

平成28年度 林野庁委託事業

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業（木質耐火部材開発）

「鋼構造オフィスビル床のCLT化」（木質耐火部材開発）

研究成果報告書

平成29年3月

山佐木材株式会社

もくじ

| | 頁 |
|--|----|
| 第1章 はじめに…………… | 1 |
| 1-1. 事業の背景……………(1) | |
| 1-2. 事業の目的……………(1) | |
| 1-3. 今年度の研究対象項目……………(2) | |
| 1-4. 検討体制……………(3) | |
| 1-4-1. 委員会構成……………(4) | |
| 第2章 床貫通孔耐火被覆及び床取り合い部の耐火性能 …… | 5 |
| 2-1. 試験の内容……………(5) | |
| 2-1-1. 床貫通孔耐火被覆の耐火性能確認……………(5) | |
| 2-1-2. 他構造床取り合い部分の耐火性能確認……………(5) | |
| 2-2. 試験体、試験体図……………(5) | |
| 2-3. 試験方法……………(7) | |
| 2-4. 結果と考察……………(7) | |
| 〔参照〕 第 2 章 試験報告書(写)……………(10) | |
| 第3章 パイプシャフト用矩形床開口部の性能 …… | 35 |
| 3-1. 鋼管柱貫通部耐火被覆の耐火性能……………(35) | |
| 3-1-1. 試験の内容……………(35) | |
| 3-1-2. 試験体、試験体図……………(35) | |
| 3-1-3. 試験方法……………(35) | |
| 3-1-4. 結果と考察……………(36) | |
| 〔参照〕 第 3 章 試験報告書(写)……………(38) | |
| 3-2. 実大床構面のせん断性能及び大地震時の耐火被覆の損傷状況の確認……………(66) | |
| 3-2-1. 実験概要……………(66) | |
| 3-2-2. 実験経過……………(67) | |
| 3-2-3. 試験結果……………(70) | |
| 3-2-4. 特性値一覧……………(85) | |
| 3-2-5. まとめ……………(89) | |

| | |
|------------------------------------|-------|
| 第4章 鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能 | 90 |
| 4-1. 試験の内容 | (90) |
| 4-2. 試験体、試験体図 | (90) |
| 4-3. 試験方法 | (91) |
| 4-4. 結果と考察 | (91) |
| 〔参照〕 第4章 試験報告書(写) | (94) |
| 第5章 CLT床パネルの設計資料 | 137 |
| 資料1. CLT床パネルの設計 | (138) |
| 資料2. 材料強度等の計算 | (159) |
| 資料3. CLT床スラブのせん断剛性評価と剛床仮定成立に関する検討 | (167) |
| 資料4. スタッドを介した鉄骨梁とCLTパネルの接合に関する要素実験 | (171) |
| 資料5. 5階建て、10階建て、20階建てモデルの検討 | (188) |
| 第6章 まとめ | 196 |
| 委員会議事録 | 197 |

第1章 はじめに

1-1. 事業の背景

近年、中大規模建築（集合住宅、オフィス等）の木質化が注目を集めている。海外からは、ここ数年、大規模な木質構造の住宅等の建設が伝えられているが、その多くは、クロス・ラミネイテッド・ティンバー（直交集成板、以下 CLT）等を使用した、壁式構造の建物が中心である。

このような状況に至った背景としては、地球温暖化対策の観点から植林することにより再生可能という点でエコマテリアルである木質材料を、再評価しようという機運が盛り上がっていること、および我が国の事情で言えば、戦後植林された木材が資源として利用可能な時期を迎える一方、木材価格の下落等の影響により森林の手入れが十分に行き届かず、国土保全などの観点から森林の多面的機能の低下が懸念されることが上げられよう。

また、最近の熟練技能者の不足に起因する人件費の高騰を受けて、プレファブ化の容易な木材が、建設業の労働集約型産業からの脱却の切り札として、再評価されようとしていることもその要因として上げられる。

1-2. 事業の目的

我が国の木質構造建築物の新築着工床面積は、総着工床面積の約 35%を占めるが、その多くは低層の戸建住宅であり、今日の少子化の状況などを考えると、今後戸建て住宅の需要が増加することは見込めない。この先の国産材の利用促進を図っていくためには、今まで木材を積極的に利用してこなかった非住宅（特に中高層オフィスビル）での構造体に木材の使用を進めていく必要がある。

非住宅分野での木材利用を考える場合、前節でも述べた CLT の活用が上げられる。CLT には、従来の木質材料に比べ、以下のようなメリットがある。

- ①建物の軽量化： 耐震性の確保を考える場合、建物の軽量化は極めて有効な方法の一つである。オフィスビルについての試算によれば、地上部の床を全て木質化することにより、約 2 割の建物重量の削減となる。
- ②施工性の改善： 木床システムの大きな利点の一つは、施工性の改善・工期の短縮である。配筋・コンクリート打設が不要であり、基本的にプレファブリケーションにより、工事を進めることができる。
- ③建築計画上の自由度の拡大： 超高層オフィスビル等では、従来より上下隣接する 2 層のフロアを階段で繋ぎたい等のテナントニーズが潜在的に存在したが、床がコンクリートでは、そのような要求に対し応えることは殆ど不可能であった。あるいは、住宅においても、一部の床を取り払い 2 層に渡るメゾネット住宅に改装するなど、床を木造とすることによる、建築計画上の自由度の拡大は、大きなメリットと思われる。
- ④直交集成板としての構造上のメリット： 直交集成板であり、剛性・強度が X Y 2 方向

ともに有効に働くことから、剛床の確保、開口が生じた場合の補強の容易性など、様々な構造上のメリットがある。

このような、CLT の持つ優位点を明らかにし、実際の建物の建設に結びつけることが、本事業の目的である。

1-3. 今年度の研究対象項目

本事業の前年度までの取り組み内容としては、CLT 本体および鉄骨との接合部等について、建築構造および耐火上の観点から、基本的事項について検討を行い、実際のプロジェクトへの応用を可能にすることであった。しかし実際には、個別の実施プロジェクトで見ると、それぞれに課題は異なり、さらに詳細な検討が必要な部分がある。

具体的には、

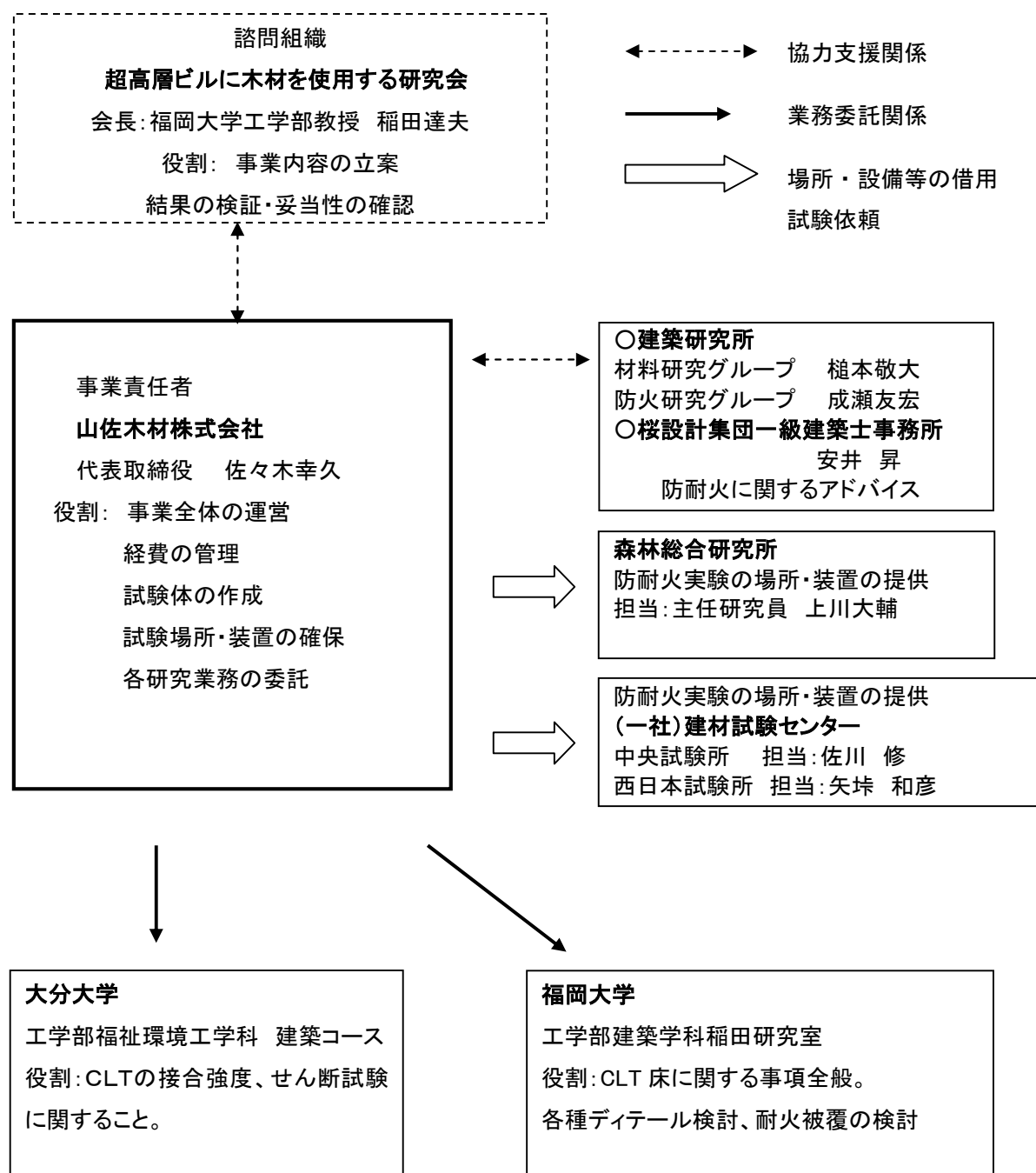
- ①前年度までは2時間耐火を前提に検討を進めて来たが、上層部については1時間耐火で良い部分もある。特に、CLT と接触する鉄骨部分の1時間耐火被覆仕様については、建設コスト削減の観点からも検討が必要である。
- ②外装材（スパンドレル）等との取り合い、RC床とCLT床との取り合い等についても、耐火被覆仕様の検討は重要である。
- ③CLT床を配管等が貫通する場合の耐火被覆仕様をどうするか、検討が必要である。
- ④4月に施行されたCLT関連告示の内容を踏まえ、剛床の成立を初めとする、構造に関する検討、見直しを行うことは重要である。

以上を踏まえ、検討を進めて来たが、ここに一通りの実験・解析等も終了し検討結果もまとまったので、今年度の研究成果として報告する。

1-4. 検討体制

事務進行管理を山佐木材(株)、試験内容、方法等においては福岡大学工学部稲田達夫教授(兼 超高層ビルに木材を使用する研究会会長)にご指導をいただき、試験の実施にあたっては、福岡大学、大分大学、建材試験センター、森林総合研究所、桜設計集団一級建築士事務所のご協力をいただいた。

具体的な事業の実施体制は以下の通り。



1-4-1. 委員会構成

都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業(木質耐火部材開発)

委員名簿

| | 氏名 | 所属 |
|------|-------|-------------------------------|
| 委員長 | 稲田 達夫 | 福岡大学 工学部建築学科 教授 |
| 委員 | 倉富 洋 | 福岡大学 工学部建築学科 助教 |
| | 田中 圭 | 大分大学 工学部 木質構造研究室 准教授 |
| | 槌本 敬大 | 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員 |
| | 成瀬 友宏 | 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員 |
| | 安井 昇 | 桜設計集団一級建築士事務所 代表 |
| | 上川 大輔 | 森林総合研究所 木材改質研究領域木材保存研究室 主任研究員 |
| | 矢埜 和彦 | 建材試験センター 西日本試験所 試験課 主幹 |
| | 佐川 修 | 建材試験センター 中央試験所 防耐火グループ 主幹 |
| 事業主体 | 佐々木幸久 | 山佐木材株式会社 代表取締役 |
| | 塩崎 征男 | 山佐木材株式会社 技術本部長 |
| | 村田 忠 | 山佐木材株式会社 CLT 部長 |
| | 佐々木真理 | 山佐木材株式会社 総務課長 |
| | 桐野 昭寛 | 山佐木材株式会社 品質管理室 室長補佐 |

第2章 床貫通孔耐火被覆及び床取合部の耐火性能

2-1. 試験の内容

2-1-1. 床貫通孔耐火被覆の耐火性能確認

平屋の建築物以外においては、床を貫通して上下階を結ぶ設備配管が配置される。耐火性能を要求される建築物において、設備配管はもちろんであるが貫通する床・壁の孔部分の耐火性能も必要となる。今回は、(株)吉野石膏が開発した石膏筒（外径 270φ）を 2 時間耐火構造認定取得済み仕様の CLT 床に配置し、床耐火試験同等の加熱を行い、その CLT との接触面や支持部分について同様、2 時間耐火性能同等の性能を保有することを確認することとした。

2-1-2. 他構造床取り合い部分の耐火性能確認

中高層・超高層を問わず、各階全てを CLT 床とする場合以外にエレベーターシャフト部分、水回部分などを RC 合成スラブ等を採用するケースが想定される。

今後、建設が予定されている松尾建設(株)本社社屋において CLT の耐火床の部分的に採用が検討されており、他の部分は鋼製デッキプレートを使った RC 合成スラブが検討されている。その界面の仕様については資料・事例等がないため、2-1 の試験体端部に本界面部分を再現し 2 時間耐火加熱試験時同等の加熱試験実施し、性能について確認を行うこととした。

2-2. 試験体、試験体図

2-1, 2-2 を 1 体とした試験体全体図と各部詳細を下図に示す。

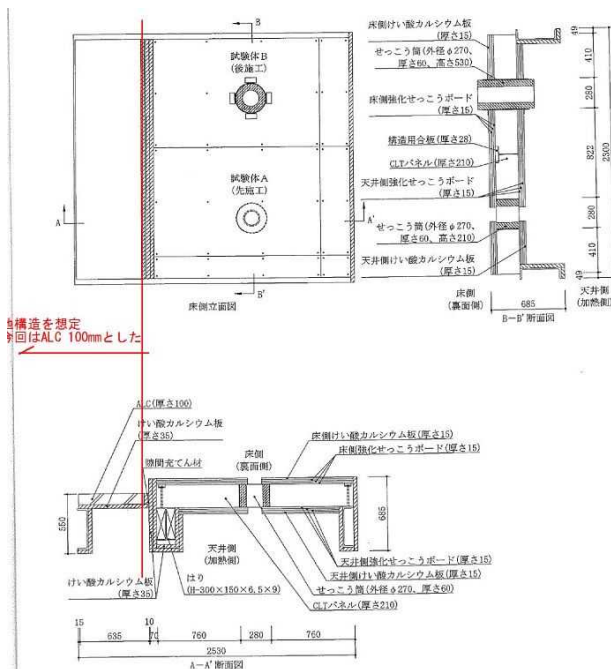


図 2-1 試験体 全体図

他構造 耐火床として
RC 合成スラブより
軽微な ALC t=100 を採用した

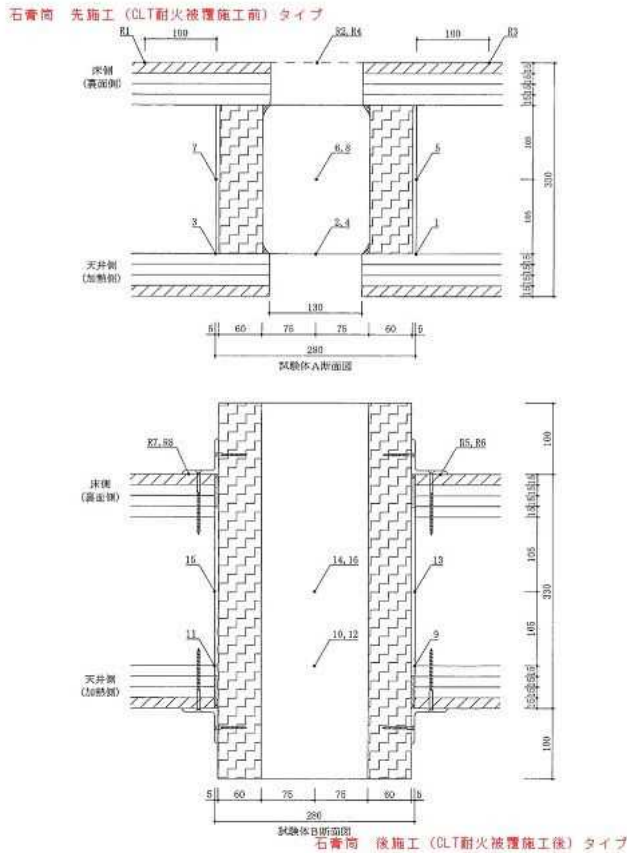


図 2-2 石膏筒 詳細

石膏筒（貫通孔）を CLT の耐火被覆
施工前タイプと施工後タイプを想定

結果として両タイプとも

OK であれば

貫通孔施工は、後施工の方が

良いとされるため 後施工タイプが
現実的と考えられる

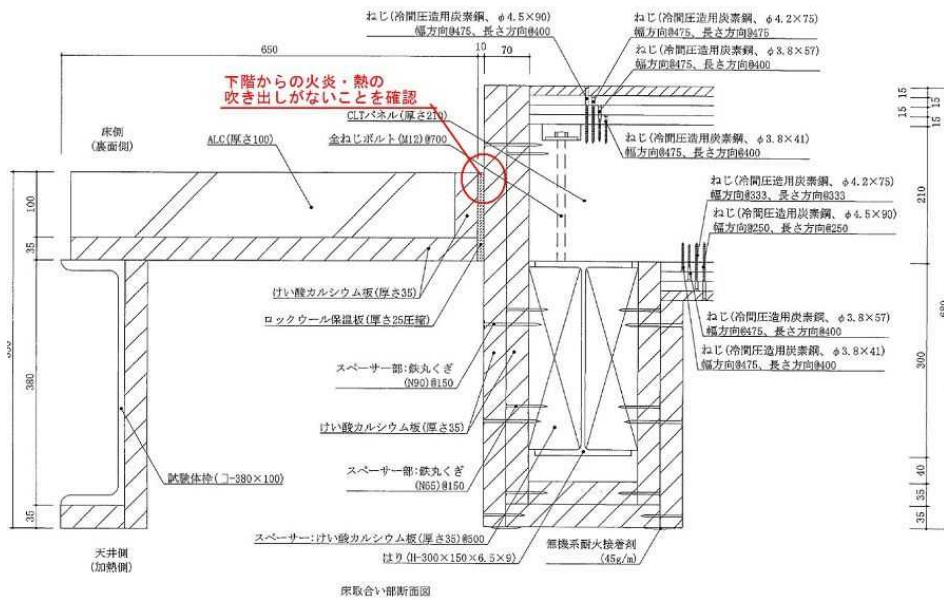


図 2-3 他構造床 界面モデル詳細

界面の隙間は、少ないほど良いが施工精度より 今回は 10mm を想定し
ロックウールを充填した。

2-3. 試験方法

試験は、(一財) 建材試験センターの業務方法書の耐火性能試験・評価方法に従い、加熱時間を 120 分とし、加熱終了後 360 分の放冷を行った後、脱炉・試験体の解体を行い、特に CLT が接触する木口面の変化を確認した。

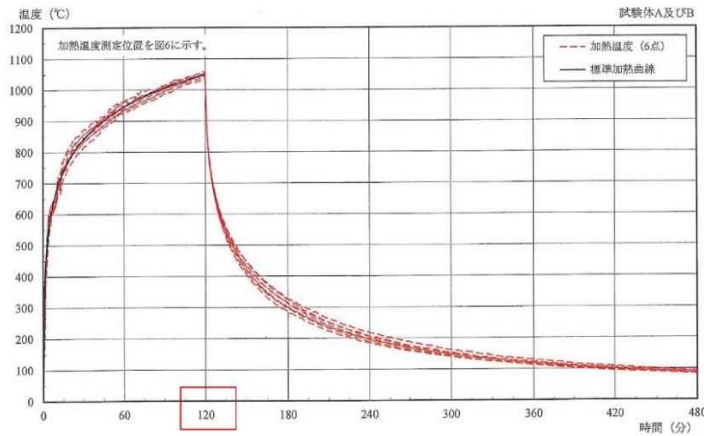


図 2-4 加熱曲線 炉内温度

2-4. 結果と考察

石膏筒の今回の仕様の取付方法では、CLT への被覆材取付前・後に関わらず 2 時間の耐火性能が確認できた。

他構造との界面に関しては、CLT 木口側の被覆を必要な耐火性能に応じたものとする事で、他構造側自体が耐火性能を有していれば界面部での下階からの火炎の吹き出しはないものと考えられる。ただ界面において隙間 0 での施工は困難なため、できるだけ小さな隙間とロックウール等の火炎を遮断できる不燃材の充填は必要となる。

加熱試験中の内部温度と 試験体状況写真を以下に示す。

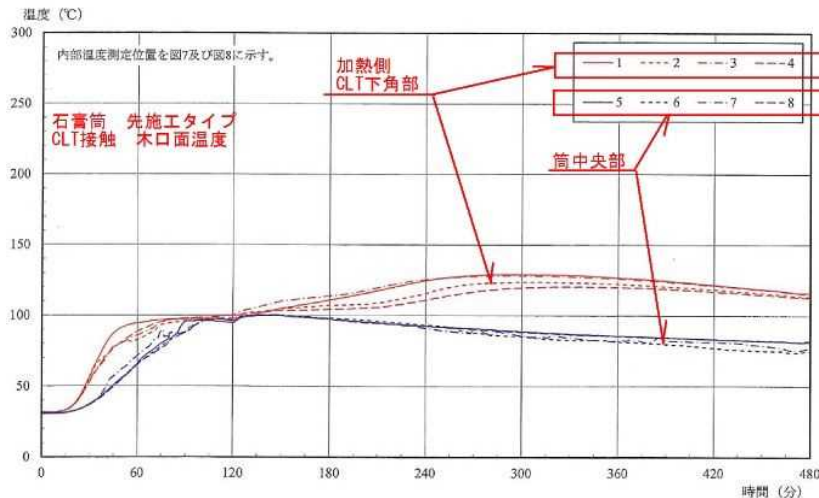


図 2-5 石膏筒先施工部 内部温度

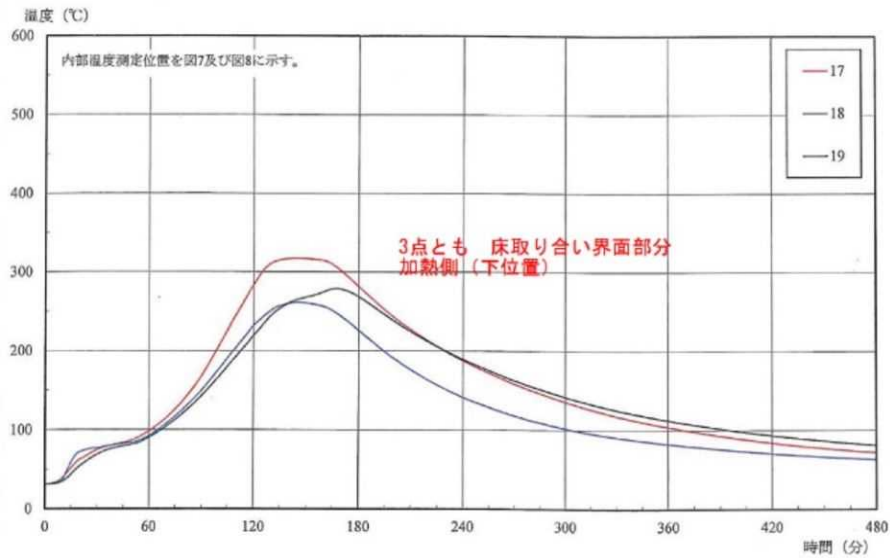


図 2-6 床取り合い部分 内部温度

石膏筒、床取り合い部分の加熱試験とも全て 非加熱側への火炎の噴出、発煙及び火炎が通る隙間、亀裂は生じなかった。

反省点としては、

- ① 床取合い部の内部温度の計測点位置 非加熱側への火炎の影響を観察するのであれば計測点を上位置にした方がより現実的である。
- ② その他構造としてより軽微な耐火床である ALC 100mm を採用し隙間を 10mm としたが RC 合成スラブの場合には、取り合い部分の隙間を 10mm では、施工管理は出来ないより実際に近い隙間を設けての充填材の検討も必要と思われる。



写真 2-1 石膏筒 加熱試験前



写真 2-2 石膏筒 加熱後



写真 2-3 先施工タイプ



写真 2-4 後施工タイプ

結果詳細は、試験報告書（写）参照

[試験名称]

直交集成板造床貫通孔耐火被覆及び床取合い部の耐火性能試験

[目次]

| | | |
|-------------------|-------|----|
| 1. 試験の内容 | ----- | 2 |
| 2. 試験体 | ----- | 2 |
| 3. 試験方法 | ----- | 12 |
| 4. 試験結果 | ----- | 17 |
| 5. 試験の期間, 担当者及び場所 | ----- | 25 |

1. 試験の内容

山佐木材株式会社から提出された直交集成板（以下、「CLT パネル」という。）に直径 280mm の貫通孔を 2 箇所開け、せっこう筒で耐火被覆を施した直交集成板造床に、軽量気泡コンクリートパネル（以下、「ALC」という。）を床版とした ALC 造床との取合い（以下、「床取合い部」という。）を再現した 2 仕様の試験体について、（一財）建材試験センターが定めた防耐火性能試験・評価業務方法書（以下、「業務方法書」という。）に従って 120 分加熱（360 分放冷）の耐火試験を行い、下記に示す項目について測定及び観察を行った。

- (1) 試験体内部温度の測定
- (2) 試験体裏面温度の測定
- (3) 試験前後の試験体の状況観察
- (4) CLT パネル貫通孔の炭化・変色状況の観察

2. 試験体

試験体は、幅 2300×長さ 2530mm の鋼製試験体枠に、幅 1100mm×長さ 1800mm×厚さ 210mm の CLT パネルを 2 枚設置させた床と、幅 600mm×長さ 2200mm×厚さ 100mm の ALC を設置させた床との取合い部を再現させた床である。CLT パネル側の試験体の天井側（加熱側）及び床側（裏面側）は、いずれも強化せっこうボード（厚さ 15mm）×3 枚下張+けい酸カルシウム板（厚さ 15mm）上張とした耐火被覆を施している。なお、ALC 側の試験体の天井側（加熱側）は、けい酸カルシウム板（厚さ 35mm）で耐火被覆を施している。

CLT パネル側の試験体には、直径 280mm の貫通孔を 2 箇所設け、それぞれ外径 270mm×厚さ 60mm のせっこう筒で耐火被覆を施している。試験に供したせっこう筒は、天井側及び床側の被覆を行う前に CLT パネル貫通孔に取り付ける“先施工”仕様（せっこう筒高さ：210mm。以下、「試験体 A」という。）と、天井側及び床側の被覆を行った後に貫通孔に取り付ける“後施工”仕様（せっこう筒高さ：530mm。以下、「試験体 B」という。）の 2 仕様である。

床取合い部は幅 10mm の隙間が設けられており、隙間部分はロックウール（以下、「隙間充てん材」という。）によって隙間を埋めている。

せっこう筒、隙間充てん材の密度及び含水率を表 1 に、試験体構成材料の密度及び含水率を表 2 に、試験体図を図 1～図 5 に、試験前の試験体の状況を写真 1～写真 6 に示す。

表1 耐火被覆材の密度及び含水率様

| 構成材料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 |
|---|-------------------------|-----------|-------------|
| せっこう筒 (厚さ 60mm) (試験体 A 及び B 共通) | 0.81 | 0.1 | 40°C, 6 日間 |
| ロックウール (隙間充てん材) | 76 ^{a)} | — | 105°C, 6 日間 |
| [備考] 密度及び含水率の値は, 依頼者から提出された試料より求めた。 | | | |
| 注 ^{a)} 単位は, “ kg/m ³ ” である。 | | | |

表2 試験体構成材料の密度及び含水率

| 構成材料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 |
|--------------------------------------|-------------------------|-----------|--------------|
| CLT パネル (厚さ 210mm) | 0.36 | 11.6 | 105°C, 11 日間 |
| 強化せっこうボード (厚さ 15mm) (CLT パネル側被覆材) | 0.79 | 0.2 | 40°C, 9 日間 |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 15mm) (CLT パネル側被覆材) | 0.40 | 2.2 | 105°C, 9 日間 |
| 構造用合板 (厚さ 28mm) (CLT パネル側目地被覆材) | 0.43 | 13.5 | 105°C, 9 日間 |
| ALC (厚さ 100mm) | — | 2.6 | 105°C, 6 日間 |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 35mm) (ALC 側被覆材) | 0.38 | 2.5 | 105°C, 9 日間 |
| [備考] 密度及び含水率の値は, 依頼者から提出された試料より求めた。 | | | |

図1 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

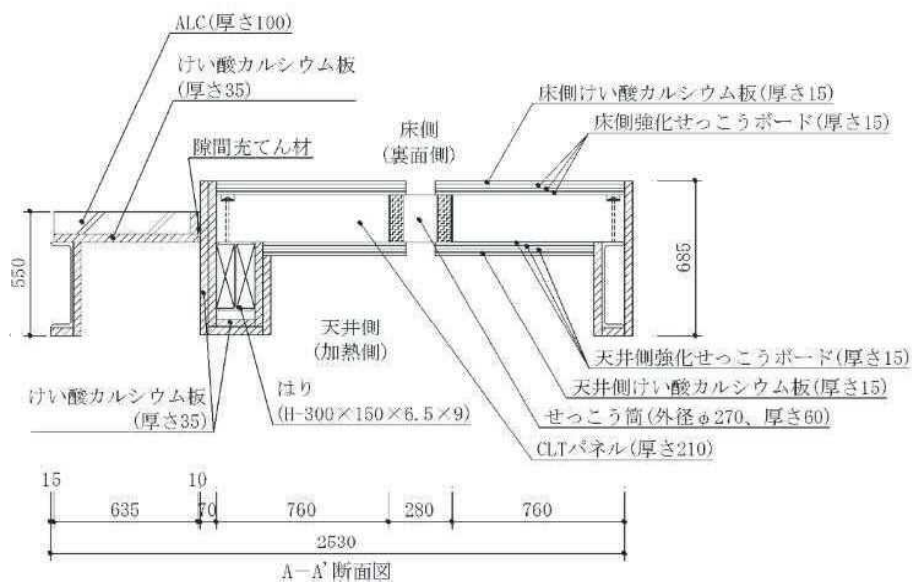
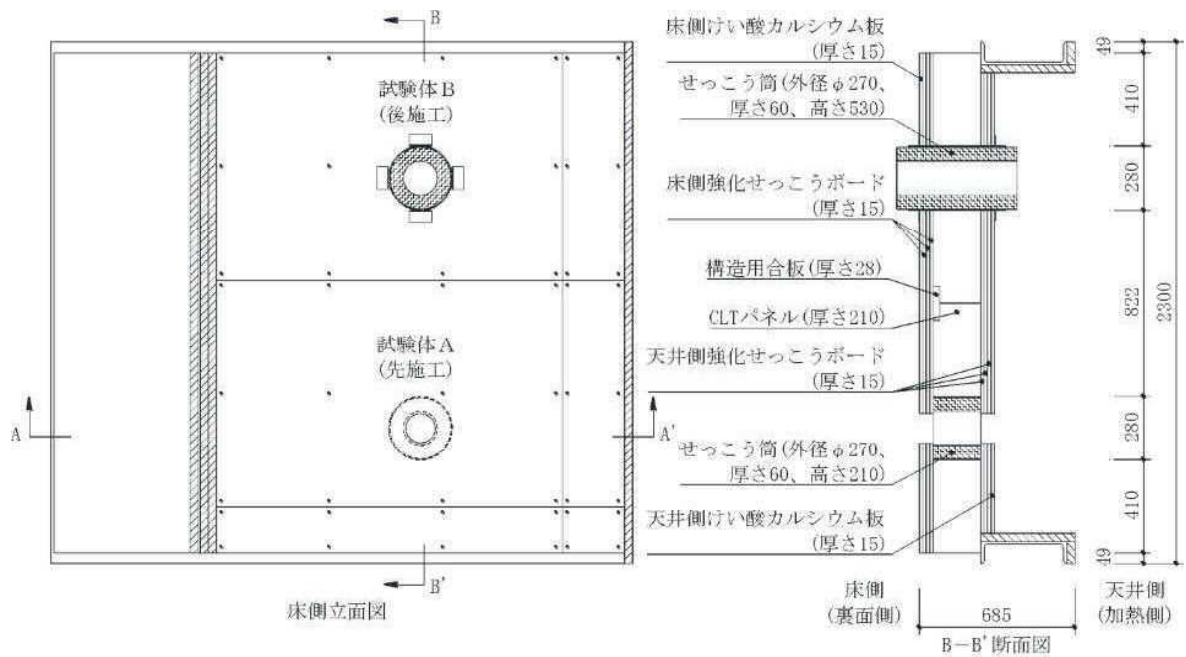


図2 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

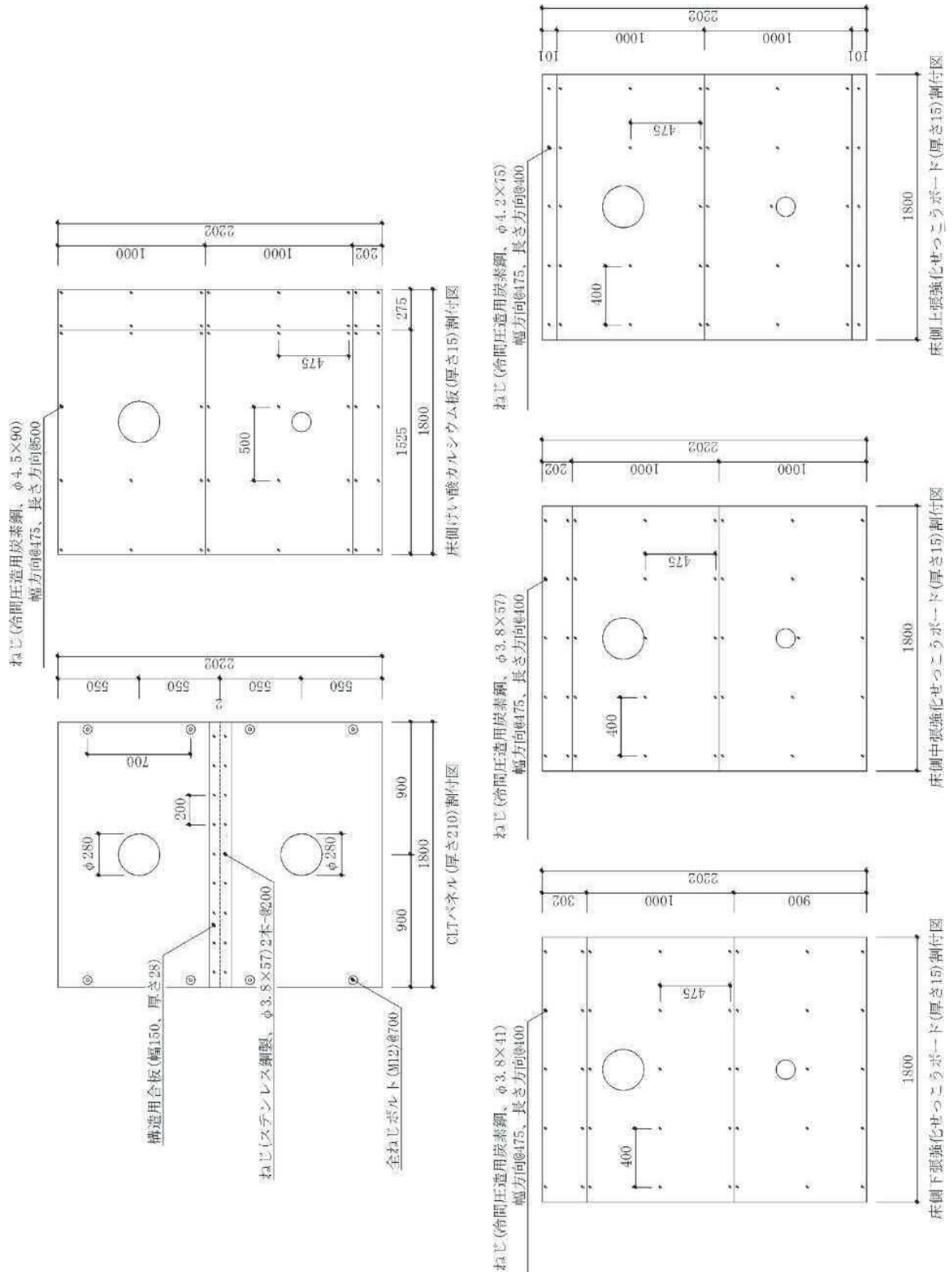


図3 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

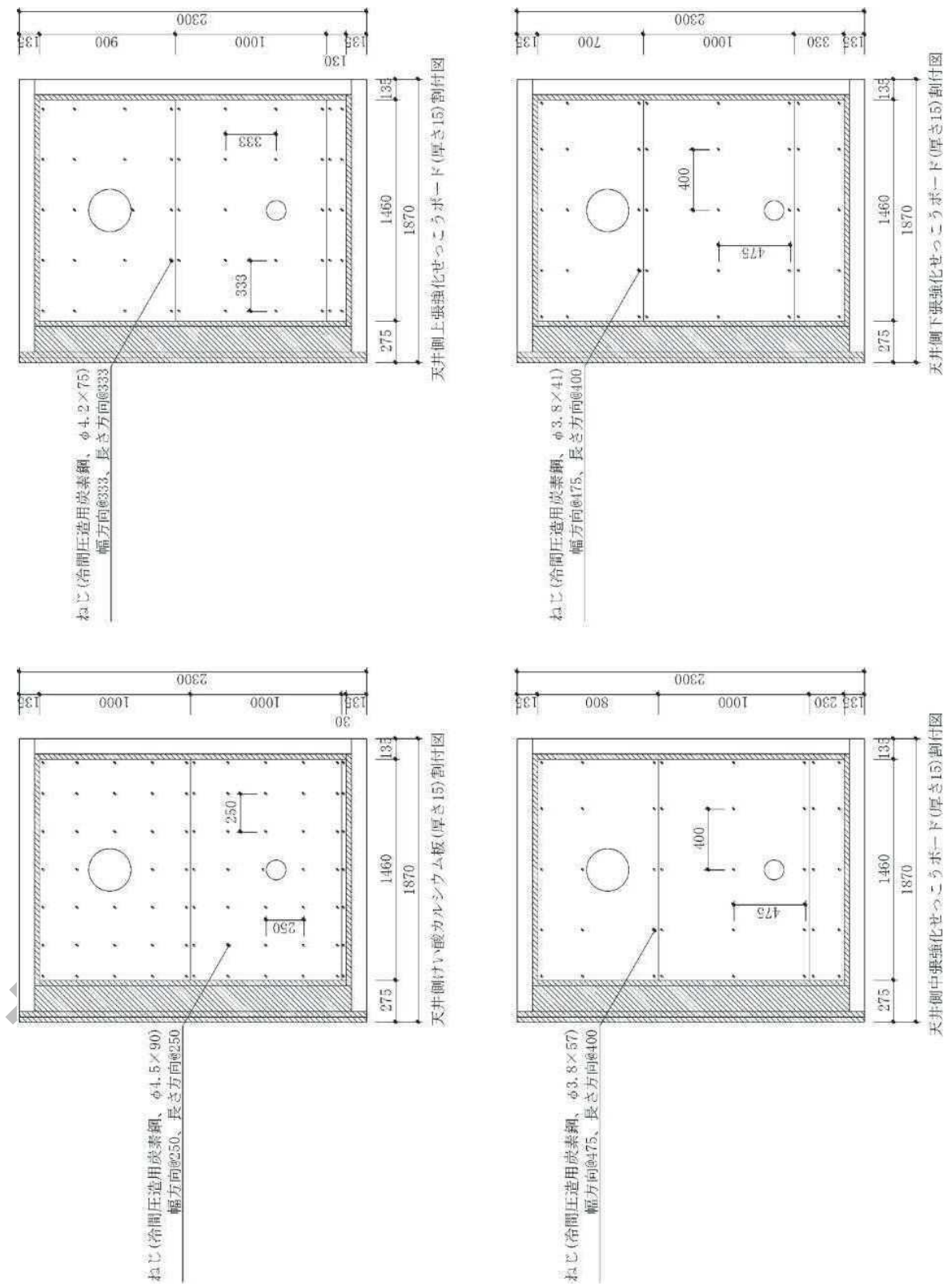


図4 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

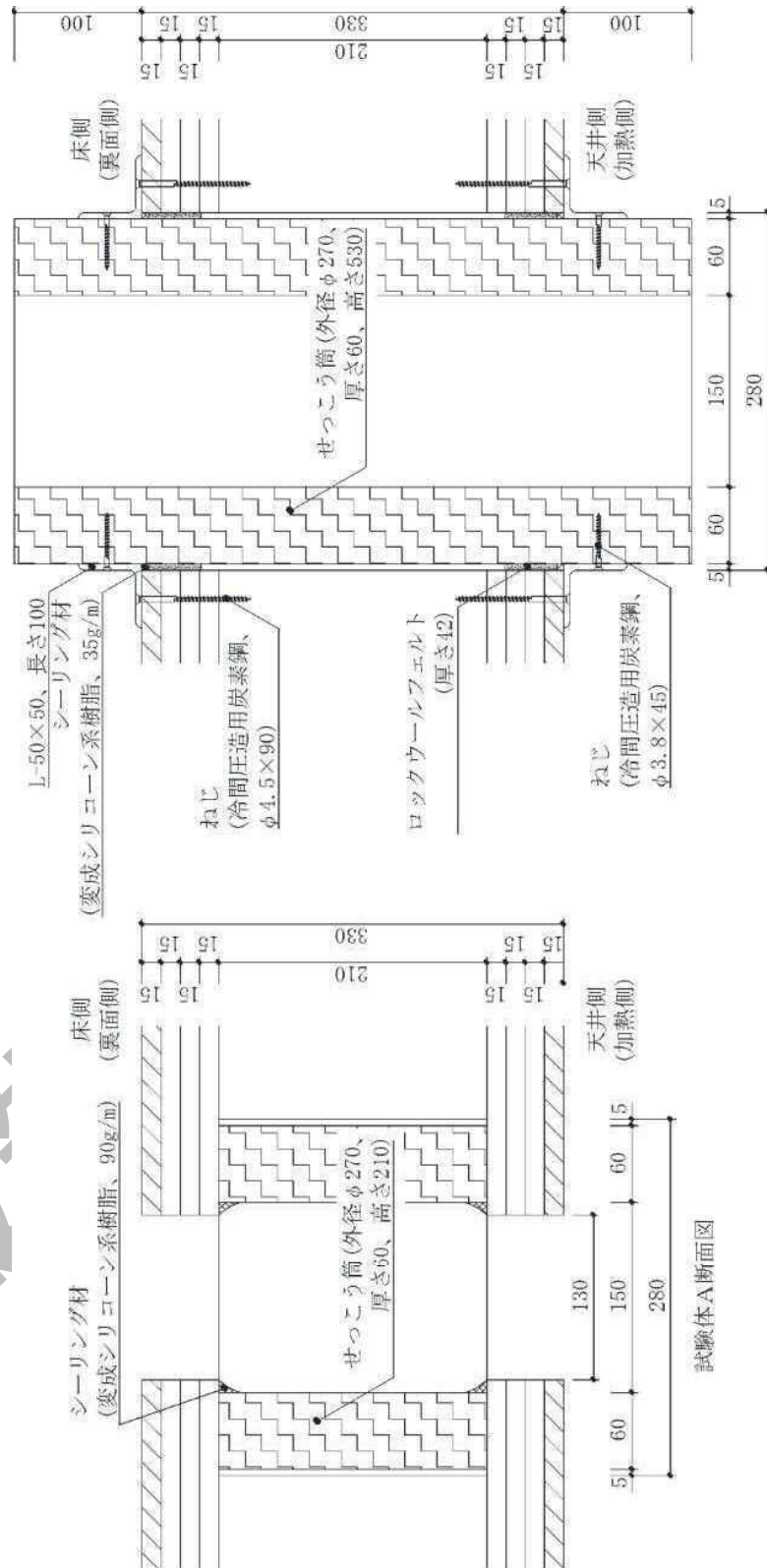


図5 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

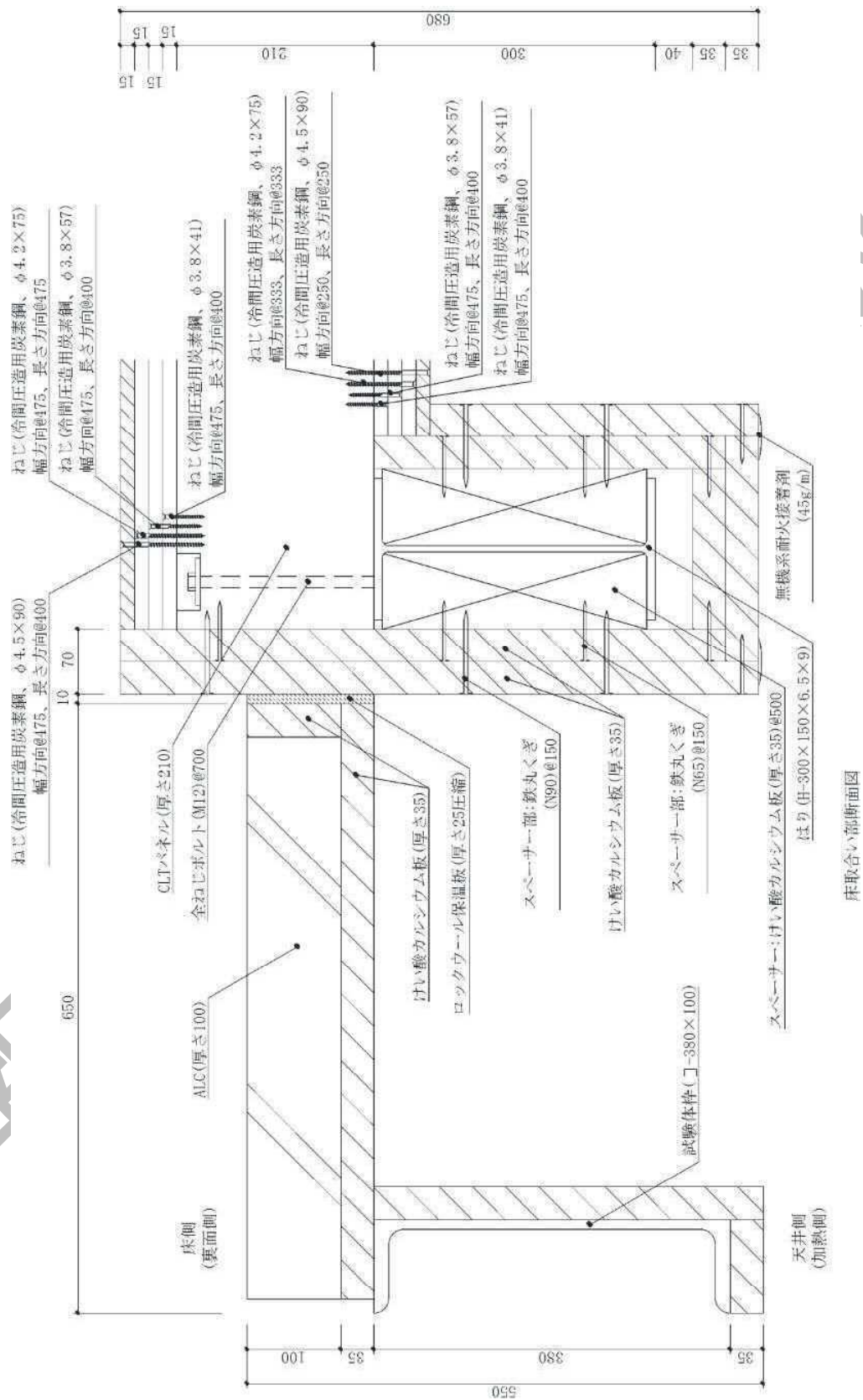




写真1 試験前の試験体（試験体A：加熱側）の状況



写真2 試験前の試験体（試験体A：裏面側）の状況



写真3 試験前の試験体（試験体B：加熱側）の状況



写真4 試験前の試験体（試験体B：裏面側）の状況



写真5 試験前の試験体（床取合い部：加熱側）の状況

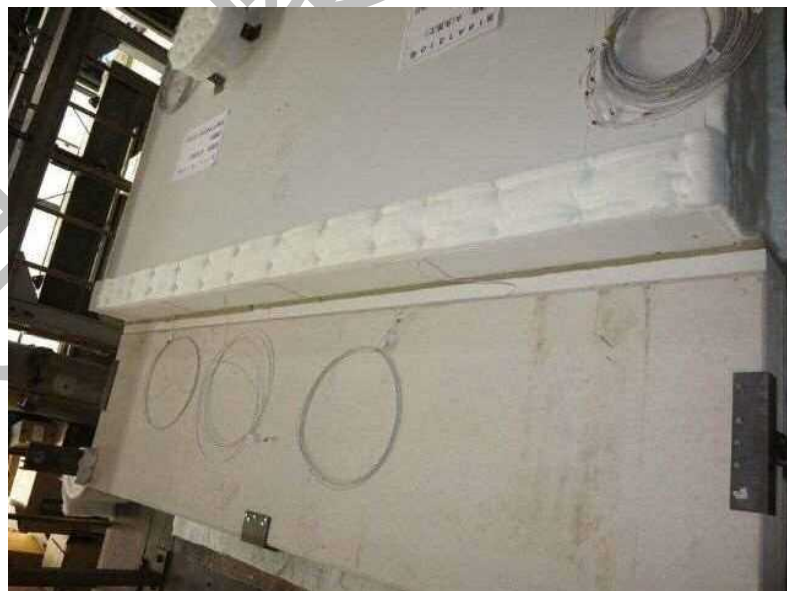


写真6 試験前の試験体（床取合い部：裏面側）の状況

3. 試験方法

試験は、業務方法書の耐火性能試験・評価方法に従い、加熱時間を120分とし、加熱終了後360分間の放冷を実施し試験合計時間480分を経過するまで測定を行った。

3.1 加熱方法

加熱は、業務方法書に規定される下記に示す平均炉内温度（以下、「標準加熱曲線」という）の式に従い120分間行った。

$$T=345\log_{10}(8t+1)+20$$

ここで、T：平均炉内温度（℃）

t：試験の経過時間（分）

加熱温度の測定は、JIS C 1605（シース熱電対）に規定するクラス2の性能をもつ、シース外径3.2mmのSKシース熱電対を、ステンレス鋼製の保護管に入れ解放された先端から25mm露出させ、その熱接点が試験体から100mm離れた位置に設置して行った。

加熱温度測定位置を図6に、試験体の設置状況を写真7に示す。

3.2 炉内圧力

試験中の炉内圧力は、ダンパーの開閉によって炉内圧力が20Paを超えないように制御した。

3.3 試験体裏面温度の測定

試験体裏面温度として、各試験体貫通孔からそれぞれ100mm離れた位置の裏面温度を測定した。試験体裏面温度の測定は、先端に鋼板ディスク（厚さ0.2mm、直径12mm）をろう付けしたJIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて、先端部を無機質断熱パッド（30mm×30mm×厚さ2mm、密度900kg/m³）で覆い、ステーブル及び繊維テープで固定して測定した。

試験体裏面温度測定位置を図7及び図8に示す。

3.4 試験体内部温度の測定

試験体内部温度として、各試験体貫通孔の表面温度及び床取合い部の温度を測定した。試験体内部温度の測定は、JIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて測定した。

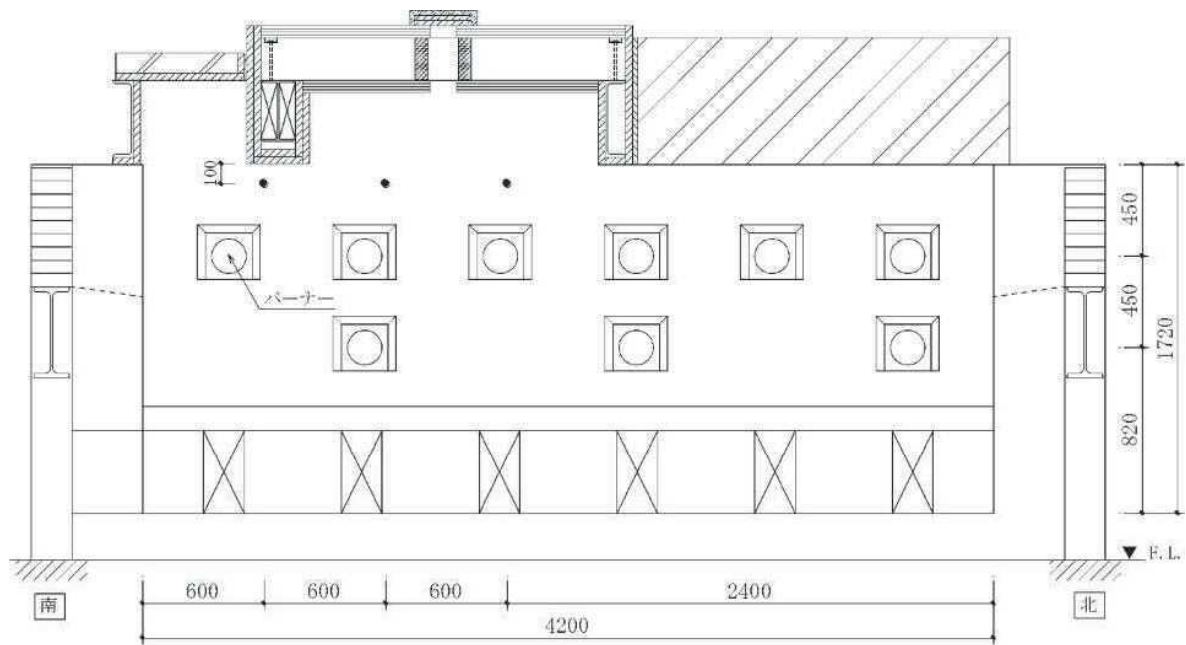
試験体内部温度測定位置を図7及び図8に示す。

3.5 観察

試験前後の試験体の変化について目視により観察し、写真に記録した。

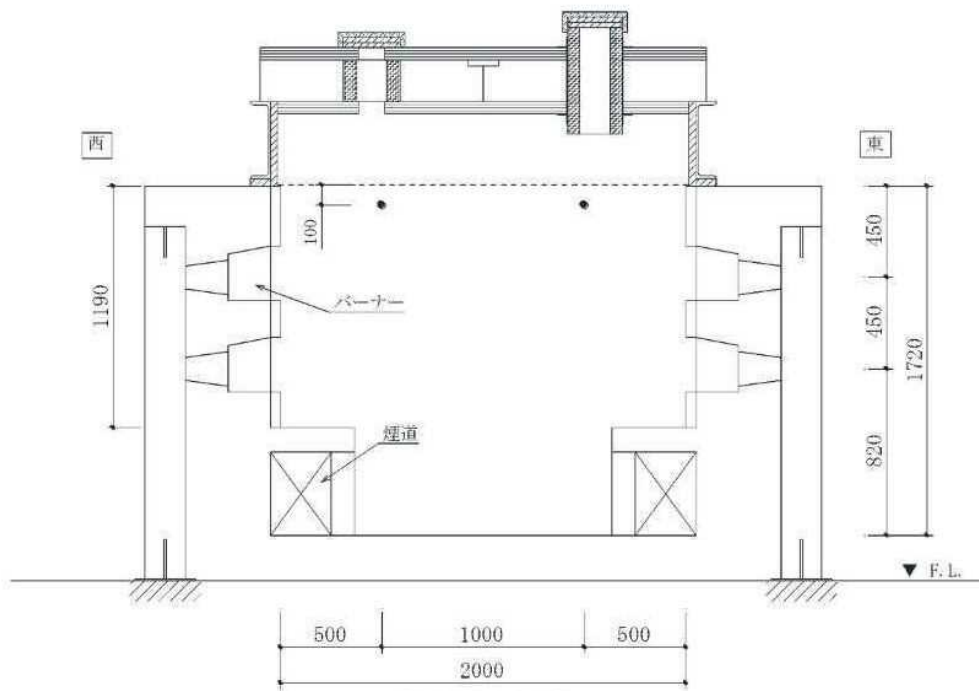
図6 試験方法図（加熱温度測定位置）

単位 mm



南北方向断面図

● 印：加熱温度測定位置(6点)



東西方向断面図



写真7 試験体の設置状況

図7 試験体図（内部温度及び裏面温度測定位置）

単位 mm

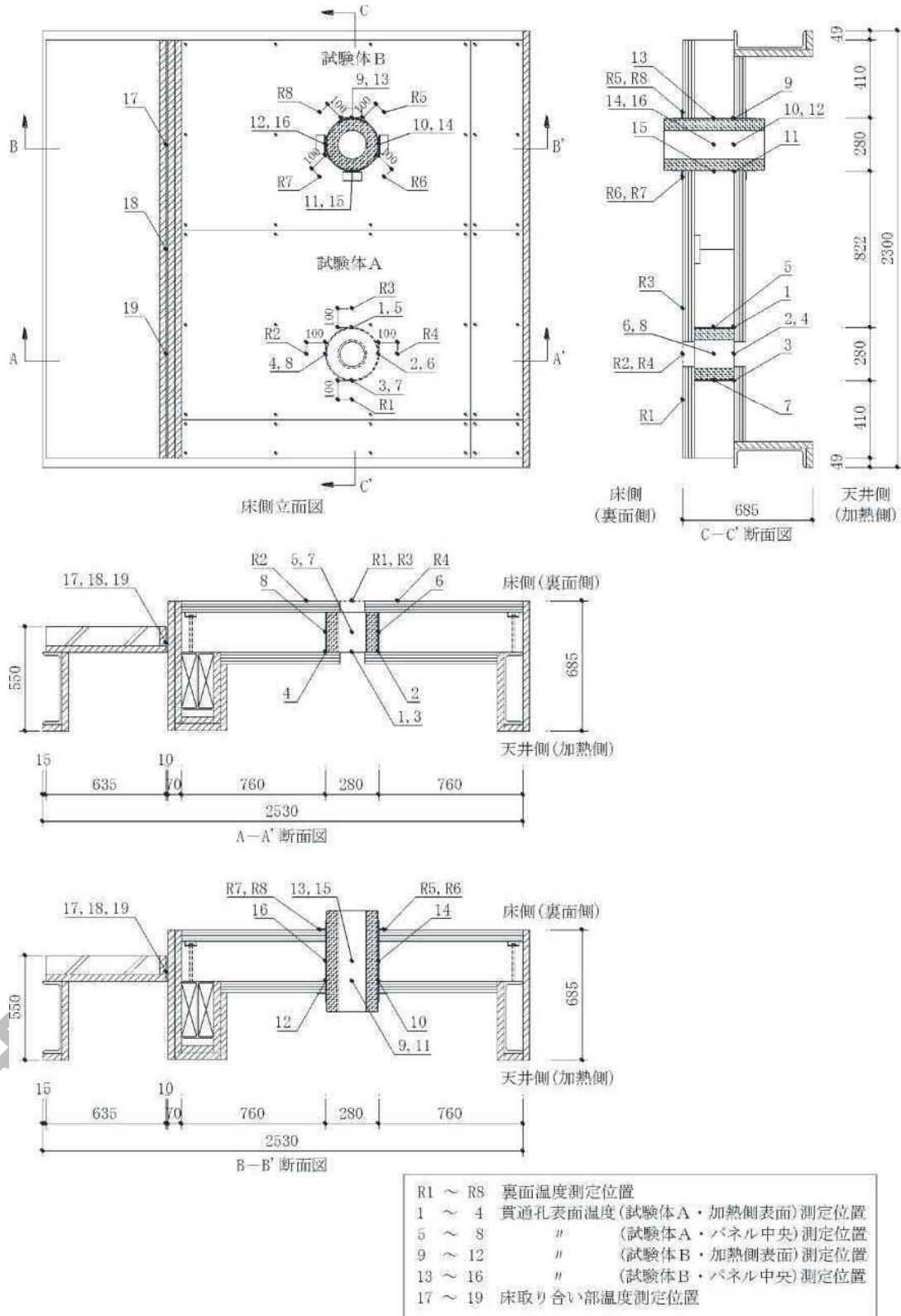
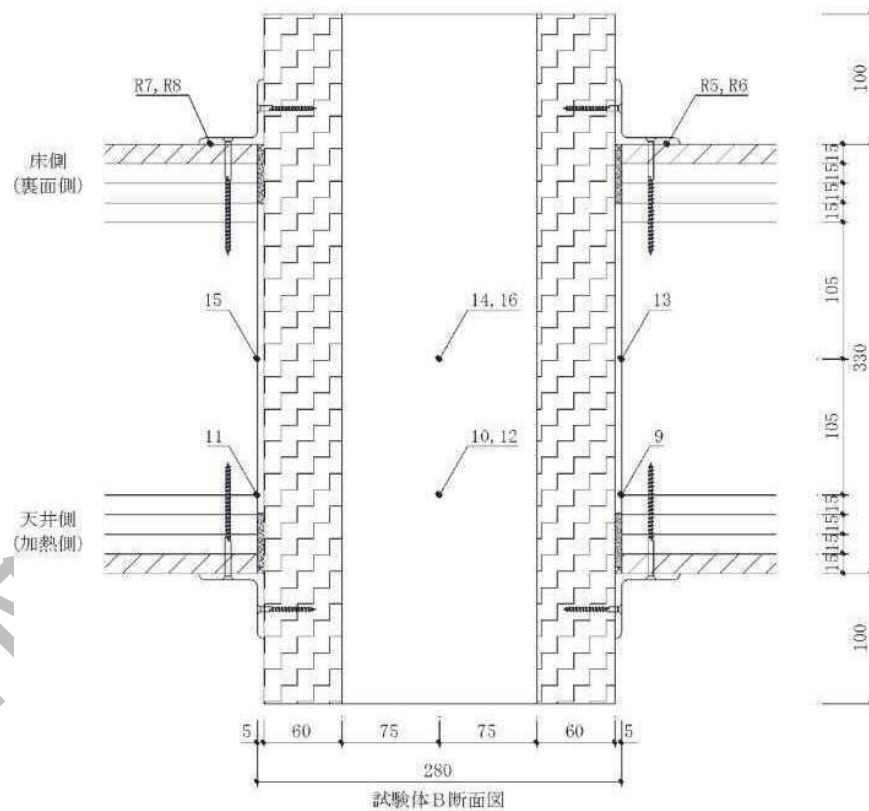
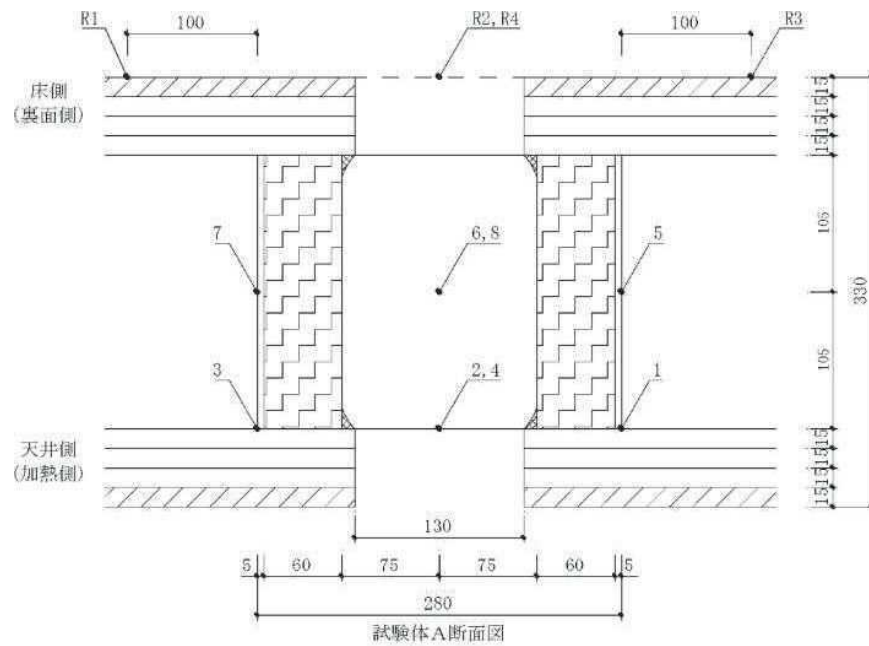


図8 試験体図（内部温度及び裏面温度測定位置）

単位 mm



| | |
|---------|-------------------------|
| R1 ~ R8 | 裏面温度測定位置 |
| 1 ~ 4 | 貫通孔表面温度(試験体A・加熱側表面)測定位置 |
| 5 ~ 8 | " (試験体A・パネル中央)測定位置 |
| 9 ~ 12 | " (試験体B・加熱側表面)測定位置 |
| 13 ~ 16 | " (試験体B・パネル中央)測定位置 |

4. 試験結果

4.1 加熱温度及び試験体裏面温度

加熱温度測定結果を図9に示す。

4.2 試験体内部温度

試験体裏面温度測定結果を図10に示す。

4.3 試験体内部温度

試験体内部温度測定結果を図11～図13に示す。

4.4 観察結果

試験後の試験体観察結果を表4に示す。また、試験後の試験体の状況を写真8～写真16に示す。

報告書家160929版

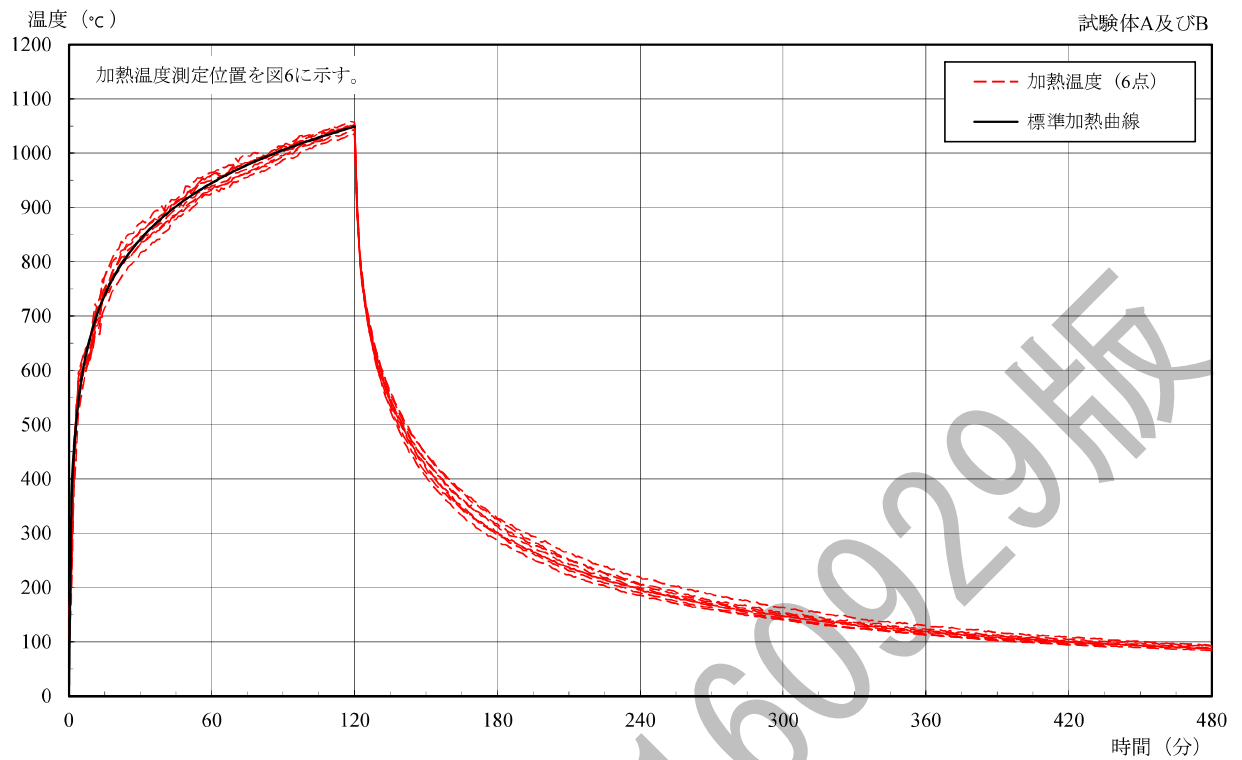


図9 加熱温度測定結果

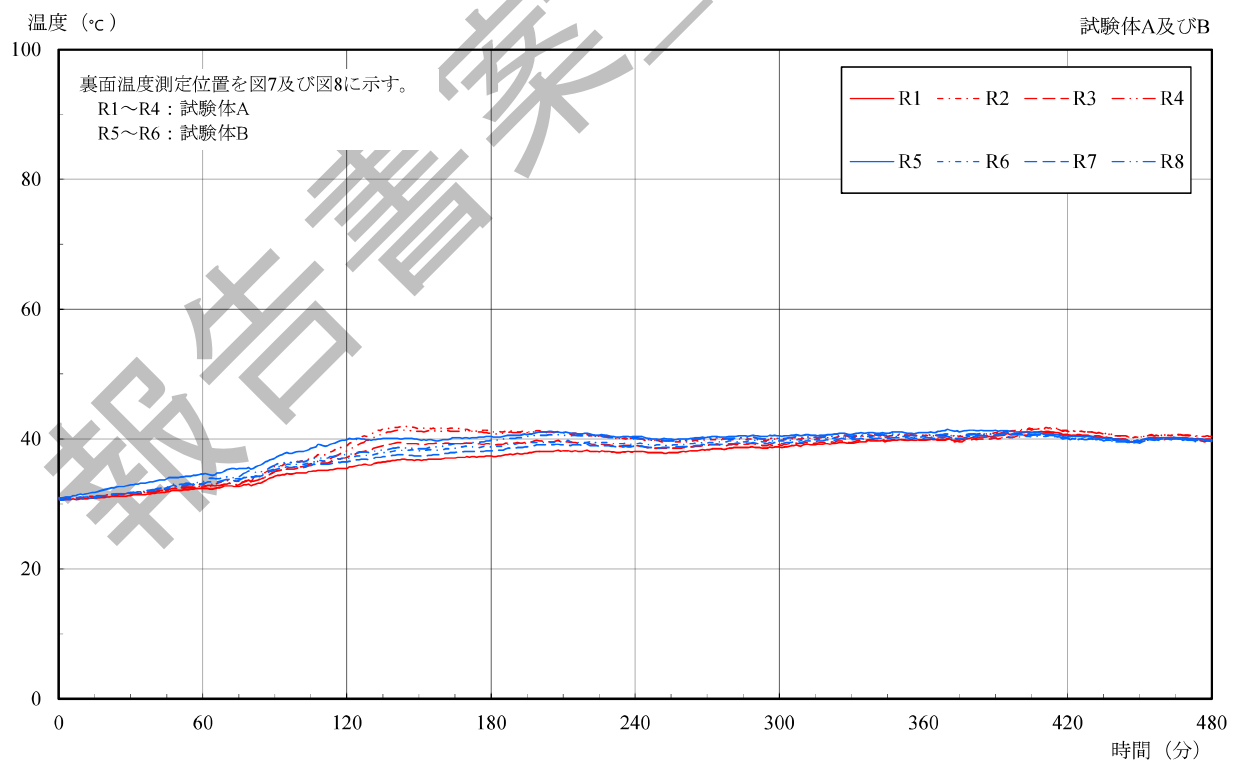


図10 裏面温度測定結果

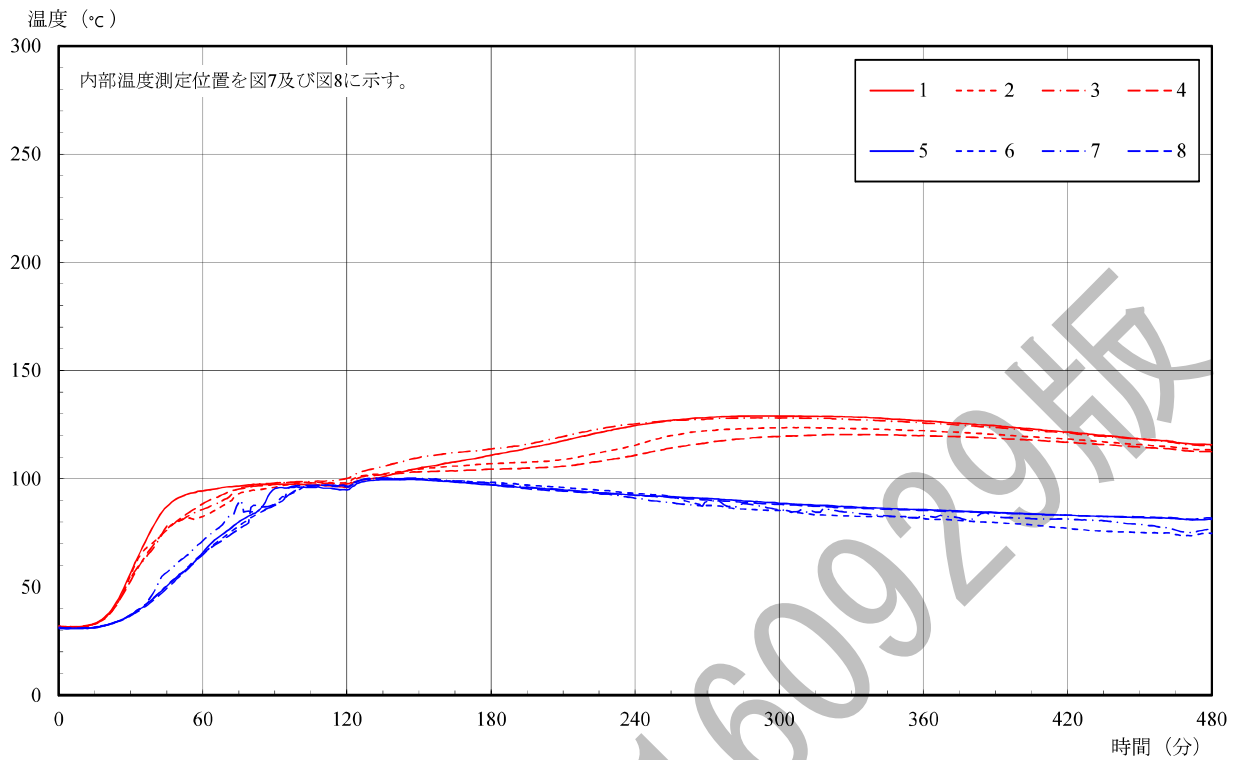


図 11 内部温度（貫通孔表面温度）測定結果（試験体 A）

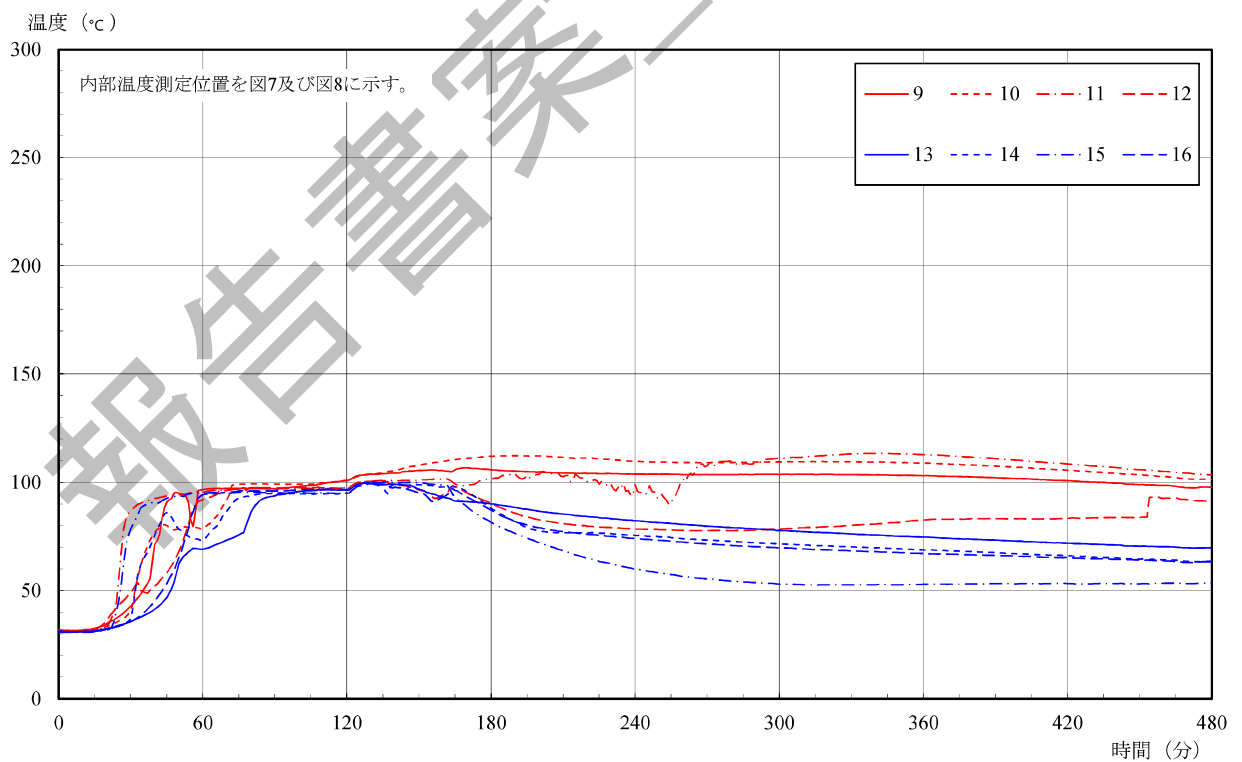


図 12 内部温度（貫通孔表面温度）測定結果（試験体 B）

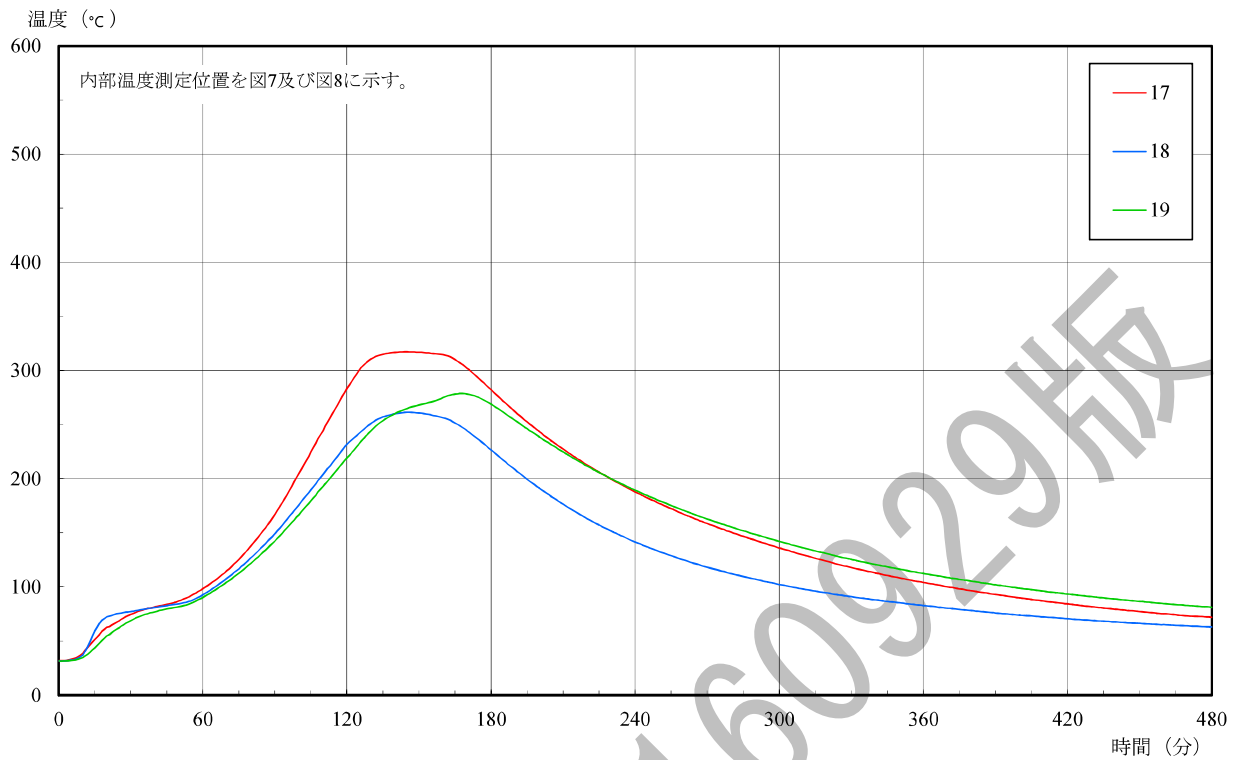


図13 床取合い部温度測定結果

表4 試験体の外観観察結果

| 状況 | 観察結果 |
|---------|---|
| 加熱及び放冷中 | <ul style="list-style-type: none"> 試験体 A 及び試験体 B いずれも非加熱側への火炎の噴出，発炎及び火炎が通る隙間，亀裂等は生じなかった。 床取合い部において，非加熱側への火炎の噴出，発炎及び火炎が通る隙間，亀裂等は生じなかった。 加熱及び放冷中，被覆材の脱落等は認められなかった。 試験後の試験体の状況を写真 8～写真 16 に示す。 |
| 貫通孔の状況 | <ul style="list-style-type: none"> 試験体 A：貫通孔表面に，炭化・変色は認められなかった（写真 12 参照）。 試験体 B：貫通孔表面に，炭化・変色は認められなかった（写真 13 及び写真 14 参照）。 |



写真8 試験後の試験体（試験体A：加熱側）の状況



写真9 試験後の試験体（試験体A：裏面側）の状況



写真10 試験後の試験体（試験体B：加熱側）の状況



写真11 試験後の試験体（試験体B：裏面側）の状況



写真12 試験後の貫通孔（試験体A）の状況



写真13 試験後の貫通孔（試験体B）の状況



写真14 試験後の貫通孔（試験体B）の状況



写真15 試験後の試験体（床取合い部：加熱側）の状況



写真16 試験後の試験体（床取合い部：裏面側）の状況

5. 試験の期間, 担当者及び場所

期 間 平成28年 7月29日

担 当 者 防耐火グループ
統括リーダー 白 岩 昌 幸
主幹 佐 川 修 (主担当)
小森谷 誠

場 所 中央試験所

以下余白

報告書家-160929版

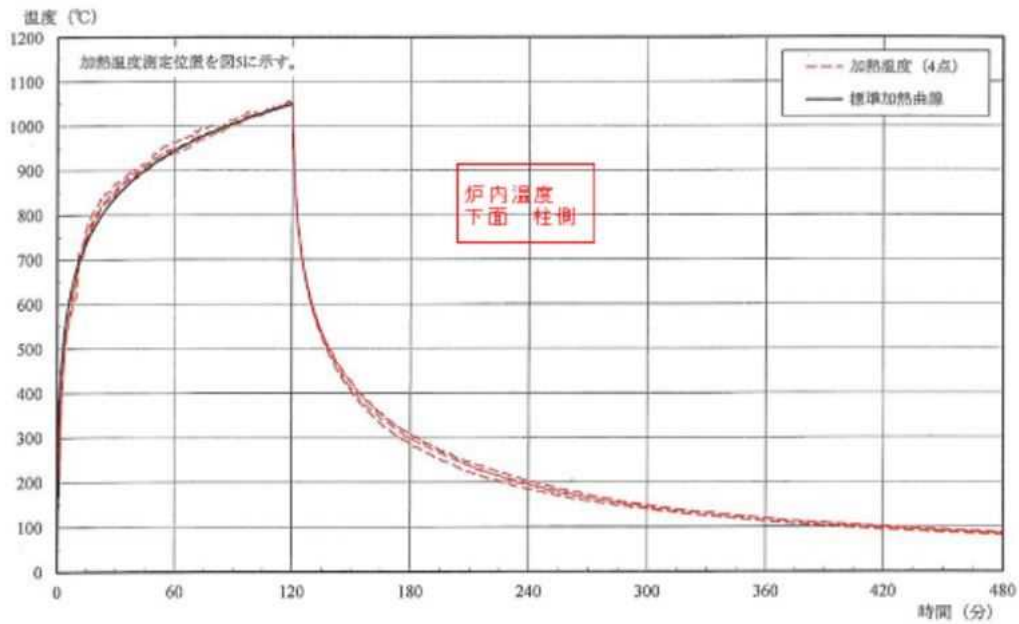


図 3-1-2 加熱曲線（炉内温度 下面側）

3-1-4. 結果と考察

鋼管の耐火被覆の違いの鋼管表面温度差と、CLT 木口部表面温度を下図に示す。CLT 木口の炭化・変色は見受けられなかった。

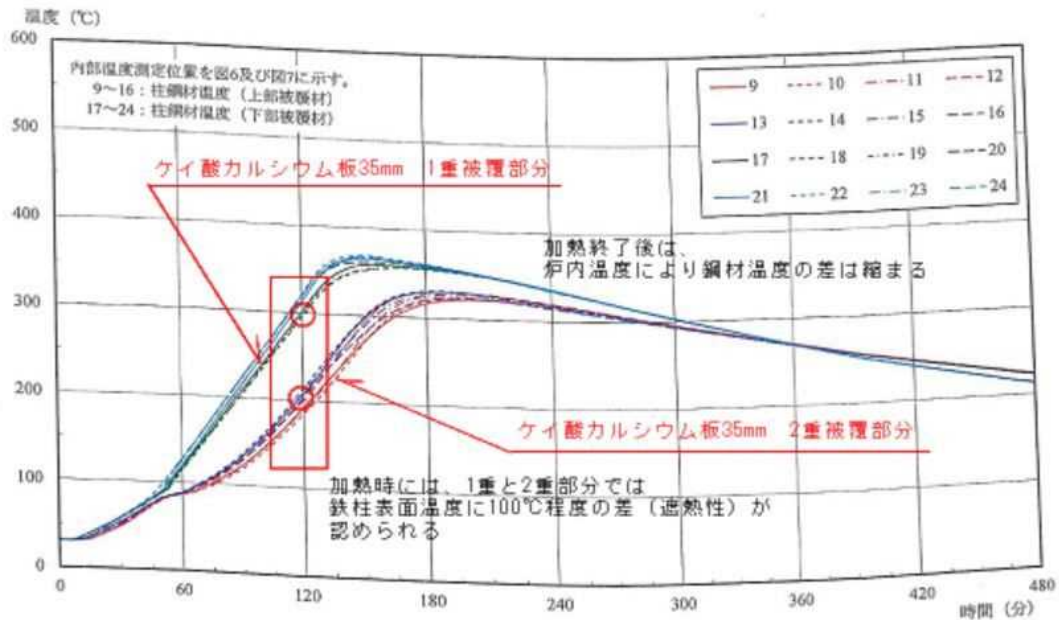


図 3-1-3 鋼管表面 被覆材の違いによる温度差

①加熱中においては、鋼材表面温度に被覆材の性能による温度差が表れているが、加熱終

了後には、鋼材表面温度より高い炉内温度に近い温度変化が見られた

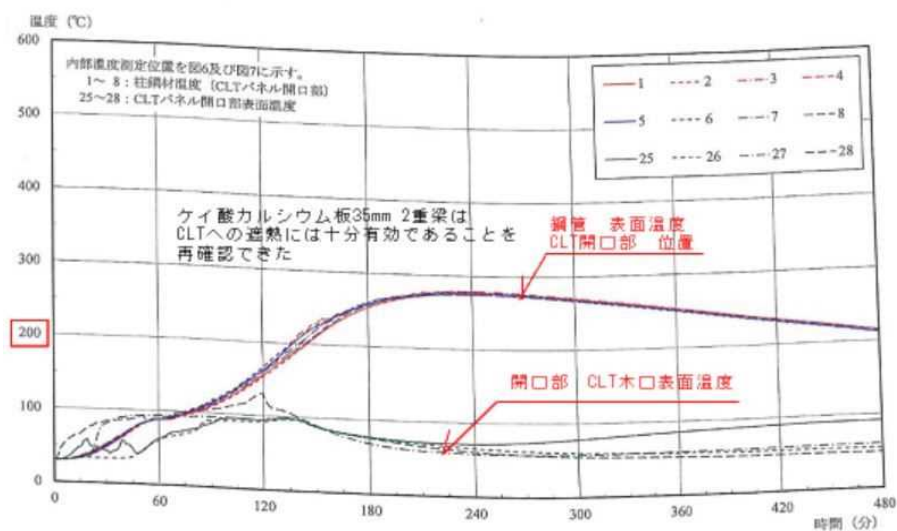


図 3-1-4 CLT 木口接触部 CLT と鋼管表面温度

② 梁接合部の CLT に炭化・変色をおこさせなかった 鋼材梁の耐火被覆仕様は 柱被覆にも同様有効であった。CLT 木口温度は、100°C 近くに止まった。

①、②より

貫通孔だけから考えると、CLT 木口接触面のみを考慮することで

一般部は鋼管の耐火被覆に準じることで貫通孔部の耐火性能は確保できると思われる。

反省点としては、

図 3-1-1 の試験体の加熱試験実施において

併せて 鉄骨梁を配して 鋼材の柱⇒梁への熱の伝導による

鋼材梁と接合した CLT 接合部への影響も確認できたかと思われる。



写真 3-1-1 加熱後 CLT 木口



写真 3-1-2 加熱後 被覆材

結果詳細は、試験報告書(写)参照

[試験名称]

直交集成板造床／鋼管柱貫通部耐火被覆の耐火性能試験

[目次]

| | | |
|-------------------|-------|----|
| 1. 試験の内容 | ----- | 2 |
| 2. 試験体 | ----- | 2 |
| 3. 試験方法 | ----- | 10 |
| 4. 試験結果 | ----- | 15 |
| 5. 試験の期間, 担当者及び場所 | ----- | 28 |

1. 試験の内容

山佐木材株式会社から提出された直交集成板（以下、「CLT パネル」という。）を床版とした直交集成板造床に、耐火被覆を施した鋼管柱（以下、「柱」という。）を貫通させた試験体について、（一財）建材試験センターが定めた防耐火性能試験・評価業務方法書（以下、「業務方法書」という。）に従って 120 分加熱（360 分放冷）の耐火試験を行い、下記に示す項目について測定及び観察を行った。

- (1) 柱内部温度の測定
- (2) 試験体裏面温度の測定
- (3) 試験前後（加熱中及び放冷中含む）の試験体の状況観察
- (4) CLT パネル開口部の炭化・変色状況の観察

2. 試験体

試験体は、幅 2300×長さ 1800mm の鋼製試験体枠に、幅 1100mm×長さ 1800mm×厚さ 150mm の CLT パネルを 2 枚設置させた床である。試験体の天井側（加熱側）及び床側（裏面側）は、いずれも強化せっこうボード（厚さ 15mm）×3 枚下張+けい酸カルシウム板（厚さ 15mm）上張とした耐火被覆を施している。また、CLT パネルの中央部には 470 角の貫通孔（以下、「開口部」という。）を設け、高さ 2000mm の柱（□ -250×250×9mm）を貫通させている。柱は、表 1 に示すように上部（CLT パネル開口部）及び下部でそれぞれ仕様の異なる耐火被覆を施している。

被覆材の密度及び含水率を表 2 に、試験体構成材料の密度及び含水率を表 3 に、試験体図を図 1～図 4 に、試験前の試験体の状況を写真 1～写真 4 に示す。

表1 柱の耐火被覆仕様（依頼者提出資料）

| 仕 様 | 構 造 |
|-------|-------------------------|
| 上部被覆材 | 構造：けい酸カルシウム板（厚さ 35mm）重張 |
| 下部被覆材 | 構造：けい酸カルシウム板（厚さ 35mm）単張 |

表2 耐火被覆材の密度及び含水率

| 構 成 材 料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------|-----------|
| けい酸カルシウム板 (厚さ 35mm) | 0.38 | 2.5 | 105℃, 9日間 |
| [備考] 密度及び含水率の値は, 依頼者から提出された試料より求めた。 | | | |

表3 試験体構成材料の密度及び含水率

| 構 成 材 料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------|------------|
| CLT パネル (厚さ 150mm) | 0.35 | 11.9 | 105℃, 14日間 |
| 強化せっこうボード (厚さ 15mm) | 0.79 | 0.2 | 40℃, 9日間 |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 15mm) | 0.40 | 2.2 | 105℃, 9日間 |
| 構造用合板 (厚さ 28mm) (CLT パネル側目地被覆材) | 0.43 | 13.5 | 105℃, 9日間 |
| [備考] 密度及び含水率の値は, 依頼者から提出された試料より求めた。 | | | |

図1 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

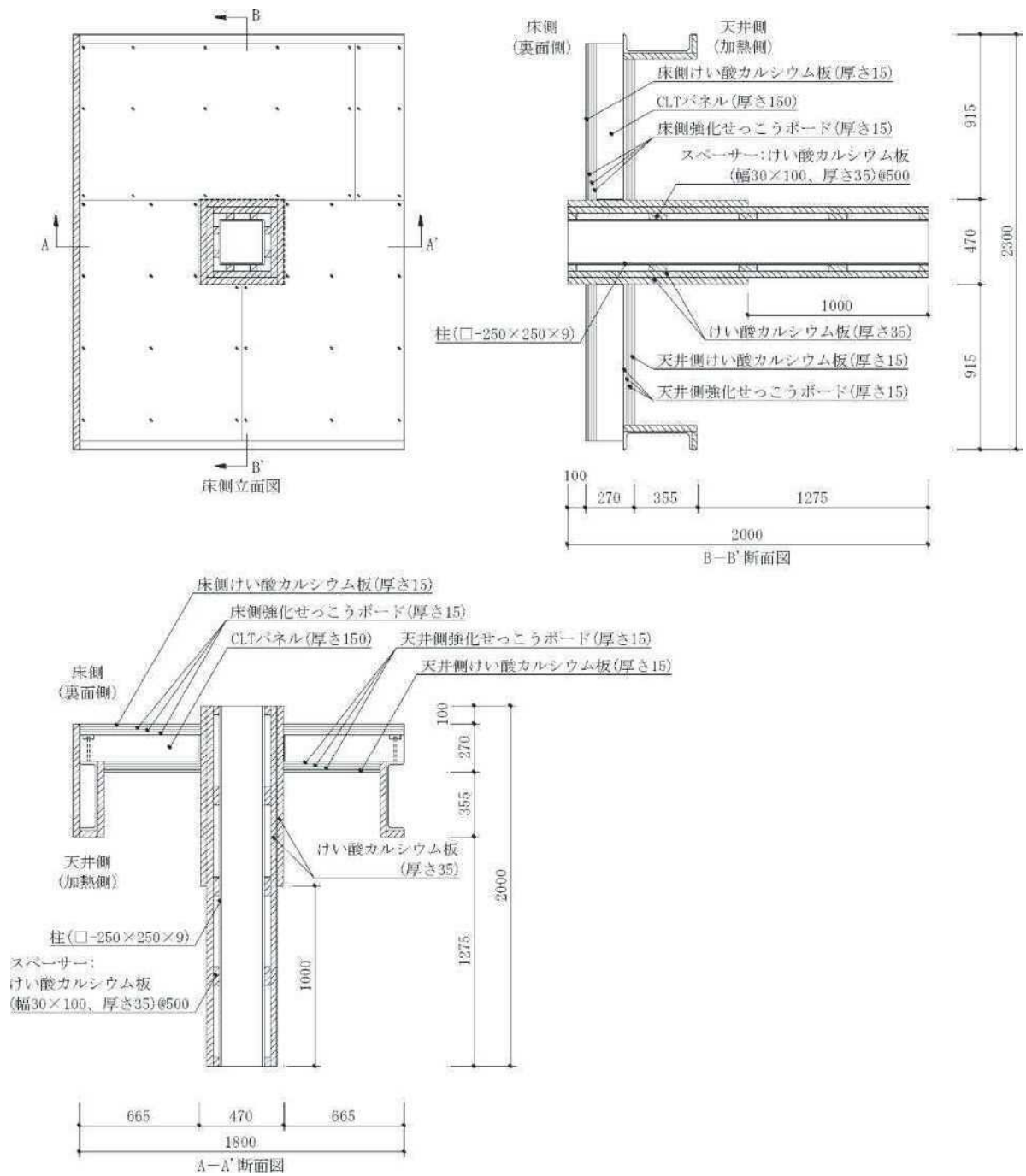


図2 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

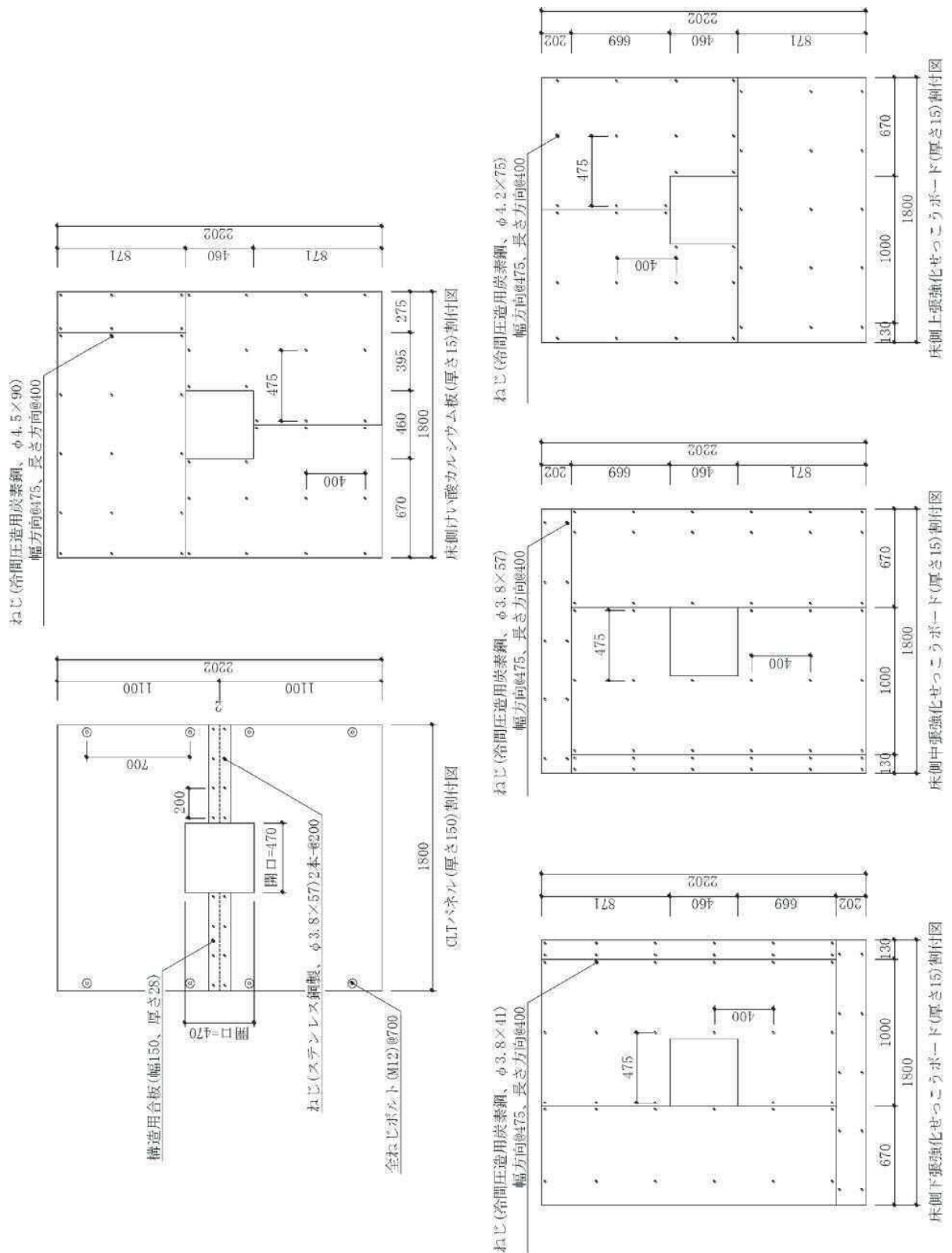


図3 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

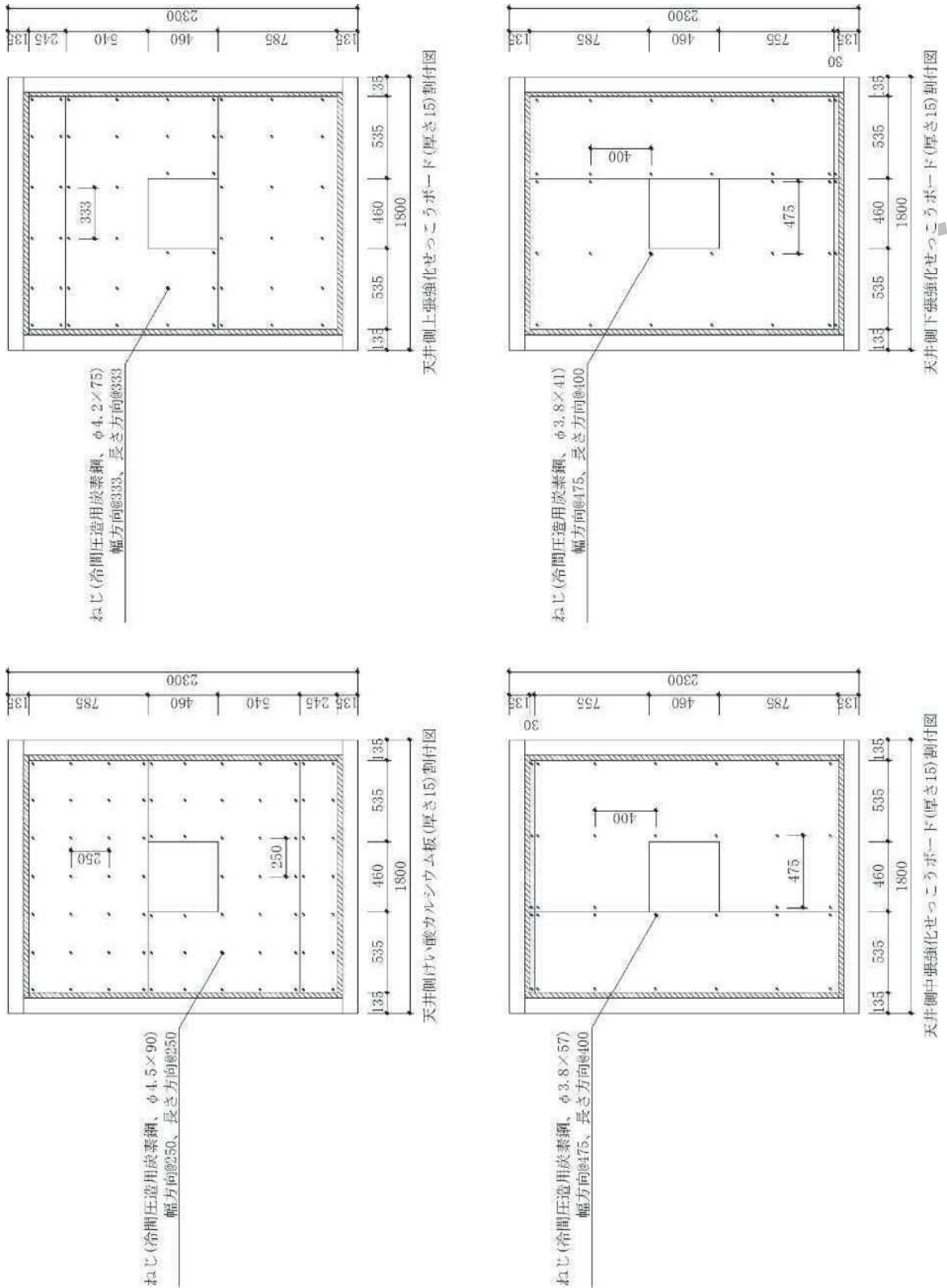


図4 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

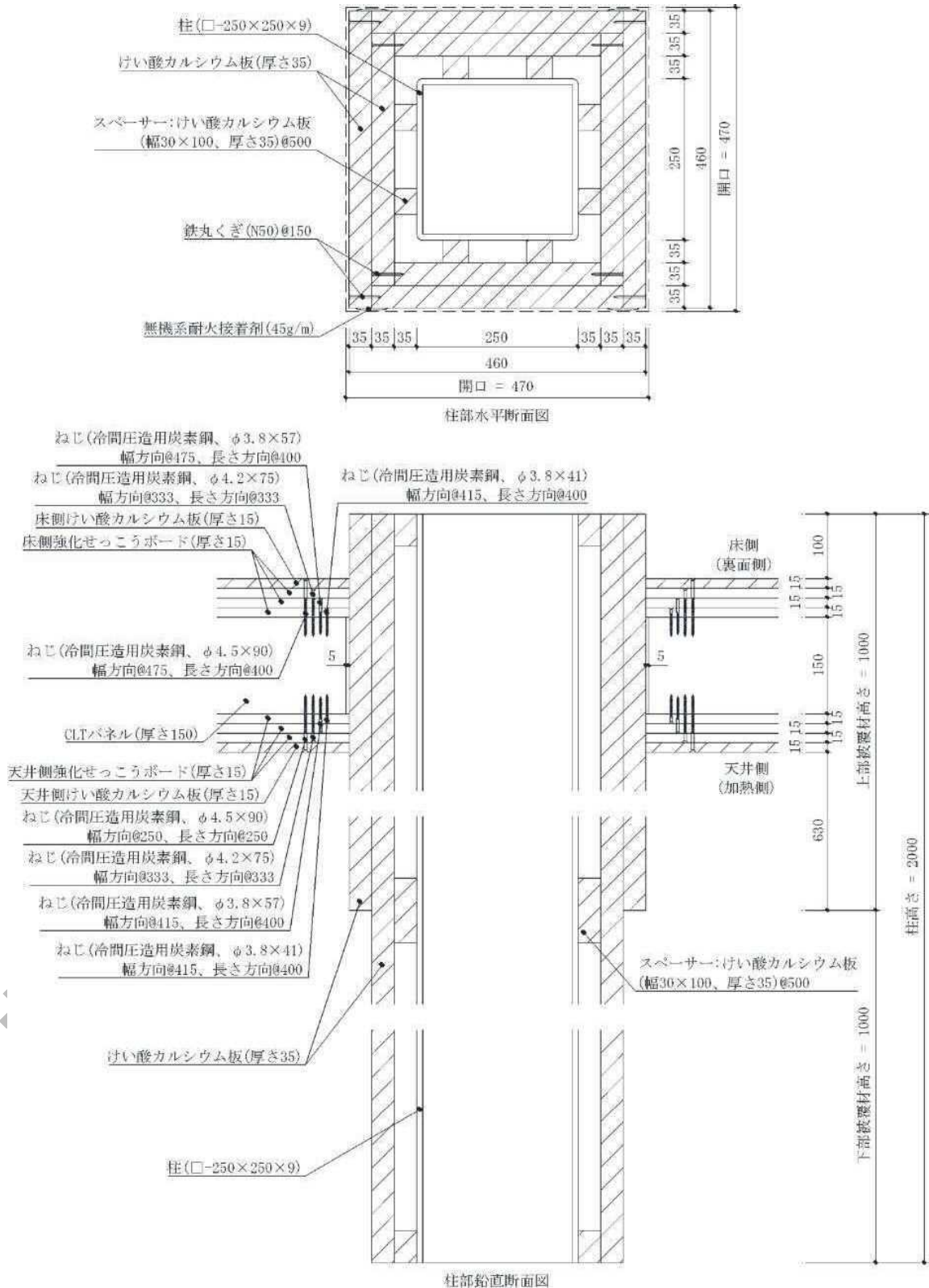




写真1 床側（裏面側）被覆材被覆前の CLT パネル開口部の状況

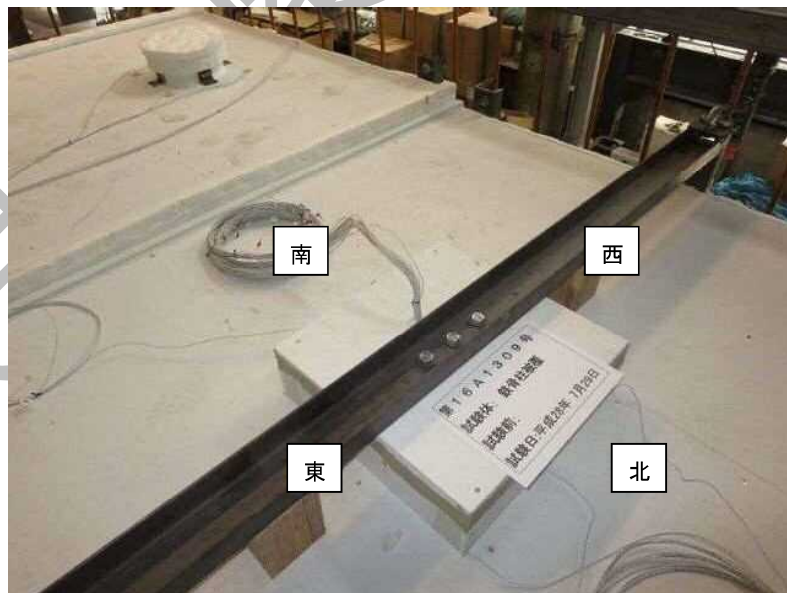


写真2 試験前の試験体（裏面側）の状況



写真3 試験前の試験体（加熱側）の状況



写真4 試験前の試験体（加熱側）の状況

3. 試験方法

試験は、業務方法書の耐火性能試験・評価方法に従い、加熱時間を120分とし、加熱終了後360分間の放冷を実施し試験合計時間480分を経過するまで測定を行った。

3.1 加熱方法

加熱は、業務方法書に規定される下記に示す平均炉内温度（以下、「標準加熱曲線」という）の式に従い120分間行った。

$$T=345\log_{10}(8t+1)+20$$

ここで、T：平均炉内温度（℃）

t：試験の経過時間（分）

加熱温度の測定は、JIS C 1605（シース熱電対）に規定するクラス2の性能をもつ、シース外径3.2mmのSKシース熱電対を、ステンレス鋼製の保護管に入れ解放された先端から25mm露出させ、その熱接点が試験体から100mm離れた位置に設置して行った。

加熱温度測定位置を図5に、試験体の設置状況を写真5に示す。

3.2 炉内圧力

試験中の炉内圧力は、ダンパーの開閉によって炉内圧力が20Paを超えないように制御した。

3.3 試験体裏面温度の測定

試験体裏面温度として、CLTパネル開口部から100mm離れた位置の裏面温度を測定した。試験体裏面温度の測定は、先端に鋼板ディスク（厚さ0.2mm、直径12mm）をろう付けしたJIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて、先端部を無機質断熱パッド（30mm×30mm×厚さ2mm、密度900kg/m³）で覆い、ステーブル及び繊維テープで固定して測定した。

試験体裏面温度測定位置を図6及び図7に示す。

3.4 試験体内部温度の測定

試験体内部温度として、柱鋼材温度及びCLTパネル開口部表面温度を測定した。試験体内部温度の測定は、JIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて測定した。

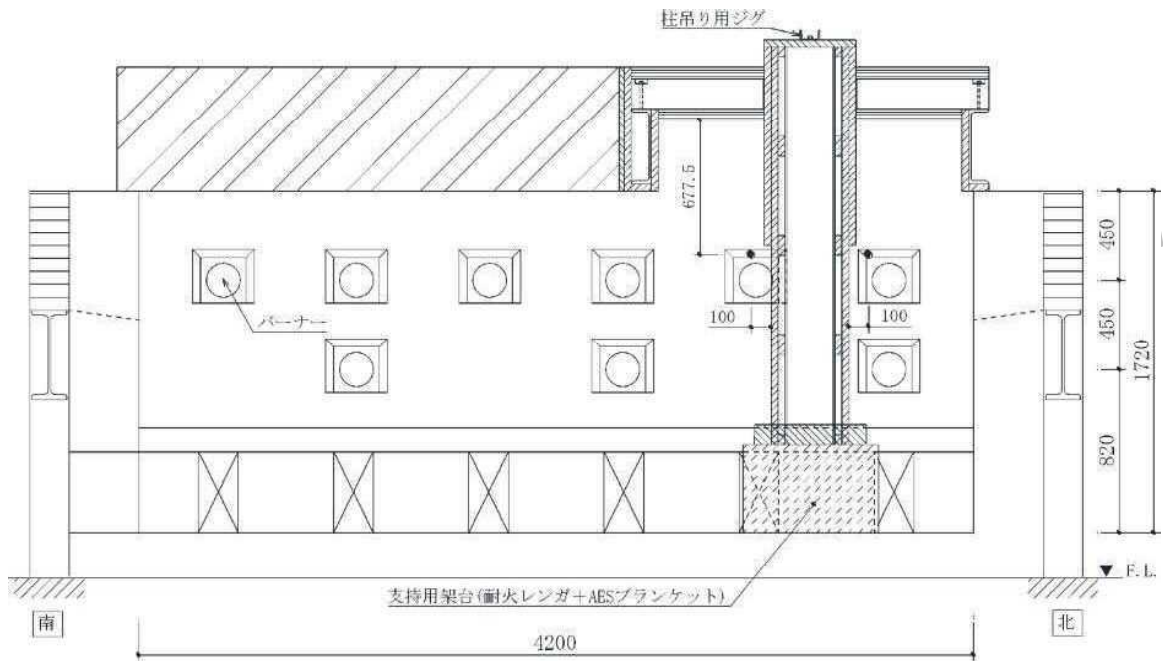
試験体内部温度測定位置を図6及び図7に示す。

3.5 観察

加熱中・放冷中及び加熱終了後の試験体の変化について目視により観察し、写真に記録した。

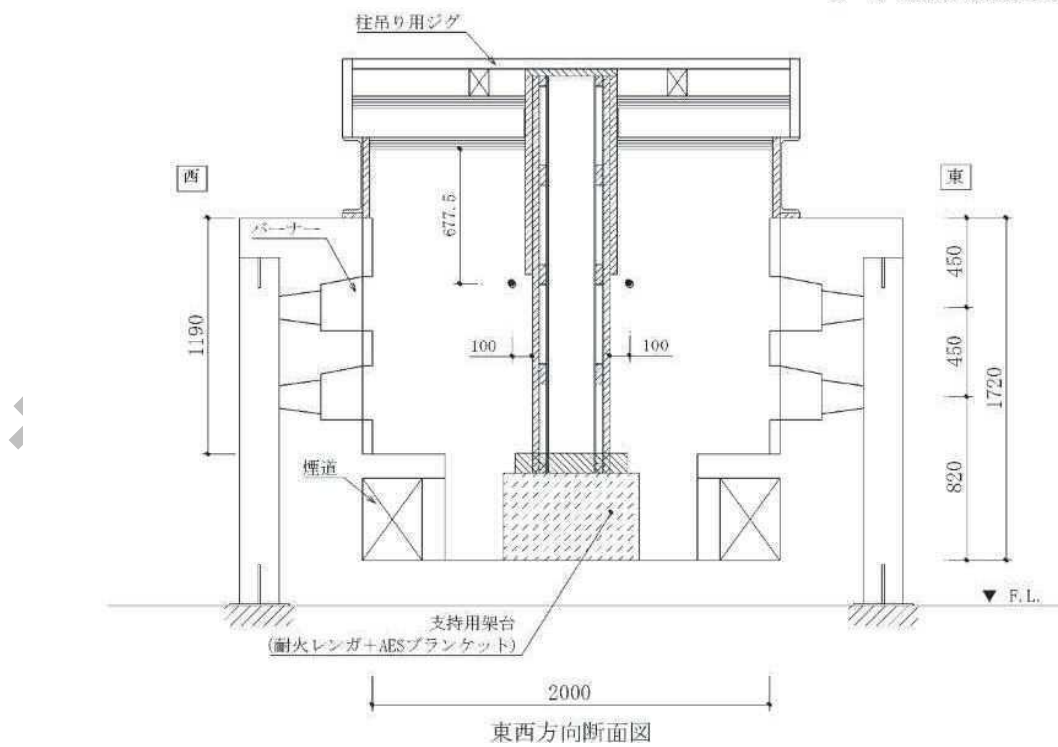
図5 試験方法図（加熱温度測定位置）

単位 mm



南北方向断面図

● 印：加熱温度測定位置(4点)



東西方向断面図



写真5 試験体の設置状況

図6 試験体図（内部温度及び裏面温度測定位置）

単位 mm

100

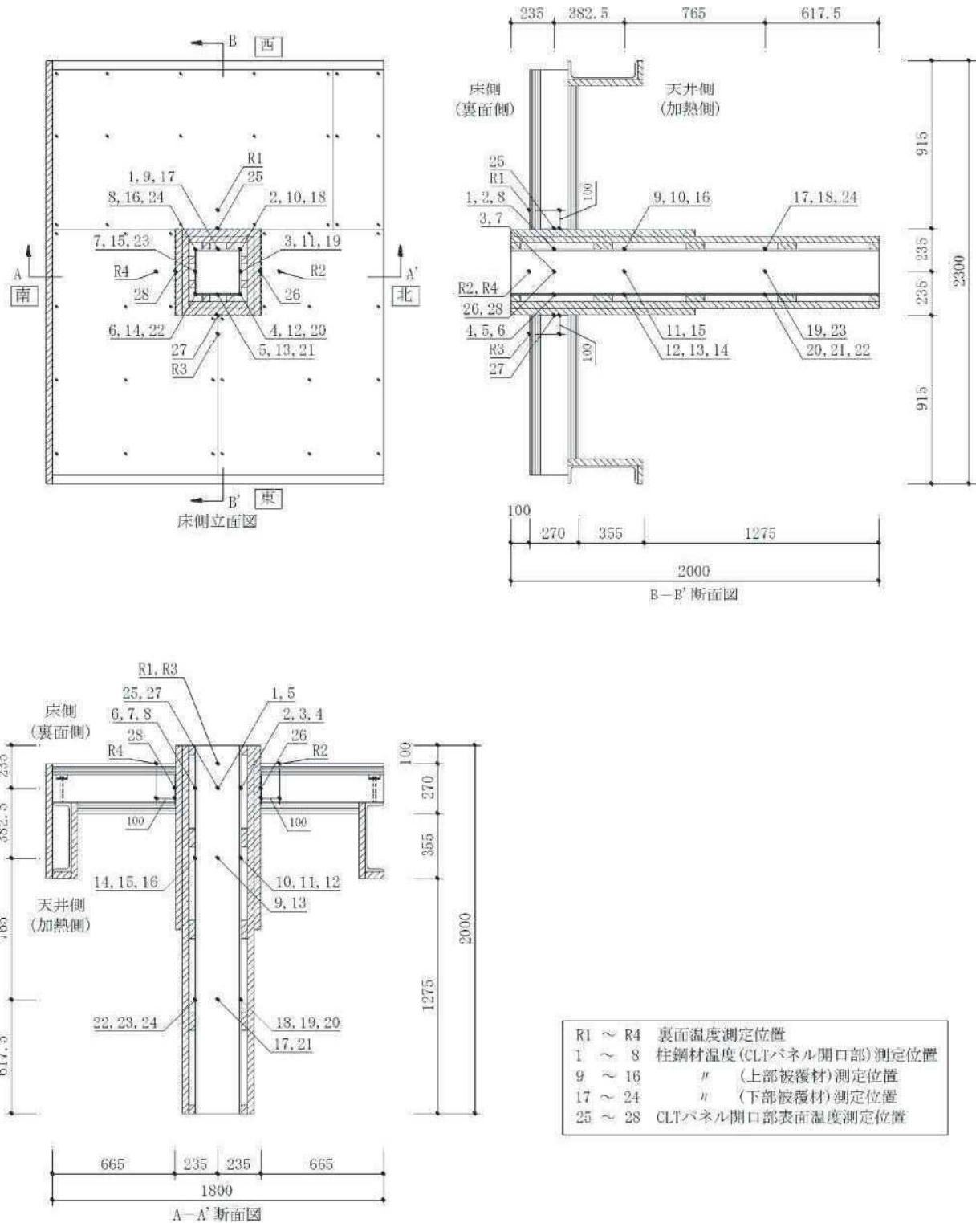
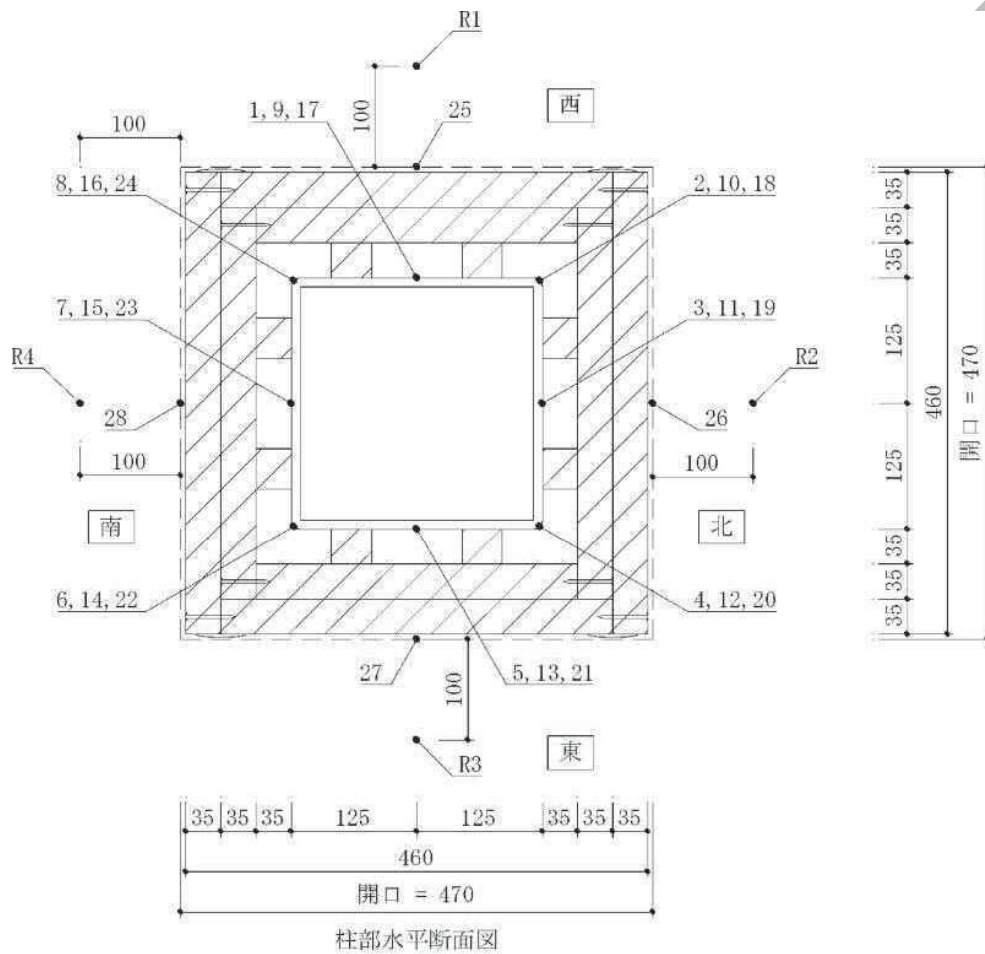


図7 試験体図（内部温度及び裏面温度測定位置）

単位 mm



| | |
|---------|----------------------|
| R1 ~ R4 | 裏面温度測定位置 |
| 1 ~ 8 | 柱鋼材温度(CLTパネル開口部)測定位置 |
| 9 ~ 16 | // (上部被覆材)測定位置 |
| 17 ~ 24 | // (下部被覆材)測定位置 |
| 25 ~ 28 | CLTパネル開口部表面温度測定位置 |

4. 試験結果

4.1 加熱温度

加熱温度測定結果を図8に示す。

4.2 試験体裏面温度

裏面温度測定結果を図9に示す。

4.3 試験体内部温度

試験体内部温度測定結果を図10, 図11に, 柱鋼材温度測定結果を表4に示す。

4.4 観察結果

加熱中, 放冷中の柱の外観観察及び試験後の CLT パネル開口部の観察結果を表5に示す。また, 加熱中, 放冷中及び試験後の試験体の状況を写真6~写真22に示す。

報告書家-160929版

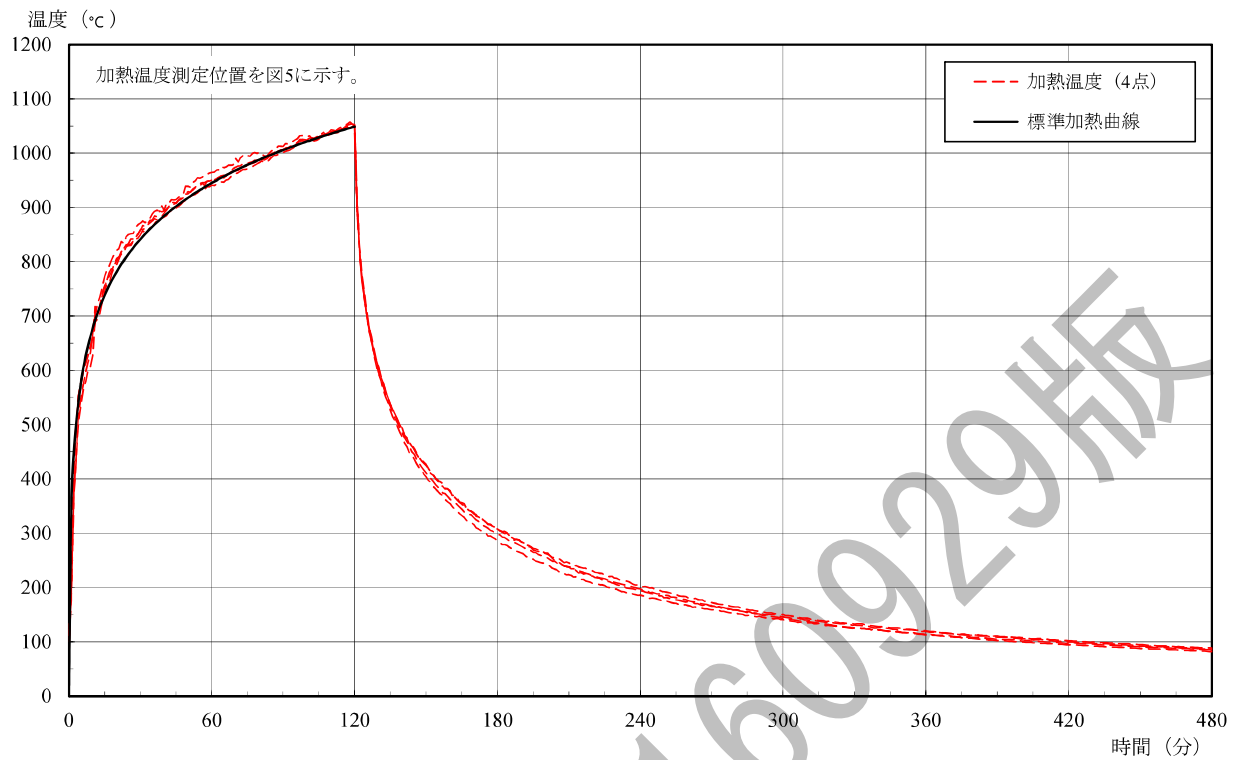


図8 加熱温度測定結果

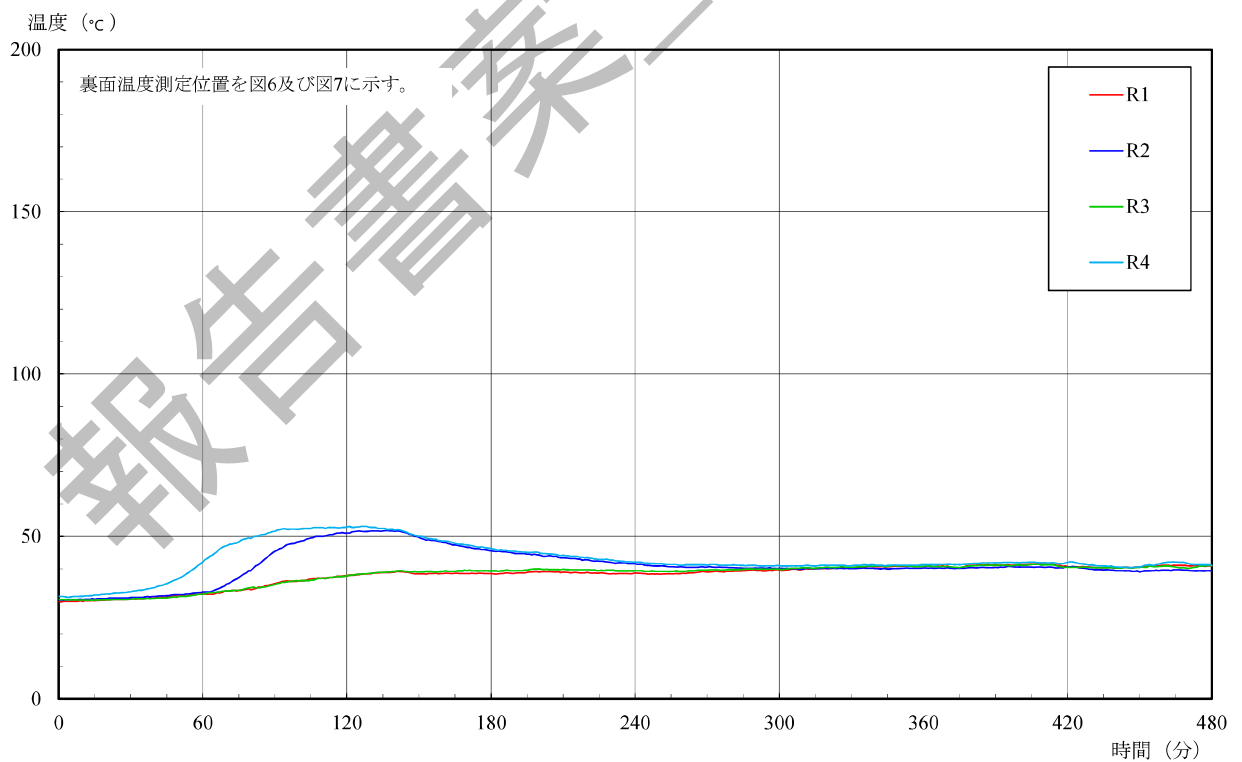


図9 裏面温度測定結果

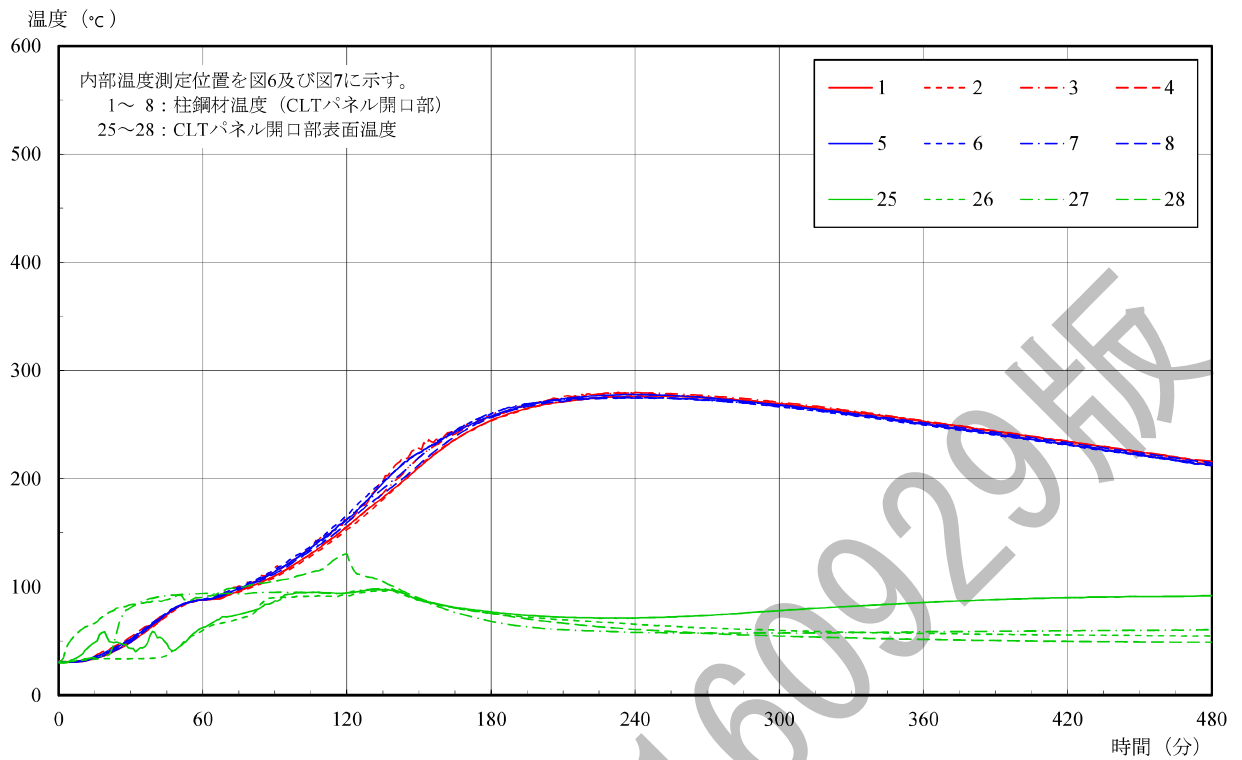


図10 内部温度 (CLT パネル開口部) 測定結果

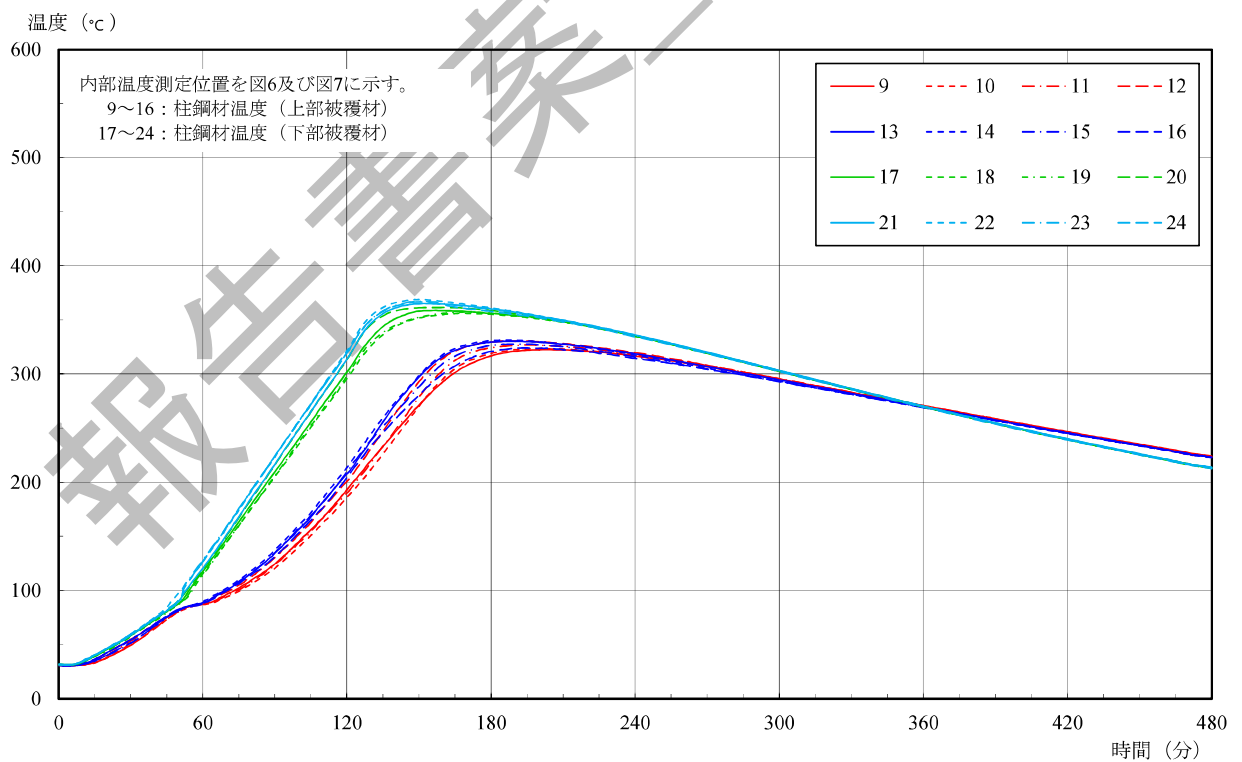


図11 内部温度 (上部被覆材及び下部被覆材) 測定結果

表4 柱鋼材温度測定結果

| 鋼材温度 | CLT パネル開口部 | 上部被覆材 | 下部被覆材 |
|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| 最高 (°C) | 278 (233 分) | 332 (185 分) | 369 (152 分) |
| 平均 (°C) | 277 (238 分) | 327 (193 分) | 362 (154 分) |
| [備考] () 内の分は、到達時間を示す。 | | | |

表5 試験体の外観観察結果

| 状況 | 観察結果 |
|--------|--|
| 加熱中 | 試験開始 15 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 6 参照) |
| | 試験開始 30 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 7 参照) |
| | 試験開始 45 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 8 参照) |
| | 試験開始 60 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 9 参照) |
| | 試験開始 75 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。下部被覆材の横目地が開き始める。 (写真 10 参照) |
| | 試験開始 90 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 11 参照) |
| | 試験開始 105 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 12 参照) |
| | 試験開始 120 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 13 参照) |
| 放冷中 | 試験開始 135 分時 下部被覆材の一部に, 横方向のひび割れ及び上部被覆材下端の反りを確認した。 |
| | 試験開始 140 分時 上部被覆材の一部に, ひび割れを確認した。 (写真 14 参照) |
| 試験後 | 放冷中, 被覆材の脱落等は認められなかった。 試験後の試験体の状況を写真 15~写真 18 に示す。 |
| 開口部の状況 | CLT パネル開口部表面の一部に, 変色が認められた。 開口部各面の状況を写真 19~写真 22 に示す。 |

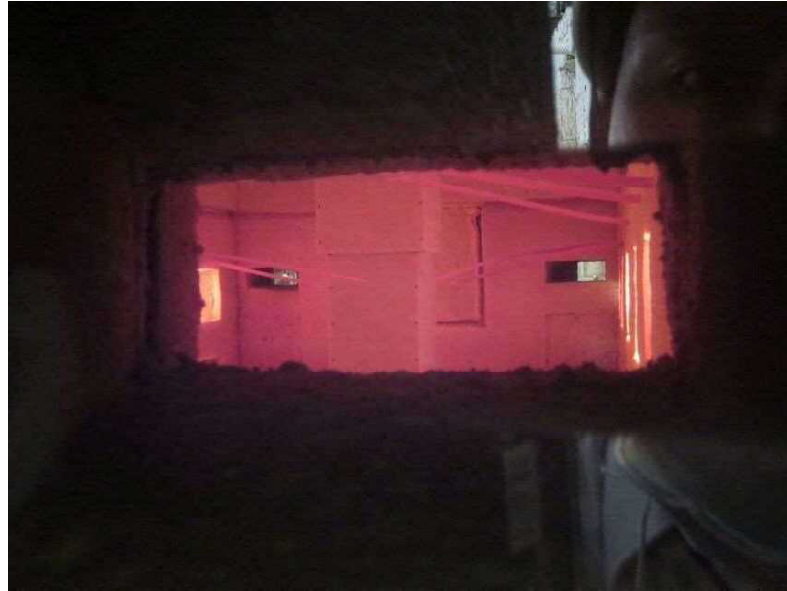


写真6 試験開始15分時の試験体の状況



写真7 試験開始30分時の試験体の状況



写真8 試験開始45分時の試験体の状況



写真9 試験開始60分時の試験体の状況

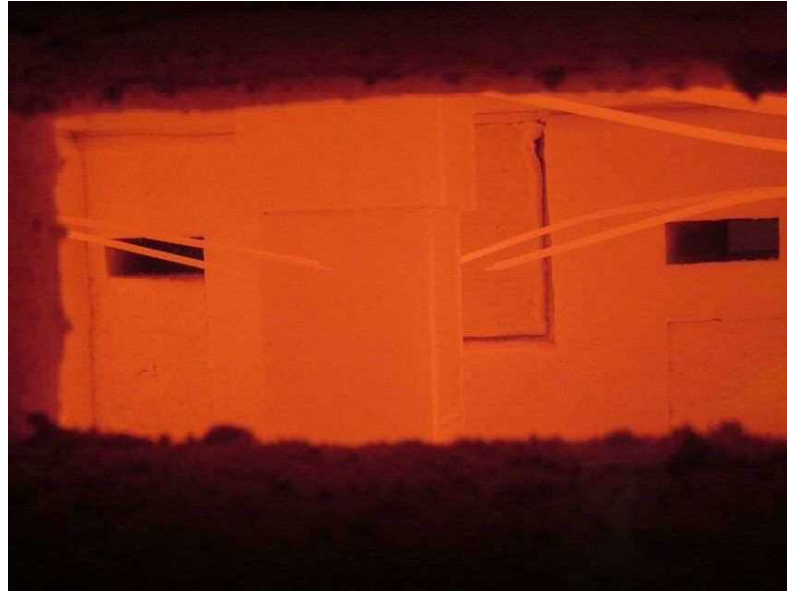


写真 10 試験開始 75 分時の試験体の状況



写真 11 試験開始 90 分時の試験体の状況



写真 12 試験開始 105 分時の試験体の状況



写真 13 試験開始 120 分時の試験体の状況



写真 14 試験開始 140 分時の試験体の状況



写真 15 試験後の試験体（加熱側）の状況



写真16 試験後の試験体（加熱側）の状況

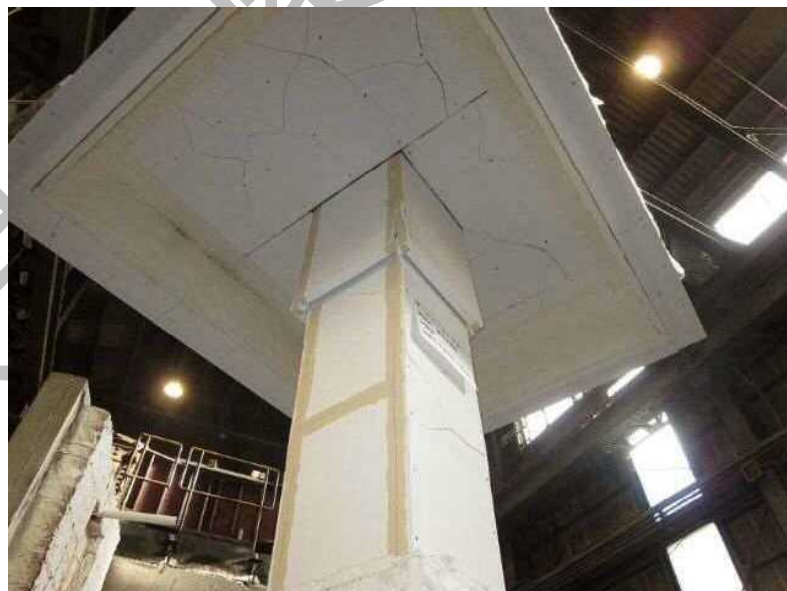


写真17 試験後の試験体（加熱側）の状況



写真 18 試験後の試験体（裏面側）の状況



写真 19 試験後の試験体（開口部：西）の状況



写真 20 試験後の試験体（開口部：北）の状況



写真21 試験後の試験体（開口部：東）の状況



写真22 試験後の試験体（開口部：南）の状況

5. 試験の期間, 担当者及び場所

期 間 平成28年 7月29日

担 当 者 防耐火グループ
統括リーダー 白 岩 昌 幸
主幹 佐 川 修 (主担当)
小森谷 誠

場 所 中央試験所

以下余白

報告書家-160929版

3-2. 実大床構面のせん断性能及び大地震時の耐火被覆の損傷状況の確認

本節では、実設計に使用されたものと全く同仕様での実大床構面のせん断試験を実施し、そのせん断剛性および耐力・破壊性状を確認する。また併せて、2時間耐火の大臣認定を取得した仕様の耐火被覆を設置した場合のせん断試験も実施し、繰返し加力及び大変形時の耐火被覆の損傷状況を確認する。

3-2-1. 実験概要

表 3-2-1 に試験体リストを示す。

試験体は、まず、CLT パネルのみを面材とし 1/150rad まで加力をおこなった (S - CLT - D1)。その後、同じ試験体の CLT パネルの上に 2 時間耐火の大臣認定と同仕様の強化石膏ボード等を貼りつけて加力を行った (S - CLT - E)。さらに S - CLT - E の試験終了後に強化石膏ボード等を剥がし面材を CLT パネルのみとし、実験装置の能力最大まで加力を行った (S - CLT - D2)。

表 3-2-1 試験体リスト

| 試験体名 | 主構成材料 | 加力方法 |
|----------|--|-----------------------------|
| S-CLT-D1 | CLTパネル | 正負交番1回繰返し (1/150radまで加力) |
| S-CLT-E | CLTパネル 強化石膏ボード ALC板 ケイ酸カルシウム板 | 正負交番3回繰返し (1/75radで試験終了) |
| S-CLT-D2 | CLTパネル | 正負交番3回繰返し (1/50radで試験終了) |

3-2-2. 実験経過

試験体概要

図 3-2-1 に S - CLT - D1 時の試験体形状及び寸法、写真 3-2-1、3-2-2 に施工風景を示す。

梁材には、H 形鋼 (H-200×200×8×12)、H 形鋼 (H-450×200×9×14) 及び H 形鋼 (H-488×300×11×13) を高力ボルト (M20) により接合したものをを用いた。

面材に用いた CLT パネルは、5 層 7 プライ 210mm 厚とし、ラミナの樹種はスギ、接着剤には水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤 (API) を用いており、幅はぎ接着を行っている。

梁材と CLT 床の接合は、鋼材に 200mm ピッチで溶接したスタッドを CLT パネルに設けた先孔に通し、エポキシ樹脂接着剤 (TE-243L2 : オーシカ製) を充填し接着を行った。また、CLT パネル同士の接合はスプライン接合とし、28mm 厚の厚板合板 (JAS 1 級) に太め鉄丸釘 CN90 (JIS A 550B) を用いて 100mm ピッチで上部と下部の CLT パネルにそれぞれ留めつけた。

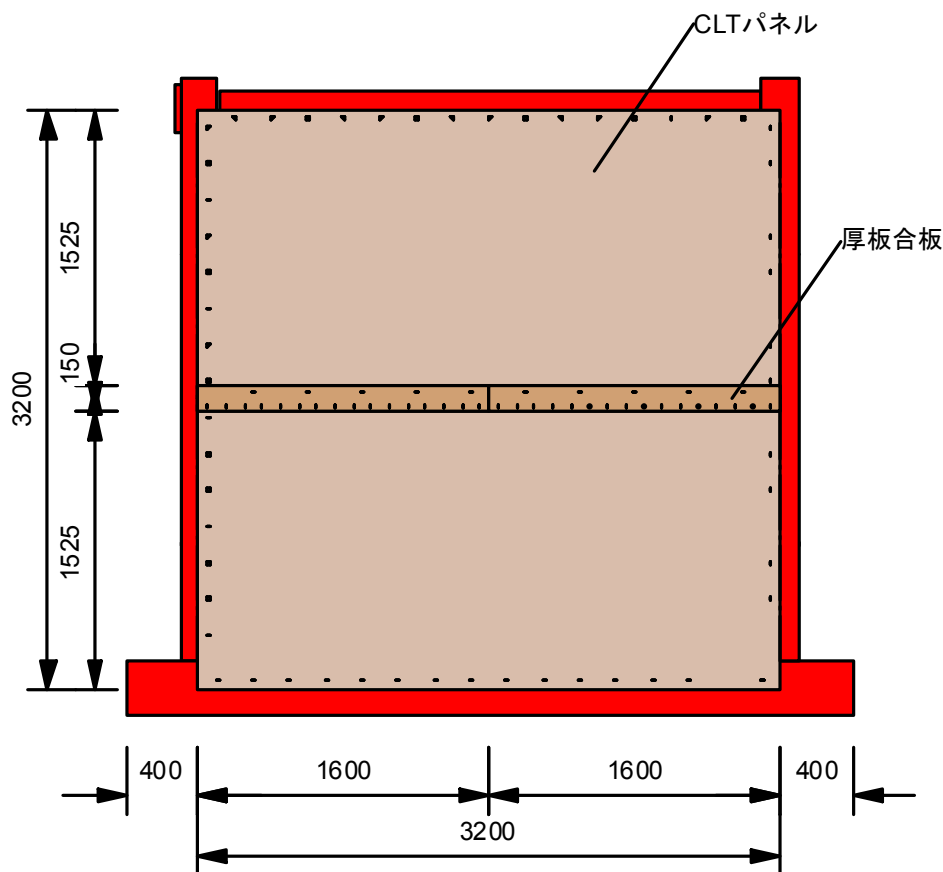


図 3-2-1 試験体形状及び寸法 (単位 : mm)



写真 3-2-1 施工風景（スタッド位置合わせ）



写真 3-2-2 施工風景（接着剤の注入）

図 3-2-2 に本試験に用いた加力装置を示す。

試験方法は『2008 年版木造軸組工法住宅の許容応力度設計』に準拠し、無載荷柱脚固定式で行った。加力は、350kN 複動油圧ジャッキ（(株)理研精機：D3.5-300）により、正負交番 1 回繰り返し加力もしくは正負交番 3 回繰り返し加力とした。目標変形角は 1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad とし、その後 1/20rad に達するまで正加力側に加力を行った。なお、ジャッキの引き方向を正加力側、押し方向を負加力側とした。

荷重の測定にはロードセル（東京測器研究所：TCLP-30B）、制御はジャッキに水平に設置したレーザー変位計（KEYENCE：KZ-U3）による変位制御とした。

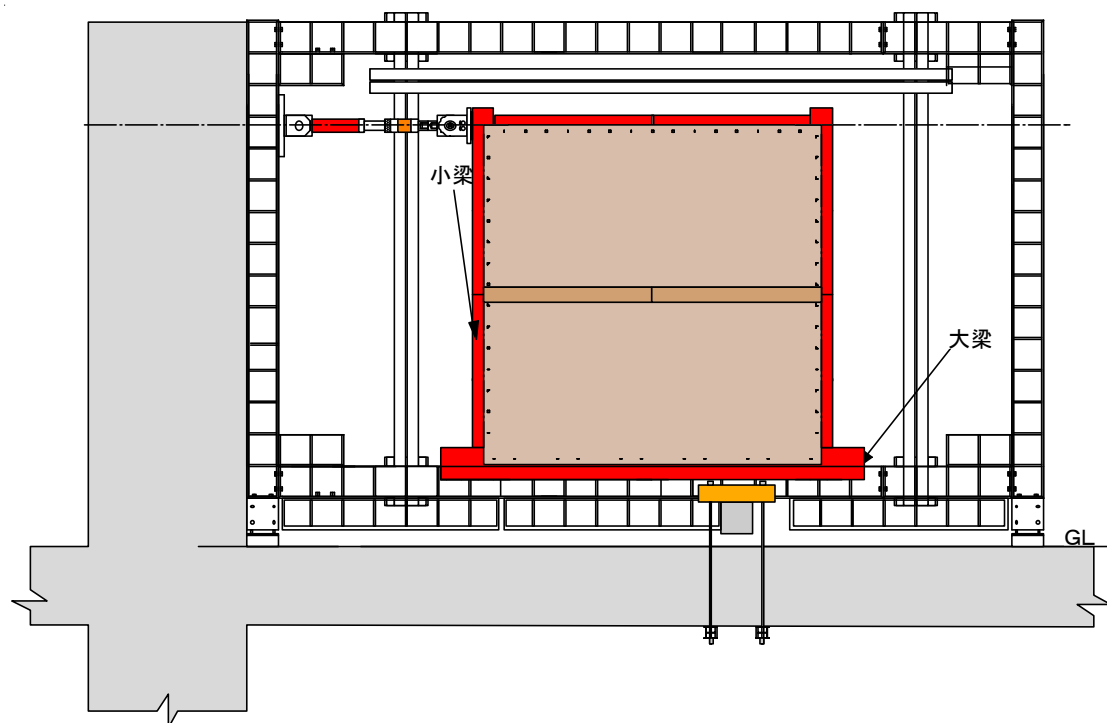


図 3-2-2 加力装置

3-2-3. 試験結果

図 3-2-3 に荷重 - 変形角関係、写真 3-2-3～3-2-5 に代表的な破壊性状を示す。
1～4 サイクルまで試験体にはほとんど変化がみられず、1/150rad で試験終了とした。
この時点では目視で確認できる損傷は発生していなかった。

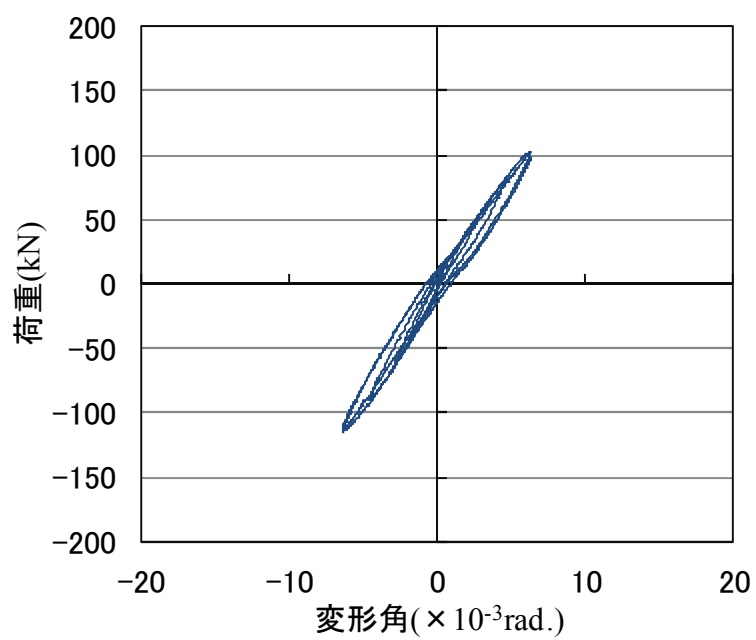


図 3-2-3 荷重 - 変形角関係



写真 3-2-3 1/150rad 加力時全景



写真 3-2-4 破壊性状（損傷なし）

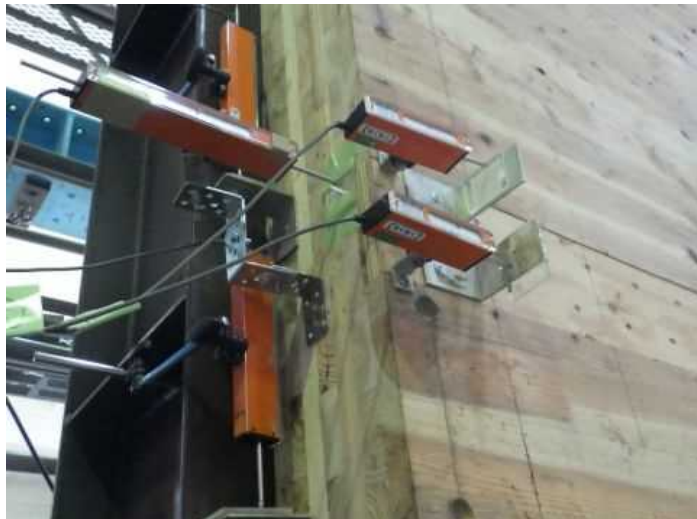


写真 3-2-5 破壊性状（損傷なし）

図 3-2-4 に耐火被覆を施した S - CLT - E 試験体形状及び寸法、写真 3-2-6、3-2-7 に耐火被覆材の施工風景を示す。

すなわち、床側のパネルに強化石膏ボード（厚さ：15mm）2 枚及び ALC 板（厚さ：36mm）1 枚、天井側のパネルに強化石膏ボード（厚さ：15mm）3 枚及びケイ酸カルシウム板（厚さ：15mm）1 枚を図 3-2-5～3-2-11、写真 3-2-8～3-2-14 に示すようにビスを用いて留めつけた。

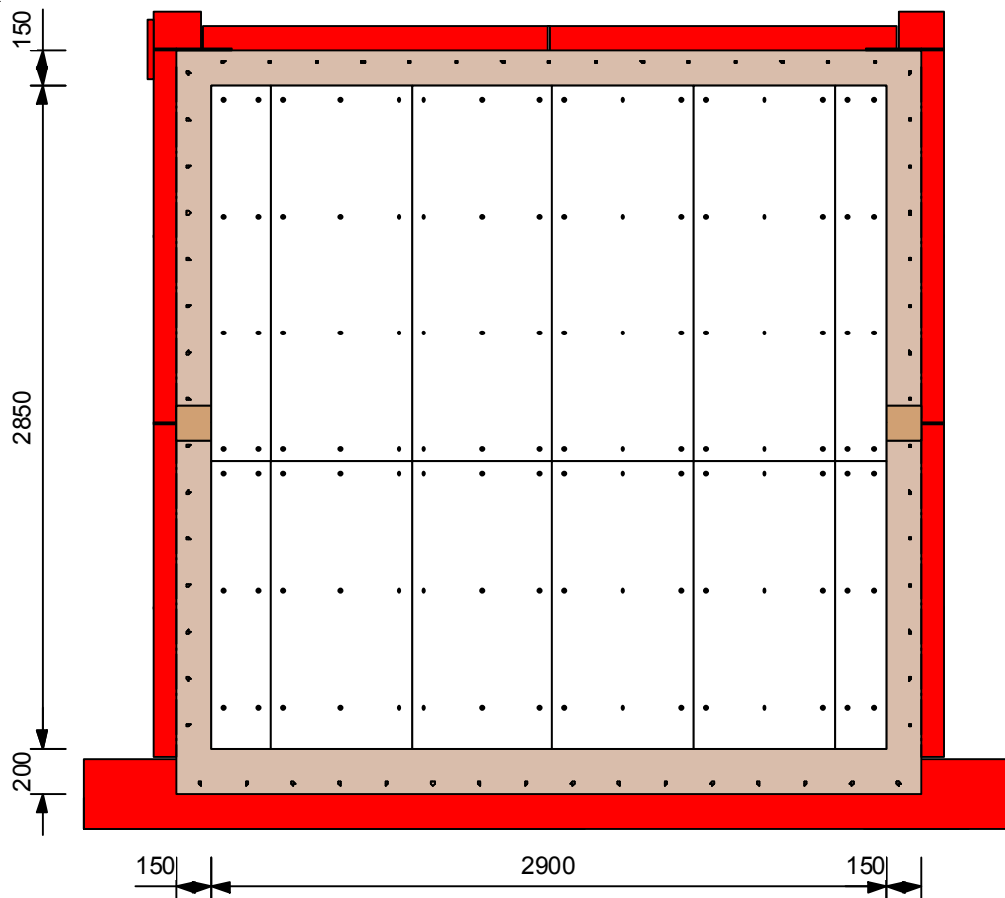


図 3-2-4 試験体形状及び寸法



写真 3-2-6 施工風景（床側）



写真 3-2-7 施工風景（天井側）

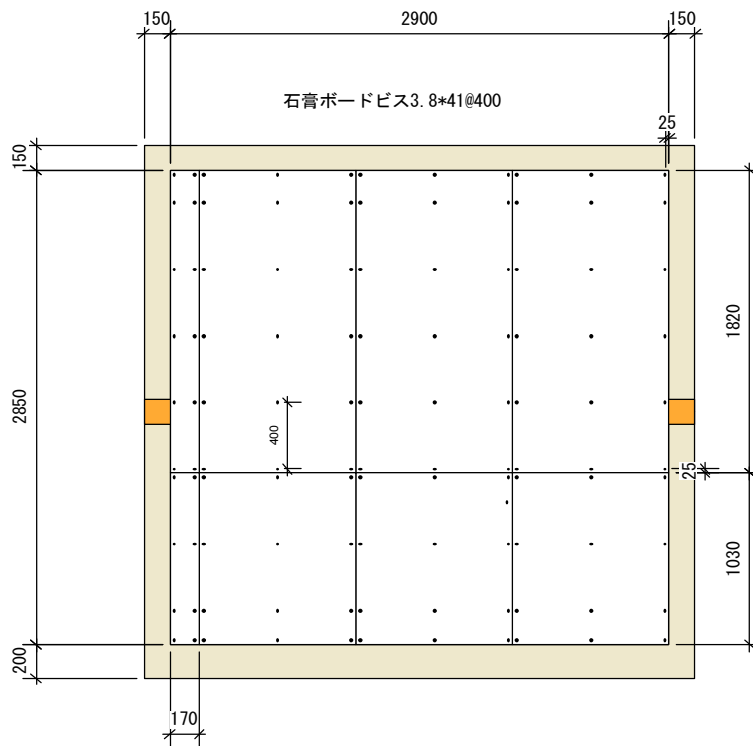


図 3-2-5 床面 1 枚目・強化石膏ボード施工図



写真 3-2-8 床面 1 枚目・強化石膏ボード施工写真

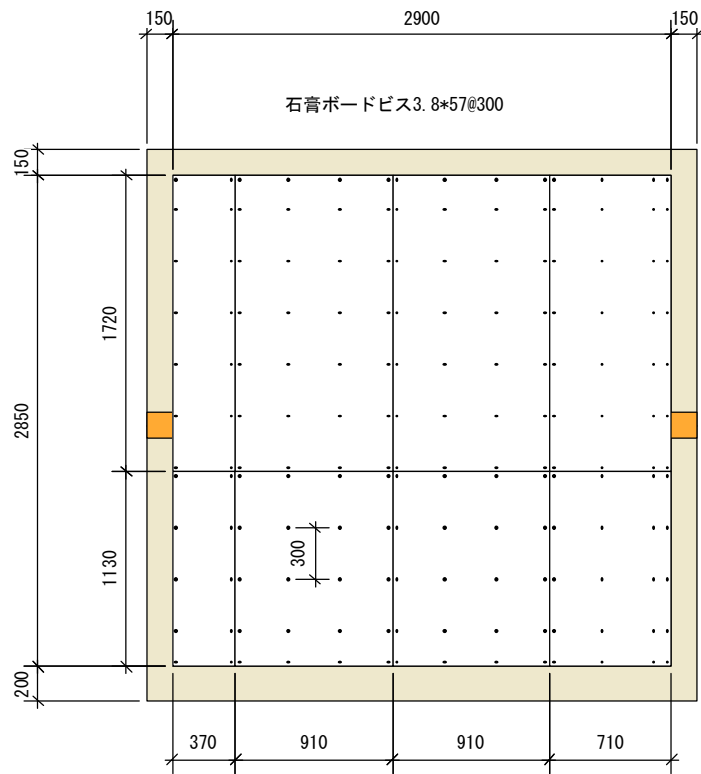


図 3-2-6 床面 2 枚目・強化石膏ボード施工図



写真 3-2-9 床面 2 枚目・強化石膏ボード施工写真

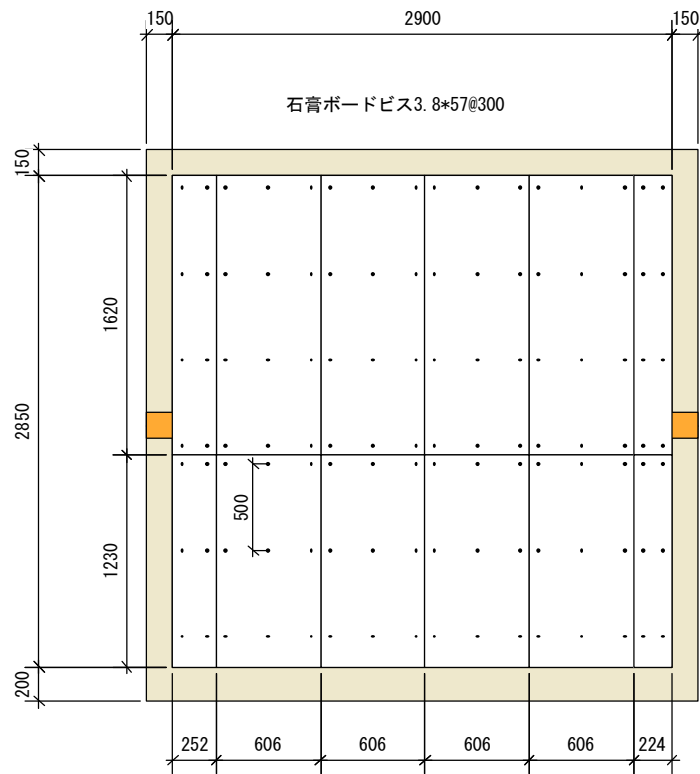


図 3-2-7 床面 3 枚目・ALC 板施工図



写真 3-2-10 床面 3 枚目・ALC 板施工写真

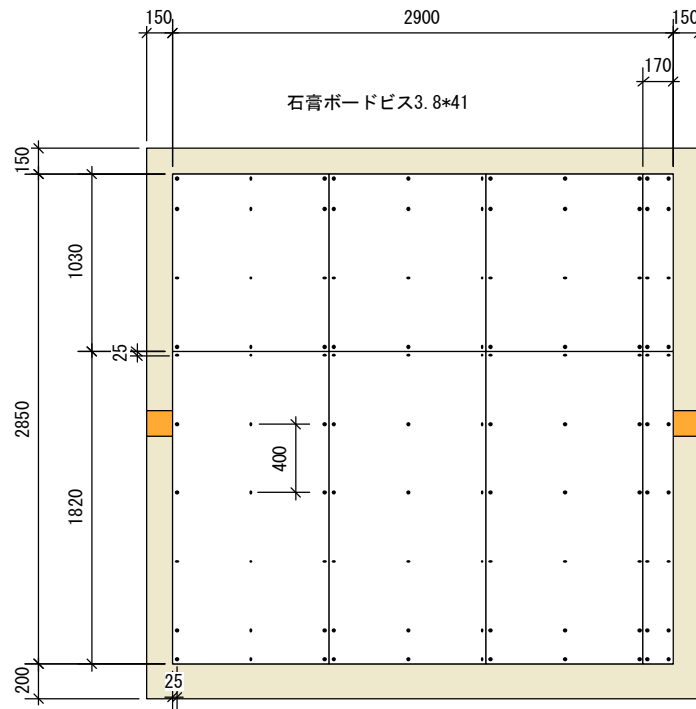


図 3-2-8 天井面 1 枚目・強化石膏ボード施工図



写真 3-2-11 天井面 1 枚目・強化石膏ボード施工写真

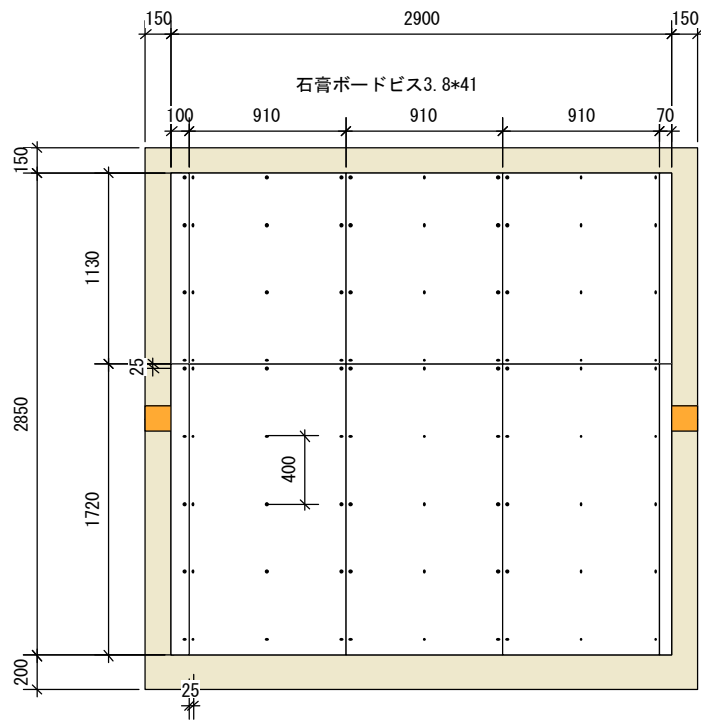


図 3-2-9 天井面 2 枚目・強化石膏ボード施工図



写真 3-2-12 天井面 2 枚目・強化石膏ボード施工写真

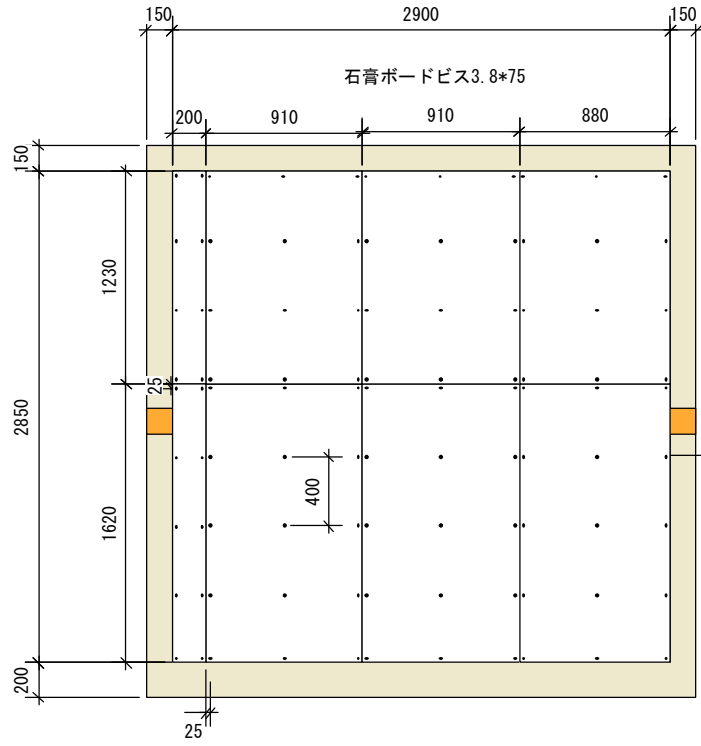


図 3-2-10 天井面 3 枚目・強化石膏ボード施工図



写真 3-2-13 天井面 3 枚目・強化石膏ボード施工写真

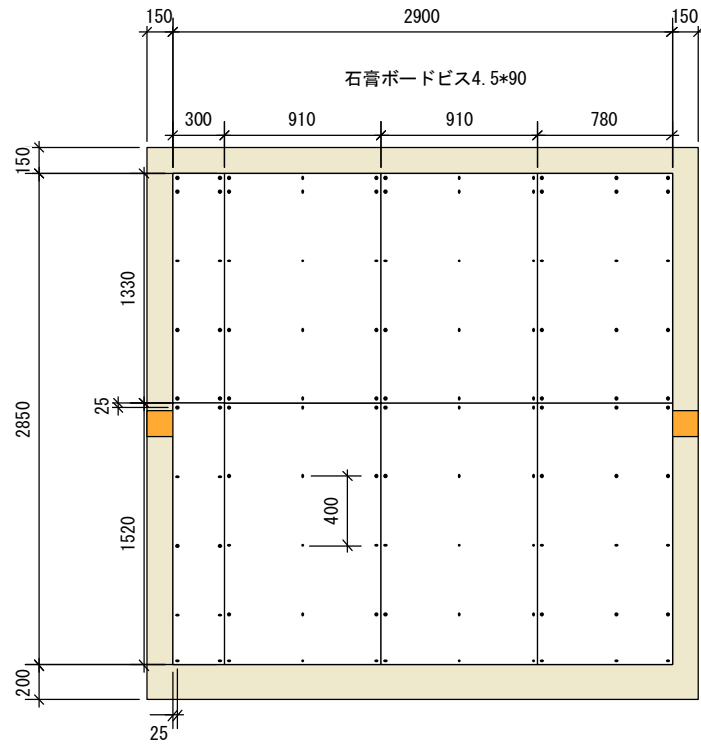


図 3-2-11 天井面 4 枚目・ケイ酸カルシウム板施工図



写真 3-2-14 天井面 4 枚目・ケイ酸カルシウム板施工写真

図 3-2-12 に荷重 - 変形角関係、写真 3-2-15～3-2-18 に代表的な破壊性状を示す。

1～6 サイクルまで試験体にほとんど変化がみられなかった。その後、1/75rad で複動油圧ジャッキの性能が限界となったため、試験終了とした。この時点では目視で確認できる損傷は発生していなかった。

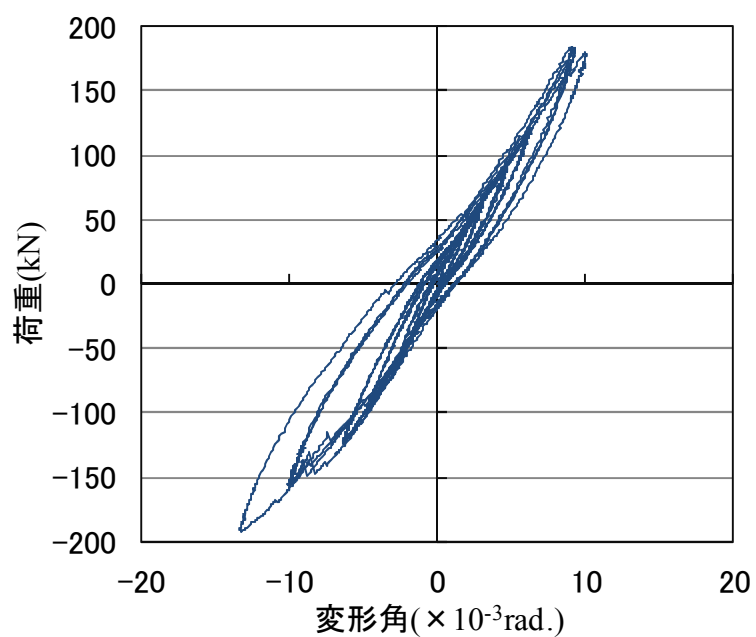


図 3-2-12 荷重 - 変形角関係



写真 3-2-15 実験終了時全景

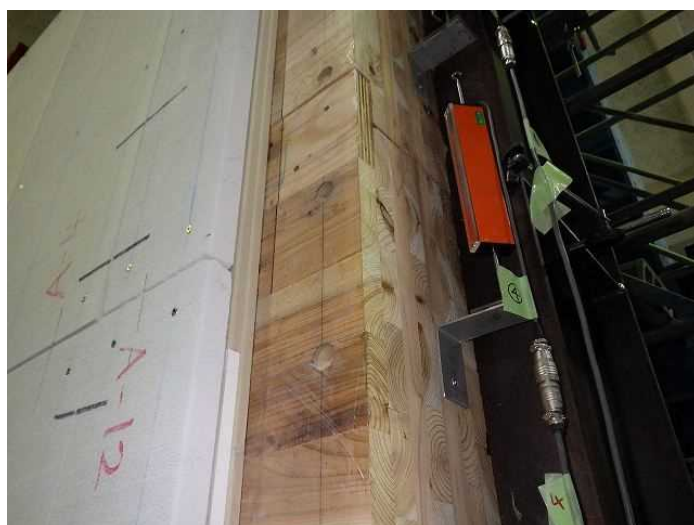


写真 3-2-16 破壊性状 (損傷なし)



写真 3-2-17 破壊性状 (損傷なし)



写真 3-2-18 破壊性状 (損傷なし)

図 3-2-13 に強化石膏ボード等を剥がした S - CLT - D2 試験体の荷重 - 変形角関係、写真 3-2-19～3-2-22 に代表的な破壊性状を示す。

1～4 サイクルまでは試験体にほとんど変化がみられなかった。5 サイクル目から、スタッドが端抜けし始め、1/50rad で複動油圧ジャッキの性能が限界となったため、試験終了とした。試験終了時には、スタッドの端抜け、CLT パネルとスプラインのずれ、CLT パネルの浮き上がりがみられた。

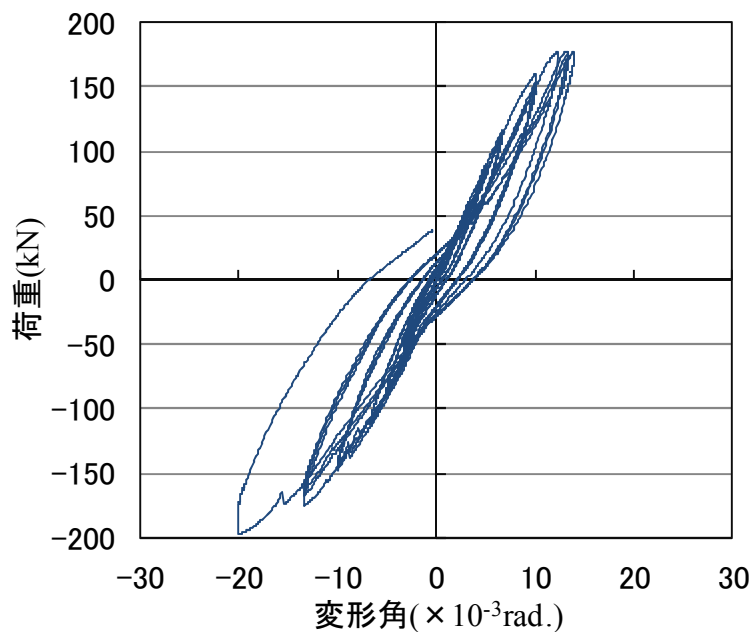


図 3-2-13 荷重 - 変形角関係



写真 3-2-19 実験終了時全景

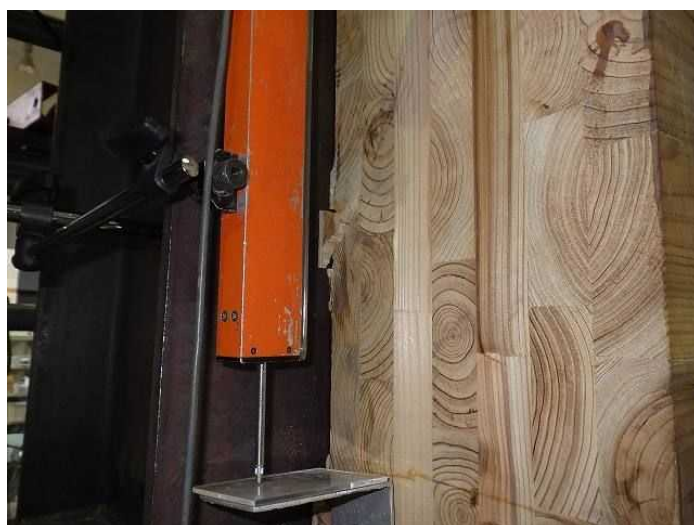


写真 3-2-20 スタッドの端抜け



写真 3-2-21 CLT パネルとスプラインのずれ



写真 3-2-22 パネルの浮き上がり

3-2-4. 特性値一覧

表 3-2-2 に試験から得られた特性値一覧を示す。なお、特性値については、『木質構造設計規準・同解説』に基づき包絡線を完全弾塑性モデルに置換して算出した。また、一昨年度の有開口床のせん断性能の試験結果についても同時に示す。なお、一昨年度の試験体は、図 3-2-14~3-2-16 に示すように S - CLT - A は鋼材フレームのみ、S - CLT - B は鋼材フレーム+CLT パネル、S - CLT - C は鋼材フレーム+CLT パネル（開口あり）となっており、今年度の試験体との相違点は表 3-2-3 に示す通りである。

表 3-2-2 特性値一覧

| 試験体名 | 初期剛性 ($\times 10^3$ kN/rad) | 降伏耐力 (kN) | 最大耐力 (kN) |
|----------|---------------------------------|--------------|--------------|
| S-CLT-A | 0.10 | 0.23 | 0.33 |
| S-CLT-B | 6.71 | 52.10 | 90.34 |
| S-CLT-C | 4.49 | 47.07 | 87.04 |
| S-CLT-D1 | 19.30 | 52.39 | 102.91 |
| S-CLT-E | 18.91 | 124.53 | 182.98 |
| S-CLT-D2 | 17.59 | 99.62 | 177.47 |

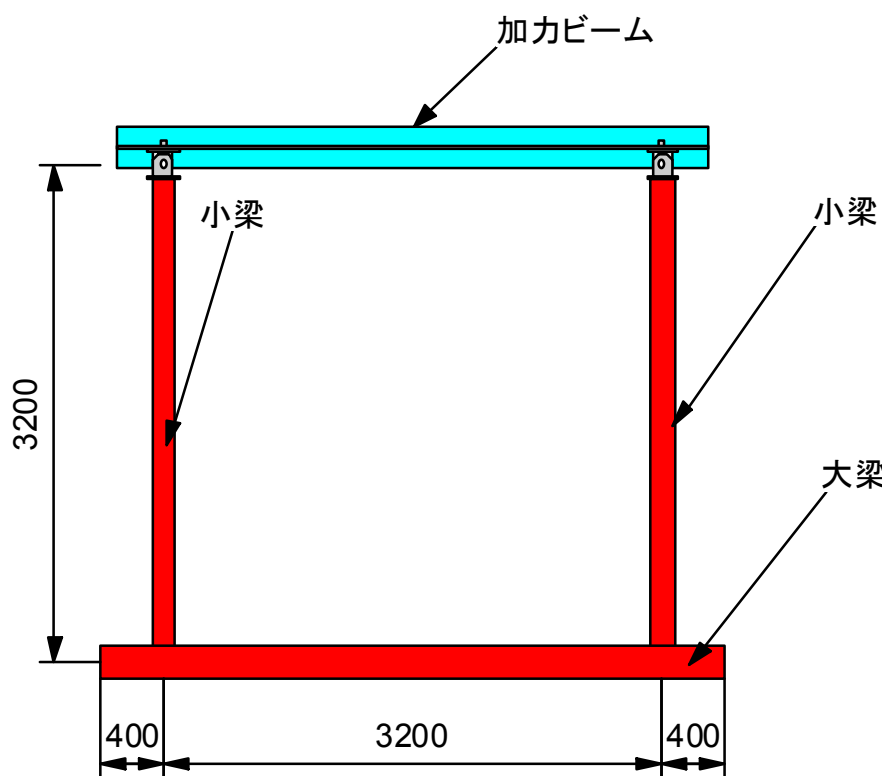


図 3-2-14 S - CLT - A (鋼材フレームのみ)

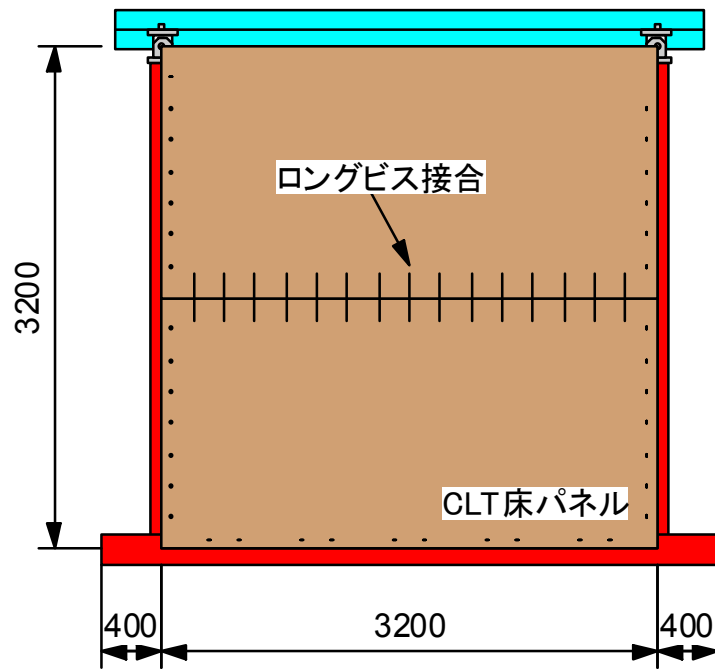


図 3-2-15 S - CLT - B (鋼材フレーム+CLT パネル)

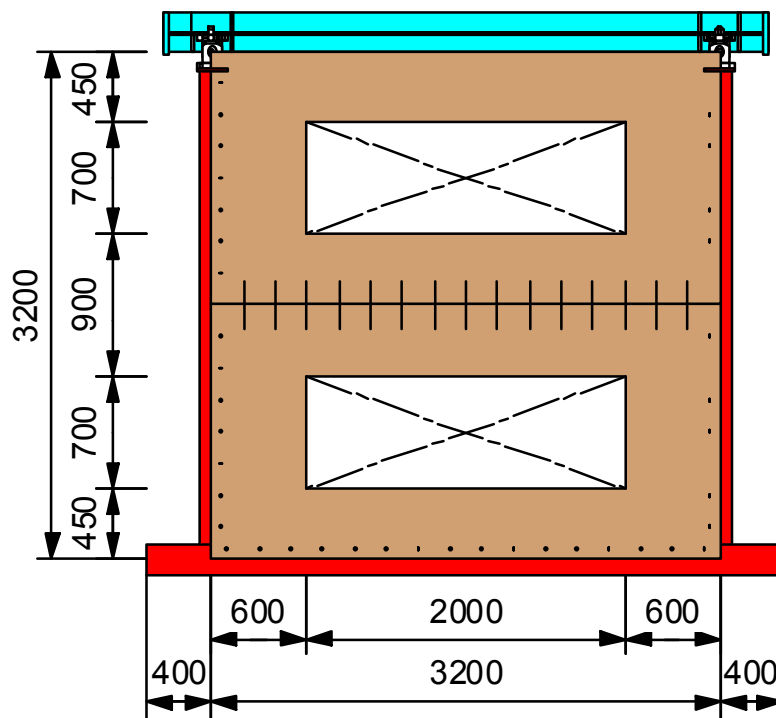


図 3-2-16 S - CLT - C (鋼材フレーム+CLT パネル (開口あり))

表 3-2-3 一昨年度と今年度の試験体の相違点

| 試験体名 | 主構成材料 | CLTパネル | 梁材 | 梁材とCLTパネルの接合 | 加力方法 |
|----------|--|--|--|---|------------------------------|
| S-CLT-A | 鋼材フレームのみ | | | | 正負交番1回繰り返し (1/25radで試験終了) |
| S-CLT-B | CLTパネル | 5層5プライ150mm厚 (ラミナの樹種:スギ 接着剤:API 幅はぎ接着有) | H-300×150×6.5×9、 H-600×200×11×17 をM20により接合 | エポキシ樹脂接着剤により 200mmピッチでスタッドと CLTパネルを接着(3面) | |
| S-CLT-C | CLTパネル (開口有り) | | | | |
| S-CLT-D1 | CLTパネル | 5層7プライ210mm厚 (ラミナの樹種:スギ 接着剤:API 幅はぎ接着有) | H-200×200×8×12、 H-450×200×9×14、 H-488×300×11×13 をM20により接合 | エポキシ樹脂接着剤により 200mmピッチでスタッドと CLTパネルを接着(4面) | 正負交番1回繰り返し (1/150radまで加力) |
| S-CLT-E | CLTパネル 強化石膏ボード ALC板 ケイ酸カルシウム板 | | | | 正負交番3回繰り返し (1/75radで試験終了) |
| S-CLT-D2 | CLTパネル | | | | 正負交番3回繰り返し (1/50radで試験終了) |

初期剛性

図 3-2-17 に各試験体の初期剛性を示す。鋼材フレームのみ試験体である S-CLT-A は初期剛性の値がほぼ 0kN/rad であった。または、S - CLT - C は開口部を設けたことで初期剛性が S - CLT - B と比較して、30%程度低下した。今年度の試験体を S - CLT - B と比較すると、試験体上部の辺に 200H の小梁が付け加えられスタッドを増加したことと、CLT パネルが 5 プライから 7 プライに厚くなったことで初期剛性はいずれも高くなった。また、今年度の強化石膏ボード等を貼りつけた試験体の初期剛性は S - CLT - D1 と同程度、S - CLT - D2 よりわずかに高い値であった。

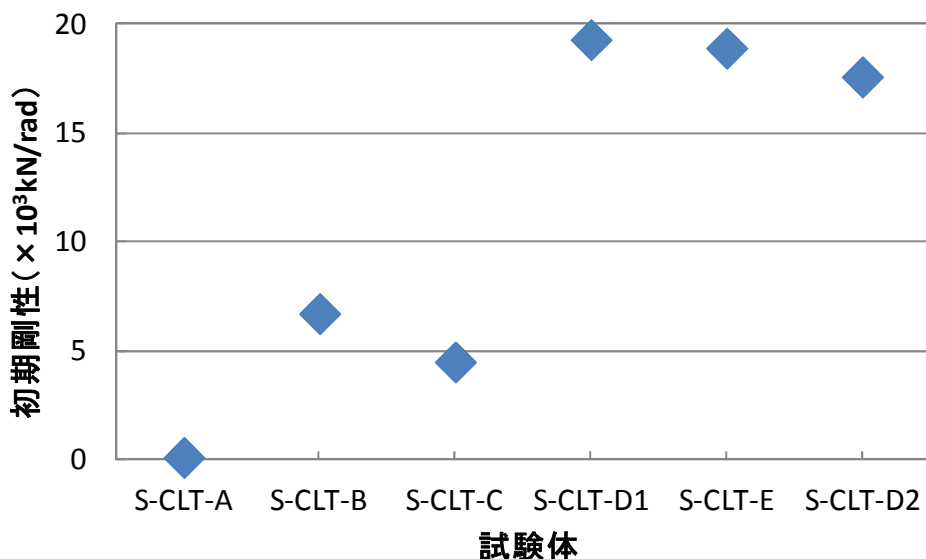


図 3-2-17 初期剛性

降伏耐力

図 3-2-18 に各試験体の降伏耐力を示す。鋼材フレームのみ試験体である S-CLT-A は降伏耐力の値がほぼ 0kN であった。また面材を設けた試験体 S - CLT - B は、開口を設けた S - CLT - C と同等の値を示した。S - CLT - D2 と S - CLT - E の降伏耐力を比較すると、強化石膏ボード等を貼ることで降伏耐力は 1.25 倍となった。なお、S - CLT - D1 については、1/150rad で加力を終了したため、降伏に達していないものと思われる。

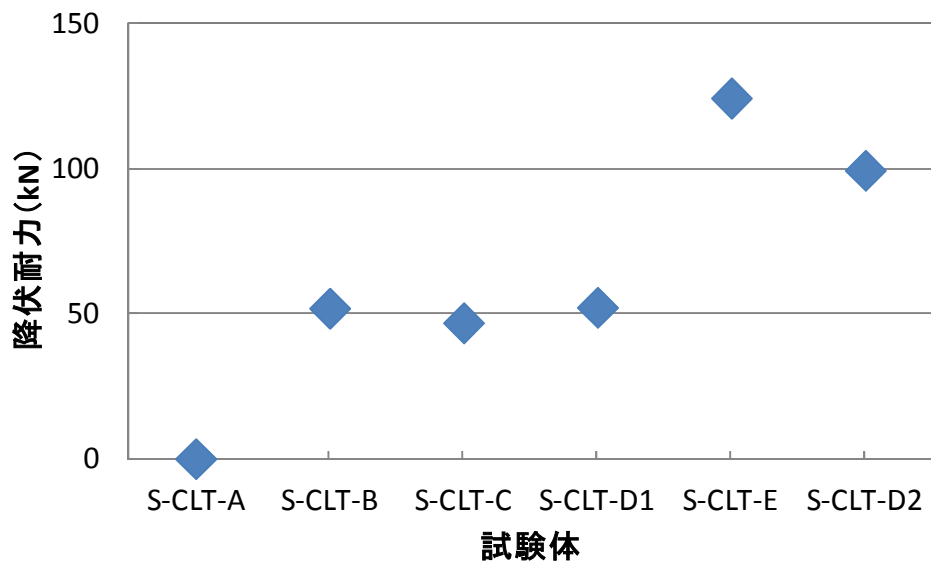


図 3-2-18 降伏耐力

最大耐力

図 3-2-19 に各試験体の最大耐力を示す。鋼材フレームのみ試験体である S-CLT-A は降伏耐力の値がほぼ 0kN であった。また面材を設けた試験体 S - CLT - B は、開口を設けた S - CLT - C と同等の値を示した。複動油圧ジャッキの性能が限界であったため、S - CLT - E と S - CLT - D2 の最大耐力は同程度であった。

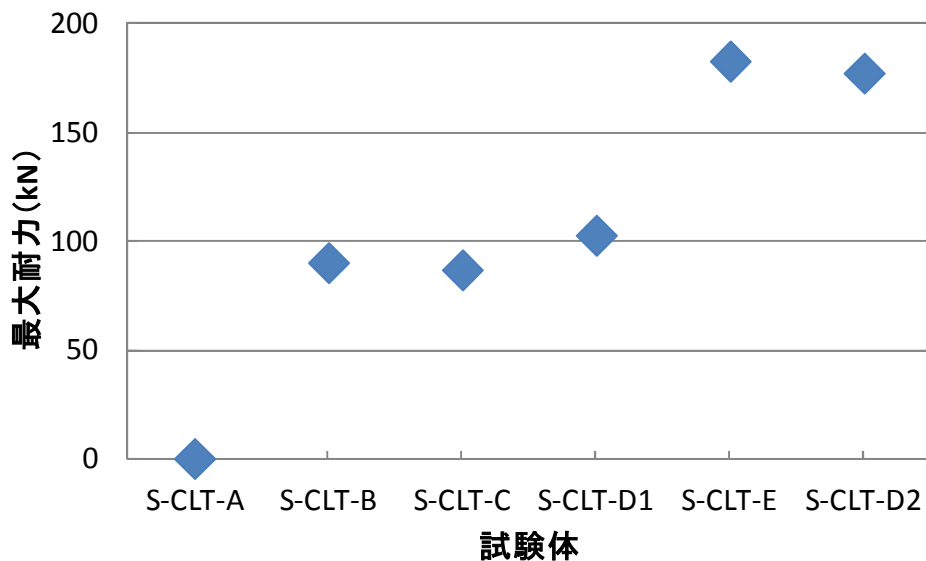


図 3-2-19 最大耐力

3-2-5. まとめ

本節では、実設計に使用されたものと全く同仕様での実大床構面のせん断試験を実施し、そのせん断剛性および耐力・破壊性状を確認した。また併せて、2時間耐火の大臣認定を取得した仕様の耐火被覆を設置した場合のせん断試験も実施し、繰返し加力及び大変形時の耐火被覆の損傷状況を確認した。

破壊性状において、S - CLT - D2 では、スタッドの端抜け、パネルのずれ、パネルの浮き上がりがみられたが、そのほかの試験体では、複動油圧ジャッキの性能が限界に達したことで試験を終了したため、大きな破壊はみられなかった。耐火被覆の強化石膏ボード等をのついても、1/75rad まで加力したが、大きな損傷は見られなかった。

また、実験終了後に試験体は破壊していなかったため、最大耐力はまだ上昇すると考えられるが、床構面の実用的な構造設計に使用する範囲での耐力・剛性の実験データが得られた。また、1/75rad の変形を生じても耐火被覆材には大きな損傷は発生せず、大地震後の耐火被覆性能には問題がないことが確認された。

第4章 鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能

4-1. 試験の内容

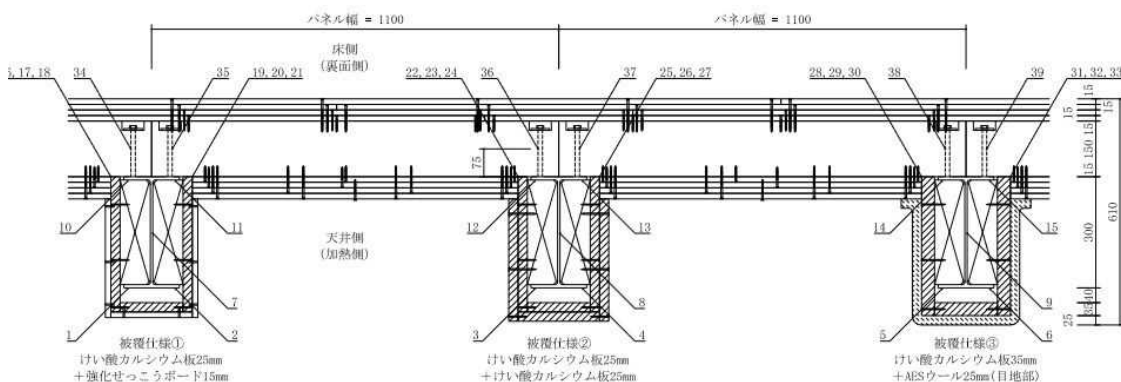
昨年までの研究・確認試験において耐火 2 時間性能に対応した表題試験について数タイプの仕様について加熱試験を実施し確認を行ってきた。^{※1}しかし、実際の設計においては、最上階から 4 層までは耐火 1 時間の性能要求であり 2 時間対応スペックでは、オーバースペックとなってしまう。CLT の耐火認定も別途 1 時間で良いのだが、近く木造床 1 時間耐火が告示化されるという話も聞こえており、それらを考慮して今年度の事業では、床 1 時間耐火構造に対応した鋼材に求められる被覆仕様について検討することとした。

2 時間仕様も同様であるが、新たに鉄骨構造の耐火被覆認定を取得する訳ではなく、既認定仕様に対してプラス α とすることで内部鋼材温度（CLT 接触面）を 200℃以下に抑えることを目的とし、施工性・費用の 2 点を考慮し仕様を検討した。

^{※1}平成 26 年度林野庁委託事業「鋼構造オフィスビル床の CLT 化」（耐火部材開発）

4-2. 試験体、試験体図

今回は、次の 3 仕様について試験を実施し性能を確認することとした。



左から被覆仕様は

- ① ケイ酸カルシウム板(25mm 1 時間耐火認定仕様)+強化せっこうボード 15mm
- ② ケイ酸カルシウム板(25mm 1 時間耐火認定仕様)の 2 重貼り
- ③ ケイ酸カルシウム板(35mm 2 時間耐火認定仕様)の 1 重貼り
目地部に AES ウール 25mm 貼^{※2}

^{※2} 加熱時の収縮により 1 重では隙間が生じ鋼材が、直接加熱されてしまう為

施工性から考えるとボードよりもロックウール等の方が優れているが、既往の加熱試験^{※1}においてロックウール系では鋼材温度が 400℃近くまで上昇し CLT に焦げ・変色を発生させてしまうことが、判っており加熱 1 時間とは言え 200℃は超えると予想されたため採用していない。



写真 4-1 試験体加熱前



写真 4-2 試験体加熱後

4-3. 試験方法

試験は、(一財) 建材試験センターの業務方法書の耐火性能試験・評価方法に従い、加熱時間を 60 分とし、加熱終了後 180 分の放冷を行った後、脱炉・試験体の解体を行い鋼材と CLT の接触面近傍の変化を確認した。

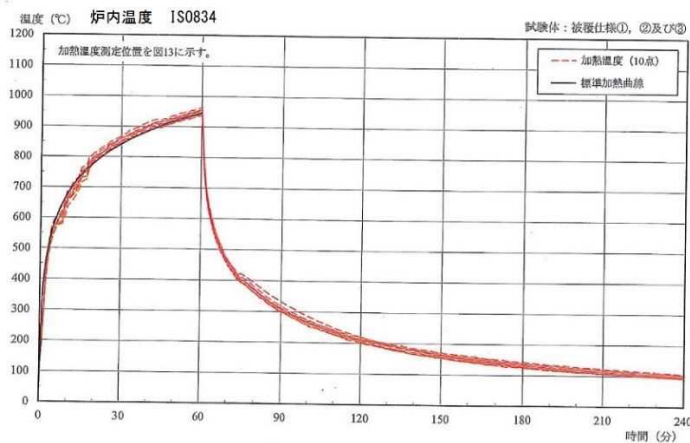


図 4-1 標準加熱曲線
(炉内温度)

4-4. 結果と考察

解体後、目視にて炭化・変色の確認をおこなったが、仕様①～③すべてにおいて炭化・変色は見受けられず、1 時間耐火構造における鋼材の被覆としては、有効であることが確認できた。優位性について順に並べると

- | | |
|------------|-----------|
| A. 内部温度 性能 | ② > ① > ③ |
| B. 施工性 | ③ > ① > ② |
| C. 価格 | ① > ③ > ② |

以下に 試験結果（内部温度）と試験体写真を示す。

結果詳細は、試験報告書（写）参照

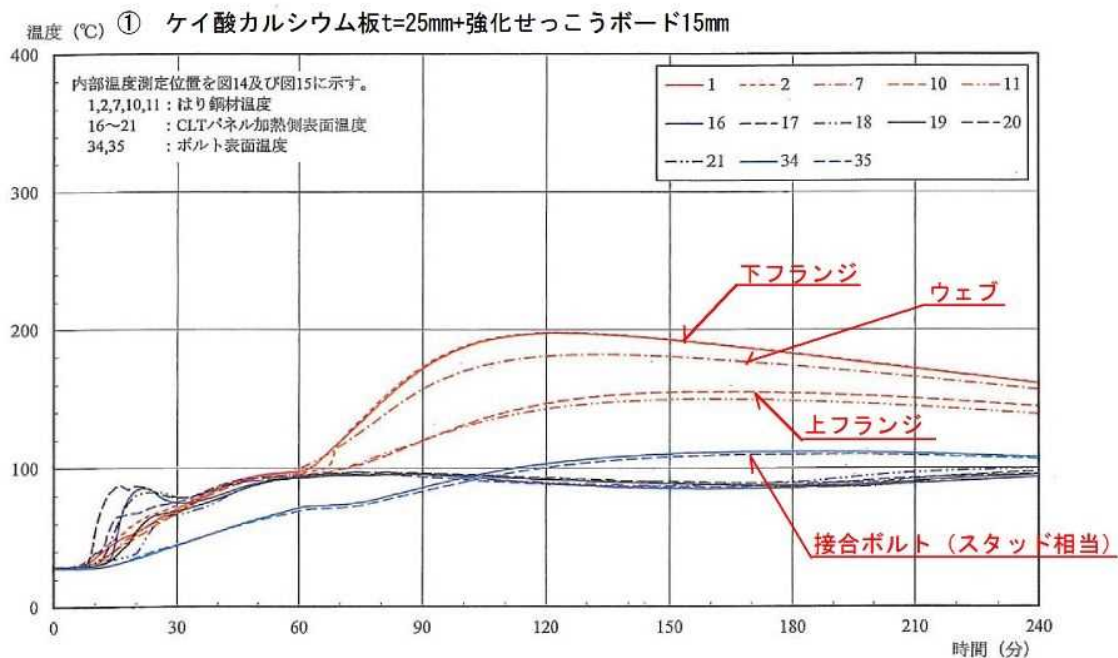


図 4-2 被覆仕様① 内部温度

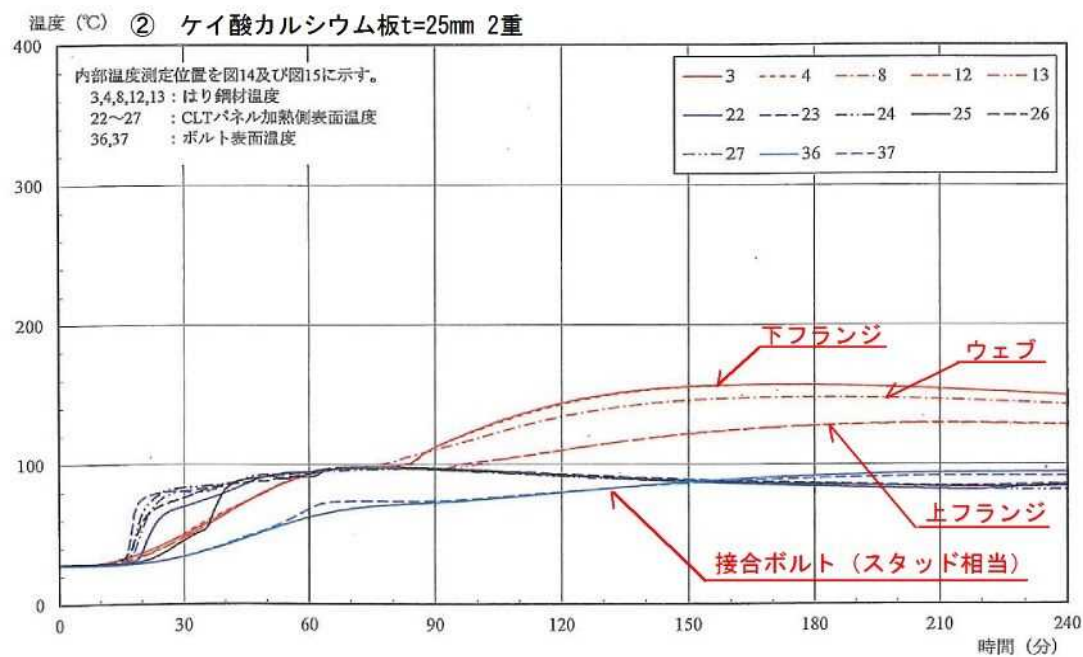


図 4-3 被覆仕様② 内部温度

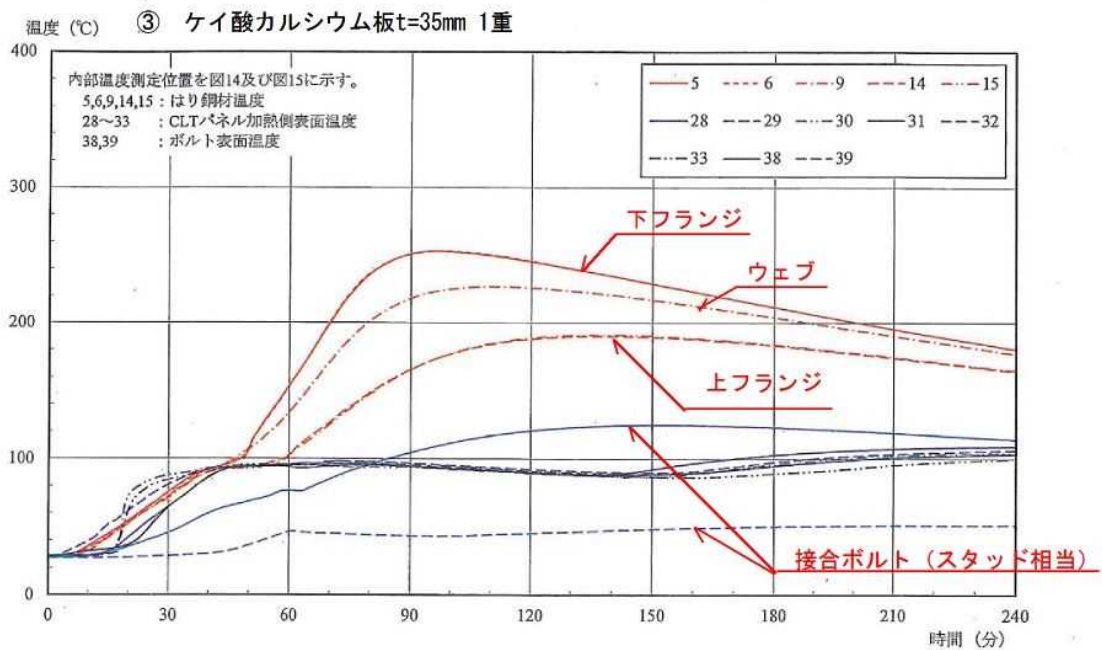


図 4-4 被覆仕様③ 内部温度



写真 4-3 建材試験センター 梁炉



写真 4-4 被覆仕様① 試験後 CLT 表面

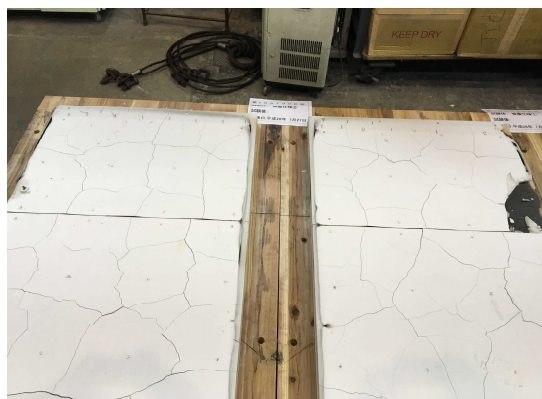


写真 4-5 被覆仕様② 試験後 CLT 表面



写真 4-6 被覆仕様③ 試験後 CLT 表面

[試験名称]

直交集成板造床／鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能試験

[目次]

| | | |
|-------------------|-------|----|
| 1. 試験の内容 | ----- | 2 |
| 2. 試験体 | ----- | 2 |
| 3. 試験方法 | ----- | 20 |
| 4. 試験結果 | ----- | 25 |
| 5. 試験の期間, 担当者及び場所 | ----- | 43 |

報告書家160929版

1. 試験の内容

山佐木材株式会社から提出された直交集成板（以下、「CLT パネル」という。）と鉄骨はり（以下、「はり」という。）の接合部に、3 仕様の耐火被覆を施した直交集成板造床試験体について、（一財）建材試験センターが定めた防耐火性能試験・評価業務方法書（以下、「業務方法書」という。）に従って 60 分加熱（180 放冷）の耐火試験を行い、下記に示す項目について測定及び観察を行った。

- (1) はり内部温度の測定
- (2) 試験体裏面温度の測定
- (3) 試験前後（加熱中及び放冷中含む）の試験体の状況観察
- (4) CLT パネル・はり取合い部の炭化・変色状況の観察

2. 試験体

試験体は、幅 2300×長さ 4400mm の鋼製試験体枠に、幅 1100mm×長さ 2300mm×厚さ 150mm の CLT パネルを 4 枚並べ、それぞれの CLT パネルをはり（H-300×150×6.5×9mm）で支持させた床である。試験体の天井側（加熱側）及び床側（裏面側）は、いずれも強化せっこうボード（厚さ 15mm）×3 枚下張+けい酸カルシウム板（厚さ 15mm）上張とした耐火被覆を施している。また、はりと CLT パネルはボルトで接合されており、はりは、表 1 に示すようにそれぞれ仕様の異なる耐火被覆（3 仕様）を施している。

被覆材の密度及び含水率を表 2 に、試験体構成材料の密度及び含水率を表 3 に、試験体図を図 1～図 12 に、試験前の試験体の状況を写真 1～写真 7 に示す。

表1 はりの耐火被覆仕様（依頼者提出資料）

| 仕 様 | 構 造 |
|-------|---|
| 被覆仕様① | 構造：強化せっこうボード（厚さ 15mm）上張・けい酸カルシウム板（厚さ 25mm）下張 目地：突付け（目地処理：無し） |
| 被覆仕様② | 構造：けい酸カルシウム板（厚さ 25mm）重張 目地：突付け（目地処理：無機系耐火接着剤） |
| 被覆仕様③ | 構造：けい酸カルシウム板（厚さ 35mm）単張 目地：突付け （目地処理：無機系耐火接着剤 ＋アルカリアースシリケートウール（厚さ 25mm）無機系耐火接着剤張り） |

表2 はり被覆材の密度及び含水率

| 構 成 材 料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 | 被覆仕様 |
|--|-------------------------|-----------|------------|------|
| 強化せっこうボード (厚さ 15mm) | 0.79 | 0.2 | 40°C, 9日間 | ① |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 25mm) | 0.40 | 2.9 | 105°C, 9日間 | ①, ② |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 35mm) | 0.38 | 2.5 | 105°C, 9日間 | ③ |
| アルカリアースシリケートウール (厚さ 25mm) | 121 ^{a)} | — | 105°C, 1日間 | ③ |
| [備考] 密度及び含水率の値は、依頼者から提出された試料より求めた。 | | | | |
| 注 ^{a)} 単位は、" kg/m ³ " である。 | | | | |

表3 試験体構成材料の密度及び含水率

| 構 成 材 料 | 密度 (g/cm ³) | 含水率 (質量%) | 乾燥温度, 期間 |
|------------------------------------|-------------------------|-----------|-------------|
| CLT パネル (厚さ 150mm) | 0.35 | 11.9 | 105°C, 14日間 |
| 強化せっこうボード (厚さ 15mm) | 0.79 | 0.2 | 40°C, 9日間 |
| けい酸カルシウム板 (厚さ 15mm) | 0.40 | 2.2 | 105°C, 9日間 |
| [備考] 密度及び含水率の値は、依頼者から提出された試料より求めた。 | | | |

図1 試験体図

単位 mm
(依頼者提出資料)

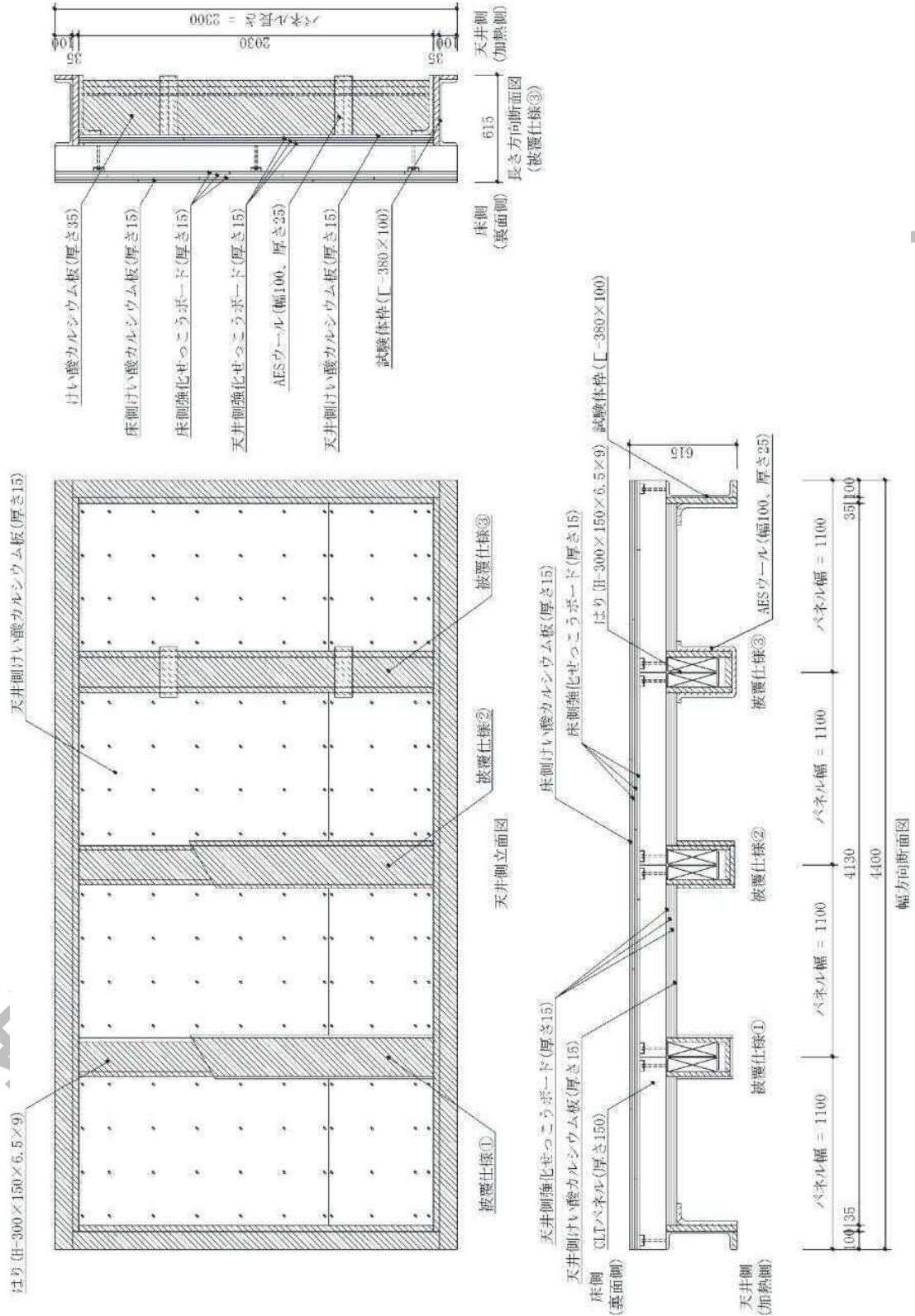


図2 試験体図

単位 mm
(依頼者提出資料)

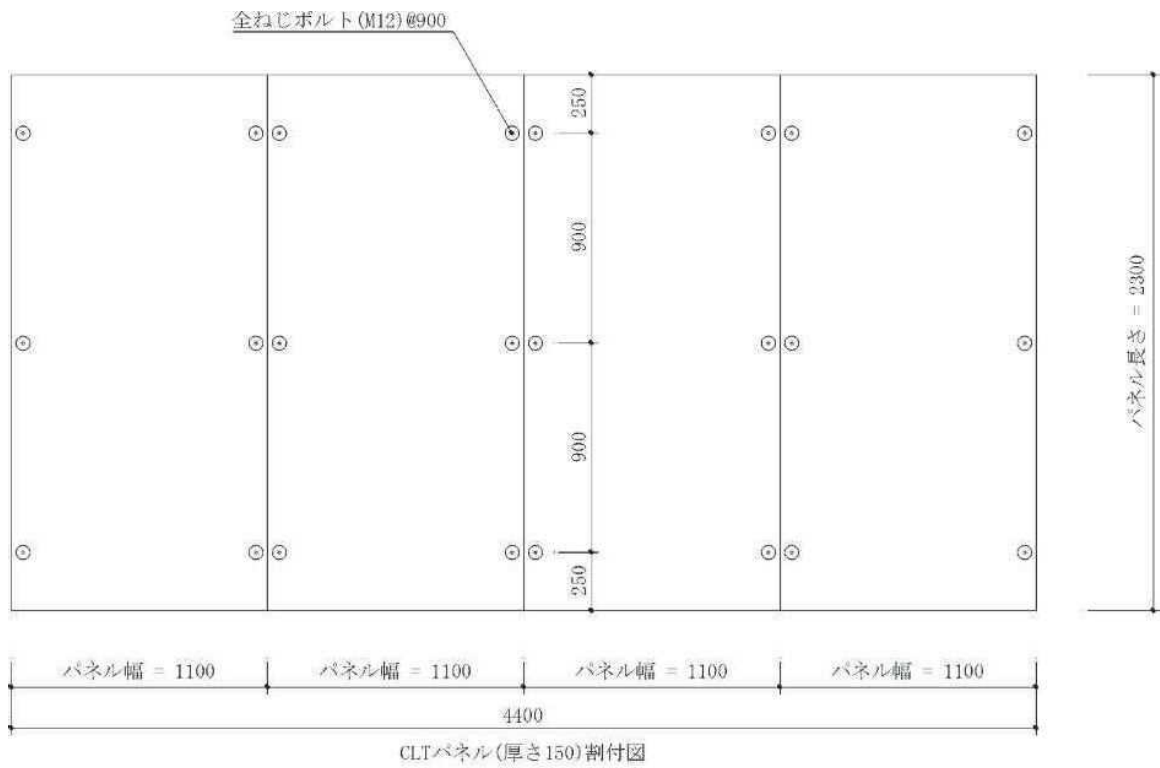


図3 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

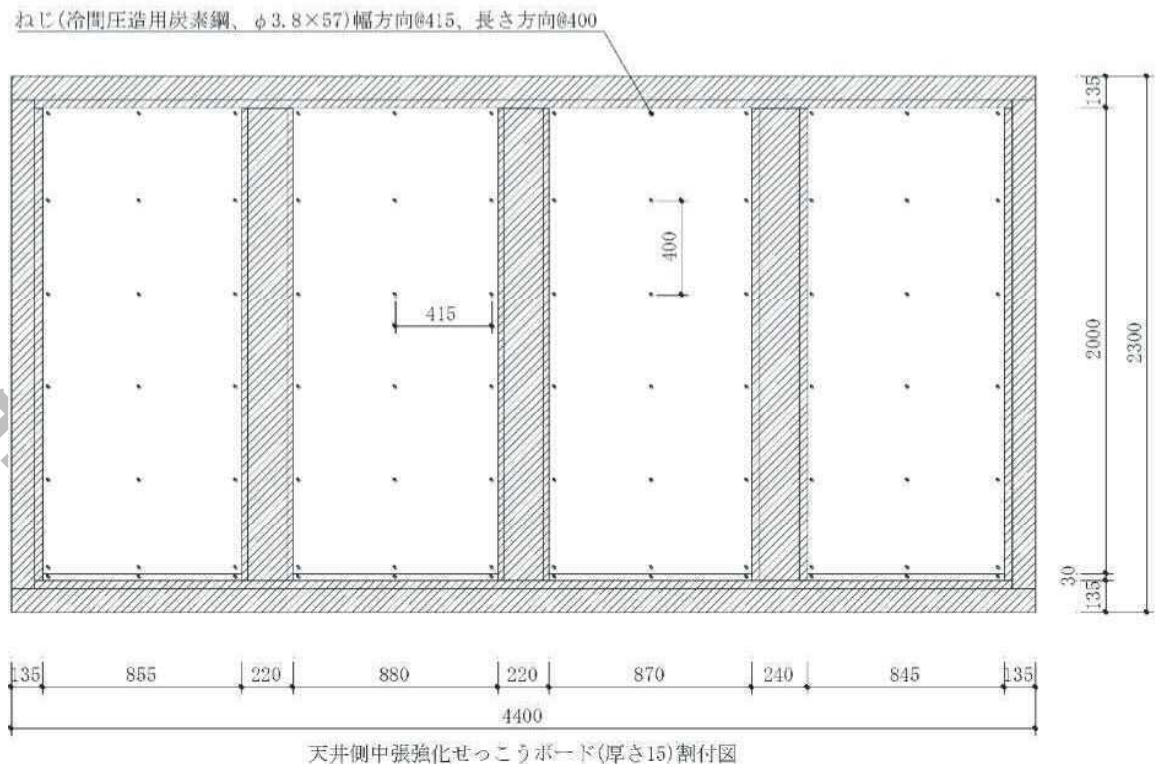
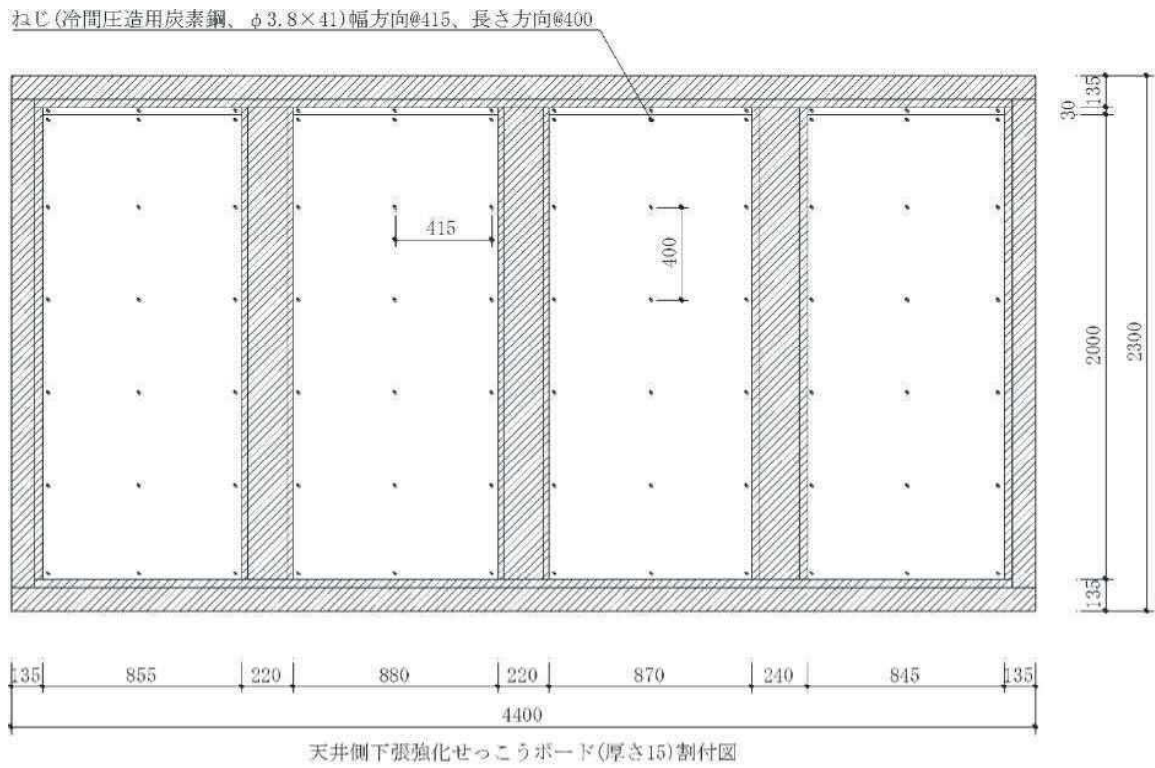


図4 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

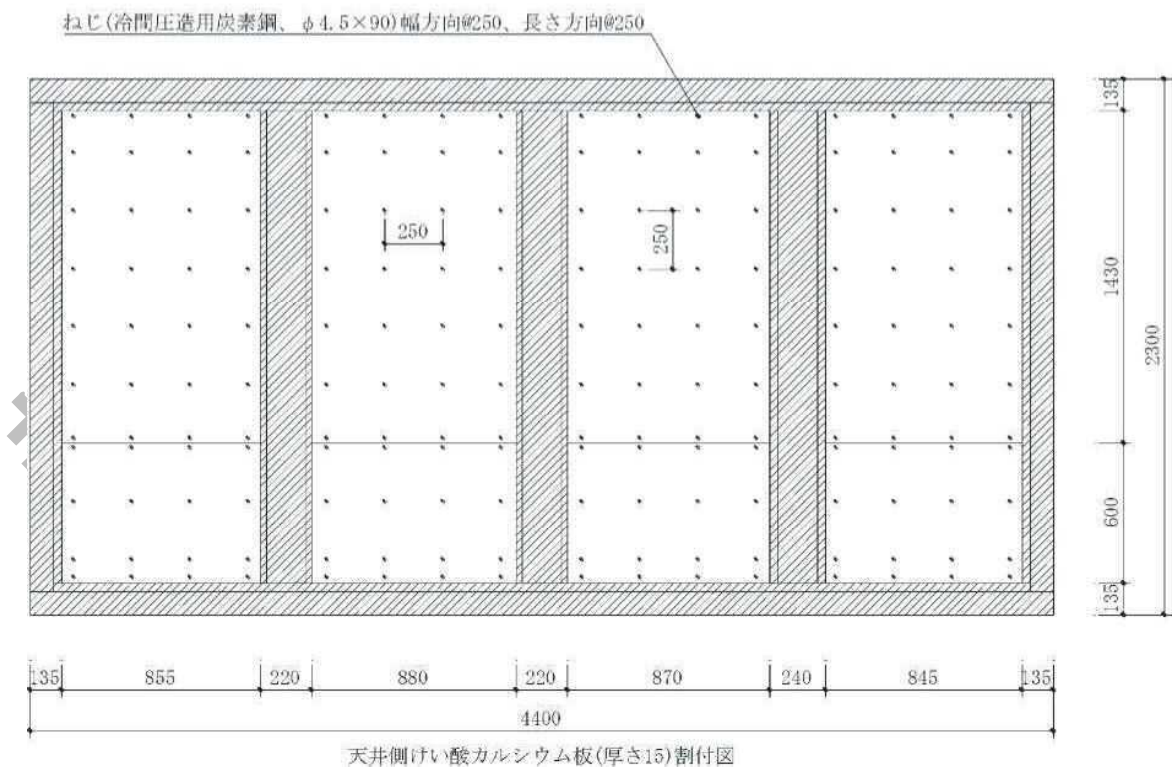
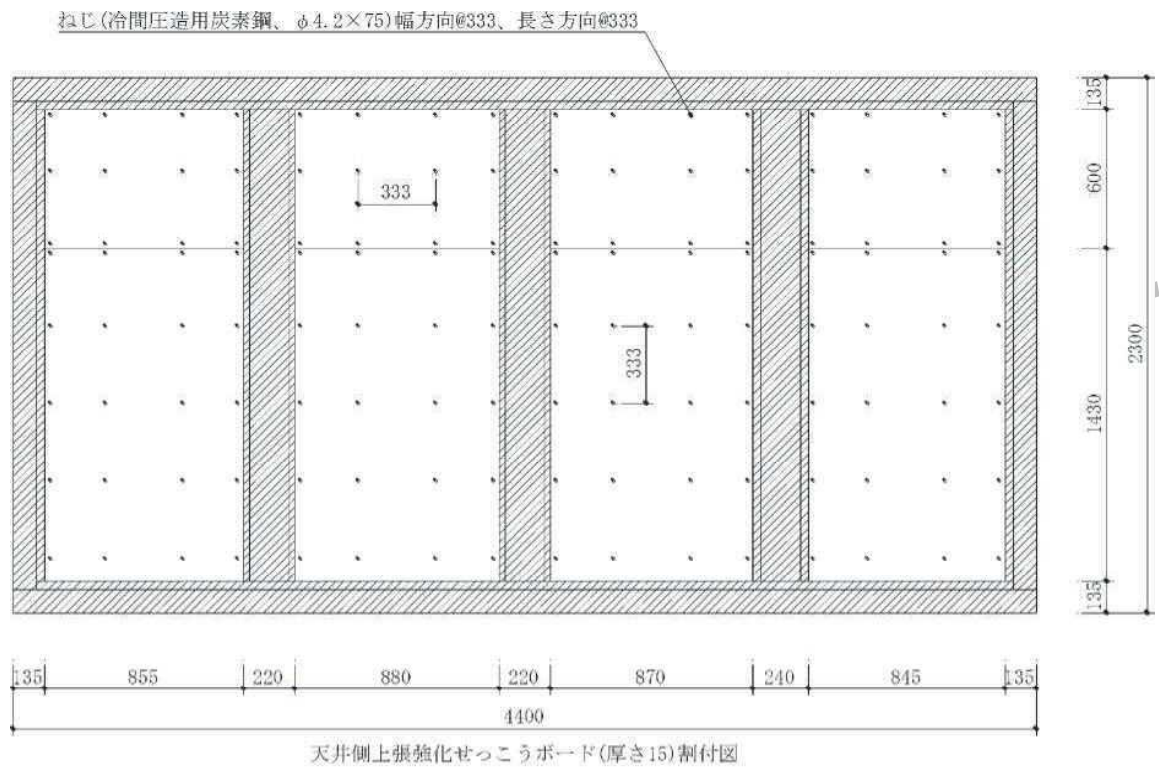


図5 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

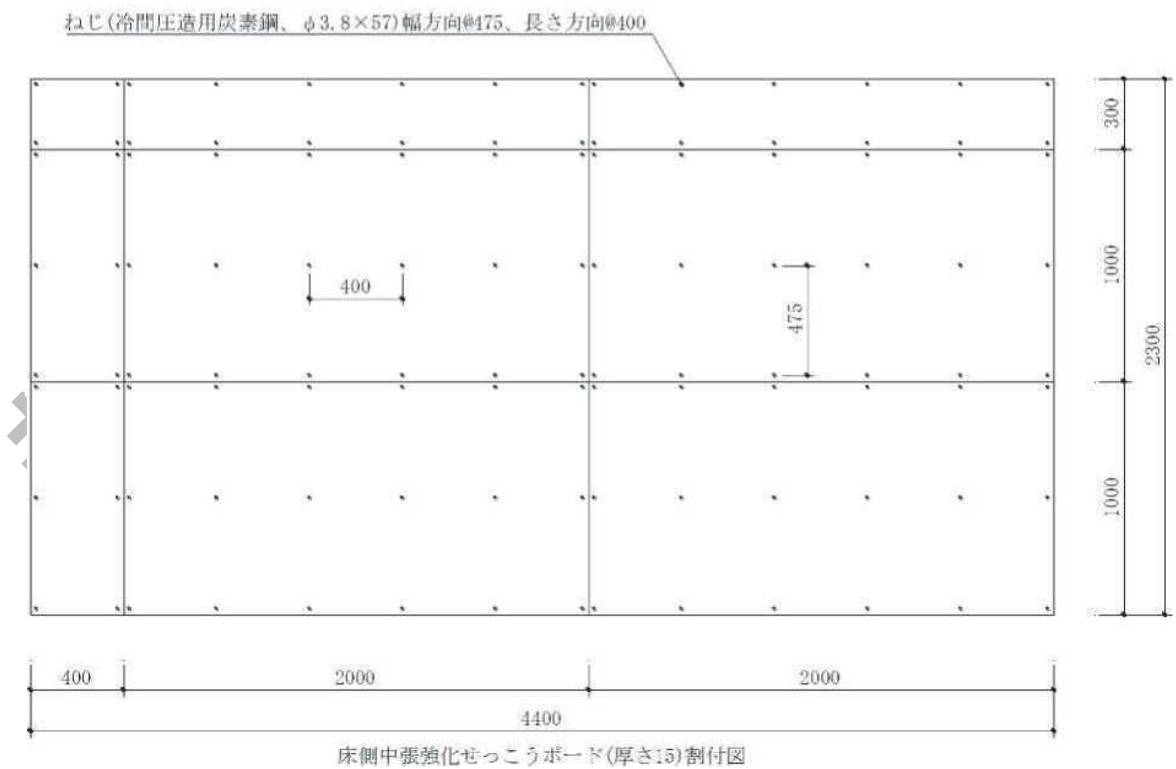
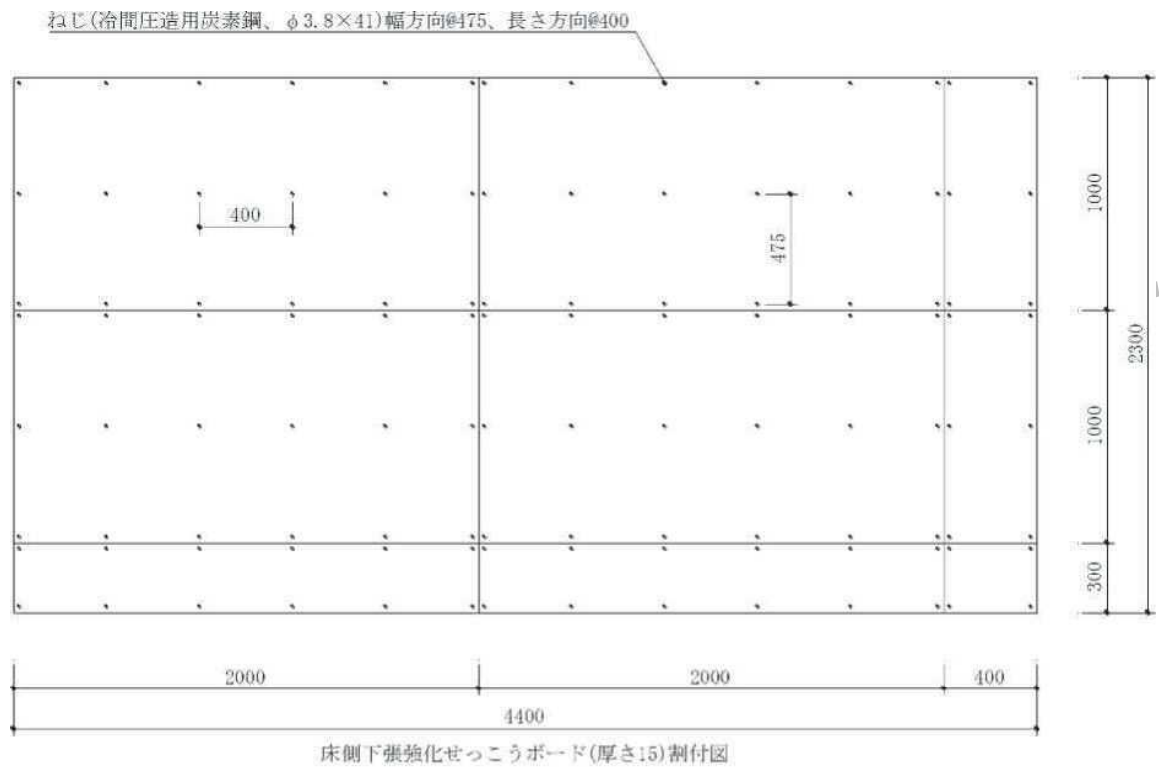


図6 試験体図

単位 mm

(依頼者提出資料)

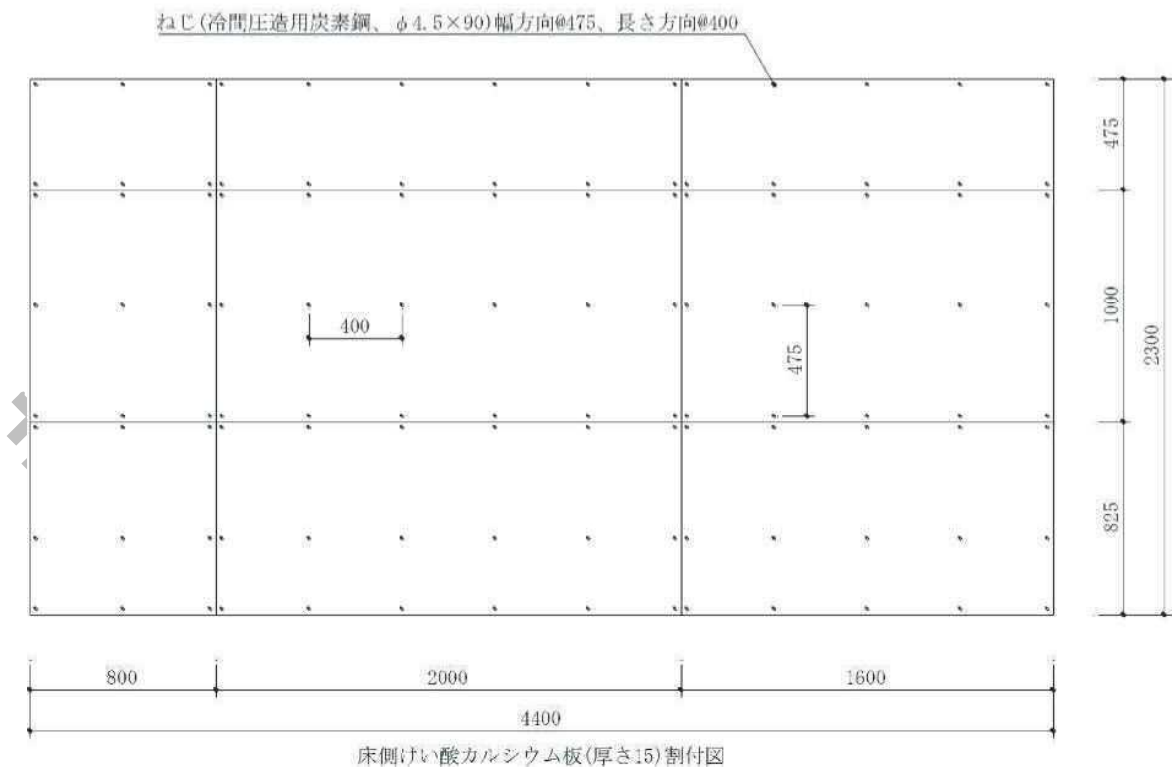
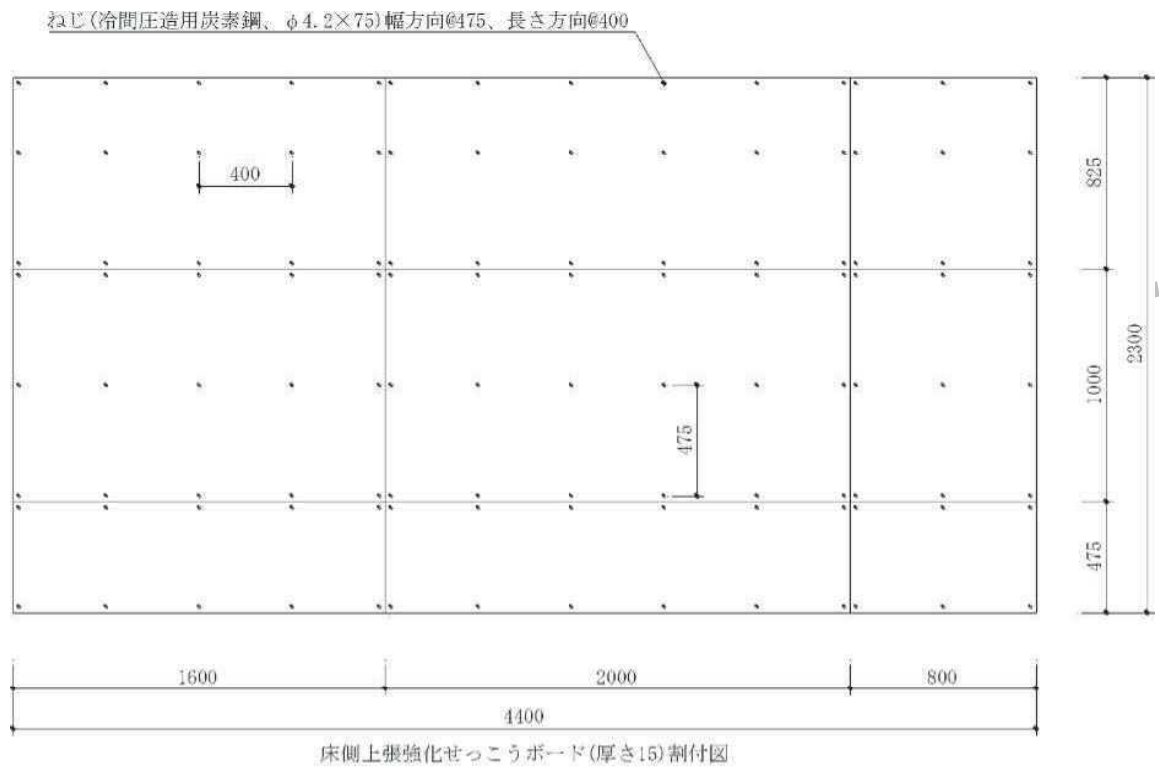


図7 試験体図（被覆仕様○）

単位 mm

(依頼者提出資料)

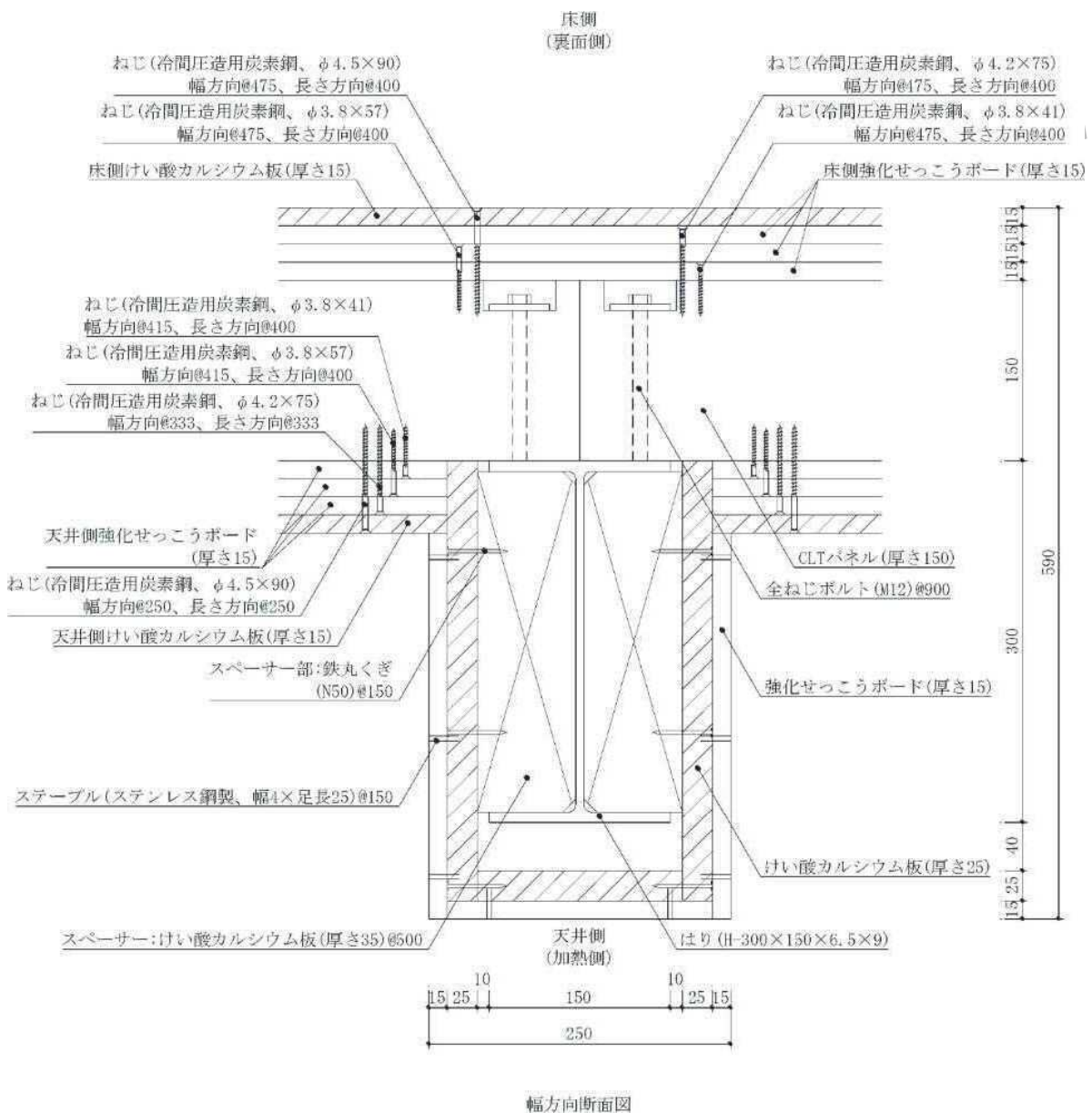


図8 試験体図（被覆仕様○）

単位 mm

(依頼者提出資料)

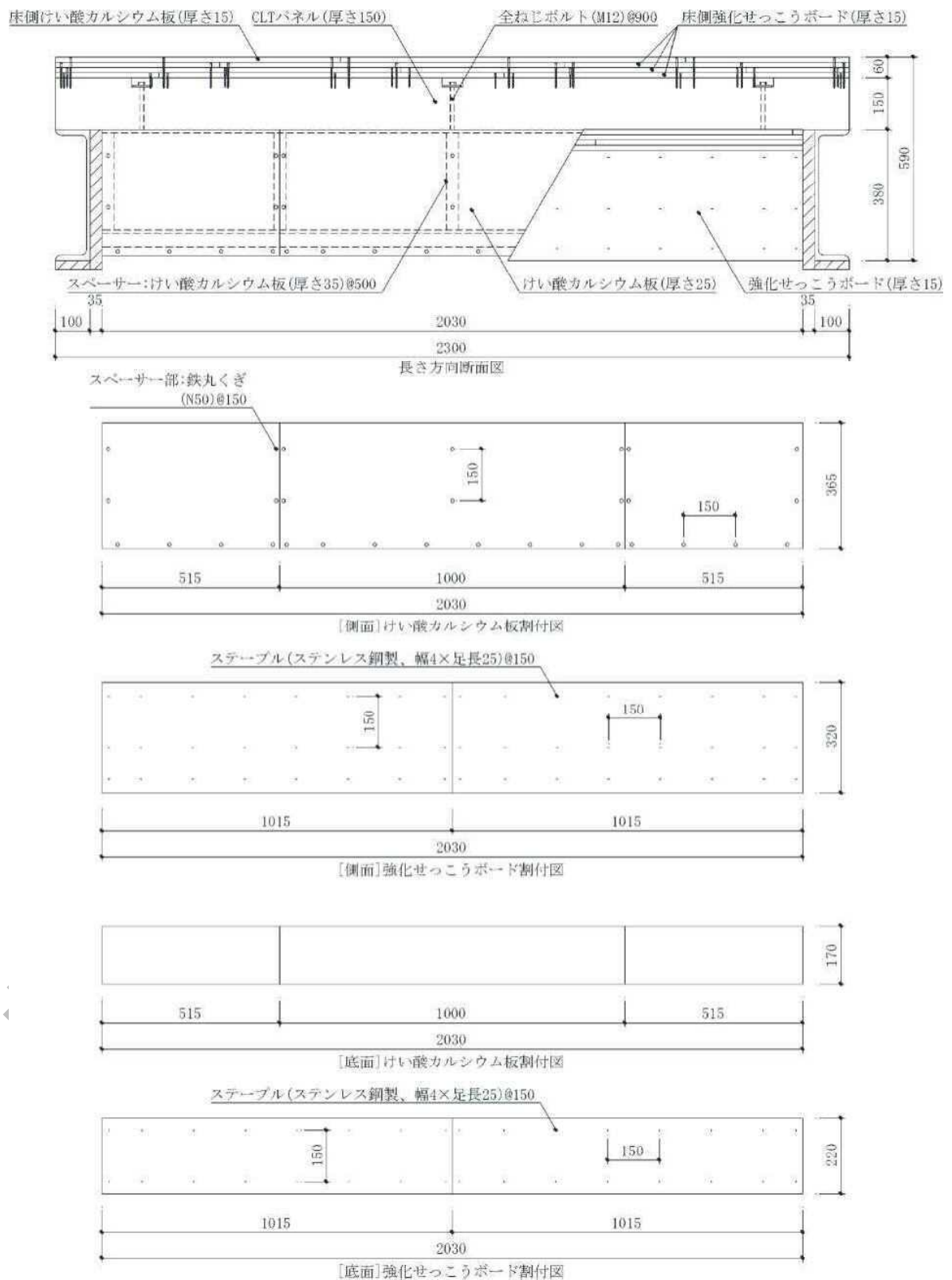


図9 試験体図（被覆仕様②）

単位 mm

（依頼者提出資料）

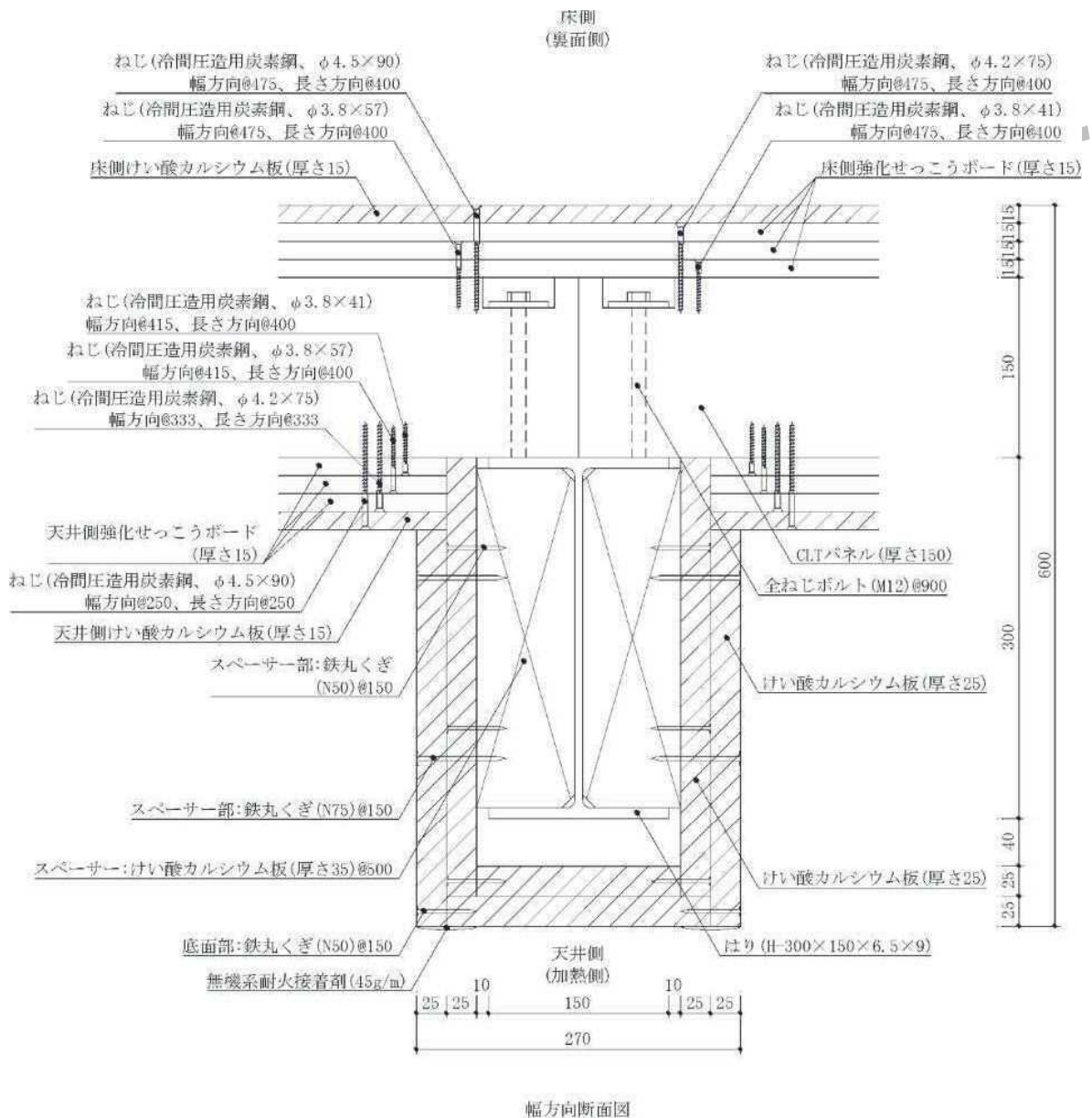


図10 試験体図（被覆仕様①）

単位 mm

(依頼者提出資料)

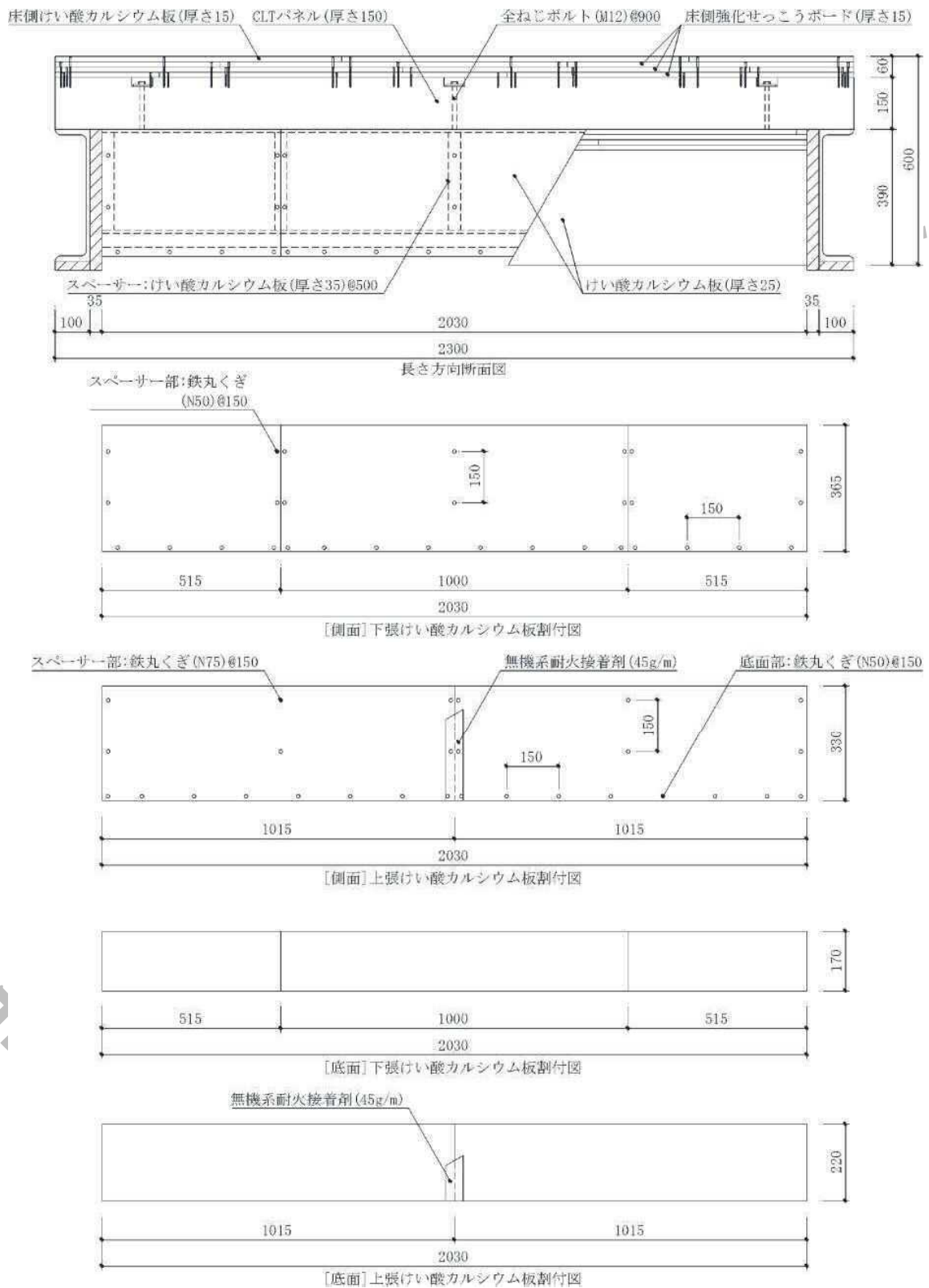


図11 試験体図 (被覆仕様○)

単位 mm

(依頼者提出資料)

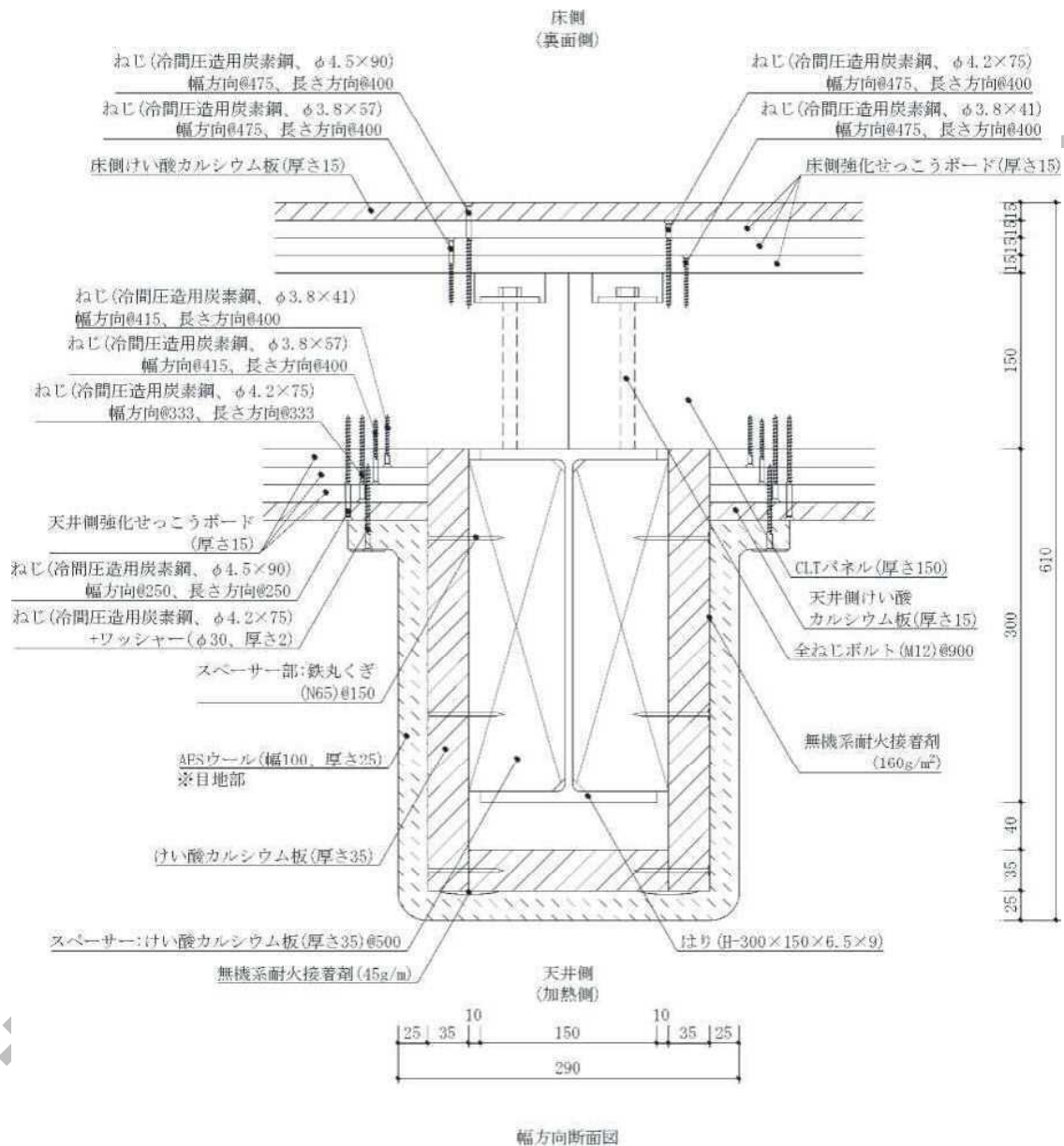


図12 試験体図（被覆仕様○）

単位 mm

(依頼者提出資料)

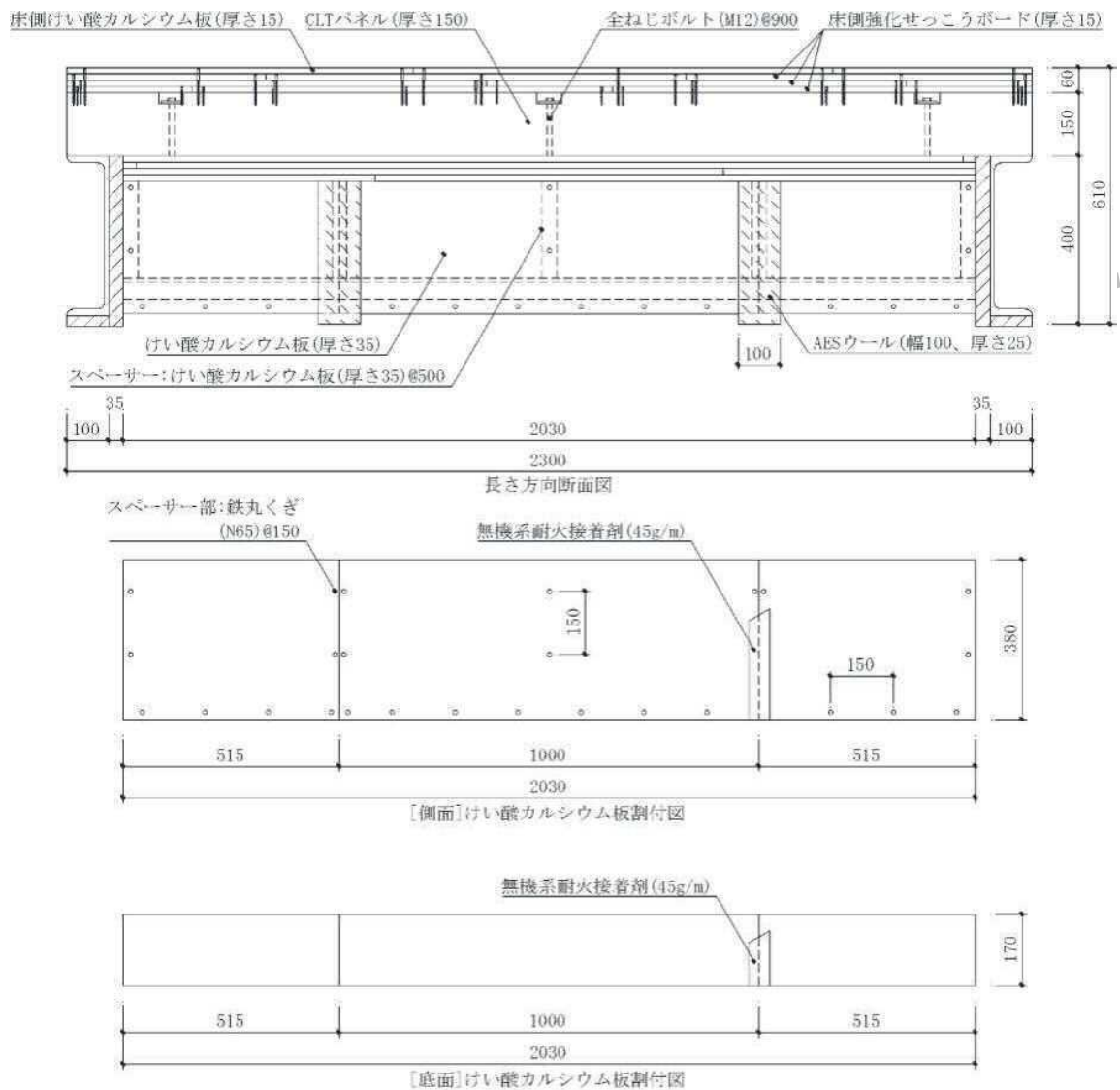




写真1 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真2 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真3 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真4 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真5 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真6 試験前の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真7 試験前の試験体（裏面側）の状況（左から被覆仕様①，②，③）
（点線は，CLT パネル目地部を示す。）

3. 試験方法

試験は、業務方法書の耐火性能試験・評価方法に従い、加熱時間を60分とし、加熱終了後180分間の放冷を実施し試験合計時間240分を経過するまで測定を行った。

3.1 加熱方法

加熱は、業務方法書に規定される下記に示す平均炉内温度（以下、「標準加熱曲線」という）の式に従い60分間行った。

$$T=345\log_{10}(8t+1)+20$$

ここで、T：平均炉内温度（℃）

t：試験の経過時間（分）

加熱温度の測定は、JIS C 1605（シース熱電対）に規定するクラス2の性能をもつ、シース外径3.2mmのSKシース熱電対を、ステンレス鋼製の保護管に入れ解放された先端から25mm露出させ、その熱接点が試験体から100mm離れた位置に設置して行った。

加熱温度測定位置を図13に、試験体の設置状況を写真8に示す。

3.2 炉内圧力

試験中の炉内圧力は、ダンパーの開閉によって炉内圧力が20Paを超えないように制御した。

3.3 試験体裏面温度の測定

試験体裏面温度として、CLTパネル目地上の裏面温度を測定した。試験体裏面温度の測定は、先端に鋼板ディスク（厚さ0.2mm、直径12mm）をろう付けしたJIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて、先端部を無機質断熱パッド（30mm×30mm×厚さ2mm、密度900kg/m³）で覆い、ステーブル及び繊維テープで固定して測定した。

試験体裏面温度測定位置を図14及び図15に示す。

3.4 試験体内部温度の測定

試験体内部温度として、各被覆仕様のはり鋼材温度、各被覆仕様のはり被覆材と天井側耐火被覆材の取合い部（CLTパネル加熱側）表面温度及びCLTパネル接合用ボルト表面温度を測定した。試験体内部温度の測定は、JIS C 1602に規定するクラス2の性能をもつ線径0.65mmのK熱電対を用いて測定した。

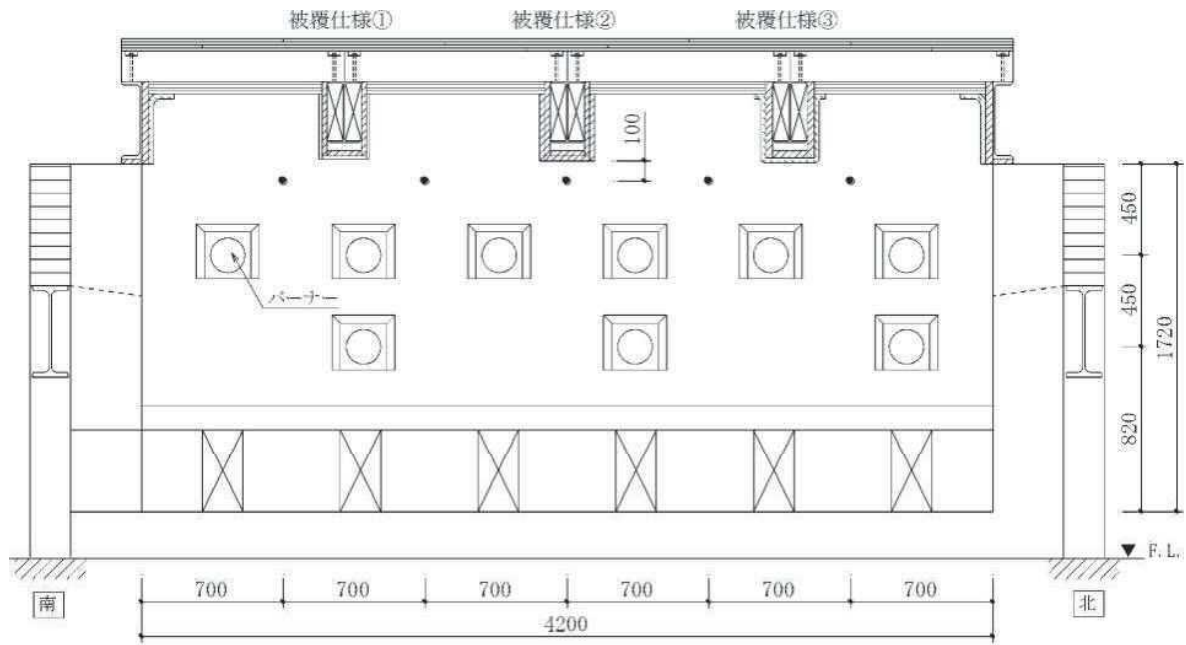
試験体内部温度測定位置を図14及び図15に示す。

3.5 観察

加熱中・放冷中及び加熱終了後の試験体の変化について目視により観察し、写真に記録した。

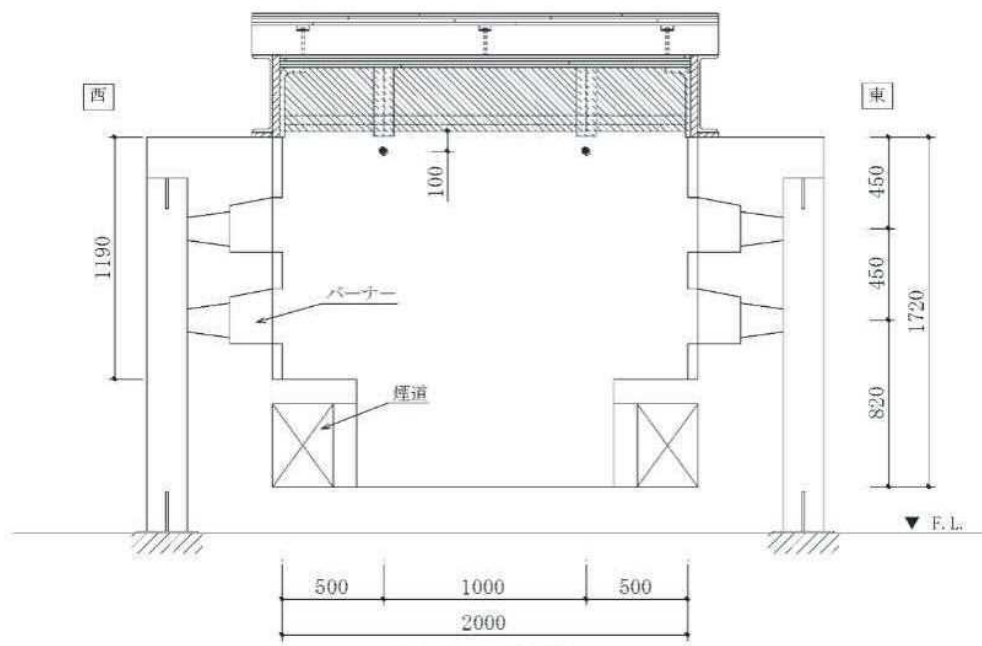
図13 試験方法図（加熱温度測定位置）

単位 mm



南北方向断面図

● 印：加熱温度測定位置(10点)



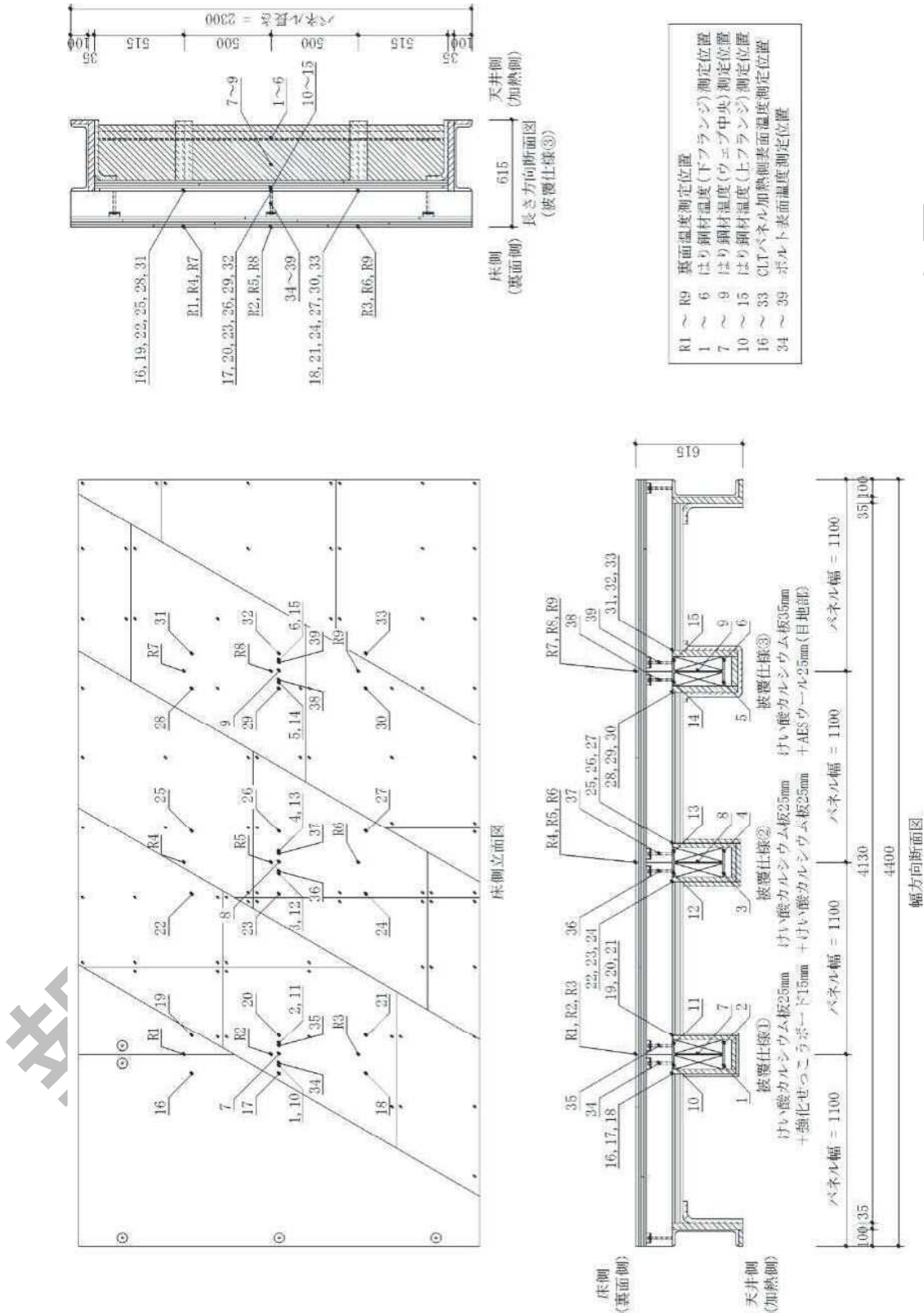
東西方向断面図



写真 8 試験体の設置状況

図14 試験体図（裏面温度及び内部温度測定位置）

単位 mm



4. 試験結果

4.1 加熱温度

加熱温度測定結果を図16に示す。

4.2 試験体裏面温度

試験体裏面温度測定結果を図17に示す。

4.3 試験体内部温度

試験体内部温度測定結果を図18～図20に、はり鋼材温度測定結果を表4に示す。

4.4 観察結果

加熱中及び放冷中の観察結果を表5に、試験後のCLTパネルとはりの接合部の炭化状況確認結果を表6に示す。また、加熱中、放冷中及び試験後の試験体の状況を写真9～写真31に示す。

報告書番号 160929版

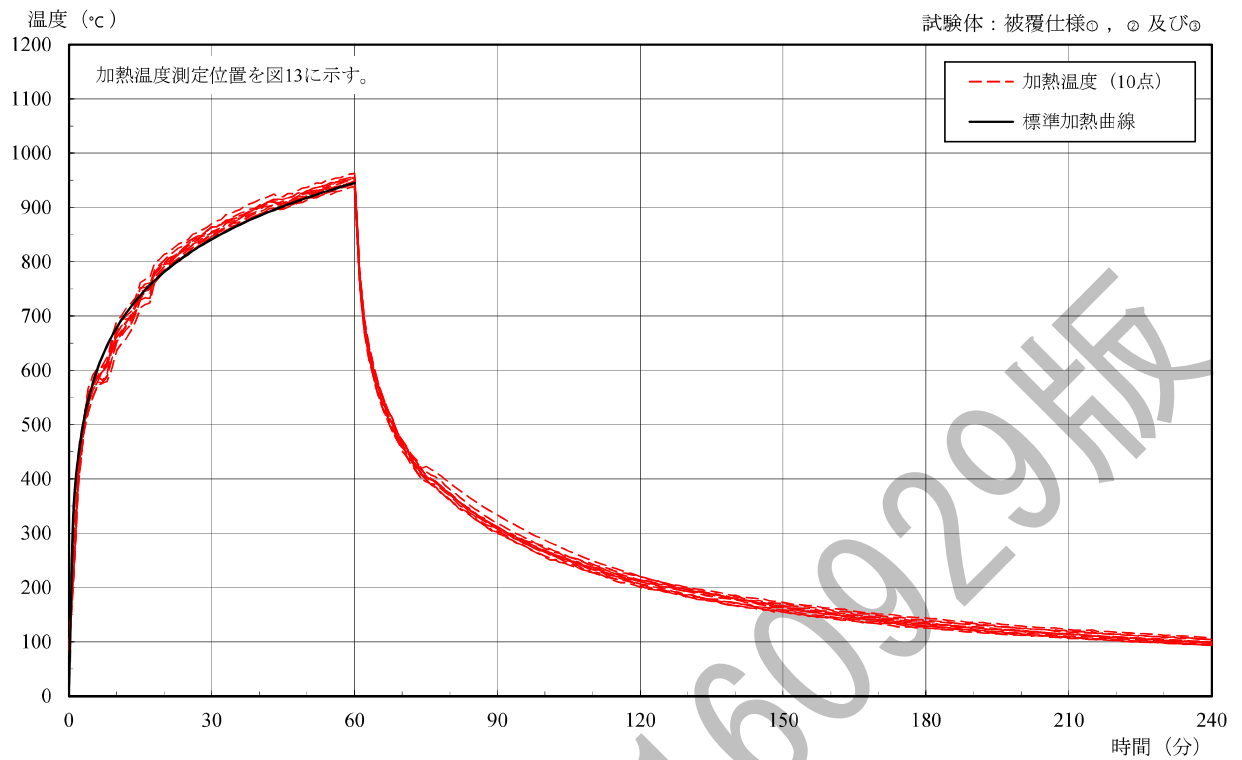


図 16 加熱温度測定結果

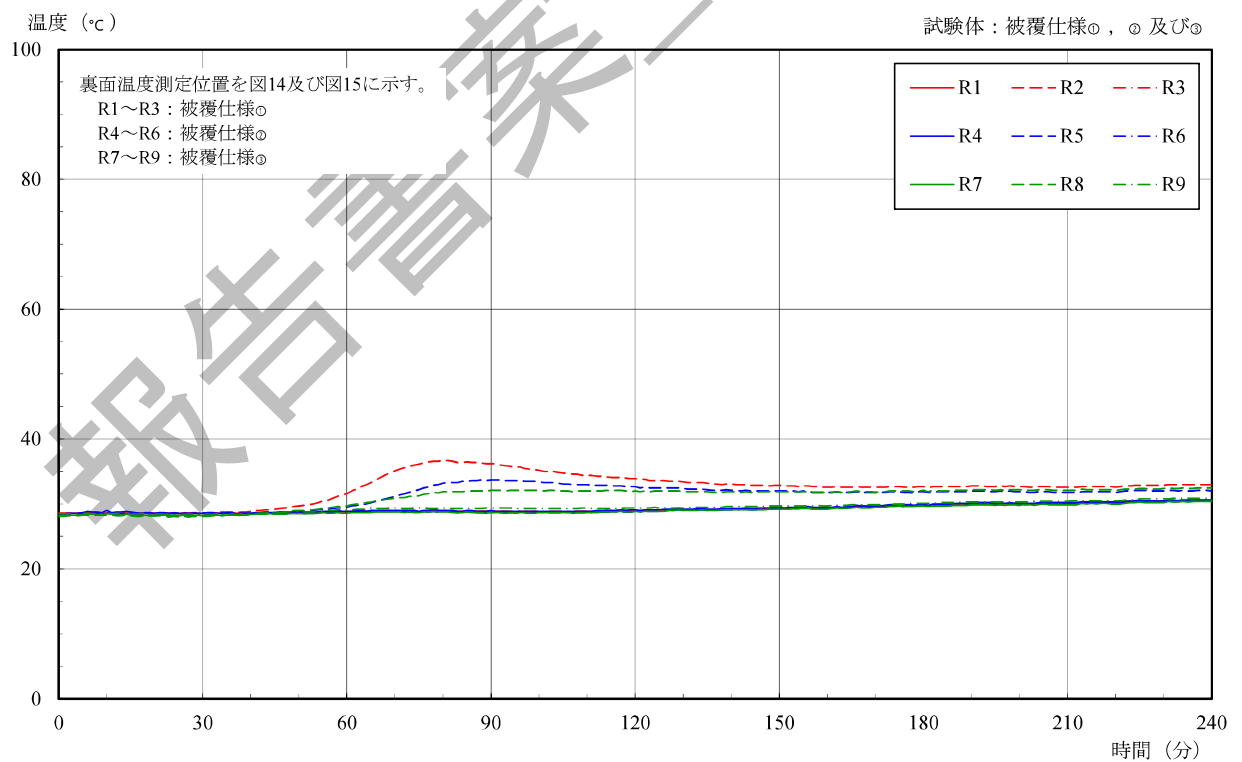


図 17 裏面温度測定結果

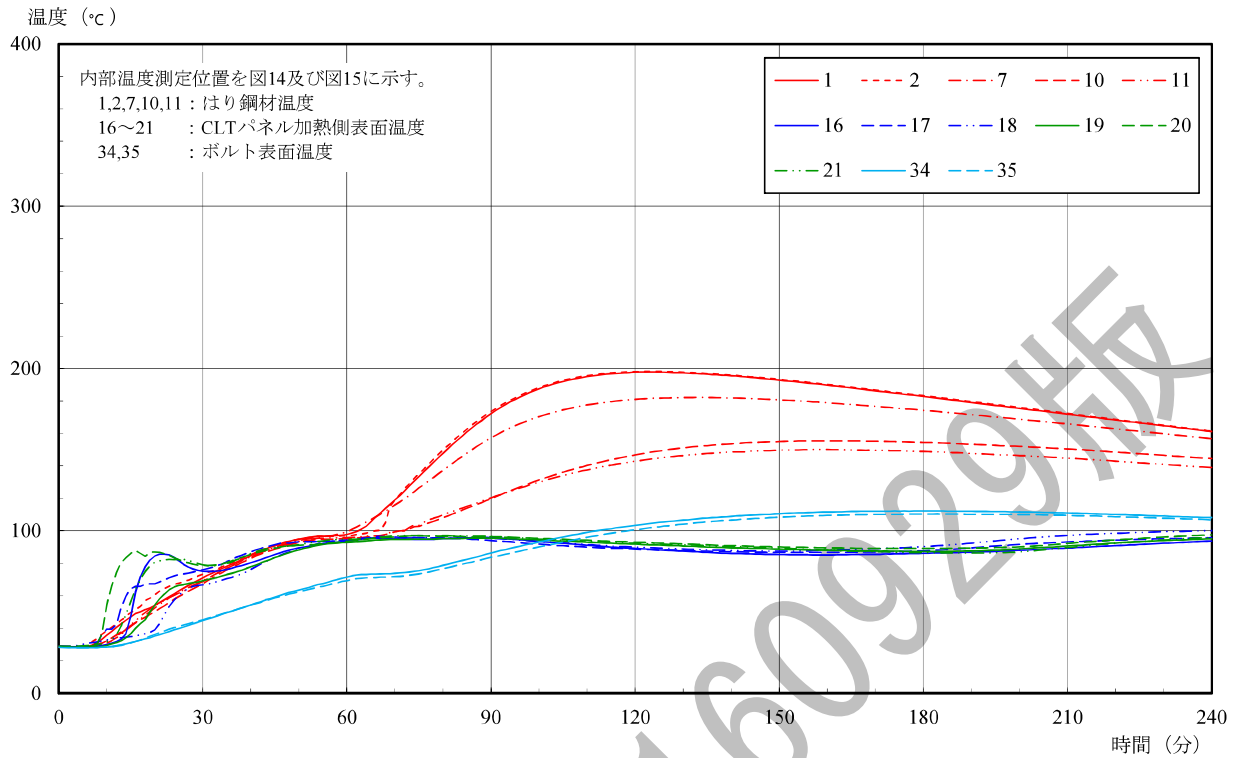


図18 内部温度（被覆仕様○）測定結果

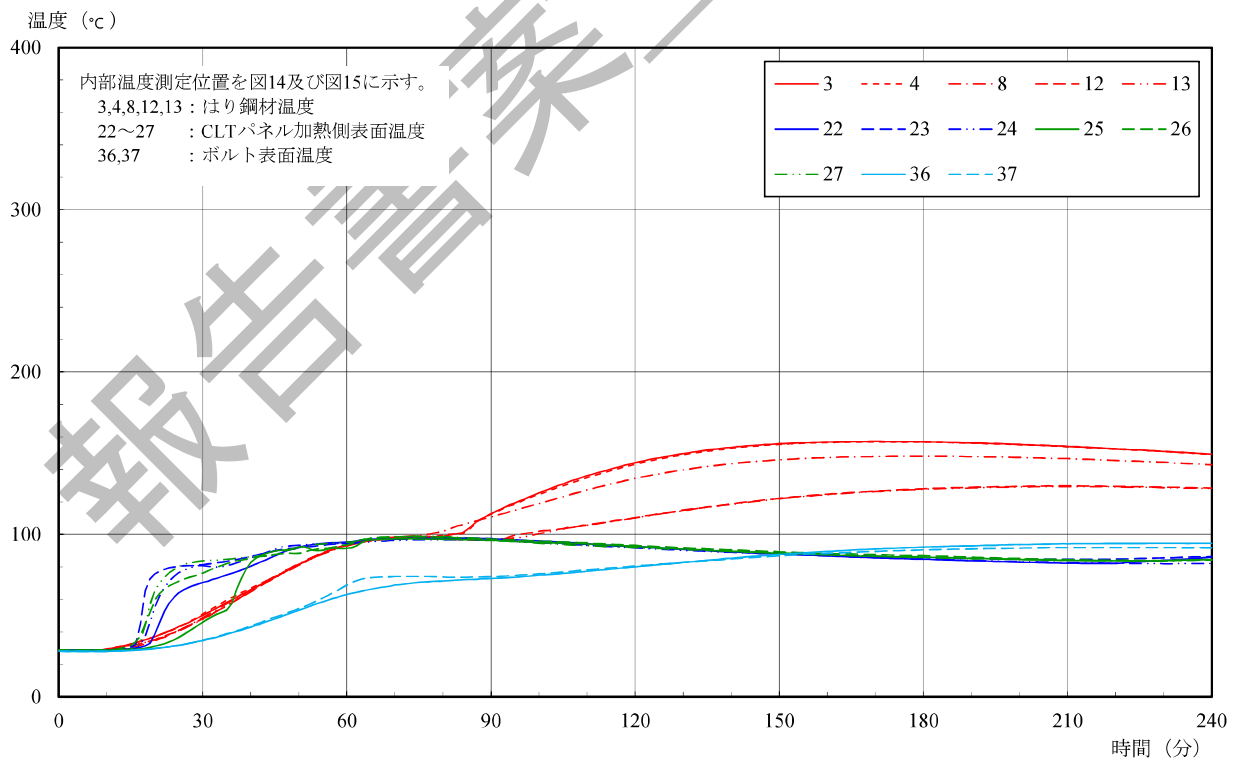


図19 内部温度（被覆仕様○）測定結果

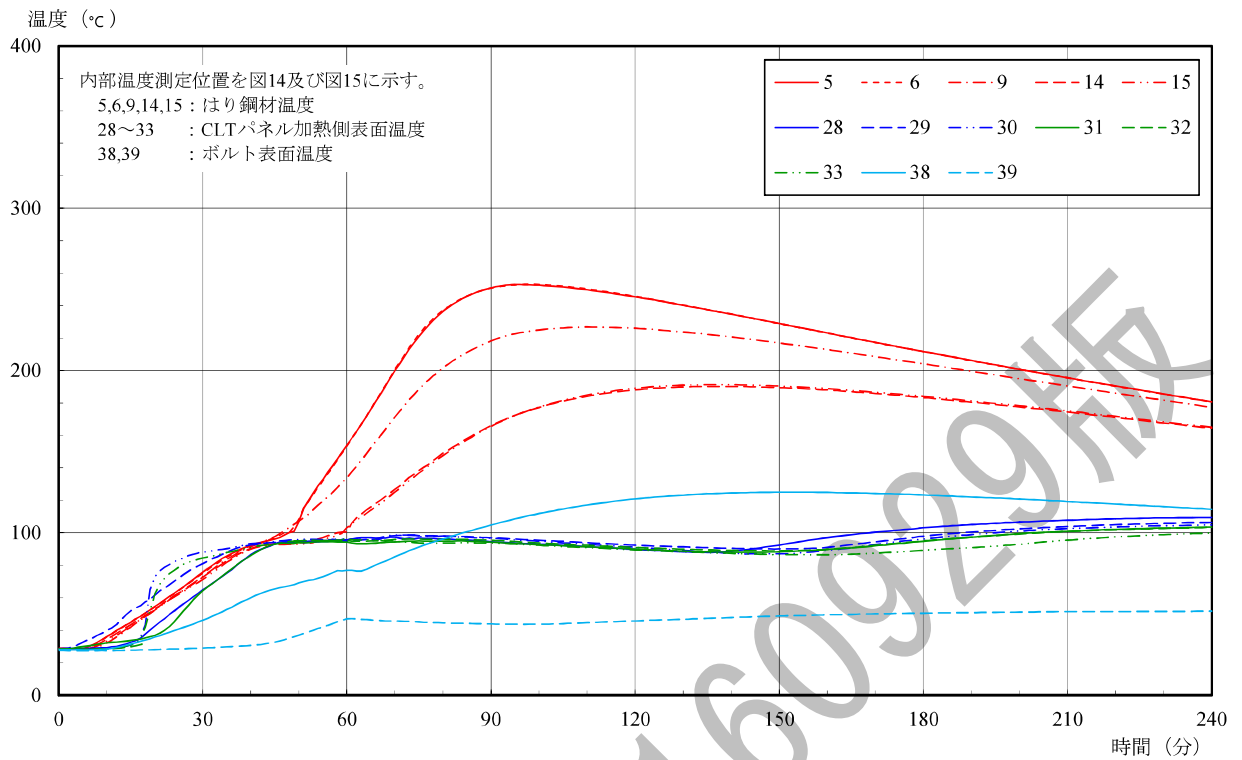


図20 内部温度（被覆仕様◎）測定結果

表4 はり鋼材温度測定結果

| 鋼材温度 | 被覆仕様 | 被覆仕様◎ | 被覆仕様◎ | 被覆仕様◎ |
|------------------------|------|------------|------------|------------|
| 最高 (°C) | | 198 (123分) | 157 (169分) | 253 (97分) |
| 平均 (°C) | | 175 (133分) | 144 (183分) | 219 (111分) |
| [備考] () 内の分は、到達時間を示す。 | | | | |

表5 試験体の外観観察結果

| 状況 | 被覆仕様 ^o | 被覆仕様 ^o | 被覆仕様 ^o |
|-----|--|--|--|
| 加熱中 | 試験開始 15 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 9 参照) | 試験開始 15 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし (写真 10 参照) | 試験開始 15 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし (写真 10 参照) |
| | 試験開始 24 分時 被覆材側面縦目地 (上張) が開き 始めた。 (写真 11 参照) | 試験開始 27 分時 被覆材側面縦目地 (上張) が開き 始めた。 (写真 12 参照) | |
| | 試験開始 30 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 13 参照) | 試験開始 30 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 14 参照) | 試験開始 30 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 14 参照) |
| | 試験開始 34 分 30 秒時 被覆材側面 (一般部) において, 縦方向のひび割れを確認した。 (写真 15 参照) | | |
| | 試験開始 45 分時 被覆材の脱落等なし。 (写真 16 参照) | 試験開始 45 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 17 参照) | 試験開始 45 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 17 参照) |
| | 試験開始 60 分時 被覆材の脱落等なし。 (写真 18 参照) | 試験開始 60 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 19 参照) | 試験開始 60 分時 被覆材の亀裂, 脱落等なし。 (写真 19 参照) |
| 放冷中 | 試験開始 80 分時 被覆材側面に複数の縦方向のひ び割れを確認した。 (写真 20 参照)。 | 試験開始 80 分時 被覆材上張表面にひび割れが 複数発生しているのを確認した。 また, 被覆材下面中央目地にお いて, 反りに伴う目地幅の拡大 を確認した。 (写真 20 参照) | |
| | 試験開始 90 分時 被覆材下面 (上張) の一部が脱落 した。 (写真 21 参照) | | 試験開始 105 分時 被覆材表面にひび割れが複数 発生しているのを確認した。 |
| 試験後 | 試験後の裏面側の状況を写真 22 に 示す。 試験後の加熱側の状況を写真 23 及 び写真 24 に示す。 | 試験後の裏面側の状況を写真 22 に 示す。 試験後の加熱側の状況を写真 25 及 び写真 26 に示す。 | 試験後の裏面側の状況を写真 22 に 示す。 試験後の加熱側の状況を写真 27 及 び写真 28 に示す。 |

表6 CLT パネル・はり接合部の炭化状況確認結果

| 試験体の状況 | 被覆仕様 ^o | 被覆仕様 ^o | 被覆仕様 ^o |
|----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 炭化・変色の有無 | なし (写真 29 参照) | なし (写真 30 参照) | なし (写真 31 参照) |



写真9 試験開始15分時の試験体の状況（被覆仕様◎）



写真10 試験開始15分時の試験体の状況（被覆仕様◎及び◎）

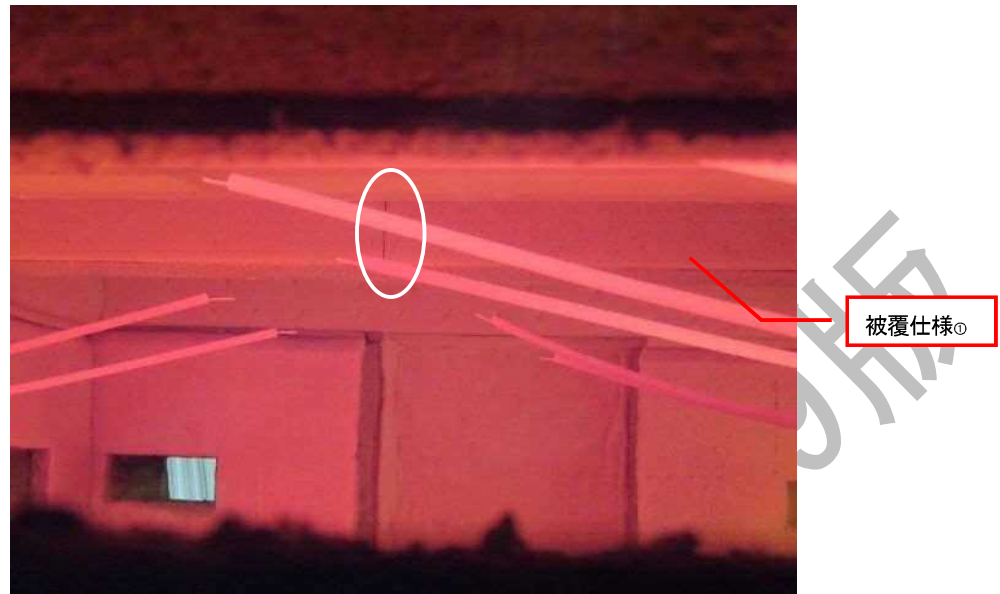


写真 11 試験開始 24 分時の試験体の状況（被覆仕様①）
（白丸部分：目地部）

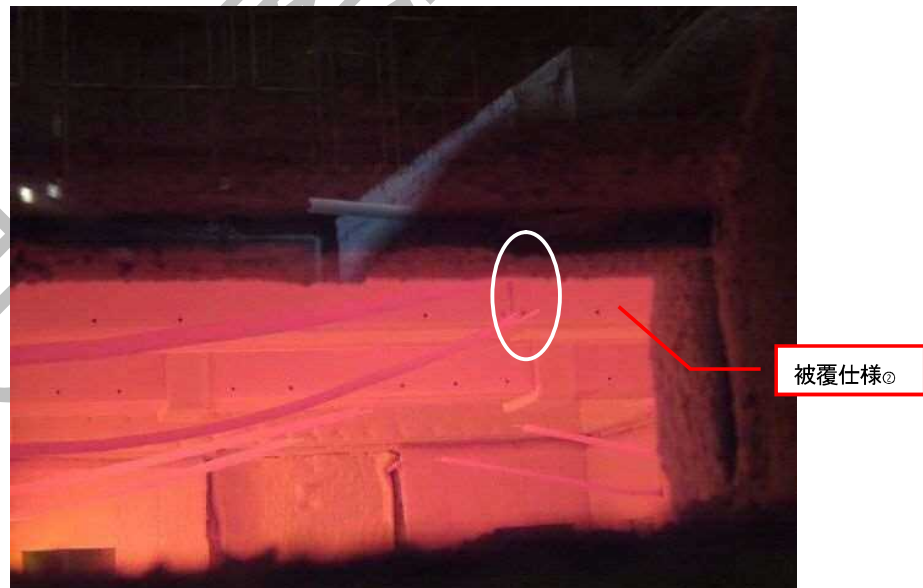


写真 12 試験開始 27 分時の試験体の状況（被覆仕様①）
（白丸部分：目地部）



写真 13 試験開始 30 分時の試験体の状況（被覆仕様◎）



写真 14 試験開始 30 分時の試験体の状況（被覆仕様◎ 及び◎）

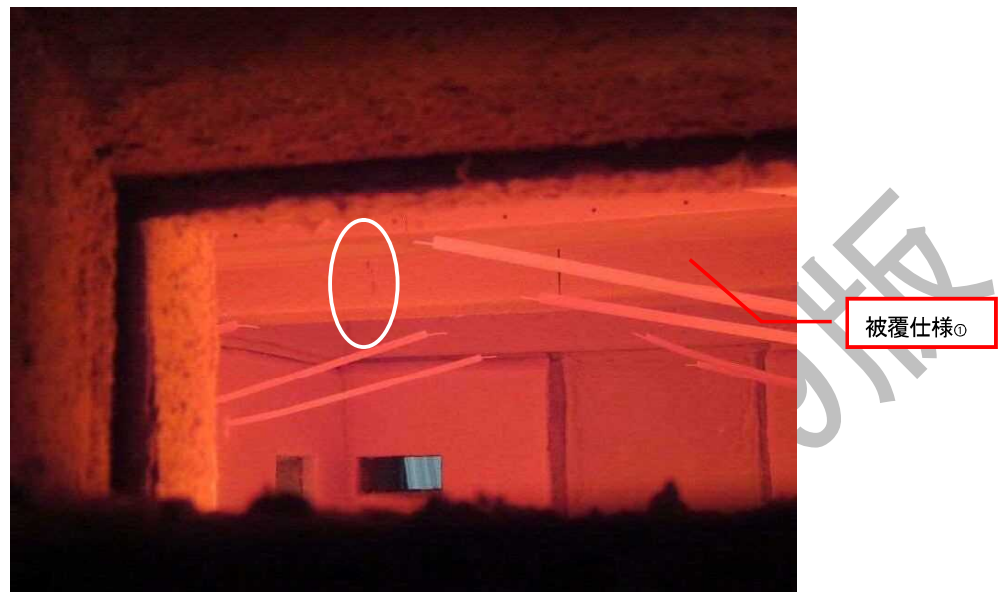


写真 15 試験開始 34 分 30 秒時の試験体の状況（被覆仕様①）
（白丸部分：ひび割れ発生箇所）

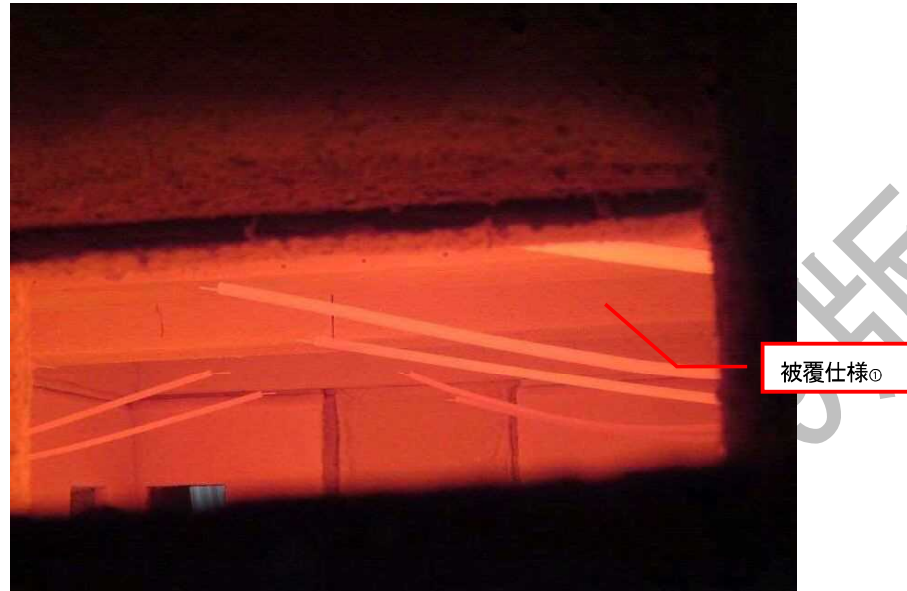


写真 16 試験開始 45 分時の試験体の状況（被覆仕様①）



写真 17 試験開始 45 分時の試験体の状況（被覆仕様①及び②）

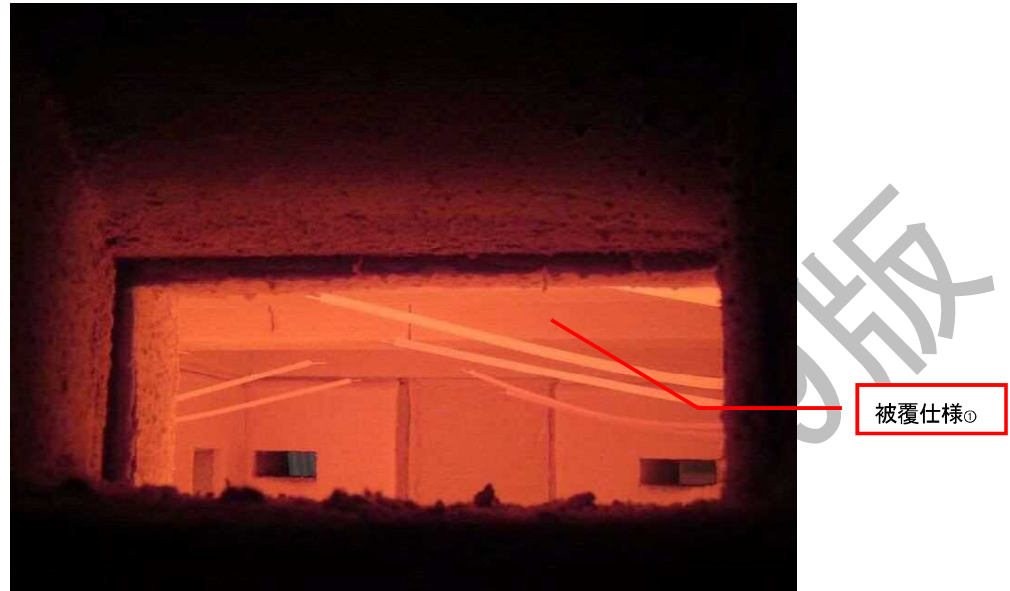


写真 18 試験開始 60 分時の試験体の状況（被覆仕様◎）

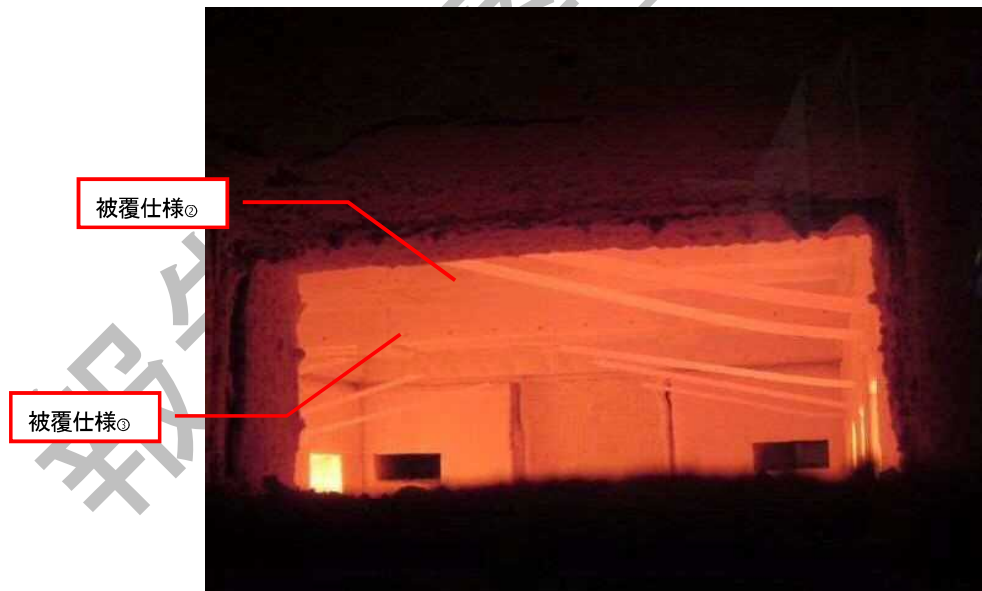


写真 19 試験開始 60 分時の試験体の状況（被覆仕様◎ 及び◎）

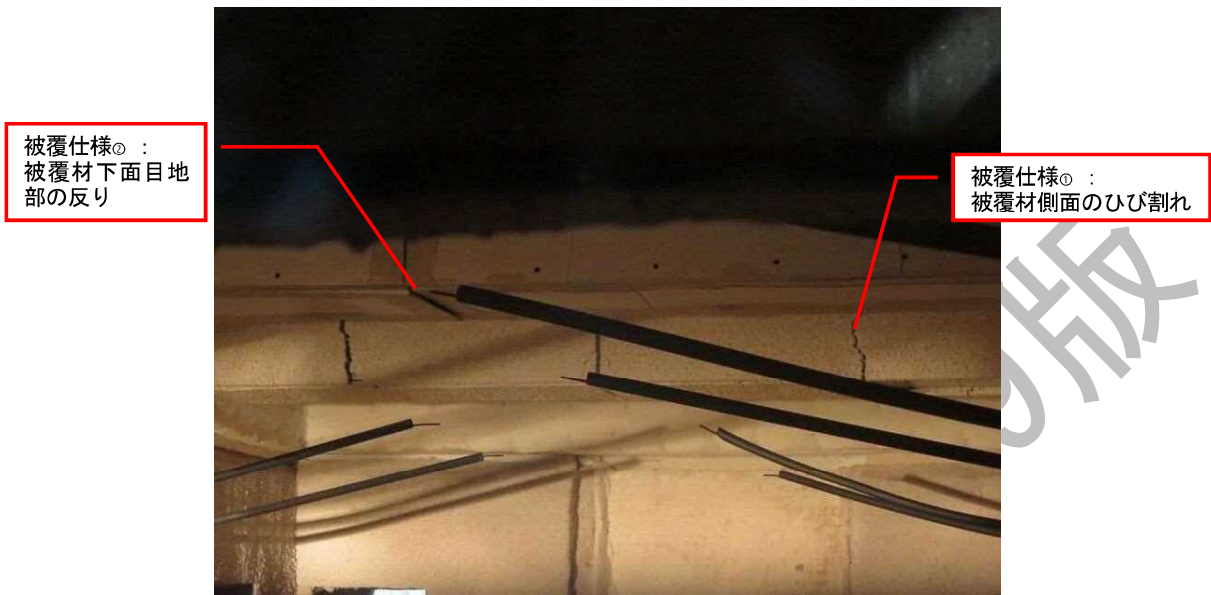


写真 20 試験開始 80 分時の試験体の状況（被覆仕様① 及び ②）

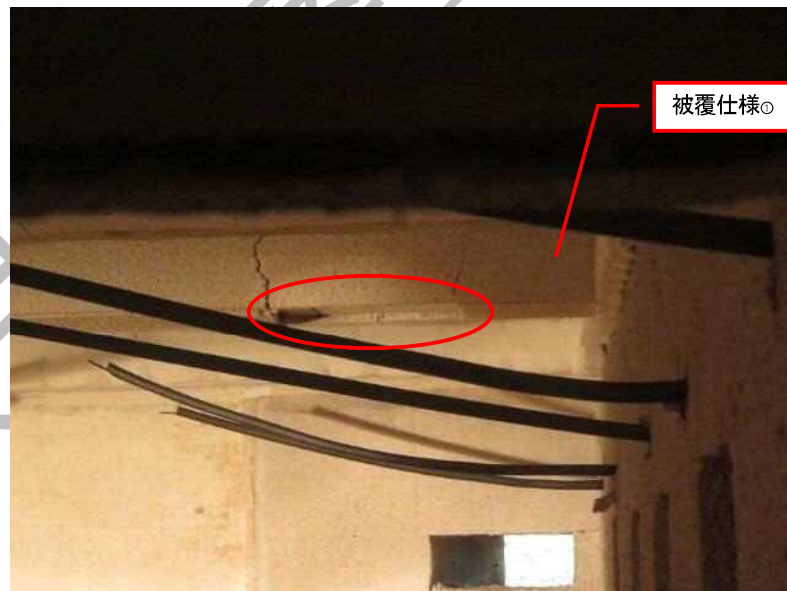


写真 21 試験開始 90 分時の試験体の状況（被覆仕様①）
（赤丸部分：脱落箇所）



写真22 試験後の試験体（裏面側）の状況（左から被覆仕様①，②，③）
（点線は，CLTパネル目地部を示す。）



写真 23 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真 24 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真 25 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真 26 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様○）



写真 27 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真 28 試験後の試験体（加熱側）の状況（被覆仕様◎）



写真29 試験後のCLTパネルとはり接合部の状況（被覆仕様○）



写真30 試験後のCLTパネルとはり接合部の状況（被覆仕様○）



写真 31 試験後の CLT パネルとはり接合部の状況（被覆仕様◎）

5. 試験の期間, 担当者及び場所

期 間 平成28年 7月27日

担 当 者 防耐火グループ
統括リーダー 白 岩 昌 幸
主幹 福 田 俊 之
主幹 佐 川 修 (主担当)
小森谷 誠

場 所 中央試験所

以下余白

報告書家-160929版

第 5 章 CLT 床パネルの設計資料

本章では、柱梁 S 造、床 CLT 構造の建築を設計する場合に必要な各種資料を紹介する。

資料 1. CLT 床パネルの設計

資料 2. 材料強度等の計算

資料 3. CLT 床スラブのせん断剛性評価と剛床仮定成立に関する検討

資料 4. スタッドを介した鉄骨梁と CLT パネルの接合に関する要素試験

資料 5. 5 階建て、10 階建て、20 階建てモデルの検討

CLT 床パネルの設計

1. 基本事項

a) 設計条件

- ・保有耐力時の床応力に対して弾性限となるように設計する。
- ・CLT パネルの鉄骨梁との接合強度を確保するため、孫梁を設け全てのスラブが3辺固定となるようにする。

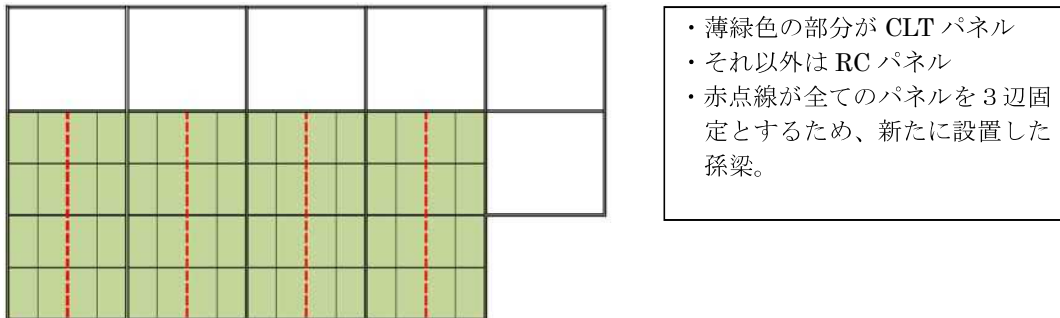


図 1-1 孫梁の配置

b) 設計の手順

- (1) 材料強度、ヤング係数、せん断弾性係数を告示に示された方法に従って計算する。また、CLT パネルと鉄骨を接合するスタッドの接合強度は実験より求める。
- (2) CLT パネルの面内性能に関する検討を行う。
 - (1)X 方向加力の場合の検討
 - ①各フレームのせん断力分担を求める
 - ②各フレームのせん断剛性を求める
 - ③保有耐力時に床パネルに生じるせん断力を求める
 - ④小梁配置を検討する
 - ⑤床の応力解析を行い CLT 床パネル、鉄骨小梁に生じる応力を求める
 - ⑥スタッドが 100mm ピッチ、200mmピッチの場合について、CLT 床パネルが負担できる応力を求める
 - ⑦CLT パネル、スタッドの割り付け配置を検討する
 - ⑧各部の断面検定を行う
 - ・ CLT パネルの曲げモーメント、せん断力
 - ・ 鉄骨梁の曲げモーメント、せん断力
 - ・ 接合部の断面検定
 - (2)Y 方向加力の場合の検討
 - ①CLT 床パネルに生じるせん断力を求める
 - ②各部断面検定を行う
 - ・ CLT パネルの圧縮強度
 - ・ 鉄骨梁のせん断力
 - ・ スタッドの接合強度
- (3) CLT パネルの面外性能に関する検討を行う
 - ・ 面外応力（曲げモーメント、せん断力、強軸・弱軸方向）の検討
 - ・ たわみの検討
 - ・ 孫梁の検討

2. 材料

材料は、山佐木材株式会社製 CLT（直交集成材）を使用する。

JAS 認定番号： JPIC-CL2

耐火認定： 取得済み（2時間耐火）

樹種： スギ

構成： 5層7プライ

強度区分： Mx60 5-7

使用環境： C（屋内使用）

材料のヤング係数、材料強度等は以下である。（詳細は、巻末資料1参照）

ヤング係数： 5536N/mm²（面外方向強軸）

227N/mm²（面外方向弱軸）

3857N/mm²（面内方向強軸）

せん断弾性係数： 30N/mm²（面外方向強軸）

10N/mm²（面外方向弱軸）

500N/mm²（面内方向共通）

圧縮強度： 10.41N/mm²（強軸）

引張強度： 7.71N/mm²（強軸）

曲げ強度： 12.14N/mm²（面外方向強軸）

0.72N/mm²（面外方向弱軸）

10.41N/mm²（面内方向強軸）

せん断強度： 2.50N/mm²（面内方向共通、m=13とする）

0.9N/mm²（面外方向共通）

スタッドの押し抜き強度： 10.4kN/本（強軸、実験より求める。詳細は CLT 資料2参照）

6.59kN/本

（弱軸、木質構造設計規準(p.31V)より求める。詳細は CLT 資料4参照）

3. 鉄骨梁と CLT パネルの接合部の設計

3.1 CLT の割り付けと面内せん断に関する検討項目

以下に基準階における CLT の割り付け図を示す。薄緑色の部分が CLT 床である。

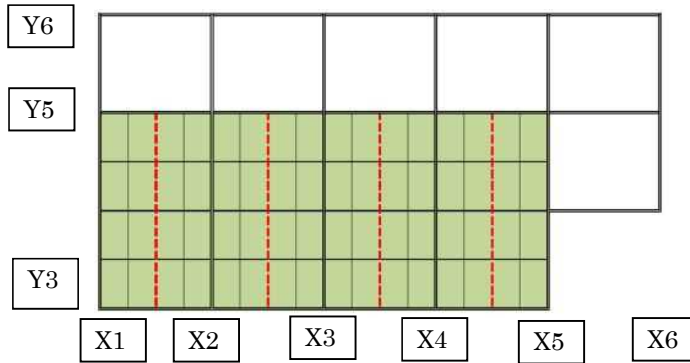


図 3-1 CLT パネルの割り付け方法

面内せん断については、以下手順に従って検討を進める。

- ①鉄骨梁と CLT パネルの接合部 (X 方向)
- ②鉄骨梁と CLT パネルの接合部 (Y 方向)
- ③床パネルの断面検定

本工法では鉄骨梁と CLT パネルの接合は、頭無しスタッドとエポキシ樹脂を介して、行うこととしている。

その際、X 方向加力の場合には、鉄骨梁と CLT パネルの間には、図 3-3 に示すような回転しようとする力が生じる。一方 Y 方向加力の場合には、CLT パネルが平行にスタッドを介して鉄骨梁を押しするような応力状態となる。

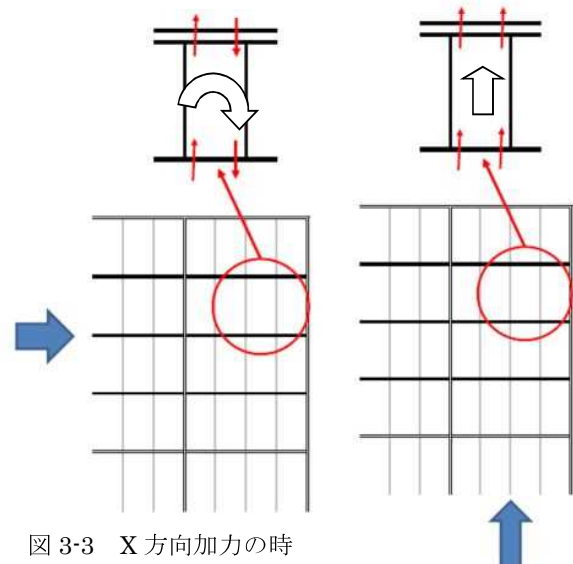


図 3-3 X 方向加力の時

図 3-4 Y 方向加力の時

CLT 床パネルの構造設計の基本方針としては、保有耐力時の床応力に対して、床パネル、鉄骨梁および接合部が、弾性限となるように設計する。また、CLT パネルの鉄骨梁との接合強度を確保するため、孫梁を設け全てのスラブが 3 辺固定となるようにする。(図 3-1 参照)

3.2 X方向加力の場合の面内性能

a) X方向加力の場合のCLT床に生じるせん断力

各階に生じる、X方向の床せん断力は、床相互が緊結されていないものとすれば、個々のCLTパネル両端の曲げ応力により鉄骨に伝達されるものと考えられる。床に生じるせん断力の分担は、フレーム剛性に比例するものとすれば、X方向のCLT床パネルのせん断力は以下の通りとなる。

(1) 各フレームのせん断力分担

各フレームのせん断力分担を、構造計算書より求め整理すると、以下の通りとなる。

表 3-1 X方向の各フレームの負担するせん断力

| Y01の負担せん断力(kN) | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X01 | X02 | X03 | X04 | X05 | X06 | X07 | 合計 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| 45 | 58 | 56 | 59 | 46 | | | 264 |

| Y02の負担せん断力(kN) | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X01 | X02 | X03 | X04 | X05 | X06 | X07 | 合計 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| | | | | | | | 0 |
| 46 | 60 | 58 | 58 | 60 | 51 | | 333 |

| Y03の負担せん断力(kN) | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|-----|-----|-----|-------|------|-------|-----|------|----|
| X01 | | | X02 | X03 | X04 | X05 | | | X06 | X07 | 合計 |
| 左フレーム | ブレース | 右フレーム | | | | 左フレーム | ブレース | 右フレーム | | | |
| -3 | 109 | 45 | 92 | 60 | 87 | 44 | 143 | 1 | | 578 | |
| 12 | 276 | 51 | 89 | 62 | 84 | 50 | 251 | 16 | | 891 | |
| 10 | 435 | 52 | 93 | 63 | 88 | 51 | 387 | 14 | | 1193 | |
| 22 | 531 | 52 | 90 | 64 | 83 | 56 | 462 | 38 | | 1398 | |
| 19 | 298 | 37 | 55 | 41 | 48 | 7 | 201 | 40 | 75 | 878 | |

| Y04の負担せん断力(kN) | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X01 | X02 | X03 | X04 | X05 | X06 | X07 | 合計 |
| 22 | | | | 52 | 40 | | 114 |
| 18 | | | | 53 | 44 | | 115 |
| 16 | | | | 54 | 41 | | 111 |
| 28 | | | | 61 | 58 | | 147 |
| 33 | 68 | 63 | 67 | 44 | 49 | 59 | 383 |

| Y05の負担せん断力(kN) | | | | | | | |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| X01 | X02 | X03 | X04 | X05 | X06 | X07 | 合計 |
| 13 | 38 | 62 | 58 | 63 | 40 | | 274 |
| 35 | 59 | 54 | 54 | 63 | 43 | | 308 |
| 30 | 57 | 58 | 56 | 66 | 40 | | 307 |
| 34 | 60 | 59 | 58 | 65 | 57 | | 333 |
| 31 | 42 | 42 | 42 | 44 | 50 | 58 | 309 |

| Y06の負担せん断力(kN) | | | | | | | | | | | | | |
|----------------|------|-------|-----|-----|------|-----|-----|-------|------|-------|-----|-----|------|
| X01 | | | X02 | 中間柱 | ブレース | X03 | X04 | X05 | | | X06 | X07 | 合計 |
| 左フレーム | ブレース | 右フレーム | | | | | | 左フレーム | ブレース | 右フレーム | | | |
| -7 | 285 | 57 | 72 | | | 72 | 89 | 37 | 97 | 31 | 51 | | 784 |
| 20 | 494 | 65 | 105 | | | 70 | 88 | 45 | 203 | 42 | 49 | | 1181 |
| 15 | 718 | 67 | 106 | | | 73 | 92 | 45 | 301 | 45 | 45 | | 1507 |
| 22 | 790 | 68 | 115 | | | 68 | 89 | 47 | 380 | 53 | 70 | | 1702 |
| 36 | 477 | 44 | 78 | 67 | 696 | 44 | 55 | 36 | 239 | 41 | 61 | 42 | 1916 |

(2) 各フレーム別剛性

各フレームの剛性は、表 3-1 より求まる各フレームの負担せん断力を、層間変形で除した値とする。但し、1 階の Y01、Y02 フレームのせん断力は、Y03 に算入する。また、Y04 フレームのせん断力は、Y03、Y05 フレームに、1/2 ずつ按分して算入する。

表 3-2 X 方向各フレームの剛性

| 階 | Y03フレームの剛性 | | | 階 | Y05フレームの剛性 | | |
|---|------------|------|------|---|------------|------|-----|
| | せん断力 | 層間変形 | 剛性 | | せん断力 | 層間変形 | 剛性 |
| 5 | 635 | 0.95 | 665 | 5 | 331 | 0.95 | 347 |
| 4 | 949 | 1.11 | 858 | 4 | 366 | 1.11 | 331 |
| 3 | 1249 | 1.17 | 1067 | 3 | 363 | 1.17 | 310 |
| 2 | 1472 | 1.15 | 1275 | 2 | 407 | 1.15 | 352 |
| 1 | 1667 | 1.15 | 1444 | 1 | 501 | 1.15 | 434 |

| 階 | Y06フレームの剛性 | | |
|---|------------|------|------|
| | せん断力 | 層間変形 | 剛性 |
| 5 | 784 | 0.95 | 821 |
| 4 | 1181 | 1.11 | 1069 |
| 3 | 1507 | 1.17 | 1288 |
| 2 | 1702 | 1.15 | 1475 |
| 1 | 1916 | 1.15 | 1661 |

(3) 保有耐力時において床パネルに生じるせん断力

各階の床に生じる応力は、保有耐力時の水平外力（上下階の層せん断力の差分）を各フレームの弾性剛性に従って按分することにより求める。

表 3-3 保有耐力時の CLT 床に生じるせん断力

| 階 | W (kN) | 保有水平 耐力 (kN) | 各階 水平外力 (kN) | フレーム剛性 | | | CLT床せん断力 | | |
|---|-----------|--------------------|--------------------|--------|-----|------|----------|-------|-------|
| | | | | Y03 | Y05 | Y06 | Y03 | Y05 | Y06 |
| P | 490 | 752 | 752 | | | | | | |
| R | 5700 | 4030 | 3278 | 665 | 347 | 821 | | | |
| 5 | 4262 | 5753 | 1723 | 858 | 331 | 1069 | 655.0 | 252.4 | 815.6 |
| 4 | 4299 | 7141 | 1388 | 1067 | 310 | 1288 | 555.8 | 161.4 | 670.9 |
| 3 | 4321 | 8235 | 1094 | 1275 | 352 | 1475 | 449.7 | 124.2 | 520.1 |
| 2 | 7234 | 9451 | 1216 | 1444 | 434 | 1661 | 496.3 | 149.1 | 570.6 |

b) X 方向の CLT 床パネル、鉄骨梁に生じる応力

(1) 小梁配置

以下に小梁配置を示す。黒線は大梁、赤線は小梁、青線は孫梁である。また点線は、CLT パネルの自由端の境界線である。孫梁を配置することにより、CLT パネルは全て 3 辺固定スラブとなる。

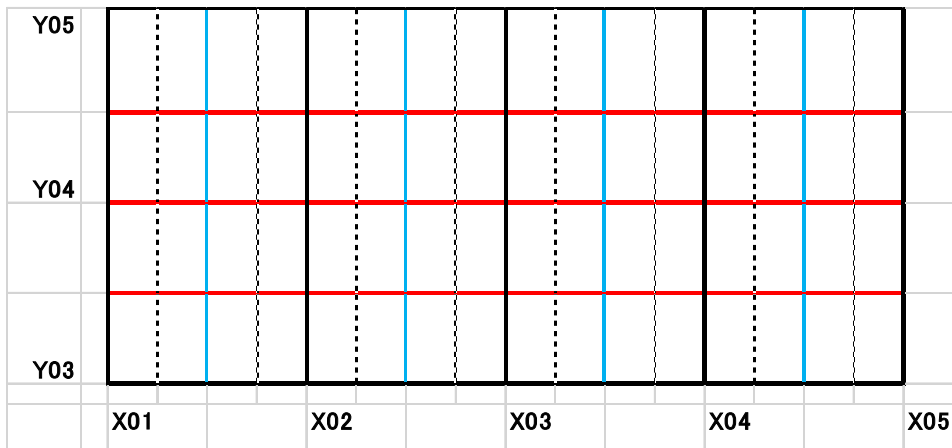


図 3-4 小梁配置

(2) 応力解析モデル

各部位の応力状態を把握するため、応力解析を行う。解析モデルを図 3-5 に示す。

図 3-5 の各部位の説明は以下である。

赤色部分： 内部大梁に接続する CLT パネル、解析上は、柱として扱う
(断面形状： 3200mm×210mm の CLT パネル)

オレンジ色部分： 外周大梁に接続する CLT パネル、解析上は、柱として扱う
(断面形状： 1600mm×210mm の CLT パネル)

黄色部分： 内部孫梁に接続する CLT パネル、解析上は、柱として扱う
(断面形状： 3200mm×210mm の CLT パネル)

青色部分： CLT パネルにスタッドで緊結された小梁、解析上は、剛域として扱う。

黒横線部分： CLT パネルの最外端のスタッドから外側の小梁、解析上は、梁として扱う。
(断面形状： 200mm×12mm の鉄骨梁)

黒縦線部分： CLT パネルの自由端を表している。

また、解析条件は以下である。

解析条件： 剛域考慮、柱梁の曲げ変形、せん断変形考慮、柱梁の軸変形は無視

載荷する外力条件は以下である。

Y03 通りと Y05 通りおよびその中間のフレームの床外力は、保有耐力時の床せん断力が、Y05 通りから Y03 通りに向かって、線形に増加すると仮定して、各フレームの外力を求める。解析で用いる外力を表 3-4 に示す。

表 3-4 応力解析で用いる外力

| | 床せん断力 | 応力解析用外力 |
|-----|-------|---------|
| Y05 | | |
| | 252 | 252 |
| | 386 | 134 |
| Y04 | | |
| | 521 | 134 |
| | 655 | 134 |
| Y03 | | |

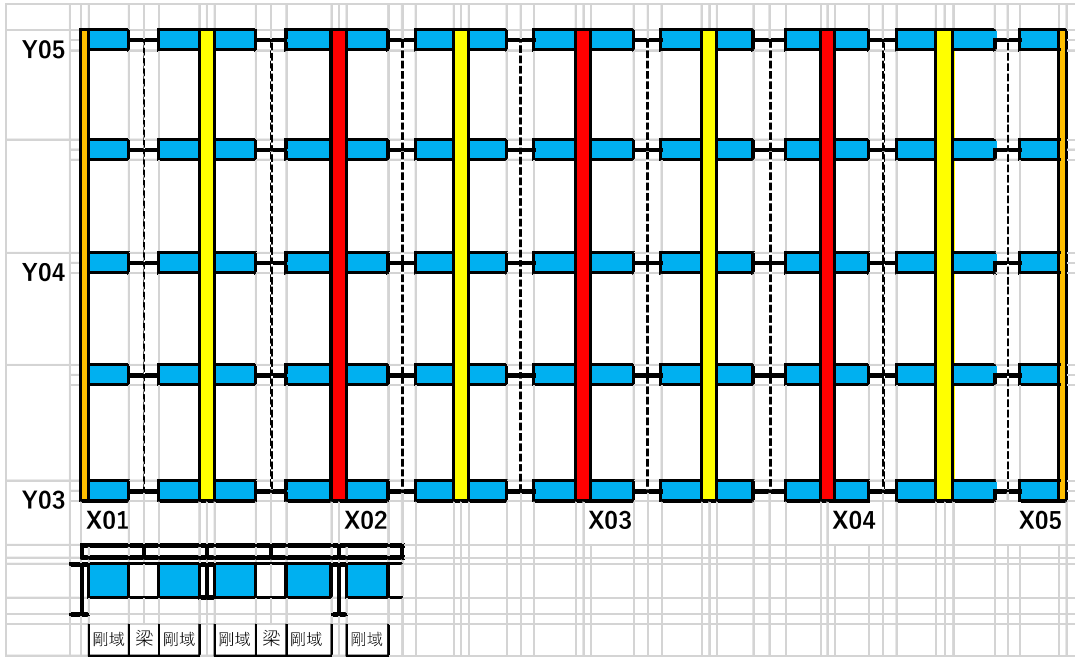


図 3-5 応力解析モデル

(3) 応力解析結果

応力解析結果を図 3-5 に示す。

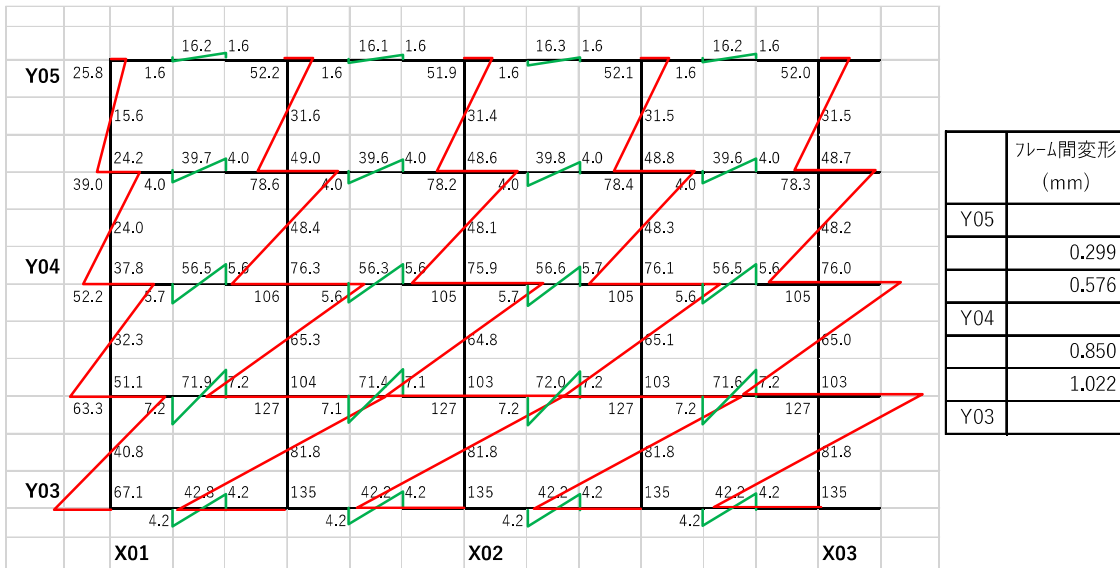


図 3-5 応力解析結果

図 3-5 より、応力図が示す曲げモーメント・せん断力に対し、CLT パネル、接合部、鉄骨梁の応力が許容応力以下に収まれば、CLT 床パネルの変形角は 1/3000 程度以下となる。

③3 辺固定スラブの場合

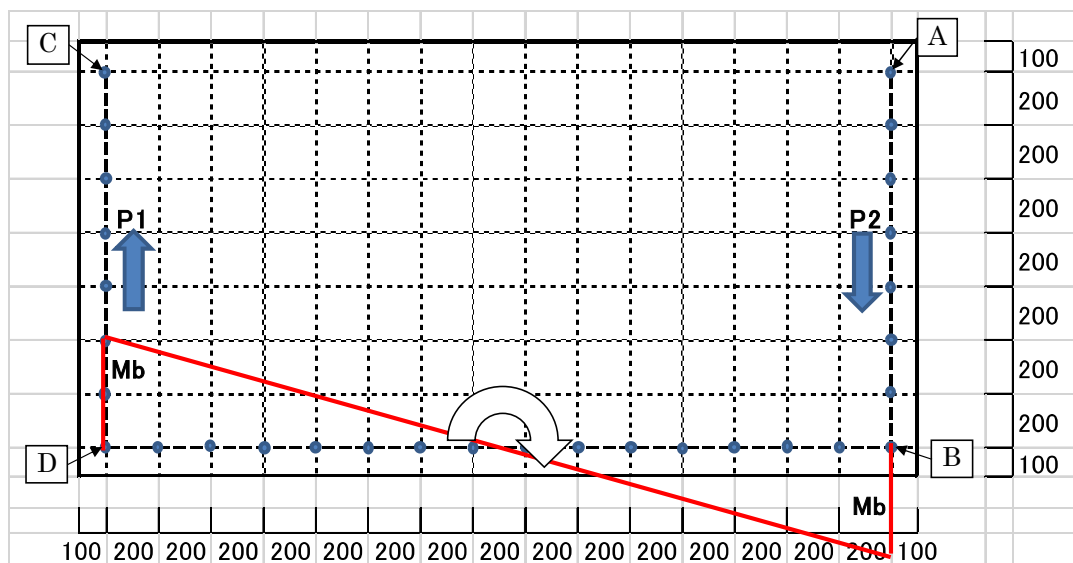


図 3-8 3 辺固定スラブの場合の抵抗機構 (2)

3 辺固定スラブに回転方向の力が作用すると、赤線のようなモーメント Mb と P1,P2 の反力が生じることになる。この場合 P1、P2 と Mb の関係は、

$$P1 = P2 = 2 \times Mb / Lb$$

但し、Lb は BD 間の距離である。この時 P1、P2 が降伏強度以下であれば、BD 間は剛域として評価して良い。

(2) 三辺固定スラブが負担できる応力

(1)②より 3 辺固定スラブの負担できる曲げモーメント、せん断力は以下の通りとなる。

外端床 (スタッド間隔 200mm) の場合

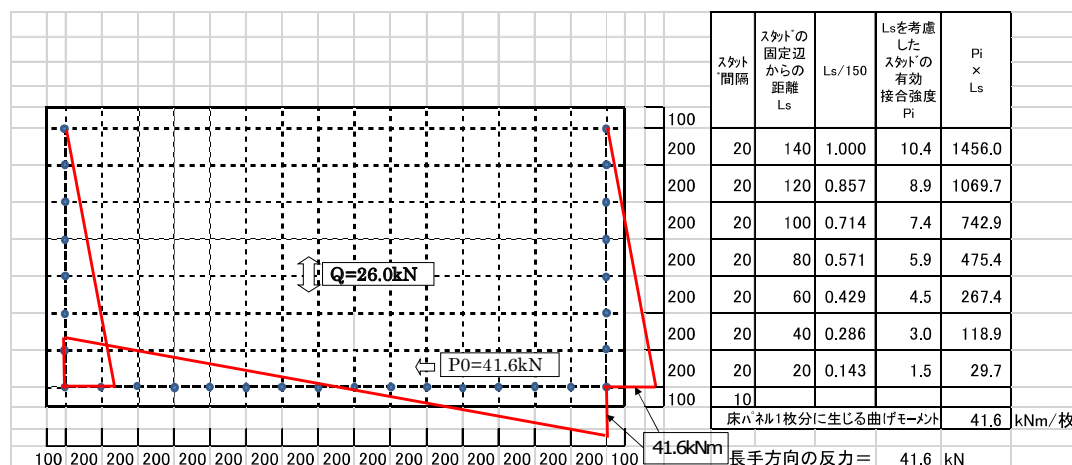
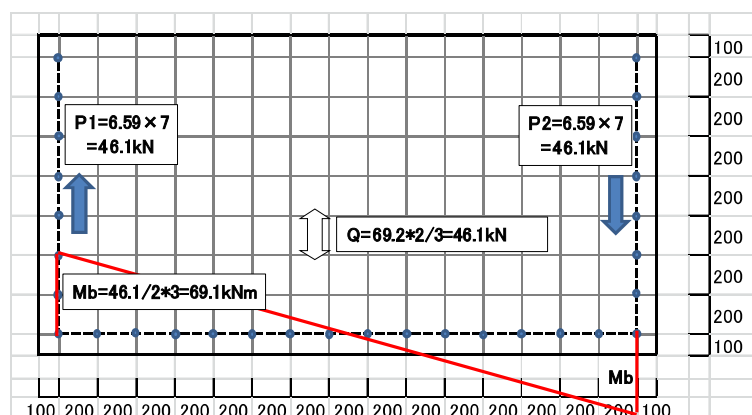


図 3-7 の P7 がスタッドの押し抜き強度に達した時の応力状態を求めると上図のようなモーメント図となる。この場合の P0 は 41.6kN となるが、スタッド 1 本当たりの抵抗力に換算すると、5.9kN/本となり、スタッドの押し抜き強度以下に収まっている。

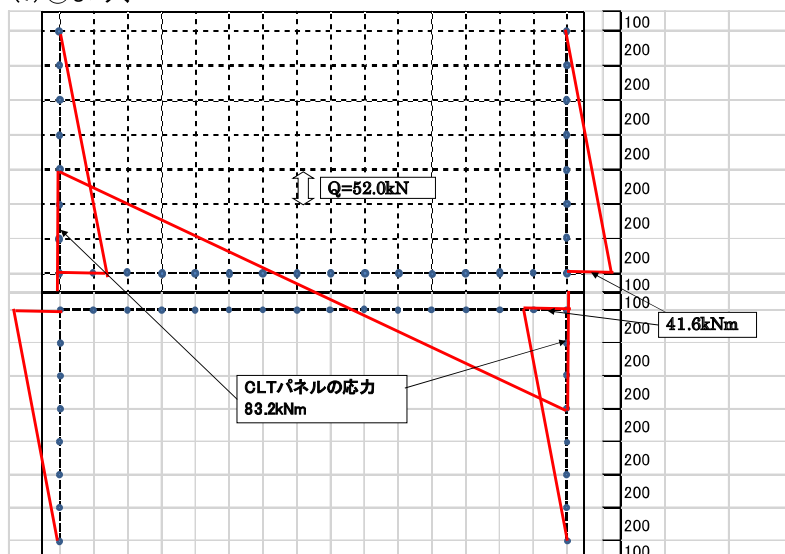
(1)③より決まる、3 辺固定スラブの負担できる曲げモーメント、せん断力は以下の通りとなる。



この値は、(1)②の場合より大きい。

内部床（スタッド間隔 200mm）の場合

(1)②より、



よって、三辺固定スラブ（スタッド間隔 200mm）の場合、負担できる曲げモーメントは、(1)②の条件で決まり、その値は、外端の CLT パネルでは 41.6kNm、内部床の CLT パネルでは 83.2kNm となる。

外端床 (スタッド間隔 100mm) の場合

(1)②の条件では、

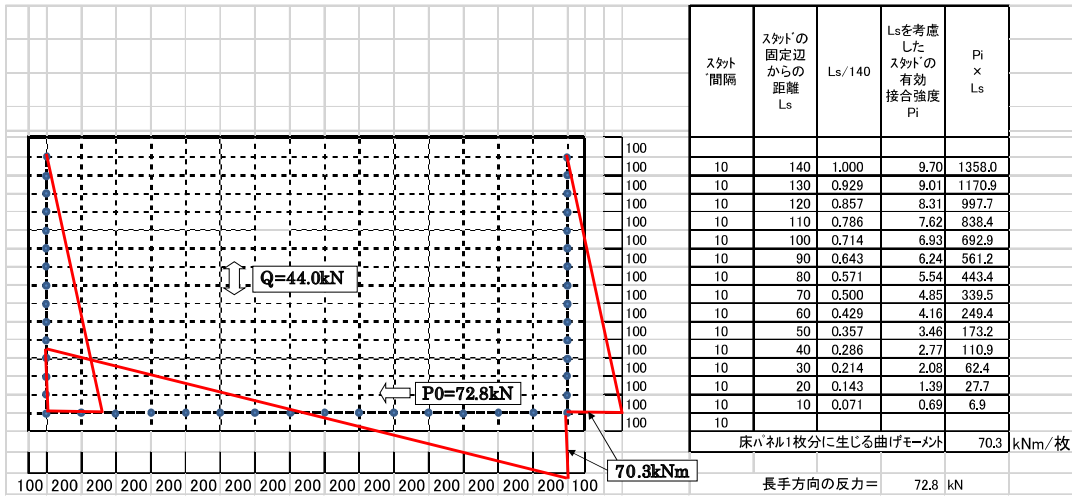
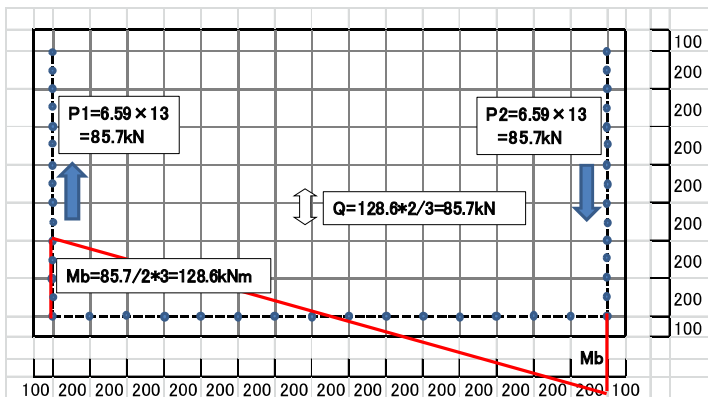


図 3-7 の P7 がスタッドの押し抜き強度に達した時の P0 は 78.0kN となり、スタッド 7 本分の強度 $P0=72.8$ を超える。逆に、 $P0=72.8$ kN となるときの P7 は 9.70kN となり、その時の CLT パネルに生じる曲げモーメントは 70.3kNm となる。

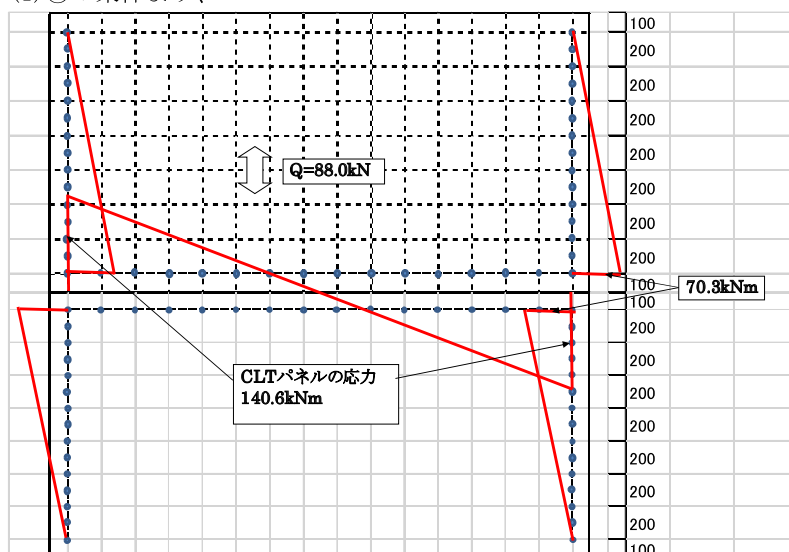
次に (1)③の条件では、



この値は、(1)②の場合より大きい。

内部床（スタッド間隔 100mm）の場合

(1)②の条件より、



よって、三辺固定スラブ（スタッド間隔 100mm）の場合、負担できる曲げモーメントは、(1)②の条件で決まり、外端の CLT パネルでは 70.3kNm 、内部の CLT パネルでは 140.6kNm となる。

図 3-5 の応力図より、CLT パネルの割り付けは、図 3-6 の通りとなる。

d) 床パネルと鉄骨の接合部スタッドの割り付け

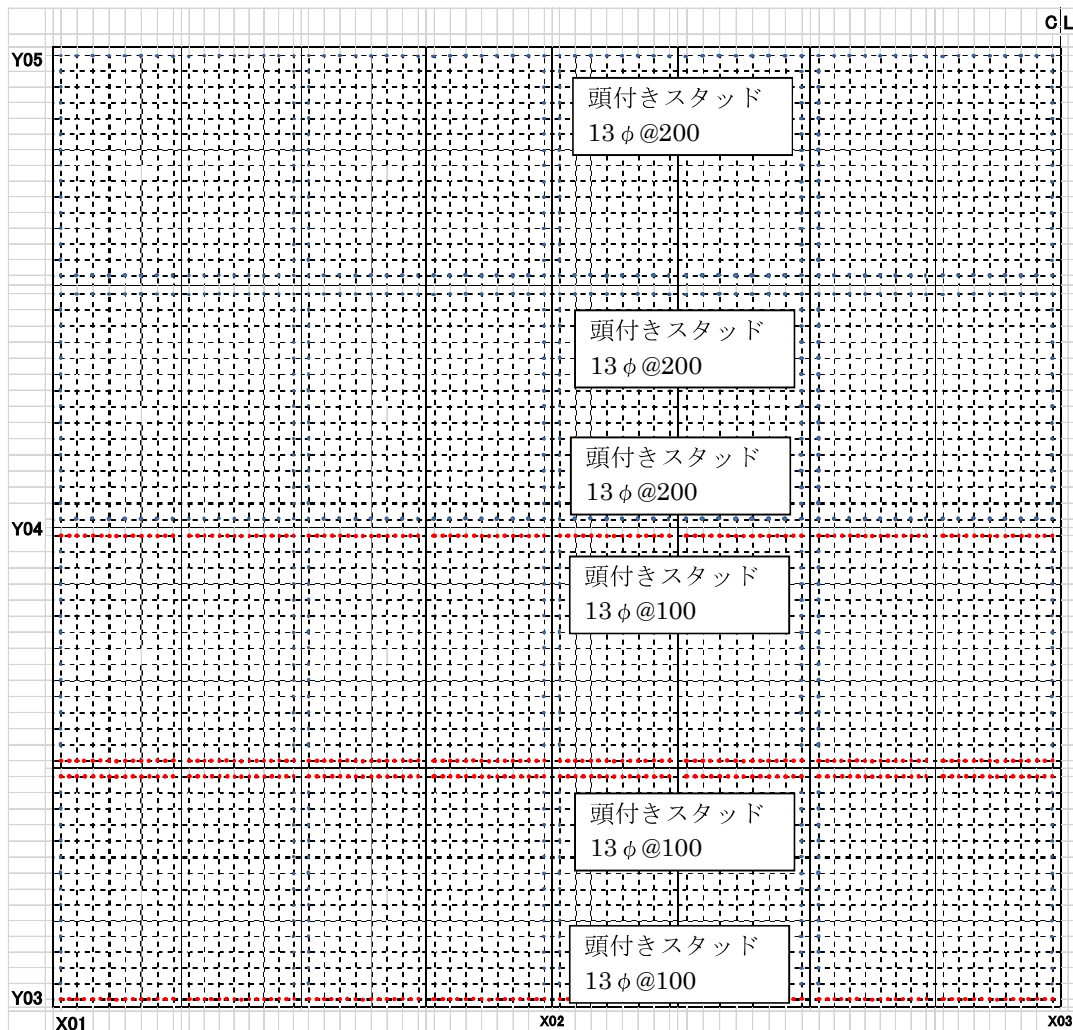


図 3-6 CLT パネルおよびスタッドの割り付け

3 辺固定スラブの長辺方向（図で縦方向）のスタッドは全て 13φ@100 とする。短辺方向（図で横方向）のスタッドは、Y04 より上側は 13φ@200、Y04 より下側は 13φ@100 とする。

e) 各部の断面検定

(1) CLT パネルの断面検定

- CLT パネルに生じる最大曲げモーメントは、図 3-5 より、Y03 通り内部 CLT パネル下端で、

$$M_{\max} = 135 \text{ kNm}$$

$$Z = Z_0 \times AA / A_0 = 57600000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_m = 135 \times 1000 \times 1000 / 57600000 = 2.34 \text{ N/mm}^2 \leq 10.41 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

- CLT パネルに生じるせん断力の最大値は、図 3-5 より、

$$Q_{\max} = 81.8 \text{ kN}$$

$$A = AA = 216000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = 81.8 \times 1000 / 216000 = 0.378 \text{ N/mm}^2 \leq 2.50 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

(2) 鉄骨梁の断面検定

- 鉄骨梁に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、下から 2 列目の鉄骨梁で、

$$M_{max} = 7.2 \text{ kNm}$$

$$Z = 12 \times 200^2 / 6 = 80000 \text{ cm}^3$$

鉄骨梁に生じる軸力の最大値は、

$$N_{max} = 10.4 \times 7 = 72.8 \text{ kN}$$

$$A = 12 \times 200 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$M_{max} / Z / f_m + N_{max} / A / f_n = 7.2 \times 100 \times 1000 / 80000 / 235 + 72800 / 2400 / 235 = 0.167 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- 鉄骨梁に生じるせん断力の最大値は、図 3-5 より、

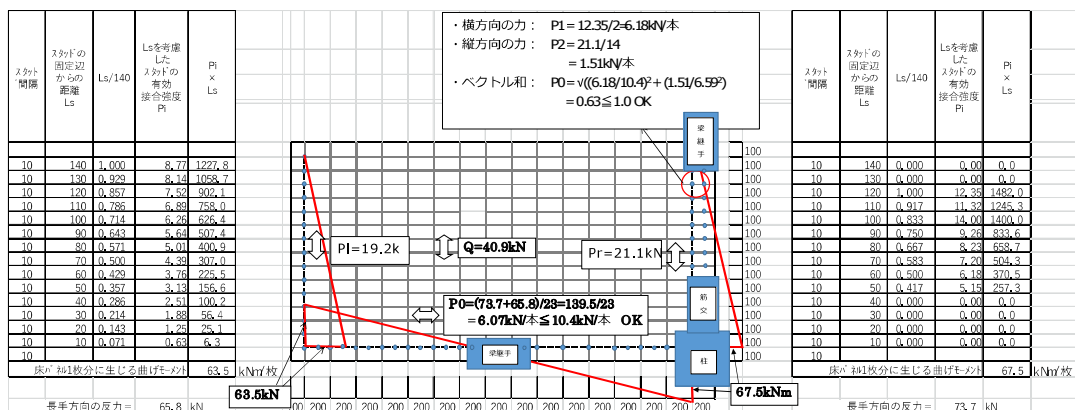
$$Q_{max} = 72.0 \text{ kN}$$

$$A = 12 \times 200 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = 72.0 \times 1000 / 2400 = 30.0 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \text{ OK}$$

(3) 接合部の断面検定

① X1-Y3、X5-Y3



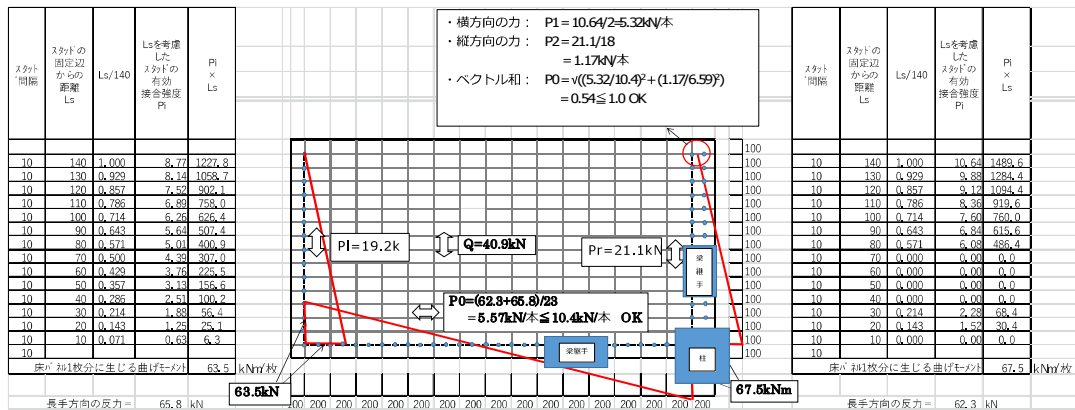
- 当該部位の CLT パネルの面内に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、Y03 端で 67.5kNm (上図右端)、反対端で 63.5kNm (上図左端) である。Y03 端が 67.5kNm となる時にスタッド 1 本当たりに働く最大せん断力は、上図右方向に向かって 6.18kN/本 (上図赤丸部分) となる。一方、上図右側のスタッドに働く上方向の最大せん断力は 14 本当たりで 21.1kN、1 本当たりでは 1.51kN となる。上図右側のスタッドに働く応力は右方向と上方向に働くせん断力のベクトル和となることから、組み合わせ応力による断面検定を行うと以下の通りとなる。

$$\sqrt{((6.18/10.4)^2 + (1.51/6.59)^2)} = 0.63 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- 次に、上図下端長手方向に働くせん断力は、スタッド 23 本当たり 139.5kN となることから、1 本当たりでは以下の通りとなる。

$$139.5 / 23 = 6.07 \text{ kN/本} \leq 10.4 \text{ kN/本} \text{ OK}$$

② X2-Y3, X3-Y3, X4-Y3



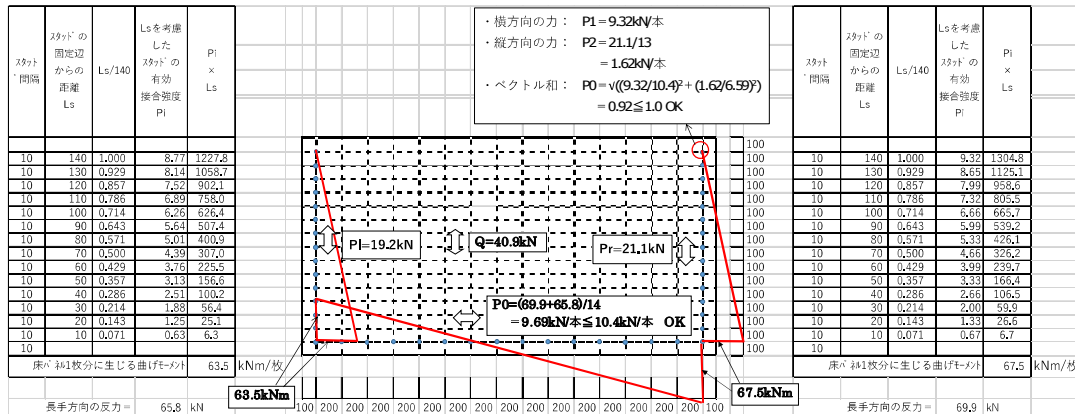
- ・当該部位の CLT パネルの面内に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、Y03 端で 67.5kNm（上図右端）、反対端で 63.5kNm（上図左端）である。Y03 端が 67.5kNm となる時にスタッド 1 本当たりに働く最大せん断力は、上図右方向に向かって 5.32kN/本（上図赤丸部分）となる。一方、上図右側のスタッドに働く上方向の最大せん断力は 18 本当たりで 21.1kN、1 本当たりでは 1.17kN となる。上図右側のスタッドに働く応力は右方向と上方向に働くせん断力のベクトル和となることから、組み合わせ応力による断面検定を行うと以下の通りとなる。

$$\sqrt{(5.57/10.4)^2 + (1.17/6.59)^2} = 0.54 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- ・次に、上図下端長手方向に働くせん断力は、スタッド 23 本当たり 128.1kN となることから、1 本当たりでは以下の通りとなる。

$$128.1/23 = 5.57\text{kN/本} \leq 10.4\text{kN/本} \text{ OK}$$

③ Y3-係梁



- ・当該部位の CLT パネルの面内に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、Y03 端で 67.5kNm（上図右端）、反対端で 63.5kNm（上図左端）である。Y03 端が 67.5kNm となる時にスタッド 1 本当たりに働く最大せん断力は、上図右方向に向かって 9.32kN/本（上図赤丸部分）となる。

一方、上図右側のスタッドに働く上方向の最大せん断力は 13 本当たりで 21.1kN、1 本当たりでは 1.62kN となる。

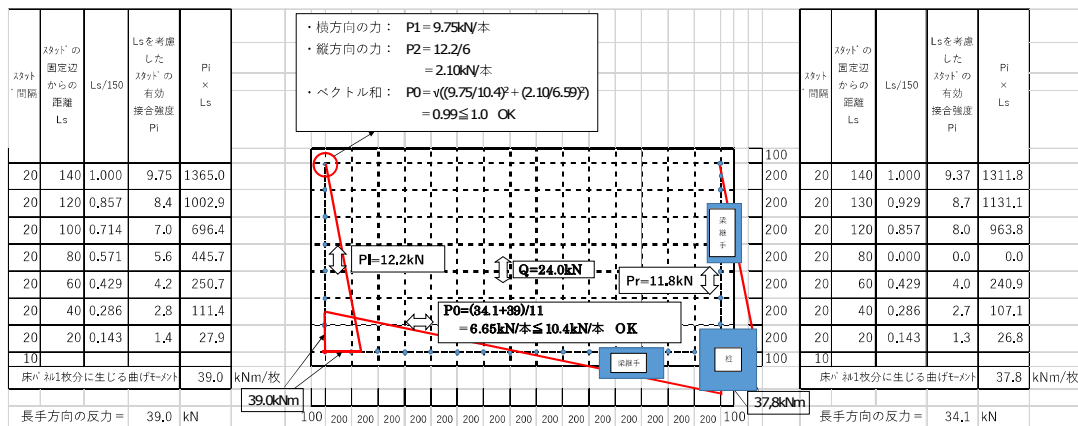
上図右側のスタッドに働く応力は右方向と上方向に働くせん断力のベクトル和となることから、組み合わせ応力による断面検定を行うと以下の通りとなる。

$$\sqrt{(9.32/10.4)^2 + (1.62/6.59)^2} = 0.92 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- 次に、上図下端長手方向に働くせん断力は、スタッド 14 本当たり 135.7kN となることから、1 本当たりでは以下の通りとなる。

$$135.7/14 = 9.6\text{kN/本} \leq 10.4\text{kN/本 OK}$$

④X1-Y4、X5-Y4



- 当該部位の CLT パネルの面内に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、Y4 端で 37.8kNm（上図右端）、反対端で 39.0kNm（上図左端）である。Y4 端と反対端が 39.0kNm となる時にスタッド 1 本当たりに働く最大せん断力は、上図右方向に向かって 9.75kN/本（上図赤丸部分）となる。一方、上図左側のスタッドに働く上方向の最大せん断力は 6 本当たりで 12.2kN、1 本当たりでは 2.10kN となる。

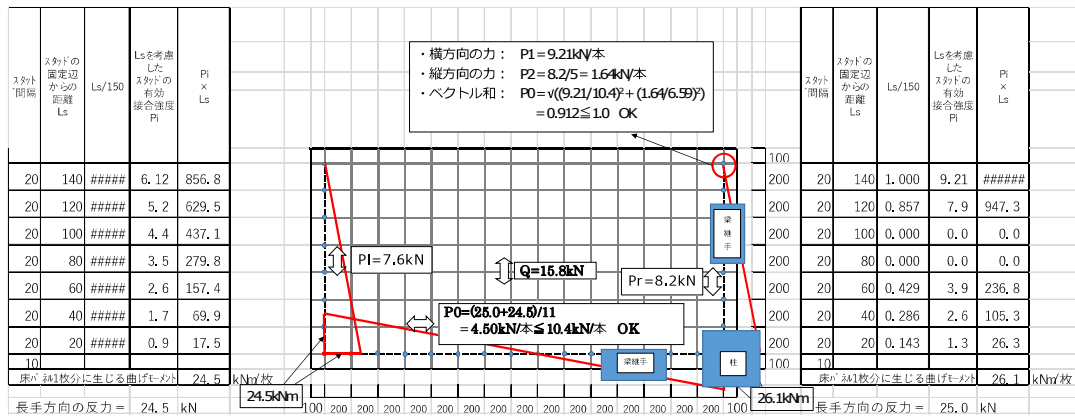
上図右側のスタッドに働く応力は右方向と上方向に働くせん断力のベクトル和となることから、組み合わせ応力による断面検定を行うと以下の通りとなる。

$$\sqrt{(9.75/10.4)^2 + (2.10/6.59)^2} = 0.99 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- 次に、上図下端長手方向に働くせん断力は、スタッド 11 本当たり 73.1kN となることから、1 本当たりでは以下の通りとなる。

$$73.1/11 = 6.65\text{kN/本} \leq 10.4\text{kN/本 OK}$$

⑤X1-Y5、X5-Y5



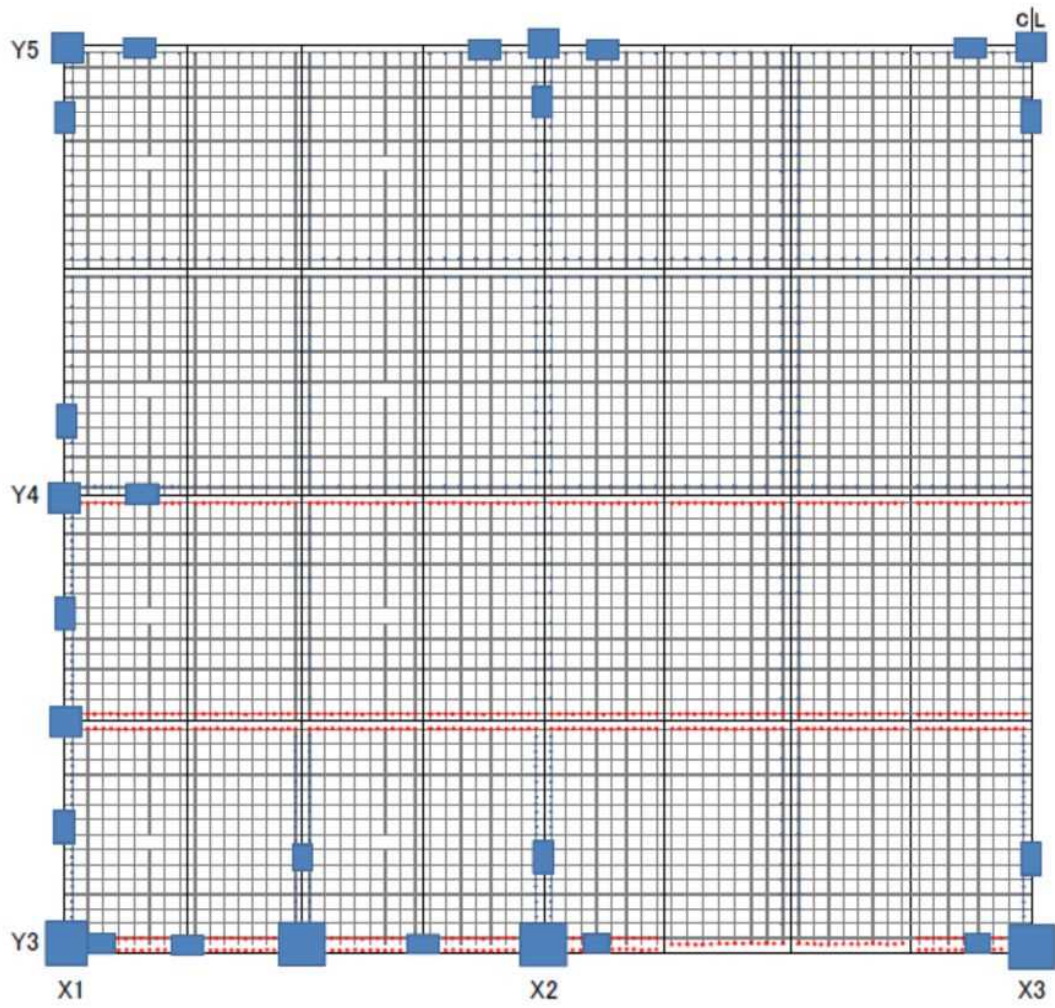
- ・当該部位の CLT パネルの面内に生じる曲げモーメントは、図 3-5 より、Y5 端で 26.1kNm（上図右端）、反対端で 24.5kNm（上図左端）である。Y5 端が 26.1kNm となる時にスタッド 1 本あたりに働く最大せん断力は、上図右方向に向かって 9.21kN/本（上図赤丸部分）となる。一方、上図右側のスタッドに働く上方向の最大せん断力は 5 本当たりで 8.2kN、1 本あたりでは 1.64kN となる。上図右側のスタッドに働く応力は右方向と上方向に働くせん断力のベクトル和となることから、組み合わせ応力による断面検定を行うと以下の通りとなる。

$$\sqrt{(9.21/10.4)^2 + (1.64/6.59)^2} = 0.912 \leq 1.0 \text{ OK}$$

- ・次に、上図下端長手方向に働くせん断力は、スタッド 11 本当たり 49.5kN となることから、1 本あたりでは以下の通りとなる。

$$49.5/11 = 4.50\text{kN/本} \leq 10.4\text{kN/本} \text{ OK}$$

次ページにスタッドの割り付け図を示す。



スタッドの割り付け図

3.3 Y 方向の接合部の検討

Y 方向外力に対する CLT 床パネルの構造設計の基本方針としては、保有耐力時の床応力に対し、床パネル、鉄骨梁および接合部が、弾性限に納まるように設計する。Y 方向外力の場合、各フレームには、剛性のアンバランスは生じないことから、CLT 床パネル 1 枚あたりに生じる外力を面積比より求め、その応力が均等に周辺のスタッドに伝わるものとして、検討を進める。

a) 接合部の強度の検討

・各階の床に生じる最大せん断力は、Y 方向の保有水平耐力より求めると下表の通りとなる。緑色に塗りつぶした部分が CLT パネルの用いられている部位である。

| 階 | W (kN) | 保有水平耐力 (kN) | 各階水平外力 (kN) |
|---|--------|-------------|-------------|
| P | 490 | 766 | 766 |
| R | 5700 | 4115 | 3349 |
| 5 | 4262 | 5857 | 1742 |
| 4 | 4299 | 7264 | 1407 |
| 3 | 4321 | 8376 | 1112 |
| 2 | 7234 | 9616 | 1240 |

従って、床全体に生じる最大圧縮力は、

$$N_{\max} = 1738 \text{ kN}$$

N_{\max} の 2/3 倍 (CLT 床面積相当分) の圧縮力が、64 枚の CLT に分散して働くものと仮定すれば、

1 枚当たりの圧縮力は、

$$N_1 = 1738 \times 2/3 / 64 = 18.1 \text{ kN/枚}$$

b) CLT パネルと鉄骨梁の接合部の性能

・ a) で求まる CLT 1 枚当たりの圧縮力を、上下の 16 本のスタッドで伝達されるものと仮定すれば、スタッド 1 本に生じる圧縮力は、

$$Q_s = 18.1 / 16 = 1.12 \text{ kN/本} \leq 10.4 \text{ kN/本} \quad \text{OK}$$

c) CLT パネルの圧縮耐力

・ CLT パネル 1 枚当たりの圧縮耐力は、

$$A_A = 216000 \text{ mm}^2$$

$$P = 10.41 \times 216000 / 1000 = 2248 \text{ kN/枚} \geq 18.1 \text{ kN/枚} \quad \text{OK}$$

d) 鉄骨梁の断面検討

・ 鉄骨梁に生じるせん断力は、

$$Q_s = 18.1 \times 4 / 2 \times 2 = 72.4 \text{ kN}$$

・ 鉄骨梁のせん断検定を行えば、

$$Q_s = 72.4 \times 1000 / (12 \times 200) = 30.2 \text{ N/mm}^2 \leq 135 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

4. CLT 床の面外性能

a) 曲げモーメント、せん断力

荷重 w : $w = 6.06 \times 1.6 = 9.70 \text{ kN/m}$

スパン L : $L = 3.2 \text{ m}$ (小梁中心間長さ)

両端単純支持の 1 方向版として曲げ・せん断の検討を行う。

中央の最大モーメント M_{\max} は、

$$M_{\max} = 9.70 \times 3.2^2 / 8 = 12.42 \text{ kNm}$$

せん断力は

$$Q_{\max} = 9.70 \times 3.2 / 2 = 15.5 \text{ kN}$$

CLT の断面 2 次モーメントは、

$$I_A = 1,139,333,333 \text{ mm}^4$$

$$Z = 1139333333 / (210/2) = 10850000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_b = 12420000 / 10850000 = 1.14 \text{ N/mm}^2 \leq 1.1 \times 12.14 / 3 = 4.45 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

CLT のせん断断面積を求めると、

$$A_s = 1600 \times 210 \times 1139333333 / 1234800000 = 310000 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_s = 15500 / 310000 = 0.050 \text{ N/mm}^2 \leq 1.1 \times 0.9 / 3 = 0.33 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

b) CLT パネルのたわみ

荷重 w : $w = 6.06 \times 1.6 = 9.70 \text{ kN/m}$

スパン L : $L = 3.2 \text{ m}$

ヤング係数 E : $E = 5536 \text{ N/mm}^2$

断面 2 次モーメント I : $I = 1,234,800,000 \text{ mm}^4$

せん断弾性係数 G : $G = 30 \text{ N/mm}^2$

断面積 A : $A = 336000 \text{ mm}^2$

曲げによるたわみ

$$\delta_r = 5wL^4 / (384EI) = 1.94 \text{ mm}$$

$$\delta_s = wL^2 / (24GA) \times 3/2 = 0.616 \text{ mm}$$

$$\delta = \delta_r + \delta_s = 1.94 + 0.616 = 2.56 \text{ mm} \leq L/300 = 10.7 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

クリープを考慮した場合

$$\delta' = \delta \times 2 = 5.12 \text{ mm} \leq L/250 = 12.8 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

c) 孫梁の断面検討

孫梁に、CLT パネルと同等のたわみが生じた時、孫梁に生じる曲げモーメント、せん断力が、許容値以下であることを確認する。

孫梁の断面形状 : $\text{H-200} \times 200 \times 6 \times 12$

断面 2 次モーメント I : $I = 45200000 \text{ mm}^4$

ヤング係数 E : $E = 205000 \text{ N/mm}^2$

CLT パネルに生じるたわみ : $\delta = 6.19 \text{ mm}$

同等のたわみが生じた時の荷重 w :

$$W = 384EI \times \delta / (5L^4) = 384 \times 205000 \times 45200000 \times 6.19 / (5 \times 3.2 \times 3200^4) \\ = 13.1 \text{ kN/m}$$

孫梁に生じる応力と断面検定

$$M_{\max} = 13.1 \times 3.2^2 / 8 = 16.8 \text{ kNm}$$

$$Z = 452000 \text{ mm}^3$$

$$\sigma = 16.8 \times 1000 \times 1000 / 452000 = 37.1 \text{ N/mm}^2 \leq 117 \text{ N/mm}^2 \quad \text{OK}$$

材料強度等の計算

材料強度等は「CLT関連告示等解説書」(2016年公布・施行,P64~79、付録参考3)に記されている式より計算した。

| 記号説明 | |
|-------------------|--|
| Fc | : 第一第十九号イに規定する直交集成板の圧縮の基準強度(N/mm ²) |
| σ_{c_oml} | : ラミナの圧縮強度(N/mm ²) |
| E0 | : 基準とする層の弾性係数(N/mm ²) |
| AA | : 等価断面の断面積(mm ²) |
| A0 | : 直交集成板の断面積(mm ²) |
| Ft | : 第一第十九号イに規定する直交集成板の引張りの基準強度(N/mm ²) |
| σ_{t_oml} | : ラミナの引張り強度(N/mm ²) |
| Fb | : 第一第十九号イに規定する直交集成板の曲げの基準強度(N/mm ²) |
| σ_{b_oml} | : ラミナの曲げ強度(N/mm ²) |
| IA | : 直交集成板の等価断面の断面二次モーメント(mm ⁴) |
| I0 | : 直交集成板の断面二次モーメント(mm ⁴) |
| Fs | : 第一第十九号イに規定する直交集成板のせん断の基準強度(N/mm ²) |
| E | : ヤング係数 |
| b | : ラミナの幅(mm) |
| nca | : 直交接着層数 |
| tgross | : CLTの厚さ |
| m | : ラミナの幅方向の数 |

| | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------------------------|--------|---------|-----------------------|----------------------------|---|
| ●圧縮強度（強軸）の場合 | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：1600mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1,E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{c_oml}=21.6\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ N) | $\Sigma Ei \cdot Ai$ (×10 ⁶ N) |
| 1 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | 1296 |
| 2 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 3 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 4 | M30A | あり | 3000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 144 | |
| 5 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 6 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 7 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| E0=E1,E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 1296 \times 10^6 / 6000 = 216000\text{mm}^2$ | | | | | | | | |
| $F_c = \sigma_{c_oml} \times A_A / A_0 \times 0.75 = 21.6 \times 216000 / (1600 \times 210) \times 0.75 = 10.41\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| ●圧縮強度（弱軸）の場合 | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：3200mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1,E2,E6,E7=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=0N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{c_oml}=15.6\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ N) | $\Sigma Ei \cdot Ai$ (×10 ⁶ N) |
| 1 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 576 |
| 2 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 3 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 4 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 5 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 6 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 7 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| E0=E3,E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 576 \times 10^6 / 3000 = 192000\text{mm}^2$ | | | | | | | | |
| $F_c = \sigma_{c_oml} \times A_A / A_0 \times 0.75 = 15.6 \times 192000 / (3200 \times 210) \times 0.75 = 3.34\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------------------------|--------|---------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------|
| ●引張強度（強軸）の場合 | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：1600mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1,E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{t_oml}=16.0\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ N) | ΣEi・Ai (×10 ⁶ N) |
| 1 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | 1296 |
| 2 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 3 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 4 | M30A | あり | 3000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 144 | |
| 5 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 6 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 7 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| E0=E1,E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 1296 \times 10^6 / 6000 = 216000\text{mm}^2$ | | | | | | | | |
| $Ft = \sigma_{t_oml} \times A_A / A_0 \times 0.75 = 16.0 \times 216000 / (1600 \times 210) \times 0.75 = 7.71\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| ●引張強度（弱軸）の場合 | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：3200mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1,E3,E6,E7=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=0N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{t_oml}=11.5\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ N) | ΣEi・Ai (×10 ⁶ N) |
| 1 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 576 |
| 2 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 3 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 4 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 5 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 6 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 7 | M60A | なし | 0 | 0 | 30.0 | 0 | 0 | |
| E0=E3,E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 576 \times 10^6 / 3000 = 192000\text{mm}^2$ | | | | | | | | |
| $Ft = \sigma_{t_oml} \times A_A / A_0 \times 0.75 = 11.5 \times 192000 / (3200 \times 210) \times 0.75 = 2.46\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |

| ●曲げ面内強度（強軸）の場合 | | | | | | | | |
|---|-------|------|-------------------------|--------|---------|-----------------------|--|---|
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材断面高さ(H)：1600mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=27.0\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | bi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ Nmm ²) | ΣEi・Ai (×10 ⁶ Nmm ²) |
| 1 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | 1296 |
| 2 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 3 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 4 | M30A | あり | 3000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 144 | |
| 5 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 6 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| 7 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 288 | |
| E0=E1,E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 1296 \times 10^6 / 6000 = 216000(\text{mm}^2)$ | | | | | | | | |
| $A0 = B \times H = 1600 \times 210 = 336000(\text{mm}^2)$ | | | | | | | | |
| $Fb = \sigma_{b_oml} \times A_A / A0 \times 0.6 = 27.0 \times 216000 / 336000 \times 0.6 = 10.41\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| E= 3857 N/mm ² | | | | | | | | |
| ●曲げ面内強度（弱軸）の場合 | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | |
| 部材断面高さ(H)：3200mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7=0N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=0N/mm ² | | | | | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=19.5\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | bi (mm) | Ai (mm ²) | Ei・Ai (×10 ⁶ Nmm ²) | ΣEi・Ai (×10 ⁶ Nmm ²) |
| 1 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 576 |
| 2 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 3 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 4 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 5 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 288 | |
| 6 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| 7 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | |
| E0=E3,E5=3000N/mm ² | | | | | | | | |
| $A_A = \Sigma Ei \cdot Ai / E0 = 576 \times 10^6 / 3000 = 192000(\text{mm}^2)$ | | | | | | | | |
| $A0 = B \times H = 3200 \times 210 = 672000(\text{mm}^2)$ | | | | | | | | |
| $Fb = \sigma_{b_oml} \times A_A / A0 \times 0.6 = 19.5 \times 192000 / 672000 \times 0.6 = 3.34\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | |
| E= 857 N/mm ² | | | | | | | | |

| | | | | |
|--|--|--|--|--|
| ●面内せん断強度（強軸）の場合（m=8） | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | |
| 部材断面高さ(H)：1600mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7 = 6000N/mm ² | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5 = 0N/mm ² | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4 = 3000N/mm ² | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=27.0\text{N/mm}^2$ | | | | |
| 告示の第2式の計算 | | | | |
| ラミナの幅： b = 120 | | | | |
| 直交接着層数： nca = 4 | | | | |
| CLTの厚さ： t _{gross} = 210 | | | | |
| ラミナの幅方向の数： m = 8 | | | | |
| $1.5 \times 120 \times 4 / (210 \times ((1 - 1/8^2) + 16/3 \times (1/8 - 1/8^2))) = 2.187$ | | | | |
| F _s = min(2.7, 2.187) = 2.19 N/mm ² | | | | |

| | | | | |
|---|--|--|--|-------------|
| ●面内せん断強度（強軸）の場合（m=13） | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | |
| 部材断面高さ(H)：1600mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7 = 6000N/mm ² | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5 = 0N/mm ² | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4 = 3000N/mm ² | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=27.0\text{N/mm}^2$ | | | | |
| 告示の第2式の計算 | | | | |
| ラミナの幅： b = 120 | | | | 13.33333333 |
| 直交接着層数： nca = 4 | | | | |
| CLTの厚さ： t _{gross} = 210 | | | | |
| ラミナの幅方向の数： m = 13 | | | | |
| $1.5 \times 120 \times 4 / (210 \times ((1 - 1/13^2) + 16/3 \times (1/13 - 1/13^2))) = 2.498$ | | | | |
| F _s = min(2.7, 2.498) = 2.50 N/mm ² | | | | |

| | | | | | | | | | | |
|---|-------|------|-------------------------|--------|---------|-----------------------|---------|---|---|--|
| ●曲げ面外強度（強軸）の場合 | | | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：1600mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=0N/mm ² | | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=3000N/mm ² | | | | | | | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=27.0\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Zi (mm) | ①Ei・li (×10 ⁹ Nmm ²) | ②Ei・Ai・Zi ² (×10 ⁹ Nmm ²) | Σ①+② (×10 ¹² Nmm ²) |
| 1 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 90 | 21.6 | 2332.8 | 6.836 |
| 2 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 60 | 21.6 | 1036.8 | |
| 3 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 30 | 0 | 0 | |
| 4 | M30A | あり | 3000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 0 | 10.8 | 0 | |
| 5 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 30 | 0 | 0 | |
| 6 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 60 | 21.6 | 1036.8 | |
| 7 | M60A | あり | 6000 | 1600 | 30.0 | 48000 | 90 | 21.6 | 2332.8 | |
| E0=E1,E7=6000N/mm ² | | | | | | | | | | |
| $I_A = \Sigma Ei \cdot Ai \cdot Zi^2 / E0 = 6.836 \times 10^{12} / 6000 = 1139333333(\text{mm}^4)$ | | | | | | | | | | |
| $I0 = B \times H^3 / 12 = 1600 \times 210^3 / 12 = 1234800000(\text{mm}^4)$ | | | | | | | | | | |
| $Fb = \sigma_{b_oml} \times I_A / I0 \times 0.4875 = 27.0 \times 1139333333 / 1234800000 \times 0.4875 = 12.14\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | | | |
| E= 5536 N/mm ² | | | | | | | | | | |
| ●曲げ面外強度（弱軸）の場合 | | | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | | | |
| 部材幅(B)：3200mm、部材厚さ(H)：210mm | | | | | | | | | | |
| 各層厚さ(h)：全層等厚30mm | | | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7=0N/mm ² | | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3、E5=3000N/mm ² | | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E4=0N/mm ² | | | | | | | | | | |
| $\sigma_{b_oml}=19.5\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | B (mm) | hi (mm) | Ai (mm ²) | Zi (mm) | ①Ei・li (×10 ⁹ Nmm ²) | ②Ei・Ai・Zi ² (×10 ⁹ Nmm ²) | Σ①+② (×10 ¹² Nmm ²) |
| 1 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0.56160 |
| 2 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 60 | 0 | 0 | |
| 3 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 30 | 21.6 | 259.2 | |
| 4 | M30A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| 5 | M30A | あり | 3000 | 3200 | 30.0 | 96000 | 30 | 21.6 | 259.2 | |
| 6 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 60 | 0 | 0 | |
| 7 | M60A | なし | 0 | 0 | 0.0 | 0 | 90 | 0 | 0 | |
| E0=E1,E7=3000N/mm ² | | | | | | | | | | |
| $I_A = \Sigma Ei \cdot Ai \cdot Zi^2 / E0 = 0.5616 \times 10^{12} / 3000 = 187200000(\text{mm}^4)$ | | | | | | | | | | |
| $I0 = B \times H^3 / 12 = 3200 \times 210^3 / 12 = 2469600000(\text{mm}^4)$ | | | | | | | | | | |
| $Fb = \sigma_{b_oml} \times I_A / I0 \times 0.4875 = 19.5 \times 18720000 / 2469600000 \times 0.4875 = 0.72\text{N/mm}^2$ | | | | | | | | | | |
| E= 227 N/mm ² | | | | | | | | | | |

| ●面内せん断弾性係数（強軸）の場合 | | | | | | | | | |
|--|-------|------|-------------------------|-------------------------|---------|--------|-----|--------|------------------------|
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | | |
| 部材断面高さ(H)：1600mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | | | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | | | | | | |
| 外層用ラミナ等級：M60A（等級区分機による等級）、E1E2,E6,E7 = 6000N/mm ² | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3,E4,E5 = 3000N/mm ² | | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | Gi (N/mm ²) | hi (mm) | hi/Gi | a | tgross | G (N/mm ²) |
| 1 | M60A | あり | 6000 | 375 | 15.0 | 0.0400 | 150 | 210 | 30 |
| 2 | M60A | あり | 6000 | 375 | 30.0 | 0.0800 | | | |
| 3 | M30A | なし | 3000 | 18.75 | 30.0 | 1.6000 | | | |
| 4 | M30A | あり | 3000 | 187.5 | 30.0 | 0.1600 | | | |
| 5 | M30A | なし | 3000 | 18.75 | 30.0 | 1.6000 | | | |
| 6 | M60A | あり | 6000 | 375 | 30.0 | 0.0800 | | | |
| 7 | M60A | あり | 6000 | 375 | 15.0 | 0.0400 | | | |
| G= 30 N/mm ² | | | | | | | | | |
| ●面内せん断弾性係数（弱軸）の場合 | | | | | | | | | |
| Mx60-5-7「(外層：M60A、内層：M30A)」 | | | | | | | | | |
| 部材断面高さ(H)：3200mm、部材断面厚さ(B)：210mm | | | | | | | | | |
| 各層厚さ(b)：全層等厚30mm | | | | | | | | | |
| 内層用ラミナ等級：M30A（等級区分機による等級）、E3,E4,E5 = 3000N/mm ² | | | | | | | | | |
| 層 | ラミナ等級 | 応力負担 | Ei (N/mm ²) | Gi (N/mm ²) | hi (mm) | hi/Gi | a | tgross | G (N/mm ²) |
| 1 | | | | | | | 60 | 210 | 10 |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | M30A | あり | 3000 | 187.5 | 15.0 | 0.0800 | | | |
| 4 | M30A | なし | 3000 | 18.75 | 30.0 | 1.6000 | | | |
| 5 | M30A | あり | 3000 | 187.5 | 15.0 | 0.0800 | | | |
| 6 | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | |
| G= 10 N/mm ² | | | | | | | | | |

| 強度等級 ラミナ構成 | | 面内方向 | | | | | | | |
|---------------|--|------------------------|------|------------------------|------|------------------------|------|------------------------|------|
| | | Fc(N/mm ²) | | Ft(N/mm ²) | | Fb(N/mm ²) | | Fs(N/mm ²) | |
| | | 強軸 | 弱軸 | 強軸 | 弱軸 | 強軸 | 弱軸 | b=120 | |
| | | | | | | | | m=8 | m=13 |
| Mx60 5-7 | | 10.41 | 3.34 | 7.71 | 2.46 | 10.41 | 3.34 | 2.19 | 2.50 |
| 強度等級 ラミナ構成 | | 面外方向 | | | | | | | |
| | | Fb(N/mm ²) | | Fs(N/mm ²) | | | | | |
| | | 強軸 | 弱軸 | 共通 | | | | | |
| Mx60 5-7 | | 12.14 | 0.72 | 0.90 | | | | | |
| 強度等級 ラミナ構成 | | 面内方向 | | | | 面外方向 | | | |
| | | E(N/mm ²) | | G(N/mm ²) | | E(N/mm ²) | | G(N/mm ²) | |
| | | 強軸 | 弱軸 | 共通 | | 強軸 | 弱軸 | 強軸 | 弱軸 |
| Mx60 5-7 | | 3857 | 857 | 500 | | 5536 | 227 | 30 | 10 |

CLT 床スラブのせん断剛性評価と 剛床仮定成立に関する検討

1. CLT 床パネルのせん断剛性評価

CLT パネルのせん断弾性係数： G (N/mm²)

CLT パネルの断面積： A (mm²)

CLT パネルの幅： L (mm)

CLT パネルの長さ： $2 \times L$ (mm²)

CLT パネルの上端にかかる荷重： P (N)

その時のパネル上端の変形： Δ (mm)

とすれば、 P と Δ の関係は以下の通りとなる。

$$P = GA / (2L) \times \Delta$$

CLT パネルのせん断バネを K_p とすれば、

$$P = K_p \times \Delta$$

よって、

$$K_p = GA / (2L)$$

となる。

$$G = 500 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

$$L = 1600 \text{ (mm)}$$

CLT パネルの厚さを 210mm とすれば、(mm)

$$A = 1600 \times 210 = 315000 \text{ (mm}^2\text{)}$$

よって、

$$K_p = 500 \times 315000 / (2 \times 1600) = 52500 \text{ (N/mm)}$$

2. スタッドの剛性評価

右上図で、CLT パネルの上端に P (N) の力がかかった時の、CLT パネルの左下隅の変形を δ (mm) とする。 i 点でのスタッドの変形を δ_i とすれば、

$$\delta_i = \delta \times Li / L$$

スタッド 1 本当たりの剛性： kd (N/mm)

スタッドによる回転剛性を K_r (Nmm/mm)、回転モーメント M_r とすれば、

$$M_r = K_r \times \delta$$

$$= 2 \times \sum (kd \times \delta_i \times Li) = 2 \times \sum (kd \times Li / L \times Li) \times \delta$$

i 点における有効剛性を K_i とすれば、

$$K_i = kd \times Li / L$$

$$M_r = 2 \times \sum (K_i \times Li) \times \delta$$

よって、

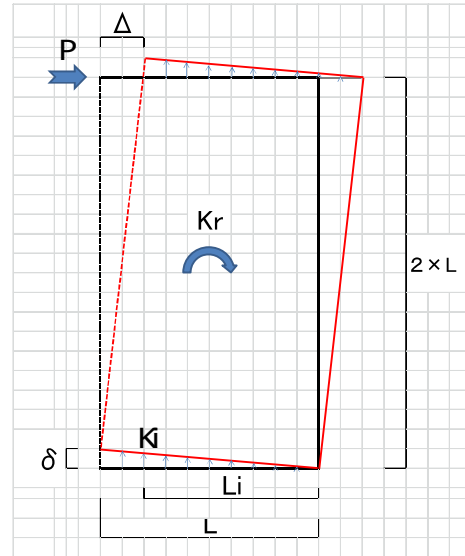
$$K_r = 2 \times \sum (K_i \times Li)$$

$$\delta = \Delta / 2$$

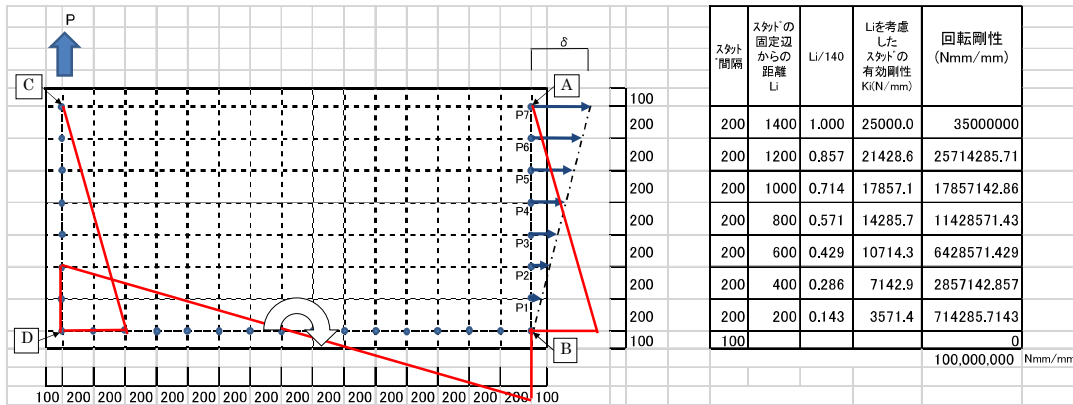
$$P \times 2 \times L = K_r \times \delta = K_r \times \Delta / 2$$

以上より

$$P = K_r / (4L) \times \Delta$$



a) スタッドが 200mm ピッチの場合



スタッド 1 本当りたりの剛性は、CLT 資料 4 の 9 頁より、

$$K_d = 25000(\text{N/mm})$$

よって、上表より K_r は、

$$K_r = 2 \times 100,000,000 = 200,000,000(\text{Nmm/mm})$$

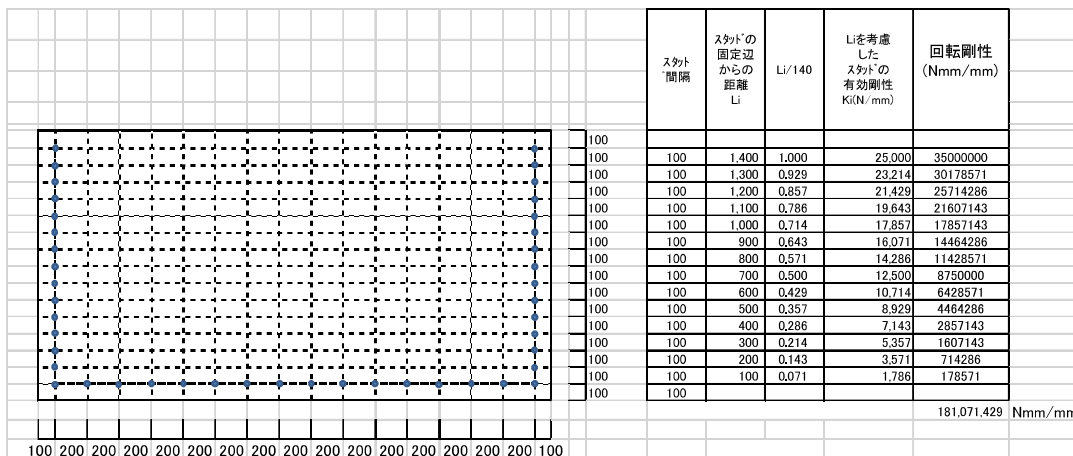
$$L = 1600(\text{mm})$$

$$K_{200} = K_r / (4L) = 200,000,000 / (4 \times 1600) = 31250(\text{N/mm})$$

従って、CLT パネルとスタッドの剛性を直列に足し合わせると

$$K_1 = 1 / (1/52500 + 1/31250) = 19589(\text{N/mm})$$

b) スタッドが 100mm ピッチの場合



$$K_r = 2 \times 181,071,429 = 362,142,857(\text{Nmm/mm})$$

$$L = 1600(\text{mm})$$

$$K_{100} = K_r / (4L) = 362,142,857 / (4 \times 1600) = 56,584(\text{N/mm})$$

従って、CLT パネルとスタッドの剛性を直列に足し合わせると

$$K_2 = 1 / (1/52500 + 1/56584) = 27,233(\text{N/mm})$$

c) CLT 床パネルのせん断剛性の評価

CLT 床の全体の剛性は、 K_1 と K_2 を直列に足し合わせると、

$$\text{全体剛性} = 1/(1/19689 + 1/27233) = 11427(\text{N/mm})$$

スタッドの剛性を無視したせん断剛性は、

$$\text{せん断剛性} = 1/(1/K_p + 1/K_p) = K_p/2 = 26250(\text{N/mm})$$

従って、等価せん断弾性係数は、

$$\text{等価せん断弾性係数} = 500 * 11427 / 26250 = 218(\text{N/mm}^2)$$

d) CLT パネルおよびスタッドに生じる変形

CLT 資料 1、図 3-5 より、CLT パネル 1 枚あたりに生じるせん断力 P は、

$$P = 40.9\text{kN}$$

CLT パネル全体の変形は、

$$\Delta t = P \times 1000 / K_2 = 40900 / 27233 = 1.50\text{mm}$$

スタッド剛性を無視した CLT パネルのせん断変形は

$$\Delta p = P \times 1000 / K_p = 40900 / 52500 = 0.779\text{mm}$$

CLT パネルを剛体とした時の CLT パネルのせん断変形は、

$$\Delta s = P \times 1000 / K_{100} = 40900 / 56584 = 0.723\text{mm}$$

スタッドの変形 δ は、

$$\delta = \Delta s / 2 = 0.361\text{mm}$$

2. 剛床仮定成立に関する検討

- ①剛床仮定の場合、②コンクリートのせん断弾性係数 9445N/mm²、③CLT床のせん断弾性係数 218N/mm² の3つのケースについて、②③については非剛床モデルとして床のせん断弾性係数をそれぞれに指定して、比較検討を行う。検討結果は以下の通りとなる。それぞれの値については、大きな相違は無く、概ね剛床仮定は成立しているものと判断できる。

フレーム降伏時の層間変形 (単位: mm)

| 階 | 剛床 | RCスラブ | CLTスラブ G=500 | CLTスラブ G=218 |
|---|------|-------|-----------------|-----------------|
| 5 | 1.42 | 1.41 | 1.38 | 1.35 |
| 4 | 1.52 | 1.54 | 1.55 | 1.55 |
| 3 | 1.51 | 1.54 | 1.56 | 1.58 |
| 2 | 1.40 | 1.42 | 1.45 | 1.47 |
| 1 | 0.90 | 0.92 | 0.91 | 0.91 |

フレーム降伏時の各階層せん断力 (単位: kN)

| 階 | 剛床 | RCスラブ | CLTスラブ G=500 | CLTスラブ G=218 |
|---|-----|-------|-----------------|-----------------|
| 5 | 250 | 250 | 250 | 250 |
| 4 | 364 | 365 | 365 | 364 |
| 3 | 456 | 456 | 456 | 456 |
| 2 | 528 | 529 | 529 | 529 |
| 1 | 605 | 606 | 606 | 606 |

保有耐力時の層間変形 (単位: mm)

| 階 | 剛床 | RCスラブ | CLTスラブ G=500 | CLTスラブ G=218 |
|---|------|-------|-----------------|-----------------|
| 5 | 22.5 | 21.9 | 21.5 | 21.1 |
| 4 | 25.7 | 25.1 | 25.1 | 25.4 |
| 3 | 27.2 | 26.8 | 27.2 | 27.4 |
| 2 | 27.4 | 26.9 | 27.4 | 27.7 |
| 1 | 17.4 | 17.3 | 17.2 | 17.1 |

保有耐力時の各階層せん断力 (単位: kN)

| 階 | 剛床 | RCスラブ | CLTスラブ G=500 | CLTスラブ G=218 |
|---|------|-------|-----------------|-----------------|
| 5 | 3873 | 3821 | 3828 | 3828 |
| 4 | 5655 | 5579 | 5589 | 5590 |
| 3 | 7069 | 6973 | 6987 | 6987 |
| 2 | 8200 | 8090 | 8105 | 8165 |
| 1 | 9385 | 9259 | 9276 | 9277 |

2階の保有耐力時変位 (単位: mm)

| | 剛床 | 非剛床 | |
|----|------|------|------|
| | | RC | CLT |
| Y3 | 17.2 | 17.0 | 16.9 |
| Y4 | 17.6 | 17.3 | 17.2 |
| Y5 | 18.0 | 17.7 | 18.3 |

5階の保有耐力時変位 (単位: mm)

| | 剛床 | 非剛床 | |
|----|------|------|------|
| | | RC | CLT |
| Y3 | 96.7 | 95.1 | 95.2 |
| Y4 | 97.7 | 96.1 | 97.4 |
| Y5 | 98.6 | 96.9 | 98.0 |

スタッドを介した鉄骨梁と CLT パネルの接合に関する要素実験

1. 目的

鉄骨梁と CLT 床パネルの接合として、頭無しスタッドボルトとエポキシ系接着剤を用いた接合方法を提案している。本実験では、スタッドボルトが押し抜き側、或いは押し込み側となる二つのパターンについて要素試験を行ない、挙動および破壊性状について検証することを目的とする。

2. 試験体

試験体詳細図を図 1 に示す。CLT パネルは Mx60-5-7 (5 層 7 プライ、外層 M60A, 内層 M30A, 山佐木材より提供) の 210mm 厚で、サイズは 500x350 である。鉄骨は H-200x200x8x12 (SS400 鋼材) とし、所定の箇所に頭無しスタッドを溶接にて取り付けている。スタッドボルトは直径 13mm, 長さ 150mm である。本実験で使用したスタッドは材質 SWRCH10A, 化学成分及び機械的性質は廃 JIS B 1197 ねじ付きスタッドに準拠している。

施工手順を以下に概略する。まず、CLT パネルにスタッドが挿入される位置に、予め直径 26mm の貫通孔を設けておく。これはスタッド径の 2 倍の大きさであり、施工誤差を考慮しての大きさである。次に、CLT パネルを鉄骨フランジに載せ、エポキシ系接着剤を充填する。本実験では、2 液反応硬化型エポキシ樹脂系接着剤として、オーシカダイナ TE-243L2 を使用した。

実験変数はスタッド位置であり、CLT パネル下部から 50mm の位置にスタッドを設けた B シリーズ (押し抜き側) と、CLT パネル上部から 50mm の位置にスタッドを設けた T シリーズ (押し込み側) の二種類である。各シリーズとも、同一条件で 6 体ずつ製作した。

3. 載荷方法

載荷方法を図 2 に示す。載荷は、鉄骨フランジ上部にピンを載せ、100t 万能試験機により単調に圧縮力を加えた。変位計は鉄骨フランジに 4 か所設置し、鉄骨と CLT パネルのずれ変位を計測した。

4. 実験結果

実験で得られた荷重-ずれ変位関係を図 3~図 6 に示す。図 3 および図 4 は B シリーズ、図 5 および図 6 は T シリーズの実験結果である。また、表 1 に各試験体の初期剛性および最大耐力など主要な実験値を示す。

B シリーズでは、何れの試験体もずれ変位 1.0mm で荷重の上昇が止まり、その後緩やかに耐力が低下した。図中▼印で示した点は、荷重の低下が観測された地点であり、この点

を設計に用いる基準点とした。CLT 床パネルの設計では、この点に 2/3 を乗じた値をせん断耐力として評価することとし、「CLT 関連告示等解説書」(2016 年公布・施行, P.88 参照)に記されている(1)式により計算した、試験体によるばらつきを考慮した値を併せて表 1 に示す。なお、CLT 床パネルの設計では、スタッドボルト 1 本当たりの耐力として、10.4kN の荷重値を採用した。

$$TL = \bar{x} - Ks \quad (1)式$$

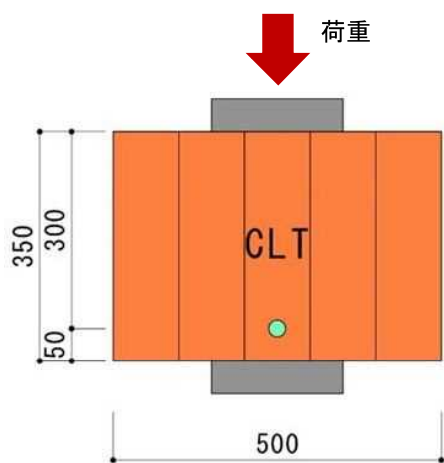
ここで、 TL : 信頼水準 75%の 95%下限許容限界値、 \bar{x} : 試験から得られた平均値、 K : 試験体数に依存する係数、 s : 標準偏差である。

T シリーズでは、ずれ変位 1.0mm 付近から剛性が低下し始め、その後は荷重が低下することなく変形が進行した。試験体 T-6 ではずれ変位 27mm 付近で急激な耐力低下が見られたが、これはスタッドボルトの溶接部が破断したことによるものだと考えられる。

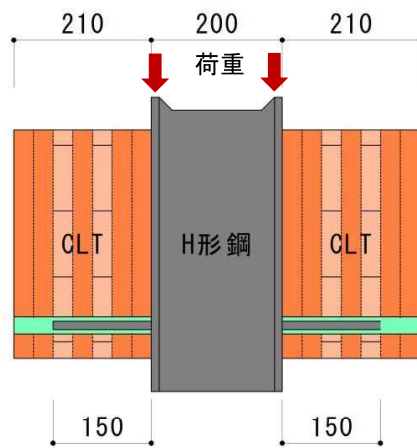
図 7 に各シリーズごとの全試験体を比較した荷重-ずれ変位関係を示す。T シリーズにおける T-5 のみ初期剛性が低くなっていることがわかる。明確な原因は不明であるが、製作段階において CLT の取り付け方に不備があったものと考えられる。T-5 を除くと、B シリーズおよび T シリーズともに各試験体とも大きなばらつきはなく、概ね再現性は取れているものと考えられる。

5. 破壊性状

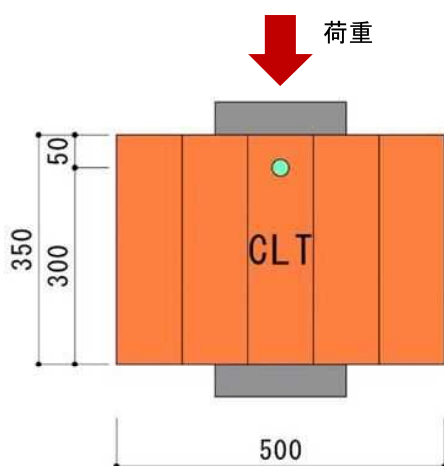
実験後の解体写真を図 8 に示す。何れの試験体も、CLT パネルがめり込まれ、スタッドが大きく変形していることがわかる。実験中は断続的に木材がめり込むような音を発しており、ずれ変位とともに CLT がめり込まれていったものと推察される。



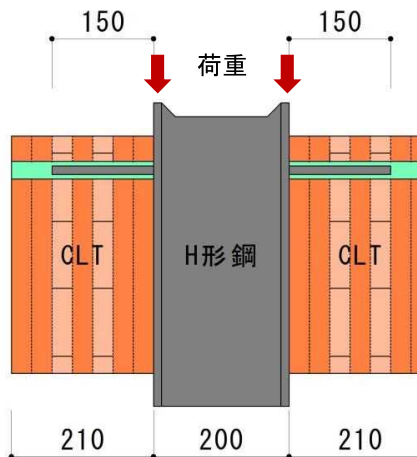
スタッド径13φ
孔径26φ



(a) Bシリーズ



スタッド径13φ
孔径26φ



(b) Tシリーズ

図1 試験体詳細図

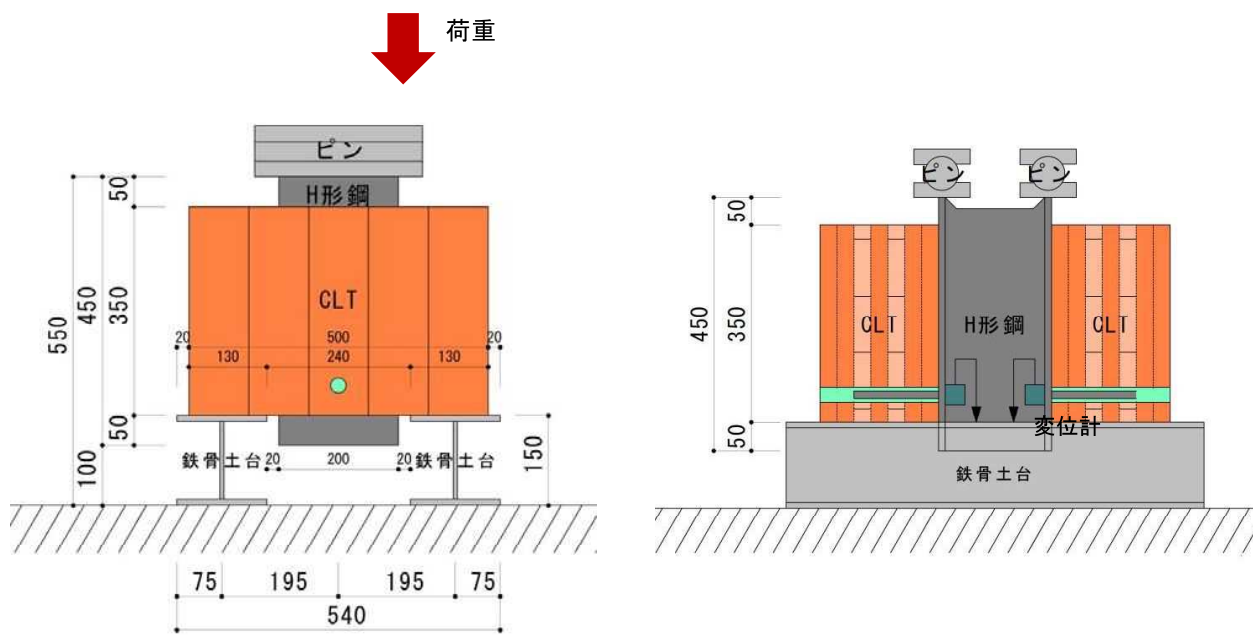


図2 載荷方法

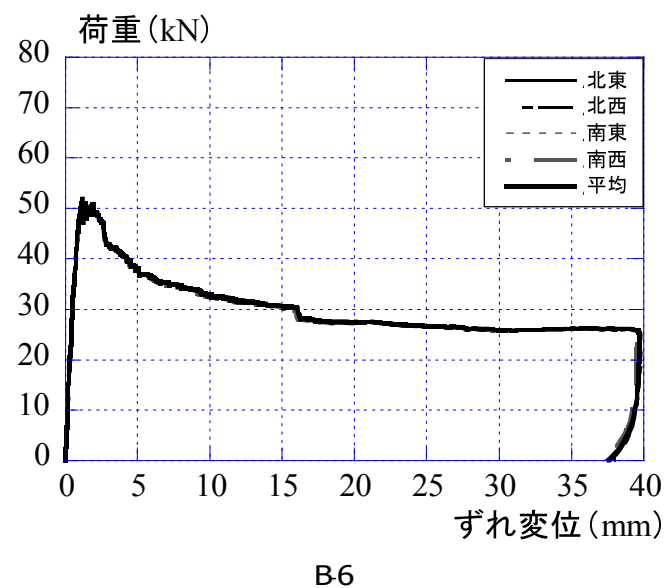
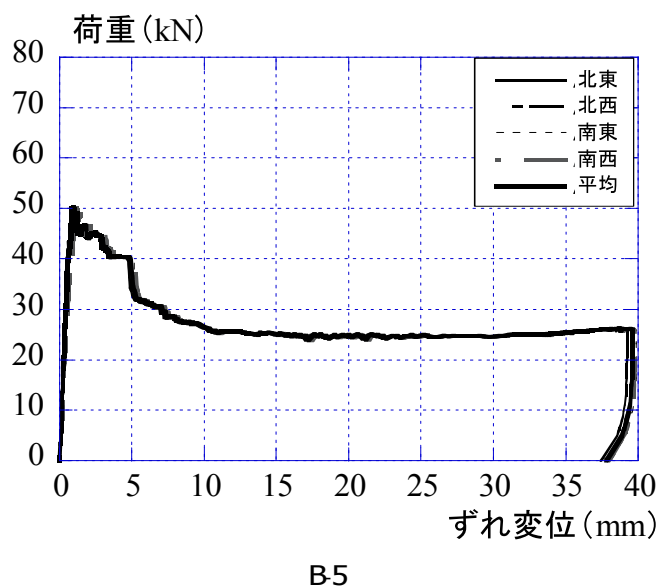
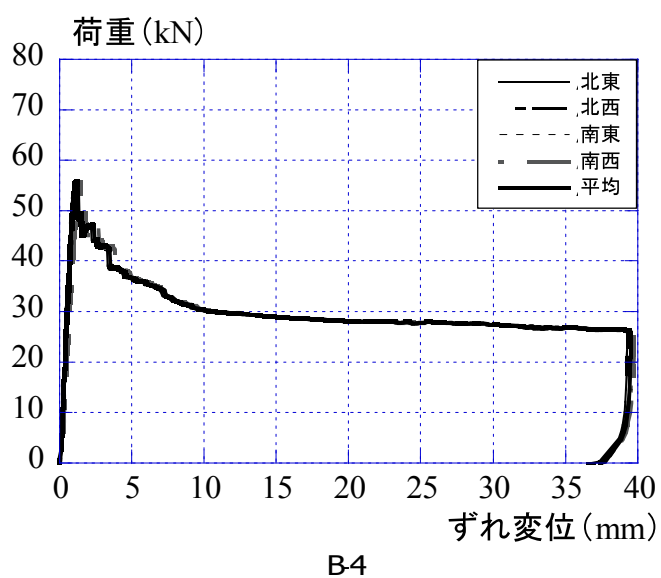
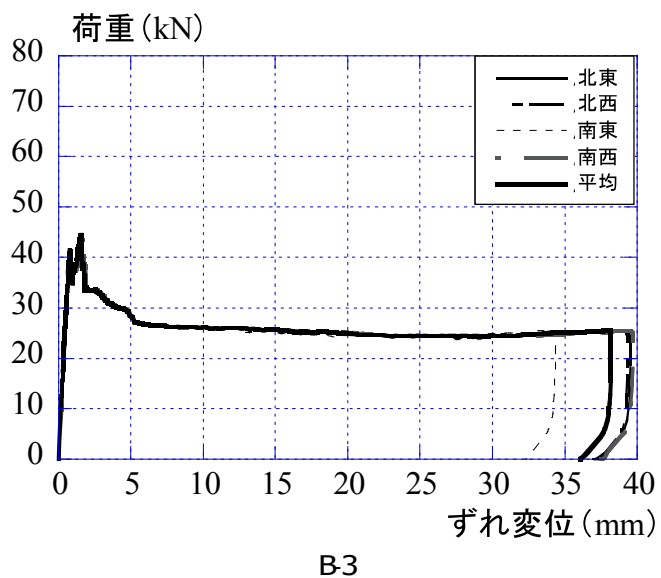
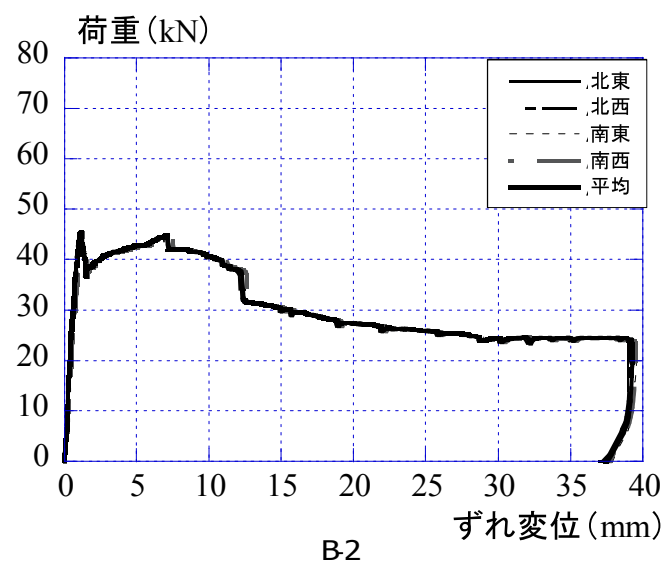
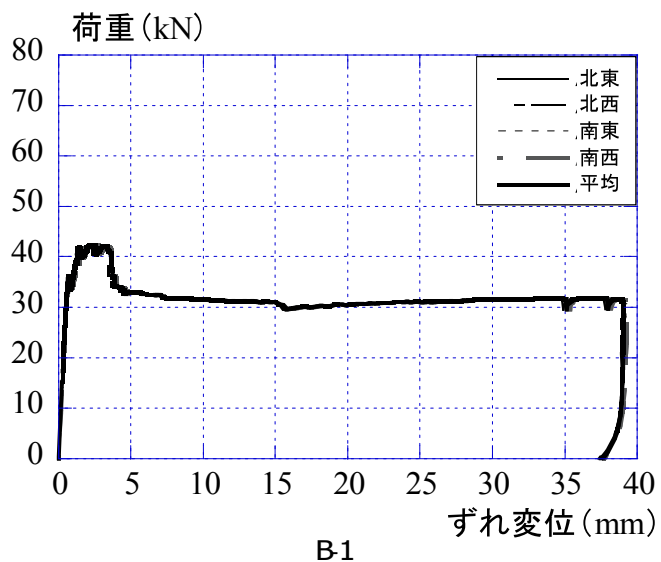


図3 Bシリーズの荷重—ずれ変位関係

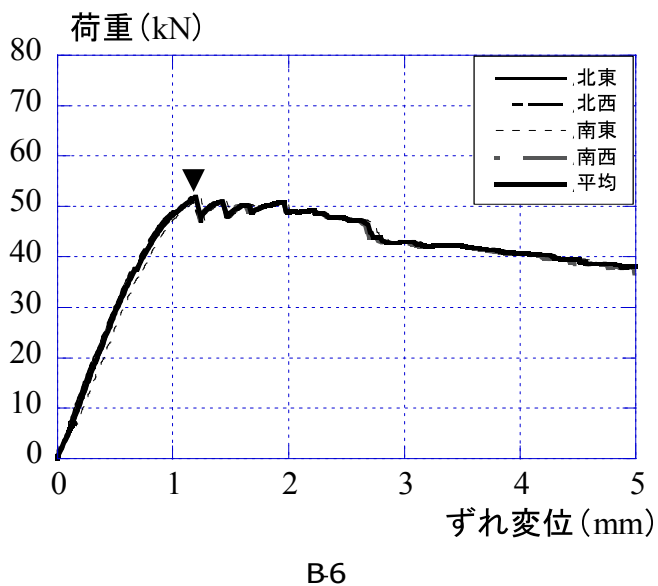
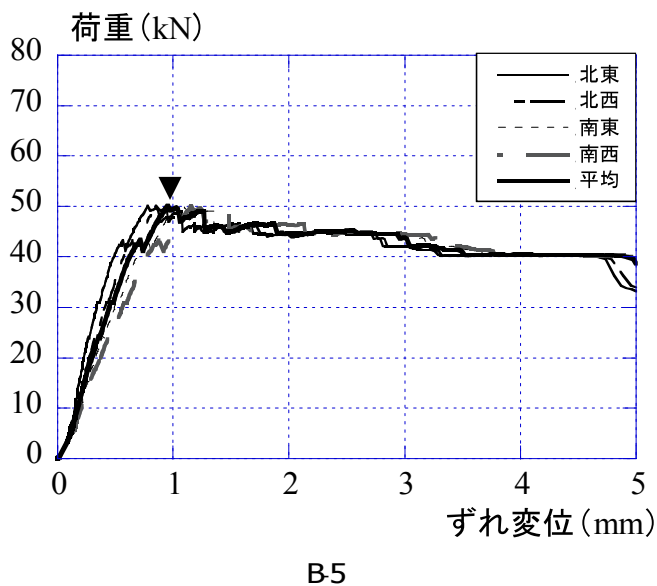
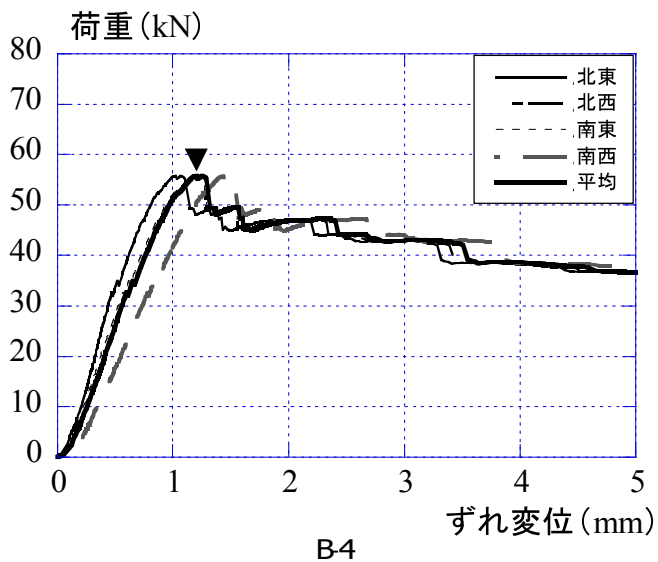
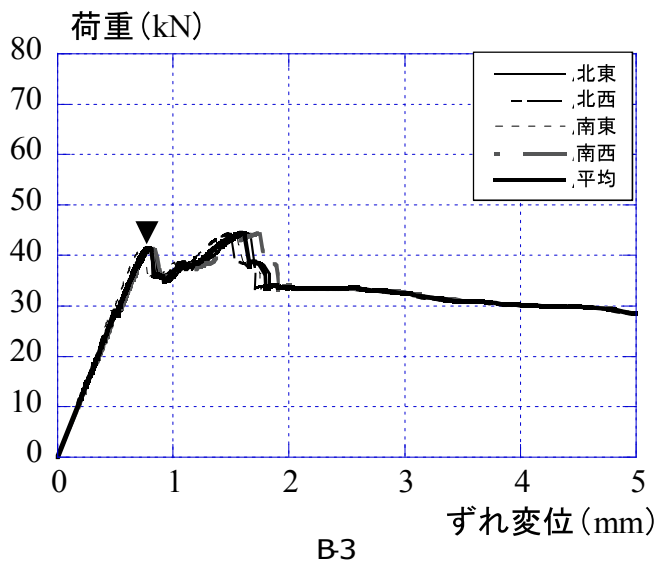
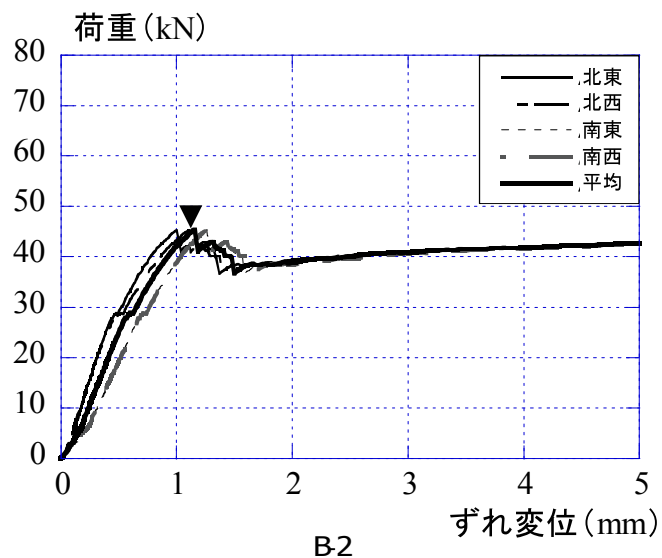
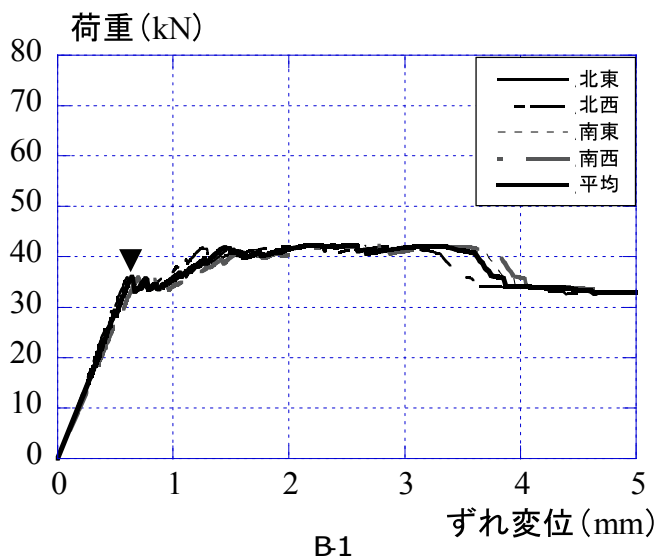


図4 Bシリーズの荷重—ずれ変位関係(5mmまでの拡大)

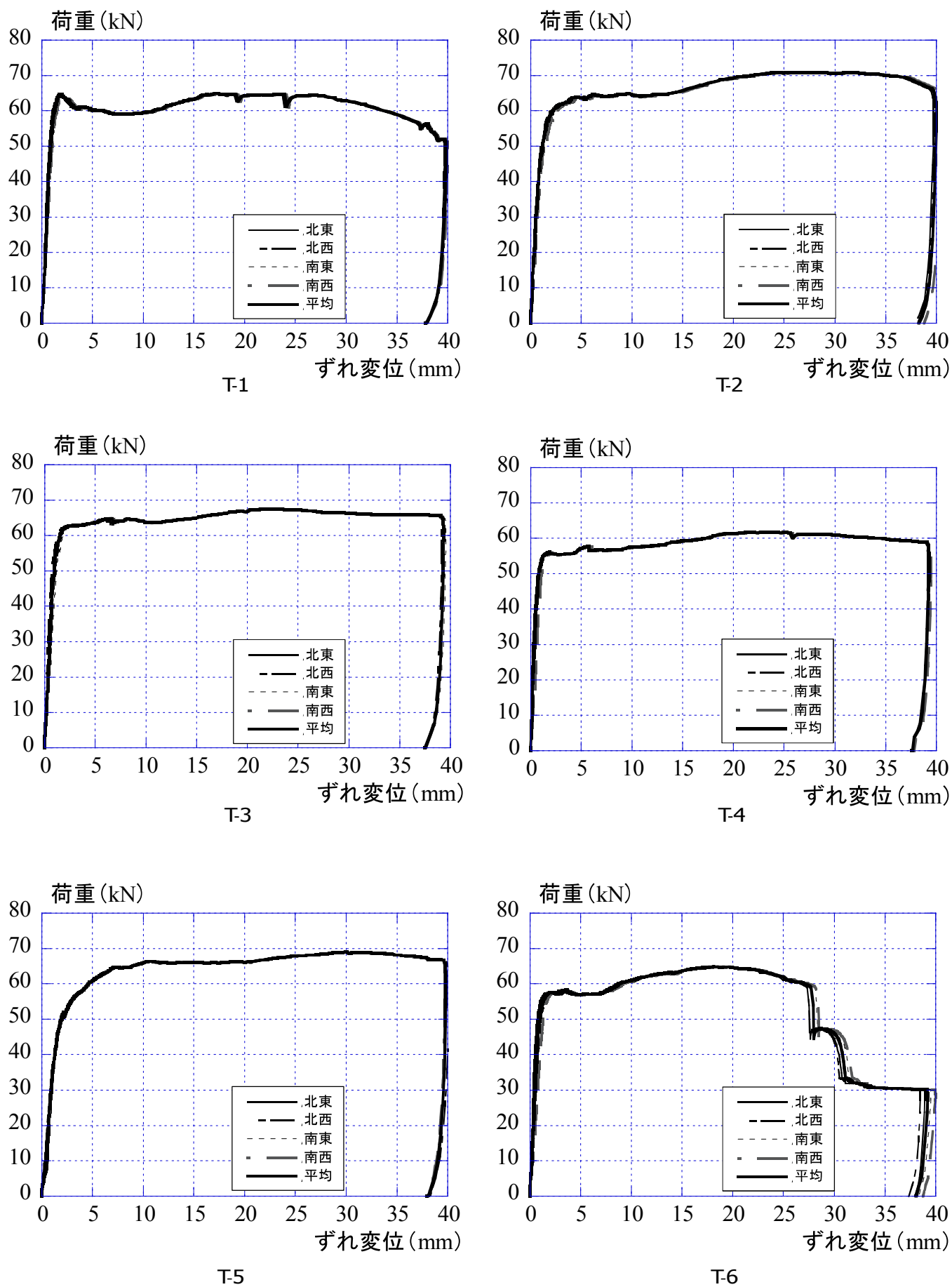


図5 シリーズの荷重—ずれ変位関係

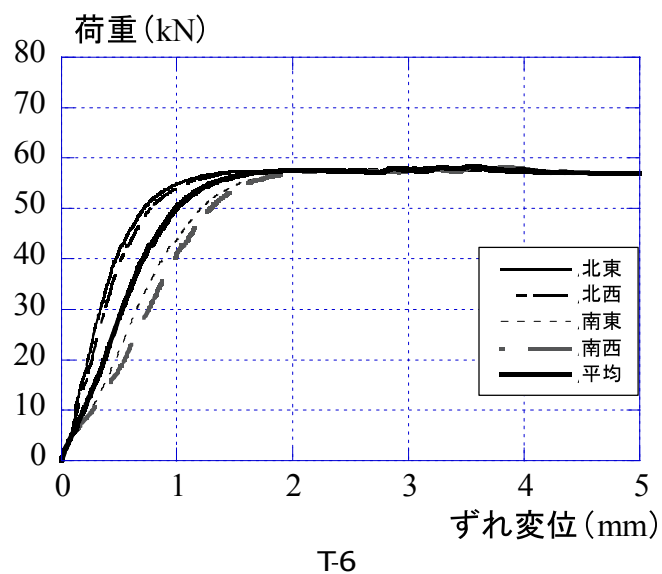
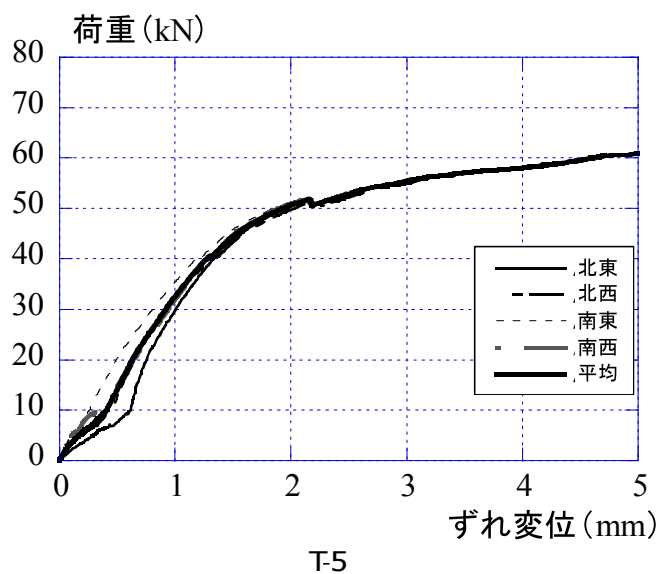
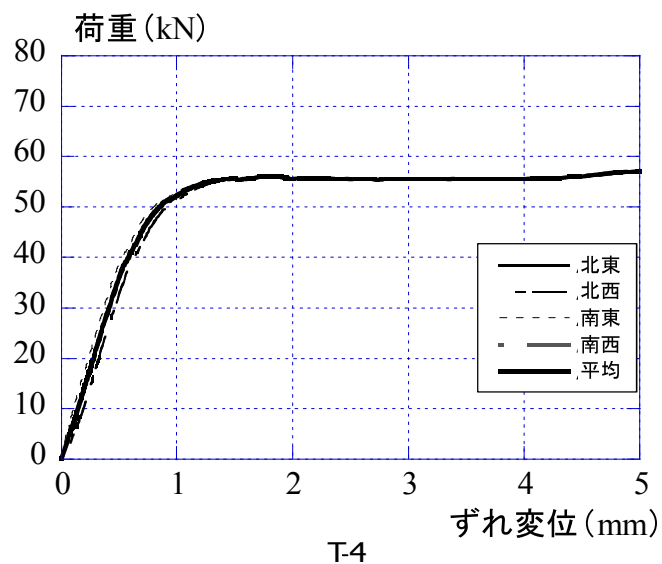
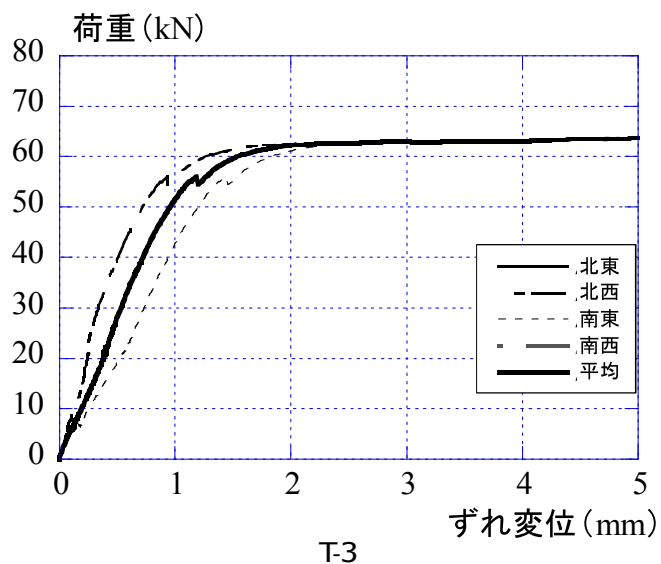
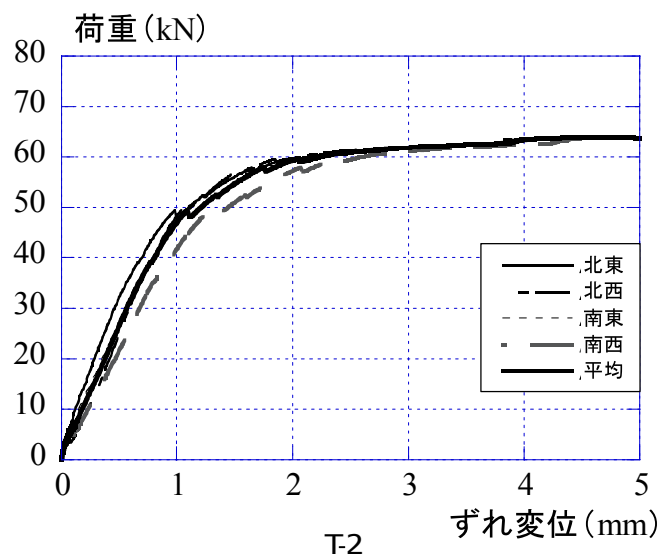
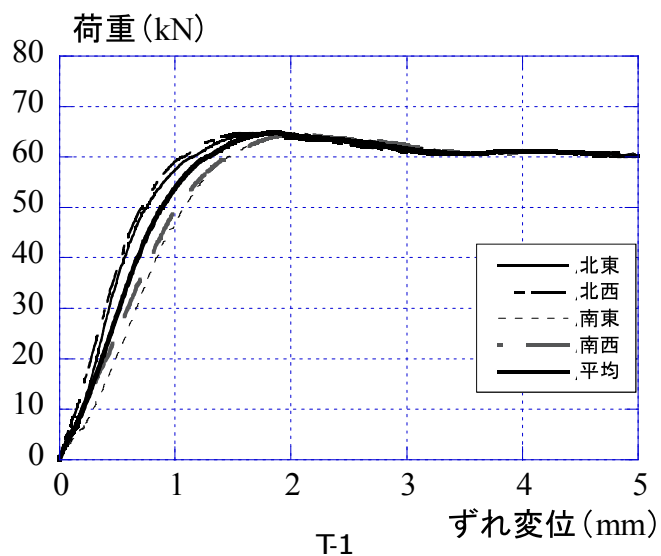
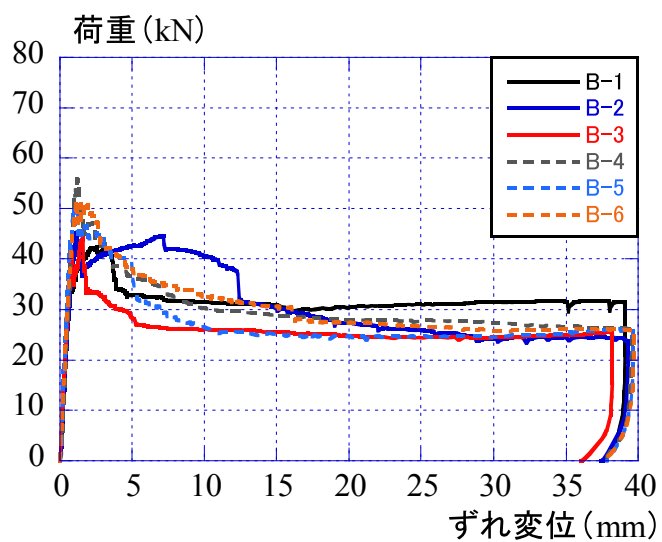
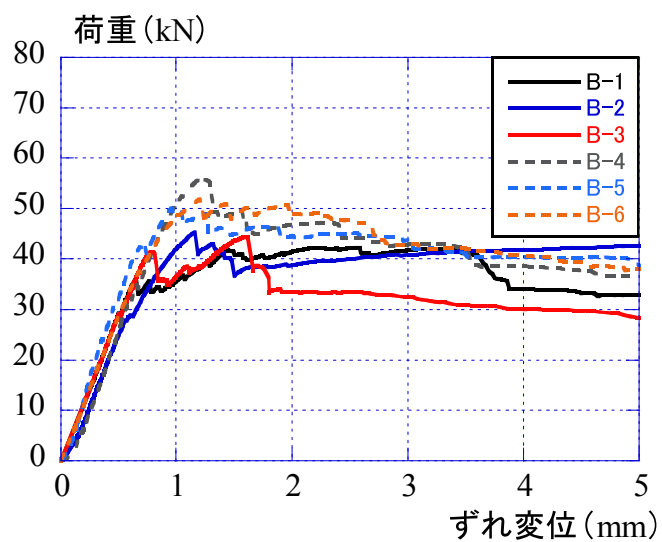


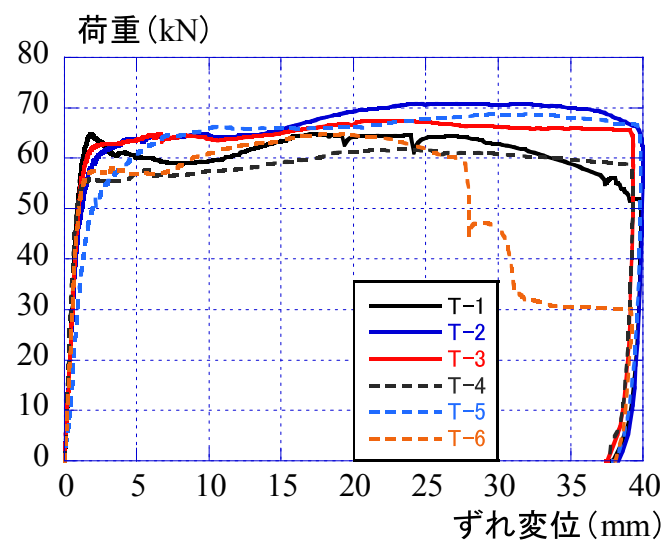
図6 Tシリーズの荷重—ずれ変位関係(5mmまでの拡大)



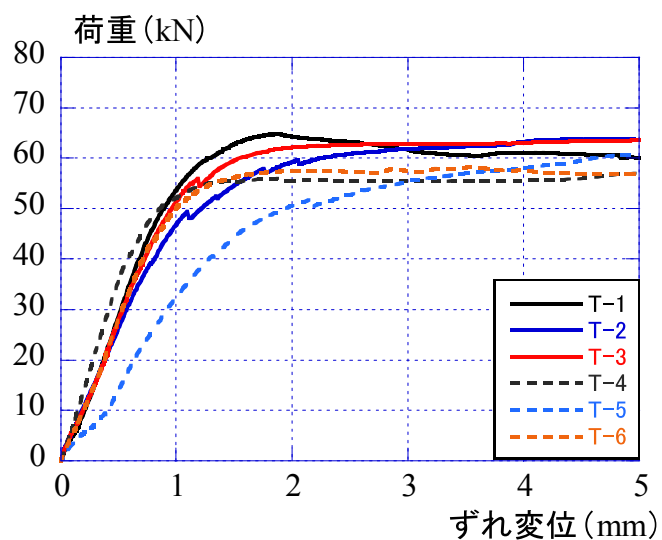
Bシリーズ



Bシリーズ(拡大)



Tシリーズ



Tシリーズ(拡大)

図7 荷重—ずれ変位関係のまとめ

表1 主要な実験値一覧

| 試験体名 | 初期剛性 (kN/mm) | 最大耐力発揮時 | | ▼印における耐力と変形 | | | | 1本当たり | | | |
|------|-----------------|---------|--------|-------------|--------|-----------|--------|--------|-----------|------|---------|
| | | 耐力(kN) | 変形(mm) | Qa(kN) | 変形(mm) | 2/3Qa(kN) | 変形(mm) | Qa(kN) | 2/3Qa(kN) | Qmax | 2/3Qmax |
| B-1 | 56.7 | 42.3 | 2.58 | 36.0 | 0.65 | 24.0 | 0.42 | 18.0 | 12.0 | 21.2 | 14.1 |
| B-2 | 45.3 | 45.3 | 1.16 | 45.3 | 1.16 | 30.2 | 0.66 | 22.7 | 15.1 | 22.7 | 15.1 |
| B-3 | 57.3 | 44.4 | 1.59 | 41.5 | 0.77 | 27.7 | 0.49 | 20.8 | 13.8 | 22.2 | 14.8 |
| B-4 | 42.0 | 55.9 | 1.21 | 55.9 | 1.21 | 37.3 | 0.72 | 28.0 | 18.6 | 28.0 | 18.6 |
| B-5 | 67.0 | 50.1 | 0.95 | 50.1 | 0.95 | 33.4 | 0.52 | 25.1 | 16.7 | 25.1 | 16.7 |
| B-6 | 57.8 | 51.9 | 1.20 | 51.9 | 1.20 | 34.6 | 0.61 | 26.0 | 17.3 | 26.0 | 17.3 |
| Ave | 54.4 | 48.3 | 1.45 | 46.8 | 0.99 | 31.2 | 0.57 | 23.4 | 15.6 | 24.2 | 16.1 |

Bシリーズにおける信頼水準75%の95%下限許容限界値

| 試験体名 | 初期剛性 (kN/mm) | 最大耐力発揮時 | | 1.0mm時の耐力 | |
|------|-----------------|---------|--------|-----------|------|
| | | 耐力(kN) | 変形(mm) | 耐力(kN) | (kN) |
| T-1 | 51.9 | 64.9 | 17.2 | 54.0 | |
| T-2 | 52.8 | 70.9 | 24.7 | 47.2 | |
| T-3 | 51.5 | 67.5 | 22.9 | 51.5 | |
| T-4 | 72.0 | 61.8 | 23.1 | 52.3 | |
| T-5 | 25.0 | 69.0 | 29.9 | 32.8 | |
| T-6 | 52.3 | 64.9 | 18.1 | 50.2 | |
| Ave | 56.1 | 66.0 | 21.2 | 51.0 | |

※TLの算出式はCLT関連告示等解説書(2016年公布・施行)P.88参照

※CLT床パネルの設計では、2/3Qaの10.4kNを採用

※初期剛性は変形0.3mm時での割線剛性

※T-5はAve.に含めず



スタッドの変形



CLTのめり込み



スタッドの変形



CLTのめり込み



スタッドの変形



CLTのめり込み

B-1

図8 実験後の写真



B2 スタッドの変形



B2 CLTのめり込み



B3 スタッドの変形



B3 CLTのめり込み



B4 スタッドの変形



B4 CLTのめり込み

図8 実験後の写真



B5 スタッドの変形



B5 CLTのめり込み



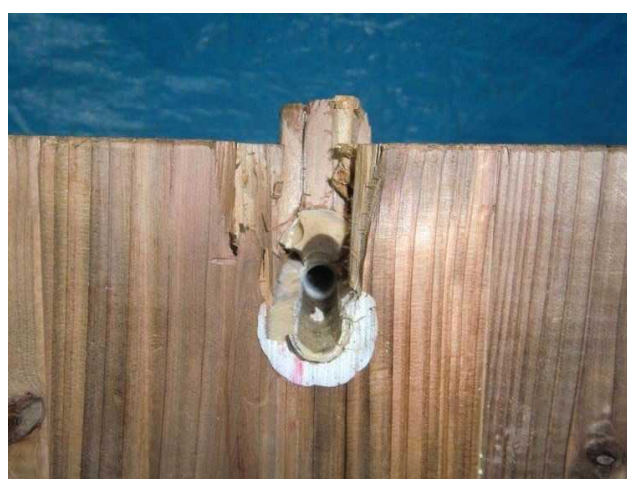
B6 スタッドの変形



B6 CLTのめり込み



B5 CLTのめり込み



B5 CLTのめり込み

図8 実験後の写真



T-1 スタッドの変形



T-1 CLTのめり込み



T-2 スタッドの変形



T-2 CLTのめり込み



T-3 スタッドの変形



T-3 CLTのめり込み

図8 実験後の写真



T4 スタッドの変形



T4 CLTのめり込み



T5 スタッドの変形



T5 CLTのめり込み



T6 スタッドの変形



T6 CLTのめり込み

図8 実験後の写真

Inspection Sheet

Sheet No. : 338
Date : 2016/7/6

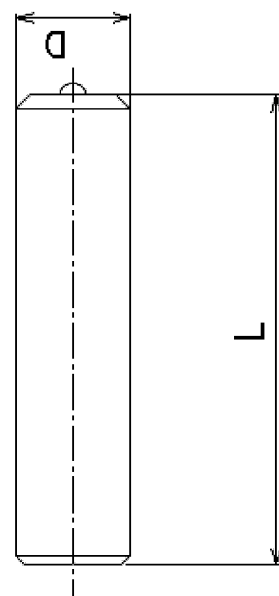
Customer :
Supplier :
Contract Quantities : 30
Commodity : NBL
Plating Spec. :
Material : SWRCH10A
Quantities : 30

Contract No. : 23863
Size : 13×150
Lot No. : W-607084



NIPPON STUD WELDING CO., LTD.

| Spec. | | Chemical Composition (%) | | | | | | Tension Test | | | | |
|----------|--|--|----------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------|------------|
| | | C×100 | Si×100 | Mn×100 | P×1000 | S×1000 | Al×1000 | Spec. | Y.P or Y.S. (N / mm ²) | T. S. (N / mm ²) | EL. (%) | |
| Heat No. | | 20 max. | --- | 30 - 90 | 40 max. | 40 max. | --- | | | | | |
| 651345 | | 8 | 6 | 39 | 14 | 4 | 35 | | | | | |
| Spec. | | Measurement & Surface Inspection (mm) | | | | | | Tension Test | | | | |
| | | L | D | | | | | Appearance | Sample | Y.P or Y.S. (N / mm ²) | T. S. (N / mm ²) | EL. (%) |
| Sample | | 153±0.5 | 12.7±0.3 | | | | | Crack etc. | | 315 min. | 400 - (540) | 14 min. |
| 1 | | 153.2 | 12.7 | | | | | | A | 407 | 464 | 25 |
| 2 | | 153.2 | 12.7 | | | | | | B | | | |
| 3 | | 153.1 | 12.7 | | | | | | C | | | |
| 4 | | 153.2 | 12.7 | | | | | | | | | |
| 5 | | 153.1 | 12.7 | | | | | | | | | |
| 6 | | 153.2 | 12.7 | | | | | | | | | |
| Remarks | | 本検査表に記載している化学成分及び機械的性質の規格は 廃JIS B 1197 ねじ付きスタッド に準拠しています。 機械的性質値は、弊社にて実施した試験結果です。 | | | | | | | | | | |



スタッドとCLTの接合強度の算定

諸条件の入力

| | | | |
|------------|-----------------------|---------|----------------------------|
| γ = | 24.2 | (=F/Fe) | 基準支圧強度の比 |
| d = | 13 mm | | 接合具径 |
| l = | 150 mm | | 主材厚 |
| F = | 235 N/mm ² | | 接合具の材料強度 |
| F_e = | 9.7 N/mm ² | | 主材の基準支圧強度 (木規準p.31 表6.2参照) |

木規準p.32 (v) より, 接合形式係数Cを求める

| | |
|--------|-------|
| モードI | 1 |
| モードIII | 0.456 |
| モードIV | 0.348 |

最小値をとるため, Cは以下となる

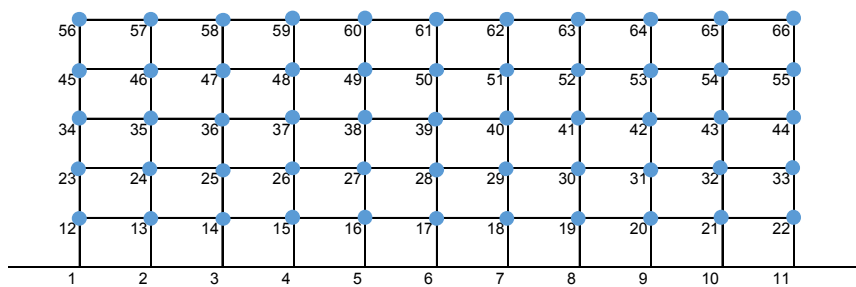
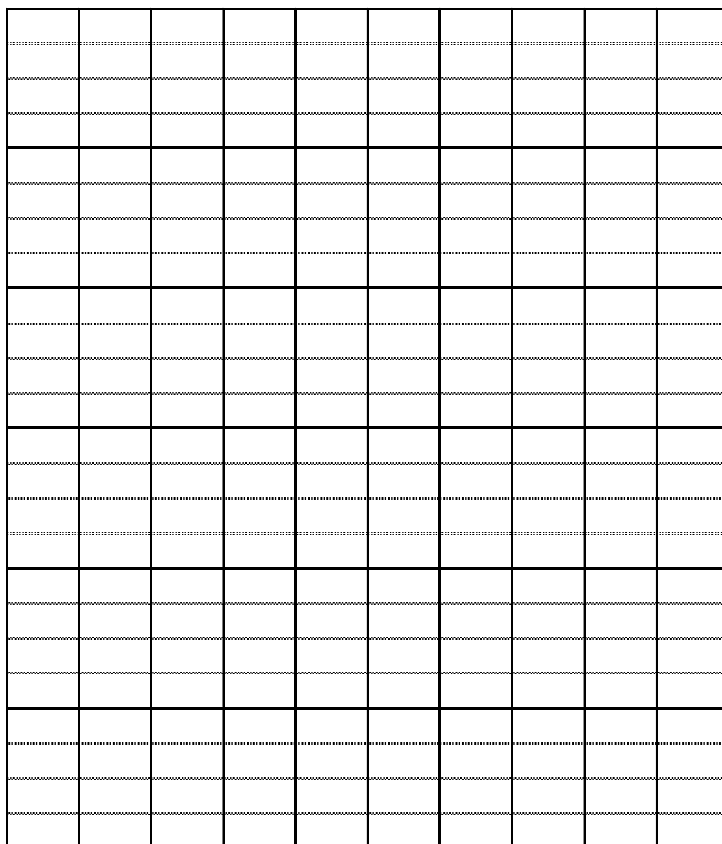
$$C = 0.348$$

$p_y = C * F_e * d * l$ より,

$$p_y = \boxed{6.59} \text{ kN}$$

5階建てモデルの検討

1. 解析モデル



5階モデル図

2. 解析用諸元

(1) 地震荷重 (保有耐力時想定)

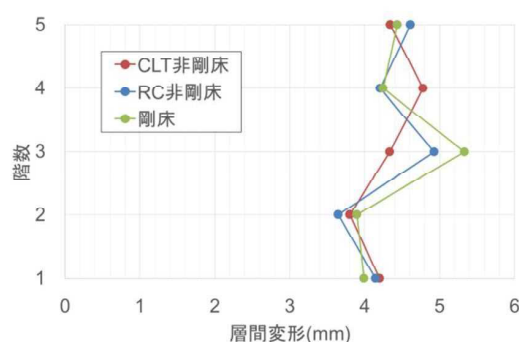
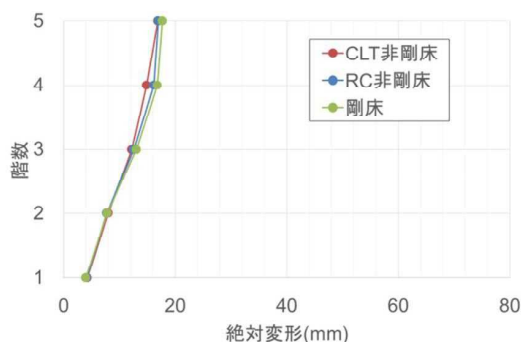
| | w= | 8 | kN/m ² | | B= | 38.4 | m | | | |
|---|------|-------|-------------------|----------------|----------------|----------------|---------|----------------------|--|--|
| | | | | | D= | 32 | m | | | |
| 階 | W | Σ W | α | A _i | C _i | Q _d | | | | |
| R | 9830 | 9830 | 0.200 | 1.723 | 0.689 | 6775 | 地域係数 | Z= 1 | | |
| 5 | 9830 | 19661 | 0.400 | 1.419 | 0.568 | 11163 | 建物高さ | h= 19.0 | | |
| 4 | 9830 | 29491 | 0.600 | 1.245 | 0.498 | 14691 | 一次固有周期 | T= 0.38 | | |
| 3 | 9830 | 39322 | 0.800 | 1.113 | 0.445 | 17505 | 振動特性係数 | R _t = 1 | | |
| 2 | 9830 | 49152 | 1.000 | 1.000 | 0.400 | 19661 | ベースシア係数 | C ₀ = 0.4 | | |

(2) フレーム剛性・降伏荷重

| 階 | Q _d | P | 床応力 | | | | 層間変形 | 剛性 | | | | |
|---|----------------|------|--------|-------|-------|--------|------|--------|--------|-------|-------|--------|
| | | | 1 | 5 | 7 | 11 | | 剛床 | 非剛床 | | | |
| | | | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 |
| R | 6775 | 6775 | 2710.2 | 677.5 | 677.5 | 2710.2 | 1.50 | 4517.0 | 1806.8 | 451.7 | 451.7 | 1806.8 |
| 5 | 11163 | 4388 | 1755.1 | 438.8 | 438.8 | 1755.1 | 1.75 | 6379.0 | 2551.6 | 637.9 | 637.9 | 2551.6 |
| 4 | 14691 | 3528 | 1411.3 | 352.8 | 352.8 | 1411.3 | 2.00 | 7345.7 | 2938.3 | 734.6 | 734.6 | 2938.3 |
| 3 | 17505 | 2814 | 1125.5 | 281.4 | 281.4 | 1125.5 | 2.00 | 8752.6 | 3501.0 | 875.3 | 875.3 | 3501.0 |
| 2 | 19661 | 2156 | 862.3 | 215.6 | 215.6 | 862.3 | 2.00 | 9830.4 | 3932.2 | 983.0 | 983.0 | 3932.2 |

2. 解析結果

(1) 剛床モデルと非剛床モデルの整合性検討



(2) 床応力検討

● 静的モデル

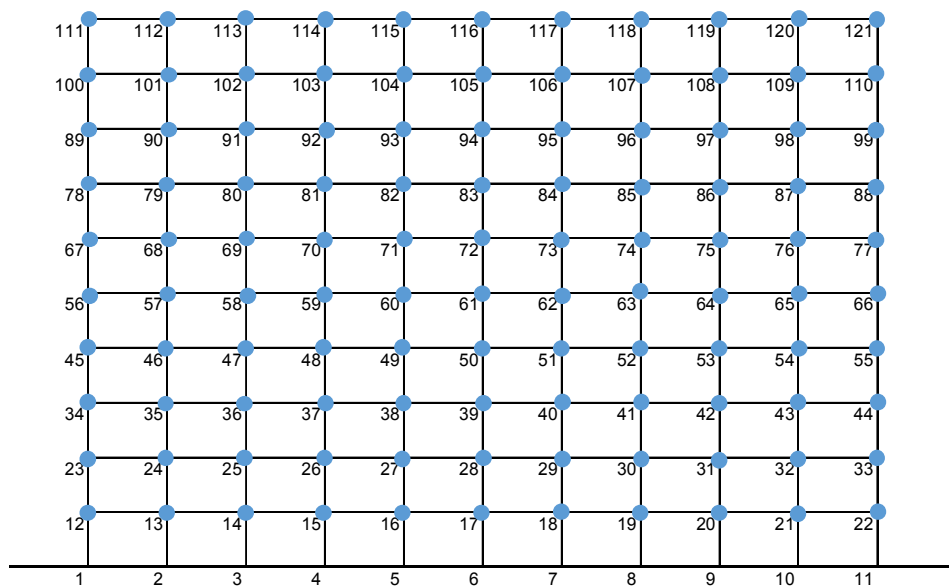
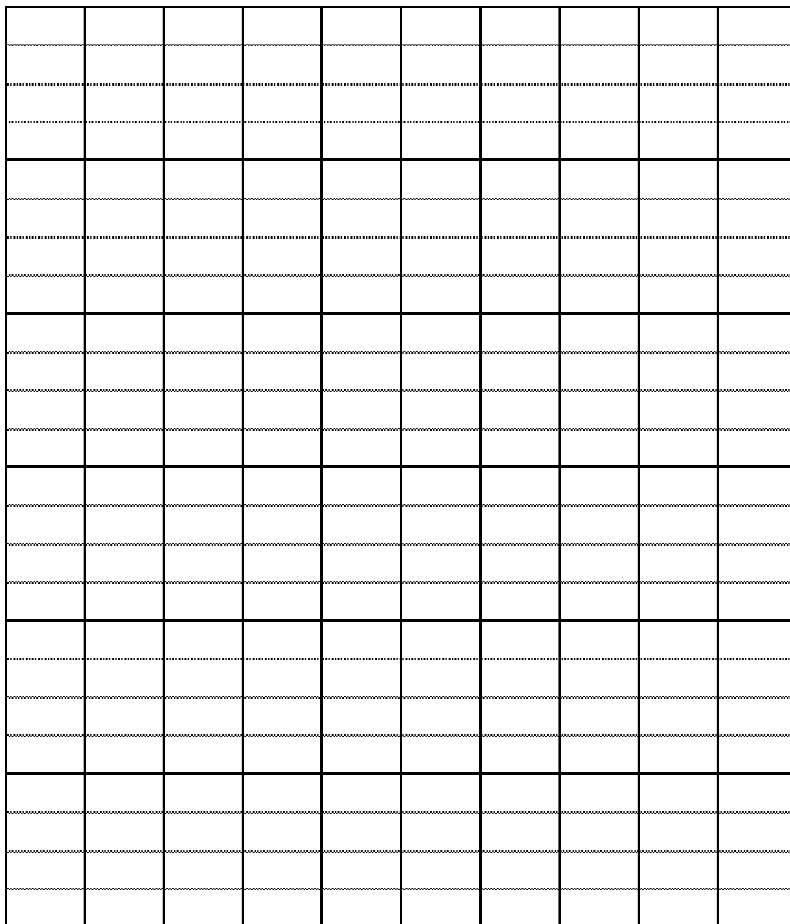
| P | 床応力 (CLT 1枚当たり) | | | |
|---|-----------------|------|------|-------|
| | 1 | 5 | 7 | 11 |
| R | 112.9 | 28.2 | 28.2 | 112.9 |
| 5 | 73.1 | 18.3 | 18.3 | 73.1 |
| 4 | 58.8 | 14.7 | 14.7 | 58.8 |
| 3 | 46.9 | 11.7 | 11.7 | 46.9 |
| 2 | 35.9 | 9.0 | 9.0 | 35.9 |

● 動的モデル

| 階 | CLT床1枚当たりせん断力 | | | | | | | | | |
|---|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| R | 61.8 | 43.2 | 26.8 | 12.7 | 9.9 | 9.9 | 12.7 | 26.8 | 43.2 | 61.8 |
| 5 | 67.4 | 49.8 | 31.1 | 12.0 | 10.0 | 10.0 | 12.0 | 31.1 | 49.8 | 67.4 |
| 4 | 57.4 | 41.5 | 24.8 | 9.2 | 9.5 | 9.5 | 9.2 | 24.8 | 41.5 | 57.4 |
| 3 | 62.1 | 46.1 | 29.2 | 12.1 | 9.6 | 9.6 | 12.1 | 29.2 | 46.1 | 62.1 |
| 2 | 73.6 | 53.3 | 33.7 | 13.0 | 11.1 | 11.1 | 13.0 | 33.7 | 53.3 | 73.6 |

10 階建てモデルの検討

1. 解析モデル



10階モデル図

2. 解析用諸元

(2) 地震荷重 (保有耐力時想定)

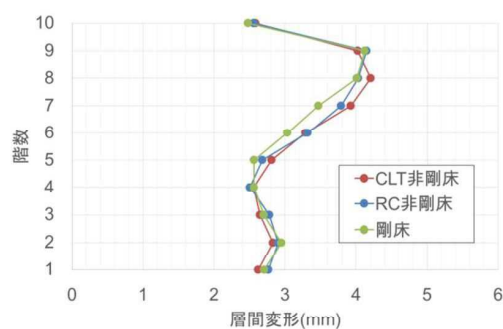
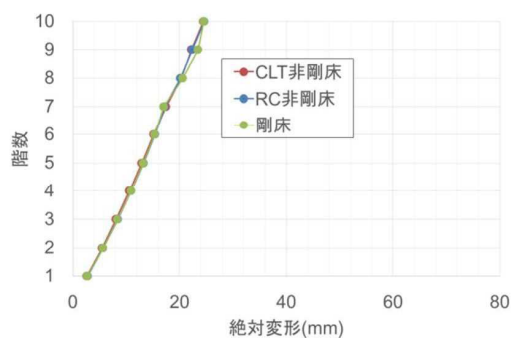
| | w= | 8 | kN/m ² | | B= | 38.4 | m | | | |
|----|------|-------|-------------------|-------|-------|-------|---------|-----|-------|--|
| | | | | | D= | 32 | m | | | |
| 階 | W | ΣW | α | Δi | Ci | Qd | | | | |
| R | 9830 | 9830 | 0.100 | 2.419 | 0.954 | 9377 | 地域係数 | Z= | 1 | |
| 10 | 9830 | 19661 | 0.200 | 1.944 | 0.766 | 15067 | 建物高さ | h= | 38.0 | |
| 9 | 9830 | 29491 | 0.300 | 1.707 | 0.673 | 19851 | 一次固有周期 | T= | 0.76 | |
| 8 | 9830 | 39322 | 0.400 | 1.547 | 0.610 | 23992 | 振動特性係数 | Rt= | 0.986 | |
| 7 | 9830 | 49152 | 0.500 | 1.424 | 0.561 | 27592 | ハースリア係数 | Co= | 0.4 | |
| 6 | 9830 | 58982 | 0.600 | 1.320 | 0.521 | 30705 | | | | |
| 5 | 9830 | 68813 | 0.700 | 1.229 | 0.485 | 33361 | | | | |
| 4 | 9830 | 78643 | 0.800 | 1.147 | 0.452 | 35580 | | | | |
| 3 | 9830 | 88474 | 0.900 | 1.071 | 0.422 | 37377 | | | | |
| 2 | 9830 | 98304 | 1.000 | 1.000 | 0.394 | 38762 | | | | |

(2) フレーム剛性・降伏荷重

| 階 | Qd | P | 床応力 | | | | 層間変形 | 剛性 | | | | |
|----|-------|------|--------|-------|-------|--------|------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 | | 剛床 | 非剛床 | | | |
| | | | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | | | Y1 | Y2 | Y3 | Y4 |
| R | 9377 | 9377 | 3750.8 | 937.7 | 937.7 | 3750.8 | 1.50 | 6251.3 | 2500.5 | 625.1 | 625.1 | 2500.5 |
| 10 | 15067 | 5690 | 2276.1 | 569.0 | 569.0 | 2276.1 | 1.75 | 8609.9 | 3443.9 | 861.0 | 861.0 | 3443.9 |
| 9 | 19851 | 4784 | 1913.4 | 478.4 | 478.4 | 1913.4 | 2.00 | 9925.4 | 3970.2 | 992.5 | 992.5 | 3970.2 |
| 8 | 23992 | 4141 | 1656.4 | 414.1 | 414.1 | 1656.4 | 2.00 | 11995.8 | 4798.3 | 1199.6 | 1199.6 | 4798.3 |
| 7 | 27592 | 3601 | 1440.2 | 360.1 | 360.1 | 1440.2 | 2.00 | 13796.1 | 5518.4 | 1379.6 | 1379.6 | 5518.4 |
| 6 | 30705 | 3113 | 1245.0 | 311.3 | 311.3 | 1245.0 | 2.00 | 15352.4 | 6141.0 | 1535.2 | 1535.2 | 6141.0 |
| 5 | 33361 | 2656 | 1062.4 | 265.6 | 265.6 | 1062.4 | 2.00 | 16680.4 | 6672.1 | 1668.0 | 1668.0 | 6672.1 |
| 4 | 35580 | 2219 | 887.8 | 221.9 | 221.9 | 887.8 | 2.00 | 17790.1 | 7116.0 | 1779.0 | 1779.0 | 7116.0 |
| 3 | 37377 | 1797 | 718.8 | 179.7 | 179.7 | 718.8 | 2.00 | 18688.6 | 7475.5 | 1868.9 | 1868.9 | 7475.5 |
| 2 | 38762 | 1385 | 554.0 | 138.5 | 138.5 | 554.0 | 2.00 | 19381.2 | 7752.5 | 1938.1 | 1938.1 | 7752.5 |

2. 解析結果

(1) 剛床モデルと非剛床モデルの整合性検討



(2) 床応力検討

●静的モデル

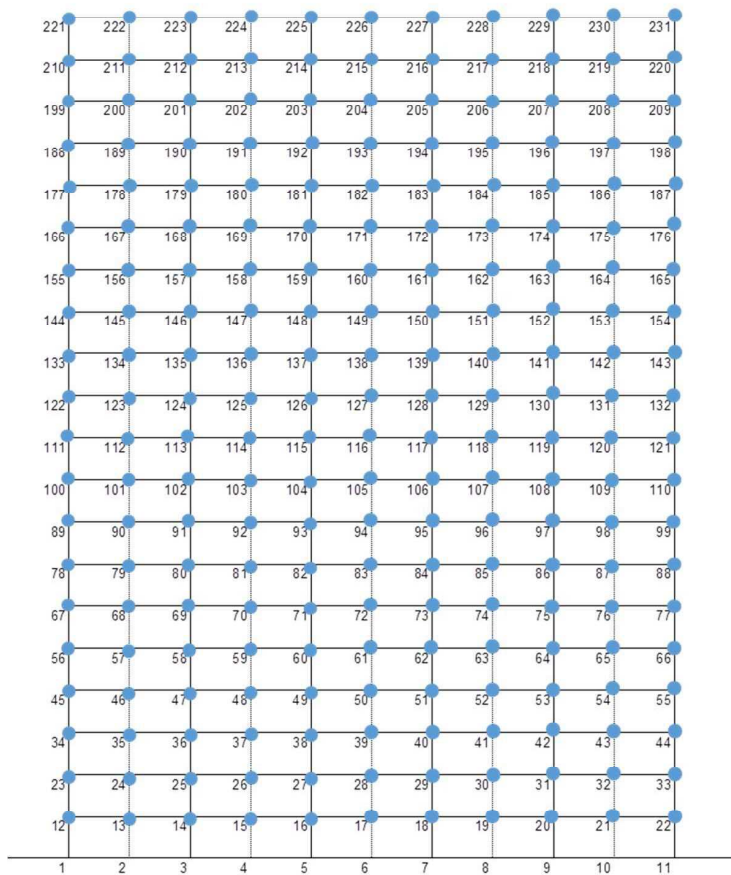
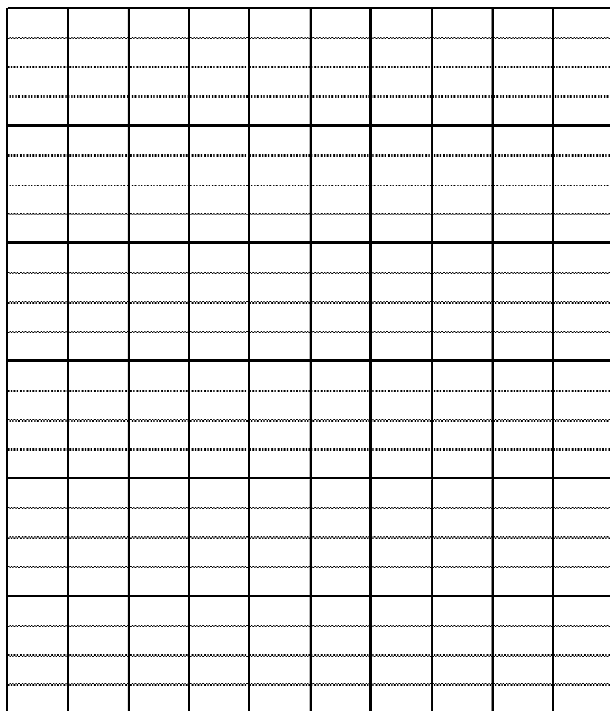
| 階 | 床応力 (CLT 1枚当たり) | | | |
|----|-----------------|------|------|-------|
| | 1 | 5 | 7 | 11 |
| R | 156.3 | 39.1 | 39.1 | 156.3 |
| 10 | 94.8 | 23.7 | 23.7 | 94.8 |
| 9 | 79.7 | 19.9 | 19.9 | 79.7 |
| 8 | 69.0 | 17.3 | 17.3 | 69.0 |
| 7 | 60.0 | 15.0 | 15.0 | 60.0 |
| 6 | 51.9 | 13.0 | 13.0 | 51.9 |
| 5 | 44.3 | 11.1 | 11.1 | 44.3 |
| 4 | 37.0 | 9.2 | 9.2 | 37.0 |
| 3 | 30.0 | 7.5 | 7.5 | 30.0 |
| 2 | 23.1 | 5.8 | 5.8 | 23.1 |

●動的モデル

| 階 | CLT床1枚当たりせん断力 | | | | | | | | | |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| R | 62.0 | 42.3 | 22.0 | 6.8 | 10.5 | 10.5 | 6.8 | 22.0 | 42.3 | 62.0 |
| 10 | 69.3 | 49.8 | 29.2 | 8.0 | 10.8 | 10.8 | 8.0 | 29.2 | 49.8 | 69.3 |
| 9 | 68.5 | 49.6 | 29.6 | 8.9 | 10.6 | 10.6 | 8.9 | 29.6 | 49.6 | 68.5 |
| 8 | 61.8 | 44.7 | 26.8 | 8.4 | 9.4 | 9.4 | 8.4 | 26.8 | 44.7 | 61.8 |
| 7 | 60.9 | 43.9 | 25.4 | 8.1 | 9.9 | 9.9 | 8.1 | 25.4 | 43.9 | 60.9 |
| 6 | 58.0 | 41.2 | 24.0 | 8.8 | 9.6 | 9.6 | 8.8 | 24.0 | 41.2 | 58.0 |
| 5 | 52.4 | 38.9 | 24.9 | 10.7 | 7.4 | 7.4 | 10.7 | 24.9 | 38.9 | 52.4 |
| 4 | 54.1 | 39.9 | 25.5 | 11.7 | 8.4 | 8.4 | 11.7 | 25.5 | 39.9 | 54.1 |
| 3 | 72.1 | 53.5 | 34.4 | 14.6 | 10.8 | 10.8 | 14.6 | 34.4 | 53.5 | 72.1 |
| 2 | 93.4 | 69.0 | 43.1 | 15.7 | 14.3 | 14.3 | 15.7 | 43.1 | 69.0 | 93.4 |

20階建てモデルの検討

1. 解析モデル



20階モデル図

2. 解析用諸元

(1) 地震荷重 (保有耐力時想定)

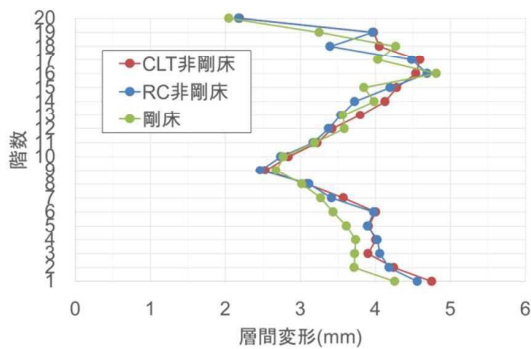
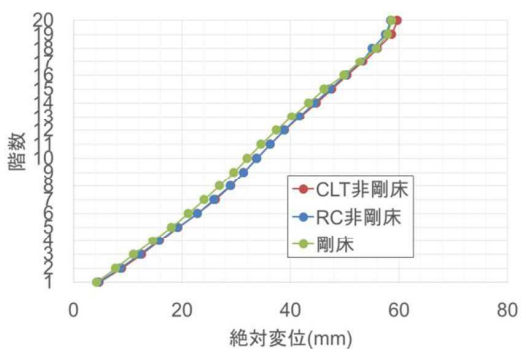
| | w= | 8 | kN/m ² | | B= | 38.4 | m | | | |
|----|------|--------|-------------------|----------------|----------------|----------------|---|----------------------------|------------------------|--|
| | | | | | D= | 32 | m | | | |
| 階 | W | Σ W | α | A _i | C _i | Q _d | | | | |
| R | 9830 | 9830 | 0.050 | 3.418 | 0.724 | 7120 | | 地域係数 | Z= 1 | |
| 20 | 9830 | 19661 | 0.100 | 2.674 | 0.567 | 11142 | | 建物高さ | h= 76.0 | |
| 19 | 9830 | 29491 | 0.150 | 2.330 | 0.494 | 14560 | | 一次固有周期 | T= 1.52 | |
| 18 | 9830 | 39322 | 0.200 | 2.113 | 0.448 | 17609 | | 振動特性係数 | R _t = 0.530 | |
| 17 | 9830 | 49152 | 0.250 | 1.957 | 0.415 | 20382 | | ベースシア係数 | C _o = 0.4 | |
| 16 | 9830 | 58982 | 0.300 | 1.834 | 0.389 | 22926 | | | | |
| 15 | 9830 | 68813 | 0.350 | 1.733 | 0.367 | 25268 | | | | |
| 14 | 9830 | 78643 | 0.400 | 1.646 | 0.349 | 27428 | | | | |
| 13 | 9830 | 88474 | 0.450 | 1.569 | 0.332 | 29417 | | | | |
| 12 | 9830 | 98304 | 0.500 | 1.500 | 0.318 | 31245 | | | | |
| 11 | 9830 | 108134 | 0.550 | 1.437 | 0.304 | 32918 | | T=0.6以下だとR _t は1 | | |
| 10 | 9830 | 117965 | 0.600 | 1.378 | 0.292 | 34443 | | T=0.6以上は計算結果に従う | | |
| 9 | 9830 | 127795 | 0.650 | 1.323 | 0.280 | 35822 | | | | |
| 8 | 9830 | 137626 | 0.700 | 1.271 | 0.269 | 37061 | | | | |
| 7 | 9830 | 147456 | 0.750 | 1.221 | 0.259 | 38162 | | | | |
| 6 | 9830 | 157286 | 0.800 | 1.174 | 0.249 | 39127 | | | | |
| 5 | 9830 | 167117 | 0.850 | 1.128 | 0.239 | 39957 | | | | |
| 4 | 9830 | 176947 | 0.900 | 1.084 | 0.230 | 40656 | | | | |
| 3 | 9830 | 186778 | 0.950 | 1.042 | 0.221 | 41224 | | | | |
| 2 | 9830 | 196608 | 1.000 | 1.000 | 0.212 | 41663 | | | | |

(2) フレーム剛性・降伏荷重

| 階 | Q _d | P | 床応力 | | | | 層間 変形 | 剛性 | | | | |
|----|----------------|------|--------|-------|-------|--------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 1 | 5 | 7 | 11 | | 剛床 | 非剛床 | | | |
| | | | 0.4 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | | | 1 | 5 | 7 | 11 |
| R | 7120 | 7120 | 2848.0 | 712.0 | 712.0 | 2848.0 | 1.50 | 4746.7 | 1898.7 | 474.7 | 474.7 | 1898.7 |
| 20 | 11142 | 4022 | 1608.9 | 402.2 | 402.2 | 1608.9 | 1.75 | 6367.0 | 2546.8 | 636.7 | 636.7 | 2546.8 |
| 19 | 14560 | 3417 | 1367.0 | 341.7 | 341.7 | 1367.0 | 2.00 | 7279.8 | 2911.9 | 728.0 | 728.0 | 2911.9 |
| 18 | 17609 | 3049 | 1219.8 | 304.9 | 304.9 | 1219.8 | 2.00 | 8804.5 | 3521.8 | 880.5 | 880.5 | 3521.8 |
| 17 | 20382 | 2773 | 1109.2 | 277.3 | 277.3 | 1109.2 | 2.00 | 10191.1 | 4076.4 | 1019.1 | 1019.1 | 4076.4 |
| 16 | 22926 | 2544 | 1017.5 | 254.4 | 254.4 | 1017.5 | 2.00 | 11463.0 | 4585.2 | 1146.3 | 1146.3 | 4585.2 |
| 15 | 25268 | 2343 | 937.0 | 234.3 | 234.3 | 937.0 | 2.00 | 12634.2 | 5053.7 | 1263.4 | 1263.4 | 5053.7 |
| 14 | 27428 | 2159 | 863.8 | 215.9 | 215.9 | 863.8 | 2.00 | 13714.0 | 5485.6 | 1371.4 | 1371.4 | 5485.6 |
| 13 | 29417 | 1989 | 795.6 | 198.9 | 198.9 | 795.6 | 2.00 | 14708.4 | 5883.4 | 1470.8 | 1470.8 | 5883.4 |
| 12 | 31245 | 1828 | 731.1 | 182.8 | 182.8 | 731.1 | 2.00 | 15622.3 | 6248.9 | 1562.2 | 1562.2 | 6248.9 |
| 11 | 32918 | 1673 | 669.4 | 167.3 | 167.3 | 669.4 | 2.00 | 16459.0 | 6583.6 | 1645.9 | 1645.9 | 6583.6 |
| 10 | 34442.56367 | 1525 | 609.8 | 152.5 | 152.5 | 609.8 | 2.00 | 17221.3 | 6888.5 | 1722.1 | 1722.1 | 6888.5 |
| 9 | 35822.4957 | 1380 | 552.0 | 138.0 | 138.0 | 552.0 | 2.00 | 17911.2 | 7164.5 | 1791.1 | 1791.1 | 7164.5 |
| 8 | 37061.30897 | 1239 | 495.5 | 123.9 | 123.9 | 495.5 | 2.00 | 18530.7 | 7412.3 | 1853.1 | 1853.1 | 7412.3 |
| 7 | 38161.87328 | 1101 | 440.2 | 110.1 | 110.1 | 440.2 | 2.00 | 19080.9 | 7632.4 | 1908.1 | 1908.1 | 7632.4 |
| 6 | 39126.58701 | 965 | 385.9 | 96.5 | 96.5 | 385.9 | 2.00 | 19563.3 | 7825.3 | 1956.3 | 1956.3 | 7825.3 |
| 5 | 39957.4789 | 831 | 332.4 | 83.1 | 83.1 | 332.4 | 2.00 | 19978.7 | 7991.5 | 1997.9 | 1997.9 | 7991.5 |
| 4 | 40656.28319 | 699 | 279.5 | 69.9 | 69.9 | 279.5 | 2.00 | 20328.1 | 8131.3 | 2032.8 | 2032.8 | 8131.3 |
| 3 | 41224.49621 | 568 | 227.3 | 56.8 | 56.8 | 227.3 | 2.00 | 20612.2 | 8244.9 | 2061.2 | 2061.2 | 8244.9 |
| 2 | 41663.41973 | 439 | 175.6 | 43.9 | 43.9 | 175.6 | 2.00 | 20831.7 | 8332.7 | 2083.2 | 2083.2 | 8332.7 |

3. 解析結果

(1) 剛床モデルと非剛床モデルの整合性



(2) 床応力検討

● 静的モデル

| 階 | 床応力 | | | |
|----|-------|------|------|-------|
| | 1 | 5 | 7 | 11 |
| R | 118.7 | 29.7 | 29.7 | 118.7 |
| 20 | 67.0 | 16.8 | 16.8 | 67.0 |
| 19 | 57.0 | 14.2 | 14.2 | 57.0 |
| 18 | 50.8 | 12.7 | 12.7 | 50.8 |
| 17 | 46.2 | 11.6 | 11.6 | 46.2 |
| 16 | 42.4 | 10.6 | 10.6 | 42.4 |
| 15 | 39.0 | 9.8 | 9.8 | 39.0 |
| 14 | 36.0 | 9.0 | 9.0 | 36.0 |
| 13 | 33.1 | 8.3 | 8.3 | 33.1 |
| 12 | 30.5 | 7.6 | 7.6 | 30.5 |
| 11 | 27.9 | 7.0 | 7.0 | 27.9 |
| 10 | 25.4 | 6.4 | 6.4 | 25.4 |
| 9 | 23.0 | 5.7 | 5.7 | 23.0 |
| 8 | 20.6 | 5.2 | 5.2 | 20.6 |
| 7 | 18.3 | 4.6 | 4.6 | 18.3 |
| 6 | 16.1 | 4.0 | 4.0 | 16.1 |
| 5 | 13.8 | 3.5 | 3.5 | 13.8 |
| 4 | 11.6 | 2.9 | 2.9 | 11.6 |
| 3 | 9.5 | 2.4 | 2.4 | 9.5 |
| 2 | 7.3 | 1.8 | 1.8 | 7.3 |

● 動的モデル

| 階 | CLT1 枚当たりせん断力 | | | | | | | | | |
|----|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| R | 58.5 | 39.5 | 20.1 | 5.4 | 10.0 | 10.0 | 5.4 | 20.1 | 39.5 | 58.5 |
| 20 | 62.9 | 44.9 | 26.1 | 7.0 | 9.7 | 9.7 | 7.0 | 26.1 | 44.9 | 62.9 |
| 19 | 61.1 | 44.1 | 26.3 | 8.1 | 9.3 | 9.3 | 8.1 | 26.3 | 44.1 | 61.1 |
| 18 | 58.5 | 42.2 | 25.3 | 7.9 | 8.9 | 8.9 | 7.9 | 25.3 | 42.2 | 58.5 |
| 17 | 56.6 | 40.8 | 24.4 | 7.6 | 8.6 | 8.6 | 7.6 | 24.4 | 40.8 | 56.6 |
| 16 | 55.5 | 39.9 | 23.8 | 7.4 | 8.4 | 8.4 | 7.4 | 23.8 | 39.9 | 55.5 |
| 15 | 54.6 | 39.3 | 23.4 | 7.3 | 8.2 | 8.2 | 7.3 | 23.4 | 39.3 | 54.6 |
| 14 | 53.6 | 38.5 | 23.0 | 7.1 | 8.0 | 8.0 | 7.1 | 23.0 | 38.5 | 53.6 |
| 13 | 51.9 | 37.3 | 22.3 | 6.9 | 7.8 | 7.8 | 6.9 | 22.3 | 37.3 | 51.9 |
| 12 | 49.7 | 35.7 | 21.3 | 6.7 | 7.4 | 7.4 | 6.7 | 21.3 | 35.7 | 49.7 |
| 11 | 47.4 | 34.1 | 20.3 | 6.4 | 7.1 | 7.1 | 6.4 | 20.3 | 34.1 | 47.4 |
| 10 | 47.0 | 33.7 | 20.1 | 6.4 | 6.9 | 6.9 | 6.4 | 20.1 | 33.7 | 47.0 |
| 9 | 45.9 | 33.0 | 19.7 | 6.2 | 6.8 | 6.8 | 6.2 | 19.7 | 33.0 | 45.9 |
| 8 | 46.6 | 33.4 | 20.0 | 6.3 | 6.9 | 6.9 | 6.3 | 20.0 | 33.4 | 46.6 |
| 7 | 45.2 | 32.5 | 19.4 | 6.0 | 6.7 | 6.7 | 6.0 | 19.4 | 32.5 | 45.2 |
| 6 | 40.2 | 28.8 | 17.5 | 6.8 | 5.8 | 5.8 | 6.8 | 17.5 | 28.8 | 40.2 |
| 5 | 47.1 | 33.5 | 19.5 | 6.9 | 7.2 | 7.2 | 6.9 | 19.5 | 33.5 | 47.1 |
| 4 | 50.4 | 36.1 | 21.5 | 7.7 | 7.4 | 7.4 | 7.7 | 21.5 | 36.1 | 50.4 |
| 3 | 55.7 | 39.9 | 24.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 8.0 | 24.0 | 39.9 | 55.7 |
| 2 | 68.2 | 49.3 | 30.0 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.2 | 30.0 | 49.3 | 68.2 |

第6章 まとめ

鉄骨梁と CLT パネルを、スタッドおよびエポキシ樹脂を介して接合する建築システムについて、耐火上の問題、および構造耐力上の問題について、残された課題を検討した。

具体的には、耐火上の問題については、

- ①床貫通孔耐火被覆及び床取り合い部の耐火性能
- ②鋼管柱貫通部耐火被覆の耐火性能
- ③鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能

について検討を行い、いずれも良好な結果を得ることができた。

構造耐力上の問題については、実際に鉄骨梁に CLT パネルを接合した大型試験体を作成し、床の最大耐力、降伏耐力等を検討した。別途、要素実験として行ったスタッドの押し抜き実験より求めた構造計算書の結果と比較を行ったので、その結果を下表に示す。

| | 許容耐力 (kN) | 降伏耐力 (kN) | 最大耐力 (kN) | 降伏変形 (mm) | せん断弾性係数 (N/mm ²) |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------------------------|
| 構造計算結果 | 52.0 | 78.0 | 93.0 | 3.98 | 93.3 |
| 実験結果 (CLTのみ) | 34.9 | 52.4 | 102.9 | 3.73 | 66.8 |
| 実験結果 (耐火被覆を含む) | 83.0 | 124.5 | 183.0 | 9.05 | 65.5 |

結果としては、構造計算書に記載された検討結果と、大型試験体実験より求まる各数値は概ね整合する結果が得られたものと考えている。

以上より、柱梁を鉄骨造とし、床に CLT パネルを用いる建築システムの内、鉄骨梁と CLT パネルをスタッドとエポキシ樹脂を接合する方式については、構造上の問題、耐火上の問題については、概ね課題を克服できたものと考えている。今後は、実プロジェクトを進める中で、さらに改善が行われることを期待している。

平成 28 年度 林野庁委託事業
都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業
「木質耐火部材開発」委員会 議事録

日 時：平成 29 年 2 月 15 日（水） 14:00～16:00

会 場：TKP 品川カンファレンスセンター内 ミーティングルーム 6K

（〒108-0074 東京都港区高輪 3 丁目 26 番 33 号京急第 10 ビル TEL：03-4577-9260(代)）

出席予定者：(敬称略、順不同、[]は欠席)

委員 稲田 達夫(委員長)、[倉富 洋]、槌本 敬大、成瀬 友宏、安井 昇、
[田中 圭]、[上川 大輔]、佐川 修、[矢埜 和彦]

オブザーバー 林野庁 [坂 賢]

事業主体 佐々木 幸久、塩崎 征男、村田 忠、桐野 昭寛、佐々木 真理

議 事：

- | | | |
|------------------|----------------|----|
| 1. 事業内容説明 | 資料 1-1 | 村田 |
| 2. 耐火試験報告 | 資料 1-2-1～1-2-3 | 塩崎 |
| 3. CLT 床パネルの設計 | 資料 1-3-1～1-3-3 | 稲田 |
| 4. 成果報告書 内容と役割分担 | 資料 1-4 | 村田 |
| 5. その他 | | |

会議資料：

- | | | |
|----------|------|-------------------------------|
| 資料 1-1 | P1 | 委託事業仕様書 |
| | | 耐火試験報告書（抜粋） |
| 資料 1-2-1 | P3～ | 鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能試験 |
| 資料 1-2-2 | P19～ | 鋼管柱貫通部耐火被覆の耐火性能試験 |
| 資料 1-2-3 | P31～ | 貫通孔耐火被覆及び床取り合い部の耐火性能試験 |
| 資料 1-3-1 | P45～ | Mビルの CLT 床パネルの設計 |
| 資料 1-3-2 | P67～ | CLT 床スラブのせん断性能評価と剛床仮定成立に関する検討 |
| 資料 1-3-3 | P75～ | 簡便な CLT 床の割り付けの検討法 |
| 資料 1-4 | P85～ | 成果報告書 内容と役割分担（案） |

1. 事業主体挨拶（佐々木幸久）

一連の委託事業の締めくくりの事業を今年度受託。委員会を2回程度行うつもりだったが、結局今回が最初で最後の開催となった。お陰さまでCLT床の2時間耐火取得後、佐賀で第一号が採択された。また来年度以降になるが高層階の集合住宅の話も出てきている。

2. 稲田委員長より

今回の事業では、床そのものの2時間耐火は確認できているが、境界部分、特に、被覆材や鉄骨との接合部分等についての耐火試験を行っている。構造に関しては、CLTパネルの設計をどうまとめるか。これに関しては佐賀の案件で建築センター任意評定の資料があるので、簡単に報告したい。

3. 事業内容説明(村田)

[資料 1-1] 事業内容仕様書 内容説明。

4. 耐火試験報告(塩崎)

[資料 1-2-1] 鉄骨はり接合部耐火被覆の耐火性能試験

- ・ 鉄骨の梁の上にCLT。今まで2時間の耐火仕様についての試験はやっていたが、今回1時間耐火仕様3タイプの耐火試験を実施。3タイプの試験体図は資料P7～9
 - ・ 結果 3タイプともCLT接触面の炭化・変色は見られず。
⇒資料P15～16のグラフを確認 ※番号10～15が上フランジの測定位置
- 被覆仕様① ケイカル板25mm + 15mm強化石膏ボード
被覆仕様② ケイカル板25mmの二重貼り
被覆仕様③ ケイカル板35mmの一重貼り ※目地部にのみセラミックウール
結果としては温度 ②>①>③ の順番。③がぎりぎりの仕様になる。

<質疑>

- ・ コストと施工性はどうか

⇒コスト面ではケイカル板が高く、石膏ボードが安いので①が安い。施工性では、一重貼りである③が手間が少ない。ただし一重だと加熱収縮により隙間があいてしまったことがあったため、今回は目地部にのみセラミックウール。

[資料 1-2-2] 鋼管柱貫通部耐火被覆の耐火性能試験

- ・ 柱を加熱してCLT木口面が大丈夫かを試験したもの。鉄骨の柱に耐火被覆したものに直接CLTの木口面をぶつける形の試験体。試験体図は資料P23
- ・ 結果 CLT木口面の炭化・変色は見られず。
⇒梁も配して梁との接合部分も見られれば良かったことが反省点。

[資料 1-2-3] 貫通孔耐火被覆及び床取り合い部の耐火性能試験

- ・ 強化石膏ボードの貫通孔に対する加熱試験。松尾建設社屋で、CLTとRCスラブの段差を想定。先付けと後施工の2タイプ。試験体図は資料P33～35
- ・ 結果 温度の上昇はあったものの、火炎の噴出等は見られず。
⇒CLTとRCスラブの接触部分（資料P43 図13）はそれほど温度が上がらず。

⇒床は遮熱性なので、裏面（上面）を測定して遮熱性の規定値に達していないかを見ておく必要がある。

- ・ 施工上は後付けの方が楽であった。先付けは大変。

<質疑>

- ・ 資料 34 試験体 B に関して、露出したアングル 4 箇所直接火炎が当たって問題ないのか
⇒強化石膏ボードの水分で冷却されたものと思われる

5. CLT 床パネルの設計(稲田)

昨年 8 月頃、大臣認定が必要なのかどうか分からないまま、建築センターと打ち合わせ。当初は大臣認定取得のつもりで準備。途中で建築センターより大臣認定は不要、任意評定の評定書をもって佐賀県の適合性判定、という流れをご指導いただく。結果、動的な解析はやらず、保有耐力計算迄となる。

[資料 1-3-1] Mビルの CLT 床パネルの設計

- ・ 4 月に出された CLT 告示により計算→資料 46 計算結果
- ・ 鉄骨応力も求められる→資料 P51 図 3-5 応力解析結果
- ・ スタッド割付→資料 P63

⇒Y3 にブレスが入っており、Y5 はブレスが入っていないため、Y3 と Y5 でせん断力の分担が異なる。Y3 側スタッド 100 ピッチ、Y5 側スタッド 200 ピッチ

[資料 1-3-2] CLT 床スラブのせん断性能評価と剛床仮定成立に関する検討

- ・ 変形は小さく剛床と言える結果 資料 P69
- ・ 面外方向の弱軸が弱い印象 資料 P71 ⇒結果的には大きな影響は出ていない

[資料 1-3-3] 簡便な CLT 床の割り付けの検討法

- ・ 一方向スラブ、三点支持スラブの場合、板の大きさが決まれば強度は同じになる。ざっと見積もる分には標準的な値としてカタログ等に示すことができるのではないかと
⇒資料 P77～ 5 階建て、10 階建て、20 階建てモデル

6. 成果報告書 内容と役割分担

[資料 1-4]に基づき、成果報告書の内容と役割分担案について提案。(村田)

7. その他

今年度で一連の事業は終了。来年度への持ち越しは基本的には無い予定。あるとすればマニュアル作成等による普及程度か。(村田)

要素試験等やりたいものもある。来年度については別途検討したい。(稲田)

以上

「鋼構造オフィスビル床の CLT 化（木質耐火部材開発）」

研究成果報告書

平成 29 年 3 月発行

〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田 972 番地

山佐木材株式会社

TEL 0994-31-4141 FAX 0994-31-4142