

平成27年度建築基準整備促進事業

F6. 防火被覆等の仕様にバリエーションを有する木・鉄骨系防耐火構造の壁および柱の合理的な性能評価に関する検討

一般社団法人 建築性能基準推進協会

共同研究：国立研究開発法人建築研究所

調査の目的・内容・実施体制

防耐火構造の認定において、多様なバリエーションを有する木造・鉄骨造の壁・柱の防火被覆等の仕様に関し、類型化や中小規模のモデル的試験の実施等により、複数のバリエーションを合理的に評価する方法を確立するための技術的知見を明確にする。

(イ) 複数のバリエーションを評価するための試験方法のあり方検討

(イー1) 柱(耐火構造に限る。)の性能評価に関するあり方検討

(イー2) 壁の性能評価に関するあり方検討

(イー3) 実大試験によらない性能評価のあり方検討

(ロ) 試験方法の技術的検証を行うための耐火試験の実施

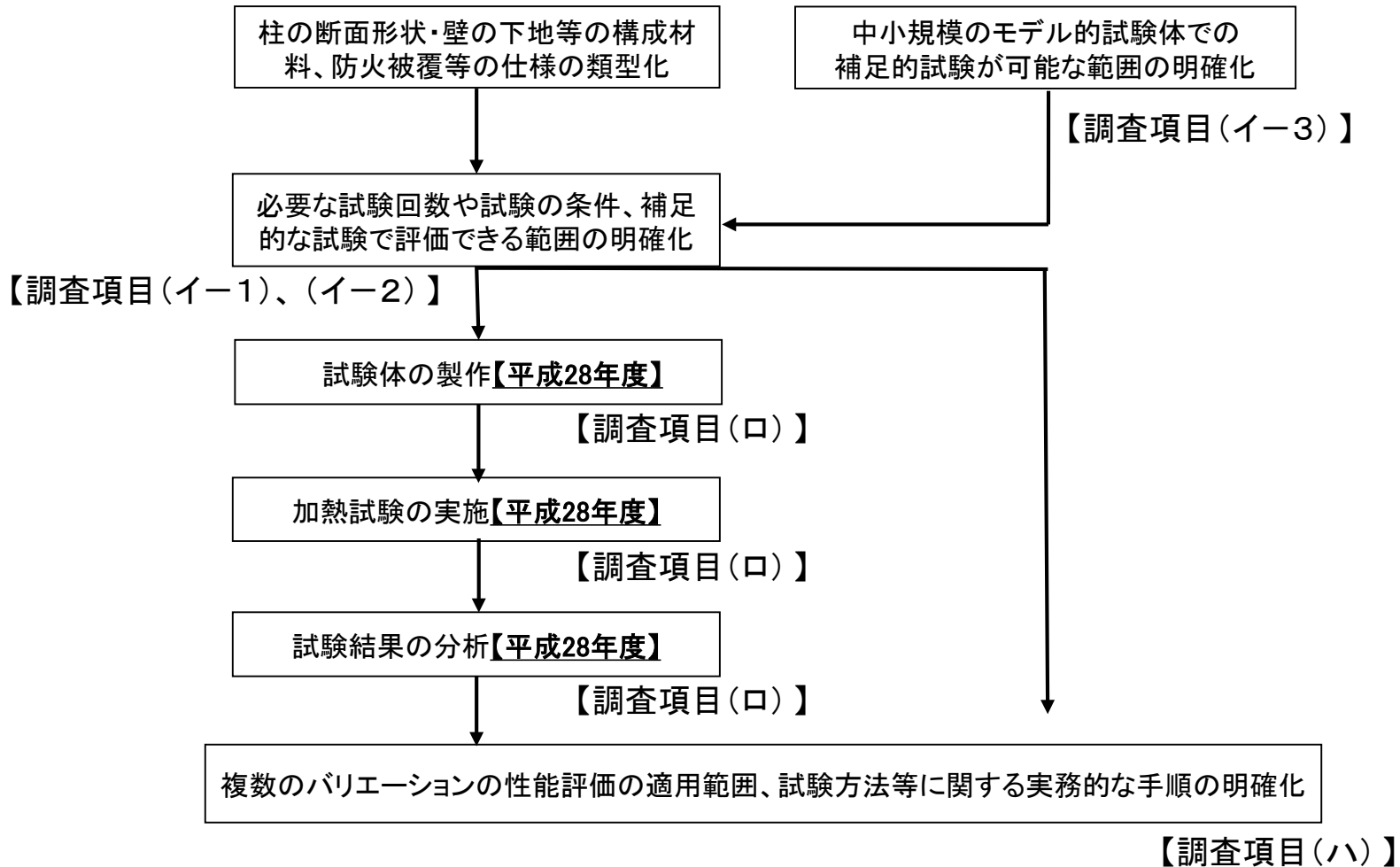
(ハ) バリエーションの合理的な性能評価方法の確認

- ・本調査は(一社)建築性能基準推進協会と(国研)建築研究所の共同研究として行った。
- ・実施にあたっては、「防耐火性能に関する評価試験の合理化検討委員会」(委員長:河野守 東京理科大学教授)、WG(主査:成瀬友宏 建築研究所上席研究員)を設置し、検討対象の選定及び技術的検討を行った。

平成27年度 調査項目

- (イー1) 「柱の断面形状・寸法」及び「防火被覆の種類・厚さとその組合せ」等についての類型化を行う。
- (イー2) 壁については「下地等の構成材料の種類・厚さとその組合せ」、「防火被覆の種類・厚さとその組合せ」等についての類型化を行う。
- (イー3) 実大試験ではなく中小規模のモデル的な試験体を用いた補足的な試験で合理的に評価できる範囲を明確にする。
- (ハ) 合理化に資する耐火試験に関する性能評価方法に関する既往研究の情報収集を行う。
- (ハ) 試験結果等に基づき、複数のバリエーションの性能評価の適用範囲、試験方法等に関する実務的な手順を明確にする。
- (ロ) 以上で提案された試験方法に基づく加熱試験を行い、性能評価方法の妥当性を確認する。**【平成28年度に実施予定】**

調査のフロー



建築物の防耐火性能に係る性能評価の概要(1)

- 国内外の性能評価に関する調査(柱、壁の試験結果の拡張適用に関連するISO、EN規格等)
 - ISO/TR 12470:1998 (耐火試験－試験結果の拡張適用についてのガイド)
 - ISO/DTR12470-1 (耐火試験－試験結果の拡張適用と適用のガイド－第1部:荷重支持部材と鉛直および水平区画構成部材)
 - ISO/TR 12470:2009/PDAM (耐火試験－試験結果の拡張適用と適用のガイド－第2部:非荷重支持部材)
 - ISO 834 Part10:2014 (耐火試験－建築構造部材－第10部:鋼構造部材の耐火被覆の評価試験方法に関する特定要求事項)
 - ISO 834 Part11:2014 (耐火試験－建築構造部材－第11部:鋼構造部材の耐火被覆の評価に関する特定要求事項)
 - ISO/TC92/SC2/WG7NWI (非対称区画部材の耐火性能に関する計算方法のガイド)
 - EN13501-2(試験結果に基づく建築部材の等級分け)

建築物の防耐火性能に係る性能評価の概要(2)

1 ISO/TR 12470 シリーズ

- 主要構造部や防火設備等全般を対象としている。
- 直接適用できる範囲や拡張するための基本的考え、拡張することのできない理由を説明している。
- 耐火等級に影響を与えないデザインのバリエーション範囲を示すのに、明示的な判断基準を必要としない条件や試験結果を直接適用できることの例についても示している。
- 拡張適用: 幾つかの試験結果をもって、①一般的な判断基準を構築する場合や、②工学的計算を判断基準に加えるため、計算方法やそれを特定のケースに適用した場合の結果の妥当性を評価する場合など、防火専門職による評価を要求することを意図している。

2 ISO 834 Part10、11

- 鋼部材に限った条件で、ISO/TR12470シリーズのような拡張適用に必要な試験条件と評価方法が構築されている。
- 直接適用の範囲や拡張するための基本的考えや拡張することのできない理由を説明している。
- 多様な条件な適用条件を有する鋼部材に対して、鋼材寸法、被覆厚さ等をパラメータとした約6～40体からなる複数の試験体をパッケージして評価している。
- 耐火試験結果に内挿法や熱伝導解析等の工学的推定手法を積極的に活用し、耐火性能を評価する枠組を構築している。

3 日本における性能評価

(柱の基本運用: 構法、構造方法別に必要とする試験体数・試験体寸法等)

構造方法		木構造				鋼構造					
		燃え止まり型(燃え代型)		被覆型(メンブレン型)		燃え尽き型		耐火塗料被覆		被覆型 (ボード、巻付ナ、吹付ナ)	
定義		燃え止る設計と同様に自ら燃焼し炭化することで断熱層を形成し燃える速度を抑制するとともに、燃え止まり層を内部に形成することにより芯材(荷重支持部材)が燃焼・炭化しないようにしたもの		せりょうボードなど不燃材料で被覆し、芯材(荷重支持部材)が燃焼・炭化しないようにしたもの		燃え止るは燃焼するが、腐材(荷重支持部材)の影響で燃え止りが燃焼停止するようにしたもの		耐火塗料の発泡により、腐材(荷重支持部材)の温度上昇を抑制するようにしたもの		せりょうボードなど不燃材料で被覆し、腐材(荷重支持部材)の温度上昇を抑制するようにしたもの	
評 価 方 法											
構成部材	芯材	樹種限定 ²⁾	密度最小	選定可 ⁴⁾	密度最小	選定可 ²⁾	490H腐材	選定可 ⁴⁾	490H腐材	選定可 ²⁾	490H腐材
	燃え止まり層	樹種・材質限定	密度最小	-	-	-	-	-	-	-	-
	被覆材	-	-	材質限定	密度最小	樹種・材質限定	密度最小	材質・厚さ・組成限定	材質限定	密度最小	密度最小
	表面材	選定可 ⁴⁾	-	選定可 ⁴⁾	-	選定可 ⁴⁾	-	選定可 ⁴⁾	-	選定可 ⁴⁾	-
試験体数	柱	最小断面2体	最大断面2体 (実施可能な)	最小断面2体	最大断面2体 (実施可能な)	最小断面2体	最大断面2体 (実施可能な)	最小断面2体 (300より小さい場合は右記要)	標準断面2体 (300断面)	最小断面2体 (300より小さい場合は右記要)	標準断面2体 (300断面)
	梁	-	-	-	-	-	-	最小断面2体	最大断面1体 (実施可能な)	最小断面2体	-
拡大検証	柱	最大断面1体 (評価機関以外の枠可能)	-	最大断面1体 (被覆材の留付け方法等異なる場合) (評価機関以外の枠可能)	-	最大断面1体 (評価機関以外の枠可能)	-	最大断面1体 (耐火塗料の留付け方法等異なる場合、 角型・丸型に丸型・最小 ³⁾)	-	最大断面1体 (被覆材の留付け方法等異なる場合) (留付けピッチ最大の実施可能な最大)	-
	梁	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
試験時間		加熱時間+3倍後追い、且つ、芯材表面温度の低下、火種もしくは火気の残存がないこと ²⁾		加熱時間+3倍後追い、且つ、芯材表面温度の低下、火種もしくは火気の残存がないこと ²⁾		加熱時間+3倍後追い、且つ、芯材表面温度の低下、火種もしくは火気の残存がないこと		加熱時間+3倍後追い、または、腐材温度の低下が確認できるまで		加熱時間+3倍後追い、または、腐材温度の低下が確認できるまで	
既認定例											

1) 腐材、炭成材、LVL、炭等腐材、および樹種に炭成材がある場合は、寸法炭成材を選定
 2) 腐材、炭成材、LVL及び炭等腐材がある場合は、炭成材を選定
 3) 腐材の選定ルールによる
 4) 防火上不利と判断できる仕様を選定

3) 木(芯材)の炭化判定
 ・炭化「B」不合格、変色「B」合格
 ・釘周りの熱燻による炭化は、釘が手で容易に抜ける程度に熱燻を覚えていれ「B」不合格
 ・炭化、変色の判断が困難な場合、ステンレスワイヤブラシでの仕度10回/程度削り、削った部分と健全部との削り深さが0.5mm未満であれば「変色」、0.5mm以上であれば「炭化」とする

防耐火性能に係る性能評価ルールと合理化の概要(1)

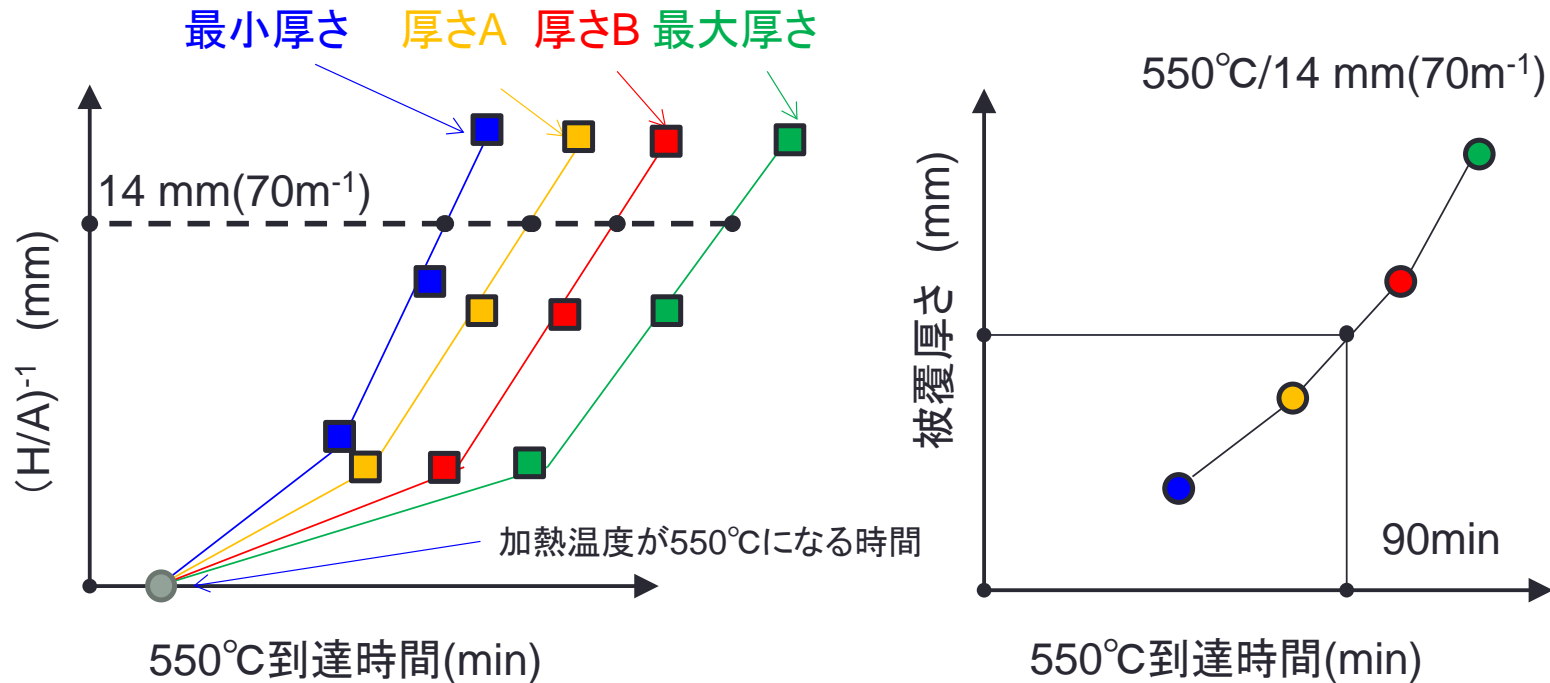
1 鋼柱の評価ルール

- 耐火時間:1、2、3時間毎に評価され。
- 鋼材の種類:JIS鋼材を原則として、F値の大きい材料を不利側とする。
- 鋼材寸法:鉄骨についてはH-300×300を、鋼管については□-300×300を標準とする。
- 鋼材の形状:開断面と閉断面は同一の性能評価はできない。
円形鋼管は、所定の条件の角形鋼管で包含可能となる。
- 被覆材:最小被覆厚さ、目地等の弱点部が多い条件を不利側とする。
- 試験方法:実大試験体に対する載荷加熱試験が原則であり、要求耐火時間で消火する。

合理化の方針

- 実大規模試験体の載荷加熱試験と中小規模の試験体の加熱試験を組み合わせて、性能評価に必要な技術的情報を取得する方法の構築
- 複数の耐火試験結果に基づき、断面形状係数、被覆厚さに応じて、任意の耐火時間について性能評価可能となる方法の構築
- 破壊試験に基づく、要求耐火時間に対する余裕度の評価方法の構築

断面形状係数、被覆厚さに応じた耐火時間についての評価方法



Graphical Approach 図解法(ISO834-11)例

2 木柱の評価ルール

- 被覆等種類: 燃え止まり(燃え代)型、被覆(メンブレン)型の別により、評価される。
- 木材の仕様: 同一樹種、材質の中で密度が最小となるものを選定
- 木材の寸法: 最小断面と最大断面について耐火試験を行う。
- 試験方法: 実大試験体に対する荷重加熱試験を原則とする。
- 試験の終了時間: 原則、火種もしくは火気の残存がなくなるまで継続する。

合理化の方針

- 実大規模試験体の荷重加熱試験と中小規模の試験体の加熱試験を組み合わせて、性能評価に必要な技術的情報を取得する方法の構築
- 荷重加熱試験においては荷重支持部分の残余耐力を考慮して、変形量の時間変化等の評価指標として活用可能性
- 冷却条件(温度、空気供給量、圧力等)の定量化

3 壁の評価ルール

- 被覆等種類: 下地面材を設けない条件を不利側として、面材の設置を包含する。
- 被覆材等の留付方法: くぎによる留め付けにより、同一寸法のねじを包含
- 仕上げ材有無: 原則的に、仕上げ材を含んだ構成を防火被覆として評価
- 試験方法: 実大試験体に対する載荷加熱試験を原則とする。
- 試験の終了時間: 所定の時間で載荷加熱を終了する。

合理化の方針

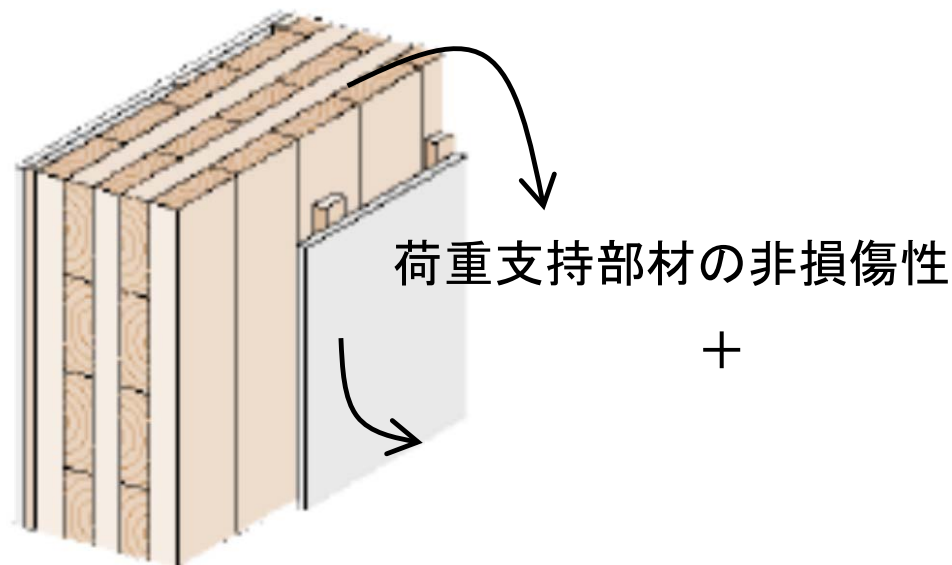
実大規模試験体の載荷加熱試験と中小規模の試験体の加熱試験を組み合わせ、性能評価に必要な技術的情報を取得する方法の提案

- 防火被覆や下地の組合せに対し、等価性を評価する指針の構築
- 耐火性能検証法への位置づけを目指した各種熱物性値の測定・整備
- スケール効果への対応として、防火被覆の目地処理・留付方法が遮熱性能に与える影響の把握

破壊試験に基づく、要求耐火時間に対する余裕度の定量化とバリエーション認定のトレードオフ手法の構築

耐火性能の分割評価と工学的判断の導入

- 載荷荷重と火災荷重の2つの外力を分けて検証
- 後者に対し、伝熱工学の知見を適用



● 対象部位

- 壁: 加熱される方向を限定することができるため、1次元の熱伝導として扱え、伝熱工学の知見を適用しやすい
- 柱: 4面加熱を受けるため、断面形状係数などの整理も必要

● 防火被覆の対象材料

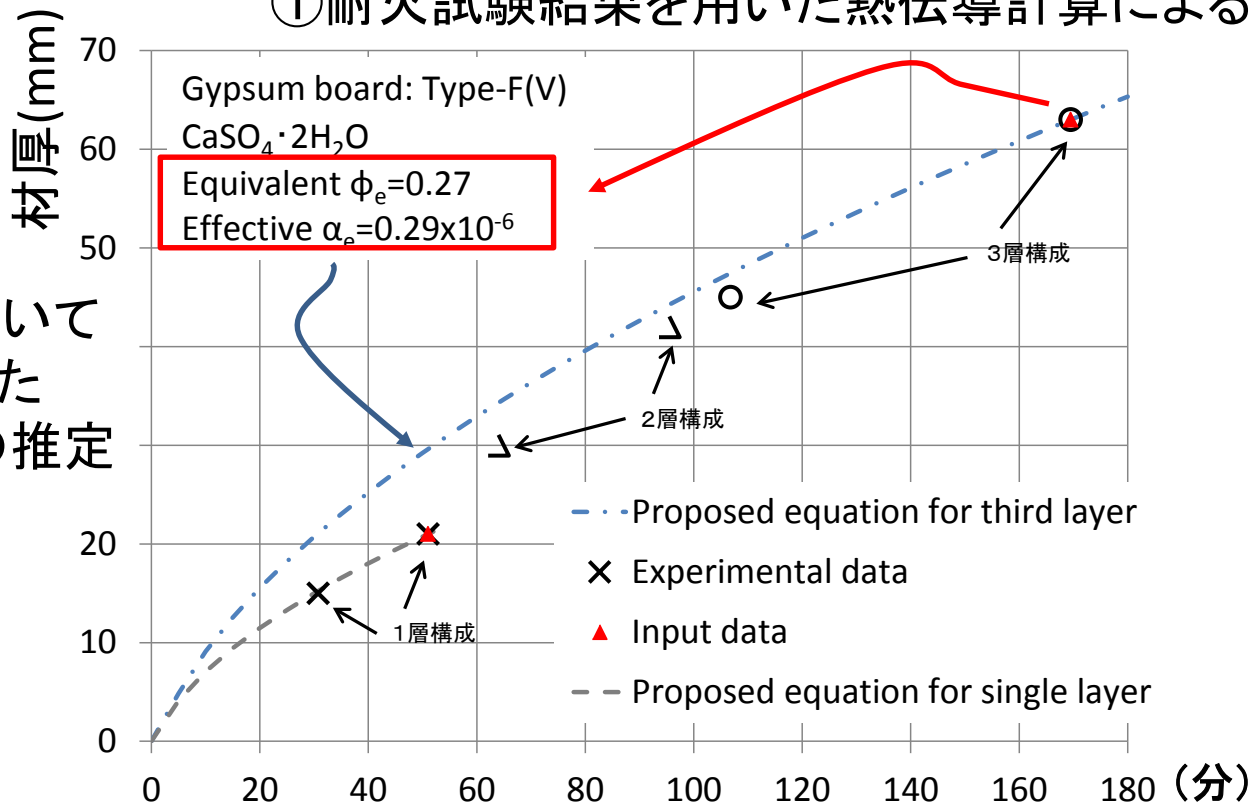
- 不燃材料: 材厚, 熱拡散率, 含水率で整理
- 可燃性材料: 上記に加えて、炭化による断面現象などを考慮

防火被覆バリエーションの等価性評価

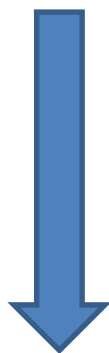
熱物性値の特定による有利不利の判断



①耐火試験結果を用いた熱伝導計算による物性値の特定



②同値を用いて
材厚に応じた
遮熱性能の推定



図：強化せっこうボード壁の板厚と遮熱性能の実験値と換算式の比較

耐火試験の新たな活用

性能設計を意図した熱物性値の整備

実大実験によらない性能評価のあり方検討

- 鋼柱(鋼梁含む)の試験体の組合せ(試験体パッケージ ISO834)
 - 被覆厚さの範囲、鋼材断面種類(I形及H形、鋼管)、部位(梁・柱)に応じた、必要な試験体の組合せと最小の試験体数を示している。
 - 接着性や安定性の観点から非反応系被覆材料と反応系被覆材料に大別
 - 鋼管等の閉断面系とH形やI形のような開断面系では、閉断面の方が被覆の熱的性状が安定しているため、試験体数が少ない。

表：非反応系耐火被覆の試験体(柱・はり)の選択例(ISO834-Part10、11)

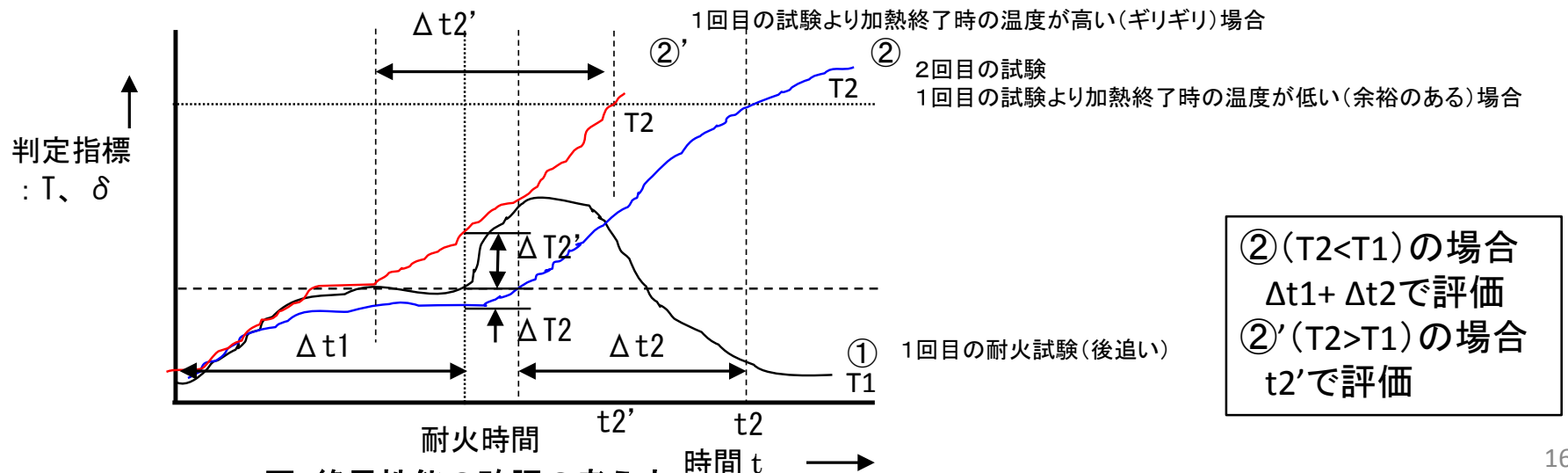
範囲	試験パッケージ	LBmin+LBmax	LCmin+LCmax	RB	RC	SIB	SIC	全短断面数
I形梁	1	○(2)		2		11		13
I形柱	2		○(2)		2		11	13
I形梁 +I形柱	3	○(2)		2			13	15
I形梁 +I形柱	4	○(2)		2		11	13	26
角形鋼管梁	1	○(2)		2		4		6
鋼管柱	2		○(2)		2		4	6

LB:loaded beam, LC:loaded column, RB:reference beam, RC:reference column,
SIB:short I section beam, SIC:short I section column

防耐火構造の壁および柱の合理的な性能評価に資する検討

● 終局性能を踏まえた性能評価

- 材料や部材の開発や性能評価において、それらの実力を測ることができ（耐火性能検証法における保有耐火時間の評価等）、目標水準に対する過不足を容易に判断することが可能となる
- 非損傷性、遮熱性等のうち、耐火性能の決定要因を明確にすることができる
- 要求耐火時間と保有耐火時間を考慮して、被覆等のバリエーションの適用範囲を明確にできる

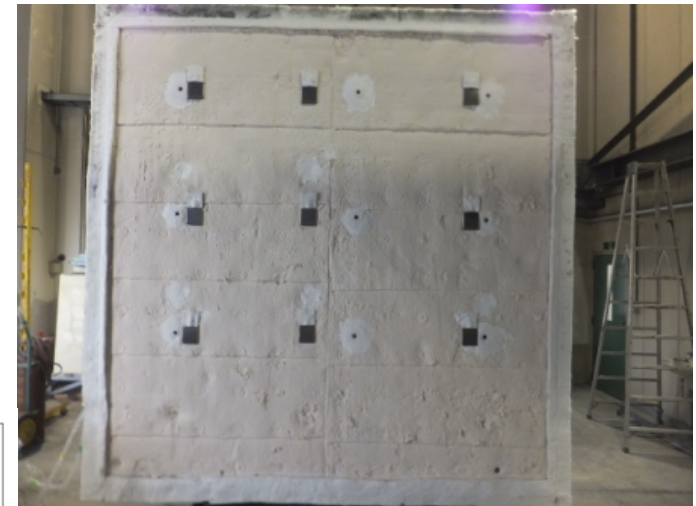
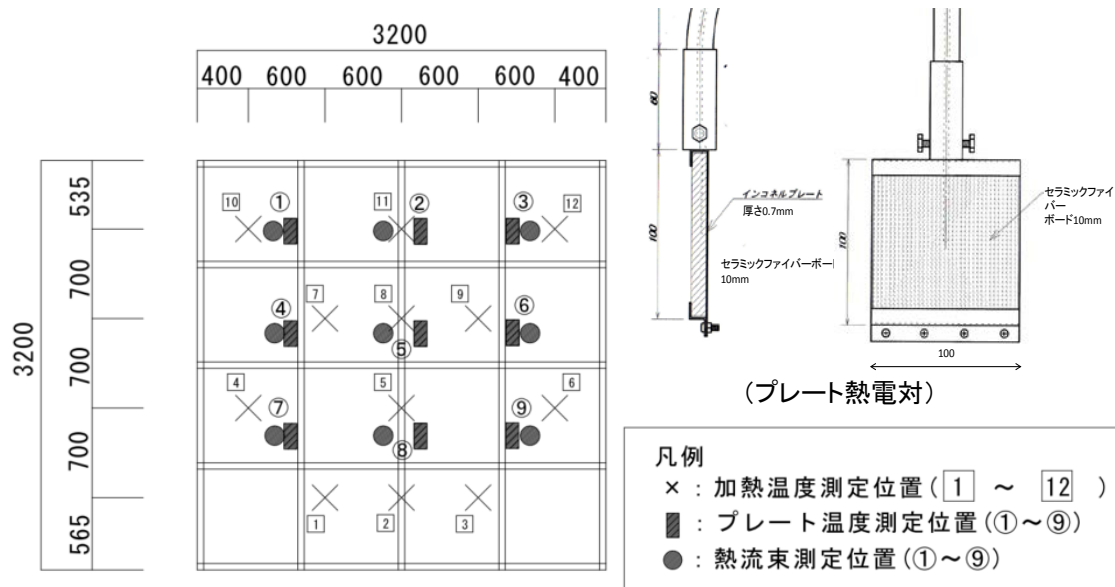


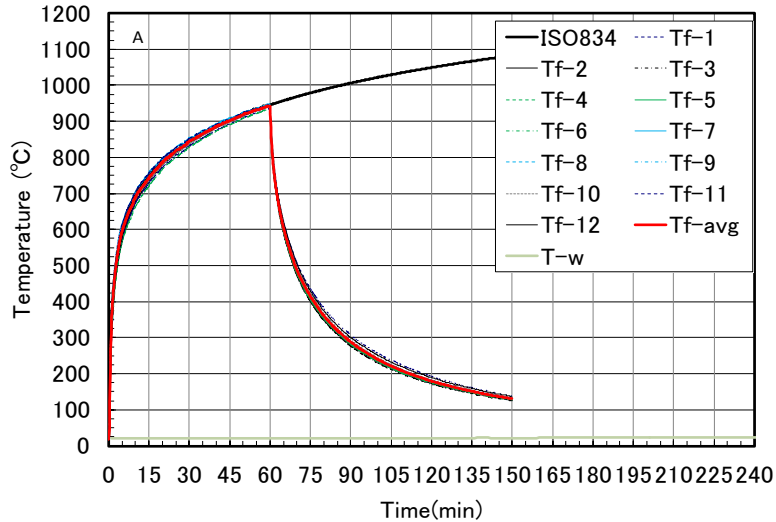
図：終局性能の確認の考え方

実大実験によらない性能評価のあり方検討(1)

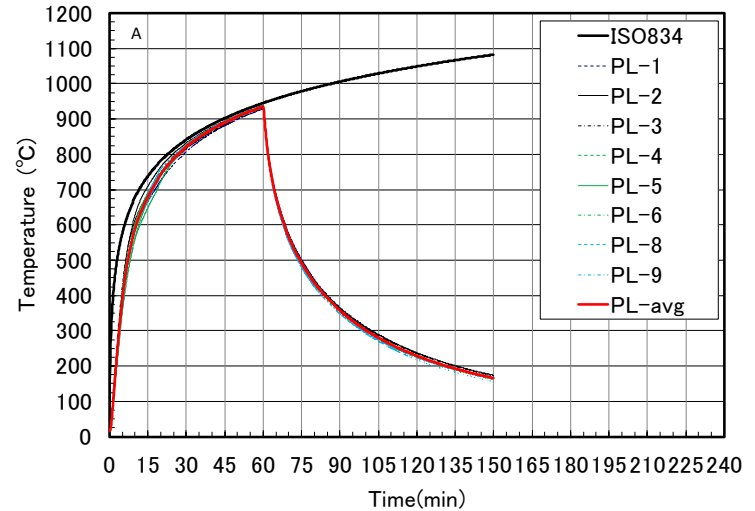
耐火炉各部の加熱強度の分布

複数の中小規模試験体を同時に加熱炉に設置する場合、設置位置によって、加熱強度が異なると、精度良く耐火性能を評価することが難しいため、鉛直加熱炉(壁炉)における熱流束測定を行い安定した加熱となる範囲を特定する。

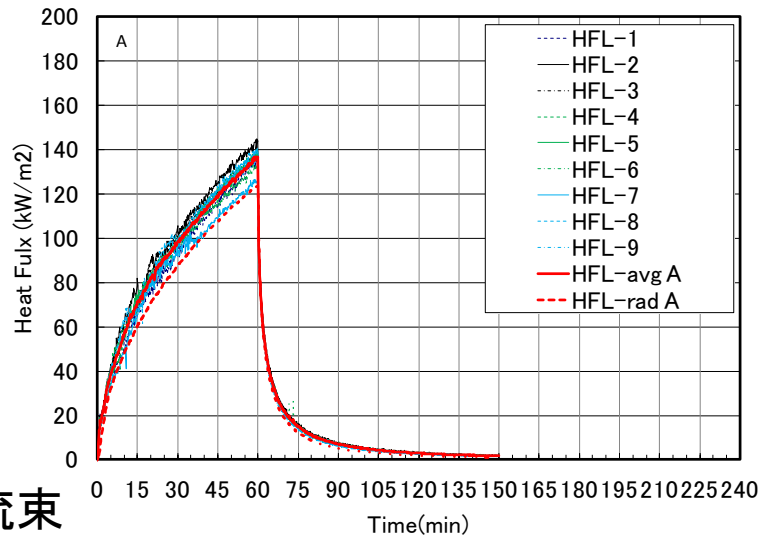




炉内温度



プレート温度計



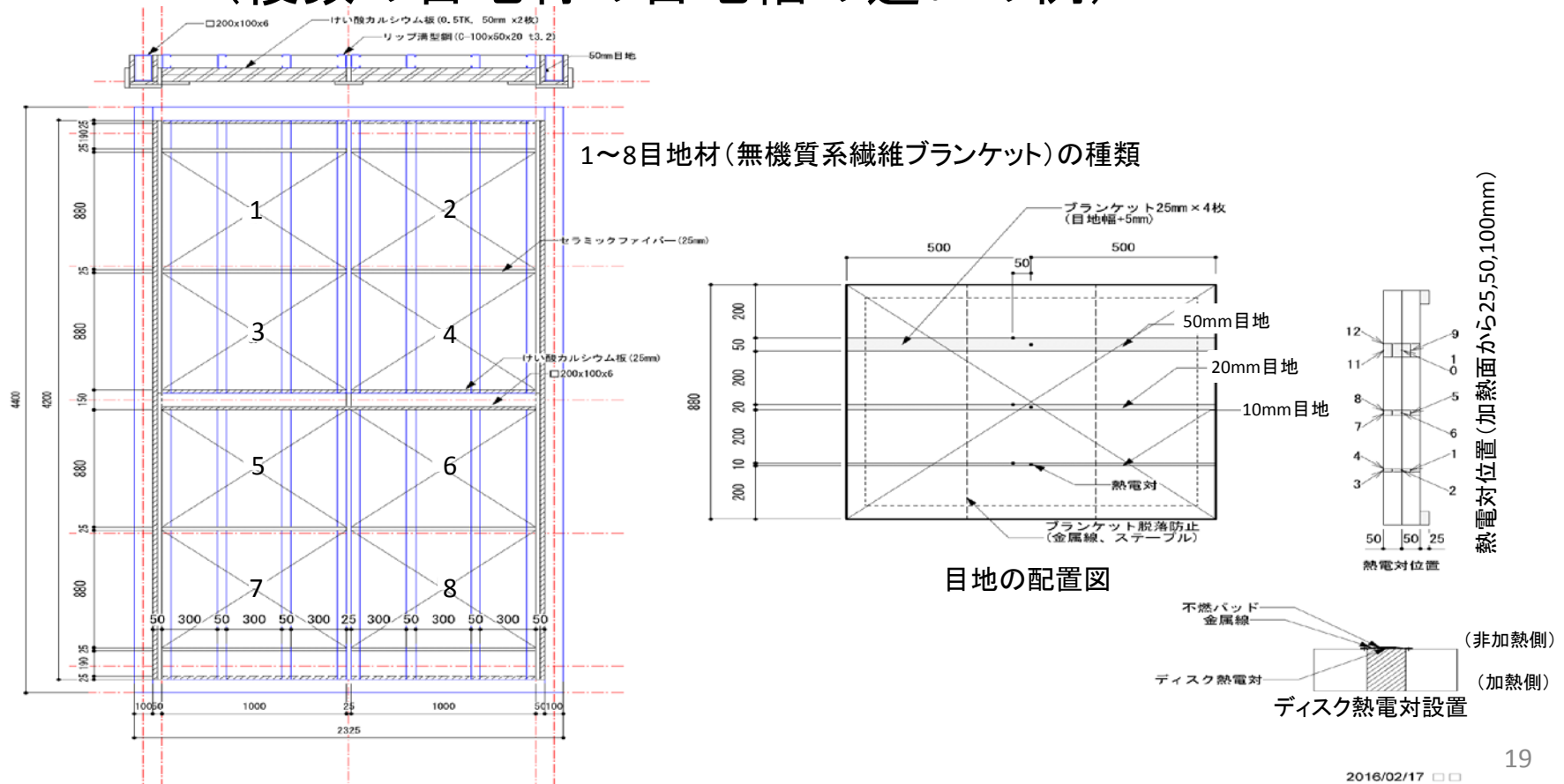
入射熱流束

耐火炉上部が幾分高いが、概ねどの位置でも、同一の加熱条件となる。

実大実験によらない性能評価のあり方検討(2)

壁や取り合い部の目地等の充填材のバリエーションの評価方法

- 目地部のみを再現した加熱試験等による評価
(複数の目地材の目地幅の違いの例)



実大実験によらない性能評価のあり方検討(3)

- 壁や取り合い部の目地等の充填材のバリエーションの評価項目の整理
 - 部位：被覆材などの裏打ち材の場合(合成耐火被覆含む)
 - 期待する機能：溶けないこと、収縮して、隙間が生じないこと、壁・被覆の取り合い部に必要な耐熱性能(高温ガスが、その部分から部材内部に入らないこと)
 - 組成の範囲：無機質の繊維系材料
 - 要求すべき耐熱性能：寸法変化、耐溶融性
 - 確認方法：①寸法変化：JISR3311の熱収縮率測定(温度は、ISO834+ α)
 - ②耐溶融性：組成の範囲が限定されていること、かつ、①での変化状況を確認等

まとめ

防耐火構造(柱・壁)における合理的な性能評価のために必要な調査・実験等を行った。

➤ **(イー1) 耐火構造の鋼柱の性能評価の合理化**

国内外における性能評価方法等について技術的な資料が収集され、耐火被覆の厚さ・種類(反応系、非反応系)、開断面、閉断面等の別に応じた適切な試験体の組み合わせ等について検討した。

耐火構造の木柱に関しては、構造方法に応じた試験方法の課題について整理した。

➤ **(イー2) 壁の防火被覆及び下地に関する合理化**

既存の加熱実験結果等を収集し類型化を行った。代表的な石膏ボード、木質系ボードに関して、被覆厚さと遮熱性の関係を整理した。

➤ **(イー3) 壁炉における中小規模試験体の適用可能性**

試験体各部への加熱強度の均一性の程度が加熱試験により把握した。

➤ **(ハ)RCFを目地充填材として使用した防耐火構造の構造方法**

加熱試験等を実施し、AESファイバーを目地充填材として使用した防耐火構造との同等性を確認する方法を検討した。