

合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火性能

(社) 日本建築学会 防火委員会 合成耐火被覆小委員会

2010年5月31日

(This page intentionally left blank.)

目次

第 1 章	はじめに	1
第 2 章	研究の経緯	3
2.1	これまでの経緯	3
2.2	1988 年（昭和 63 年）3 月作成の合成被覆耐火構造の耐火性能報告書について	3
2.3	今回の研究背景	6
第 3 章	合成耐火被覆材を施した柱・梁の概要	9
3.1	合成被覆を施した柱の概要	9
3.2	合成被覆を施した梁の概要	10
第 4 章	合成被覆耐火構造の用語の定義	11
第 5 章	合成被覆耐火構造の工法と種類	17
5.1	取り合い部の類型化	17
5.1.1	柱	17
5.1.2	梁	18
5.2	耐火構造部材の柱・梁と外装材の距離	19
5.3	外装材の厚・比重（密度）	20
5.4	耐火被覆材の厚・比重（密度）	20
5.4.1	単体被覆	20
5.4.2	合成被覆（被覆材）	21
5.5	合成耐火被覆材を施した柱・梁の仕様（現状）	21
第 6 章	合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火構造試験	27
6.1	試験方法の変遷（2000 年（平成 12 年）5 月以前）	27
6.2	2000 年（平成 12）6 月以降の試験方法	29
6.2.1	概要	29
6.2.2	現在運用されている試験方法	30

6.3	現行耐火試験に係る諸問題	32
6.3.1	耐火鋼および法 37 条認定鋼材の取り扱い	32
6.3.2	無載荷試験で評価された耐火被覆の変形追随性	33
6.3.3	合成耐火被覆の外壁の縦張り・横張りの取り扱い	35
6.3.4	断面拡大評価時の脱落性能についての取り扱い	35
6.3.5	耐火試験体と実建築物における柱・梁部材の拘束条件の違い	37
6.3.6	梁の上面加熱の必要性	38
第 7 章	合成耐火被覆構造の施工方法	39
7.1	プレキャストコンクリート板と吹付ロックウールの合成耐火被覆	39
7.1.1	構成材料	39
7.1.2	プレキャストコンクリート板の施工	41
7.1.3	吹付ロックウールの施工	41
7.2	ALC 壁パネルと吹付ロックウールの合成耐火被覆	43
7.2.1	構成材料	43
7.2.2	ALC 壁パネルの施工	44
7.2.3	吹付ロックウールの施工	44
7.3	品質管理	45
7.3.1	吹付けロックウール施工前の品質管理	45
7.3.2	吹付けロックウール施工後の品質管理	46
第 8 章	まとめ	47

目次

3.1	合成耐火被覆を施した柱例 (吹付ロックウールの場合)	9
3.2	合成耐火被覆を施した梁例 (吹付ロックウールの場合)	10
5.1	柱被覆タイプ別	18
5.2	梁被覆タイプ別	19
6.1	載荷試験時の梁の変形状態	34
6.2	外壁材の縦張り と 横張り	36
6.3	試験体支持方法	37

表目次

5.1	柱被覆の類型化タイプ	17
5.2	梁被覆の類型化タイプ	19
5.3	外壁と鋼材の距離（耐火 1 時間）	23
5.4	バックアップ材の種類（耐火 1 時間）	23
5.5	外壁と鋼材の距離（耐火 2 時間）	24
5.6	バックアップ材の種類（耐火 2 時間）	24
5.7	外壁と鋼材の距離（耐火 3 時間）	25
5.8	バックアップ材の種類（耐火 3 時間）	25
5.9	合成被覆耐火構造の柱・梁の標準的な試験体仕様と評価範囲	26
7.1	プレキャストコンクリート板の標準配合	40

第1章

はじめに

本小委員会は(社)日本建築学会・防火委員会に属し、1980年度(昭和55年度)から今日まで、耐火被覆小委員会、耐火被覆WG、耐火被覆研究会、耐火被覆小委員会、合成耐火被覆小委員会と変遷しながら主要な活動の一つとして鋼構造における異種の耐火被覆工法を合成した工法を研究してきた。たとえば、柱または梁と外壁との取り合い部において外壁を鋼材の被覆の一部として扱う合成耐火被覆工法等についてである。

1979年(昭和54年)に(社)建築業協会より「プレキャストコンクリート板を用いた合成耐火被覆工法の耐火性能評価」についての研究を要請されたことを動機として研究に着手し、その成果の一端を1988年(昭和63年)に「合成被覆耐火構造の耐火性能」報告書にとりまとめをおこなった。当時は異種の工法はそれぞれに十分に耐火性能を有しているにもかかわらず、それらの異種工法を合成した場合には合成した仕様で耐火試験を実施していた。この報告書では当時の評価方法を合理化して、各工法の耐火試験の結果等に基づき、耐火試験を実施せずに合成耐火被覆工法の性能評価を行うことを目的として、評価試験に合格した工法を類型化することで工法の特徴を明確にするとともに、また熱伝導計算によって鋼材の温度上昇を実用的なものとして推測する方法についても検討したものであった。

しかしながら、2000年に建築基準法の改正がおこなわれたが、現在においても異種工法を合成した場合にはすべてその合成した仕様で耐火試験を実施し、その上で評価を行っている。これは、柱および梁については1時間、2時間、3時間の耐火時間が求められるのに対して、1時間以下の耐火性能が確認されているに過ぎない外壁を被覆の一部とすることが性能的に十分であるか確認が得られないこと、また、取り合い部について隙間性状等が明確になっていないことなどが起因する。

本書では上記の検討を受け継ぎ、合成耐火被覆工法の一般的な仕様の告示化を前提として、耐火防火便覧等により一般的に公開された工法、仕様データ等の整っている建築基準法改正以前(2000年5月以前)の建設大臣指定の合成耐火被覆工法を調査してとりまとめたものである。現状は本書に取りまとめを行ったところであるが、今後、日本建築学会指針および告示化を検討していきたい。

まとめるに際し、合成被覆耐火構造の工法と種類について取り合い部の類型化、耐火構造(柱・梁)部材と外壁の距離、外壁および耐火被覆材の厚さ・密度を整理した。

次に合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火構造試験の試験方法の変遷と現行試験の状況について整理を行った。

また、合成耐火被覆材を施した柱・梁の施工方法のうち現在よく使用されている吹付ロックウールとプレキャストコンクリート板、ALCパネルの合成耐火被覆工法について施工方法の記載を行った。

以下に現時点の本小委員会の委員名簿を示す。既述の通り、本書は多数の研究会・小委員会による長年にわたる研究の成果である。これらの研究会・小委員会に参画された方々をはじめ、本成果に貢献いただいた関係各位に厚く御礼申し上げたい。

合成耐火被覆小委員会委員名簿

主査	河野 守	東京理科大学工学部第二部
幹事	白岩 昌幸	(財)建材試験センター中央試験所
	大金 利郎	ロックウール工業会
	佐藤 博臣	(株)イー・アール・エス リスクマネジメント部
	田坂 茂樹	(財)日本建築総合試験所建築物理部
	棚池 裕	東京理科大学総合研究機構火災科学研究センター
	田中 治	太平洋マテリアル(株)営業本部ロックウール営業部
	中村 賢一	元(財)ベターリビング筑波建築試験センター
	成瀬 友宏	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部
	宮崎 孝史	ロックウール工業会

(2010年3月現在)

第2章

研究の経緯

2.1 これまでの経緯

はじめにも記したが本委員会は鋼構造において異種の工法を合成した耐火被覆工法を取り上げ研究してきた。鋼構造の柱および梁はそれ自身では耐火性を有さないため表面に何らかの被覆材を必要とする。この被覆材には吹付け材、塗材、板材、巻き材等があり通常はここに単一材料で被覆を行ったもので大臣認定を取得している。しかし、外壁部分との取り合い部においては外壁と柱および梁の距離があまりないため単一材料での被覆材の施工ができない状況が生じている。これを解決するために外壁材を鋼構造の柱および梁の被覆材の一部として施工する工法が必要となり異種の工法を合成した耐火被覆工法として大臣認定を取得している。しかし、前述の通り単一材料の被覆材は耐火性能を有し、外壁部分は建築基準法の要求により耐火性能を有している。これらは個々の認定はあるものの組み合わせた場合の性能が不確かとすることでその仕様で再度大臣認定の取得を行っている。個々の性能が明確であり組み合わせたときの性能が予測することができれば耐火被覆工法の大員認定取得にかなりの合理化が図れるものと考えられる。

本委員会ではすでに1988年(昭和63年)に一度それまでの大臣認定についてまとめを実施している。その概要について以下に述べるとともに、今回の研究背景についても記す。

2.2 1988年(昭和63年)3月作成の合成被覆耐火構造の耐火性能報告書について

1982年(昭和57年)12月までに大臣指定された合成耐火被覆工法による柱・梁の85件について検討されている。

合成耐火被覆工法の定義は2種類以上の被覆材を用いて鋼構造の耐火被覆を形成するものである。この工法では異種材料を組み合わせる工法と重ね合わせる工法があり、鉄骨柱や鉄骨梁の耐火被覆の一部を外装材で代用する工法は前者に含まれている。

この報告書では合成耐火被覆工法を類型化し、これらの工法の耐火試験結果を収集・整理し、鋼材温度と被覆材料の種類等との関係について分析している。次に合成耐火被覆工法における鉄骨部材の鋼材温度上昇を予測するための実用的な計算方法を提案し、これによる計算結果と上記の耐火試験結果とを比較検討している。

ただし、この報告書については非公開の情報が含まれていることから、未だ一般には公表されていない。

報告書の概略を次に示す。

「合成被覆耐火構造の耐火性能」報告書概略

1988年（昭和63年）3月作成

第1章 まえがき

昭和54年に（社）建築業協会より「プレキャストコンクリート板を用いた合成耐火被覆工法の耐火性能評価」についての研究を要請され耐火被覆工法の合理的な性能評価方法を検討してきた。

本報告書では大臣指定の合成耐火被覆工法の類型化、耐火試験結果の分析、鋼材温度と被覆材料の種類等との関係についての分析をし、鋼材温度の予測計算を行ったものである。

第2章 合成被覆耐火構造の材料と工法

2.1 概要

合成耐火被覆工法とは2種類以上の被覆材を用いて鋼構造の耐火被覆を形成する物である。異種材料を組み合わせる工法と異種材料を重ね合わせる工法がある。

2.2 耐火被覆材の種類

プレキャストコンクリート板と吹付ロックウールの組み合わせ件数がもっとも多くついでプレキャストコンクリート板と石綿けい酸カルシウム板の組み合わせ件数が多い。

2.3 合成被覆工法の種類

柱及び梁については組み合わせ工法による合成被覆構法がほとんどである。これらの組み合わせによる合成被覆構法の種類について調べ、その類型化を行っている。

2.3.1 柱の合成被覆工法

次の3つに大きく分類した。

- ① 柱の1面がプレキャストコンクリート板またはALCパネルで被覆される

- ② 柱の半分がプレキャストコンクリート板またはALCパネルで被覆される
- ③ 柱の3面がプレキャストコンクリート板またはALCパネルで被覆される

その他の合成被覆工法もある。

2.3.2 はりの合成被覆工法

上端フランジ部分は床板にて被覆されるのが一般的である。

次の2つに大別した。

- ① ウェブ部分の片側がプレキャストコンクリート板またはALCパネルで被覆される
- ② ウェブ部分の片側と下端フランジ部分がプレキャストコンクリート板またはALCパネルで被覆されるその他の合成被覆工法もある。

2.4 工法の詳細

被覆材と鉄骨との取り付け方法，被覆材相互の取合い部の処理方法，被覆材と鉄骨の間にあるすき間の有無，の観点から工法の詳細を分析した。

第3章 合成被覆耐火構造の耐火性能

3.1 概要

合成被覆耐火構造として耐火構造指定をうけたものの中からもっとも多い材料組み合わせについて試験結果から耐火性能を調査した。

3.2 柱

3.2.1 試験体

構造別4種、材料別6種の14件

3.2.2 試験結果

鉄骨温度を記載。

3.3 はり

3.3.1 試験体

構造別4種、材料別7種の24件

3.3.2 試験結果

鉄骨温度を記載。

第4章 合成被覆耐火構造の実用計算法

本会環境工学委員会熱分科会第1小委員会の「鋼構造部材の耐火被覆の計算法(報告書)」によると「火災時における鋼材温度は、耐火被覆材の熱定数や水分の移動抵抗などの物性値および材内含有水量、被覆の厚さなど断面形状、受熱時の被覆の変形・破壊・脱落などに対する安定性、さらに鋼材の断面形状や存在応力度などの諸要素に依存する。」とある。この章では有害な変形脱落が無いものとして温度上昇実用計算法について述べる。

4.1 既往の研究

4.1.1 単一材料で被覆された鉄骨の温度上昇計算法

藤井の解析解法をもとに温度上昇実用計算法について導いた。

4.1.2 高温時熱定数の測定結果・計算結果

耐火被覆した鉄骨温度上昇を計算によって求めるには被覆材の熱定数が既知であることが前提で被覆材の熱伝導率と密度の関係が示されている。

4.2.1 複合耐火被覆した鉄骨の温度上昇計算方法(略算法)

藤井の解析解法をもとに鉄骨の温度上昇を計算している。

第5章 まとめ

- (1) 85件の合成被覆耐火構造について調査・分析を実施した。耐火被覆材の材質と組み合わせにはあまり種類がないので鉄骨の温度上昇計算のモデル化は容易である。
- (2) 耐火試験結果を調査し鉄骨温度履歴を材料別、工法別に整理した。鉄骨温度と工法や耐火被覆との間に明確な関係は認められなかった。
- (3) 藤井の解析解法をもとに合成耐火被覆における鉄骨温度上昇実用計算法について導いた。加熱中の最高温度については概ね予測が可能である。

付録1 合成被覆耐火構造データ表

付録2 火災時における合成耐火工法の温度予測計算

2.3 今回の研究背景

現在、耐火構造の柱、梁の評価においても合成被覆耐火構造の申請はかなり多いものとなっている。2000年(平成12年)以降は、合成被覆耐火構造とは外装材を耐火被覆の一部として他を異種の被覆材料として組み合わせたもののみを呼称している。現状、異種の材料

それぞれについてはすでに国土交通大臣の認定を受けてはいるが、取り合い部の性能把握他を考え実仕様に基づいて試験を実施し評価を行っている。これらについて過去のデータ等により試験の省略（一部または全て）をすることができないかを検討することとした。

データの収集等は耐火防火構造材料等便覧より行うこととしたが、2000年5月以前については耐火防火構造材料等便覧により大臣指定を受けたもの全てについて仕様・施工方法等が明確化され記載されていたが、2000年6月以降については承諾者のみの記載となっているため過半が記載されていない状態となっている。このため、本書においては2000年5月以前についてのみ整理を行った。

整理の方法としては合成被覆耐火構造の工法と種類において取り合い部の類型化、耐火構造（柱・梁）部材と外装材の距離、外装材の厚・密度、耐火被覆材の厚・密度のデータを収集し、合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火構造試験方法の変遷および現行試験の状況を整理した。また、施工方法については合成耐火被覆材を施した柱・梁に特化したものとして整理した。ただし、梁部材における床材との取り合いは通常の建物では常にあるものであるため合成耐火被覆材としては今回取り扱わなかった。

鋼構造の柱、梁の工法としては柱、梁に直接被覆材を施工せず、天井材や壁材により中空部を含んだ形態のメンブレン工法が考えられるが、特殊なものを除いて現段階では耐火構造では大臣認定されていないため今回の整理からは除外した。

第3章

合成耐火被覆材を施した柱・梁の概要

3.1 合成被覆を施した柱の概要

合成被覆を施した柱の概要を図 3.1 に示す。同図は柱の中間部分を切断面とする水平断面であり、通常、壁パネルの上側が屋外側である。

なお、図中の用語等は、次章で詳しく説明する。

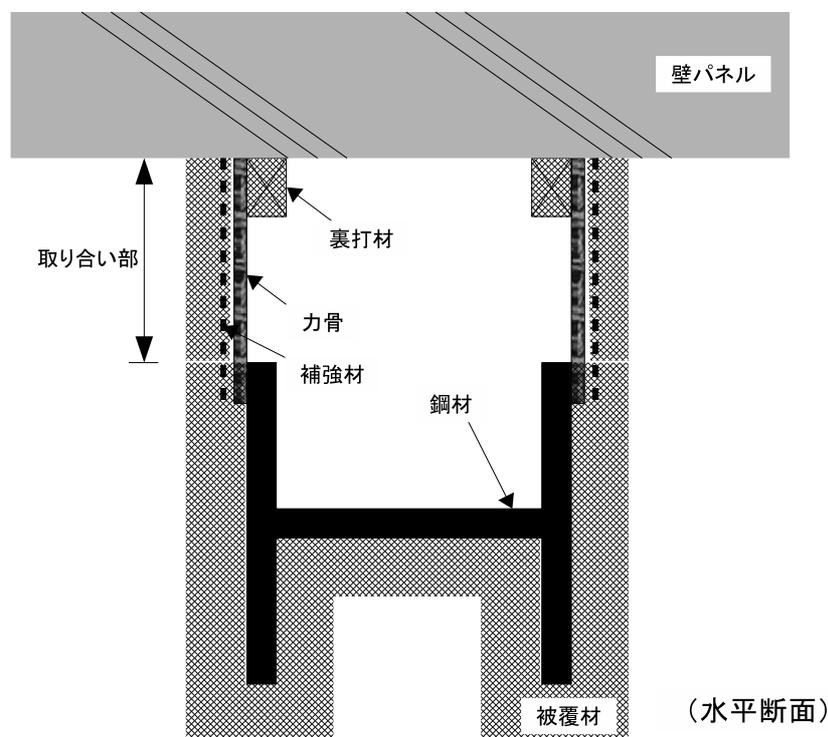


図 3.1 合成耐火被覆を施した柱例 (吹付ロックウールの場合)

3.2 合成被覆を施した梁の概要

合成被覆を施した梁の概要を図3.2に示す。同図は梁の中間部分を切断面とする鉛直断面であり、通常、壁パネルの左側が屋外側である。

なお、図中の用語等は、次章で詳しく説明する。

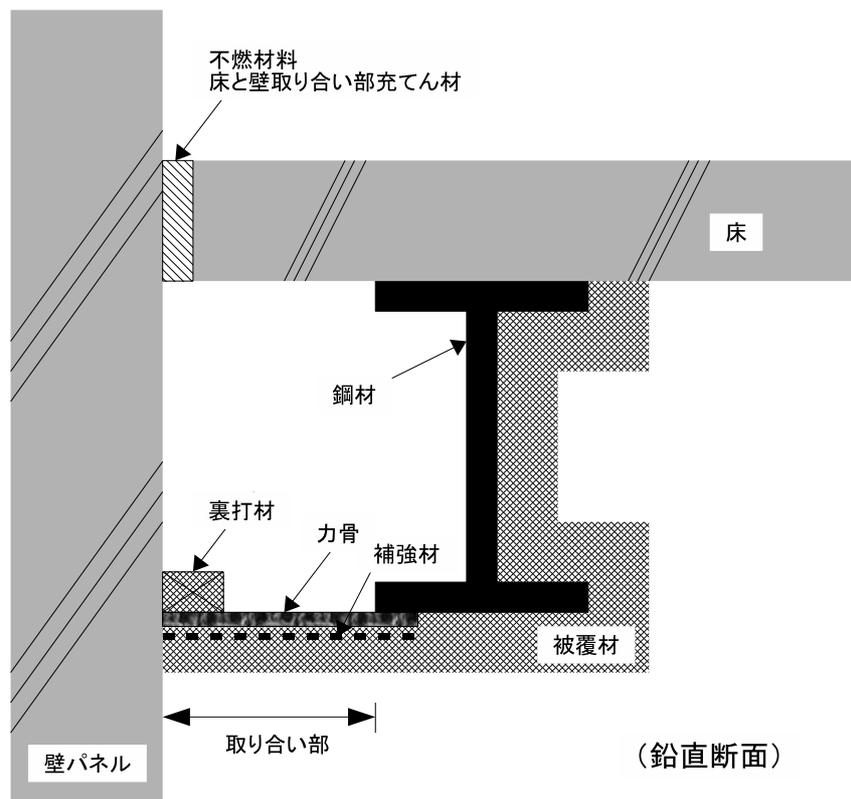


図3.2 合成耐火被覆を施した梁例（吹付ロックウールの場合）

第4章

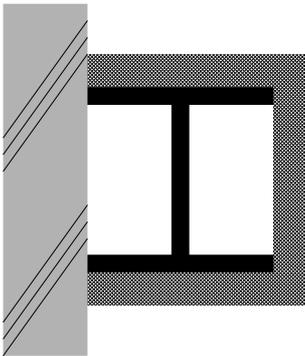
合成被覆耐火構造の用語の定義

① 大臣指定・認定

指定：国土交通大臣が告示等の法において定めるもの（2000年（平成12年）度以前、耐火構造についてはすべて指定であった。）

認定：国土交通大臣が指定した機関が評価したものについて承認するもの

② 合成被覆耐火構造



2種類以上の性質の異なる耐火被覆材を施し、耐火構造として鋼構造（柱・梁）を形成するものである。この構造では異種材料を組み合わせる工法が考えられ、鉄骨柱、鋼管柱や鉄骨梁の耐火被覆の一部を壁パネルで代用する工法である。

2000年以降は、壁パネルを耐火被覆材の一部として他を異種の耐火被覆材として組み合わせただけのもののみを呼称している。

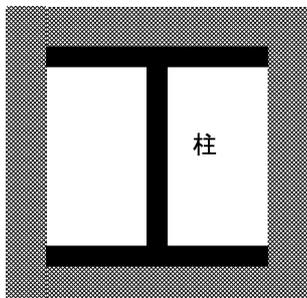
現状、合成被覆耐火構造は壁と柱、梁の取り合い部分において耐火被覆の施工ができないことを補うために施工されるものである。このため、大臣認定においては壁と柱、梁の距離は最大で500mmとしている。それ以上のものについては柱、梁単体で被覆施工することができるものとし、合成被覆耐火構造は認めていない。（メンブレン工法は除く）ただし、床と梁の関係については合成被覆耐火構造としていない。これは梁の上面には床が通常存在し、一般的な構造として認知されているためである。床の性能は建築物の階数に応じた耐火性能となる。

③ 単体被覆

本書においては単一材料または積層材料の被覆材料で鋼構造（柱・梁）を被覆するものとし、2000年以降は壁パネルを被覆の一部とせず異種材料を重ね合わせるもの（積

層) も含んでいる。次の③-1～③-2を含む。通常の建築物で使用される一般的な被覆で柱は4面、梁は上面を除く3面に被覆をおこなったもの。

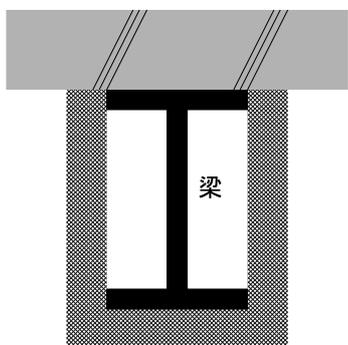
③-1 単一材料の被覆



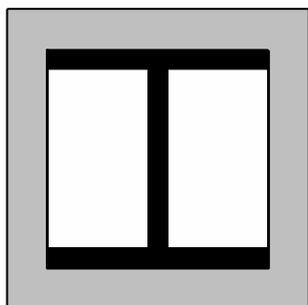
単層の材料を用いて被覆したもの

例 ロックウール吹付鉄骨柱

柱繊維混入けい酸カルシウム板被覆鉄骨柱



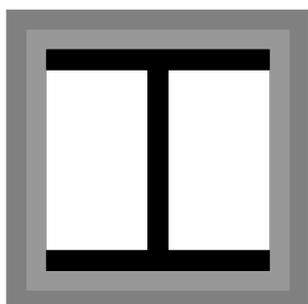
③-2 積層材料の被覆



あらかじめ複数の材料が積層された製品を用いて被覆したもの

例 ロックウール充てん両面亜鉛めっき鋼板被

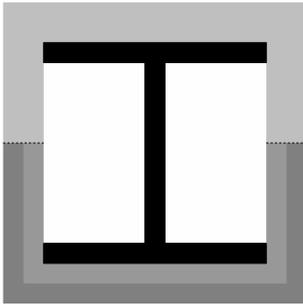
覆鉄骨柱



単層の材料や積層材料を数層重ねて被覆したもの

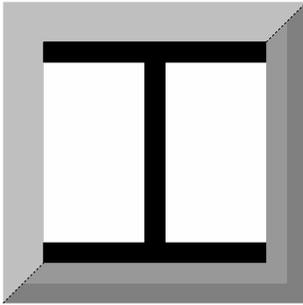
例 せっこうボード重被覆鉄骨柱

④ 単一材料および、または積層材料を組み合わせる被覆



単層の材料や積層材料を異なる面ごとに組み合わせる被覆したもの

例 セッコウボード・ロックウール吹付鉄骨柱



⑤ 複合耐火被覆

以前、合成被覆と同義で使われていたが現在は使用していない。ただし、④や柱の上下で被覆材料を変える仕様を複合被覆と呼んでいる例がある。現在、上下で被覆材料を変える仕様は大臣認定対象外としている。

⑥ 裏打材 (バックアップ材)

壁パネルに耐火接着剤等で貼り付け、被覆材料と壁パネル間に生じる隙間をふさぐ。施工材料はセラミックファイバースランケットやロックウール保温板が多く用いられ、帯材として壁に貼り付けられることが多い。また、壁パネルに盛り上げを設けたり溝を設ける場合がある。

バックアップ材の呼び方は目地部のシール材部にも用いるため注意が必要である。

例 ロックウール 50 mm × 60 mm 比重 0.1 以上

⑦ 補強材

柱・梁材と壁パネル間の空間部分に設置し、被覆材料が脱落しないように補う材料。補強材にはメタルラス、リブラスを用いる場合が多い。

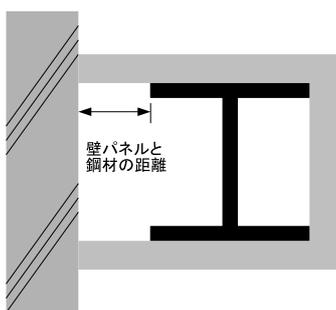
例 平ラス 3号

⑧ 力骨

柱・梁材と壁パネル間の空間部分に設置し、補強材を鉄骨に固定する部材。

例 9 φ @ 450 mm

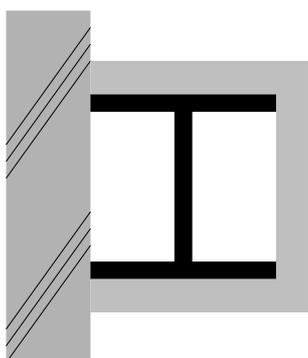
⑨ 壁パネルと鋼材の距離



壁パネルと柱・梁の鋼材までの最短距離。

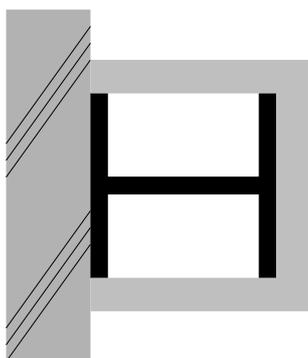
現状、大臣認定の評価では原則として最大 500 mm としている。これ以上は柱、梁単体で被覆が可能である。

⑩ 壁パネルがウェブ (H 形鋼) に平行



壁パネルを H 形鋼のウェブに平行となるように施工。

⑪ 壁パネルがフランジ (H 形鋼) に平行



壁パネルを H 形鋼のフランジに平行となるように施工。

⑫ 壁パネル

現状は外壁 (外壁非耐力耐火仕様) のみを対象とし合成被覆では耐火被覆材料の一部と考えている。

⑬ 耐火被覆材

柱・梁に使用される鋼材を火災から守る材料。荷重支持部材を被覆し、要求耐火性能を確保する。

⑭ 鉄骨

本書においては、H 形鋼を総称して呼んでいる。

⑮ 鋼管

本書においては、角形鋼管および円形鋼管を総称して呼んでいる。

⑯ 「合成被覆耐火構造の耐火性能 (昭和 63 年 3 月作成)」

社) 日本建築学会防火委員会耐火被覆小委員会が委員会資料としてまとめたものであり公開しているものではない。

⑰ 柱

本書においては、建物の荷重を受ける荷重支持部材。

⑱ 梁

本書においては、建物の荷重を受ける荷重支持部材。

⑲ 壁パネル

本書においては、荷重支持部材を被覆する材料の一部として使用し、単体被覆材の一部を省略する。

⑳ 力骨

本書においては、補強材を固定し被覆材の固定を容易にし、脱落を防止する。

㉑ 補強材

本書においては、荷重支持部材と壁パネルの取り合い部の隙間をつなぎ、被覆材の留め付けをおこなう。

㉒ 床

本書においては、梁の上面を被覆しているが認定の条件として扱われていない。

㉓ 取り合い部

本書においては、荷重支持部材と壁パネルの取り合い。

第 5 章

合成被覆耐火構造の工法と種類

5.1 取り合い部の類型化

5.1.1 柱

大臣指定を受けたもののうち耐火 1 時間性能、2 時間性能では 97% 以上が、耐火 3 時間性能では 90% 以上の合成耐火被覆材は 1 面を壁パネルで被覆し、残りの 3 面を耐火被覆材で被覆したものである。他はコの字型の材料と耐火被覆材とで被覆したものとなっている。

類型のタイプを表 5.1 に、各類型の模式図および類型別・耐火時間別図 5.1 に示す。類型は使用鋼材の種類により H 形鋼材と角形鋼管に分類した。また、H 形鋼材は外装材がフランジに平行となるように施工された場合とウェブに平行となるように施工された場合の二つに分けた。さらに耐火被覆材の張り方によりウェブ部分に中空の有り無しに分類した。

表 5.1 柱被覆の類型化タイプ

記号	形鋼	特徴	
A-1	H 形鋼材	外装材がウェブに平行	ウェブ部分に中空無し
A-2	H 形鋼材	外装材がウェブに平行	ウェブ部分に中空有り
B-1	H 形鋼材	外装材がフランジに平行	ウェブ部分に中空無し
B-2	H 形鋼材	外装材がフランジに平行	ウェブ部分に中空有り
C	角形鋼管	外装材と組み合わせ	
D-1	H 形鋼材	異種部材がウェブに平行	ウェブ部分に中空無し
D-2	H 形鋼材	異種部材がウェブに平行	ウェブ部分に中空有り
D-3	角形鋼管	異種部材と組み合わせ	

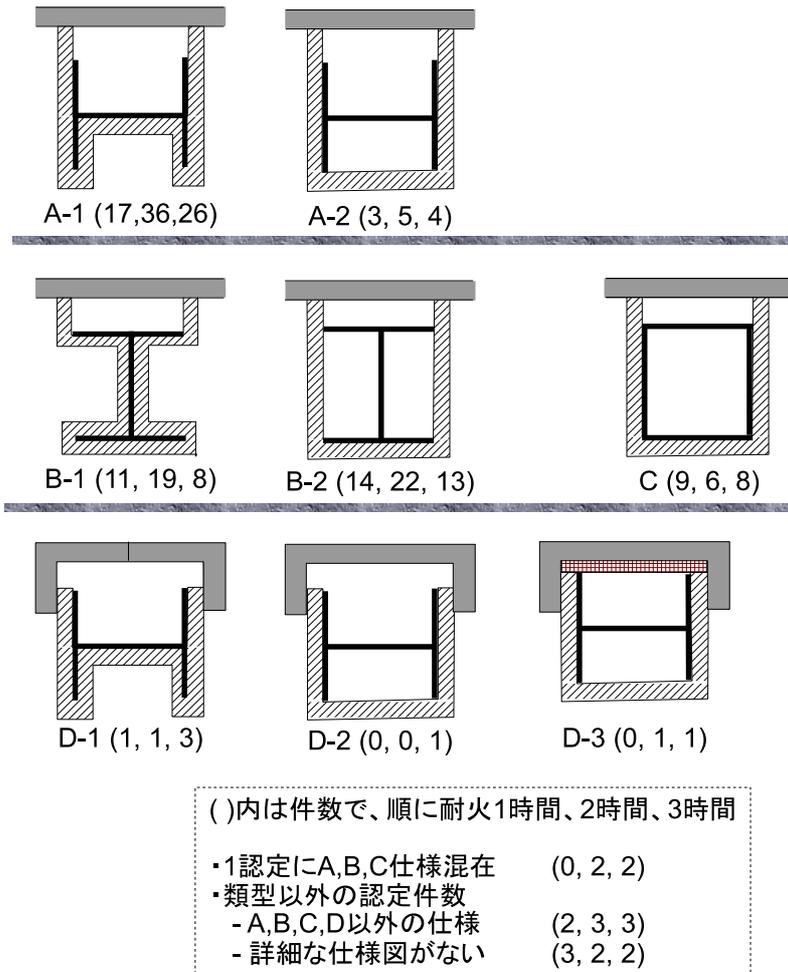


図 5.1 柱被覆タイプ別

5.1.2 梁

大臣指定を受けたもののうち耐火1時間性能、2時間性能では97%以上が、耐火3時間性能では90%以上の合成耐火被覆材は床面を除く1面を壁パネルで被覆し、残りの2面を耐火被覆材で被覆したものである。他はコの字型の材料と耐火被覆材とで被覆したものである。

類型のタイプを表5.2に、各類型の模式図および類型別・耐火時間別件数を図5.2に示す。類型は使用鋼材の種類によりH形鋼材と角形鋼管に分類した。また、耐火被覆材の張り方によりウェブ部分に中空の有り無しに分類した。

表 5.2 梁被覆の種類化タイプ

記号	形鋼	特徴	
A-1	H 形鋼材	外装材と組み合わせ	ウェブ部分に中空有り
A-2	H 形鋼材	外装材と組み合わせ	ウェブ部分に中空無し
C	角形鋼管	外装材と組み合わせ	
D-1	H 形鋼材	異種部材と組み合わせ	ウェブ部分に中空有り
D-2	H 形鋼材	異種部材と組み合わせ	ウェブ部分に中空無し

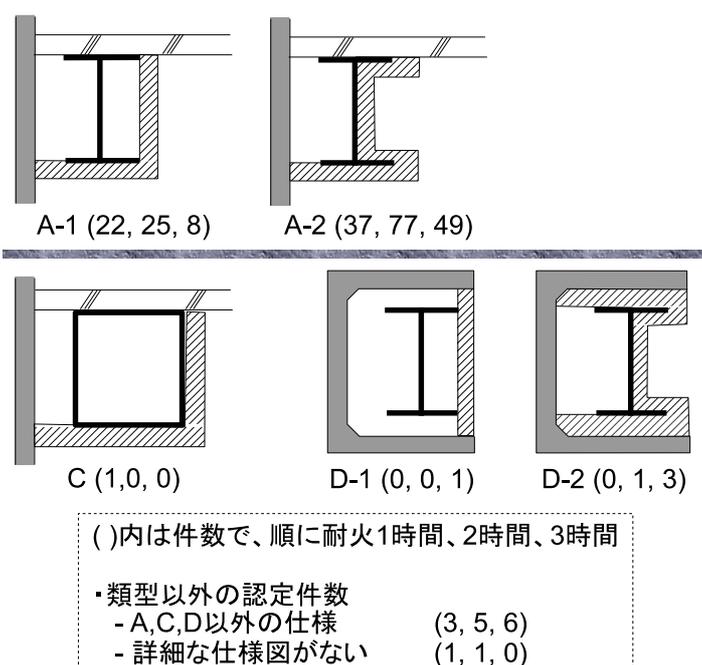


図 5.2 梁被覆タイプ別

5.2 耐火構造部材の柱・梁と外装材の距離

耐火構造部材の柱、梁の大臣指定において1時間、2時間、3時間の性能ごとに柱、梁部材と外装材との距離を大臣指定で認められている最大距離を0mmから500mmまで100mm間隔で分類し指定件数を求めた。その結果を表5.3～5.8に示す。

指定件数の多い距離は柱・梁とも耐火1時間性能で200mm、2時間性能で300mm、3時間性能で400～500mmとなっている。指定の範囲において最大距離は600mmとなっている。

柱、梁部材と外装材との取り付け部にはバックアップ材や補強板が用いられることが多

く、これらの件数についても整理を行った。さらに耐火3時間性能については耐火構造部材の柱・梁と外装材との取り合い部にバックアップ材が設けることが推奨されている。その結果、柱、梁部材と外装材との距離が短い場合の指定を除き、ほとんどの指定でバックアップ材または補強板が使用されている。バックアップ材の仕様はロックウール、セラミックファイバーブランケットとけい酸カルシウム板が多い結果となっている。

5.3 外装材の厚・比重(密度)

外装材は大臣指定の過半がコンクリート系板とALCパネルとなっている。その他には押出成形板等が指定を受けている。これらの厚はおおむね耐火1時間性能で50mm～100mm、耐火2時間性能で40mm～145mm、耐火3時間性能で40mm～150mmとなっている。

比重(密度)は耐火1時間性能で0.3～1.9、耐火2時間性能で0.3～2.4、耐火3時間性能で0.45～2.2となっている。

5.4 耐火被覆材の厚・比重(密度)

耐火被覆材の厚と比重(密度)を単体耐火被覆と合成耐火被覆とに分けて整理すると下記のようになる。ただし、薄い被覆材の指定には鋼管コンクリートとの併用により指定を受けているものがある。

5.4.1 単体被覆

柱			梁		
耐火性能	被覆材の厚さ(mm)	比重	耐火性能	被覆材の厚さ(mm)	比重
1時間	6～75	0.1～1.6	1時間	15～50	0.075～0.9
2時間	9～75	0.1～1.6	2時間	21～66	0.096～1.6
3時間	6～80	0.1～1.9	3時間	30～95	0.096～1.5

5.4.2 合成被覆 (被覆材)

柱			梁		
耐火性能	被覆材の厚さ (mm)	比重	耐火性能	被覆材の厚さ (mm)	比重
1 時間	10 ~ 50	0.075 ~ 0.9	1 時間	13 ~ 40	0.096 ~ 0.9
2 時間	15 ~ 50	0.085 ~ 0.85	2 時間	21 ~ 50	0.096 ~ 0.85
3 時間	25 ~ 65	0.3 ~ 0.85	3 時間	20 ~ 65	0.096 ~ 1.8

5.5 合成耐火被覆材を施した柱・梁の仕様 (現状)

① 柱 (試験時の仕様と性能)

標準材 H-300 × 300 × 10 × 15、 -300 × 300 × 9

標準材の断面寸法以上を有する柱

(但し、試験の標準材を無くす方向)・・・鉄骨材は試験用に与えている。

鋼種 (標準) SS400 (JIS 品の 400 または 490 を使用)

② 梁 (試験時の仕様と性能)

標準材 H-400 × 200 × 8 × 13

標準材の断面寸法以上を認める。

(但し、標準材を無くす方向)

鋼種 (標準) SS400 (JIS 品の 400 または 490 を使用)

③ 壁パネル

仕様 (外壁非耐力 1 時間または 30 分間の) 大臣認定または指定 (例示) が必要

④ 耐火被覆材

仕様 単体被覆での認定を取得している。

⑤ 力骨

仕様 JIS G 3112(鉄筋コンクリート用棒鋼) 9 φ 以上 @ 450 mm 以内溶接にて
柱・梁鋼材に取り付ける。

⑥ 裏打材 (バックアップ材)

仕様 裏打材は無機系接着剤またはタッピンネジ (ALC) にて壁パネルに留めつける。

ロックウールボード、ロックウール保温板比重 0.1 以上

けい酸カルシウム板比重 0.2 以上

セラミックファイバーブランケット

注) 吹付けロックウールの場合、PC 板との合成被覆耐火構造 (1 時間、2 時間、3 時間) に ALC パネルとの合成被覆耐火構造 (3 時間) に用いる。

⑦ 補強材

仕様 ラス : JIS A 5505(メタルラス) 防せい処理をした平ラス 3 号または同等品

鉄板 : JIS G 3302(亜鉛鉄板) 厚さ 0.4 mm 以上

(JIS G 3101(一般構造用圧延鋼材) 厚さ 1.6 mm 以上) 力骨としての機能もある。

力骨に結束線、ビスまたは溶接にて留めつける。

⑧ 床

仕様 ALC, PC, 繊維混入けい酸カルシウム板で試験を実施・・・耐火構造の床

⑨ 取り合い部

仕様 壁と鋼材の距離の最大は 500 mm とする。これについては 2000 年 6 月以前の (財) 日本建築センターにおける評価において、それ以上距離は単一材料での被覆が可能であるため合成被覆耐火構造は認めておらず、現在も同様の理由で認めていない。また、間仕切壁との合成耐火被覆は単一材料での被覆が可能であるため現状認めていない。外壁は工事の安全性により被覆材より先に施工する。

⑩ 柱と梁の接合部

仕様 現状は特に定めはない。鋼構造の柱と梁の被覆材がそのまま延長されれば特に大きな問題はなかったが、木質材料の柱および梁の場合には注意を要する。

表 5.3 外壁と鋼材の距離 (耐火 1 時間)

【柱の耐火 1 時間】				
外壁と鋼材の 距離 (mm)	件数	内 バックアップ 有り	内 補強板有り	バックアップ材 or 補強板有り
0	7	0	0	0
~100	13	7	3	9
~200	16	12	12	16
~300	4	4	4	4
~400	4	3	4	4
~500	9	5	7	7
制限なし	7	5	2	6
【梁の耐火 1 時間】				
0	9	5	0	5
~100	10	4	1	4
~200	14	7	12	13
~300	8	7	4	8
~400	9	6	5	8
~500	9	9	8	9
制限なし	5	2	1	2

表 5.4 バックアップ材の種類 (耐火 1 時間)

【柱の耐火 1 時間】					(件)
バックアッ プ材無し	バックアッ プ材有り	ロックウール	ロックウール またはけい酸 カルシウム板	けい酸 カルシウム板	その他 (無指定 を含む)
25	35	10	2	6	17
【梁の耐火 1 時間】					
24	40	18	2	4	16

表 5.5 外壁と鋼材の距離（耐火 2 時間）

【柱の耐火 2 時間】				
外壁と鋼材の 距離 (mm)	件数	内 バックアップ 有り	内 補強板有り	バックアップ材 OR 補強板有り
0	12	2	1	4
~100	10	6	3	8
~200	16	12	10	15
~300	22	18	18	22
~400	18	15	15	18
~500	5	4	5	5
制限なし	8	4	5	8
【梁の耐火 2 時間】				
0	11	6	1	6
~100	8	6	3	8
~200	16	10	12	14
~300	27	13	21	26
~400	12	9	10	12
~500	13	10	12	13
制限なし	11	8	8	11

表 5.6 バックアップ材の種類（耐火 2 時間）

【柱の耐火 2 時間】					(件)
バックアッ プ材無し	バックアッ プ材有り	ロックウール	ロックウール またはけい酸 カルシウム板	けい酸 カルシウム板	その他 (無指定 を含む)
30	61	31	2	17	11
【梁の耐火 2 時間】					
36	62	24	1	15	22

表 5.7 外壁と鋼材の距離 (耐火 3 時間)

【柱の耐火 3 時間】				
外壁と鋼材の 距離 (mm)	件数	内 バックアップ 有り	内 補強板有り	バックアップ材 or 補強板有り
0	3	0	0	0
~100	5	3	0	3
~200	8	7	4	8
~300	12	8	10	12
~400	10	8	13	10
~500	12	12	12	12
制限なし	15	9	10	12
【梁の耐火 3 時間】				
0	6	2	4	4
~100	4	1	0	1
~200	10	7	7	10
~300	15	12	14	15
~400	11	10	9	11
~500	13	12	13	13
制限なし	7	0	1	1

表 5.8 バックアップ材の種類 (耐火 3 時間)

【柱の耐火 3 時間】					(件)
バックアッ プ材無し	バックアッ プ材有り	ロックウール	ロックウール またはけい酸 カルシウム板	けい酸 カルシウム板	その他 (無指定 を含む)
18	47	10	2	15	20
【梁の耐火 3 時間】					
22	44	14	0	18	12

表 5.9 合成被覆耐火構造の柱・梁の標準的な試験体仕様と評価範囲

部位	試験体仕様	評価の範囲
鋼材 (試験体の標準)	梁 H-400 × 200 × 8 × 13	断面寸法以上 載荷試験によるものは規格を限定
	柱 H-300 × 300 × 10 × 15 -300 × 300 × 9	
床* (試験体の標準)	ALC	耐火構造の床
	PC	
	繊維混入けい酸カルシウム板	
裏打材	ロックウール保温材	NM-8600 JIS A 9504
	セラミックファイバースランケット	NM-8436, 8437, 8483, 8621 ~ 8626, 8774, 8775, 8777, 8778
補強材	メタルラス他	JIS A 5505
力骨	鉄筋コンクリート用棒鋼他	JIS G 3112

* : 梁の試験のみ

第 6 章

合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火構造試験

6.1 試験方法の変遷（2000 年（平成 12 年）5 月以前）

試験方法は法律に基づき、運用事項については建築研究所の指導の下、実施していた。1995 年（平成 7 年）3 月に運用指針（通称ピンク本）が発行されている。

(1) 昭和 44 年建設省告示第 2999 号（昭和 44 年 5 月 31 日）による

- 加熱温度は告示で規定
- 加熱温度は先端封じの鋼管に 1.6 ϕ の K 熱電対で測定
- 無載荷で試験を行い鋼材温度で測定

判定値	最高温度 450
	平均温度 350

但し、平均温度の換算方法は時期により異なる。原則的に三断面で測定。
- 後追いについても最高温度が出るまで計測した時期と要求耐火時間で終了した時期がある。
- 加熱終了後の炉の開放状態は機関および時期により差異あり
- 残炎の判定あり（終了後 10 分以上）
- 柱には衝撃試験（30 分以上加熱の試験体を使用）あり

1 時間	5 kg
2 時間以上	10 kg

(2) 運用事項

1969 年～1986 年（昭和 44 年～昭和 61 年）前後

昭和 44 年建設省告示第 2999 号の記載事項以外については以下の運用がされていた。

- ① 試験体の鋼材寸法を柱は 300 × 300 の H 形鋼、梁は 400 × 200 の H 形鋼を使用
- ② 試験時の含水率は気乾状態
- ③ 加熱終了後の冷却は特に定めがなく、炉の開放や強制的な冷却を実施
- ④ 鋼材温度は柱においては全点の平均温度で、梁においてウェブおよび下端フランジの平均で判定
- ⑤ 計測器は打点記録計を使用
- ⑥ 温度計測は、全点が最高温度を示すまで測定

1986 年～1994 年 11 月（昭和 61 年～平成 6 年 11 月）

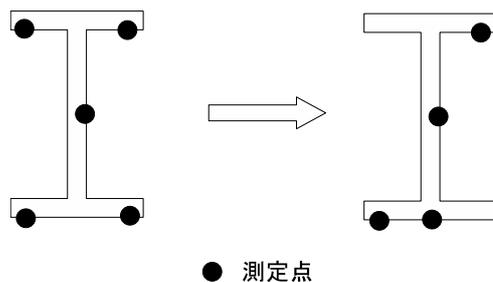
上記以外に以下の事項が運用されていた。

- ① 試験時の含水率は 5 % 以下、別サンプルを製作し管理
- ② 計測器はデータロガーおよびコンピュータに変更
- ③ 加熱終了後の冷却は過度にならないように実施
- ④ 平成 5 年に梁の平均鋼材温度は下端フランジの平均で判定に変更
- ⑤ 平成 4 年に、梁の試験体長を 4 m 以上に変更（それまでは 3 m 以上）

1994 年 12 月～2000 年 5 月（平成 6 年 12 月～平成 12 年 5 月）（運用指針による）

上記以外に以下の事項が運用されていた。

- ① 試験体の鋼材寸法を柱は H 形鋼 H-300 × 300 × 10 × 15、梁は H-400 × 200 × 8 × 13 を使用する。角形鋼管および丸形鋼管の寸法はこれに準拠する。
- ② 試験時の含水率は 5 % 以下、ただし、別途気乾状態を証明できるものはその気乾状態で試験。サンプルは試験体そのものより採取
- ③ 試験体寸法は柱 2.5 m 以上、梁 4.0 m 以上
- ④ 柱の平均温度は上、中、下の断面毎に、梁の平均温度は上端フランジ、ウェブ、下端フランジごとに平均し判定
- ⑤ 温度判定は加熱終了時点で実施
- ⑥ 梁の測定点を次図のように変更



6.2 2000年(平成12)6月以降の試験方法

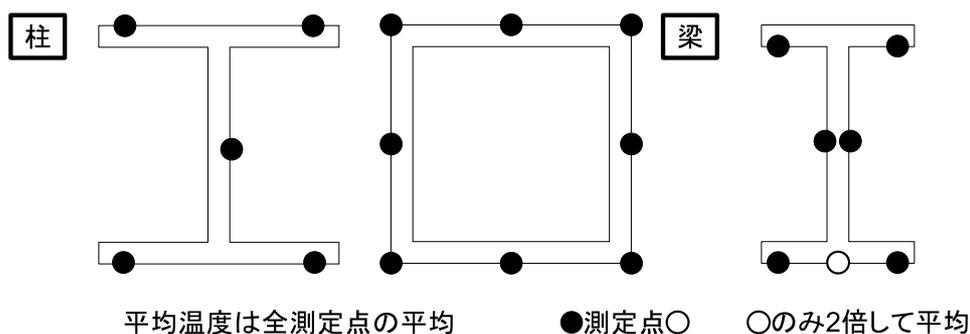
6.2.1 概要

性能評価機関業務方法書による

- 加熱温度は ISO 834 の標準加熱温度に同じ
- 加熱温度は 3.2 φ の SK シース熱電対で測定
- 加熱終了後の炉の開放状態は開放せず加熱終了時の状態を維持する
- 要求耐火時間の 3 倍後追いを行い試験終了とすることが原則。ただし構成材料が準不燃材料であるものは要求耐火時間の 1.2 倍の時間加熱を行い、その時点で試験終了とすることができる。
- 3 倍後追いの場合には、最高温度が出るまでまたは残炎がなくなるまで計測を延長することができる。
- 1.2 倍加熱の場合は、加熱終了時点で判定し鋼材温度および変形量、変形速度で判定となる。
- 残炎の判定項目なし
- 衝撃試験なし
- 無荷加熱試験または荷加熱試験にて測定

① 無荷加熱試験の判定

- － 鋼材温度 最高鋼材温度 450
- 最高平均鋼材温度 350



- － 断面ごと平均する。原則的に 3 断面で測定する。
- － 合成耐火被覆についても同じ

② 荷加熱試験の判定

- － 断面に長期許容応力度に相当する応力度が生ずるように荷する。

柱

最大軸方向収縮量 (mm) : $h/100$

最大軸方向収縮速度 (mm/分) : $3h/1000$

h : 試験体初期高さ (mm)

梁

最大たわみ量 (mm) : $L^2/400d$

最大たわみ速度 (mm/分) : $L^2/9000d$

L : 試験体の支点間距離 (mm)

d : 試験体の構造断面の圧縮縁から引張縁までの距離 (mm)

— 合成耐火被覆についても同じ

6.2.2 現在運用されている試験方法

(1) 柱耐火構造試験

1) 単一被覆

- 4面加熱試験
- 載荷試験または無載荷試験
- H形鋼または角形鋼管にて試験をそれぞれで実施
- 有効加熱長さ 3 m 以上
- 鋼種は SS400 とする
(2007 年変更) JIS 品の 400 N/mm² クラスまたは 490 N/mm² クラスを使用、590 N/mm² クラスは別とする
- H-300 × 300 × 10 × 15 を標準材とする
(2007 年変更) 標準材をなくす
- 角形鋼管の指定はないが 300 × 300 × 9
(2007 年変更) 標準材をなくす
- 標準材より小さい断面は別途試験を実施
(2007 年変更) 最小断面で実施
- 上下の載荷治具との取り合い部は球座にて支持
- 判定は載荷試験では 最大軸方向収縮量 $h/100$ (mm)
最大軸方向収縮速度 $3h/1000$ (mm/分)
- 無載荷試験では 最高鋼材温度 450
最高平均鋼材温度 350
- 収縮量は試験体底部で変位計 4 本または対角 2 本にて測定し平均値
- 鋼材温度は全測定点の平均 (目地が有る場合はその断面を追加)

(評価)

- 鋼種は特に指定されていない物がある。最近では JIS 品に限るが一部 37 条認定品で確認がとれたものは含むことができる
- 標準材で試験を実施した場合は標準断面寸法以上
- 標準材以下で試験を実施した場合は実施断面から標準材断面寸法まで
- 鋼材強度については特にふれていない物が多い

2) 合成耐火被覆(上記以外)

- 外壁は外壁非耐力 1 時間(30 分間)以上の壁の認定を取得
- 外壁と鋼材の距離は最小と最大を実施
(ただし、単一被覆にて認定を取得している物は最大で実施)
(2007 年変更) 最大で実施
- 外壁と鋼材の距離の最大は 500 mm
- 鋼材温度は全測定点の平均(目地がある場合はその断面を追加)

(評価)

外壁を ALC で実施した場合、RC および PC はバリエーションとして可

(2) 梁耐火構造試験

1) 単一被覆

- 3 面加熱試験(ただし、吹き抜け部等に使用される場合には 4 面の必要性あり)
- 載荷試験または無載荷試験
- H 形鋼にて試験をそれぞれで実施
- 有効加熱長さ 4 m 以上
- 鋼種は SS400 とする
(2007 年変更) JIS 品の 400 N/mm² クラスまたは 490 N/mm² クラスを使用、590 N/mm² クラスは別とする
- H-400 × 200 × 8 × 13 を標準材とする
(2007 年変更) 標準材をなくす
- 標準材より小さい断面は別途試験を実施
(2007 年変更) 最小断面で実施
- 底部の支持部はローラーとピンにて支持
- 判定は載荷試験では 最大たわみ量 $L^2/400d$ (mm)
最大たわみ速度 $L^2/9000d$ (mm/分)

- 無載荷試験では 最高鋼材温度 450
最高平均鋼材温度 350
- たわみ量は試験体上部で変位計にて中央部を測定
- 鋼材温度は 3 断面それぞれ 7 点測定し、各断面で判断（目地が有る場合はその断面を追加）
- 載荷は三等分二線にて実施

（評価）

- 鋼種は特に指定されていない物がある。最近では JIS 品に限る
- 標準材で試験を実施した場合は、標準断面寸法以上を認定範囲とできる
- 標準材以下で試験を実施した場合は、実施断面から標準材断面寸法までを認定範囲とできる
- 鋼材強度については特にふれていない物が多い
- 床は ALC または RC

2) 合成耐火被覆（上記以外）

- 外壁は外壁非耐力 1 時間（30 分間）以上の壁の認定を取得
- 外壁と鋼材の距離は最小と最大を実施
（ただし、単一被覆にて認定を取得している物は最大で実施）
（2007 年変更）最大で実施
- 外壁と鋼材の距離の最大は 500 mm
- 鋼材温度は 3 断面それぞれ 7 点測定し、各断面で判断（目地が有る場合はその部分を追加）

（評価）

外壁を ALC で実施した場合、RC および PC はバリエーションとして可

6.3 現行耐火試験に係る諸問題

本節では、合成耐火被覆を施した柱・梁を含めて、現状の柱および梁の耐火試験において留意すべき事項について論じる。

6.3.1 耐火鋼および法 37 条認定鋼材の取り扱い

旧法時代における「防火性能評定にかかる評定基準等」の記述によると、梁・柱について H 形鋼の試験成績書を添付することで、同様の耐火被覆材およびその工法を用いた丸形鋼お

よび角形鋼管も同時に申請することができた。また、試験方法に無載荷加熱試験が用いられ座屈等の変形が生じる前の温度を判定基準としていたため、鋼種も限定しておらず、幅ひろい評価範囲であった。

2000年(平成12年)に新法に移行したが、移行当初は鋼材の形状と F 値程度で鋼種については記載されていなかった。しかしながら、載荷加熱試験方法が加わって、判定値が温度から変形状になり、鋼材の破壊温度に近いものについても認定がされるようになったため、鋼種については限定せざるをえない状況となった。その結果、鋼種については、高温性状について過去の実験、研究等のデータ等が豊富であり知見もある JIS 規格品に絞られたものといえよう。法 37 条認定品については JIS 規格品と比較してデータ、知見等の少ないこともあり、現在に至るまで慎重に性能評価機関において協議を重ねているのが現状であるが、構造設計上は JIS と同等であるはずの法 37 条認定品を防火性能の評価で今後も認めないままとするのは望ましい状況ではない。

現在、性能評価機関では法 37 条認定品のなかで F 値が 440 N/mm^2 以下である 4 種類程の鋼材について協議しており、鋼材温度判定で試験を実施した場合には、JIS 規格鋼材品と同じく、安全側の評価であるため JIS 規格品と法 37 条認定品は同等の扱いになる見通しである。

新しく開発される F 値が 440 N/mm^2 を超える製品については、その都度、高温時の性能を確認した上で新たな提案を行っていく。また、載荷加熱試験で評価を行うものについては、限定で評価を行う方向のため問題はない。以上のことから耐火鋼についても法 37 条認定品と同様の扱いになる可能性がある。

これら新たな鋼種の認定が可能になった場合は、合成耐火被覆に関連して述べれば、まず新たな鋼材で単体被覆による認定を取得して、合成耐火被覆の認定を取得する流れになっていくであろう。

6.3.2 無載荷試験で評価された耐火被覆の変形追従性

耐火試験時の梁(スパン長 l 、曲げ剛性 EI)には、図 6.1(a) のように梁の 3 等分点に $P/2$ の荷重が作用している。このとき、曲げモーメント分布は図 6.1(b) に示す通り中央部で一定となる。

支持点を原点とし、材軸方向の座標を x とすると、曲げモーメントは次の関数となる(以下では、 $\frac{2l}{3} < x$ は省略)。

$$M(x) = \begin{cases} \frac{P}{2}x, & (0 \leq x \leq \frac{l}{3}) \\ \frac{Pl}{6}, & (\frac{l}{3} \leq x \leq \frac{2l}{3}) \end{cases} \quad (6.1)$$

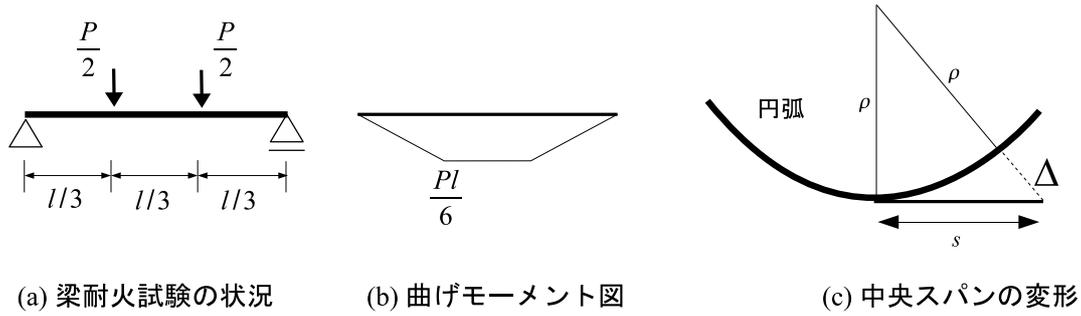


図 6.1 載荷試験時の梁の変形状態

弾性変形の場合、梁の曲率関数は曲げモーメントと次の関係にある。

$$\kappa(x) = \frac{M(x)}{EI}$$

図 6.1 の梁については、中央部 $1/3$ スパンでは曲げモーメントが一定であるため、曲率は一定となる。すなわち、曲率半径 $\rho = 1/\kappa$ の円弧を描くことになる。また、両側の曲げモーメントは中央部の一定値より小さいため、両側では曲率も中央部より小さい。したがって、ボードと変形した梁との離隔距離を考える上では中央部のみ検討すれば良いことになる。

さて、この梁のたわみ関数は次式で与えられる。

$$v(x) = \begin{cases} \frac{Pl^3}{36EI} \left(\frac{2x}{l} - \frac{3x^3}{l^3} \right), & (0 \leq x \leq \frac{l}{3}) \\ \frac{Pl^3}{12EI} \left(\frac{x}{l} - \frac{x^2}{l^2} - \frac{1}{27} \right), & (\frac{l}{3} \leq x \leq \frac{2l}{3}) \end{cases} \quad (6.2)$$

梁のたわみが限界値となる時、以下の関係式が成立する。

$$v(l/2) = \frac{Pl^3}{12EI} \frac{23}{108} = \frac{l^2}{400d} \quad (6.3)$$

ここに、 d は梁せいである。この関係式を用いると、中央 $1/3$ スパンの円弧の曲率は次式で与えられる。

$$\rho = 1/\kappa = \frac{6EI}{Pl} = \frac{23 \times 400d}{216} \quad (6.4)$$

$d = 400 \text{ mm}$ とすると、 $\rho = 17.04 \times 10^3 \text{ mm}$ となる。

円弧と接する線分上にある接点から s 離れた点を考えると、図 6.1(c) の幾何学的関係から次式を得る。

$$(\rho + \Delta)^2 = \rho^2 + s^2 \quad (6.5)$$

これを解くことにより、幅 s のボードとたわみ限界まで変形した梁との離隔距離 Δ が求まる。

$$\Delta = -\rho + \sqrt{\rho^2 + s^2} \quad (6.6)$$

ボードの幅（または、接着点からのボードの出）を 600 mm、910 mm とすると $\Delta = 10.6$ mm、 $\Delta = 24.3$ mm とそれぞれ計算される。すなわち、被覆材として使用するボードが幅 910 mm の場合、一枚当たり約 24.3 mm 程度のたわみ追随性が必要となる。

（無載荷）加熱試験の場合には、このような被覆材の変形追従性が完全には確認されない。したがって、被覆材がボード等の硬質な成形材料であれば、留め付けピッチによりボードの割れ、脱落の可能性があるため留意が必要である。もちろん柔軟性に富む被覆材料であれば、変形追従性は大きな問題とはならない。

6.3.3 合成耐火被覆の外壁の縦張り・横張りの取り扱い

ALC 板、窯業系建材などに代表される外壁材は、ファスナーを介して留め付け施工が一般的である。例として、外壁材に ALC 板を使用した柱合成耐火被覆試験体の縦張りおよび横張りの試験体を図 6.2 に示す。

縦張りは、長さ約 3 m の ALC 板を中央部に縦目地を入れて上下をファスナーで固定する。横張りは、幅が約 600 mm の ALC 板 5 枚を目地部が 4 か所となるように均等に留め付ける。

試験（載荷加熱）における外装材の張り方の違いによる影響は、縦張りは、ALC 板などの外装材のボードの変形が横張りよりも大きくなり、外装材の変形による柱部材との隙間の開きが懸念され、隙間からの熱的な影響が大きいと考えられる。

一方、横張りの場合は、試験体に使用するボードの寸法が小さいことからボードの変形よりも、弱点部の接合部の目地部分が増えることから、目地部分の変化による熱的な影響が大きいと考えられる。これら火災の侵入などによる熱的な影響は鋼材温度を上昇させ、鋼材温度判定はもとより載荷加熱試験も鋼材温度上昇による変形などを早めるなどの影響を与える。

以上のように、柱または梁の試験体においては、それぞれ外装材の熱的影響における変形性状が異なることから、外装材などの縦張りまたは横張りの違いによる耐火性能の有利不利の判断が難しい現状から、その取り扱いは、基本的に個々対応が必要とされる。

6.3.4 断面拡大評価時の脱落性能についての取り扱い

2000 年（平成 12 年）以降の新法に基づく性能評価運用当初は、梁・柱の評価においては、各性能評価機関の載荷装置の能力等の問題から鋼材は標準断面（梁においては H-400 × 200 × 8 × 13、柱は H-300 × 300 × 10 × 6、 \square -300 × 300 × 9 であった）により評価試験を実施することを基本としていた。

必要に応じて、申請に標準断面以下が記載されていれば最小断面による確認試験の追加や、断面拡大に対しては被覆材の保持性能低下を防止するため施工方法を限定して評価とし

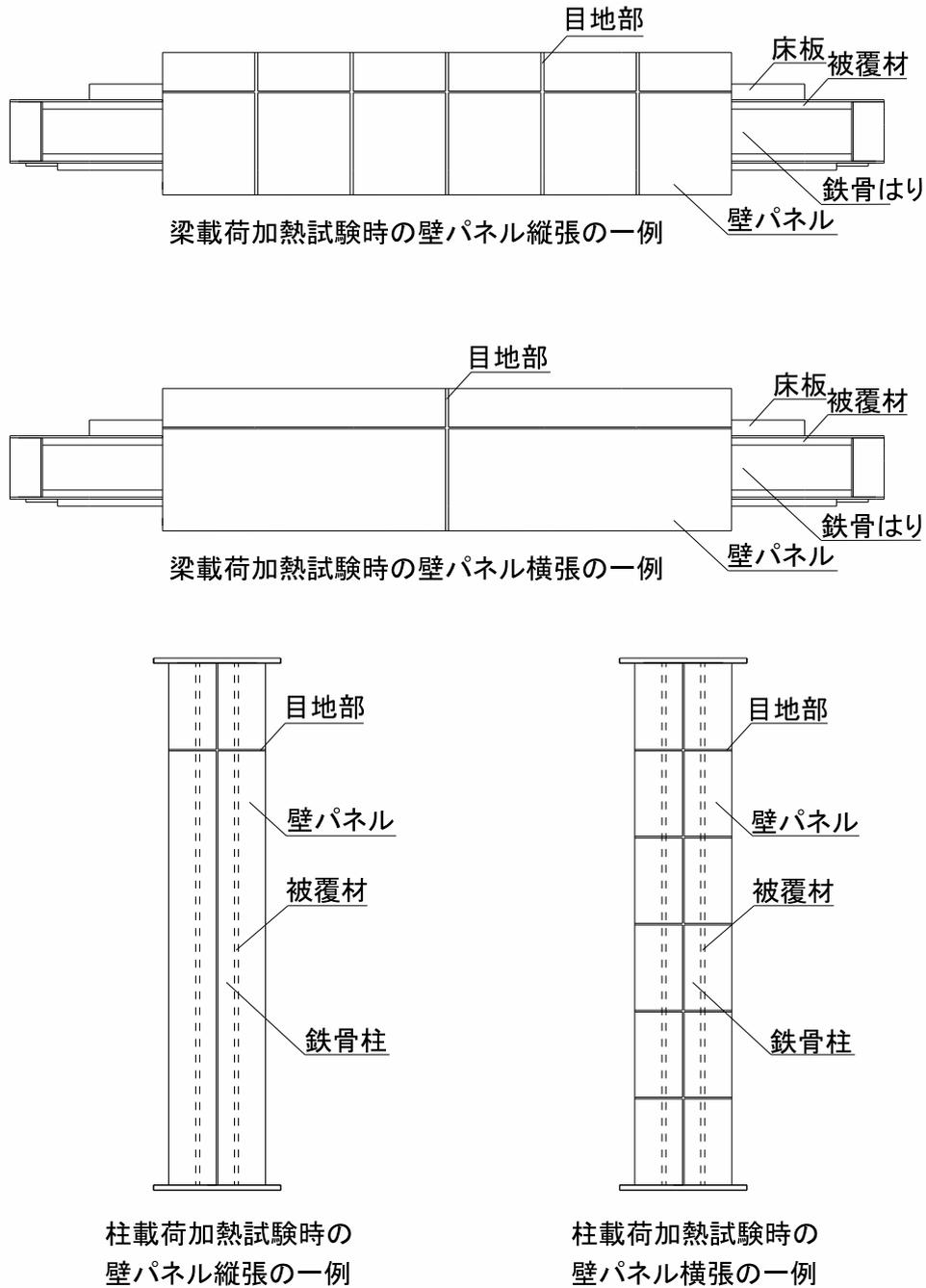


図 6.2 外壁材の縦張りとは横張り

ていた。

しかし、2005年に発覚した構造計算偽装事件以降、運用の見直しにより標準断面の評価から、申請における熱容量が最も不利である最小断面で試験を実施する評価となった。断面拡大に対しては、被覆材の保持性能に実績のある材料や施工法によって保持性能が担保される工法については、最小断面以上で一括評価可能となったが、断面拡大に伴い保持能力について実績のない材料、例えば耐火塗料については熱容量が増すことによる発泡倍率の変化や、

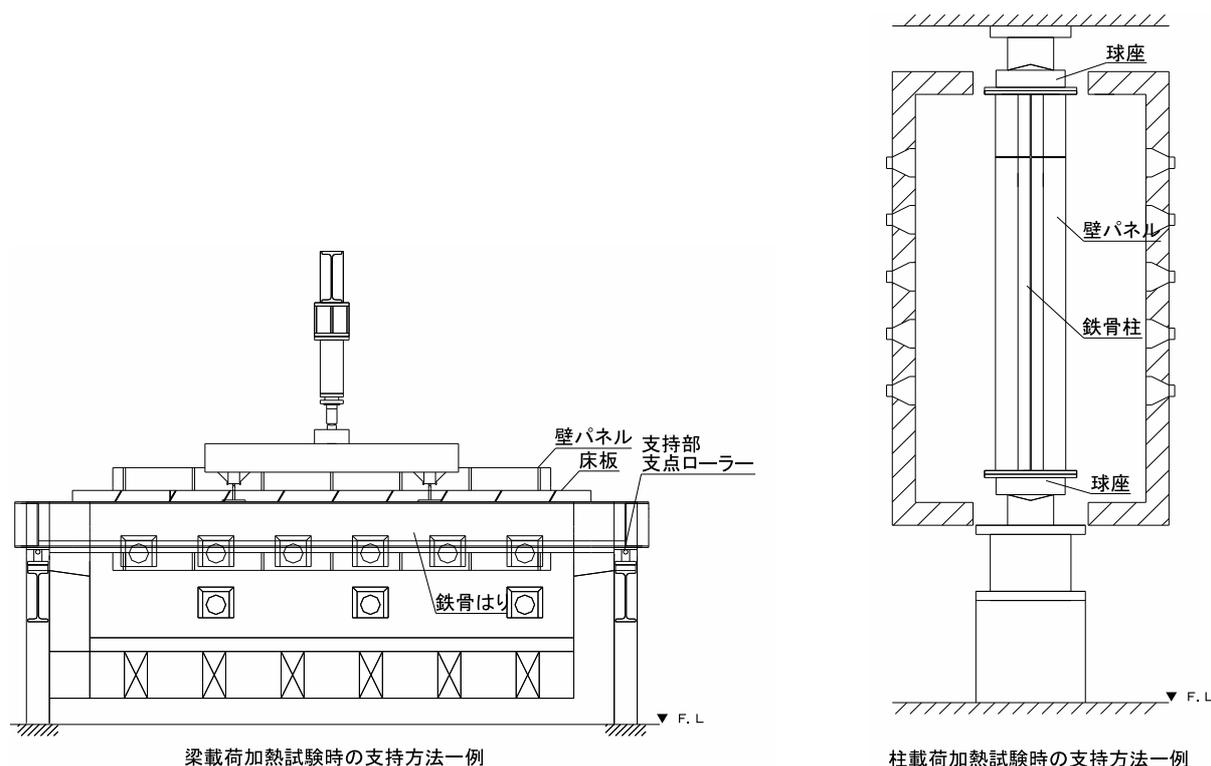


図 6.3 試験体支持方法

梁下フランジの付着性能低下等の問題点より、拡大時の脱落性能が懸念され、認定範囲の断面寸法は試験を行ったそのものとなっている。

その認定範囲をひろげるにあたり申請時の最大断面における脱落性の検証試験を実施する方向となった。

検証試験は、載荷可能範囲であれば載荷加熱試験を行い、載荷可能範囲外の断面については非載荷加熱試験で実施することを基本に検討されている。また、その他脱落の可能性のあるもので巻き物等の耐火被覆は断面を拡大した場合、留め付け材 1 本当たりにかかる重量負担が増加し弱点となり脱落の可能性も懸念されることから、同様に検証試験を実施しその性能を確認する必要がある。

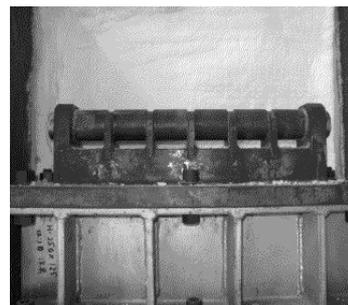
6.3.5 耐火試験体と実建築物における柱・梁部材の拘束条件の違い

柱および梁の耐火試験体の拘束条件を図 6.3 に示す。

柱の試験体の拘束条件は、上端部は試験体の伸び出しに対応してローラー接合を想定し、底部はピン接合の単純支持である、このようにして試験体の座屈変形による載荷装置の破壊を防いでいる。

梁の試験体は、曲げが最大になるように三等分二線荷重の載荷加熱試験を実施しており、拘束条件は両端部ともに、ローラー接合である（右写真参照）。

実際の建物は各部材の接合方法は種々あり、RC造や鉄骨造などのラーメン構造は剛接合であるが、耐火構造試験は部位毎に耐火試験を実施することから、試験体は単純支持の拘束条件となっている。



このように実際の建築物の拘束条件とは異なるが、ISO 834-1, '6.4/Restraint/Boundary conditions' の規定においても、試験体の境界条件は、膨張、収縮、回転に対して、拘束するか、起こりえる変形を拘束しないかのいずれか、としている。また、実際に使用される境界条件が不確かさをもつ場合や変化する場合は、安全側の結果を与えるような境界条件とすることが記述されている。

6.3.6 梁の上面加熱の必要性

アトリウム等の空間部分を横切る梁や上部に折板やデッキプレートがくる場合には、梁の4面が等しく火熱の影響を受けると考えられる。柱（4面加熱で試験）と梁（3面加熱で試験）の被覆材の認定被覆厚さを比較すると、ロックウール吹き付けでは差はないが、けい酸カルシウム板の2時間耐火、3時間耐火の認定では5mmの差がある。また、木製梁の場合には炭化域の問題もある。実況に応じて、適宜、梁の4面加熱についても確認の必要性がある。

第7章

合成耐火被覆構造の施工方法

合成耐火構造の仕様としては、吹付けロックウールを用いたものが最も一般的である。本章では、このような仕様における吹付けロックウールの標準的な施工方法について説明する。

吹付ロックウールには施工現場で材料を配合する半乾式工法（現場配合方式ともいう）と、あらかじめ工場で配合された材料を使用する乾式工法（工場配合方式ともいう）とがあるが、現在では半乾式工法による施工が大部分であり、ここでは半乾式工法による施工だけを取り上げる。

なお、吹付ロックウールの認定はロックウール工業会の旧通則指定であったが、現在（2002年5月以降）は同工業会会員10社の連名個別認定として認知されている。

7.1 プレキャストコンクリート板と吹付ロックウールの合成耐火被覆

7.1.1 構成材料

(1) 主構成材料

1) プレキャストコンクリート板

① 形状・寸法

厚さ : フラット板の場合は 150 mm および 175 mm を標準とする。

リブ付の場合はシェル部で 130 mm リブ部で 200 mm を標準とする。

② 標準配合

表 7.1 に示す配合を標準とする。

③ 物性

密度 $1.8 \pm 0.2 \text{ g/cm}^3$ （絶乾）

圧縮強度 21 N/mm^2 以上

表 7.1 プレキャストコンクリート板の標準配合

水セメント比 (%)	スランプ (cm)	単位質量 (kg/m ³)				
		単位水量	ポルトランドセメント JIS R 5210	細骨材	人工軽骨材 JIS A 5002	分散材
50	7 ± 2	160	320	840	480	0.25

セメントの質量に対する質量 %

④ 鉄筋

JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼) による。

D10 (SD30) @ 200 メッシュ

2) 吹付ロックウール

① 材料

ロックウール： 国土交通大臣認定不燃材料 NM-8600 (ロックウール保温材) の認定品で、JIS A 9504 (人造鉱物繊維保温材) に規定するロックウールの規格品であるものとする。

セメント： JIS R 5210 (ポルトランドセメント) または JIS R 5211 (高炉セメント) に適合するものあるいは白色セメント。

水： 原則として上水道水を使用する。

② 配合

材料名	ロックウール	セメント
質量比	60 ± 5 mass %	40 ± 5 mass %

③ 密度

0.28 g/cm³ 以上 (絶乾)

(2) 副構成材料

1) プレキャストコンクリート取付け用ファスナー

ファスナー： JIS G 3192 による。L-130 × 130 × 12 (標準)

アンカーボルト： JIS G 3112 または JIS G 3191 による。

16 φ (標準) 取付用金物： 十分な強度を有するものを用い柱または梁に緊結する。

2) 下地材

① 補強材（メタルラス他）

JIS A 5505（メタルラス）に適合する防せい処理を施した平ラス 3 号、または同等品とする。

② 力骨

JIS G 3112（鉄筋コンクリート用棒鋼）に適合するもので 9ϕ 以上、最大留付間隔 450 mm とする。

③ 鉄板

JIS G 3302（亜鉛鉄板）に適合するもので、0.4 mm 厚以上または JIS G 3101（一般構造用圧延鋼材）に適合するもので 1.6 mm 厚以上のもの。

④ タッピンねじ

JIS B 1115（すりわり付きタッピンねじ）または JIS B 1122（十字付きタッピンねじ）に適合するもので、 3ϕ 、長さ 5～10 mm。

⑤ 結束線

鉄線をなましたものを用いる。

3) バックアップ材

密度 0.2g/cm^3 以上のけい酸カルシウム板または密度 0.1g/cm^3 以上のロックウールボード（厚 50 mm × 幅 60 mm）を耐熱接着剤（けい酸ソーダ系）にて取付ける

7.1.2 プレキャストコンクリート板の施工

JASS 14 カーテンウォール工事に準拠して施工する。

7.1.3 吹付ロックウールの施工

(1) 吹付前作業

1) バックアップ材の取付

吹付ロックウールとプレキャストコンクリート板が取り合う部分には比重 0.2 以上のけい酸カルシウム板または比重 0.1 以上のロックウールボード（厚 50 mm × 幅 60 mm）を耐熱接着剤（けい酸ソーダ系）にて、プレキャストコンクリート板の取り合い部分に接着する。

プレキャストコンクリート板と鉄骨との間隔が 65 mm 以下の場合にはバックアップ材の取付は必要としない。

2) 吹付下地の取付

プレキャストコンクリート板と鉄骨との間隔が 65 mm 以下の場合には下地の取付は必要としない。間隔が 65 mm ~ 400 mm の場合は下記により下地の取り付けを行う。

① メタルラス下地構成の場合

@ 450 mm 以下で力骨（鉄筋 9 φ）を鉄骨に溶接し、その下にメタルラスを結束線で取り付ける。

② 鉄板下地構成の場合

@ 300 mm ~ 450 mm で下地材（L-30 × 30 × 3 または C-38 × 12 × 1.4）の一端を鉄骨に溶接し、鉄板（厚 0.4 mm 以上）をタッピンねじまたは溶接により固定する。または厚さ 1.6 mm 以上の鉄板を @ 300 mm 以下で鉄骨に直接溶接する。

3) 養生

吹付け作業に際し、粉じんが外部に飛散しないように、プレキャストコンクリート板の開口部をシート等で養生囲いを行う。

4) 浮き錆および付着油等の除去

吹付けに支障をきたすおそれのある浮き錆、付着油等は十分に清掃する。

(2) 吹付作業

1) セメントスラリーの調合

あらかじめ水とセメントを攪拌機で混合しスラリーとする。スラリー中のセメント濃度は 25 ~ 40 wt% とする。

2) 吐出量の調整

ロックウールおよびセメントスラリーの吐出量は下記の通りとする。ロックウール 1 kg に対し、33 % 濃度セメントスラリーが 2 kg となる様にスラリーの吐出量を調整する。

3) 吹付け

吹付機で作業階まで圧送されたロックウールをノズル先端部で噴霧化されたスラリーと混合しながら均一に下地面に吹き付ける。

4) 表面押さえ

吹付けられたロックウールの表面は毛羽立ちがないように、コテならしを行う。

(3) その他の作業

1) プレキャストコンクリート板と床の層間処理

プレキャストコンクリート板と床の層間部空隙には、ロックウール繊維を床スラブ厚さ程度に充填する。

2) ファスナ部の耐火処理

プレキャストコンクリート板を取り付けているファスナは、吹付けロックウールにて耐火処理を行なう。

7.2 ALC 壁パネルと吹付ロックウールの合成耐火被覆

7.2.1 構成材料

(1) 主構成材料

1) ALC 壁パネル

① 形状・寸法

厚さ：75 mm 以上（許容差 ± 2 mm）とする。

長さ：6 000 mm 以下（許容差 ± 5 mm）とする。

意匠パネル等、溝加工したパネルは溝加工した残りの厚さが 75 mm 以上のもの。

② 品質・補強材

パネルの品質は JIS A 5416 [軽量気泡コンクリートパネル (ALC パネル)] に適合するものとする。

補強材は JIS G 3101 (一般構造用圧延鋼材)、JIS G 3532 (鉄線) に規定されたもの、または同等以上の品質をもつものとする。

③ 物性

密度 0.45 ~ 0.55 g/cm³

圧縮強度 3.0 N/mm² 以上

2) 吹付ロックウール

7.1.1 (1) 2) に準ずる。

(2) 副構成材料

1) ALC 壁パネル取付け金物

JIS G 3101 (一般構造用圧延鋼材)の規定に適合するもの、または同等以上の品質をもつものとする。その形状および寸法はパネル製造会社の指定するものとする。

鉄筋は JIS G 3112 (鉄筋コンクリート用棒鋼)に規定するもの、または同等以上の品質をもつものとし、その種別は特記による。

2) 下地材

7.1.1 (2) 2) に準ずる。

3) バックアップ材

7.1.1 (2) 3) に準ずる。

7.2.2 ALC 壁パネルの施工

JASS 21 ALC パネル工事に準拠して施工する。

7.2.3 吹付ロックウールの施工

(1) 吹付前作業

1) バックアップ材の取付

吹付ロックウールと ALC 壁パネルが取り合う部分には密度 0.2 g/cm^3 以上のけい酸カルシウム板または密度 0.1 g/cm^3 以上のロックウールボード (厚 50 mm × 幅 60 mm) を耐熱接着剤 (けい酸ソーダ系) にて、ALC 壁パネルの取り合い部分に接着する。

ALC 壁パネルと鉄骨との間隔が 45 mm 未満の場合はバックアップ材は取付なくてもよい。

2) 吹付下地の取付

ALC 壁パネルと鉄骨との間隔が 45 mm 未満の場合は、その部分の吹付け下地は取付なくてもよい。間隔は 40 mm 以上 200 mm 未満とし、下記により行う。

① メタルラス下地構成の場合

@ $300 \sim 450$ で力骨 (9ϕ 丸鋼) の一端を鉄骨へ溶接し、その下にメタルラスを結束線で取り付ける。

② 鉄板下地構成の場合

@ 300 ~ 450 mm で下地材 (L-30 × 30 × 3 または C-38 × 12 × 1.4) の一端を鉄骨に溶接し、鉄板 (厚さ 0.4 mm 以上) をタッピンねじまたは溶接により固定する。または厚さ 1.6 mm 以上の鉄板を @ 300 mm 以下で鉄骨に直接溶接する。

3) 養生

吹付け作業に際し、粉じんが外部に飛散しないように、ALC 壁パネルの開口部をシート等で養生囲いを行う。

4) 浮き錆および付着油等の除去

吹付けに支障をきたすおそれのある浮き錆、付着油等は十分に清掃する。

(2) 吹付け作業

7.1.3 (2) 吹付け作業に準じる。

(3) その他の作業

1) ALC 壁パネルと床の層間処理

ALC 壁パネルと床の層間部空隙には、ロックウール繊維またはセラミックファイバークラケット等、同等以上の不燃性を有する材料を充填する。

2) ALC 壁パネル取付金物の耐火処理

ALC 壁パネルを取り付けている金物は、吹付けロックウールにて耐火処理を行う。

7.3 品質管理

次の点に留意して合成被覆耐火構造の品質管理を行う。

7.3.1 吹付けロックウール施工前の品質管理

(1) 下地材およびバックアップ材の確認

- 目視およびスケールにて、合成部の下地材およびバックアップ材の取付け状態を確認する。

7.3.2 吹付けロックウール施工後の品質管理

(1) 吹付け厚さの確認

- 指定の厚さ測定器により、耐火性能別、部位別に各5箇所を測定する。

(2) 密度の確認

- 吹付けされた主要な柱、梁から施工面積を代表するように均等にサンプルの切り出しを行う。
- サンプルの切り出し箇所は耐火性能別に、梁にあってはウェブから2個、フランジ下から1個とし、柱にあっては2個切り出す。
- 切り出しは指定の切取器で行い、切り出したサンプルは、乾燥器(槽内温度100~110)にて恒量になるまで乾燥した後、重量を測定して密度を算出する。

第 8 章

まとめ

建築基準法が改正される以前の 2000 年（平成 12 年）5 月までに指定を受けた柱および梁の合成被覆耐火構造の取り付け工法について調査・分析を行った。この調査・分析を行うに際し、用語について整理するとともに定義を行った。

1) 合成耐火被覆構造の類型化

調査の手始めとして 1988 年（昭和 63 年）作成の「合成被覆耐火構造の耐火性能」報告書と同様に柱および梁の合成被覆耐火構造の取り合い部を類型化した。その結果は以下の通りであった。

- 柱においては 1 時間・2 時間・3 時間のどの指定も 90% 以上が 1 面を壁パネルで被覆し、残りの 3 面を耐火被覆材で被覆したものであった。また、梁についても同様に 90% 以上が床材と壁パネルでおのおの 1 面を被覆し、残りの 2 面を耐火被覆材で被覆したものであった。
- 柱・梁と外装材の最大距離については柱・梁とも耐火 1 時間性能で 200 mm、2 時間性能で 300 mm、3 時間性能で 400～500 mm の指定数が多くなっている。一部例外的に最大距離は 600 mm となっていた。また、耐火被覆材と壁パネルとの取り合い部にはバックアップ材や補強板が多く用いられていた。
- 壁パネルは大臣指定の過半がコンクリート系板と ALC パネルとなっている。その他には押出成形板等が指定を受けている。耐火被覆材は吹付ロックウールとけい酸カルシウム板の二種において大臣指定の過半を占めていた。

2) 大臣指定・認定のための耐火構造試験方法の整理と課題の抽出

合成耐火被覆材を施した柱・梁の現状の仕様について整理を行うとともに大臣指定のための耐火構造試験方法について整理を行った。その結果は以下の通りであった。

- 1969年（昭和44年）から2000年（平成12年）までに試験方法の告示の規定内容には変更はなかったが、試験機関における運用事項については三回の変更が行われている。大きな変更点としては鋼材温度の平均の取り方や温度判定を行う時間であった。
- 建築基準法の大改正の行われた2000年（平成12年）5月以前の試験方法と2000年6月以降の試験方法についても整理を行った。両者の大きな違いは、後者では試験方法をISOに準拠させ、載荷加熱試験を基本としたことである。これに伴い、柱・梁の変形量および変形速度が判定に付け加わった。
- 現行の合成耐火被覆材を施した柱・梁の耐火構造試験について考えられる問題点も列記した。

3) 合成耐火被覆構造の標準的な工法の実情把握

現状の合成耐火被覆材を施した柱・梁の施工方法の例として代表的な吹付ロックウールとプレキャストコンクリートおよびALC壁パネルを用いた場合を記載し、実情把握を行った。

4) 今後の活動予定

今後、今回収集したデータをさらに分析進めるとともに、2000年6月以降の建築基準法に基づいた大臣認定についてもデータを収集および分析を行っていかなければならない。また、今回の調査で示した耐火被覆材として多く用いられている吹付ロックウールおよびけい酸カルシウム板を用いた仕様については、一般的な耐火被覆材の仕様として日本建築学会の施工指針他としてまとめていく必要があると考える。