

平成 27 年度 林野庁委託事業

CLT 等新たな製品・技術の開発・普及事業（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 28 年 3 月

山佐木材株式会社

さる学会誌上にて非木造建築の一部(主に床)を使用する事で新たに膨大な木材需要の道が開けるという主張を見ました。それを書いたのが、福岡大学工学部教授稻田達夫氏でした。更に先生のご意見や方法論を直接伺いました。その話を九州内の信頼する大学や公設試験場などの専門家に打診したところ、思いがけない強い共感を得られ、ここに「超高層ビルに木材を使用する研究会」が生まれました。

共感を得られた1つの理由に、木造建築の新しい構法や材料を開発しても、新しく木材需要が生まれるのではなく、ただ単に木造建築内での場所取り争いになるケースが多かつた事が上げられます。

稻田先生の提案はまさに新たな木材需要開拓先として「盲点を突いたもの」、「夢のような話」でした(各委員の先生方の最初の感想です)。

林野庁の本事業公募に際し、幸いにも私どもの提案が認められ、採択されました。林野庁や関係機関、委員の先生や多くのアドバイザーの方々のおかげで、「夢のような話」が実現に向け大きく進展、このような成果を得られたことを心から感謝申し上げます。

平成28年3月
山佐木材株式会社
代表取締役 佐々木 幸久

もくじ

頁

第1章 はじめに.....	1
1-1. 事業の背景と目的.....(1)	
1-2. 検討方法と実施計画.....(5)	
1-3. 検討体制.....(7)	
第2章 小型炉による耐火性能の確認.....	9
2-1. 被覆材の施工枚数について.....(10)	
2-2. 木口面の検証実験.....(15)	
2-3. 新たな被覆材の検討.....(17)	
2-4. 天井吊りボルトの熱橋検討.....(19)	
2-5. まとめ.....(22)	
第3章 大型炉による耐火性能の確認.....	23
3-1. 上面加熱試験.....(23)	
3-2. 下面載荷加熱試験.....(26)	
3-3. 鋼材接合部加熱確認試験.....(29)	
3-4. CLT 床2時間耐火構造 性能評価試験.....(38)	
3-5. まとめ.....(42)	
第4章 エポキシ樹脂の性能把握.....	43
4-1. 試験の目的.....(43)	
4-2. 耐熱性の改良試験.....(43)	
4-3. 試験方法.....(44)	
4-4. 試験結果.....(44)	
4-5. 考察.....(46)	
4-6. 追加試験.....(47)	
第5章 CLT とスタッドの縁方向の接合強度の把握	49
5-1. 試験の目的.....(49)	
5-2. 試験体の仕様.....(50)	
5-3. 試験の方法.....(52)	
5-4. 試験の結果.....(52)	
5-5. 考察.....(53)	
第6章 S造フレーム+CLT床の構面せん断性能.....	60
6-1. 試験の目的.....(60)	
6-2. 試験結果.....(63)	
6-3. せん断性能推定方法の検討.....(87)	
6-4. まとめ.....(90)	

第7章 表層スプライン式のCLT板相互の接合強度・剛性の把握	91
7-1. 試験の目的	(91)
7-2. 試験体の仕様	(92)
7-3. 試験の方法	(93)
7-4. 試験の結果	(94)
7-5. 考察	(96)
第8章 天井吊り材の接合強度の把握	97
8-1. 試験の目的	(97)
8-2. 試験体の仕様	(98)
8-3. 試験の方法	(100)
8-4. 試験の結果	(101)
8-5. 考察	(104)
第9章 繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材とCLTの接合性能の把握	105
9-1. 試験の目的	(105)
9-2. 試験体の仕様	(105)
9-3. 試験の方法	(121)
9-4. 試験の結果	(122)
9-5. 考察	(123)
第10章 上下動を含む地震荷重が作用した場合のCLTの抜け落ち強度の把握	126
10-1. 試験の目的	(126)
10-2. 試験体の仕様	(127)
10-3. 試験の方法	(128)
10-4. 試験の結果	(129)
10-5. 考察	(134)
第11章 設計施工マニュアルの検討	135
11-1. 剛床仮定の成立に関する検討	(136)
11-2. CLT床の歩行振動の検討	(169)
11-3. CLT床2時間耐火被覆仕様	(175)
11-4. 各種実験等により求まるデータシート	(200)
第12章 まとめ	202
委員会議事録	203

第1章 はじめに

表1) 新たな国産木材市場の開拓

1-1. 事業の背景と目的

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・ラミネイティッド・ティンバー（直交集成材、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。

a) 新たな国産木材市場開拓の重要性

我国の木質構造建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等を考えると、今後戸建て住宅の需要が大幅に増加することは見込めない。従って、国産木材の利用促進を低層戸建住宅市場に求めるためには、床面積の増加ではなく、外材を国産材に置き換えることが、現実的な対応となるが、実はそれはあまり得策とは言えない。なぜならば、地球温暖化問題が、全地球規模の問題であることを考えると、外材を国産材に置き換えるだけでは、本質的な問題の解決には結びつかないと思われるからである。

我が国の国産木材の利用促進を図るために、国内に新たな木材市場を開拓することが必要である。具体的には、従来我国では木材の積極的利用が行われることの殆ど無かった、非住宅建物（特に超高層オフィスビル等）の床の構造体に木質材料の使用を進めることを提案する。試算によれば、仮に年間に建設される全ての非住宅建物の床の構造体を木質化すれば、丸太ベースで約1000万立米超の木材需要の拡大に繋がるが（図表1参照）、現況における年間の我が国の国産木材需要が約2000万立米であることを考慮すると、非住宅建物の床の構造体の木質化が如何にインパクトのある試みであるかがご理解頂けるであろう。

項目	計算結果
年間新築着工床面積	1.5億m ²
非住宅非木造建築比率	40%
地上階比率	75%
CLT床厚	150mm
木材使用量(製材)	675万m ³
歩留り	60%
木材使用量(丸太)	1125万m ³

表 2) 構造種別と適合用途から見た、建物の分類

構造種別			適合用途	利点	課題	備考
木質構造	軸組構造	在来工法	戸建て住宅	歴史性(少ない資材で高耐震性を実現、我が国が誇るべき貴重な文化)	大規模建物には向かない(寺社建築は別にして)	
		大断面集成材工法	非住宅建築 ドーム等	大スパン構造に適している 軽量	多層建物には課題も	
		SAMURA(鉄筋内蔵 大断面集成材工法)	比較的低層な非住宅建築 (工場、ショッピングセンター)	大スパン構造に適している モーメント伝達構造を実現	多層建物については未知数	鹿児島大学 塙教授考案
	壁式構造	2×4工法	戸建て住宅 中小規模非住宅建築	高耐震性、省CO2 経済性、施工性	大規模建物には向かない 最近は中規模2×4も	
		CLT工法	多層中大規模集合住宅	高耐震性、省CO2 施工性	耐火性、重量衝撃音 経済性	
	混合構造	柱梁S造 +床CLT構造	多層大部屋型非住宅建築	高耐震性、省CO2 軽量、改修自由度大	耐火性、経済性 施工方法が成熟していない	
鋼構造		柱梁S造 +床RC構造	多層大部屋型非住宅建築	経済性 施工性	建設時におけるCO2排出大 改修自由度小	
RC構造	軸組構造	RCラーメン構造	中小規模非住宅建築			
		RC耐震壁内蔵 ラーメン構造	多層中大規模集合住宅			
	壁式構造	RC壁式構造	中小規模集合住宅			

b) CLT の可能性

それではここで、前節で述べた CLT の持つ可能性について、考えてみたい。表 2 に私が考える構造種別と適合用途から見た、建物の分類を示す。この表を参考に、木材の市場拡大の観点から、どこに CLT のニーズがあるか考えてみたいと思う。

我が国の建築市場において、資材量から見た場合、大きな市場となり得るのは、以下の 3 分野である。

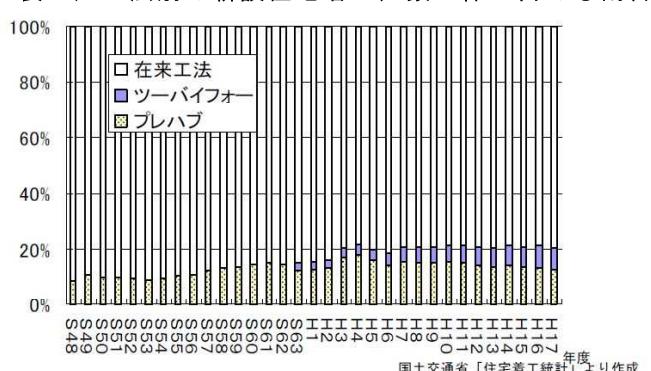
- A. 在来工法による戸建て住宅分野
- B. 柱梁 S 造床 RC 構造による多層大部屋型非住宅建築分野（所謂貸しオフィス）
- C. RC 耐震壁内蔵ラーメン構造による多層中大規模集合住宅分野（所謂マンション）

これら 3 分野について CLT の適用可能性について考えてみたい。

(1) 戸建て住宅分野における CLT の可能性

表 3) に示す様に、戸建て住宅分野で最も大きなシェアを占めるのは、在来軸組工法である。テレビのコマーシャル等でお馴染みのハウスメーカーが主体となる工業化住宅のシェアは全戸建て住宅分野の 20% 程度に過ぎない。CLT がこの工業化住宅分野の一つとして、今後新たに登場してくる可能性は無いとは言えないが、それ

表 3) 工法別の新設住宅着工戸数全体に占める割合



ほど大きな市場となるとは考えにくい。なぜならば、CLT 構造を望むユーザー層の価値観としては、その構造性能の優位性、例えば高い耐震性等に魅力を感じる人たちと思われるが、先行する工業化住宅は最近の地震被害等の状況から見ても、既に充分の耐震性能を備えている。工業化住宅として見ても、CLT はそれほど大きな優位性を持つとは言えないといえば、まして、CLT が在来軸組工法の市場を脅かすような存在となることは、あり得ないと思われる。

従って、CLT が今後市場を開拓する可能性のあるのは、3つの分野の内、B. 多層大部屋型非住宅建築分野と、C. 多層中大規模集合住宅分野の2分野ということになる。この2つの分野が、今後 CLT の市場開拓の主戦場となることは間違いないと思われる。

（2）多層大部屋型非住宅建築分野における CLT の可能性

ここでは、まず B の可能性について検討する。この分野は、我々が CLT を有望と主張する柱梁 S 造床 CLT 構造の対象分野であり、今後超高層オフィスビル等に適用が期待される分野である。S 造建物の RC 床を CLT 床に置き換えることによるメリットとしては、製品化の容易さが上げられよう。CLT 工法の課題として、過大な設備投資の必要性が指摘されているが、木床の製品化を考える場合、オフィスビルの床は、デッキプレート、エレベータ等の納まりの関係から、モジュールが 3～4 m に、ほぼ統一されており、例えば 4m×2m 程度の定尺の床の製品化を進めることにより、比較的少ない設備投資額で受注生産によらない製品の供給を行うことができる可能性がある。

（3）多層中大規模集合住宅分野における CLT の可能性

3つの分野の内、C の RC 耐震壁内蔵ラーメン構造は、多くのマンション等で採用されている構造形式であり、これもまた、CLT の大きな市場が期待される分野である。海外の CLT 建築もこのタイプのものが殆どであり、我が国においても今後、CLT の市場拡大の主戦場になることは、間違いないと思われる。CLT を構造体に使った場合のメリットは、本来は 12m×6m 程度の大きな板を用いて、短工期で大型の建物の建設が可能となることである。これは、最近の熟練技能者の不足を考慮すると、CLT が建設業の労働集約型産業からの脱却の切り札となる可能性も考えられ、今後が大いに期待される。その他、本来木の持つ独特の雰囲気や、木材の持つ調湿効果など、住宅としての機能面から、市場の支持が得られる要素を多く含む。しかし一方、大型の板を生産するためには、大きな設備投資を伴うことや、住宅の場合、重量衝撃音への対策など、気になる課題もいくつかある。

（4）CLT 建築のメリットとデメリット

一般に、CLT 建築のメリットとしては、

- 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裝するなど、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。

次に、CLT建築の現状におけるデメリットは以下である。

①防耐火の問題： 基本的に中大規模建築が対象となることから、5階建て以上の建物への対応も必要となり、2時間耐火の実現は必須となる。

②建設コスト： 永年の努力により徹底的なローコストが図られているRC床に比べるとCLT床はまだまだ高価である。

c)本事業の目的と意義

本事業は、1-1節 b) (2) で述べた、「多層中大規模集合住宅分野」の内でも、特に鉄骨造のオフィス等をターゲットとしてCLTと異種構造の混合構造の可能性について検討を行ったものである。本事業は、林野庁の25年～26年度委託事業「CLT等新製品・新技術利用促進事業」の継続課題として新たに進められた研究に基づくものである。1.2節でも述べたように、本事業が対象とする建築は、極めてシンプルな内容のものであるが、新築着工床面積から見れば大きなシェアを占める建築分野である。本事業で開発された建築技術が、今後のS造超高層ビルを初めとする非住宅中大規模建築の建設に大きな技術革新をもたらすもの信じている。

1-2. 検討方法と実施計画

今年度事業は、平成 25、26 年度林野庁委託事業において実施された、「鋼構造オフィスビル床の CLT 化」の成果を踏まえ、開発を進める中で新たに浮上した問題点を中心に、検討・分析を行うものである。平成 25、26 年度林野庁委託事業「鋼構造オフィスビル床の CLT 化」の検討を進める中で、新たに浮上した検討項目としては以下である。

ア コスト削減を目的とした 2 時間耐火床構造の開発

(小型炉による性能確認試験)

イ 天井吊りボルトが赤熱した場合の熱橋による CLT の炭化に及ぼす影響

(小型炉による性能確認試験)

ウ 木口面の耐火被覆の方法

エ 鉄骨梁の耐火被覆を岩綿吹付とした場合の耐火性能

(水平大型炉による性能確認試験)

オ 鉄骨梁の耐火被覆を珪酸カルシウム板 50 mm とした場合の耐火性能

(水平大型炉による性能確認試験)

カ 上面加熱の場合の耐火被覆仕様の検討

キ エポキシ樹脂の溶融・発火温度の把握

ク CLT とスタッドの縁方向の接合強度の把握

(実大あるいは縮小モデルでの実験) .

ケ 表層スプライン式の CLT 板相互の接合強度・剛性の把握

(押し抜き試験)

コ 天井吊り材の接合強度の把握

サ 繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材と CLT の接合性能の把握

シ 上下動を含む地震荷重が作用した場合の CLT 抜け落ち強度の把握

ス 設計・施工マニュアルの作成

事業の実施スケジュールは、以下である。

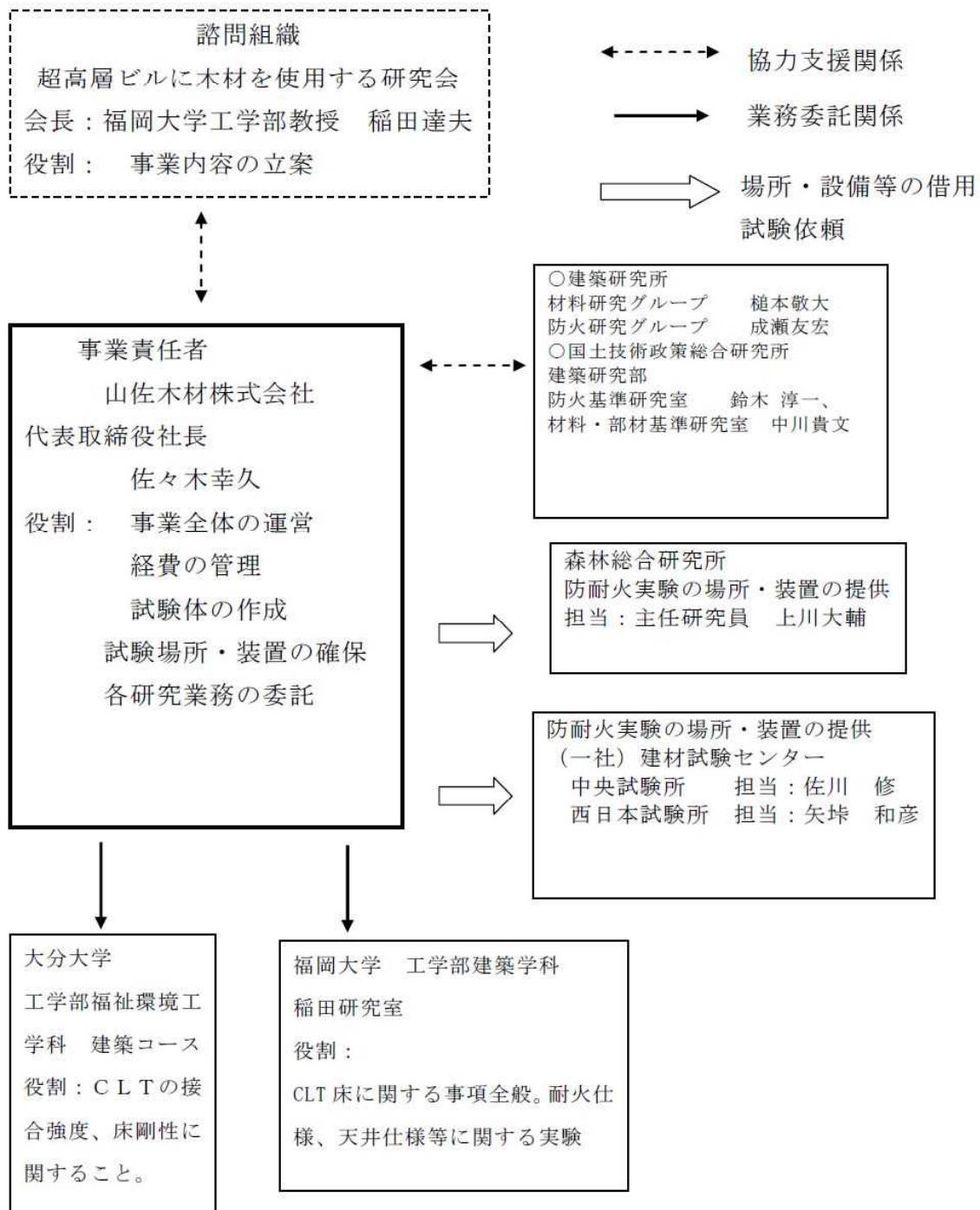
- ・事業期間 平成 28 年 9 月 1 日～平成 29 年 3 月 11 日

実験項目	8	9	10	11	12	1	2	3
委員会	○			○			○	
WG	○		○	○	○	○	○	
小型炉を使用した耐火性能の検討 (ア)、(イ)、(ウ)			↔	↔				
大型炉を使用した耐火性能の検討 (エ)、(オ)、(カ)				↔	↔	↔		
エポキシ樹脂の性能把握 (キ)			↔	↔				
スタッド接合部試験 (ク)			↔	↔				
スパラインの検討 (ケ)		↔						
天井吊り材の接合強度の把握 (コ)			↔					
繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材と CLTの接合性能の把握 (サ)				↔				
上下動を含む地震荷重が作用した場合のスタッ ドからのCLTの抜け落ち強度の把握 (シ)					↔			
まとめ、報告書							↔	

1-3. 検討体制

また、事業の実施において、性能評価機関、大学等の学識者により委員会を構成し、広く知見を収集しながら事業を行うものとする。東京でのWG開催及び事業の中間と最終に報告会を行い、関係省庁や研究開発法人との情報共有に努め事業結果を円滑に実用化していく体制を作る。

具体的な事業の実施体制は以下である。



a) 委員会構成

CLT等新たな製品・技術の開発・普及事業（木質耐火部材開発）委員名簿

	氏名	所属
委員長	稻田 達夫	福岡大学 工学部建築学科 教授
委員	堺 純一	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
委員	田中 圭	大分大学 工学部 木質構造研究室 助教
委員	鈴木 淳一	国土技術政策総合研究所 防火基準研究室 主任研究官
委員	萩原 一郎	(国研) 建築研究所 防火研究グループ グループ長
委員	成瀬 友宏	(国研) 建築研究所 防火研究グループ 上席研究員
委員	中川 貴文	国土技術政策総合研究所 建築研究部材料・部材基準研究室 主任研究官
委員	梶本 敬大	(国研) 建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
委員	荒木 康弘	(国研) 建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
委員	上川 大輔	(国研) 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
委員	矢塙 和彦	(一財) 建材試験センター 西日本試験所 試験課 主幹
委員	佐川 修	(一財) 建材試験センター 中央試験所 防耐火グループ 主幹
委員	梶原 茂	株式会社オーシカ 九州営業所 所長
委員	佐々木 幸久	山佐木材株式会社 代表取締役
事務局	塩崎 征男	山佐木材株式会社 技術本部長
事務局	村田 忠	山佐木材株式会社 CLT 部長
事務局	佐々木 真理	山佐木材株式会社 総務課長
事務局	西胤 謙吉	山佐木材株式会社 技術本部係長

b) 委員会、WG、サブWG、成果報告会の開催

平成 27 年 9 月 11 日 (金) 第 1 回委員会

場所：スタンダード会議室虎ノ門 ANNEX 1 階 A 会議室

平成 27 年 10 月 16 日 (金) 耐火サブ WG 場所：福岡大学工学部

平成 27 年 10 月 31 日 (土) 拡大 WG 場所：福岡大学文系センター棟会議室

平成 27 年 10 月 31 日 (土) 中間報告会 場所：福岡大学文系センター棟会議室

平成 28 年 1 月 27 日 (水) 第 2 回委員会

場所：(一財) 建材試験センター西日本試験所内会議室

平成 28 年 3 月 3 日 (木) 成果報告会 場所：木材会館 7 階ホール

第2章 小型炉による耐火性能の確認

本章では、二時間耐火床システムの開発を目的として、より合理的な被覆材の選定および組合せに関して、小型耐火炉を用いて要素試験を実施した。

平成26年度事業では、CLT床の耐火被覆仕様として、以下の二仕様について二時間耐火性能を有することを確認した。

- ・ケイカル板仕様：ケイ酸カルシウム 15mm + 強化石こうボード 15mm x 3枚貼り（計60mm）
- ・ALC板仕様：ALC板 36mm + 強化石膏ボード 15mm x 2枚貼り（計66mm）

本仕様の着想に至った経緯を、耐火被覆材の特徴を簡単に列記することで以下に記す。

強化石膏ボード：内部に水分がある間は100°C近くを保持する性質を有する。ただし、内部の水分が蒸発すると脆性的な崩れ方を起こす。

ケイ酸カルシウム板：強化石膏ボードと比較すると温度上昇が大きく見られるが、1000°C近い熱を長時間受けても形状を保持する性質を有する。

ALC板：性質としてはケイ酸カルシウムに近く、長時間火炎を受けても形状を保持する。力学的な性能としてケイ酸カルシウムより強度と剛性が高ければ天井材の吊り具の取り付け等は容易になるものと推察される。

即ち、形状保持能力を有するケイカル板やALC板を加熱側へ配置し、温度上昇を抑制する効果を有する強化石こうボードを内部層に配置することにより、より合理的に耐火性能向上させることができるというものである。

しかしながら、上述した二仕様を実用化するには、未だ解決すべき課題が残されている。例えば、施工時における作業簡略化のため被覆材の枚数を減らすことや、天井吊りボルトによる熱橋影響の検証などである。平成27年度事業では以下の項目に焦点を絞り、より合理的な二時間耐火床システムの開発を目指し要素試験を実施した。

1. 被覆材の施工枚数に関して
2. 木口面の検証試験
3. 新たな被覆材の検討
4. 天井吊りボルトの熱橋検証

2-1 被覆材の施工枚数について

2-1-1. 試験の目的

二時間耐火性能を有する被覆材の性質ならびに板厚の組合せについて目途がついたため、本節では施工性も考慮に入れた仕様の検討を行なう。即ち、枚数が多いほど取り付けコストが高額になるなどの問題点も浮上したため、工事費の更なる減額を目的として被覆材の必要枚数を検討する。

2-1-2. 試験体の仕様

具体的には、内部層の強化石こうボードの枚数削減を実施する。試験体詳細図を図1に示す。ケイカル板仕様では、平成26年度が強化石膏ボード15mm x 3枚貼りであったのに対し、平成27年度は21mm x 2枚貼りとする。また、ALC板仕様では、平成26年度が強化石膏ボード15mm x 2枚貼りであったのに対し、平成27年度は21mm x 1枚貼りとして耐火性能の検証を行なう。同程度の耐火性能を保持しつつ、被覆材を貼る枚数が1枚減るため、取り付け時の施工時間の短縮および工事費の削減が予想される。

【ケイカル板仕様】

昨年度：ケイ酸カルシウム板 15mm + 強化石膏ボード 45mm (15mm x 3枚)

今年度：ケイ酸カルシウム板 15mm + 強化石膏ボード **42mm (21mm x 2枚)**

【AIC板仕様】

昨年度：ALC板 36mm + 強化石膏ボード 30mm (15mm x 2枚)

今年度：ALC板 36mm + 強化石膏ボード **21mm (21mm x 1枚)**

※上記2体の実験は、かごしま木づかい交付金事業のうち「二時間耐火性能評価取得」の確認試験として実施した。

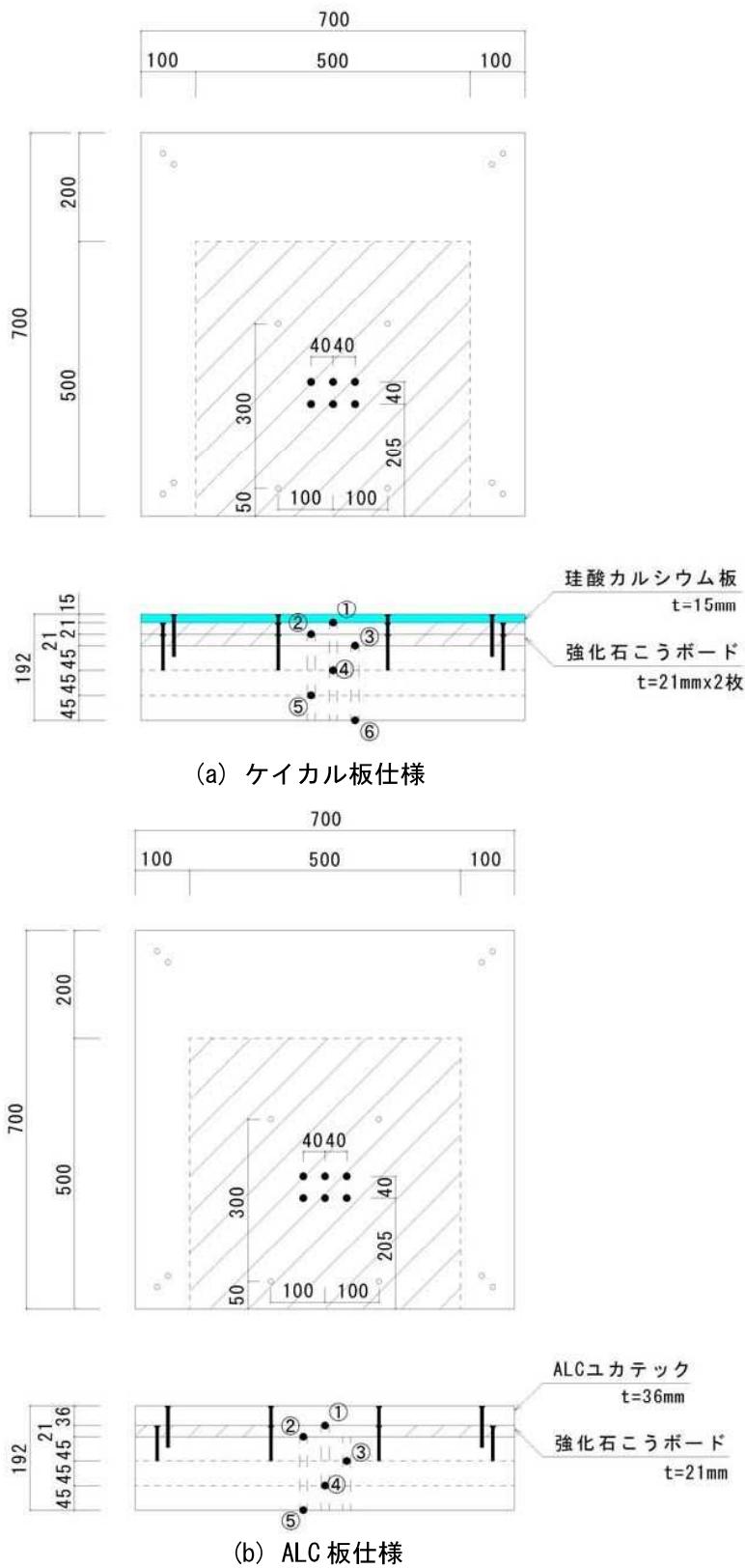


図1 試験体詳細図

2-1-3. 試験方法

本試験では、(独)森林総合研究所の小型耐火炉を使用した(図2参照)。加熱はISO834標準加熱温度曲線に従い、加熱時間は2時間とし、その後は炉内に試験体を設置したまま、加熱時間の3倍時間にあたる6時間放置した。

温度測定は、試験体内部の温度を $\phi 2.3\text{mm}$ のシース型熱電対で、CLT裏面の温度を素線 $\phi 0.65\text{mm}$ のディスク付き熱電対で測定した。特に試験体内部は、耐火被覆材同士およびCLTパネルとの境界面を重点的に測定した。

耐火性能の評価基準として、試験後の脱炉・分解時に目視により炭化の有無を確認する。また、試験時には耐火被覆材とCLTパネルの境界面温度が、木材発火温度とされる 260°C を超過しないことも併せて確認することとした。



図2 小型耐火炉

2-1-4. 試験結果

(a) ケイカル板仕様

試験で得られた温度一時間曲線を図3に示す。CLTパネルと強化石膏ボードの境界面温度（図中③で表記）は、ピーク時（試験開始後252分）で138°C程度であり、木材の発火温度とされる260°Cまで達していないことがわかる。また、図4に示すように、試験終了後に解体したCLTパネルを観察すると、炭化や変色は見られなかった。このことより、本試験体の仕様は、2時間耐火性能を確保することが可能であるものと推察される。

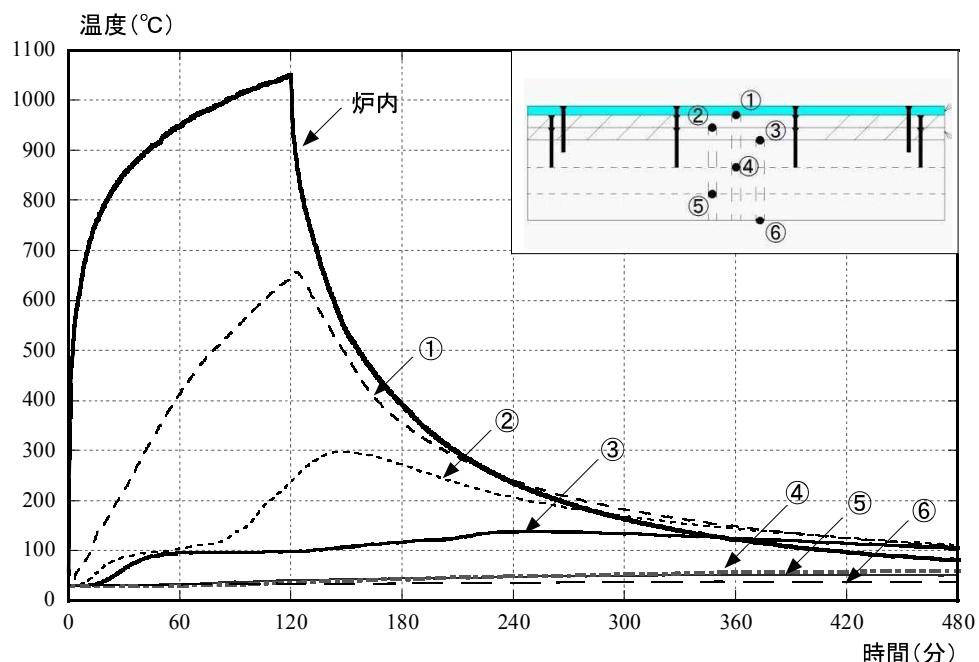


図3 温度 - 時間曲線



(a) 強化石こうボード

(b) CLTパネル表面

図4 加熱後の試験体

(b) ケイカル板仕様

試験で得られた温度一時間曲線を図5に示す。CLTパネルと強化石膏ボードの境界面温度(図中②で表記)は、加熱後120分あたりから上昇をはじめ、ピーク時には253°C付近に達した。試験後に試験体を解体すると、CLTパネルに一部炭化が見られたことから、この仕様では2時間耐火性能を付与することは難しいものと考えられる。強化石膏ボードは21mm厚1枚では厳しく、これまでの試験結果を踏まえると厚さ30mmは確保した方が良いものと推察される。

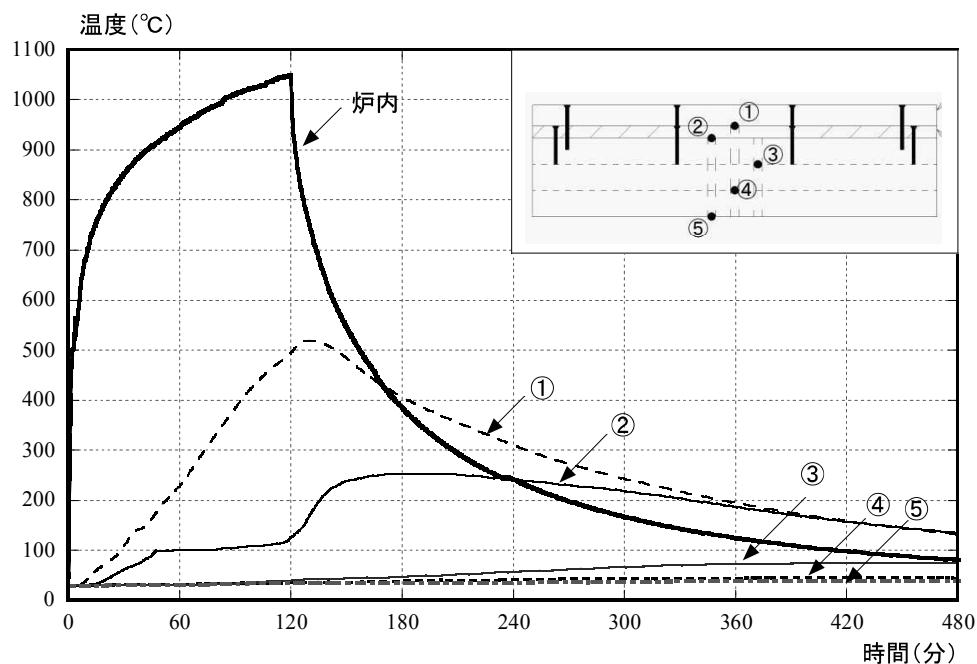


図5 温度-時間曲線



(a) 強化石こうボード

(b) CLTパネル表面

図6 加熱後の試験体

2-2 木口面の検証実験

2-2-1. 試験の目的

木口面に耐火被覆材を施した試験体を製作し、その耐火性能を確認する。木口面の耐火被覆仕様は、鉄骨梁の耐火被覆と同仕様とし、珪酸カルシウム板（35mm×2）として実験を行なう。

2-2-2. 試験体の仕様

試験体詳細図を図7に示す。150x700x135mm厚のCLTパネル4枚を、合板を用いて固定し、一つの試験体を構成する。木口面が火炎が当たるよう試験体を製作した。被覆仕様は鉄骨梁の耐火被覆と同様、ケイ酸カルシウム板35mm×2枚貼りとした。

2-2-3. 試験方法

試験方法は、2-1-3. と同様、(独)森林総合研究所の小型耐火炉で実施した。

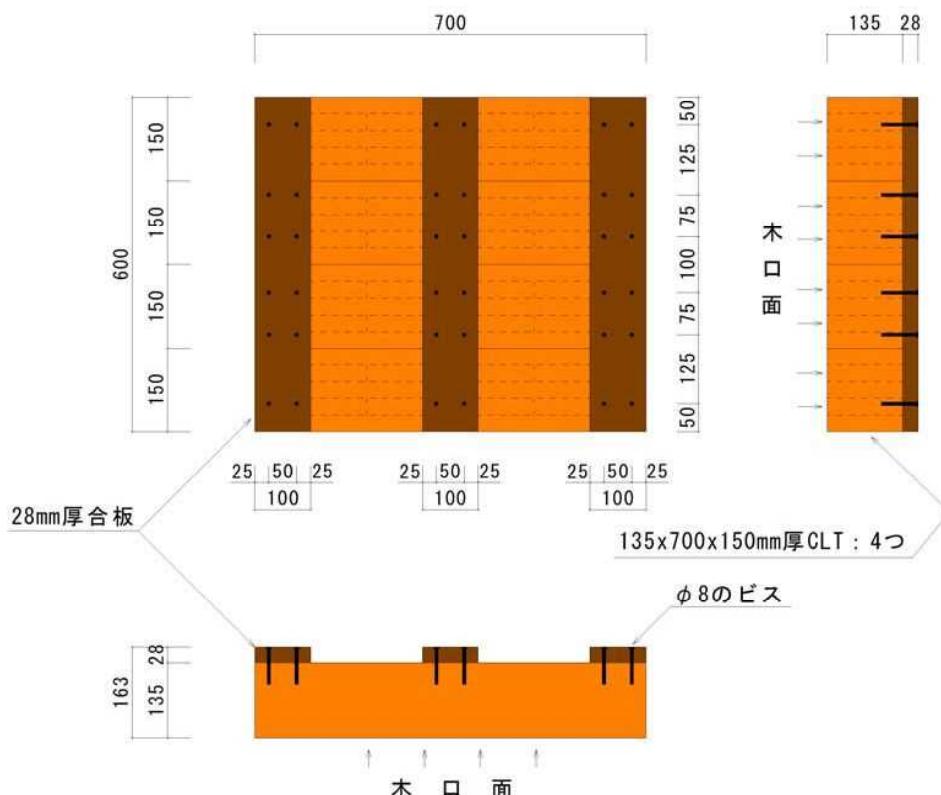


図7 試験体詳細図

2-2-4. 試験結果

試験で得られた温度一時間曲線を図8に示す。CLTパネルとケイ酸カルシウム板の境界面温度(図中②で表記)は、ピーク時でも170°C付近に留まっており、木材発火温度とされる260°Cを下回っている。試験後に試験体を解体すると、CLTパネルには大きな炭化の跡は見られなかったが、ネジの部分のみ若干の変色、一部炭化が見られた(図9参照)。ネジ部の炭化はネジの保持力を損なうほどではないので、耐火試験でも合格の範囲内であるものと推察されるが、初期温度の高い夏季に試験するともっと炭化が進む可能性もある。従って、可能であればより径の小さく長いネジでの固定するか、ネジ頭を多少埋め込む処置が望ましい。

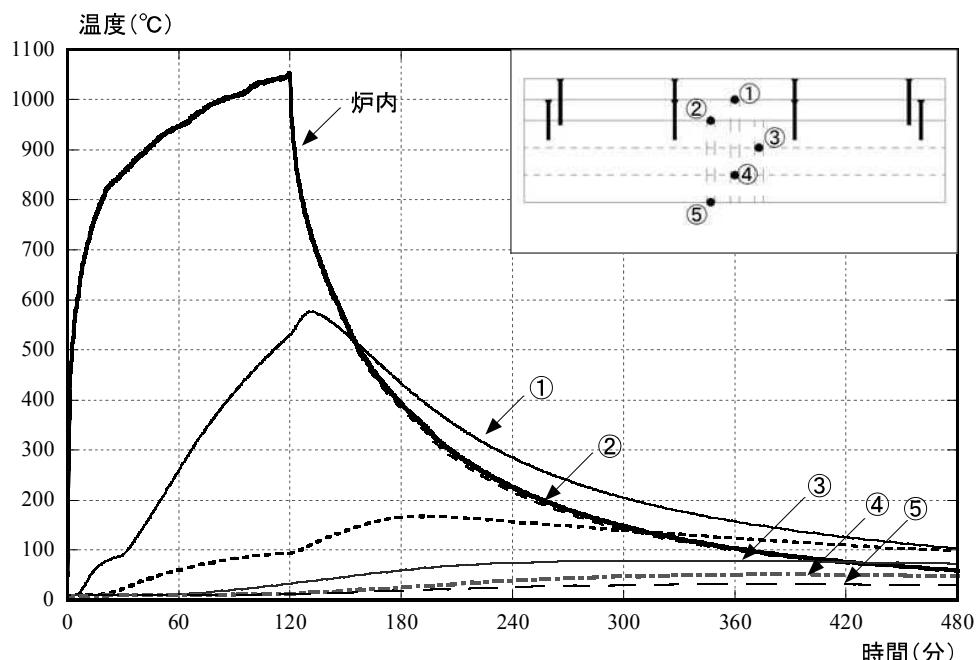


図8 温度-時間曲線



(a) CLTパネル表面

(b) ネジ付近の炭化

図9 加熱後の試験体

2-3 新たな被覆材の検討

2-3-1. 試験の目的

これまで実施した被覆材は乾式仕様であるが、鉄骨造部材の被覆材として湿式である岩綿吹き付けが用いられることが多い。本CLT構法においても、岩綿吹き付けが使用できれば、コストや施工性は大きく改善できることが予想される。本試験では、新たな被覆材の検討として岩綿吹き付け仕様となるニチアス㈱製品のマキベエを使用し、CLT床パネルの二時間耐火性能の確保について検証する。

2-3-2. 試験体の仕様

試験体詳細図を図10に示す。マキベエの厚さとして、三時間耐火仕様となる65mm厚を選定した。

2-3-3. 試験方法

試験方法は、2-1-3. と同様、(独)森林総合研究所の小型耐火炉で実施した。

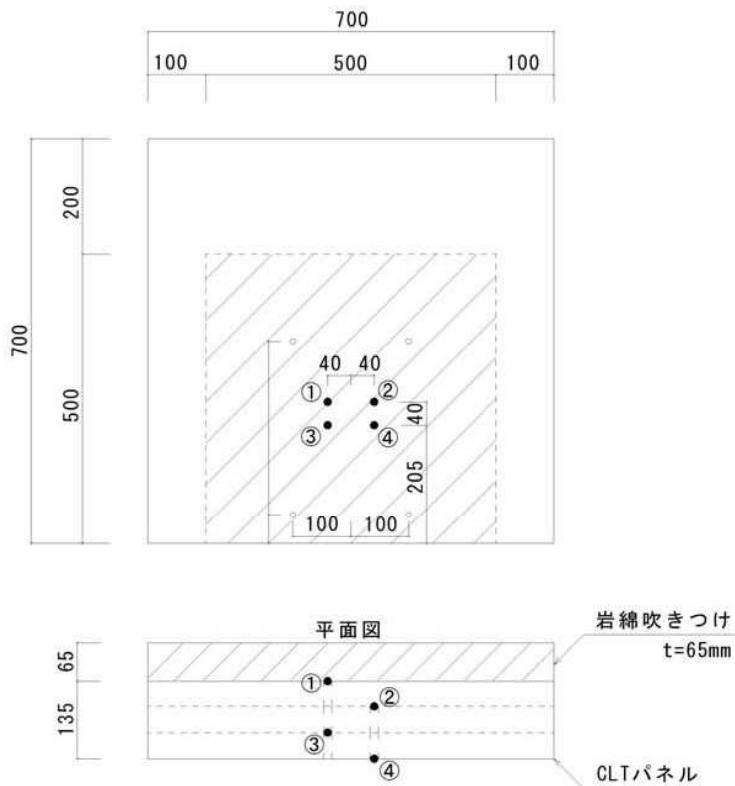


図10 試験体詳細図

2-3-4. 試験結果

試験で得られた温度一時間曲線を図11に示す。CLTパネルとまきべえの境界面温度（図中①で表記）は、ピーク時（試験開始後128分）で540°C程度であり、木材の発火温度とされる260°Cを大きく上回った。図12に示すように、試験終了後に解体したCLTパネルを観察すると、CLTパネル表面は全体にわたり炭化しており、中央部炭化深さは13.5mmであった。以上より、まきべえ65mmで2時間耐火性能を確保させることは困難である。

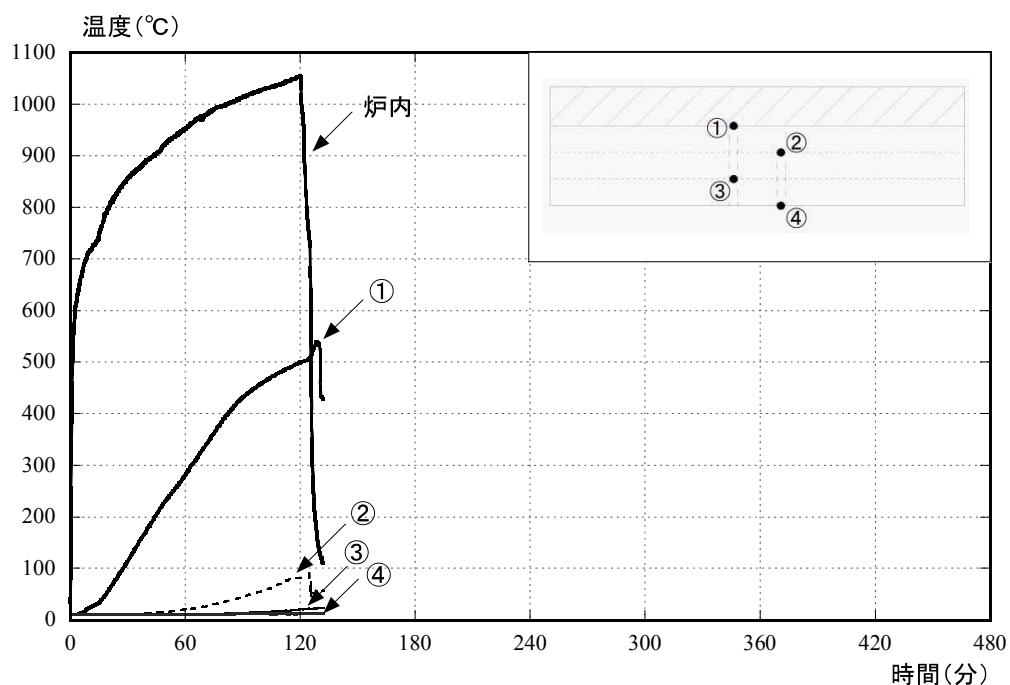


図11 温度-時間曲線



図12 加熱後の試験体

2-4 天井吊りボルトの熱橋検討

2-4-1. 試験の目的

天井や照明器具・空調機等は、従来工法では上階の床から鋼製の吊り材を介して取り付けるのが通常である。しかし、上階の床が木材の場合、吊り材が赤熱すると上部の木材が発火する恐れがある。本工法では、天井材取り付け方法として、ALCハンガーを被覆材に埋め込み、そこから寸切りボルト等で吊り下げことを想定している。火災に時おいて、寸切りボルト等の吊り下げ材からの熱がCLTパネルに与える影響を検討するため、検証実験を実施した。

2-4-2. 試験体の仕様

試験体詳細図を図13に示す。被覆仕様はケイカル板仕様とし、ケイ酸カルシウム板15mm+強化石こうボード15mm x3枚貼りである。ALCハンガーにはネジ部長さ43mmと73mmの二つのタイプを用い、ハンガーが被覆材で留まっているもの(43mm)とCLTパネルまで到達しているもの(73mm)で検証した。また、吊りボルトには直径10mm、長さ150mmの寸切りを用いた。

2-4-3. 試験方法

試験方法は、2-1-3.と同様、(独)森林総合研究所の小型耐火炉で実施した。

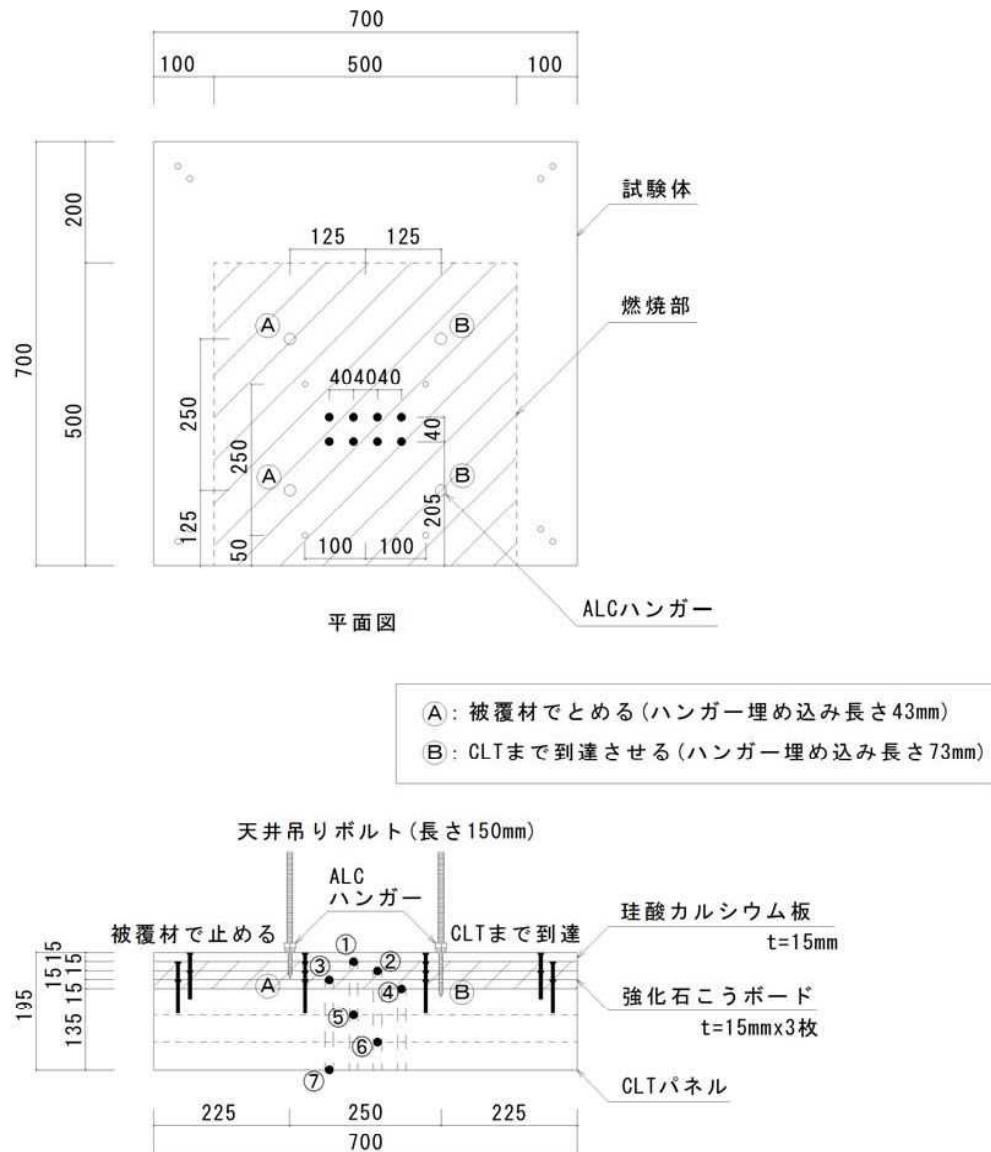


図 13 試験体詳細図

2-4-4. 試験結果

試験で得られた温度一時間曲線を図14に示す。CLTパネルと強化石膏ボードの境界面温度（図中④で表記）は、ピーク時（試験開始後249分）で111°C程度であり、木材の発火温度とされる260°Cまで達していないことがわかる。また、図15に示すように、試験終了後に解体したCLTパネルを観察すると、吊りボルト付近に炭化や変色は見られなかった。このことより、吊りボルトをCLTまで到達させても熱橋による炭化が生じないことを示した。

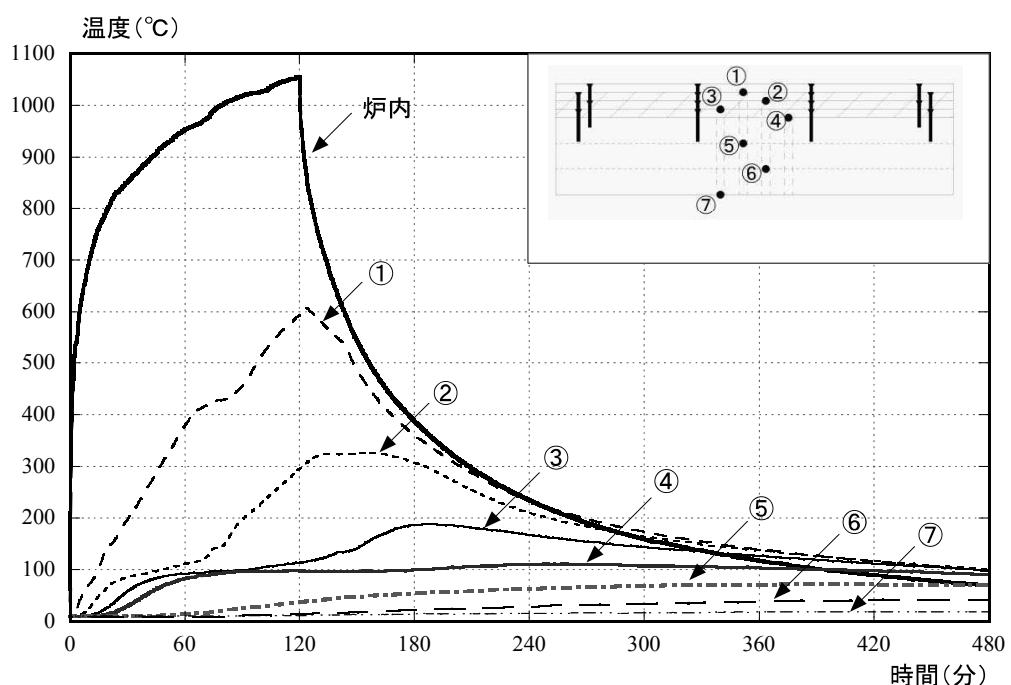


図14 温度-時間曲線



(a) 吊りボルト

(b) CLTパネル表面

図15 加熱後の試験体

2-5. まとめ

本試験により得られた知見を以下に示す。

1) 被覆材の施工枚数について

ケイカル板仕様において、強化石こうボードを一枚減らし、21mmx2枚としたところ、二時間耐火性能を有することを示した。一方で、ALC板仕様では21mmx1枚では二時間耐火性能を確保することは困難であった。このことから、強化石こうボードの板厚は合計で30mm程度必要であるものと推察される。

2) 木口面の検証実験

ケイ酸カルシウム板35mm x2枚貼りの仕様でCLTパネルには大きな炭化の跡は見られなかった。しかしながら、ネジの部分のみ若干の変色、一部炭化が見られた。ネジ部の炭化はネジの保持力を損なうほどではないので耐火試験でも合格の範囲内であるものと推察されるが、初期温度の高い夏季に試験するともっと炭化が進む可能性もある。従って、可能であればより径の小さく長いネジでの固定するか、ネジ頭を多少埋め込む処置が望ましい。

3) 新たな被覆材の検討

本実験では湿式である岩綿吹き付け仕様の検討を試みた。厚さ65mmの三時間仕様であるマキベエであったが、加熱終了時で高温となり、二時間耐火性能を寄与することは難しい結果となった。まきベエの厚さを厚くすることで耐火性能も上がるとは考えられるが、現実的には強化石こうボードなどと組み合わせて使用することが良いものと考えられる。

4) 天井吊りボルトの熱橋検証

ALCハンガーのネジ部をCLTパネルまで到達させても、CLTに炭化や変色は見られなかつた。天井吊りボルトを通してハンガーのネジ部を熱が伝わり、CLTパネルが炭化することはないため、熱橋の影響はあまりないものと云える。

第3章 大型炉による耐火性能の確認

平成27年度山佐木材(株)では、本事業と鹿児島県補助事業である「かごしま木づかい推進交付金事業」において大型炉を用いた加熱試験を下表の通り実施した。

H28年度 山佐木材(株) 大型炉試験実績					
No.	月日	試験内容	種類	試験場所	事業名
1	7月6日	上面加熱試験 計2体	確認試験	建材試験センター中央試験所	鹿児島木づかい推進交付金事業
2	7月9日				
3	9月14日	下面載荷加熱試験 1体			
4	9月15日	接合部加熱試験 1体	確認試験	建材試験センター西日本試験所	林野庁委託事業
5	9月16日	下面載荷加熱試験 1体			
6	12月8日	上面加熱試験 計2体	性能評価試験	建材試験センター中央試験所	鹿児島木づかい推進交付金事業
7	12月11日				
8	1月25日	下面載荷加熱試験 計2体	性能評価試験	建材試験センター西日本試験所	鹿児島木づかい推進交付金事業
9	1月27日				
10	1月28日	接合部加熱試験 1体	確認試験		林野庁委託事業

表 3-0 大型加熱試験実施概要

今までの研究成果として、「床2時間耐火構造」の取得を今年度目標としていたが、本事業内での取得費用は事業対象外となるため、鹿児島県補助事業費での取得を検討し実施した結果である。当然、本事業での結果・データー等は公開することが原則である為、性能評価試験を申請するまでに仕様についての決定を行い、中間報告会（平成27年10月31日福岡大学にて開催）においてそれまでの仕様、試験結果を公開した後、性能評価試験の申請を行った。以下に各加熱試験（鹿児島県補助事業も含め）の概要について報告する。

3-1. 上面加熱試験（表3-0 No.1, 2試験体）※鹿児島県補助事業で実施

3-1-1. 試験の目的

H26年度事業において2時間の耐火性能を有する被覆材の仕様として小型炉試験による要素試験を実施し2種類に絞り込んだ後、当仕様における下面載荷試験をH26年度事業において実施(H27年2月20日・21日)し合格内の結果を得ている。（昨年度、報告書参照）

床耐火構造の性能評価においては、昨年度に実施した下面載荷加熱（天井側）に加え上面加熱試験（床側）の性能も求められる。その確認試験として当加熱試験の実施を計画した。

3-1-2. 試験体の仕様

H26年度下面載荷試験と同じ仕様

- ① CLT側より 強化セッコウボード 15mm×2枚+ALC 36mm(旭化成建材 カテック)
- ② " 強化セッコウボード 15mm×3枚+ケイ酸カルシウム板 15mm

各試験体図を下図に示す

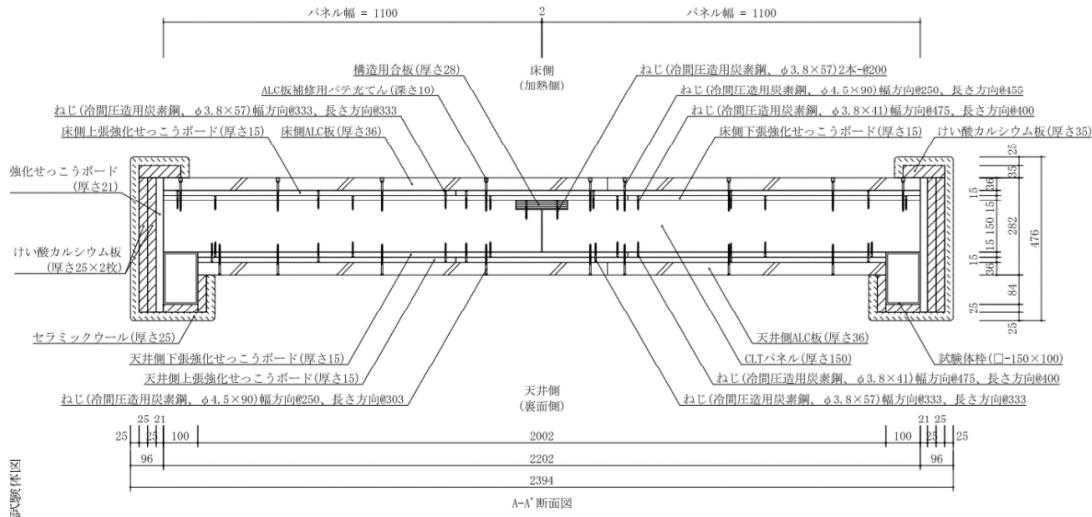


図 3-1-1 7月6日実施 ALC36mm ①試験体図

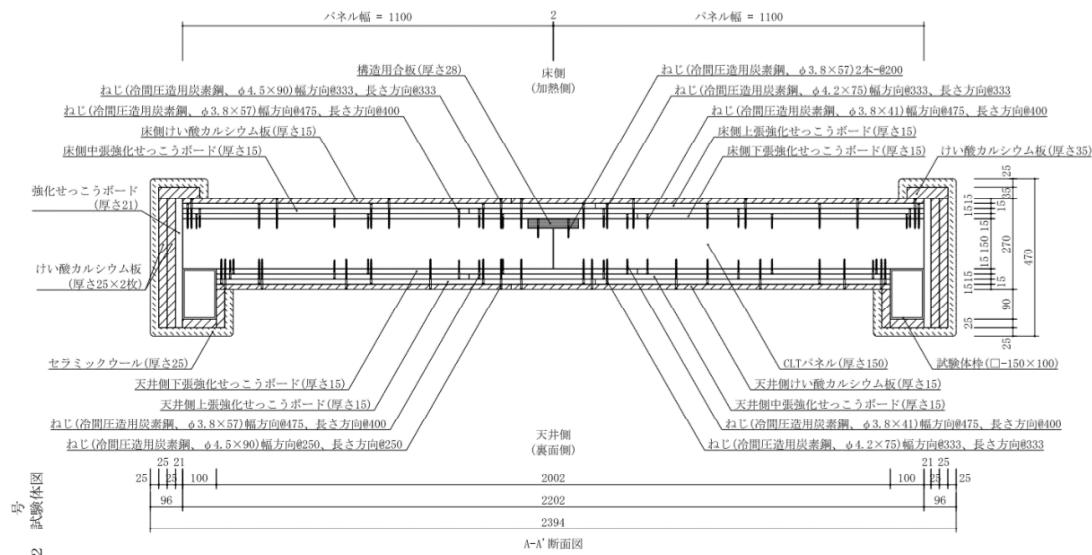


図 3-1-2 7月9日実施 けい酸カルシウム板 15mm ②試験体図

3-1-3. 試験方法（加熱・測定）

試験日：平成 27 年 7 月 6 日、9 日

試験場：(一財) 建材試験センター中央試験所

試験方法：試験は、(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」

の耐火性能試験・評価 方法に基づく耐火性能試験。要求耐火時間：480 分（加熱時間 120 分、試験時間 480 分以上）に基づき実施した。

温度測定位置は、加熱側各被覆材間および CLT パネル表面、CLT パネルから 30mm 内部と 60mm 内部及び裏面温度を測定した。

載荷荷重：建築基準法第85条における床荷重 事務所相当 $2,900 \text{ N/m}^2$ とした。
 上面加熱試験においては、梁炉の下部に試験体を設置し両側のバーナーにより上面（床側）を加熱する。加熱は、ISO834 標準加熱曲線での加熱とする。



写真 3-1-1 試験体設置状況



写真 3-1-2 加熱曲線

3-1-4. 試験結果

2種類の被覆材共、合格の判定内の結果となった。比較するとけい酸カルシウム板仕様の方が、CLT裏面温度としては低い結果となった。



写真 3-1-3 ALC 仕様



写真 3-1-4 けい酸カルシウム板仕様

写真の通り加熱側 CLT 表面には、焦げ・変色は見られず、ビスの熱橋による保持力の低下なども見受けられなかった。

3-1-5. 考察

本試験の結果より、性能評価に向けての被覆材仕様について耐火 WG での検討を行い
 耐火性能と歩行感・遮音性能などより

床面被覆：強化せっこうボード $15\text{mm} \times 2$ 枚+ALC 36mm (旭化成建材 ユカテック)

天井面：強化せっこうボード $15\text{mm} \times 3$ 枚+ケイ酸カルシウム板 15mm
 の仕様と決定した。

3-2. 下面載荷加熱試驗 (表 3-0 No. 3, 5 試驗體)

3-2-1. 試験の目的

前述、上面加熱試験結果により性能評価試験に向けての最低限の仕様として床・天井面被覆材での合格の確信を得る事ができた。実際の施工の容易さ、価格等を考えるとより合理的な被覆材の検討は必要である。

そこで前述小型炉で試験を実施し、焦げ・変色を発生しなかった下記仕様についての確認のため、大型炉での下面載荷試験を計画した。

検討仕様：けい酸カルシウム板 15mm+強化せっこうボード 21mm×2枚

3-2-2. 試験体の仕様

下面被覆材仕様は、共通

CLT 加熱側表面から強化セッコウボード 21mm×2枚+ケイ酸カルシウム板 15mm

上面被覆材

試験体 A 強化セッコウボード 15mm×2枚+ALC 36mm(旭化成建材 ユカテック)

試験体 B 強化セッコウボード 21mm×2枚+ケイ酸カルシウム板 15mm

各試験体図を下図に示す

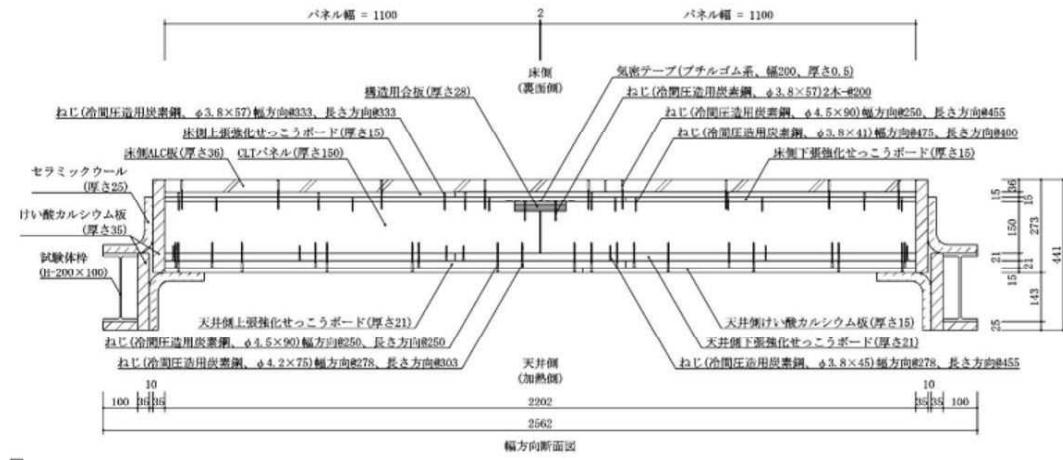


図 3-2-1 試験体 A 試験体図

写真 3-2-1 試験体製作

共通下面被覆材

21mm 強化せっこうボード 2重貼りの上に
けい酸カルシウム板 15mm を被覆する。



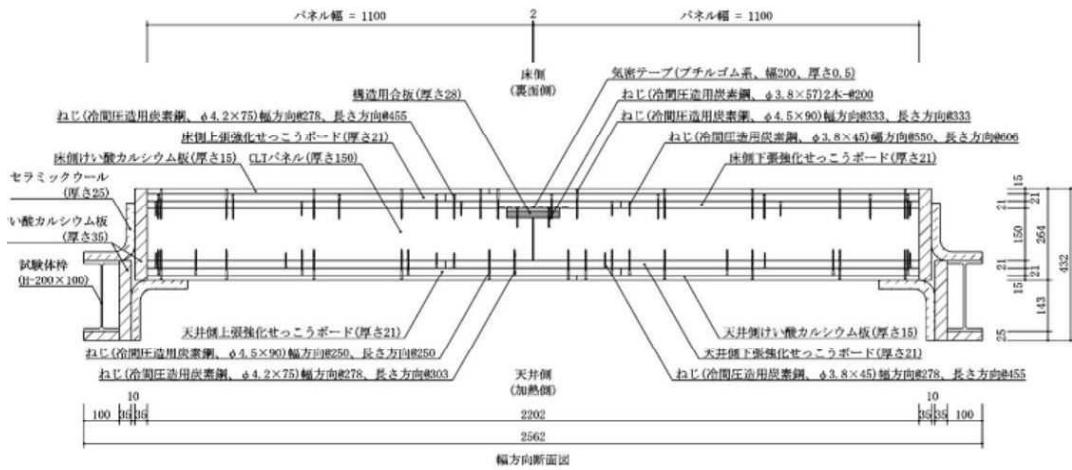


図 3-2-2 試験体 B 試験体図

3-2-3. 試験方法（加熱・測定）

試験日：平成27年9月14日、16日

試験場：(一財) 建材試験センター西日本試験所

試験方法：試験は、(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」

の耐火性能試験・評価 方法に基づく耐火性能試験。要求耐火時間：480分（加熱時間120分、試験時間480分以上）に基づき実施した。

温度測定位置は、加熱側各被覆材間および CLT パネル表面、CLT パネルから 30mm 内部と 60mm 内部及び裏面温度を測定した。

載荷荷重：建築基準法令第85条における床荷重 事務所相当 2,900 N/m²とした。

3-2-4. 試験結果

8月に森林総合研究所での小型試験炉での同仕様試験においては、焦げ・CLT表面温度共に問題が無かったが今回の載荷加熱試験においては右写真のような焦げが発生した。

この現象は、A,B 試験体において共通した結果となった。

熱電対測定による CLT 加熱側表面温度では、200°Cにも達していないかったが、熱電対が配置されていない箇所（目地部）に特定された結果と思われる。



写真 3-2-2 試験結果 目地の焦げ

3-2-5. 考察

【発生箇所の確認】

- ① CLT スプライン接合部 加熱側
- ② CLT に直交して配置された内側強化石膏ボードの目地部

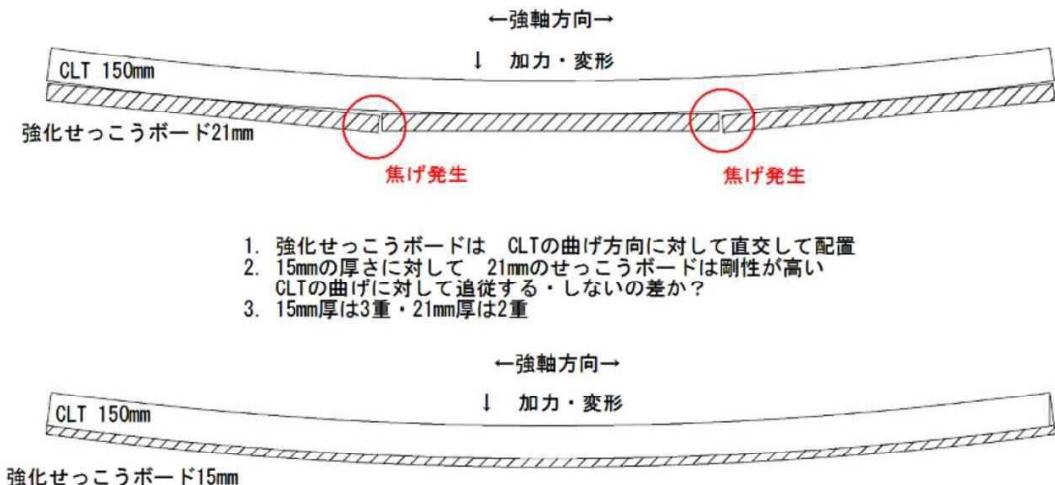
【原因の推測】

問題の無かった小型試験炉結果、また 15mm 厚 3 重仕様との相違点を考えると

- ① 小型試験炉での試験では、目地分を配していない
- ② " 載荷をしていない 曲げによる変形が、13mm 程度
- ③ 21mm×2 枚と 15mm×3 枚では、目地の層数が違う

上記よりあくまで推測ではあるが、

強化せっこうボード 15mm においては、CLT の曲げ変形に追従したが、21mm においては剛性が上がったことにより、曲げに追従出来ず隙間が生じたのではないかと考えられる。



1. 強化せっこうボードは CLT の曲げ方向に対して直交して配置
2. 15mm の厚さに対して 21mm のせっこうボードは剛性が高い
CLT の曲げに対して追従する・しないの差か？
3. 15mm 厚は 3 重・21mm 厚は 2 重

図 3-2-3 目地部焦げ原因の可能性推定

【今後の検討課題】

被覆材の軽減と合理化は、前述した通り重要課題である。厚さが 15mm から 21mm となり 3 枚から 2 枚になることで、施工性や手間（重量）などの比較検討は必要である。

また小型炉での試験において強化せっこうボード 21mm とけい酸カルシウム板 15mm の組合せにおいても材表面においては、2 時間の耐火性能を有する事が確認できているため、後は目地部の処理（テープ等）の検討により解決できるのではないかと考えられる。

3-3. 鋼材接合部加熱確認試験 (表 3-0 No. 4, 10 試験体)

3-3-1. 試験の目的

本事業は、鉄骨構造（超高層ビル含む）の床材に CLT を利用することを目的として進めている。建築基準法においての規定としては、耐火構造の認定が必要となるため「性能評価試験」によりその性能を確認し、国交省大臣個別認定を取得することでその対応は可能である。しかし、集成材等の耐火部材認定においても同様、接合部に関する性能については「評定外」となっている。その為、実際の設計・建設においては、各認定とも自主的に確認試験を実施しその性能を示すことで建てられているのが現状である。

本事業においても同様の考え方で、まず「個別認定」の取得、接合部等他の性能については自主確認試験を実施しその性能を明らかにすることとし鋼材（H型鋼）に CLT を接合する時の鋼材各耐火仕様における CLT 基材への影響を確認することを目的とした。

試験は、昨年度にも 1 体実施し最低基準としてけい酸カルシウム板 35mm(鉄骨被覆 2 時間耐火仕様)を 2 重に貼ることで焦げ等の発生しないことを確認している。さらなるコストダウンと施工性向上に向けては、この仕様をどこまで軽減できるかが、最大の目標として考えている。

今年度の試験においては、平成 27 年 9 月 15 日に 1 体 (A)、その結果を踏まえて、平成 28 年 1 月 28 日に 1 体(B)の加熱試験を実施した。その結果を以下に報告する。

3-3-2A. 試験体 (A) の仕様

昨年度の試験結果より下記を確認 している。

- ・ けい酸カルシウム板 35mm×2 重の仕様では、CLT 基材への影響は無い。
- ・ けい酸カルシウム板厚をいくら上げても、収縮により目地に隙間が生じ鋼材温度は上昇してしまう。

などである。A 試験体においては、前年度の仕様再確認、2 重貼りの軽減と施工性の向上を試すこととし、次の仕様を選択した。

- ① けい酸カルシウム板 35mm(耐火 2 時間仕様) × 2 重貼り
- ② マキベエ※ (ロックウール) 65mm 1 重(H型鋼箱貼 耐火 3 時間仕様)
※ニチアス株式会社製品
- ③ けい酸カルシウム板 25mm(耐火 1 時間仕様) × 2 重貼り

当試験では、構造強度の検討項で記載のある「天井吊り具」を試験体に配し

A: ビスを CLT まで達し CLT で保持

B: ビスは被覆材内で保持

させて熱橋の影響を確認することも目的とした。

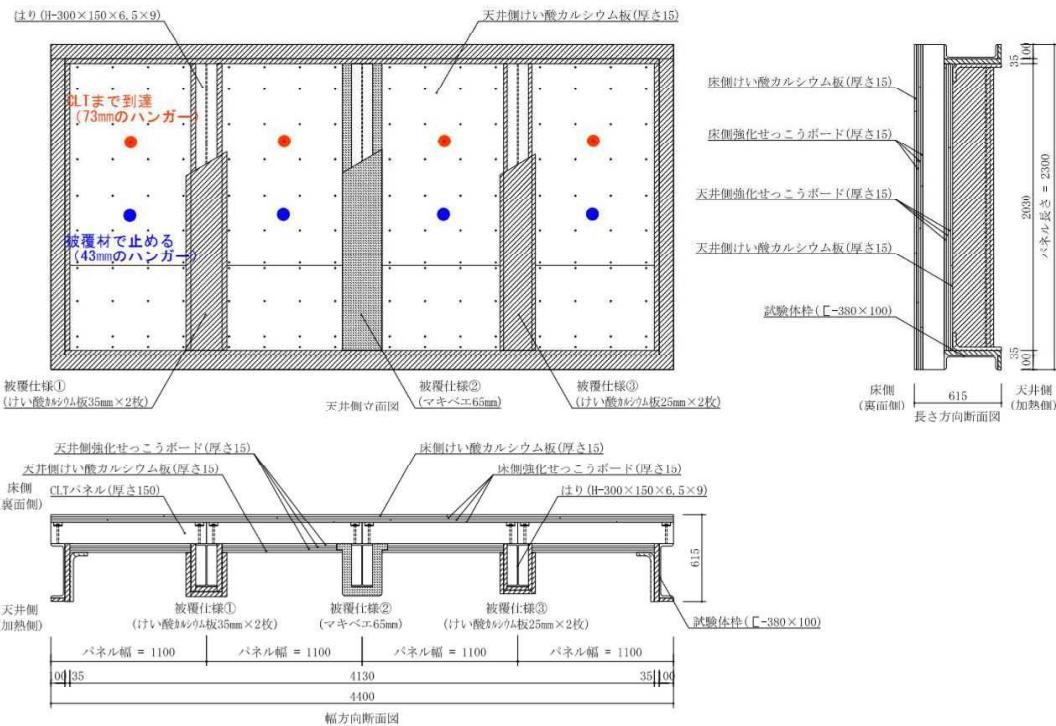


図 3-3-2A-1 接合部加熱試験体 A 試験体図

3-3-3A. 試験方法（加熱・測定）

試験日：平成 27 年 9 月 15 日

試験場：（一財）建材試験センター西日本試験所

試験方法：試験は、（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」の耐火性能試験・評価 方法に基づく耐火性能試験。要求耐火時間：480 分（加熱時間 120 分、試験時間 480 分以上）に基づき実施した。

温度測定位置は、加熱側各被覆材間および CLT パネル表面、各被覆材仕様下の H 型鋼のフランジ上下・ウェブ、ボルト表面（スタッドを想定）及び裏面温度を測定した。

試験は無載荷。

3-3-4A. 試験結果

① 下フランジ

大きな期待を持っていた
マキベエは遮熱性能は低く
H型鋼温度 430°Cまで上昇
以下けい酸カルシウム板は
予想通りの結果となった

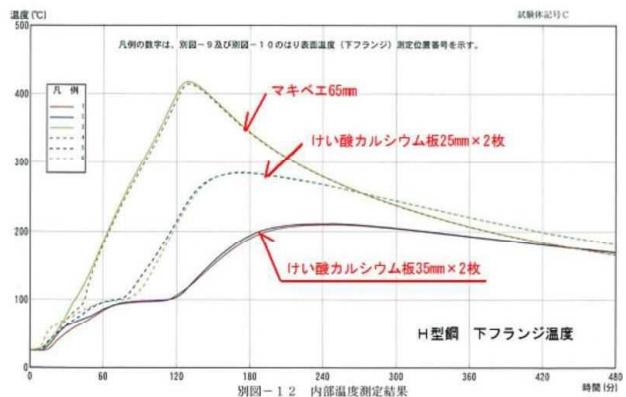


図 3-3-3A-1 下フランジ温度曲線

③ 上フランジ

最高温度は、各仕様共下フランジ▲100°C程度
この部位が CLT と接触する。
けい酸カルシウム板 25mm ×
2枚で焦げが予想された。

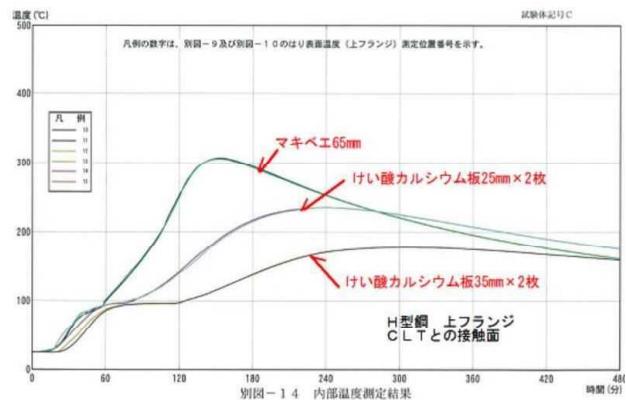


図 3-3-3A-2 上フランジ温度曲線

② ボルト (スタッド) 表面

最高温度は、各仕様共 200°C
に達しておらず、200°C以下の
温度で耐力が確保できるグ
ラウト剤であれば、火災後に
水平力が作用しても強度を確
保できると考えられる。

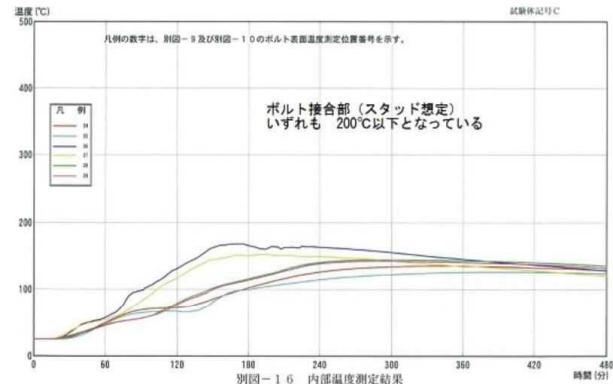


図 3-3-3A ボルト表面温度



写真 3-3-4A-1 マキベエ被覆部



写真 3-3-4A-2

けい酸カルシウム板 25mm×2



写真 3-3-4A-1

けい酸カルシウム板 35mm×2

また、アンカーのネジによる熱橋の影響に関する判断では、十分な保持力が確認された。

3-3-2B. 試験体(B)の仕様

3-3-2A の試験結果より下記を確認 している。

- ・マキペエ (ロックウール等) は、遮熱性能がけい酸カルシウム板に比べ低いと思われ
燃焼はしないが、鋼材に熱を伝えやすく CLT に焦げ等をもたらす。
- ・けい酸カルシウム板 25mm(1 時間耐火仕様) × 2 枚も変色に止められない。

今までの結果を参考として試験体(B)においては、下記項目について試してみた。

【検討条件】

- ・鉄骨構造耐火被覆 2 時間以上の認定仕様を BASE とする。
- ・鋼材と CLT の間に不燃性能を持つ材料を緩衝材として配置してみる。ただし厚さが構造
性能に影響を及ぼすことも考慮し、極力薄い素材を検討する

【採用した仕様】

- ① けい酸カルシウム板 35mm+けい酸カルシウム板 25mm
- ② けい酸カルシウム板 35mm+マキペエ 25mm
- ③ けい酸カルシウム板 40mm+目地部のみセラミックウール 25mm

【追加検討項目】

- ① CLT と H 型鋼上フランジの間には、スーパーフェルトン II[※] 不燃・断熱材厚さ 5mm を
全ての仕様に敷設した。
- [※]ニチアス株式会社製品 次頁に資料掲載

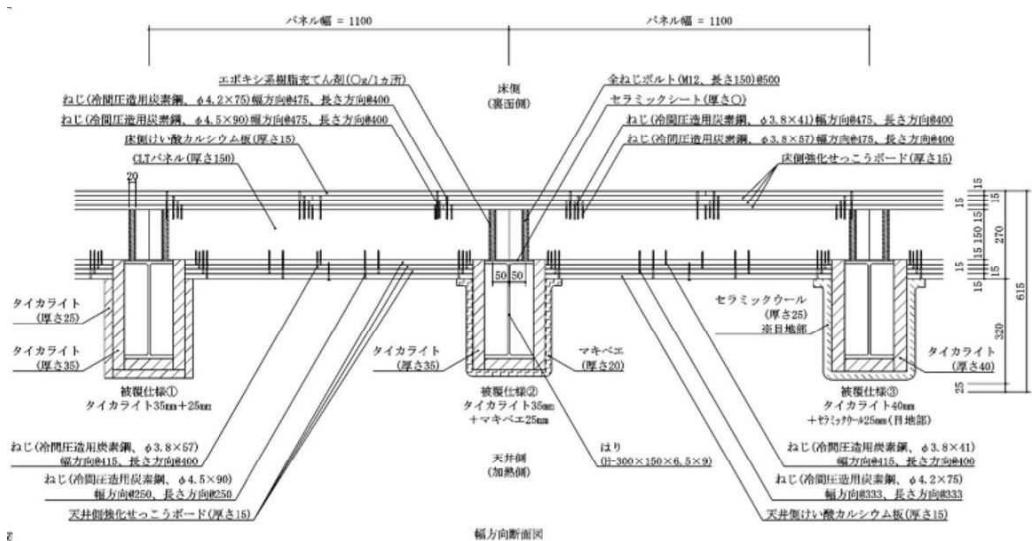


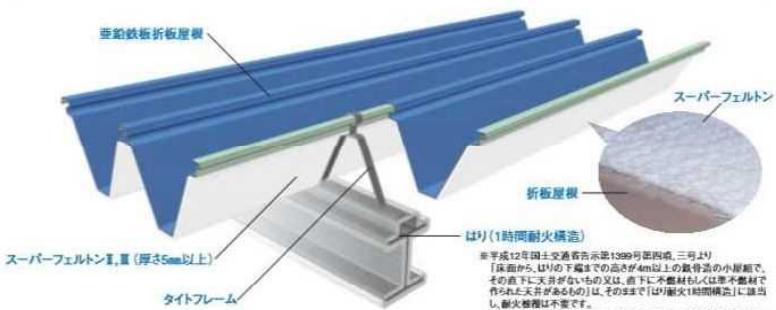
図 3-3-3B-1 接合部加熱試験体 B 試験体図

② 高温対応型エポキシ樹脂の耐久性

(株)オーシカに検討をお願いしている、高温(200°C)で強度低下を起こさない
エポキシ樹脂を CLT の接合に用い、その性能を確認する。

スーパーフェルトン[®] II, III

構造



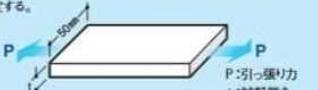
品質特性

項目	性能値			
	スープラーフェルトン II		スープラーフェルトン III	
厚さ (mm)	5	8	5	8
幅 (mm)	指定寸法 (50~1,000)			
長さ (m/ロール)	50,100	30,60	50,100	30,60
密度 (kg/m ³)	120±20,-10	120±20	140±20	
熱伝導率 (平成24±2%) (W/(m·K))	0.037以下		0.037以下	
耐火認定 ^{注1}	FP030RF-9325		FP030RF-0501, FP030RF-0502, FP030RF-0633, FP030RF-0925, FP030RF-0927, FP030RF-1504, FP030RF-1799, FP030RF-1801, FP030RF-1802	
不燃認定 ^{注2}	NM-2939		NM-2922	

注1：日本金属耐火協会 耐熱性試験報告書を当会加盟会員の認定書になります。当社は当委員会の賛助会員であるため認定書を発行することができませんので、認定が必要な場合は、ご使用する折版屋根材メーカーの正会員より入手してください。

注2：算定上、露ぎ目が入る場合があります。

性能

引張強さ試験方法			層間剥離強さ試験方法			
試験片(幅50mm)を左右に引っ張り、試験破断時の最大荷重を測定する。			試験片(幅50mm)に、長さ方向(長さ200mm)へ50mmの切り込みを入れ、両側を引っ張り、切断時の加重を測定する。			
						
項目	厚さ(mm)	5	8	項目	厚さ(mm)	
引張強さ (N/50mm)	5	60以上	80以上	層間はく離強さ (N/50mm)	5	8以上
項目	厚さ(mm)	5	8	項目	厚さ(mm)	
最大保水率 (%)	500以上	400以上	3以上			

2

3-3-3B. 試験方法（加熱・測定）

試験日：平成 28 年 1 月 28 日

試験場：（一財）建材試験センター西日本試験所

試験方法：試験は、（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」

の耐火性能試験・評価 方法に基づく耐火性能試験。要求耐火時間：480 分（加熱時間 120 分、試験時間 480 分以上）に基づき実施した。

温度測定位置は、加熱側各被覆材間および CLT パネル表面、各被覆材仕様下の H 型鋼のフランジ上下・ウェブ、ボルト表面（スタッドを想定）及び裏面温度を測定した。

試験は無載荷。

3-3-4B. 試験結果

【加熱時・脱炉時の状況】

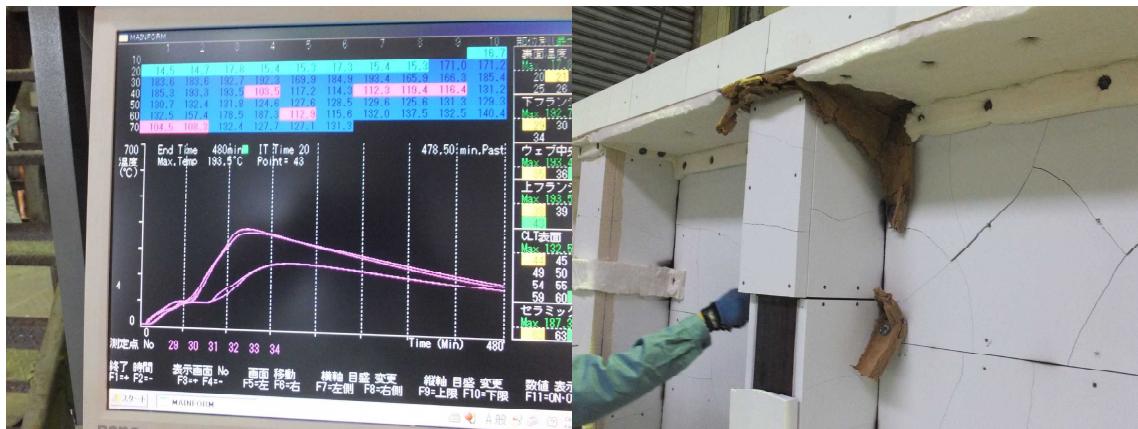


写真 3-4-4B-1 下フランジ温度

写真 3-4-4b-2 脱炉時のマキベエ仕様

温度上昇が高いのは、けい酸カルシウム板 35mm+マキベエ仕様。前回(9月 15 日)同様 400°C近くまで上がっている。右の写真で見て判るように、マキベエ 25mm は完全にはがれてしまいけい酸カルシウム板の収縮による目地の隙間も見られ直接 H 型鋼が高温にさらされたと思われる。

今後の課題としては、マキベエ（ロックウール系）は直接火炎に当てる事なく遮熱用途での検討が好ましいと思われた。

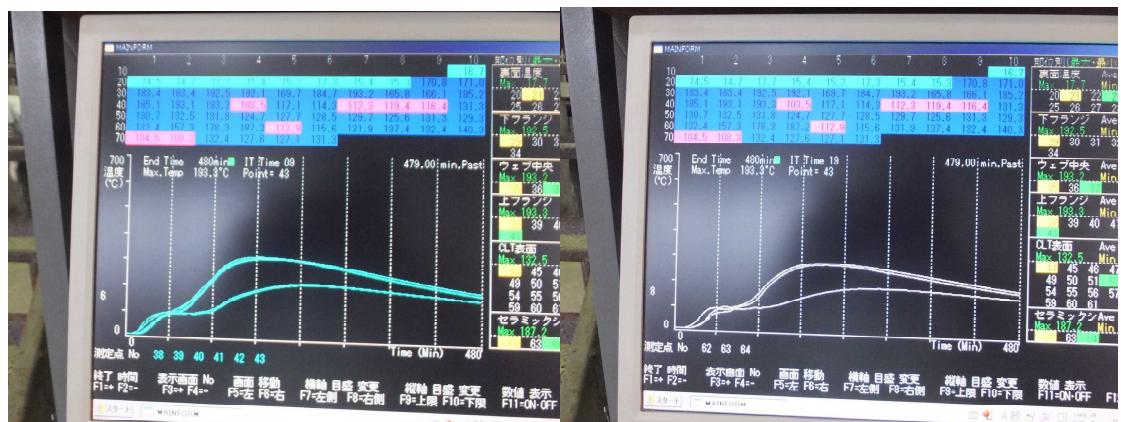


写真 3-4-4B-3 上フランジ温度

写真 3-4-4B-4 スーパーフェルトン-CLT 間温度

今回、上フランジと CLT との間に敷設した、不燃ガラス繊維断熱材にも期待はしていたが、結果として上写真の通り、少しの効果はあったと思われるが 20~30°C 程度のものであった。今後、こうした材料を検討構造検討と合わせて進めるが、もう少し厚さを変えた検討が必要と思われる。この確認は、小型炉での素材の検討で可能である。

【解体後の状況】

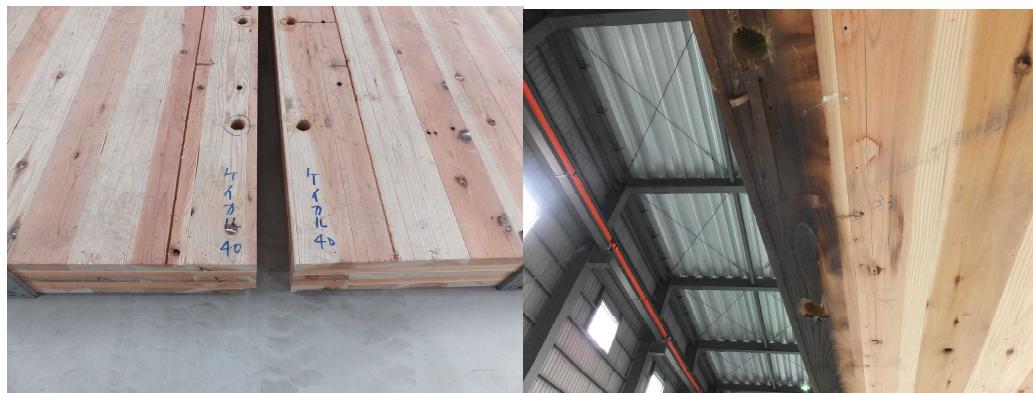


写真 3-3-3B-5 解体後の CLT 表面 けい酸カルシウム板 40mm+目地セラミックワール

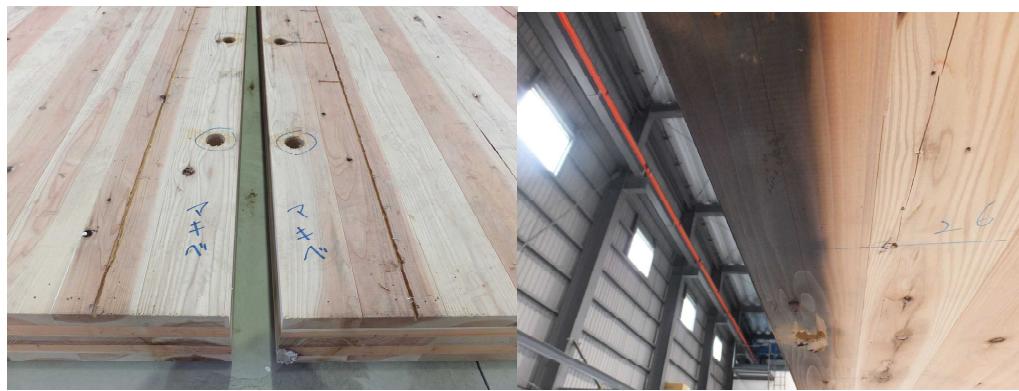


写真 3-3-3B-6 解体後の CLT 表面 けい酸カルシウム板 35mm+マキベエ 25mm



写真 3-3-3B-7 解体後の CLT 表面 けい酸カルシウム板 35mm+25mm

上写真より今までの確認では、鋼材被覆の最低条件がけい酸カルシウム板 35mm×2枚であったが、今回の試験で同 35mm+25mm でも同様の性能があることを確認した。より一層の合理化が、施工性・コストの削減につながるものと思われる。また、ロックワール系材料を外周被覆材とH型鋼の間に配置することは有効ではないかと今後の課題に設定する。

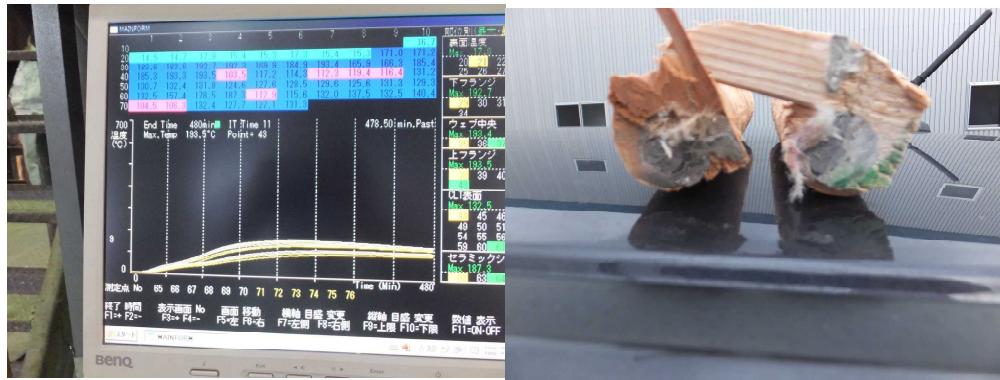


写真 3-3-3B-8 改良エポキシ樹脂の性能

(株)オーシカの協力により、200°Cほどの温度においても強度低下をおこさないエポキシ樹脂の検討を依頼している。今までの接合部加熱試験の結果よりボルト（スタッドボルトを想定）部の温度が 200°C近くまで上がっているためである。今回の試験においてもH型鋼上フランジが 300°C近くとなってもボルト軸の温度は 200°Cに達していない（上の写真右は、ボルト表面とエポキシ樹脂内に熱電対を配置している）。

解体後、ボルト部分を切断したところエポキシ樹脂は、非常に硬く強度低下を起こしていないと考えられた。今後はこのエポキシ樹脂の施工性の改良に期待したい。

また、当エポキシ樹脂の改良については、本報告書の別項にて報告されている。

3-4. CLT 床 2 時間耐火構造 性能評価試験 (表 3-0 No. 6, 7, 8, 9 試験体)

※鹿児島県補助事業で実施

3-4-1. 試験の目的と申請ステップ

これまでの確認試験を重ね CLT 床の 2 時間耐火性能の確認が出来たと思われる。しかし実際の建物に使用するためには、建築基準法における耐火構造としての認定を取得しなければならない。

そのためこれまで加熱試験に協力をいただいていた（一財）建材試験センターにて、耐火構造性能評価試験を受けることとし、申請手続きを進めた。申請ステップの概略を下図に示す。

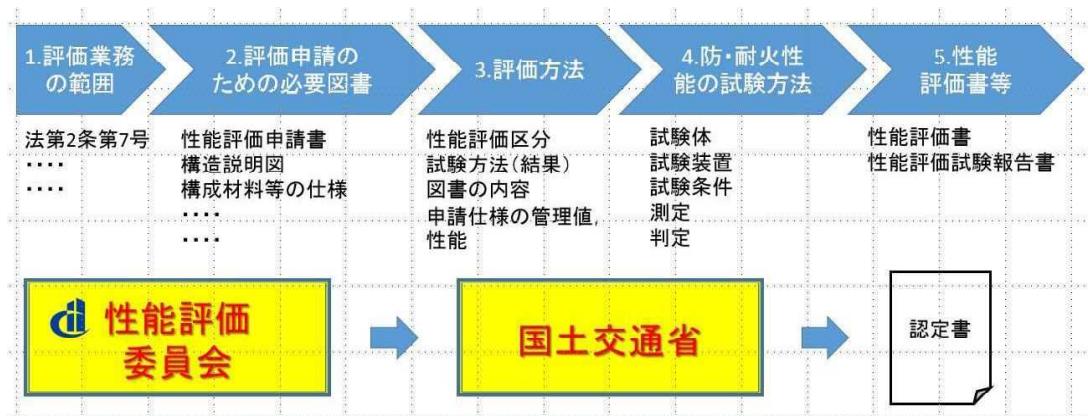


図 3-4-1-1 性能評価申請のステップ 3月3日成果報告会資料より

性能評価取得は、本事業内で進めることができない為、多額の負担費用が発生する。そのため「かごしま木づかい推進交付金事業」で進めたことは前述の通りであるが、使用する資材強化せっこうボード・けい酸カルシウム板・ALC のうち ALC 厚 36mm だけは製造メーカーが旭化成建材(株)に特定されたため同社と打合せの上、連名申請をおこなうこととした。

同社は、昨年度の事業からオブザーバーとしても協力をいただいており今後の検討（軽量化等）においても資材の改良へのご協力をいただけることとなっている。

申請作業は下記日程で進めた。

- ① 品質性能試験依頼書 平成 27 年 11 月 4 日提出
- ② 試験体製作管理依頼書 平成 27 年 11 月 4 日提出 性能評価試験については、評価機関管理者による試験体製作立会・確認が必要となる。
- ③ 上面加熱試験
 - ・試験体製作立会 平成 27 年 12 月 2 日 (株)ソーケン／草加市
 - ・試験実施 平成 27 年 12 月 8 日・11 日 (一財)建材試験センター中央試験所
- ④ 下面加熱試験
 - ・試験体製作立会 平成 28 年 1 月 18 日・19 日 (株)オーテック／山陽小野田市
 - ・試験実施 平成 28 年 1 月 25 日・27 日 (一財)建材試験センター西日本試験所
- ⑤ 平成 28 年 2 月 9 日 性能評価委員会で合格の承認
- ⑥ 平成 28 年 3 月 国土交通大臣申請提出

3-4-2 試験体

性能評価試験に向け、今までの性能確認試験の結果に基づき、平成 27 年 10 月 31 日福岡大学にて開催した WG において検討を行い、下記仕様を決定した。

- ・上面（床）側 強化セッコウボード 15mm×2枚+ALC36mm
 - ・下面（天井）側 強化セッコウボード 15mm×3枚+けい酸カルシウム板 15mm

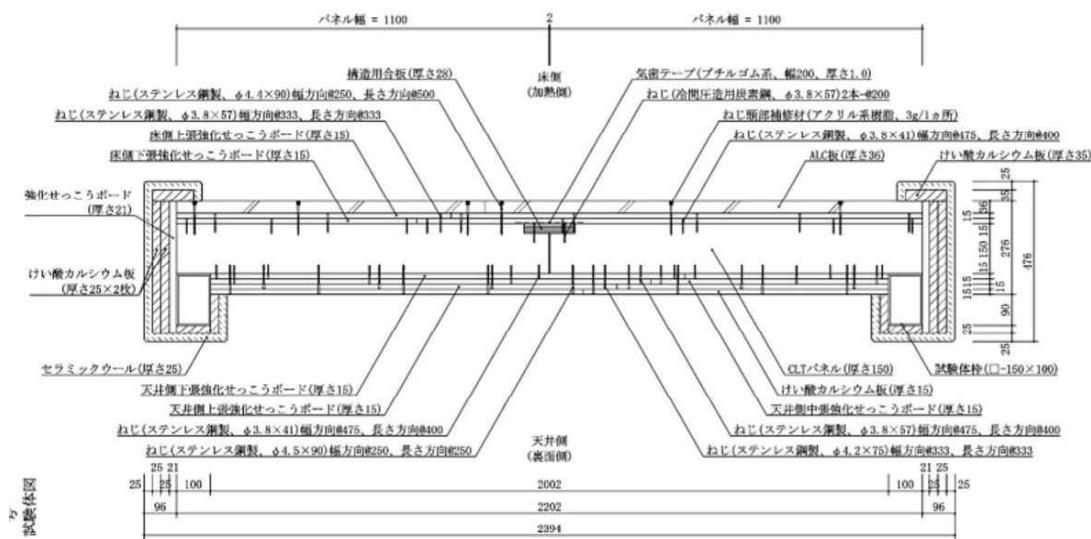


図 3-4-2-1 性能評価 上面加熱試験体 A,B 2 体共通

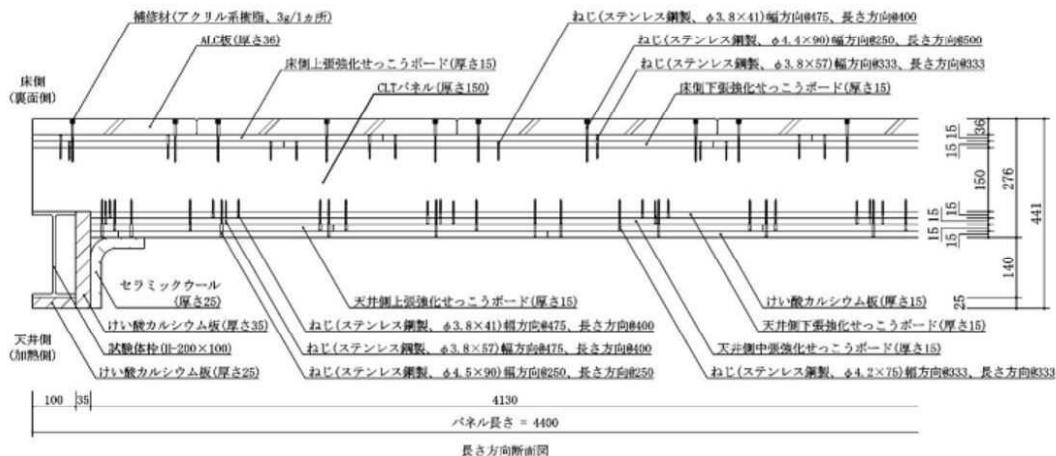


図 3-4-2-2 性能評価 下面加熱試験体 A,B 2 体共通

【試験体組立立会】

性能評価試験においては、試験体各材料の含水率・比重の測定はもとより、配置間隔、使用するビスが申請図通り組み立てられているかの立会確認が、評価機関によって実施される。



3-4-3. 試験方法（加熱・測定）と判定結果

試験日、試験場は前述の通り

試験方法：試験は（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」の耐火性能試験・評価 方法に基づく耐火性能試験。要求耐火時間：480分（加熱時間120分、試験時間480分以上）に基づき実施した。

試験状況、判定内容と結果は以下の通り。



写真 3-4-3-1 性能評価 上面試験体設置状況と合格結果



写真 3-4-3-2 性能評価 下面試験体設置状況と合格結果

【判定内容・結果】

・性能評価 上面加熱試験 判定結果

判定項目	A1	A2	備考
非損傷性			
・10秒を超えて継続する火炎の噴出	なし	なし	
・10秒を超えて継続する発炎	なし	なし	
・火炎が通る亀裂等の損傷	なし	なし	
遮熱性			
・裏面温度の上昇: 平均140K、最高180K	平均: 21°C	平均: 23°C	A1初期温度: 20°C
	最高: 21°C	最高: 22°C	A2初期温度: 17°C
荷重支持部材(CLT)の炭化			
	なし	なし	

図 3-4-3-1 上面加熱 性能評価試験結果 3月3日 成果報告書資料より

・性能評価 下面加熱試験 判定結果

試験体記号		A1	A2
裏面温度	初期温度	0°C	6°C
	最高温度	8°C	16°C
	平均温度	7°C	14°C
最大たわみ量		18mm [規定値308mm]	16mm [規定値308mm]
最大たわみ速度		0.8mm/分 [規定値13.7mm/分]	0.8mm/分 [規定値13.7mm/分]
CLT表面温度	最高温度	122°C	135°C
	平均温度	108°C	116°C
試験後のCLT表面状態		変色・炭化は認められない	変色・炭化は認められない

図 3-4-3-2 下面加熱 性能評価試験結果 3月3日 成果報告書資料より

上表の通り、上下面各2体共 試験において合格となった

3-5. まとめ

平成 26 年度・27 年度の林野庁委託事業において各種確認試験を実施し CLT 床 2 時間耐火構造の性能評価に合格した。今後、国土交通大臣認定を申請し認定取得後には、いよいよ実設計においての検討が可能となる。

平成 3 月 3 日（木）に開催された成果報告会において稻田委員長が、今年度事業の総括としてまとめられた中の下記（抜粋）が、この項で報告した内容のまとめである。

総括を抜粋

「昨年度の林野庁委託事業の成果報告会で発表できたのは、

- ① 2 時間の耐火性能を有する仕様が確認できた
- ② 確認できた仕様で設計できるようになるであろう。

と推定の話であったが、今年度の事業を通じて、まだまだ課題は有ると思われるが

- ① CLT 床の 2 時間耐火構造の性能評価を取得できた。（申請手続き中）
- ② 上記大臣認定取得後には、実設計への採用が可能となった。」

実際の設計においては現状での対応も可能であるが、合理的、経済的かつ施工性の良い仕様の検討には、まだ課題は多いと考える。このシステムが、広く鋼構造ビルに採用されるためには、こうした各部位との納まりディティールの整備、施工方法の合理化やより軽い耐火仕様などコストダウンに向けた検討の継続が必要と考えられる。

第4章 エポキシ樹脂の性能把握

4-1. 試験の目的

「鋼構造オフィスビル床の CLT 化」における、鉄骨スタッドと CLT 床の接合部分（クリアランス部分）に使用する充填接着剤として、セメント系グラウト剤より GIR 用エポキシ樹脂系充填接着剤の方が高い強度が得られる事を昨年の試験で確認されたが、火災時の影響を考慮すれば充填接着剤自体の耐熱性が必要である。市販のエポキシ系充填接着剤の耐熱温度（一般的に 100°C 以下）では、実用上に不安が残る為、前回使用したエポキシ樹脂系充填接着剤の耐熱性の改良をメーカーへ依頼し、以下の通り改良タイプが開発された。

4-2 耐熱性の改良試験

4-2-1 目標性能

- ① 硬化時の収縮が殆どない事。
 - ② 木材の膨張収縮影響の大きい水分を含まない事。
 - ③ 常温で硬化する事。
 - ④ 注入作業が出来る粘度に調整出来る事。
 - ⑤ 従来のエポキシ樹脂系充填接着剤に比べ耐熱性が高い事。
- (耐熱性は短期で圧縮物性の低下が少ない事、木材の耐熱性も基準に検討)

4-2-2 改良試作タイプの性状

(試作品) TE-257L (2 液常温硬化エポキシ樹脂系)

オーシカダイン TE-243L2 (2 液常温硬化エポキシ樹脂系)

表-1 (試作品) TE-257L、オーシカダイン TE-243L2

項目	(試作品) TE-257L		オーシカダイン TE-243L2		備考
	主剤	硬化剤	主剤	硬化剤	
粘度	40	40	30	45	
チキソ性	1.1	3.0	5.0	3.8	BH 型粘度計
比重	1.38	1.41	1.42	1.48	シリジン法
配合比 主剤/硬化剤	100/50 (容量比)		100/50 (容量比)		-

4-3. 試験方法

4-3-1 圧縮試験

試験方法：塩ビパイプ内で硬化させた充填接着剤を円柱に切り出し、平滑面に対して低速で圧縮し、その時の変位と応力を測定し圧縮物性を評価した。

雰囲気：23°C、80°C、100°C

圧縮速度：5.0mm/min

試験サイズ：13mm φ × 25mm 高さ

4-3-2 クリープ試験

試験方法：ベイマツは 30×23×H25mm、充填接着剤は 13mm φ × H25mm のサイズにカット。

ベイマツは 30×23mm の面に対し垂直に圧縮。木材繊維に対しては接線方向。充填接着剤は 13mm φ の平滑面に対して垂直に圧縮。

200°C 雰囲気の恒温槽内に試験片を設置し、5.0mm/min の荷重速度で圧縮。

荷重が 5MPa になった時点で定圧の荷重がかかるように調整しながら、60 秒毎の変形量、荷重を測定した。

4-4. 試験結果

4-4-1 圧縮試験

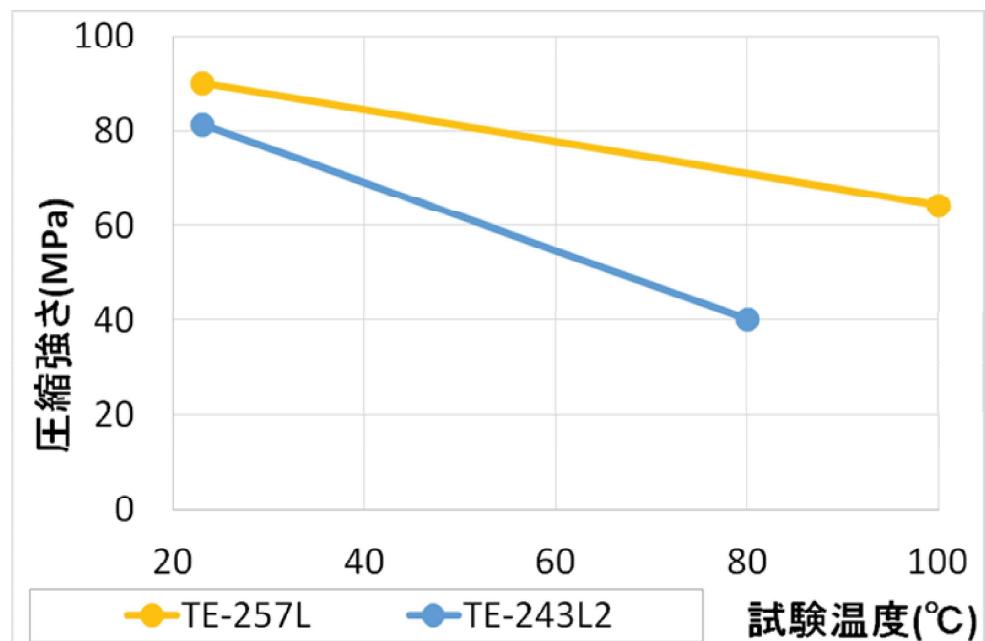


図-1 圧縮試験結果（最大圧縮強さ）

取得データがそれぞれの充填剤で異なりますが、（試作品）TE-257L は 100°Cにおいても圧縮物性の低下が少ない事がわかります。

4-4-2 クリープ試験

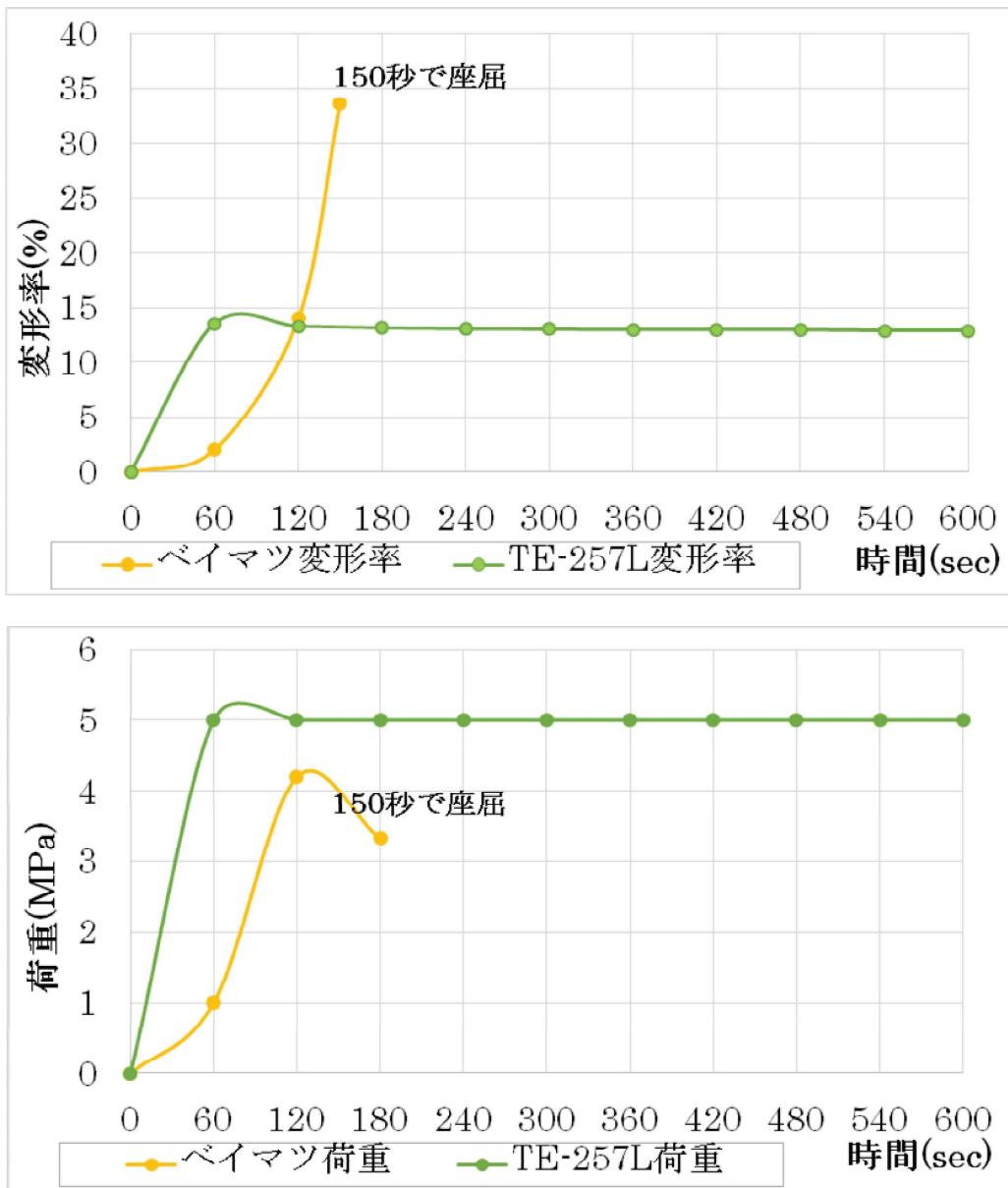


図-2 200°Cクリープ試験結果（上図：変形率、下図：荷重）



写真-1 試験後のTE-257L



写真-2 試験後のベイマツ

200°C 霧囲気下、5MPa の荷重でのクリープ試験では、ベイマツ材は 5MPa の荷重に至る前に座屈していましたが、TE-257L は同条件で一定変形を維持しており高い耐熱性を示しています。

4-5. 考察

今回メーカーから提出された(試作品)TE-257L は高温時の圧縮物性に優れ、200°C 霧囲気での圧縮クリープ試験において、木材(ベイマツ)に比べて高い物性を維持する。200°C クリープ試験では、5MPa の荷重を掛けても変形率 10.8% を保持し、ベイマツよりも高い性能が得られた。

追加試験として、鉄骨スタッド×CLT のクリアランス充填部分の燃焼試験(2時間耐火)を実施した。

4-6. 追加試験

4-6-1 : 試験の目的

2 時間耐火試験の試験体の接合部に上記の耐熱タイプのエポキシ樹脂系充填接着剤（試作品）TE-257L を使用し、鉄骨部分の温度測定及び、充填部分の挙動を確認する。

4-6-2 : 試験体の仕様

12mm φ スタット、20mm φ ボルト穴、32ヶ所（1ヶ所当たり 42g 注入）

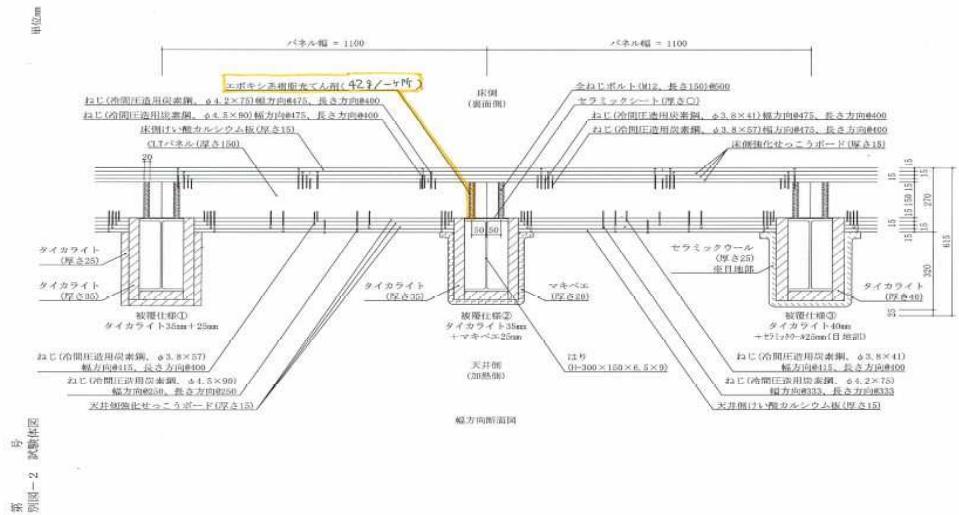


図-4 2時間耐火試験体詳細（断面）

第
別図-4 試験体図

単位:mm

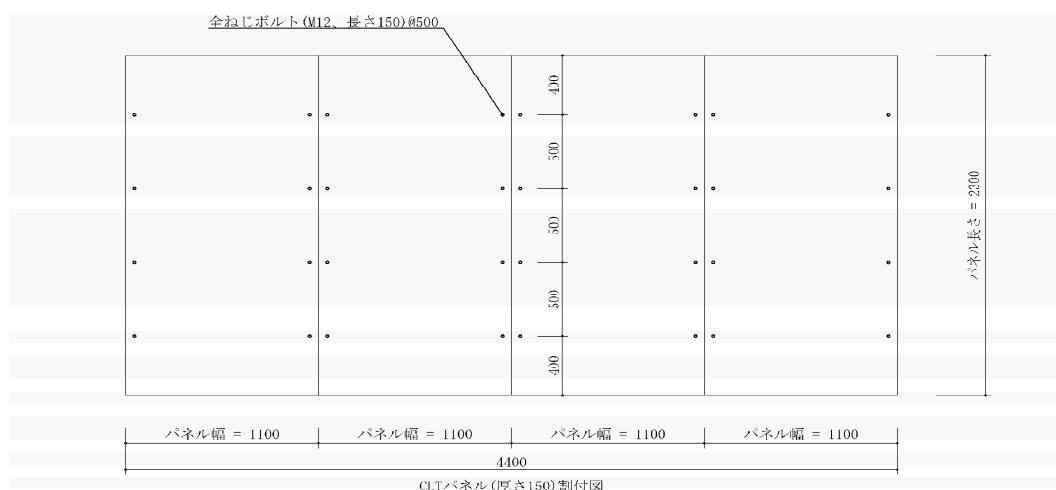


図-5 2時間耐火試験体詳細（平面：鉄骨スタット 32ヶ所）

使用充填接着剤

(試作品) TE-257L (メーカー: 株式会社オーシカ)

充填方法

専用ガンにて注入



写真・3 注入作業



写真・4 燃焼試験後の注入部分

4-6-3 : 結果及び考察

鉄骨スタッドと CLT の接合部分は燃焼試験後も亀裂、ひび割れ、軟化など性状劣化は観察されなかった。鉄骨部分は強度に接着され、破壊断面は写真の通り。燃焼試験時の鉄骨スタッド部分の温度は、最高 154.5°C が確認された。200°C 以下である為に、今回の試験でエポキシ樹脂系充填接着剤は充分に使用に耐え得るものと判断する。実際の施工に向けて、施工の省力化、コストの低減化などが今後の課題と考える。

第5章 CLTとスタッドの縁方向の接合強度の把握

5-1. 試験の目的

平成26年度事業では、CLTパネルと鉄骨フランジ間の接合方法として、パネルに予め孔を設け、エポキシを充填することによりスタッドを介して応力を伝達させる方式を提案した。そこで、図1に示すような単調押し抜き実験を実施し、円滑にせん断力が伝達されることを確認した。平成27年度事業では、前年度事業にて未検討であったスタッドの縁方向の接合強度について検討する。ここで、縁距離を図2に示すようにスタッドの芯からCLTパネルの最外縁までの距離として定義する。本章ではスタッドの位置、CLTの貼り合わせの向き、充填剤を実験変数にとり、縁方向の接合強度について単調押し抜き載荷を実施し検討した。

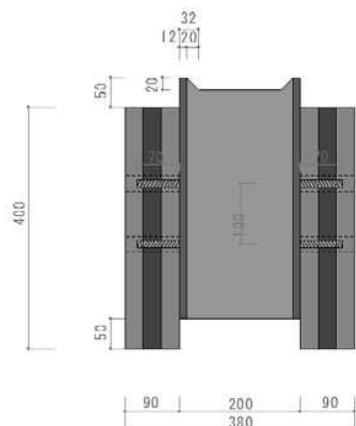


図1 前年度の押し抜き試験体

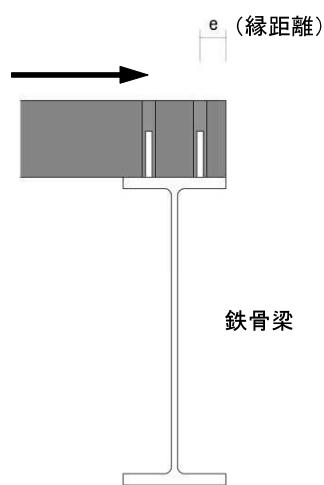
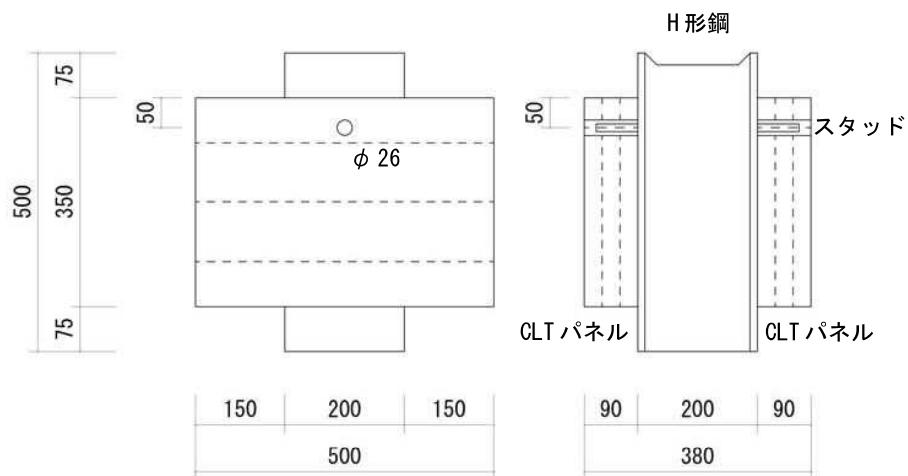


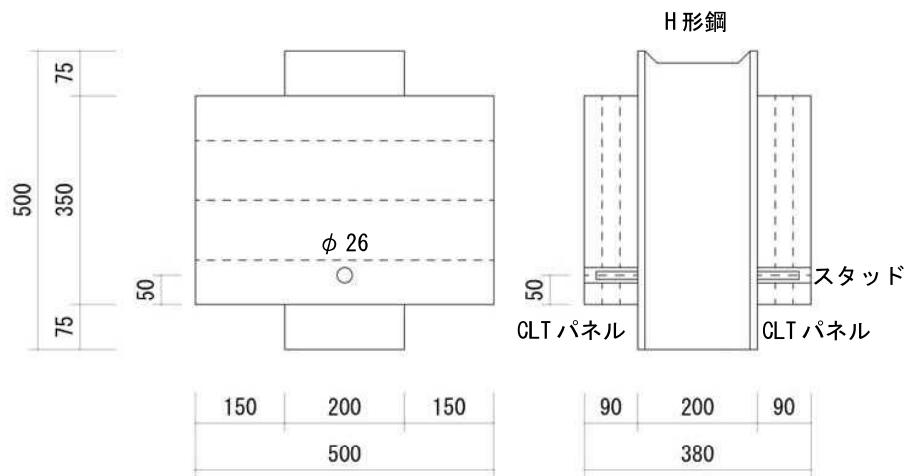
図2 縁距離の定義

5-2. 試験体の仕様

試験体は、CLTパネル2枚とH形鋼から構成される。試験体詳細を図3に示す。CLTパネルサイズは、 $350 \times 500 \times 90\text{mm}$ の3層3プライとし、H形鋼はSS400材でH-200x200x8x12を用いた。なお、H形鋼の載荷面は、各種合成構造設計指針・同解説に従い、ウェブ部分を加工している。スタッドは平成26年度同様、直径13mm、長さ70mmを使用し、CLTパネルには所定の位置に直径26mmの孔を設けた。製作は、スタッドが溶接されたH形鋼にCLTパネルを設置し、充填剤を流し込み、H形鋼とCLTパネルを一体化した。



(a) スタッド位置が上にある場合



(b) スタッド位置が下にある場合

図3 押し抜き試験体図

試験体一覧を表1に示す。実験変数は、スタッド位置、充填剤、CLTラミナの貼り合わせの向きである。スタッド位置は、上下位置ともに縁距離が50mmとなるようにしている。ここで、縁距離を50mmとした理由を以下に記す。スタッド二列方式の場合、それぞれのスタッドはウェブ芯からフランジ端までの中心に打つことを想定している。実際の構造物で使用される鉄骨梁フランジ幅は200mm以上であることが予想されるため、縁空き距離eは50mmが最小値となる。次いで、充填剤には、エポキシ樹脂とグラウト材を選定し、ラミナは貼り合わせの異なる二タイプ（図4参照）を用意した。

表1 試験体一覧

番号	充填剤	スタッド位置	貼り合わせ
G-Ba	グラウト	下	a
E-Ba1	エポキシ	下	a
E-Ba2	エポキシ	下	a
E-Ba3	エポキシ	下	a
G-Ta	グラウト	上	a
E-Ta	エポキシ	上	a
G-Bb	グラウト	下	b
E-Bb1	エポキシ	下	b
E-Bb2	エポキシ	下	b
E-Bb3	エポキシ	下	b
G-Tb	グラウト	上	b
E-Tb	エポキシ	上	b

試験体名凡例は、E：エポキシ、G：グラウト、B：スタッド位置下、T：スタッド位置上、a：ラミナの貼り合わせaタイプ、b：ラミナの貼り合わせbタイプである。また、1～3の数字が付いた試験体は同一条件の試験体である。

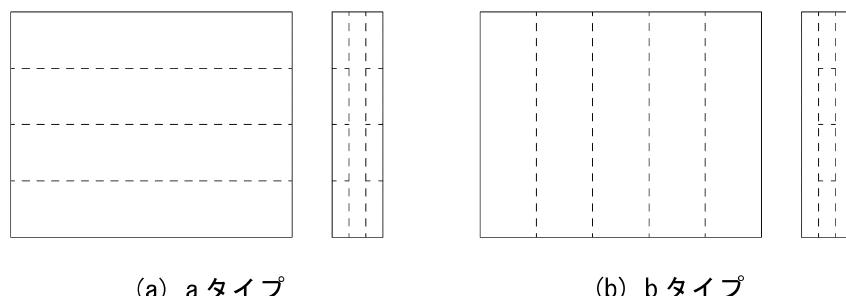


図4 CLT ラミナの貼り合わせパターン

5-3. 試験の方法

載荷方法を図5に示す。載荷は500t圧縮試験機により、鉄骨フランジの上にピンを設置し、上方向から単調に荷重を加えた。鉄骨フランジに荷重を与える、スタッドとCLTパネル間でせん断力が生じる仕組みとしている。変形は、鉄骨とCLTパネルの相対ずれ変形(4箇所)と全体変形(4箇所)を計測した。



図5 載荷方法

5-4. 試験の結果

実験結果を図6、図7に示す。縦軸は荷重、横軸には鉄骨フランジとCLTパネル間の相対ずれ変形をとっており、西側および東側CLTパネルの平均値である。E-Ba1は計測に不備があり、東側のみの値を示している。図中の▼はずれ変位が大きく生じ始める点を示しており、そのときの荷重と変位の数値を表2に示す。また、実験後の試験体写真を図8に示す。

図6よりずれ変位3mm程度からずれが大きく生じ始めていることが分かり、その後、変位計の測定限界である40mm程度で載荷を終了した。一条件につき3体試験体を製作したE-BaシリーズとE-Bbシリーズは、若干のばらつきはあるが、概ね再現性が取れていることがわかる。

5-5. 考察

図7に各試験体の比較を示す。総じて、充填剤にはグラウト材よりエポキシ系接着剤を使用した方が大きな強度が発揮されていることが分かる。実験後の充填剤の様子を観察すると、エポキシは上下に割れているのに対し、グラウト材は圧壊し粉々に砕けている様子が確認された。

スタッド位置の違いについて考察すると、上部に設けた方がずれ変位が大きくときの荷重および最大強度が大きくなっている。下部にスタッドを設けると▼印以降荷重が低下し続け、ラミナが押し出されるようにして変形が進行するのに対し、上部にあると荷重が上昇していることがわかる。また、すべての試験体において、スタッドの最終破壊性状は大きく曲がっていた。

貼り合わせのパターンでは、aタイプではラミナを割裂する方向に力が生じ、bタイプでは押し出される方向に力が生じるようになる。荷重においてE-BaとE-Bbを比較すると、E-Baタイプの方が大きく発現されるが、E-TaとE-Tbを比較すると、E-Tbの方が大きい。試験体数が十分でないために一概には云えないが、スタッドの位置や充填剤の種類によっても影響されるものと考えられる。

以上より、▼位置で最も荷重の小さいのはE-Bb3の35.6kNであり、これを一本当たりに換算すると17.8kNとなる。実際の設計で使用する際には安全率などで本実験で得られたせん断耐力を低減させる必要があるものと考えられる。また、本実験は縮小試験体であり、かつ限定期的な要素試験であるため、実験データを十分に蓄積させたうえで、設計に反映することが重要である。

表2 主要な実験値一覧

番号	▼位置の荷重(kN)	▼位置の変位(kN)	最大荷重(mm)	最大荷重発揮時の変形量(mm)
G-Ba	42.4	2.72	43.2	9.77
E-Ba1	51.2	3.55	51.2	3.55
E-Ba2	44.9	2.64	45.6	3.46
E-Ba3	52.9	2.61	52.9	2.61
G-Ta	40.0	2.33	55.1	21.2
E-Ta	42.5	0.98	71.0	38.1
G-Bb	36.4	1.38	36.4	1.38
E-Bb1	38.4	1.68	38.4	1.68
E-Bb2	38.3	0.89	38.3	0.89
E-Bb3	35.6	1.60	35.6	1.60
G-Tb	55.6	1.42	58.4	21.3
E-Tb	69.4	1.72	69.4	1.72

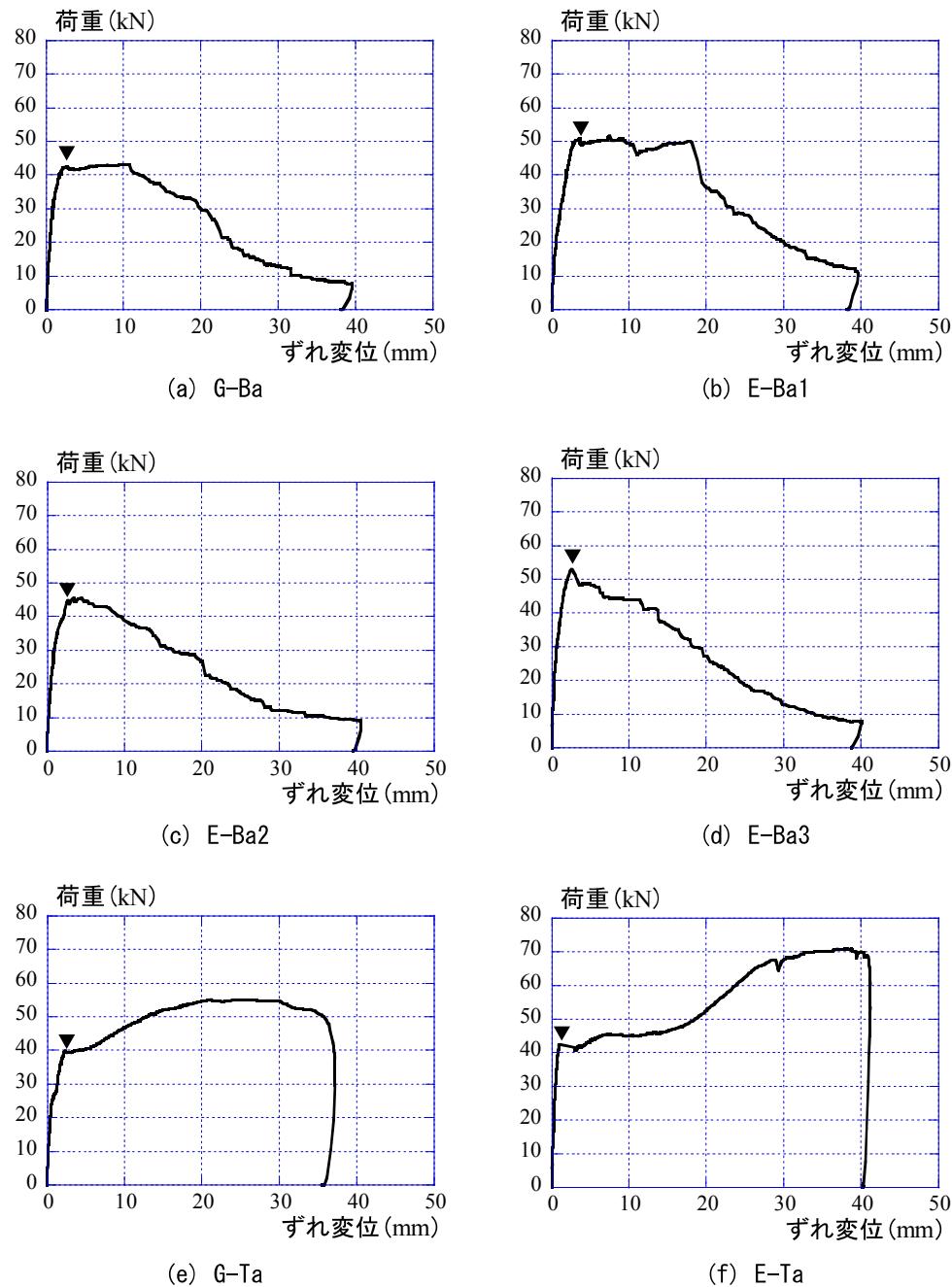


図6 荷重-変形関係（つづく）

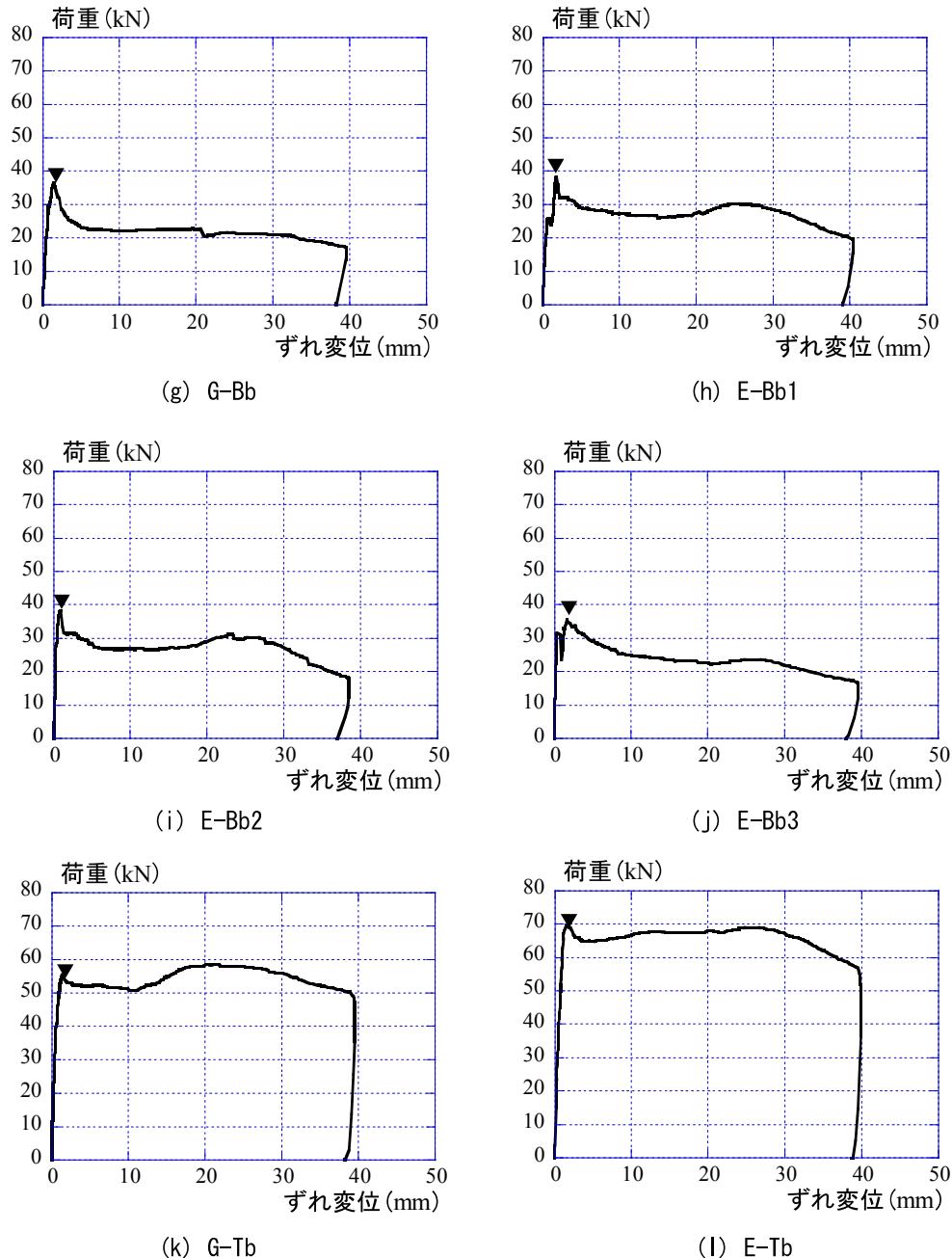
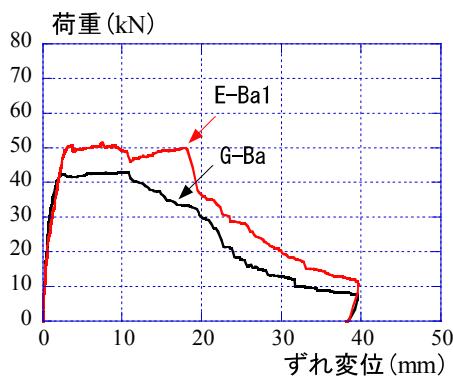
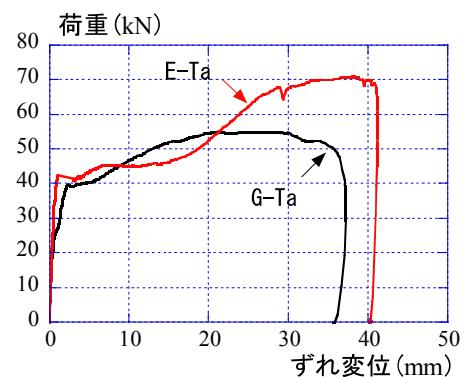


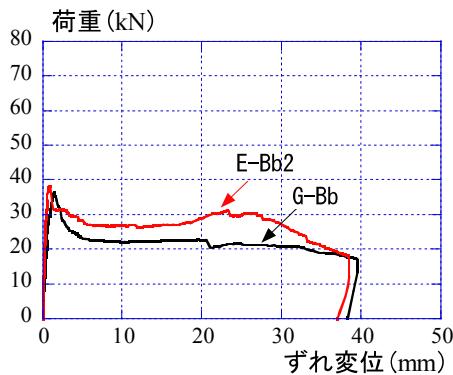
図6 荷重-変形関係（つづき）



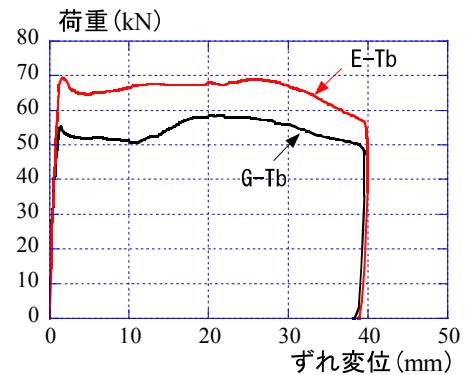
(a) G-Ba と E-Ba1 の比較



(b) G-Ta と E-Ta の比較



(c) G-Bb と E-Bb2 の比較



(d) G-Tb と E-Tb の比較

図 7 荷重－変形関係の比較



(a) スタッド位置下



(b) スタッド位置上

図 8 実験後の鉄骨



(a-1) 西側



(a-2) 東側

(a) G-Ba



(b-1) 西側



(b-2) 東側

(b) E-Ba1



(c-1) 西側



(c-2) 東側

(c) E-Ba2



(d-1) 西側



(d-2) 東側

(d) E-Ba3



(e-1) 西側



(e-2) 東側

(e) G-Ta



(f-1) 西側



(f-2) 東側

(f) E-Ta

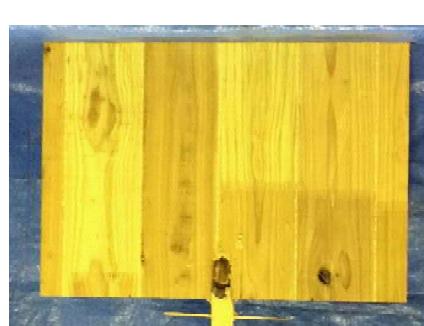


(g-1) 西側



(g-2) 東側

(g) G-Bb



(h-1) 西側



(h-2) 東側

(h) E-Bb1



(i-1) 西側



(i-2) 東側

(i) E-Bb2



(j-1) 西側



(j-2) 東側

(j) E-Bb3

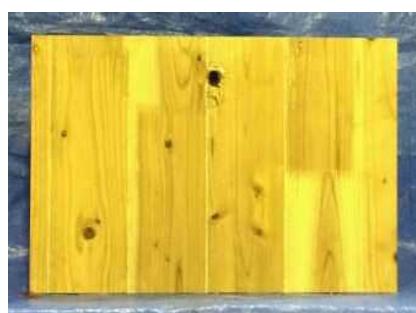


(k-1) 西側



(k-2) 東側

(k) G-Tb



(l-1) 西側



(l-2) 東側

(l) E-Tb

第6章 S造フレーム+CLT床の構面せん断性能

6-1. 目的

スタッド接合部単体の性能から床構面のせん断性能を推定するため、様々な条件でのスタッド接合部の繰り返し加力試験を実施し、木質構造の面材壁、面材床のせん断性能推定に使用される手法を応用して、その適用の可否、精度を検証する。

6-1-1. スタッド接合部 試験体

図6-1に各スタッド試験体の想定する位置、表6-1に試験体形状及び寸法を示す。

主材に用いたCLTパネルは、Mx60 5層5プライ 150mm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。側材にはφ13スタッドを溶接した平鋼（FB-16×300）を用いた。

主材と側材の接合は、平鋼に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）を充填し接着を行った。

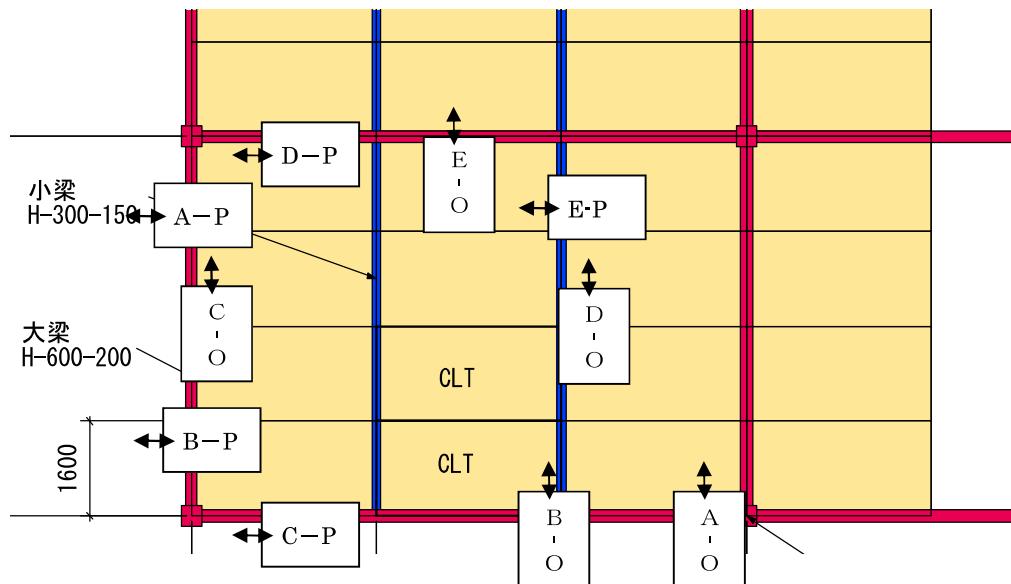
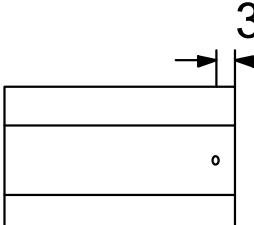
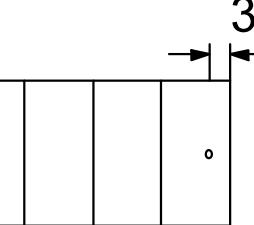
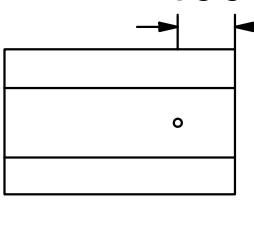
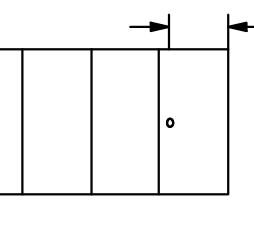
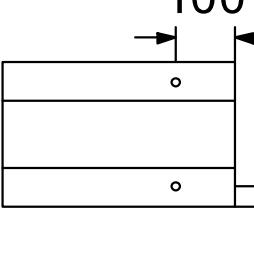
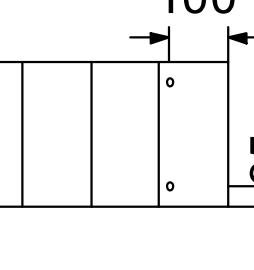
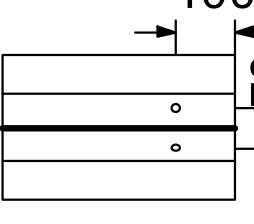
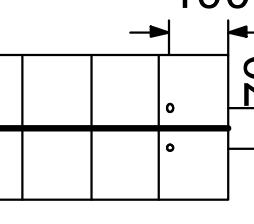
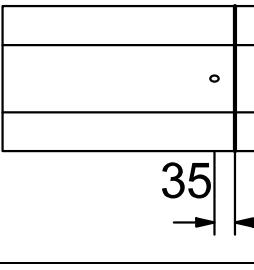
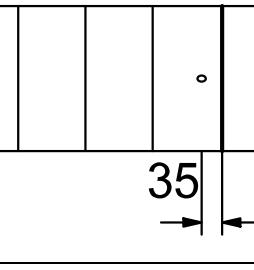


図6-1 スタッド試験体の想定位置

表 6-1 試験体形状及び寸法

	表層纖維平行加力 <P>	表層纖維直交加力 <O>
A		
B		
C		
D		
E		

単位 : mm

6-1-2. 加力方法

図6-2にスタッド接合部試験に用いた加力装置を示す。

加力は、350kN 複動油圧ジャッキ ((株) 理研精機 : D3.5-300) により、正負交番繰り返し加力とし、同一履歴の繰返し回数は1回および3回の2通りの方法で行った。目標変位は ISO16670²⁾ に準じ、一方向加力試験結果から降伏変位を算出し、降伏変位の 25%、50%、75%、100%、200%、400%、600%、800%、1200%とし、その後正加力側に引き切りとした。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。また、試験体の浮き上がりを抑制するためタイロッドを用いた。

荷重の測定にはロードセル（東京測器研究所 : TCLP-30B）、変位はストレインゲージ式変位計（東京測器研究所 : CDP-100）を用いて主材と側材の相対変位を計測し測定値として用いた。

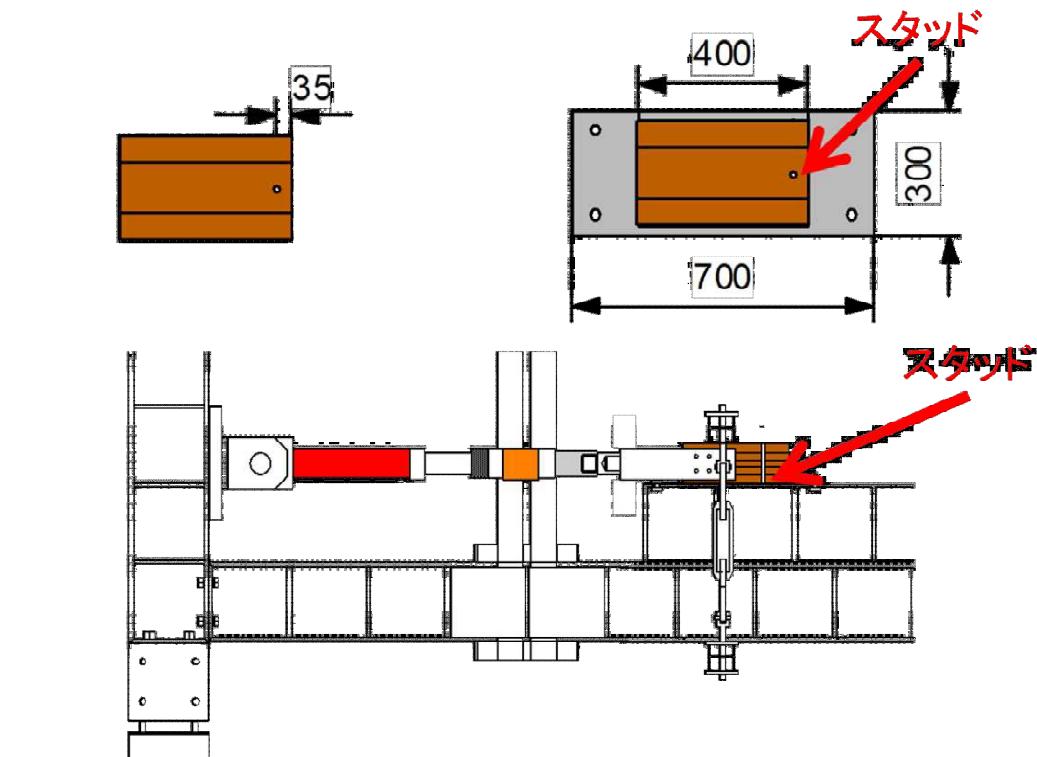
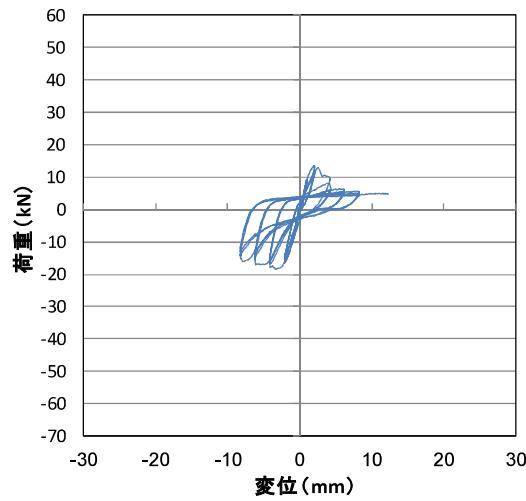


図6-2 加力装置

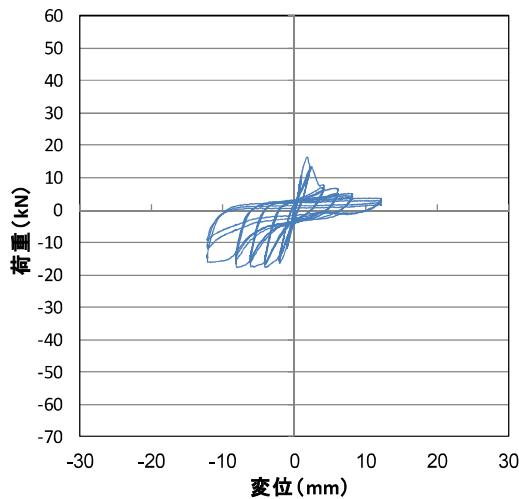
6-2. 試験結果

[A-O シリーズ]

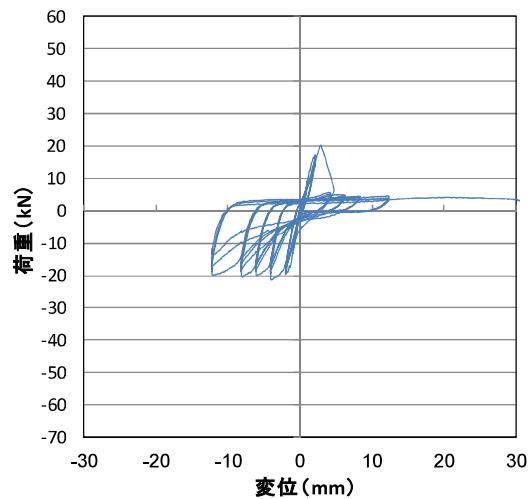
荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。



(A-O-2)



(A-O-3)



(A-O-4)

図 6-3 荷重-変位曲線



写真 6－1 実験終了時全景



写真 6－2 端抜け破壊

[A-P シリーズ]

サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。

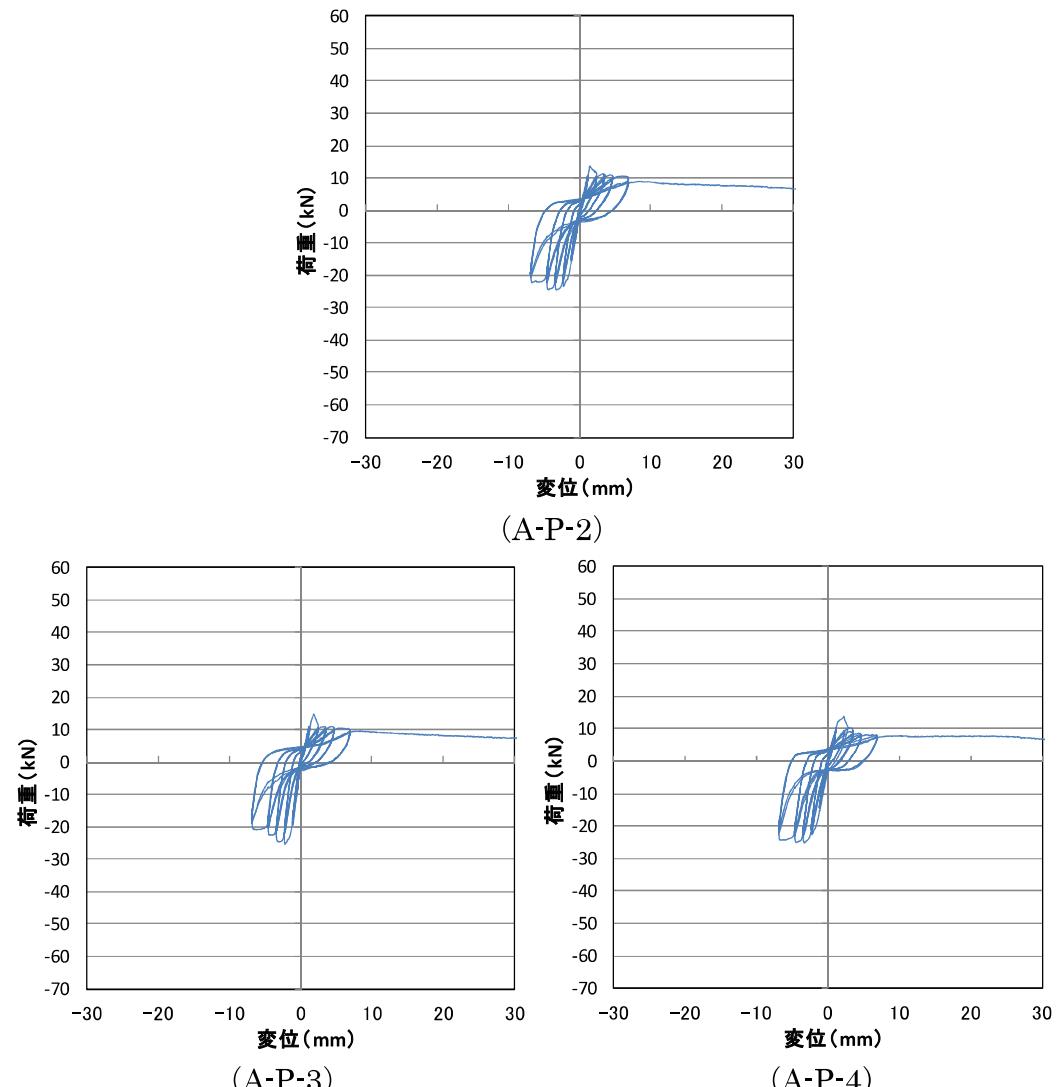


図 6-4 荷重-変位曲線



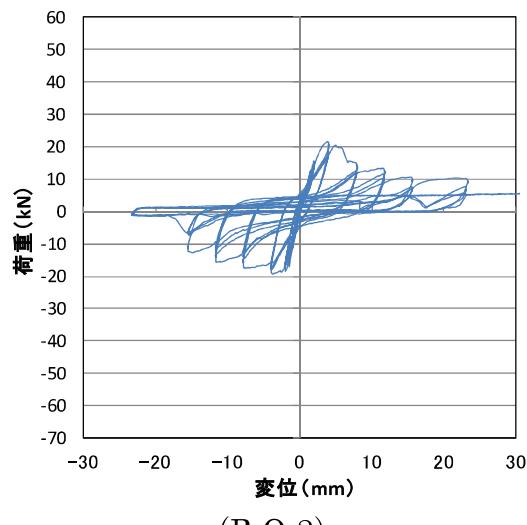
写真 6－3 実験終了時全景



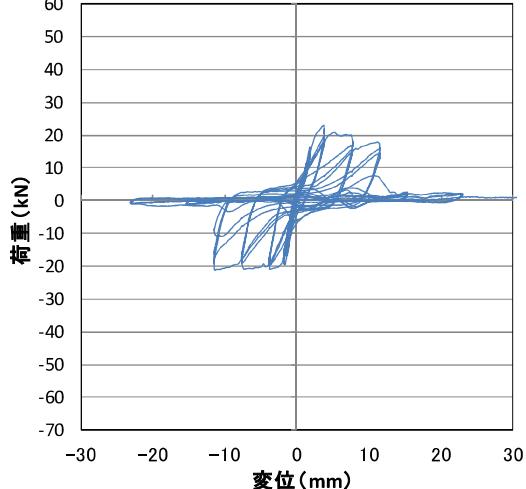
写真 6－4 端抜け破壊

[B-O シリーズ]

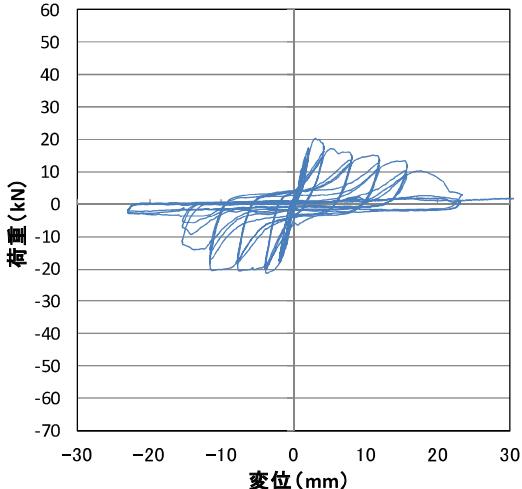
サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッフの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。



(B-O-2)



(B-O-3)



(B-O-4)

図 6-5 荷重-変位曲線



写真 6－5 端抜け破壊



写真 6－6 スタッドの破断

[B-P シリーズ]

サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。

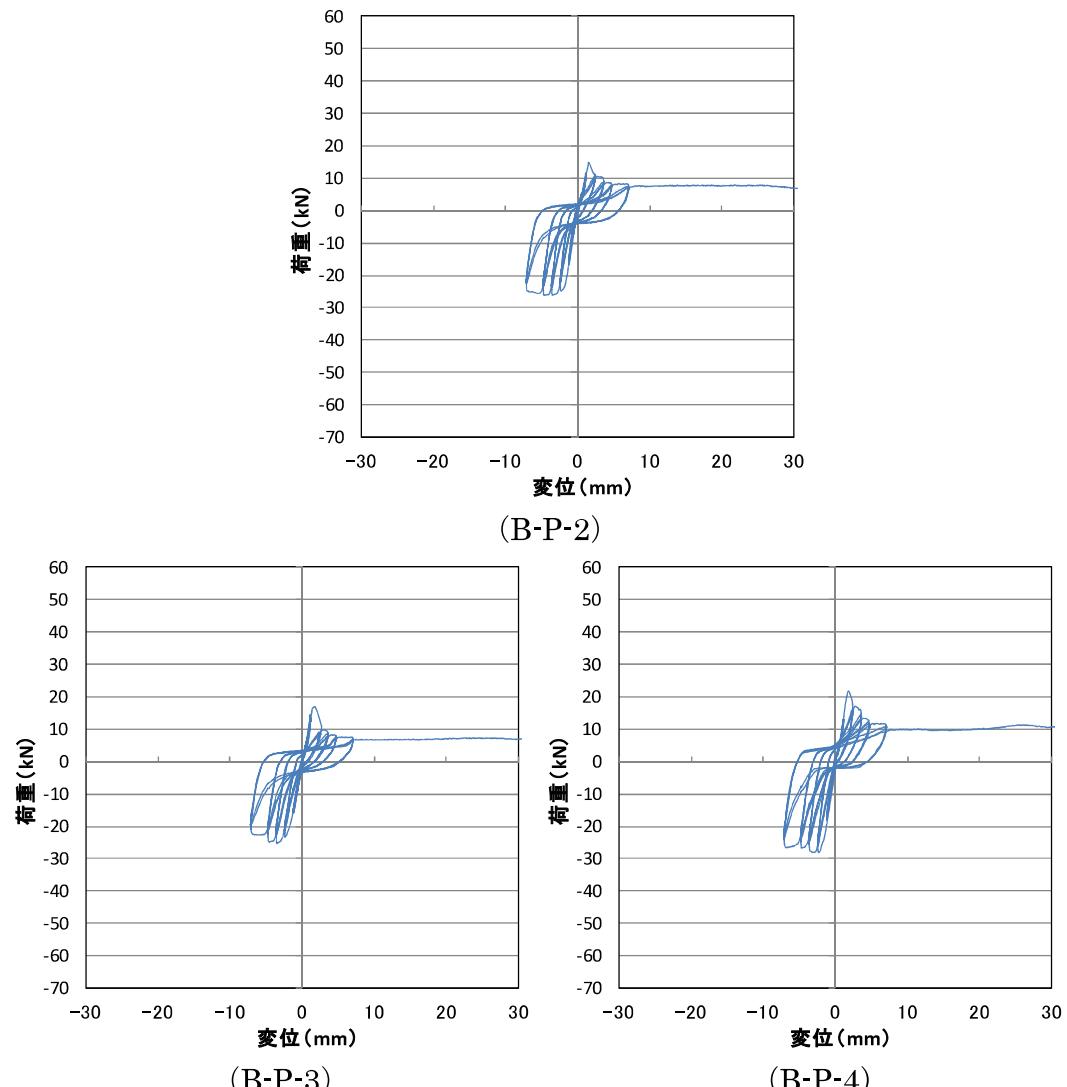


図 6-6 荷重-変位曲線



写真 6－7 実験終了時



写真 6－8 端抜け破壊

[C-O シリーズ]

サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッフの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。

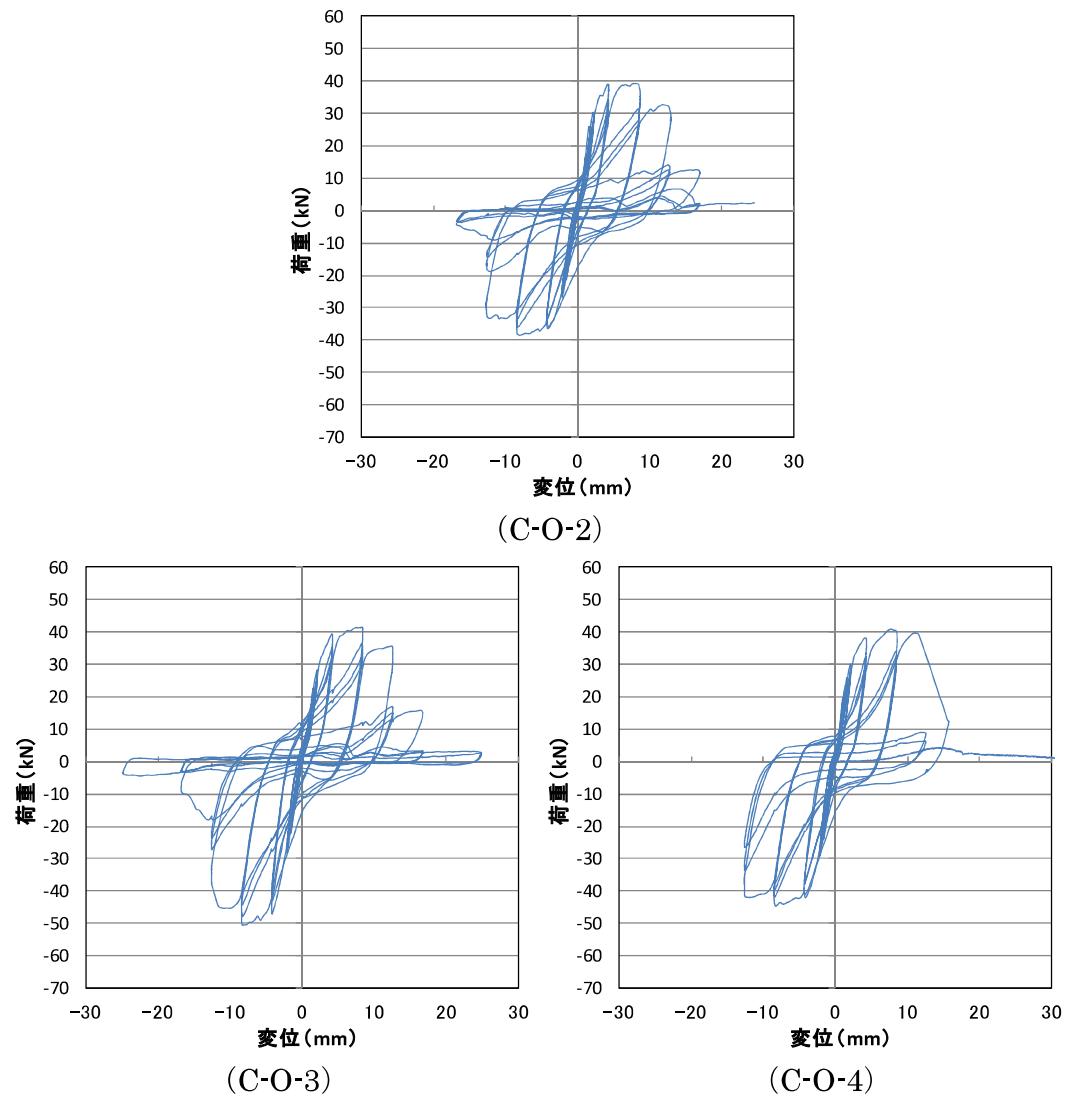


図 6-7 荷重-変位曲線



写真 6－9 端抜け破壊



写真 6－10 スタッドの破断

[C-P シリーズ]

サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッフの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。

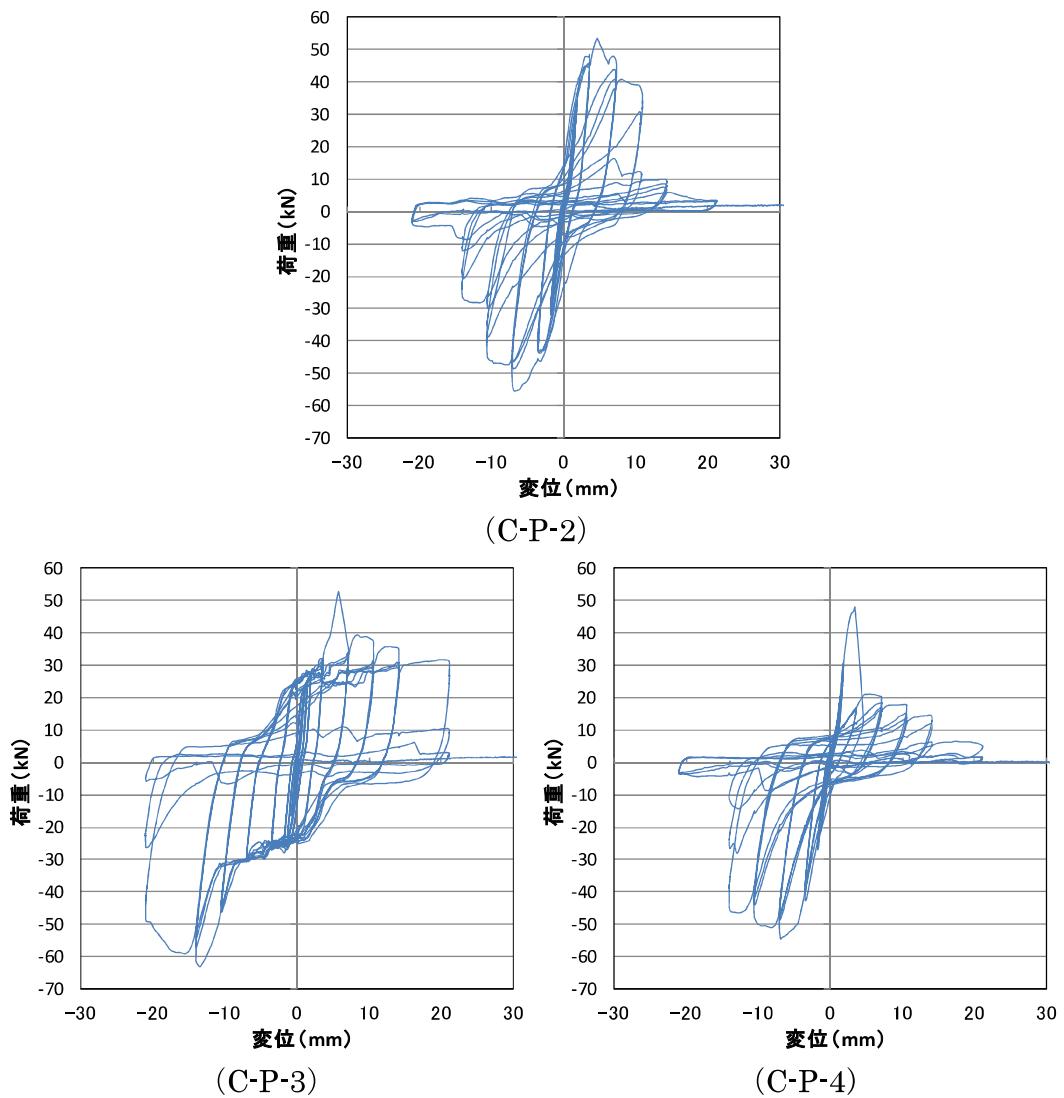


図 6－8 荷重-変位曲線



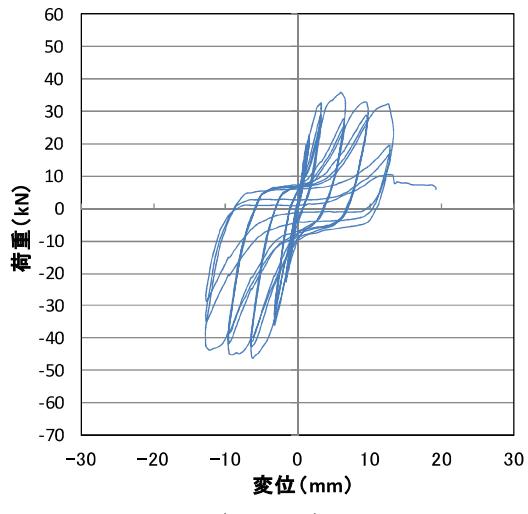
写真 6－1－1 端抜け破壊



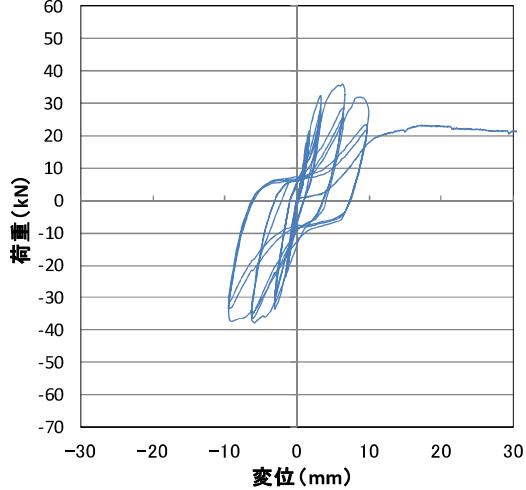
写真 6－1－2 スタッドの破断

[D-O シリーズ]

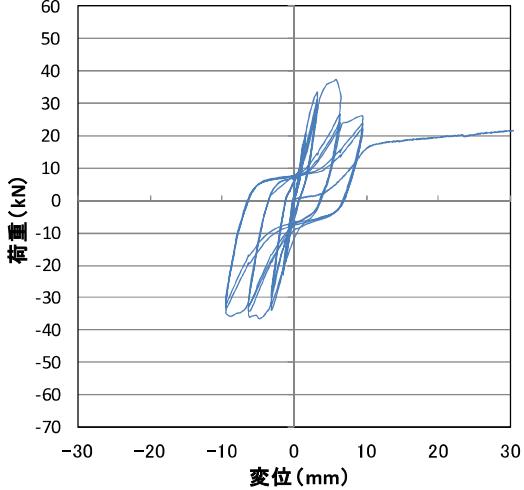
サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッフの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。



(D-O-2)



(D-O-3)



(D-O-4)

図 6-9 荷重-変位曲線



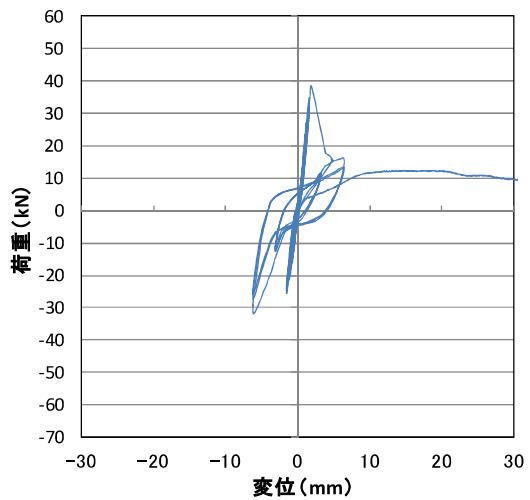
写真 6－13 端抜け破壊



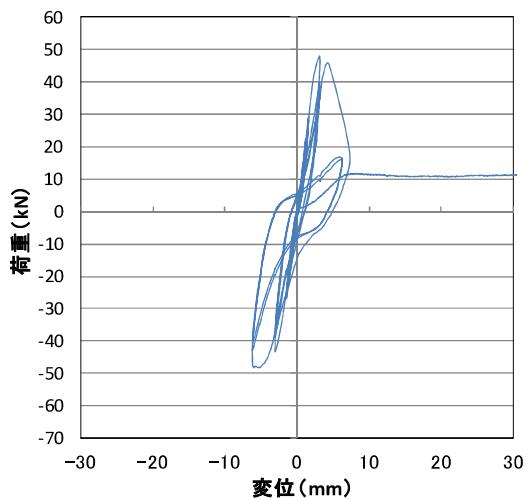
写真 6－14 スタッドの破断及び変形

[D-P シリーズ]

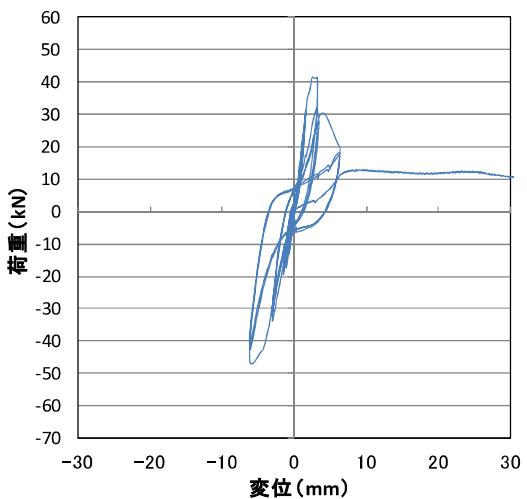
サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。また、実験終了時には平鋼からの CLT の浮き上がりがみられた。



(D-P-2)



(D-P-3)



(D-P-4)

図 6-10 荷重-変位曲線



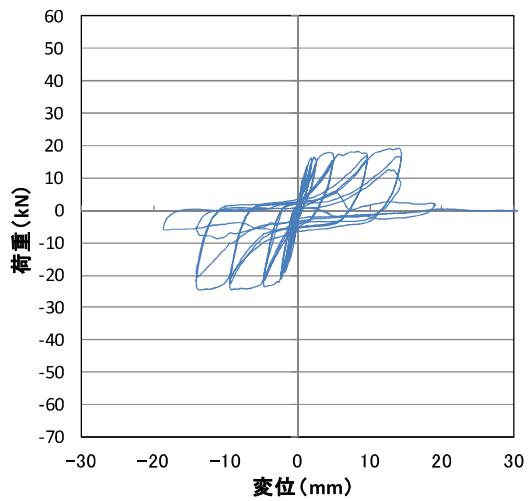
写真 6－15 端抜け破壊



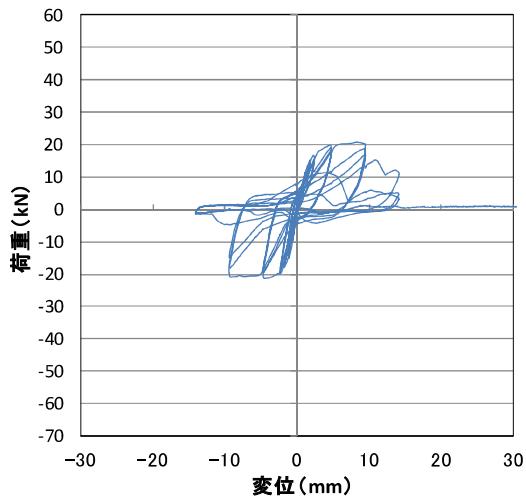
写真 6－16 CLT の浮き上がり

[E-O シリーズ]

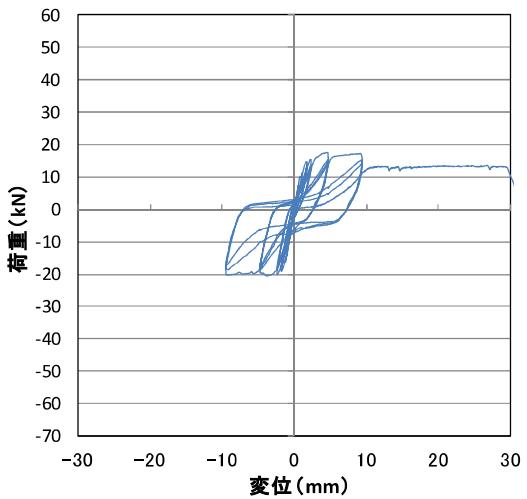
サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッドの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。また、実験終了時には破断したスタッドの変形による CLT のめりこみがみられた。



(E-O-2)



(E-O-3)



(E-O-4)

図 6－1－1 荷重－変位曲線



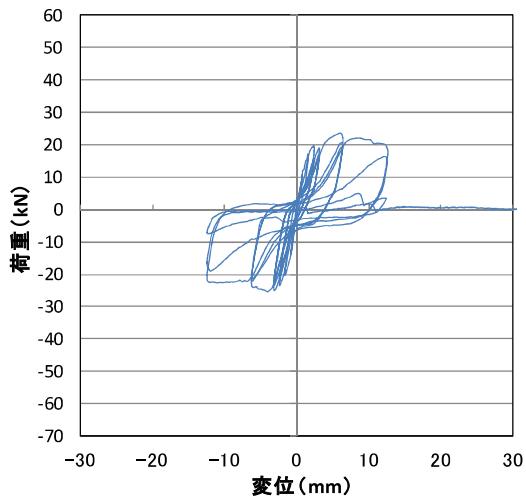
写真 6-17 スタッドの破断



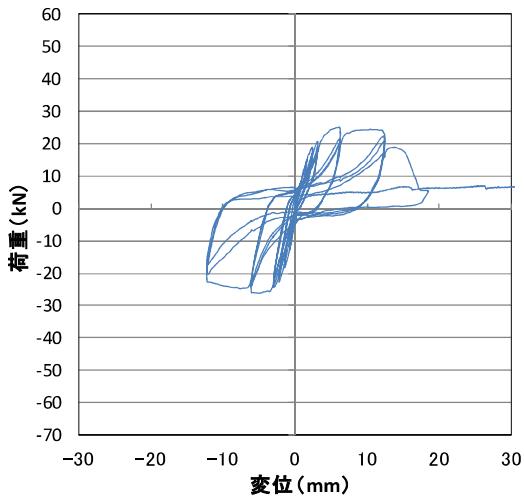
写真 6-18 CLT のめりこみ

[E-P シリーズ]

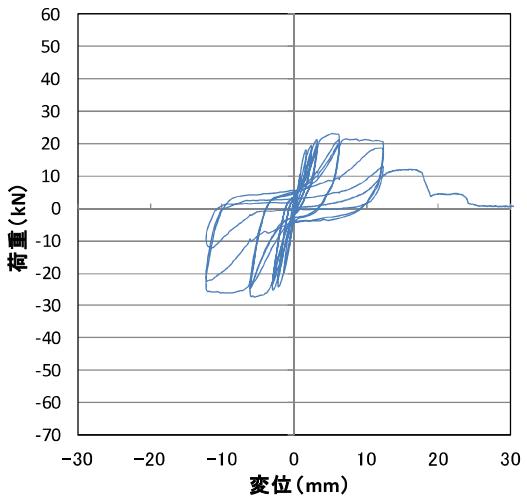
サイクルの途中で荷重が急激に上昇し、最大耐力に到達後 CLT の端抜けにより荷重が低下した。その後は変形の進行に伴い荷重がゆるやかに低下した。最終サイクルではスタッドの溶接部からの破断がみられ、荷重が急激に低下した。また、実験終了時には破断したスタッドの変形による CLT のめりこみがみられた。



(E-P-2)



(E-P-3)



(E-P-4)

図 6－12 荷重－変位曲線



写真6－19 スタッドの破断



写真6－20 CLT のめりこみ

[各試験体の構造特性値]

表 6-2 に各試験体の降伏耐力とその時の変位、最大耐力とその時の変位及び終局耐力とその時の変位を示す。

また、図 6-13～18 はそれぞれの特性値のグラフを示す。

降伏耐力で、加力方向で大きく差が生じたのは、A-P シリーズと D-O シリーズであった。そのほかは加力方向による差はほとんど見られなかった。降伏変位では、B-O シリーズと D-O シリーズで繊維方向による差が大きく生じた。すべてのシリーズで、表層ラミナに平行方向加力 (P シリーズ) の方が降伏荷重が大きい傾向を示した。これはスタッツに接触するラミナが、めり込み強度の高い変位平行方向が多いことが要因と思われる。

最大耐力では、A-P シリーズと B-P シリーズで加力方向による差が大きい。また全般的に表層ラミナに平行方向加力 (P シリーズ) の方が最大荷重が大きい傾向を示した。これは降伏荷重の場合と同じ理由と思われる。最大荷重時の変位は、全般的に負加力側が大きく、繊維方向では O シリーズの方が大きい傾向を示した。

終局荷重の傾向は、ほぼ最大耐力と同様であった。終局変位では、他の構造特性値と比較すると加力方向による差が大きい。また繊維方向で比べると、表層ラミナに直交方向加力 (O シリーズ) の方が終局変位が大きい。

これらの違いについて、CLT 床パネル-鉄骨梁のスタッツ接合部では特に各構造特性値の変位について、加力方向、ラミナの繊維方向の影響を大きく受けることが確認された。

表6-2 構造特性値一覧

試験体シリーズ	加力方向	試験体名	降伏耐力 Py(kN)	降伏耐力時の変位 δ (Py)(mm)	最大耐力 Pmax(kN)	最大耐力時の変位 δ (Pmax)(mm)	終局耐力 Pu(kN)	終局耐力時の変位 δ (Pu)(mm)
A-O	正加力側 (引き方向)	A-O-2	10.21	1.10	13.43	2.01	12.49	2.63
		A-O-3	11.03	1.02	16.37	1.91	14.40	2.50
		A-O-4	15.31	1.58	20.38	2.87	17.70	2.33
		平均	12.18	1.24	16.73	2.26	14.87	2.49
	負加力側 (押し方向)	A-O-2	10.44	0.91	18.42	3.25	16.70	8.19
		A-O-3	11.17	0.91	17.54	3.98	16.46	12.28
		A-O-4	18.28	1.47	21.56	4.03	20.30	12.31
		平均	13.30	1.10	19.18	3.75	17.82	10.93
A-P	正加力側 (引き方向)	A-P-2	10.60	1.07	13.52	1.43	11.38	4.25
		A-P-3	13.66	1.46	14.50	1.82	14.24	2.33
		A-P-4	9.16	0.96	13.82	2.22	13.30	2.42
		平均	11.14	1.16	13.95	1.82	12.97	3.00
	負加力側 (押し方向)	A-P-2	15.47	1.05	24.50	3.22	22.99	6.89
		A-P-3	17.44	0.98	25.28	2.19	22.37	6.65
		A-P-4	17.59	1.34	24.99	3.28	23.89	6.87
		平均	16.84	1.12	24.92	2.90	23.08	6.80
B-O	正加力側 (引き方向)	B-O-2	14.34	1.75	21.56	3.82	19.85	5.92
		B-O-3	20.63	2.45	22.93	3.75	20.80	7.73
		B-O-4	12.80	1.25	20.19	3.00	17.54	5.56
		平均	15.92	1.82	21.56	3.52	19.40	6.40
	負加力側 (押し方向)	B-O-2	16.80	1.45	19.21	3.73	16.81	11.59
		B-O-3	13.71	1.07	21.07	11.22	20.06	11.44
		B-O-4	12.65	1.00	21.17	3.65	19.97	11.65
		平均	14.39	1.17	20.48	6.20	18.95	11.56
B-P	正加力側 (引き方向)	B-P-2	10.96	1.07	14.90	1.60	13.58	2.17
		B-P-3	14.60	1.15	16.95	1.85	15.94	2.36
		B-P-4	19.60	1.56	21.95	1.87	20.82	2.43
		平均	15.05	1.26	17.93	1.77	16.78	2.32
	負加力側 (押し方向)	B-P-2	13.96	0.94	26.07	4.59	24.81	7.10
		B-P-3	13.46	0.88	25.28	3.47	22.98	7.08
		B-P-4	21.26	1.28	28.13	2.31	26.64	7.08
		平均	16.22	1.04	26.49	3.46	24.81	7.09
C-O	正加力側 (引き方向)	C-O-2	28.41	1.84	39.10	7.77	34.42	12.73
		C-O-3	25.75	1.75	41.36	7.49	36.47	12.56
		C-O-4	23.43	1.22	40.87	7.75	36.91	11.59
		平均	25.87	1.61	40.44	7.67	35.94	12.29
	負加力側 (押し方向)	C-O-2	24.05	1.75	38.81	8.04	34.88	12.65
		C-O-3	24.29	1.67	50.47	7.98	45.69	12.15
		C-O-4	24.51	1.57	44.59	8.24	41.32	12.57
		平均	24.29	1.66	44.62	8.09	40.63	12.46
C-P	正加力側 (引き方向)	C-P-2	37.09	1.83	53.51	4.66	48.22	7.31
		C-P-3	23.97	1.15	52.63	5.76	35.85	6.56
		C-P-4	38.12	2.19	47.82	3.41	45.09	3.73
		平均	33.06	1.72	51.32	4.61	43.05	5.87
	負加力側 (押し方向)	C-P-2	38.26	1.95	55.37	6.71	48.14	10.63
		C-P-3	27.64	1.86	63.21	13.55	54.99	20.00
		C-P-4	30.15	2.00	54.39	6.92	48.80	14.03
		平均	32.02	1.94	57.66	9.06	50.64	14.88
D-O	正加力側 (引き方向)	D-O-2	18.14	1.00	35.87	6.02	31.02	12.58
		D-O-3	18.55	1.26	35.77	6.28	30.95	9.25
		D-O-4	24.04	1.62	37.14	5.83	34.33	6.46
		平均	20.25	1.29	36.26	6.04	32.10	9.43
	負加力側 (押し方向)	D-O-2	24.26	1.14	46.16	6.14	43.01	12.74
		D-O-3	31.59	1.63	37.93	6.03	35.48	9.60
		D-O-4	26.25	2.10	36.55	4.87	34.18	9.49
		平均	27.37	1.62	40.21	5.68	37.56	10.61
D-P	正加力側 (引き方向)	D-P-2	33.60	1.46	38.12	1.91	34.80	2.63
		D-P-3	29.19	1.52	47.92	3.10	44.29	4.37
		D-P-4	34.91	1.77	41.65	2.46	40.73	3.20
		平均	32.57	1.59	42.56	2.49	39.94	3.40
	負加力側 (押し方向)	D-P-2	24.26	1.14	31.85	6.17	20.01	6.25
		D-P-3	31.59	1.63	48.31	5.27	46.12	6.26
		D-P-4	26.25	2.10	47.04	5.76	45.28	6.25
		平均	27.37	1.62	42.40	5.74	37.13	6.25
E-O	正加力側 (引き方向)	E-O-2	12.86	0.77	19.21	14.09	17.71	14.40
		E-O-3	13.54	1.35	20.68	8.23	19.34	9.44
		E-O-4	12.32	0.99	17.64	4.63	16.51	9.47
		平均	12.91	1.03	19.18	8.98	17.86	11.10
	負加力側 (押し方向)	E-O-2	13.32	0.80	24.50	9.28	23.22	14.17
		E-O-3	12.88	0.80	21.46	4.37	20.31	9.45
		E-O-4	16.27	1.17	20.48	3.70	19.81	9.44
		平均	14.16	0.92	22.15	5.78	21.11	11.02
E-P	正加力側 (引き方向)	E-P-2	16.05	1.16	23.72	6.02	21.11	12.54
		E-P-3	16.09	1.60	25.09	5.99	23.30	12.33
		E-P-4	16.28	1.18	23.03	5.25	20.93	12.33
		平均	16.14	1.32	23.94	5.75	21.78	12.40
	負加力側 (押し方向)	E-P-2	14.22	0.73	25.48	4.07	22.94	12.38
		E-P-3	14.51	0.88	26.17	4.99	24.16	12.26
		E-P-4	17.82	1.14	27.24	5.59	25.51	12.32
		平均	15.52	0.92	26.30	4.88	24.20	12.32

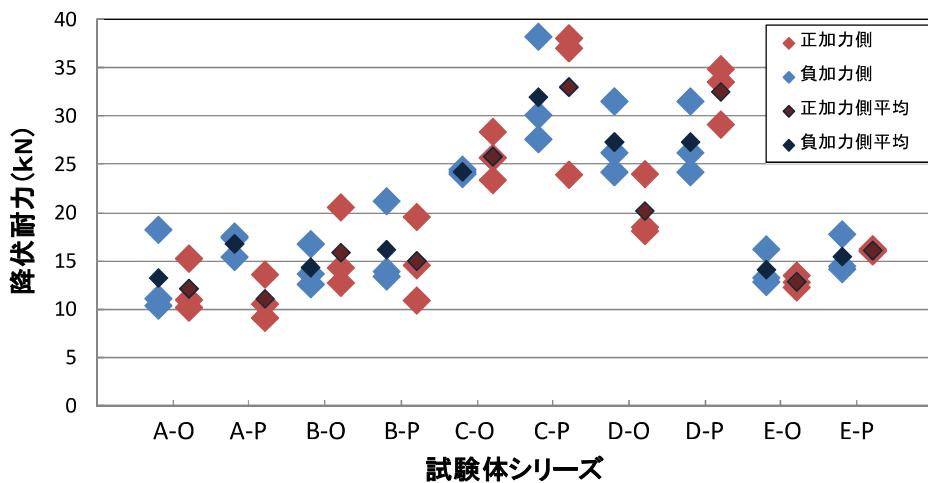


図 6-13 各試験体シリーズの降伏耐力

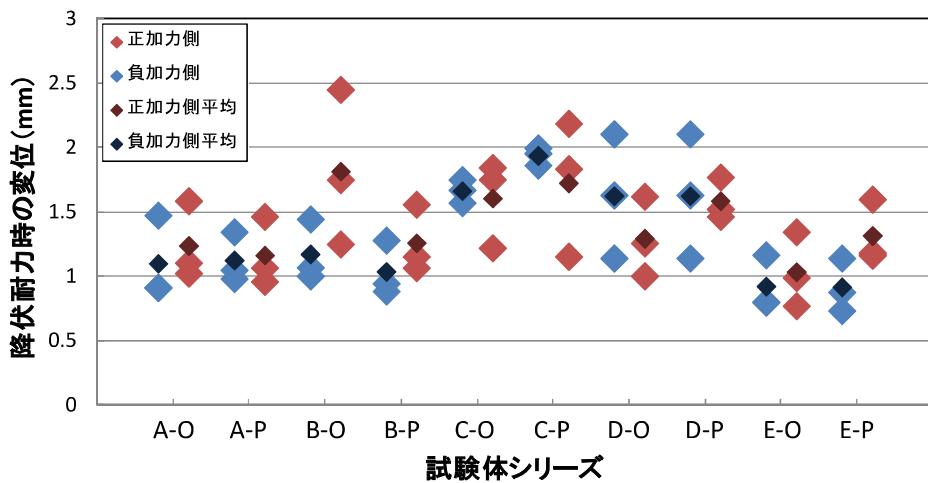


図 6-14 各試験体シリーズの降伏耐力時の変位

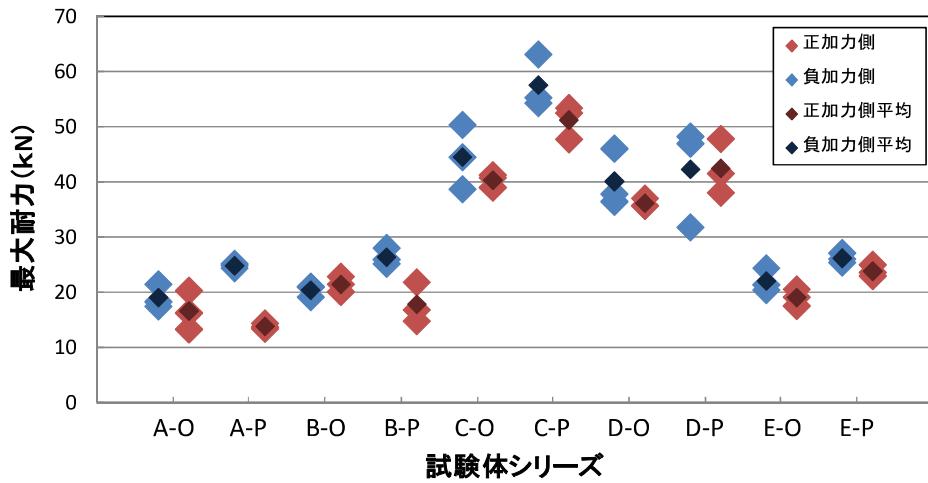


図 6-15 各試験体シリーズの最大耐力

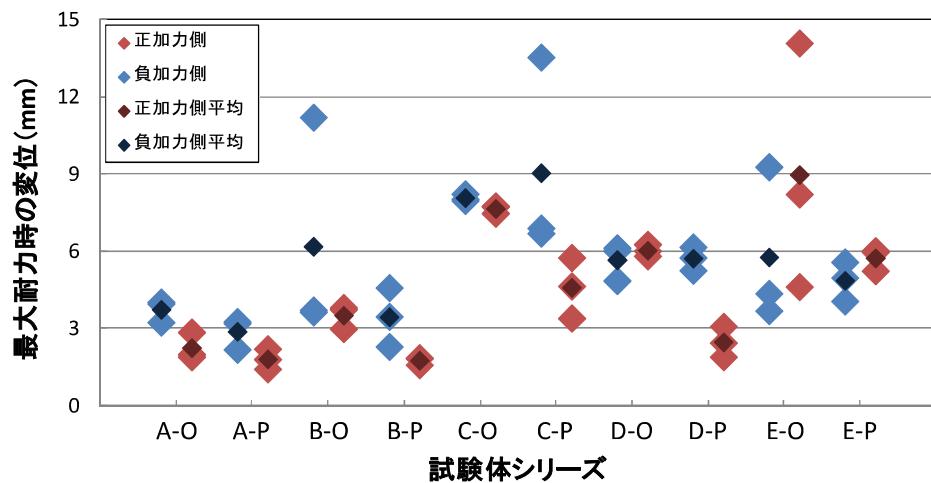


図 6-16 各試験体シリーズの最大耐力時の変位

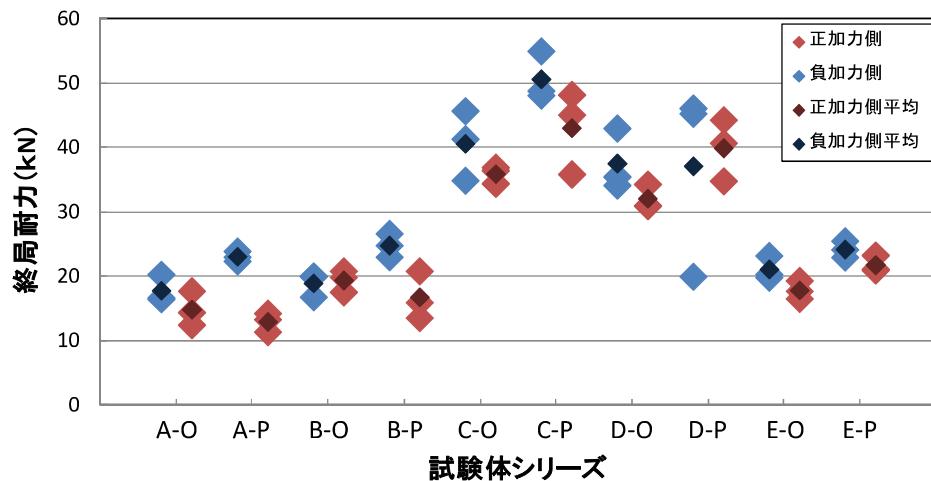


図 6-17 各試験体シリーズの終局耐力

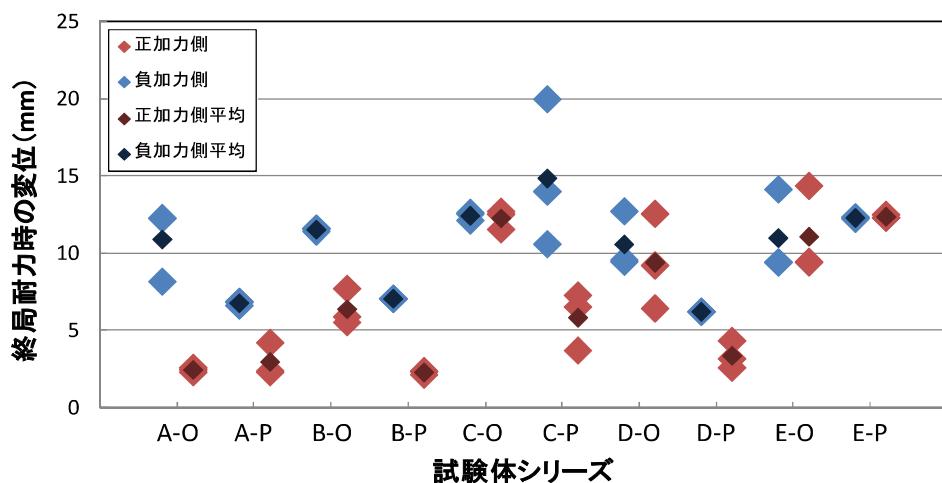


図 6-18 各試験体シリーズの終局耐力時の変位

6-3. せん断性能推定方法の検討

木質構造の面材耐力壁に用いるせん断性能推定方法の S 造梁、CLT 床で構成される構面のせん断性能の推定を試みる。

6-3-1. 木質構造面材壁の推定方法

本研究で試みたせん断性能推定方法は、木質構造基礎理論（日本建築学会編）に示されている詳細計算法を基にした。

図 6-1-9 に 1P (幅 910mm 高さ 2730mm) 耐力壁に適用した場合の推定精度の例を示す。

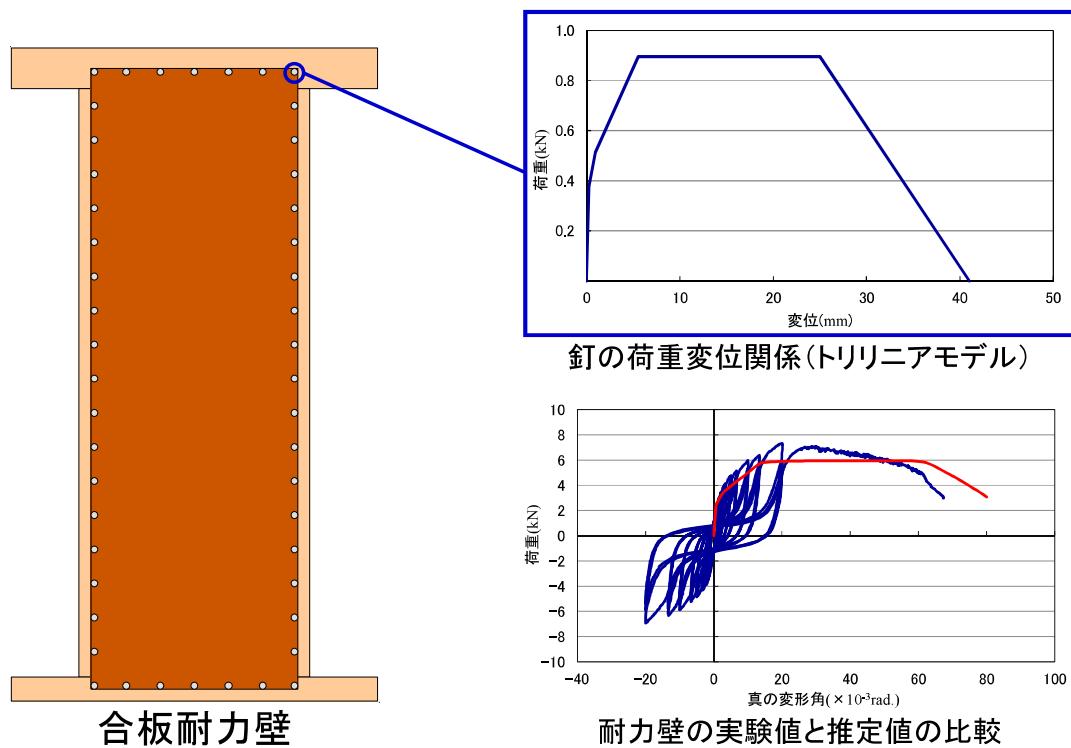


図 6-1-9 木造面材耐力壁における推定精度

6-3-2. モデル化

図6-20にA-Pシリーズ試験体の実験結果の圧縮、引張のそれぞれの包絡線をトリニアに変換した骨格曲線モデルを示す。

実大床構面の試験体の加力方向に対応して、図6-21に示すように図6-20の骨格モデルを各スタッドに当てはめることとした。

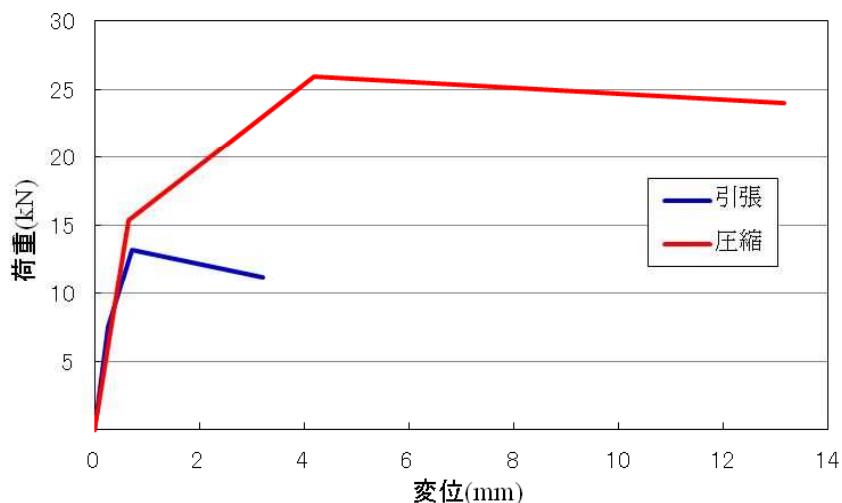


図6-20 骨格曲線モデル

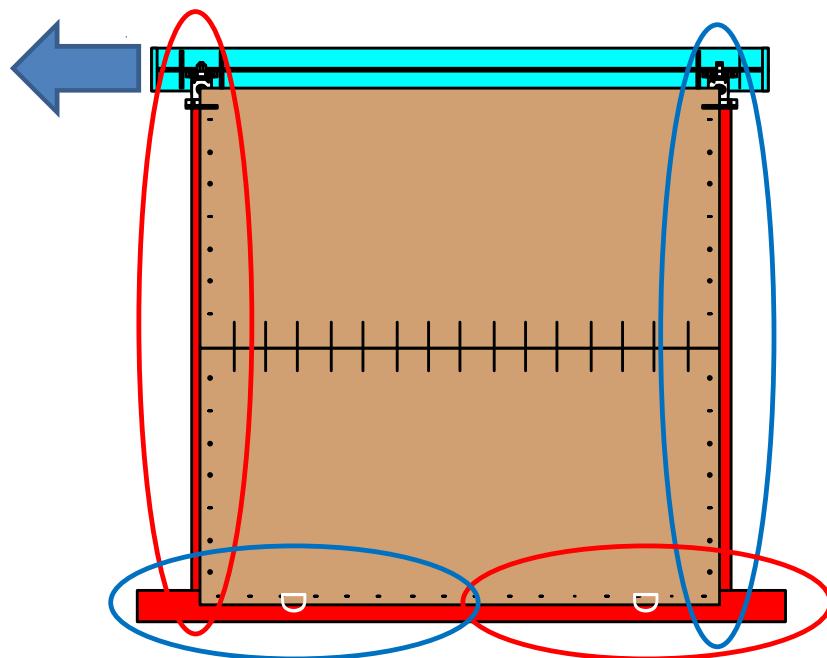
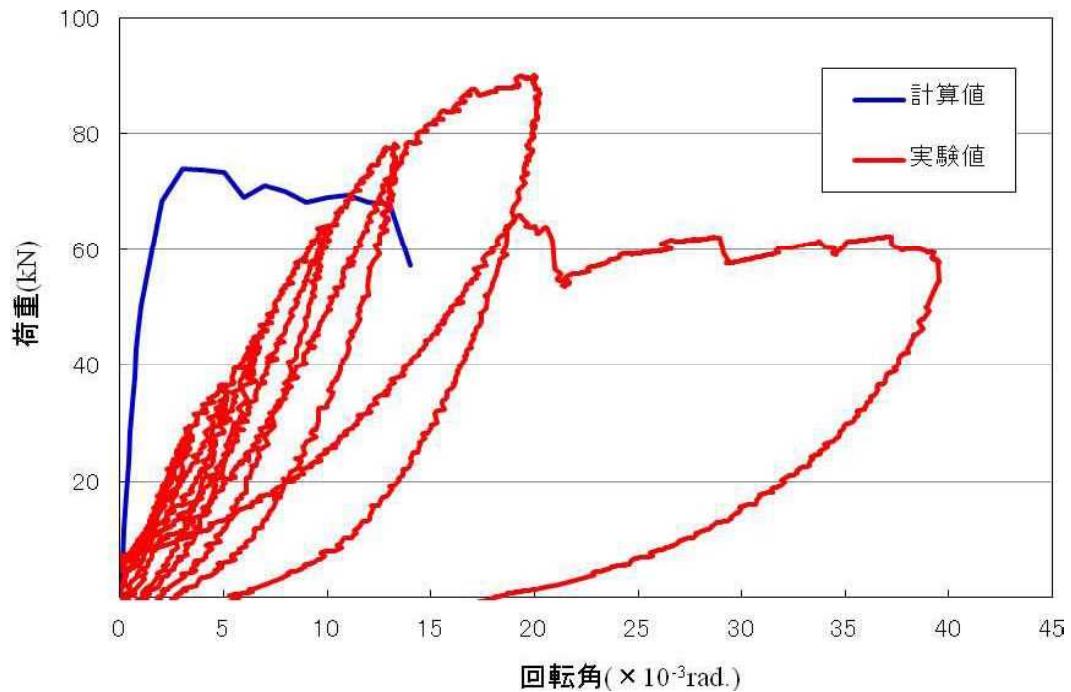


図6-21 各スタッドの骨格モデルの分類

6-3-3 推定結果と実大実験結果との比較

図6-22に推定結果と実大実験結果の比較を示す。推定の結果、耐力については推定できているものの、各特徴点の変位については、実験値に比べて推定値が大幅に小さくなっている。

これは、スタッド要素試験の剛性が高すぎることおよび実大試験で本推定にモデル化されていない変形成分が含まれ、変形が大きいことが考えられる。



S-CLT-B (鋼材フレーム+CLT床 (開口なし))

図6-22 推定結果と実大実験結果の比較

6-4. まとめ

本章では、スタッド接合部単体の性能から床構面のせん断性能を推定するため、様々な条件でのスタッド接合部の繰り返し加力試験を実施し、木質構造の面材壁、面材床のせん断性能推定に使用される手法を応用して、その適用の可否、精度を検証した。

その結果、以下の知見が得られた。

- ・スタッド1本当たりの性能→押し引きで全く異なる。
- ・CLT床パネル一鉄骨梁のスタッット接合部では特に各構造特性値の変位について、加力方向、ラミナの纖維方向の影響を大きく受けることが確認された。
- ・床構面の耐力推定には、スタッット接合部の荷重一変形関係をスタッット位置により適切に選択する必要がある。
- ・推定と実験値の比較では、耐力については概ね推定可能だか、初期剛性、変形性能について課題ある。
- ・原因としては、スタッド1本当たりの剛性が過大評価、実大実験の加力方法の問題が考えられる。

第7章 表層スプライン式のCLT板相互の接合強度・剛性の把握

7-1. 試験の目的

平成26年度事業では、CLTパネル同士の接合方法として、図1に示すようなクロスビス方式について検討した。構造性能としては剛床仮定を成立させるほどの強度と剛性はないものの、床同士を接合しておくには十分な構造性能を有していることを明らかとした。しかしながら、クロスビス接合はビスの打ち込みに時間がかかり、工期に影響を及ぼす可能性があることが施工性実験によって明らかとなった。そこで、平成27年度事業では、より簡便にCLTパネル同士を接合できる、図2に示すような表層スプライン式の検討を行なった。表層スライン式接合は、予めCLTパネルに切欠きを設けておき、施工時に所定の寸法にカットした合板を落とし込み、ビスで接合するものである。

本章では、表層スライン式で接合されたCLTパネルの押し抜き載荷実験を行ない、剛性ならびに耐力の検討を行なうこととする。

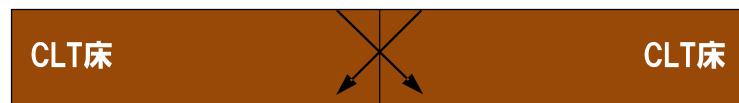


図1 クロスビス接合

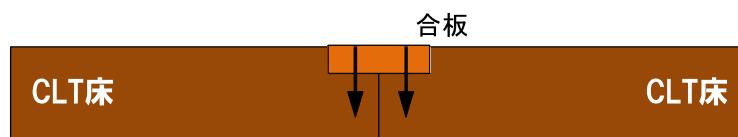


図2 表層スライン式接合

7-2. 試験体の仕様

試験体は、三つのCLTパネルから構成されるものとした。試験体詳細を図3に示す。CLTパネルサイズは、 $200 \times 500 \times 210\text{mm}$ と $300 \times 500 \times 210\text{mm}$ を用いた。製作時には、CLTパネル表面にスプライン用の切欠きを設けた。スプライン接合に使用する合板は幅100mm、厚さ28mmとし、ビスは直径8mm、長さ75mmで、200mm間隔で所定の箇所に打ち込んだ。なお、試験体は同条件で三体製作した。

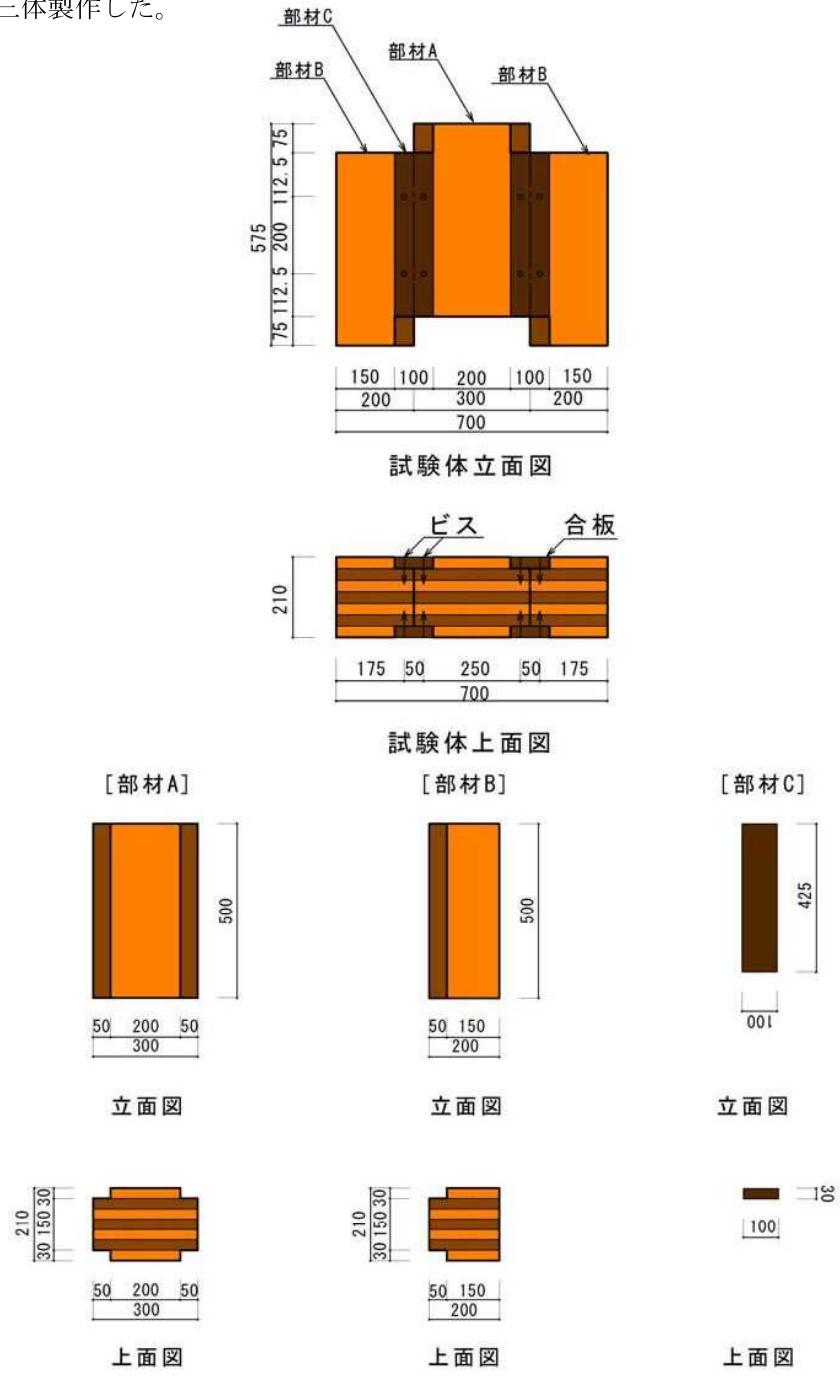


図3 試験体詳細

7-3. 試験の方法

載荷方法を図4に示す。載荷は500t圧縮試験機により、ピンを介して上方向から単調に荷重を加えた。中央部のCLTパネルに荷重を与え、CLTパネル間でせん断力が生じる仕組みとしている。また、試験体下端にはチャンネルと寸切りから成る開き止めを設置した。変形は、CLTパネル同士の相対ずれ変形（8箇所）と全体変形（4箇所）を計測した。

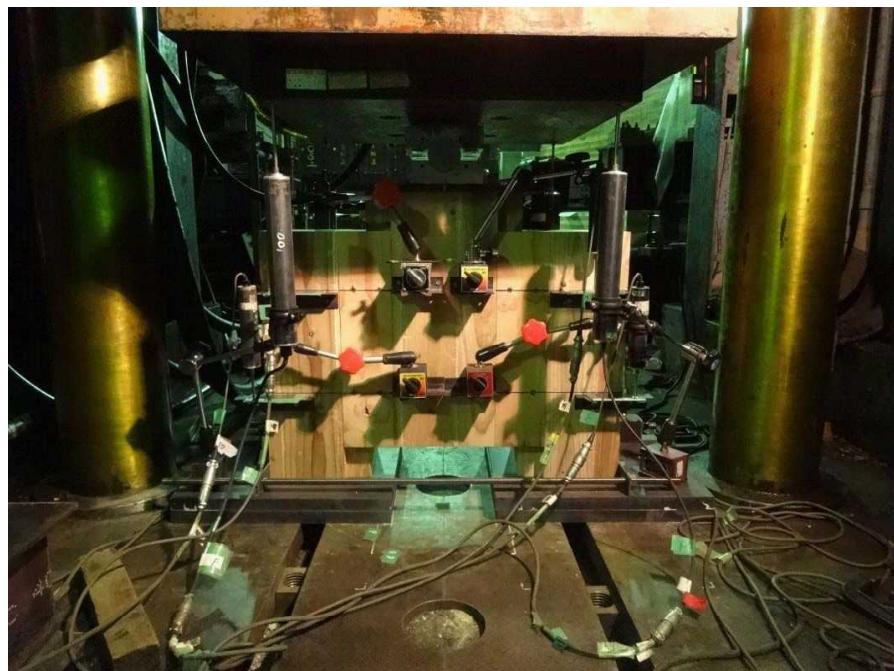


図4 載荷方法

7-4. 試験の結果

実験結果を図5に示す。縦軸は荷重、横軸にはCLTパネル間の相対ずれ変形をとっており、西側および東側CLTパネルの平均値である。また、主要な試験体の破壊性状を図6に示す。

図5より、荷重一変形は緩やかな曲線を描きながら耐力が上昇していることが分かる。本実験では変位計測定限界である40mmで実験を終了したが、荷重一変形関係や実験後の写真を見ると、ずれ変位40mm以降も荷重が上昇した可能性もある。写真に示す通り、破壊形式はビスのめり込みによるものであり、ビス自体に曲がりや折れは観察されなかった。また合板表面にはビス付近に縦方向の亀裂が見られた。

また、同図(d)には試験体1～3の比較を示している。ずれ変位10mm以降、試験体によつて若干のばらつきが見られるようになるが、概ね再現性は取れているものと考えられる。

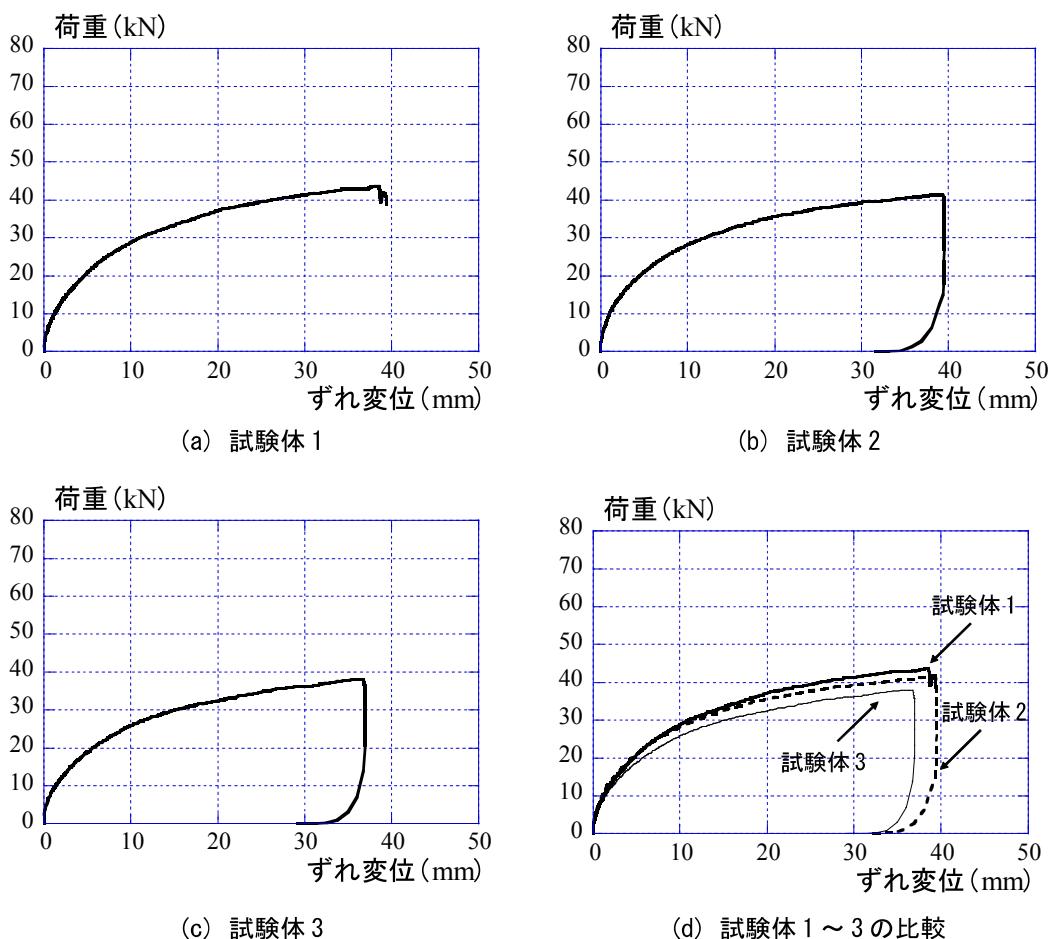


図5 実験結果



(a) 試験体西面



(b) 試験体東面



(c) ビスのめりこみ (CLT 側)



(d) ビスのめりこみ (合板側)

図 6 実験後の写真

7-5. 考察

図7に、昨年度実施したクロスビス接合の押し抜き試験結果と本実験結果から得られた試験体2の荷重-変形関係の比較を示す。クロスビス接合の方が最大強度が大きく、初期剛性も若干大きく発揮されている。しかしながら、本事業で想定している床同士の接合は、地震力を伝達させようとするものではなく、床同士の隙間が生じることを防止することや、遮音性、振動性の向上に対応するものであるため、例えば第5章で述べたスタッドによる接合のような大きなせん断力の伝達は考慮していない。これらのこと顧みると、少なくとも本接合方式で床同士の接合部が破壊されるのはずれ変位にして40mm以上となるため、床システムの大勢に影響はないものと考えられる。

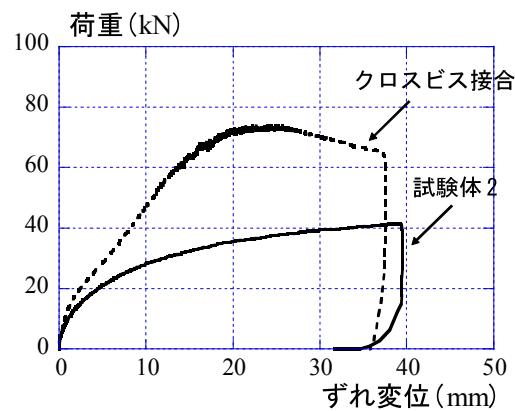


図7 クロスビス接合との比較

第8章 天井吊り材の接合強度の把握

8-1. 試験の目的

天井や照明器具・空調機等は、従来工法では上階の床から鋼製の吊り材を介して取り付けるのが通常である。しかし、上階の床が木材の場合、吊り材が赤熱すると、上部の木材に発火点以上の熱が伝達する恐れがある。それを回避するためには、吊り材を木材部分までねじ込みず、耐火被覆で止めることが現実的対応と成るが、その際、反力不足による落下等の危険も危惧される。そのため、状況によっては、吊り材を受けるハンガー（床材へ埋め込むもの）を耐火被覆材で留めずに、CLTパネルまで到達させることで反力を十分に確保する方法を考えられる。そこで、本章では、図1に示すような床システムを想定し、吊り材のネジを耐火被覆内で止めた場合とCLTパネルまで到達させた場合の天井吊り材の接合強度を把握することを目的とする。

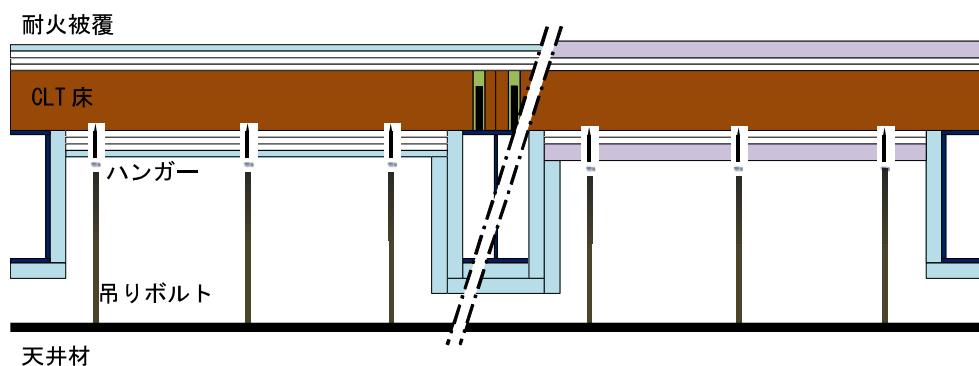


図1 天井材取り付け方法のイメージ図

8-2. 試験体の仕様

試験体詳細を図2に示す。CLTパネルサイズは、 $1100 \times 1100 \times 150\text{mm}$ の5層5プライを用いた。被覆仕様は、第2章で示した二時間耐火を有する組み合わせであり、ケイカル板仕様とALC板仕様とした。ALCハンガーには $6.2 \times 73\text{N}$ と $6.2 \times 43\text{N}$ を用い、所定の箇所に埋め込んだ。ALCハンガーはネジ部の長さが 43mm と 73mm の二種類を使用した。耐火被覆材の合計厚さが各仕様それぞれ 60mm と 66mm であるため、 73mm のALCハンガーを用いるとネジ部がCLTパネルまで到達する計算になる。本実験では、 43mm と 73mm のALCハンガーを埋め込んだ場合の接合強度について比較検討した。なお、ネジ部がCLTまで到達することにより熱橋の影響が懸念されるが、それについては第二章で実験を実施しており、たとえネジ部がCLTに埋め込まれてもCLTパネルに炭化等が生じず、熱橋は問題ないことを確認している。

試験体は全5体で、ケイカル仕様とALC板仕様の組合せと、ハンガー長さ 43mm と 73mm の組合せで4つの試験体を製作し、比較用としてCLTのみの試験体も準備した。試験体断面図を図3に示す。

実験では、耐火被覆材およびCLT床に埋め込んだALCハンガーから吊りボルトを見立てた寸切りボルトを吊り下げ、厚さ 9mm の鉄板を設置した。なお、ALCハンガーは 600mm 間隔で設置している。

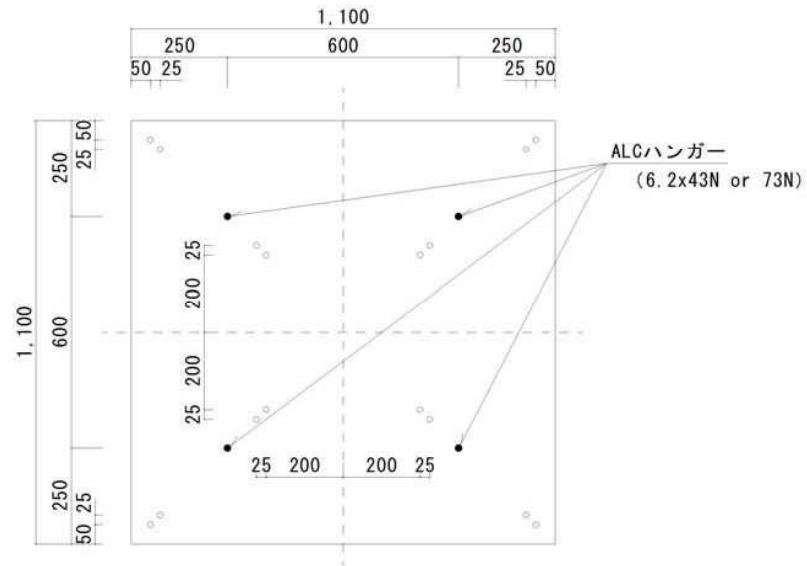


図2 試験体図

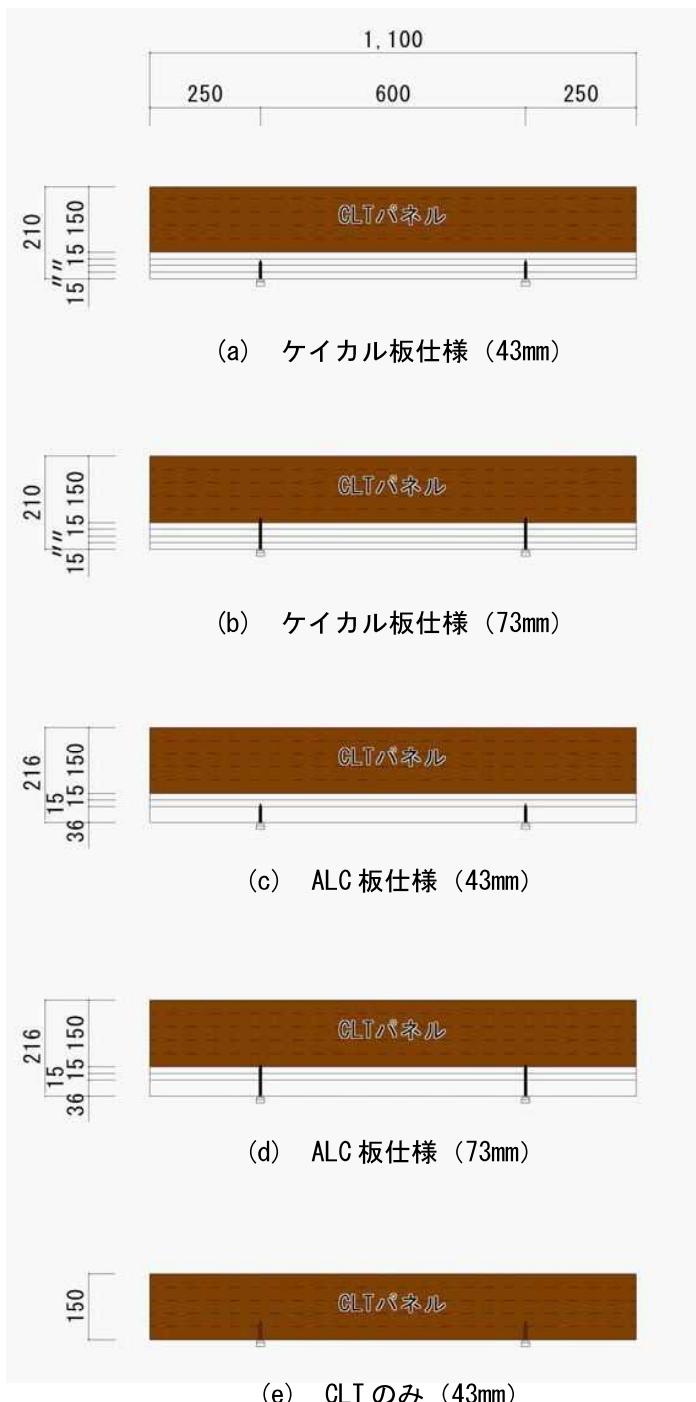


図3 各試験体断面

8-3. 試験方法

載荷装置を図4に示す。ALCハンガーより吊りボルトを見立てた4本の寸切りボルトを吊り下げる、厚さ9mmの鉄板を設置した。また、試験前に鉄板の中央部上に5tonジャッキとロードセルを置く。試験時にジャッキを押し上げることにより、4本の寸切りボルトに引張力が作用するよう設計した。なお、鉄板の裏側にはチャンネル材を溶接し、ジャッキの応力を撓まないように補強した。変形は土台を不動点とし鋼板四隅と、中央部真下の変位を測定した。

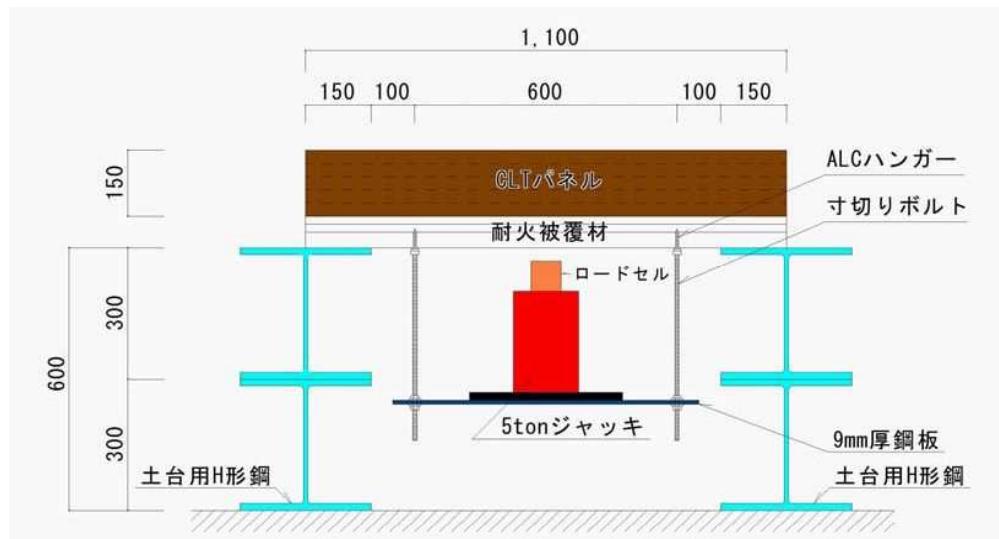


図4 載荷方法



図5 試験の様子

8-4. 試験結果

実験結果を図7に示す。ケイカル板仕様、ALC板仕様ともに、ALCハンガー73mmを用いた方が荷重が大きく発揮されていることが分かる。これは、ハンガーのネジ部分がCLTまで到達していたためだと考えられる。ALCハンガーを耐火被覆材に埋め込んだ際の模式図を図6に示す。ケイカル仕様とALC仕様を比較すると、埋め込み深さが13mmと長いケイカル板仕様の方が、埋め込み深さ6mmのALC板仕様よりも高くなっている。一方で、ALCハンガーを被覆材で留めた試験体は、双方ともわずかな荷重しか支えきれなかった。また、最も大きな荷重を支持できたのは、CLTのみに直接埋め込んだ試験体仕様であった。このことより、耐火被覆材のみに埋め込む場合と、CLTに埋め込む場合で接合強度が変わってくるため、被覆材の合計厚さとネジ部の長さは十分に考慮しておく必要がある。

図8に、実験終了時の写真を示す。ALCハンガーをCLTまで到達させた73mmのものは、ALCハンガーが半分ほど引抜けているが、被覆材で留めたALCハンガー43mmの試験体は最終的にALCハンガーが被覆材から完全に抜け落ちることで実験を終了した。



被覆材の合計厚さが60mmのため、73mmハンガーを用いると13mmCLTに埋め込まれる

被覆材の合計厚さが66mmのため、73mmハンガーを用いると6mmCLTに埋め込まれる

(a) ケイカル板仕様
(b) ALC板仕様
図6 ALCハンガーを埋め込んだ際の模式図

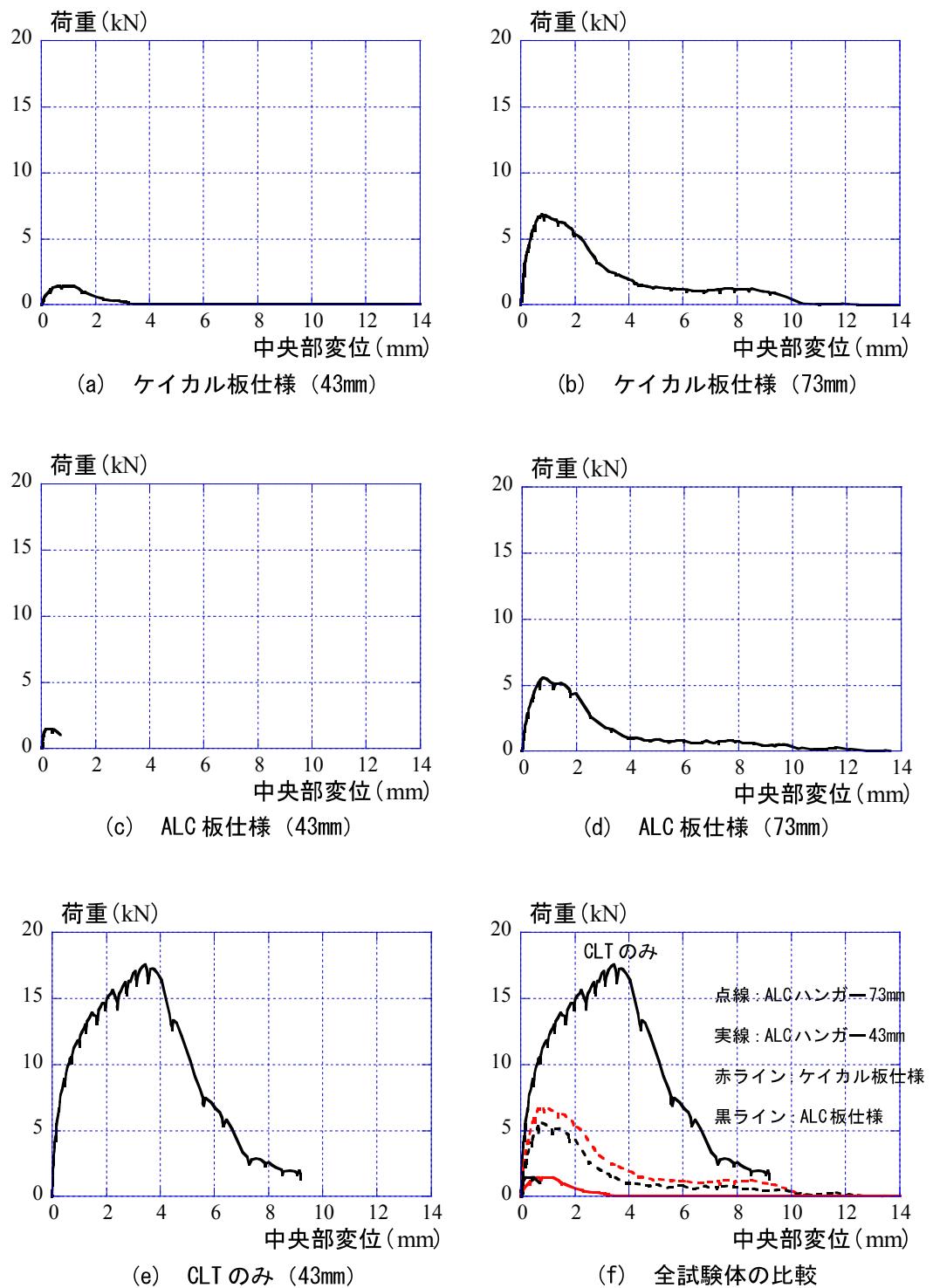


図7 実験結果



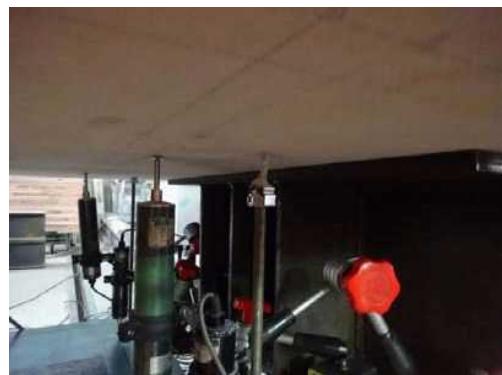
(a) ケイカル板仕様 (43mm)



(b) ケイカル板仕様 (73mm)



(c) ALC 板仕様 (43mm)



(d) ALC 板仕様 (73mm)



(e) CLT のみ (43mm)

図 8 実験後の写真

8-5. 考察

本実験結果から云えば、ALCハンガーのネジ部をCLTに到達させることで、吊りボルト間隔600mm四方の領域において、ケイカル板仕様とALC板仕様とともに約5kN（およそ500kg）まで耐えることができることが分かった。一方で、ALCハンガーを被覆材まで留めると強度はあまり発揮されなくなるようになる。従って、本接合方法で天井材を吊る際には、ALCハンガーがCLTに埋め込まれていることを十分に確認しておく必要がある。ALCハンガーのネジ部がCLTまで到達されれば先に述べたように5kN程度まで耐えられることができるが、実際に使用する際には安全率を十分に考慮して、ALCハンガーネジ部が抜け落ちないように設計することが重要である。

また、本実験は簡易的に行なったものであり、今後、実験データをより精緻に検証する必要があるものと考えられる。今回の実験はあくまでも要素試験であるため、実際に使用する場合には実大実験を行ない、より詳細に検討することを強く勧めるとともに、実験データをより多く蓄積することが望まれる。

第9章 繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材とCLTの接合性能の把握

9-1. 試験の目的

本事業における床システムでは、CLTパネルに耐火被覆材を取り付ける際、接着剤を一切使用せずビスのみで取り付けることを想定している。また、第8章で述べたように、天井材は耐火被覆材とCLTパネルに埋め込まれたALCハンガーで自重を支えているため、耐火被覆材にかかる負担が大きくなるものと予想される。こうした状況下において地震等により床に繰り返し荷重が作用した場合、耐火被覆材等の脱落の問題が危惧される。その可能性を検討するため、本章では、単調繰り返し載荷実験を実施した。

9-2. 試験体の仕様

試験体詳細を図1に示す。CLTパネルサイズは、800x3400x150mmと600x3400x150mmの二種類である。被覆材の留め方は、上面および下面に所定の耐火被覆材をビス留めする。耐火被覆材の割り付けは、実際に使用することを想定し、目地をずらして貼りつけている。各試験体の割り付けを図1に示す。試験体は全5体で、実験変数に被覆仕様とコースレッド間隔を選定した。被覆仕様は、ケイカル板仕様とALC板仕様である。

ケイカル板仕様：ケイ酸カルシウム板15mm + 強化石こうボード15mm x 3枚貼り

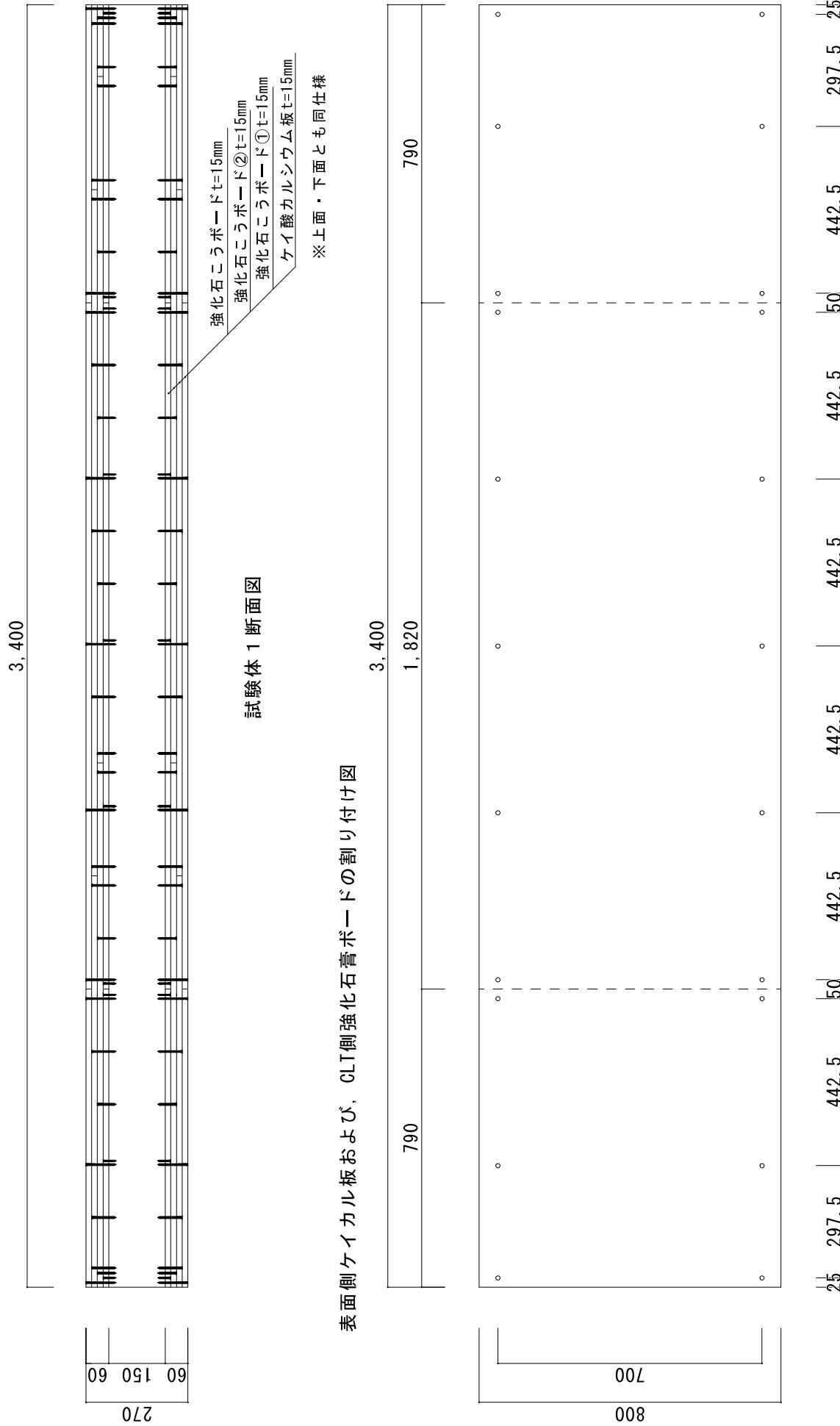
ALC板仕様：ALC板36mm + 強化石こうボード15mm x 2枚貼り

ビス間隔は、およそ400mm, 600mm, 900mmとし、ALC仕様のみ、400mmと600mm間隔とした。また、ケイカル板は日本インシュレーション(株)のニュータイカライト1号、強化石こうボードは吉野石膏(株)のタイプZ、ALC板は旭化成建材(株)のユカテックを採用した。

表1 試験体一覧

試験体	CLTパネルサイズ	ビス間隔	被覆仕様
1	800x3400x150	442	珪酸カルシウム板15mm+強化石膏ボード45mm (15mm x 3枚)
2		590	
3		885	
4	600x3400x150	442	ALC板ユカテック36mm+強化石膏ボード30mm (15mm x 2枚)
5		590	

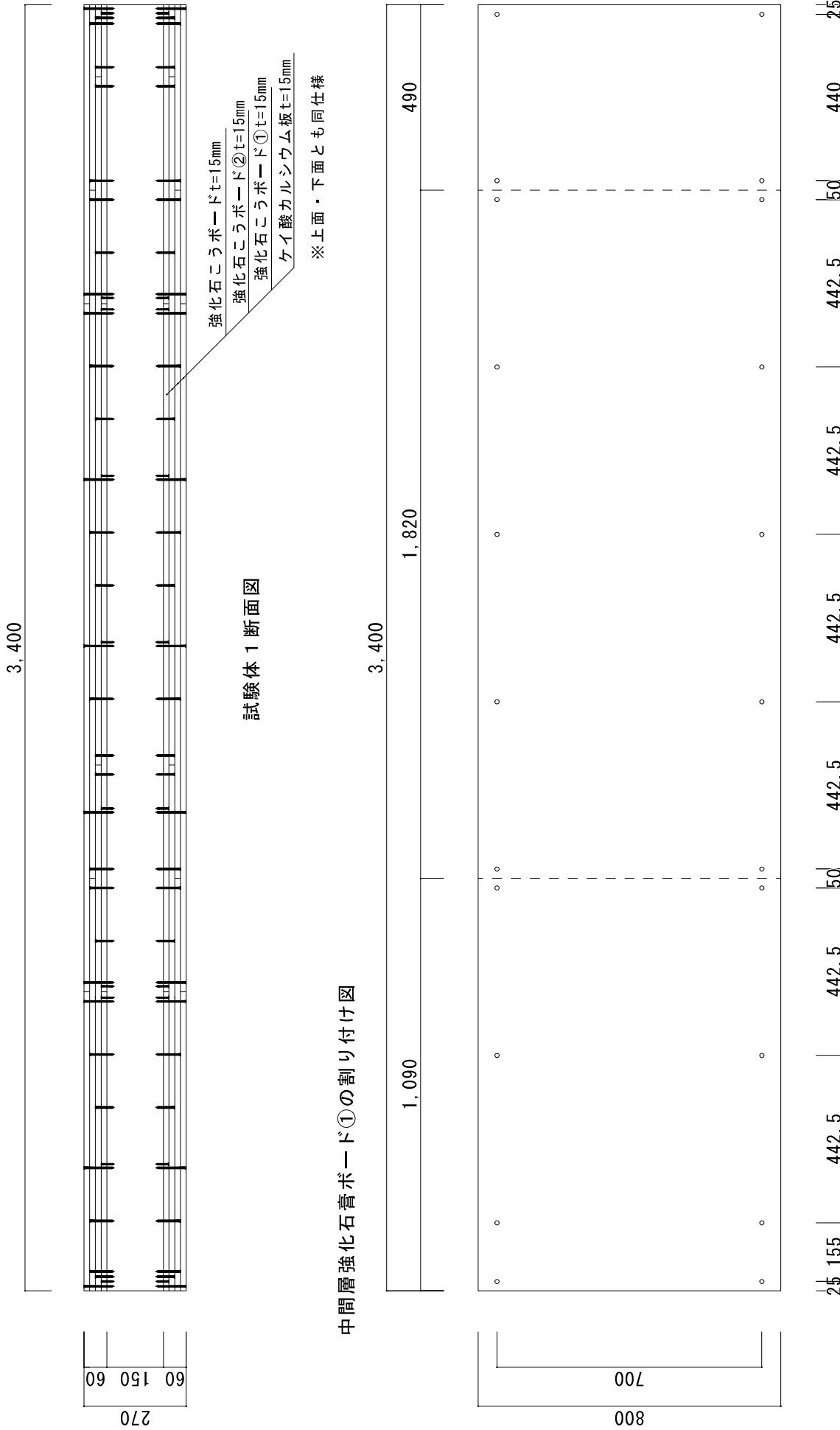
試験体 1 (ケイ力儿仕様@442)



※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

図1 試験体詳細図と被覆材割り付け図

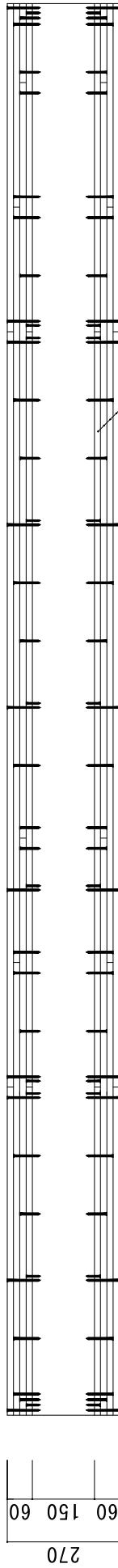
試験体 1 (ケイ力儿仕様@442)



※バスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体 1 (ケイカル仕様 @ 4 4 2)

3,400



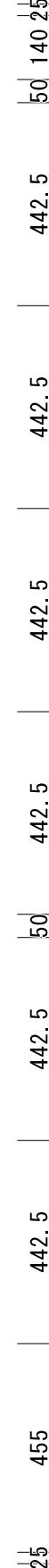
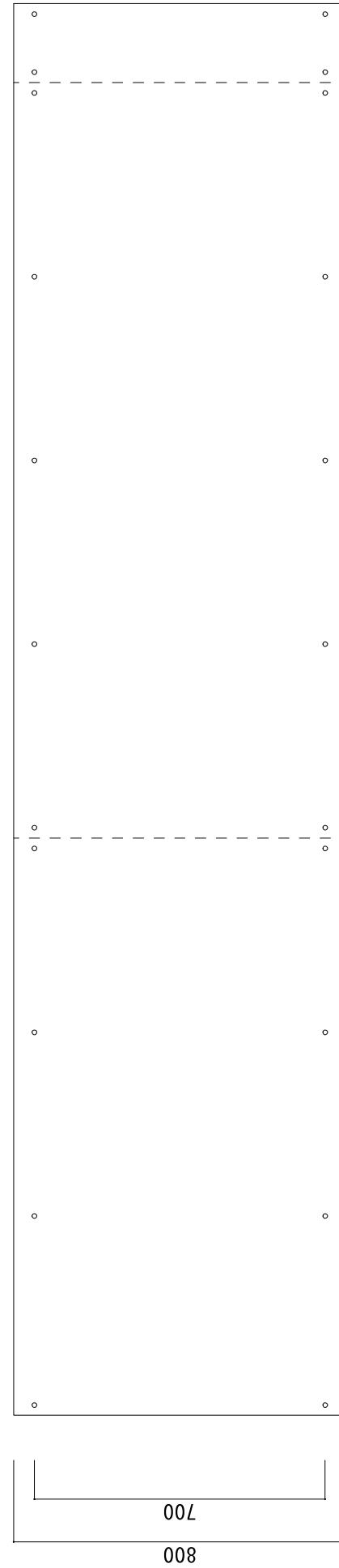
試験体 1 断面図

強化石こうボード t=15mm

強化石こうボード (2) t=15mm

ケイカル仕様 t=15mm

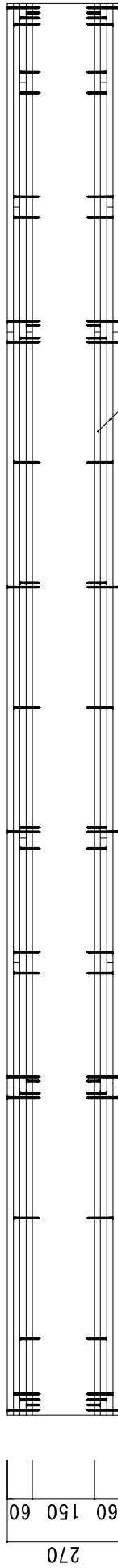
中間層強化石膏ボード②の割り付け図



※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体2(ケイカル仕様@590)

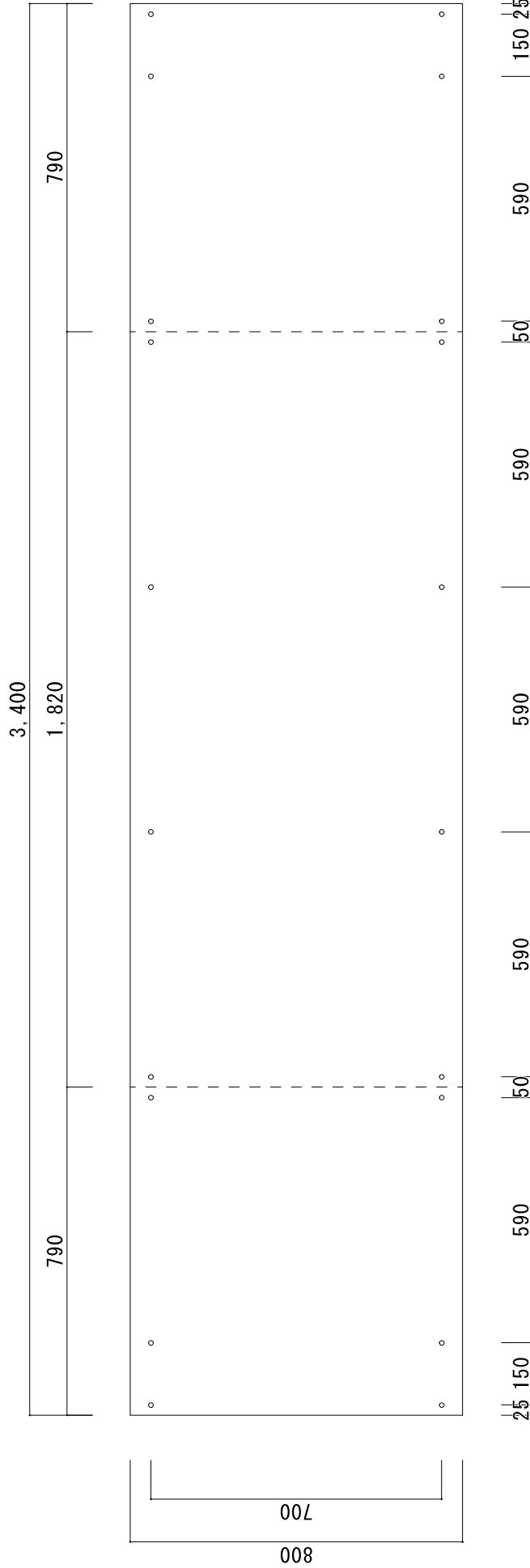
3,400



試験体2断面図

強化石こうボードt=15mm
強化石こうボード②t=15mm
強化石こうボード①t=15mm
ケイカルシウム板t=15mm

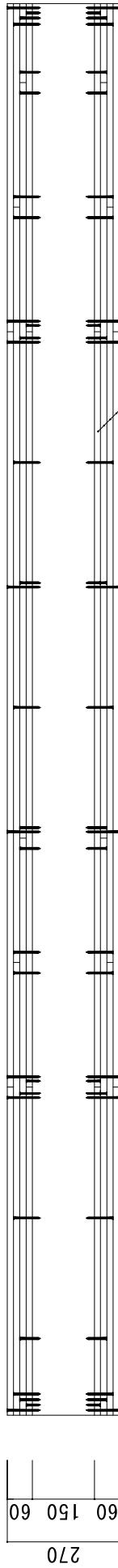
表面側ケイカル板および、CLT側強化石膏ボードの割り付け図



※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体2(ケイカル仕様@590)

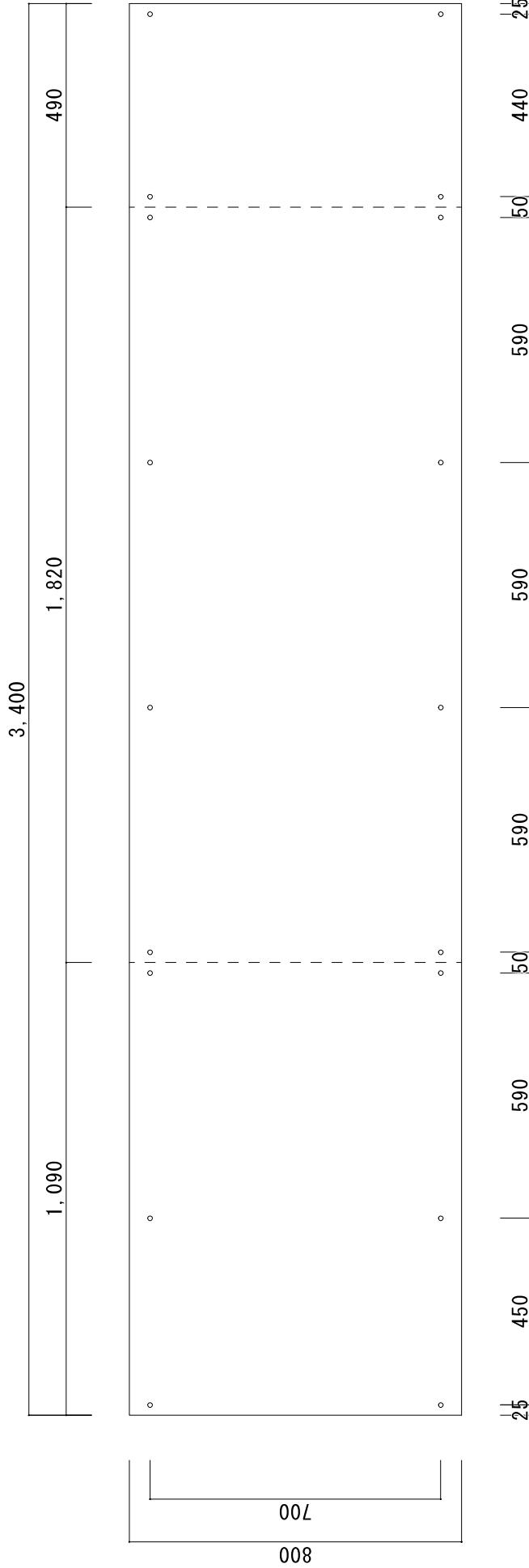
3,400



試験体2断面図

強化石膏ボード t=15mm
強化石膏ボード② t=15mm
ケイカルシウム板 t=15mm

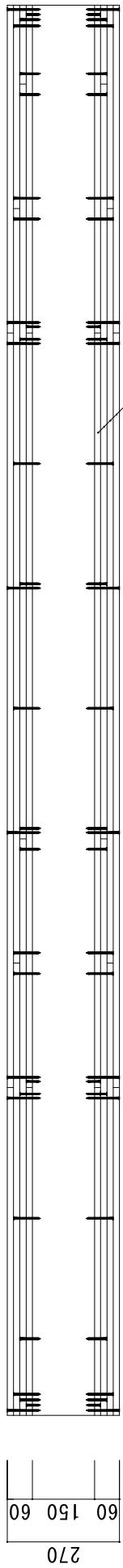
中間層強化石膏ボード①の割り付け図



※ビスが集中する箇所(例えば両端)は適宜位置をずらして留める

試験体2(ケイカル仕様@590)

3, 400



試験体2断面図

強化石こうボード t=15mm
強化石こうボード② t=15mm
強化石こうボード① t=15mm
ケイ酸カルシウム板

※上面・下面とも同仕様

中間層強化石膏ボード②の割り付け図

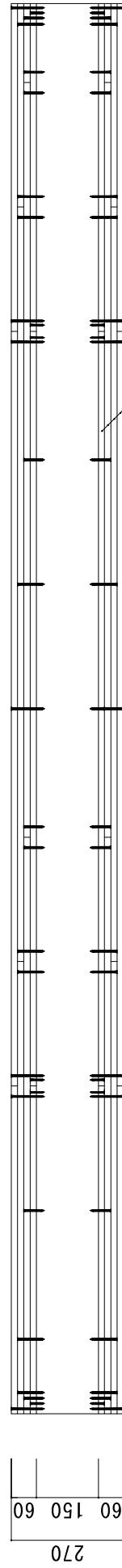
3,400

1,390	1,820	190
-------	-------	-----

※バスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

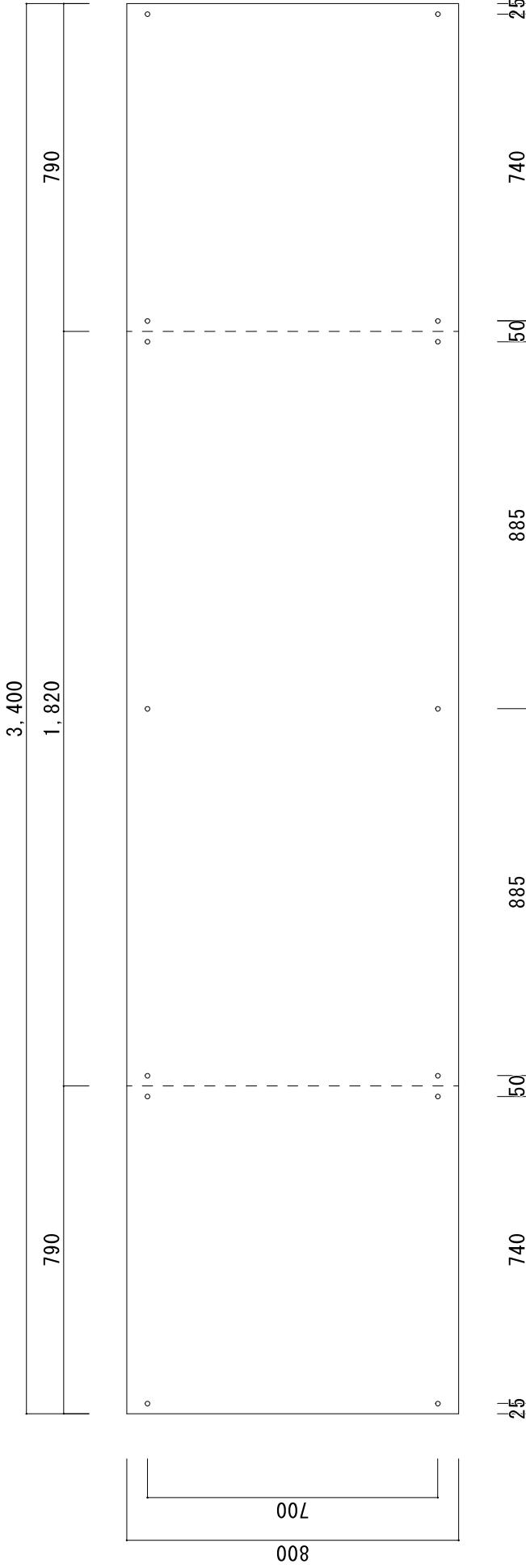
試験体3(ケイカル仕様@885)

3,400



試験体3断面図

表面側ケイカル板および、CLT側強化石膏ボードの割り付け図

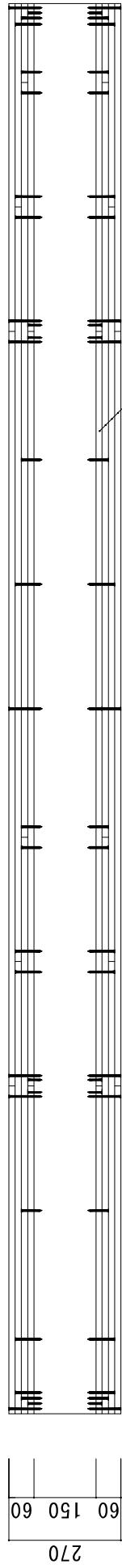


※上面・下面とも同仕様

※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体3(ケイカル仕様@885)

3,400



試験体3断面図

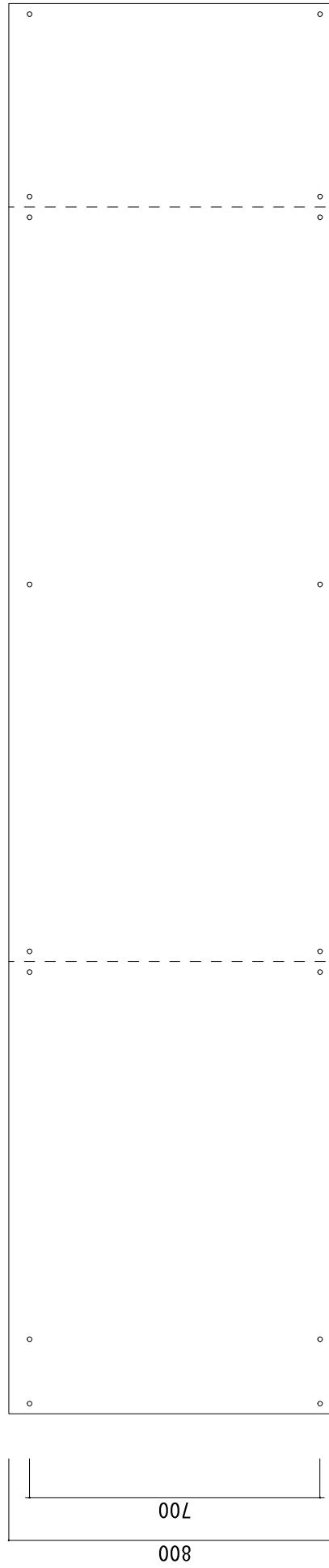
中間層強化石膏ボード①の割り付け図

3,400

1,090

1,820

490



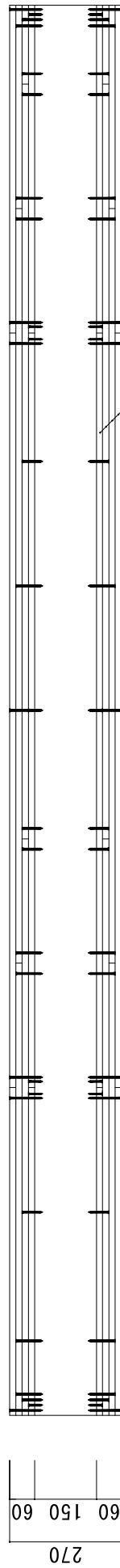
※上面・下面とも同仕様

※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

25	155	885	50	885	50	440	25
----	-----	-----	----	-----	----	-----	----

試験体3(ケイカル仕様@885)

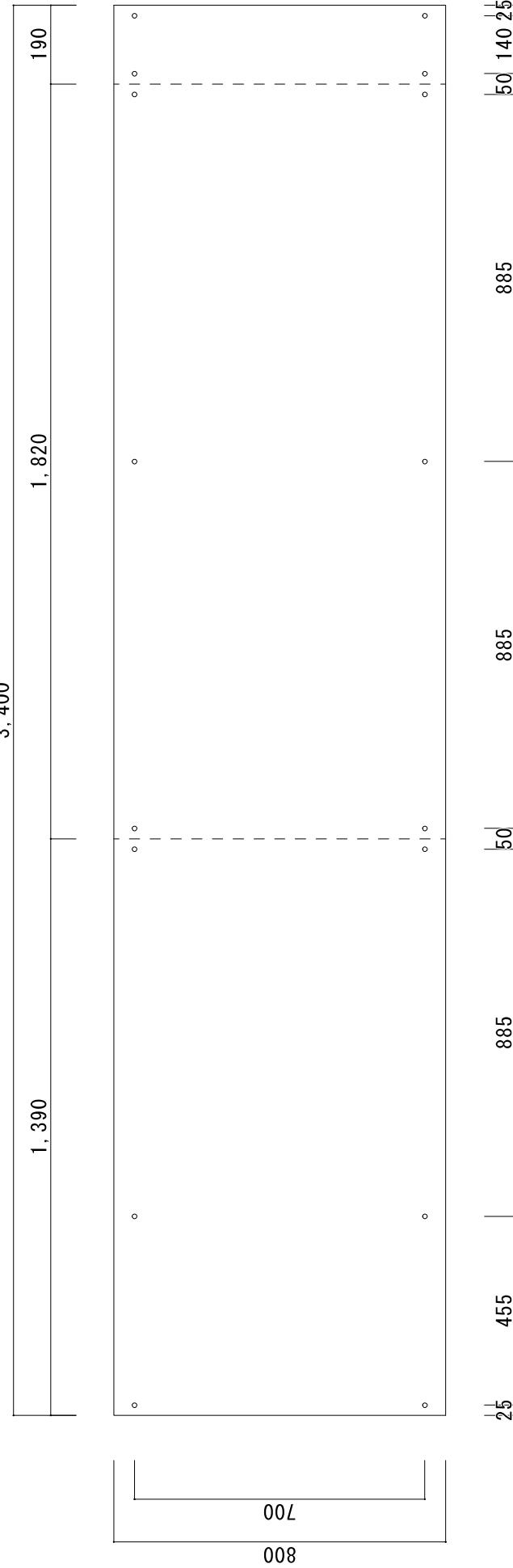
3,400



試験体3断面図

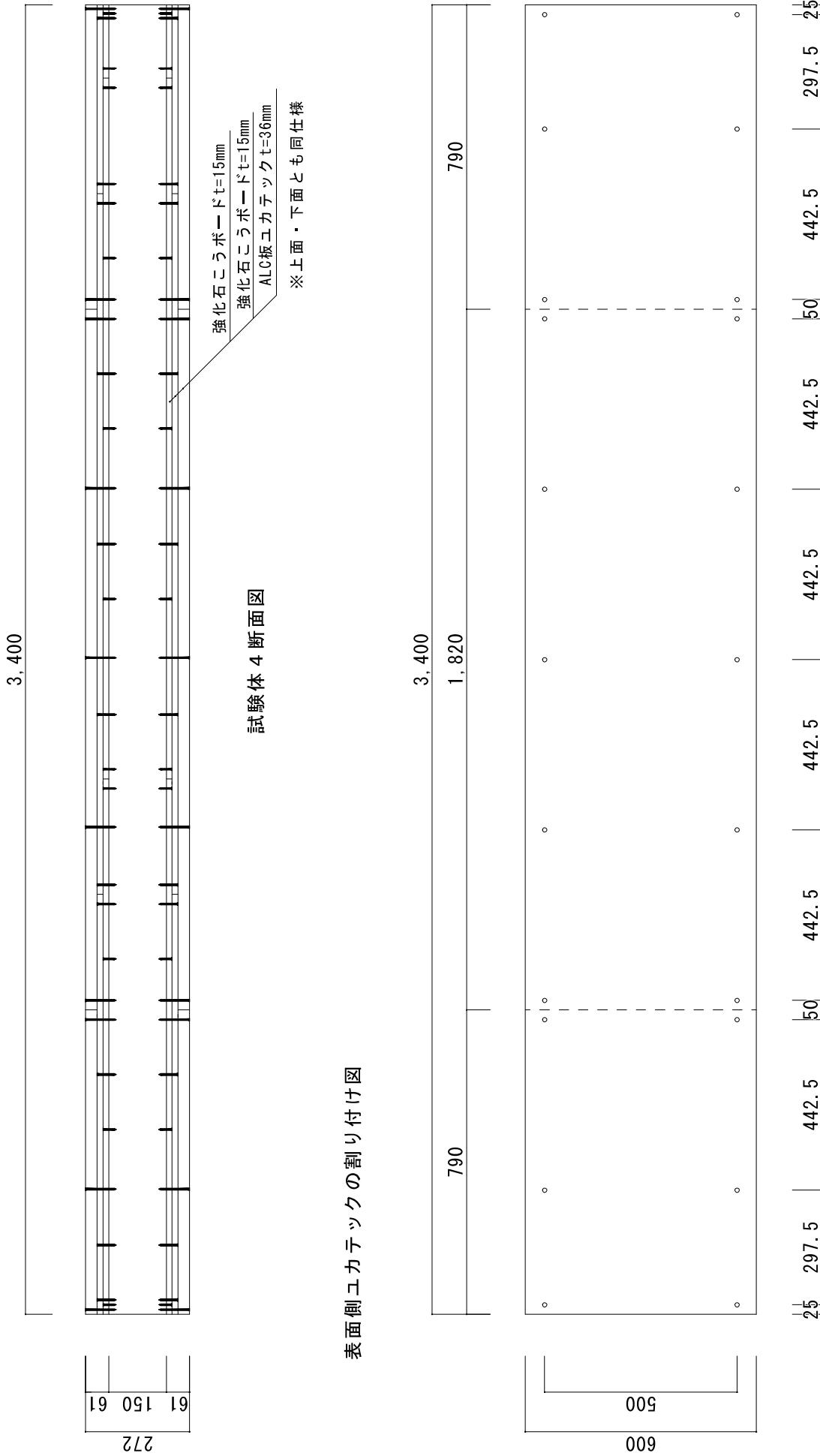
強化石膏ボードt=15mm
強化石膏ボード②t=15mm
強化石膏ボード①t=15mm
ケイカルシウム板t=15mm

中間層強化石膏ボード②の割り付け図



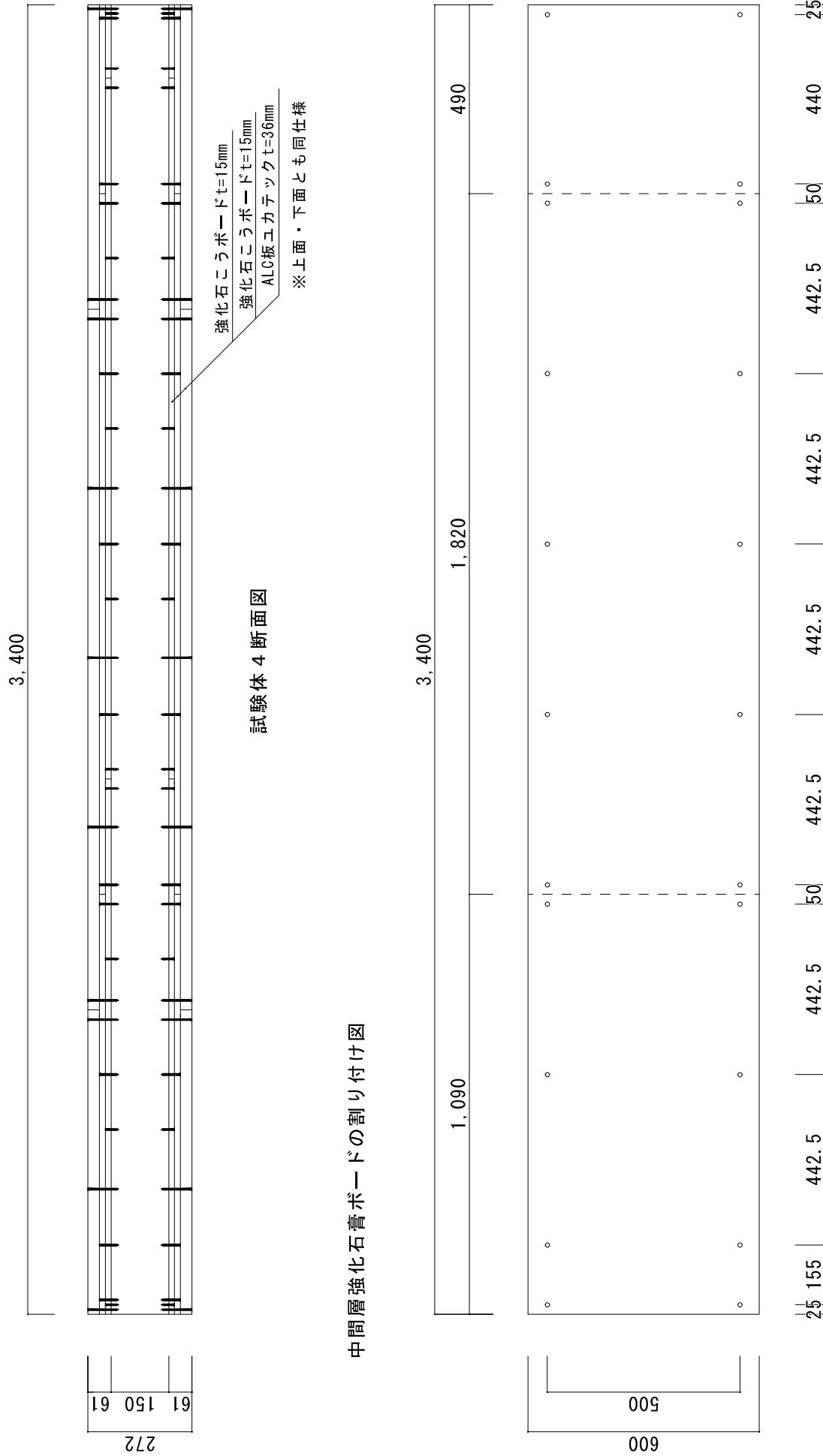
※ビスが集中する箇所(例えば両端)は適宜位置をずらして留める

試験体4(ユカテック仕様@442)



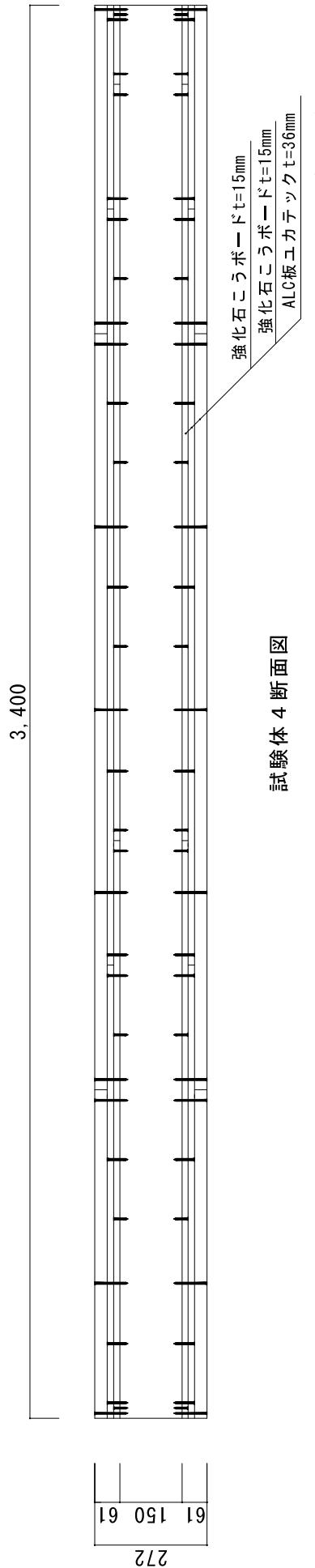
※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体4(ユカテック仕様@442)

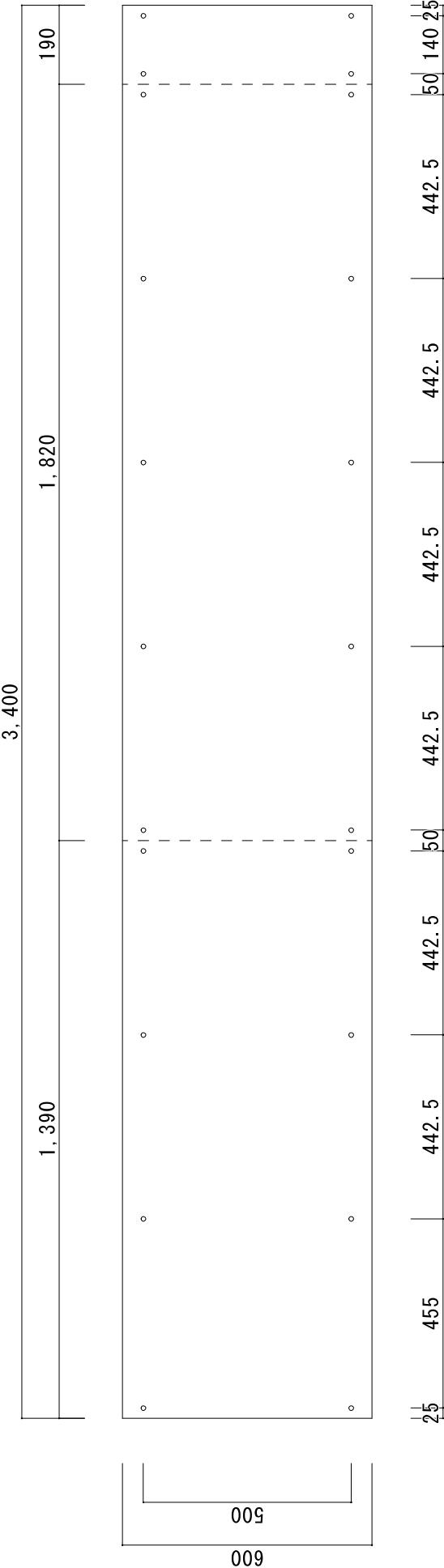


※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体4（ユカテック仕様@442）

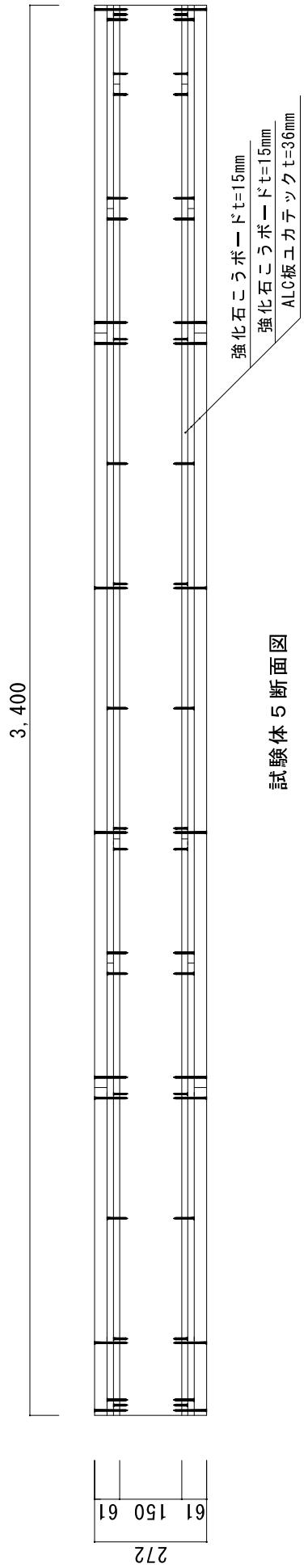


CLT側強化石膏ボードの割り付け図

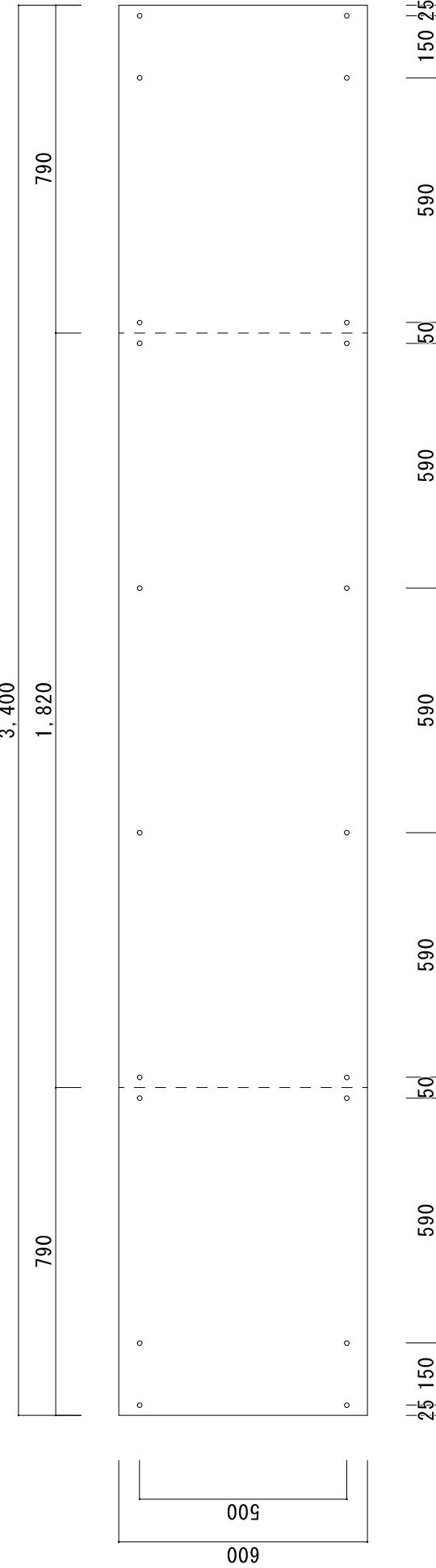


※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体5（ユカテック仕様@590）

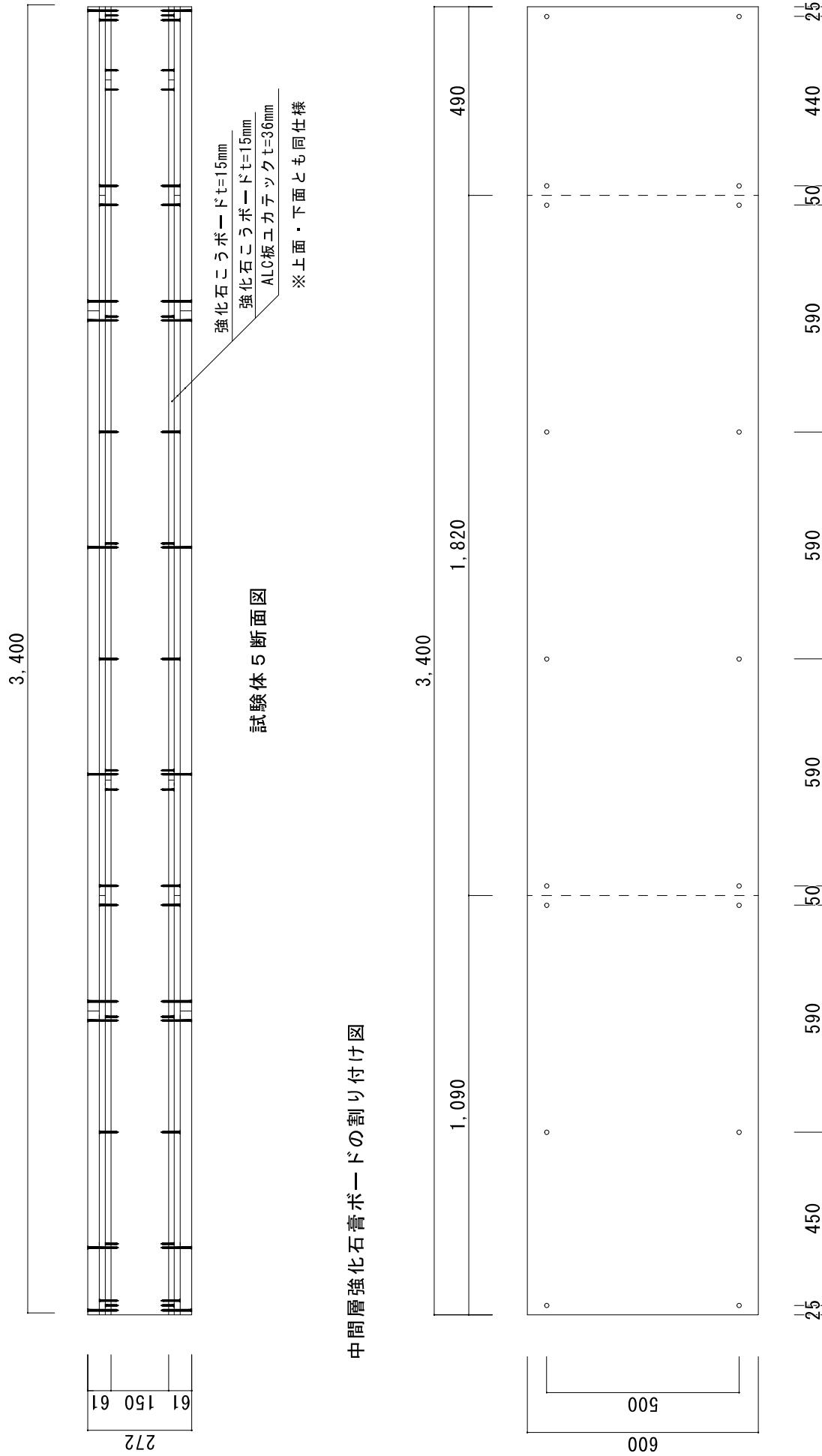


表面側ユカテックの割り付け図



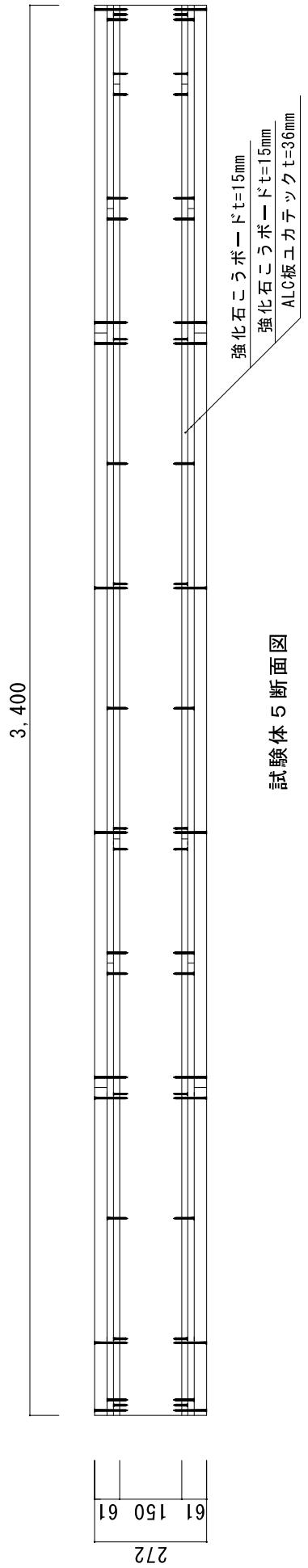
※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体5（ユカテック仕様@590）

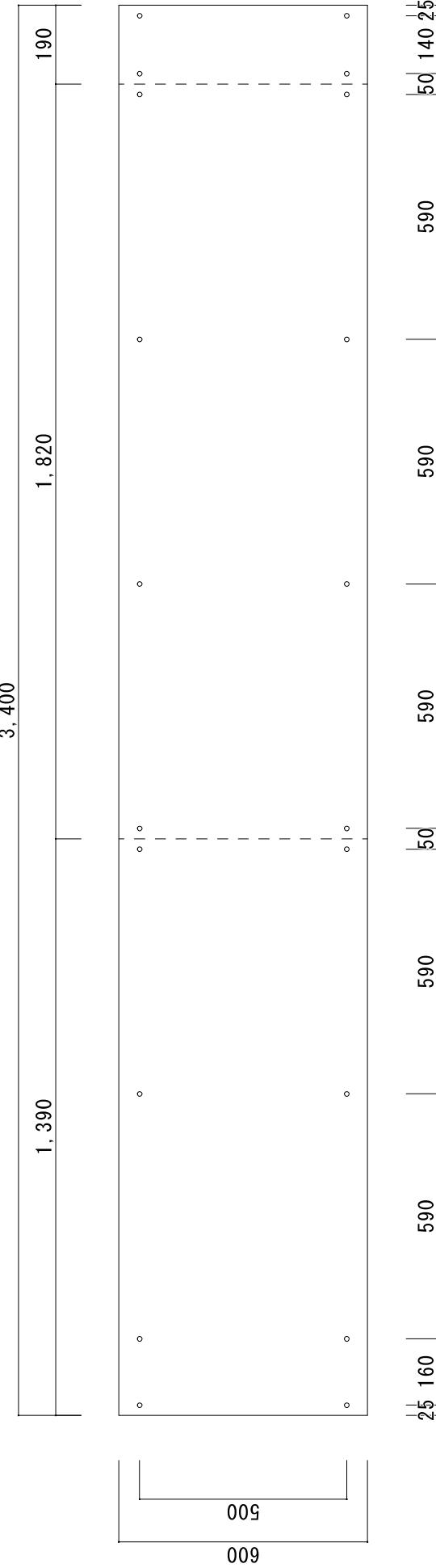


※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

試験体5（ユカテック仕様@590）



CLT側強化石膏ボードの割り付け図



※ビスが集中する箇所（例えば両端）は適宜位置をずらして留める

9-3. 試験の方法

載荷方法を図2に示す。載荷は500t圧縮試験機を使用し、二点載荷で一方向繰返しとした。支持点は両端ローラー支承とし、載荷梁と試験体の間にはピンを設置した。支点間距離は3200mmである。

載荷プログラムは、振動解析を行ない、その結果をもとに決定した。振動解析結果を図3に示す。条件は、入力地震波にはEl-Centro原波形を与える、CLT床厚は150mmとしている。同図縦軸は床の上下方向変位量、横軸は時間である。同図より、床材の上下方向変位は0.2cm～0.4cmの間で揺れ動いていることが見て取れる。この結果を考慮し、実験では2.5mmを20回、5.0mmを10回の、計30回繰り返し荷重を与えることとした。なお、変位制御は床の中央部のたわみである。

また、最終破壊時の破壊性状を把握するため、ケイカル板仕様@900とALC板仕様@400の二つの試験体に対して、30回繰り返し載荷を与えたのち、一方向単調載荷で破壊するまで実験を行なった。

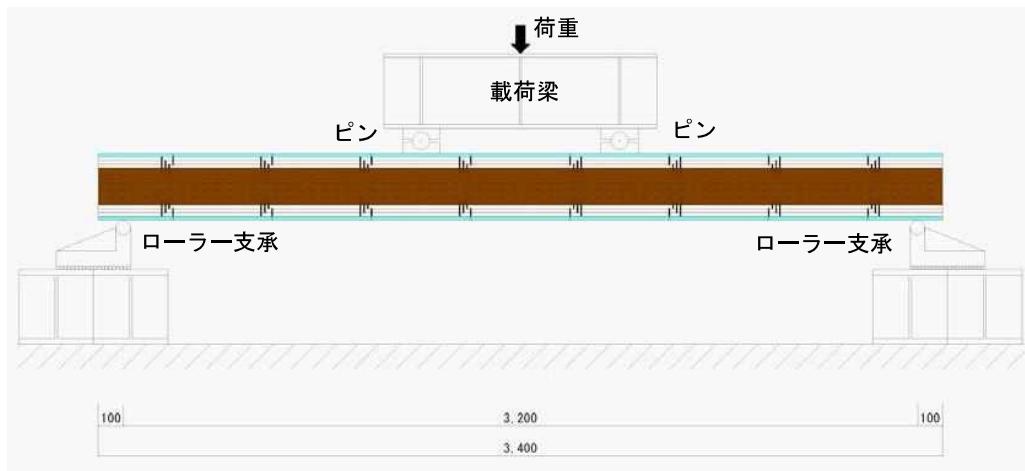


図2 載荷方法

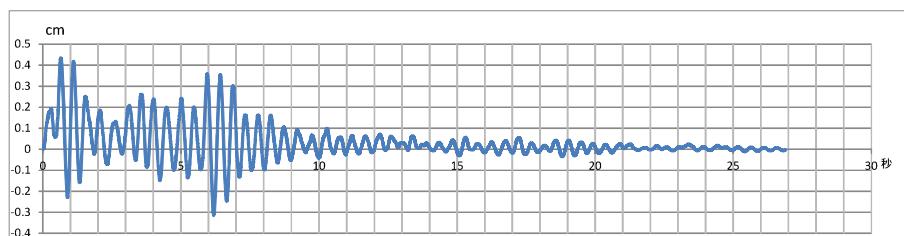


図3 振動解析結果

9-4. 試験結果

実験結果を図4に示す。縦軸は除荷時の荷重、横軸は繰り返し回数を示す。繰り返し回数1回目から20回目は2.5mm振幅、21回目から30回目までは5.0mm振幅である。

同図より、何れの条件においても、繰り返しによる耐力低下は見られないことがわかる。また、耐火被覆材の損傷もほとんど見られず、軽微なものであった。損傷の例として、図5に示すようなコースレッド付近のひび割れや、めり込みなどが観察された。何れも耐火被覆材の崩落に直結するものではないものといえる。

ケイカル板仕様とALC仕様の結果を比較すると、ケイカル板仕様の方が耐力が大きく発揮されている。これは、ALC板仕様のCLTパネル幅が600mmに対して、ケイカル板仕様の場合は800mmであることに起因する。

最終破壊性状を調べるために実施した試験体ケイカル板仕様@900とALC板仕様@400の荷重-変形関係を図6に示す。どちらの試験体も中央部たわみ量60mm程度で急激に耐力が低下している。これは、CLTパネルの曲げ破壊によるものであり、そのときの様子を図7に示す。CLTパネルのラミナに大きな亀裂が生じたために実験を終了したが、耐火被覆材はほぼ無損傷のままであった。ALC板のみ角部が若干損傷したが、これはおよそ変位40mm付近で生じたものであり、通常使用する範囲で脱落したり欠損することは無いものと考えられる。

30回繰り返し載荷を与えたときの荷重は概ね10kN前後であったのに対し、最終破壊時の荷重は100kN近く発揮されている。このことより、上下動を含む地震動により床パネルや耐火被覆材が損傷するまでには余裕があるものと考えられる。



(a) 全体図

(b) ビス付近の見上げ写真

図5 繰り返し載荷終了時の写真

9-5. 考察

本実験より、使用するビスの間隔、耐火被覆仕様ともに繰返し荷重による損傷に差異は見られないことがわかった。本章では繰返し振幅と回数を振動解析結果に基づいて決定したが、解析に使用した諸条件が適切かどうかの検証は別途実施する必要があるものと考えられる。しかしながら、本事業での使用を想定しているCLT床パネルは210mm厚であり、解析で用いた床厚は150mmであるため、実際より条件としては厳しめの実験となっている。これらのこと考慮しても、本実験で繰返し荷重が作用した場合の耐火被覆材とCLT床の凡その挙動は掴むことができたものと考えられる。

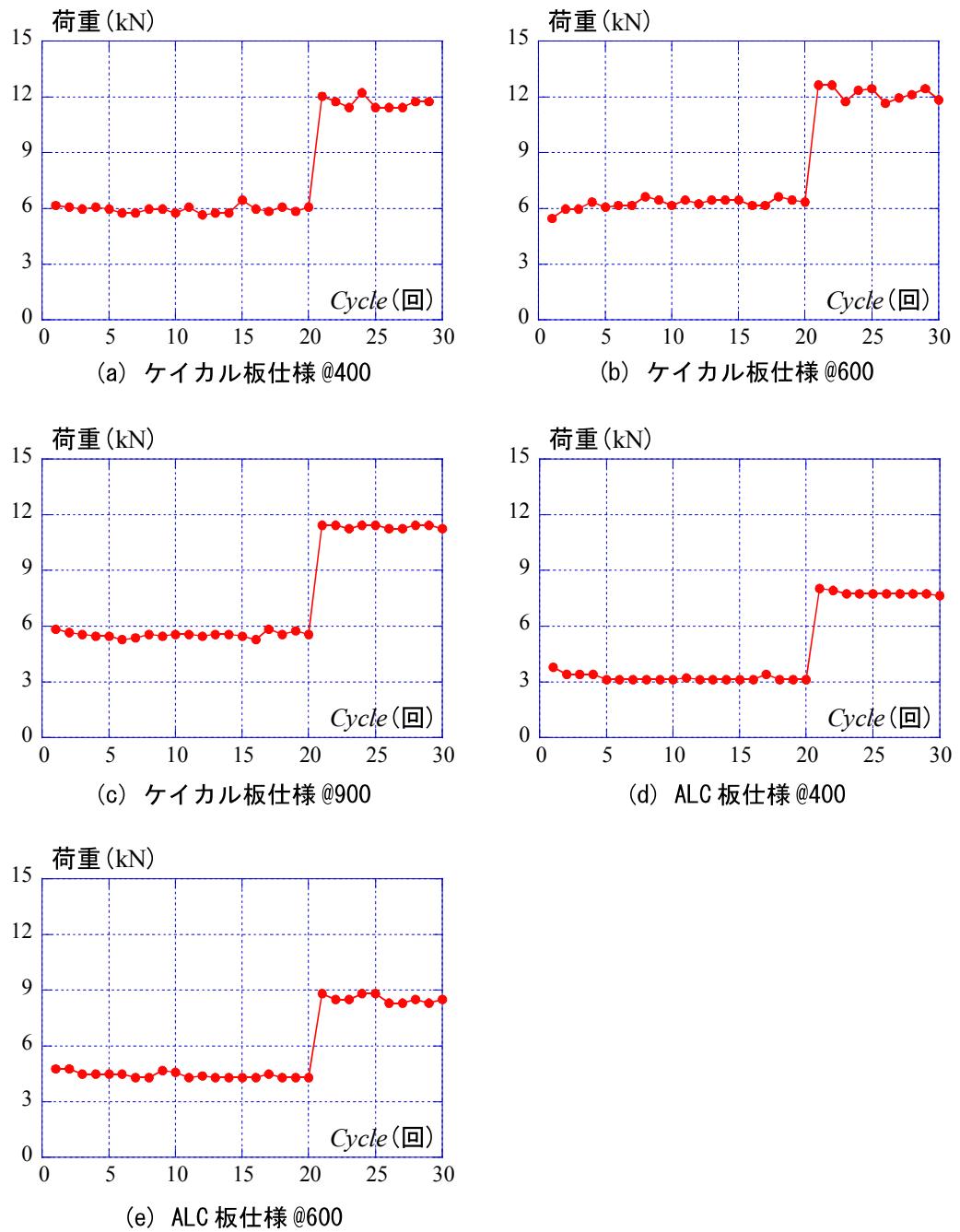


図4 除荷時の荷重一繰返し回数関係

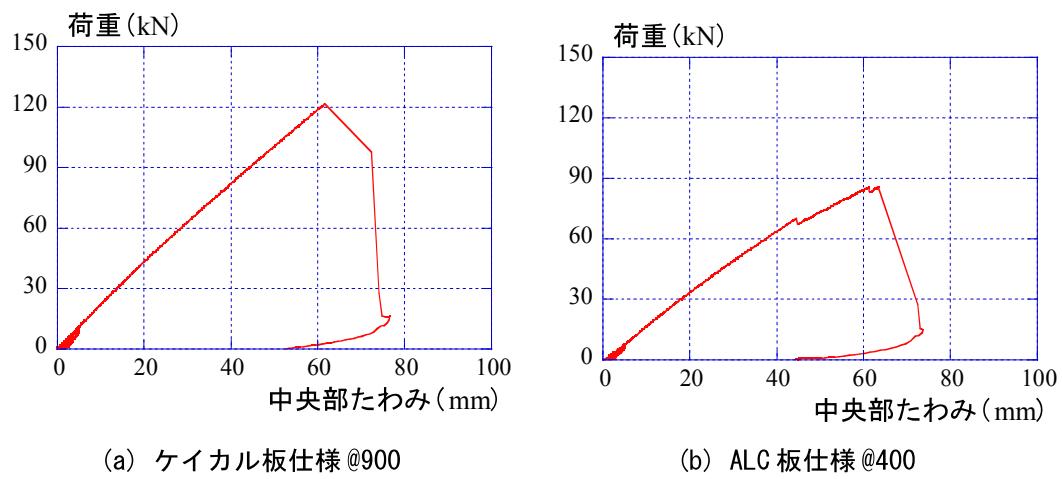


図 6 最終破壊時の荷重一変形関係



図 7 実験後の写真

第10章 上下動を含む地震荷重が作用した場合のCLTの抜け落ち強度の把握

10-1. 試験の目的

本章では、地震により激しい水平動・上下動が作用した場合のCLT床の脱落の問題を検証する。特に上下動が作用した場合に懸念される事項が、エポキシで一体化されたスタッドの引抜けである。一般的に鉄筋コンクリート（以下RCと略記）スラブの場合、スタッドには頭付スタッドが使用される。これはスタッドの頭の突起部分で引き抜き力に対して支圧で抵抗できる意図がある。しかしながら、本事業で提案しているスタッドは施工性を考慮した頭無しスタッドを採用している。従って、引抜力に対しては、頭付スタッドのような突起がないために、抵抗力が低下する恐れがある。そこで本章では、CLT床とスタッドの取り付け強度を把握することを目的として、図1のような試験体を製作し、引き抜き試験を行い、CLT床とスタッドの接合強度を検討した。

10-2. 試験体の仕様

試験体詳細を図1に示す。CLTパネルには、 $150 \times 235 \times 90\text{mm}$ の3層3プライを用い、所定の箇所に孔を設けた。パネル中央部の孔 $\phi 26$ に鉄筋を通し、充填剤を流し込むことでCLTパネルと鉄筋を一体化した。なお、使用した鉄筋は直径13mmである。充填剤にはエポキシとグラウトを用いた。また、鉄筋には異形鉄筋と丸鋼を用い、付着強度の違いによる影響について検討した。試験体一覧を表1に示す。実験変数には充填剤の違い（エポキシまたはグラウト）、鉄筋の種別（異形鉄筋または丸鋼）である。試験体名はSD：異形鉄筋、SR：丸鋼、E：エポキシ、G：グラウトを示す。なお、E1～E3は同一条件での試験体である。

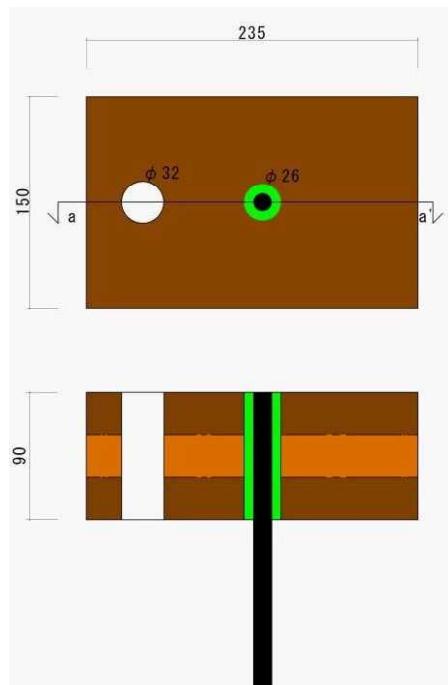


図1 試験体詳細

表1 試験体一覧

番号	鉄筋	充填剤
SD-E1	異形	エポキシ
SD-E2	異形	エポキシ
SD-E3	異形	エポキシ
SD-G	異形	グラウト
SR-E1	丸鋼	エポキシ
SR-E2	丸鋼	エポキシ
SR-E3	丸鋼	エポキシ
SR-G	丸鋼	グラウト

10-3. 試験の方法

載荷方法を図2に示す。載荷は100t万能試験機により、鉄筋に一方向単調で引張力を加えた。変形は、全体変形(2箇所)を計測した。なお、CLTパネルに開けた ϕ 32の孔にM27の高力ボルトを通して締め上げ、試験機とCLTパネルを一体化させた。

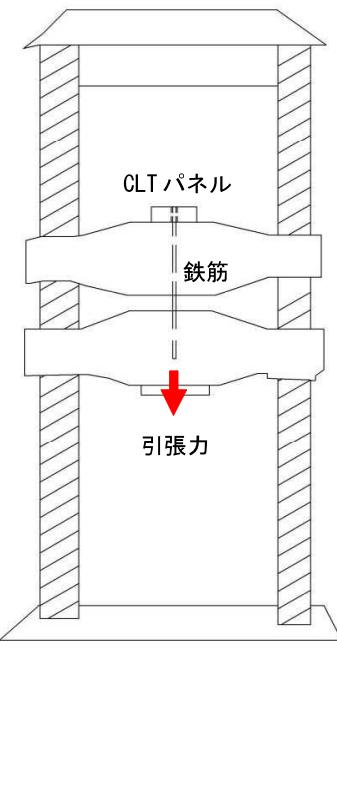


図2 載荷方法



図3 試験の様子

5-4. 試験の結果

実験結果を図4に示す。縦軸は荷重、横軸には変形をとっており、西側および東側の平均値である。また、主要な試験体の破壊性状を図5に示す。また、試験体SD-E3は載荷時に滑りが生じ、正確なデータが得られなかつたため、参考値としている。

図4より、エポキシとグラウトを充填した比較すると、エポキシを使用した試験体Eシリーズの方が大きな値を示していることが分かる。また、異形鉄筋と丸鋼の比較では、SD-E試験体とSR-E試験体で比較すると、異形鉄筋を用いた方が大きくなっている。これは、異形鉄筋に節があるため、付着強度が上昇したことによるものと考えられる。表2には、鉄筋の歪を示しているが、総じてSDシリーズの方が鉄筋のひずみも大きくなっていることが分かる。また、一方で、SD-GとSR-Gを比較すると、丸鋼を使用した試験体の方が僅かながら大きな値を示している。それぞれ試験体一体ずつしか実験していないため、グラウトを充填したためなのかも含めて、原因は不明である。

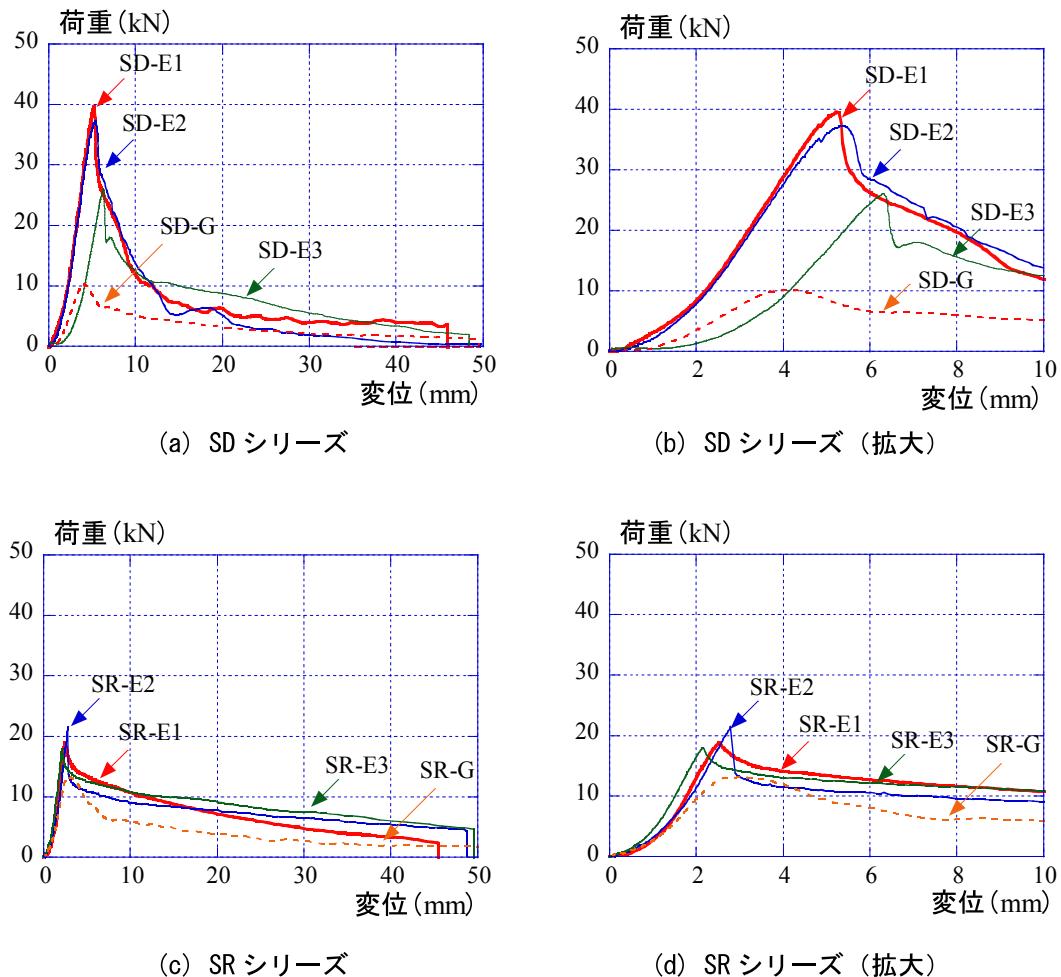


図4 試験の様子



(a-1) 鉄筋



(a-2) CLT 上面



(a-3) CLT 下面

(a) SD-E1



(b-1) 鉄筋



(b-2) CLT 上面



(b-3) CLT 下面

(b) SD-E2

図5 試験後の写真



(c-1) 鉄筋



(c-2) CLT 上面



(c-3) CLT 下面

(c) SD-E3



(d-1) 鉄筋



(d-2) CLT 上面



(d-3) CLT 下面

(d) SD-G

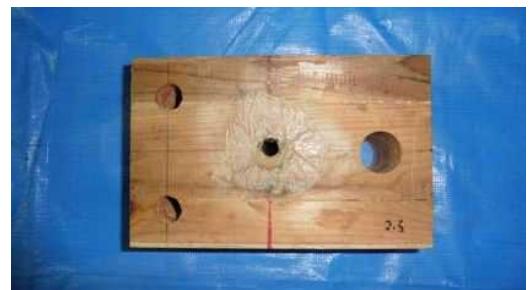
図5 試験後の写真（つづく）



(e-1) 鉄筋



(e-2) CLT 上面



(e-3) CLT 下面

(e) SR-E1



(f-1) 鉄筋



(f-2) CLT 上面



(f-3) CLT 下面

(f) SR-E2

図5 試験後の写真（つづく）



(g-1) 鉄筋



(g-2) CLT 上面



(g-3) CLT 下面

(g) SR-E3



(h-1) 鉄筋



(h-2) CLT 上面



(h-3) CLT 下面

(h) SR-G

図5 試験後の写真（つづき）

実験後の写真を見ると、異形鉄筋を使用したSDシリーズは、充填剤ごと引き抜けており、CLTと充填剤の付着によって強度が決まっていることが分かる。一方で、丸鋼を使用したSRシリーズでは、SR-Gを除いて丸鋼のみが引抜けている。従って、鉄筋種別の違いは最終破壊形式にも影響を及ぼし、先に述べたように異形鉄筋を使用することで鉄筋と充填剤間の付着が増し、結果として引抜耐力も大きくなることが分かる。SR-Gは充填剤ごと引き抜けており、結果としてSD-Gよりも大きな値となったものと推察される。

10-5. 考察

本実験より、充填剤による違いと鉄筋による違いで、引抜力に及ぼす影響が大きく異なることを明らかとした。実際に使用する場合は、スタッドに作用する引張力を算定し、本実験で示した荷重値を超えないように配慮することが重要である。また、本実験で示した値は要素試験であるため、実験データを蓄積するなど、より詳細な検討が望まれる。

表2 主要な実験値一覧

番号	最大荷重(kN)	変形(mm)	鉄筋の歪(μ)
SD-E1	39.5	5.26	1713
SD-E2	37.2	5.34	1657
SD-E3	26.0	6.31	1039
SD-G	10.3	4.18	380
SR-E1	18.8	2.53	679
SR-E2	21.5	2.79	767
SR-E3	18.0	2.17	652
SR-G	13.2	3.06	496

第11章 設計施工マニュアルの検討

本章では、柱梁S造、床CLT構造の建築を設計する場合に特に重要な以下の点について解説する。

- (1)剛床仮定の成立可能性の検討について
- (2)CLT床の歩行振動について
- (3)CLT床2時間耐火被覆仕様について
- (4)各種実験等より求まるデータシートについて

(1)の剛床仮定の成立可能性の検討については、コンピュータプログラムを利用する方法（精解法）と表計算ソフトを利用して行う簡便な方法を準備している。精解法で行う場合には、コンピュータプログラムは福岡大学稲田倉富研究室のホームページより、ダウンロード可能なので、適宜利用されたい。

(2)の歩行振動についても、コンピュータプログラムを利用する方法を示しているが、プログラムが必要な場合には、(1)と同様、稲田倉富研究室のホームページよりダウンロードが可能なので、参照されたい。

(3)は2時間耐火性能が確認された仕様の施工マニュアルを作成した。

(4)のデータシートは、これまでの補助事業で行った実験結果より明らかになった事項を簡潔にまとめたものである。設計等を進める場合には、適宜活用されたい。

剛床仮定の成立に関する検討

1. 検討建物（5階建てモデル）

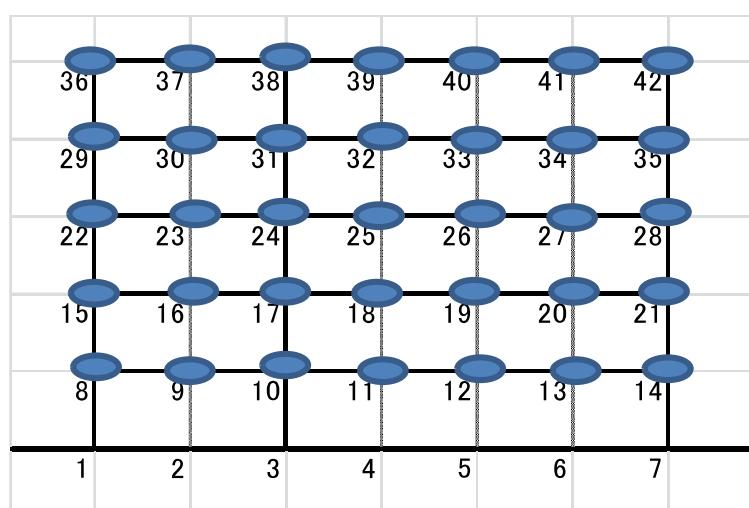
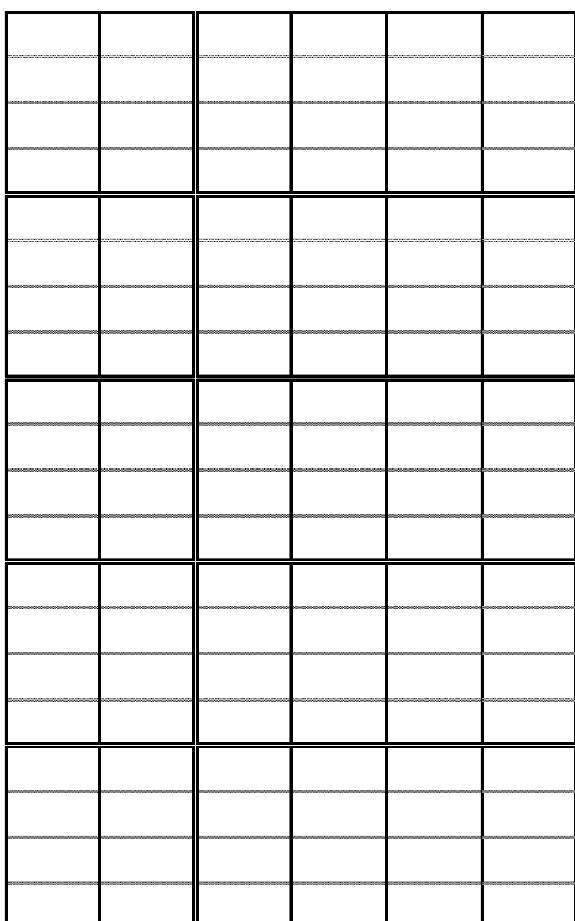
●剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 100 gal）

建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=0.608sec)	
	初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変形
5 4757	4243	4721	849	3.2	0.40
4 2993	4246	6670	849	2.8	0.62
3 2993	4285	8278	857	2.2	0.78
2 2993	4419	9583	884	1.4	0.84
1 2993	6820	10605	1364	0.6	0.59

●剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=0.608sec)	
	初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変形
5 4757	4243	4721	849	14.9	1.50
4 2993	4246	6670	849	13.5	2.50
3 2993	4285	8278	857	11.1	3.90
2 2993	4419	9583	884	7.2	4.85
1 2993	6820	10605	1364	2.6	2.57

●非剛床振動解析モデル



●スタッドの端方向せん断で決まる床のせん断耐力

- ・スタッドの耐力： 10 kN/本

The diagram shows a beam frame structure with a grid of dimensions 100x200. The structure consists of vertical columns and horizontal rows. A dashed line indicates a boundary or cut-off point. The right side of the diagram lists material properties for each element:

Element	Width (mm)	Height (mm)	Thickness (mm)	Modulus of Elasticity (GPa)	Strength (kN)	Bending Moment (kNm)
100	100	100	10	10	1.4	42.6 kNm
200	200	200	20	30	0.429	85.3 kN
200	200	200	20	50	0.714	15.0 kN
200	200	200	20	70	1.000	10.0 kNm
200	200	200	20	150	1.000	44.2 kNm
200	200	200	20	130	0.867	27.6 kN
200	200	200	20	110	0.733	7.3 kNm
200	200	200	20	90	0.600	6.0 kNm
200	200	200	20	70	0.467	4.7 kNm
200	200	200	20	50	0.333	3.3 kNm
200	200	200	20	30	0.200	2.0 kNm
200	200	200	10	10	0.067	0.7 kNm
100	100	100				426.3 kNm

- ・スタッドのピッチ 200mm : 426kN/列

- ・スタッドのピッチ 100mm : 723kN/列

各階単位重量 ↓	質点重量		
	1,7通り	2~6通り	
	支配面積→	51.2	102.4
5	7.74	396.4	792.9
4	4.87	249.5	498.9
3	4.87	249.5	498.9
2	4.87	249.5	498.9
1	4.87	249.5	498.9

床長さ＝	320	cm	
床幅＝	160	cm	
床厚＝	21	cm	
断面2次モーメント＝	7168000	cm ²	
断面積＝	3360	cm ²	
CLTのヤング率＝	2500	N/mm ²	
せん断弾性係数＝	200	N/mm ²	
CLT床の曲げ剛性＝	656	kN/cm	
CLT床のせん断剛性＝	210	kN/cm	
CLT床の剛性＝	159	kN/cm	
ばね枚数＝	20	箇所	3182

	フレーム剛性			1通り			3通り			7通り		
	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度
5	4757.1	849	4721	1427	255	1416	1903	339	1888	1427	255	1416
4	2993.4	849	6670	898	255	2001	1197	340	2668	898	255	2001
3	2993.4	857	8278	898	257	2483	1197	343	3311	898	257	2483
2	2993.4	884	9583	898	265	2875	1197	353	3833	898	265	2875
1	2993.4	1364	10605	898	409	3182	1197	546	4242	898	409	3182

●非剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 100 gal）

剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)							
	1		3				7	
5	3.15	2.99	3.09	3.11	3.27	3.33	3.29	3.17
4	2.77	2.62	2.68	2.70	2.79	2.83	2.81	2.75
3	2.16	2.03	2.08	2.09	2.17	2.20	2.19	2.13
2	1.42	1.35	1.40	1.41	1.48	1.50	1.49	1.44
1	0.59	0.56	0.58	0.59	0.63	0.65	0.64	0.60

	床せん断力(kN)						床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	
5	342	64	491	196	106	401	RC床
4	211	63	270	116	44	196	CLT床
3	174	45	236	100	43	180	
2	142	38	214	92	40	169	
1	79	20	145	60	37	125	

	層間変形(cm)			
	剛床	非剛床		
5	0.40	0.37	0.42	0.43
4	0.62	0.59	0.62	0.64
3	0.78	0.74	0.77	0.78
2	0.84	0.79	0.82	0.84
1	0.59	0.56	0.59	0.60

●非剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)							
	1		3				7	
5	14.9	15.2	15.5	15.6	16.0	16.2	16.1	15.8
4	13.5	14.0	14.2	14.2	14.4	14.5	14.4	14.2
3	11.1	10.7	10.9	10.9	11.1	11.1	11.1	10.9
2	7.2	6.6	6.7	6.6	6.7	6.7	6.6	6.5
1	2.6	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9

	床せん断力(kN)						床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	
5	1166	453	1675	799	340	1211	RC床
4	660	338	866	422	311	887	
3	519	234	684	319	210	540	
2	513	257	673	313	281	606	
1	345	231	509	352	319	598	

注) 赤字はスタッドピッチ 200mm では、強度が不足している部分

	層間変形(cm)			
	剛床	非剛床		
5	1.50	1.23	1.49	1.77
4	2.50	3.36	4.42	3.32
3	3.90	4.46	4.64	4.74
2	4.85	4.17	4.11	3.86
1	2.57	2.52	2.68	2.87

2. 検討建物（10階建てモデル）

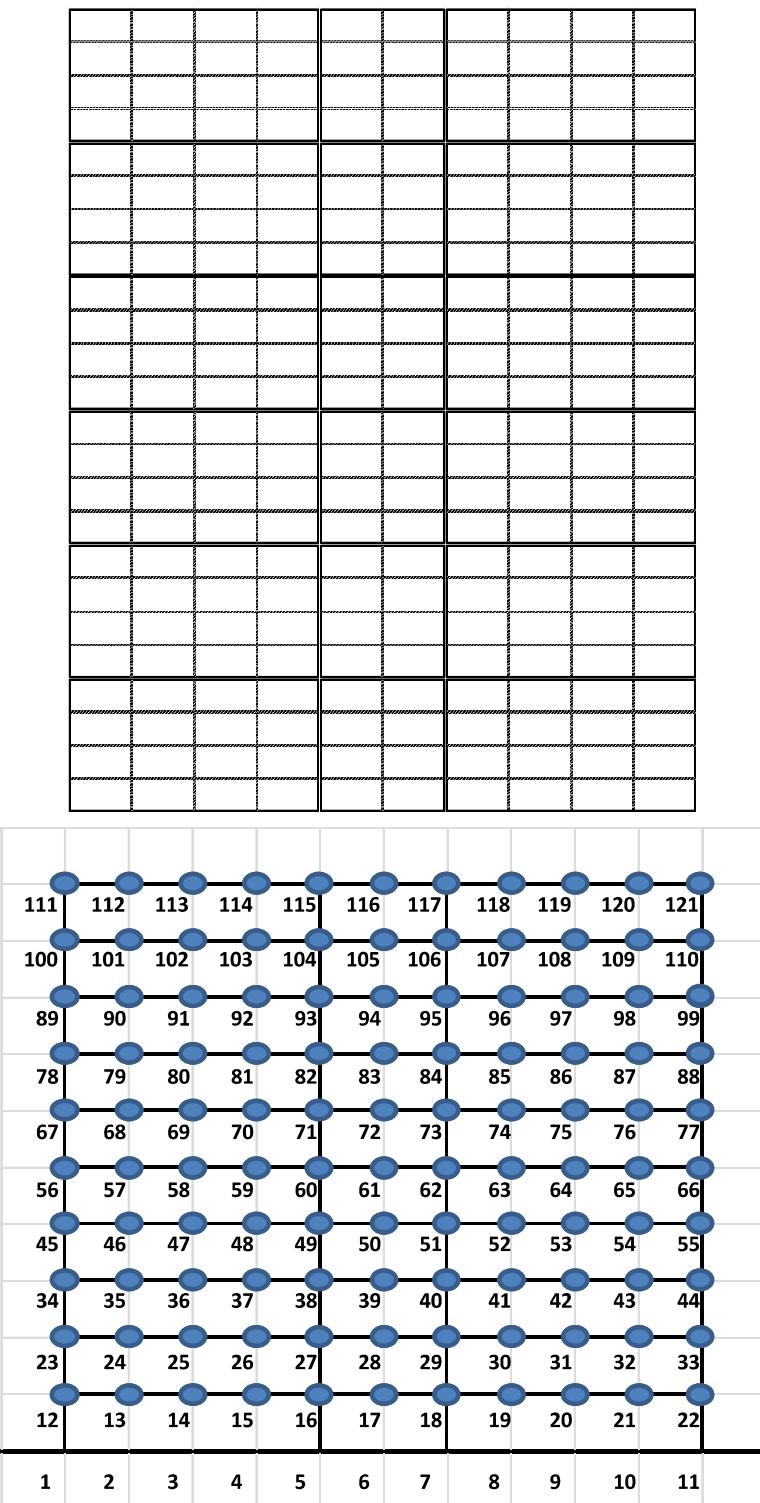
●剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 250 gal）

建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=1.238sec)	
	初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変形
10	9336	4551	7360	910	13.9
9	5279	5281	9921	1056	13.0
8	5279	5436	12133	1087	11.9
7	5279	5557	14067	1111	10.6
6	5279	6406	15761	1281	9.2
5	5279	6559	17232	1312	7.7
4	5279	6673	18491	1335	6.2
3	5279	7520	19551	1504	4.5
2	5279	7778	20415	1556	2.8
1	5279	10797	21091	2159	1.2

●剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=1.238sec)	
	初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変形
10	9336	4551	7360	910	27.3
9	5279	5281	9921	1056	25.8
8	5279	5436	12133	1087	23.3
7	5279	5557	14067	1111	20.2
6	5279	6406	15761	1281	16.8
5	5279	6559	17232	1312	14.0
4	5279	6673	18491	1335	11.0
3	5279	7520	19551	1504	7.9
2	5279	7778	20415	1556	4.9
1	5279	10797	21091	2159	2.1

●非剛床振動解析モデル



●スタッドの端方向せん断で決まる床のせん断耐力

- ・スタッドの耐力： 10 kN/本

- ・スタッドのピッチ 200mm : 511kN/列
 - ・スタッドのピッチ 100mm : 868kN/列

各階単位重量 ↓	質点重量		
	1,11通り	2~10通り	
	支配面積→	61.44	122.88
10	7.60	466.8	933.6
9	4.30	263.9	527.9
8	4.30	263.9	527.9
7	4.30	263.9	527.9
6	4.30	263.9	527.9
5	4.30	263.9	527.9
4	4.30	263.9	527.9
3	4.30	263.9	527.9
2	4.30	263.9	527.9
1	4.30	263.9	527.9

床長さ=	320 cm	
床幅=	160 cm	
床厚=	21 cm	
断面2次モーメント=	7168000 cm ²	
断面積=	3360 cm ²	
CLTのヤング率=	2500 N/mm ²	
せん断弾性係数=	200 N/mm ²	
CLT床の曲げ剛性=	656 kN/cm	
CLT床のせん断剛性=	210 kN/cm	
CLT床の剛性=	159 kN/cm	
ばね枚数=	24 箇所	3818

	フレーム剛性			1通り			3通り			7通り			11通り		
	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度
10	4551	910	7360	910	182	1472	1365	273	2208	1365	273	2208	910	182	1472
9	5281	1056	9921	1056	211	1984	1584	317	2976	1584	317	2976	1056	211	1984
8	5436	1087	12133	1087	217	2427	1631	326	3640	1631	326	3640	1087	217	2427
7	5557	1111	14067	1111	222	2813	1667	333	4220	1667	333	4220	1111	222	2813
6	6406	1281	15761	1281	256	3152	1922	384	4728	1922	384	4728	1281	256	3152
5	6559	1312	17232	1312	262	3446	1968	394	5170	1968	394	5170	1312	262	3446
4	6673	1335	18491	1335	267	3698	2002	400	5547	2002	400	5547	1335	267	3698
3	7520	1504	19551	1504	301	3910	2256	451	5865	2256	451	5865	1504	301	3910
2	7778	1556	20415	1556	311	4083	2333	467	6125	2333	467	6125	1556	311	4083
1	10797	2159	21091	2159	432	4218	3239	648	6327	3239	648	6327	2159	432	4218

●非剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 250 gal）

層	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)									
		1			5		7			11	
10	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	13.9	
9	13.0	12.9	13.0	13.0	13.0	12.9	13.0	12.9	13.0	13.0	
8	11.9	11.8	11.9	11.9	11.9	11.8	11.8	11.8	11.9	11.9	
7	10.6	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	10.5	
6	9.2	9.0	9.1	9.1	9.1	9.0	9.0	9.0	9.1	9.1	
5	7.7	7.6	7.6	7.7	7.6	7.6	7.6	7.6	7.7	7.6	
4	6.2	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	6.1	
3	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	4.4	
2	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	
1	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	

	床せん断力(kN)										床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	
10	678	226	228	680	225	225	680	228	226	678	RC床
9	314	105	106	315	103	103	315	106	105	314	CLT床
8	242	81	82	244	80	80	244	82	81	242	
7	273	91	95	277	88	88	277	95	91	273	
6	274	91	96	279	88	88	279	96	91	274	
5	250	83	86	253	81	81	253	86	83	250	
4	209	70	75	214	67	67	214	75	70	209	
3	231	76	84	237	70	70	237	84	76	231	
2	216	71	80	223	64	64	223	80	71	216	
1	195	65	74	201	63	63	201	74	65	195	

	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
10	0.98	0.99	0.99	0.99	0.99
9	1.22	1.25	1.24	1.24	1.25
8	1.46	1.49	1.49	1.49	1.49
7	1.62	1.64	1.64	1.64	1.64
6	1.53	1.53	1.53	1.53	1.53
5	1.59	1.58	1.58	1.58	1.58
4	1.70	1.67	1.67	1.67	1.67
3	1.63	1.60	1.60	1.60	1.60
2	1.65	1.62	1.62	1.62	1.62
1	1.20	1.18	1.18	1.18	1.18

●非剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

層	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)									
		1				5		7			11
10	27.3	27.5	27.6	27.6	27.6	27.5	27.5	27.5	27.6	27.6	27.5
9	25.8	26.0	26.1	26.2	26.1	26.0	26.0	26.0	26.1	26.2	26.0
8	23.3	23.4	23.5	23.6	23.5	26.0	23.4	26.0	23.5	23.6	23.4
7	20.2	20.2	20.3	20.4	20.3	20.3	20.3	20.3	20.4	20.3	20.2
6	16.8	16.9	17.0	17.0	17.0	16.9	17.0	16.9	17.0	17.0	16.9
5	14.0	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
4	11.0	10.7	10.8	10.8	10.8	10.7	10.8	10.7	10.8	10.8	10.7
3	7.9	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8	7.8
2	4.9	4.8	4.9	4.9	4.9	4.8	4.9	4.8	4.9	4.9	4.8
1	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

	床せん断力(kN)											床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11		
10	1155	383	397	1168	385	385	1168	397	383	1155		RC床
9	616	208	208	614	201	201	614	208	208	616		
8	481	156	155	460	150	150	460	155	156	481		
7	547	181	191	556	176	176	556	191	181	547		
6	549	182	191	557	177	177	557	191	182	549		
5	479	159	167	486	154	154	486	167	159	479		
4	417	138	149	428	131	131	428	149	138	417		
3	461	152	167	474	141	141	474	167	152	461		
2	431	141	160	446	128	128	446	160	141	431		
1	389	129	147	401	125	125	401	147	129	389		

注) 赤字はスタッド間隔 200mm ピッチでは強度が不足している部分

	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
10	1.80	1.75	1.74	1.74	1.75
9	2.69	2.71	2.71	2.71	2.71
8	3.28	3.33	3.33	3.33	3.33
7	3.49	3.48	3.48	3.48	3.48
6	2.97	3.33	3.33	3.33	3.33
5	3.05	3.09	3.09	3.09	3.09
4	3.27	3.04	3.04	3.04	3.04
3	2.98	2.98	2.98	2.98	2.98
2	2.91	2.94	2.94	2.94	2.94
1	2.05	2.02	2.02	2.02	2.02

3. 検討建物（20階建てモデル）

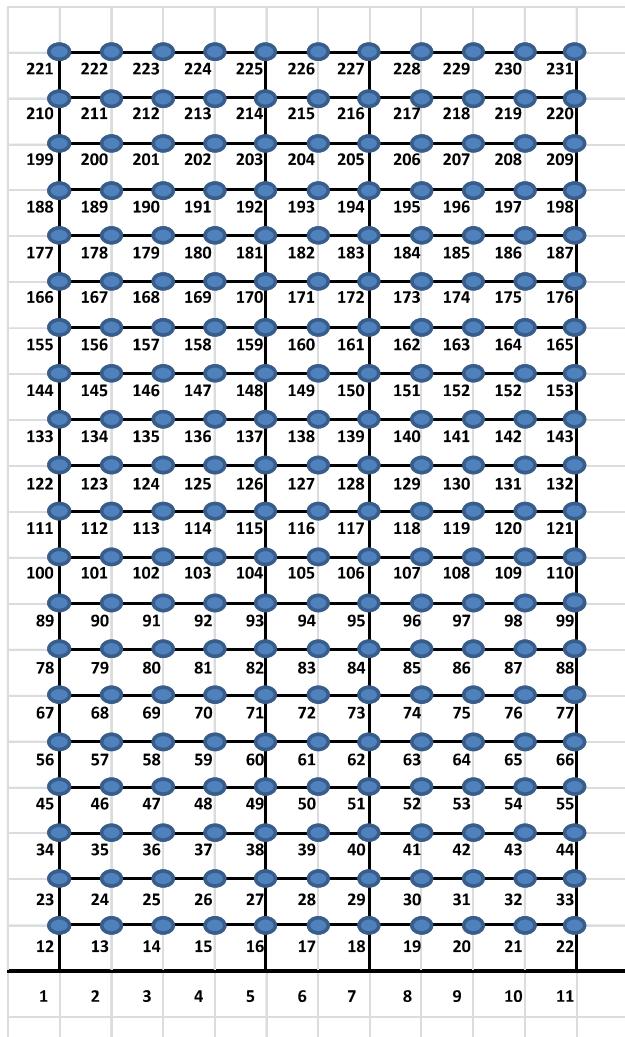
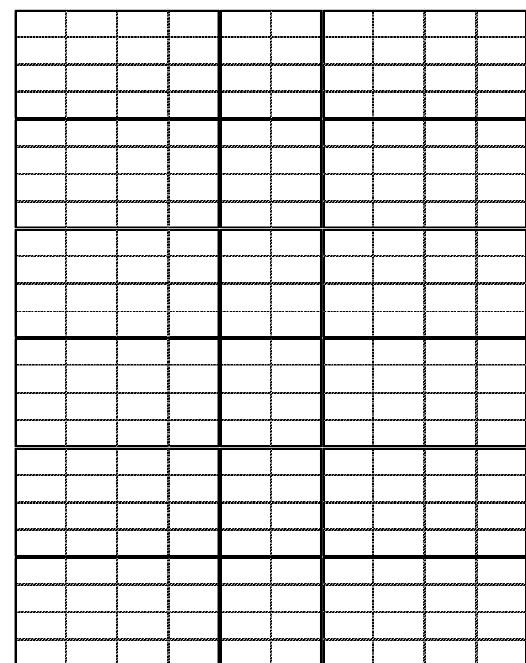
●剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 250 gal）

層	建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=2.08sec)	
		初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変位
20	9336	4647	6048	929	21.0	0.69
19	5279	5003	8067	1,001	20.9	0.96
18	5279	5315	9845	1,063	20.6	1.15
17	5279	5552	11452	1,110	20.2	1.29
16	5279	5996	12917	1,199	19.7	1.32
15	5279	6174	14264	1,235	19.0	1.36
14	5279	6580	15506	1,316	18.2	1.31
13	5279	6728	16647	1,346	17.3	1.30
12	5279	7147	17695	1,429	16.2	1.23
11	5279	7597	18653	1,519	15.0	1.28
10	5279	8059	19530	1,612	13.7	1.34
9	5279	8544	20323	1,709	12.4	1.38
8	5279	8734	21041	1,747	11.0	1.45
7	5279	9118	21676	1,824	9.6	1.46
6	5279	9292	22240	1,858	8.1	1.50
5	5279	9683	22728	1,937	6.6	1.49
4	5279	10097	23140	2,019	5.1	1.47
3	5279	10365	23481	2,073	3.7	1.46
2	5279	11233	23751	2,247	2.2	1.36
1	5279	17904	23951	3,581	0.9	0.86

●剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

層	建物重量	振動解析用諸元			解析結果(T1=2.08sec)	
		初期剛性	第1折れ点	第2勾配	変位	層間変位
20	9336	4647	6048	929	40.3	1.24
19	5279	5003	8067	1,001	39.5	1.77
18	5279	5315	9845	1,063	38.9	2.14
17	5279	5552	11452	1,110	38.2	2.40
16	5279	5996	12917	1,199	37.2	2.55
15	5279	6174	14264	1,235	35.9	2.45
14	5279	6580	15506	1,316	34.3	2.32
13	5279	6728	16647	1,346	32.5	2.36
12	5279	7147	17695	1,429	30.5	2.35
11	5279	7597	18653	1,519	28.3	2.43
10	5279	8059	19530	1,612	26.1	2.52
9	5279	8544	20323	1,709	23.7	2.58
8	5279	8734	21041	1,747	21.2	2.74
7	5279	9118	21676	1,824	18.5	2.87
6	5279	9292	22240	1,858	15.7	3.01
5	5279	9683	22728	1,937	12.7	3.02
4	5279	10097	23140	2,019	9.7	2.81
3	5279	10365	23481	2,073	6.9	2.81
2	5279	11233	23751	2,247	4.1	2.50
1	5279	17904	23951	3,581	1.6	1.57

●非剛床振動解析モデル



●スタッドの端方向せん断で決まる床のせん断耐力

- ・スタッドの耐力： 10 kN/本

- ・スタッドのピッチ 200mm : 511kN/列

- ・スタッドのピッチ 100mm : 868kN/列

層	各階単位重量 ↓	質点重量	
		1,11通り	2～10通り
	支配面積→	61,44	122,88
20	7.60	466.8	933.6
19	4.30	263.9	527.9
18	4.30	263.9	527.9
17	4.30	263.9	527.9
16	4.30	263.9	527.9
15	4.30	263.9	527.9
14	4.30	263.9	527.9
13	4.30	263.9	527.9
12	4.30	263.9	527.9
11	4.30	263.9	527.9
10	4.30	263.9	527.9
9	4.30	263.9	527.9
8	4.30	263.9	527.9
7	4.30	263.9	527.9
6	4.30	263.9	527.9
5	4.30	263.9	527.9
4	4.30	263.9	527.9
3	4.30	263.9	527.9
2	4.30	263.9	527.9
1	4.30	263.9	527.9

床長さ=	320	cm	
床幅=	160	cm	
床厚=	21	cm	
断面2次モーメント=	7168000	cm ²	
断面積=	3360	cm ²	
CLTのヤング率=	2500	N/mm ²	
せん断弾性係数=	200	N/mm ²	
CLT床の曲げ剛性=	656	kN/cm	
CLT床のせん断剛性=	210	kN/cm	
CLT床の剛性=	159	kN/cm	
ばね枚数=	24	箇所	3818

層	フレーム剛性			1通り			3通り			7通り			11通り		
	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度	弹性剛性	2次剛性	降伏強度
20	4647	929.4	6048	929	186	1210	1394	279	1815	1394	279	1815	929	186	1210
19	5003	1000.6	8067	1001	200	1613	1501	300	2420	1501	300	2420	1001	200	1613
18	5315	1062.9	9845	1063	213	1969	1594	319	2953	1594	319	2953	1063	213	1969
17	5552	1110.5	11452	1110	222	2290	1666	333	3435	1666	333	3435	1110	222	2290
16	5996	1199.3	12917	1199	240	2583	1799	360	3875	1799	360	3875	1199	240	2583
15	6174	1234.7	14263.83	1235	247	2853	1852	370	4279	1852	370	4279	1235	247	2853
14	6580	1316.1	15505.84	1316	263	3101	1974	395	4652	1974	395	4652	1316	263	3101
13	6728	1345.7	16647.33	1346	269	3329	2019	404	4994	2019	404	4994	1346	269	3329
12	7147	1429.3	17694.60	1429	286	3539	2144	429	5308	2144	429	5308	1429	286	3539
11	7597	1519.3	18653.39	1519	304	3731	2279	456	5596	2279	456	5596	1519	304	3731
10	8059	1611.7	19529.58	1612	322	3906	2418	484	5859	2418	484	5859	1612	322	3906
9	8544	1708.8	20323.31	1709	342	4065	2563	513	6097	2563	513	6097	1709	342	4065
8	8734	1746.8	21040.60	1747	349	4208	2620	524	6312	2620	524	6312	1747	349	4208
7	9118	1823.5	21676.20	1824	365	4335	2735	547	6503	2735	547	6503	1824	365	4335
6	9292	1858.4	22240.33	1858	372	4448	2788	558	6672	2788	558	6672	1858	372	4448
5	9683	1936.5	22728.30	1937	387	4546	2905	581	6818	2905	581	6818	1937	387	4546
4	10097	2019.4	23139.90	2019	404	4628	3029	606	6942	3029	606	6942	2019	404	4628
3	10365	2073.1	23480.94	2073	415	4696	3110	622	7044	3110	622	7044	2073	415	4696
2	11233	2246.6	23751.21	2247	449	4750	3370	674	7125	3370	674	7125	2247	449	4750
1	17904	3580.9	23951.06	3581	716	4790	5371	1074	7185	5371	1074	7185	3581	716	4790

●非剛床モデル解析結果（稀地震相当、EL CENTRO NS 250 gal）

層	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)										
		1				5		7				11
20	21.0	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1	21.1
19	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9	20.9
18	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6	20.6
17	20.2	20.2	20.2	20.3	20.2	20.2	20.2	20.2	20.2	20.3	20.2	20.2
16	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7	19.7
15	19.0	19.0	19.1	19.1	19.1	19.0	19.0	19.0	19.1	19.1	19.1	19.0
14	18.2	18.2	18.3	18.3	18.3	18.2	18.2	18.2	18.3	18.3	18.3	18.2
13	17.3	17.3	17.4	17.4	17.4	17.3	17.3	17.3	17.4	17.4	17.4	17.3
12	16.2	16.2	16.3	16.3	16.3	16.2	16.2	16.2	16.3	16.3	16.3	16.2
11	15.0	15.0	15.1	15.1	15.1	15.0	15.0	15.0	15.1	15.1	15.1	15.0
10	13.7	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8	13.8
9	12.4	12.4	12.5	12.5	12.5	12.4	12.4	12.4	12.5	12.5	12.5	12.4
8	11.0	11.0	11.1	11.1	11.1	11.0	11.1	11.0	11.1	11.1	11.1	11.0
7	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6	9.6
6	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1	8.1	8.1	8.2	8.2	8.2	8.1
5	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.7	6.6	6.6
4	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1	5.1	5.1	5.2	5.2	5.2	5.1
3	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7	3.7
2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2
1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9

層	床応力											床種別
	1～2	2～3	3～4	4～5	5～6	6～7	7～8	8～9	9～10	10～11	RC床	
20	473.5	157.7	158.8	474.6	157.3	157.3	474.6	158.8	157.7	473.5	RC床	
19	241.0	80.3	81.0	241.7	79.8	79.8	241.7	81.0	80.3	241.0		
18	203.8	67.9	68.5	204.4	67.5	67.5	204.4	68.5	67.9	203.8		
17	163.5	54.5	54.9	163.9	54.2	54.2	163.9	54.9	54.5	163.5		
16	154.0	51.3	51.7	154.4	51.1	51.1	154.4	51.7	51.3	154.0		
15	172.6	57.4	58.5	173.7	56.8	56.8	173.7	58.5	57.4	172.6		
14	190.5	63.3	64.7	191.7	62.6	62.6	191.7	64.7	63.3	190.5		
13	192.4	64.0	65.3	193.7	63.3	63.3	193.7	65.3	64.0	192.4		
12	184.1	61.3	62.0	184.8	61.0	61.0	184.8	62.0	61.3	184.1		
11	178.4	59.4	60.7	179.1	59.1	59.1	179.1	60.7	59.4	178.4		
10	176.8	58.7	60.6	178.6	57.8	57.8	178.6	60.6	58.7	176.8		
9	173.9	57.9	59.0	175.0	57.2	57.2	175.0	59.0	57.9	173.9		
8	176.9	58.9	59.4	177.5	58.9	58.9	177.5	59.4	58.9	176.9		
7	181.5	60.4	61.4	182.5	60.2	60.2	182.5	61.4	60.4	181.5		
6	181.9	60.5	61.8	183.2	59.8	59.8	183.2	61.8	60.5	181.9		
5	174.2	57.9	59.5	175.7	56.8	56.8	175.7	59.5	57.9	174.2		
4	173.3	57.7	59.3	175.1	56.9	56.9	175.1	59.3	57.7	173.3		
3	181.8	60.6	62.0	183.4	59.7	59.7	183.4	62.0	60.6	181.8		
2	189.6	63.3	64.3	190.8	62.2	62.2	190.8	64.3	63.3	189.6		
1	196.2	65.7	66.1	196.8	64.5	64.5	196.8	66.1	65.7	196.2		

層	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
20	0.69	0.68	0.68	0.68	0.68
19	0.96	0.95	0.95	0.95	0.95
18	1.15	1.15	1.15	1.15	1.15
17	1.29	1.29	1.29	1.29	1.29
16	1.32	1.32	1.32	1.32	1.32
15	1.36	1.35	1.35	1.35	1.35
14	1.31	1.31	1.31	1.31	1.31
13	1.30	1.29	1.29	1.29	1.29
12	1.23	1.22	1.22	1.22	1.22
11	1.28	1.28	1.28	1.28	1.28
10	1.34	1.34	1.34	1.34	1.34
9	1.38	1.38	1.38	1.38	1.38
8	1.45	1.45	1.45	1.45	1.45
7	1.46	1.47	1.47	1.47	1.47
6	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
5	1.49	1.49	1.49	1.49	1.49
4	1.47	1.47	1.47	1.47	1.47
3	1.46	1.45	1.45	1.45	1.45
2	1.36	1.36	1.36	1.36	1.36
1	0.86	0.85	0.85	0.85	0.85

●非剛床モデル解析結果（極稀地震相当、EL CENTRO NS 500 gal）

	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)									
		1				5		7			11
20	40.3	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0
19	39.5	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6	40.6
18	38.9	40.0	40.1	40.1	40.1	40.0	40.0	40.0	40.1	40.1	40.0
17	38.2	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3
16	37.2	38.2	38.3	38.3	38.3	38.2	38.2	38.2	38.3	38.3	38.2
15	35.9	37.0	37.0	37.1	37.0	37.0	37.0	37.0	37.0	37.1	37.0
14	34.3	35.4	35.5	35.5	35.5	35.4	35.4	35.4	35.5	35.5	35.4
13	32.5	33.6	33.7	33.7	33.7	33.6	33.6	33.6	33.7	33.7	33.6
12	30.5	31.5	31.6	31.6	31.6	31.5	31.6	31.5	31.6	31.6	31.5
11	28.3	29.3	29.4	29.4	29.4	29.3	29.3	29.3	29.4	29.4	29.3
10	26.1	27.0	27.1	27.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.1	27.1	27.0
9	23.7	24.5	24.6	24.6	24.6	24.5	24.6	24.5	24.6	24.6	24.5
8	21.2	22.0	22.0	22.1	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0	22.0
7	18.5	19.2	19.3	19.3	19.3	19.2	19.2	19.2	19.3	19.3	19.2
6	15.7	16.3	16.4	16.4	16.4	16.3	16.3	16.3	16.4	16.4	16.3
5	12.7	13.3	13.3	13.4	13.3	13.3	13.3	13.3	13.3	13.4	13.3
4	9.7	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3	10.3
3	6.9	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
2	4.1	4.4	4.4	4.5	4.4	4.4	4.4	4.4	4.5	4.4	4.4
1	1.6	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7

層	床応力										床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	
20	871.2	289.7	293.2	874.0	289.0	289.0	874.1	293.2	289.7	871.2	RC床
19	434.4	145.7	145.1	434.8	145.2	145.2	434.8	145.1	145.7	434.4	
18	360.9	120.7	120.8	361.2	120.2	120.3	361.2	120.8	120.7	360.9	
17	309.4	103.1	104.0	310.2	102.2	102.2	310.2	104.0	103.1	309.4	
16	303.4	100.7	102.6	305.3	100.7	100.8	305.3	102.6	100.7	303.4	
15	345.2	114.8	117.0	347.3	113.6	113.6	347.3	117.0	114.8	345.2	
14	380.9	126.7	129.3	383.4	125.2	125.2	383.4	129.3	126.7	380.9	
13	384.9	128.0	130.6	387.4	126.6	126.6	387.4	130.6	128.0	384.9	
12	360.0	119.8	121.8	362.0	118.7	118.7	362.0	121.8	119.8	360.0	
11	354.6	117.7	121.5	358.2	116.0	116.0	358.2	121.5	117.7	354.6	
10	353.5	117.4	121.2	357.2	115.6	115.6	357.2	121.2	117.4	353.5	
9	347.9	115.7	118.0	350.0	114.5	114.5	349.9	118.0	115.7	347.9	
8	353.8	117.8	119.8	354.9	117.7	117.7	354.9	118.8	117.8	353.8	
7	363.1	120.8	122.7	365.1	120.3	120.3	365.1	122.7	120.8	363.1	
6	363.9	121.0	123.7	366.4	119.6	119.6	366.4	123.7	121.0	363.9	
5	348.4	115.9	119.0	351.3	113.6	113.6	351.3	119.0	115.9	348.4	
4	346.7	115.3	118.7	350.2	113.8	113.8	350.2	118.7	115.3	346.7	
3	363.6	121.1	124.0	366.8	119.4	119.4	366.8	124.0	121.1	363.6	
2	379.2	126.6	128.7	381.6	124.3	124.3	381.6	128.7	126.6	379.2	
1	392.4	131.4	132.3	393.6	128.9	128.9	393.6	132.3	131.4	392.4	

層	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
20	1.24	1.25	1.25	1.25	1.25
19	1.77	1.78	1.78	1.78	1.78
18	2.14	2.19	2.19	2.19	2.19
17	2.40	2.44	2.44	2.44	2.44
16	2.55	2.49	2.49	2.49	2.49
15	2.45	2.49	2.48	2.48	2.49
14	2.32	2.36	2.35	2.35	2.36
13	2.36	2.41	2.41	2.41	2.41
12	2.35	2.36	2.36	2.36	2.36
11	2.43	2.44	2.44	2.44	2.44
10	2.52	2.53	2.53	2.53	2.53
9	2.58	2.62	2.62	2.62	2.62
8	2.74	2.78	2.78	2.78	2.78
7	2.87	2.91	2.91	2.91	2.91
6	3.01	3.01	3.01	3.01	3.01
5	3.02	3.00	3.00	3.00	3.00
4	2.81	2.95	2.95	2.95	2.95
3	2.81	2.92	2.92	2.92	2.92
2	2.50	2.72	2.72	2.72	2.72
1	1.57	1.72	1.71	1.71	1.72

◎追加検討モデル1： 検討建物（20階建てモデル、直下型モデル（JMA-KOBE））

- スタッドの端方向せん断で決まる床のせん断耐力
 - ・ スタッドの耐力 : 10 kN/本

	100	200	10	10	0.143	1.4	12.0
200	20	30	0.429	4.3	24.0	kNm	
200	20	50	0.714	7.1	15.0	kN	
200	20	70	1.000	10.0			
200							
200							
100	20	150	1.000	10.0	44.2	kNm	
100	20	130	0.867	8.7	27.6	kN	
200	20	110	0.733	7.3			
200	20	90	0.600	6.0			
200	20	70	0.467	4.7			
200	20	50	0.333	3.3			
200	20	30	0.200	2.0			
200	10	10	0.067	0.7			
100							

100 200 200 200 200 200 200 200 200 200 200 100

42.6
85.3
511.5 kN

- ・スタッドのピッチ 200mm : 511kN/列
 - ・スタッドのピッチ 100mm : 868kN/列

層	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)										
		1				5		7				11
20	49.7	45.9	46.0	46.0	46.0	45.9	46.0	45.9	46.0	46.0	46.0	45.9
19	47.3	44.7	44.8	44.9	44.8	44.7	44.8	44.7	44.8	44.9	44.8	44.7
18	44.4	43.1	43.2	43.2	43.2	43.1	43.1	43.1	43.2	43.2	43.2	43.1
17	41.5	41.0	41.1	41.1	41.1	41.0	41.1	41.0	41.1	41.1	41.1	41.0
16	38.7	38.5	38.6	38.6	38.6	38.5	38.5	38.5	38.6	38.6	38.6	38.5
15	35.8	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
14	33.1	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9	33.9
13	30.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.7	31.7	31.7	31.8	31.8	31.8	31.7
12	28.1	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5	29.5
11	25.7	27.1	27.2	27.2	27.2	27.1	27.1	27.1	27.2	27.2	27.2	27.1
10	23.6	24.8	24.8	24.9	24.8	24.8	24.8	24.8	24.8	24.9	24.8	24.8
9	21.3	22.3	22.4	22.4	22.4	22.3	22.4	22.3	22.4	22.4	22.4	22.3
8	18.8	19.8	19.9	19.9	19.9	19.8	19.8	19.8	19.9	19.9	19.9	19.8
7	16.4	17.1	17.2	17.2	17.2	17.1	17.1	17.1	17.2	17.2	17.2	17.1
6	14.2	15.2	15.2	15.3	15.2	15.2	15.2	15.2	15.2	15.3	15.2	15.2
5	12.1	12.9	13.0	13.1	13.0	12.9	13.0	12.9	13.0	13.1	13.0	12.9
4	9.9	10.4	10.5	10.5	10.5	10.4	10.4	10.4	10.5	10.5	10.5	10.4
3	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6	7.6	7.6	7.7	7.7	7.7	7.6
2	4.7	4.6	4.7	4.7	4.7	4.6	4.7	4.6	4.7	4.7	4.7	4.6
1	1.9	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.9	1.8	1.8

層	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
20	1.37	2.10	2.10	2.10	2.10
19	2.32	3.26	3.26	3.26	3.26
18	2.92	3.98	3.98	3.98	3.98
17	3.36	4.42	4.42	4.42	4.42
16	4.08	4.10	4.10	4.10	4.10
15	4.26	3.72	3.72	3.72	3.72
14	3.98	3.48	3.48	3.48	3.48
13	4.18	3.41	3.41	3.41	3.41
12	4.40	3.33	3.33	3.33	3.33
11	4.63	3.14	3.14	3.14	3.14
10	4.63	3.13	3.13	3.13	3.13
9	4.39	2.98	2.98	2.98	2.98
8	4.14	3.07	3.08	3.08	3.07
7	3.96	3.10	3.10	3.10	3.10
6	3.97	3.10	3.10	3.10	3.10
5	4.31	2.97	2.97	2.97	2.97
4	4.53	2.83	2.83	2.83	2.83
3	4.74	3.00	3.01	3.01	3.01
2	4.46	2.92	2.93	2.93	2.92
1	3.28	1.78	1.79	1.80	1.79

層	床応力										床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	
20	1319.7	437.1	446.1	1328.3	440.4	440.4	1328.3	446.1	437.1	1319.7	RC床
19	693.9	231.0	234.0	695.9	228.7	228.7	695.9	234.0	231.0	693.9	CLT床
18	547.4	182.3	185.3	550.5	180.6	180.6	550.5	185.3	182.3	547.4	
17	428.0	141.5	145.9	432.4	143.1	143.1	432.3	145.9	141.5	428.0	
16	472.4	156.9	164.3	480.3	153.9	153.9	480.3	164.3	156.9	472.4	
15	494.3	164.8	171.4	501.2	160.3	160.3	501.2	171.4	164.8	494.3	
14	475.9	160.6	163.4	475.2	153.5	153.5	475.2	163.4	160.6	475.9	
13	510.0	167.5	178.3	520.8	167.9	167.9	520.8	178.3	167.5	510.0	
12	515.8	171.8	175.6	519.2	168.1	168.4	519.2	175.5	172.0	516.1	
11	526.1	177.4	175.4	523.6	169.2	169.9	523.7	175.4	177.5	526.5	
10	528.7	177.8	174.5	525.3	174.0	174.0	525.3	174.5	177.8	528.7	
9	596.2	198.9	199.6	596.8	197.7	197.6	596.8	199.6	198.9	596.2	
8	677.1	226.0	226.8	678.5	224.6	224.6	678.5	226.8	226.0	677.1	
7	751.4	250.2	253.3	754.7	248.6	248.6	754.7	253.3	250.2	751.4	
6	798.5	265.5	270.6	803.5	263.6	263.6	803.5	270.6	265.5	798.5	
5	814.9	270.8	277.3	821.2	268.4	268.4	821.2	277.3	270.8	814.9	
4	802.0	266.5	273.6	809.1	263.6	263.6	809.1	273.6	266.5	802.0	
3	769.8	256.2	262.7	776.1	252.2	252.2	776.1	262.7	256.2	769.8	
2	731.0	243.9	248.8	735.7	238.8	238.8	735.7	248.8	243.9	731.0	
1	697.9	233.8	236.2	700.5	227.5	227.5	700.5	236.2	233.8	697.9	

◎追加検討モデル2： 検討建物（20階建てモデル、長周期・長時間地震の場合）

- スタッドの端方向せん断で決まる床のせん断耐力
 - ・スタッドの耐力： 10 kN/本

- ・スタッドのピッチ 200mm : 511kN/列
 - ・スタッドのピッチ 100mm : 868kN/列

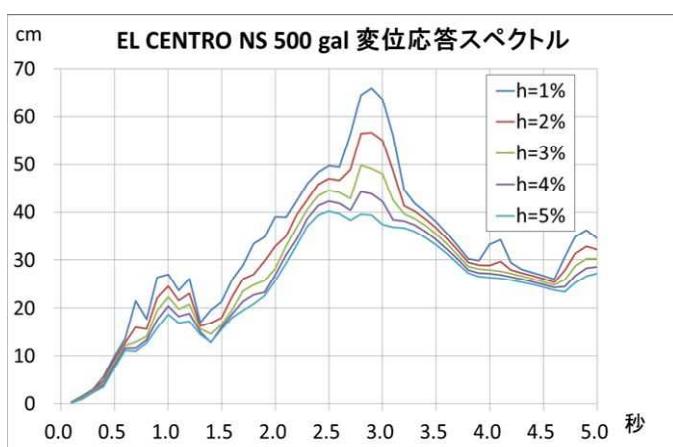
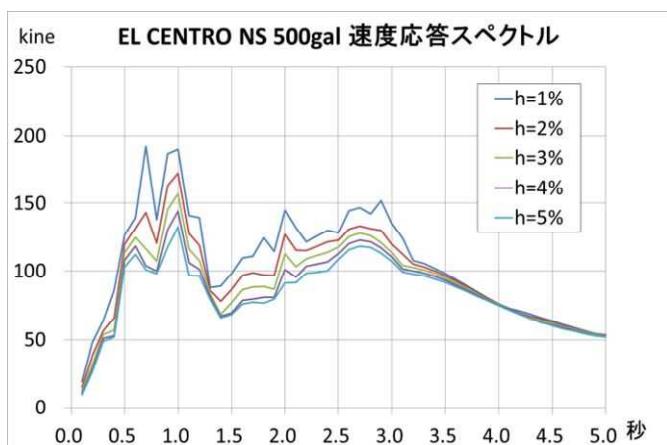
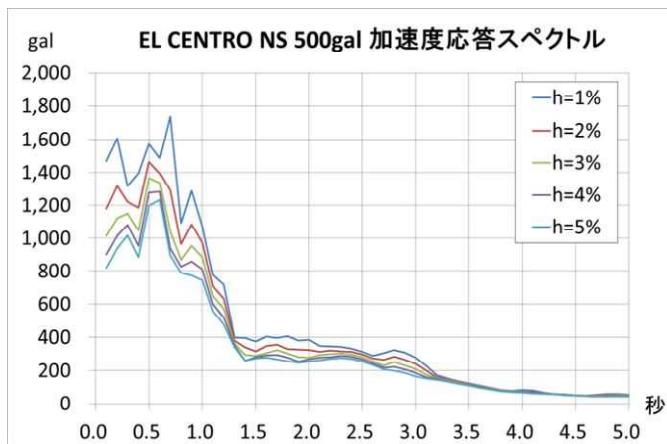
層	剛床 変位	非剛床モデル質点変位(cm)									
		1				5		7			11
20	65.4	63.4	63.4	63.5	63.4	63.4	63.4	63.4	63.5	63.4	63.4
19	64.5	62.3	62.4	62.4	62.4	62.3	62.3	62.3	62.4	62.4	62.3
18	62.9	60.6	60.7	60.8	60.7	60.6	60.7	60.6	60.7	60.7	60.6
17	60.5	58.4	58.5	58.6	58.5	58.4	58.5	58.4	58.5	58.5	58.4
16	57.7	55.7	55.8	55.8	55.8	55.7	55.7	55.7	55.8	55.8	55.7
15	54.1	52.6	52.7	52.8	52.7	52.6	52.7	52.6	52.7	52.8	52.6
14	50.1	49.2	49.3	49.4	49.3	49.2	49.3	49.2	49.3	49.4	49.2
13	46.3	45.7	45.8	45.8	45.8	45.7	45.7	45.7	45.8	45.8	45.7
12	42.4	42.6	42.6	42.7	42.6	42.6	42.6	42.6	42.7	42.6	42.6
11	39.7	39.2	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3	39.3
10	36.8	35.6	35.7	35.7	35.7	35.6	35.6	35.6	35.7	35.7	35.6
9	33.8	32.3	32.3	32.4	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3
8	30.9	29.1	29.2	29.2	29.2	29.1	29.2	29.1	29.2	29.2	29.1
7	28.0	25.7	25.8	25.8	25.7	25.7	25.7	25.7	25.8	25.7	25.7
6	24.6	22.0	22.1	22.1	22.1	22.0	22.0	22.0	22.1	22.1	22.0
5	21.1	18.8	18.8	18.9	18.9	18.8	18.8	18.8	18.9	18.9	18.8
4	16.8	15.3	15.4	15.4	15.4	15.3	15.3	15.3	15.4	15.4	15.3
3	12.4	11.4	11.5	11.5	11.5	11.4	11.4	11.4	11.5	11.5	11.4
2	7.7	7.3	7.4	7.4	7.4	7.3	7.3	7.3	7.4	7.4	7.3
1	3.3	2.9	3.0	3.0	3.0	2.9	2.9	2.9	3.0	3.0	2.9

層	層間変形(cm)				
	剛床	非剛床			
20	1.37	1.50	1.50	1.50	1.50
19	2.32	2.36	2.36	2.36	2.36
18	2.92	2.80	2.80	2.81	2.81
17	3.36	3.43	3.42	3.42	3.43
16	4.08	3.63	3.63	3.63	3.63
15	4.26	3.88	3.90	3.90	3.88
14	3.98	3.86	3.85	3.85	3.86
13	4.18	4.10	4.10	4.10	4.10
12	4.40	4.53	4.53	4.53	4.53
11	4.63	4.67	4.67	4.67	4.67
10	4.63	4.71	4.71	4.71	4.71
9	4.39	4.29	4.29	4.29	4.29
8	4.14	4.11	4.12	4.12	4.12
7	3.96	4.22	4.18	4.18	4.22
6	3.97	4.24	4.28	4.28	4.21
5	4.31	4.16	4.15	4.15	4.16
4	4.53	4.09	4.08	4.08	4.08
3	4.74	4.19	4.19	4.20	4.21
2	4.46	4.39	4.39	4.39	4.40
1	3.28	2.94	2.92	2.92	2.92

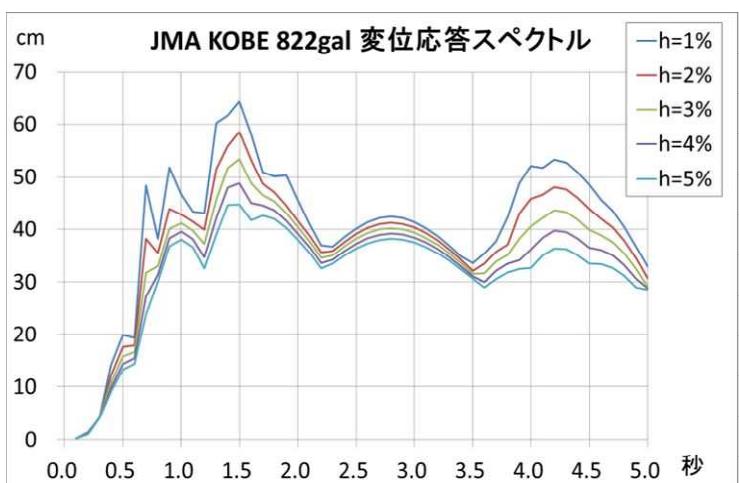
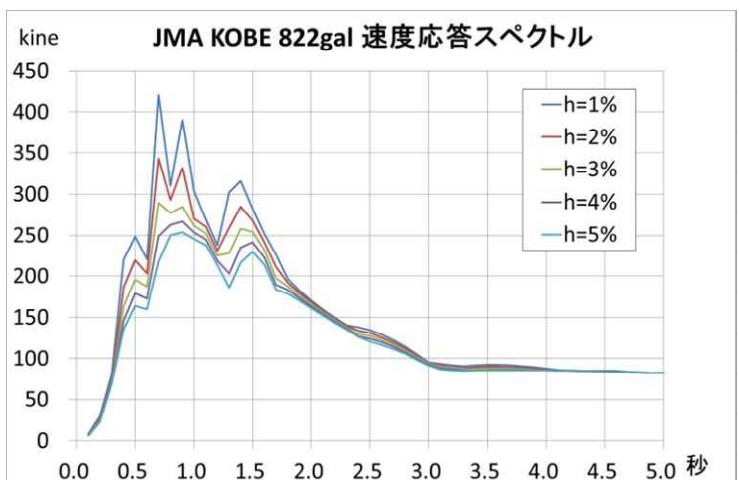
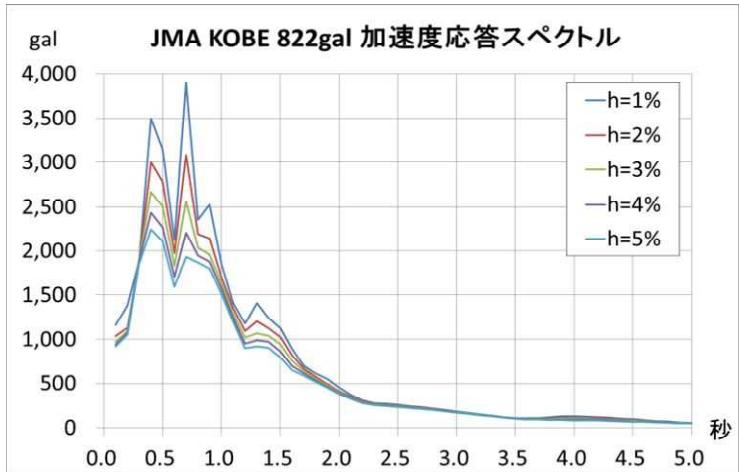
層	床応力										床種別
	1~2	2~3	3~4	4~5	5~6	6~7	7~8	8~9	9~10	10~11	
20	997.0	331.8	335.7	999.8	331.4	331.4	999.9	335.7	331.9	996.9	RC床
19	521.9	175.5	172.8	518.3	170.6	170.6	518.2	172.8	175.4	521.9	CLT床
18	500.6	165.9	171.3	506.0	165.0	165.0	506.0	171.3	166.0	500.6	
17	470.4	157.2	158.7	472.0	154.7	154.7	472.0	158.7	157.2	470.3	
16	421.8	147.3	135.3	407.6	135.9	135.9	407.6	137.9	147.3	421.8	
15	426.5	149.5	138.7	405.1	138.0	138.0	405.1	138.8	149.5	426.5	
14	404.7	136.3	151.2	428.6	137.8	137.9	428.5	151.1	136.2	404.7	
13	408.0	136.9	145.1	417.9	135.5	134.3	417.8	145.0	135.5	406.5	
12	428.7	150.8	144.0	426.3	140.3	140.1	426.4	144.1	148.5	426.3	
11	444.1	153.0	153.6	451.8	147.8	147.5	452.0	153.9	148.7	443.8	
10	449.9	150.7	153.8	455.0	149.1	149.9	454.4	153.1	150.3	450.3	
9	457.7	151.5	155.9	462.1	151.2	152.4	461.0	154.8	152.7	458.9	
8	444.6	144.9	158.2	458.9	148.6	148.9	457.2	156.6	145.6	446.2	
7	441.0	157.7	153.4	426.0	142.3	138.1	419.9	146.1	149.6	432.9	
6	412.5	145.0	155.4	437.2	139.7	138.1	440.5	160.5	152.9	409.3	
5	400.9	141.2	132.7	387.6	125.6	131.9	387.0	136.1	141.0	401.5	
4	390.1	129.6	145.0	410.7	128.9	131.3	408.1	142.9	125.5	390.9	
3	439.0	159.0	144.9	404.6	130.5	138.1	411.0	140.5	151.9	431.5	
2	426.5	142.4	148.1	430.8	139.7	127.6	441.4	158.6	132.4	416.9	
1	462.9	164.7	160.5	443.4	139.8	138.8	464.9	168.3	141.7	439.1	

◎検討用地震波の応答スペクトル

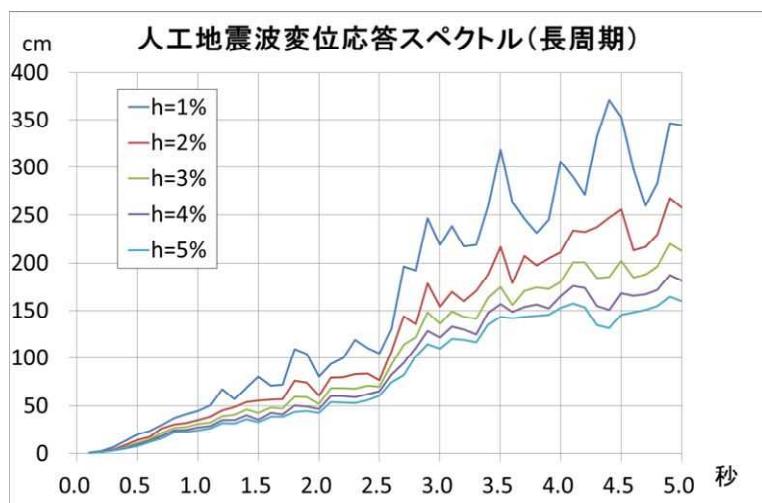
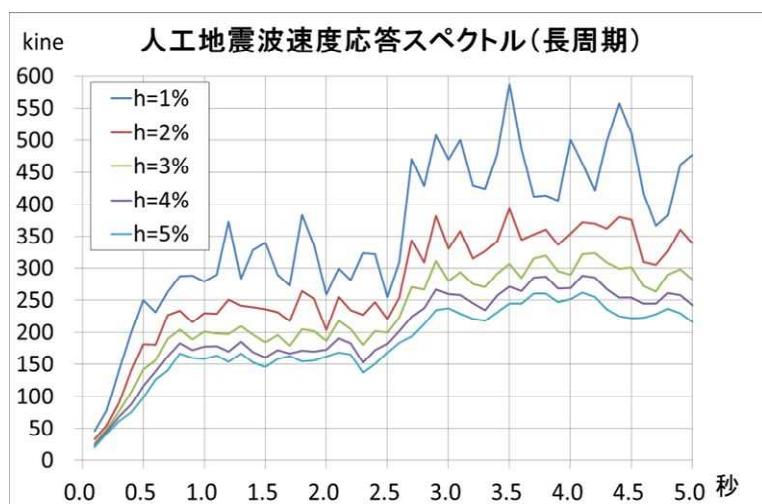
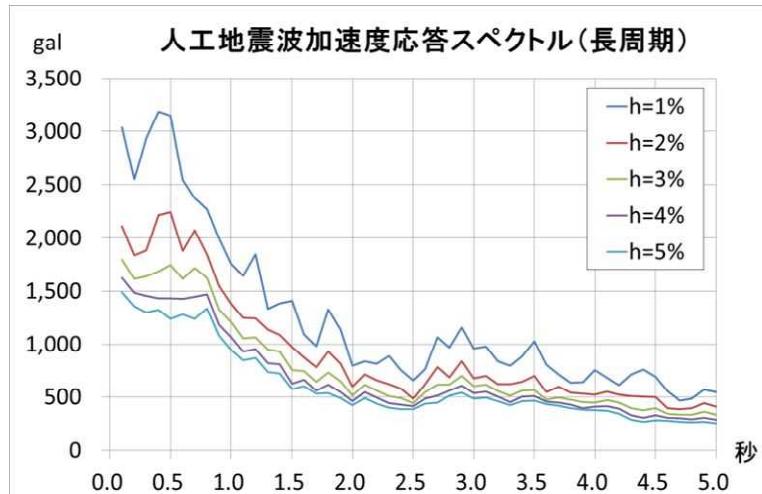
(1) EL CENTRO NS 500gal



(2) JMA KOBE 822gal



(3) 長周期・長時間人工地震波 (800gal)



4. 簡便な検証法

●5階建てモデル									
層	層せん断力	地震力	1通り右	3通り左	3通り右	7通り左	←通り		
			0.167	0.167	0.333	0.333	←面積比		
5	1489.0	1489.0	248	248	496	496	←RC床		
4	2103.9	614.9	102	102	205	205			
3	2611.0	507.1	85	85	169	169			
2	3023.1	412.1	69	69	137	137	←CLT床		
1	3346.2	323.0	54	54	108	108			
●10階建てモデル									
層	層せん断力	地震力	1通り右	5通り左	5通り右	7通り左	7通り右	11通り左	←通り
			0.20	0.20	0.10	0.10	0.20	0.20	←面積比
10	2258	2258	452	452	226	226	452	452	←RC床
9	3045	786	157	157	79	79	157	157	
8	3724	679	136	136	68	68	136	136	
7	4318	594	119	119	59	59	119	119	
6	4838	520	104	104	52	52	104	104	
5	5290	452	90	90	45	45	90	90	←CLT床
4	5677	387	77	77	39	39	77	77	
3	6002	326	65	65	33	33	65	65	
2	6268	266	53	53	27	27	53	53	
1	6476	208	42	42	21	21	42	42	
●20階建てモデル									
層	層せん断力	地震力	1通り右	5通り左	5通り右	7通り左	7通り右	11通り左	←通り
			0.20	0.20	0.10	0.10	0.20	0.20	←面積比
20	1545.521	1546	309	309	155	155	309	309	←RC床
19	2066.727	521	104	104	52	52	104	104	
18	2526.601	460	92	92	46	46	92	92	
17	2942.249	416	83	83	42	42	83	83	
16	3322.035	380	76	76	38	38	76	76	
15	3670.793	349	70	70	35	35	70	70	
14	3991.615	321	64	64	32	32	64	64	
13	4286.621	295	59	59	30	30	59	59	
12	4557.341	271	54	54	27	27	54	54	
11	4804.918	248	50	50	25	25	50	50	←CLT床
10	5030.238	225	45	45	23	23	45	45	
9	5234.000	204	41	41	20	20	41	41	
8	5416.770	183	37	37	18	18	37	37	
7	5579.011	162	32	32	16	16	32	32	
6	5721.110	142	28	28	14	14	28	28	
5	5843.393	122	24	24	12	12	24	24	
4	5946.139	103	21	21	10	10	21	21	
3	6029.586	83	17	17	8	8	17	17	
2	6093.943	64	13	13	6	6	13	13	
1	6139.392	45	9	9	5	5	9	9	

5. 床のせん断力が不足している場合の対応

5-1 基本的考え方

CLTの床板としてのせん断耐力は充分にあり、通常の地震等であれば破壊することはない、殆どの場合 CLT床とスタッドの接合強度が問題となる。特に問題となるのは、地震力に対し、長手方向の2辺固定スラブの床両端部に生じる曲げ応力で抵抗する場合、抵抗力は CLT弱軸方向のスタッドの押し抜き耐力で決まる事になるが、事実上これが最も厳しい条件ということになる。ここでは、この様な条件で決まる場合の床の補強方法について解説する。

5-2 床単体のせん断耐力

オフィスでの使用が想定される、 $3.2m \times 1.6m$ の CLT 床について、上記条件における床1枚当たりのせん断耐力を計算する。検討対象としては、

- ①スタッドボルト間隔： 200mm ピッチ
- ②スタッドボルト間隔： 100mm ピッチ
- ③2辺固定スラブの場合
- ④3辺固定スラブの場合

の4つのケースの組み合わせについて検討する。

(1) スタッド間隔 200mm ピッチの場合

2辺固定の場合						
100						
200	10	10	0.143	1.4	12.0	
200	20	30	0.429	4.3	24.0	kNm
200	20	50	0.714	7.1	15.0	kN
200	20	70	1.000	10.0		
200						
200						
3辺固定の場合						
100						
100	20	150	1.000	10.0	44.2	kNm
200	20	130	0.867	8.7	27.6	kN
200	20	110	0.733	7.3		
200	20	90	0.600	6.0		
200	20	70	0.467	4.7		
200	20	50	0.333	3.3		
200	20	30	0.200	2.0		
200	10	10	0.067	0.7		
100						
100	200	200	200	200	200	100

(2) スタッド間隔 100mm ピッチの場合

3辺固定の場合				2辺固定の場合			
10	10	0.00	0.07		10	10	1.43
10	20	0.67	0.13		10	20	2.86
10	30	1.33	0.20		10	30	4.29
10	40	2.00	0.27		10	40	5.71
10	50	2.67	0.33		10	50	7.14
10	60	3.33	0.40		10	60	8.57
10	70	4.00	0.47		10	70	10
10	80	4.67	0.53		10		
10	90	5.33	0.60				
10	100	6.00	0.67				
10	110	6.67	0.73				
10	120	7.33	0.80				
10	130	8.00	0.87				
10	140	8.67	0.93				
10	150	10	1.00	75.7 kNm			
10	160			47.3 kNm			

上記の検討結果をまとめると、下表の通りとなる。

		支持方式	
		2辺固定	3辺固定
スタッド 間隔	200ピッチ	15.0	27.6
	100ピッチ	25.0	47.3

5-3 5F 建てモデルについての検討

2節に示した5F建てモデル極稀地震の場合について、具体的補強方法について検討する。補強方法としては、以下の5つの方法が考えられる。

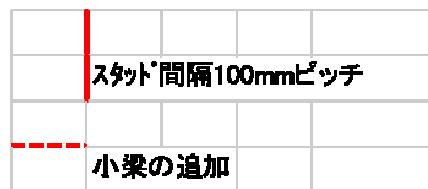
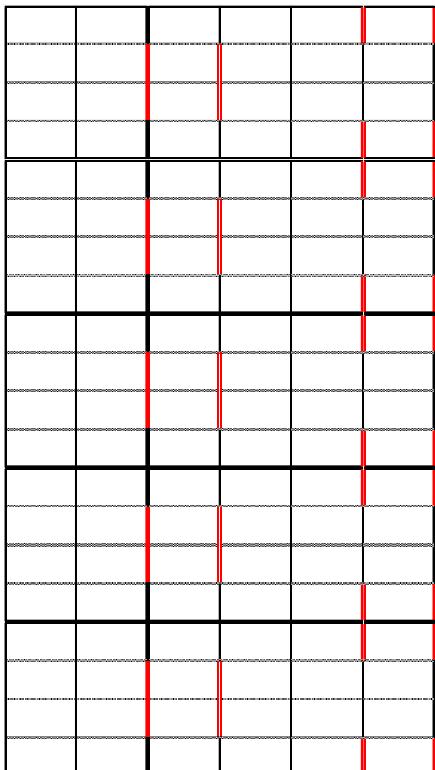
- ① 梁中央に小梁を追加し、全ての床を3辺固定スラブとする
- ② 3辺固定スラブの梁端のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ③ 2辺固定スラブの梁中央のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ④ 梁全長のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ⑤ 梁全長のスタッド間隔を100mmピッチとし、梁中央に小梁を追加する

それぞれの補強方法の場合の床1列当たりの耐力は以下の通りとなる。

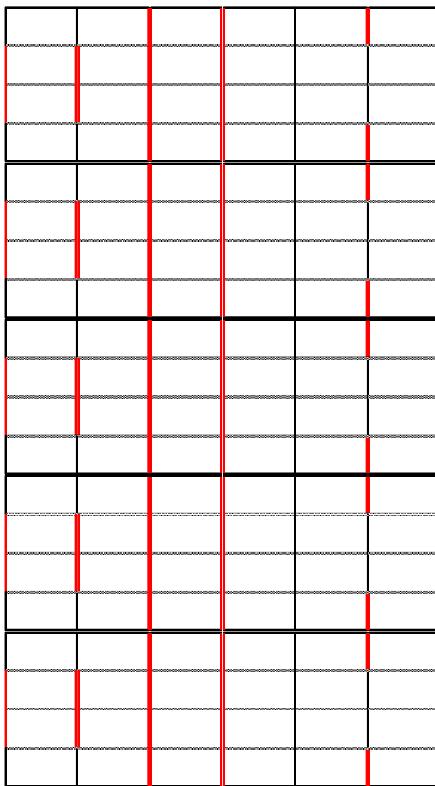
補強 方法		支持方式		床耐力 kN/列
		2辺固定	3辺固定	
補強 方法	中央に小梁追加			553
	梁端100mmピッチ	150	473	622.9
	梁中央100ピッチ	250	276	526.3
	梁全長100ピッチ	250	473	722.9
	中央に小梁、100ピッチ			946

以上より、各階の補強方法を示せば、以下の通りとなる。

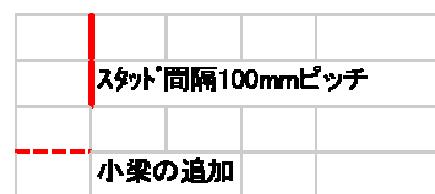
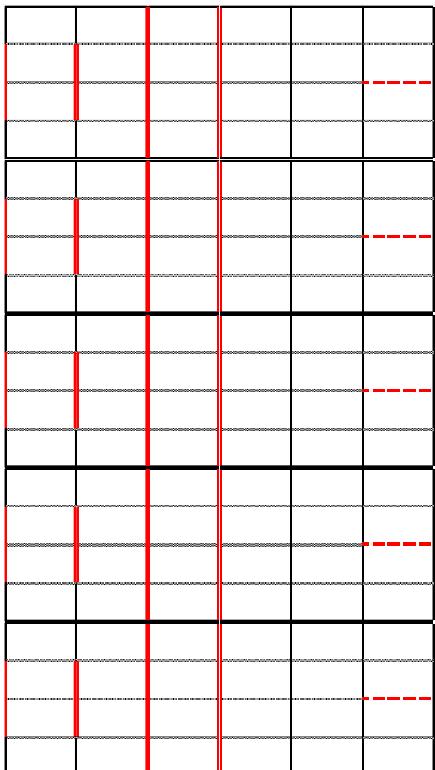
(1) 2階床スラブの場合



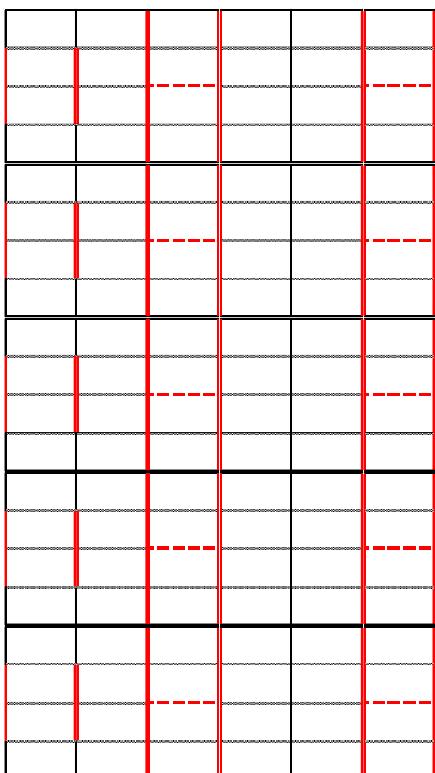
(2) 3階床スラブの場合



(3) 4階床スラブの場合



(4) 5階床スラブの場合



5-4 10階建てモデルについての検討

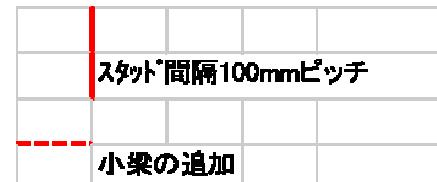
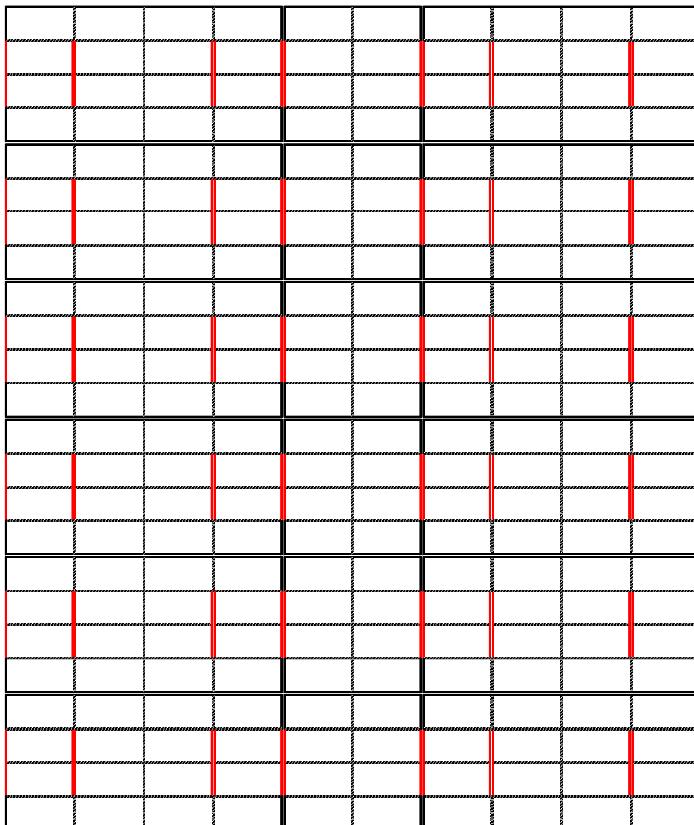
次に2節に示した10F建てモデル極稀地震の場合についても、同様の内容について検討する。補強方法としては、以下の5つの方法が考えられる。

- ①梁中央に小梁を追加し、全ての床を3辺固定スラブとする
- ②3辺固定スラブの梁端のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ③2辺固定スラブの梁中央のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ④梁全長のスタッド間隔を100mmピッチとする
- ⑤梁全長のスタッド間隔を100mmピッチとし、梁中央に小梁を追加する

それぞれの補強方法の場合の床1列当たりの耐力は以下の通りとなる。

補強方法		支持方式		床耐力 kN/列
		2辺固定	3辺固定	
中央に小梁追加	中央に小梁追加		663	663.0
	梁端100mmピッチ	180	568	747.5
	梁中央100ピッチ	300	332	631.5
	梁全長100ピッチ	300	568	867.5
	中央に小梁、100ピッチ		1135	1135.0

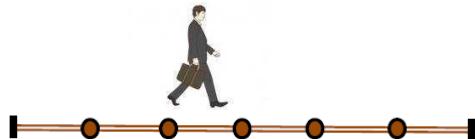
7, 8, 10階床の補強方法は下図の通りとなる。



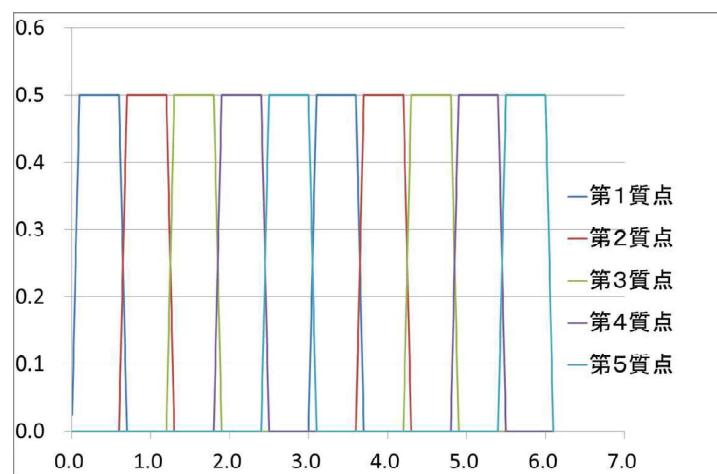
床歩行振動の検討

1. 歩行振動の検討モデル

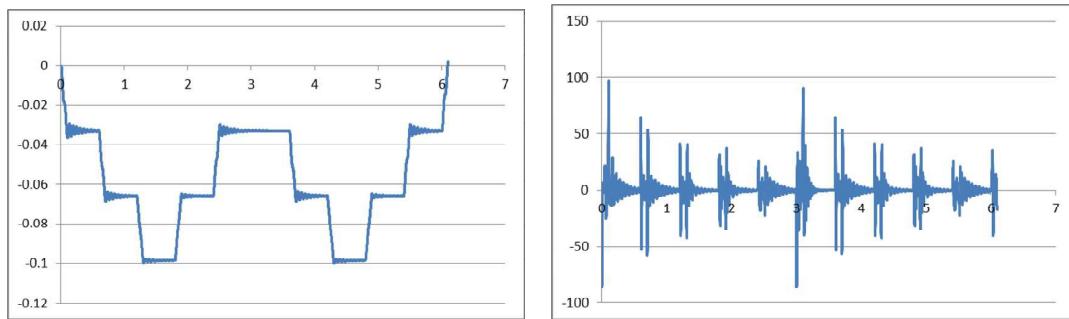
(1) 方針： 5質点モデルによる振動覆う等解析



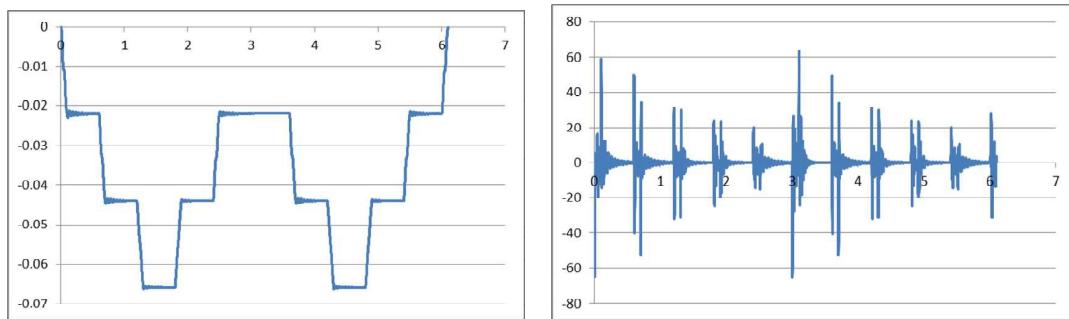
(2) 歩行荷重の考え方



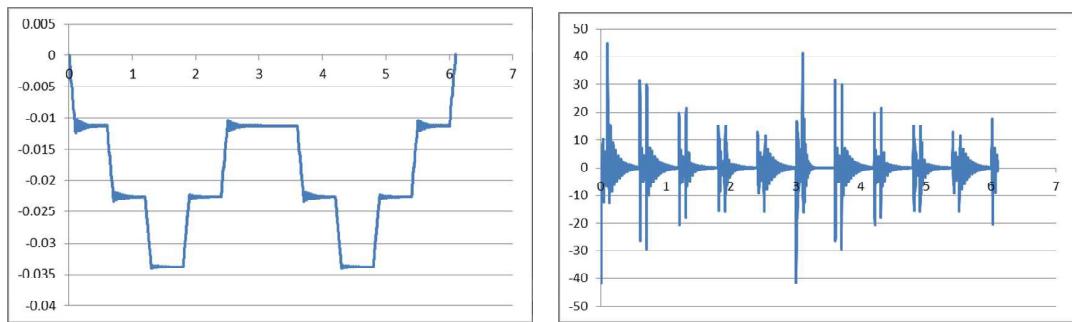
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
10.5	320	72	4	2.304	0.97	0.161	500	6945.75	1	0.197	5.1	8



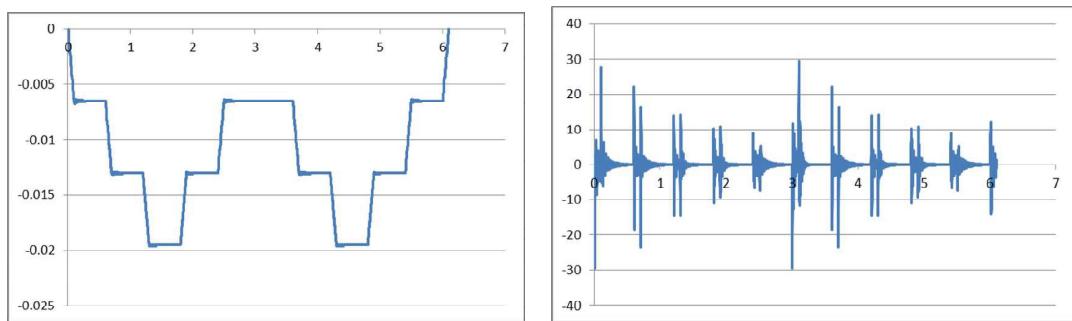
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
12.0	320	72	4	2.304	1.11	0.184	500	10368	1	0.132	7.6	11



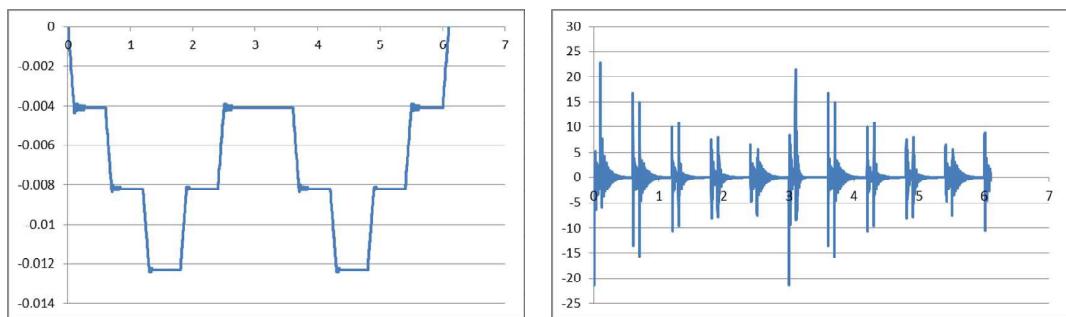
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
15.0	320	72	4	2.304	1.38	0.230	500	20250	1	0.067	14.8	22



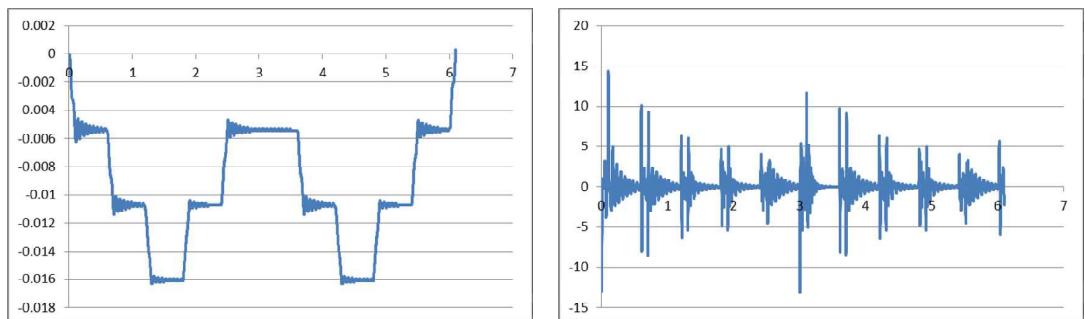
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
18.0	320	72	4	2.304	1.66	0.276	500	34992	1	0.039	25.6	38



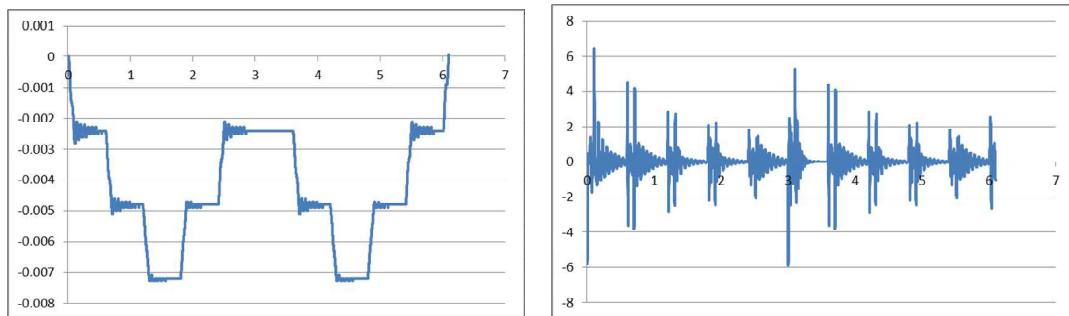
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
21.0	320	72	4	2.304	1.94	0.323	500	55566	1	0.025	40.7	61



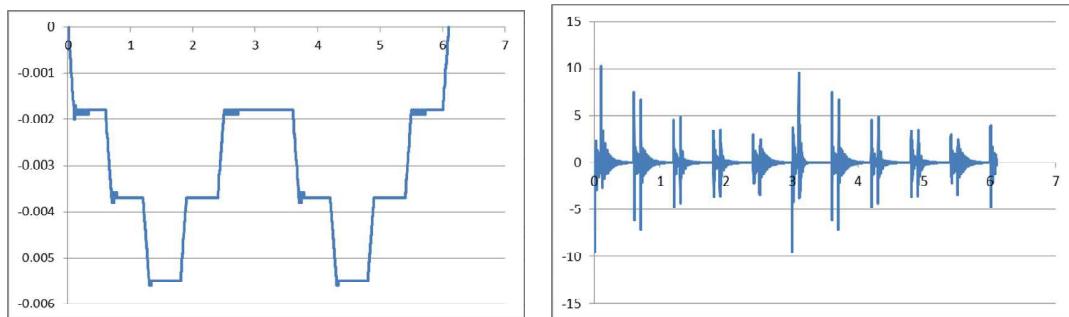
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
12.0	320	72	25	2.304	6.91	1.152	2050	10368	1	0.032	31.1	47



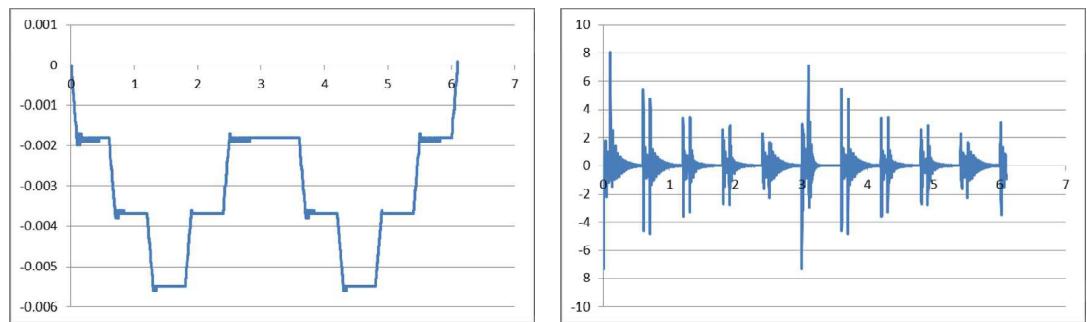
厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
12.0	320	160	25	5.12	15.36	2.560	2050	23040	1	0.014	69.2	104



厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
21.0	320	160	4	5.12	4.30	0.717	500	123480	1	0.011	90.4	136



厚さ (cm)	L (cm)	B (cm)	単位 重量 (kN/m ³)	支配 面積 (m ²)	質点 全重量 (kN)	質点 重量 (kN)	E	I	P	たわみ (cm)	全体剛性 (kN/cm)	要素剛性 (kN/cm)
21.0	320	160	4	5.12	4.30	0.717	500	123480	1	0.011	90.4	136
12.0	320	160	5	5.12	3.07	0.512	耐火被覆					



目 次

1. 概 要

1.1 概要

1.2 認定内容

1.3 寸法

2. 仕 様

2.1 断面図

2.2 主構成材料の仕様

2.3 副構成材料の仕様

3. 施工要領

3.1 床上側施工手順

3.2 天井側施工手順

1. 概要

1.1 概要

本要領書は、厚さ150mm～500mmのC L Tパネルを床面材として用い、床上を強化せつこうボート及び軽量気泡コンクリート(A L C)パネルで、天井をけい酸カルシウム板及び強化せつこうボードで被覆した2時間耐火構造について記載する。

1.2 認定内容

本要領書における床の2時間耐火構造の認定を受けた認定番号及び構造名は以下の通りである。

認定番号：FP120FL—〇〇

構造名：軽量気泡コンクリートパネル・強化せつこうボード重上張／けい酸カルシウム板・強化せつこうボード重下張／直交集成板床

認定取得者：山佐木材株式会社・旭化成建材株式会社

1.3 寸法

C L Tパネルの長さは、構造計算等によって構造安全性が確かめられた寸法とする。

2. 仕様

2.1 断面図

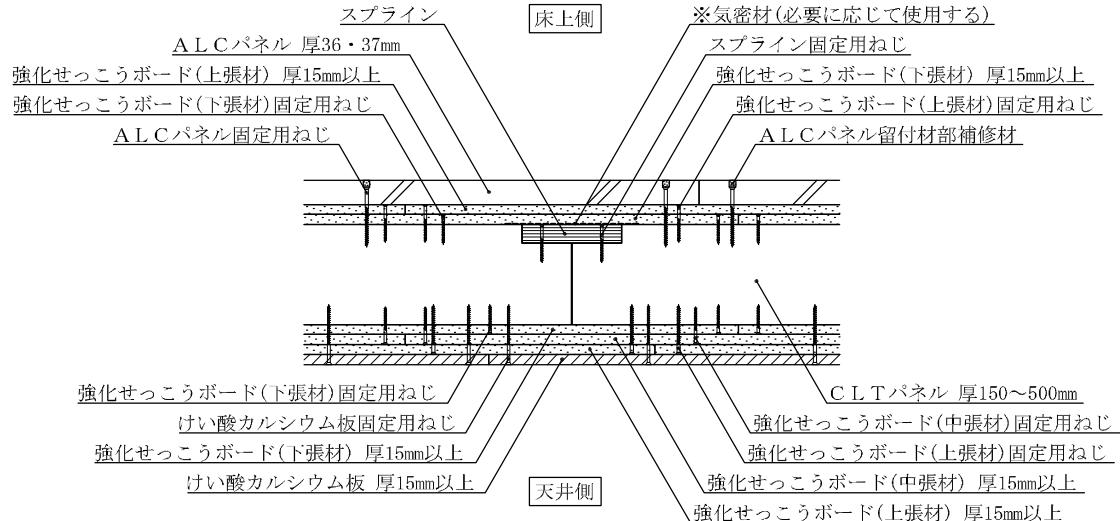


図1 幅方向断面図

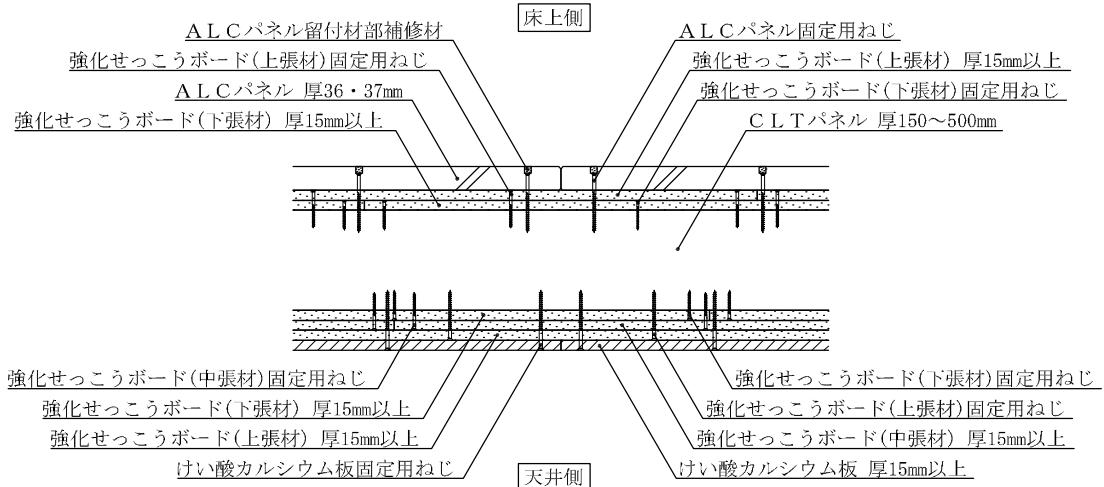


図2 長さ方向断面図

2.2 主構成材料の仕様

主構成材料の仕様は以下の通りです。全ての項目について、仕様が異なる材料を採用した場合は認定構造と認められませんので、ご注意ください。

表1 主構成材料仕様一覧

C L T パネル(荷重支持部材)
材料 : 直交集成板(日本農林規格に規定する直交集成板) ラミナの樹種 : すぎ 寸法 : 幅 1100(±3)mm 以上 厚さ 150~500mm 接着剤(ラミナの積層方向及び幅方向の接着) : 種類 水性高分子イソシアネート 塗布量 220~300g/m ²
けい酸カルシウム板
材料 : けい酸カルシウム板(JIS A 5430) 厚さ : 15mm 以上 密度 : 0.35g/cm ³ 以上
強化せっこうボード
材料 : 強化せっこうボード(JIS A 6901) 種類 : GB-F(V) 厚さ : 15mm 以上

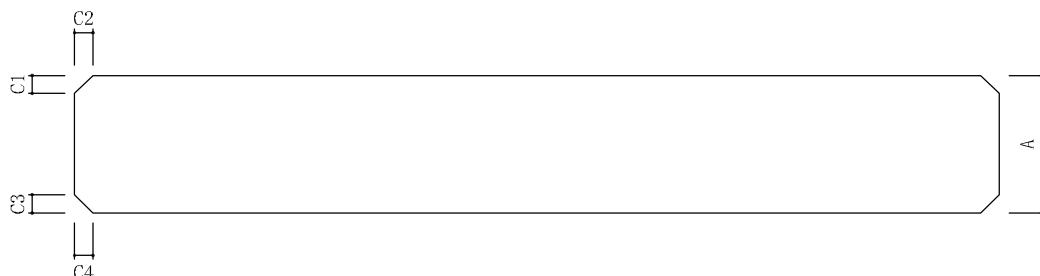
A L C パネル

材料 : 軽量気泡コンクリートパネル(JIS A 5416)

構成 : (1) 及び(2)
 (1) 軽量気泡コンクリート
 密度 : 500(± 50) kg/m³
 (2) 補強材
 材料 : メタルラス
 材質 : 冷間圧延鋼板及び鋼帯(JIS G 3141)
 厚さ : 0.8mm以上
 単位面積質量 : 650(± 65) ~ 1100(± 110) g/m²

形状 : 1) 外形寸法
 厚さ : 36mm(± 2)、37mm(± 2)
 幅 : 600mm(± 4 mm) ~ 606mm(± 4 mm)
 長さ : 1820(± 5) ~ 2000(± 5) mm

2) 断面形状 : 平板



項目	標準値		許容差
厚さ : A		36mm、37mm	± 2 mm
断面欠損部 の寸法	C 1	4.5mm 以下	± 1.5 mm
	C 2	3mm 以下	
	C 3	3mm 以下	
	C 4	2mm 以下	

2.3 副構成材料の仕様

副構成材料の仕様は以下の通りです。特記のある場合を除き、仕様が異なる材料を採用した場合や留め付け仕様が異なる場合は認定構造と認められませんので、ご注意ください。

表2 副構成材料仕様一覧

スパライン
材料：構造用合板(日本農林規格に適合するもの) 寸法：幅 150(±1)mm 厚さ 28(±1)mm
気密材(必要に応じて使用する)
材料：①又は② ①粘着層付きテープ(片面・両面) 材質：1)～7)のいずれか 1) ブチルゴム系 2) EPDM ゴム系 3) アクリル系 4) アスファルト系 5) ポリエチレン系 6) ポリエステル系 7) ポリプロピレン系 ②アルミニウムはく付き粘着層付きテープ 材質：1)～3)のいずれか 1) ポリエチレン系 2) ポリエステル系 3) ポリプロピレン系 寸法：幅 200mm 以下 厚さ 1.0mm 以下
A L Cパネル留付材部補修材
材料：①又は② ①アクリル系樹脂補修材 ②セメント系補修材 使用量：3(±0.3)g以下/1ヶ所

留付材	
	スプライン固定用
	<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 3.8 \times$長さ 57mm 以上 留付間隔：2列—200mm以下</p>
	A L Cパネル固定用
	<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 4.0 \times$長さ 90mm 以上 留付間隔：幅方向 250mm以下 長さ方向 500mm 以下</p>
	床上側：強化せっこうボード(上張材)固定用
	<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 3.8 \times$長さ 57mm 以上 留付間隔：幅方向 333mm以下 長さ方向 333mm以下</p>
	床上側：強化せっこうボード(下張材)固定用
	<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 3.8 \times$長さ 41mm 以上 留付間隔：幅方向 475mm以下、 長さ方向 400mm以下</p>

けい酸カルシウム板固定用
<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 4.5 \times$長さ 90mm 以上 留付間隔：幅方向 250mm以下、 長さ方向 250mm以下</p>
天井側：強化せっこうボード(上張材)固定用
<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 4.2 \times$長さ 75mm 以上 留付間隔：幅方向 333mm以下 長さ方向 333mm以下</p>
天井側：強化せっこうボード(中張材)固定用
<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 3.8 \times$長さ 57mm 以上 留付間隔：幅方向 475mm以下 長さ方向 400mm以下</p>
天井側：強化せっこうボード(下張材)固定用
<p>材料：ねじ 材質：1) 又は 2) 1) 鋼製 2) ステンレス鋼製 尺寸：呼び径 $\phi 3.8 \times$長さ 41mm 以上 留付間隔：幅方向 475mm 以下 長さ方向 400mm 以下</p>

3. 施工要領

3.1 床上側施工手順

(1) C L Tパネルの敷き込み

①取付け位置の墨出し後、C L Tパネルを敷き込み、梁に固定する。

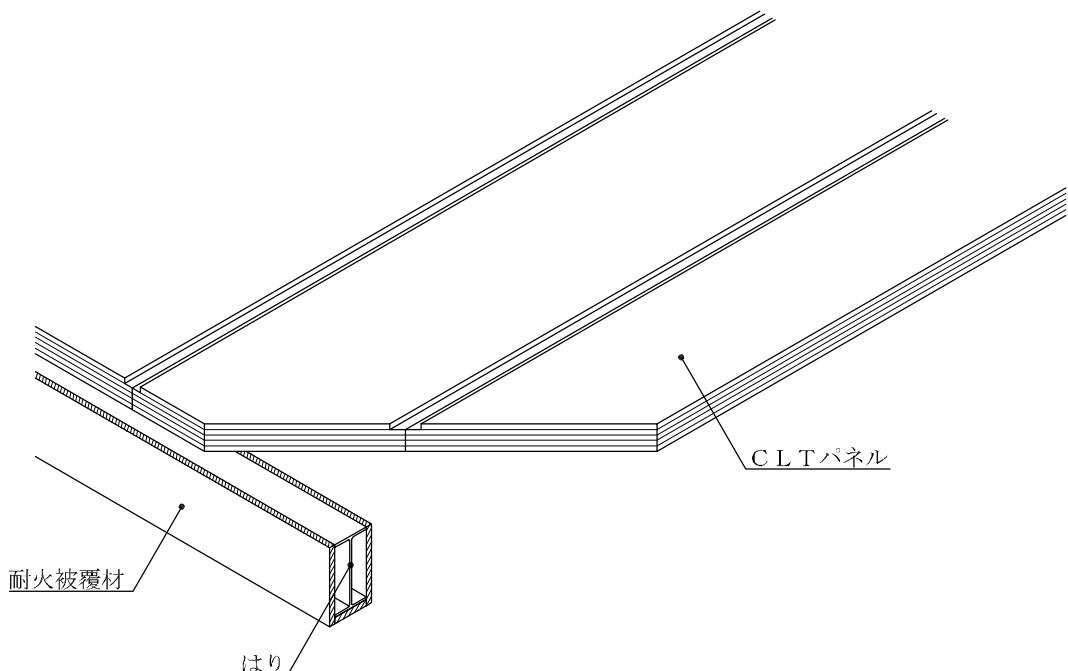


図3 CLTパネルの敷き込み

CLTパネル

材料：直交集成板（日本農林規格に規定する直交集成板）

寸法：幅 1100(±3)mm 以上、厚さ 150～500mm

②CLTパネル同士の隙間は2mm以下とし、スプラインをスプライン固定用留付材を用いて留付け連結する。必要に応じて、気密材をスプライン表面に張付けする。

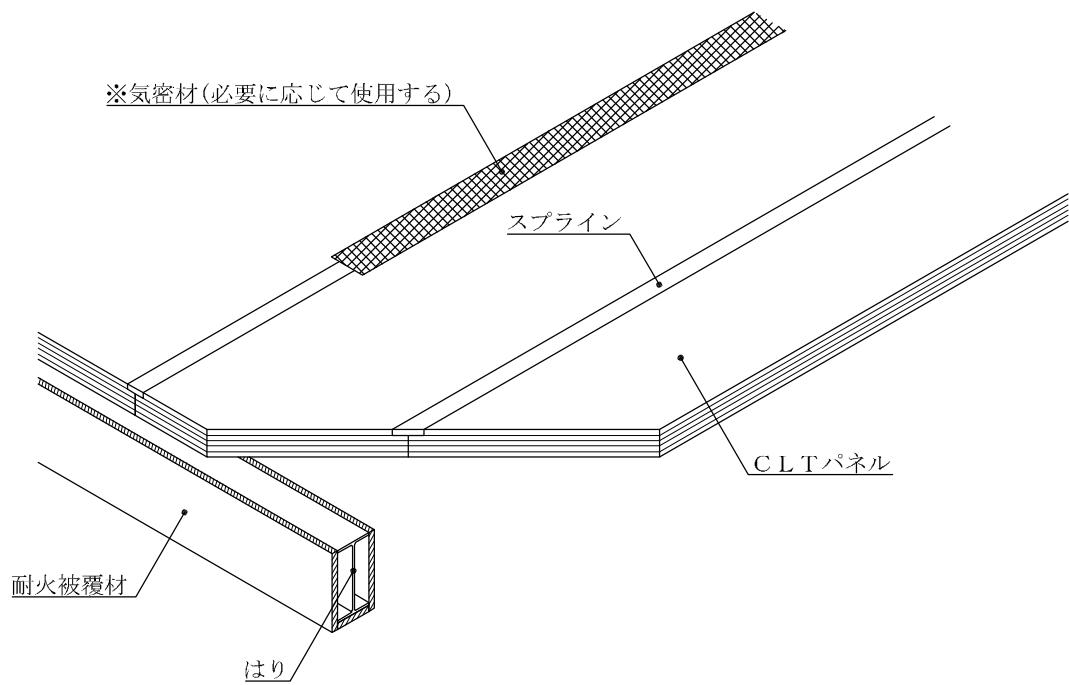


図4 スプラインの留付け

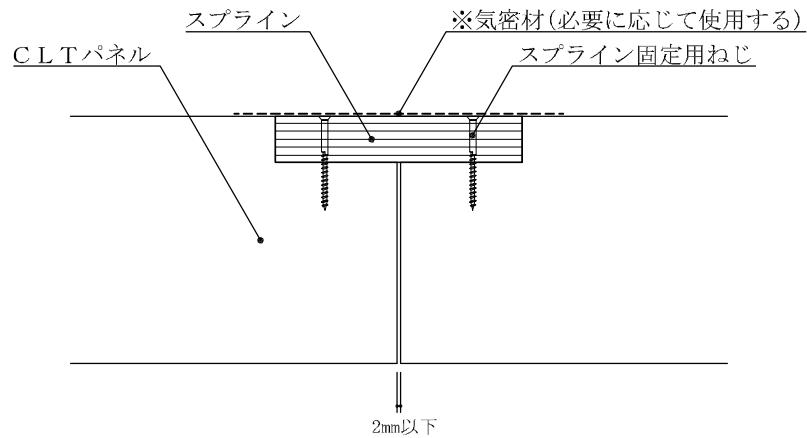


図5 CLTパネル接合部

スライイン

材料：構造用合板(日本農林規格に適合するもの)

寸法：幅 150(± 1)mm、厚さ：28(± 1)mm

スライイン固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 3.8 \times$ 長さ 57mm 以上

留付間隔：2列—200mm 以下

気密材

材料：粘着層付きテープ(片面・両面)又はアルミニウムはく付き粘着層付きテープ

寸法：幅 200mm 以下、厚さ 1.0mm 以下

(2) 床上側：強化セッコウボードの取付け

- ① 強化セッコウボード(下張材)を強化セッコウボード(下張材)固定用ねじを用いて、CLTパネル表面に取付けする。

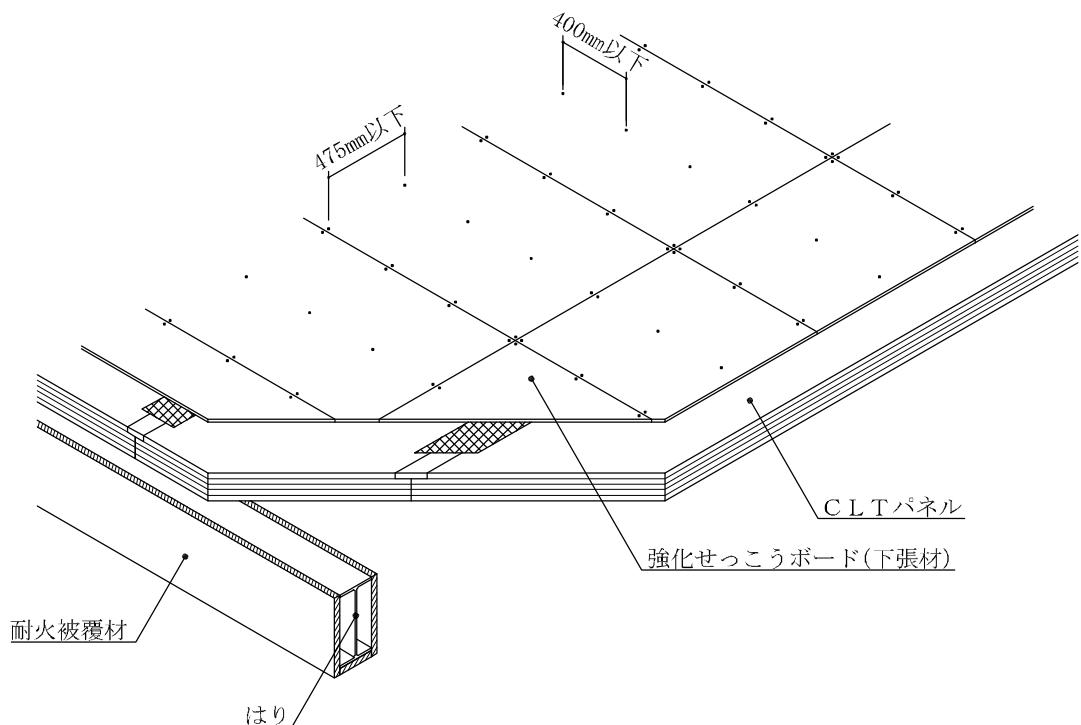


図6 床上側：強化セッコウボード(下張材)の取付け

強化セッコウボード(下張材)

材料：強化セッコウボード(JIS A 6901)

種類：GB-F(V)

厚さ：15mm以上

強化セッコウボード(下張材)固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 3.8 \times$ 長さ 41mm 以上

留付間隔：幅方向 475mm 以下

長さ方向 400mm 以下

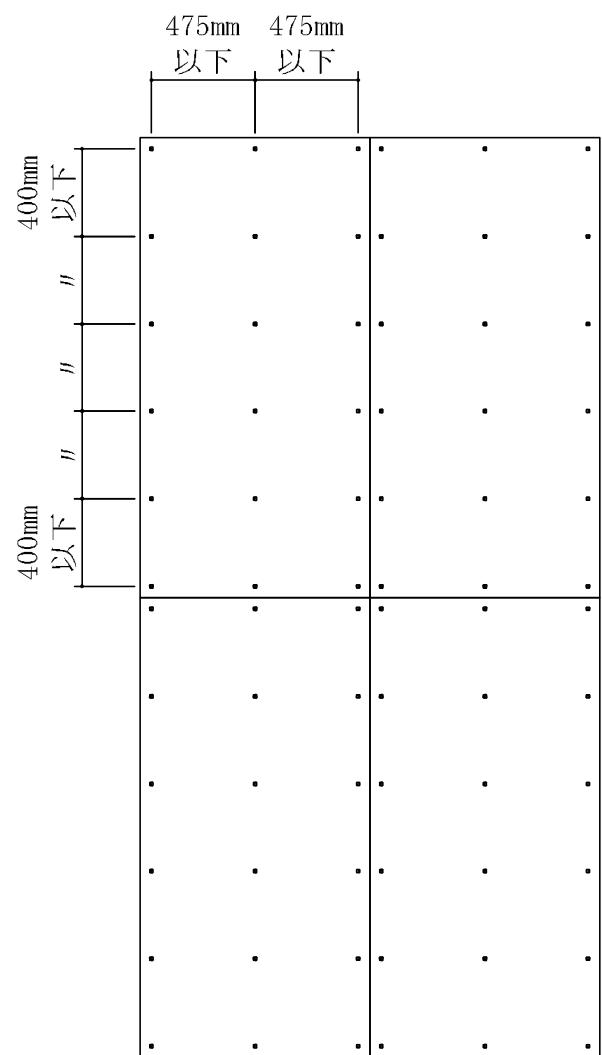


図7 床上側：強化せっこうボード(下張材)留付仕様

②強化せっこうボード(上張材)は下張材と目地が重ならない様に割付け、強化せっこうボード(上張材)固定用ねじを用いて、強化せっこうボード(下張材)表面に取付けする。

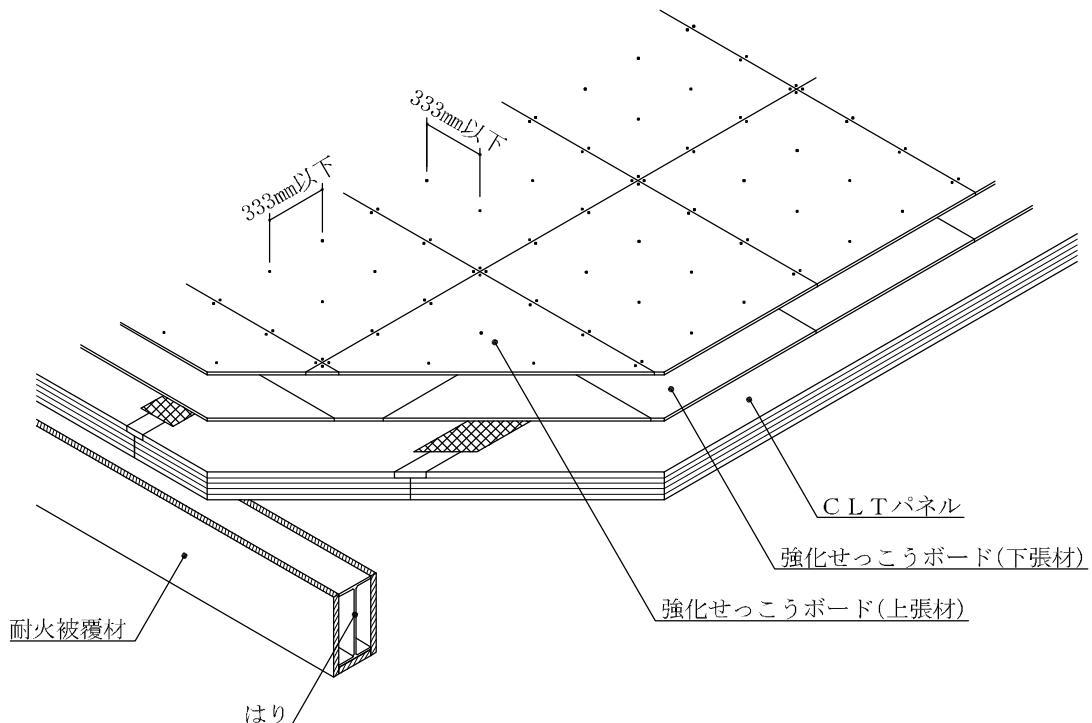


図8 床上側：強化せっこうボード(上張材)の取付け

強化せっこうボード(上張材)

材料：強化せっこうボード(JIS A 6901)

種類：GB-F(V)

厚さ：15mm 以上

強化せっこうボード(上張材)固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 3.8 \times$ 長さ 57mm 以上

留付間隔：幅方向 333mm 以下

長さ方向 333mm 以下

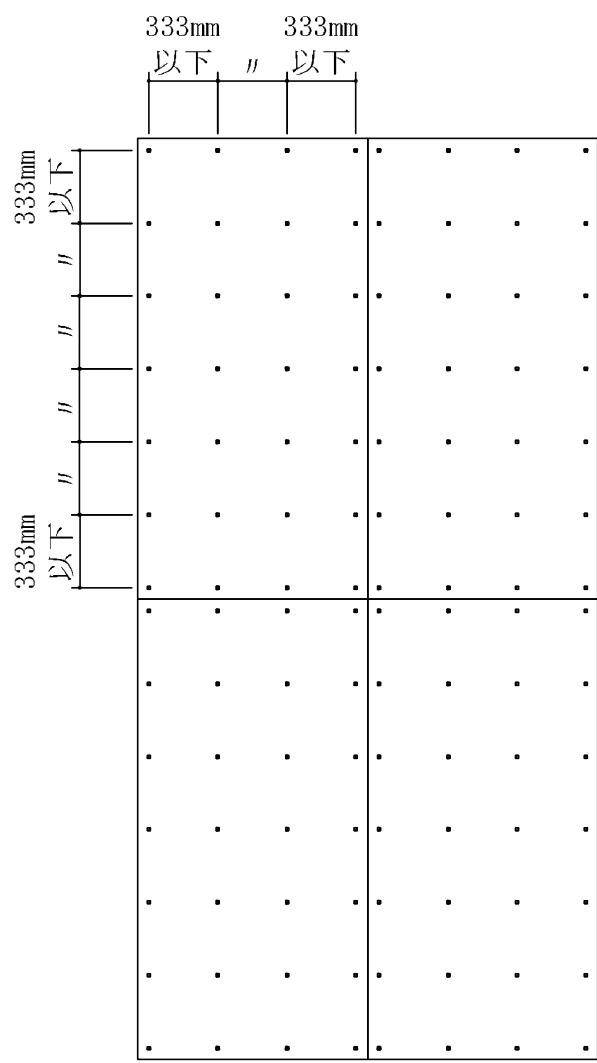


図9 床上側：強化せっこうボード(上張材)留付仕様

(3) ALCパネルの取付け

ALCパネルは強化セッコウボード(上張材)と目地が重ならない様に割付け、ALCパネルをALCパネル固定用ねじを用いて、強化セッコウボード(上張材)表面に取付けする。その際、ねじ頭を床ALCパネル表面から7~10mm打ち込み、留付部にALCパネル留付材部補修材を充てんする。

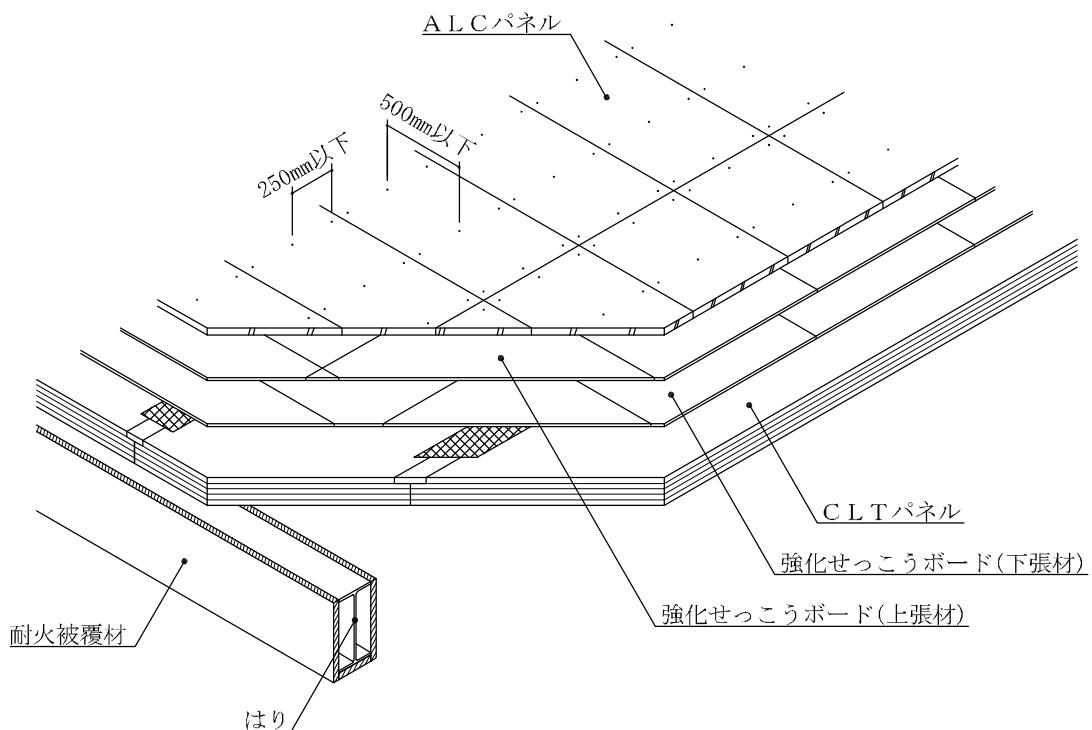


図10 ALCパネルの取付け

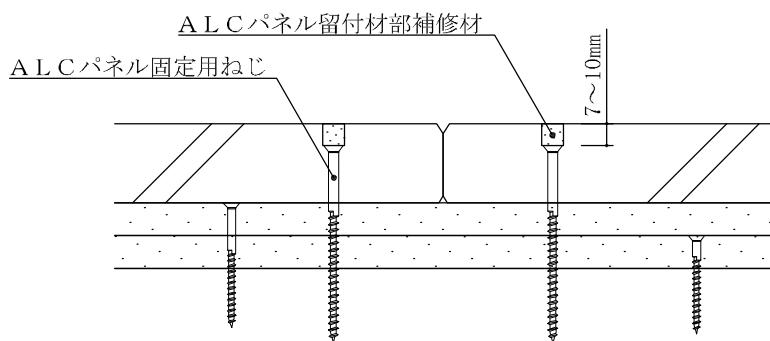


図 11 A L C パネル留付部

A L C パネル

材料：軽量気泡コンクリートパネル(JIS A 5416)

寸法：厚さ 36mm(±2)、37mm(±2)

幅 600mm(±4mm)～606mm(±4mm)

長さ 1820(±5)～2000(±5)mm

A L C パネル固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 4.0 \times$ 長さ 90mm 以上

留付間隔：幅方向 250mm 以下

長さ方向 500mm 以下

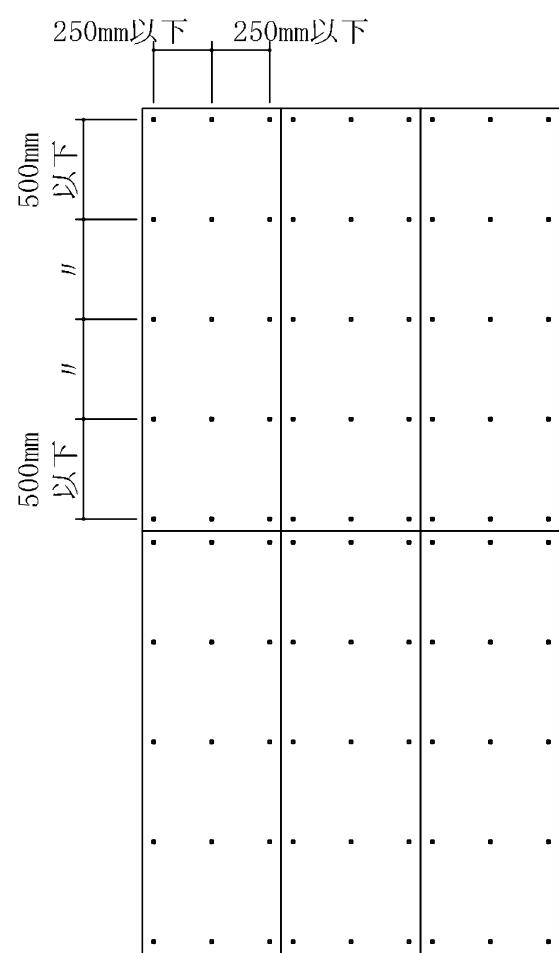


図 12 A L C パネル留付仕様

3.2 天井側施工手順

(1) 天井側：強化せっこうボードの取付け

- ①強化せっこうボード(下張材)を強化せっこうボード(下張材)固定用ねじを用いて、C LTパネル表面に取付けする。

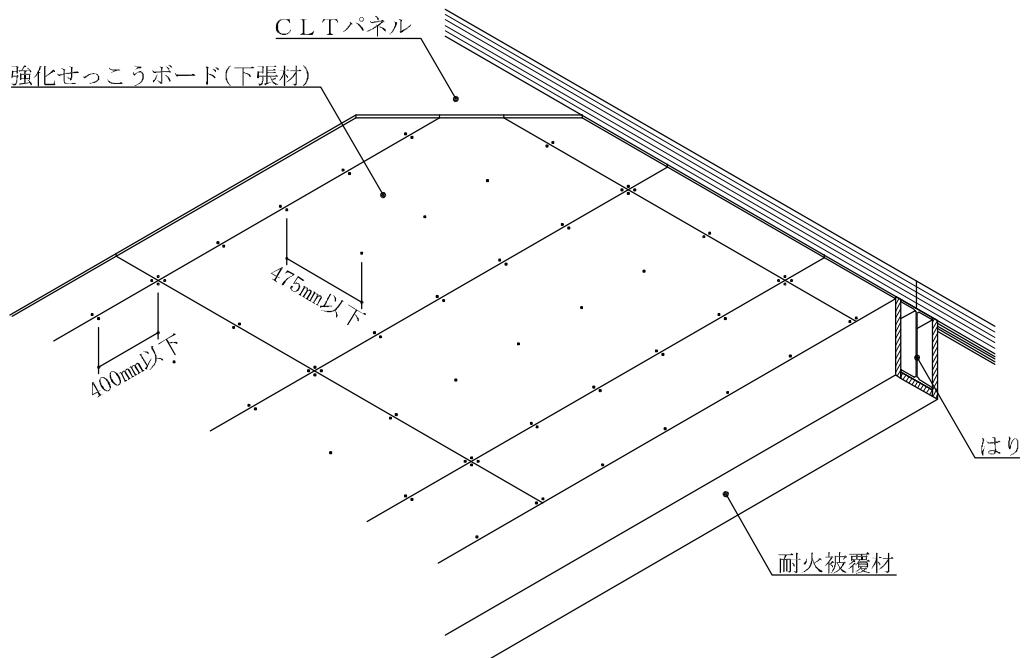


図 13 天井側：強化せっこうボード(下張材)の取付け

強化せっこうボード(下張材)

材料：強化せっこうボード(JIS A 6901)

種類：GB-F(V)

厚さ：15mm 以上

強化せっこうボード(下張材)固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 3.8 \times$ 長さ 41mm 以上

留付間隔：幅方向 475mm 以下

長さ方向 400mm 以下

②強化せっこうボード(中張材)は下張材と目地が重ならない様に割付け、強化せっこうボード(中張材)固定用ねじを用いて、強化せっこうボード(下張材)表面に取付けする。

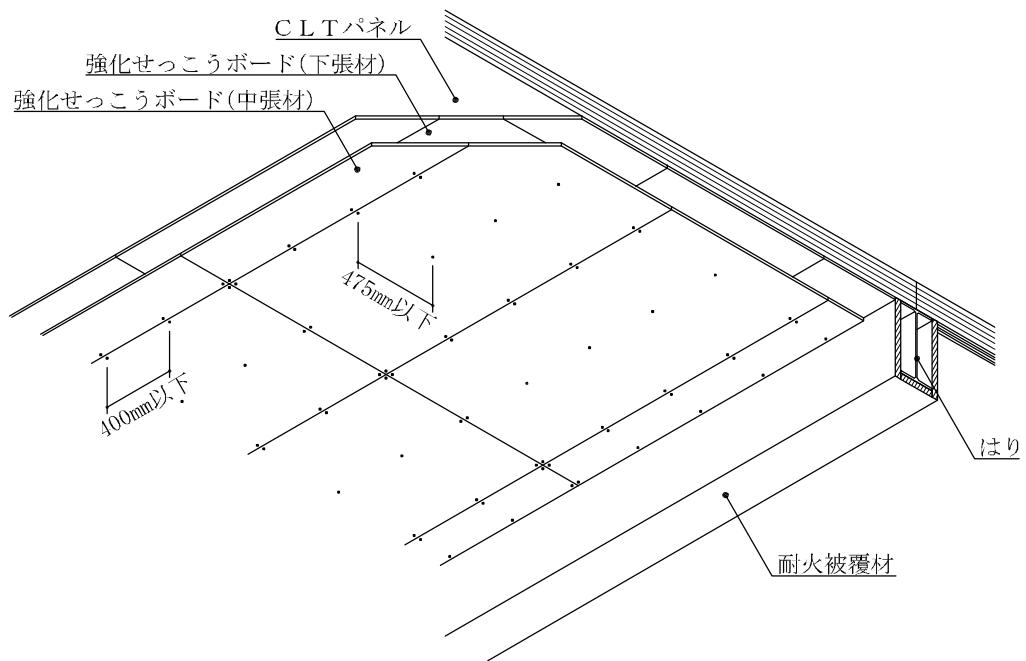


図 14 天井側：強化せっこうボード(中張材)の取付け

強化せっこうボード(中張材)

材料：強化せっこうボード(JIS A 6901)

種類：GB-F(V)

厚さ：15mm 以上

強化せっこうボード(中張材)固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 3.8 \times$ 長さ 57mm 以上

留付間隔：幅方向 475mm 以下

長さ方向 400mm 以下

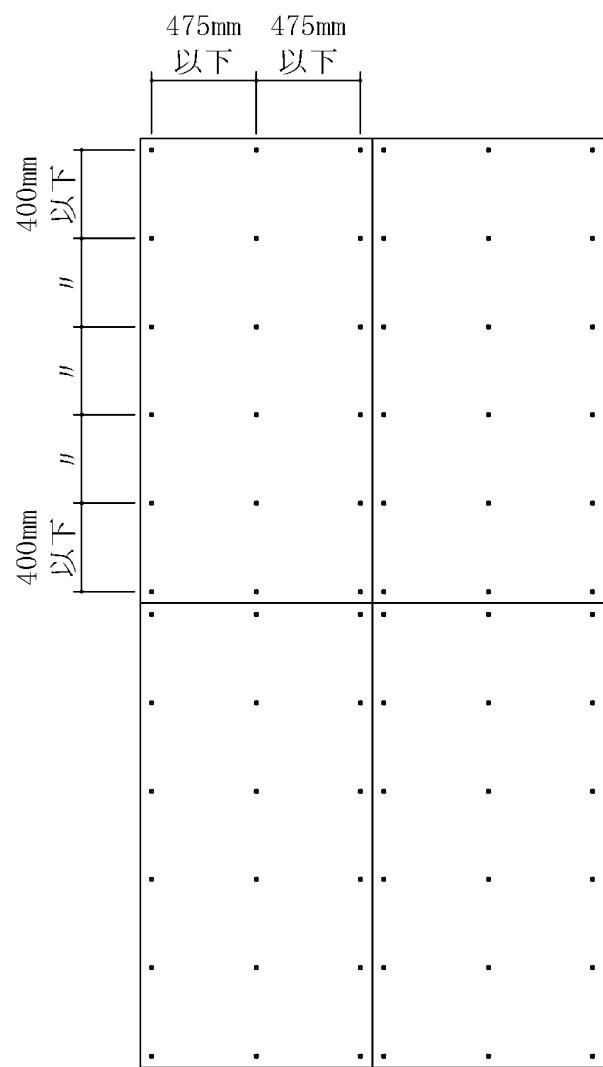


図 15 天井側：強化せっこうボード(下張材・中張材)留付仕様

③強化せっこうボード(上張材)は中張材と目地が重ならない様に割付け、強化せっこうボード(上張材)固定用ねじを用いて、強化せっこうボード(中張材)表面に取付けする。

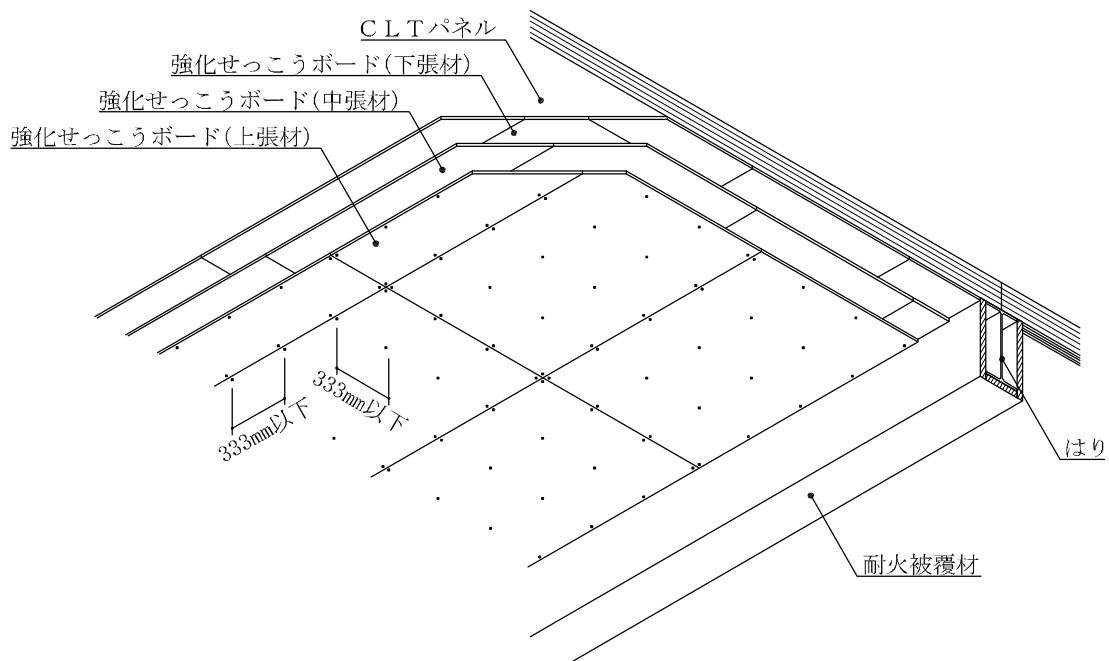


図 16 天井側：強化せっこうボード(上張材)の取付け

強化せっこうボード(上張材)

材料：強化せっこうボード(JIS A 6901)

種類：GB-F(V)

厚さ：15mm 以上

強化せっこうボード(上張材)固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 ϕ 4.2 × 長さ 75mm 以上

留付間隔：幅方向 333mm 以下

長さ方向 333mm 以下

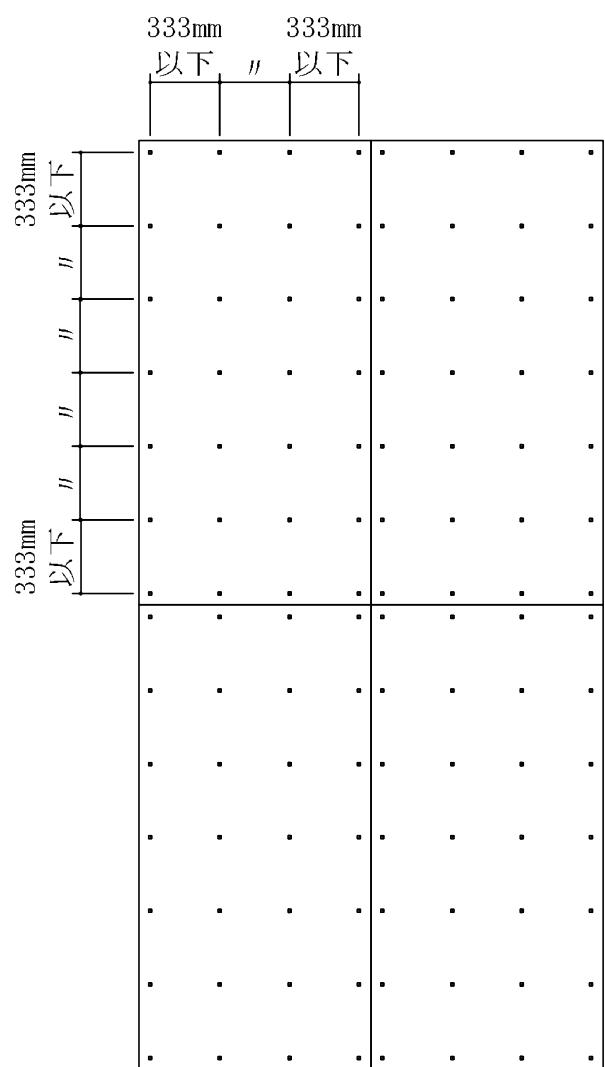


図 17 天井側：強化せっこうボード（上張材）留付仕様

(2) けい酸カルシウム板の取付け

けい酸カルシウム板は強化せっこうボード(上張材)と目地が重ならない様に割付け、けい酸カルシウム板固定用ねじを用いて、強化せっこうボード(上張材)表面に取付けする。

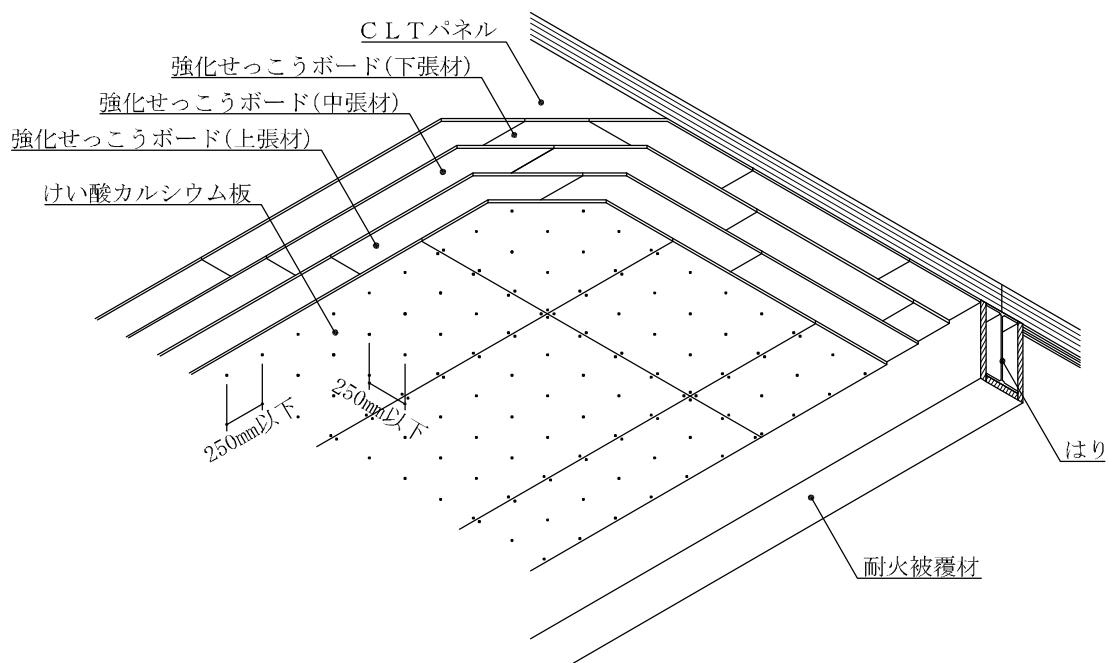


図 18 けい酸カルシウム板の取付け

けい酸カルシウム板

材料：けい酸カルシウム板(JIS A 5430)

厚さ：15mm 以上

けい酸カルシウム板固定用ねじ

材質：鋼製又はステンレス鋼製ねじ

寸法：呼び径 $\phi 4.5 \times$ 長さ 90mm 以上

留付間隔：幅方向 250mm 以下

長さ方向 250mm 以下

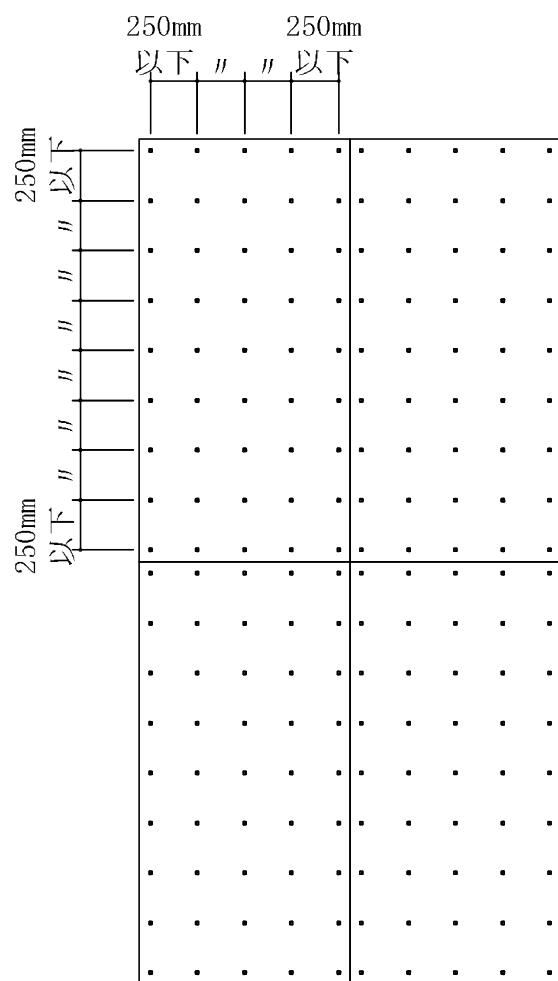
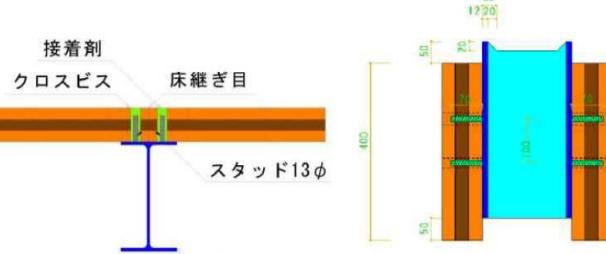
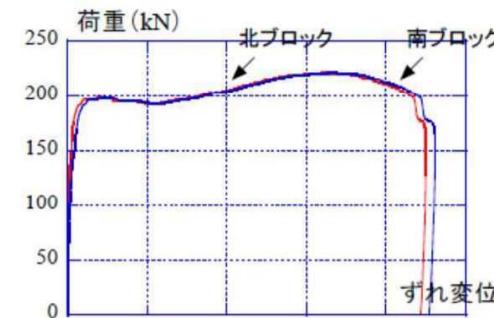
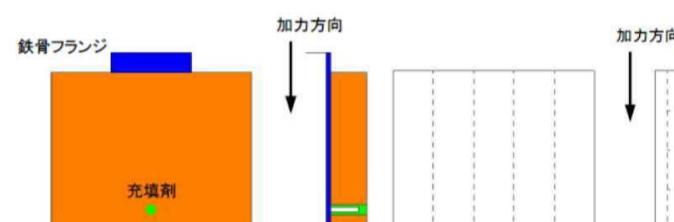
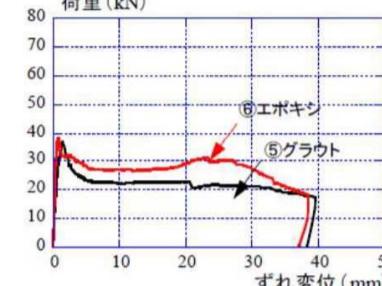
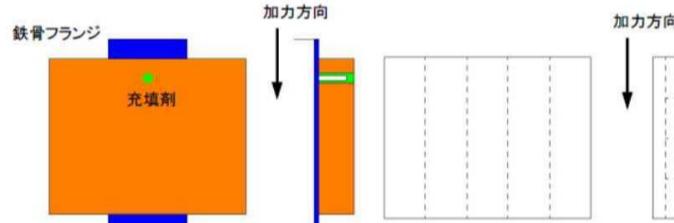
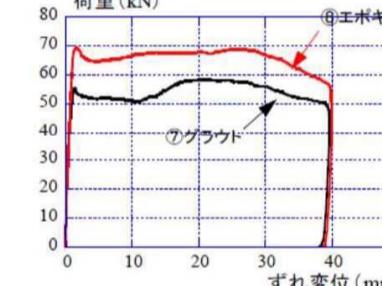
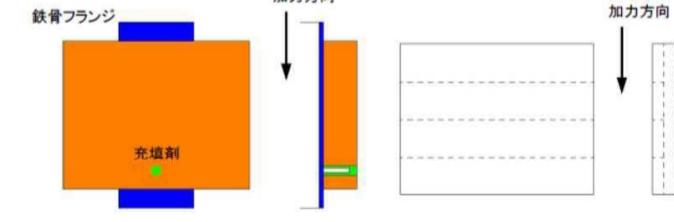
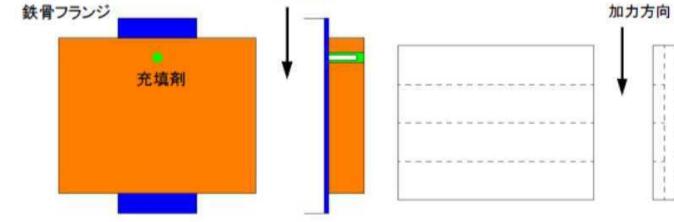
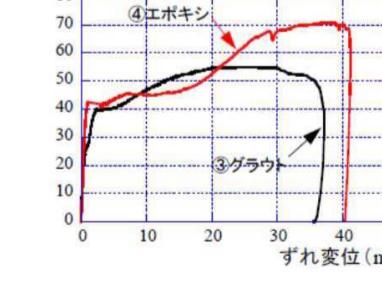


図 19 けい酸カルシウム板留付仕様図

No.	検討項目	実験仕様	実験結果
1	CLTと鉄骨梁の接合強度 (鉄骨の長さ方向に沿ったせん断強度)	 <p>CLT: 270 × 90 × 400 (30mm × 3枚) スタッド: 径13mm、長さ70mm</p>	 <p>CLTと鉄骨梁の鉄骨長さ方向のせん断耐力に相当。 スタッド8本当たりの最大耐力は、200kN程度である。</p> <p>資料:26年度、資料1,1</p>
2	CLTと鉄骨梁の接合強度 (鉄骨長さ方向と直交する端外方向のせん断強度)	 <p>CLT: 30mm × 3枚、向き:弱軸 スタッド: 径13mm、長さ70mm 端外方向押し抜き</p>	 <p>鉄骨長さ方向と直交する端外方向のせん断耐力に相当。 エポキシで、スタッド2本当たりの最大耐力は、30kN程度である。</p> <p>資料:27年度、資料1</p>
3	CLTと鉄骨梁の接合強度 (鉄骨長さ方向と直交する端内方向のせん断強度)	 <p>CLT: 30mm × 3枚、向き:弱軸 スタッド: 径13mm、長さ70mm 端内方向押し抜き</p>	 <p>鉄骨長さ方向と直交する端内方向のせん断耐力に相当。 エポキシで、スタッド2本当たりの最大耐力は、70kN程度である。</p> <p>資料:27年度、資料1</p>
4	CLTと鉄骨梁の接合強度 (鉄骨長さ方向と直交する縁外方向のせん断強度)	 <p>CLT: 30mm × 3枚、向き:強軸 スタッド: 径13mm、長さ70mm 縁外方向押し抜き</p>	 <p>鉄骨長さ方向と直交する縁外方向のせん断耐力に相当。 エポキシで、スタッド2本当たりの最大耐力は、50kN程度である</p> <p>資料:27年度、資料1</p>
5	CLTと鉄骨梁の接合強度 (鉄骨長さ方向と直交する縁内方向のせん断強度)	 <p>CLT: 30mm × 3枚、向き:強軸 スタッド: 径13mm、長さ70mm 縁内方向押し抜き</p>	 <p>鉄骨長さ方向と直交する縁内方向のせん断耐力に相当。 エポキシで、スタッド2本当たりの最大耐力は、70kN程度である。</p> <p>資料:27年度、資料1</p>

第12章 まとめ

この2月に、国土交通省より「CLTパネル工法を用いた建築物又は建築物の構造部分の構造方法に関する安全上必要な技術的基準を定める件等の制定等をする告示案」が発表され、4月には公布・施行の予定とのことである。また、山佐木材が開発したCLTパネルの2時間耐火方式も、認証機関の審査は全て終わり、大臣認定を待つだけの状況である。つまりそれらと、このレポートの知見を活用すれば、いつでも中大規模の柱梁S造、床CLT建築の建設は、可能となったことになる。

我々は、この技術が、今後のS造超高層ビルを初めとする非住宅中大規模建築の建設に大きな技術革新をもたらすものと信じている。木床超高層の技術は、今や実現可能なレベルにある。問題は、その第1号を誰が手掛けるかである。この技術に関心をお持ちの方は、是非ご一報頂ければ、直ちにご説明に伺う所存である。

平成 27 年度 林野庁委託事業
C L T 等新たな製品・技術の開発・普及事業

「木質耐火部材開発」

委員会 第 1 回 議事録

日 時：平成 27 年 9 月 11 日（金） 10:00～12:00

会 場：スタンダード会議室虎の門 ANNEX（東京都港区虎ノ門 1-16-8 石井ビル 1F A 会議室）

出席予定者：（敬称略、順不同、〔 〕は欠席予定）

委員 稲田 達夫（委員長）、[堺 純一]、[倉富 洋]、鈴木 淳一、萩原 一郎、
成瀬 友宏、中川 貴文、梶本 敏大、荒木 康弘、上川 大輔、田中 圭、
[矢井 和彦]、佐川 修、梶原 茂、佐々木 幸久
オブザーバー 国土交通省 [高木 直人]、[歌代 純平]、[山口 義敬]、田中 佳幹
林野庁 高畠 啓一、西村 紘明、[坂 賢]
事務局 塩崎 征男、村田 忠、佐々木 真理、西胤 謙吉

議 事：

1. 事業の概要（国土交通省の指摘留意点を考慮して） 資料 1-1, 1-4
2. 今年度事業要点 資料 1-3
3. 各委託事業の試験内容と計画 資料 1-5-1, 1-5-2
4. 昨年度の加熱試験経過と今年度の試験計画 資料 1-6-1, 1-6-2
5. 当事業内 他検討項目について 資料 1-7
6. 他事業での検討内容 資料 1-8
7. その他
8. 次回日程

会議資料：

資料 1-0		議事次第
資料 1-1.	P. 1-14	当事業の概要（事務局）
資料 1-2.	P. 15	委員名簿(案)（事務局）
資料 1-3.	P. 17	本事業の要点（事務局）
資料 1-4.	P. 19	国土交通省からの留意指摘点（事務局）
資料 1-5-1.	P. 21-25	今年度事業計画 福岡大学 再委託事業（福岡大学）
資料 1-5-2.	P. 27-28	同 大分大学 再委託事業（大分大学）
資料 1-6-1.	P. 29-38	小型試験炉による被覆材加熱試験の経過と今年度計画（福岡大学）
資料 1-6-2.	P. 39-62	水平炉による加熱試験の経過と今年度計画（山佐木材）
資料 1-7.	P. 63-66	充填材（エポキシ樹脂）の検証（オーシカ）
資料 1-8	P. 67-70	被覆材の施工性確認・歩行振動・遮音性能（山佐木材）

議事録

- ・ 事務局より委員会設立趣旨説明
- ・ 委員長承認（福岡大学稻田達夫教授）
- ・ 受託者挨拶（山佐木材（株）佐々木幸久社長）
- ・ 林野庁挨拶（木材産業課高畠課長補佐）
当事業以外に同時進行している他の CLT 関連委託事業紹介
① 基準強度、②耐震補強材、③制震壁開発、④遮音歩行振動
- ・ 自己紹介

1. 事業の概要説明（国土交通省の指摘留意点を考慮して）

[資料 1-4] 昨年度国土交通省の指摘留意点を踏まえて、[資料 1-1] 今年度事業企画書を作成、事業概要を紹介。（村田）

2. 今年度事業要点

[資料 1-3]に基づき、本事業の要点について説明。鋼構造建築物の床に CLT を使用した設計ができるようにすることが最終目的であることを確認した。（塩崎）

3. 試験内容と計画

[資料 1-5-1]に基づき、福岡大学で実施する試験内容について説明。（稻田）

- ① CLT とスタッドの縁方向の接合強度の把握
- ② スタッドの引き抜き耐力の検討
- ③ 表層スライン式の CLT 板相互の接合強度・剛性の把握
- ④ 天井吊り材の強度確認試験
- ⑤ 繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材と CLT の接合性能の把握
- ⑥ CLT 架台を用いた制振装置の取り付け方法

[資料 1-5-2]に基づき、大分大学で実施する試験内容について説明。（田中）

任意のスタッド配置の床の剛性・耐力を設計できるような資料収集が目的。

国交省より繰り返し試験をするように指摘有。繰り返しできる試験でスタッド 1 本当たりの性能を出して、任意のスタッド配置の床を設計できるように。

P1 記載の要素試験案で実施するのがよいのか、P2 記載の四周スタッドの試験体で実施するのがよいのか、それとも両方実施して整合性を見る必要があるのか検討中。最終的には実大サイズの試験を実施したい。

4. 昨年度の加熱試験経過と今年度の試験計画

[資料 1-6-1]に基づき、小型炉試験経過と今年度の計画について説明。（稻田）

- ・ 昨年度試験結果

75mm 厚であれば耐火性能有。更に薄くする場合、ケイカル板 15mm + 強化石膏ボード 45mm (15mm 3 枚) の 60mm は耐火性能有、ALC 板（旭化成コネック/重量が軽い）36mm + 強化石膏ボード 30mm (15mm 2 枚) の 66mm も耐火性能有

- ・ 今年度試験

- ① 被覆材の施工枚数を減らす

ケイカル板 15mm + 強化石膏ボード 42mm (21mm² 枚) → 耐火性能有

- ② 新たな被覆材の検討 (ニチアスマキベエ/ローコスト化)

- ③ 天井吊りボルトの熱橋

[資料 1-6-2]に基づき、水平炉試験経過と今年度の計画について説明。(塩崎)

- ・ 昨年度試験結果

H型鋼の被覆材ケイカル板 35mm 1枚だと鋼材 400°Cまで上昇、CLT の炭化が見られた

- ・ 今年度試験

9月 14 日～16 日 建材試験センター西日本試験所にて載荷下面加熱試験

(9月 15 日は鋼材の耐火被覆について確認)

小型炉試験で耐火性能有となったケイカル板 15mm + 強化石膏ボード 42mm (21mm² 枚) の結果を確認後、性能評価申請に採用する被覆材仕様の決定を行う。

性能評価試験は予定では上面 12/7 中央試験所、1/25 西日本試験所。

<質疑>

- ・ 被覆仕様について、コスト (施工費、材料費) や重さを考慮すると、上面は薄いもの、下面是施工性が良いものがよいであろう。

- ・ 石膏ボードから出る水分は上昇するため、上部にロックウールなどで吸収し活用できないか。→ 今後の参考に。

- ・ 鋼材の被覆について

鋼材外周のケイカル板 2枚を 1枚にして、フランジの下にマキベエを巻き、外に飛び出ないような仕様もできないか。今回は試験体製作した所がロックウール (マキベエ) 対応できなかったので、この仕様にしている。(トーアでは対応可能のよう)

- ・ 耐火被覆との取り合いの所は異種構造が組み合わさるので既存認定が使えないと思う。マキベエのように途中で切ると難しい。

- ・ 接合部と鋼材の被覆は試験内容に入っていないのでどうしようか検討しているところ。鋼材の被覆試験は建材試験センター西日本あと 1回程度行う予定。

5. 充填剤(エポキシ樹脂)の検証

[資料 1-7]に基づき、耐熱型のエポキシ樹脂系充填剤 (試作品) の試験結果を紹介。これまでよりもコストダウンをはかれる見込み。(梶原)

6. 被覆材の施工性確認・歩行振動測定・遮音性能測定

[資料 1-8]に基づき、かごしま木づかい交付金事業で実施する試験を紹介。(塩崎)

- ① 被覆材の施工性確認 (モックアップをかさ上げして再利用)

- ② 歩行振動測定

- ③ 遮音性能測定

以上

平成 27 年度 林野庁委託事業
C L T 等新たな製品・技術の開発・普及事業

「木質耐火部材開発」

耐火サブ WG 第 1 回 議事録

日 時：平成 27 年 10 月 16 日（金） 13:00～15:00

会 場：福岡大学工学部（福岡市城南区七隈 8-19-1）

出席予定者：（敬称略、順不同、〔 〕は欠席予定）

委員 稲田 達夫（委員長）、倉富 洋、矢井 和彦、梶原 茂

オブザーバー 旭化成建材 早乙女一美

事務局 塩崎 征男、村田 忠、西胤 謙吉

議 事：

1. 9月 14 日～16 日下面加熱試験結果報告 資料 SWG1-1
2. 性能評価試験 最終仕様の決定
3. ALC ユカテック申請資料内容の説明 資料 SWG1-2
4. 性能評価申請書 図書作成・申請時期確認 資料 SWG1-3
5. 中間報告会(10月 31 日)報告内容と資料作成 確認
6. 拡大 WG(10月 31 日)報告内容と資料作成 確認
7. その他

会議資料：

- | | |
|------------|-------------------------------|
| 資料 SWG1-0 | 議事次第 |
| 資料 SWG1-1. | 9月 14 日～16 日下面加熱試験結果報告（矢井氏持参） |
| 資料 SWG1-2 | ユカテック申請書記載内容（早乙女） |
| 資料 SWG1-3. | 性能評価申請書等（事務局） |

——議 事 錄——

○9/14～16 下面加熱試験結果報告

資料 SWG1-1 No. 1～3 を基に結果報告。

加熱面：けい酸カルシウム板 15 mm × 1 枚+強化石膏ボード 21 mm × 2 枚の結果。

石膏ボードの目地部分から一部、CLT に炭化が見られた。21 mm の石膏ボードなので、15 mm に比較すると思い。その為、少し垂れ下がり、隙間ができた可能性もあり。

No. 1 試験体下部の炭化は試験体製作での問題。今後はセラミックなどで補強。No. 2 はセラミックで改善。

No. 3 は接合部の試験。性能評価は評価対象外。取り合い部の状況確認
結果が良い順に以下の通り

- ① けい酸カルシウム (35 mm × 2 枚)
- ② けい酸カルシウム板 (25 mm × 2 枚)
- ③ マキベエ (65 mm) …一番温度上昇。ロックウールは熱を通す。熱しやすく冷めやすい。
目地テープを張ると、認定もその仕様になるため、その辺りは検討が必要。

○性能評価試験 最終仕様の決定

昨年度実施した試験結果も踏まえて検討すると、性能評価仕様は以下の通り

上面：強化石膏ボード 15 mm × 2 枚 + ALC ユカテック 36 mm × 1 枚

下面：強化石膏ボード 15 mm × 3 枚 + けい酸カルシウム板 15 mm × 1 枚

○その他、今後について

- ・性能評価試験担当者は建材試験センター西日本矢塙氏。
- ・接合部の試験を今年度あと 1 回、建材試験センターで実施する。(性能評価のバックデータ的試験)
25 mm 2 枚か、35 mm 1 枚に何かを吹き付けるか、セラミックシート等を再度検討。
- ・CLT 床と屋根の 1 時間耐火は、国交省から告示で出るため、それを待つ。

○性能評価申請書 図書作成・申請時期確認

- ・申請図書の提出は 1 カ月前まで。したがって今回の場合は 11/7 まで。性能評価終了後 2 月の評価委員会で OK が出れば、大臣認定。請求書は評価委員会終了後に発行。合格であれば、2 月中には出る見込み。
- ・CLT の材料証明は CLT の出荷証明書、接着剤はオーシカの出荷証明書。
- ・ビスなどの一般流通品はオーテック等の任せたほうが安心(出所所在をはっきりさせるため)。ALC は特殊ビスなので、旭化成建材から連絡。
- ・連名申請は上に山佐木材、下に旭化成建材。申請書は 2 社から。連絡担当者は山佐木材塩崎。請求書の折半は不可。商品名は後日。商品名なしでも可。

○拡大 WG (10 月 31 日) 報告に関して

- ・10/31WG の資料は福岡大学で印刷。
- ・矢塙氏からは 9 月の試験結果を報告。WG に建材試験センターから数名オブザーバに参加。

以上

平成 27 年度 林野庁委託事業
C L T 等新たな製品・技術の開発・普及事業

「木質耐火部材開発」

拡大WG 第1回 議事録

日 時：平成 27 年 10 月 31 日（土） 10:00～12:00

会 場：福岡大学文系センター棟 15 階第 6 会議室

（〒814-0180 福岡市城南区七隈 8-19-1 TEL : 092-871-6631(代)）

出席予定者：（敬称略、順不同、〔 〕は欠席）

委員 稲田 達夫（委員長）、[堺 純一]、倉富 洋、鈴木 淳一、[萩原 一郎]、
成瀬 友宏、[中川 貴文]、梶本 敬大、[荒木 康弘]、[上川 大輔]、田中 圭、
矢井 和彦、佐川 修、梶原 茂、佐々木 幸久

オブザーバー 国土交通省 [高木 直人]、[歌代 純平]、[山口 義敬]、[田中 佳幹]
林野庁 [高畠 啓一]、西村 紘明、[坂 賢]
MITA 建築研究所 高橋佳久
建材試験センター西日本試験所 小森谷誠、河野博紀
熊本県林業研究指導所 池田元吉、九州大学 藤本登留、村野朋哉

事務局 塩崎 征男、村田 忠、佐々木 真理、西胤 謙吉

議 事：

1. 第1回委員会、耐火 SWG 議事録確認 資料 WG1-1-1、1-1-2（事務局）
2. 福岡大学 再委託事業中間報告 資料 WG1-2（倉富）
3. 9月実施 水平加熱試験報告 資料 WG1-3（矢井）
4. 性能評価試験 日程と最終仕様 資料 WG1-4（塩崎）
5. 鋼材接合部についての検討 資料 WG1-5（塩崎）
6. 剛床仮定の成立について 資料 WG1-6（稻田）
7. 福教大での実験報告 資料 WG1-7（藤本）
8. その他 次回日程

会議資料：

- 資料 WG1-0 議事次第
- 資料 WG1-1-1 第1回委員会議事録（案）
- 資料 WG1-1-2 第1回耐火サブ WG 議事録（案）
- 資料 WG1-2 福岡大学 再委託事業報告
① 構造 ②耐火 小型試験炉
- 資料 WG1-3 9月実施 載荷加熱試験 報告
- 資料 WG1-4 12月～1月 床2時間耐火性能評価 日程と仕様
- 資料 WG1-5 9月15日鋼材接合部加熱試験 結果報告
- 1月28日実施予定 鋼材接合部加熱 再試験に向けて（一部資料 WG-3）
- 資料 WG1-6 剛床仮定の成立について（中間報告会資料）
- 資料 WG1-7 福教大恒温恒湿器による実験報告

議事録

- ・自己紹介

1. 第1回委員会、第1回耐火サブWG 議事録確認

[資料1-1-1]第1回委員会(9/11実施)と[資料1-1-2]第1回耐火サブWG(10/16実施)の議事録内容確認(事務局)

2. 福岡大学再委託事業報告①構造

[資料1-2]に基づき、①～③の試験結果(速報)報告。(倉富)

① CLTとスタッドの縁方向の接合強度の把握(スタッド押し抜き実験)

- ・試験体8種類(充填剤、スタッド位置、貼り合わせ向きの違い)

⇒充填剤 クラウドよりエポキシの方が比較的強い

　スタッド位置 上下ともにスタッドはハの字に曲がる形で破壊

　貼り合わせ スタッド位置が下の場合破壊形式に違いがみられる

② 表層スライン式のCLT板相互の接合強度・剛性の把握(スライン式押し抜き実験)

- ・CLTの一枚目に溝加工し合板をビス留めした試験体

⇒昨年実施のクロスビスは強度、施工性に多少問題があり、今回スライン式を検討。

　試験が終わったばかりであり、これから検証を行う。

③ 天井吊り材の強度確認試験(天井吊りボルト強度試験)

- ・試験体3種類(CLTのみ、ケイカル板、ALC板)

・ALCハンガー ねじ込み式

⇒耐火被覆材から天井の反力がどの程度取れるかを見るために実施。4本で5kN

⇒73mmのALCハンガーを使用したため、13mmがCLTに入ってしまっている。

　再度やり直す予定。

3. 福岡大学再委託事業報告②耐火小型炉試験

[資料1-2]に基づき、被覆タイプ1と被覆タイプ2の試験結果(速報)報告。(倉富)

被覆タイプ1 ケイカル板15mm+石膏ボード42mm(21mm×2枚)

⇒昨年は石膏ボード15mm×3枚、枚数を減らすために21mm×2枚で実施。

　炭化・変色なし。

　2時間耐火性能有との感触を持っていたが、水平炉では異なる結果となった(3.で報告)

被覆タイプ2 ALC板カバック36mm+石膏ボード21mm(21mm×1枚)

⇒一部炭化あり。石膏ボード30mmは必要

3. 水平炉加熱試験報告

[資料1-3]に基づき、9/14～16建材試験センター西日本試験所で実施した水平炉加熱試験の結果を報告。(矢塙)

試験体A ケイカル板15mm+石膏ボード21mm×2枚(載荷)

⇒CLT表面に炭化あり

試験体B ALC板ユカテック 36mm + 石膏ボード 21mm × 2枚 (載荷)

⇒CLT表面に炭化あり

試験体C CLTと鉄骨梁との接合仕様 (無載荷)

① ケイカル板 25mm × 2枚

⇒濃い変色あり

② マキベエ 65mm

⇒接合部焦げ発生

③ ケイカル板 35mm × 2枚

⇒薄い変色

<質疑>

(小型炉ではOKだった石膏ボード 21mm × 2枚が水平炉では炭化が見られたという結果に対して)

・積載荷重の影響が考えられるか

⇒たわみは数mm、自重の影響も多少はあるかもしれない

・焦げが発生しているのは内側の石膏ボードのネジの部分。ケイカル板・石膏ボードが収縮して隙間があき、CLTの継ぎ目部分に焦げが出ている。2枚だと厳しいのかも。

・熱気が入っているのではないか。何かで熱気を止めることができないか。

⇒アルミテープ使用を小型炉で試験してみると。たわみが原因なのか、熱の伝わり方がどうなのか今後よく見ていく必要がある

・今回は確実な方法で2時間耐火取得、今後コストダウンの方法を検討していく

4. CLT床 二時間耐火構造性能評価

[資料1-4]に基づき、試験日程と最終仕様について耐火サブWGで以下の通り決定したことを報告。(塩崎)

日程

12月7日(月)～10日(木) 建材試験センター中央試験所 上面加熱試験

1月25日(月)～28日(木) 建材試験センター西日本試験所 下面加熱試験

仕様

下面 ケイカル板 15mm + 石膏ボード 15mm × 3枚

上面 ALC36mm + 石膏ボード 15mm × 2枚

5. CLT床 鋼材接合部検討

[資料1-5]に基づき、9/16 建材試験センター西日本試験所において実施した試験結果を踏まえ、仕様を再度検討して加熱試験を行う。(塩崎)

日程 1月28日(木) 建材試験センター西日本試験所

仕様 9月同様3タイプ(ボルト部には高温改良型のエポキシ充填)

<質疑>

・せん断性能に余裕があるのであれば、鉄骨とCLTの間に熱を伝えないものを挟むのはどうか。

⇒強度に影響が出ないセラミックペーパー、ミルボード等 先に小型炉試験で試してみたい

6. 剛床仮定の成立について

[資料 1-6]に基づき、本日午後から予定している中間報告会で発表する内容を紹介。(稻田)

- ・5 階建て建物の場合の弾性剛性、2 次剛性、降伏強度を求めた
- ・縁距離と強度についてはスタッド押し抜き実験結果からスタッド 1 本当たり 15kN を基準とした
- ・変位変形 5 階部分で特に大きくなる。対策としてスタッドボルト、小梁を増やすか。

7. 九州大学 恒温恒湿器による実験報告

[資料 1-7]に基づき、福岡教育大の恒温恒湿器による実験結果を報告。(藤本)

乾燥ラミナ（含水率 11～12%）、未乾燥ラミナ（含水率 21～20%）3 層 3 プライ CLT を使用

- ・曲げ試験

⇒未乾燥材はねばりがあるもののヤング率は小さい

- ・曲げクリープ試験 3 回（1 回目は失敗）

⇒乾燥材と未乾燥材では大きく異なる結果。

未乾燥材は各段階で変化が大きく、特に放湿過程で大きくたわみが増加

CLT の面方向の寸法変化も測定。5 層 5 プライ 2～3 ヶ月

⇒集成材に比べて 1 桁小さな収縮率、膨張率。軸方向の寸法にかなり近い

<質疑>

- ・製材、集成材との比較をした方がいいのでは
- ・3 層 3 プライだと反りがみられる。恒温恒湿器は使えないか
- ・幅はぎ有・無しの違いはあるのか

8. 全体を通して

- ・このプロジェクトの具体的目標はあるか

⇒地場ゼネコン本社ビル 来年 9 月着工を目指している

- ・林野庁他事業で制震壁も検討中。一緒に使えれば。

9. 次回開催

建材試験センター西日本試験所における試験日程とあわせ、1 月 27 日（水）山口開催で調整。

以上

平成 27 年度 林野庁委託事業
C L T 等新たな製品・技術の開発・普及事業
「木質耐火部材開発」
委員会 第 2 回 議事録 (案)

日 時：平成 28 年 1 月 27 日 (水) 13:30～16:00

会 場：(一財) 建材試験センター西日本試験所内 会議室

(〒757-0004 山口県山陽小野田市大字山川 TEL : 0836-72-1223(代))

出席予定者：(敬称略、順不同、[]は欠席予定)

委員	稻田 達夫(委員長)、[堺 純一]、倉富 洋、[鈴木 淳一]、[萩原 一郎]、 [成瀬 友宏]、[中川 貴文]、榎本 敬大、[荒木 康弘]、上川 大輔、田中 圭、 矢井 和彦、佐川 修、梶原 茂、佐々木 幸久
オブザーバー	[国交省、林野庁] MITA 建築研究所 高橋 佳久、旭化成建材 早乙女 一美 建材試験センター 中央試験所 中西、 西日本試験所 河野、徳永、山辺
事務局	塩崎 征男、村田 忠、佐々木 真理、西胤 謙吉

議 事：

- | | |
|-------------------------------|-----------------------------|
| 1. 第 1 回拡大 WG 議事録確認 | 資料 2-1 事務局 |
| 2. 福岡大学 再委託事業中間報告 | 資料 2-2-1, 2-2-2, 2-2-3 福岡大学 |
| 3. 大分大学 再委託事業中間報告 | 資料 2-3 大分大学 |
| 4. 7 月、12 月実施 上面加熱試験報告 | 資料 2-4-1, 2-4-2 建材試験センター中央 |
| 5. 1 月 25、27 日実施 載荷下面加熱試験（速報） | 当日配布資料 建材試験センター西日本 |
| 6. 1 月 28 日実施 接合部加熱試験概要 | 資料 2-5 塩崎 |
| 7. 1 月 18～29 日実施 遮音性能確認試験（速報） | 資料 2-6 塩崎 |
| 8. 3 月 3 日 成果報告会 内容と役割分担 | 資料 2-7 事務局 |
| 9. 成果報告書 内容と役割分担 | 資料 2-8 事務局 |
| 10. 来年度計画 | 資料 2-9 塩崎 |
| 11. その他 次回 WG 報告書内容確認 | |

会議資料：

- | | |
|-----------|--|
| 資料 2-1 | 第 1 回拡大WG 議事録 (案) |
| 資料 2-2-1 | 福岡大学 再委託事業報告 |
| 資料 2-2-2 | 剛床の成立の可否に関する検討 |
| 資料 2-2-3 | CLT 床歩行振動の検討 |
| 資料 2-3 | 大分大学 再委託事業報告 |
| 資料 2-4-1、 | 7 月実施 上面加熱試験結果報告 (※かごしま木づかい推進交付金事業による実施) |
| 資料 2-4-2 | 12 月実施 上面加熱試験結果報告 (性能評価試験) |
| 資料 2-5 | 1 月 28 日実施 接合部加熱試験概要 |
| 資料 2-6 | 1 月 18～29 日実施 遮音性能確認試験 (速報) |
| 資料 2-7 | 3 月 3 日 成果報告会 内容と役割分担 (案) |
| 資料 2-8 | 成果報告書 内容と役割分担 (案) |
| 資料 2-9 | 今年度取組概要と今後の課題・計画 |

議事録

1. 第1回拡大 WG 議事録確認

[資料 2-1] 第1回拡大 WG (10/31 実施) 内容確認 (西胤)

<質疑>

- ・水平炉加熱試験 試験体Aと試験体B、加熱面はいずれも同じ仕様ということでしょうか
⇒加熱面（下面）は同じ仕様で上面の違いのみ。議事録としてはこのままでOK

2. 福岡大学 再委託事業中間報告 構造

[資料 2-2-1]に基づき、①～③の試験結果報告。（倉富）

① スタッドの引き抜き耐力の検討（スタッド引き抜き実験）

- ・実験変数 鉄筋（異形 or 丸鋼）、充填剤（エポキシ or グラウト）

⇒強度 異形鉄筋 > 丸鋼、エポキシ > グラウト

特に鉄とエポキシは相当強度が出ており、上下動で外れることはない見込み

② 天井吊り材の強度確認試験（天井吊りボルト強度試験）

- ・実験変数 被覆仕様（ケイカル仕様 or ALC 仕様）、吊りボルトネジ長さ（43 mm or 73 mm）

⇒ネジを耐火被覆内で止めた場合（43 mm）はハンガーが完全に抜け出してしまう

耐火被覆内で止めるというのは上手くいかない。CLT までしっかりと止めた方がよい

③ 繰り返し荷重が作用した場合の耐火被覆材と CLT の接合性能の把握

- ・実験変数 被覆仕様（ケイカル仕様 or ALC 仕様）、ビスのピッチ（@400, @600, @900）

- ・載荷回数 2.5 mm振幅で 20 回、5.0 mm振幅で 10 回の計 30 回

⇒全体を通して大きな損傷、耐力低下なし

今回は CLT 厚 150 mm（使う可能性のある一番薄いタイプ）で実験

<質疑>

- ・引き抜き試験の破壊形状について 異形と丸鋼にこれほど違いがあるのはどうしてか

⇒木と接着剤の付着切れによる破壊。異形鉄筋の方がひずみが大きいためか。破壊時の写真を確認し少し調べてみる

- ・エルセントロの波の位置について

⇒標準的な波を設定。板厚 150 mm という一番厳しい条件で 1 G の振動に対して実施。板厚が厚くなればもう少し小さくなるので余裕を持っているつもり。

福岡大学 再委託事業中間報告 耐火 小型炉試験

[資料 2-2-2]に基づき、①～②の試験結果報告。（倉富）

① 岩綿吹付による被覆仕様の検討

⇒コストをおさえられるため実施したが CLT 表面炭化、2 時間耐火性能無し

② 吊りボルトの熱橋検証

⇒吊りボルトを CLT まで到達させても炭化・変色無し

先述の天井吊り材強度試験でボルトは CLT まで到達させた方がよいという結果が出ているため、CLT まで到達させた方がよいと言える。

<質疑>

- ・性能評価項目になつてないことについて、建築主事による確認はどこまで求められるか。水平炉での試験が必要になるのか
⇒基本的には仕様が変われば水平炉試験が必要。主事判断により確認試験で認められるケースもあると聞く。こちらサイドも課題を整理しておく必要あり

福岡大学 剛床の成立可否に関する検討

[資料 2-2-2]に基づき、検討結果を報告。(稻田)

⇒資料の値については一部検証が必要と思われる部分有り。参考値として見てほしい

福岡大学 CLT 床歩行振動の検討

[資料 2-2-3]に基づき、検討結果を報告。(稻田)

RC と勝負できるのは板厚 210 mm か、

⇒2/25-26 CLT 厚 210 mm + 被覆材で実験予定。結果は追って報告する(塩崎)

3. 大分大学 再委託事業中間報告

[資料 2-3]に基づき、予備実験結果を報告(田中)

試験体 No.1 1回繰り返し → 端抜け破壊

試験体 No.2 3回繰り返し → スタッドの破断

⇒福大で実施した一方向加力試験よりも低い値を示した。大分では在庫の都合で CLT 厚 150 mm、スタッド 70 mm で実施(福大は CLT 厚 90 mm、スタッド 70 mm で実施)。もう少し色々やってみる。

4. 7月、12月実施 上面加熱試験報告

[資料 2-4-1, 2-4-2]に基づき、建材試験センター中央試験所実施の試験結果報告。(佐川)

<質疑>

- ・P66 の写真 変色とのことだが「ヤニ」によるということはないか

⇒本件は熱による変色かヤニによるものか微妙なところであり、厳しく述べて判断したもの。

⇒次回似たようなケースがあれば金属ブラシ等でこすってみて判断してはどうか。

5. 1月 25、27 日実施 載荷下面加熱試験(速報)

[当日配布資料]に基づき、1/25 建材試験センター西日本試験所実施の試験結果を報告(矢塙)

6. 1月 28 日実施 接合部加熱試験概要

[資料 2-5]に基づき、明日実施の試験概要を紹介。(塩崎)

7. 1月 18~29 日実施 遮音性能確認試験(速報)

[資料 2-6]に基づき、遮音性能確認試験結果を報告。(塩崎)

8. 3月 3日成果報告会 内容と役割分担

[資料 2-7]に基づき、成果報告会の内容と役割分担案について提案。(佐々木真)

- ・後援団体について、昨年後援団体+日本鋼構造協会にも打診する
- ・冊子配布予定: 原稿〆切 2/22 目処

- ・ 遮音、歩行振動、施工性試験などは紹介できないか

9. 成果報告書 内容と役割分担

[資料 2-8]に基づき、成果報告書の内容と役割分担案について提案。(佐々木真)

- ・ 担当 第3章：塩崎、第4章：オーシカ、第11章：稲田

⇒今後の活用のためにも、製本版はかごしま木づかい推進交付金事業による試験も合わせて製本した方がよいのでは

10. 来年度計画

[資料 2-9]に基づき、今年度取組概要説明と今後の課題・計画を提案。(西胤)

11. その他

委員会は今回で終了(3/3 成果報告会)。

必要に応じて打合せ、今後は適宜メール等で情報やり取りする。

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 28 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