

令和6年度建築基準整備促進事業

(F25)

新たな基準に対応した耐火構造の構造方法の 告示化に係る検討

2025年5月16日

株式会社竹中工務店
株式会社ドット・コーポレーション
共同研究：国立研究開発法人建築研究所

事業の目的

目的

令和6年4月施行の法改正により、延焼を遮断する高い性能の壁、防火設備等で防火上分棟的に区画された建築物の二以上の部分を防火規定の適用上別棟として扱うことで中大規模建築物における部分的な木造化等を可能にする合理化が行われた。当該区画に用いる部材について、他の区画への延焼を防止するため、長時間の遮熱性等を有する耐火構造の壁等が求められるものの、90分の遮熱性能を有する耐火構造の仕様は限定的であり、また90分を超える長時間の遮熱性能を有する耐火構造の告示仕様は整備されていない。

また、建築物への木材利用促進の観点から、中高層木造耐火建築物の設計を一般化するため、特に木造を中心に120分以上の長時間の性能を有する耐火構造の仕様を充実化する必要がある。

⇒本事業では、長時間の非損傷性又は遮熱性等を有する耐火構造の仕様の特定のための検討・実験等を行う。

実施体制

検討委員会

委員長
委員

河野守	東京理科大学
平島岳夫	千葉大学大学院
豊田康二	(一財) 日本建築総合試験所
金城 仁	(一財) ベターリビング
平沼宏之	(一財) 建材試験センター
安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
鍵屋浩司	東北工業大学
水島靖典	神戸大学大学院
成瀬友宏	建築研究所
鈴木淳一	建築研究所
野秋政希	建築研究所
水上点晴	建築研究所
協力委員	国土交通省国土技術政策総合研究所
オブザーバー	桜設計集団一級建築士事務所
行政	国土交通省 住宅局
	国土交通省 住宅局

タスクフォース (TF)

メンバー

成瀬友宏	建築研究所
鈴木淳一	建築研究所
水島靖典	神戸大学大学院

事務局

竹中工務店 小林道和、西村俊彦
 ドット・コーポレーション 山崎渉、平野陽子、中村亜弥子、佐々木留美

実施概要

令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

実施概要

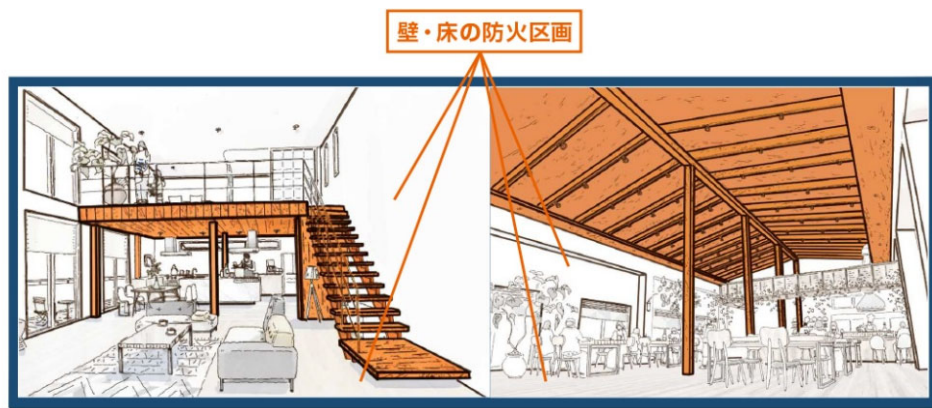
令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

検討の目的と方法

令和6年4月施行の改正建築基準法において「防火規制の合理化」があり、大規模建築物において防火区画を活用することで部分的な木造化が可能となった。また改正法令が想定する対象事例として具体的に集合住宅が挙げられ、高い耐火性能の壁・床で区画された住戸等内に木造化された中間床等を設けることができるようになっている。中間床等の木造化の場合、火災時の部材自体の燃焼、炭化による荷重支持能力の喪失と倒壊に対して安全性を確保しなければならず、こういった火災状態を設計対象として想定する必要がある。しかし、建築物内の構造体の一部が火災により損傷・倒壊するといった構造・防耐火の設計は一般化されていない。

- 本事業において、昨年度（R5年度）は、特定区画内で中間床等が火災により落下した際の安全性を評価するための項目の整理、評価手法の試案の作成を行い、評価手法試案に基づいた試設計と、梁・床スラブの応力と変形、損傷レベルを解析的に検討した。



複数階にまたがる住戸（メゾネット）内の
中間床や壁・柱等の木造化

最上階の屋根や柱・はり等の木造化

※損傷許容主要構造部：

防火上および避難上支障のない部分で火災時に損傷・倒壊が許容される主要構造部

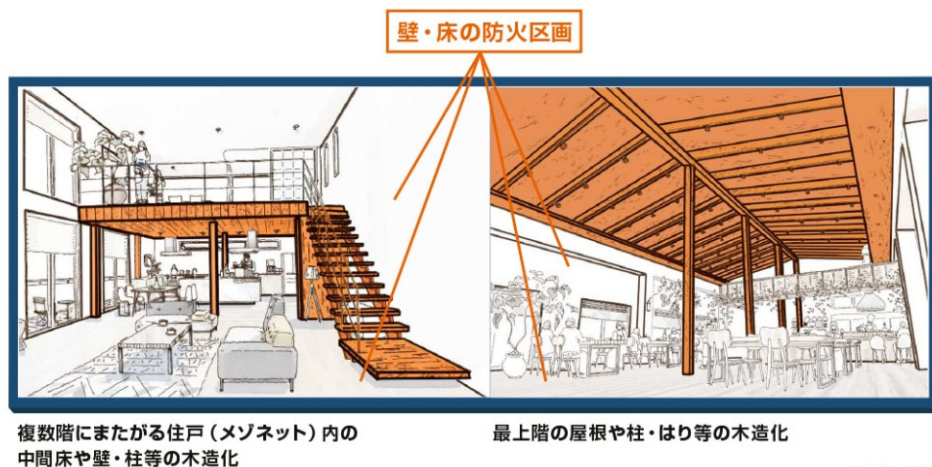
※特定区画：

防火上および避難上支障がない部分で通常の火災が発生した場合に、建築物の他の部分又は周囲への延焼を有効に防止できる性能を有する区画

検討の目的と方法

- 昨年度の検討より、建物ごとにFEM解析を行うことは現実的ではなく、**簡易な周辺架構の応答予測手法の開発**が望まれる。また、**短期許容応力度設計を行った部材も、動的に衝撃荷重が作用した際の損傷**については検討できておらず、衝撃荷重作用下での挙動を確認する必要がある。そこで今年度（R6年度）は、以下の検討を行った。

- 質点系モデルによる周辺架構の応答予測手法について検討
- 試設計(R5)された部材の衝撃荷重下における挙動をFEM解析によって確認



※損傷許容主要構造部：

防火上および避難上支障のない部分で火災時に損傷・倒壊が許容される主要構造部

※特定区画：

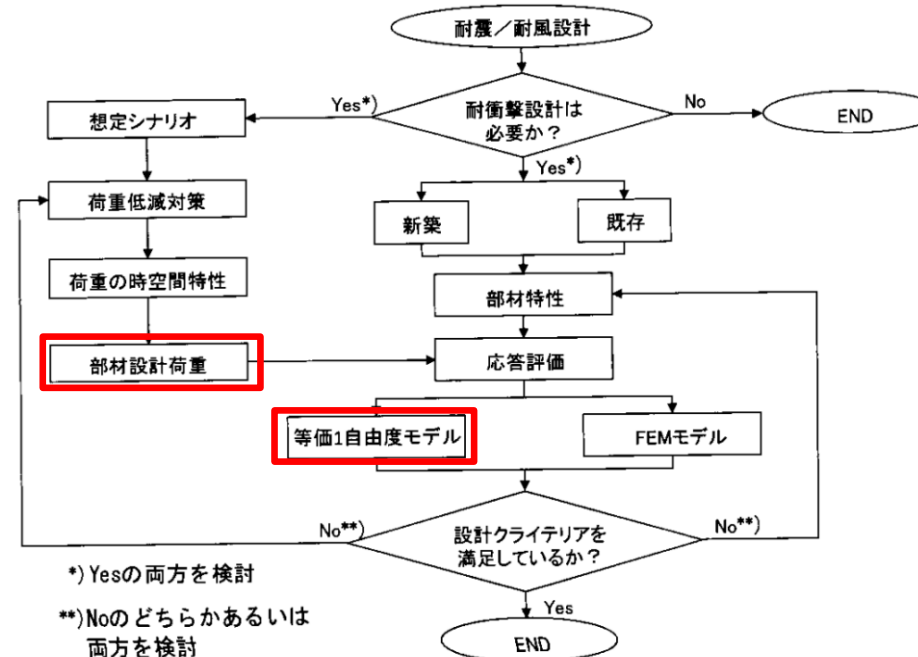
防火上および避難上支障がない部分で通常の火災が発生した場合に、建築物の他の部分又は周囲への延焼を有効に防止できる性能を有する区画

(1) 等価質点系モデルによる解析的検討（一質点系）

○検討の進め方

個別の建物で、三次元ソリッド要素を用いたFEM解析を用いて設計を行うことは、モデル作成を含んだ解析時間の観点から現実的ではない。そこで、**簡易に周辺架構の応答を求める手法として質点系モデルによる検討方法**を提案する。本検討では昨年度（R5年度）のFEM解析結果を用い質点系モデルによる応答予測手法の精度について検討を行う。

⇒日本建築学会刊行の「建築物の耐衝撃設計の考え方」に沿って周辺架構の安全性を評価する手法を検討する。



○モデル化

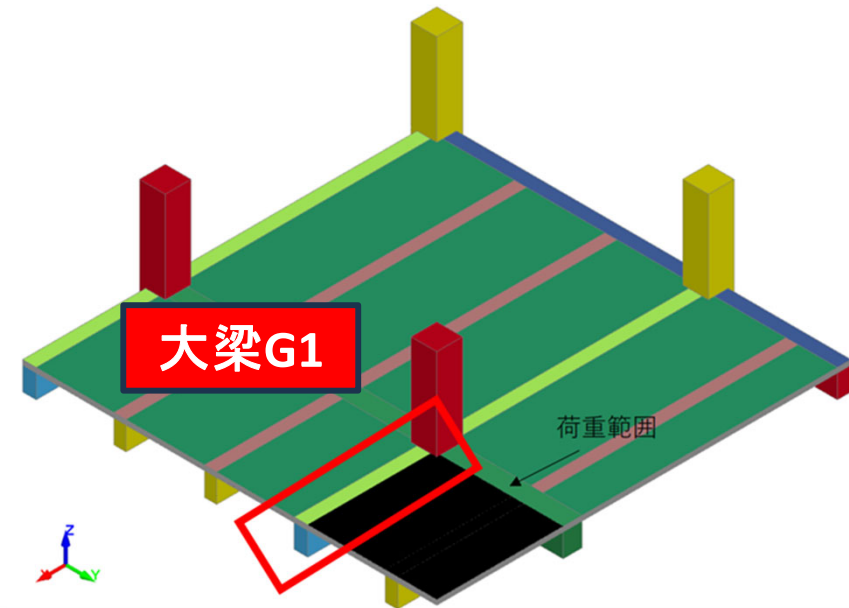
FEMモデル（1：1グリッドの建物）の大梁G1を、耐衝撃設計の考え方に示される置換方法に基づき、質点系モデルへ置換した。

＜復元力特性の設定＞

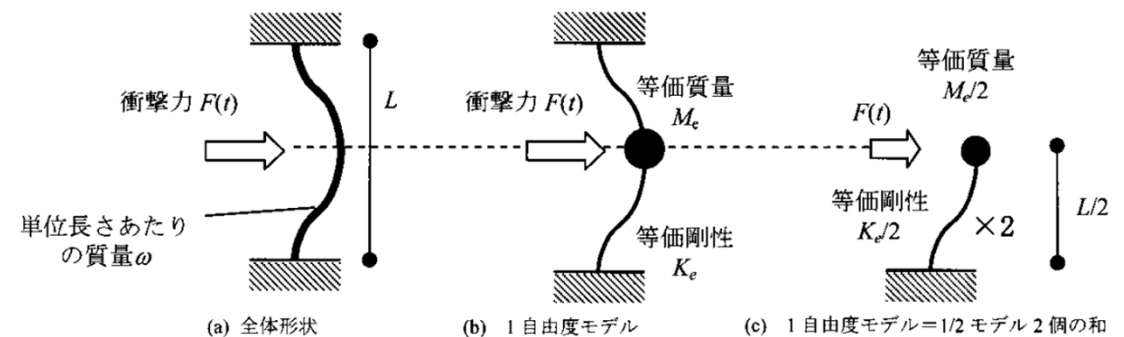
- RC規準に基づいてT形合成梁の効果を考慮して、剛性増大率、耐力増大率を設定する。
- 鉄筋に対して、ひずみ速度依存性を考慮した降伏応力の割り増しを行う（本検討では1.2倍を設定）。

＜荷重の設定＞

FEM解析によって得られた梁端部せん断力時刻歴を使用する。



※1／4モデル

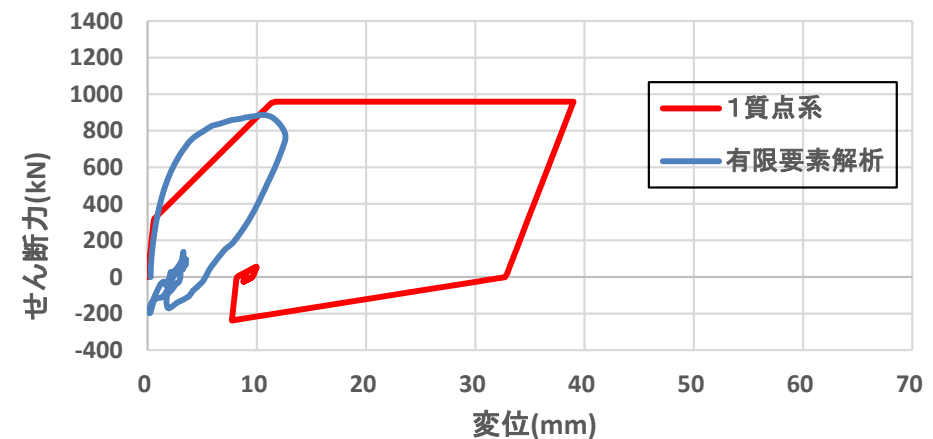
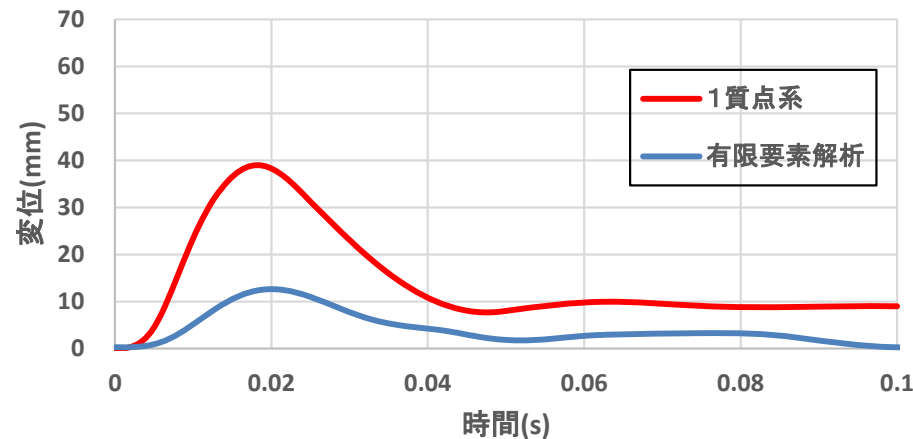


部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に関する解析的検討

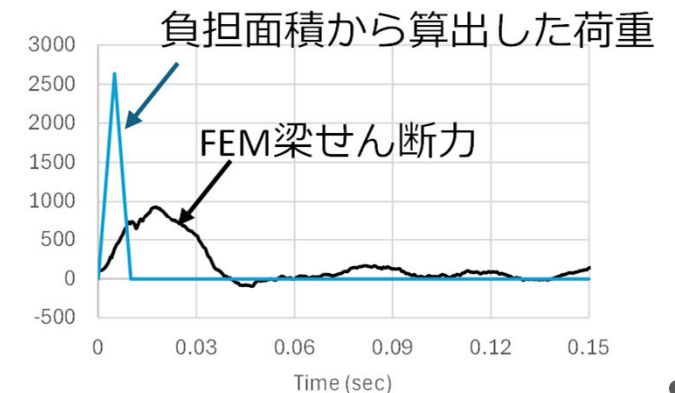
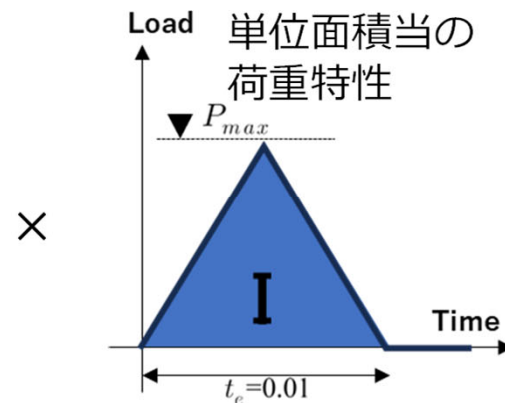
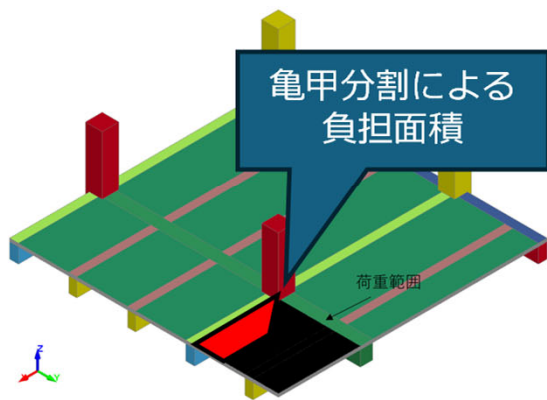
○荷重の設定について

荷重の設定は、以下の検討を踏まえ、FEM解析によって得られた**梁端部せん断力時刻歴**を採用することとした。

- FEM解析で用いた継続時間0.01秒の三角形パルスを直接入力した場合、応答の過大評価につながる



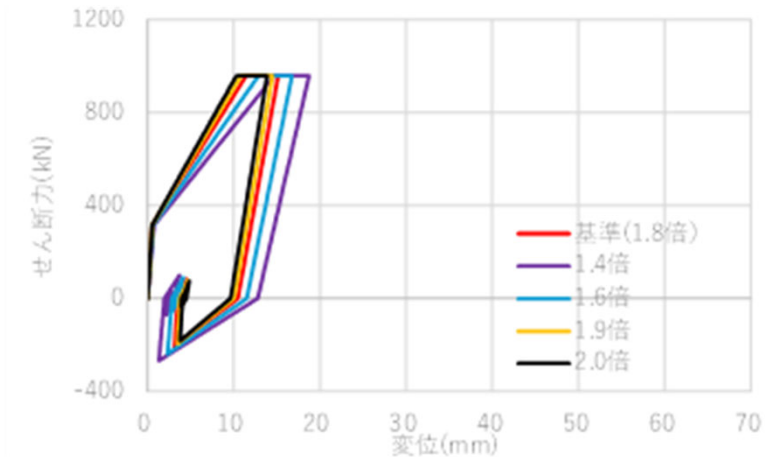
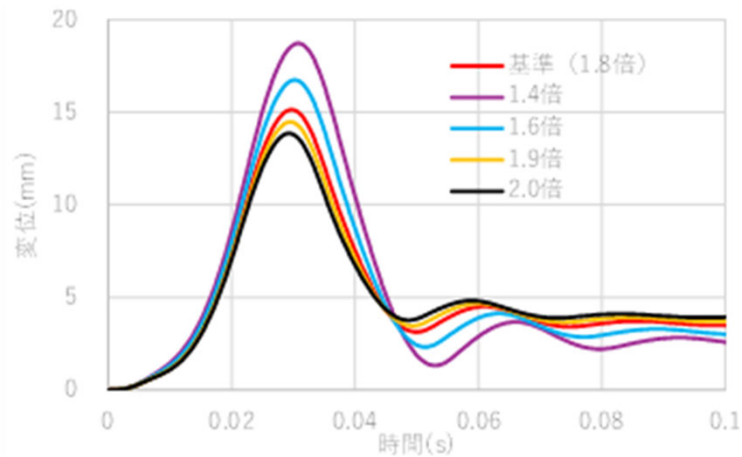
- FEM解析の梁端部せん断力は**継続時間が0.04秒程度**となっている。負担面積から算出した荷重とFEMせん断力では、力積はおよそ等しくなっている。



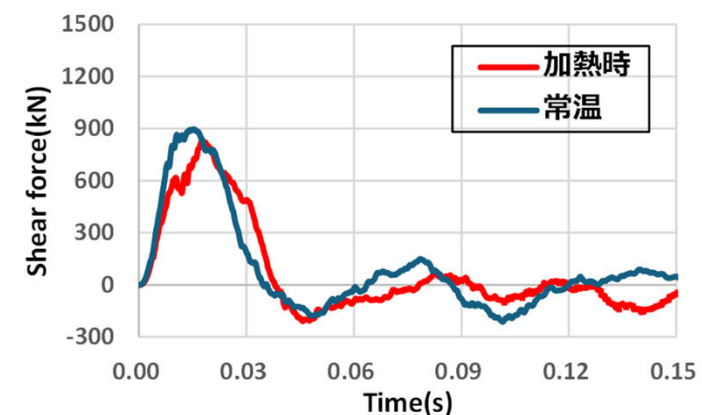
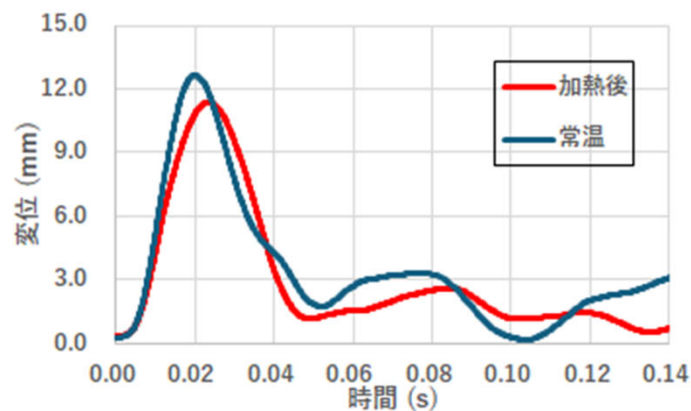
部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に関する解析的検討

○解析結果（一質点系・FEM解析による温度影響の考察）

- スラブによる剛性増大率をパラメータとしたパラメトリックスタディを行ったが、梁の応答へ極端な影響はない



- FEM解析では温度影響の有無で大梁変位はほとんど変化しない。剛性が低下する一方で梁せん断力もわずかに低下していることが原因と推察される。

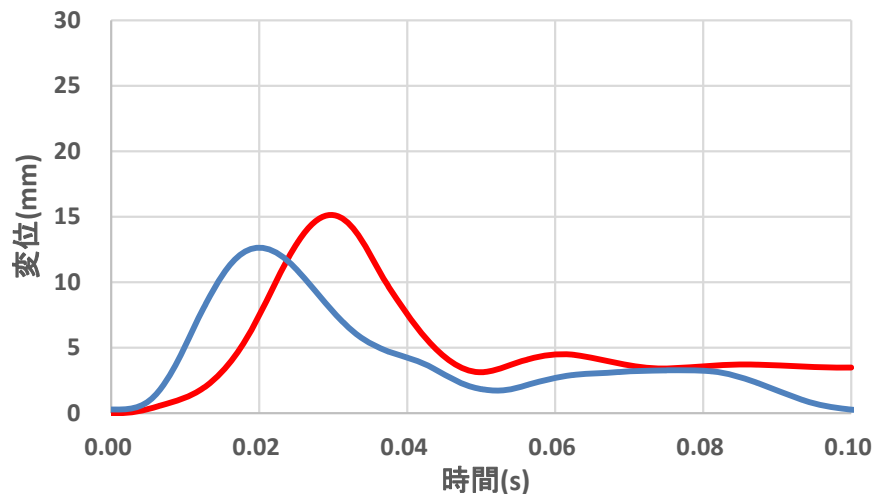


○解析結果（一質点系、常温時）

- 一質点系モデルによって、梁の変形をやや安全側に評価することができる。
- T形合成梁の効果、鉄筋ひずみ速度依存性を考慮することでFEMで得られた梁中央変位－梁端せん断力と同様の荷重－変形関係を示す。

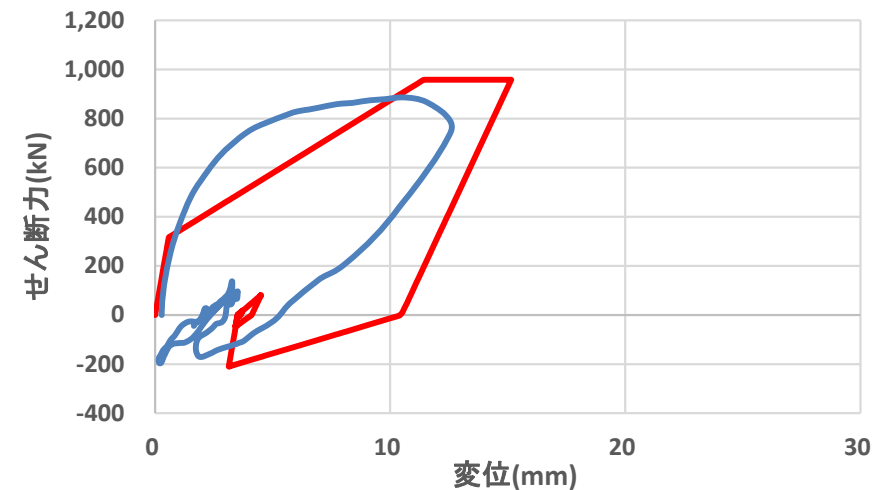
$I = 2.4 \times 10^{-3} \text{ t} \cdot \text{s/mm}^3$ で比較

※ 床の質量 × 着床時落下速度



— 1質点系 — 有限要素解析

時刻歴変位



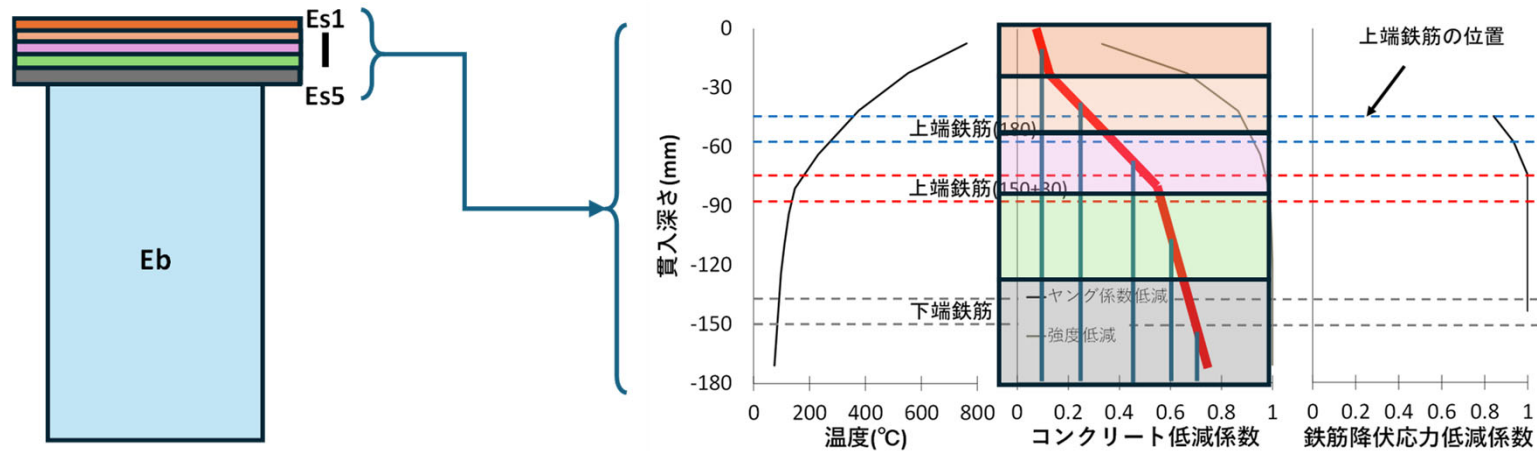
— 1質点系 — 有限要素解析

荷重－変形関係

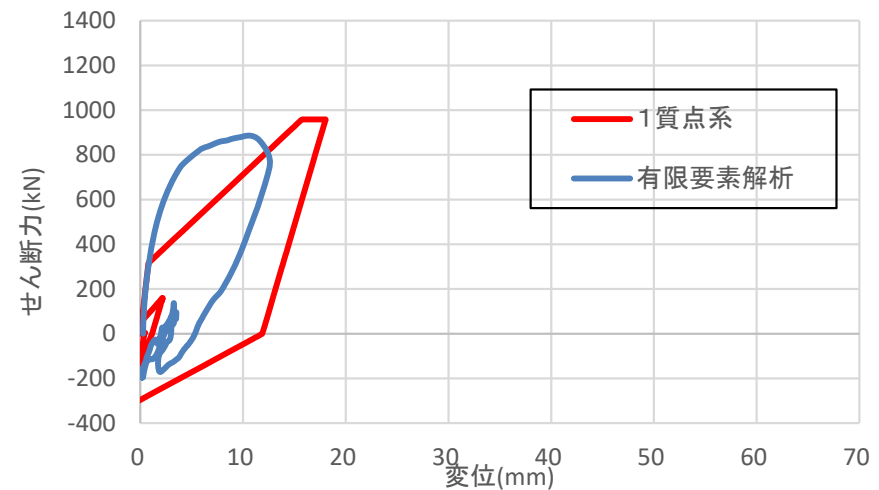
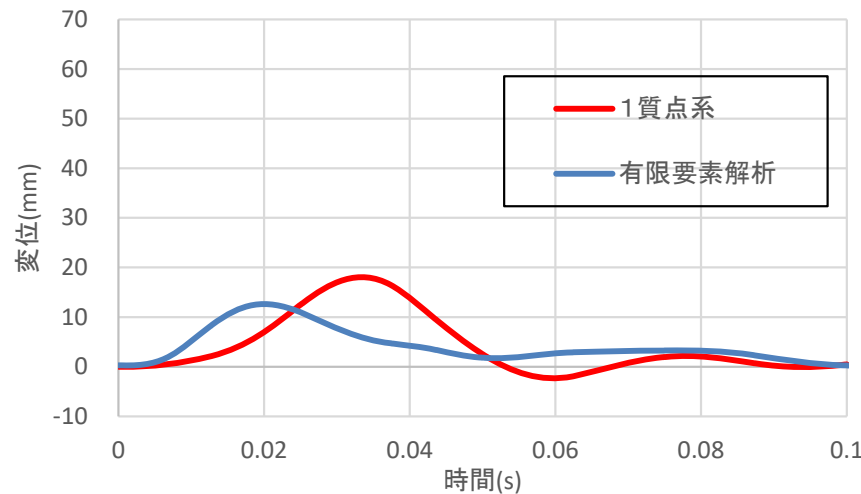
部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に関する解析的検討

○解析結果（一質点系、温度影響を考慮）

温度影響については、FEMと同様にスラブ部分のヤング係数低減を考慮する。



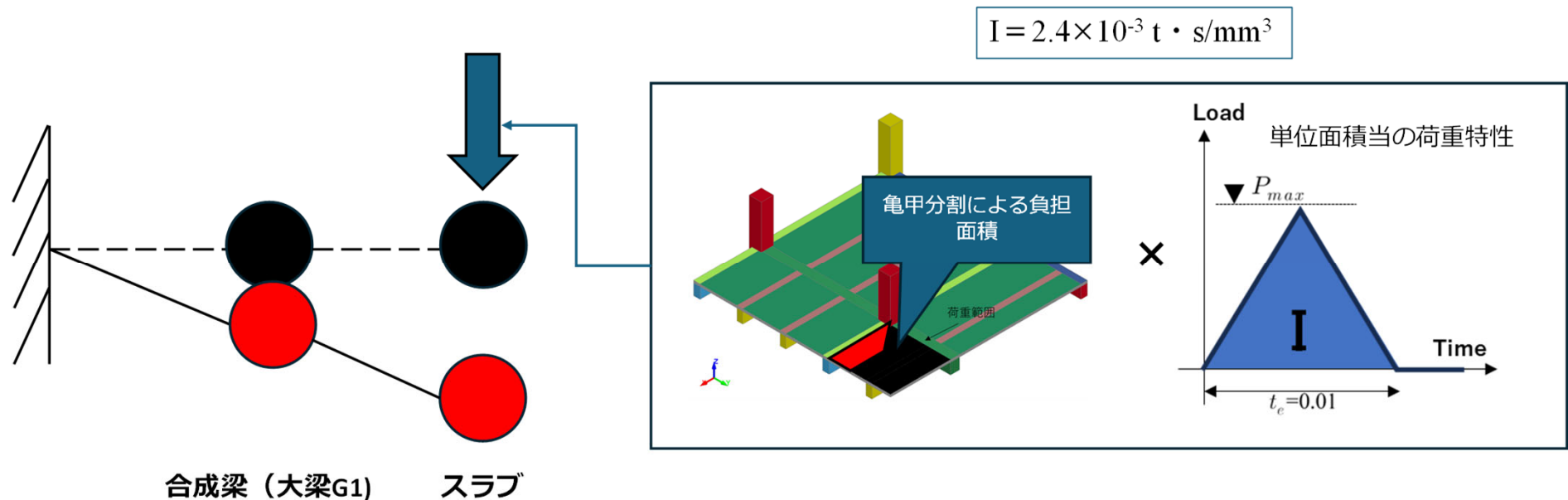
⇒ 温度影響を考慮することで変位が1.2倍に増大



(2) 等価質点系モデルによる解析的検討 (二質点系)

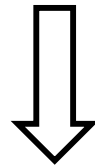
○検討方針

一質点系モデルによる検討結果より、スラブから周辺架構である梁に伝達される荷重の特性によって大きく応答が異なることが分かった。そこで、スラブからの伝達荷重を合理的に評価するために、**スラブを模擬した質点を加えた二質点系モデル**による周辺架構の応答評価方法を提案する。



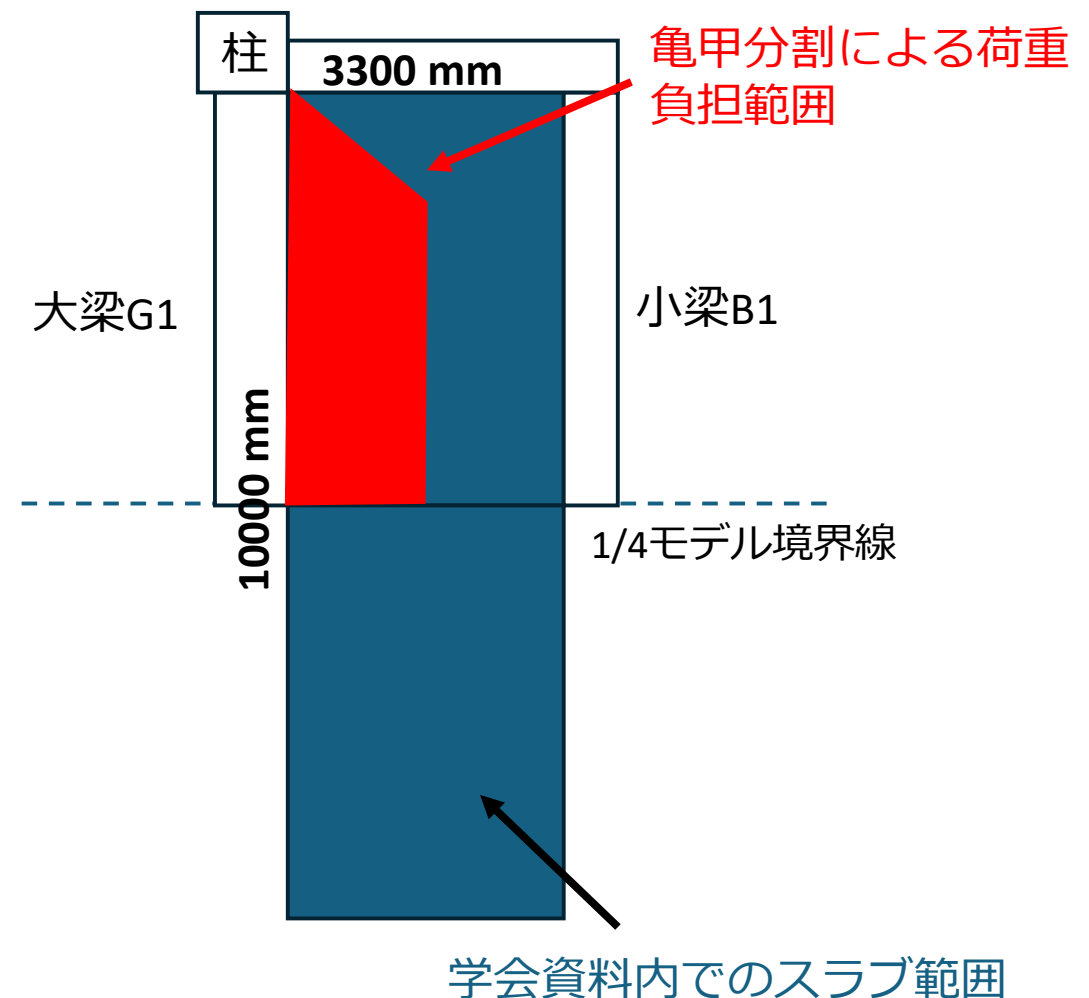
○スラブ質点の特性の設定

- 建築学会「耐衝撃設計の考え方」に基づき、スラブの等価剛性、等価質量および復元力特性の設定を行う。
- 検討対象大梁の負担面積、検討対象架構の対称性を考慮して設定する。



「耐衝撃設計の考え方」に示される、各特性値に亀甲分割による荷重負担範囲の面積比率をかけることでモデル化を行う。

$$5.64 \text{ m}^2 / 26.7 \text{ m}^2 = \underline{\underline{0.211\text{倍}}}$$



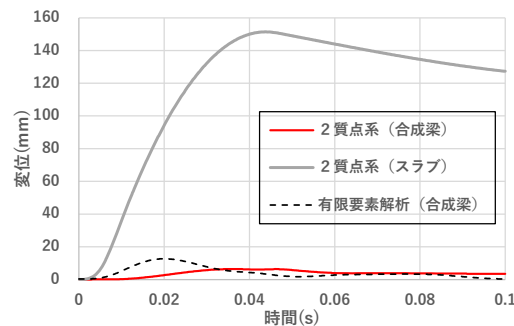
部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に関する解析的検討

○解析結果（二質点系、常温時） — 圧縮膜力の考慮

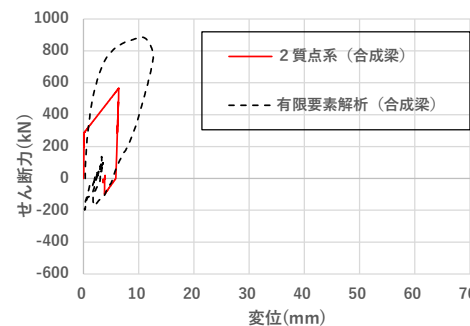
- 建築学会「耐衝撃設計の考え方」に示される①Johansenの定式化、②修正Park法、の2つの方法によりそれぞれ復元力特性を設定したモデルから、変位時刻歴、荷重変形関係、スラブせん断力時刻歴の結果を得た。

⇒①Johansenの定式化を用いたモデルでは、検討対象の大梁の応答変位を過小評価しているが、圧縮膜力の効果を考慮した②修正Park法による二質点系モデルでは、周辺架構の応答を安全側に評価できると考えられる

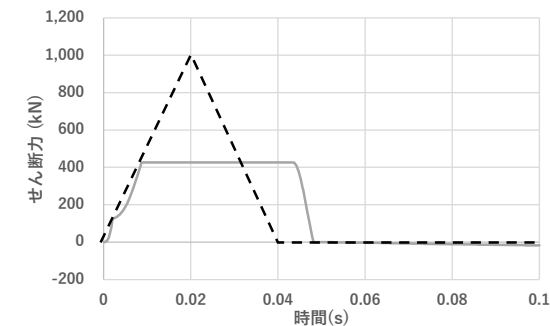
$$I = 2.4 \times 10^{-3} \text{ t} \cdot \text{s/mm}^3$$



変位時刻歴

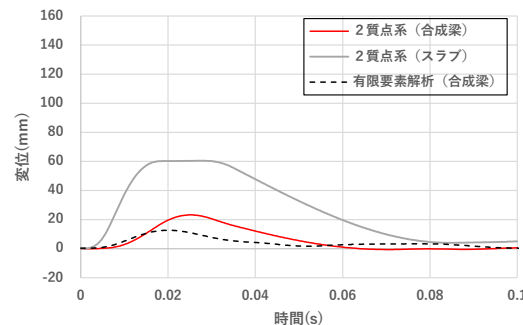


荷重変形関係

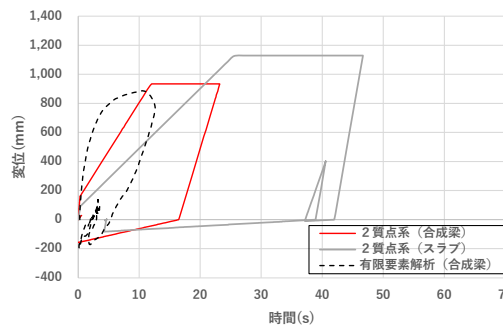


スラブせん断力時刻歴

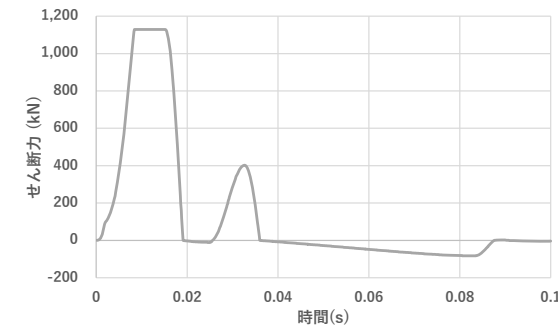
①Johansenの定式化



変位時刻歴



荷重変形関係



スラブせん断力時刻歴

②修正Park法

(3) 衝撃要求耐カスペクトルによる検討

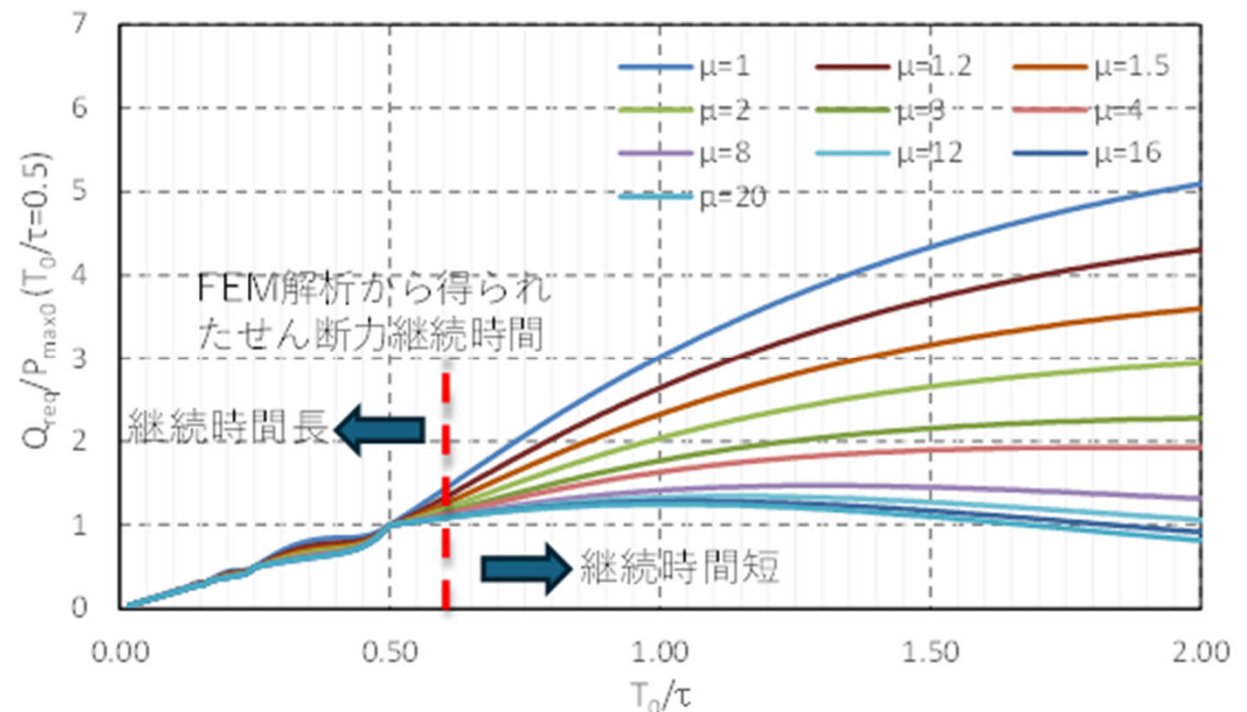
○検討内容

佐々木らはバイリニア特性を持つ非線形一質点系モデルに衝撃荷重が作用する状況を想定して、横軸に対象モデルの弾性固有周期、縦軸に要求耐カをプロットした衝撃要求耐カスペクトルを提案した。この衝撃要求耐カスペクトルの考え方を元に、以下の検討を行った。

- 一質点系モデルの解析結果と衝撃要求耐カスペクトルとの関係を確認
- 架構に作用する力積、構造物固有周期、スラブの最大荷重算定値から衝撃耐カスペクトルを用いた、最大塑性率の予測

⇒ 力積一定で継続時間が変動したときの様子について、梁の固有周期は一定 ($T=T_0$) とし、 $T_0/\tau=0.5$ の時の最大荷重を $P_{\max 0}$ として一定としたときに要求される耐カをプロットした図(右)を作成した。

これにより、固有周期、力積一定として継続時間が変動したときの要求耐カの大小を相対比較することが可能となる。

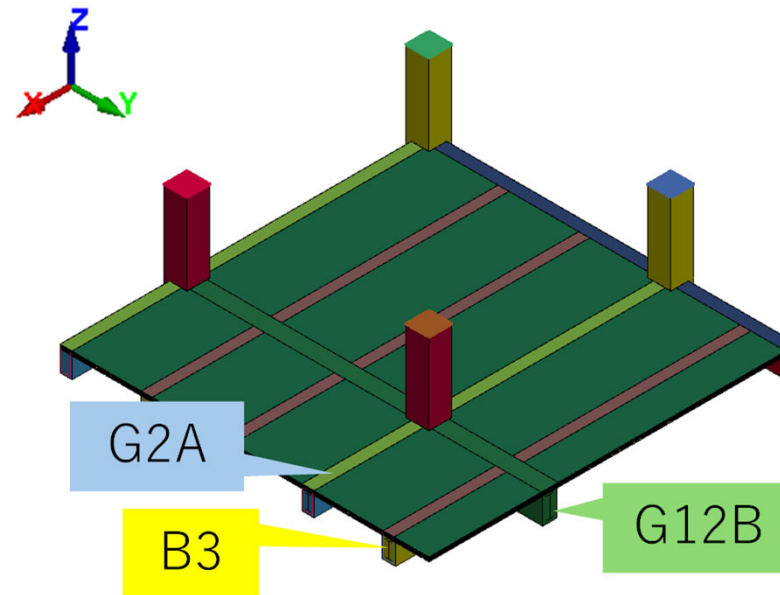


(4) 静的荷重倍率によって設計された架構の解析的検討

○検討の目的

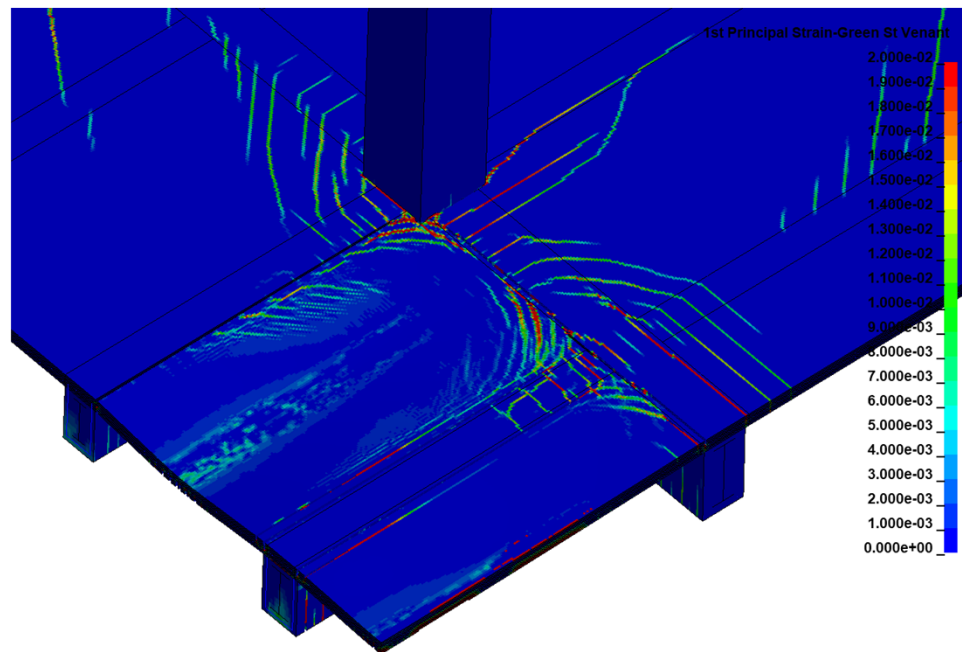
昨年度（R5年度）、FEM解析によって、衝撃荷重が作用した際に部材に生じるせん断力の最大値を基に短期許容応力度設計を行った部材断面を示した。一方で、この設計された架構に衝撃荷重が作用した際の挙動については確認されていない。そこで、昨年度対象とした**架構のうち1：1グリッド建物で30倍の応答倍率を用いて設計された架構を対象にしてFEM解析を行った**。なお、昨年度のFEMモデルはRC造としていたが、上記設計時に梁せいを抑えるためSRC造とした。

⇒以下に示すX方向大梁G2A、Y方向大梁G12B、小梁B3をRC→SRCに修正した解析モデルを用い、**力積 $3.3 \times 10^{-3} \text{ t} \cdot \text{s/mm}^3$ のケース**のみ解析を行った。

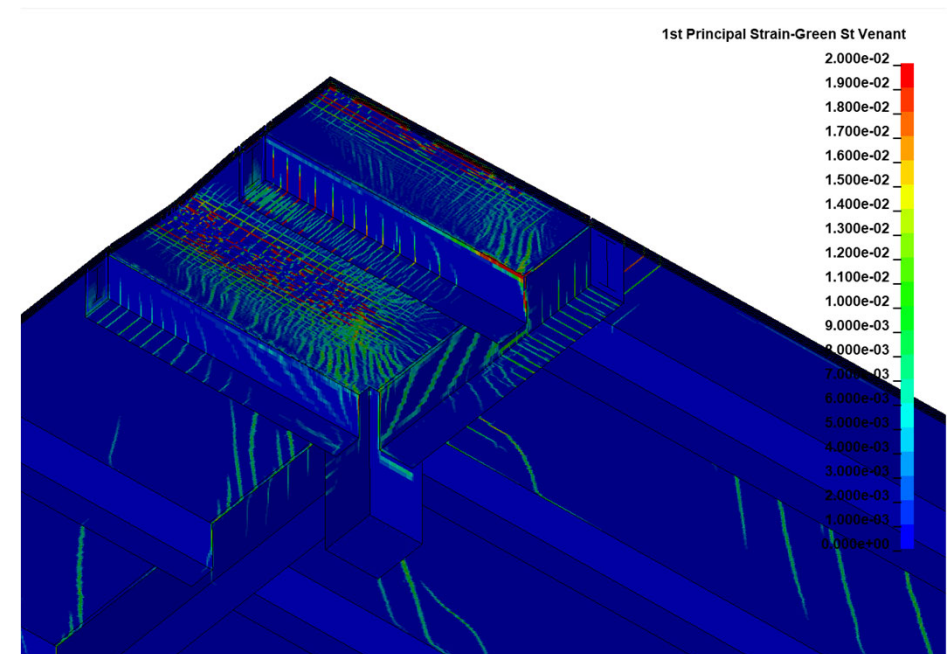


○解析結果

- 衝突面のひび割れ状況はSRC化前と大きな違いがなかった。一方で、裏面ではスラブのひび割れ性状に大きな違いは無いが、梁においては曲げひび割れの材軸方向への分散とせん断ひび割れの抑制が確認できた。



最大主ひずみ分布（衝突面）



最大主ひずみ分布（裏面）

実施概要

令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

(1) 試験の目的

木造の耐火構造に係る既往の載荷加熱試験結果等により、**集成材の積層やフィンガージョイントに用いられる接着剤やフィンガージョイント位置等の弱点部分の影響**に関して、**1時間耐火を超える耐火構造において非損傷性能上の影響が生じない範囲を特定**する必要があることが判明した。

日本農林規格に規定される集成材の製造条件において、プルーフローダ等の性能確認によって合理化されるフィンガージョイントの位置などについて、**製造上の合理化規定を除外**するなど、実態上弱点が少ないと考えられる集成材の構成を試験体として用いるなど、一定の条件を設定したうえで、**梁の載荷加熱試験により非損傷性への影響を把握**することを目的とした。

今年度（R6年度）は最小部材寸法を対象とした集成材を試験体とするのではなく、**部材幅の増加による部材内部温度上昇の抑制の効果により、火災時耐力の向上を見込むこととした**。仕様規定においても制限可能な、部材幅を複数設定して、耐火試験時の非損傷性や破壊挙動の傾向を把握することとした。

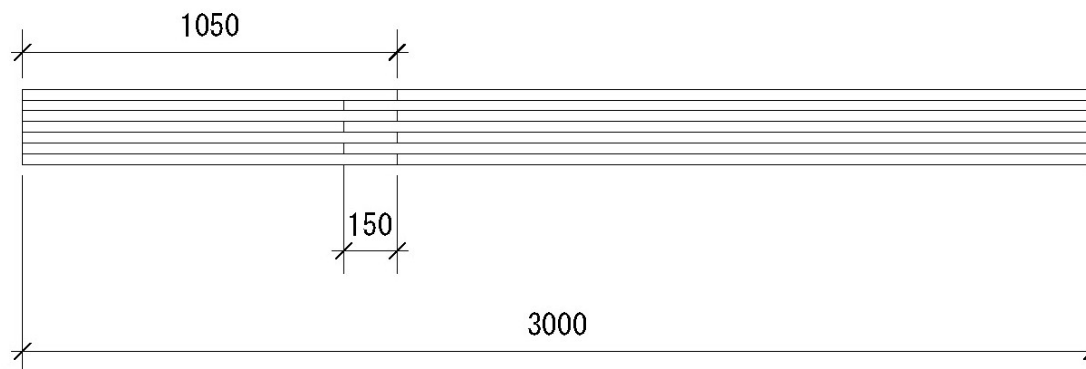
⇒**2時間耐火構造の告示仕様と適用可能な集成材の断面寸法の範囲を明らかにするため、載荷加熱試験を実施して、その性能を明らかにする。**

(2) 梁：2時間耐火構造 試験体仕様とバリエーション

試験体仕様は以下の通りとした。

・被覆等の仕様

項目	仕様、寸法等
2時間耐火構造	強化せっこうボードGB-F (V) 25mm 2枚張り + けい酸カルシウム板 (0.5TK) 20mm
集成材 スギE65-F255	梁せい210mm 梁幅150mm 試験体数：3
	梁せい210mm 梁幅180mm 試験体数：3
	梁せい210mm 梁幅210mm 試験体数：3
接着剤	フィンガージョイント：メラミン系樹脂接着剤 積層：レゾルシノール・フェノール系樹脂接着剤 フィンガージョイント間隔：150mm



集成材は、フィンガージョイントが左図の位置となるよう製造した

※フィンガージョイントの各層間での位置の指定150mmは、10～20mmの誤差が生じる可能性あり

※幅210mmの試験体も2次接着なし（幅方向の継ぎなし）

木造耐火構造：梁の載荷加熱試験

(3) 試験結果一覧（2時間耐火構造）

試験方法	断面寸法	試験結果 ・実施状況		荷重条件 (自重の影響)	試験体番号
		耐火	破壊時間		
載荷加熱	150×210	NG	457.5min	考慮	No.A-R6-1-120
載荷加熱	150×210	NG	528.5min	考慮	No.A-R6-2-120
常温載荷	150×210	N/A	常温 破壊実験	破壊荷重 48.75kN 破壊時応力 19.83N/mm ²	No.A-R6-3-120
載荷加熱	180×210	OK	N/A	考慮	No.A-R6-4-120
載荷加熱	180×210	OK	N/A	考慮	No.A-R6-5-120
載荷加熱	180×210	OK	N/A	考慮	No.A-R6-6-120
載荷加熱	210×210	OK	N/A	考慮	No.A-R6-7-120
載荷加熱	210×210	NG	764.5min	考慮	No.A-R6-8-120
載荷加熱	210×210	OK	N/A	考慮	No.A-R6-9-120

(4) 試験結果

- 幅150mmの試験体は、放冷中に破壊に至った。梁幅180mmでは崩壊無し、210mmでは破壊する試験体数1体で、**梁幅が増えることで、試験体の破壊が減少する傾向があるが、ここで実施した試験体のうち最大の梁幅である210mmでも破壊するものがあった。**破壊時間は、梁幅150mmのものが加熱開始から457～528分、梁幅210mmのものが、764分であった。
- 放冷中に崩壊した試験体では、**下端のラミナのフィンガージョイントの界面が外れていた。**上部のラミナについては、木部が破壊している状況であった。**フィンガージョイント部分は、木部破壊は認められなかった。**これは**接着剤の高温時の性能低下やフィンガージョイント部分の接着性能の不足**などが考えられる。フィンガージョイントの破壊は、荷重支持能力の喪失により防耐火性能低下に著しい影響を及ぼすことがわかる。



破壊した試験体の様子 (幅150mm : No.A-R6-2-120)

(5) まとめ

- 2時間の防火被覆として、強化せっこうボード（GB-F（V））25mmを2枚張りし、0.5TKけい酸カルシウム板20mmを上張りすることで、木部の炭化を防止することができた。
- 集成材に関するJAS（JAS 1152）に規定される使用環境Aのメラミン樹脂系接着剤を用い、フィンガージョイントをJASに規定される寸法以上に離隔したとしても、木部の表面が炭化する前に、非損傷性を喪失する可能性が高い。
- 木質系構造材を用いた曲げ材等の引張応力が生じる耐火構造の部材にあっては、使用環境Aに規定されるメラミン樹脂系接着剤等を用いたフィンガージョイントであっても、フィンガージョイント部分の性能に関して、JASの規定よりも厳格な材料選定等を行わないと耐火性能を確保できない。
- 現在市販されている集成材には、フィンガージョイント部分の性能不足により、基準強度に満たない性能を有するものが含まれている可能性がある。

実施概要

令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材

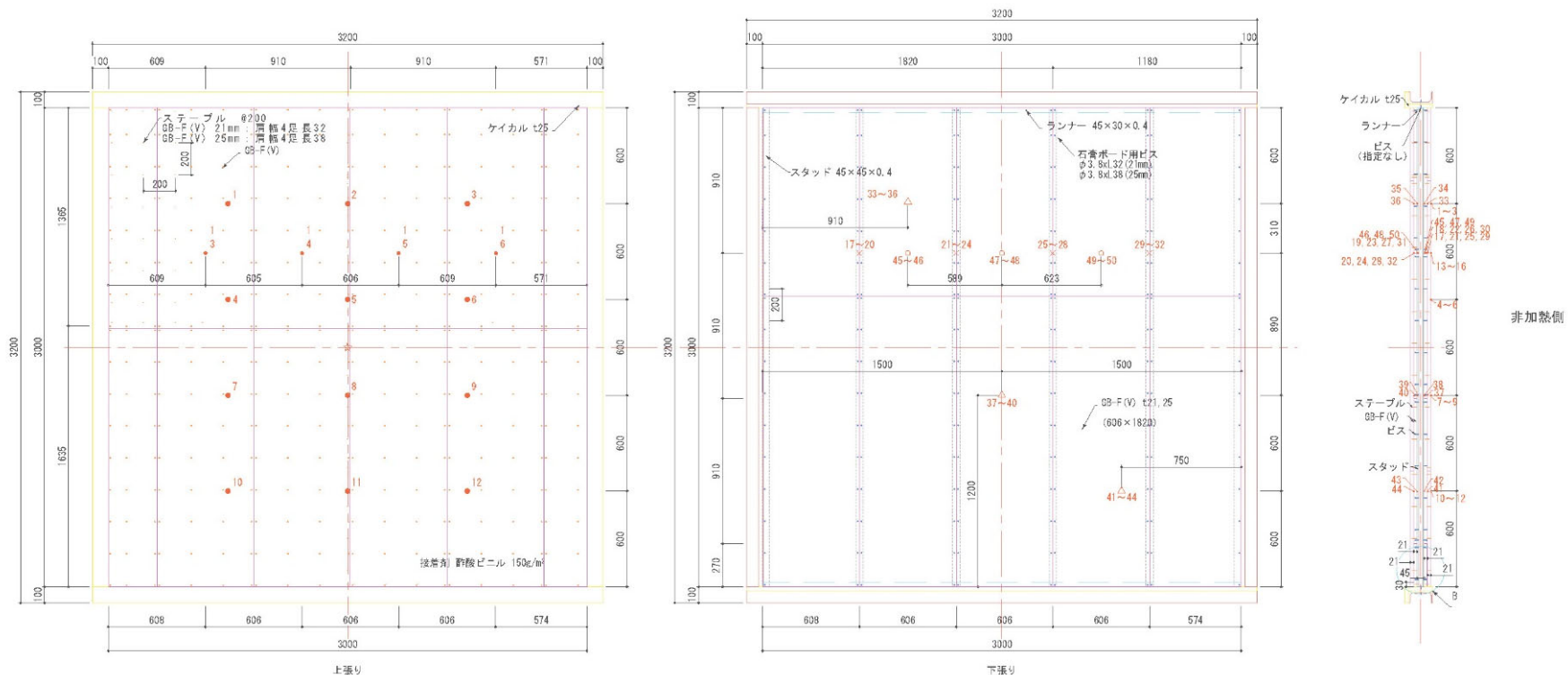
(1) 検討の目的と方法

令和4年度の建築基準法改正において、防耐火上の別棟の規定を適用する際に、法第21条第2項に規定される壁等と同等の1.5時間、さらに2時間の遮熱性能を有する区画部材が必要となる。特定区画、防火別棟に係る告示において、非耐力壁の間仕切り壁に関する仕様が例示されたが、仕様例が少ないため適用可能な仕様を増やす必要がある。また、ALCパネルなどでは、多様な目地処理が想定されることから、各種仕様について、耐火試験によりその性能を検証することとした。

耐火構造の種類	仕様
1.5時間耐火構造 (間仕切り壁(非耐力))	①乾式間仕切り壁GB-F(V)21mmx2両面 ②ALCパネル100mm(目地仕様検討)
2時間耐火構造 (間仕切り壁(非耐力))	③乾式間仕切り壁GB-F(V)25mmx2両面 ④ALCパネル120mm(目地仕様検討)

(2) 乾式間仕切壁GB-F(V)両面張り

- 過去に実施された同仕様の2時間耐火性能確認試験および準耐火性能確認試験から、強化せっこうボードの性能を考慮して、仕様を設定。
- 鋼製下地については、高温加熱による酸化等の抵抗性に考慮して、JIS品厚さ0.8mm以上を想定するが、本実験では厚さ0.5mm（製作可能な最薄のもの）とした。）また、留付材は、下張りはタッピンねじ、上張りは接着剤併用ステーブル@200とした。

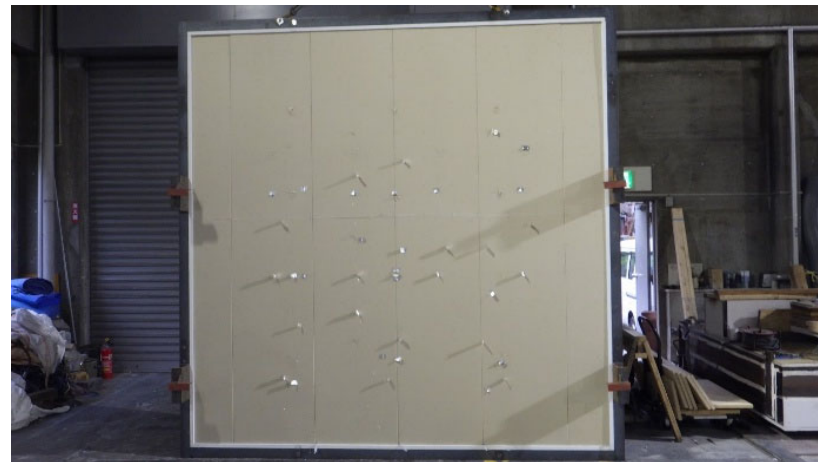


(2) 乾式間仕切壁GB-F(V)両面張り—結果

- 1.5時間 (W-90-1)、2時間 (W-120-1) の試験体の非加熱面温度の推移を見ると、いずれの試験体においても、最高温度は、69.1℃、72.8℃となっており、**十分な遮熱性能**を有している。
- 壁体内部の温度（中空層表面温度）は、400℃程度に達しており、1.5時間 (W-90-1) の試験体ではボード用原紙の変色、2時間 (W-120-1) の試験体では燃焼痕が確認された。
- 1.5時間 (W-90-1)、2時間 (W-120-1) 試験体の加熱側への面外変形は、それぞれ、最大42.7mm、35mmであった。



1.5時間：実験後試験体（壁内部）



1.5時間：実験後試験体（非加熱側）

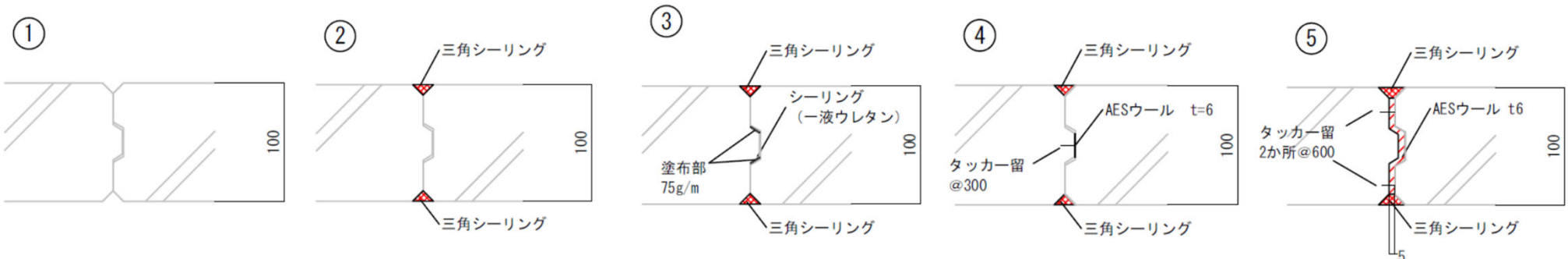
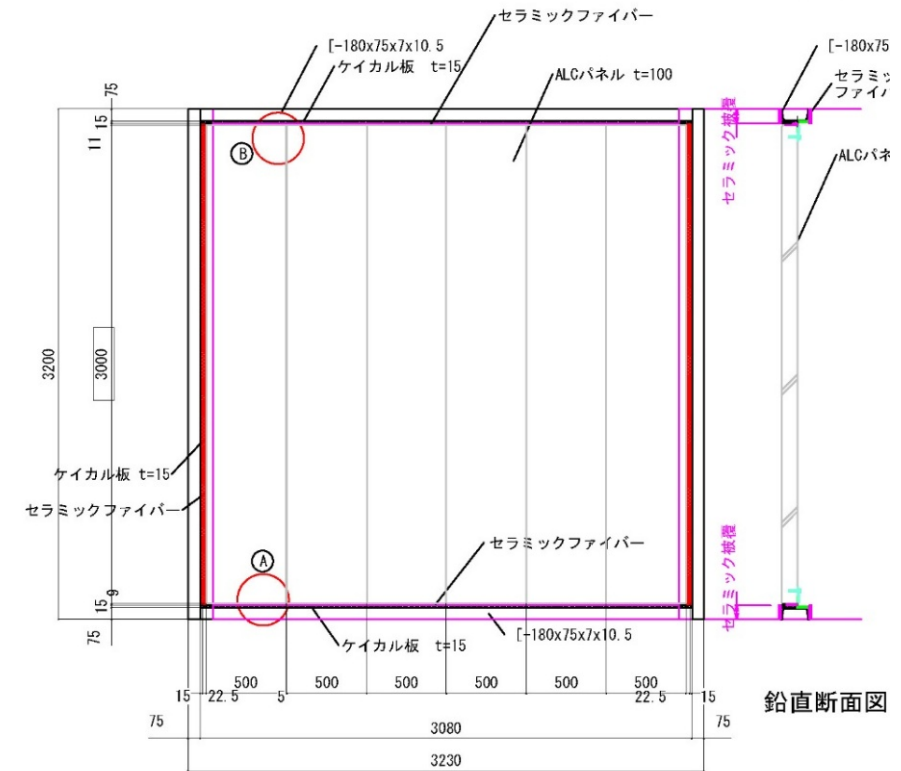
防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材

(3) ALCパネル

ALCパネルの目地種類は、5種類とした。

- ①：突きつけ
- ②：両面目地シール（シリコン系樹脂）
- ③：両面目地シール（シリコン系樹脂）及び実部分ウレタンシーリング塗布
- ④：両面目地シール（シリコン系樹脂）及び実部分AES設置
- ⑤：両面目地シール（シリコン系樹脂）及び目地部全体AES設置

①～⑤の目地を含む試験体 1.5時間1体 2時間1体
②の目地のみとした試験体 1.5時間1体 2時間1体
→上記の試験を実施

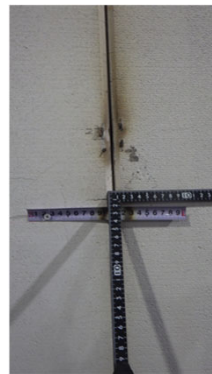


(3) ALCパネル—結果

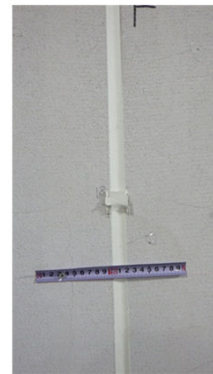
- 目地5仕様試験体について、1.5時間（W-90-2）、2時間（W-120-2）の試験体の非加熱面温度の推移を見ると、一般部ではそれぞれ、最高温度は、73.8℃、73.2℃となっており、**十分な遮熱性能**を有している。W-90-2、W-120-2試験体の**①目地処理無し**に関しては、**約18分、31.5分で遮熱性を喪失**した。一方、その他の目地処理については、上下の鋼材との目地部を除けば90℃以下の温度となっている。
- 目地仕様②のみを用いた試験体について、1.5時間（W-90-3）、2時間（W-120-3）試験体の非加熱面温度の推移を見ると、それぞれ、目地部で最高温度が101.5℃、92℃となり、**十分な遮熱性**を有していた。面外変形は、加熱45分程度で加熱側に約95mm変形し、放冷中（360分時点）に非加熱側に100mm超に変形した。



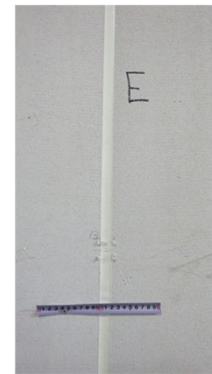
W-120-2：試験後（非加熱側）



目地①



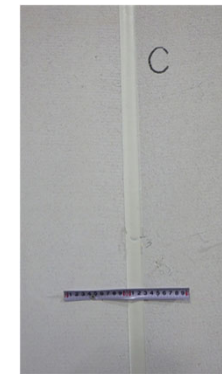
目地②



目地③



目地④



目地⑤

(4) まとめ

- 軽量鉄骨下地の被覆として、所定の厚さの強化せっこうボードを用いることで、十分な遮熱性能を確保できる。
- ALCパネルの目地処理として、目地部の両面にシリコン樹脂系シーリングを設置することで十分な遮熱性能を確保できる。目地を突き付けとした場合には、加熱初期に遮熱性能を喪失するため、適用することはできない。なお、ALCパネルの上下は、耐火被覆された部材等に定規アングルを取り付ける必要がある。このとき、定規アングル自体を被覆する必要はない。

構造の種類	仕様
特定区画等用 1.5時間の遮熱性能 間仕切壁（非耐力）	乾式間仕切壁GB-F（V）21mm×2両面 下地C45 t0.5mm 留付材：下張り タッピンネジ 上張り 接着剤併用ステープル@200
	実付きALCパネル100mm 両面目地シーリング処理（シリコン系樹脂）
特定区画等用 2時間の遮熱性能 間仕切壁（非耐力）	乾式間仕切壁GB-F（V）25mm×2両面 下地C45 t0.5mm 留付材：下張り タッピンネジ 上張り 接着剤併用ステープル@200
	実付きALCパネル120mm 両面目地シーリング処理（シリコン系樹脂）

実施概要

令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

(1) 検討の目的

令和4年の建築基準法改正に基づき、主要構造部のうち防火上及び避難上支障がない部分を区画する床等の構造方法（令6年国交告第231号）が規定された。しかし、**具体的な配管の仕様やその管が区画貫通する防火措置等**に関しては、特定区画通常火災継続時間（特定区画内の火災が終了するまでの間）、**遮炎性能を有する仕様**が規定されていないため、設計できない状況にある。

ここでは、**120分間、180分間準耐火構造の性能を有する区画貫通部の仕様を参考にして、2時間、3時間の遮炎性能を有する貫通部の仕様を明確化することを目的とする。**

貫通する管は、旧建築基準法の大員認定及び消防法の規定に基づく試験により、**2時間の耐火性能が確認できている耐火二層管**とし、区画貫通部の設置される主要構造部の種類としては、**中実床及び壁、中空壁を対象**とした。

(2) 試験体の仕様

試験体の躯体の中実壁および床は、比重と吸熱効果の小さい、けい酸カルシウム板（0.2TK）用いることとし、部材の厚さは遮炎性能に大きく影響を及ぼすため、部材の厚さは最小化し100mm（2時間）、150mm（3時間）とした。

中実部材のクリアランスの寸法は、最小寸法15mm、最大寸法100mmとした。

中実床

No.	時間/部位/厚さ	管/充填材	クリアランス	あて板
F-120-1	2時間/床/100 mm けい酸カルシウム板 (0.2TK) 総厚100mm	耐火二層管 φ200 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	15 mm	上面なし(モルタル想定) : 10mm下げる 下面 なし
F-120-2			100 mm	上面なし(モルタル想定) : 10mm下げる 下面 0.5TK 15mm 開口寸法+両側50mmかぶせ
F-180-1	15 mm		なし(モルタル想定) : 10mm下げる 下面 なし	
F-180-2	100 mm		2 : 上面なし(モルタル想定) : 10mm下げる 2 : 下面 0.5TK 15mm 開口寸法+両側50mmかぶせ	
W-120-1	2時間/壁/100 mm けい酸カルシウム板 (0.2TK) 総厚100mm		15 mm	両面 0.5TK 15mm
W-120-2			100 mm	両面 0.5TK 15mm
W-180-1	3時間/壁/150 mm けい酸カルシウム板 (0.2TK) 総厚150mm		15 mm	両面 0.5TK 15mm
W-180-2			100 mm	両面 0.5TK 15mm

中実壁

(2) 試験体の仕様

試験体の躯体の中空壁は、乾式間仕切壁として軽量鉄骨下地の両面に、強化せっこうボード（GB-F（V））21mm 2枚張り（2時間）、強化せっこうボード（GB-F（V））25mm 2枚張り（3時間）とした。

中空部材では、中空層にモルタル管スリーブを設置し、その管の内側寸法と耐火二層管の外形寸法の差（クリアランス）は、最小寸法として15mm、最大寸法として43.5mmとした。

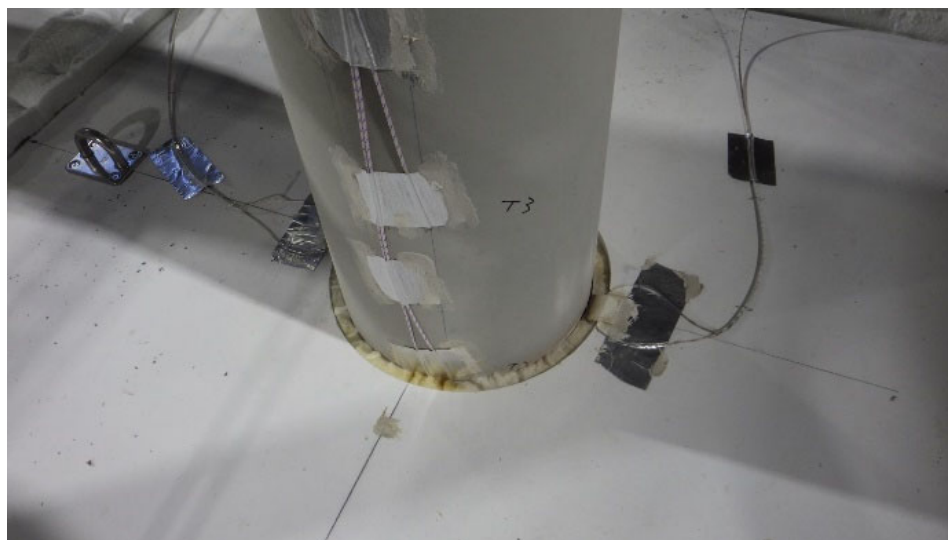
中空壁

No.	時間/部位/厚さ	管/充填材	クリアランス	あて板
W-120-3	2時間/壁/129 mm C45x45x0.5 強化せっこうボード21×2 総厚84mm	耐火二層管φ200 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	15 mm	両面 0.5TK 15mm
W-120-4		耐火二層管φ100 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	43.5 mm	両面0.5TK 15mm
W-180-3	3時間/壁/145 mm C45x45x0.5 強化せっこうボード25×2 総厚100mm	耐火二層管φ200 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	15 mm	両面 0.5TK 15mm
W-180-4		耐火二層管φ100 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	43.5 mm	両面0.5TK 15mm

(3) 試験結果－中実床

中実床試験体について、いずれの試験体でも、遮炎性能は確保された。

加熱試験後、あて板を設置しなかったクリアランス15mmの試験体については、2時間加熱、3時間加熱ともに非加熱側に茶褐色の変色が確認された。また、加熱によるけい酸カルシウム板やセメント管の収縮により、2～3mm程度の隙間が確認された。一方、クリアランス100mmの試験体については、加熱側にあて板を設置したため、変色などは確認されなかった。これより、クリアランスが小さくてもあて板を設置する方が延焼防止上有効であると考えられる。耐火二層管と充填材界面の非加熱面近傍温度は、あて板を設置することで、100℃程度に抑制することが可能となった。



2時間加熱試験後 クリアランス15mm



2時間加熱試験後 クリアランス100mm

(3) 試験結果－中実壁・中空壁

中実壁・中空壁試験体について、いずれの試験体でも、遮炎性能は確保された。

加熱試験後、クリアランス15mm、43.5mm、100mmの仕様いずれもあて板を設置したため、2時間加熱、3時間加熱ともに非加熱側では、床試験体のような著しい変化は確認されなかった。しかしながら、耐火二層管の上部は側面や下部に比べて、熱侵入が大きい傾向があった。これは、耐火二層管は水平方向に設置しているであるため、上部の方が内部の塩化ビニル管の垂れ下がりなどの影響を受けやすいためだと考えられる。



中実壁 2時間加熱試験後
クリアランス15mm 加熱側／非加熱側



中空壁 2時間加熱試験後
クリアランス100mm 加熱側／非加熱側

(4) まとめ

120分間、180分間の特定区画通常火災継続時間の性能を有する区画貫通部の仕様を明確にするため、一連の耐火試験を実施した。その結果、以下の仕様を告示仕様として提案可能と言える。

時間/部位/厚さ	管/充填材	クリアランス	あて板
2時間/床/100 mm以上 鉄筋コンクリート造 ALCパネル	耐火二層管 呼径φ200以下 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	15mm以上 100 mm以下	上面 : なし又はけい酸カルシウム板、モルタル等 下面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上
3時間/床/150 mm以上 鉄筋コンクリート造 ALCパネル			上面 : なし又はけい酸カルシウム板、モルタル等 下面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上
2時間/壁/100 mm以上 鉄筋コンクリート造 ALCパネル			両面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上
3時間/壁/150 mm以上 鉄筋コンクリート造 ALCパネル			両面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上
2時間/壁/129 mm以上 C45x45x0.5 両面強化せっこうボード21×2 総厚84mm以上	耐火二層管以下 呼径φ200以下 スリーブ管 : 呼径φ250 AES : 128kg/ m ³ クリアランス 充填幅の寸法 : +10%	15mm以上 43.5mm 以下	両面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上
3時間/壁/145 mm以上 C45x45x0.5 両面強化せっこうボード25×2 総厚100mm			両面 : けい酸カルシウム板0.5TK 15mm以上

実施概要

令和6年度実施内容

- (1) 部分的な木造架構の火災時損傷・倒壊に対する安全性の評価手法
～ 試案と解析的検討 ～
- (2) 木造耐火構造：梁の載荷加熱試験
- (3) 防火上別棟として扱うための延焼を遮断する区画部材の検討
- (4) 特定区画に用いる区画貫通部の構造方法の検討
- (5) 木造耐火構造における耐火被覆材の検討

(1) 検討の目的

木造耐火構造では、被覆材として強化せっこうボードが仕様規定で示されており、一般的に用いられることが多く、上記の例のように1時間を超える長時間の木造耐火構造においても同様に強化せっこうボードが用いられることになる。しかし、長時間の耐火構造として求められる性能を満足するためには、被覆材の厚さを増やす必要があり、結果として強化せっこうボードの枚数が増えることになる。そのため、施工手間が増加する状況にある。

被覆材として安価、かつ木造での耐火性能がクリアできる可能性のある**吹付ロックウール（半乾式）**を候補とし、**対象部位を床に限定**して、耐火性能を確認することとした。床に限定した理由としては、耐火被覆材の施工面積が広く、上向きのボード貼り付け作業を軽減することが挙げられる。

⇒ロックウールを木に吹き付けた実績がないため、予備試験を実施し、一定の耐火性能（ここでは**1時間耐火**）を有することを確認し、床に吹き付ける場合の懸念点のうち、特に脱落についての検討手法の計画および一部実施を試みた。

(2) 予備試験による検証

以下に示す予備試験を実施した。

①最大施工厚さ確認試験	これまで木に直接吹き付けた例はないため、木下地の場合の最大施工厚さの確認が必要（コストを考慮すると2回施工まで）。参考：鉄骨造での1時間耐火の吹付厚さ（梁・柱で25mm、床で15mm）
②付着性試験（引張試験）	木とロックウールの付着性の確認を、施工後1か月後、12か月後に行う（都合上、施工後2か月後、12か月後に行った。）。施工後1か月という期間は、ロックウールの含水率が平衡状態となる想定で設定されている。施工後12か月という期間は、経時変化がないことを確認するために設定されている。
③含水率確認試験	吹き付けたロックウールの水分が、木部の性能に影響を与えるかどうか、吹付後の木部の含水率を確認。
④耐火性能確認試験	既往の鉄骨造での耐火性能実験等により、目標とする耐火性能に必要な厚さの予測はできるが、木造の被覆材として耐火実験を実施した例はない。そのためまずは 1時間耐火構造を目指した場合にどの程度の吹付厚さが必要となるかを確認する。

(3) 予備試験－最大施工厚さ確認試験

これまで木の下地にロックウールを吹き付けた実績がないため、吹き付けることができるかどうかの確認、および吹き付けることができた場合にどの程度の吹付厚さまで可能かどうかを確認することを目的として試験を実施した。

試験体は、1×2mまたは1×1.2m程度に切り出したCLT（3層3プライ t=90mm）に対し、表面処理3種類（なし、プライマー、防水コート）、脱落防止措置3種類（なし、天井インサート、ヘルパーロック）を組合せ、6仕様各1体、計6体とした。



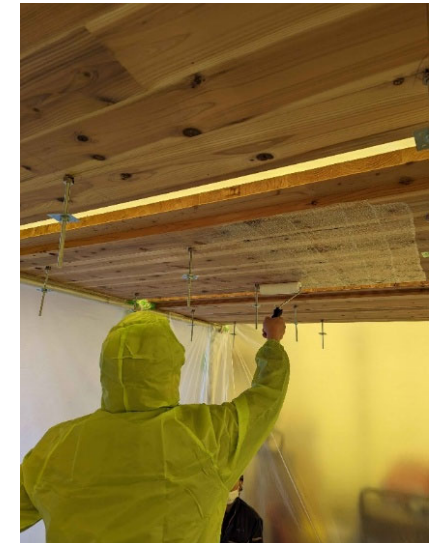
吹付の様子



天井インサート



ヘルパーロック



プライマー塗布

(3) 予備試験－最大施工厚さ確認試験

表面処理にプライマーを塗布したものは脱落が生じなかった。しかし、表面処理なしの3体、および表面処理防水コートの1体は、1週間～1カ月の間で脱落あるいは剥離が生じた。

試験体 番号	試験体仕様						結果 (平均厚さ mm)	詳細
	表面処理（木部）			脱落防止措置				
	なし	プライ マー	防 水 コート	なし	天 井 イ ン サート	ヘルパー ロック		
A-1	○			○			×（117）	1週間後確認時、脱落
A-2	○					○	×（127）	1週間後確認時、脱落
A-3		○				○	○（130）	
A-4	○				○		×（126）	1ヵ月後確認時、界面の剥離
A-5		○			○		○（122）	
A-6			○		○		×（121）	1ヵ月後確認時、界面の剥離



A-1 (表面処理なし、脱落防止措置なし) の脱落の様子



A-4 (表面処理なし、脱落防止措置天井インサート) の剥離の様子



(4) 予備試験－耐火性能確認試験

1m×1mのCLT（厚さ90mm、3層3プライ）にプライマーを塗布し、ロックウールを吹き付けた試験体の耐火性能（1時間）を確認した。吹付けロックウールの仕様は、ロックウール工業会の仕様に従った標準的なものとし、被覆厚さは鋼材の耐火被覆の3時間構造に相当する厚さ65mmを最小として、90mm、115mmとした。また、天井インサートを1体あたり1カ所設けた。

⇒吹付けロックウールは、加熱終了後も脱落していなかった。インサート等の金物を設置した部分についても、炭化痕などは確認されなかった。

吹付けロックウールとCLTの界面温度は、65mmの被覆厚さで、140℃以下であった。90mm以上の被覆厚さでは100℃に達しなかった



厚さ65mm 試験前



厚さ65mm 試験後



厚さ65mm 試験後CLT表面

(5) 実建物への施工を想定した脱落の有無に関する検討

予備試験を通して、木部表面にプライマーを塗布する等の条件を設けた場合、**実建物の木造床へ吹付ロックウールの施工が可能となる見通しが立った**。しかしながら、1時間耐火構造でも吹付厚さが65mm程度は必要であることを踏まえると、その重さにより建物使用時または長時間経過時に**ロックウールが脱落する可能性が懸念点**として挙げられた。

⇒建物使用時または長時間経過時に脱落が生じないかどうかを保証するための試験条件等が不明確である。そこで、まずは実大サイズの床面を想定したCLTパネルにロックウールを吹きつけ、長期間置いて変位等を計測しながら脱落の有無を確認することとした。試験体の製作および設置を実施した。事業期間の関係上、本事業内で長期間は実施できないため、建研にて引き続き検証を行う予定としている。



試験体名	性能確認	材料	寸法			表面処理	脱落防止措置	試験体数
			厚さ	幅	長さ			
A	耐火・長期	CLT	90	1000	4300	プライマー	天井インサート	1
B	長期		90	1000	4300	プライマー	天井インサート	1
C	長期		90	500	4300	プライマー	なし	1

令和6年度建築基準整備促進事業（F25）
新たな基準に対応した耐火構造の構造方法の告示化に係る検討

株 式 会 社 竹 中 工 務 店
株 式 会 社 ド ッ ト ・ コ ー ポ レ ー シ ョ ン
共 同 研 究 ： 国 立 研 究 開 発 法 人 建 築 研 究 所