天井裏：断熱材なし

梁：ベイマツ、120×450mm

野縁：ベイツガ、40×45mm、@455、@606、格子組

大引：ベイツガ、105×210mm

根太：ベイツガ、45×45mm、@455

試験体No.1の軸組図を図2.1-1、面材割付図を図2.1-2に示す。

② 試験体No.2 FSS-GBX21+GBX15(C)、在来軸組工法、吊り天井構造

天井材：強化せっこうボード21mm(幅606mm)下張り

表 2. 1 - 1 木造床構造試験体仕様一覧表

No.	記号	工法	加熱側被覆材 (天井側)	非加熱側被覆材 (床表面側)	天井内部	備考
1	FS-GBX21 +GBX15(C)	在来軸組	強化石膏ボード(21)下地 強化石膏ボード(15)	構造用合板(24)下地 硬質木片セメント板(18)	断熱材なし	木製野縁吊り天井
2	FSS-GBX21 +GBX15(C)	在来軸組	強化石膏ボード(21)下地 強化石膏ボード(15)	硬質木片セメント板(18)下地 構造用合板(24)	断熱材なし	鋼製野縁吊り天井
3	FS-GBX21 +GBX15(D)	桝組壁	強化石膏ボード(21)下地 強化石膏ボード(15)	構造用合板(24)下地 硬質木片セメント板(18)	ロックウール 40K(50mm)	床根太直張り天井
4	FSS-GBX21 +GBX15(D)	桝組壁	強化石膏ボード(21)下地 強化石膏ボード(15)張り	硬質木片セメント板(18)下地 構造用合板(24)	ロックウール 40K(50mm)	鋼製野縁吊り天井

試験体記号 FS：床構造

FSS：鋼製野縁仕様の床構造

(C) は在来軸組工法、(D) は桝組壁工法を示す。

強化せっこうボード15mm張り

床面側：硬質木片セメント板18mm下地、構造用合板24mm上張り

天井裏：ロックウール40K、50mm充填

梁：ベイマツ、120×450mm

野縁：鋼製、40×50mm(SS4050)の角材@303

根太：ベイツガ、45×45mm、@455

大引：ベイツガ、105×210mm

試験体No.2の軸組図を図2.1-3、面材割付図を図2.1-4に示す。

③ 試験体No.3 FS-GBX21+GBX15(D)、枠組壁工法、直張り天井構造

天井材：強化せっこうボード21mm(幅606mm)下張り

強化せっこうボード15mm張り

床面側：構造用合板24mm下地、硬質木片セメント板18mm上張り

天井裏：断熱材なし

梁：ベイマツ、120×300mm

根太：甲種2級210材、@455

床受材：SPF、38×89mm

試験体No.3の軸組図を図2.1-5、面材割付図を図2.1-6に示す。

④ 試験体No.4 FSS-GBX21+GBX15(D)、枠組壁工法、直張り天井構造

天井材：強化せっこうボード21mm(幅606mm)下張り

強化せっこうボード15mm張り

床面側：構造用合板24mm下地、硬質木片セメント板18mm上張り

天井裏：ロックウール40K、50mm充填

梁：ベイマツ、120×300mm

根太：甲種2級210材、@455

床受材：SPF、38×89mm

野縁：鋼製、50×100mm、@151.7mm(床根太間)、床根太下端部と鋼製野縁下端部とは10mm隙間を開ける。

試験体No.4の軸組図を図2.1-7、面材割付図を図2.1-8に示す。

床構造試験体構成材料の比重、含水率等を表2.1-2に示す。

表2.1-2 各壁構造構成材料の比重、含水率一覧表

記号	壁構成材料(公称厚さ)	比重	含水率
KS18	硬質木片セメント板 18mm厚	1.49	14.7%
SKS18	繊維混入セメントけい酸カルシウム板 15mm厚	0.94	3.3%
GBX21	強化せっこうボード 21mm厚	0.78	0.3%
GBX15	強化せっこうボード 15mm厚	0.77	0.4%

2.1.2 試験体の温度測定位置

加熱中の試験体の温度変化を下記に示す位置に JIS C 1602 に定める0.75級以上の性能を有する径0.65mmのK(CA)熱電対を取り付けた。在来軸組工法の温度測定位置は、試験体No.1 木製野縁吊り天井を図2.1-9、試験体No.2 鋼製吊り天井を図2.1-10、試験体No.3 枠組壁工法の床根太直張り天井を図2.1-11に、試験体No.4 鋼製野縁吊り天井を図2.1-12に示す。

- 1) 試験体No.1 "FS-GBX21+GBX15(C)"、在来軸組工法、木製野縁仕様
 - ① 天井野縁表面温度 (測定点番号：1～9) 9点
 - ② 大引表面温度 (測定点番号：10～15) 6点
 - ③ 床板表面温度 (測定点番号：16～24) 9点

- 2) 試験体No.2 "FFS-GBX21+GBX15(C)"、在来軸組工法、鋼製野縁仕様
 - ① 天井野縁表面温度 (測定点番号：1～9) 9点
 - ② 大引表面温度 (測定点番号：10～15) 6点
 - ③ 床板表面温度 (測定点番号：16～24) 9点

- 3) 試験体No.3 "FS-GBX21+GBX15(D)"、枠組壁工法、床根太直張り天井仕様
 - ① 床根太表面・天井材裏面温度 (測定点番号：1～9) 9点
 - ② 天井裏面・空間温度 (測定点番号：10～18) 9点
 - ③ 床板表面温度 (測定点番号：19～26) 8点

- 4) 試験体No.4 "FSS-GBX21+GBX15(D)"、枠組壁工法、鋼製野縁吊り天井仕様
 - ① 床根太表面・天井材裏面温度 (測定点番号：1～9) 9点
 - ② 天井裏面・空間温度 (測定点番号：10～18) 9点
 - ③ 床板表面温度 (測定点番号：19～26) 8点

試験体裏面 (床板表面) 温度の測定には、厚さ0.2mm、径12mmのタフピッチ銅板に径0.65mmのK(CA)熱電対を溶接したディスク型熱電対を用い、裏面側を厚さ2mm、2cm角のセラミック板で覆った。

2.2 試験方法

2.2.1 加熱方法

加熱試験は、都市ガスを燃料とする水平加熱試験炉（内法：幅3.0m、長さ4.0m、高さ3.0m）により行った。加熱炉は、耐火煉瓦で組み立て、バーナーヘッド以外の部分にセラミックファイバー（アルミナシリケート繊維）を張り付けた構造である。試験方法は、性能評価機関の防耐火業務方法書による耐火性能試験方法を基に、ISO/834に規定する耐火加熱標準曲線に沿って炉内温度を制御し、2.2.2に示すように载荷をしながら加熱を行った。炉内加熱温度は、径3.2mmのシース熱電対を先端を開けたステンレス保護管に挿入して先端を露出し、先端の熱接点部分が加熱面から10cmの位置で10cm以上試験体面に沿うように、炉内に均等に8点設置した。加熱は、上記耐火加熱標準曲線によって1時間载荷加熱し、その後载荷を継続したまま最長3時間まで放置し、合計4時間の試験時間中で試験体の性能評価を行う。試験時間中に加熱側の火炎が床面を貫通するか、試験体のたわみが規定値を超えるかまたは変位の急上昇や試験体の燃焼が激しくなり試験の継続が困難になれば、その時点で試験を終了することとした。炉内加熱温度、

耐火性能の評価は、

①試験時間中に最大たわみ量または最大たわみ速度を超えた時間、

②試験体裏面温度の平均温度が初期温度+140℃を超えた時間又は試験体裏面の最高温度が初期温度+180℃を超えた時間、

③試験体が燃え抜けた時間、又は

④载荷が困難となった時間若しくは試験の継続が困難と判断された時間

のうち、最も早い時間を耐火性能とした。また、4時間の試験時間後に上記①～④の条件を満足すれば、1時間耐火構造としての性能を有すると評価することとした。

ここで、

最大たわみ量 $\leq L^2/400d$:

最大たわみ速度 $\leq L^2/9000d$

L : 支点間距離

d : 試験体構造断面の圧縮縁から引張縁の距離

・在来軸組工法では、L=4,310mm、d=400mm

よって最大たわみ量は 116.1mm、最大たわみ速度は 5.16mm/分

・枠組壁工法では、L=4,310mm、d=235mm

よって、最大たわみ量は 197.6mm、最大たわみ速度は 8.78mm/分

2.2.2 载荷試験方法

(1) 在来軸組工法床構造試験体

試験体には、床根太断面の長期許容曲げ応力度に相当する荷重を载荷した。試験体の根太は45×45mm、床根太間隔455mm、下記に示す計算方法により約3.8ton (37.2kN)を床面全体に载荷した。

床根太1本当たりの載荷荷重の計算

① 根太 (45×45mm)

b (cm)	=	4.5	材幅
h (cm)	=	4.5	材厚
L (cm)	=	0.91	スパン
a (m)	=	0.455	ピッチ
b (m)	=	0.455	ピッチ
y (cm)	=	0.45	
σ (N/mm ²)	=	11.55	
σ/Lfb	=	100%	
W (N/本)	=	1,542	
DL (N/mm ²)	=	3,724	
N (kgf/m ²)	=	321	
P (= $N \times 4.31 \times 2.73$)	=	3,777	Kgf (約37.2kN)

(2) 枠組壁工法試験体

試験体には、床根太として210材 (89×235mm) に、長期許容座屈応力度に相当する荷重を載荷した。材料はS-P-F材を用い、荷重を受ける床根太の長さを4,250mmとしたので、下記に示す計算方法により2.4 ton (約23.5kN) の圧縮力を載荷した。

床載荷荷重の計算

Fb (Kg/cm ²)	=	62.37	長期許容曲げ応力度
	=		$Fb = 1.1 \times Fsize \times Fsys \times fb$
$Fsize$	=	0.68	
$Fsys$	=	1.25	
fb (Kg/cm ²)	=	72	
	=	$\omega L^2 / 8$	$L = 425\text{cm}$
M	=	M/Z	$Z = 518\text{cm}^3$
Fb	=	1.04	
ω (Kg/cm)	=	3094	$1.04 \times 425 \times 7\text{本}$
N (kgf)	=	255	
$P1$ (Kg)	=	58.3	床根太重量 ($0.41 \times 23.5 \times 8.9 \times 425 / 1000$) ($\rho : 0.41$)
$P2$ (Kg)	=	147.6	床合板重量 ($0.53 \times 2.4 \times 273 \times 425 / 1000$)
$P3$ (Kg)	=	590.6	硬質木片セメント板重量 ($0.9 \times 1.8 \times 273 \times 425 / 1000$)
P (Kg)	=	2,503	$N - (P1 + P2 + P3)$: 載荷荷重 (約24.5kN)

本実験では、床面に均等に荷重がかかるように一個65Kgから100Kgの錘をのせて所定荷重となるよう載荷した。

2.2.3 試験体のたわみ量測定位置

加熱中の床試験体のたわみ量の測定は在来軸組工法を図2.2-1、枠組壁工法を図2.2-2に示す位置で測定した。又、床面に荷重を載荷するための載荷支持枠を図2.2-3に示す。

床端部たわみ量（測定点番号：1、3、4、6、7、9）左右各3点、計6点

床中央部たわみ量（測定点番号：2、5、8）3点

2.2.4 炉内圧力の測定

加熱中の炉内圧力を計測し、記録した。

2.2.5 映像記録

加熱中の試験体の非加熱側の変化状況を、写真撮影によって記録した。

2.2.6 目視記録

加熱中の試験体の加熱側・非加熱側の変化状況を、目視により観察記録した。

2.2.7 炭化状況の測定

試験体は加熱終了後、試験体を取り出すために時間が経過していたため、参考として炭化深さを計測した。

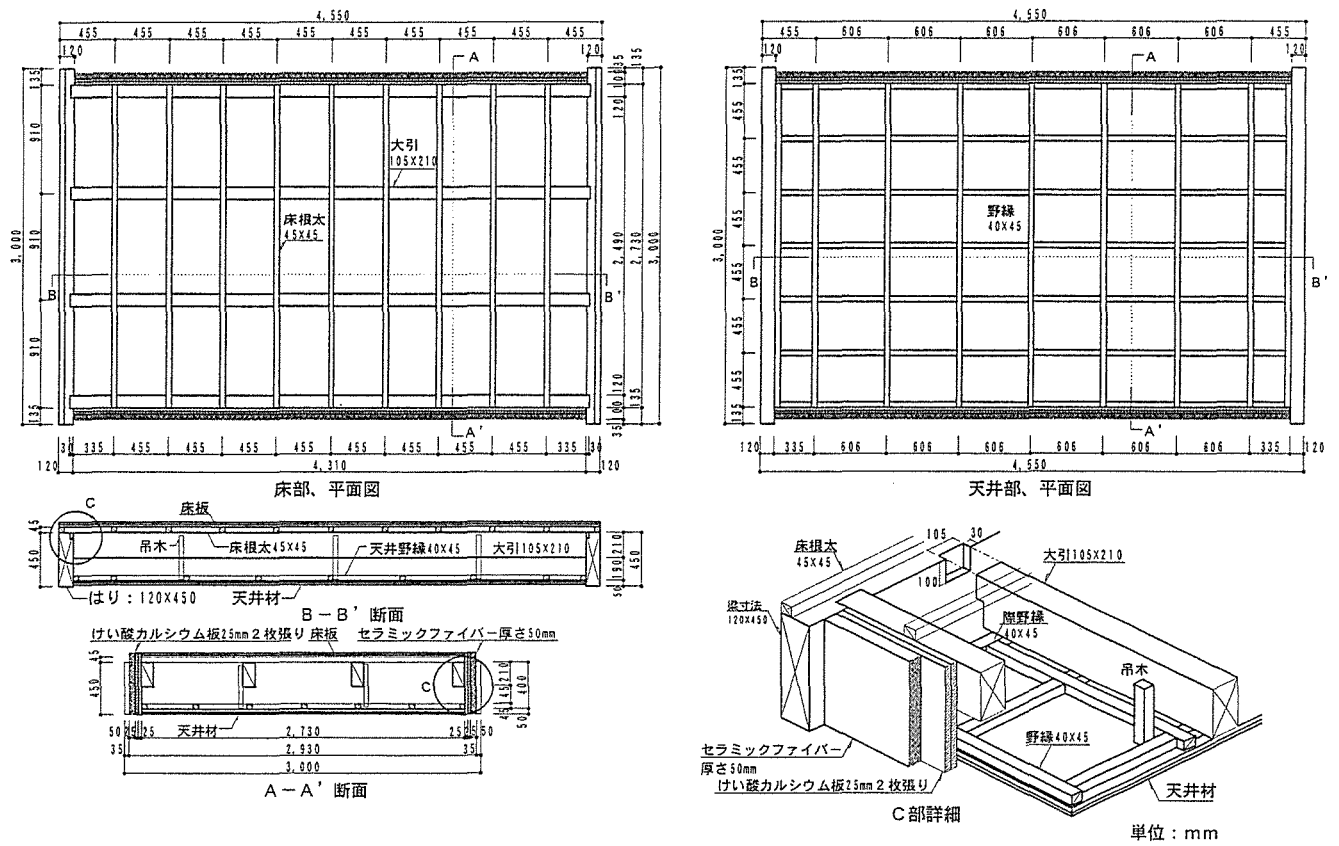


図2.1-1 試験体No. 1、在来軸組、床構造試験体概要図（木製野縁）

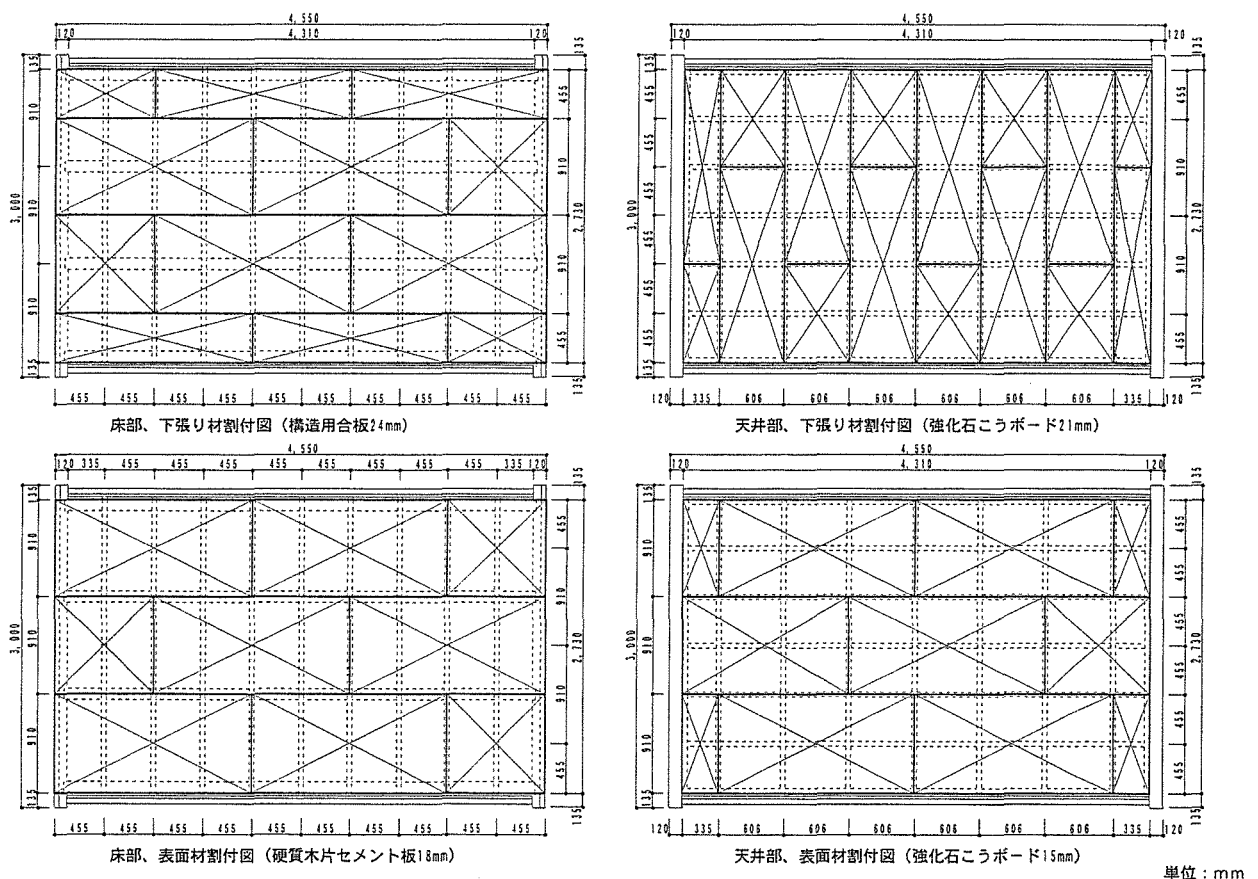


図2.1-2 試験体No. 1、在来軸組、木製野縁仕様、面材割付図

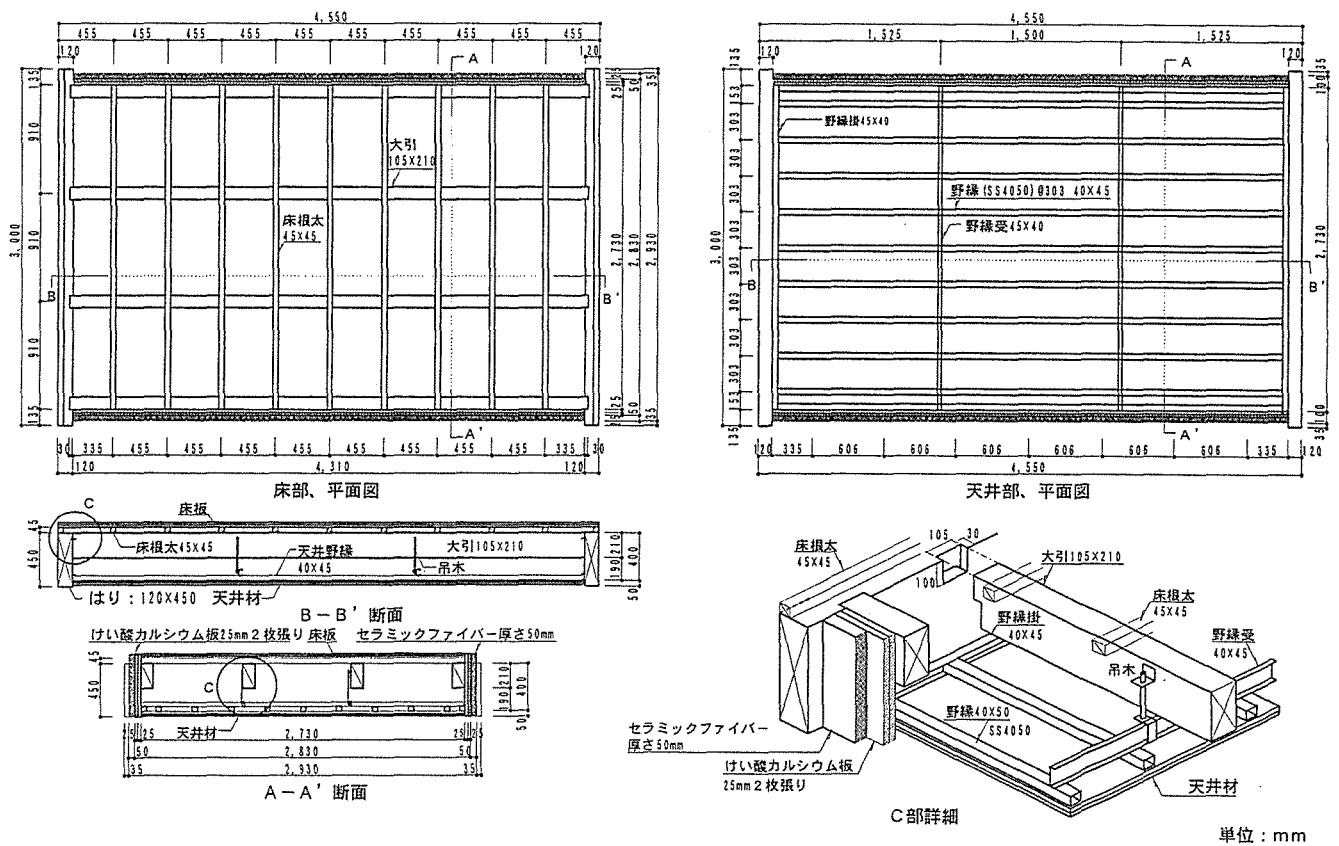


図2.1-3 試験体No.2、在来軸組、床構造試験体概要図（鋼製野縁）

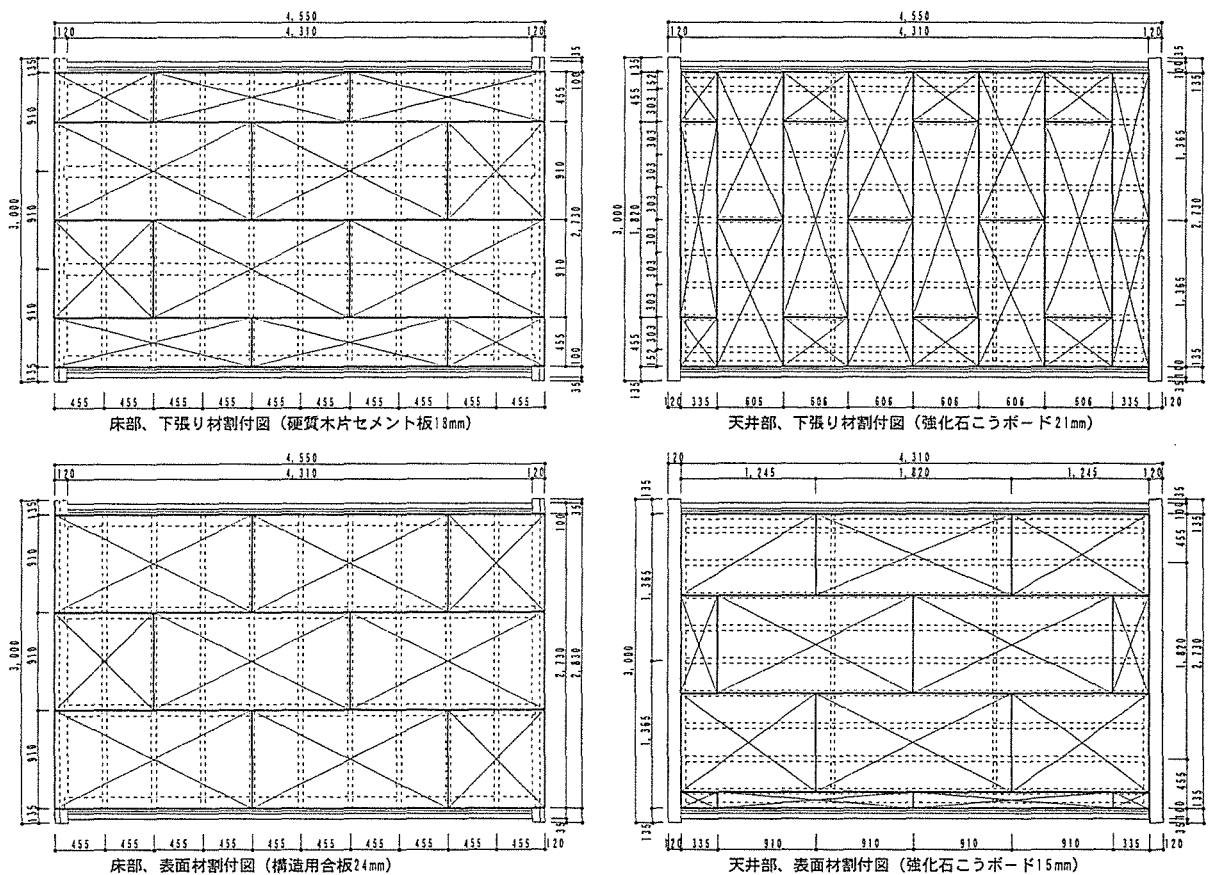


図2.1-4 試験体No.2、在来軸組、鋼製野縁仕様、面材割付図

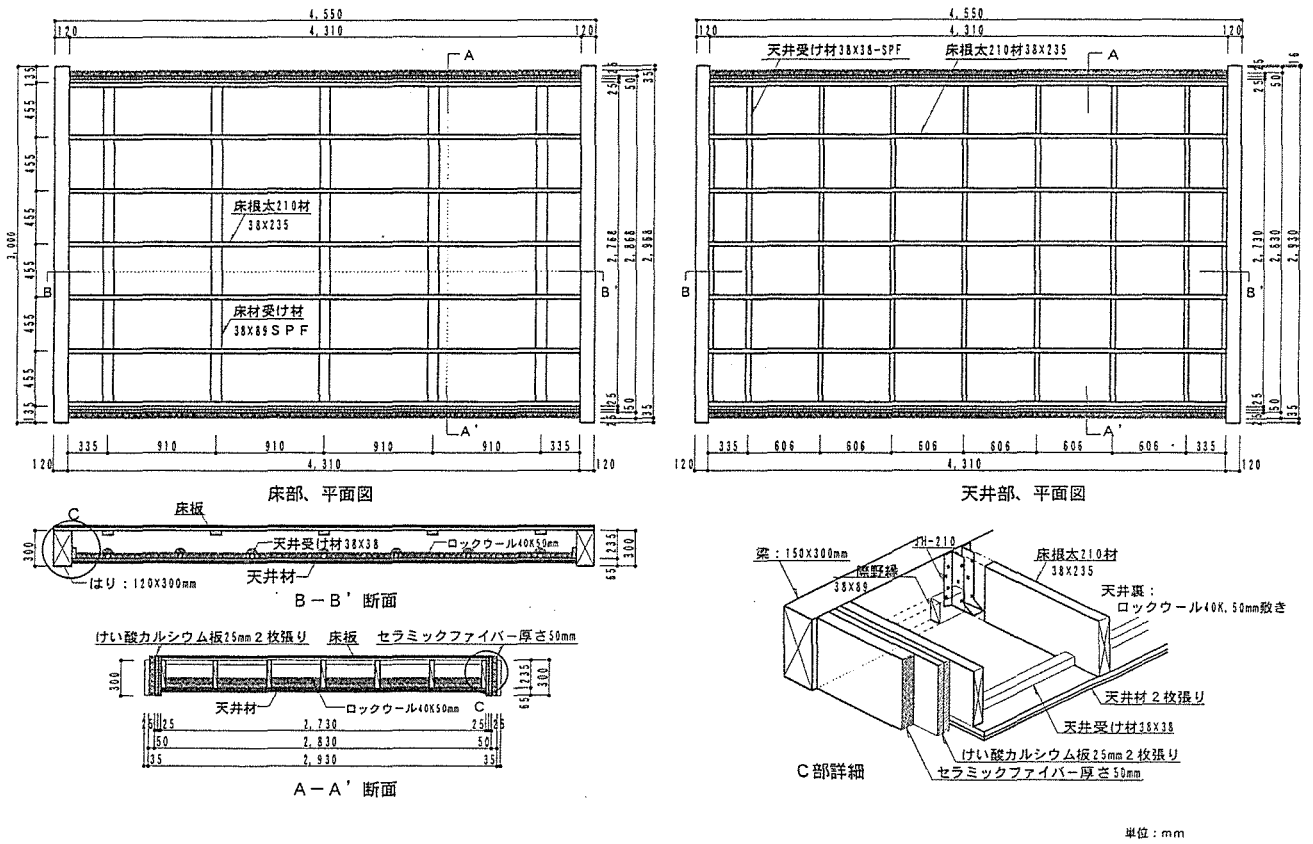


図2.1-5 試験体No.3、枠組壁、床構造試験体概要図（直張り天井）

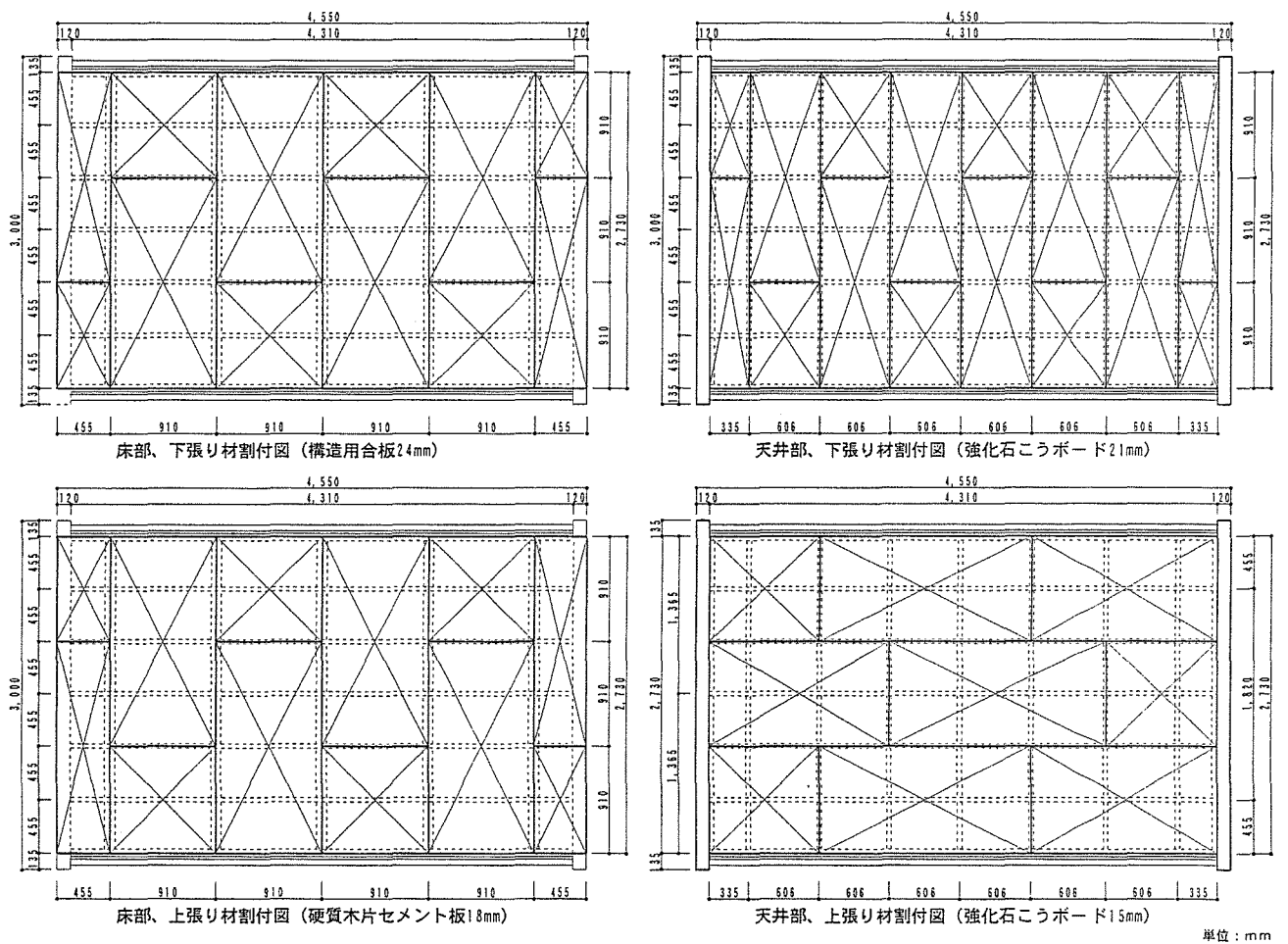


図2.1-6 試験体No.3、枠組壁、直張り天井、面材割付図

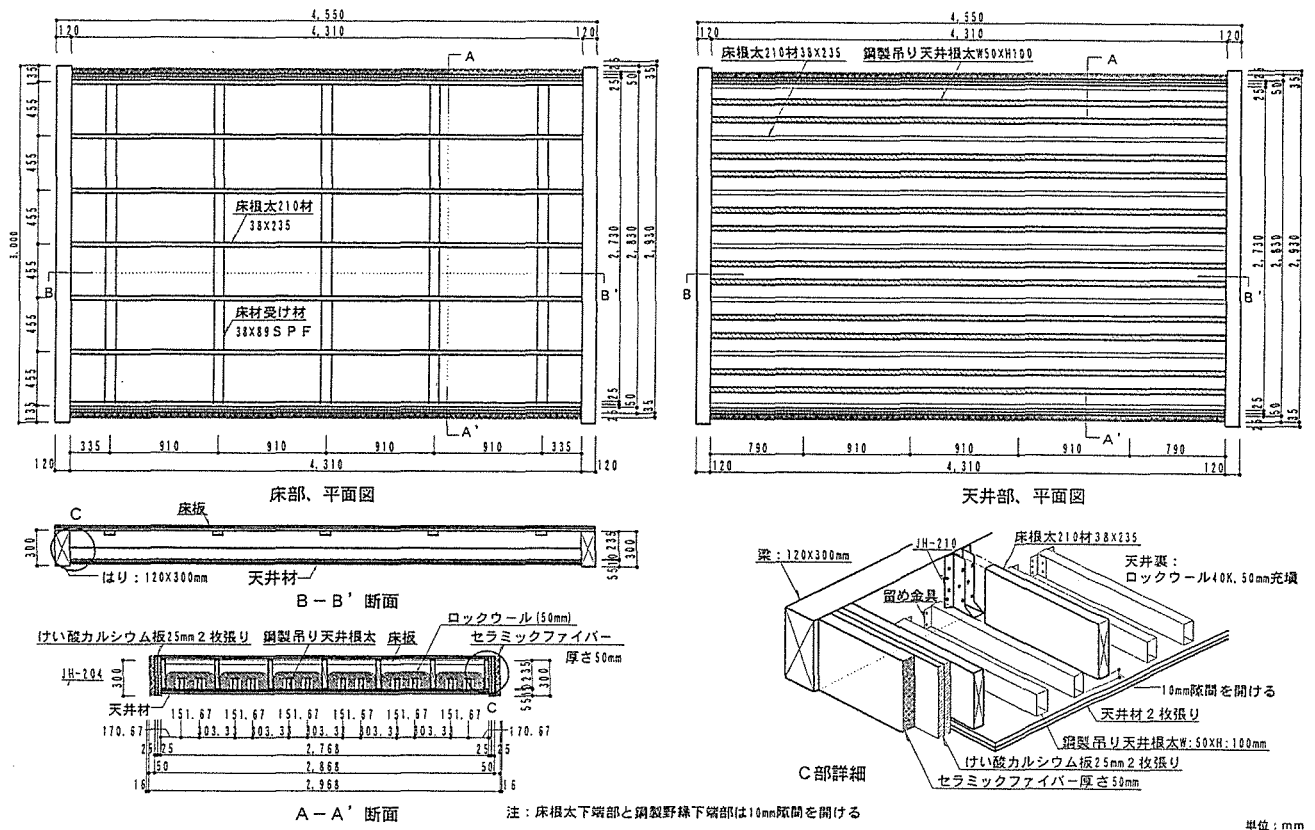


図2.1-7 試験体No. 4、枠組壁、床構造試験体概要図（鋼製野縁）

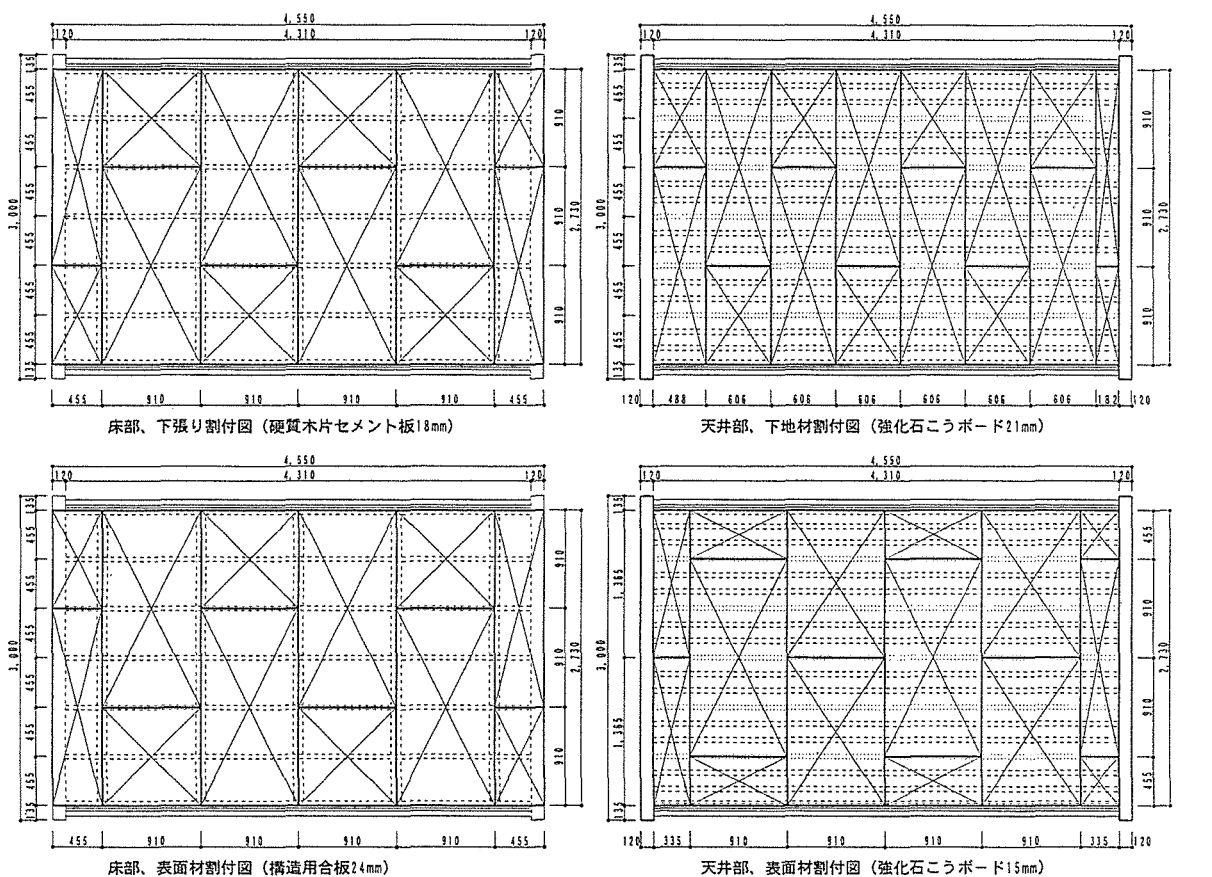


図2.1-8 試験体No. 4、枠組壁、鋼製野縁仕様、面材割付図

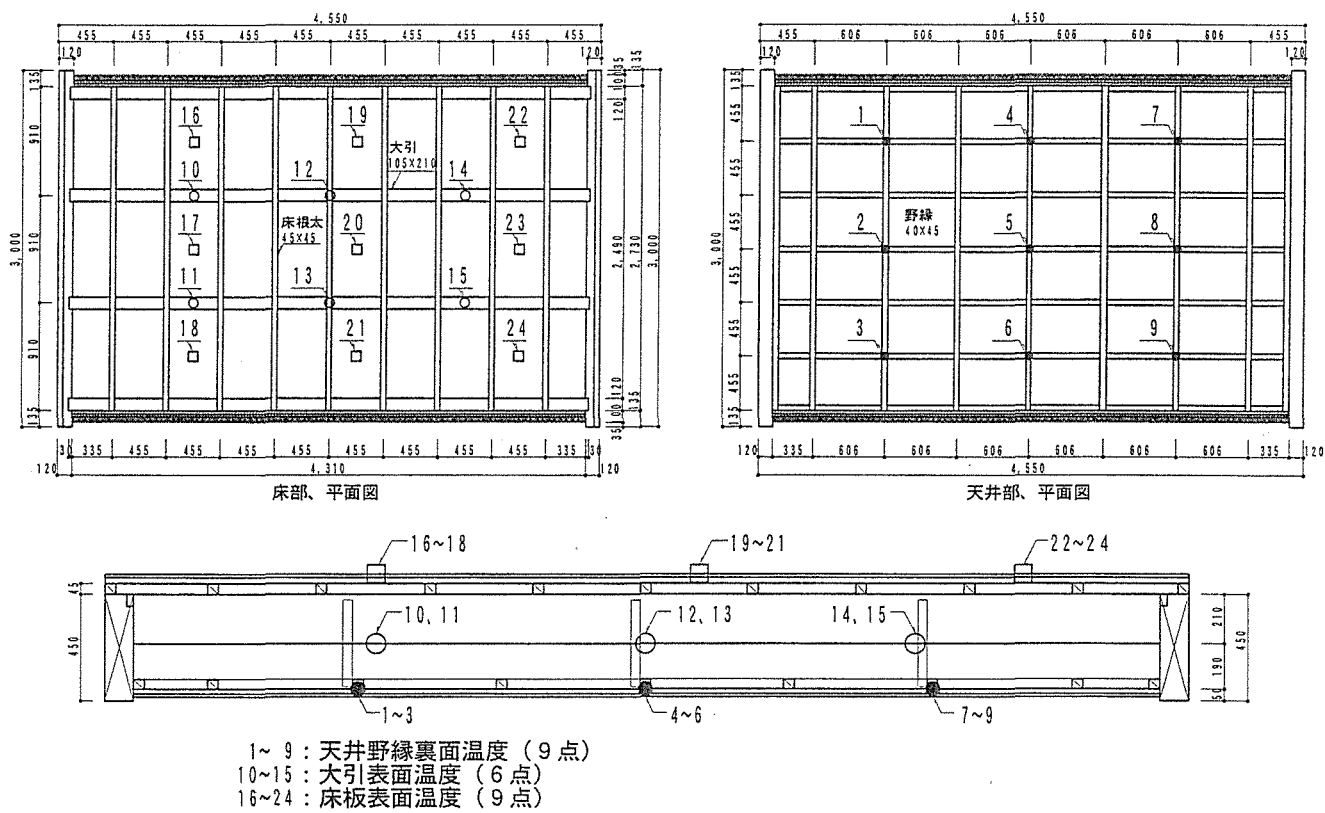


図2.1-9 試験体No.1、試験体各部温度測定位置図

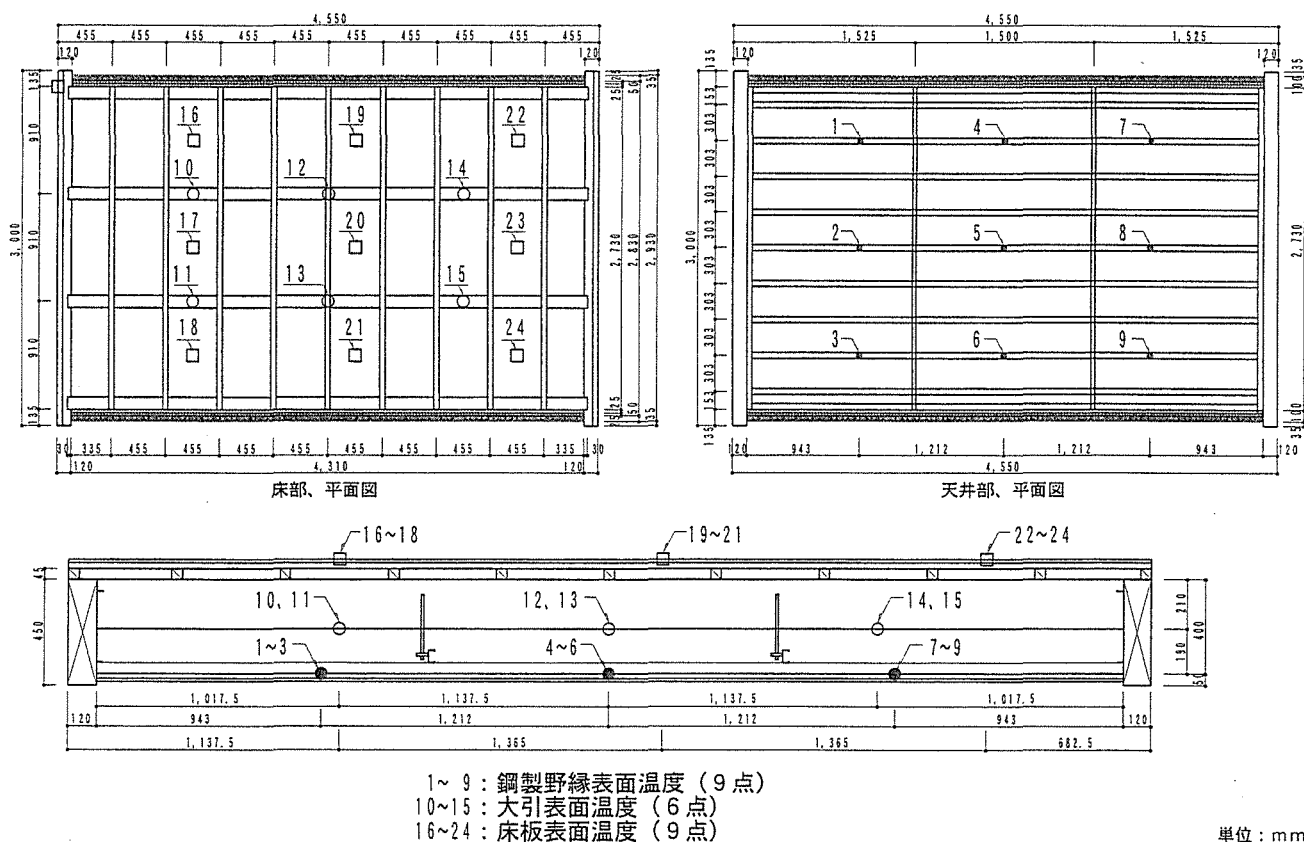
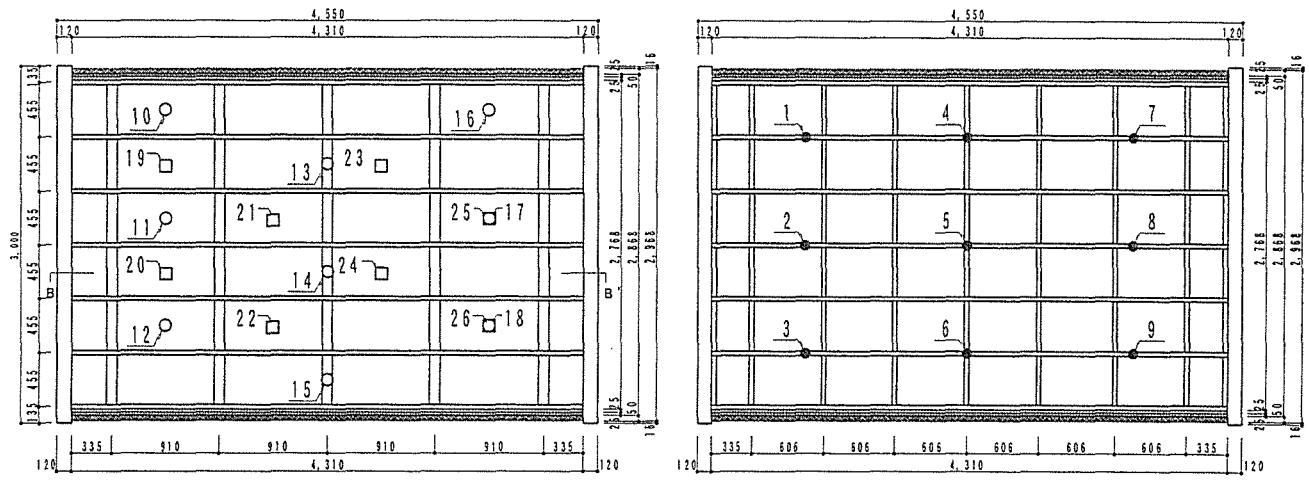


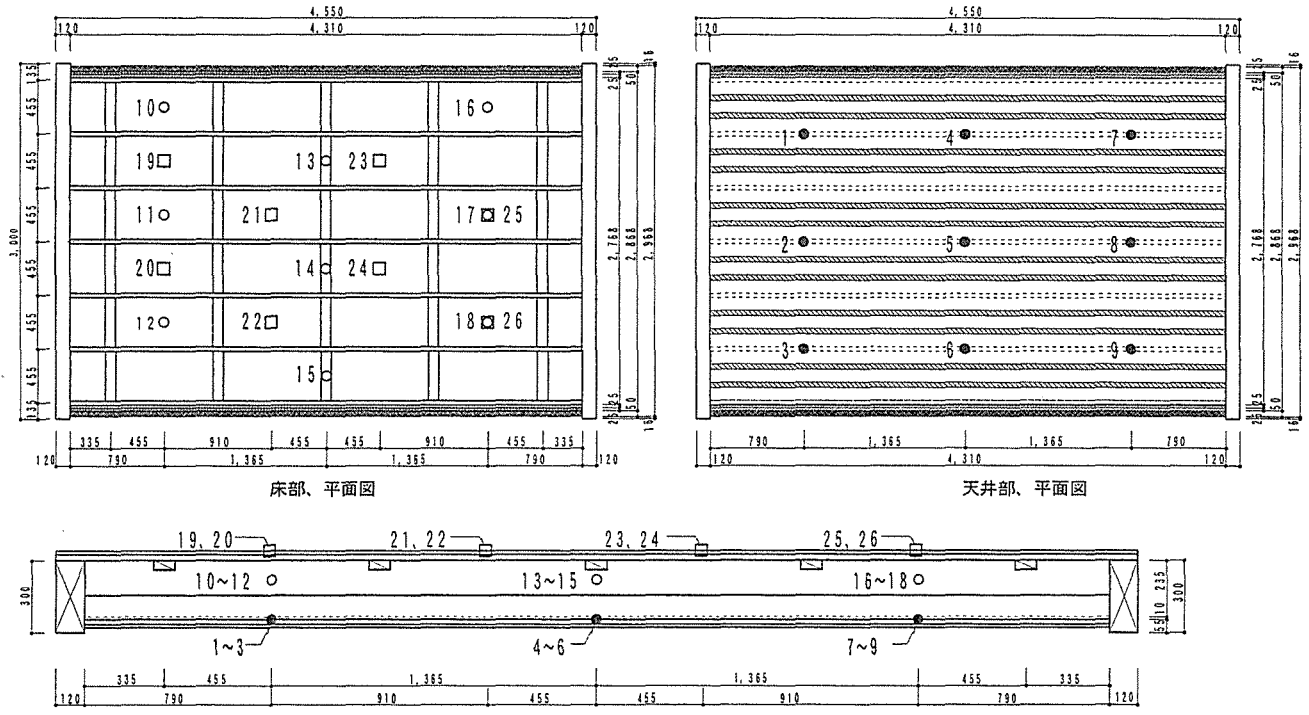
図2.1-10 試験体No.2、試験体各部温度測定位置図



1~9 : 床根太表面・天井材裏面温度 (9点)
 10~18 : 天井裏面・空間温度 (9点)
 19~26 : 床板表面温度 (8点)

単位 : mm

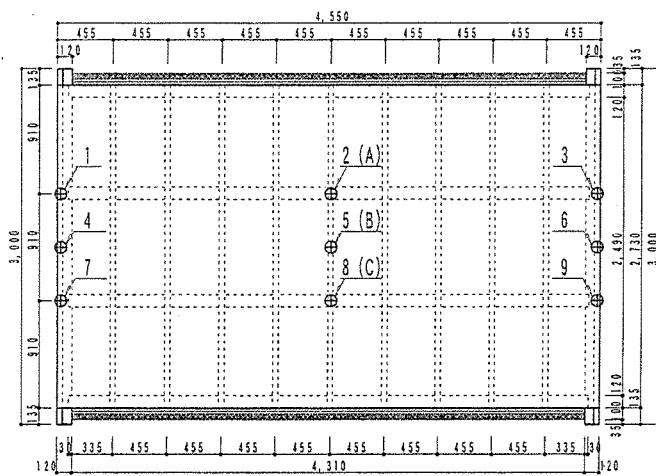
図2.1-11 試験体No.3、試験体各部温度測定位置図



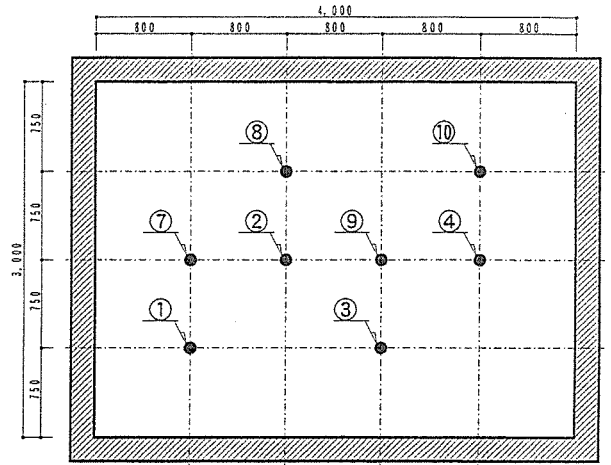
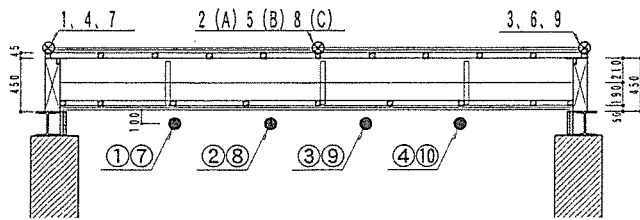
1~9 : 天井材裏面温度 (9点)
 10~18 : 天井裏面、空間温度 (9点)
 19~26 : 床板表面温度 (8点)

単位 : mm

図2.1-12 試験体No.4、試験体各部温度測定位置図



たわみ測定位置

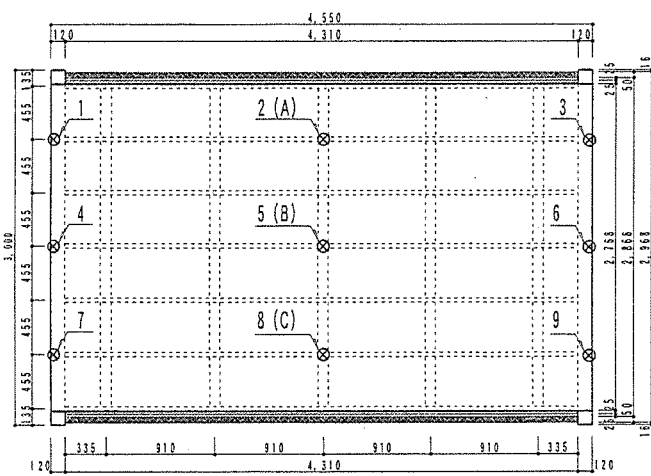


炉内加熱温度測定位置

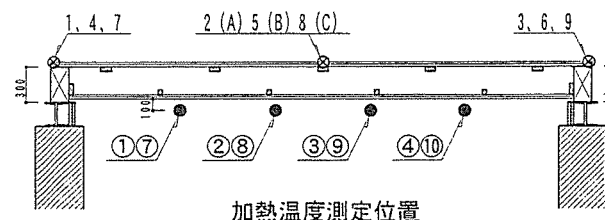
- 1, 4, 7, 3, 6, 9 : 床端部たわみ測定位置
 2 (A) 5 (B) 8 (C) : 床中央部たわみ測定位置
 $D = (A+C) / 2 - B$
 ①~④、⑦~⑩ : 炉内加熱温度位置

単位 : mm

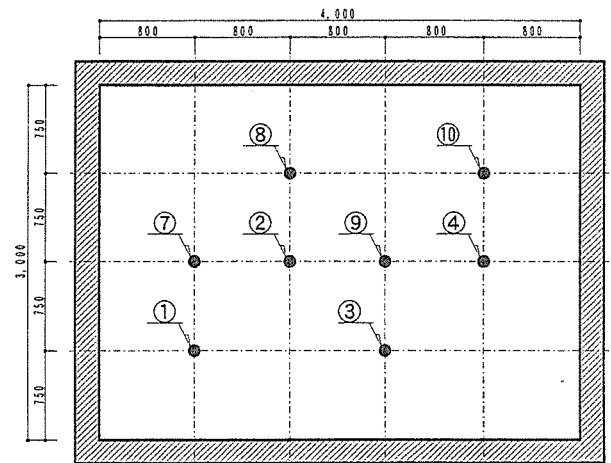
図2.2-1 在来軸組工法・床構造、温度測定値・たわみ量測定位置図



たわみ測定位置



加熱温度測定位置

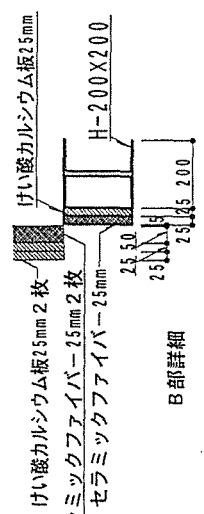
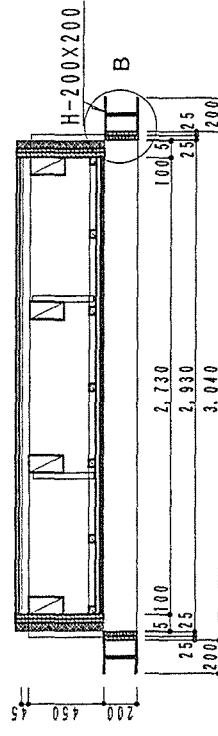
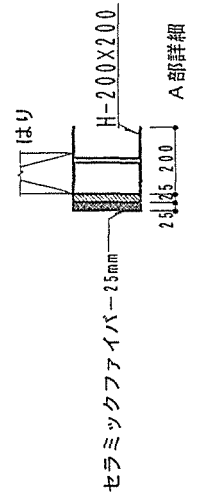
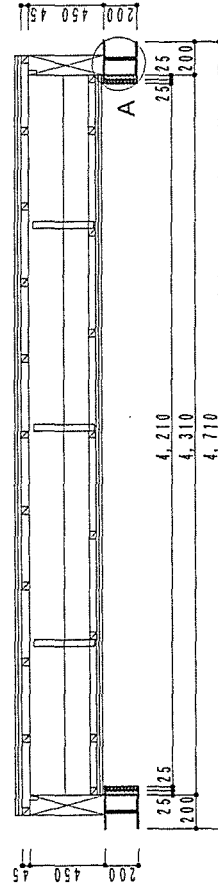
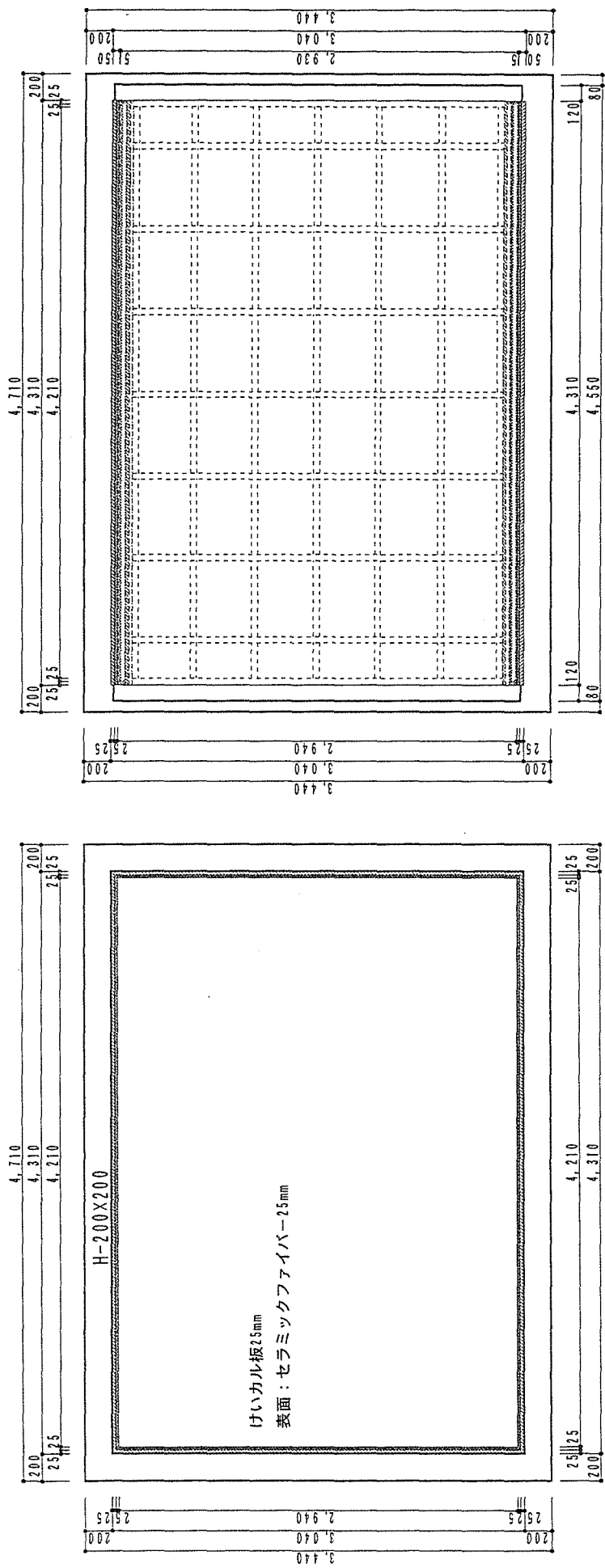


炉内加熱温度測定位置

- 1, 4, 7, 3, 6, 9 : 床端部たわみ測定位置
 2 (A) 5 (B) 8 (C) : 床中央部たわみ測定位置
 $D = (A+C) / 2 - B$
 ①~④、⑦~⑩ : 炉内加熱温度位置

単位 : mm

図2.2-2 枠組壁工法・床構造、温度測定値・たわみ量測定位置図



単位：mm

図 2.2-3 床構造載荷加熱試験用、載荷支持枠

2. 3 試験結果とまとめ

2.3.1 各試験体の試験結果

- 1) 試験体No.1 (在来軸組工法、木製野縁吊り天井仕様) は、天井野縁の最高温度は加熱終了の60分に333℃に達したが、その後下降して試験終了の240分時点では153℃となった。天井野縁平均温度は加熱終了の60分に173℃となり、93分頃に最高温度202℃に達した後下降し、試験終了の240分時点では148℃となった。大引表面温度(天井裏空間部)は、60分の加熱終了後も上昇していたが、最高温度は169分に115℃となり、その後下降して試験終了の240分には107℃となった。床板表面最高温度は211分に44℃となり試験終了の240分時点までそのまま続いた。床板表面平均温度は221分に43℃となり試験終了の240分まで43℃のまま続いた。床中央部分のたわみ量は、25分頃から上昇し始め、加熱を停止した60分時点で4.5mm、試験終了の240分時点で16.3mmとなり、最大たわみ量の評価基準である116.1mmに達しなかった。最大たわみ速度は60.5分に0.54mm/分で評価基準の5.16mm/分に達しなかった。各測定位置の平均温度変化を図2.3.1-1に、試験体中央部のたわみ量変化を図2.3.1-2に示す。
- 2) 試験体No.2 (在来軸組工法、鋼製野縁仕様) は天井野縁の最高温度が加熱終了の60分に181℃となり65分に189℃に達した後下降し、試験終了の240分時点では134℃となった。天井野縁平均温度は60分で137℃、63分に140℃となった後は下降し、試験終了の240分時点では131℃となった。大引表面温度は最高温度が201分に111℃、試験終了の240分には108℃に下降した。大引表面の平均温度は109.5分に最高温度107℃となった後徐々に下降して試験終了の240分時点では104℃となった。床板表面の最高温度は、224分に48℃となった後試験終了の240分には47℃であった。床板表面平均温度は222分に44℃、試験終了の240分には43℃となった。床中央部分のたわみ量は30分頃から徐々に増え始め、試験終了の240分には18mmとなったが最大たわみ量の評価基準に達していなかった。最大たわみ速度は最高で0.6mm/分で評価基準以下であった。各測定位置の平均温度変化を図2.3.1-3に、試験体中央部のたわみ量変化を図2.3.1-4に示す。
- 3) 試験体No.3 (枠組壁工法、根太直張り天井仕様) は天井野縁の最高温度が131分に239℃となったがその後試験終了の240分には189℃まで下降した。天井野縁の平均温度は158分に203℃、試験終了の240分に178℃まで下降した。天井内部空間の最高温度は64分に98℃、試験終了の240分には84℃まで下降した。天井内部空間平均温度は130分に85℃、試験終了の240分には75℃まで下降した。床板表面の最高温度は234分に38℃となり、240分まで38℃のまま継続した。床板表面の平均温度は試験終了の240分に37℃となった。最大たわみ量は20分過ぎから徐々に増え始め、試験終了の240分には12mmとなったが、評価基準値以下であった。最大たわみ速度は最高で0.6mm/分で評価基準以下であった。各測定位置の平均温度変化を図2.3.1-5に、試験体中央部のたわみ量変化を図2.3.1-6に示す。
- 4) 試験体No.4 (枠組壁工法、鋼製野縁仕様) は天井野縁の最高温度が162分に216

℃となった後試験終了の 240時点では 197℃まで下降した。天井野縁の平均温度は 186分に 208℃となった後加熱終了の 240分には 192℃まで下降した。天井内部の最高温度は 186分に 102℃となった後加熱終了の 240分には96℃まで下降した。床板表面の最高温度は 154分に37℃となり、 240分まで37℃のまま継続した。床板表面の平均温度は 235分に34℃となり試験終了の 240分までに34℃のままであった。最大たわみ量は10分過ぎから徐々に増え始め、 158分に10mmとなり試験終了の 240分まで10mmのままであったが、評価基準値以下であった。最大たわみ速度は最高で 0.7mm/分で評価基準以下であった。各測定位置の平均温度変化を図2.3.1-7に、試験体中央部のたわみ量変化を図2.3.1-8に示す。

2.3.2 結果のまとめ

各試験体の結果概要を表2.3.2-1に示し、野縁表面の平均温度変化を図2.3.2-1に、大引表面又は天井裏中空部の平均温度変化を図2.3.2-2に、床表面平均温度変化を図2.3.2-3に、床中央部のたわみ量変化を図2.3.2-4にしめす。

これらの結果、野縁表面平均温度は 200℃付近まで上昇しているが試験終了の 240分時点ではいずれも温度が低下し、天井裏内部の平均温度も 110℃が最高温度を示した後試験終了時点まで徐々に低下していたことから、さらに加熱終了後の観察結果から天井内部への延焼は認めらなかった。また、天井構造裏面（床板表面）平均温度も 40℃程度と評価基準よりはるかに低くなった。

よって、性能評価機関による業務方法書に基づく耐火性能評価として、1時間載荷加熱後、3時間載荷して放置し、

4) 在来軸組工法及び枠組壁工法の床構造では、いずれも天井内部への延焼も認められず1時間耐火構造の性能を有していることが認められた。

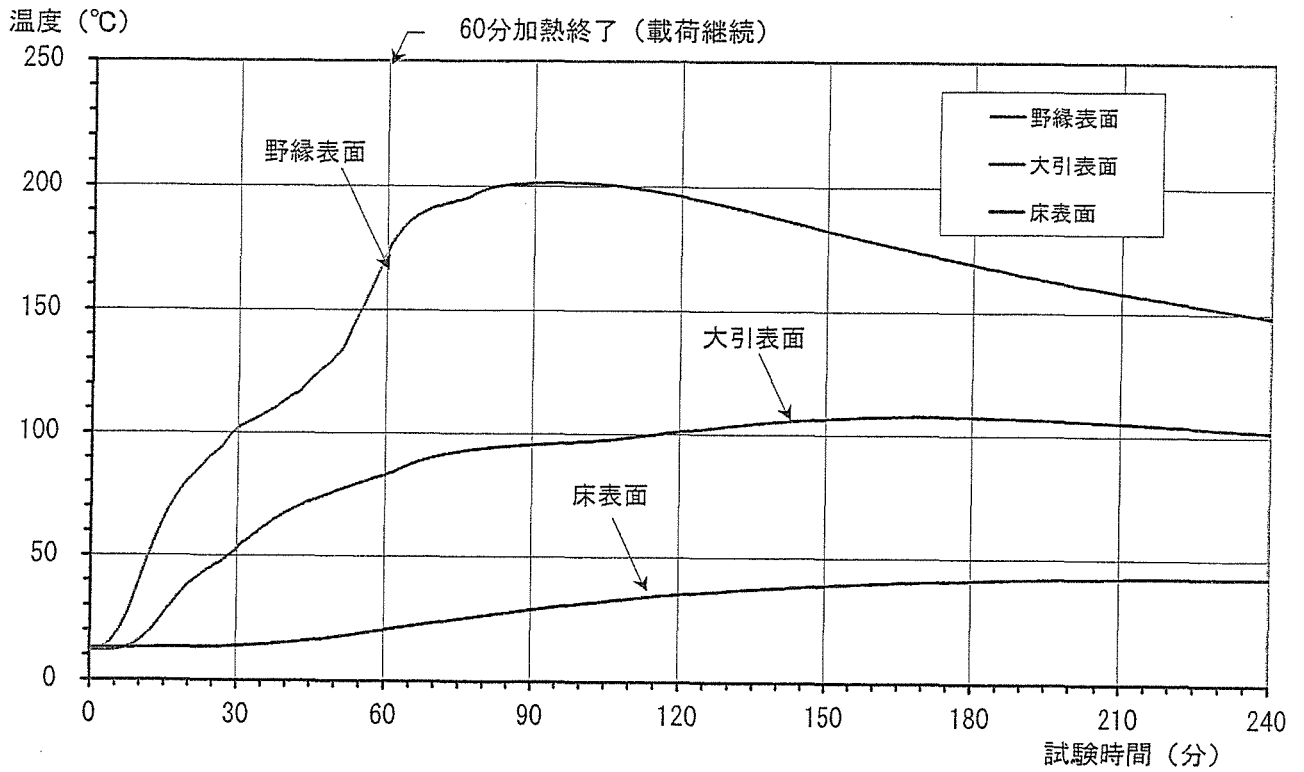


図2.3.1-1 試験体No.1、平均温度の推移

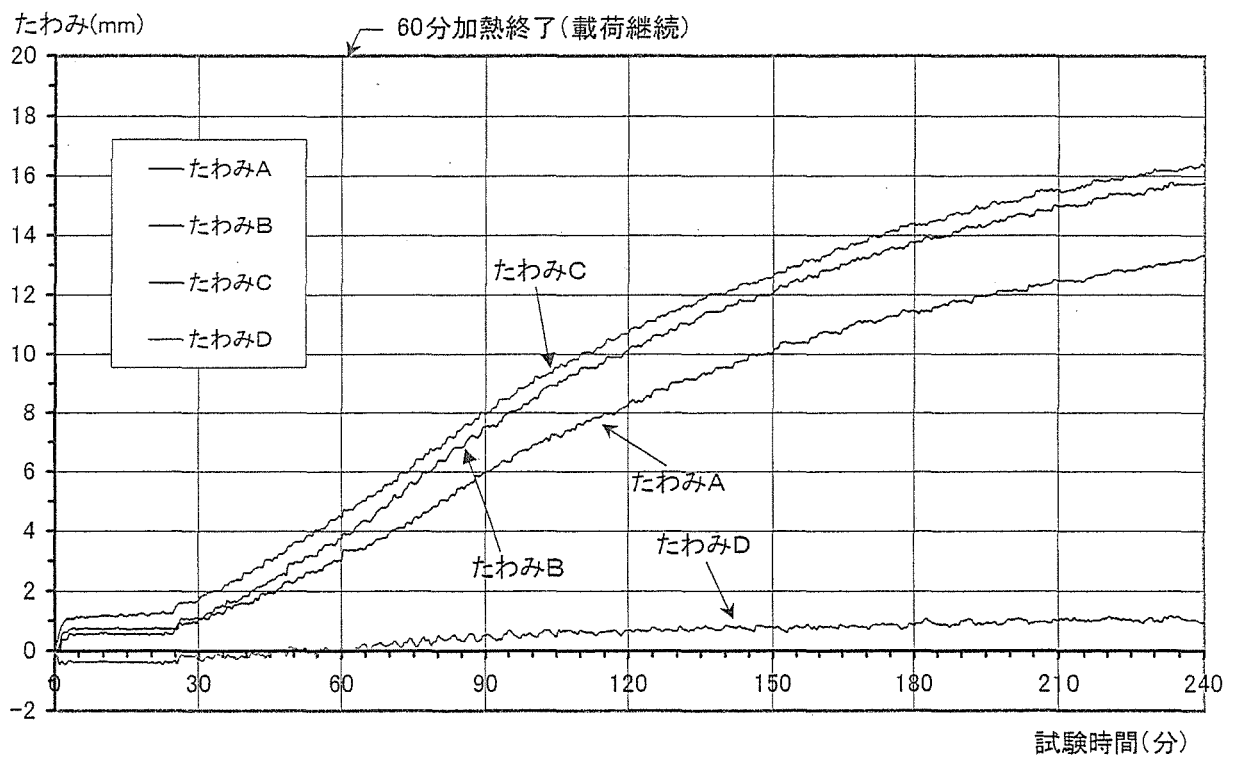


図2.3.1-2 試験体No.1、試験体中央部たわみ量の推移

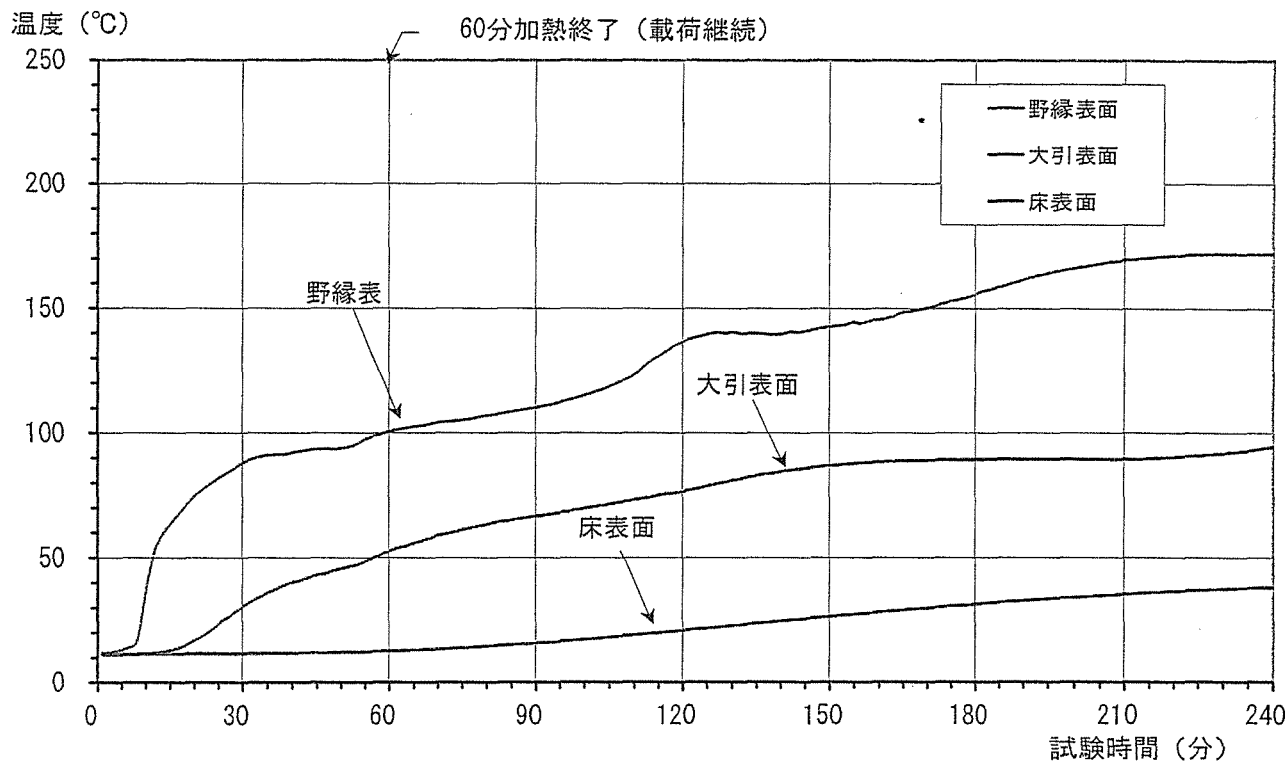


図2. 3. 1-3 試験体No. 2、平均温度の推移

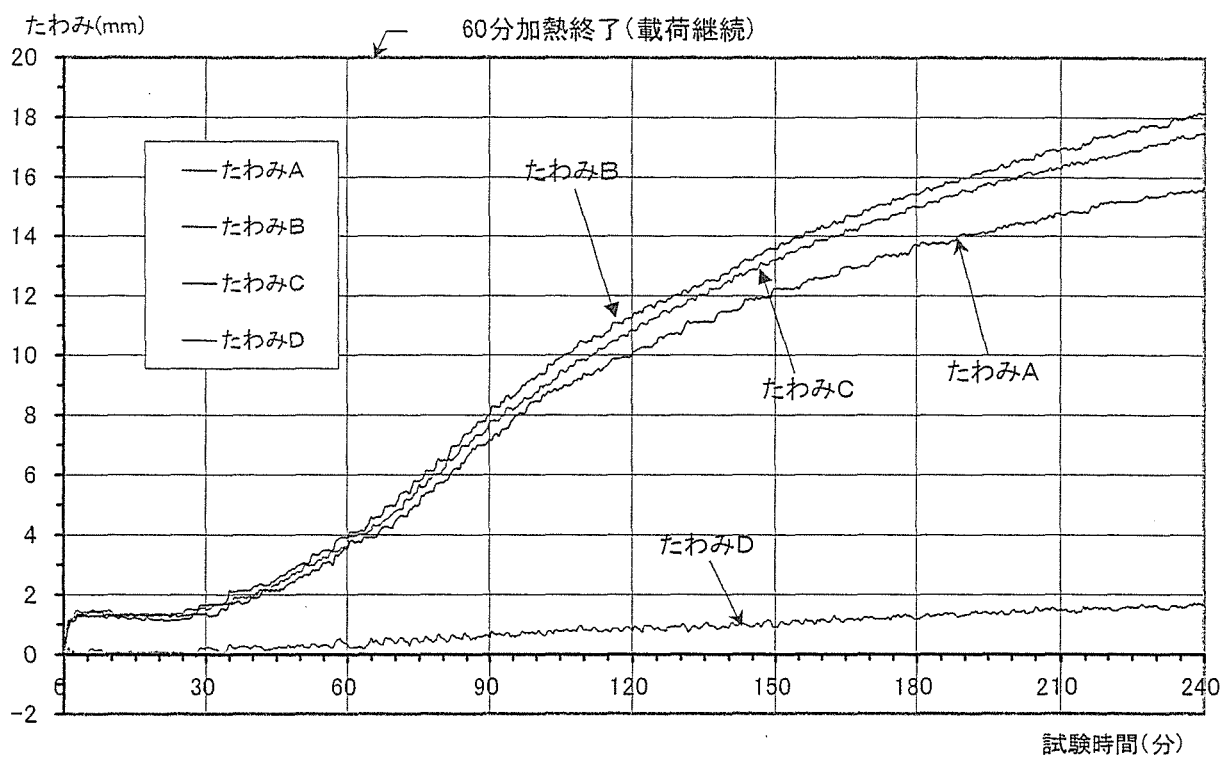


図2. 3. 1-4 試験体No. 2、試験体中央部たわみ量の推移

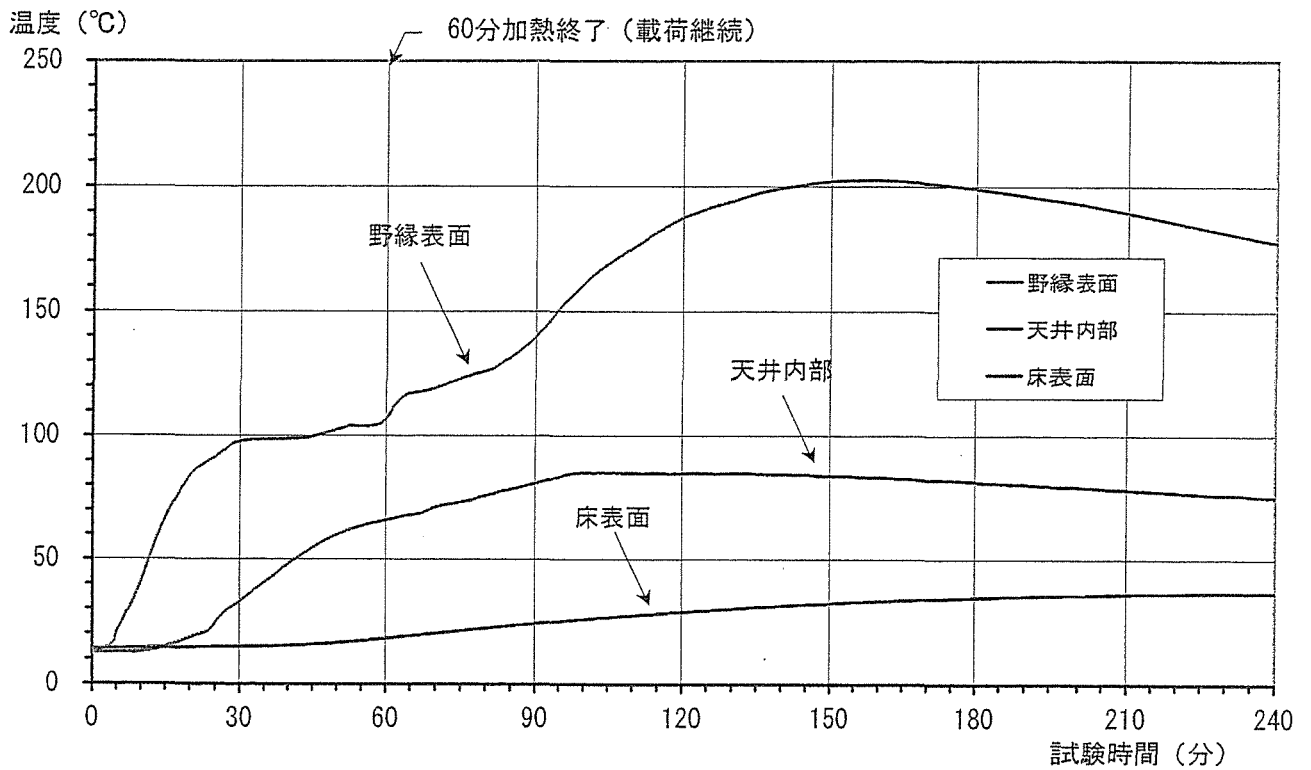


図2. 3. 1-5 試験体No. 3、平均温度の推移

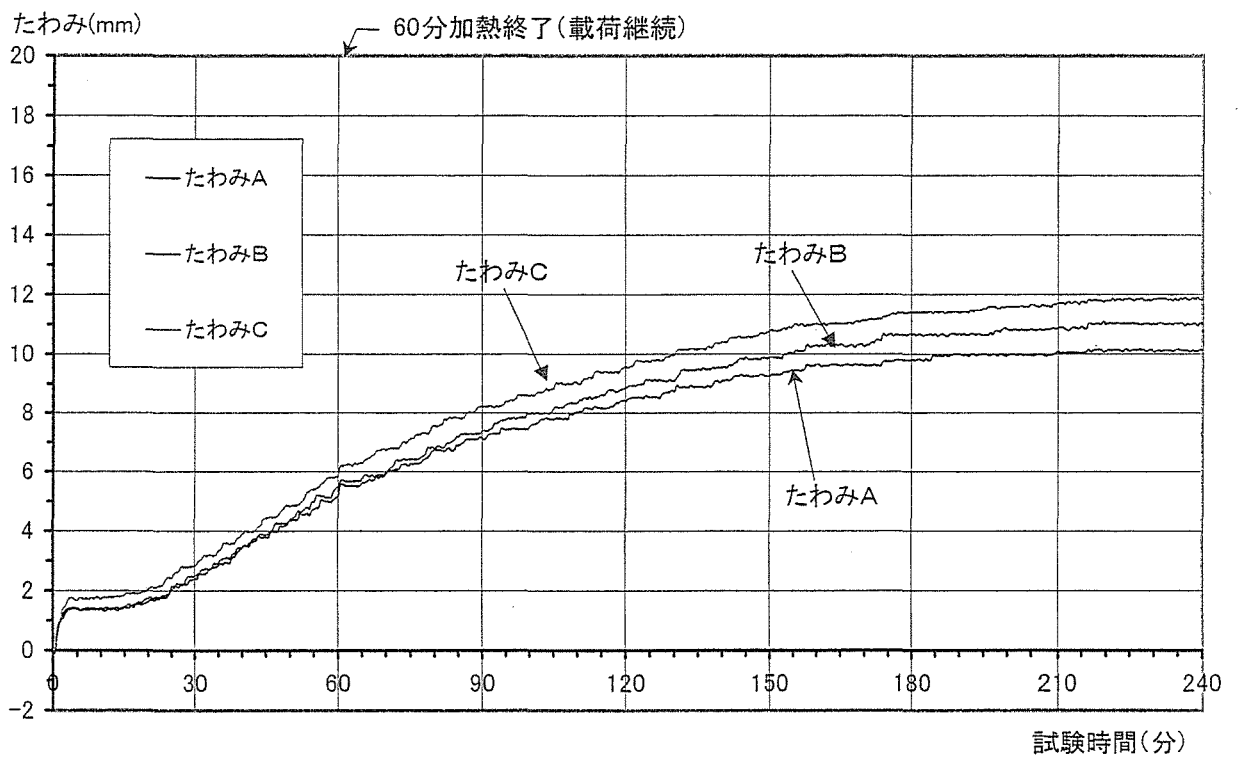


図2. 3. 1-6 試験体No. 3、試験体中央部たわみ量の推移

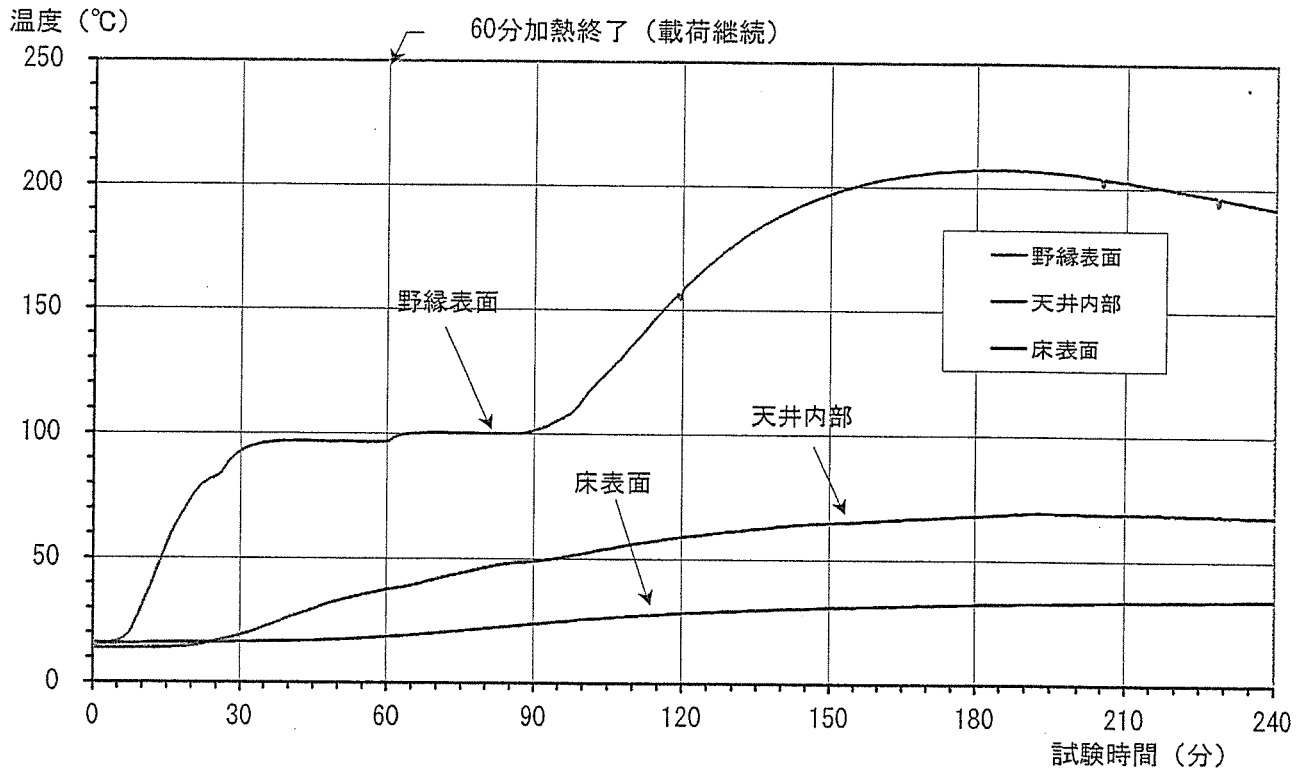


図2.3.1-7 試験体No.4、平均温度の推移

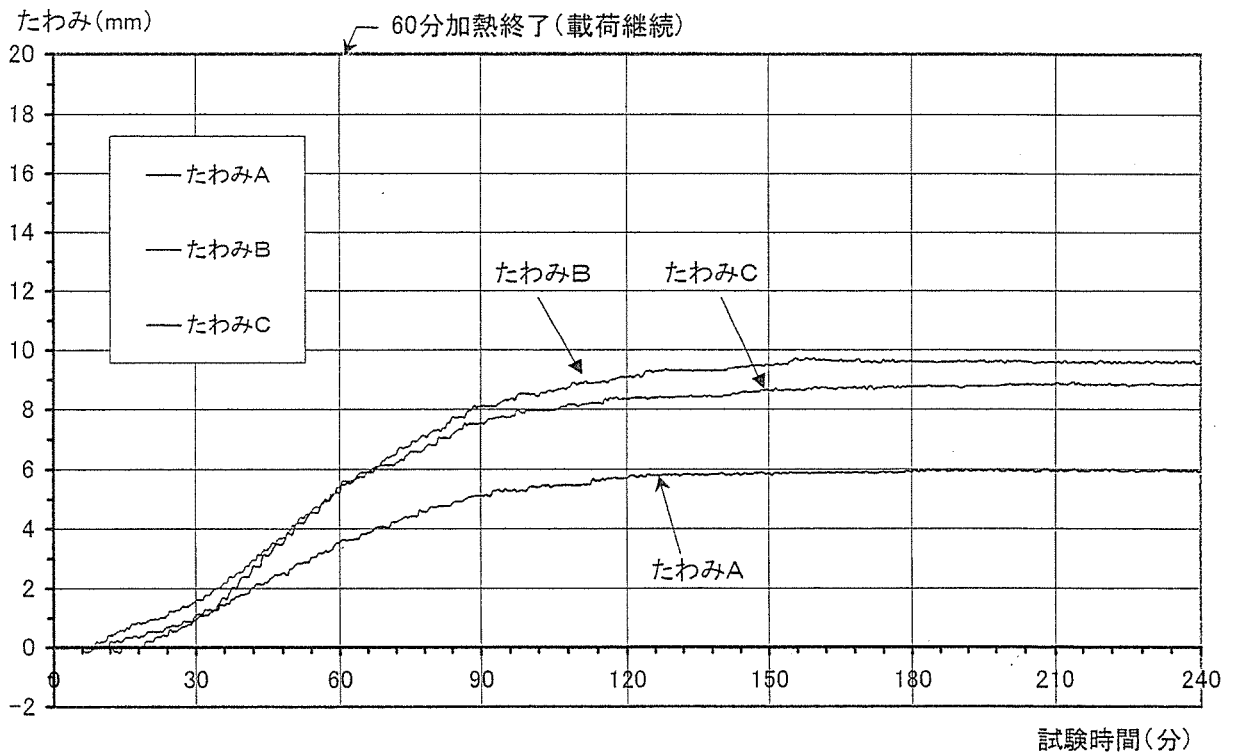


図2.3.1-8 試験体No.4、試験体中央部たわみ量の推移

表2. 3. 2-1 床構造、載荷加熱試験結果概要

試験体 No.	試験体記号 ・部位 ・被覆仕様	載荷 荷重 (tf)	初期 温度 (°C)	加熱 時間 (分)	座屈時間 (上段) 放置時間 (下段) (分)	最大 たわみ量 (mm) 下段は 到達時間 (分)	最大 たわみ 速度 (mm/分)	各部温度測定点、260°C到達時間						試験 終了 時間 (分)	試験終了 時の状況 現象等 その他
								野縁表面		大引・根太表面		床板表面			
								最高 260°C (分)	平均 260°C (分)	最高 260°C (分)	平均 260°C (分)	最高 260°C (分)	平均 260°C (分)		
1	FS-GBX21+ GBX15(D)	4.1	13	60	なし 180	16.4 (239.5)	0.70	53.0	202°C (93.0)	115°C (166.5)	108°C (168.0)	44.0	43.0 (221.0)	240	木製野縁 表面一部 変色
2	FS-GBX21+ GBX15S(C)	4.1	11	60	なし 180	18.2 (239.0)	0.60	189°C (65.0)	172°C (114.5)	111°C (201.0)	107°C (109.5)	48.0	43.5 (222.0)	240	変化なし
3	FS-GBX21+ GBX15(D)	2.5	14	60	なし 180	12.0 (238.0)	0.60	239°C (131.0)	203°C (157.5)	98°C (63.5)	85°C (130.5)	38.0	37.0 (240.0)	240	変化なし
4	FS-GBX21+ GBX15S(D)	2.5	15	60	なし 180	9.7 (158.0)	0.70	216°C (162.0)	208°C (185.5)	102°C (186.0)	69°C (193.0)	37.0	34.2 (235.0)	240	変化なし

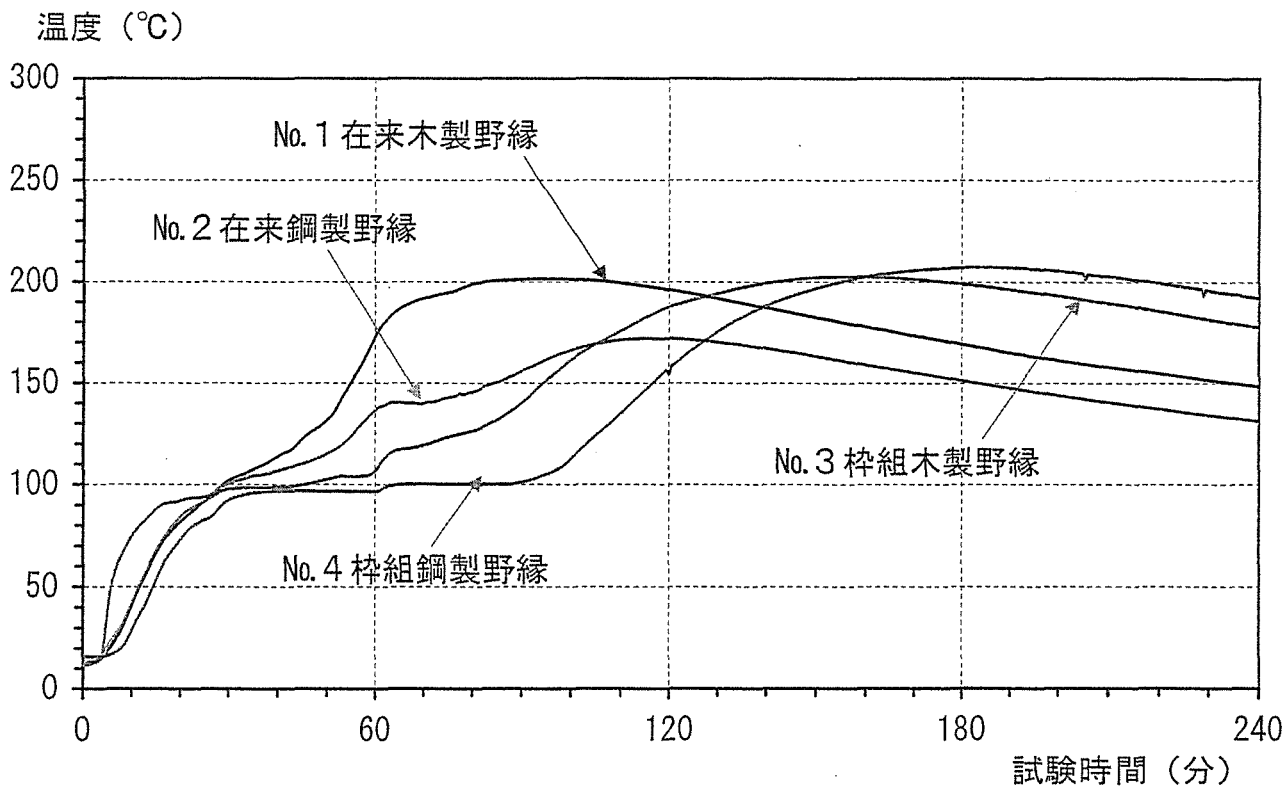


図2. 3. 2-1 床構造、野縁表面平均温度の推移

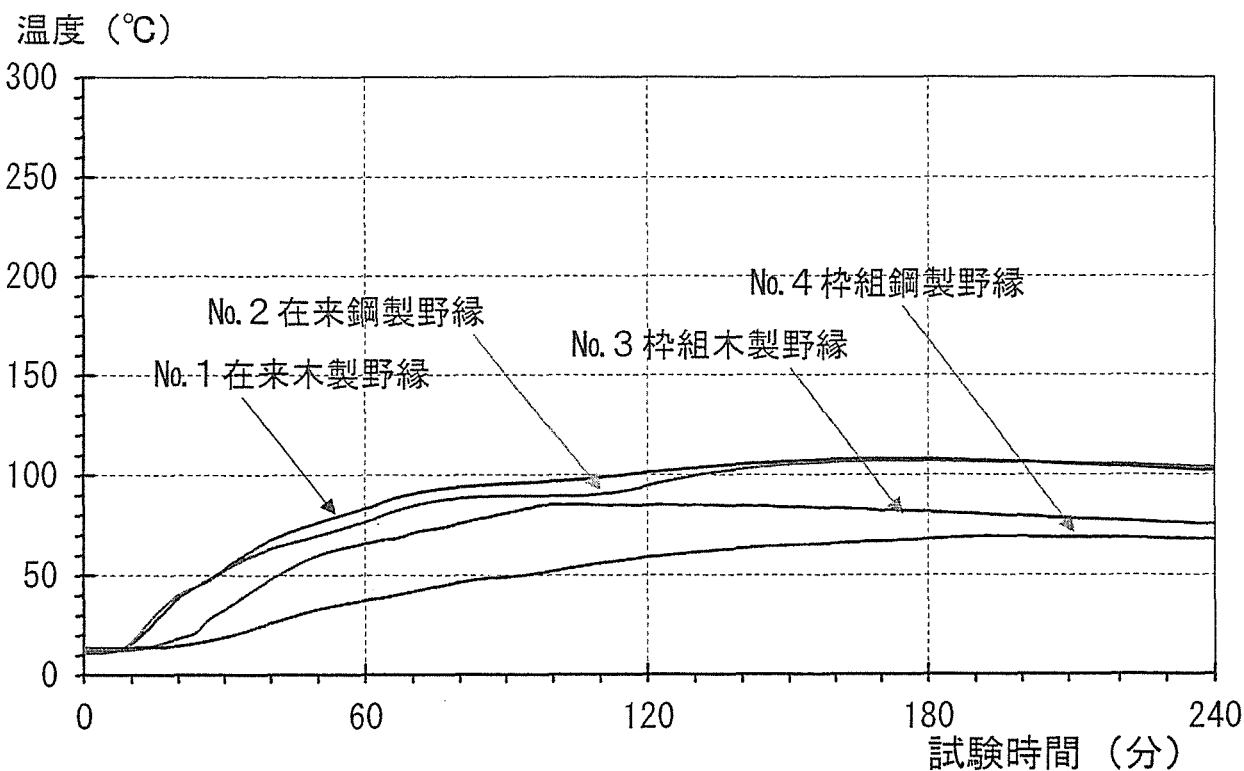


図2. 3. 2-2 床構造、大引表面・天井裏中空平均温度の推移

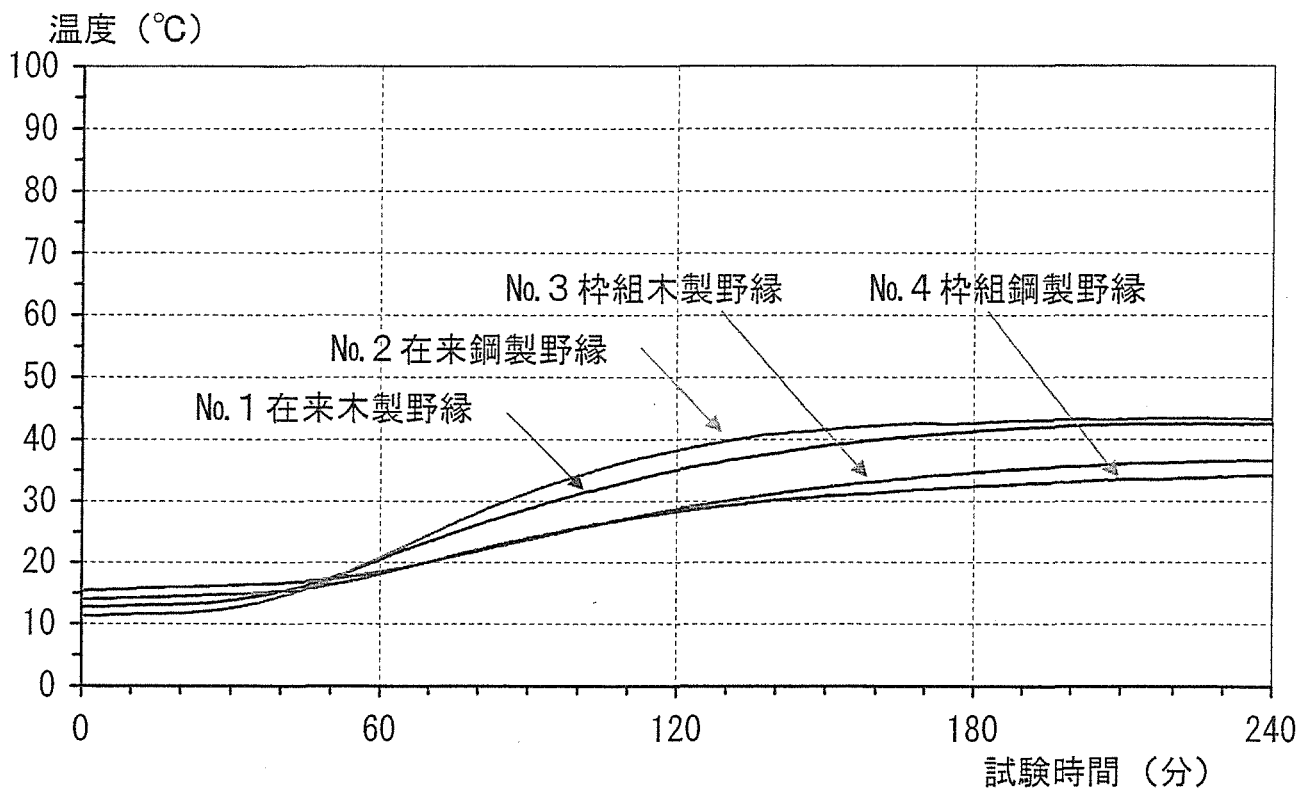


図2. 3. 2-3 床構造、床裏面(床板表面)平均温度の推移

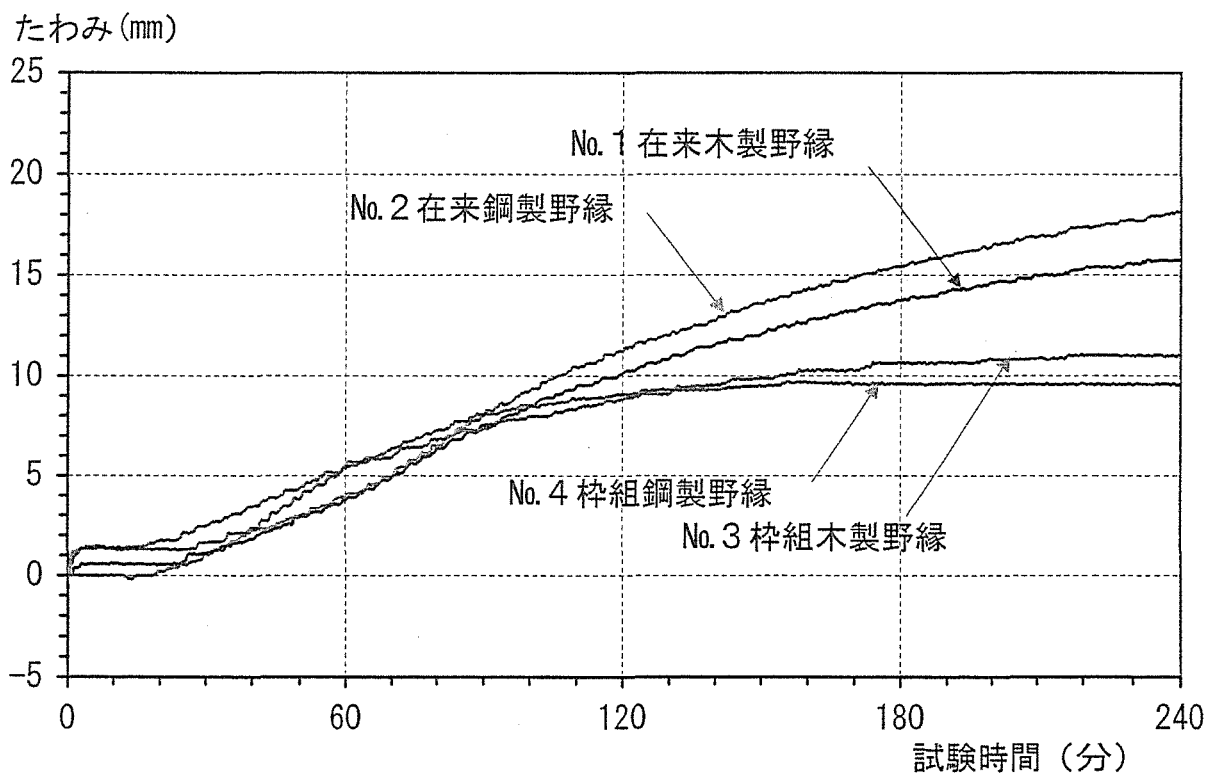


図2. 3. 2-4 床構造、床中央部たわみ量の推移

3 在来軸組乾式真壁外壁構造の防火構造性能試験

3. 1 壁構造試験体

防火構造においては、土塗り真壁造で裏返し塗りをしたものが建設省告示で指定されているが、乾式真壁造で木材の柱が露出されている構造についてはその性能が明らかでないため指定されていない。そこで、乾式真壁構造が防火構造としての性能を有するかについて検証するため、試験体を製作し載荷加熱試験を行なうこととした。試験体は、在来軸組工法の真壁外壁構造で、外壁材として乾式材料を張った試験体を2体作成し、性能評価機関の業務方法書に基づいた防火構造試験を行った。

試験体寸法は幅1,820mm、高さ3,000mmで、加熱部分の面積は幅1,600mm、高さ2,800mmとした。

試験体の柱にはスギの120mm角を試験体中央に配置し、柱一間柱間隔を455mmとした。壁内にはグラスウール10K、75mmを充填した。試験体中央に配置した柱部分に載荷するため、柱は上下通しで入れ、上下の桁・土台部材とは切り離して組み立てた。柱と桁・土台とは補助材(30×60mm)を壁上下の両面側から取り付け、柱のぐらつきを押さえた。上下の補助材は上下端から5mm内側に留め付けた。内壁側には厚さ4mmの合板を張り、外壁材には繊維強化セメント板7.5mm2枚張り及びせっこうボード12mmに厚さ0.27mmの亜鉛鉄板張りの2種類とした。

試験体概要図を図3.1-1及び図3.1-2に示す。

3. 2 試験体

1) 試験体仕様

乾式真壁構造として、柱はスギ120mm角を用い、外壁材として2種類を選定し、表3-1に示す仕様の試験体を2体製作した。壁内にはグラスウール10K、75mmを充填し、内壁側には厚さ4mmの合板を張った。

表3-1 乾式真壁構造試験体仕様

試験体記号	柱寸法 樹種等	外壁側材料	内壁側材料	壁内
B-1	スギ 120×120	繊維強化セメント板 7.5mm2枚張り(15mm)	厚さ4mm合板 張り	グラスウール 10K、75mm
B-2	スギ 120×120	せっこうボード12mm+ 亜鉛鉄板(0.27mm)張り	厚さ4mm合板 張り	グラスウール 10K、75mm

・スギ柱の乾燥材は4本購入し、4本の含水率を全乾法で測定した。

その結果14.3、14.7、20.6、23.6%となったので、14.3及び14.7%の含水率の柱を試験体中央部に設置した。それ以外のスギ材は桁、土台及び半割にして左右の枠として用いた。(B-1=14.7%、B-2=14.3%)

4本の比重は0.42、0.42、0.43、0.46、平均0.43であった。試験体中央部の柱には比重が0.42のものを使用した。

2) 試験体寸法

試験体は、柱を中央部分に配置し、真壁に木材の受け材を取り付けて外壁材及び内壁材を留め付けた。試験体は図3. 1-1 (B-1) 及び図3. 1-2 (B-2) に示すように幅1,820mm、高さ3,000mmとした。

3. 3 試験方法

3.3.1 加熱方法

試験は、当財団所有の載荷加熱炉（幅3.4m、高さ3.6m）に設置し、スギ材の長期許容応力度に相当する圧縮応力は下記の計算により4,779Kgfとなるため、5 tonf（約49 kN）を載荷した。

加熱試験は、都市ガスを燃料とする垂直加熱試験炉（内法：幅3.5m、高さ3.5m）により行った。加熱炉は、図3. 3-1に示すように、耐火煉瓦で組み立て、バーナーヘッド以外の部分にセラミックファイバー（アルミナシリケート繊維）を200mm厚張り付けた構造で、加熱炉と試験体との間に鉄骨の両面にセラミックボードを張った仕切り壁を取り付け、幅1.6m、高さ2.8mの範囲を加熱できるような開口部を設けた。試験方法は、性能評価機関の防耐火業務方法書による耐火性能試験方法を基に、ISO/834 に規定する耐火加熱標準曲線に沿って炉内温度を制御し、下記に示す荷重を載荷しながら加熱を行った。炉内加熱温度は、径3.2mmのシース熱電対を先端を開けたステンレス保護管に挿入して先端を露出し、先端の熱接点部分が加熱面から10cmの位置で10cm以上試験体面に沿うように、炉内に均等に11点設置した。加熱は、上記耐火加熱標準曲線に沿って加熱し、試験時間中に加熱側の火炎が壁体を貫通するか、試験体の座屈を生じるかまたは変位の急上昇により載荷が困難になれば、その時点で試験を終了する。耐火性能の評価は、①試験時間中に最大軸方向変位量（ $H \leq h/100$ ：高さ（ $h=3,000\text{mm}$ ）に対し30.0mm）または軸方向変位速度（ $V \leq 3h/1000$ ：高さ（ $h=3,000\text{mm}$ ）で9.00mm/分）を超えた時間、②試験体裏面温度の平均温度が初期温度+140℃を超えた時間又は試験体裏面の最高温度が初期温度+180℃を超えた時間、③試験体が燃え抜けた時間、又は④載荷が困難となった時間のうち、最も早い時間を耐火性能として評価することとした。

柱1本当たりの載荷荷重の計算

真壁造（柱：120mm角）

L_x (cm)	=	12.0	座屈方向のせい（材厚）
L_b (cm)	=	12.0	材幅
A (cm ²)	=	144.0	断面積
$i = L_x / 3.46$ (cm)	=	3.468	断面二次半径（3.46=長方形断面）
l_k (cm)	=	300	座屈長さ（材長）
$\lambda = l_k / i$	=	86.5	細長比
η	=	0.435	座屈低減係数

σ_{fc} (kgf/cm ²)	=	76.3	長期許容圧縮応力度 (スギ乙種2級)
$\sigma_{fk}(=\eta \times \sigma_{fc})$ (kgf/cm ²)	=	33.191	長期許容座屈応力度
$N(=\sigma_{fk} \times A)$ (kgf)	=	4,779	圧縮応力度
P (Kgf)	=	4.779	柱1本分、載荷荷重
P (kN)	=	46.8	載荷荷重

3.3.2 試験体の温度、荷重、変位置測定位置

加熱中の試験体の温度変化を下記に示す位置に JIS C 1602 に定める0.75級以上の性能を有する径0.65mmのK (CA) 熱電対を取り付けた。また、加熱中は載荷荷重と変位置の測定を行い、測定は図3.3-2に示す位置とした。

・温度、荷重、変位置測定位置と番号

- ① 加熱側下地材料裏面温度 (測定点番号：1～8) 8点
- ② 試験体裏面温度 (測定点番号：9～16) 8点、ディスク熱電対
- ③ 載荷荷重位置 (測定点番号：21、22) 2点
- ④ 軸方向変位測定位置 (測定点番号：23、24) 2点
- ⑤ 面外方向変位測定位置 (測定点番号：25～29) 5点

3.3.3 炉内圧力の測定

加熱中の炉内圧力を、図3.3-1に示す位置で(株)サヤマトレーディングの微差圧トランスデューサー モデル 264 (SETRA社製) $\pm 2.54\text{mmHg}$ (出力0～5 VDC) を用い、バーチカルペンレコーダー TYPE 3056 (YOKOGAWA社製) に記録した。

3.3.4 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によって記録した。

3.3.5 目視記録

加熱中の試験体の加熱側・非加熱側の変化状況を、目視により観察記録した。

3. 4 試験結果

試験結果の概要を表3-2に示し、試験の加熱温度曲線、試験体の内部温度、裏面温度、荷重と変位量の推移などを図3.4-1～図3.4-8に示す。

表3-2 乾式真壁載荷加熱試験結果概要

試験体 記号	柱寸法 樹種等	加熱 時間	裏面温度 ¹⁾		軸方向 収縮量	軸方向 収縮速度	終了時の 状況
			平均	最高			
B-1	スギ 120×120	40分	96℃ (40'00")	105℃ (40'00")	7.3mm (40'00")	2.08mm (38'45")	柱脇から 炎が出現
B-2	スギ 120×120	50分	48'30" (160℃)	47'15" (199℃)	8.0mm (50'00")	1.38mm (49'00")	裏面温度 超える

注1)：規定温度に達しなかった場合は、加熱終了時の最高温度を示した。

表3-2に示すように、いずれの試験体も防火構造の耐火性能値30分を超えた。

試験体記号B-1は加熱開始後40分に柱の際から炉内が見通せる隙間が生じ、裏面側に炎が現れた。また、面外方向変位も70mmに達し試験体に座屈が生じ始めたので40分に加熱を終了した。

試験体記号B-2は加熱開始後47分15秒に裏面の最高温度が初期温度+180℃(今回の実験では18℃+180℃=198℃)を超えた。その後も試験を継続したが、50分には面外方向変位が62mmに達し、試験体の座屈が生じ始めたので50分に加熱を終了した。

3. 5 まとめ

以上の結果、防火構造は載荷加熱試験で30分の性能を有することが要求されているが、今回試験を実施したような外壁側に柱を露出し、外壁材に乾式材料を張った乾式真壁造においても、40分及び47分15秒の耐火時間を有し、防火構造としての性能を有することが明らかとなった。この場合の防火構造は、壁内部に厚さ75mmのグラスウールを充填して柱の際に木材の受け材を取り付け、屋内側に厚さ4mmの合板を張り、外壁側に乾式材料を留め付けることにより所定の防火性能を有することが可能となった。

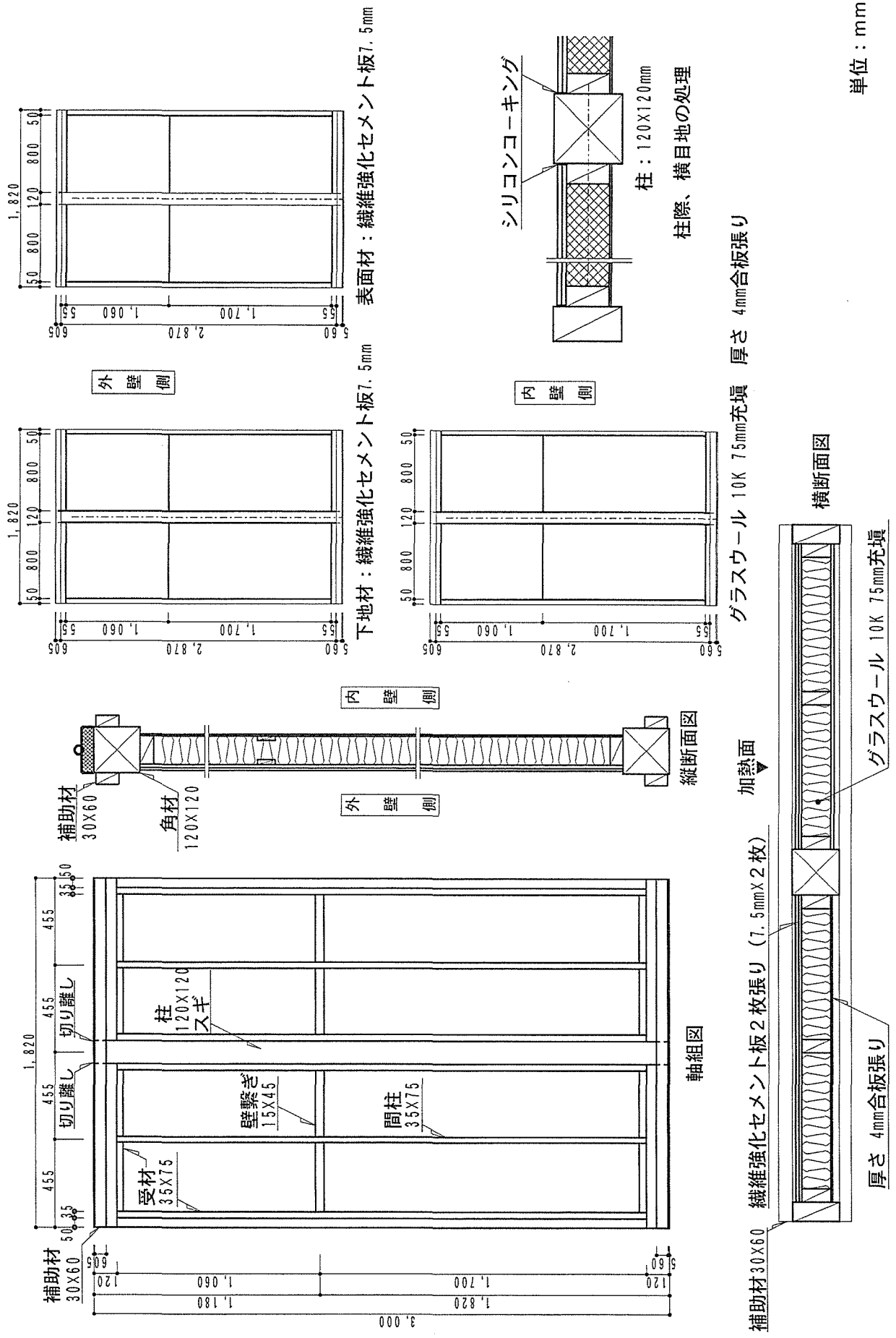
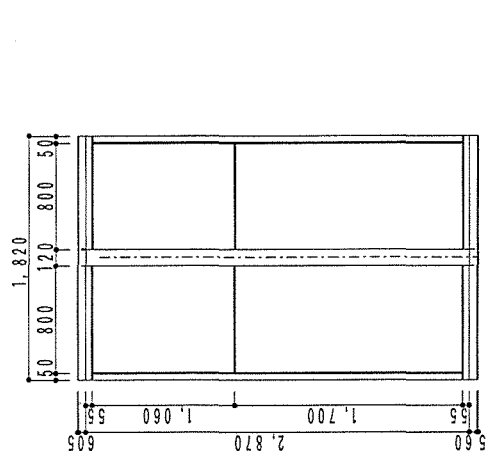
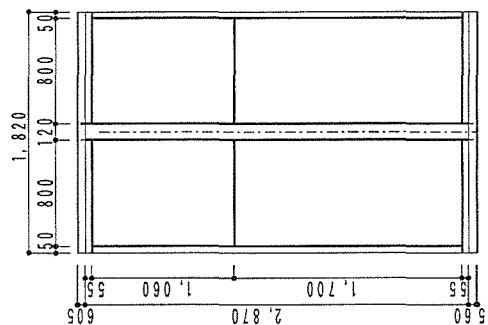


図3.1-1 在来乾式真壁造、防火構造試験体軸組図 (試験体B-1)

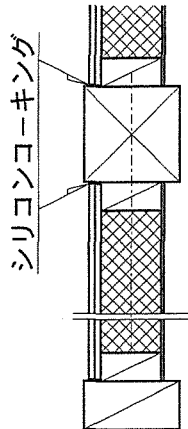


外壁側

表面材：亜鉛鉄板(0.27mm)張り

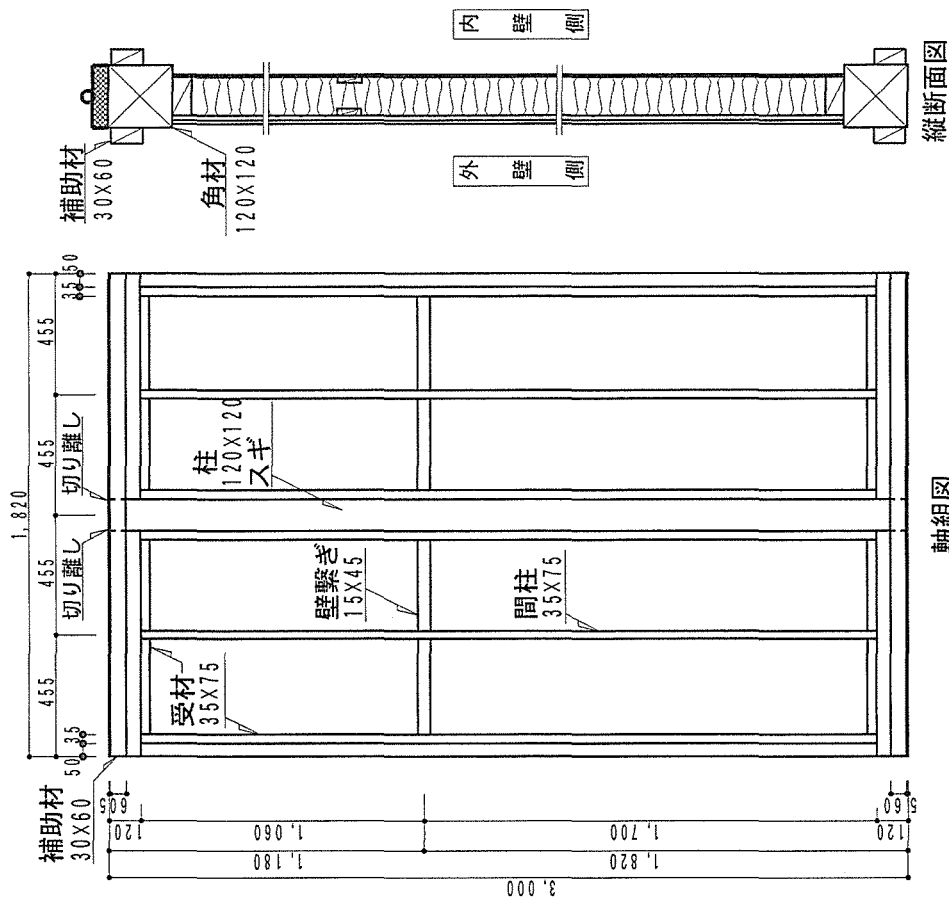


下地材：せっこうボード12mm



内壁側

柱際、横目地の処理

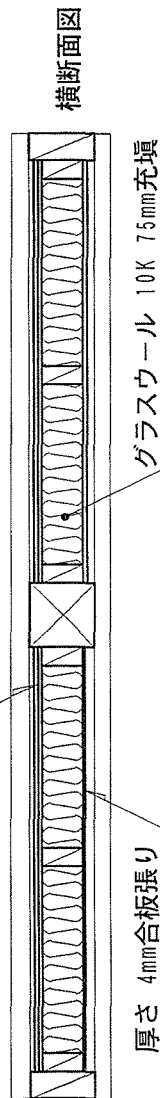


軸組図

ガラスウール 10K 75mm充填 厚さ 4mm合板張り

加熱面

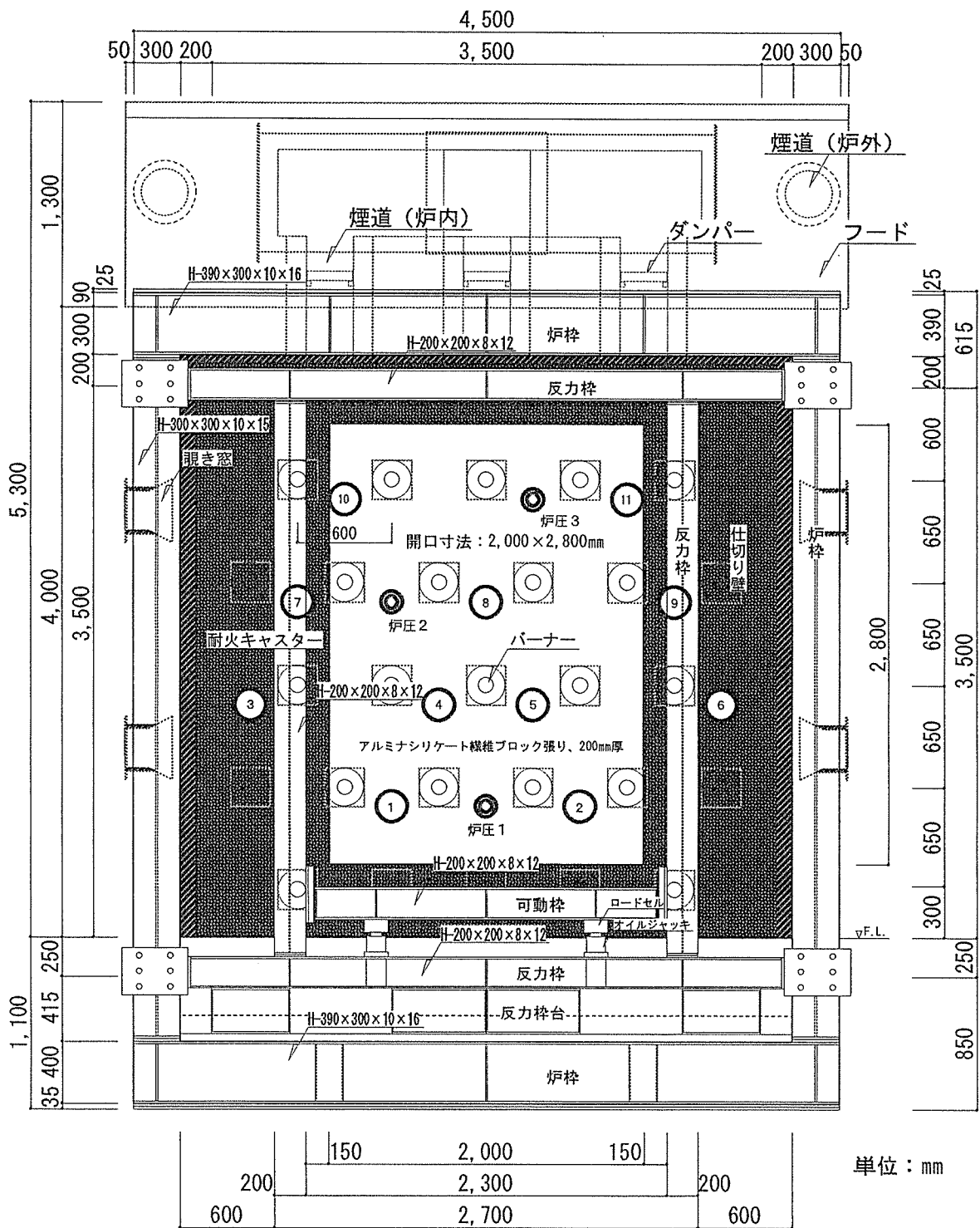
補助材30X60 石こうボード12.5mm張り+亜鉛鉄板張り



横断面図

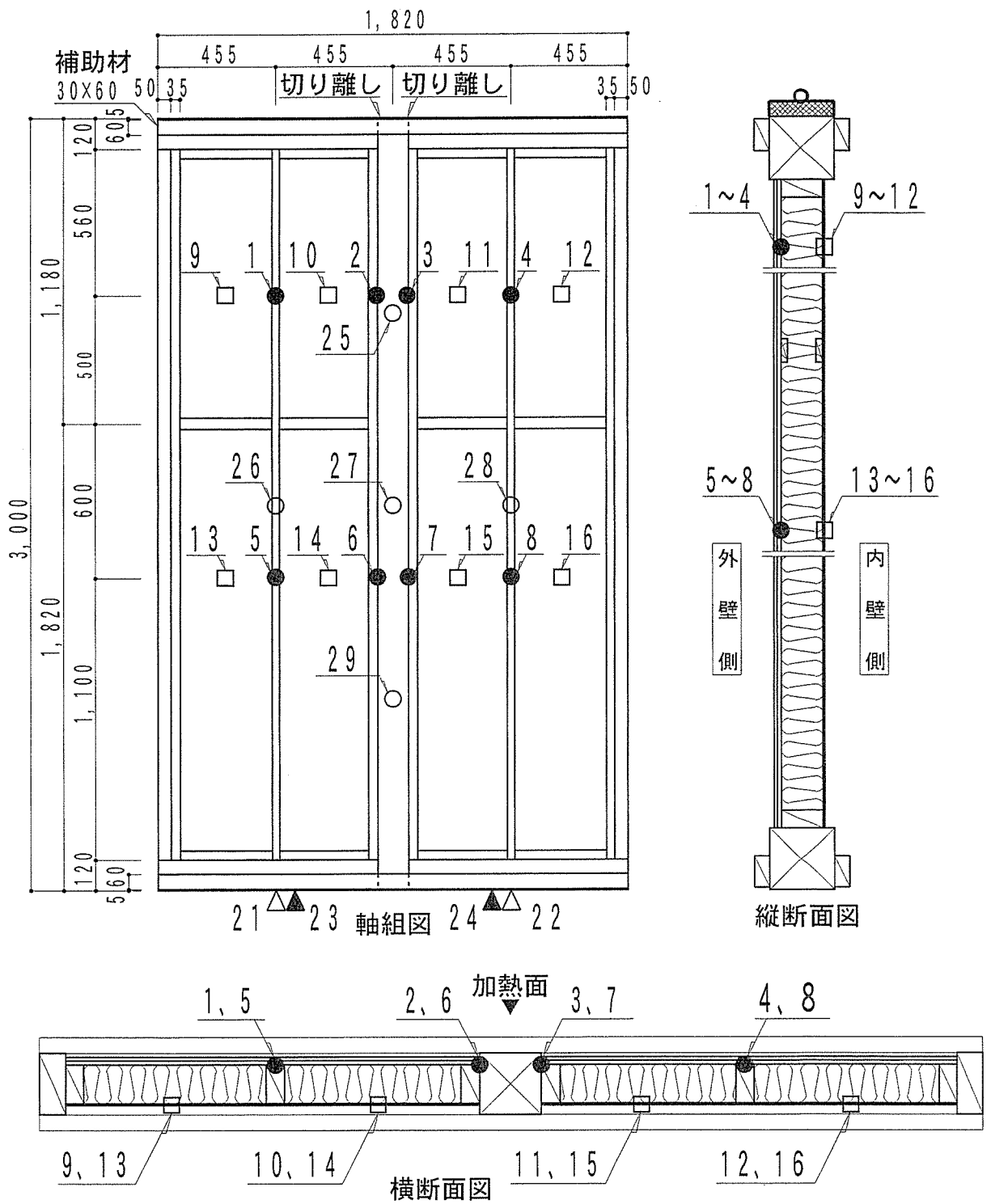
単位：mm

図3.1-2 在来乾式真壁造、防火構造試験体軸組図(試験体B-2)



記号
 ①～⑪：炉内温度測定位置
 ◎：炉内圧力測定位置

図3.3-1 載荷加熱試験炉



- 1~8: 加熱側材料裏面温度 (8点)
- 9~16: 試験体裏面温度 (8点) ディスク熱電対
- △ 21, 22: 載荷荷重位置 (2点)
- ▲ 23, 24: 軸方向変位測定位置 (2点)
- 25~29: 面外方向変位測定位置 (5点)

単位 : mm

図3.3-2 在来乾式真壁造、温度・変位置測定位置図

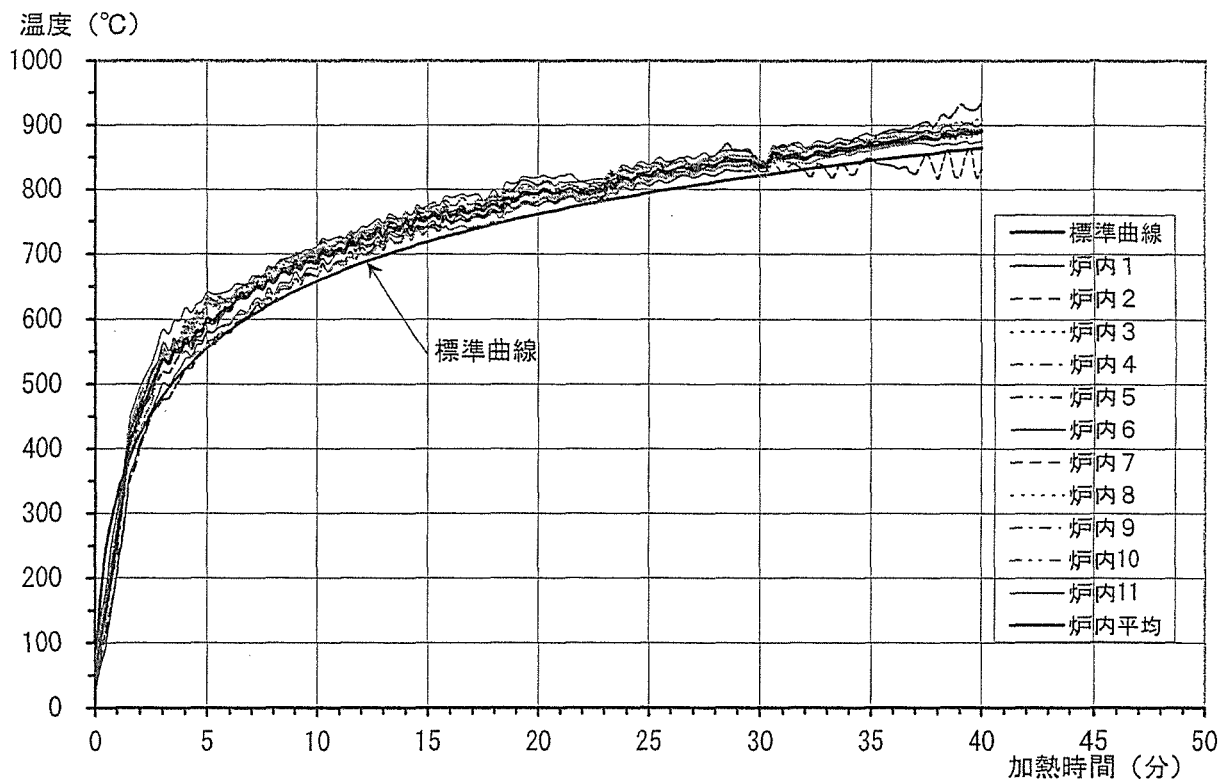


図3.4-1 試験体B-1、炉内加熱温度推移

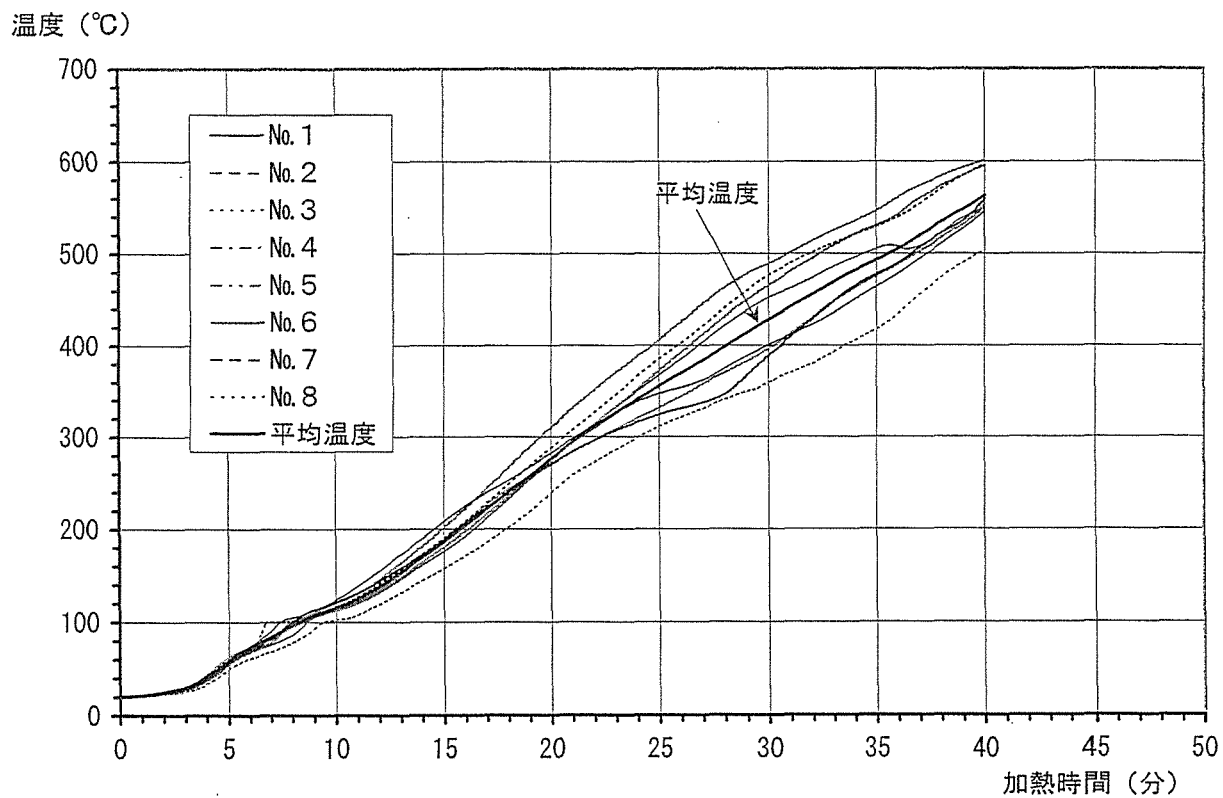


図3.4-2 試験体B-1、加熱側材料裏面温度の推移

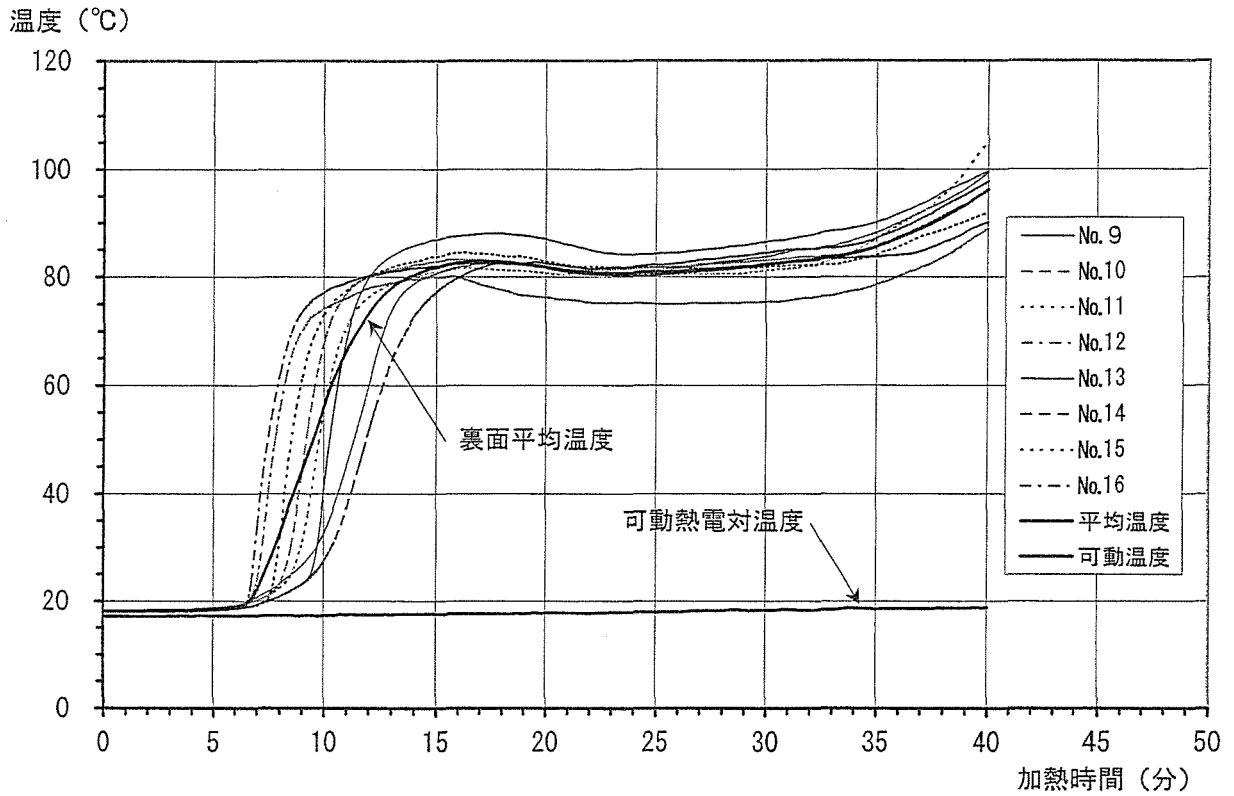


図3.4-3 試験体B-1、試験体裏面温度の推移

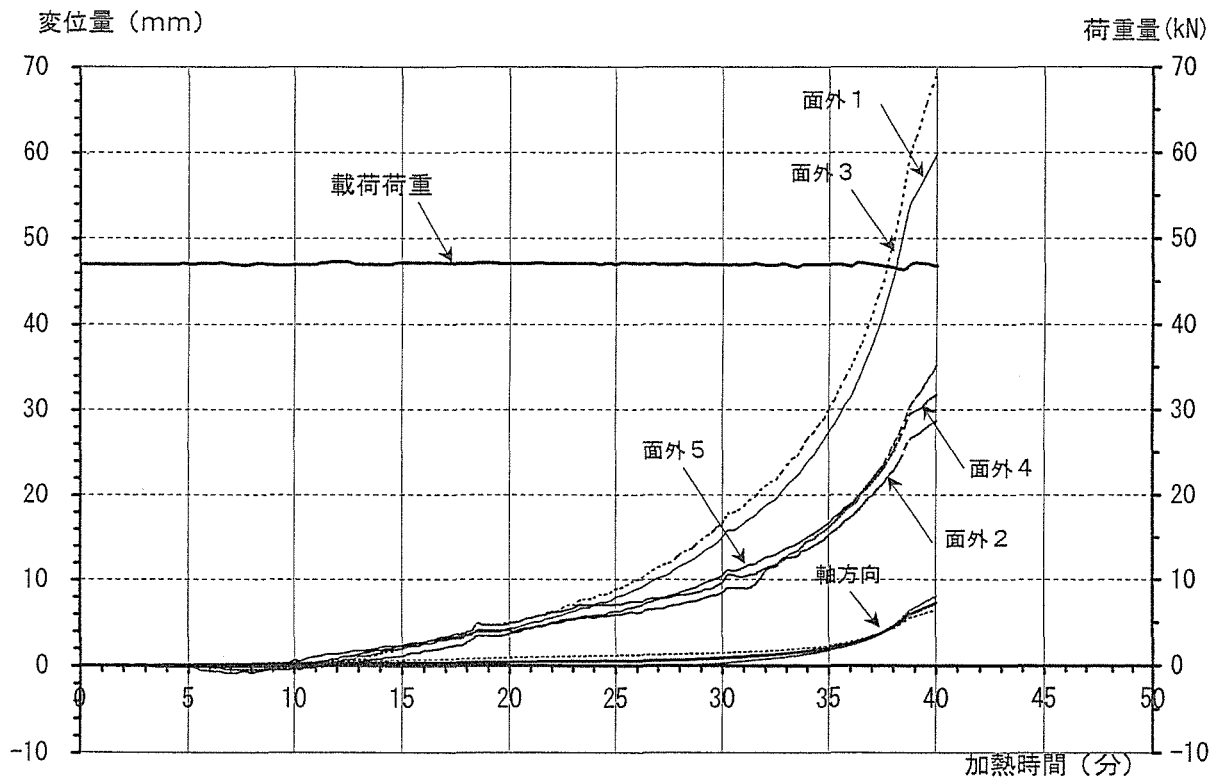


図3.4-4 試験体B-1、載荷荷重、たわみ量の推移

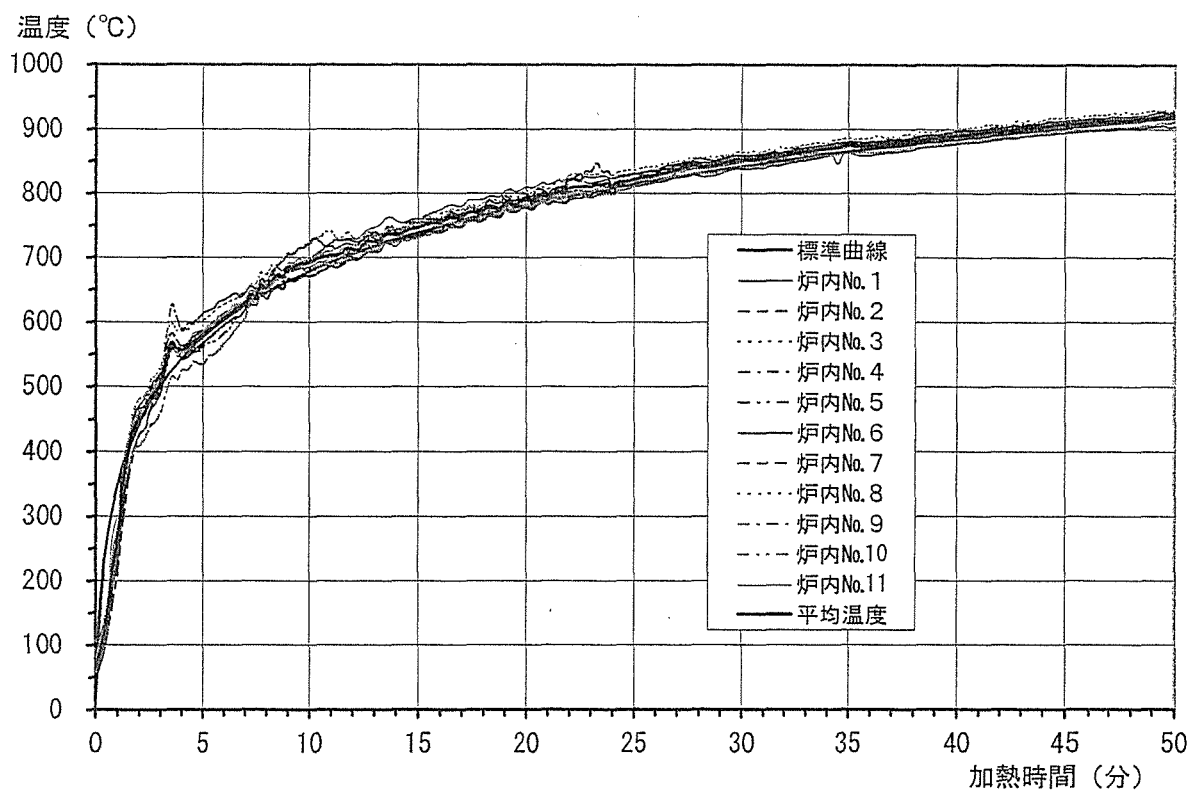


図3.4-5 試験体B-2、炉内加熱温度推移

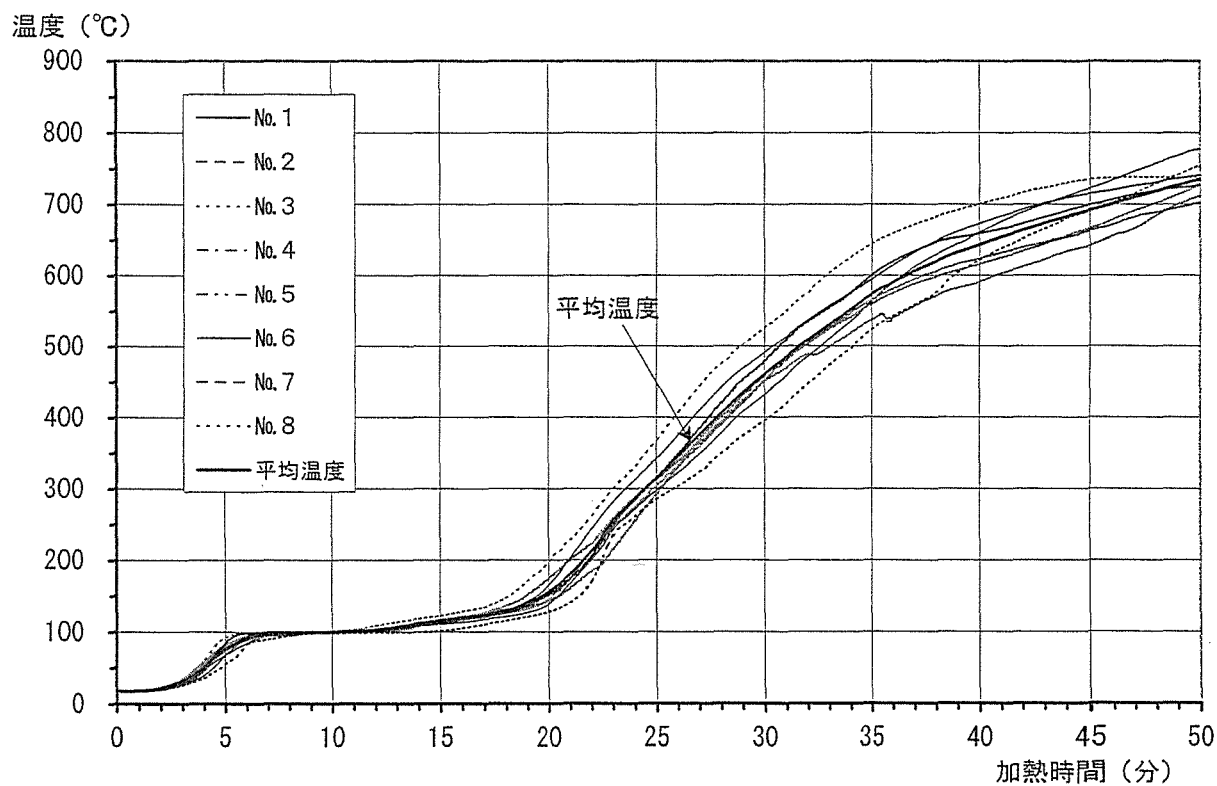


図3.4-6 試験体B-2、加熱側材料裏面温度の推移

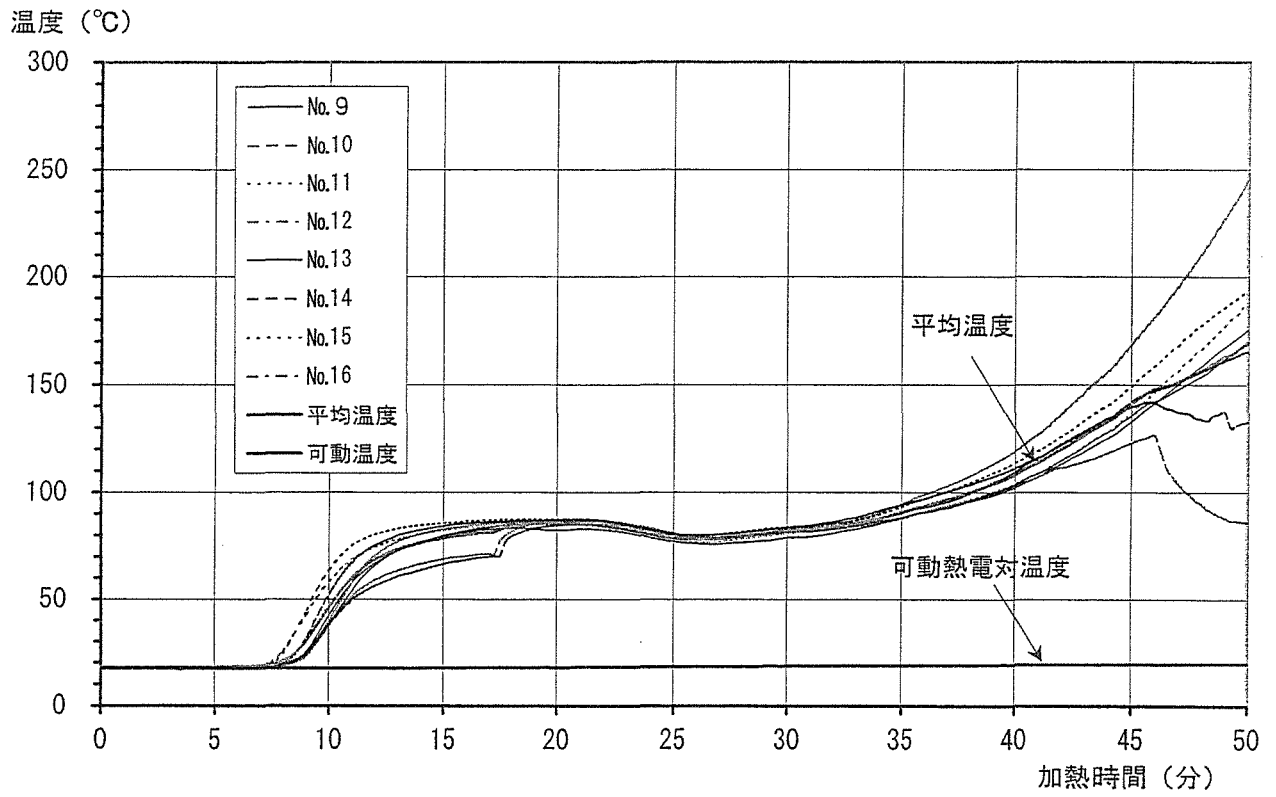


図3.4-7 試験体B-2、試験体裏面温度の推移

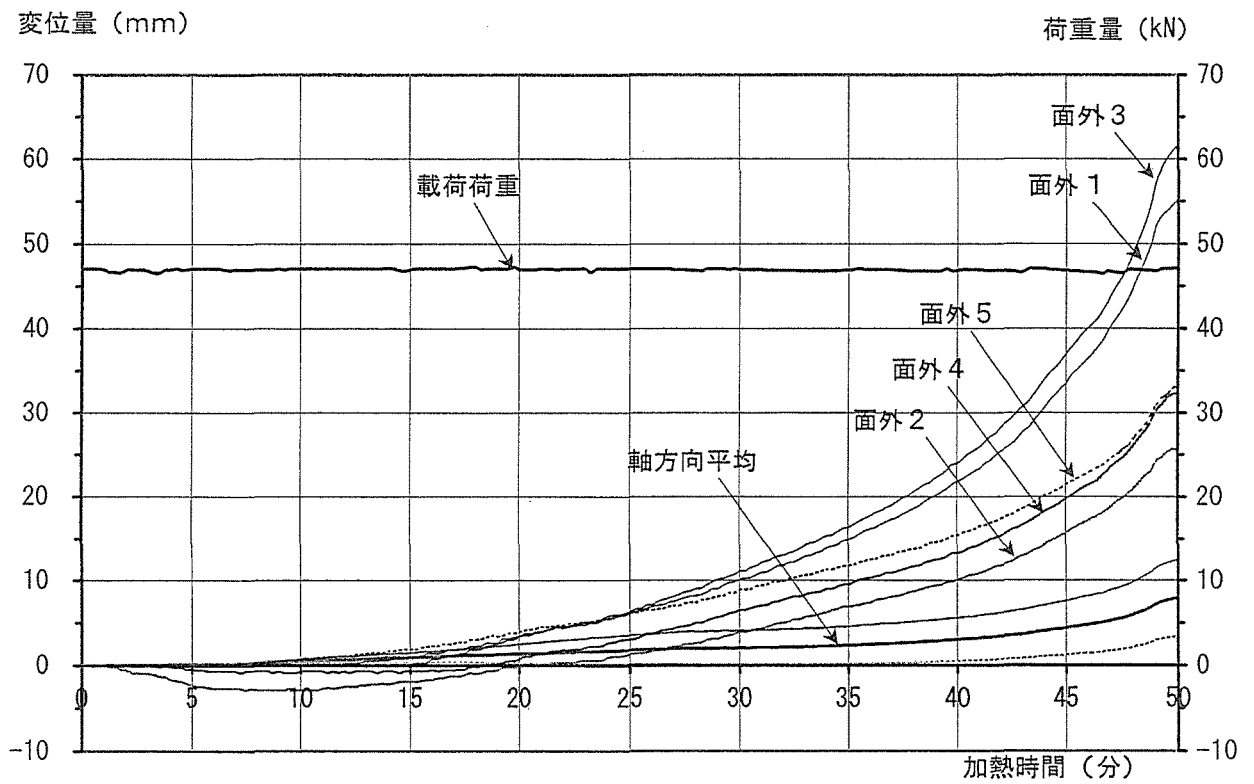


図3.4-8 試験体B-2、載荷荷重、たわみ量の推移

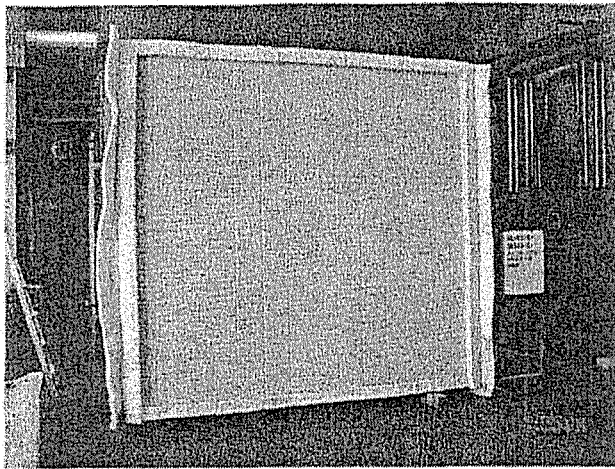
写真記録

1. 壁構造、各試験体の燃焼状況

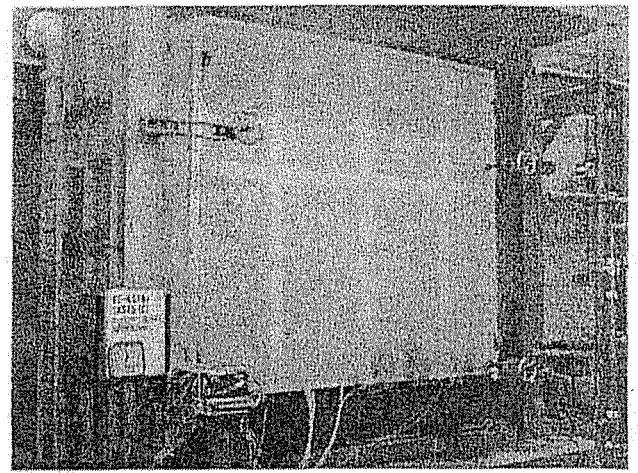
1. 1 写真1-1～1-8 試験体“EE-KS18+SKS15 (C)”
在来軸組、大壁外壁構造
1. 2 写真2-1～2-8 試験体“EE-KS18+SKS15 (C)”
在来軸組、外壁大壁・内壁真壁構造
1. 3 写真3-1～3-8 試験体“EI-GBX21+GBX15 (C)”
在来軸組、内壁真壁・外壁大壁構造
1. 4 写真4-1～4-8 試験体“P-GBX21+GBX15 (C)”
在来軸組、間仕切壁構造
1. 5 写真5-1～5-8 試験体“EE-KS18+SKS15 (D)”
枠組壁、外壁構造
1. 6 写真6-1～6-8 試験体“EE'-KS18+SKS15 (D)”
枠組壁、外壁構造(難燃処理枠材)
1. 7 写真7-1～7-8 試験体“P-GBX21+GBX15 (D)”
枠組壁、間仕切壁構造
1. 8 写真8-1～8-8 試験体“P'-GBX21+GBX15 (D)”
枠組壁、間仕切壁構造(難燃処理枠材)

2. 床構造、各試験体の燃焼状況

2. 1 床写真1-1～1-8 試験体“FS-GBX21+GBX15 (C)”
在来軸組、木製野縁天井仕様
2. 2 床写真2-1～2-8 試験体“FSS-GBX21+GBX15 (C)”
在来軸組、鋼製野縁天井仕様
2. 3 床写真3-1～3-8 試験体“FS-GBX21+GBX15 (D)”
枠組壁、床根太直張り天井仕様
2. 4 床写真4-1～4-8 試験体“FSS-GBX21+GBX15 (D)”
枠組壁、鋼製野縁吊り天井仕様



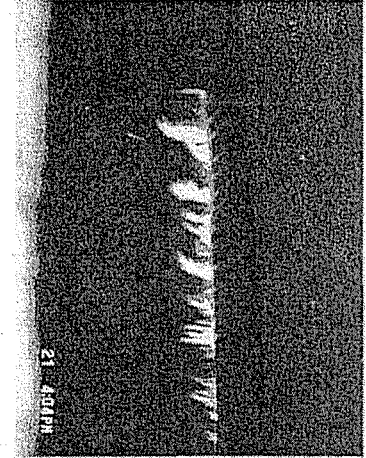
壁No. 1 "EE-KS18+SKS15(C)"加熱面



壁No. 1 60分加熱後の裏面状況



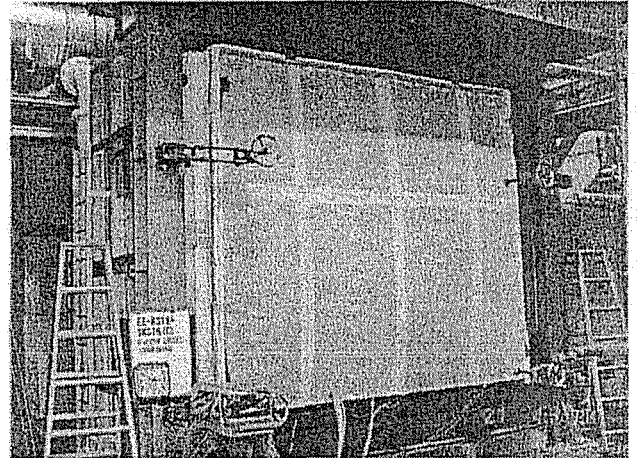
壁No. 1 加熱停止後の加熱面



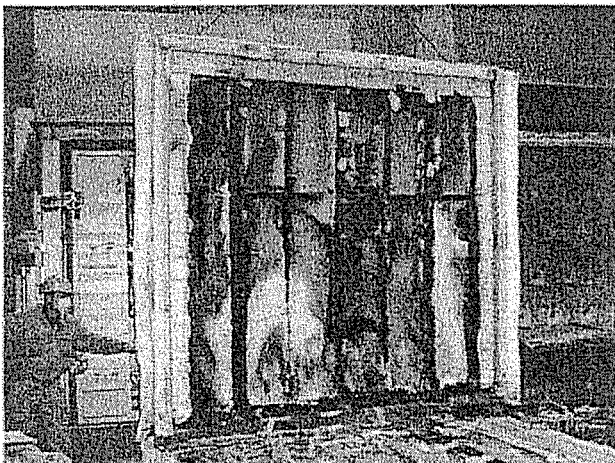
壁No. 1 試験2時間後の加熱面



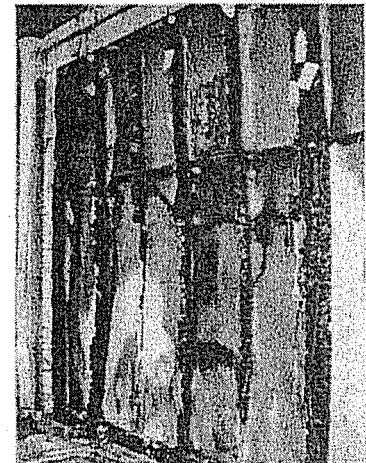
壁No. 1 試験開始170分後の裏面



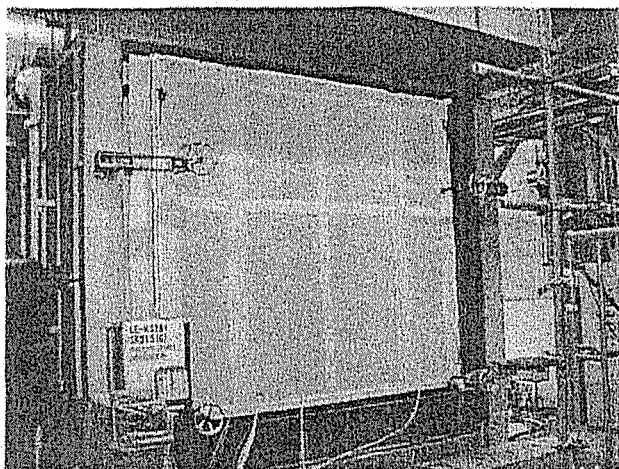
壁No. 1 試験開始170分後の裏面



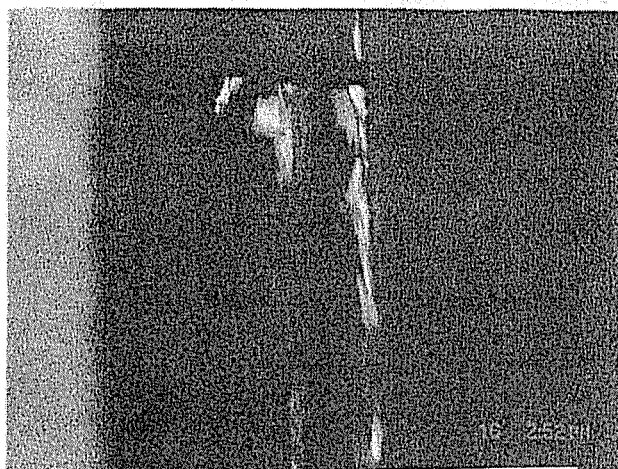
壁No. 1 170分終了後の加熱面



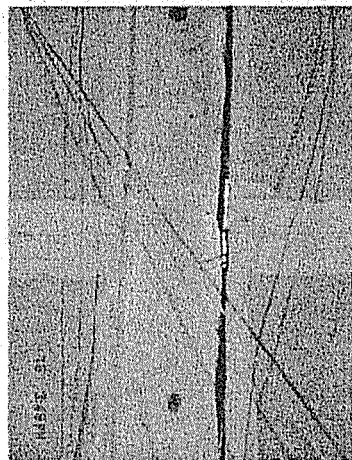
壁No. 1 170分終了後の加熱面



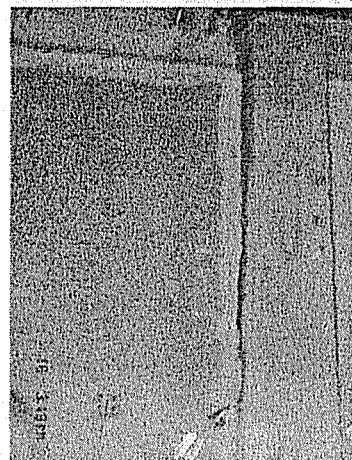
壁No. 2 "EE-KS18+SKS15(C)"60分時裏面



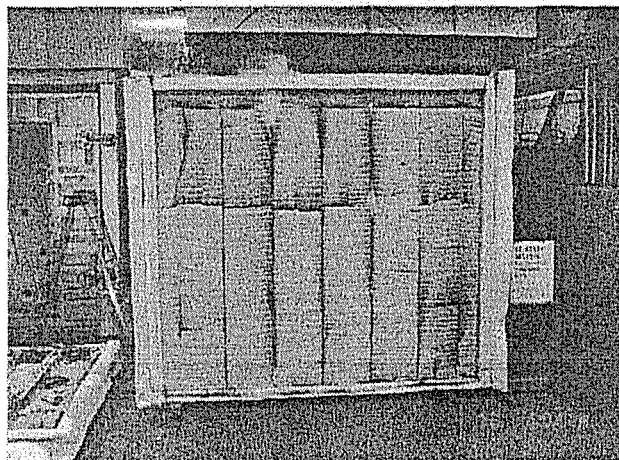
壁No. 2 60分加熱後の加熱面状況



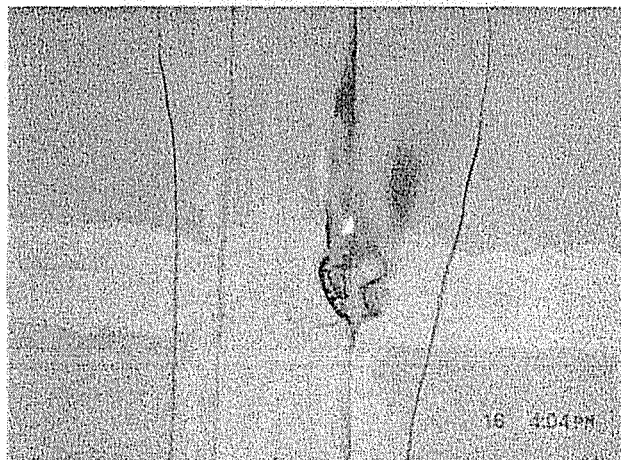
壁No. 2 135分経過後の裏面状況



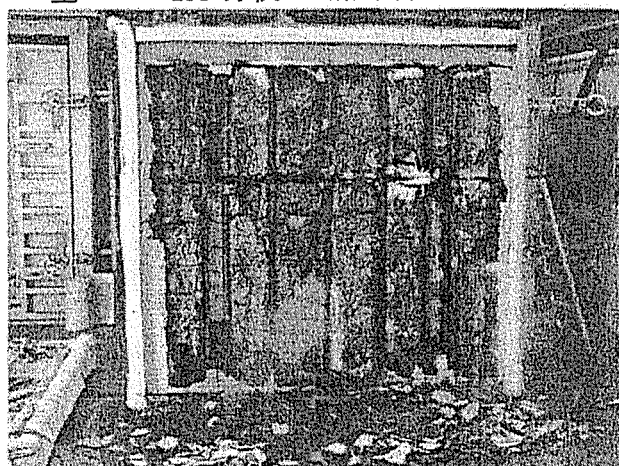
壁No. 2 135分経過後の裏面状況



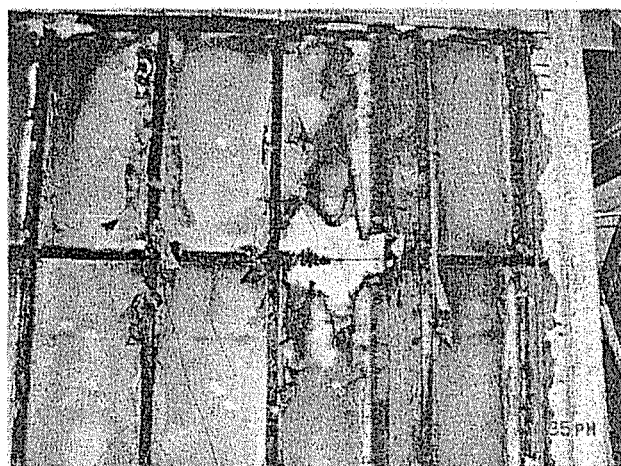
壁No. 2 135分後の加熱面状況



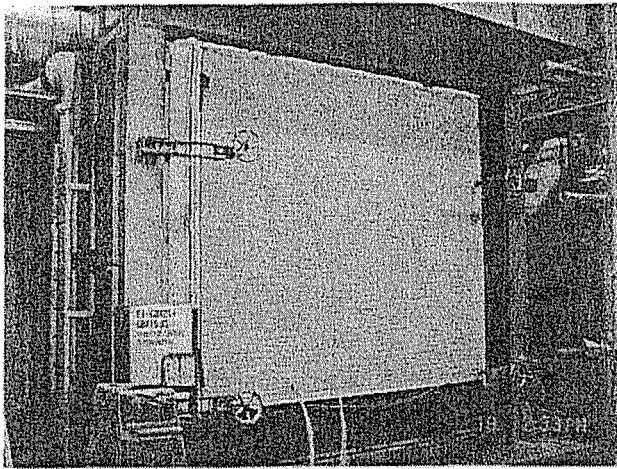
壁No. 2 柱際の燃え抜け位置



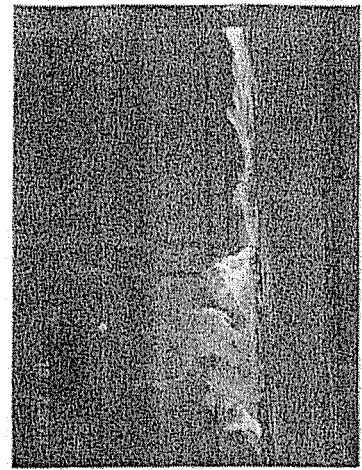
壁No. 2 135分終了後の加熱面



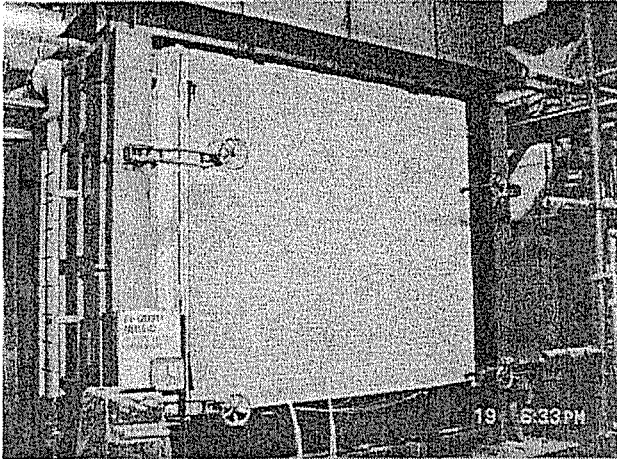
壁No. 2 135分終了後の加熱面



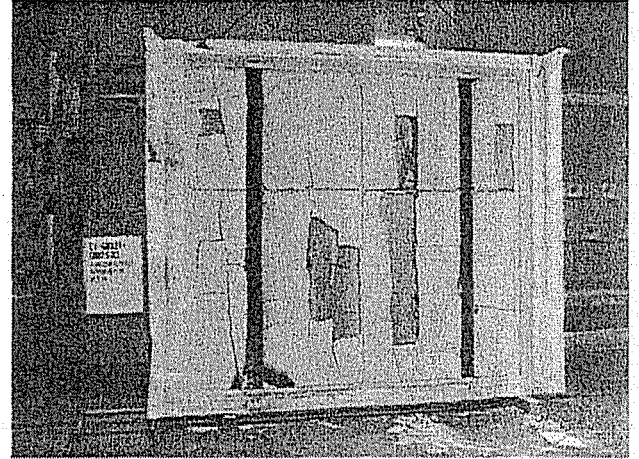
壁No. 3 "EI-GBX21+GBX15(C)"裏面側



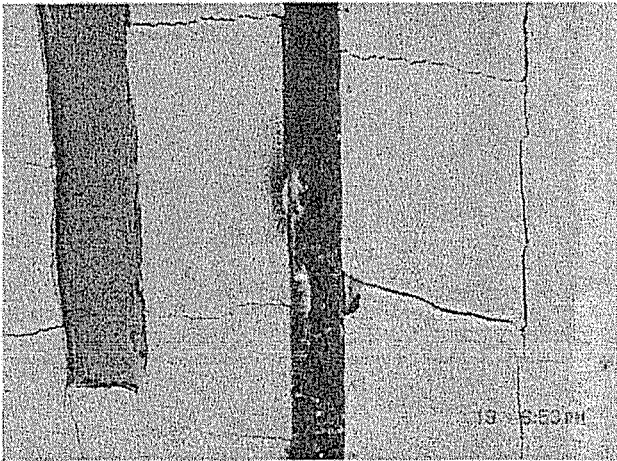
壁No. 3 60分加熱停止後の加熱面



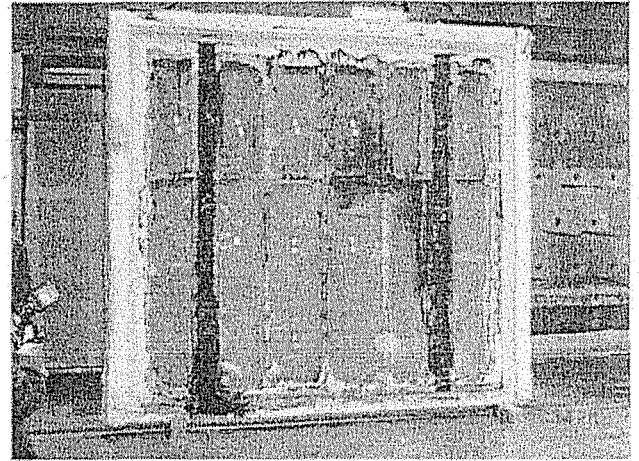
壁No. 3 試験4時間後の裏面状況



壁No. 3 4時間後の加熱面状況



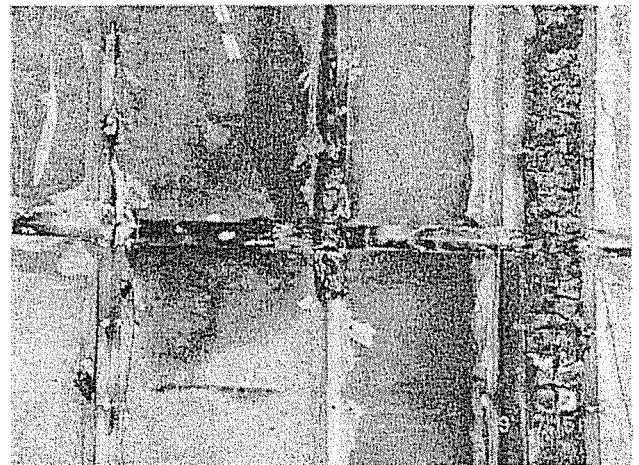
壁No. 3 加熱面、真壁柱の燃焼状況



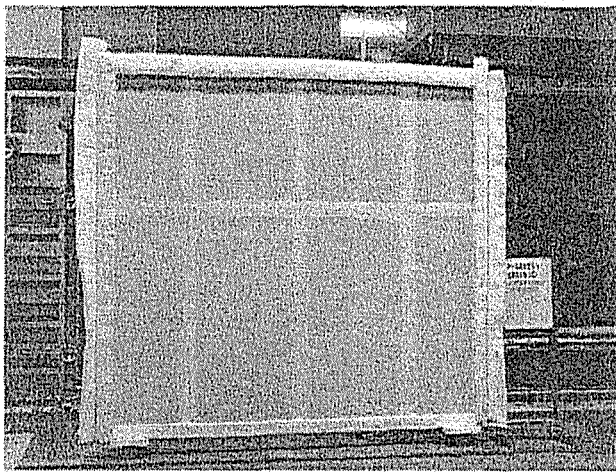
壁No. 3 終了後の加熱面軸組状況



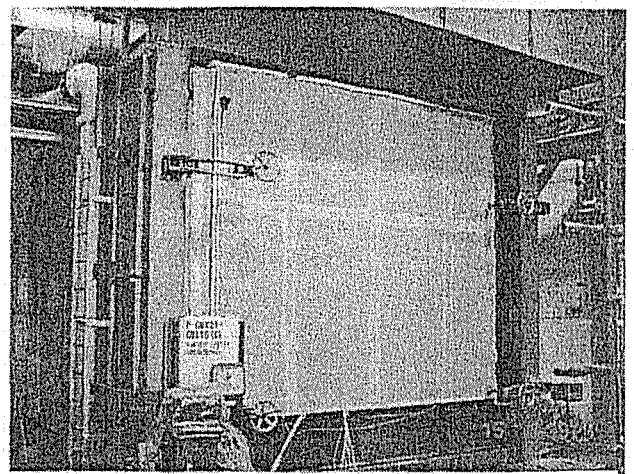
壁No. 3 加熱面、真壁柱下部の燃焼



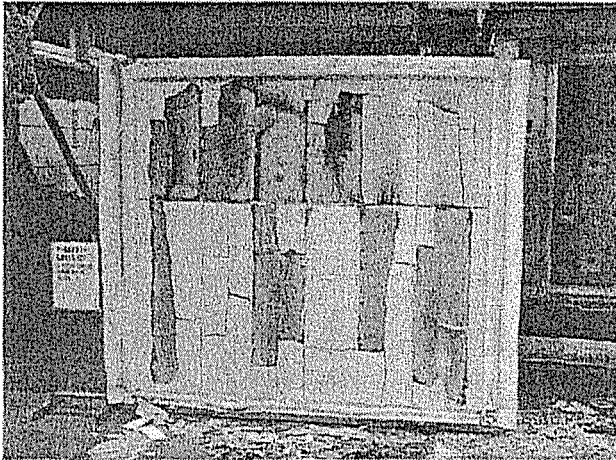
壁No. 3 加熱面、柱・間柱の状況



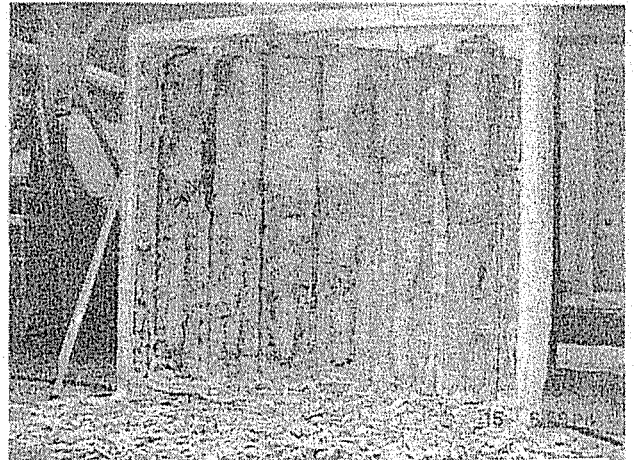
壁No. 4 "P-GBX21+GBX15(C)"加熱面



壁No. 4 1時間加熱後の裏面状況



壁No. 4 4時間後の加熱面状況



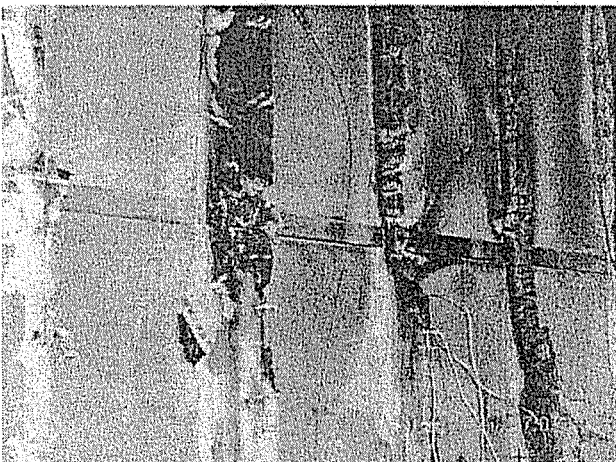
壁No. 4 4時間後の軸組状況



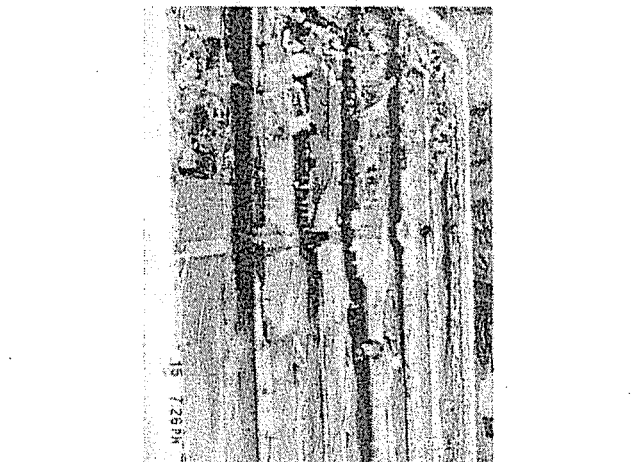
壁No. 4 4時間後、軸組の燃焼状況



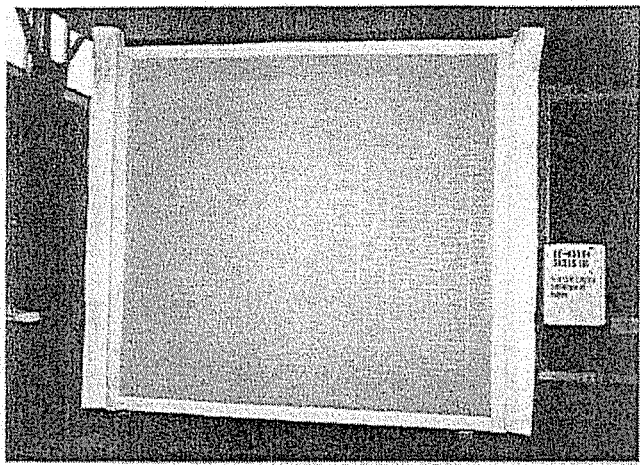
壁No. 4 4時間後、軸組の燃焼状況



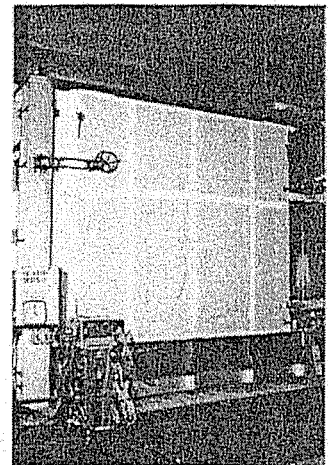
壁No. 4 終了後、軸組の燃焼状況



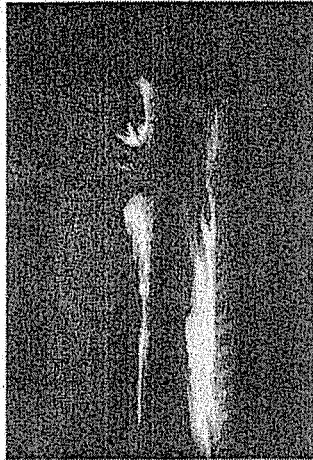
壁No. 4 終了後、軸組の燃焼状況



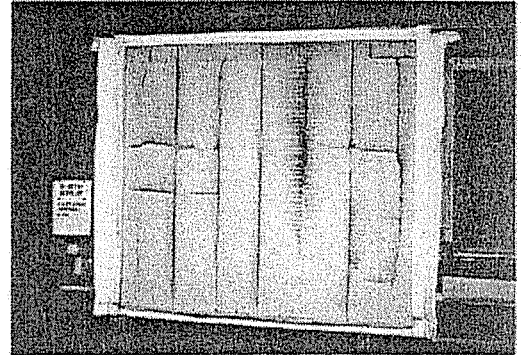
壁No. 5 "EE-KS18+SKS15(D)"加熱面



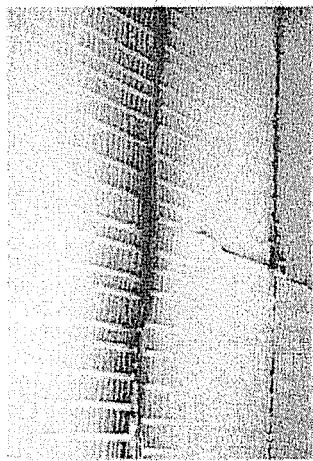
壁No. 5 試験4時間後の裏面状況



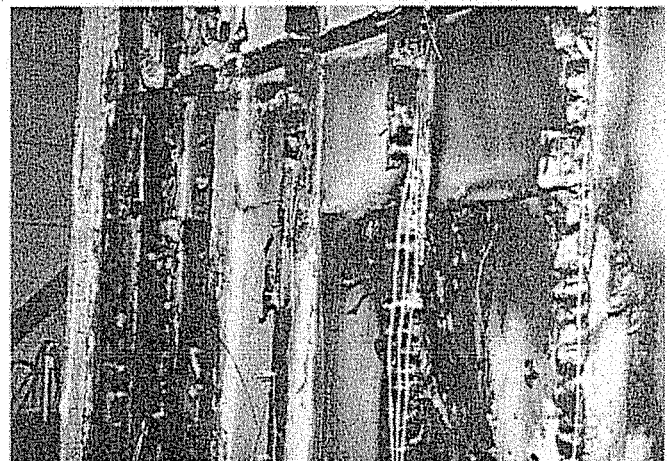
壁No. 5 加熱停止後の炉内状況



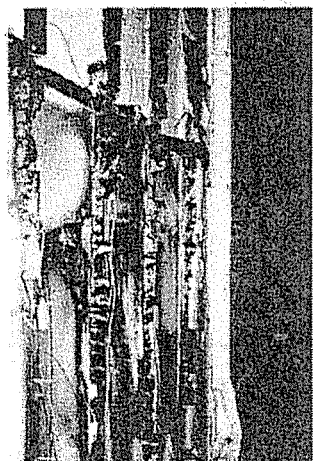
壁No. 5 試験終了後の加熱面状況



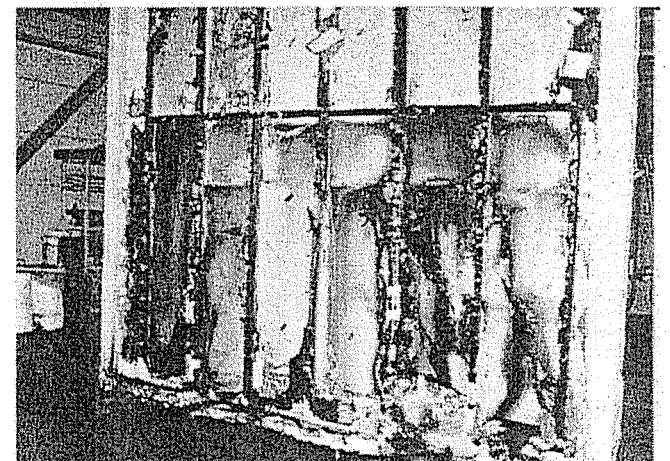
壁No. 5 試験終了後の加熱面状況



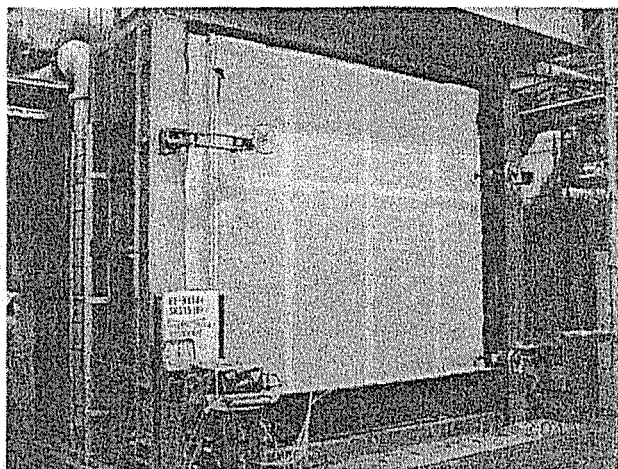
壁No. 5 試験終了後の軸組の燃焼状況



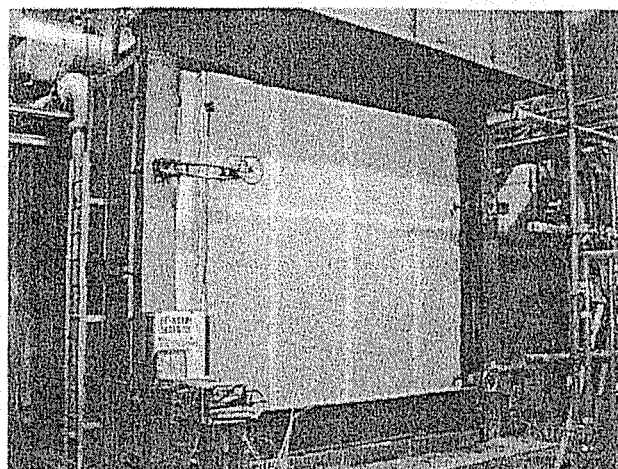
壁No. 5 試験終了後の軸組の燃焼状況



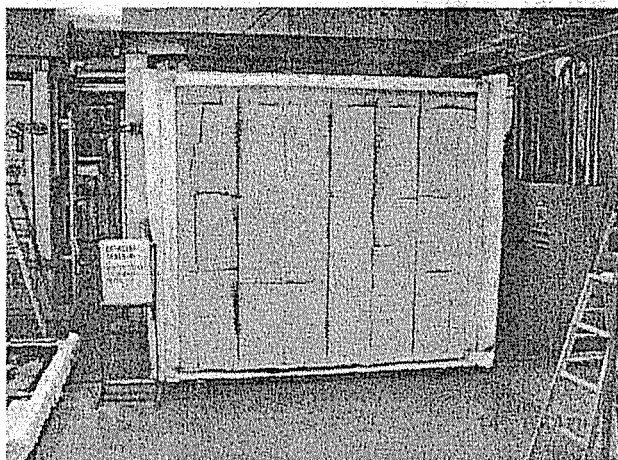
壁No. 5 試験終了後の軸組の燃焼状況



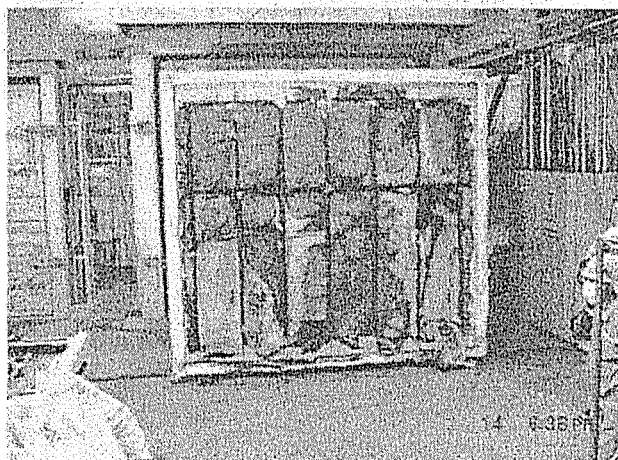
壁No. 6 "EE'-KS18+SKS15(D)"裏面



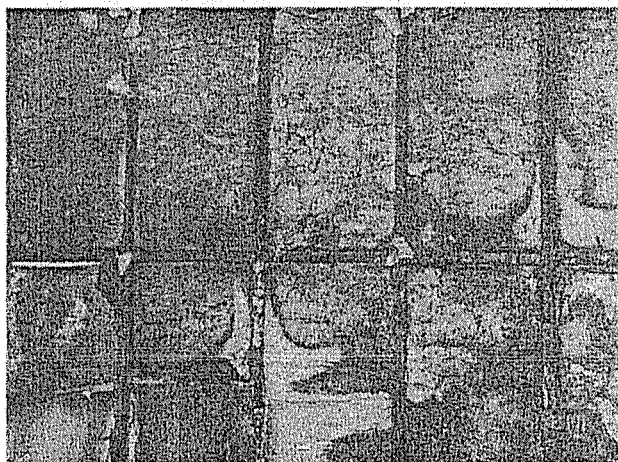
壁No. 6 4時間経過後の裏面状況



壁No. 6 終了後の加熱面状況



壁No. 6 終了後の軸組状況



壁No. 6 終了後の軸組燃焼状況



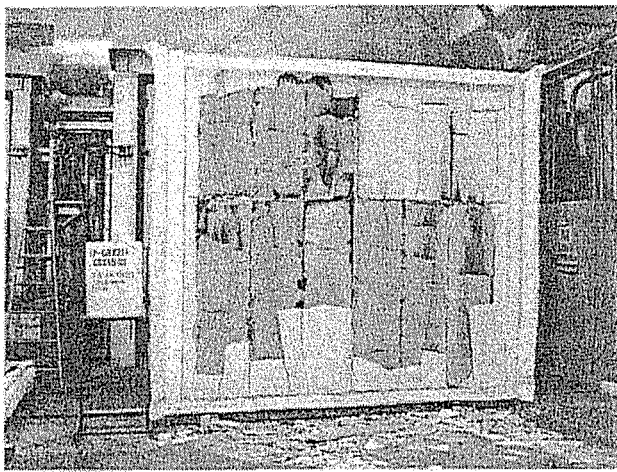
壁No. 6 終了後の軸組燃焼状況



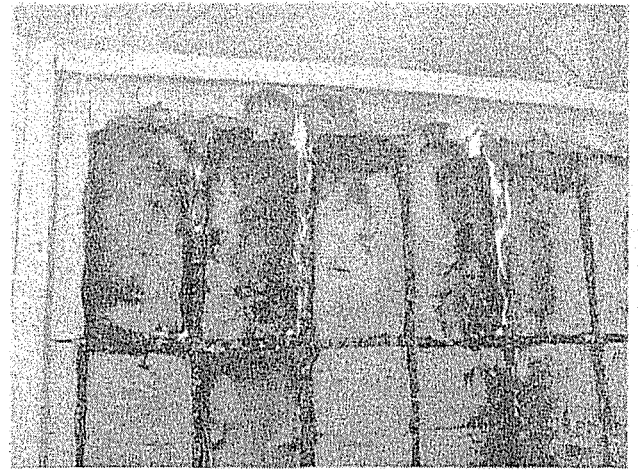
壁No. 6 終了後の軸組燃焼状況



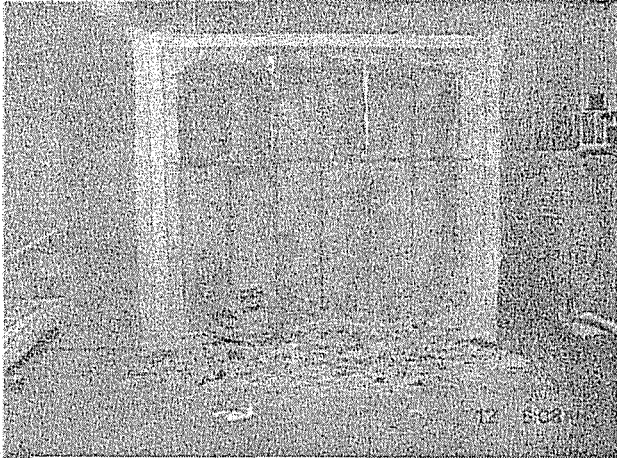
壁No. 6 終了後の軸組燃焼状況



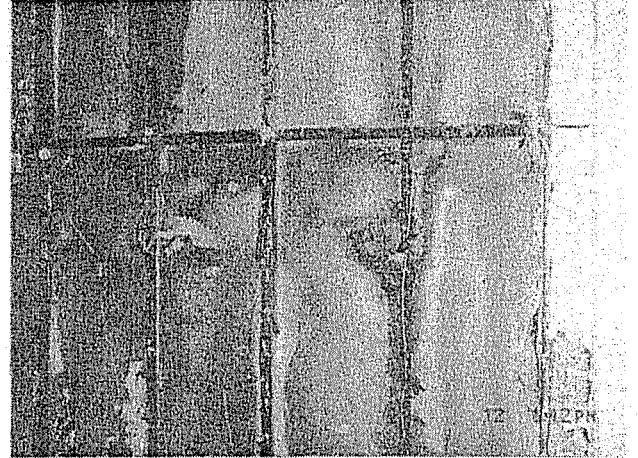
壁No. 7 "P-GBX21+GBX15(D)" 4時間試験後



壁No. 7 終了後の軸組の燃焼状況



壁No. 7 終了後の軸組の燃焼状況



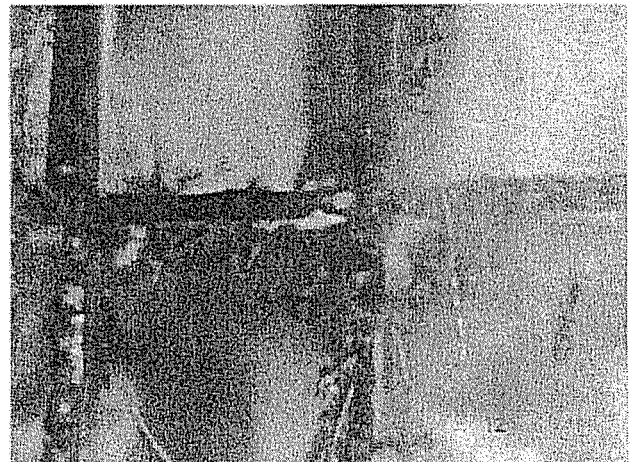
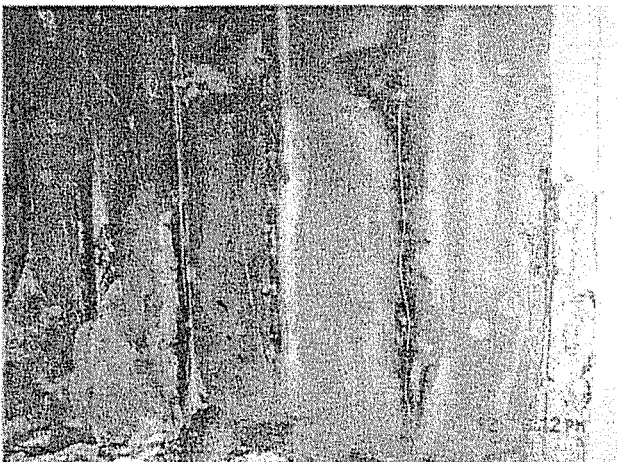
壁No. 7 終了後の軸組の燃焼状況

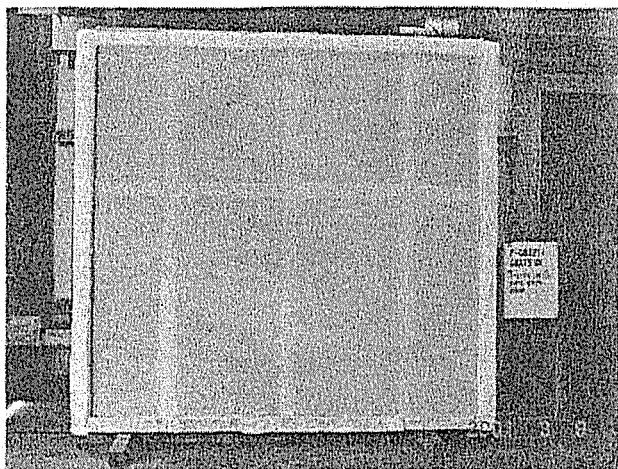


壁No. 7 終了後の軸組の燃焼状況

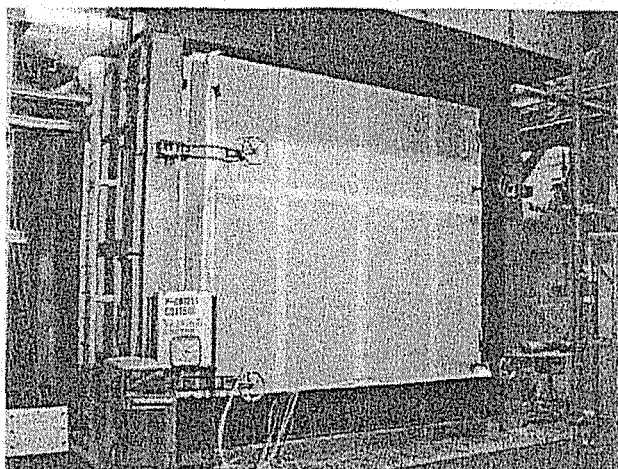


壁No. 7 終了後の軸組の燃焼状況

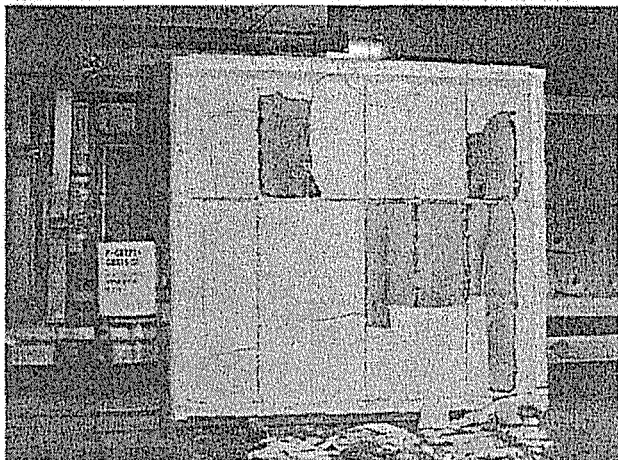




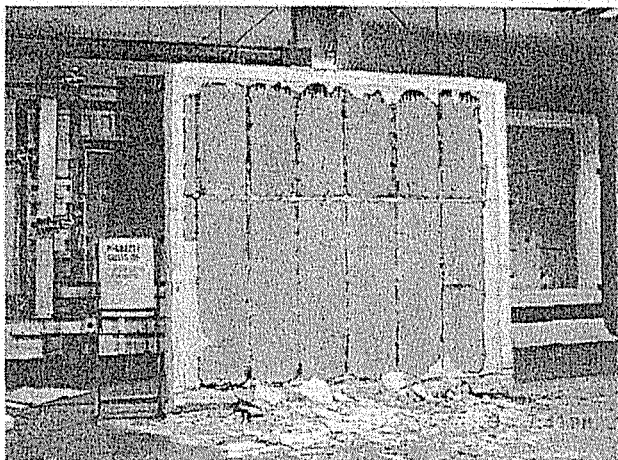
壁No. 8 "P'-GBX21+GBX15(D)"加熱面



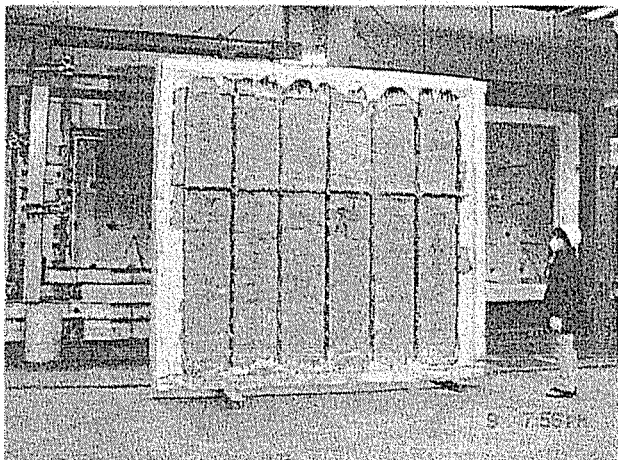
壁No. 8 3時間後の裏面状況



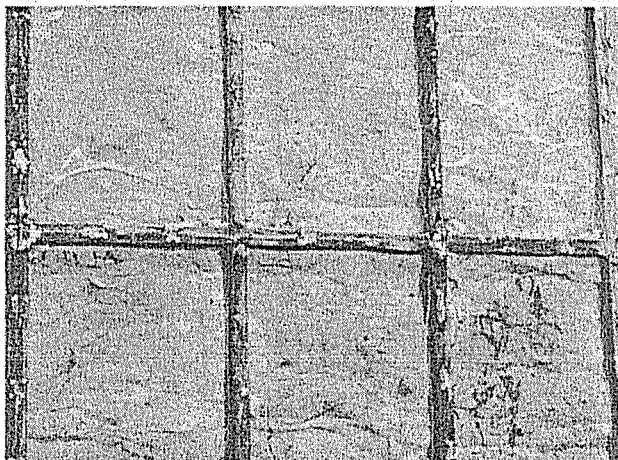
壁No. 8 4時間終了後の加熱面状況



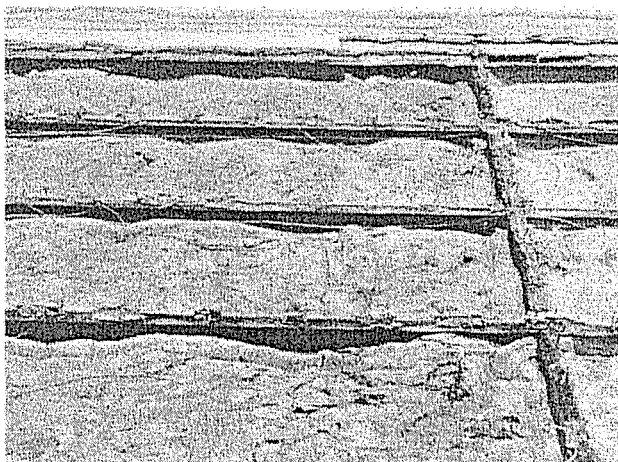
壁No. 8 4時間終了後の加熱面状況



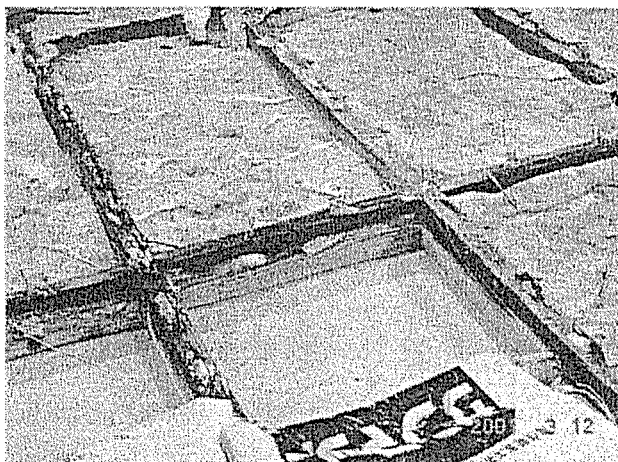
壁No. 8 4時間終了後の軸組状況



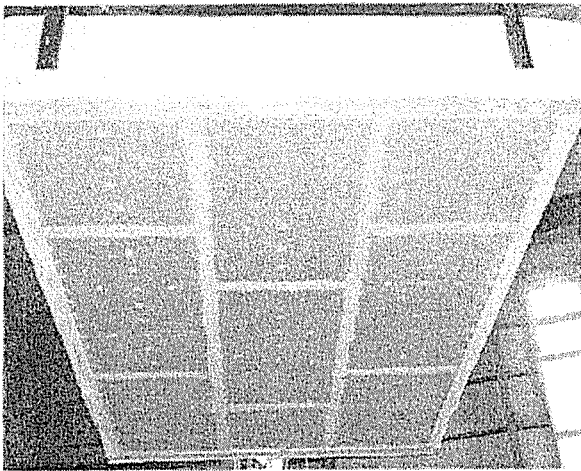
壁No. 8 4時間終了後の軸組状況



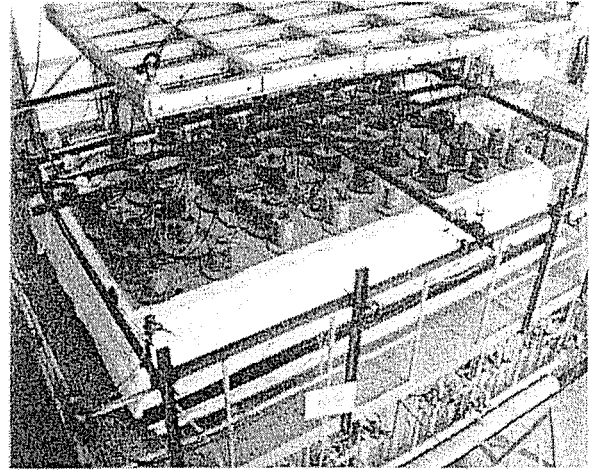
壁No. 8 4時間終了後の軸組状況



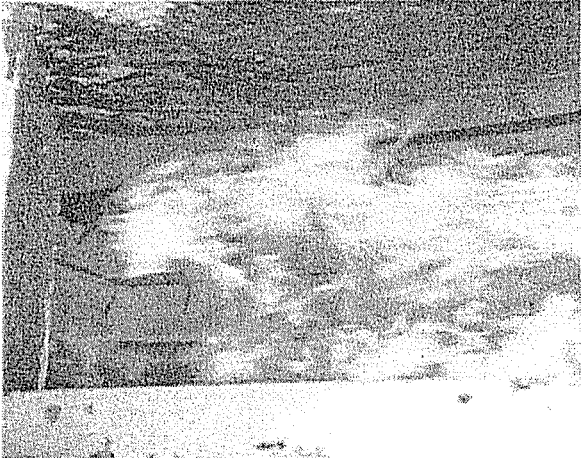
壁No. 8 4時間終了後の軸組状況



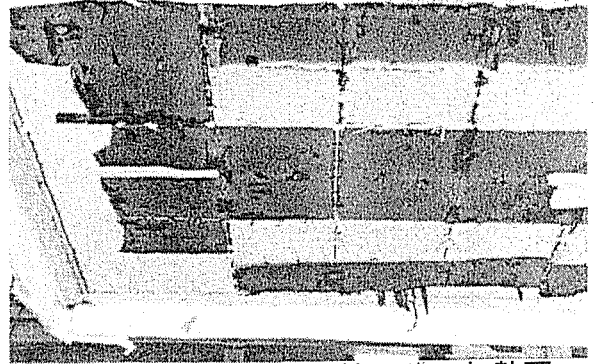
床写真 1-1 "FS-GBX21+GBX15(C)"加熱面



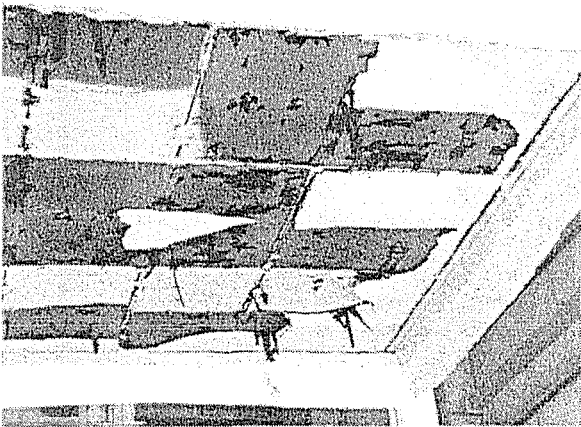
床写真 1-2 加熱 60 分時の床面



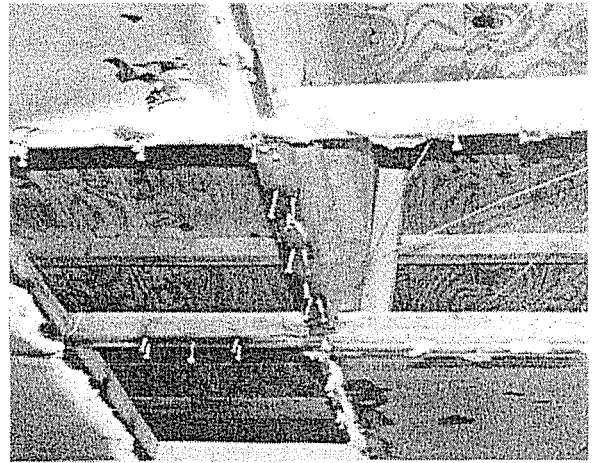
床写真 1-3 60 分時の炉内状況



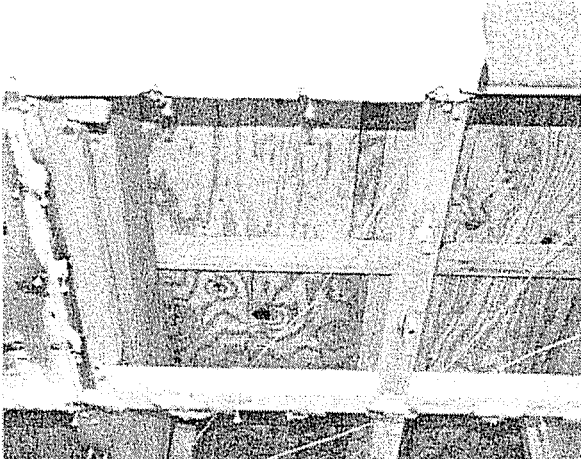
床写真 1-4 4 時間試験終了後の加熱面



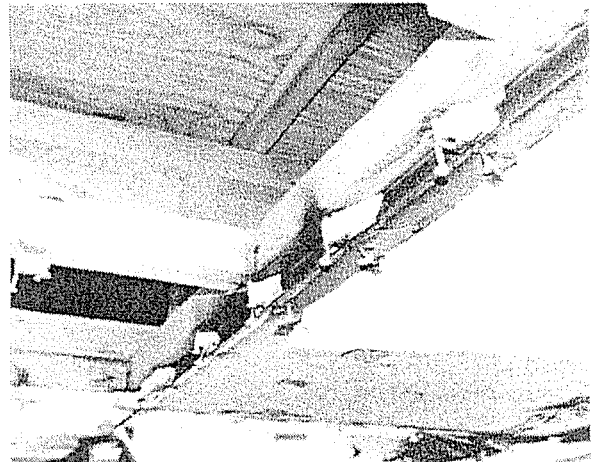
床写真 1-5 4 時間試験終了後の加熱面



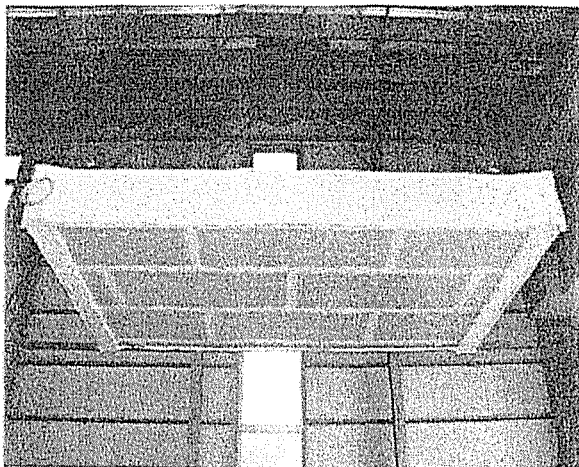
床写真 1-6 木製野縁表面の状況



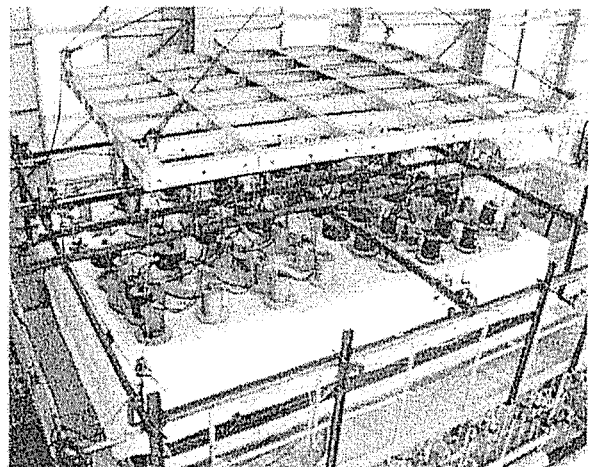
床写真 1-7 木製野縁表面の状況



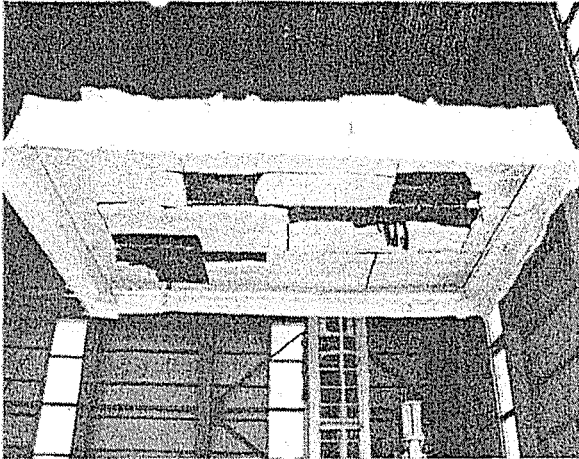
床写真 1-8 木製野縁表面の状況



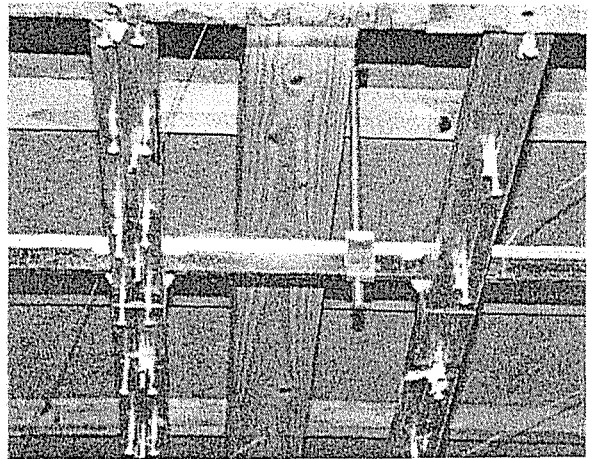
床写真 2-1 "FSS-GBX21+GBX15(C)"加熱面



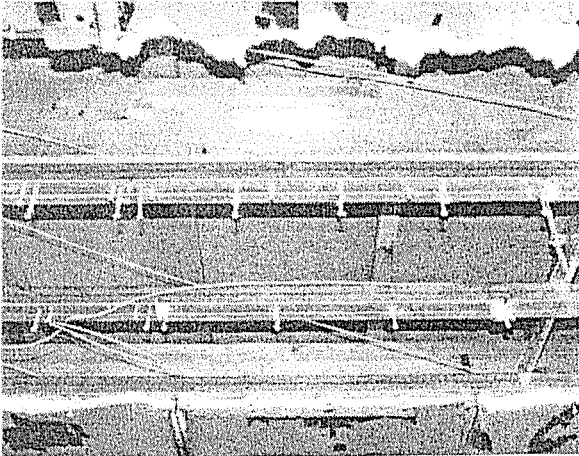
床写真 2-2 加熱時の床面



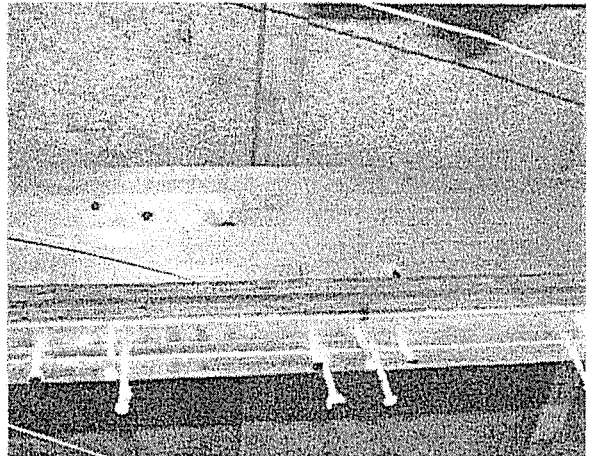
床写真 2-3 4時間試験終了後の加熱面



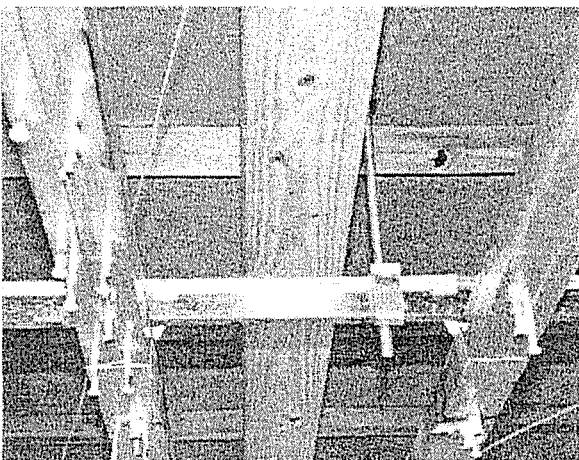
床写真 2-4 鋼製野縁表面の状況



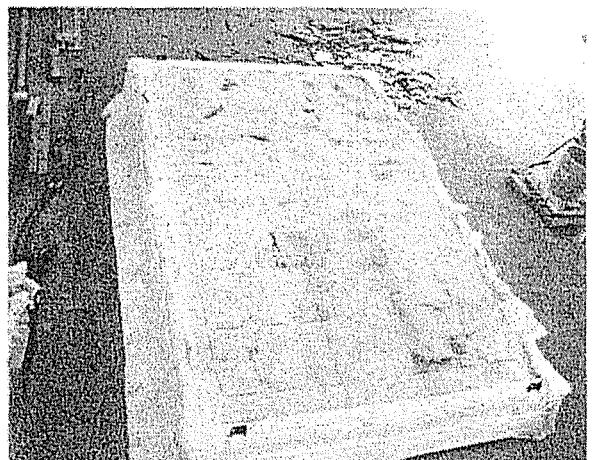
床写真 2-5 鋼製野縁表面の状況



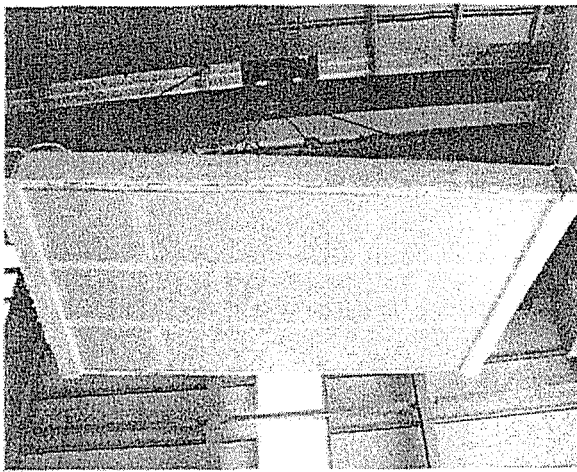
床写真 2-6 鋼製野縁と大引表面の状況



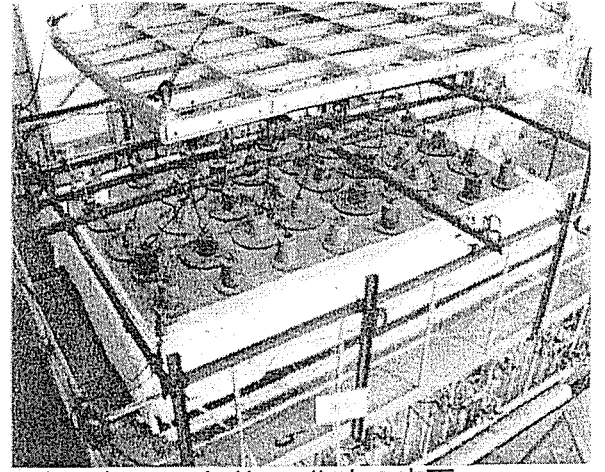
床写真 2-7 鋼製野縁と大引表面の状況



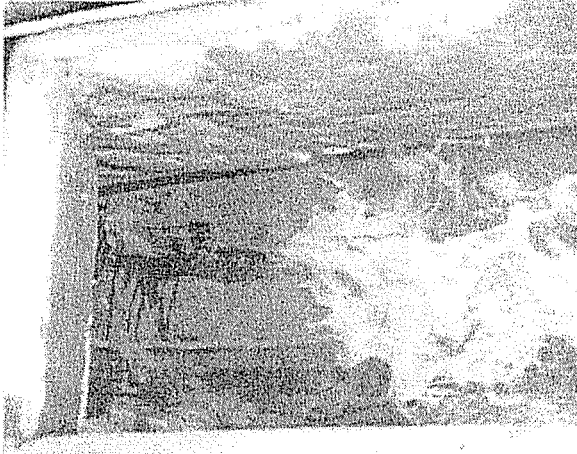
床写真 2-8 試験終了後の床面の状況



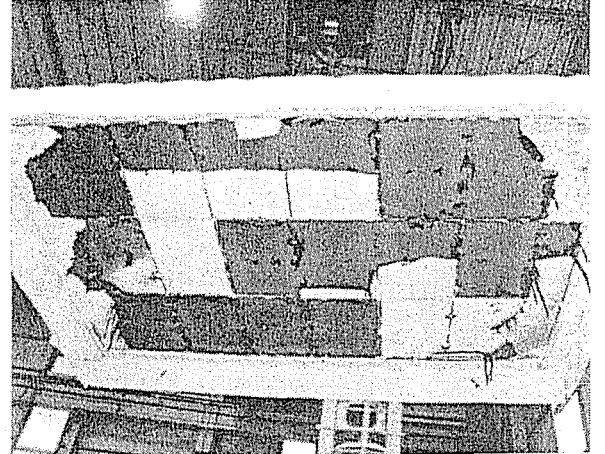
床写真 3-1 "FS-GBX21+GBX15(D)"加熱面



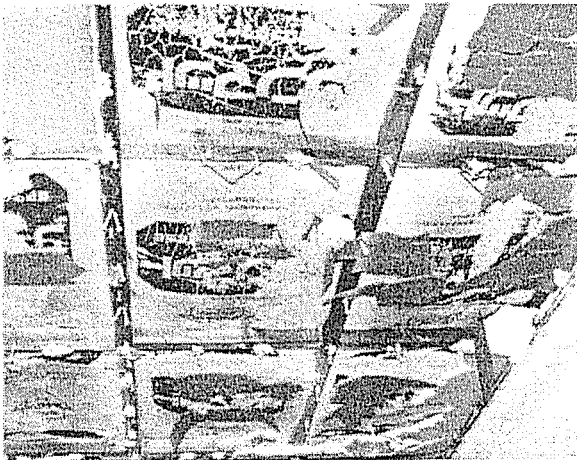
床写真 3-2 加熱 30 分時の床面



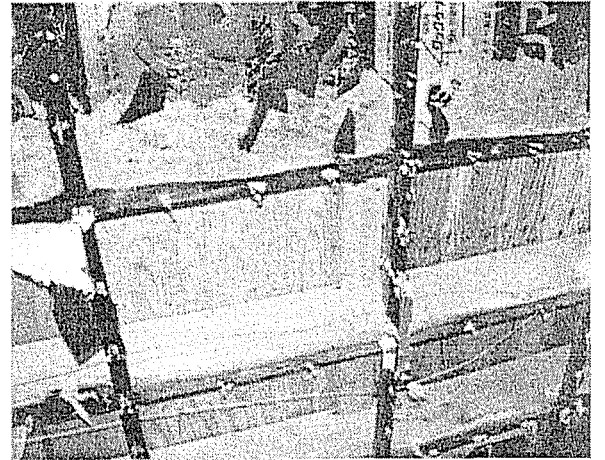
床写真 3-3 30 分時の炉内状況



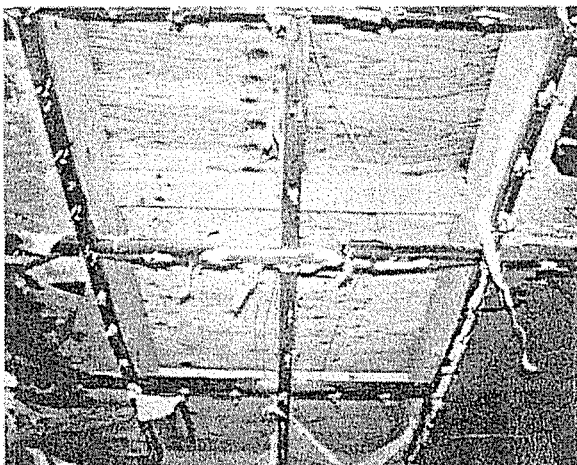
床写真 3-4 4 時間試験終了後の加熱面



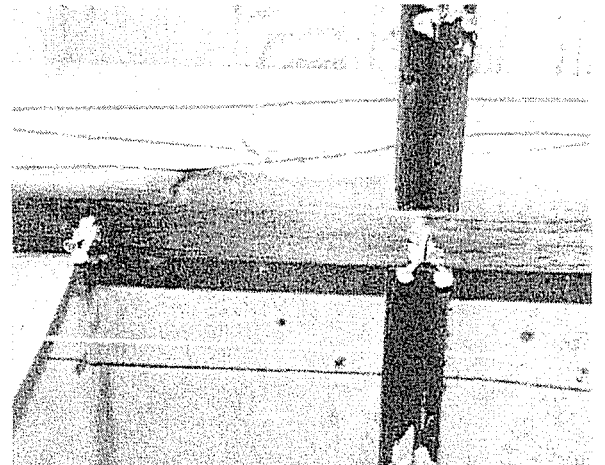
床写真 3-5 床根太表面の状況



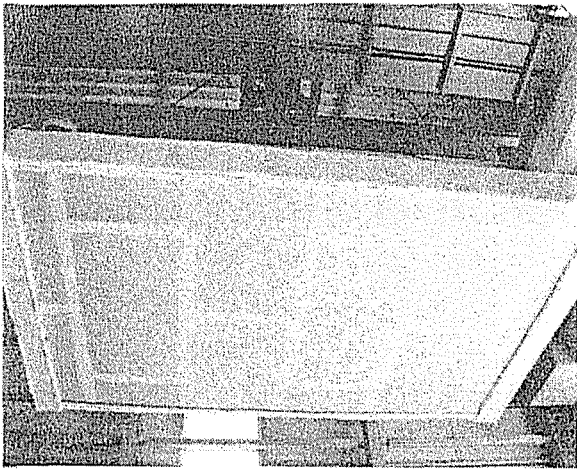
床写真 3-6 床根太表面の状況



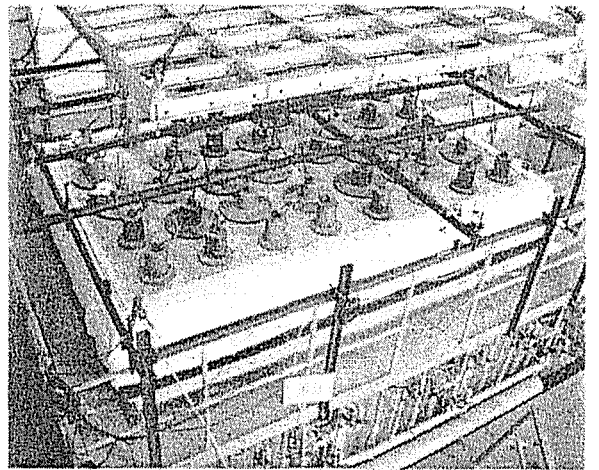
床写真 3-7 床根太表面の状況



床写真 3-8 床根太表面の状況



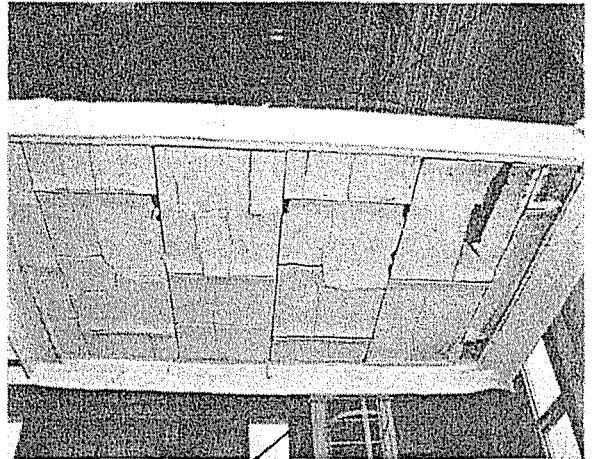
床写真 4-1 "FSS-GBX21+GBX15(D)"加熱面



床写真 4-2 加熱 30 分時の床面



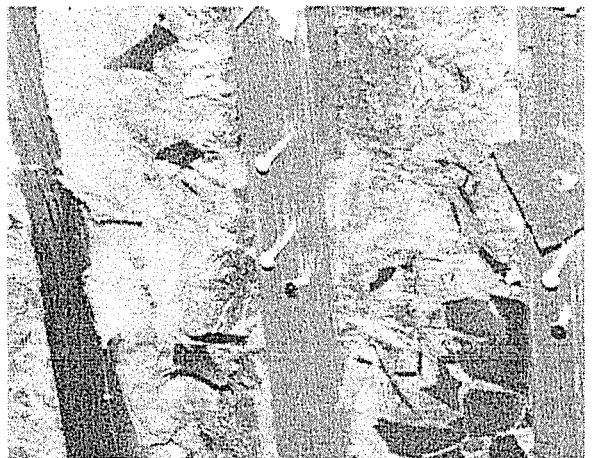
床写真 4-3 30 分時の炉内状況



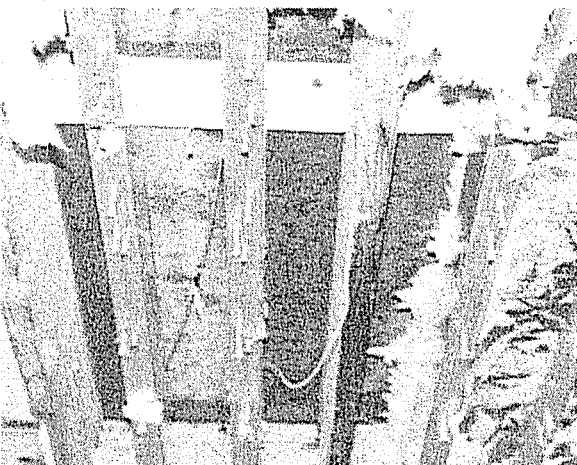
床写真 4-4 4 時間試験終了後の加熱面



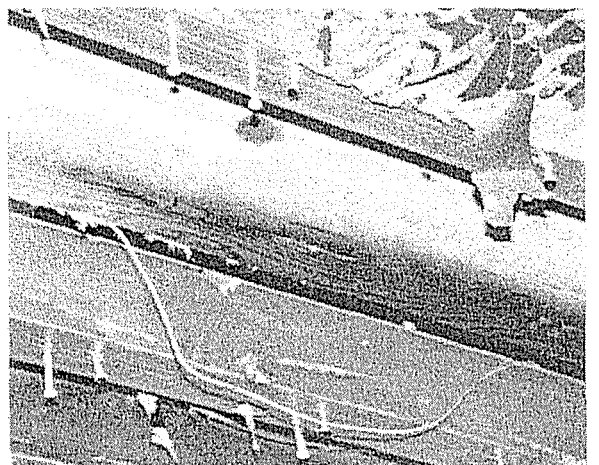
床写真 4-5 鋼製野縁表面の状況



床写真 4-6 鋼製野縁と床根太表面の状況



床写真 4-7 鋼製野縁表面の状況



床写真 4-8 鋼製野縁と床根太表面の状況

第2章 木質架構部材開発

(構造用集成材・LVL、はりの載荷加熱試験、柱・はり接合部の載荷加熱試験)

1. 断面別構造用集成材の載荷加熱試験

1.1 目的：

日本農林規格の改正により、構造用集成材は断面により小断面、中断面、大断面の3種類に分類されたが、燃えしろ設計は建設省告示により大断面集成材のみが認められ、既往の研究も大断面集成材を用いた載荷加熱試験が一般的である。一方、国産材の有効利用の観点から中目材を集成材原料として使用する必要があるが、原材料の歩留まりから中断面集成材が主体となり、その用途拡大が必要である。準耐火構造の柱、はり用途では燃えしろ設計が必要となるが、中断面集成材は大断面集成材に比べ隅角部の燃え込みの影響が大きくなることが想定される。そこで、本年度は中断面集成材の載荷加熱試験を行い、中断面集成材の燃えしろ設計の可能性を検討する。

また、構造用集成材は外層のラミナは高強度（高ヤング率）の挽き板を使用することが想定されているが、載荷加熱試験の場合は外側から焼損するために、加熱時間が経過するに従い、残存断面の強度性能も低下する恐れがある。本年度は既往の載荷加熱試験と同じ樹種、断面寸法の載荷加熱試験を行い、断面構成の違いによる耐火性能を検討する。

1.2 はり試験体

はり試験体は、中断面(105×240mm)及び大断面(150×300mm)の異等級ラミナ対称構成のものと、ラミナ強度が異等級構成と同一等級構成との比較を行うため大断面(150×300mm)の同一等級のラミナ強度の試験体を製作した。また、樹種として国産材のスギとカラマツを選定した。接着剤にはレゾルシノール樹脂を用いた。

試験に供したはり試験体の仕様を表1.2-1及び表1.2-2に示し、試験体概要を図1.2-1に示す。

1) 異等級対称構成

樹種：カラマツ及びスギ（2樹種）

寸法：105×240、150×300mm（2種類）×長さ6m

計4体

2) 同一等級構成

樹種：カラマツ及びスギ（2樹種）

寸法：150×300mm×6m

計2体

試験体は、設定した強度等級となるように表1.2-2に示すラミナ強度と構成により製作した。

表1. 2-1 はり試験体仕様

No.	記号	強度等級	構成	樹種	寸法 (mm)	積層数
1	B-1	E105-F300	異等級対称	カラマツ	150×300×6,000	13層
2	B-2	E105-F300	異等級対称	カラマツ	105×240×6,000	10層
3	B-3	E 65-F225	異等級対称	スギ	150×300×6,000	11層
4	B-4	E 65-F225	異等級対称	スギ	105×240×6,000	9層
5	B-5	E105-F345	同一等級	カラマツ	150×300×6,000	13層
6	B-6	E 65-F225	同一等級	スギ	150×300×6,000	11層

表1. 2-2 はり試験体ラミナ構成

記号	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
樹種	カラマツ	カラマツ	スギ	スギ	カラマツ	スギ
強度等級	E105-F300	E105-F300	E65-F225	E65-F225	E105-F345	E65-F255
寸法	15x30cm	10.5x24cm	15x30cm	10.5x24cm	15x30cm	15x30cm
積層数	13層	10層	11層	9層	13層	11層
構成	異等級	異等級	異等級	異等級	同一等級	同一等級
最外層	L125 1層	L125 1層	L80 1層	L80 1層	L110 1層	L70 1層
外層	L110 1層	L110 1層	L70 1層	L70 1層	L110 1層	L70 1層
中間層	L100 2層	L100 1層	L60 1層	L60 1層	L110 2層	L70 1層
内層	L80 5層	L80 4層	L50 5層	L50 3層	L110 5層	L70 5層
中間層	L100 2層	L100 1層	L60 1層	L60 1層	L110 2層	L70 1層
外層	L110 1層	L110 1層	L70 1層	L70 1層	L110 1層	L70 1層
最外層	L125 1層	L125 1層	L80 1層	L80 1層	L110 1層	L70 1層
材料強度	300Kg/cm ²	300Kg/cm ²	225Kg/cm ²	225Kg/cm ²	345Kg/cm ²	255Kg/cm ²
長期許容応 力度 Kg/cm ²	110	110	82.5	82.5	126.5	93.5
載荷荷重	2750Kg	1232Kg	2063Kg	924Kg	3163Kg	2338Kg

3) 試験方法

1) はり試験体：ISO/834に準拠した載荷加熱試験を行う。

試験体は、図1. 2-2に示すように、上部を厚さ50mmの繊維混入けい酸カルシウム板を張り、周囲を厚さ25mmのアルミナシリケート繊維（ロックウール）で被覆して図1. 2-3に示すように水平加熱炉（内寸：幅2m、長さ4m、深さ2m、（財）ベターリビング筑波建築試験センター所有の水平炉）の中に設置した。設置後は水平炉の覆い蓋を炉壁上部と試験体に載せ、蓋重量も載荷荷重として加算した。

加熱は、ISO/834に規定する標準加熱曲線（ $T = 20 + 384 \text{Log}(8t + 1)$ 、 T ：加熱温度（℃）、 t ：試験時間（分））に沿って炉内温度が上昇するように制御した。

炉内温度は径3.2mmのシース熱電対6本並びにプレート熱電対2本を用いて試験体面から10cm離れた位置で、試験体面に10cm以上沿うような位置に設置して測定し、制御した。

試験体への載荷点は、はりの3等分点(1,800mm)とし、はり上面に載荷治具を取り付け、スパン540cm、3等分点4点荷重、長期許容曲げ応力度に相当する応力度を載荷した。載荷荷重は表1. 2-2に示すように、異等級構成ではカラマツの断面寸法150×300mmが約2.8トン(約27kN)、カラマツの断面寸法105×240mmが約1.3トン(約12kN)、スギの断面寸法150×300mmが約2.1トン(約20kN)、スギの断面寸法105×240mmが約1.0トン(約9kN)、同一等級構成ではカラマツの断面寸法150×300mmが約3.2トン(約31kN)、スギの断面寸法150×300mmが約2.4トン(約23kN)とした。

2) 加熱時間は、試験体が曲げ破壊により載荷が困難となるまで、または載荷を継続することにより装置等に破損の恐れがあると判断されるまでの時間とした。

耐火性能の評価は、ISO/834の規定に合わせ、下記に示すはりの最大たわみ量および最大たわみ速度が基準値を超えないこと、または試験体の破壊した時間とした。

- ・最大たわみ量 $\leq L^2/400d$ (mm)
- ・最大たわみ速度 $\leq L^2/9000d$ (mm/分)

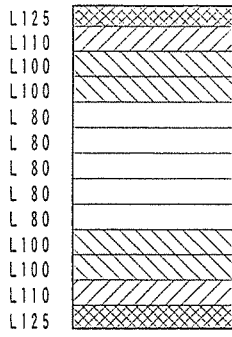
L = 試験体のスパン、d = 試験体はりせい最大たわみ量

集成材及びLVLはりの最大たわみ量ははりせい24cmが304mm、はりせい30cmが243mm、最大たわみ速度ははりせい24cmが13.5mm/分、はりせい300mmが10.8mm/分となった。

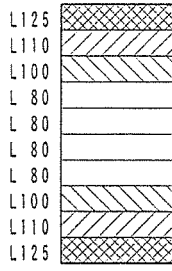
寸法(mm)	最大たわみ量	最大たわみ速度
105×240	304mm	13.5mm/分
150×300	243mm	10.8mm/分

3) 計測は、炉内加熱温度、載荷荷重、たわみ変化量について行い、さらに目視観察等により試験体の変化状況を観察記録した。

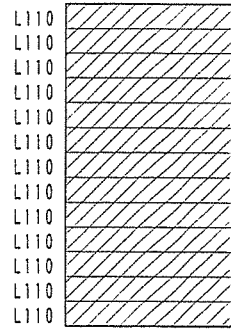
炉内加熱温度、載荷荷重、たわみ量測定は図1. 2-2及び図1. 2-3に示す位置で行った。炉内温度は径3.2mmのシース熱電対で6点、ISO/834で規定されているプレート熱電対で2点、計8点を炉内に均等に配置して測定した。たわみ量は梁中央部2点、載荷点各2点、両端の支点の浮き上がり、左右の変形量等計12点を測定した。



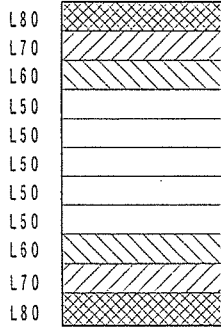
カラマツ 13層 E105-F300
寸法：15X30cm 異等級対称構成



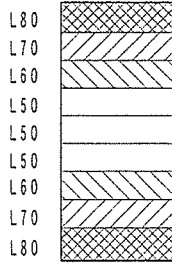
カラマツ 10層 E105-F300
寸法：10.5X24cm 異等級対称構成



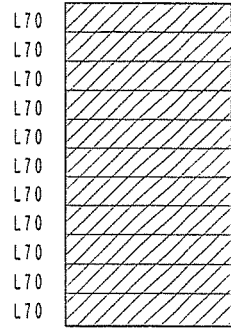
カラマツ 13層 E105-F345
寸法：15X30cm 同一等級構成



スギ 11層 E65-F225
寸法：15X30cm 異等級対称構成

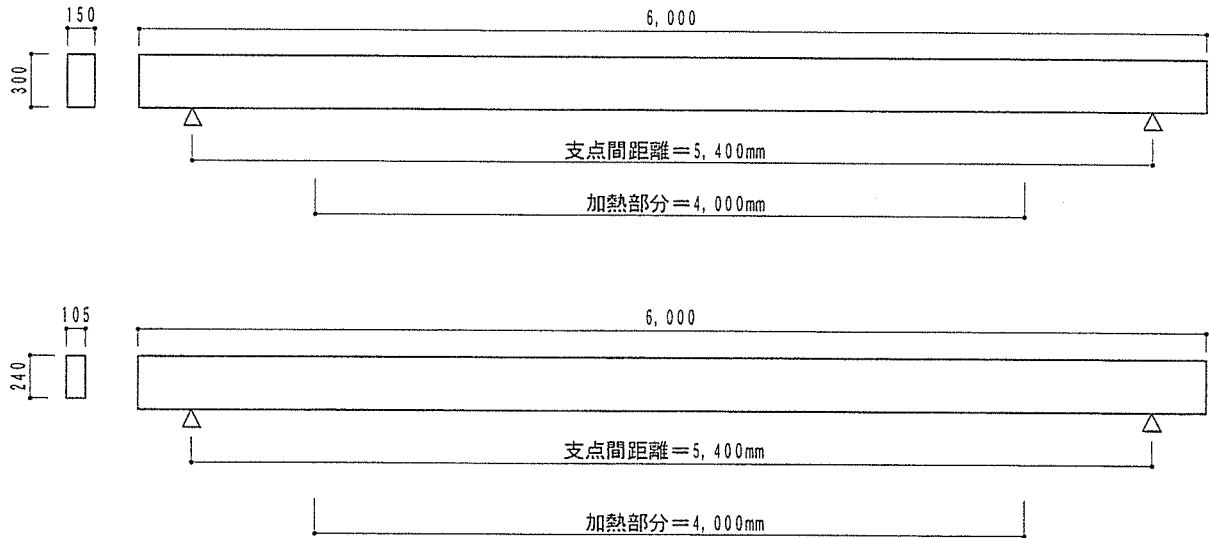


スギ 9層 E65-F225
寸法：10.5X24cm 異等級対称構成



スギ 13層 E65-F255
寸法：15X30cm 同一等級構成

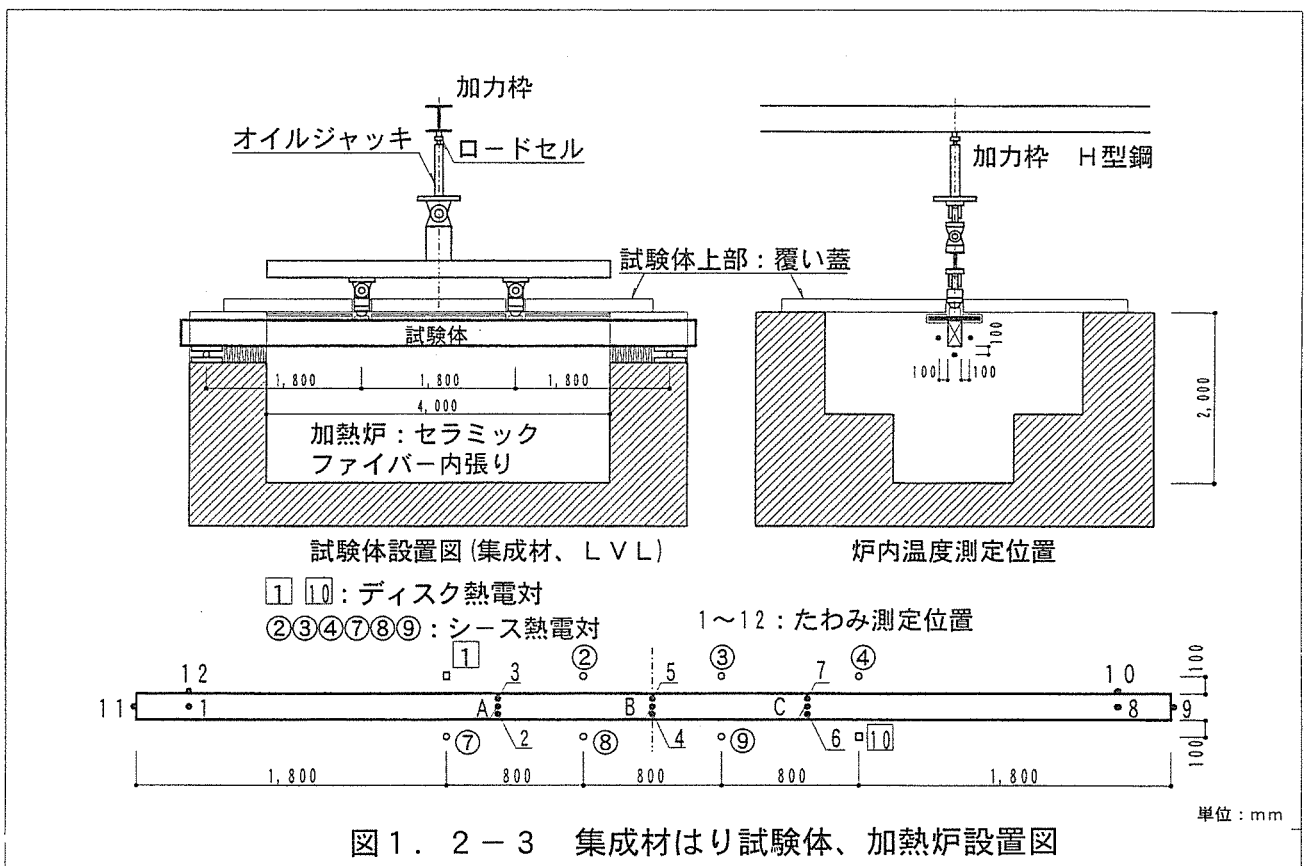
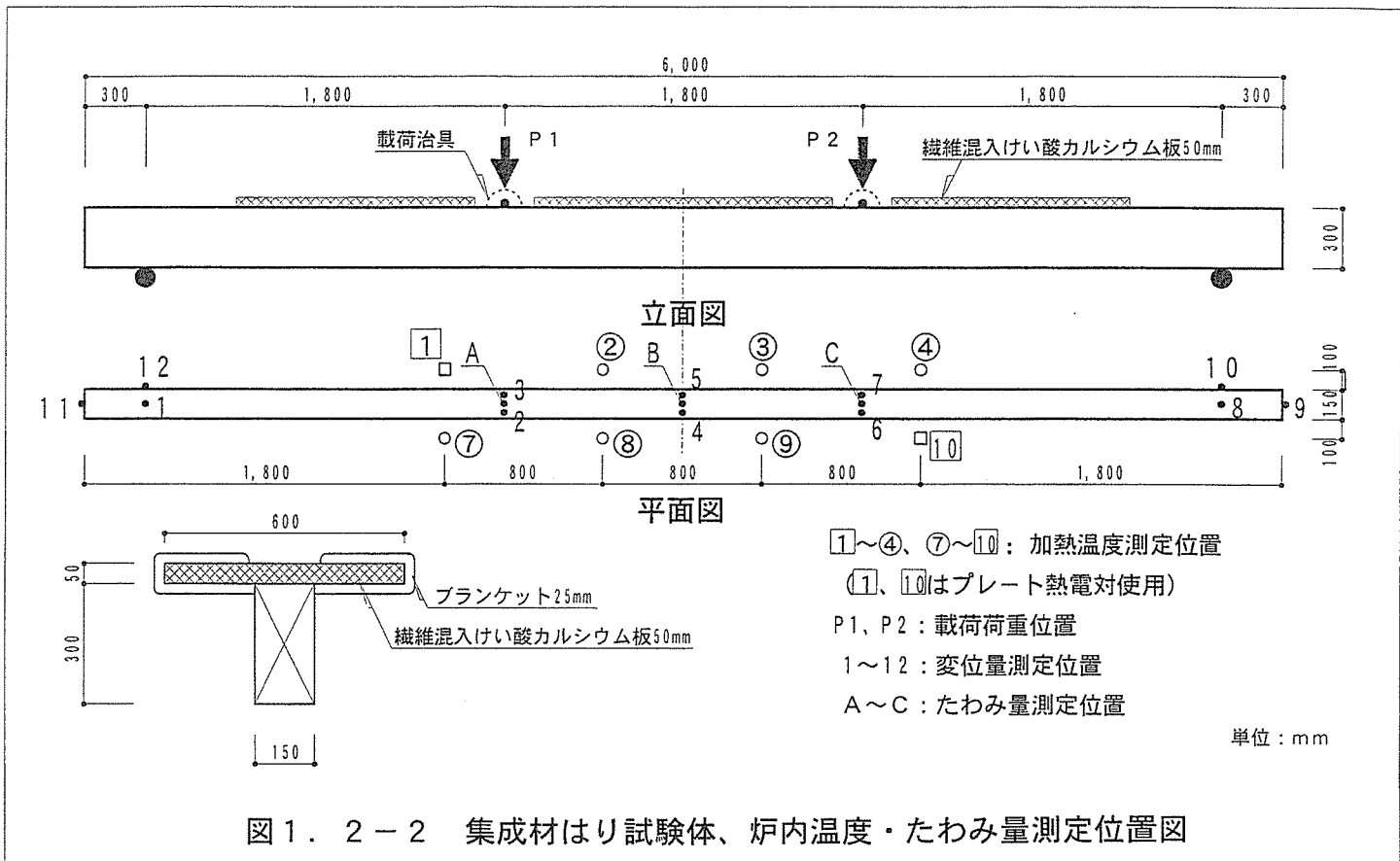
集成材断面詳細図



載荷加熱試験用、集成材試験体姿図

単位：mm

図1. 2-1 集成材はり試験体図



2. 接合部の載荷加熱試験

2.1 目的

構造用LVLを用いた架構の耐火性能を確認するため、柱・はり仕口部の載荷加熱試験を行い、同断面の構造用集成材を用いた試験体との比較を行うこととした。

2.2 試験体

構造用LVL及び構造用集成材の柱とはりをH型（門型）フレームに組み、柱・はり仕口接合部は集成材構造に用いられる代表的なものとして表2-1に示すT型金物と軸ボルト（シアプレート）の2種類を選定した。

表2-1 柱・はり接合部仕様

No.	記号	柱（樹種、寸法等）	はり（樹種、寸法等）	仕口部
1	GJ-1	カラマツ集成材 200×200mm	カラマツ集成材200×320mm	シアプレート
2	GJ-2	カラマツ集成材 200×200mm	カラマツ集成材200×320mm	T型金物
3	LJ-1	カラマツLVL 200×200mm	カラマツLVL 200×320mm	シアプレート
4	LJ-2	カラマツLVL 200×200mm	カラマツLVL 200×320mm	T型金物

カラマツ集成材は、柱・はりともE105-F300の強度等級とし、LVLは特65V-55Hの強度等級のものを用いた。集成材は柱、はりとも異等級対称構成のラミナをレゾルシノール樹脂接着剤を用いて積層し、LVLは厚さ3.2mmの単板をフェノール樹脂接着剤を用いて一次接着してラミナを製造し、厚さ25mmのラミナをレゾルシノール樹脂接着剤で2次接着して製作した。仕様を表2-2に、断面を図2-1に示す。

表2-2 集成材及びLVLの強度等級、積層数等仕様

試験体記号	GJ-1・GJ-2	GJ-1・GJ-2	LJ-1・LJ-2	LJ-1・LJ-2
部位	柱	はり	柱	はり
樹種等	カラマツ集成材		カラマツLVL	
強度等級	E105-F300		特 65V-55H 140E	
寸法(mm)	200×200	200×320	200×200	200×320
積層数	9層	13層	8層	8層
構成	異等級対称構成		同一等級構成	
最外層	L125 1層	L125 1層	厚さ25mmのラミナを8枚積層する	厚さ25mmのラミナを8枚積層する
外層	L110 1層	L110 1層		
中間層	L100 1層	L100 2層		
内層	L80 3層	L80 5層		
中間層	L100 1層	L100 2層		
外層	L110 1層	L110 1層		
最外層	L125 1層	L125 1層		

集成材は斉藤木材工業株式会社ナガト工場で、LVLは株式会社キーテック木更津工場で製作した。

試験体寸法は長さ2,200mm、はり長さ1,800mm、柱下端部は高さ150mmのベース金物で加熱炉底部に固定し、加熱部分ははり上端部までの高さ1,850mmとした。はり上端部及び柱上部は厚さ50mmのけい酸カルシウム板を張った。シアープレート接合の試験体は、図2-2に示すように、はりに50mm角の穴を開けて柱と梁をボルトで締め付け、はり部分はカラマツ材で埋木を行った。柱側のボルトは柱を座掘して埋め込んで留め付け、表面を厚さ15mmの繊維強化せっこうボードで被覆した。T型金物接合の試験体は、図2-3に示すように、柱側を径16mmのボルト4本で留め付け、梁部分は径20mmのドリフトピン（長さ150mm）で留め付け、25mmの深さまで埋木を行った。T型金物を緊結した柱裏側は座掘を行い、表面を厚さ15mmの繊維強化せっこうボードで被覆した。

はり上端部及び下端部からそれぞれ深さ25mmの位置に挿入したT型金物は、下端部分のみ深さ25mmまで埋木を行った。

試験体は図2-4に示すように水平加熱炉（内寸：幅2m、長さ4m、深さ2m、（財）ベターリビング筑波建築試験センター所有の水平炉）に設置し、炉内加熱温度は梁の両側10cm離れた位置で計8点（シース熱電対6点、プレート熱電対2点）測定し、炉内の温度を制御した。試験体の変位量の測定は図2-5及び図2-6に示す位置で、はりのたわみ量、柱上端の変位、柱の傾き量等を測定した。

2.3 試験方法

加熱はISO/834に準拠した標準耐火加熱曲線に沿って载荷しながら加熱試験を行った。はり中央部に接合部の長期せん断耐力に相当する荷重が生じるように载荷した。载荷荷重は、シアープレートについては建築学会基準を参照し、T型金物接合では現行の許容圧縮応力でドリフトピンの許容せん断耐力を求め、1.1倍の値を試験荷重とした。（表2-3、表2-4参照）

シアープレート接合部試験体では、梁中央部に集成材が約3.2(31.4kN)、LVLが約4.7トン(約46.1kN)、T型金物接合部試験体では、梁中央部に集成材が約4トン(約39.2kN)トン、LVLが約4.7トン(約46.1kN)を载荷した。

シェアプレート接合の試験荷重計算を表2-3に、T型金物接合の試験荷重計算を表2-4に示す。

表2-3 柱・はり試験体載荷荷重

記号	集成材-シェアプレート		LVL-シェアプレート	
	カラマツ梁	カラマツ柱	カラマツ梁	カラマツ柱
強度等級	E105-F300	E105-F300	140E 65V-55H	140E 65V-55H
接合形式	シェアプレート1面 せん断	シェアプレート1面 せん断	シェアプレート1面 せん断	シェアプレート1面 せん断
接合具	シェアプレート	シェアプレート	シェアプレート	シェアプレート
径(mm)	67	67	67	67
長期耐力/本	720.0Kg	1030.0Kg	720.0Kg	1030.0Kg
本数	2	2	2	2
長期耐力	1440.0Kg	2060.0Kg	2146.8Kg	4047.6Kg
長期耐力(決定)	1440.0Kg		2146.8Kg	
試験荷重(x1.1)	1584.0Kg		2361.5Kg	
載荷荷重	3168.0Kg		4723.0Kg	

表2-4 柱・はり試験体載荷荷重 (T型金物接合)

記号	集成材-T型金物		LVL-T型金物	
	カラマツ梁	カラマツ柱	カラマツ梁	カラマツ柱
強度等級	E105-F300	E105-F300	140E 65V-55H	140E 65V-55H
接合形式	鋼板挿入	鋼板添板 1面せん断	鋼板挿入	鋼板添板 1面せん断
接合具	ドリフトピン	中ボルト	ドリフトピン	中ボルト
径(mm)	20	20	20	20
長期耐力/本	605.0Kg	876.4Kg	715.6Kg	1011.9Kg
本数	3	4	3	4
長期耐力	1815.0Kg	3505.6Kg	2146.8Kg	4047.6Kg
長期耐力(決定)	1815.0Kg		2146.8Kg	
試験荷重(x1.1)	1996.5Kg		2361.5Kg	
載荷荷重	3993.0Kg		4723.0Kg	

加熱は、ISO/834に規定する下記の式に示す標準耐火加熱曲線に沿って試験体が破壊するまで継続した。

$$T = 345 \log(8t + 1) + 20$$

Tは炉内平均温度(°C)、tは試験の経過時間(分)を示す。

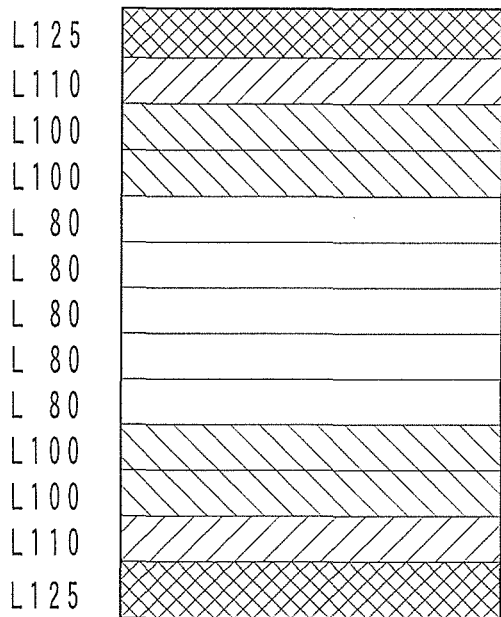
耐火性能の評価は、最大たわみ量、最大たわみ速度が表 2-5 に示す基準値を超えた時間または試験体が破壊して加熱を終了した時間とした。

- ・最大たわみ量 $\leq L^2 / 400 d$ (mm)
 - ・最大たわみ速度 $\leq L^2 / 9000 d$ (mm/分)
- L = 試験体のスパン、d = 試験体はりせい

表 2-5 最大たわみ、最大たわみ速度の基準値

	接 合 部	
はり寸法 (mm)	200×320	断面寸法
d (mm)	320	はりせい
L (mm)	1,800	はりスパン
δ ($=L^2 / 400 d$)	25.3	たわみ量
V ($L^2 / 9000 d$)	1.1	たわみ速度

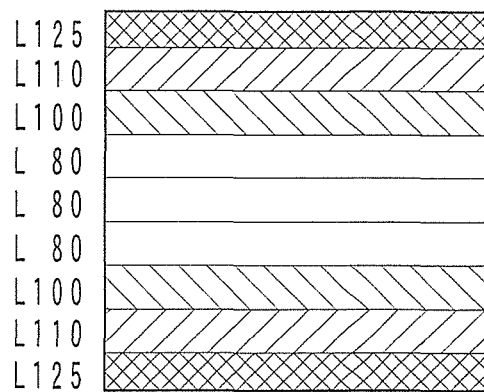
よって、評価基準は柱・はり接合部の最大たわみ量は25.3mm、最大たわみ速度は1.1mm/分となる。



カラマツ集成材 寸法：200×320mm

E105-F300 異等級対称構成 13層

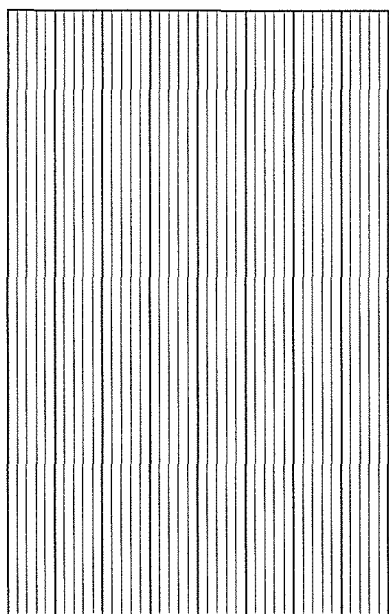
梁部材



カラマツ集成材 寸法：200×200mm

E105-F300 異等級対称構成 9層

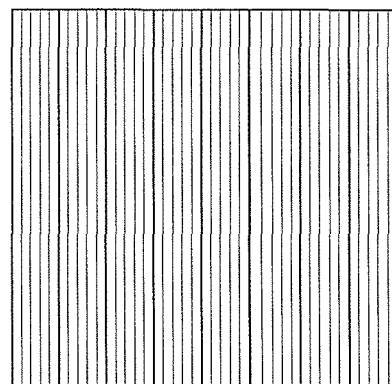
柱部材



カラマツLVL 特 65V-55H 140E

寸法：200×320mm 25mmラミナ8層

梁部材



カラマツLVL 特 65V-55H 140E

寸法：200×200mm 25mmラミナ8層

柱部材

図 2 - 1 柱・梁接合部試験体、断面構成図

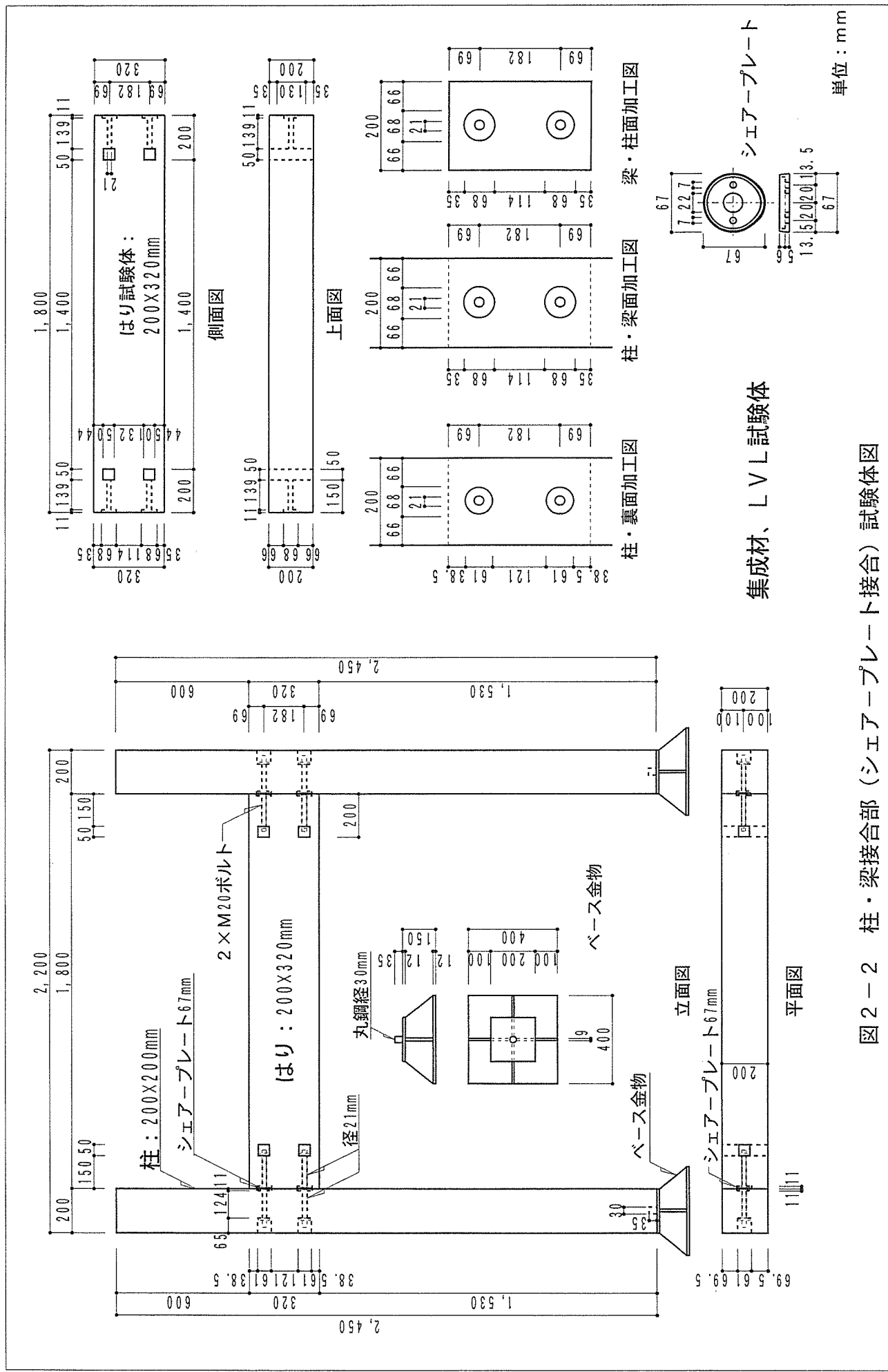
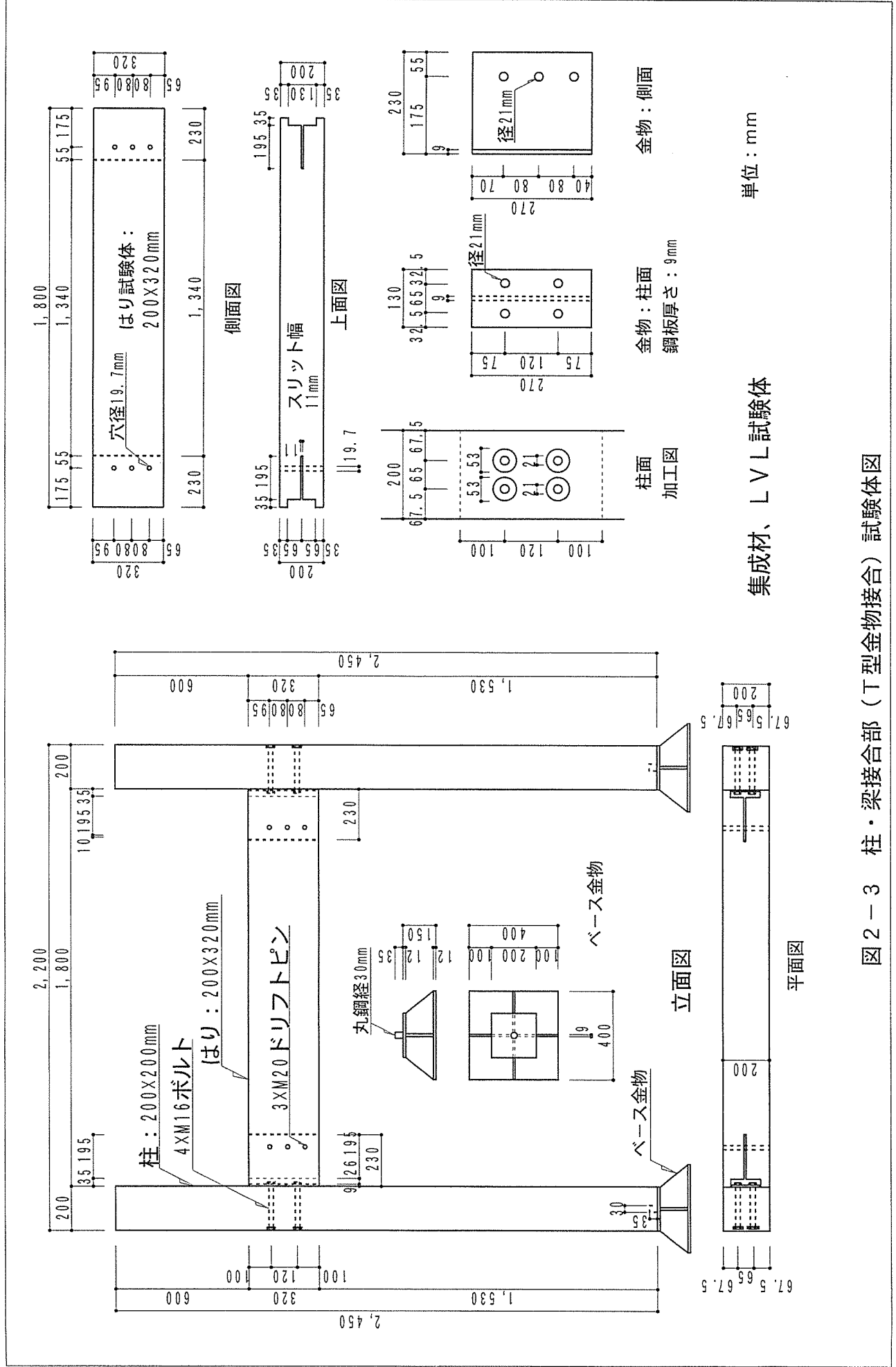


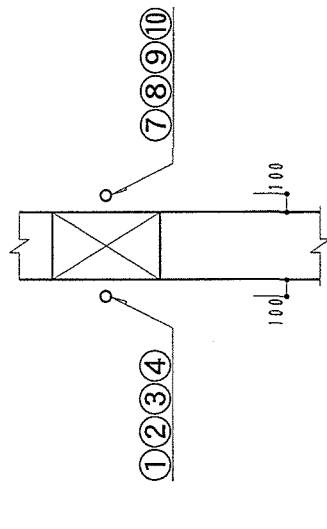
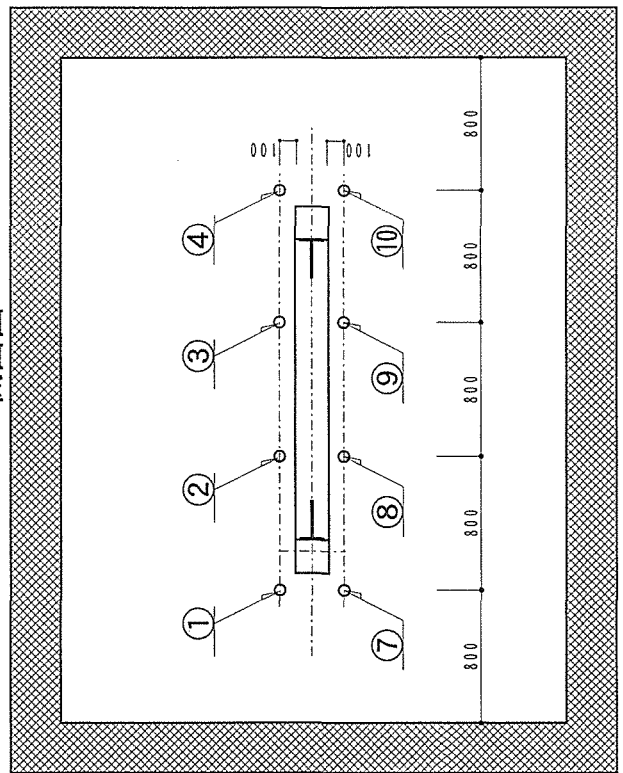
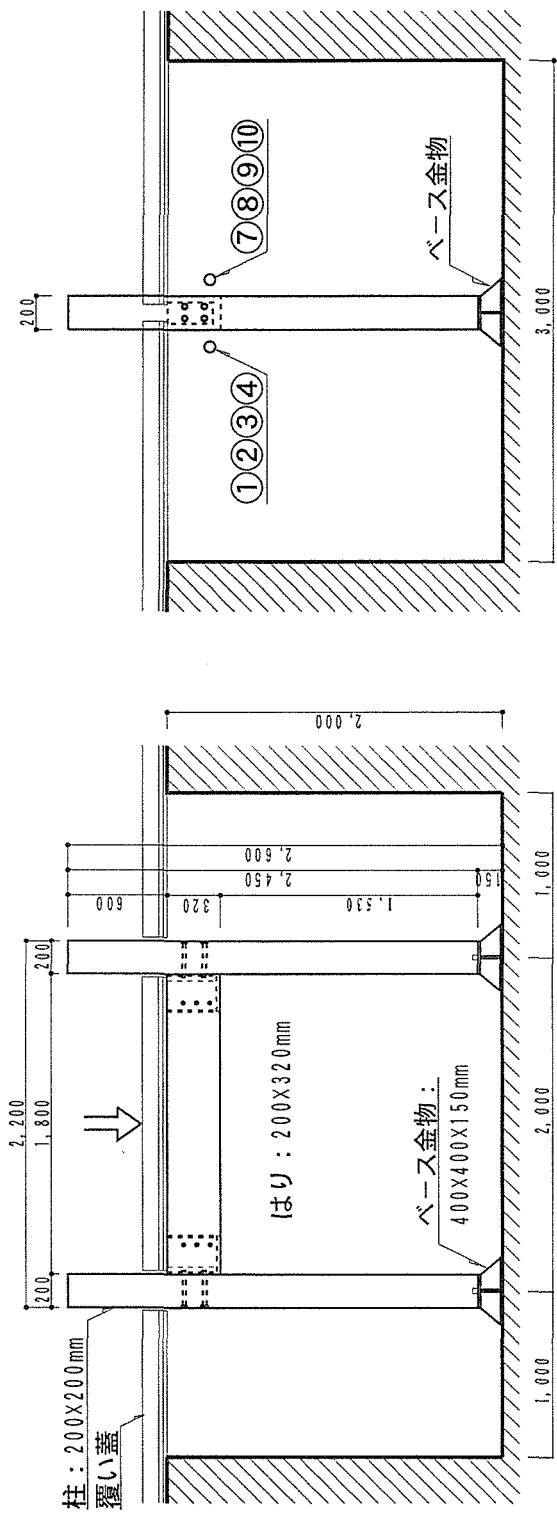
図 2-2 柱・梁接合部 (シエアープレート接合) 試験体図



単位：mm

集成材、LVL試験体

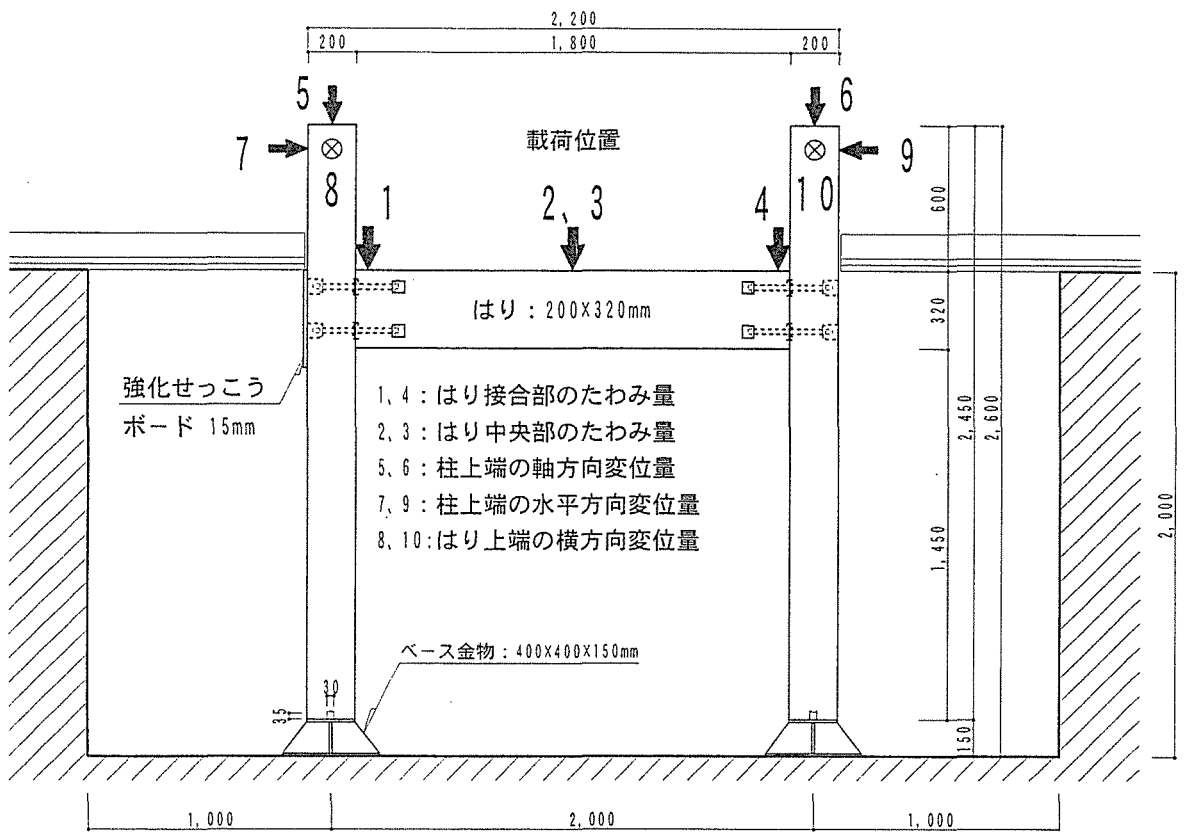
図 2-3 柱・梁接合部（T型金物接合）試験体図



①～④、⑦～⑩：加熱温度測定位置

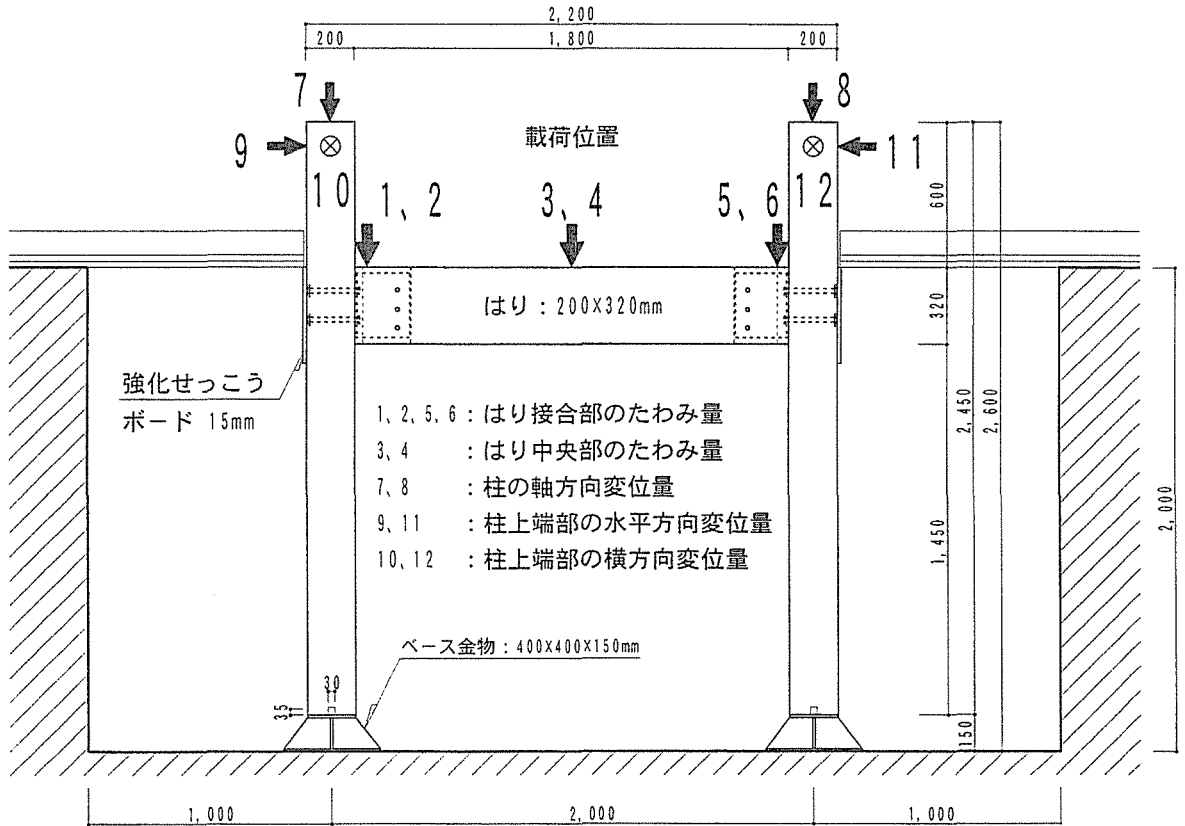
単位：mm

図 2-4 接合部試験体設置図、加熱温度測定位置図



単位：mm

図 2 - 5 シアープレート接合部、たわみ・変形量測定位置図



単位：mm

図 2 - 6 T型金物接合部、たわみ・変形量測定位置図

3. 試験結果

3. 1 梁の載荷加熱試験

構造用集成材はり試験体の載荷加熱試験結果の概要は以下のようであった。

- 1) 試験体記号B-1 (カラマツ、異等級対称構成、E105-F300、断面寸法：150×300mm) では、加熱開始直後から徐々に変位量が増加し、梁中央部は40分過ぎに50mmを超えた後45分過ぎから急激にたわみ量が増加して46分に変位速度が基準値 (10.8mm/分) を超えて梁中央部の破壊が認められたので46分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.1-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.1-2に示す。
- 2) 試験体記号B-2 (カラマツ、異等級対称構成、E105-F300、断面寸法：105×240mm) では、加熱開始後から徐々に変位量が増加し、梁中央部は30分過ぎに50mmを超え、40分過ぎに100mmに達し、46分に変位速度が基準値 (13.5mm/分) を超えて梁中央部が破壊し始めたので46分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.2-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.2-2に示す。
- 3) 試験体記号B-3 (スギ、異等級対称構成、E65-F225、断面寸法：150×300mm) では、加熱開始後から徐々に増加し始め、35分過ぎにたわみ量が50mmを超え、60分頃に150mmを超えた後61.5分に変位速度が基準値 (10.8mm/分) を超え、その後破壊が生じたため67.5分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.3-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.3-2に示す。
- 4) 試験体記号B-4 (スギ、異等級対称構成、E65-F225、断面寸法：105×240mm) では、加熱開始後から徐々に梁のたわみ量が増加し始め、24分頃に50mmを超え、30分を過ぎた頃からたわみ量が増加し始め32分に変位速度が基準値 (13.5mm/分) を超えて梁の破壊が生じたので32.5分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.4-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.4-2に示す。
- 5) 試験体記号B-5 (カラマツ、同一等級構成、E105-F345、断面寸法：150×300mm) では、加熱開始後から徐々に増加し始め、たわみ量が50mmに達した後に急激に増加して39.5分に変位速度が基準値 (10.8mm/分) を超えて破壊が生じたため、40分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.5-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.5-2に示す。
- 6) 試験体記号B-6 (スギ、同一等級構成、E65-F255、断面寸法：150×300mm) では、加熱開始後から徐々に増加し始め、たわみ量が35分頃に50mmを超え、その後たわみ量の増加傾向が大きくなり、46分過ぎから急激に上昇して47.5分に変位速度が基準値 (10.8mm/分) を超えて破壊が生じたため、47.5分に加熱を終了した。変位量の推移を図3.1.6-1に、載荷荷重と梁たわみ量の推移を図3.1.6-2に示す。

変位量 (mm)

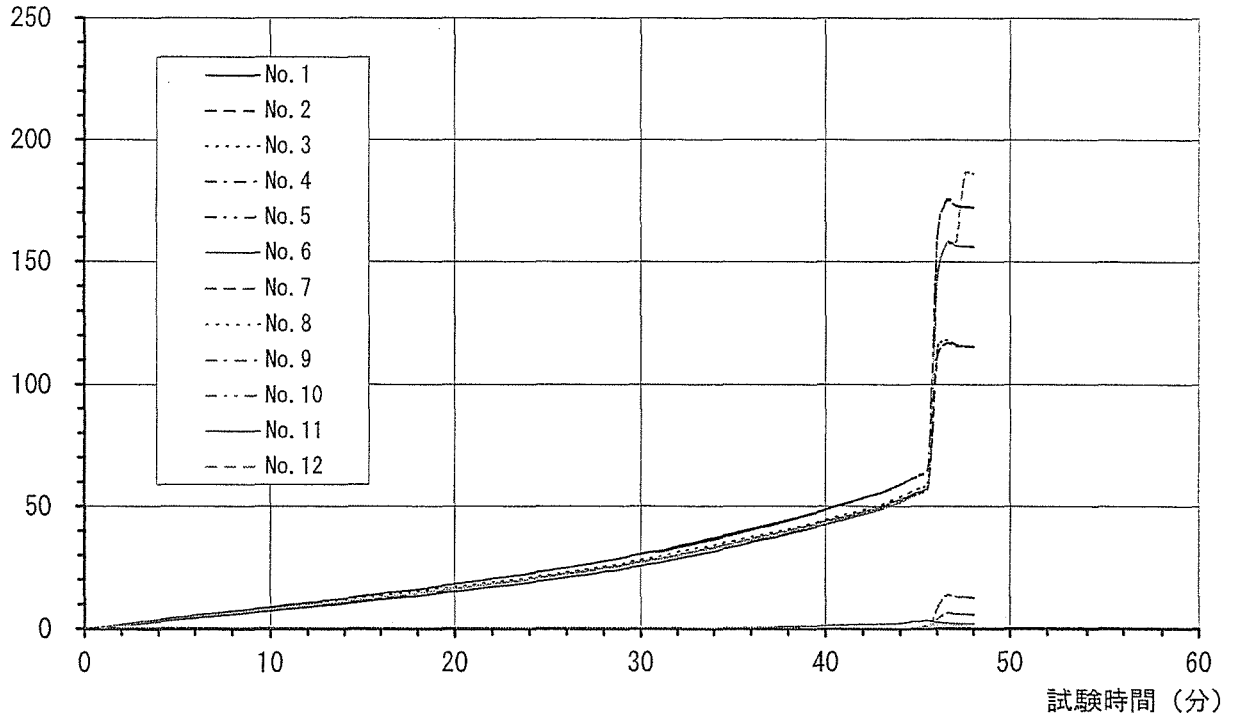


図3. 1. 1-1 はりB-1(カマツ、異等級、150×300mm)、たわみ量の推移

変位量 (mm)

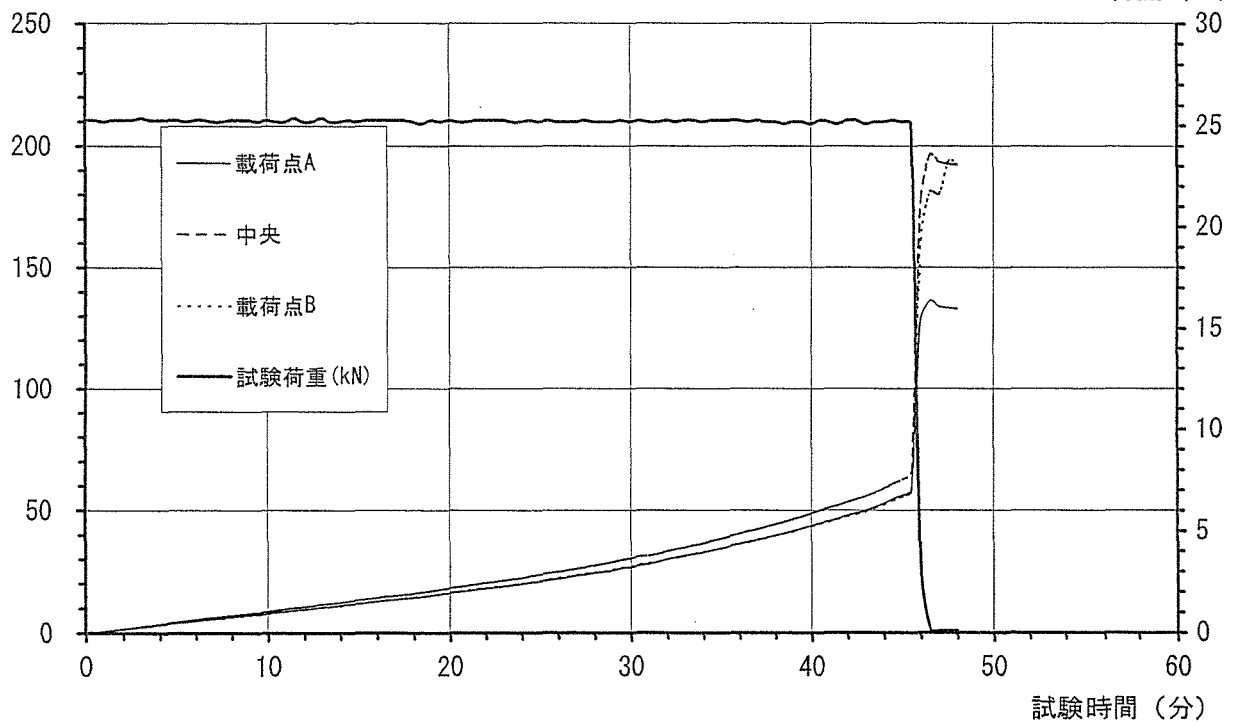


図3. 1. 1-2 はりB-1(カマツ、異等級、150×300mm)、載荷荷重とはり中央変位量

変位量 (mm)

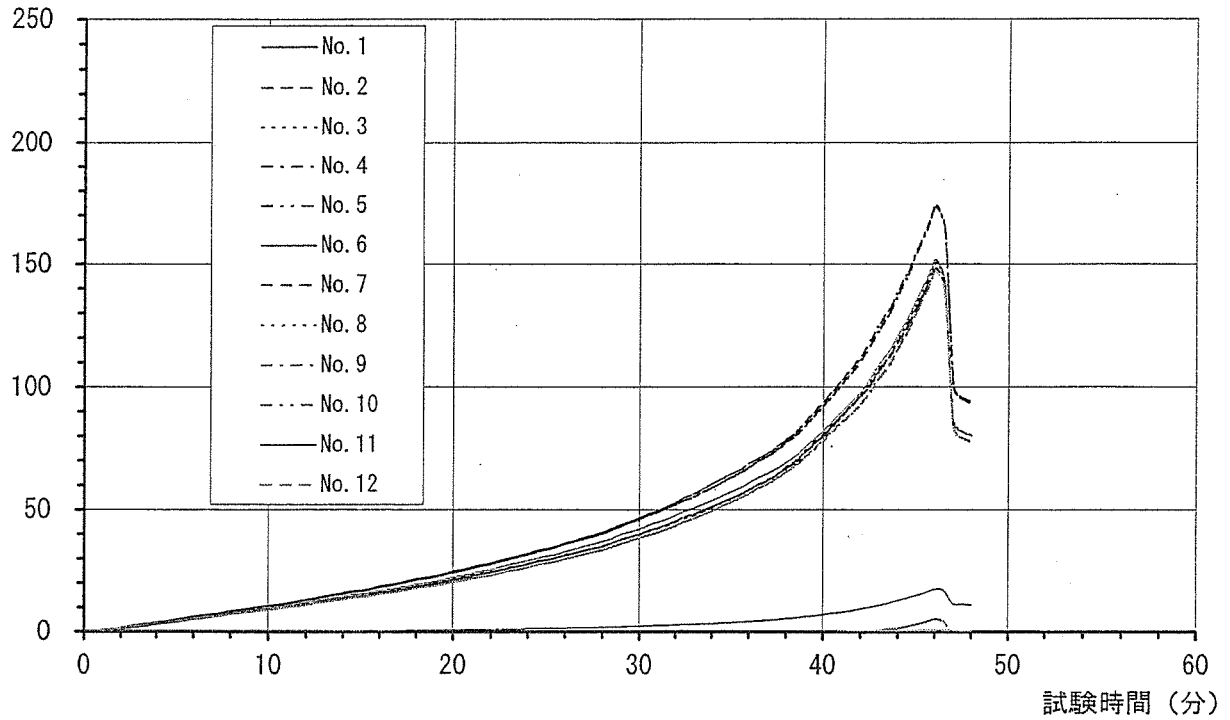


図3. 1. 2-1 はりB-2(カラム、異等級、105×240mm)、たわみ量の推移

変位量 (mm)

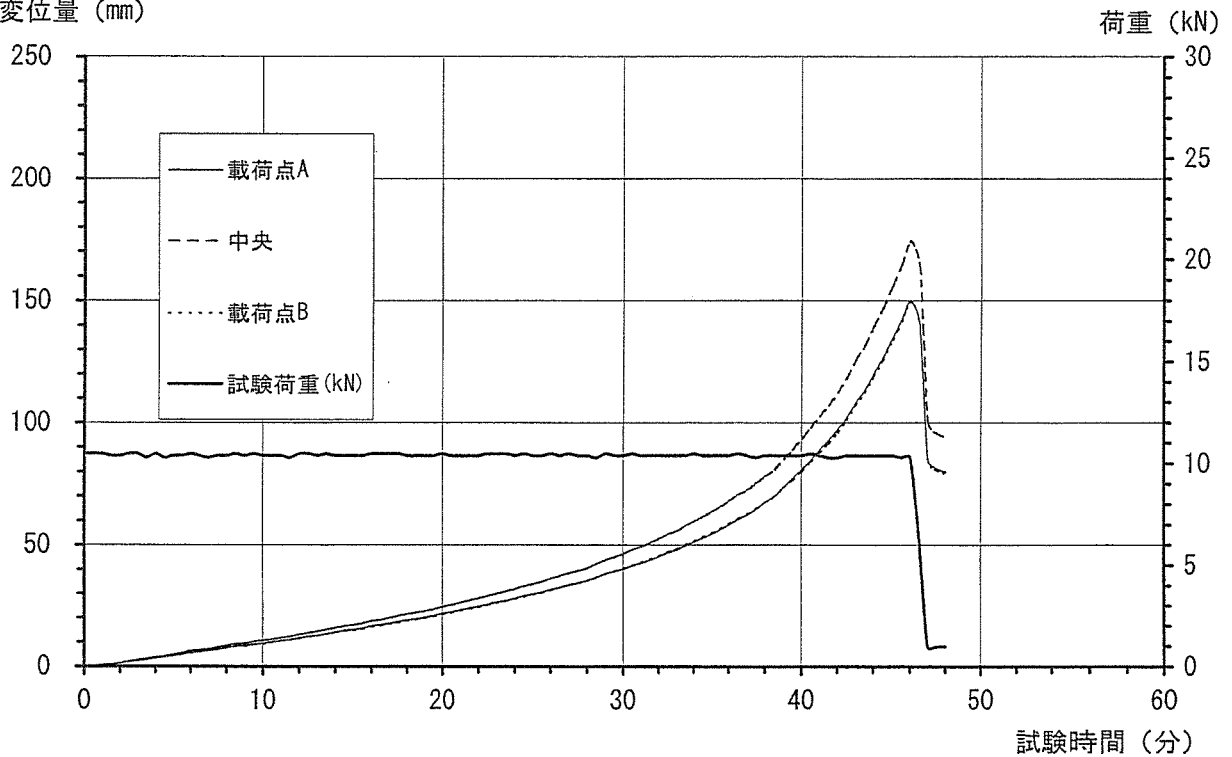


図3. 1. 2-2 はりB-2(カラム、異等級、105×240mm)、載荷荷重とはり中央変位量

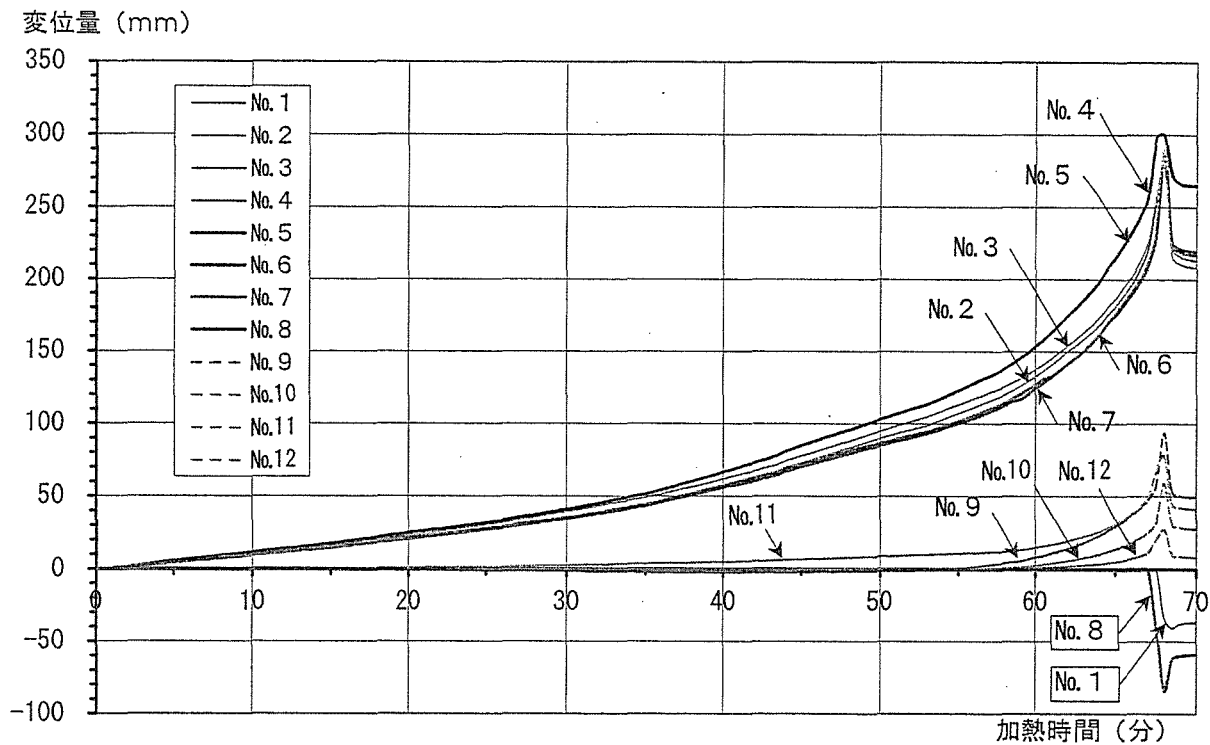


図3.1.3-1 はりB-3(スギ、異等級、150×300mm)、たわみ量の推移

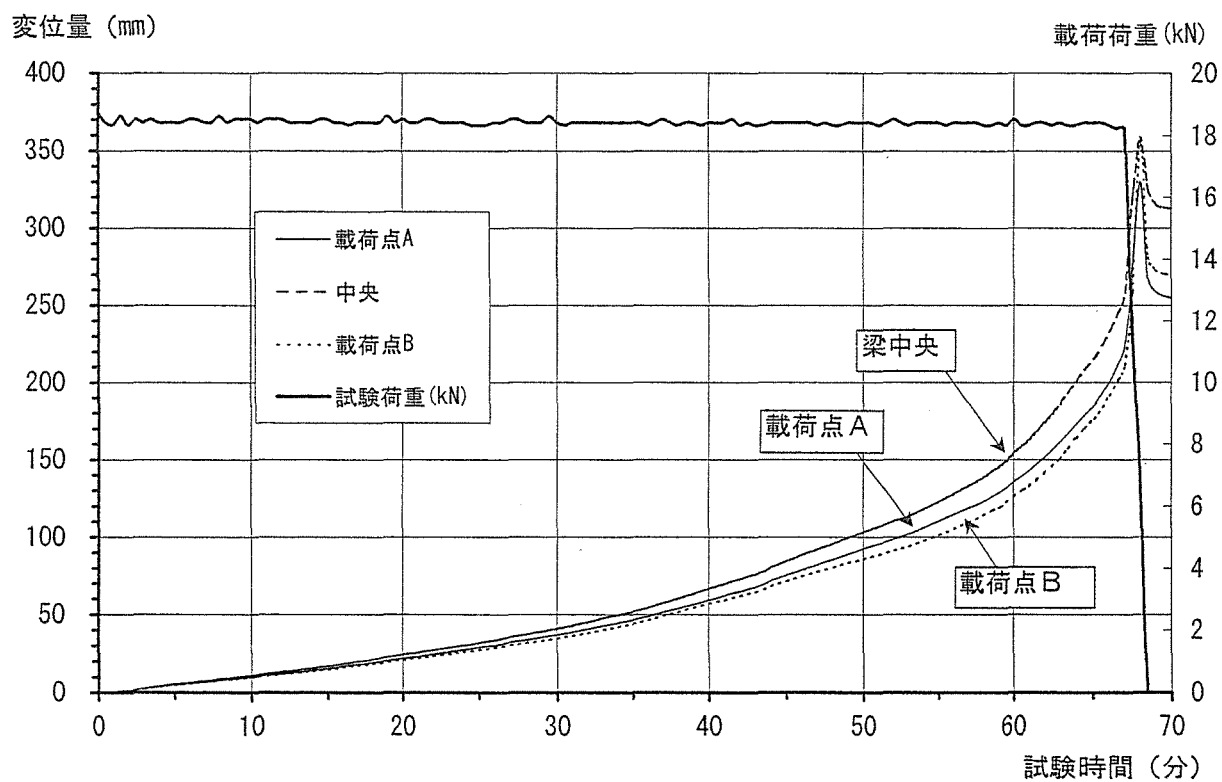


図3.1.3-2 はりB-3(スギ、異等級、150×300mm)、載荷荷重とはり中央変位量

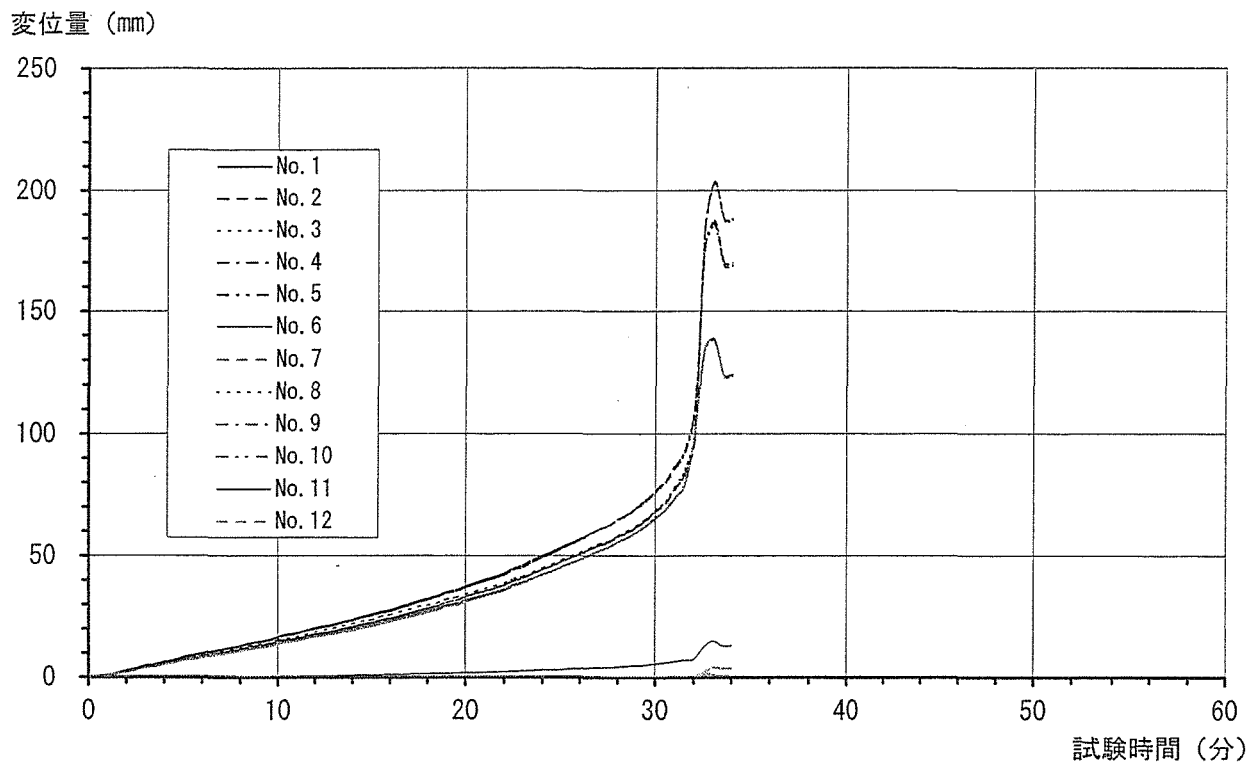


図3. 1. 4-1 はりB-4(スギ、異等級、105×240mm)、たわみ量の推移

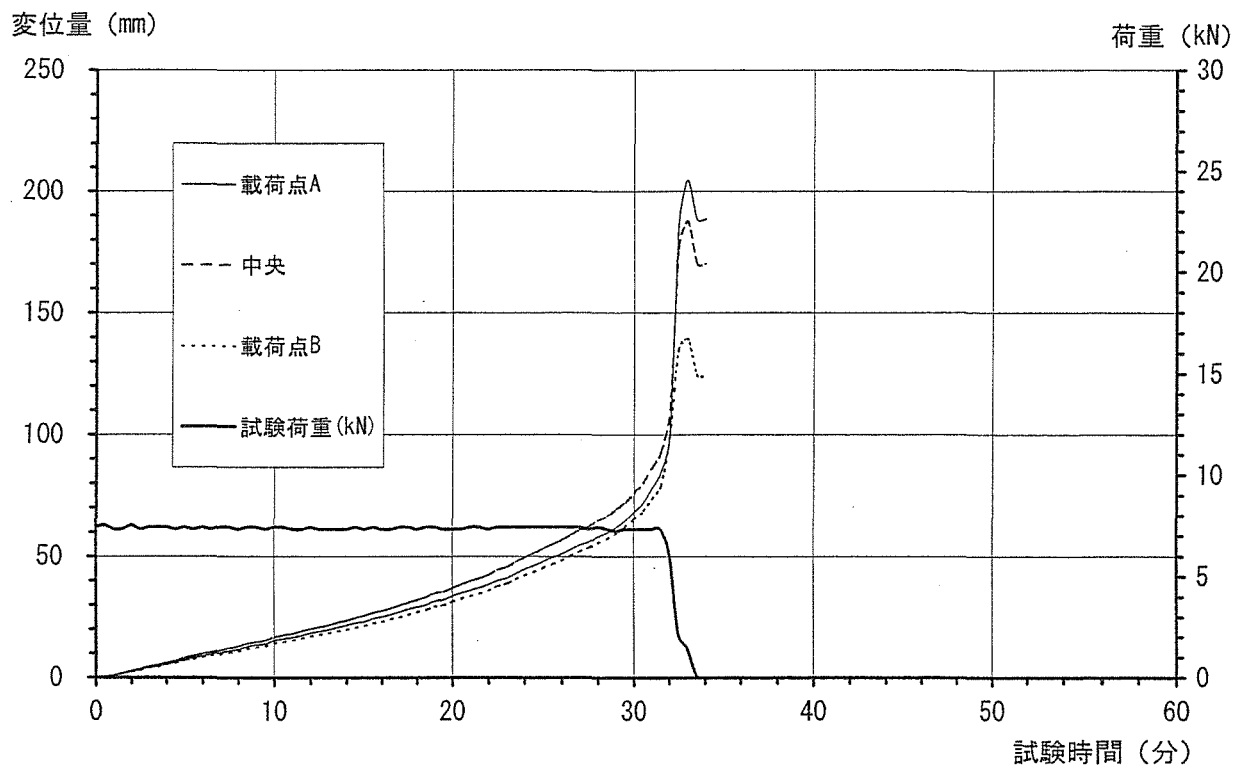


図3. 1. 4-2 はりB-4(スギ、異等級、105×240mm)、載荷荷重とはり中央変位置量

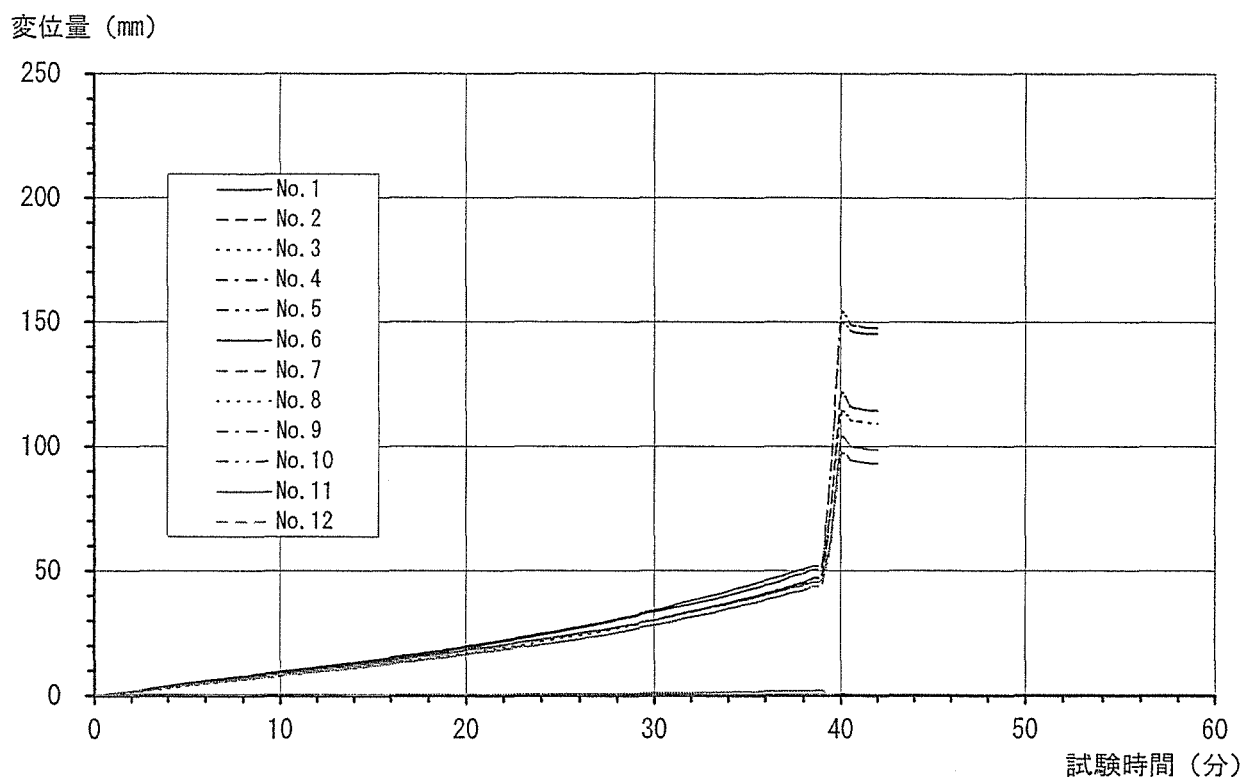


図3. 1. 5-1 はりB-5(カマツ、同一等級、150×300mm)、たわみ量の推移

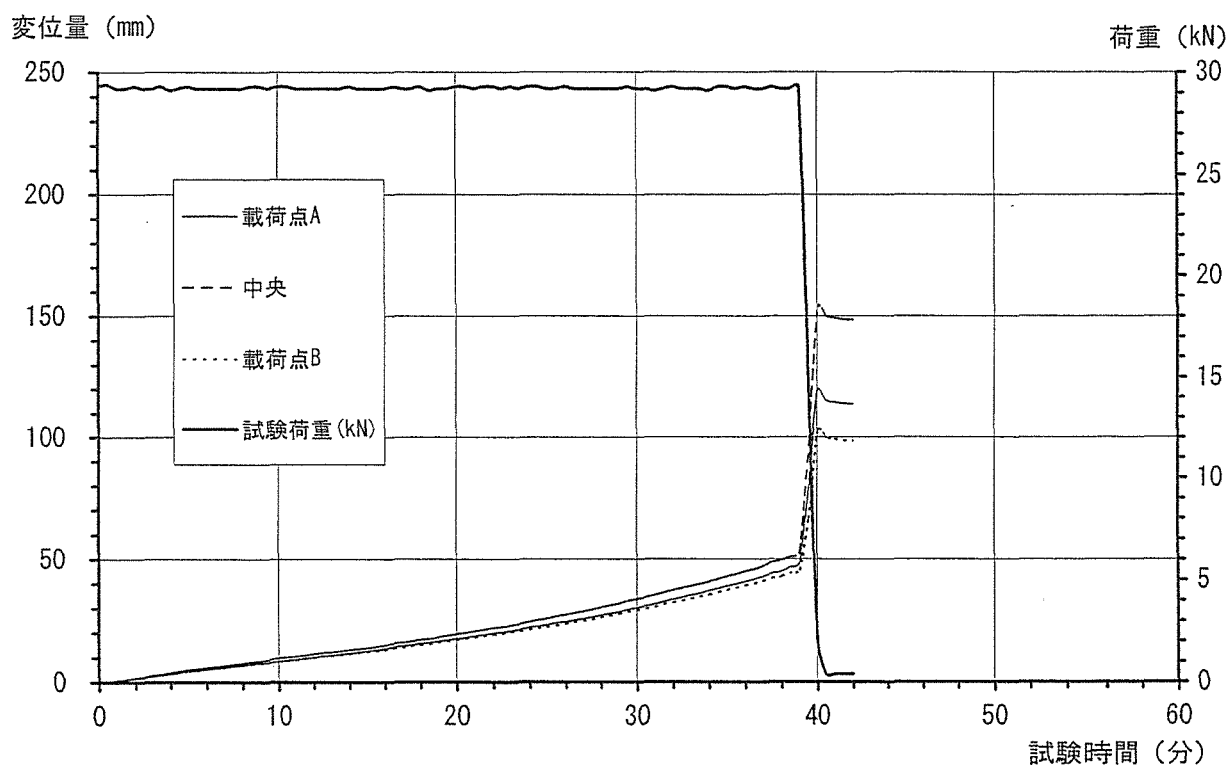


図3. 1. 5-2 はりB-5(カマツ、同一等級、150×300mm)、載荷荷重とはり中央変位量

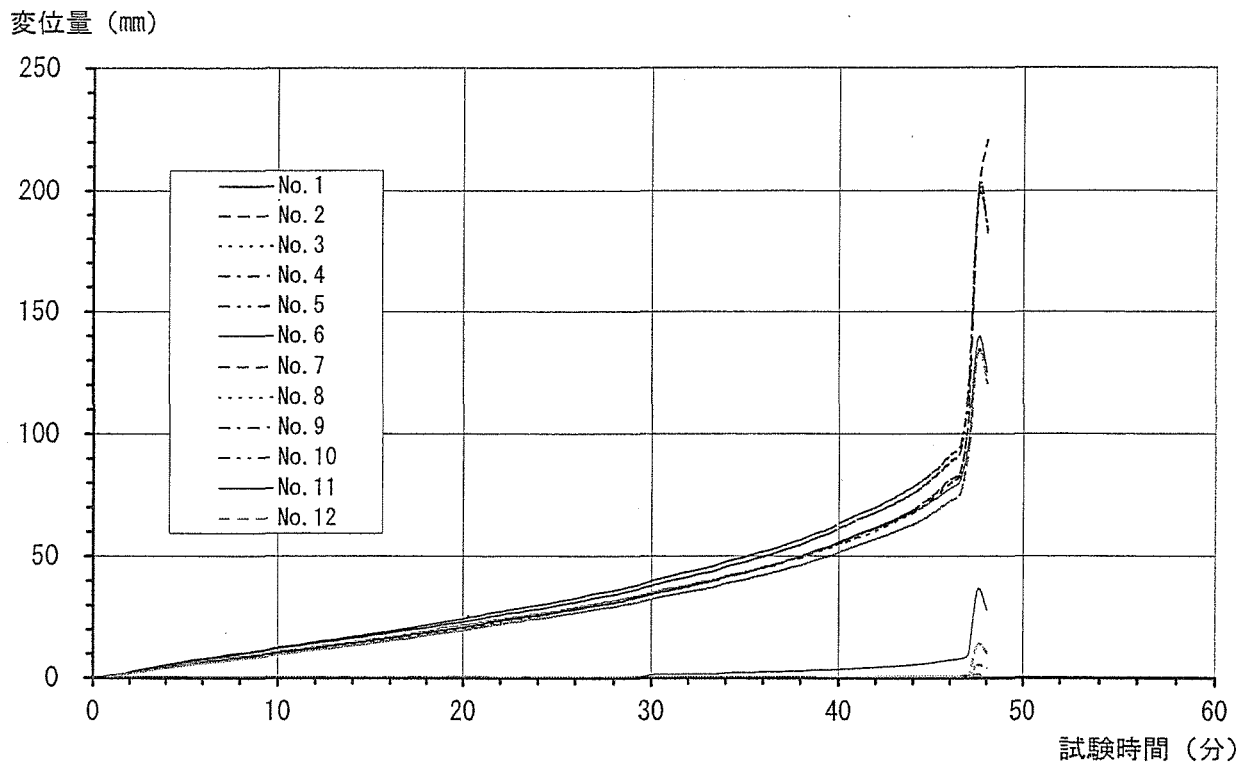


図3. 1. 6-1 はりB-6(スギ、同一等級、150×300mm)、たわみ量の推移

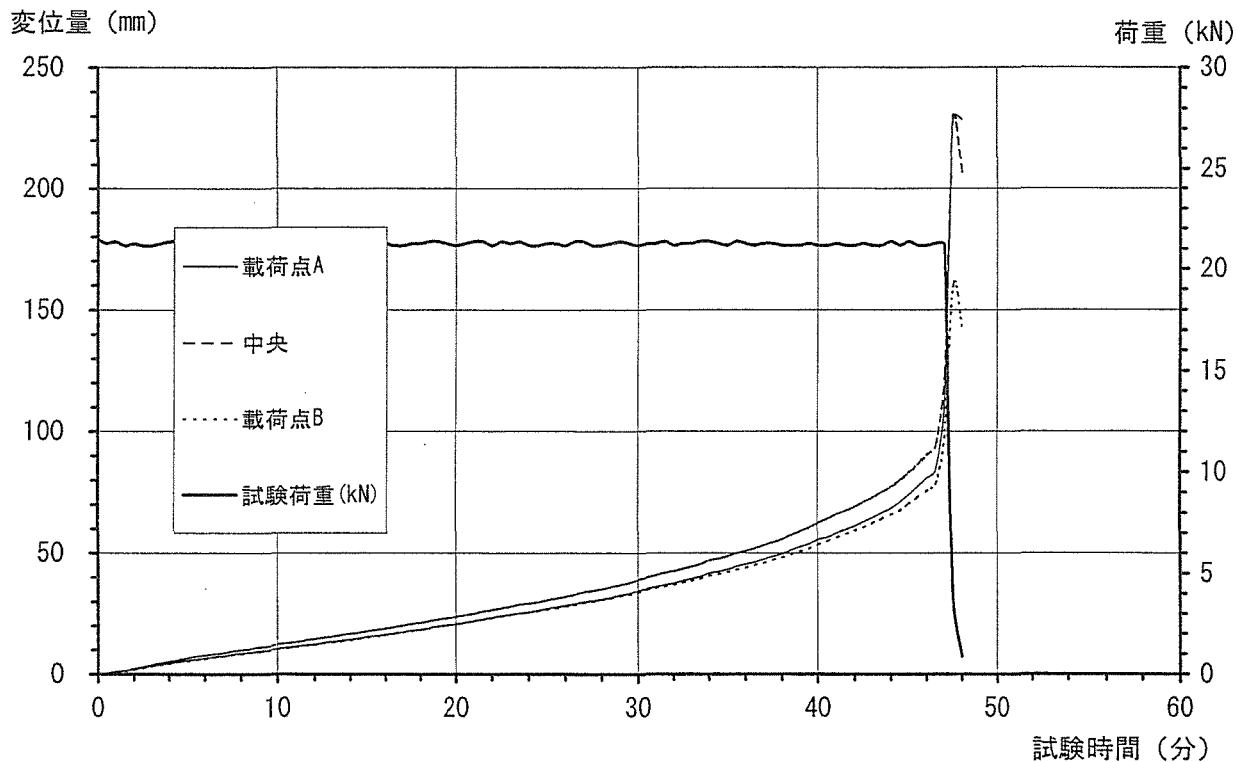


図3. 1. 6-2 はりB-6(スギ、同一等級、150×300mm)、載荷荷重とはり中央変位量

3. 2 柱・梁接合部の載荷加熱試験

集成材及びLVL接合部の載荷加熱試験結果の概要は以下の通りであった。

- 1) 試験体記号GJ-1 (カラマツ集成材、シアプレート仕口) は、加熱開始後10分頃から梁のたわみが発生し始め、77.5分にたわみ速度が基準値 (1.1mm/分) を超え、接合部の破壊が生じたため80分に加熱を終了した。試験体への載荷荷重と各部の変位量の推移を図3.2-1に示す。
- 2) 試験体記号GJ-2 (カラマツ集成材、T型金物仕口) は、加熱開始後10分頃から徐々に増加し始め、たわみ量が10mmを超えた60分過ぎから増加量が増え始めて柱が捻れて接合部が変形を生じたため83分に加熱試験を終了した。試験体への載荷荷重と各部の変位量の推移を図3.2-2に示す。
- 3) 試験体記号LJ-1 (カラマツLVL、シアプレート仕口) は、加熱開始後20分頃から梁のたわみが発生し始め、80分過ぎにたわみ量が10mmを超えた後増加量が増え、88分にたわみ速度が基準値 (1.1mm/分) を超えて接合部に破壊を生じたため92.5分に加熱を終了した、試験体の載荷荷重と各部の変位量の推移を図3.2-3に示す。
- 4) 試験体記号LJ-2 (カラマツLVL、T型金物仕口) は、加熱開始後10分頃から梁のたわみが発生し始め、70分過ぎ頃にたわみ量10mmを超えた後増加量が増え、90分にたわみ速度が基準値 (1.1mm/分) を超えて、接合部の破壊が認められたので90分に加熱を終了した。試験体の載荷荷重と各部の変位量の推移を図3.2-4に示す。

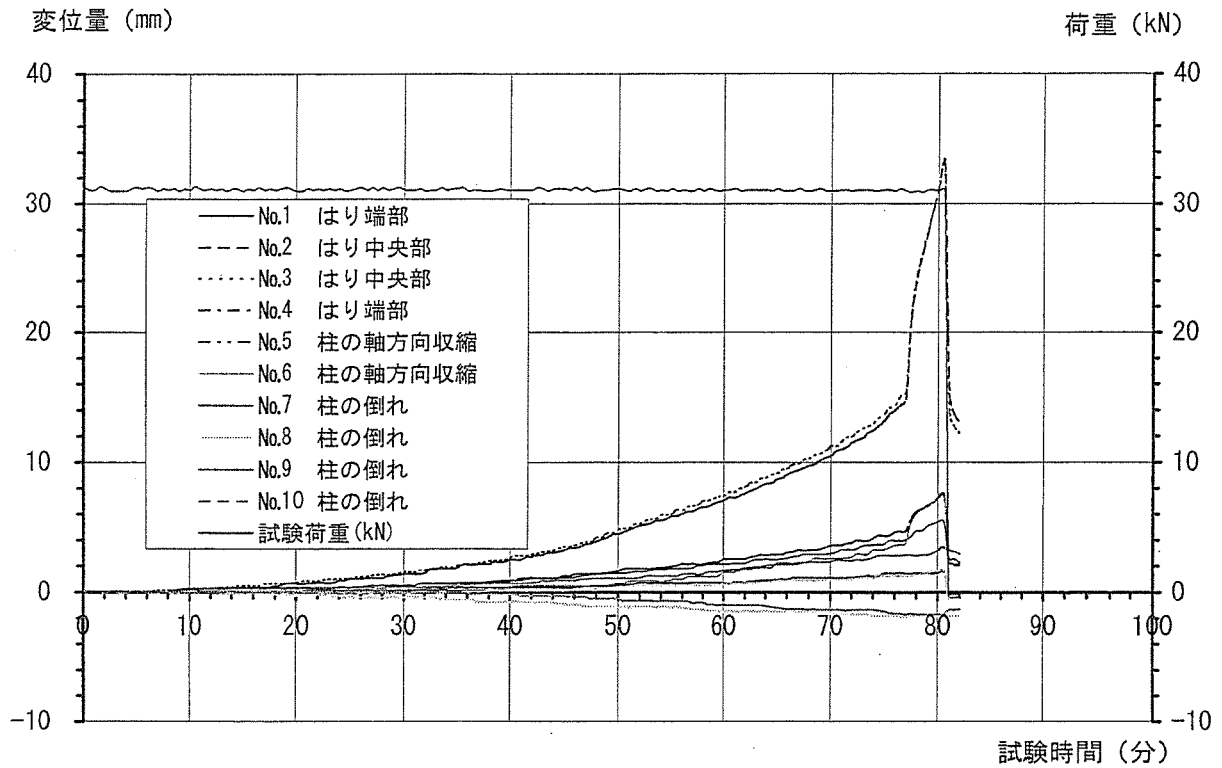


図3.2-1 柱・梁接合部”GJ-1” 載荷荷重と変位量の推移 (シアプレート、ガマツ集成材)

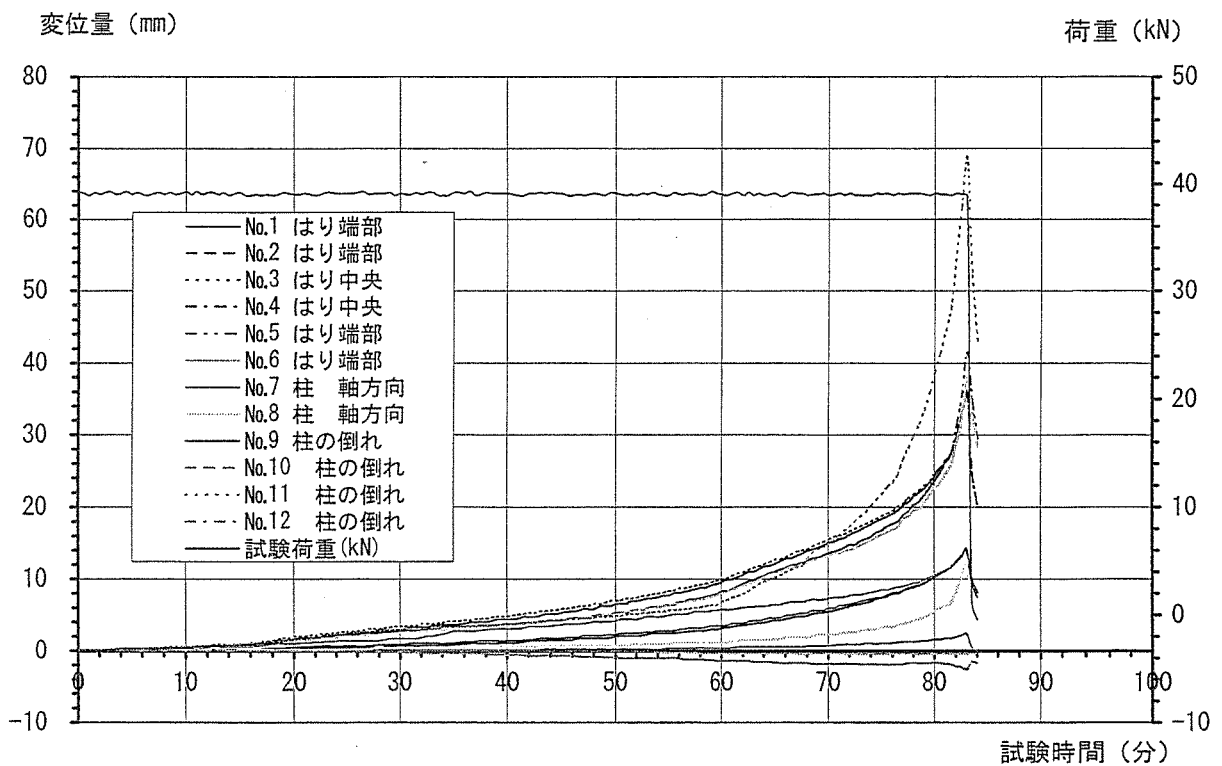


図3.2-2 柱・梁接合部”GJ-2” 載荷荷重と変位量の推移 (T型金物、ガマツ集成材)

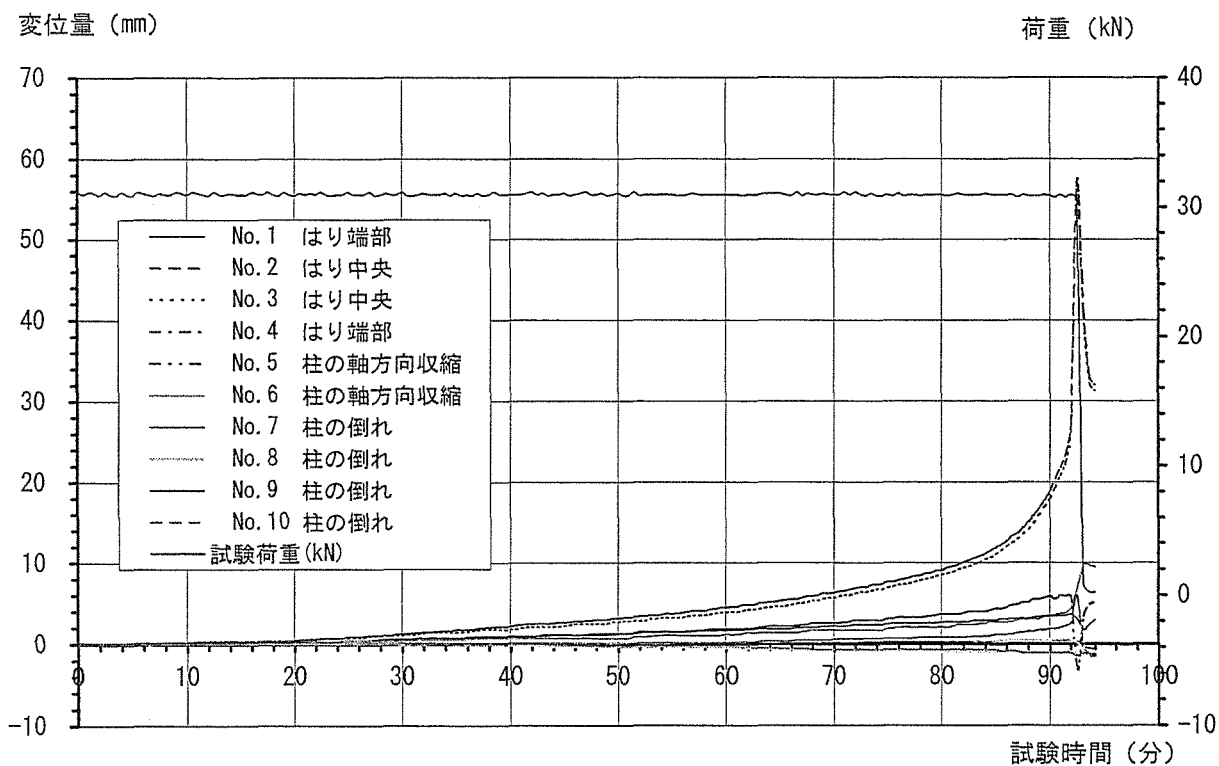


図3.2-3 柱・梁接合部”LJ-1” 載荷荷重と変位量の推移 (シアプレート、ガマツL V L)

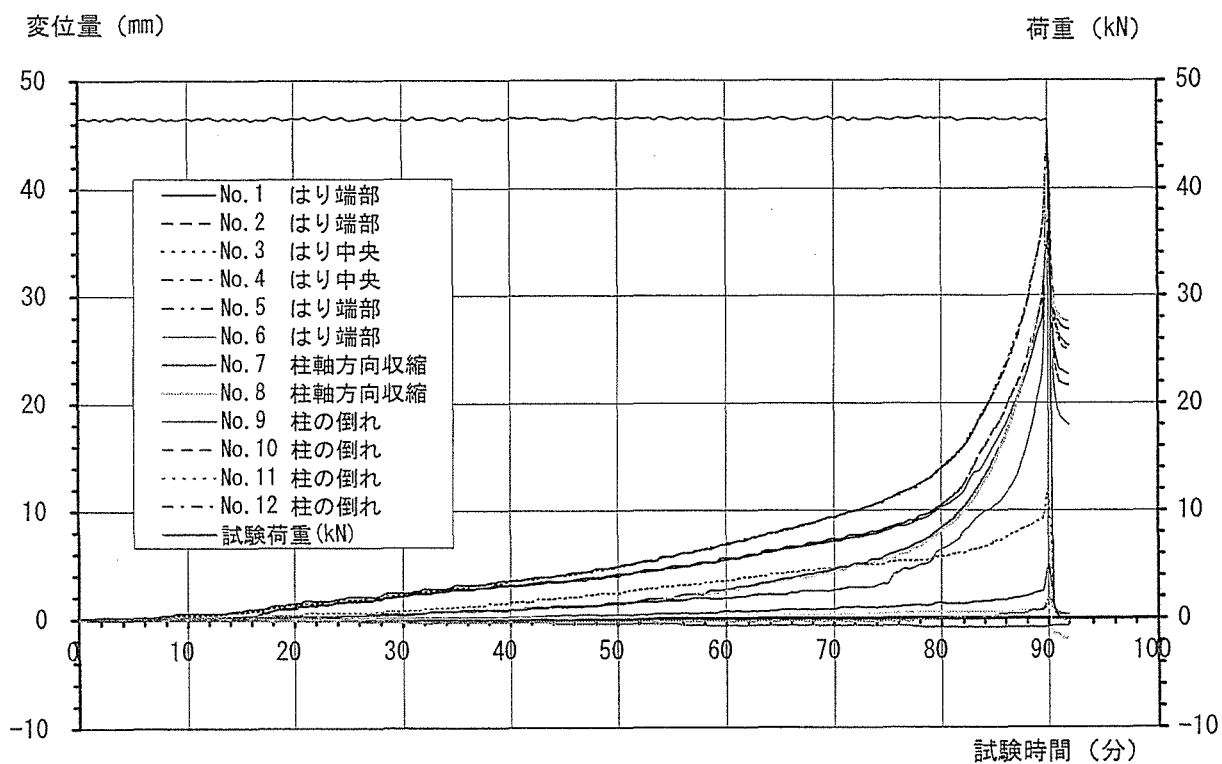


図3.2-4 柱・梁接合部”LJ-2” 載荷荷重と変位量の推移 (T型金物、ガマツL V L)

4. まとめ

4. 1 梁の荷重加熱試験

結果の概要を表4. 1-1に示し、荷重加熱中のはり中央部のたわみ量の変化を図4. 1-1に示す。

試験は、各はり試験体が破壊を生ずるまで荷重加熱を行い、異等級ラミナ構成の中断面（寸法：105×240mm）集成材では、スギが32分に、カラマツが44分にたわみ速度が基準値を超えた。その後、スギが32.5分に、カラマツが46分に曲げ破壊を生じたため試験を終了した。異等級ラミナ構成の大断面（寸法：150×300mm）集成材では、スギが61.5分に、カラマツが46分にたわみ速度が基準値を超えた。同一等級ラミナ構成の集成材（寸法：150×300mm）ではスギが47.5分に、カラマツが39.5分にたわみ速度が基準値を超えた。

異等級対称構成ラミナと同一等級構成ラミナによる比較では、スギ、カラマツとも異等級対称構成の方が耐火時間は長くなることが認められた。

また、実験結果を基に加熱時の炭化速度を0.7mm/分及び0.8mm/分と仮定し、これらの炭化速度から求まる炭化層を各加熱面から除き、各試験体の破壊時の残存断面（矩形断面）を求め、さらに、これらの断面に生じている応力度の短期許容応力度に対する比を求めた。その結果を表4. 1-1及び図4. 1-2～図4. 1-7に示した。実際には、はり下端の隅角部は2方向から加熱されるために、他の部分より炭化が進行して丸くなる。表に示した数値は隅角部の影響を換算していないため、計算上の残存断面は実際より大きいことを想定して計算している。その結果、中断面集成材で、炭化速度を0.70mm/分と仮定したカラマツで1.9、スギで1.18、炭化速度を0.8mm/分と仮定したカラマツで2.6、スギで1.4となり、燃えしろ設計に対し1.0を超えて余裕があることが認められた。異等級対称構成と同一等級構成との比較では、カラマツ、スギともに同一等級の方が比率は低くなった。

今回の実験により、以下のような結果が得られた。

- 1) 異等級構成の中断面集成材のりは、30分の耐火性能を有していた。
- 2) 異等級構成の大断面集成材のりは、45分程度の耐火性能を有していた。
- 3) 同一等級構成の大断面集成材は、スギが45分の耐火性能を有していたが、カラマツは30分の耐火性能であった。
- 4) 大断面に比べ中断面集成材は、たわみ量が大きくなる傾向が認められた。
- 5) 異等級ラミナ構成と同一等級ラミナ構成では、後者の耐火性能が低くなる傾向を示し、異等級構成では45分の準耐火性能を有していたが、カラマツ同一等級では45分の性能に達しなかった。
- 6) 今回試験を実施した寸法（105×240mm）の中断面集成材においても燃えしろ設計が可能であることが認められた。

表4.1-1 はり載荷加熱試験結果概要

試験体記号	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
樹種	カラマツ	カラマツ	スギ	スギ	カラマツ	スギ
強度等級	E105-F300	E105-F300	E65-F225	E65-F225	E105-F345	E65-F255
寸法(mm)	150×300	105×240	150×300	105×240	150×300	150×300
積層数	13層	10層	11層	9層	13層	11層
構成	異等級対称	異等級対称	異等級対称	異等級対称	同一等級	同一等級
材料強度(Kg/cm ²)	300	300	225	225	345	255
長期許容応力度(Kg/cm ²)	110	110	85.5	82.5	126.5	93.5
試験荷重(Kg)	2750	1232	2062.5	924	3162.5	2337.5
載荷荷重(kN)	25.2	10.5	18.7	7.5	29.4	21.5
加熱時間(分)	46.0	46.0	67.5	32.5	40.0	47.5
最大変位(mm)	177.7	173	244.1	176.4	153.6	223
変位速度が基準値を超えた時間	46.0分	46.0分	61.5分	32.0分	39.5分	47.5分
炭化速度0.7mm/分 断面係数(cm ³)	1023	292	591	468	1159	990
曲げ破壊強度(Kg/m ²)	241.9	379.5	314.1	177.7	245.6	212.4
対短期許容応力度比	1.21	1.9	2.09	1.18	1.07	1.25
炭化速度0.8mm/分 断面係数(cm ³)	882	216	424	405	1029	847
曲げ破壊強度(Kg/m ²)	280.6	513.1	438.2	205.6	276.5	248.5
対短期許容応力度比	1.40	2.57	2.92	1.37	1.20	1.46

たわみ量基準値 : 303.8mm(105×240mm) : 243.0mm(150×300mm)
 たわみ速度基準値 : 13.5mm/分(105×240mm) : 10.8mm/分(150×300mm)

たわみ量 (mm)

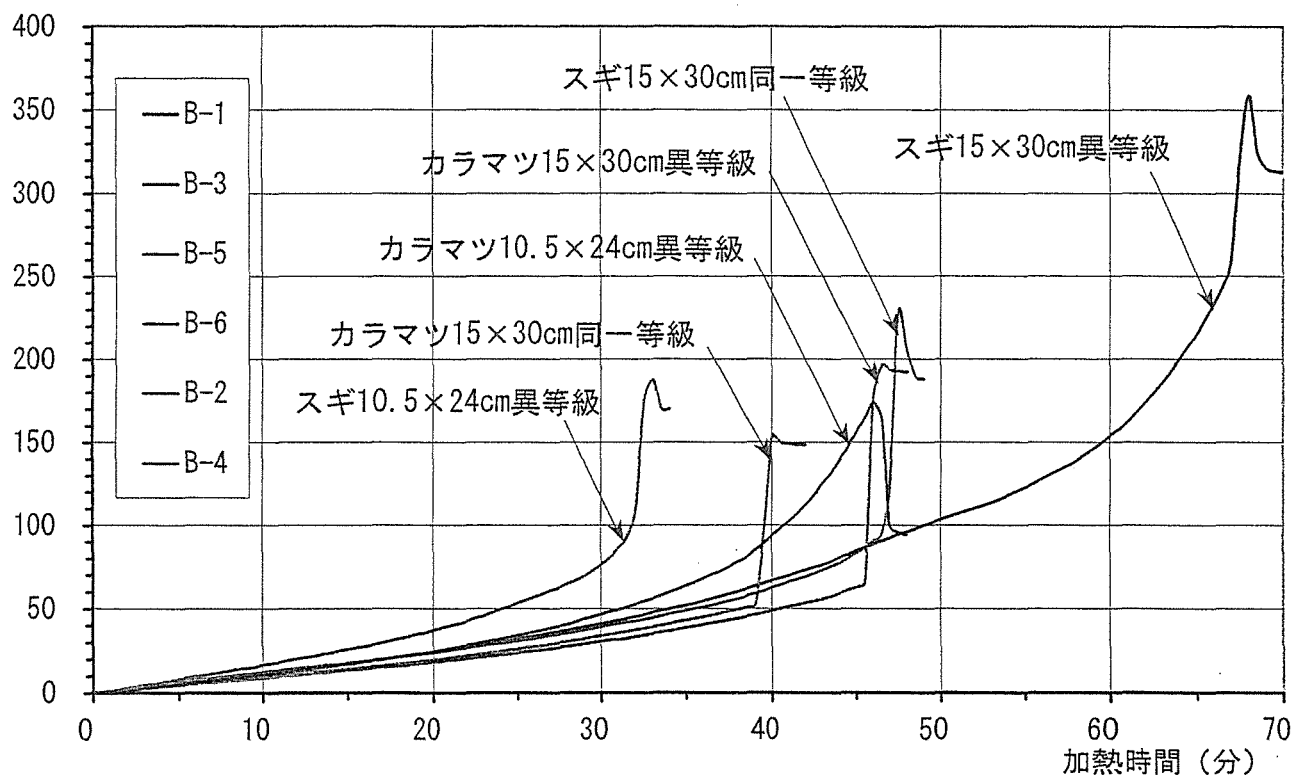


図4.1-1 集成材はり、各試験体中央部たわみ量の推移

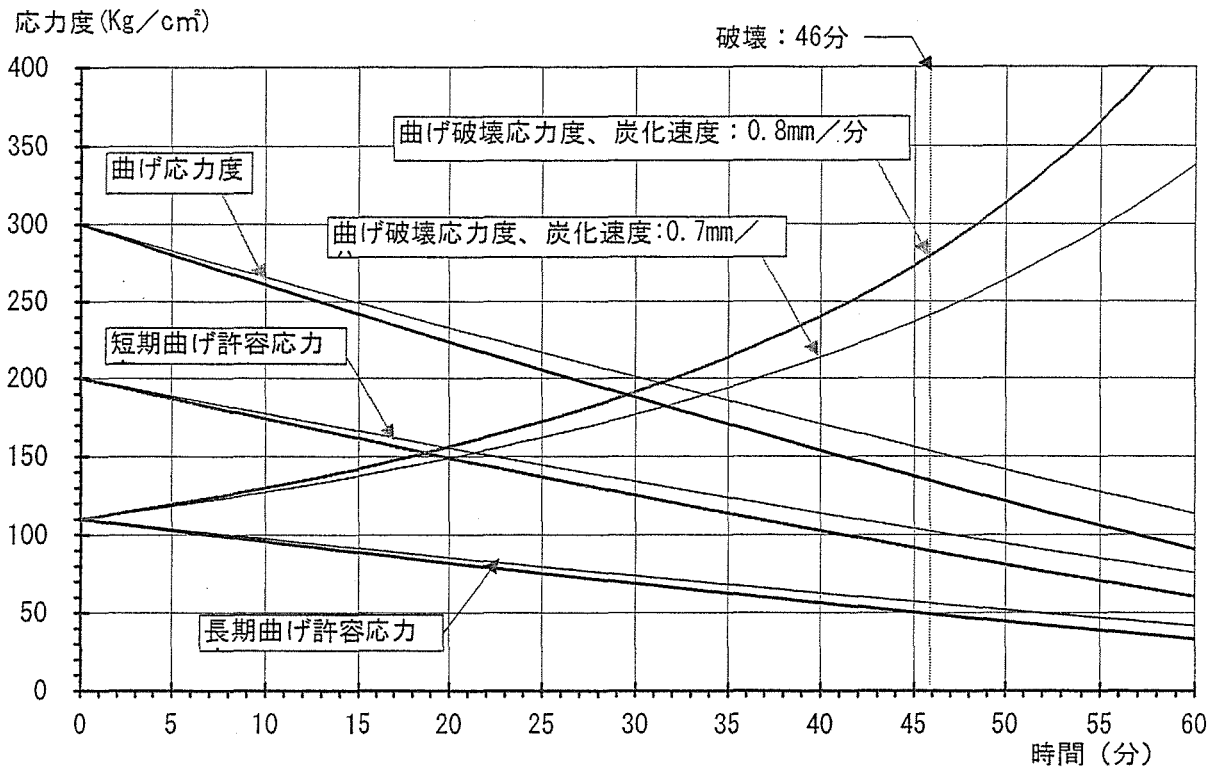


図4.1-2 カマツ150×300mm、異等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

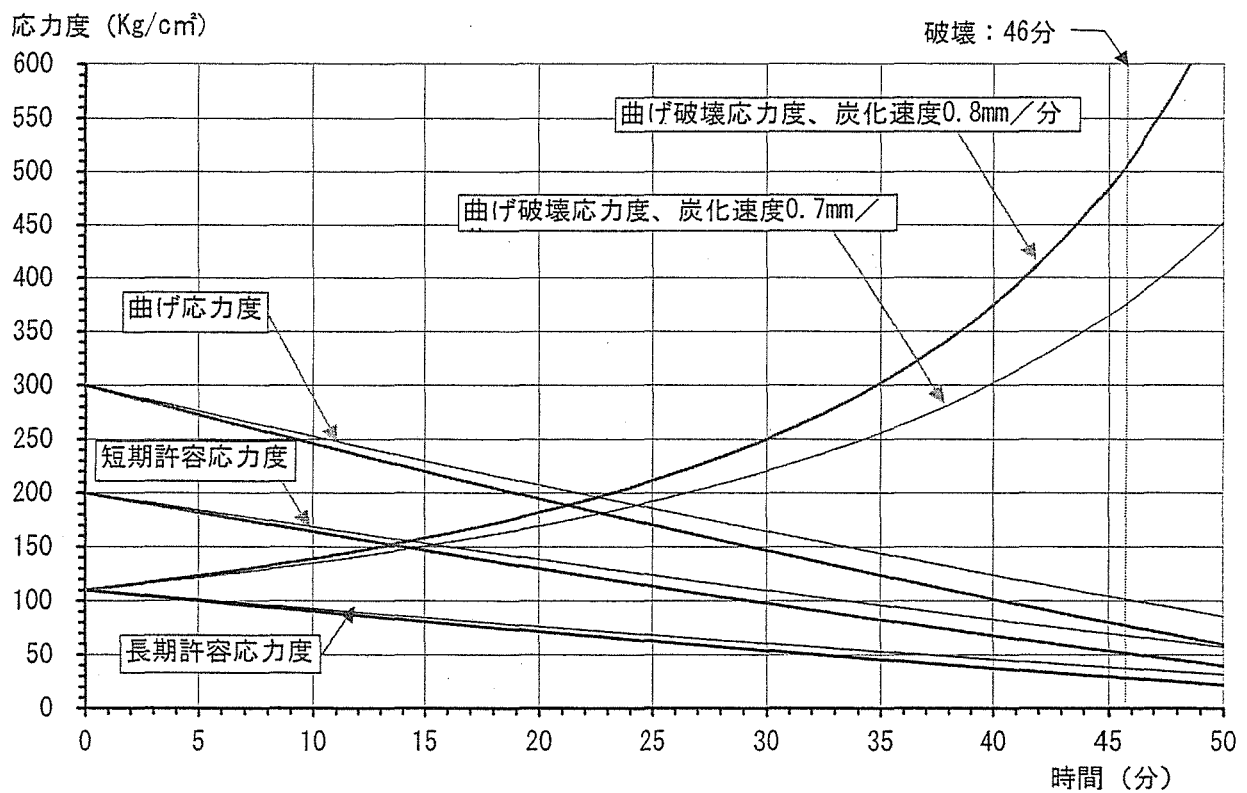


図4.1-3 カマツ105×240mm、異等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

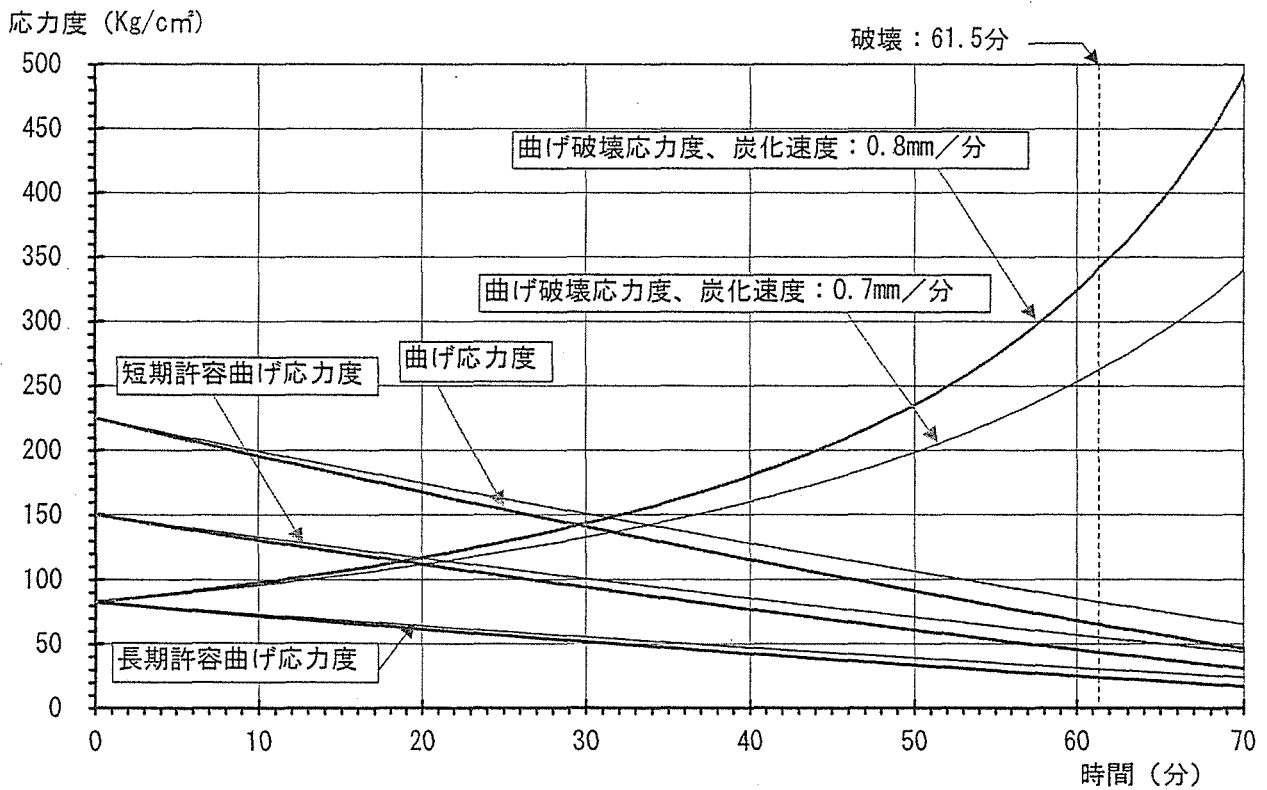


図4.1-4 スギ150×300mm、異等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

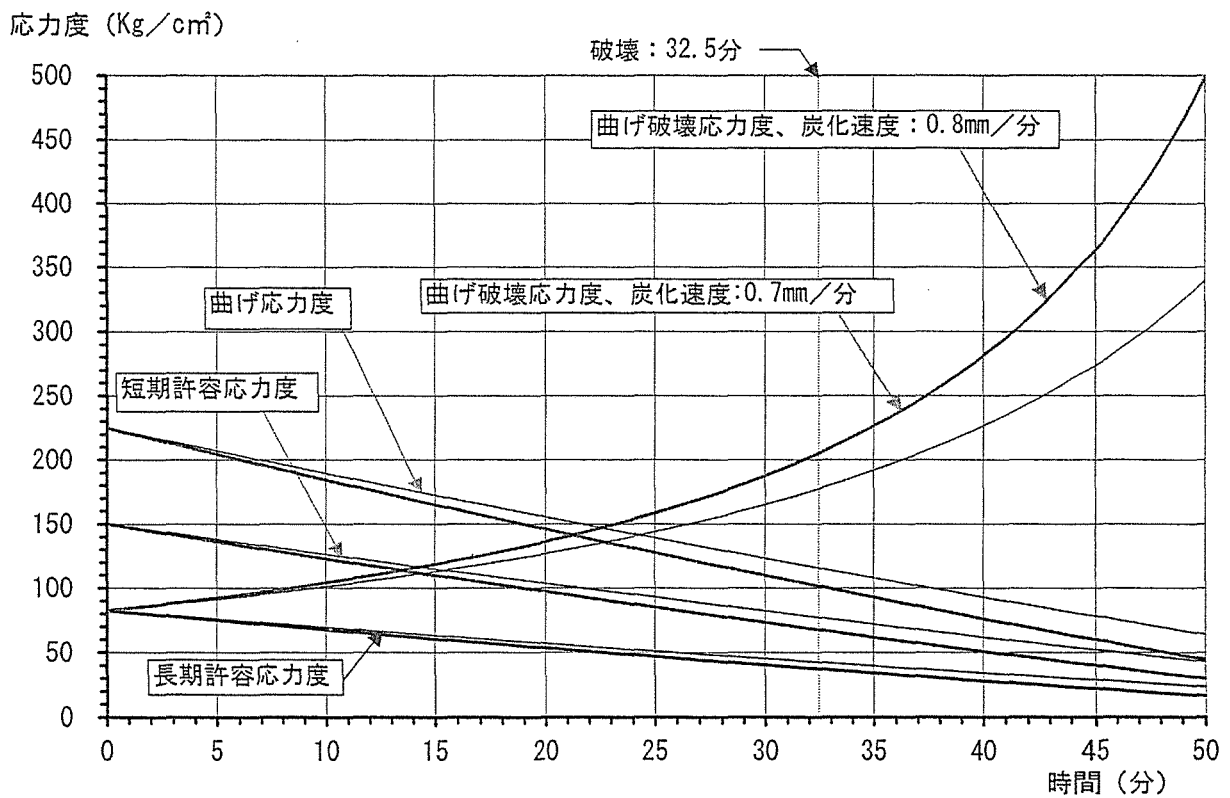


図4.1-5 スギ105×240mm、異等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

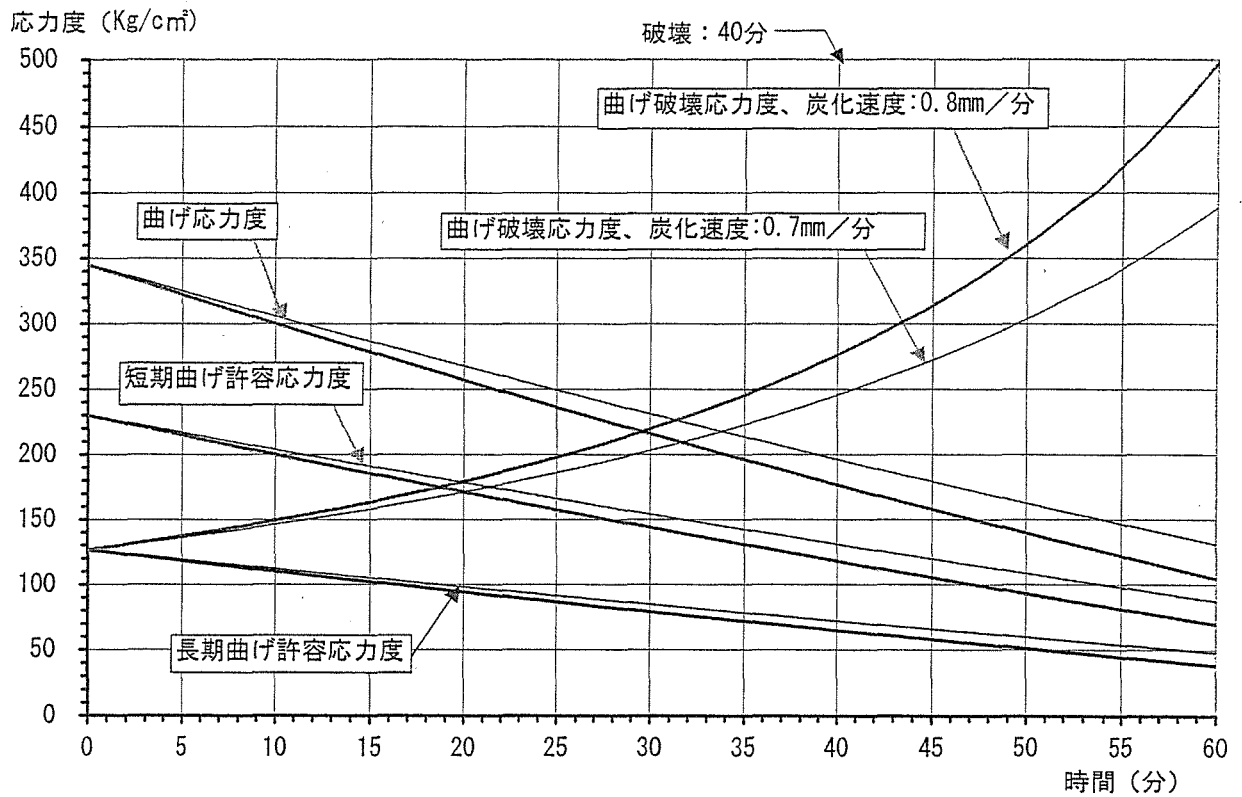


図4.1-6 カラマツ150×300mm、同一等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

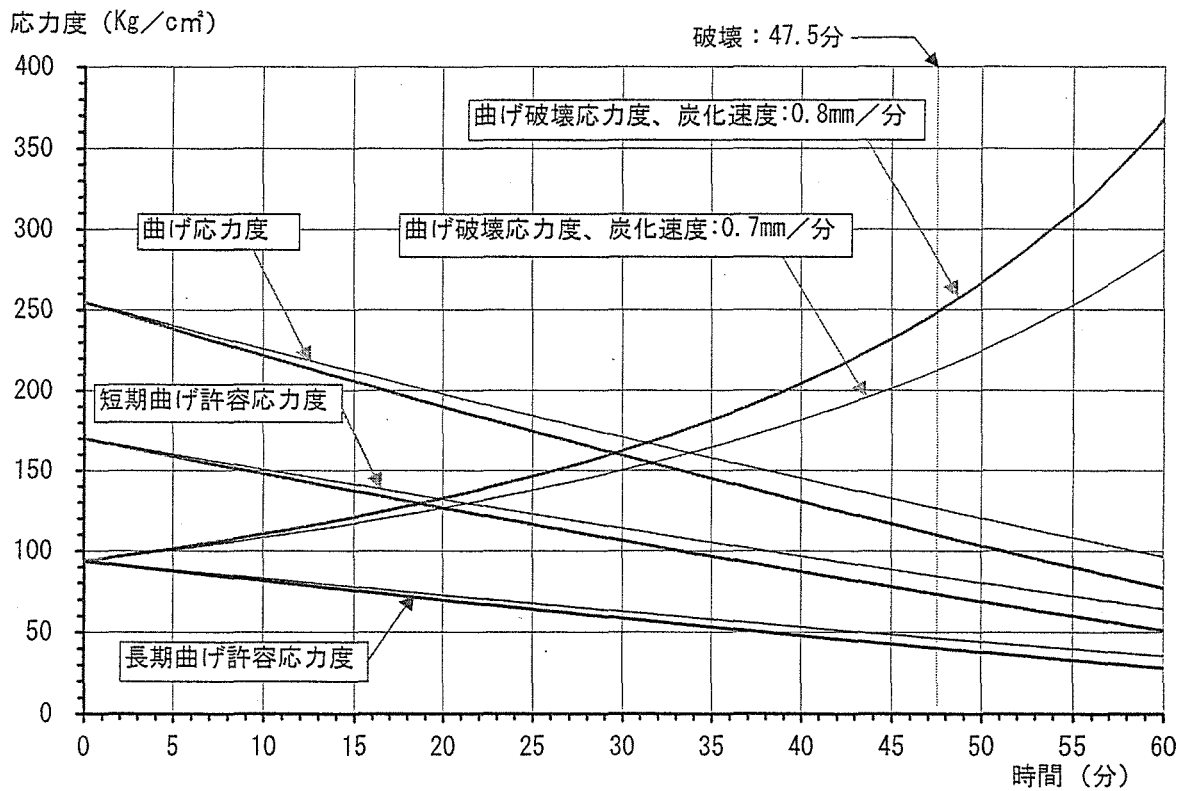


図4.1-7 スギ150×300mm、同一等級構成、炭化速度と曲げ応力度変化

4. 2 柱・梁接合部の荷加熱試験

結果の概要を表4. 2-1に示し、はり中央部のたわみ量推移を図4. 2-1に示す。試験体No.1（記号：GJ-1）は、75分過ぎからたわみ量が上昇し、77.5分に最大たわみ速度が基準値である1.1mm/分を超え、接合部が破壊したため80分に加熱を終了した。試験体No.2（記号：GJ-2）は、たわみ量が徐々に増加したが、急激な上昇などが認められずに接合部が破壊して柱が傾き始めたので83分に加熱を終了した。試験体No.3（記号：LJ-1）は90分頃からたわみ量が上昇し、最大たわみ速度が基準値である1.1mm/分を88分を超え、接合部が破壊したため92.5分に加熱を終了した。試験体No.4（記号：LJ-2）は、たわみ量が徐々に増加したが、急激な上昇などが認められずに接合部が破壊して柱が傾き始めたので90分に加熱を終了した。シェアープレート接合部は、集成材、LVLとも急激なたわみ量の増加によりたわみ速度が制限値を超え、接合部が破壊した。T型金物接合では、たわみ量が徐々に増加し、急激な変化は生じなかったが、接合部が変形して両端の柱のねじれを生じ、接合部分のボルトが露出した。

以上の結果、今回実施した柱・はり接合部は、集成材が80分程度、LVLが90分程度の耐火性能を有し、いずれも接合部も60分準耐火性能を超える性能を有し、集成材に比べLVLの方が性能が高い傾向を示し、大断面集成材の接合部の耐火性能と同等以上の性能を有することが明らかとなった。

表4.2-1 柱・梁接合部、試験結果概要

No.	記号	樹種等	断面寸法(mm)		仕口部	載荷荷重	試験時間	最大たわみ量が基準値を超えた時間	最大たわみ速度が基準値を超えた時間	試験終了時の状況など
			柱	はり						
1	GJ-1	カラマツ集成材	200×200	200×320	シエアプレート	31kN	80.0分	80.5分	77.5分	接合部の破壊
2	GJ-2	カラマツ集成材	200×200	200×320	T型金物	39kN	83.0分	到達せず	到達せず	接合部の変形
3	LJ-1	カラマツLVL	200×200	200×320	シエアプレート	31kN	92.5分	92.5分	88.0分	接合部の破壊
4	LJ-2	カラマツLVL	200×200	200×320	T型金物	46kN	90.0分	到達せず	90.0分	接合部の破壊

最大たわみ量 25.3mm

最大たわみ速度 1.1mm/分

たわみ量 (mm)

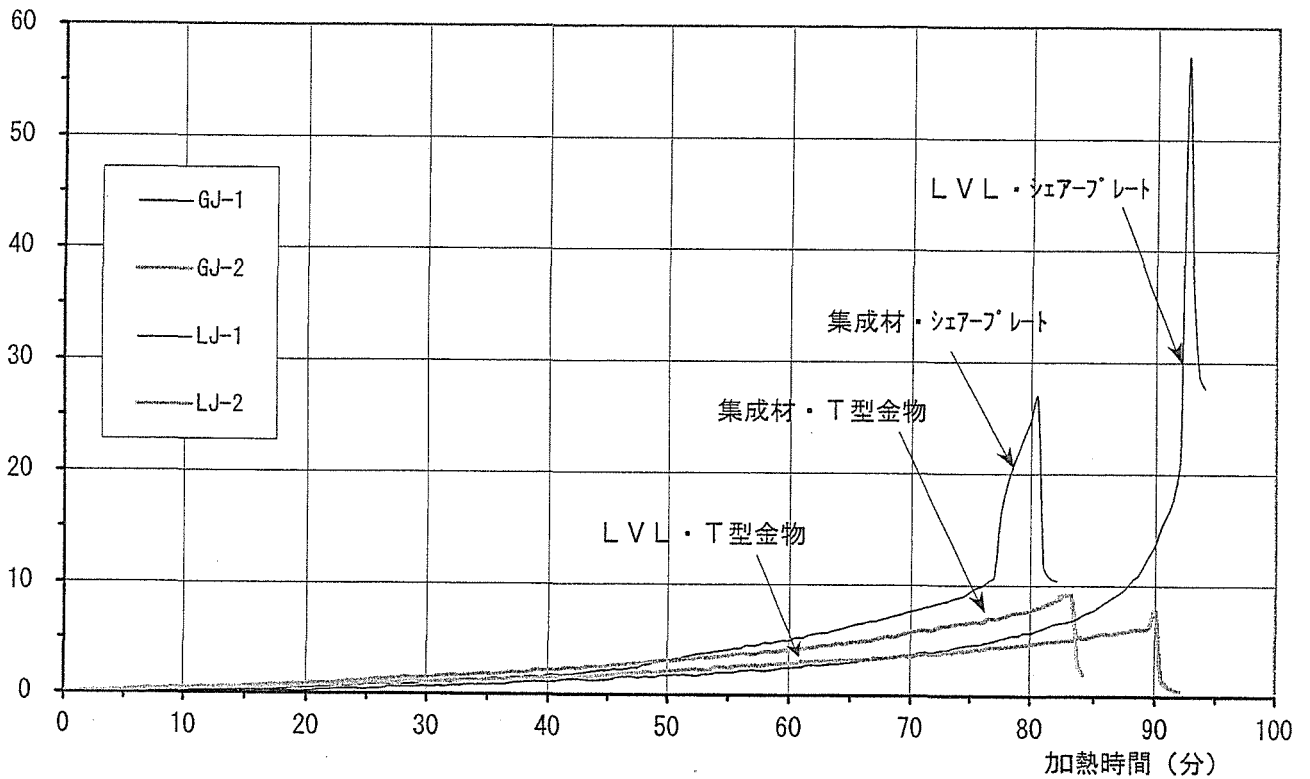


図4.2-1 柱・梁接合部、梁中央部たわみ量の推移

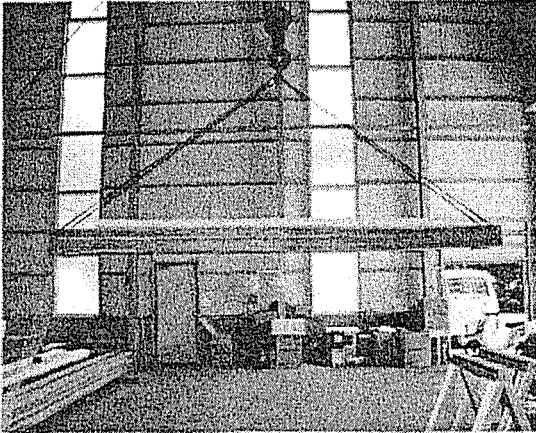
写真記録

1. 梁試験体の燃焼状況

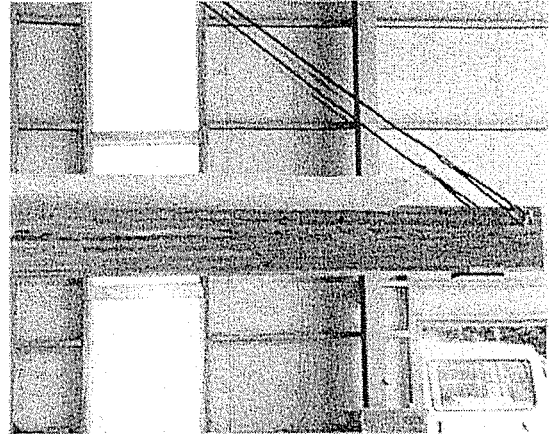
- 1) 写真1-1~1-16 試験体“B-1”150×300mm、カラマツ、異等級構成
- 2) 写真2-1~2-14 試験体“B-2”105×240mm、カラマツ、異等級構成
- 3) 写真3-1~3-16 試験体“B-3”150×300mm、スギ、異等級構成
- 4) 写真4-1~4-16 試験体“B-4”105×240mm、スギ、異等級構成
- 5) 写真5-1~5-16 試験体“B-5”150×300mm、カラマツ、同一等級構成
- 6) 写真6-1~6-16 試験体“B-6”150×300mm、スギ、同一等級構成

2. 柱・梁接合部の延焼状況

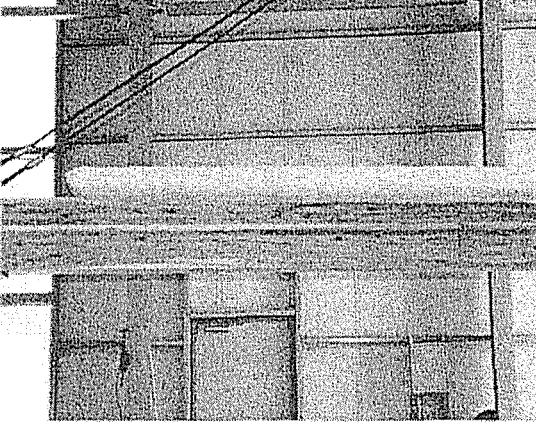
- 1) 接合写真1-1~1-16 試験体“GJ-1”集成材、シアープレート接合
- 2) 接合写真2-1~2-24 試験体“GJ-2”集成材、T型金物接合
- 3) 接合写真3-1~3-16 試験体“LJ-1”LVL、シアープレート接合
- 4) 接合写真4-1~4-16 試験体“LJ-2”LVL、T型金物接合



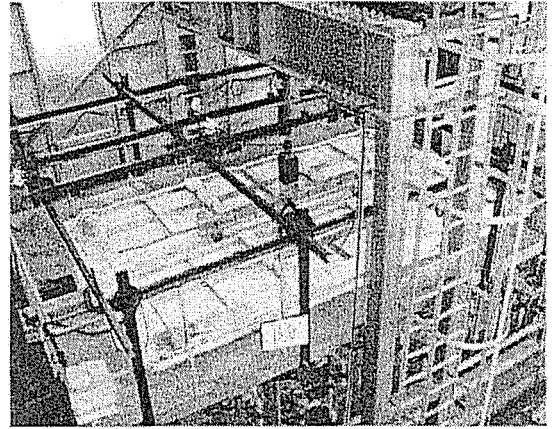
梁写真1-1 記号B-1 15×30cm、 γ 線照射等級、全体図



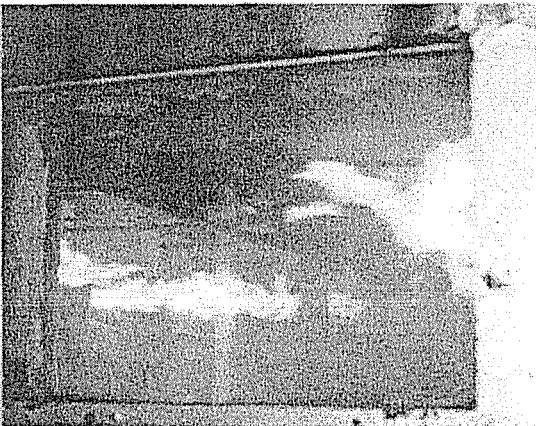
梁写真1-2 記号B-1 試験体姿図 (右側)



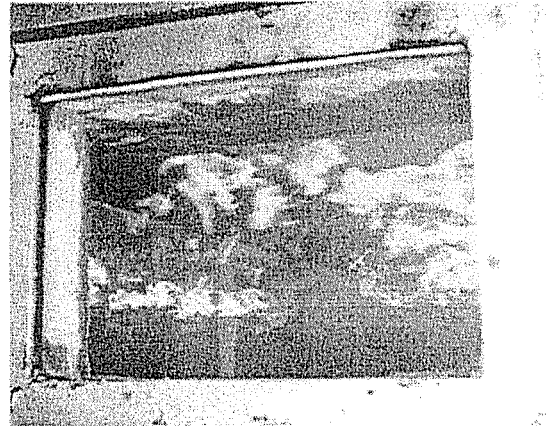
梁写真1-3 記号B-1 試験体姿図 (左側)



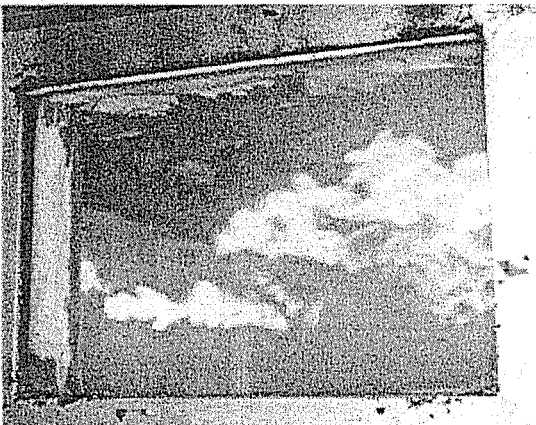
梁写真1-4 記号B-1 加熱炉設置、試験開始15分後



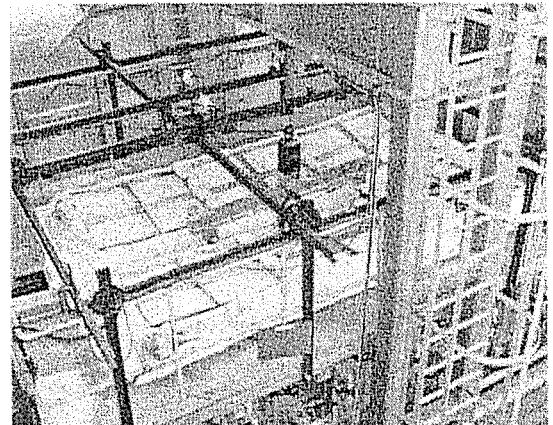
炉内状況15分後



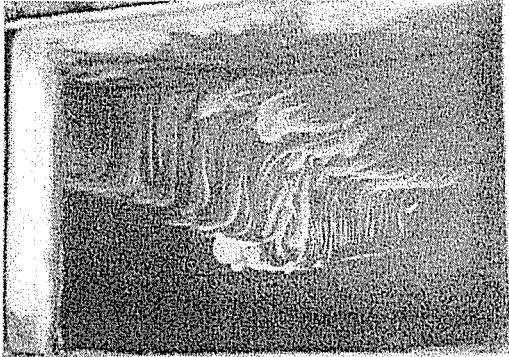
梁写真1-6 記号B-1 開始30分後の炉内状況



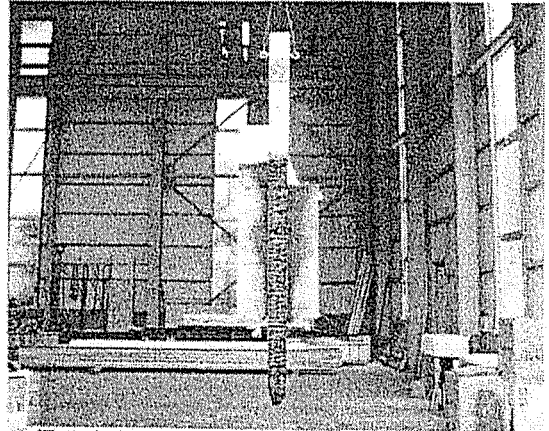
梁写真1-7 記号B-1 開始45分後の炉内状況



梁写真1-8 記号B-1 開始47分後(加熱終了時)



梁写真1-9 記号B-1 開始47分、試験終了時炉内



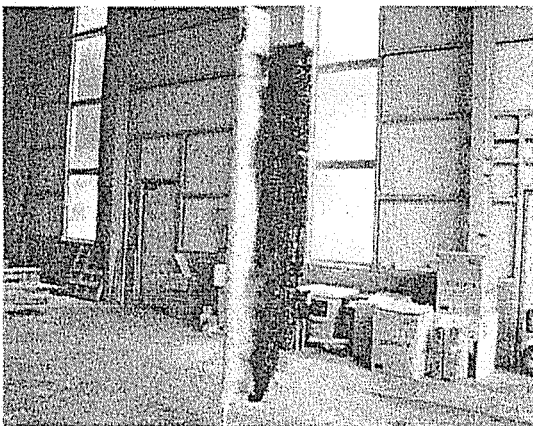
梁写真1-10 記号B-1 試験終了後、梁の破壊状況



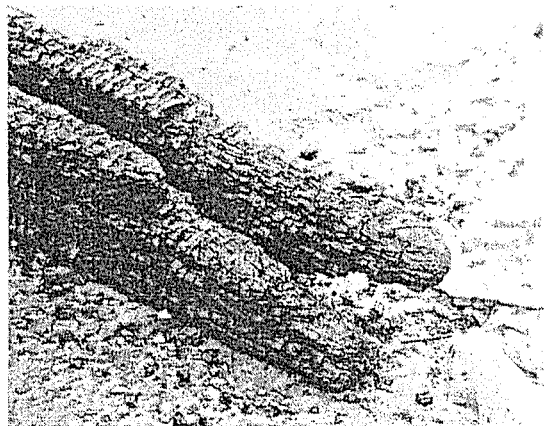
梁写真1-11 記号B-1 試験終了後、梁の破壊状況



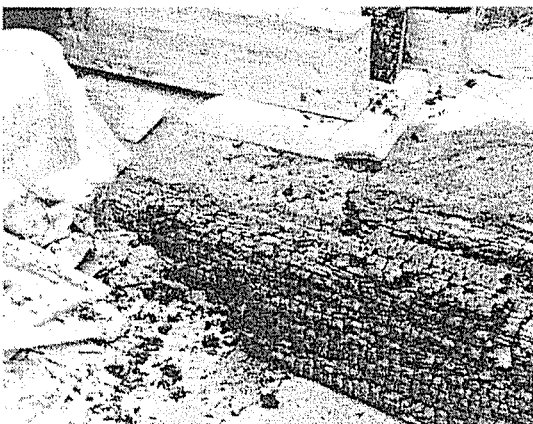
梁写真1-12 記号B-1 破壊部分、上面



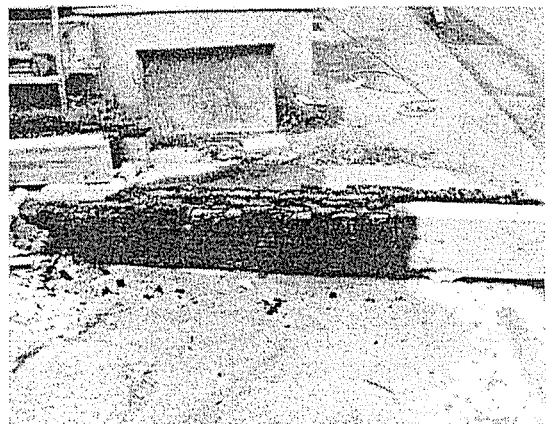
梁写真1-13 記号B-1 梁の破壊状況



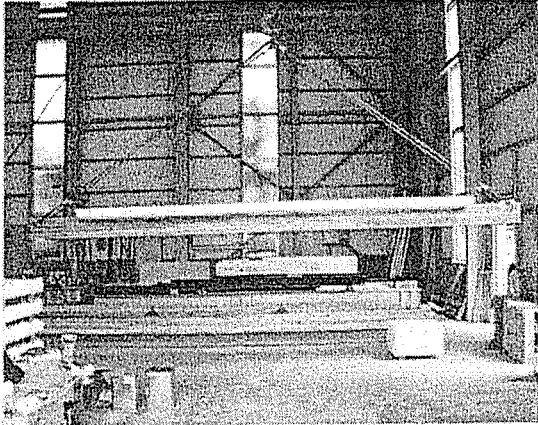
梁写真1-14 記号B-1 破壊部分の炭化状況



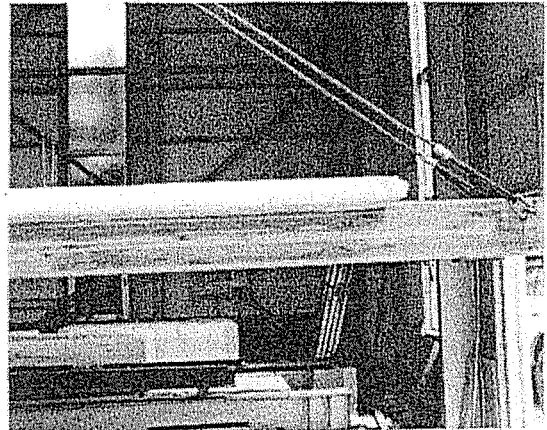
梁写真1-15 記号B-1 破壊部分の炭化状況



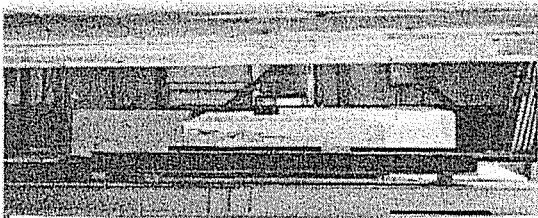
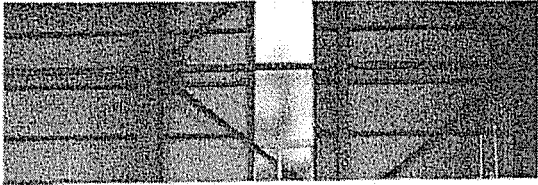
梁写真1-16 記号B-1 破壊部分の炭化状況



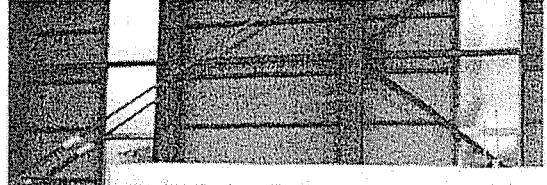
梁写真2-1 記号B-2 105×240mm, 力マツ異等級, 全体図



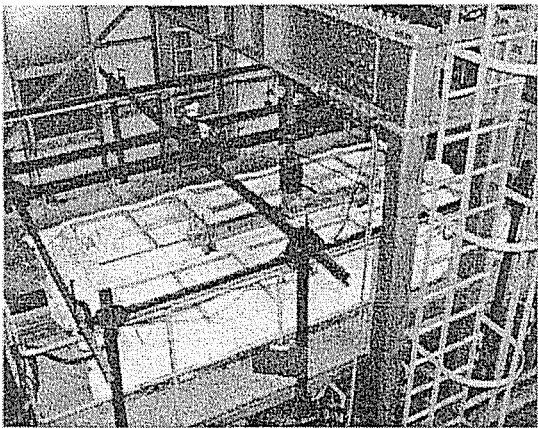
梁写真2-2 記号B-2 試験体姿図 (右側)



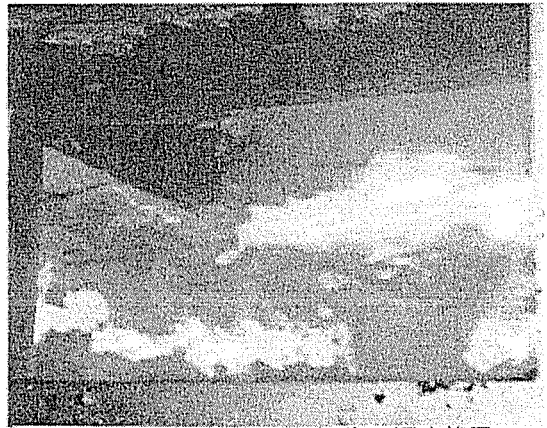
梁写真2-3 記号B-2 試験体姿図 (中央部)



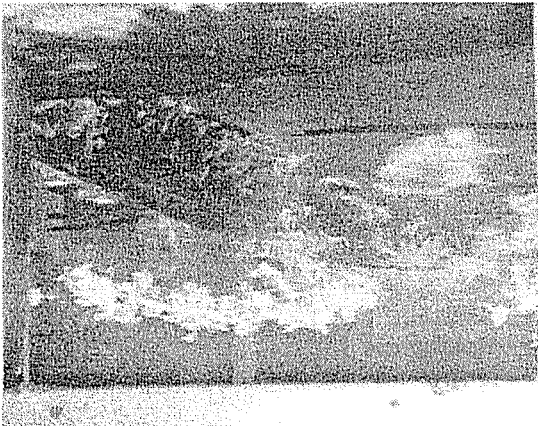
梁写真2-4 記号B-2 試験体姿図 (左側)



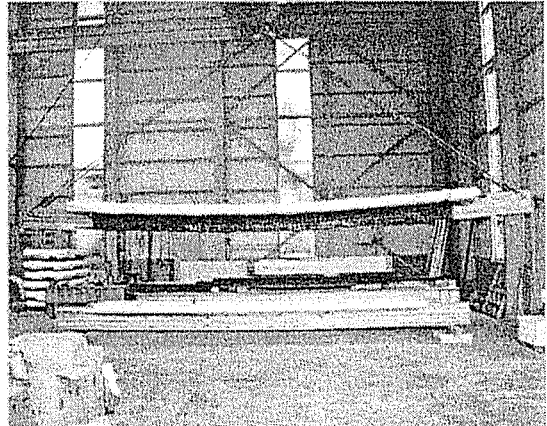
梁写真2-5 記号B-2 試験開始時



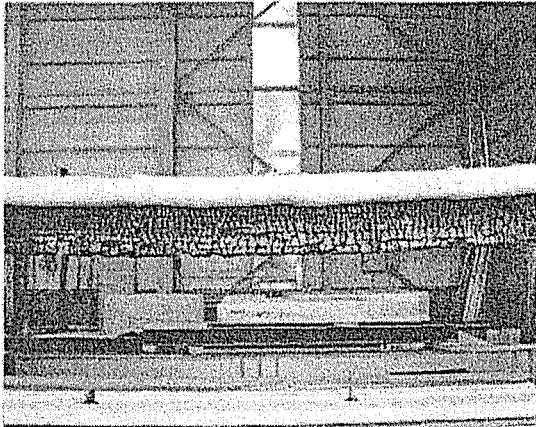
梁写真2-6 記号B-2 開始30分後の炉内状況



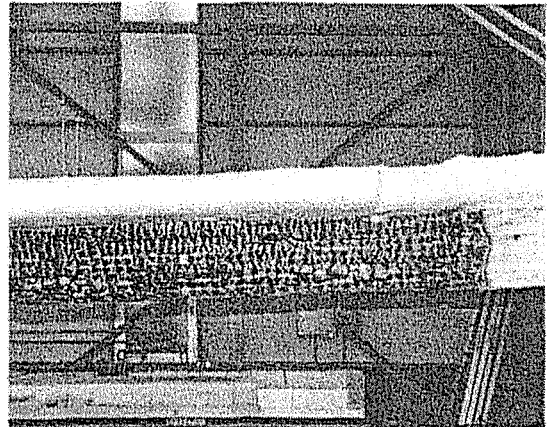
梁写真2-7 記号B-2 開始55分後の炉内状況



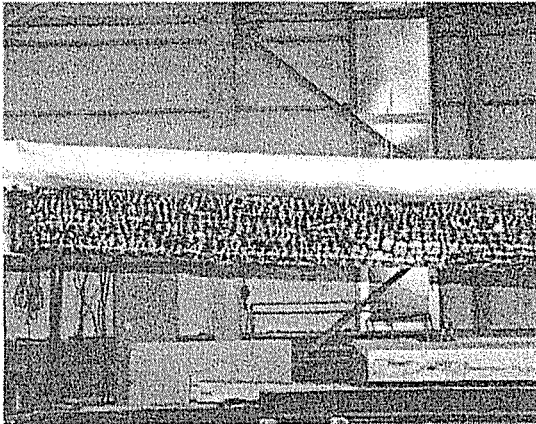
梁写真2-8 記号B-2 加熱終了後の全体図



梁写真2-9 記号B-2 試験終了時、中央部分



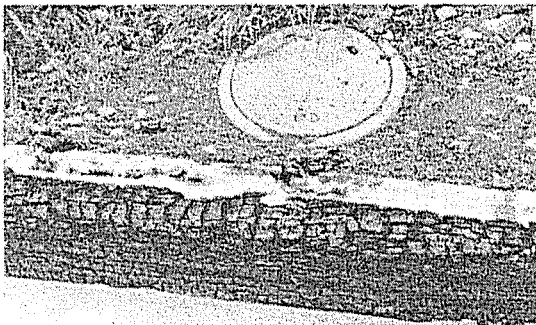
梁写真2-10 記号B-2 試験終了時、梁(右側)



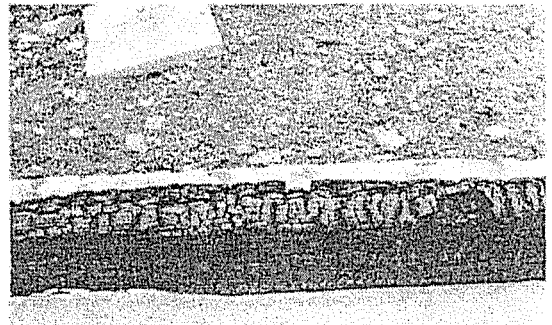
梁写真2-11 記号B-2試験終了時、梁(左側)



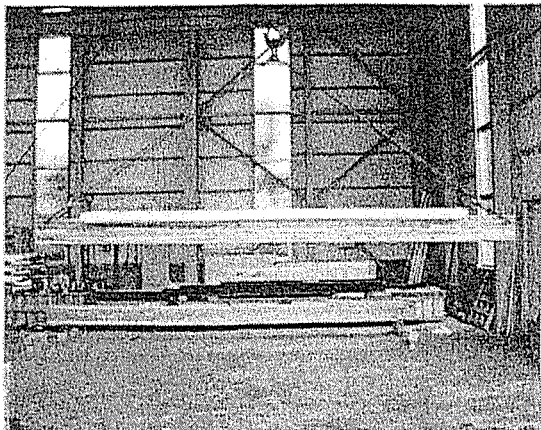
梁写真2-12 記号B-2 試験終了時、梁(下・側面)



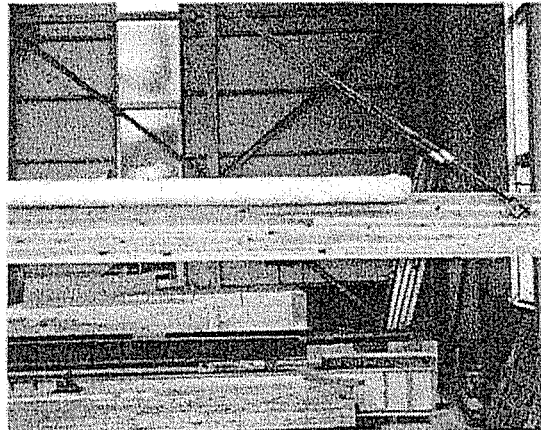
梁写真2-13 記号B-2 梁の炭化状況



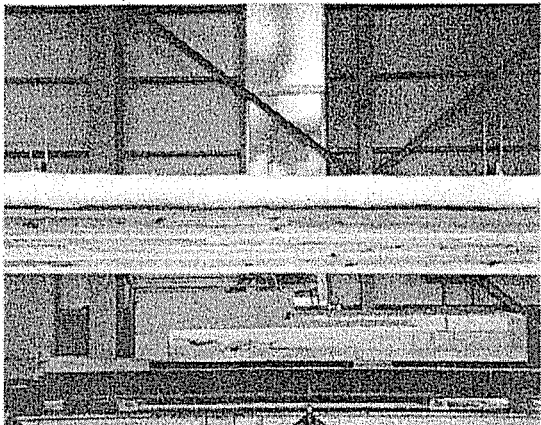
梁写真2-14 記号B-2 梁の炭化状況



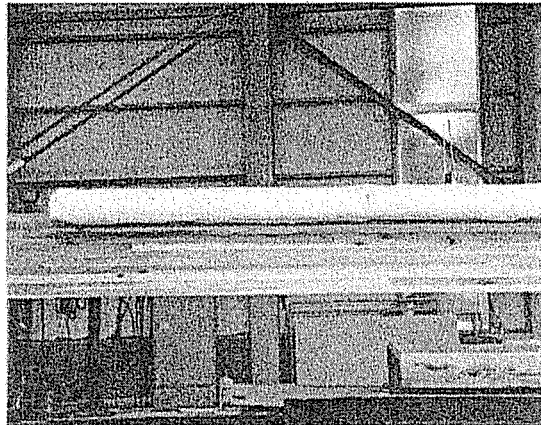
梁写真3-1 記号B-3 15×30cm, ｽｯ 異等級, 全体図



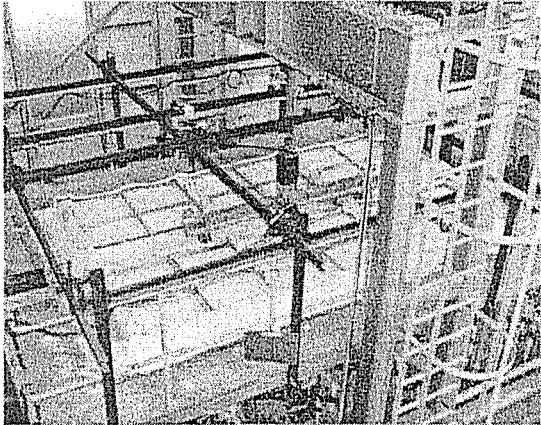
梁写真3-2 記号B-3 試験体姿図 (右側)



梁写真3-3 記号B-3 試験体姿図 (中央)



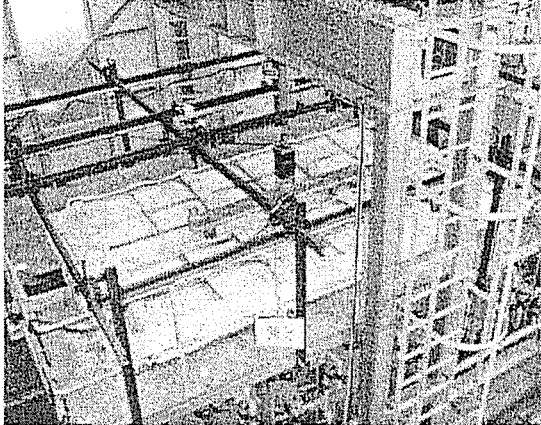
梁写真3-4 記号B-3 試験体姿図 (左側)



梁写真3-5 記号B-3 試験開始



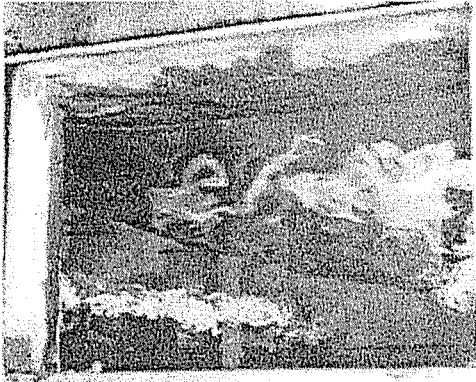
梁写真3-6 記号B-3 15分経過後の炉内状況



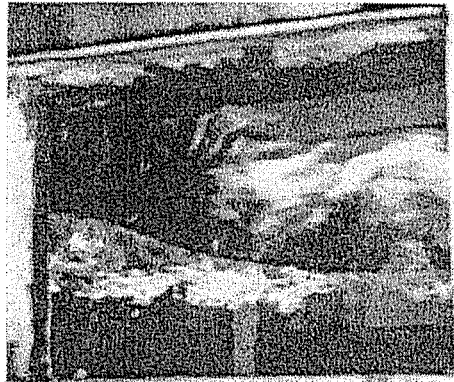
梁写真3-7 記号B-3 試験開始30分後の状況



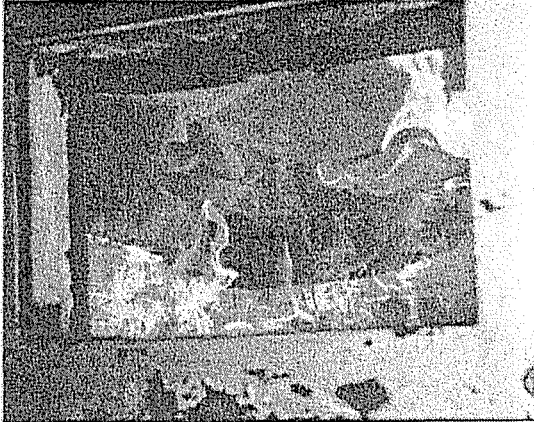
梁写真3-8 記号B-3 30分経過後の炉内状況



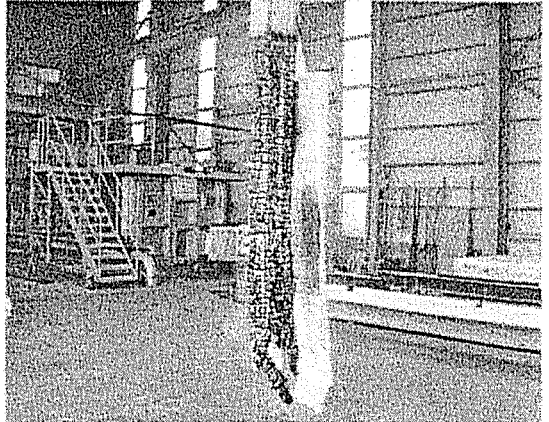
梁写真3-9 記号B-3 試験開始45分後の状況



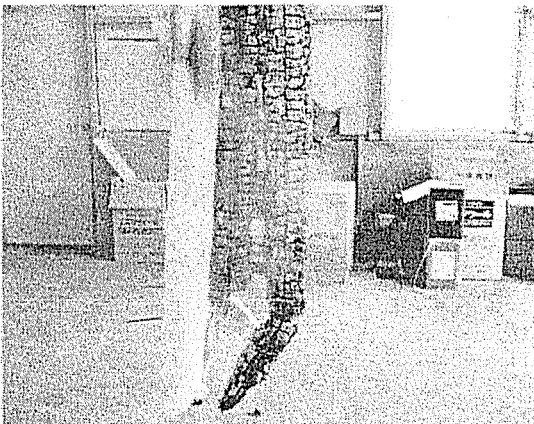
梁写真3-10 記号B-3 試験開始後60分時の状況



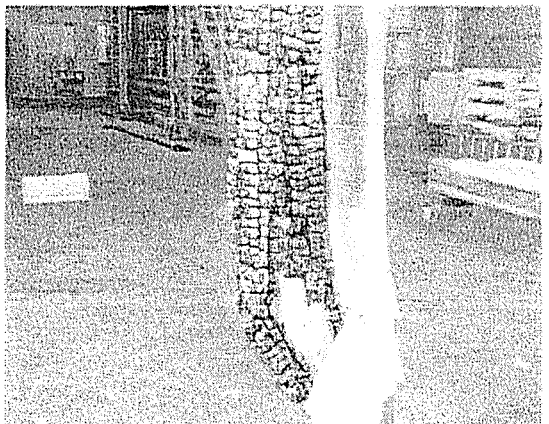
梁写真3-11 記号B-3 試験開始67分後の状況



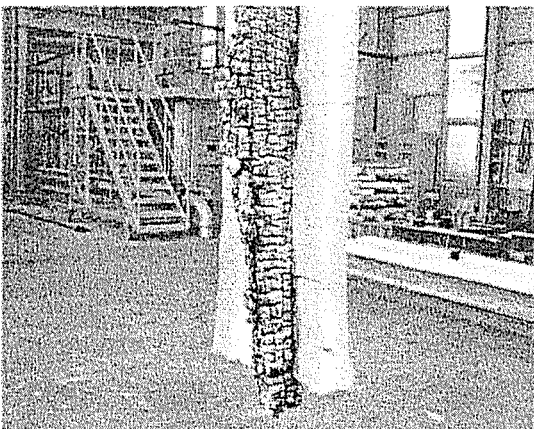
梁写真3-12 記号B-3 試験終了時



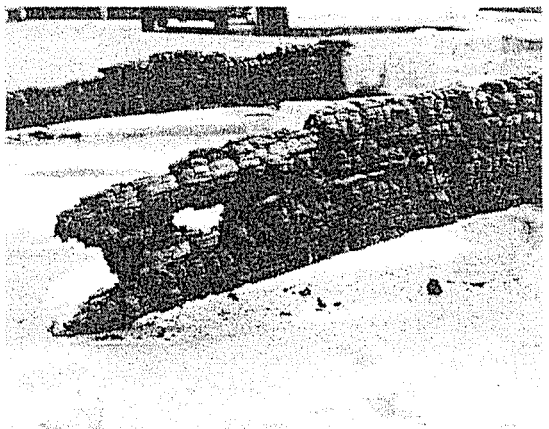
梁写真3-13 記号B-3 試験終了後、梁の炭化状況



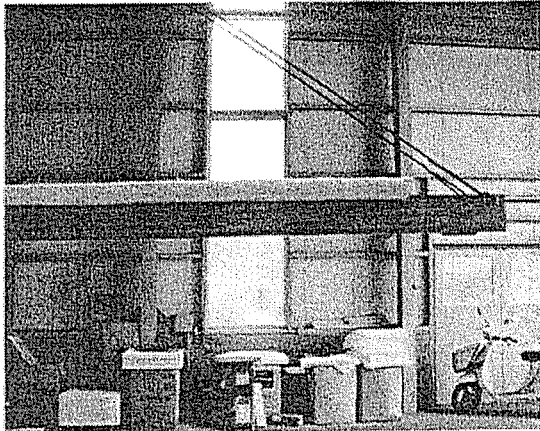
梁写真3-14 記号B-3 試験終了後



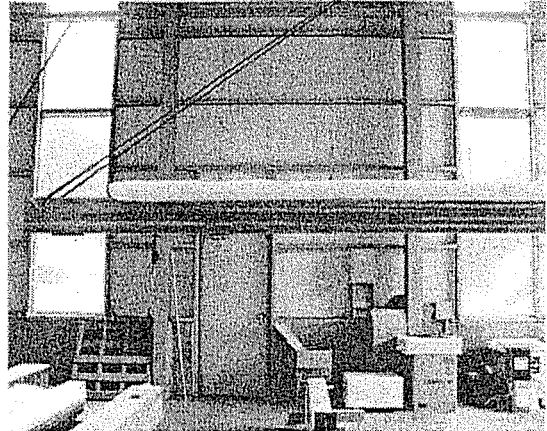
梁写真3-15 記号B-3



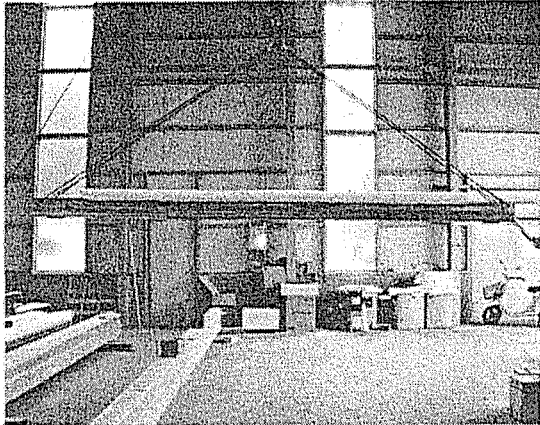
梁写真3-16 記号B-3 梁中央部の炭化



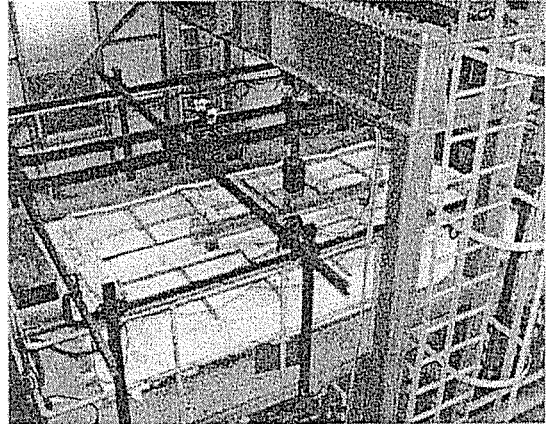
梁写真4-1 記号B-4 105×240mm、S45C 異等級



梁写真4-2 記号B-4 試験体姿図 (左側)



梁写真4-3 記号B-4 試験体全体図



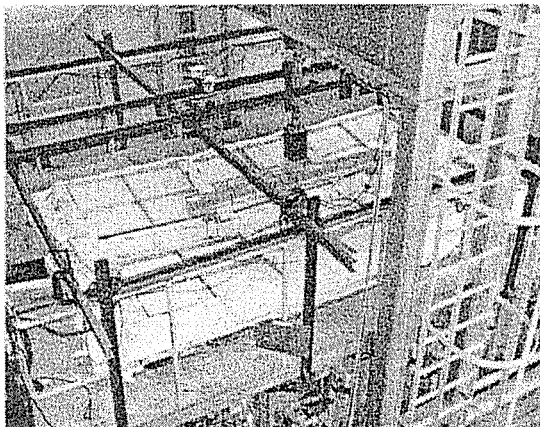
梁写真4-4 記号B-4 試験開始



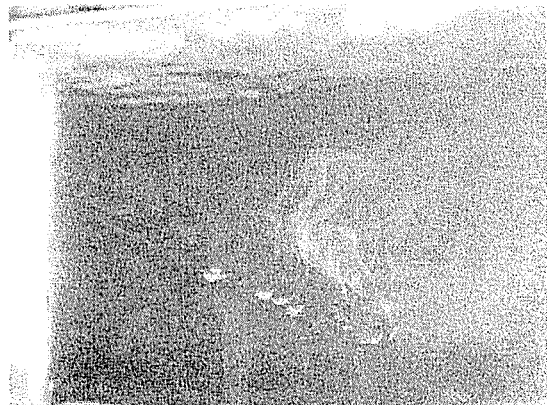
梁写真4-5 記号B-4 15分経過後の炉内状況



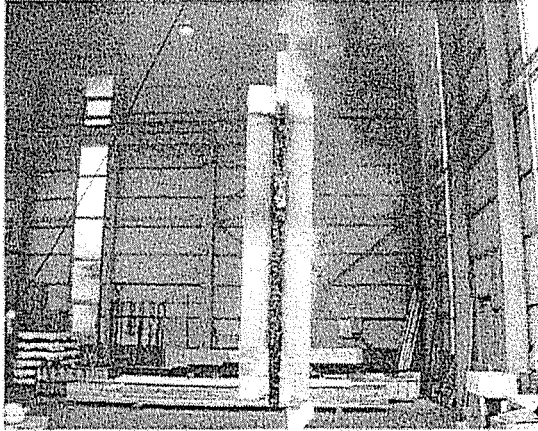
梁写真4-6 記号B-4 30分経過後の炉内状況



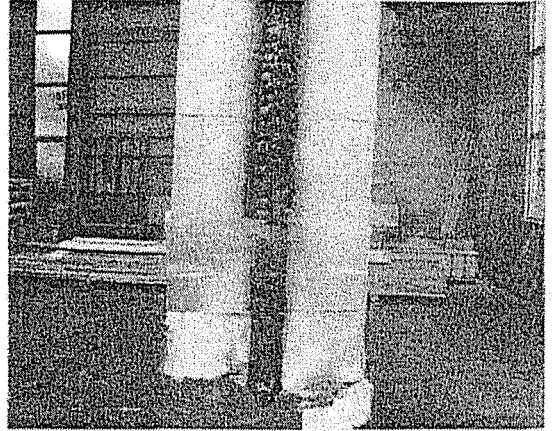
梁写真4-7 記号B-4 試験開始34分後の状況



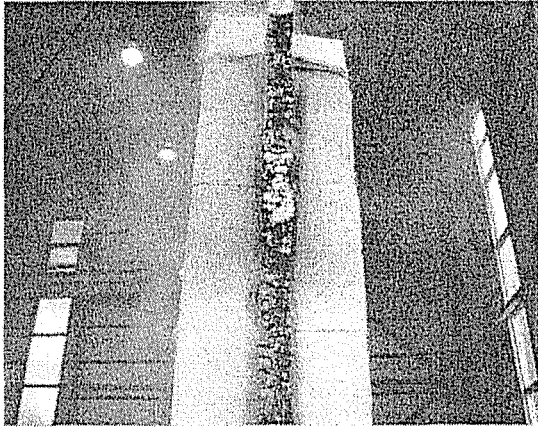
梁写真4-8 記号B-4 炉内、35分加熱停止後



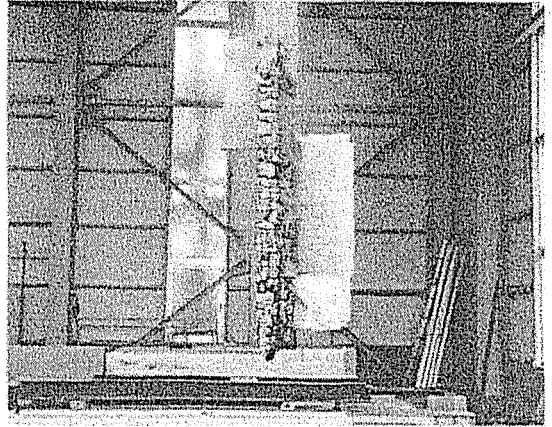
梁写真4-9 記号B-4 終了後



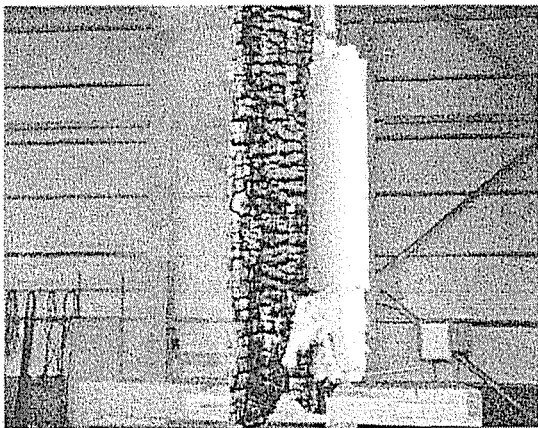
梁写真4-10 記号B-4 終了後、梁炭化状況



梁写真4-11 記号B-4 終了後、梁炭化状況



梁写真4-12 記号B-4 終了後、梁炭化状況



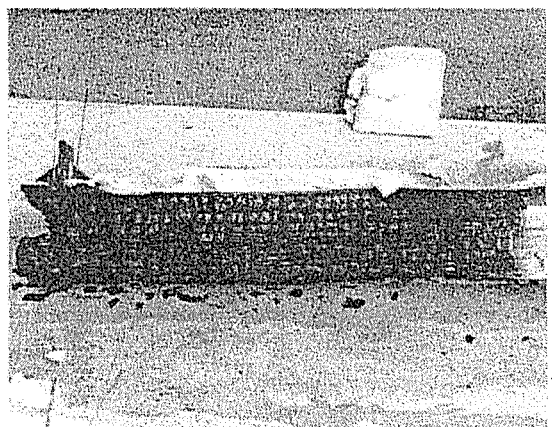
梁写真4-13 記号B-4 試験終了後、梁の炭化状況



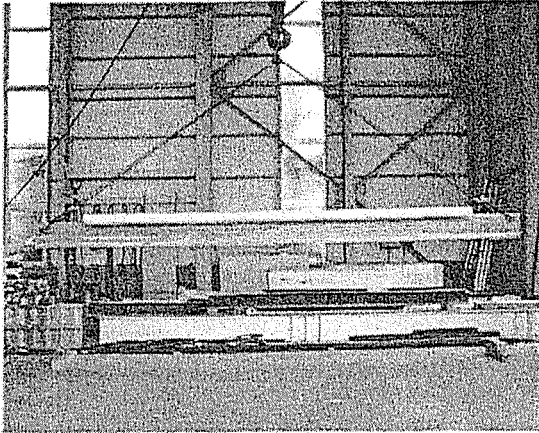
梁写真4-14 記号B-4 試験終了後、梁炭化状況



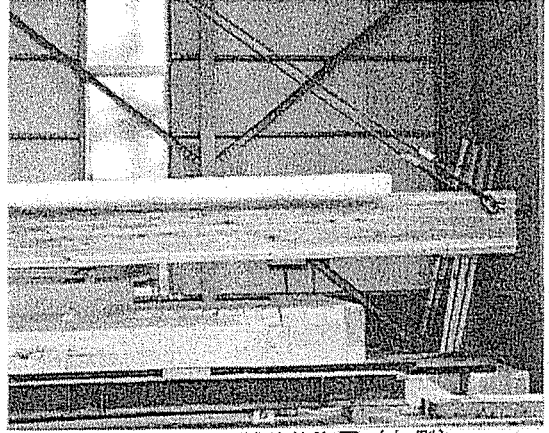
梁写真4-15 記号B-4 試験終了後、梁の炭化状況



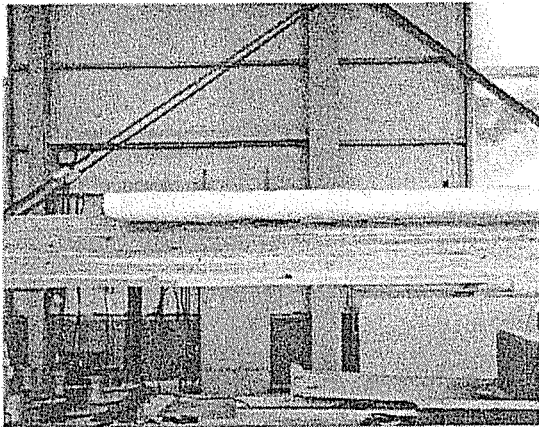
梁写真4-16 記号B-4 梁破壊部分（載荷点）



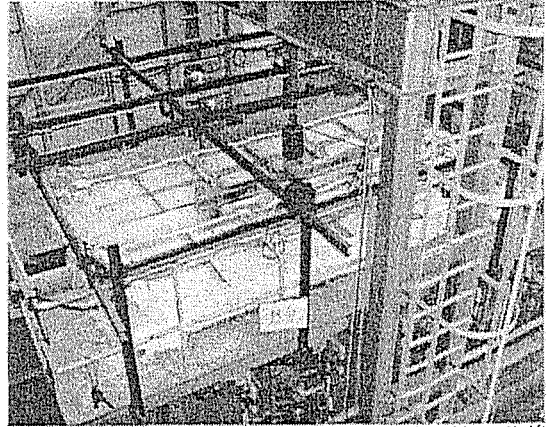
梁写真5-1 記号B-5 15×30cm, カマツ同一, 全体図



梁写真5-2 記号B-5 試験体姿図 (右側)



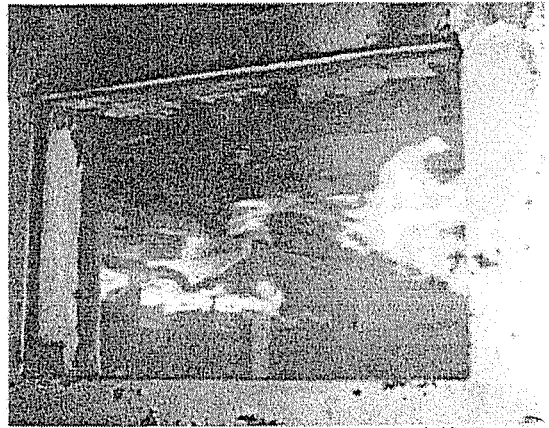
梁写真5-3 記号B-5 試験体姿図 (左側)



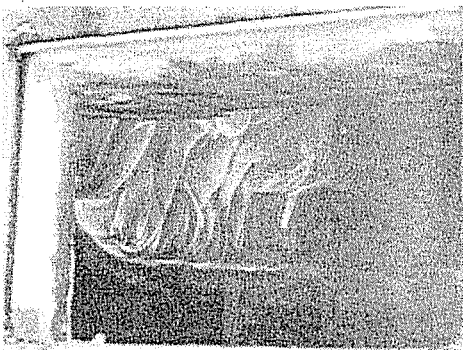
梁写真5-4 記号B-5 加熱炉設置, 試験開始15分後



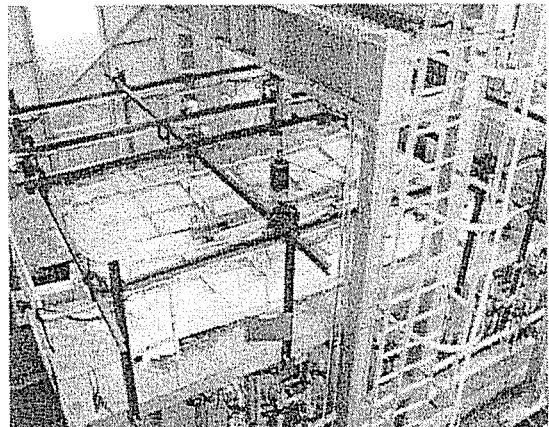
梁写真5-5 記号B-5 開始15分後の炉内状況



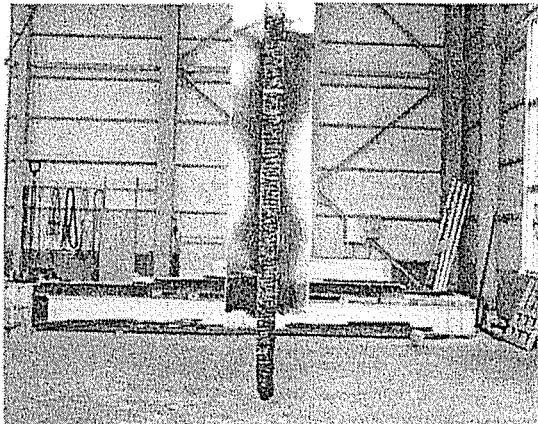
梁写真5-6 記号B-5 開始30分後の炉内状況



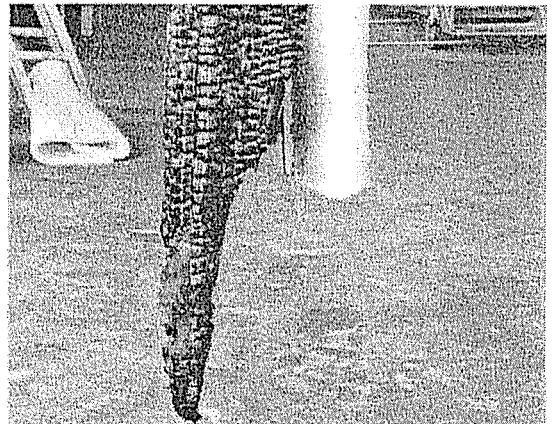
梁写真5-7 記号B-5 開始40分後(終了時)



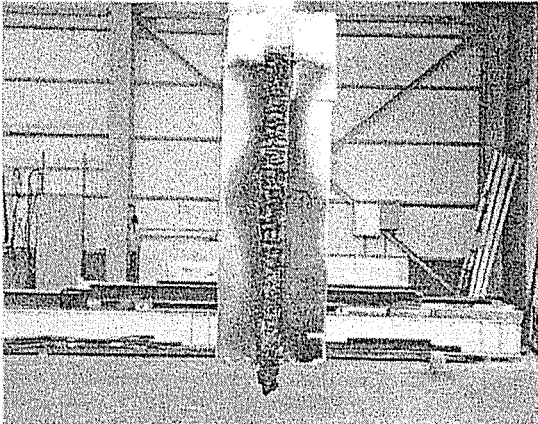
梁写真5-8 記号B-5 開始40分後(加熱終了時)床面



梁写真5-9 記号B-5 試験終了後、梁の破壊状況



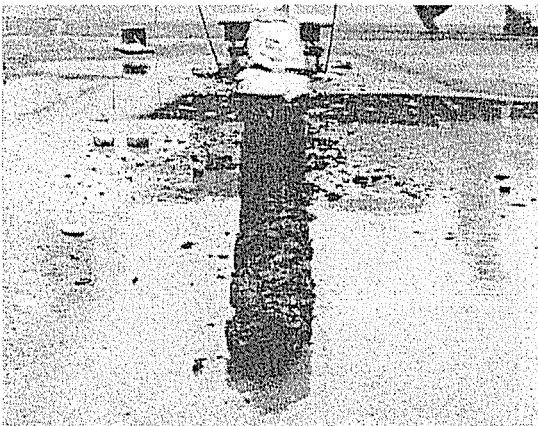
梁写真5-10 記号B-5 試験終了後、梁の破壊状況



梁写真5-11 記号B-5 試験終了後、梁の破壊状況



梁写真5-12 記号B-5 破壊部分、側面、



梁写真5-13 記号B-5 梁の破壊状況、上面



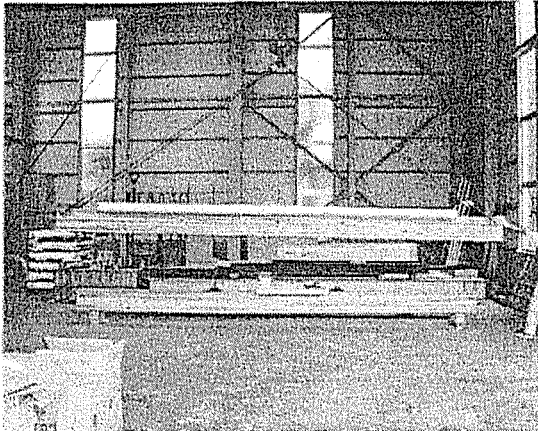
梁写真5-14 記号B-5 破壊部分



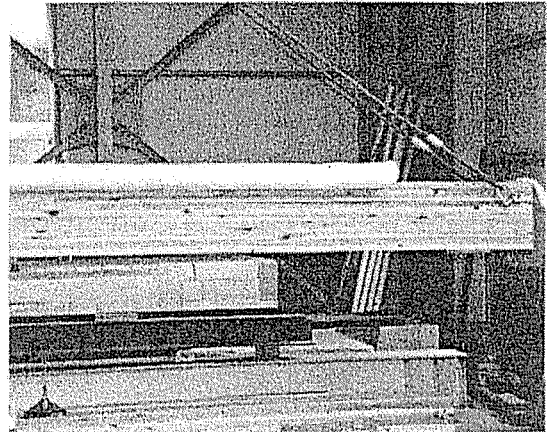
梁写真5-15 記号B-5 破壊部分状況、上面



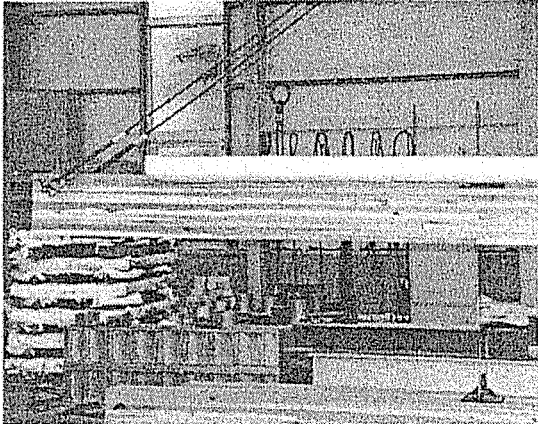
梁写真5-16 記号B-5 破壊状況、上面



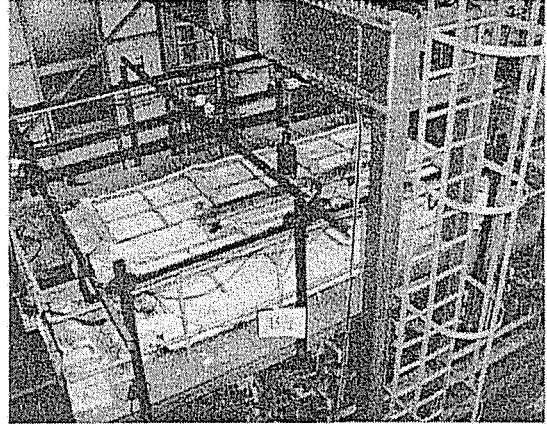
梁写真6-1 記号B-6 105×240mm、スギ同一、全体図



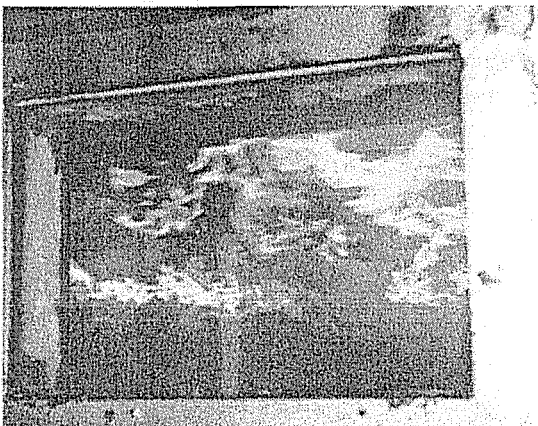
梁写真6-2 記号B-6 試験体姿図（右側）



梁写真6-3 記号B-6 試験体姿図（左側）



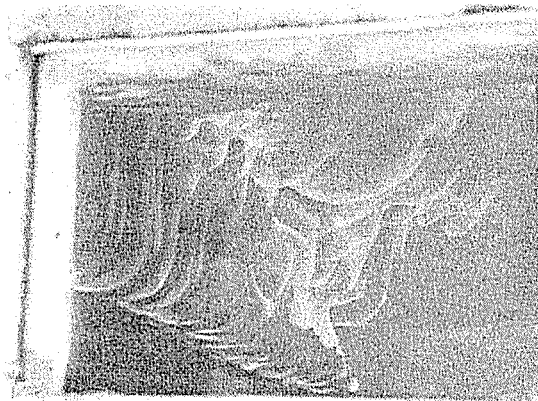
梁写真6-4 記号B-6 試験開始15分、床面



梁写真6-5 記号B-6 開始15分後の炉内状況



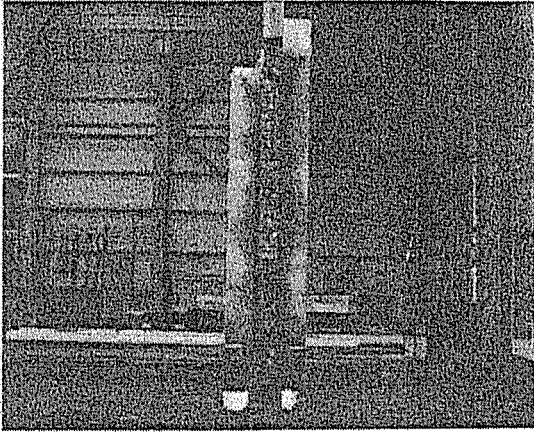
梁写真6-6 記号B-6 開始30分後の炉内状況



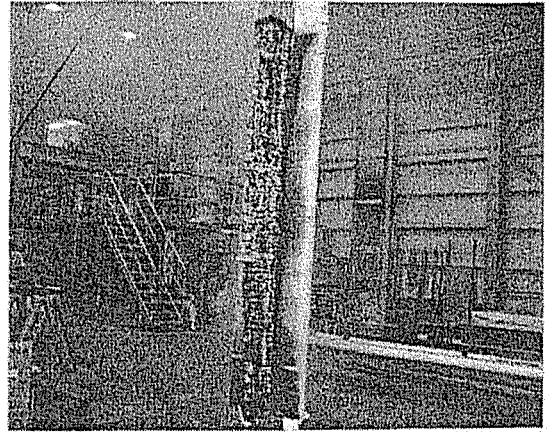
梁写真6-7 記号B-6 開始47分後の炉内状況



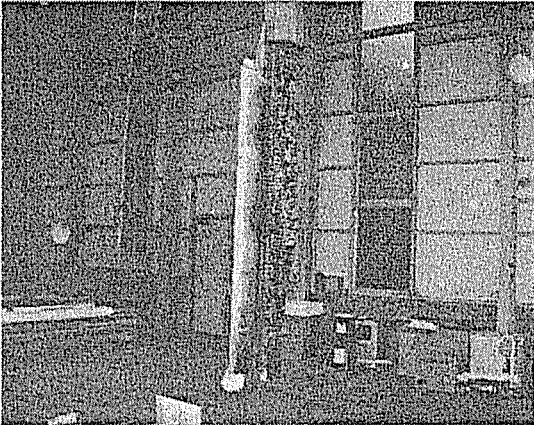
梁写真6-8 記号B-6 開始50分後の炉内状況



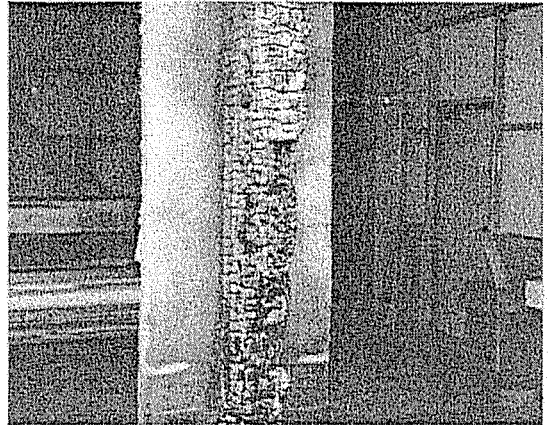
梁写真6-9 記号B-6 試験終了時、梁の燃烧状況



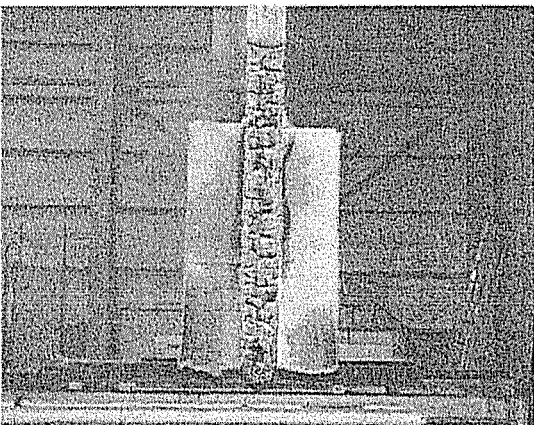
梁写真6-10 記号B-6 試験終了時、梁燃烧状況



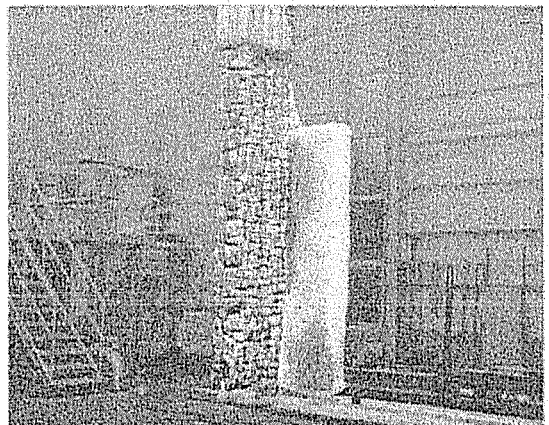
梁写真6-11 記号B-6 梁の燃烧状況



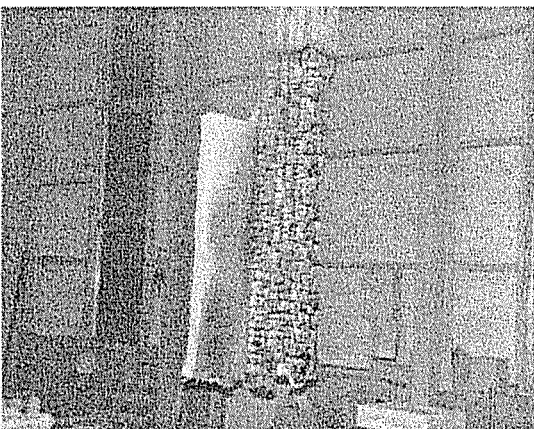
梁写真6-12 記号B-6 試験終了時、梁燃烧状況



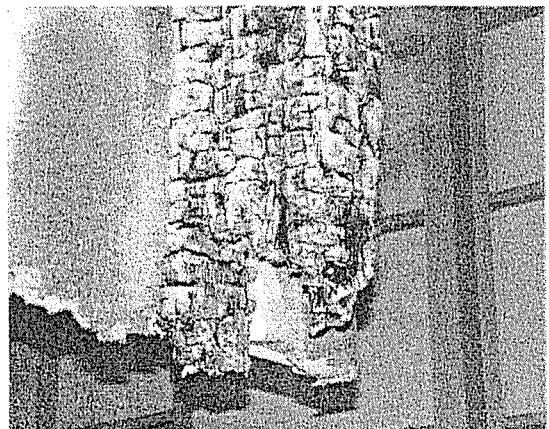
梁写真6-13 記号B-6 梁の炭化状況



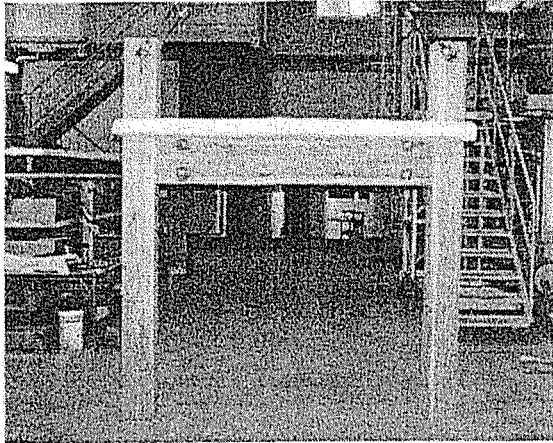
梁写真6-14 記号B-6 梁の燃烧状況



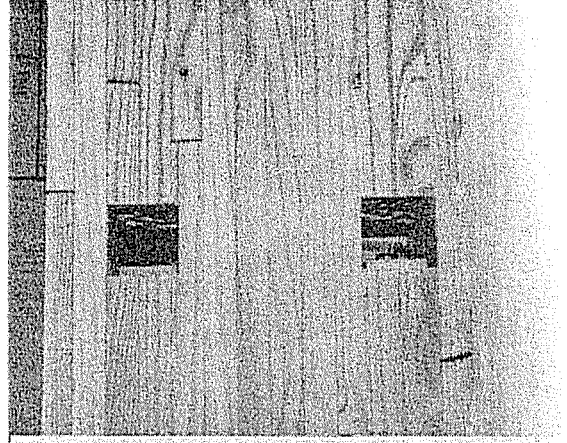
梁写真6-15 記号B-6 梁の炭化状況



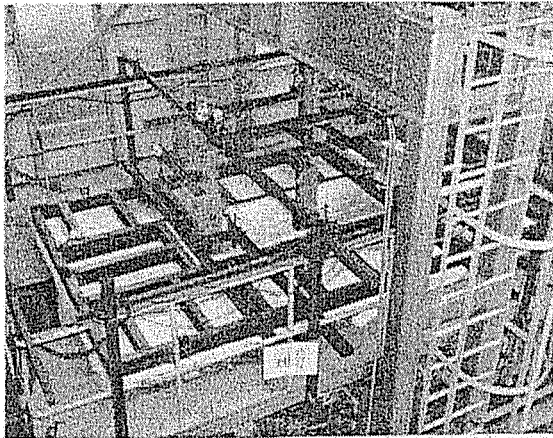
梁写真6-16 記号B-6 梁の破壊部



接合写真1-1 記号GJ-1 集成材門型姿図



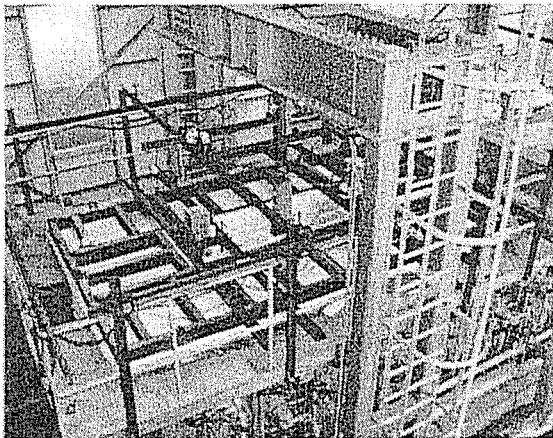
接合写真1-2 記号GJ-1 梁側ボルト留め、埋木



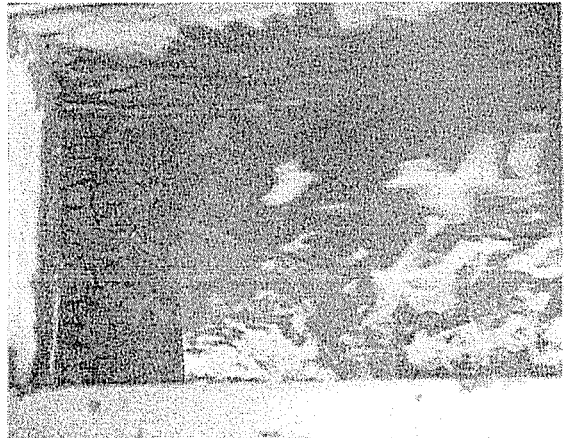
接合写真1-3 記号GJ-1 60分経過



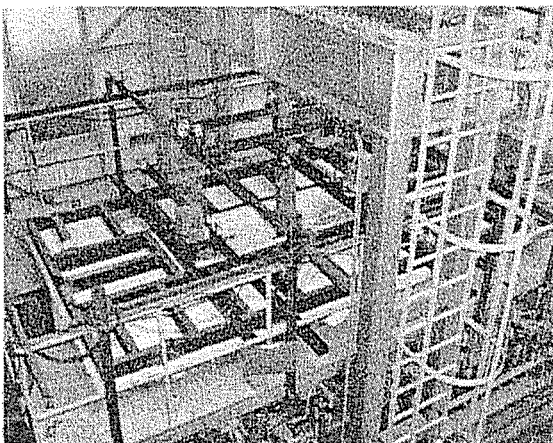
接合写真1-4 記号GJ-1 60分経過時の炉内



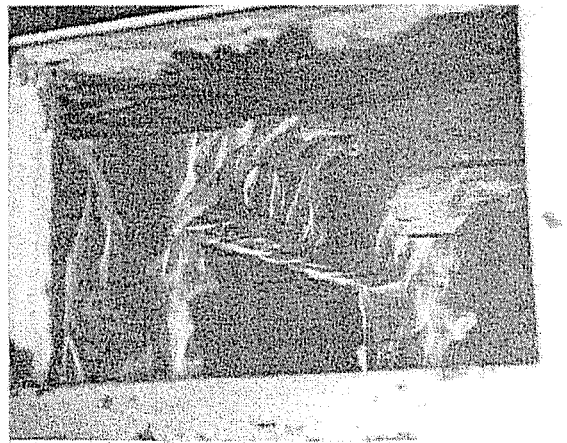
接合写真1-5 記号GJ-1 70分経過



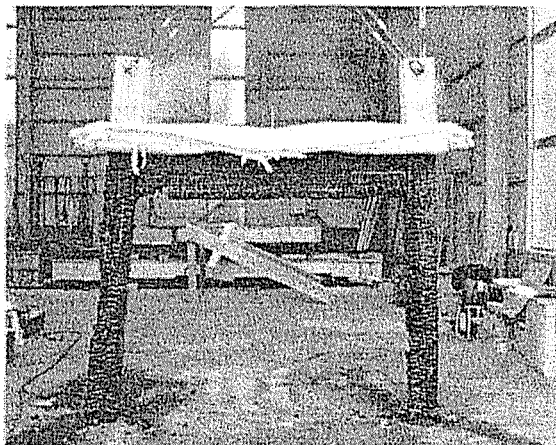
接合写真1-6 記号GJ-1 70分経過時の炉内



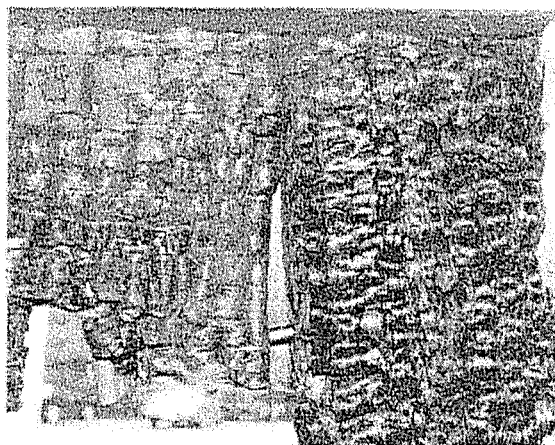
接合写真1-7 記号GJ-1 80分経過(終了時)



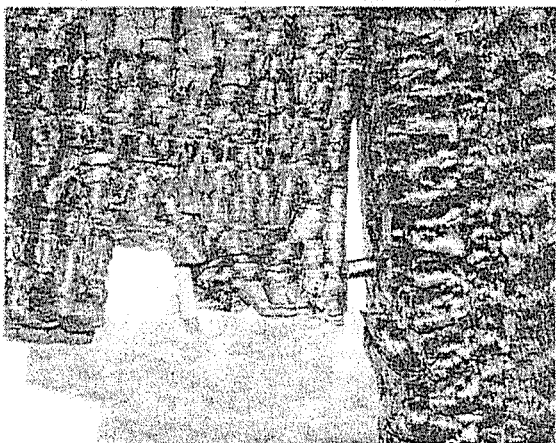
接合写真1-8 記号GJ-1 80分終了時の炉内



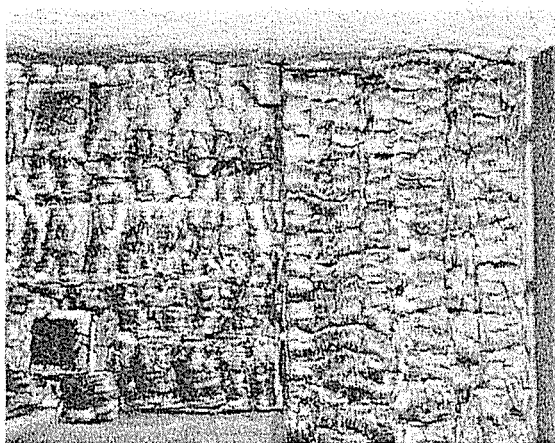
接合写真1-9 記号GJ-1 終了後、姿図



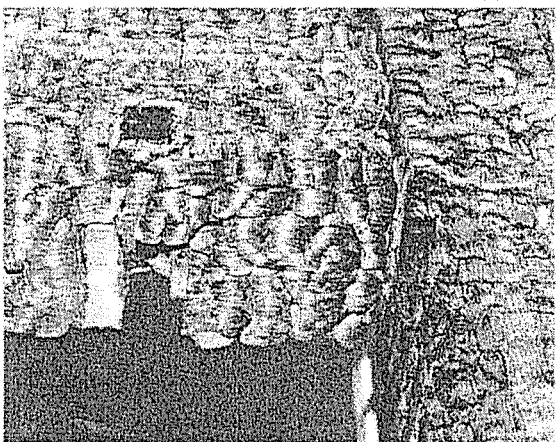
接合写真1-10 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況



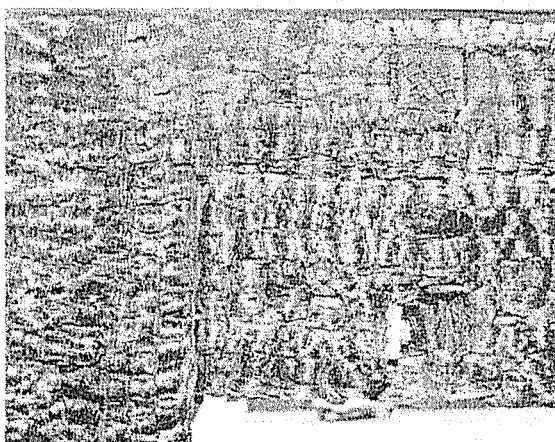
接合写真1-11 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況



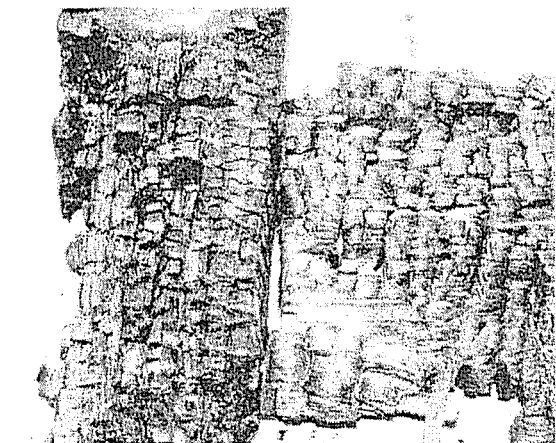
接合写真1-12 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況



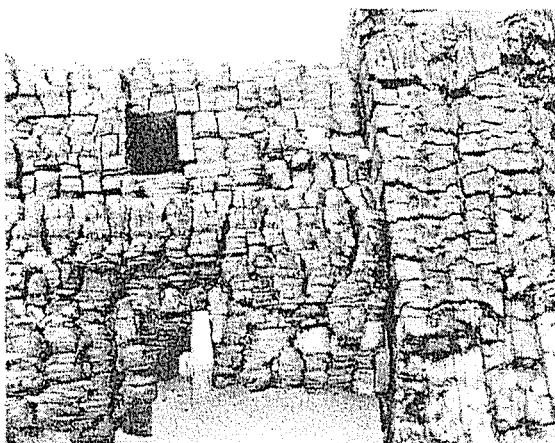
接合写真1-13 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況



接合写真1-14 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況



接合写真1-15 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況

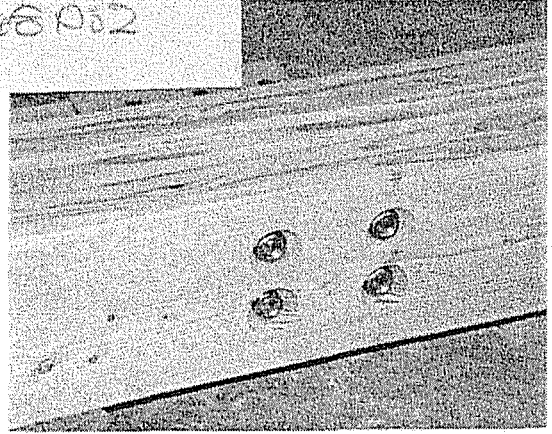


接合写真1-16 記号GJ-1 柱・梁接合部の状況

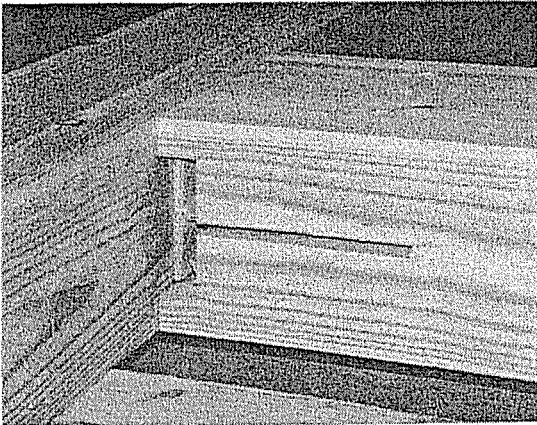


接合写真2-1 記号GJ-2 T型金物

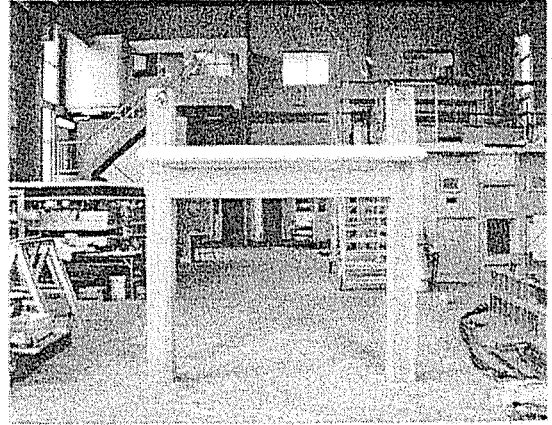
完成002



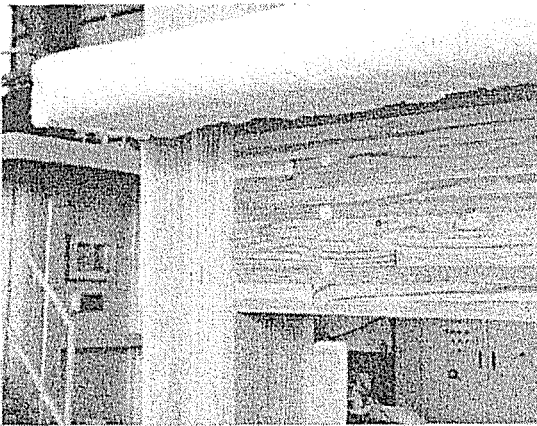
接合写真2-2 記号GJ-2 柱裏面、ボルト留め



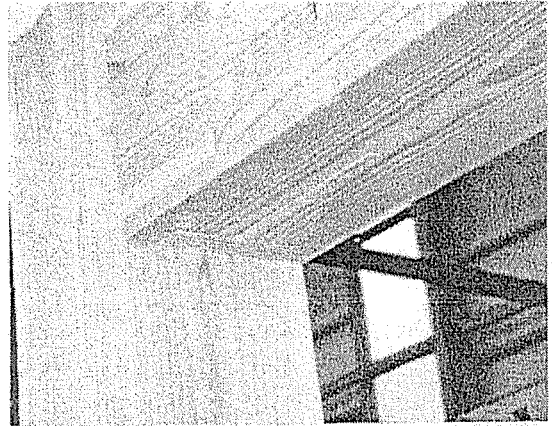
接合写真2-3 記号GJ-2 梁下端、T金物



接合写真2-4 記号GJ-2 門型試験体姿図



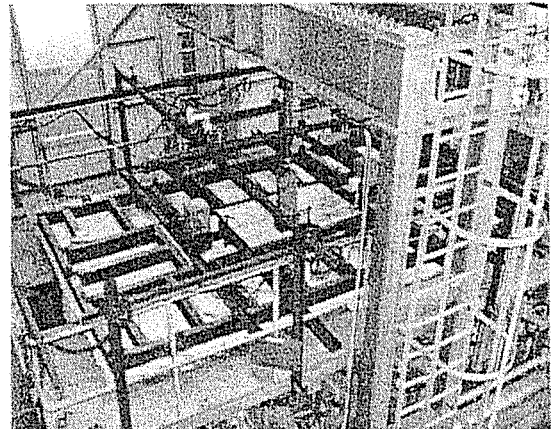
接合写真2-5 記号GJ-2 柱・梁接合部、埋木



接合写真2-6 記号GJ-2 柱・梁接合部、埋木



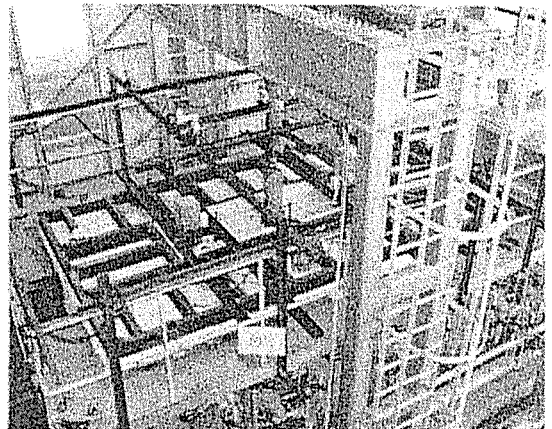
接合写真2-7 記号GJ-2 柱・梁接合部、埋木



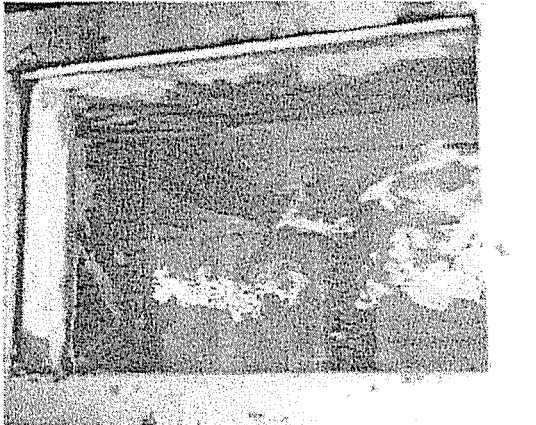
接合写真2-8 記号GJ-2 載荷加熱試験開始



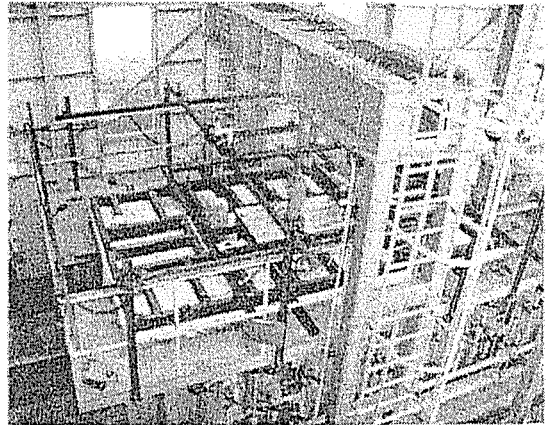
接合写真2-9 記号GJ-2 開始60分時炉内状況



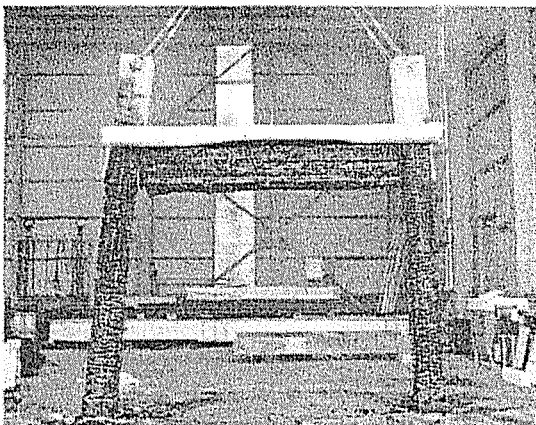
接合写真2-10 記号GJ-2 開始60分、上面



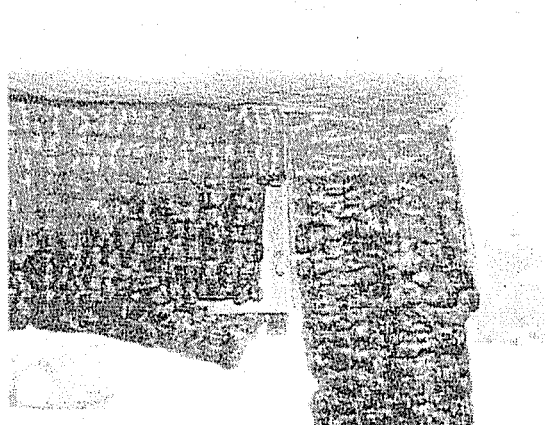
接合写真2-11 記号GJ-2 開始80分時炉内状況



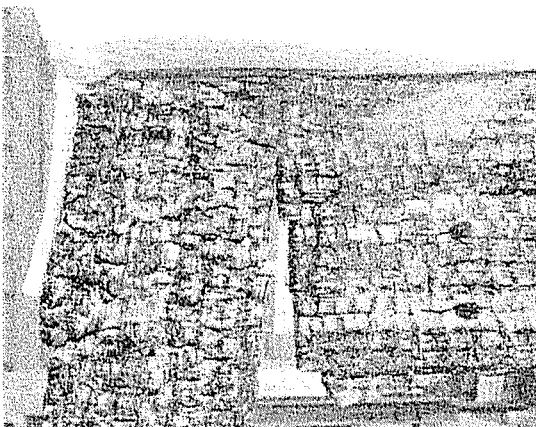
接合写真2-12 記号GJ-2 開始80分、上面



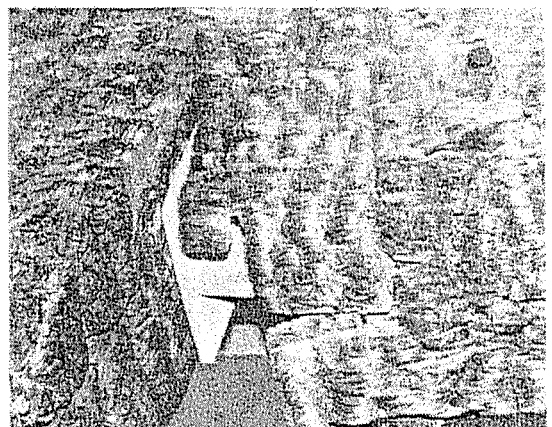
接合写真2-13 記号GJ-2 終了後、姿図



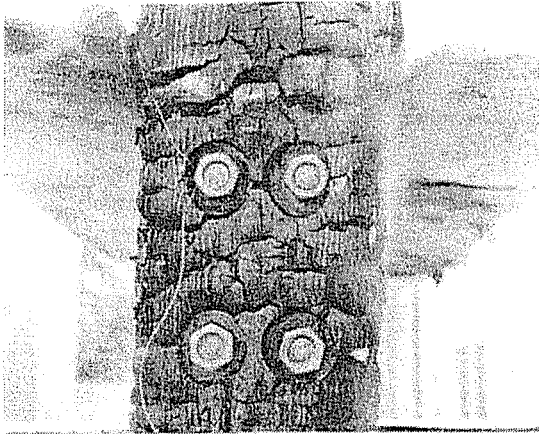
接合写真2-14 記号GJ-2 接合部の燃烧状況



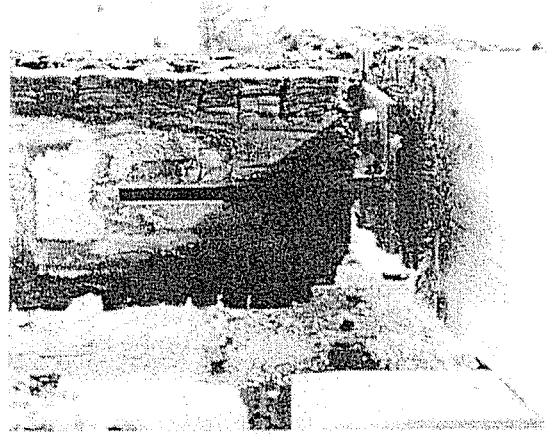
接合写真2-15 記号GJ-2 接合部の燃烧状況



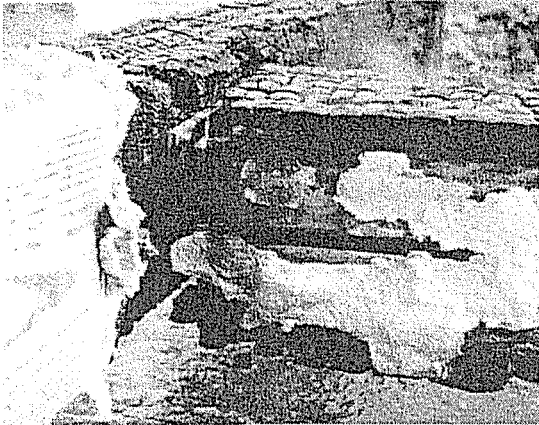
接合写真2-16 記号GJ-2 接合部の燃烧状況



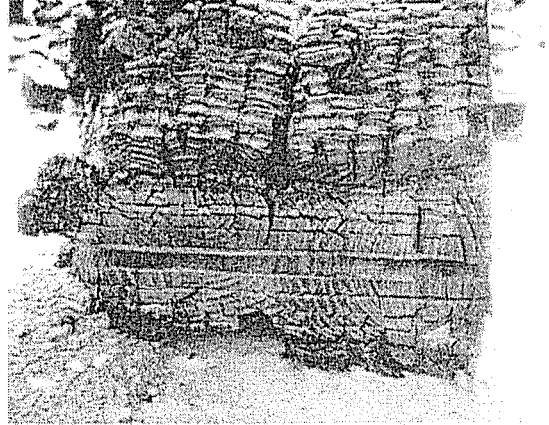
接合写真2-17 記号GJ-2 柱側接合部の燃焼状況



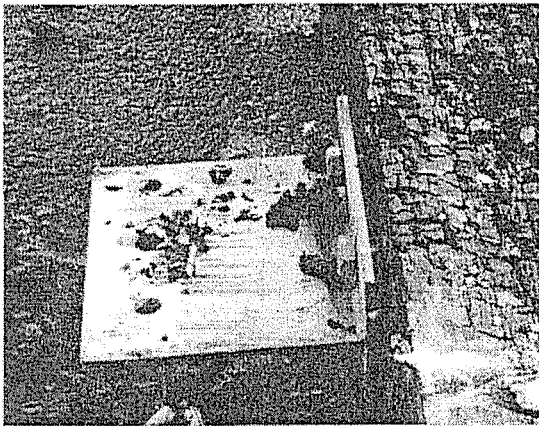
接合写真2-18 記号GJ-2 接合部の上面の燃焼状況



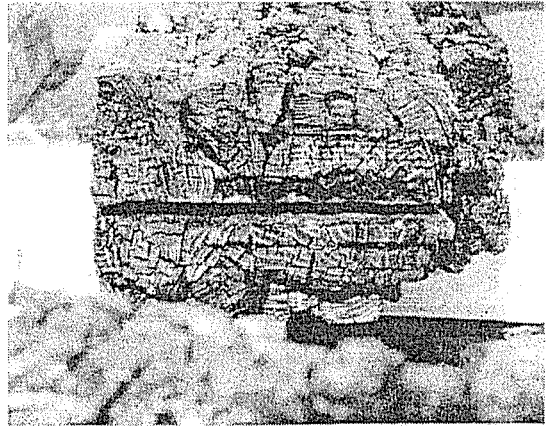
接合写真2-19 記号GJ-2 接合部の上面の燃焼状況



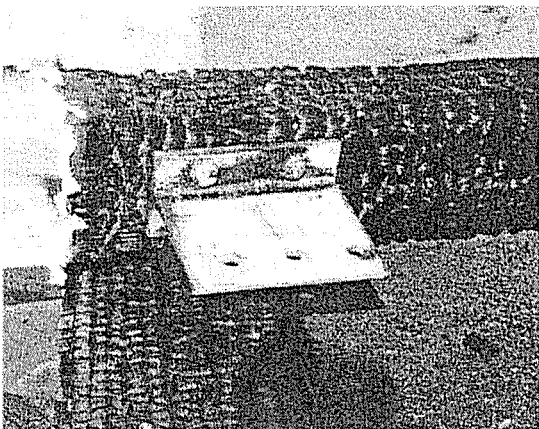
接合写真2-20 記号GJ-2 接合部、梁面の燃焼状況



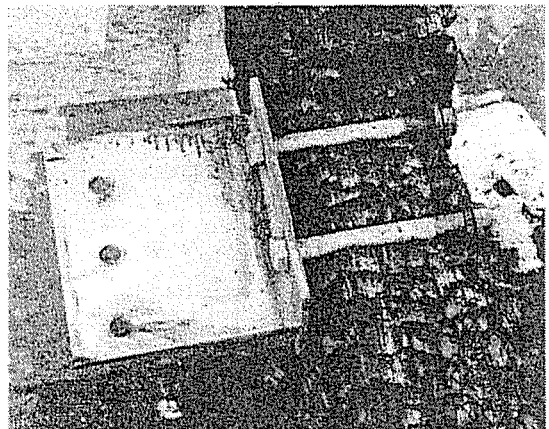
接合写真2-21 記号GJ-2 T金物接合部の燃焼状況



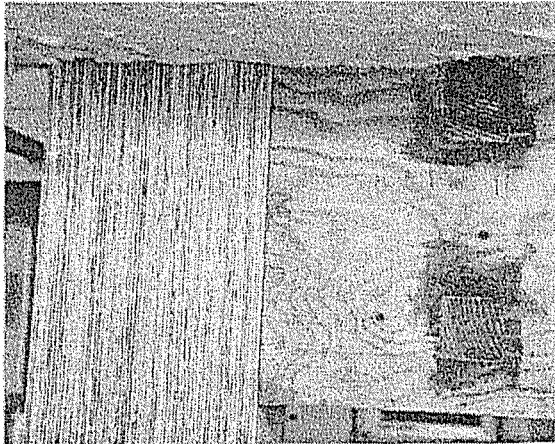
接合写真2-22 記号GJ-2 接合部、梁面の燃焼状況



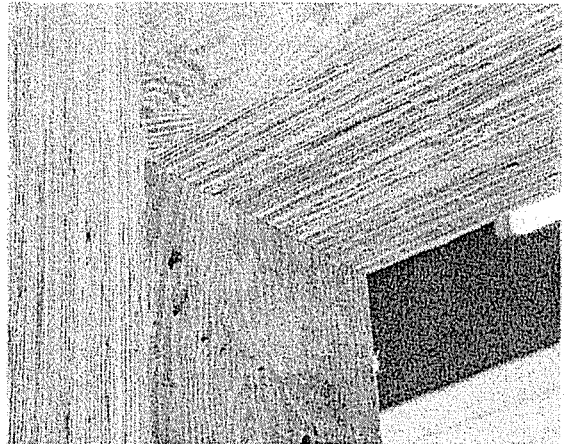
接合写真2-23 記号GJ-2 T金物接合部の燃焼状況



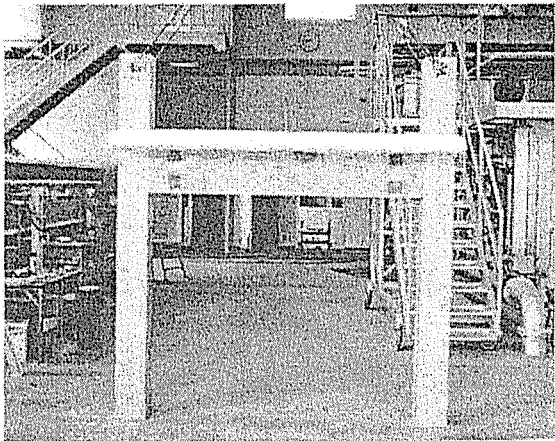
接合写真2-24 記号GJ-2 T金物接合部の燃焼状況



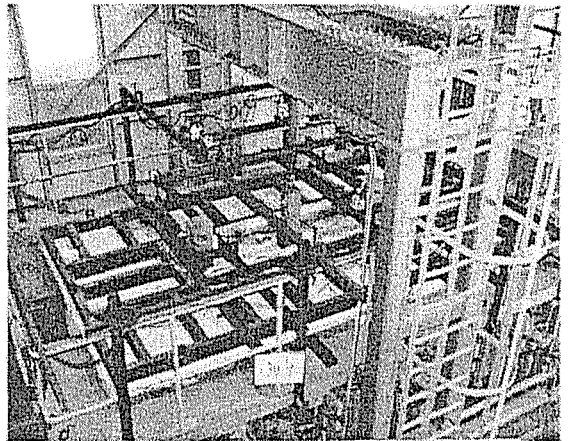
接合写真3-1 記号LJ-1 LVL シアプレート



接合写真3-2 記号LJ-1 柱・梁接合部



接合写真3-3 記号LJ-1 試験体姿図



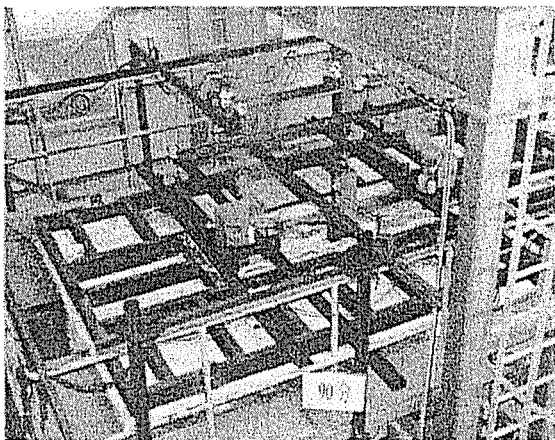
接合写真3-4 記号LJ-1 開始30分時



接合写真3-5 記号LJ-1 開始30分時の炉内



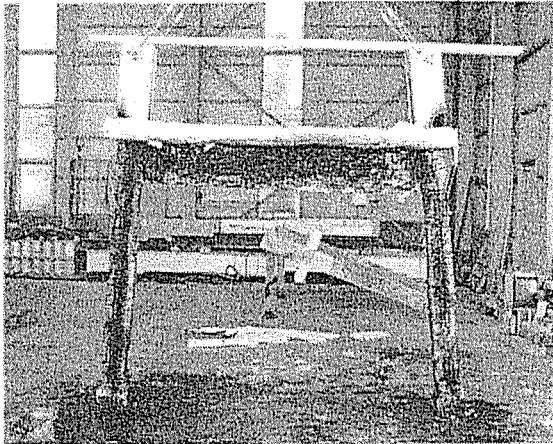
接合写真3-6 開始60分時炉内状況



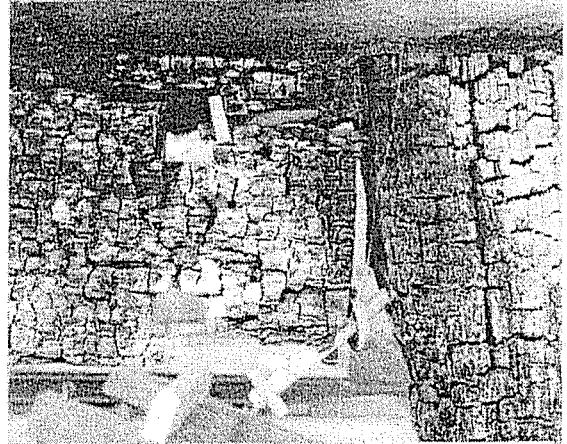
接合写真3-7 記号LJ-1 開始90分、終了時



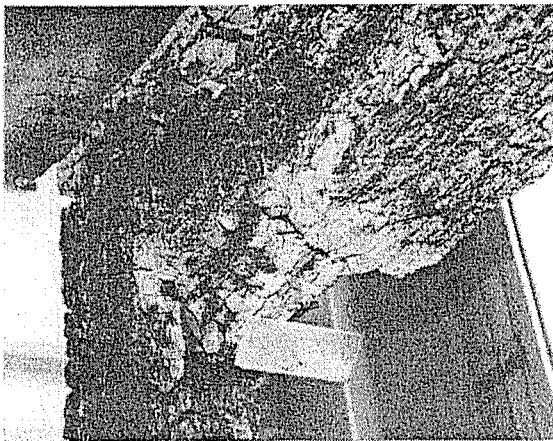
接合写真3-8 記号LJ-1 90分加熱終了時



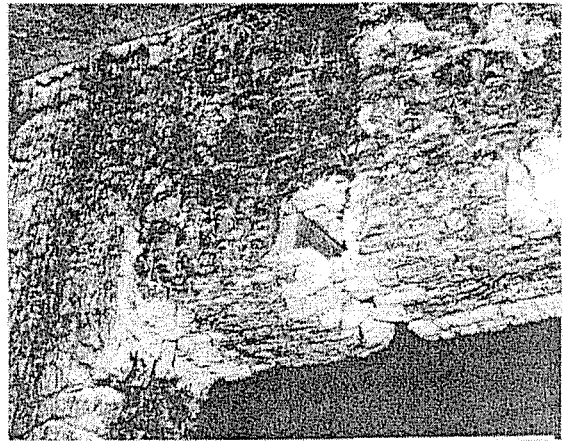
接合写真3-9 記号LJ-1 終了後、姿図



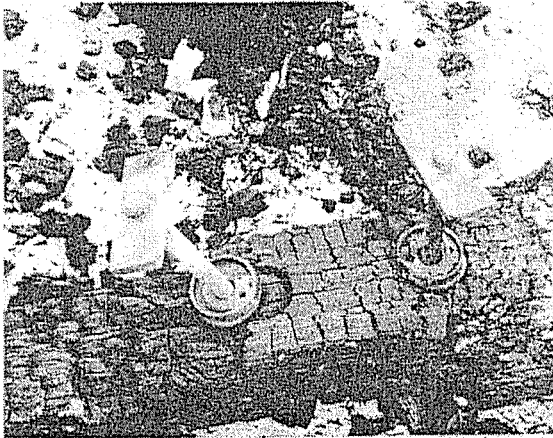
接合写真3-10 記号LJ-1 接合部の燃焼状況



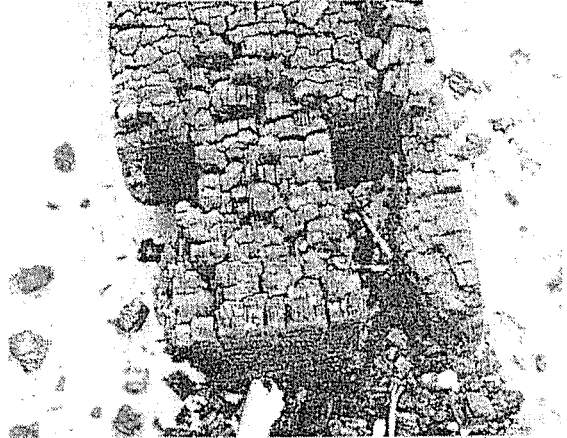
接合写真3-11 記号LJ-1 接合部の燃焼状況



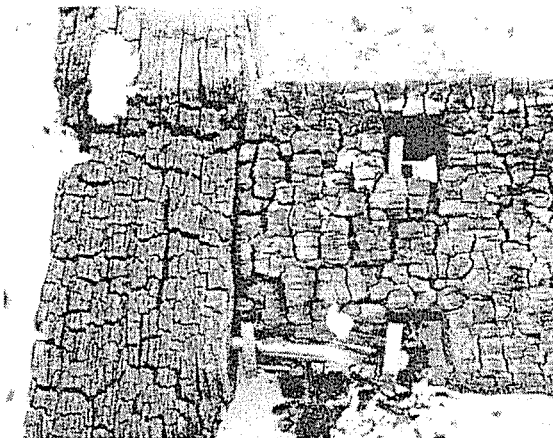
接合写真3-12 記号LJ-1 接合部の燃焼状況



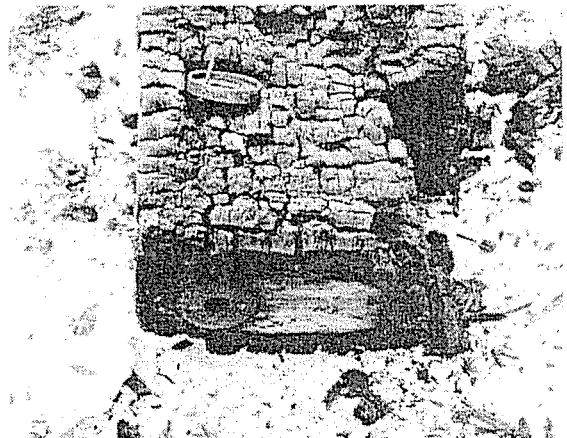
接合写真3-13 記号LJ-1 柱・は裏面側の燃焼



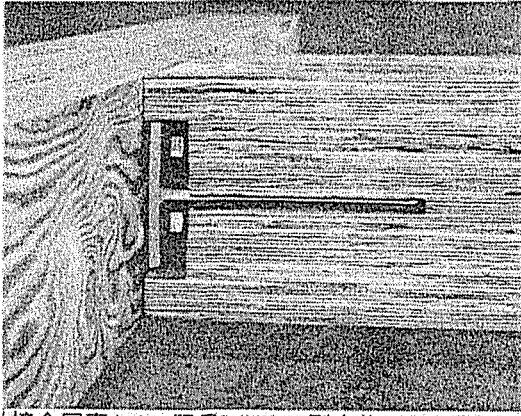
接合写真3-14 記号LJ-1 梁接合金物の燃焼状況



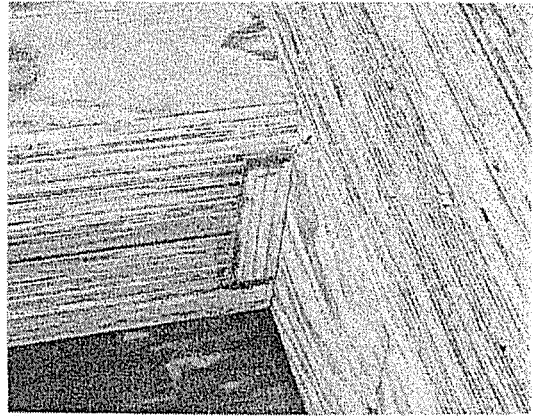
接合写真3-15 記号LJ-1 接合部の燃焼状況



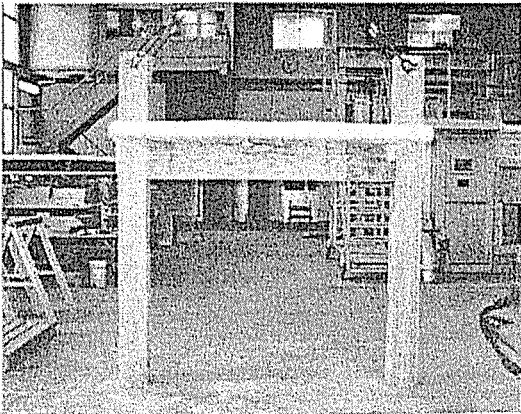
接合写真3-16 記号LJ-1 梁・柱面の燃焼状況



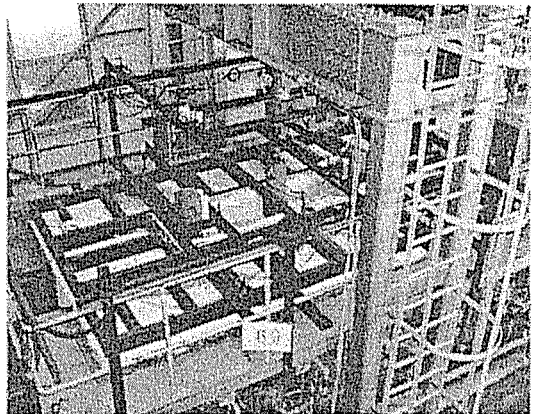
接合写真4-1 記号LJ-2 T型金物



接合写真4-2 記号LJ-2 梁下面、埋木



接合写真4-3 記号LJ-2 門型試験体姿図



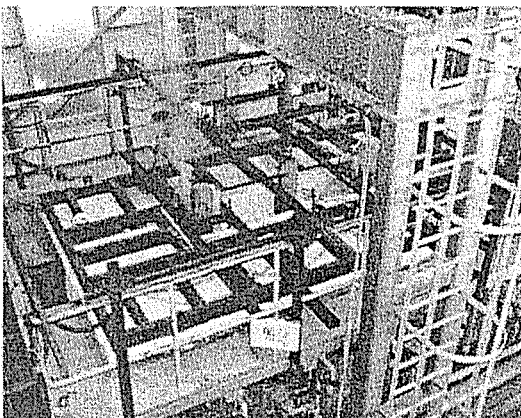
接合写真4-4 記号LJ-2 開始45分時



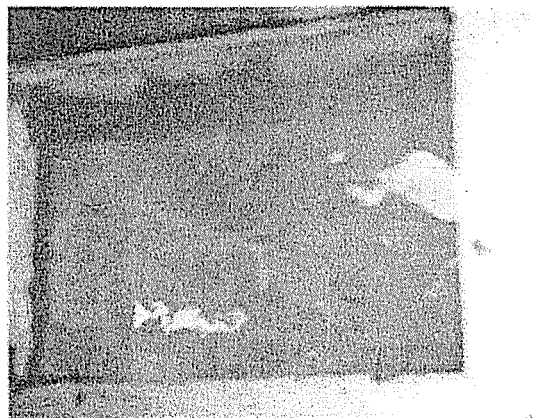
接合写真4-5 記号LJ-2 開始45分経過、炉内状況



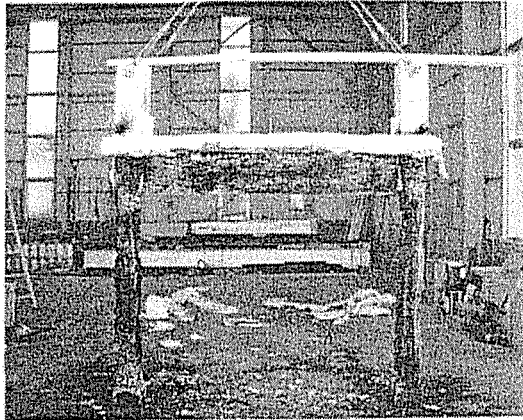
接合写真4-6 記号LJ-2 開始75分経過、炉内状況



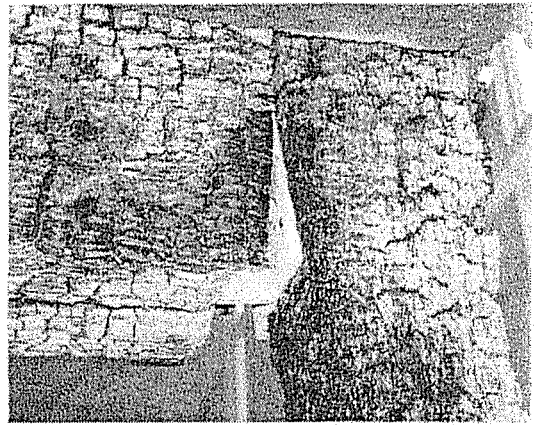
接合写真4-7 記号LJ-2 90分終了時



接合写真4-8 記号LJ-2 90分終了時の炉内状況



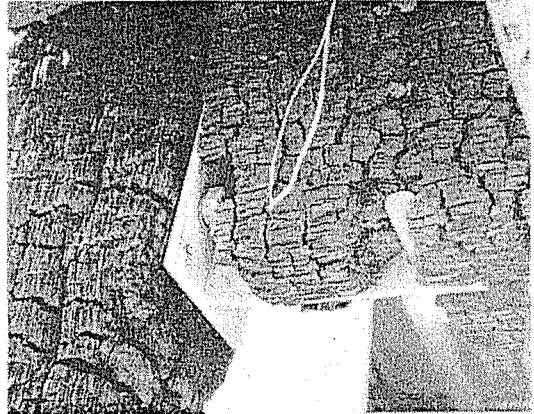
接合写真4-9 記号LJ-2 終了後、姿図



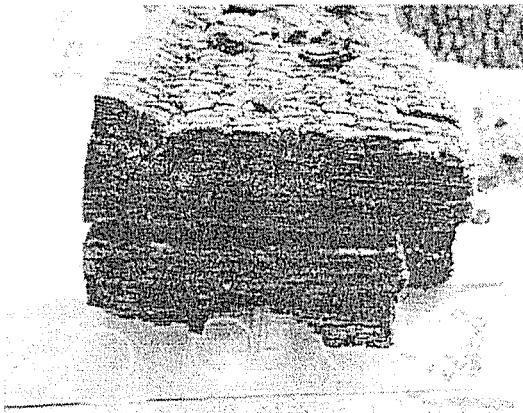
接合写真4-10 記号LJ-2 接合部の燃烧状況



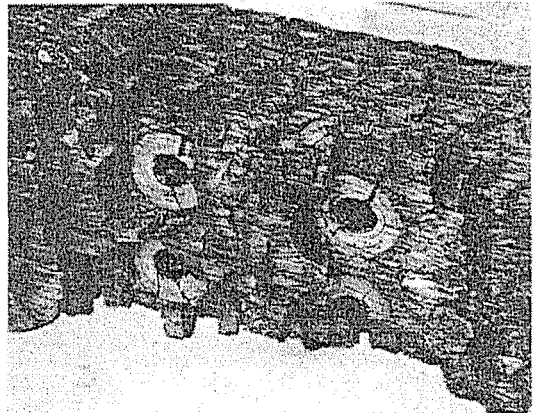
接合写真4-11 記号LJ-2 接合部の燃烧状況



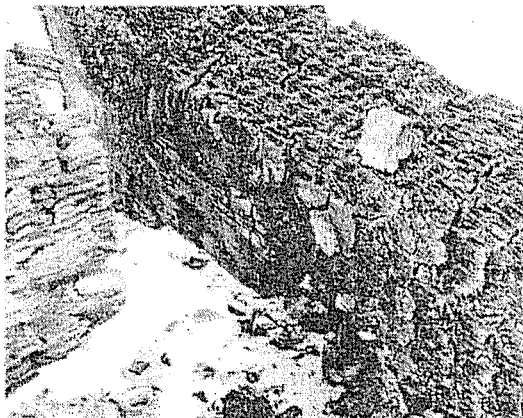
接合写真4-12 記号LJ-2 接合部下端の燃烧状況



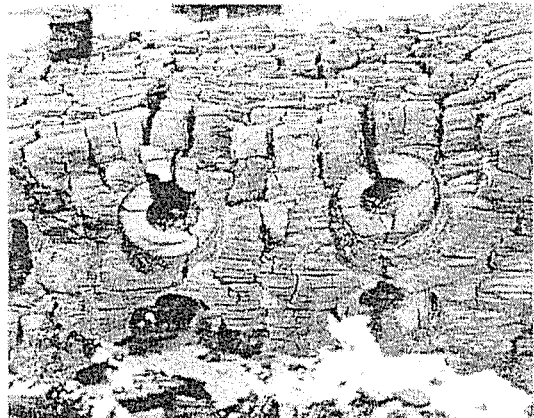
接合写真4-13 記号LJ-2 梁端部の燃烧状況



接合写真4-14 記号LJ-2 柱面の燃烧状況



接合写真4-15 記号LJ-2 柱・梁の燃烧状況



接合写真4-16 記号LJ-2 柱面の燃烧状況