

2.1 三菱地所（株）（山佐木材（株））

1. 建築物の仕様一覧

事業名		CLT床一時間耐火の性能実証	
実施者（担当者）		三菱地所株式会社（山佐木材株式会社）	
建築物の概要	用途		賃貸住宅
	建設地		東京都豊島区
	構造・工法		CLT床＋鉄骨造
	階数		6
	高さ（m）		約17.5
	軒高（m）		約17.0
	敷地面積（㎡）		約460
	建築面積（㎡）		約280
	延べ面積（㎡）		約930
	階別面積	1階	
2階		約215	
3階		約190	
4階		約110	
5階		約110	
6階		約90	
CLTの仕様		CLT採用部位	
	CLT使用量（㎡）		約100㎡（予定）
	壁パネル	寸法	－
		ラミナ構成	－
		強度区分	－
		樹種	－
	床パネル	寸法	210mm厚
		ラミナ構成	5層7プライ
		強度区分	Mx60A相当
		樹種	スギ
	屋根パネル	寸法	－
		ラミナ構成	－
強度区分		－	
樹種		－	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		－
	木材使用量（㎡）※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		未定
仕上	主な外部仕上	屋根	アスファルト防水＋押えコン
		外壁	PC、ALC、磁器質タイル
		開口部	アルミサッシ＋二層複層ガラス
	主な内部仕上	界壁	乾式耐火間仕切り
		間仕切り壁	スタッド＋PB
		床	CLT＋浮床＋フローリング
		天井	CLT＋PB×2
構造	構造計算ルート		保有水平耐力計算（ルート3）
	接合方法		未定
	最大スパン		3.25m（予定）
	問題点・課題とその解決策		【問題点・課題】CLTへの簡易な加工、高い施工性能を有する接合方法の確立 【解決策】コスト・施工性の検証、構造計算等による検証の実施
防耐火	防火上の地域区分		防火地域
	耐火建築物等の要件		耐火建築物
	本建築物の防耐火仕様		2時間耐火
	問題点・課題とその解決策		全てのCLT床に2時間耐火仕様を採用しなくでいいように1時間耐火仕様の設定と耐火試験による検証、大臣認定を取得する
温熱	建築物省エネ法の該当有無		届け出対象
	温熱環境確保に関する課題と解決策		
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	
		外壁	
床			
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		
	建て方における課題と解決策		
	給排水・電気配線設置上の工夫		
	劣化対策		
工程	設計期間		（予定）H30.4月～H31.2月（11ヶ月）
	施工期間		（予定）H31.3月～H32.2月（12ヶ月）
	CLT躯体施工期間		（予定）H31.6月中旬～H31.8月中旬（2ヶ月）
	竣工（予定）年月日		（予定）H32.2月末
体制	発注者		三菱地所株式会社
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		株式会社三菱地所設計
	構造設計者		株式会社三菱地所設計
	施工者		未定
	CLT供給者		山佐木材株式会社（予定）
	ラミナ供給者		未定

実証事業名： CLT 床一時間耐火の性能実証

実施者／協議会運営者または担当者： 三菱地所株式会社／山佐木材株式会社

1. 実証した建築物の概要

用途		賃貸住宅		
建設地		東京都豊島区		
構造・工法		CLT 床＋鉄骨造		
階数		6		
高さ（m）		約 17.5	軒高（m）	約 17.0
敷地面積（㎡）		約 460	建築面積（㎡）	約 280
階別面積 （㎡）	1 ～ 2 階	約 215	延べ面積（㎡）	約 930
	3 階	約 190		
	4 ～ 5 階	約 110		
	6 階	約 90		
CLT 採用部位		床		
CLT 使用量（m³）		約 100 m³（予定）		
CLT を除く木材使用量（m³）		未定		
CLT の仕様	（部位）	（寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種）		
	壁	－		
	床	210mm 厚/5 層 7 プライ/Mx60A/相当/スギ		
	屋根	－		
設計期間		（予定）H30.4 月～H31.2 月（11 ヶ月）		
施工期間		（予定）H31.3 月～H32.2 月（12 ヶ月）		
CLT 躯体施工期間		（予定）H31.6 月中旬～H31.8 月中旬（2 ヶ月）		
竣工（予定）年月日		（予定）H32.2 月末		

2. 実証事業の目的と設定した課題

実証事業応募時には、CLT 床一時間耐火については大臣認定仕様がなかったため、中高層建物では二時間耐火認定仕様を全体的に使用、上層 4 層がオーバースペックとなり、それが高コスト要因の一つとなっていた。今般、追加された床一時間耐火の告示仕様はせっこうボード等を用いた乾式仕様であるため、乾式と比較して相対的に工期・コスト縮減効果が高いと考える湿式仕様の床一時間耐火について、設計・施工両面での工期・コスト縮減効果を念頭に置きながら、部材の性能実証を行う必要がある。実証の課題は以下である。

- ・ CLT 構造スラブの一時間耐火大臣認定の取得
- ・ 上面側せっこう系硬化材の一時間耐火における必要最小厚さの追究
- ・ CLT における乾式仕様の一時間耐火における必要最小厚さの追究
- ・ 二時間耐火仕様と一時間耐火仕様のコスト比較

3. 実証事業の実施体制（または協議会構成員）

（建築主）	：	三菱地所株式会社
（設計者）	：	株式会社三菱地所設計
（技術協力）	：	山佐木材株式会社
（材料）	：	山佐木材株式会社
（試験）	：	森林総合研究所（小型炉試験） 建材試験センター（予備試験、性能評価試験）

4. 課題解決の方法と実施工程

- ・耐火性能検証については、三菱地所㈱および㈱三菱地所設計が耐火仕様、試験条件を取り纏めた。
- ・耐火被覆の仕様パターンを複数設定し、森林総合研究所にて小型炉試験を実施し、性能・コストが最適なものを選定した。
- ・選定した耐火被覆仕様にて、予備試験、性能評価試験を建材試験センターにて実施した。
- ・性能評価試験結果による仕様により、一時間耐火の大臣認定を取得予定。
- ・豊島区賃貸住宅をモデルに床C L T採用によるコスト比較を行い、比較検討資料を作成する。
- ・コスト分析を行い、どの部分がコスト増の要因となっているかを明らかにする。
- ・既往の二時間耐火仕様とのコスト比較を行い、一時間耐火範囲に二時間耐火を用いた場合のコスト増を明らかにする。

・実施工程

<計画>

平成 29 年 7 月～9 月：耐火被覆仕様パターン選定

<試験>

平成 29 年 9 月～10 月：小型炉試験

11 月～12 月：予備試験

<性能確認>

平成 30 年 2 月：耐火性能評価試験

<実証事業の取り纏め>

平成 30 年 2 月

<大臣認定申請>

平成 30 年 4 月～5 月

5. 得られた実証データ等の詳細

本事業により以下の実証データを得た。

＜床 CLT の一時間耐火を満足する湿式仕様と乾式仕様＞

上面（湿式仕様）：せっこう系硬化材（SL プラスター） 厚さ 40mm

下面（乾式仕様）：強化せっこうボード 2 枚重（21mm+15mm） 厚さ 36mm



図. CLT 床耐火被覆構成図

＜床 CLT の一時間耐火仕様と二時間耐火仕様の設計概算コスト（材工含む）比較＞

比較対象とする二時間耐火仕様と設計概算コストを以下に示す。

上面：ALC $t=36$ + 強化 PB $t=15$ × 2 枚 コスト：15000 円／ m^2 程度

下面：ケイカル板 $t=15$ + 強化 PB $t=15$ × 3 枚 コスト：10000 円／ m^2 程度

トータルコスト：25000 円／ m^2 程度

本事業により得られる一時間耐火仕様と設計概算コストを以下に示す。

上面：SL プラスター 厚さ 40mm コスト：8000 円／ m^2 程度

下面：強化 PB 2 枚重（21mm+15mm） コスト：6500 円／ m^2 程度

トータルコスト：14500 円／ m^2 程度

※SL プラスターはローリー車による施工を想定

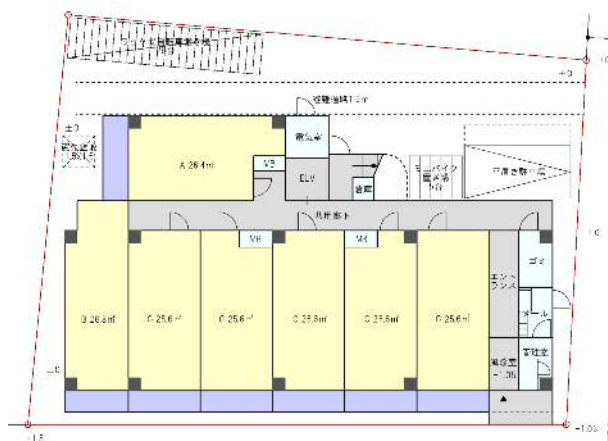
一時間耐火仕様は二時間耐火仕様に比べ 1 万円／ m^2 （約 3.3 万円／坪）程度安くすることが可能となる。また、SL プラスターはローリー車による施工であれば、250 m^2 （厚さ 40mm）／日（3 人組）と想定される。強化せっこうボード 2 枚重の場合は、2 人組みで 30～40 m^2 ／日と想定されるため、同じ施工性とするには、12 人の職人を必要とする。湿式系の耐火被覆は施工の省力化、工期縮減に寄与し、工期減による現場の維持管理費など見えないコスト削減にも繋がると考える。

6. 本実証により得られた成果

CLT床一時間耐火認定仕様の性能検証により、その性能を確保する過程を取り纏めたものを参考にし、他の事業者も汎用的に活用することができる。生産性の高い一時間耐火被覆仕様による大臣認定取得により、他の事業者が同様の仕様での設計・施工が可能となる。RC床との比較検討資料を取り纏めたものを参考にし、他の事業者が床CLTハイブリッド構造へ取り組みやすくなる。コスト分析結果によりコスト高の原因を明らかにすることで、他の事業者もコスト高原因を理解することができ、更なるコスト縮減検討に繋がり、他事業者の床CLT採用を促すなど波及的効果を期待できると考えられる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等

以下に企画図と外観パースを示す。



3. 成果物

3. 1 床 CLT の 1 時間耐火性能について

3. 1. 1 耐火試験の概要

CLT の普及のためには、CLT のヴォリュームゾーンと考えられる 1 時間耐火建築物における生産性の高い耐火認定が必要と考えられるため、図 3.1.1 に示す断面構成にて耐火試験を実施し、その性能を確認することとした。

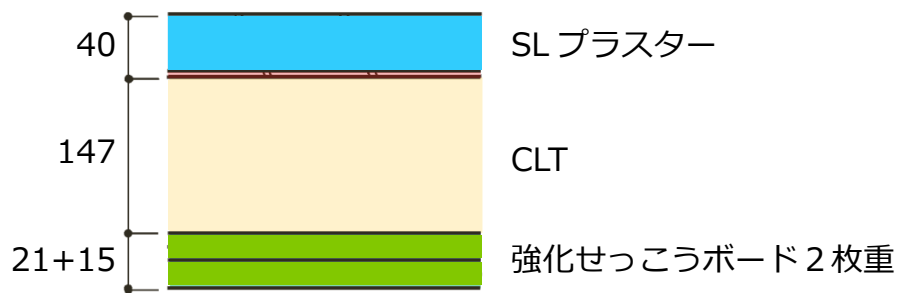


図 3.1.1 CLT 床耐火被覆構成図

3. 1. 2 試験体について

試験体図面を図 3.1.2-3 に示す。床 CLT の上面耐火被覆としてせっこう系硬化材（厚さ 40mm）、下面耐火被覆として強化せっこうボード 2 枚重ね（厚さ 21mm+15mm）について、耐火性能評価試験を実施した。

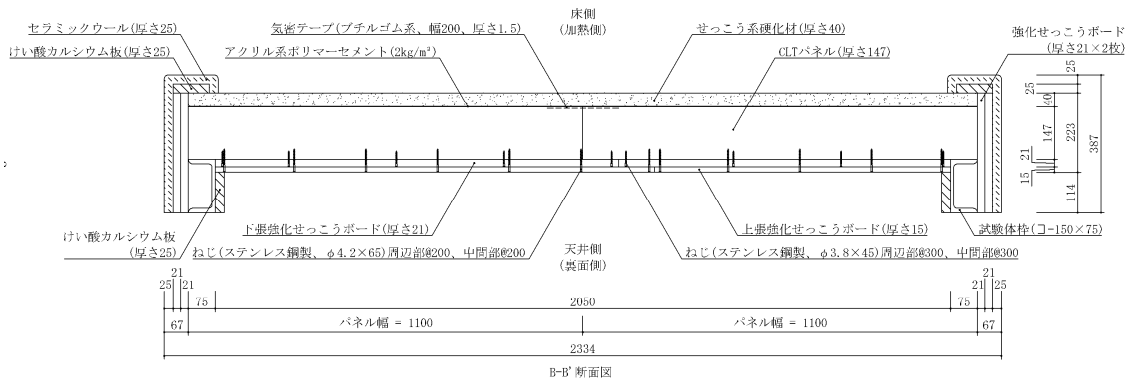


図 3.1.2 試験体断面図（上面加熱）

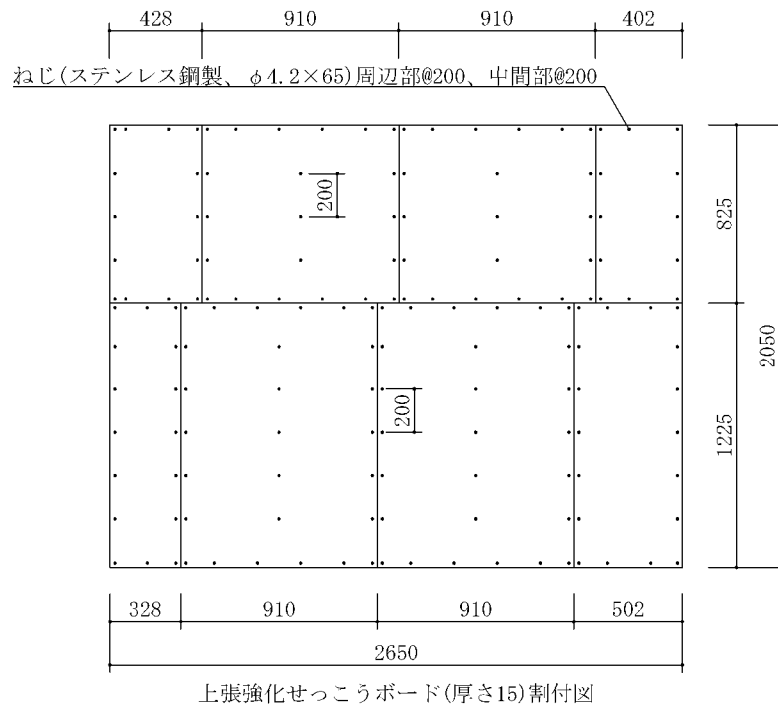
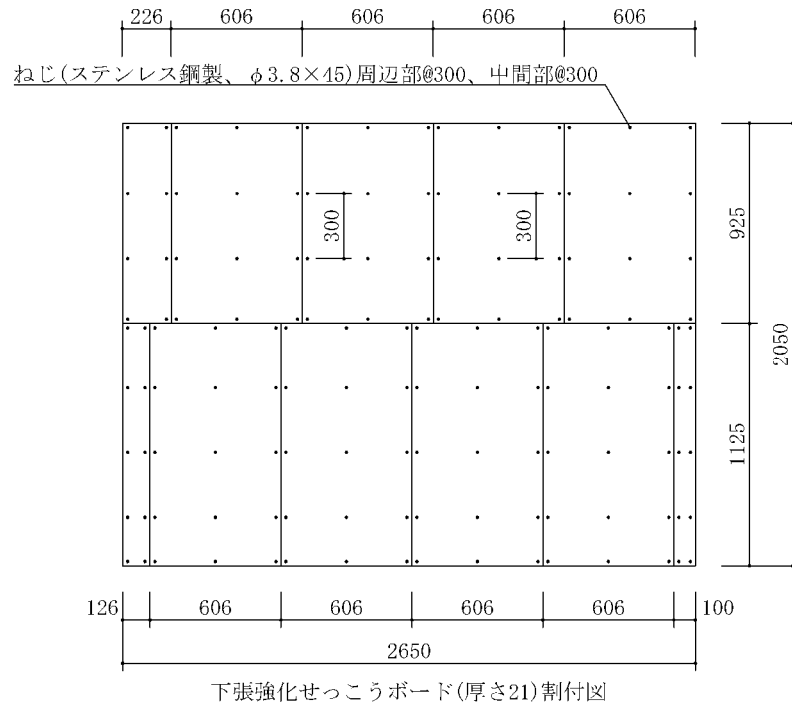


図 3.1.3 床 CLT 下面耐火被覆のボード割付図

3. 1. 3 試験方法について

(一財) 建材試験センターが定めた「防耐火性能試験・評価業務方法書」の耐火性能試験・評価方法に基づき耐火性能試験を行った。

要求耐火時間：60 分（加熱時間 60 分，試験時間 240 分以上）

内部温度測定位置：図 3.1.4 に示す。

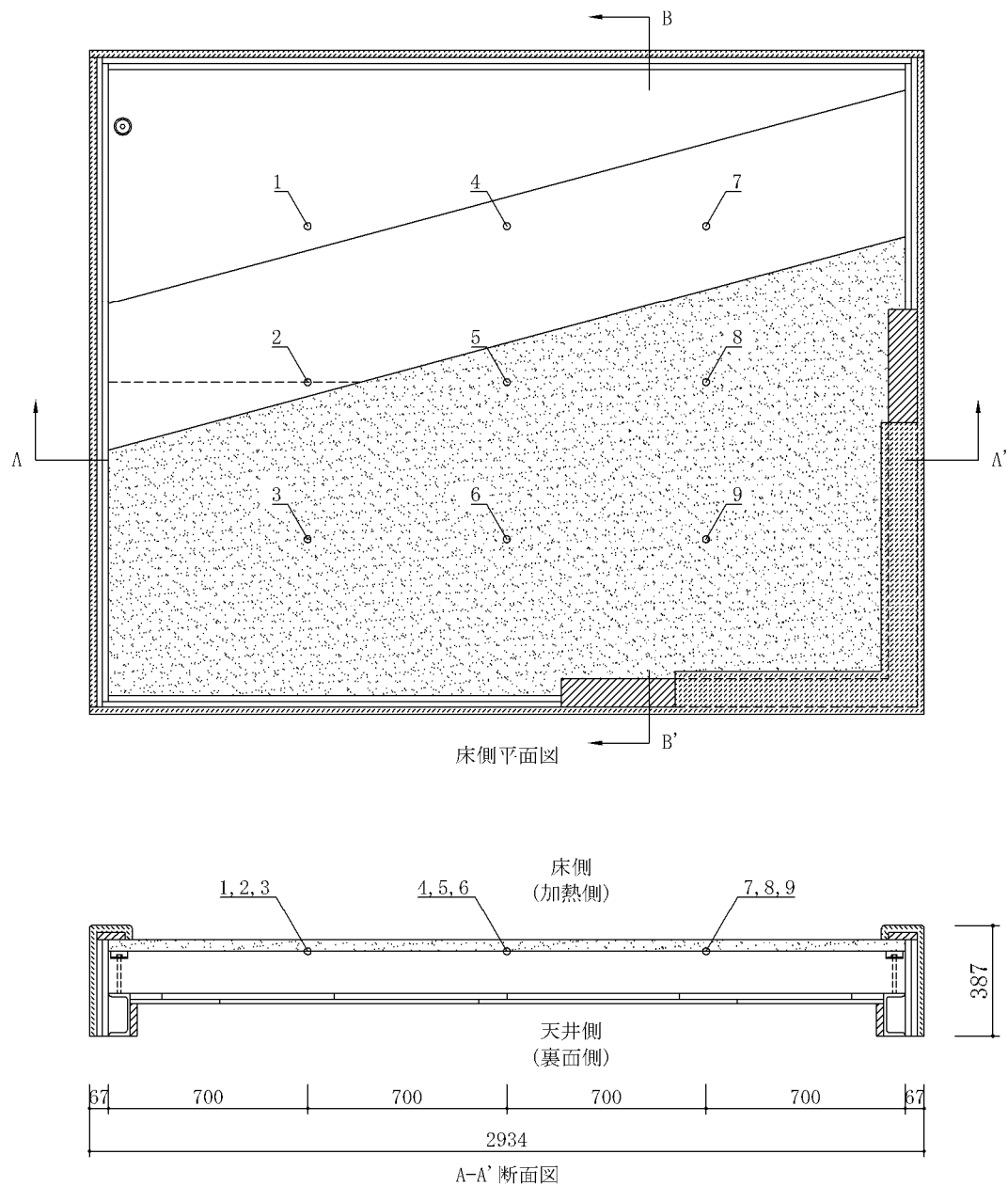


図 3.1.4 内部温度測定位置図（上面加熱）

3. 1. 4 上面せっこう系硬化材側加熱試験結果について

加熱温度測定結果を図 3.1.5 に、内部温度測定結果を図 3.1.6 に、裏面温度測定結果を図 3.1.7 に示す。

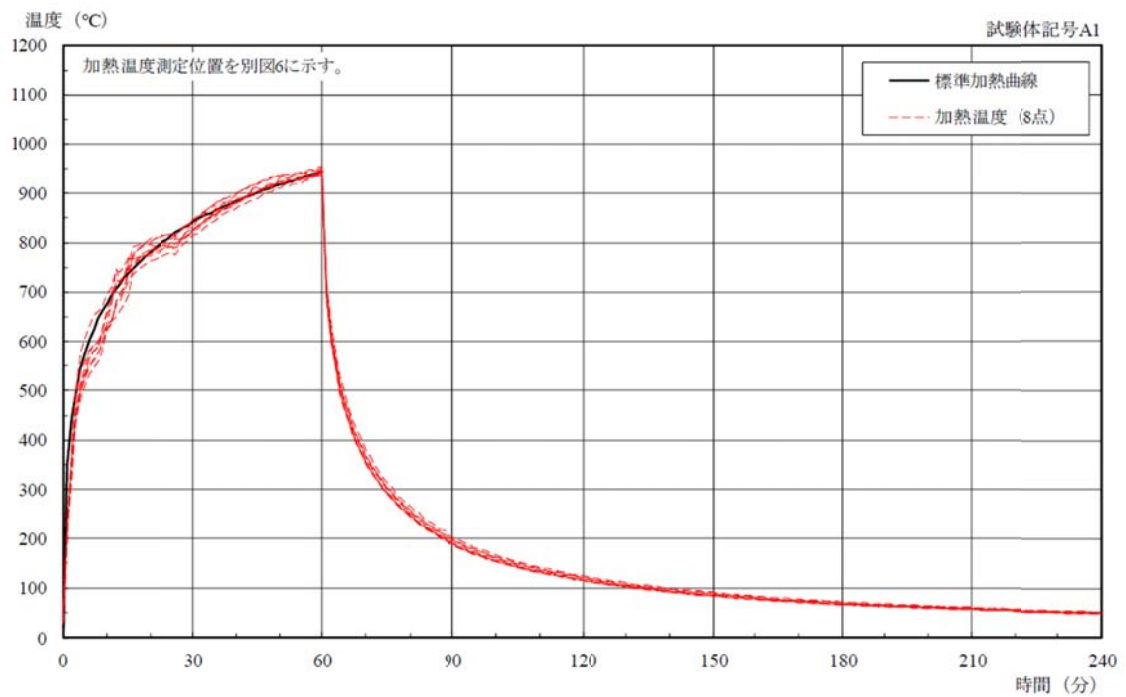


図 3.1.5 加熱温度測定位置図（上面加熱）

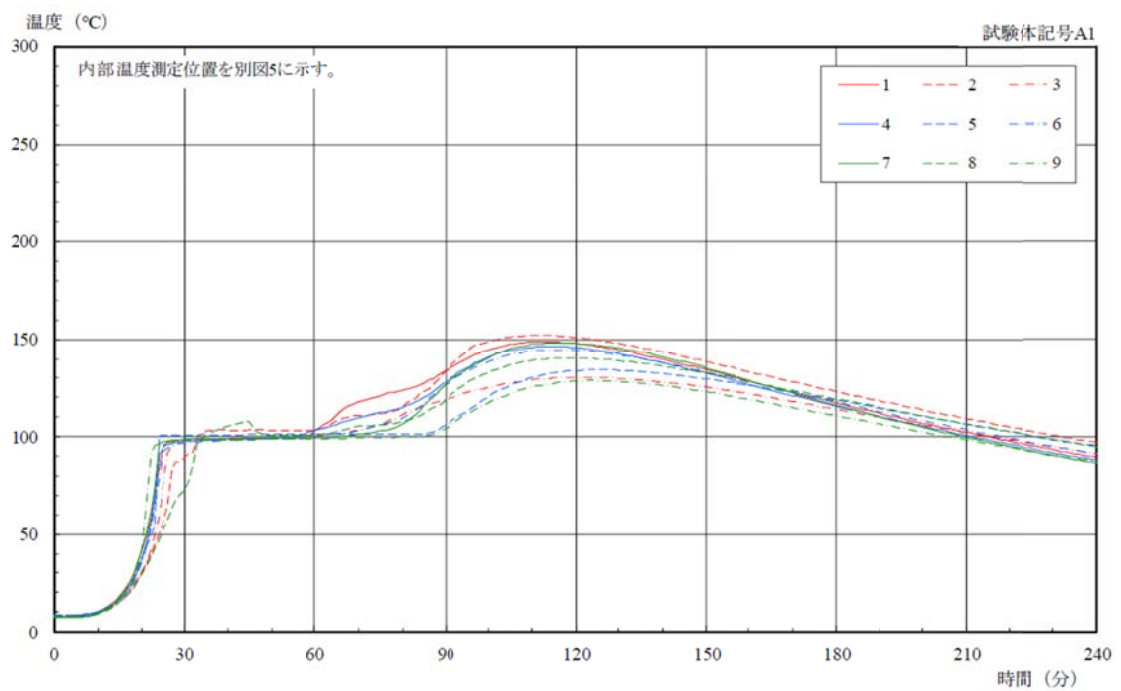


図 3.1.6 内部温度測定結果図 せっこう系硬化材-CLT 境界部（上面加熱）

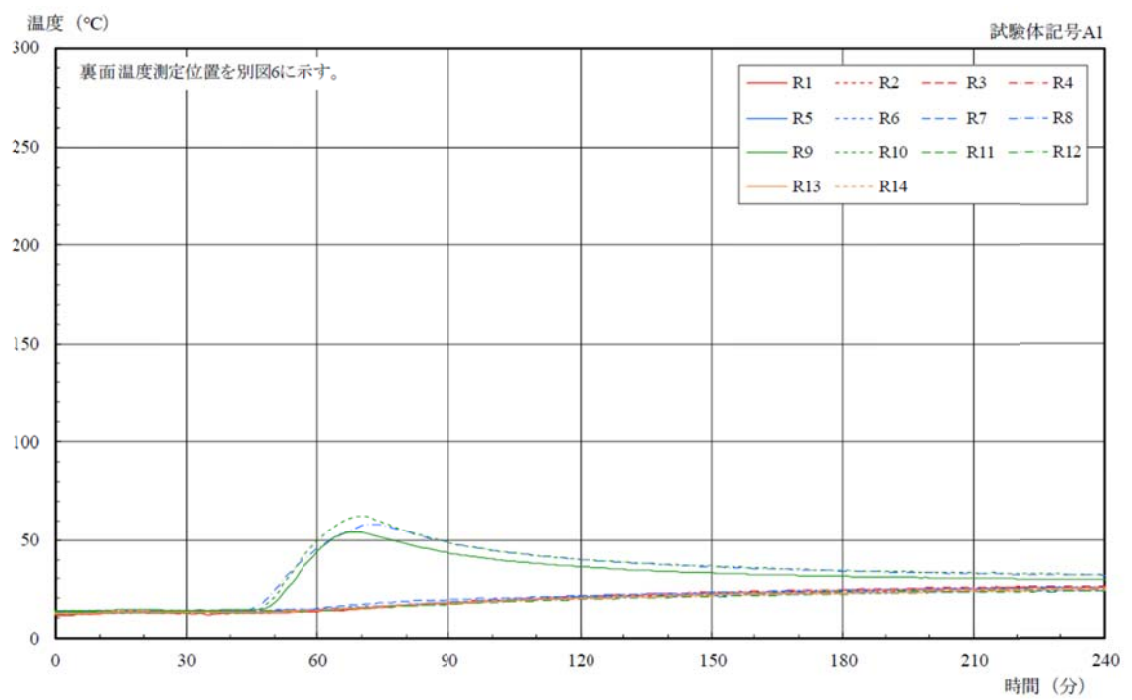


図 3.1.7 裏面温度測定結果図（上面加熱）



写真 試験後の荷重支持部の状況（上面加熱）

3. 1. 5 下面強化せっこうボード側加熱試験結果について

加熱温度測定結果を図 3.1.8 に、内部温度測定結果を図 3.1.9 に、裏面温度測定結果を図 3.1.10 に示す。

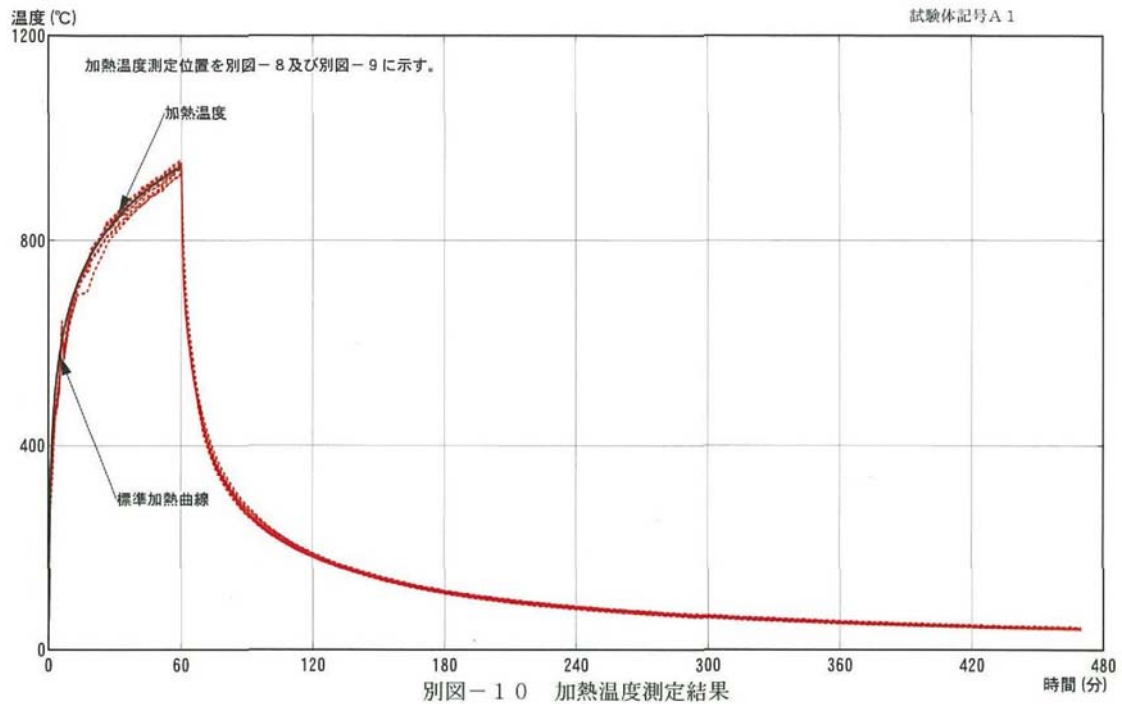


図 3.1.8 加熱温度測定位置図（下面加熱）

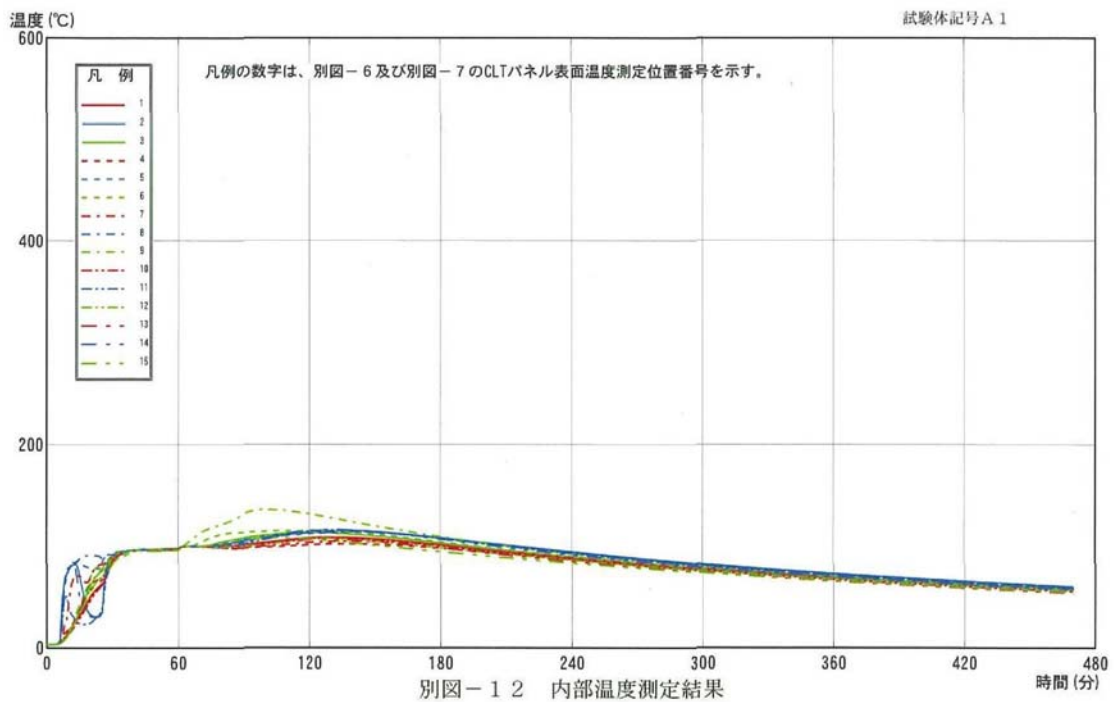


図 3.1.9 内部温度測定結果図 強化せっこうボード-CLT 境界部（下面加熱）

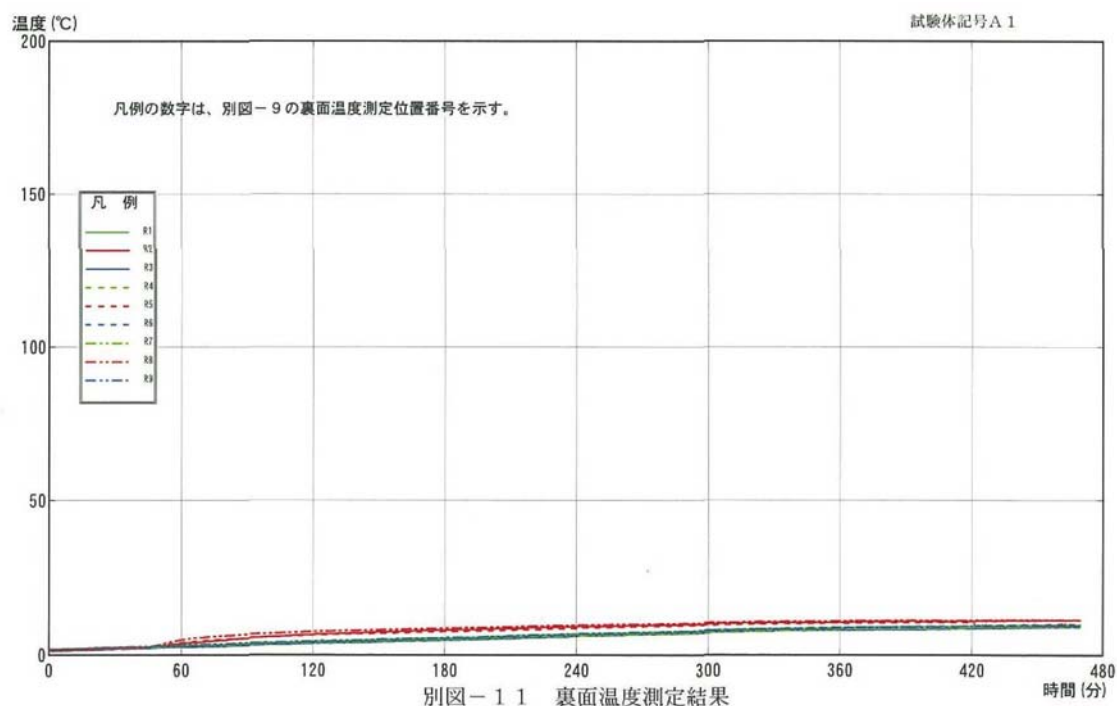


図 3.1.10 裏面温度測定結果図（下面加熱）



写真 試験後の荷重支持部の状況（下面加熱）

3. 1. 6 試験結果についての考察

上面加熱および下面加熱の CLT 加熱側表面の内部温度については、すべての試験において CLT の発火点である 260°C を十分に下回る結果であり、CLT 表面に炭化は確認されなかった。本試験結果より、本試験体の床 CLT 耐火被覆の構成は十分な 1 時間耐火性能を有していることが確認できた。

3. 2 仕様決定前の小型炉試験での事前確認試験結果について

3. 2. 1 上面せっこう系硬化材の厚さ決定プロセス

生産性の高い耐火被覆としてせっこう系硬化材に着目し、2 時間耐火仕様として 60mm の厚さが必要であることが、既往の試験結果より分かっていた。ただし、単純に半分の厚さではせっこう系硬化材が有する結合水量では足りない試算であったため、事前の小型炉試験では厚さ 35mm にて耐火試験を実施した。結果を図 3.2.1 に示す。

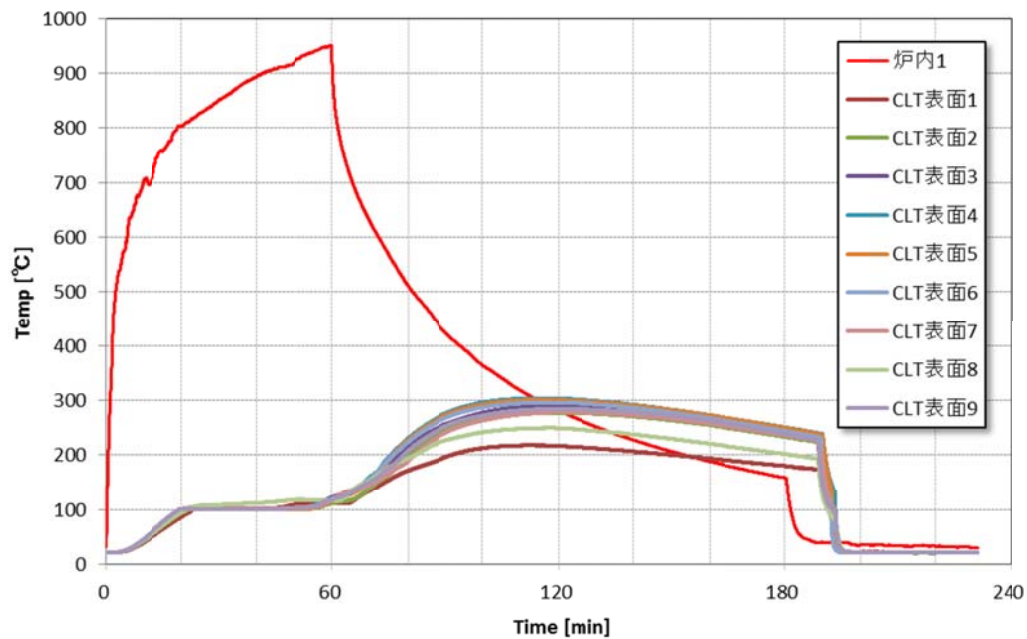


図 3.2.1 小型炉試験結果（せっこう系硬化材 $t=35\text{mm}$ ）



写真 試験後の CLT 表面



写真 試験後の炭化層除去後

CLT 表面が最大で 300℃を超えていたため、やや早めだが 2 時間放置の時点で試験終了とした。試験後のプラスター表面には、縦に一部割れ（おそらく貫通）が発生していたが、崩壊するようなものではなかった。また、プラスター自体の強度もあり、石こうボードのようにボロボロになることはなかった。

CLT 表面温度の割に炭化が思ったほどではない要因については、熱電対の一部がポリマーセメント内（厚さ最大 1mm 程度）に位置していたからではないかと考えられる。

CLT 表面は全体的にうっすらと炭化する程度であり、晩材部はほとんどブラシで削れないが、早材部は炭化深さ 1.5mm 程度であったため、判定としては不合格であった。

強化せっこうボードでも 1 時間耐火には、42mm の厚さが必要な試算結果もあり、予備試験にて 40mm と 45mm を実施し、その結果で厚さを決定する方針とした。

予備試験の結果としては、一般的な木造に比べて CLT は大きな熱容量を有するため、40mm および 45mm とともに合格であった。

以上より、本仕様である 40mm を決定している。

3. 2. 2 下面強化せっこうボード2枚重の各厚さ決定プロセス

下面側については現場での施工性を考えると現状の技術では湿式系の耐火被覆とすることは難しいため、乾式系の耐火被覆とすることが必要である。現場での施工性を高めるため、なるべく薄く（軽く）、一枚が大きいものにする必要がある。そのため、強化せっこうボードの厚さは 12.5mm か 15mm 程度に抑えたいと考えたが、既往の一般的な木造の 1 時間耐火仕様や机上計算による必要結合水量から想定すると、21mm+21mm の 2 枚重が必要と考えられたため、小型炉試験を実施した。結果を図 3.2.2 に示す。

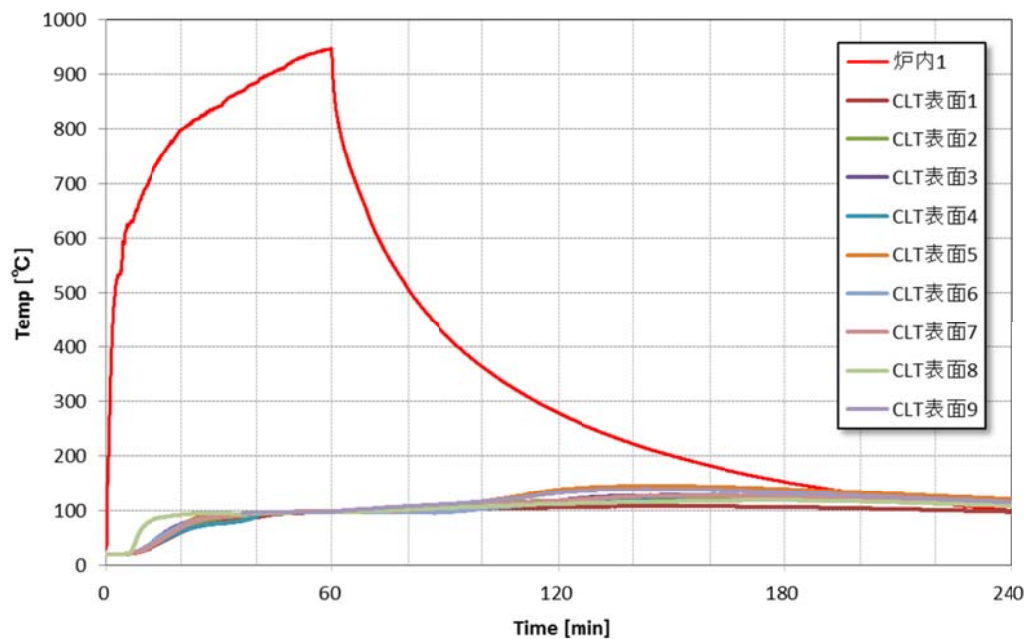


図 3.2.1 小型炉試験結果（強化せっこうボード2枚重 21mm+21mm）

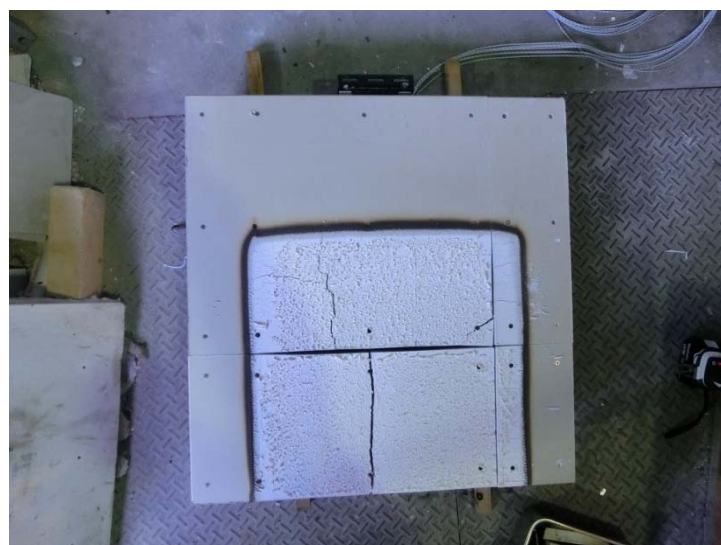


写真 試験後加熱面

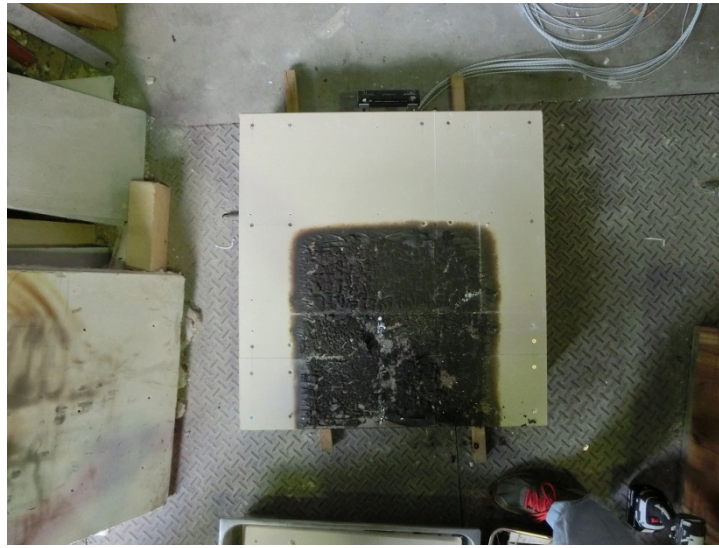


写真 試験後下張石こうボード表面



写真 試験後 CLT 表面

CLT 表面温度が最大でも 150℃弱でピークとなっていたため、やや早めだが 2 時間放置の時点で試験終了とした。試験後の上張せっこうボードの目地の開きは 10mm 程度、ただし、実大炉だともっと大きくなる可能性がある。縦目地は加熱範囲の端のほうなので特に開き無しであった。下張のボードにも割れ、目地の開きは無かった。CLT 表面は健全で炭化・変色無しで、判定は合格であった。

この後に実施した予備試験では、実大炉では目地の開きが大きくなり、目地部からの熱伝達で CLT が炭化する可能性があったが、CLT だからこそできる薄い被覆を実現するチャンスでもあったため、予備試験としては 21mm+21mm と 21mm+15mm の最薄を目指す試験を実施した。結果はどちらも合格であったため、本仕様である 21mm+15mm を決定している。

3. 3 鉄骨造+床 CLT を採用した場合の設計概算コスト検証および1時間・2時間耐火被覆の設計概算コスト検証

一般的な鉄骨造の床に CLT を採用した場合のコスト比較を行った。単純なデッキ+RC床と床 CLT の比較を以下に示す。

一般的な鉄骨造の床スラブ (RC+デッキプレート) 設計概算コスト 13500 円/㎡程度

床 CLT t=210 設計概算コスト 40000 円/㎡程度

(接合形式は超高層木研鋼構造オフィスビル床の CLT 化実証事業仕様程度を想定)

単純に上記の差をとると、床を CLT 化した際の増コストは 26500 円/㎡程度と想定できる。例えば準耐火構造までであれば延床 1000 ㎡程度の規模の建物であれば、CLT 化に伴う増コストは約 2650 万円程度と試算できると考える。坪 120 万円程度の建物であれば、CLT 化に伴う増コストは全体工事費の 5~10%程度と考えられる。

※地域条件や施工条件、構造条件によって、精査が必要となる。また、耐火構造の床と
する必要がある場合は、下記の概算コストを更に加味する必要がある。

2 時間耐火被覆仕様と 1 時間耐火被覆仕様のコスト比較について以下に示す。ここでは算出していないが、CLT を支持する鉄骨梁の耐火被覆仕様も一般的な鉄骨造の吹付ロックウールよりもコスト高になることに注意を要する。

＜床 CLT の一時間耐火仕様と二時間耐火仕様の設計概算コスト (材工含む) 比較＞

比較対象とする二時間耐火仕様と設計概算コストを以下に示す。

上面：ALC t=36 + 強化 PB t=15 × 2 枚 コスト：15000 円/㎡程度

下面：ケイカル板 t=15 + 強化 PB t=15 × 3 枚 コスト：10000 円/㎡程度

トータルコスト：25000 円/㎡程度

本事業により得られる一時間耐火仕様と設計概算コストを以下に示す。

上面：SL プラスター 厚さ 40mm コスト：8000 円/㎡程度

下面：強化 PB 2 枚重 (21mm+15mm) コスト：6500 円/㎡程度

トータルコスト：14500 円/㎡程度

※SL プラスターはローリー車による施工を想定

一時間耐火仕様は二時間耐火仕様と比べ 1 万円/㎡ (約 3.3 万円/坪) 程度安くすることが可能となる。また、SL プラスターはローリー車による施工であれば、250 ㎡ (厚さ 40mm) /日 (3 人組) と想定される。強化せっこうボード 2 枚重の場合は、2 人組みで 30~40 ㎡ /日と想定されるため、同じ施工性とするには、12 人の職人を必要とする。湿式系の耐火被覆は施工の省力化、工期縮減に寄与し、工期減による現場の維持管理費など見えないコスト削減にも繋がると考える。