

無耐火被覆積層ゴムによる中間層免震マンションの耐火検証

茂木正史* 小河義郎* 西野晃平**

1. まえがき

平成 10 年 6 月に、建築基準法の性能規定化や建築確認検査業務の民間開放、中間検査制度の充実等を含んだ一連の大幅改正が行われた。これに伴う建物の防火関係の性能規定化の中で、平成 12 年 6 月に火災に対する建物の安全評価基準が明確化された。具体的には、従来の仕様基準に加え、性能的な安全検証法が法令として定められ、設計者の選択肢が広がった。しかしながらその一方で、性能的火災安全設計にあまり馴染みのない設計者にとっては、どのように設計したらよいかや、性能規定によって検証するメリットが理解できていない面もある。

本報では、耐火検証の概要と中間層免震を適用したマンションを対象に、既開発の耐火検証プログラムを用いて性能検証し、大臣認定を取得した事例について報告する。

2. 耐火検証の概要

2.1 耐火設計の方法

耐火設計は、耐震設計に比べると一般的な普及が遅れている感があるが、その理念をかいつままで言えば、“火災が終了するまでに建物が倒壊せず、火災の拡大を防止する”ことである。建物を倒壊させないためには、建物架構の過剰な熱変形を防止しなければならない。また、火災拡大を抑制するためには、壁や床が十分な遮熱性能、遮炎を持つように造る必要がある。前者を構造耐火設計、後者を区画設計と呼び、これら 2 つがバランス良く設計された建物が、耐火に関する性能が優れているといえる。

設計の種類としては、耐火構造部材を組み合わせる仕様規定による方法（ルート A）、平成 12 年 6 月に制定された検証法（告示式）¹⁾により評価する性能検証

法（ルート B）、高度な専門的知識により性能を確かめる方法（ルート C）の 3 種類ある。ルート A～C のいずれを選択するかは設計者に委ねられるが、一つの評価対象建物で、異なるルートを採用することは許されていない。

2.2 火災の種類

火災には室内で発生する予測できる火災と、屋外で発生する予測不可能な火災がある。前者を屋内火災、後者を屋外火災と呼びこの 2 つの火災に対して建物が安全であるかを評価しなければならない。

屋内火災の性状は火災室の可燃物の総発熱量と外気に通ずる開口部の大きさや量から決まる。一方、屋外火災は予測できないので、政令で“通常の火災（標準加熱曲線）”が定義してある。

図-1 に屋内火災の性状を、図-2 に屋外火災の性状を示す。

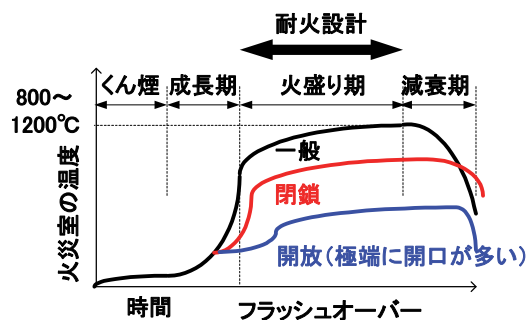


図-1 屋内火災の性状

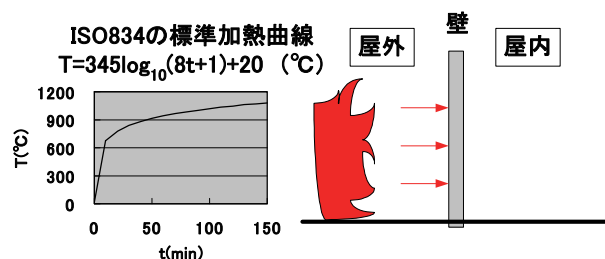


図-2 屋外火災の性状

*技術研究所 **東京支社建築設計部

3. 中間層免震建物の耐火検証

設計・施工物件の狭小敷地に建つマンションに中間層免震が計画された。基礎免震と違い、柱の間にゴム製の免震装置を設置する場合は免震装置が建築基準法の主要構造部材と定義されるので建築基準法の火災安全関連基準に抵触する。そこでルートCの検証法によって、耐火性能を検証し国土交通大臣の認定を取得した。

3.1 中間層を免震することによる利点

一般的な基礎免震ではなく中間層を免震することによる利点を下記に示す。当建物では主に ii の理由により中間層免震が採用された。

i. 掘削量の軽減

地下の免震ピットを必要とせず掘削土量を少なくできる

ii. 敷地の有効利用

地上部で建物と敷地境界とのクリアランスを小さくできるので敷地を有効に活用できる

iii. 建材費の軽減

免震層の有効利用等により床面積に対する免震導入によるコストアップを緩和できる

iv. 工期短縮

地下免震ピットの工事が不要で工期が軽減できる

3.2 免震建物の概要

当建物では1階と2階との間に免震層 (H=1.75m) を設けて中間層免震としている。図-3に建物概要を、図-4に免震層の平面を、図-5に免震層の断面を、図-6に免震装置を示す。



【建物概要】

名称：(仮称) 水野ビル建設工事
 場所：東京都品川区東五反田1丁目
 構造・規模：RC造 地上9F 塔屋1F
 延床面積：738.94㎡
 建築面積：113.79㎡
 用途：共同住宅・店舗
 設計：(株)奥村組 東京支社
 施工：単独

図-3 建物概要

3.3 耐火検証方法について

免震層の火災安全性を確保する方法には、免震層全

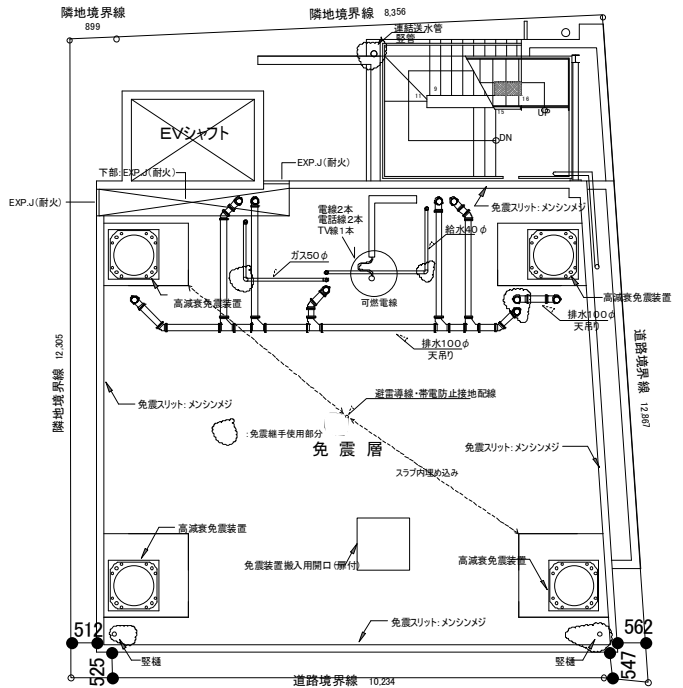


図-4 免震層の平面

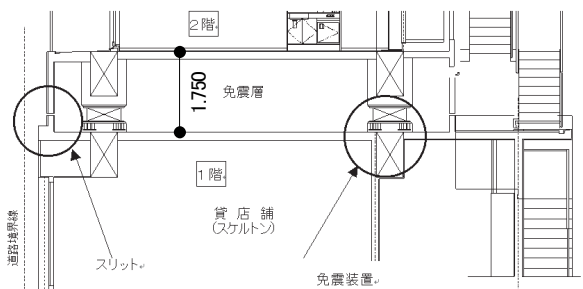


図-5 免震層の断面

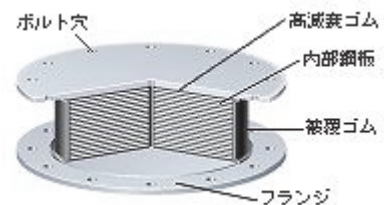


図-6 免震装置 (高減衰積層ゴム)

体を耐火材料にて区画し、免震層内の火災に対して免震装置の安全を検証する方法と免震装置のみを耐火材料で被覆する方法の2種類が考えられた。当計画では、使用する免震装置を被覆して2時間耐火とする耐火材がないことや、工事コスト、設計コスト、免震装置の点検の容易さなどを考慮して前者の方法を採用した。表-1に免震層の火災安全性を確保する方法を示す。

表-1 免震層の耐火安全性確保の方法

CASE		CASE1(区画)	CASE2(被覆)
免震層平面			
材料	免震装置 免震クリアランス PS	— 免震目地(50mm)	免震ガード 免震スリット 免震目地(50mm)
検証	免震装置 免震クリアランス PS	必要 必要 不要	不要 不要 必要
評価	検証コスト 材料 メンテナンス、施工性	CASE1の方がCASE2より高価(手間がかかる) CASE1の方がCASE2より被覆に関わるコスト小(安い) 良い	— — 悪い

検証ルートを選択では、免震層を区画する外壁継手部の耐火材料(免震目地)に大臣認定品(ルートA)が無いこと、免震装置や免震目地に関する告示式(ルートB)が無いことにより、「建築基準法施行令第108条の3第1項第二号(ルートC)」を選択した。また、これにより、RC造の免震層以外の主要構造部材(柱、梁、壁、床等)に対しても性能検証が必要となるので、この部分についてはルートB用に開発した検証プログラムを用い、ルートBに準じた検証を行った(ルートBではない)。

尚、建物のEVシャフトについては免震構造に出来ないため、本体建物からの吊り構造(免震層以外のフロアの梁で支える構造)とし、免震層の床部分とは縁を切りEXP.J金物で連結した。図-7に検証検討フローを、図-8に建物の概略パースを、図-9に免震層の概略パースを示す。

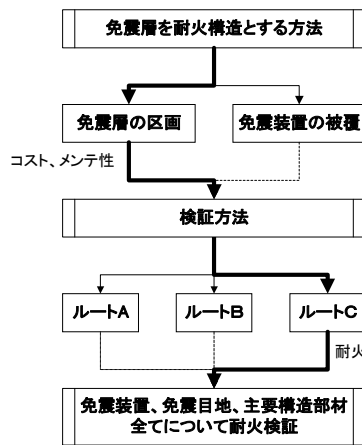


図-7 検証検討フロー

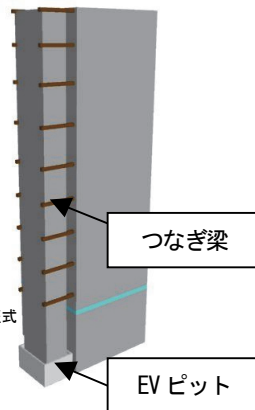


図-8 建物の概略パース

3.4 免震層の耐火検証

a. 免震装置(積層ゴム)

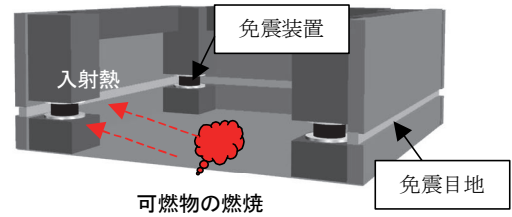


図-9 免震層の概略パース

免震装置にはゴム材料自体で復元機能と減衰機能を発揮する高減衰積層ゴム支承を4基使用している。

免震層内で想定される火炎(収納可燃物の発熱)からの入射熱によって免震装置(積層ゴム)が損傷しないこと、構造性能が低下しないことを確認した。図-10に免震装置の検証フローを示す。

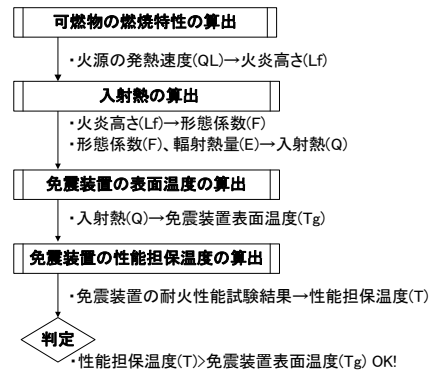


図-10 免震装置の検証フロー

(a) 可燃物の火災性状の算出

免震層の可燃物は、電気幹線(36φ×2本)、通信用電線(16φ×2本)、TV線(10.2φ×2本)である。それらの単位発熱量(142.6kW/m²)についてはコーンカロリメータ試験²⁾を行っており、その燃焼特性から火源の発熱速度(QL)を算出し、発熱速度から可燃物の火炎高さ(Lf)を求めた。図-11に免震装置と火源の位置関係を、以下に算出方法の概略を示す。

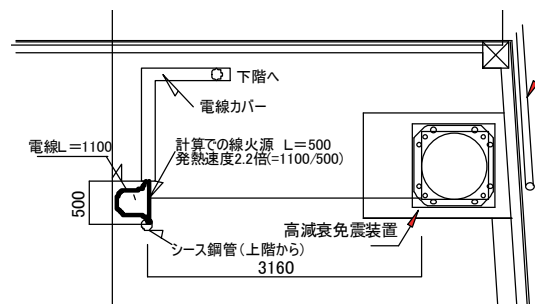


図-11 免震装置と火源の位置関係

- ① 電線の径の総和(D)の算出
 $36\text{mm} \times 2 + 16\text{mm} \times 2 + 10.2\text{mm} = 115\text{mm}$
- ② 電線群の単位長さあたりの発熱速度の算出
 $(142.6(\text{単位発熱速度})/1000 \times 115) = 16.4\text{kW/m}$
- ③ 火源の発熱速度(QL)の算出
 $QL = 36.08\text{kW/m} (16.4 \times (1100/500))$
- ④ 可燃物の火炎高さ(Lf)の算出
 $Lf = 2.8D(QL/(1116 \times D^{3/2}))^{2/3} = 0.284\text{m}$

(b) 入射熱の算出

火源から放出された輻射熱(E)が免震装置に入射する割合を示す形態係数(F)³⁾と、その入射熱(Q)を算出した。以下に算出方法の概略を示す。

- ① 形態係数(F)の算出
 $F = 0.0045$
- ② 輻射熱量(E)の算出
 $E = 100\text{kW/m}^2$
- ③ 入射熱
 $Q = F \times E = 0.0045 \times 100 = 0.45\text{kW/m}^2$

(c) 免震装置の表面温度の算出

電線の火災が継続すると仮定し、免震装置が火災から受ける入射熱(Q)と外気への熱伝達量とが等しくなる定常状態での積層ゴム表面の温度を求めた。以下に算出方法の概略を示す。

$$Q = (T_g - T_a)K \rightarrow T_g = Q/K + T_a = 0.45/0.01 + 20 = 65^\circ\text{C}$$

Q: 入射熱(0.45 kW/m²)
 T_g: 積層ゴム表面温度(°C)
 T_a: 気温(20°Cとする)
 K: 室内対流熱伝達率(=0.01kW/m²K)

(d) 免震装置の性能担保温度の算出および判定

高減衰積層ゴムを耐火被覆した場合の耐火性能試験結果として以下のことが確認されていた。

- i. 加熱時の積層ゴム表面の最高温度は 84°Cまで上昇した
- ii. 加熱後にゴム表面になんら異常がなかった
- iii. 加熱前後のせん断特性を比較する履歴特性にほとんど変化は認められなかった

これより免震装置(積層ゴム)の性能担保温度(T)を表面温度で 84°Cとした。図-12 に高減衰積層ゴムの表面温度と加熱前後の履歴特性を示す。

積層ゴム表面温度(T_g)=65°C < (T)=84°C (高減衰積層ゴムの性能担保温度)となり、電線火災時の積層ゴム表面温度は性能担保温度以下なので安全であることが検証された。

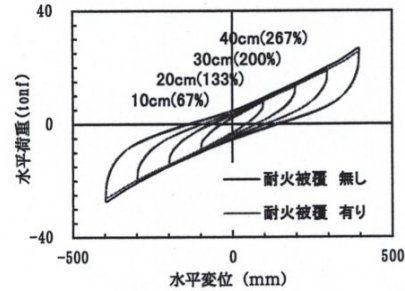
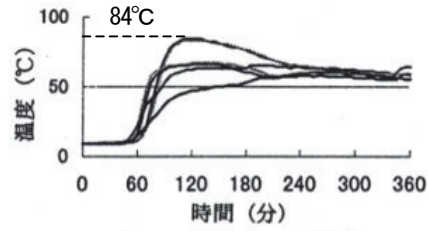


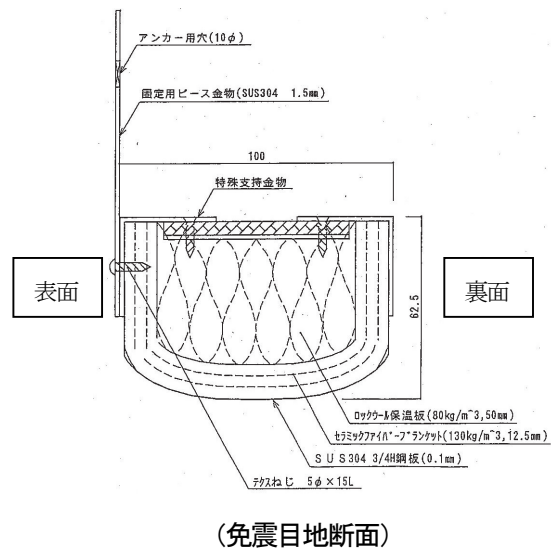
図-12 高減衰積層ゴムの表面温度と加熱前後の履歴特性

b. 免震目地

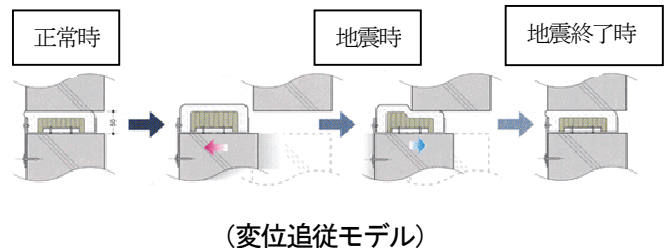
外壁スリットを埋めるための目地に免震目地を採用した。図-13 に免震目地の概要を示す。

免震目地は旧基準での耐火性能試験を行っている。

図-14 に耐火試験での免震目地の裏面温度を示す。



(免震目地断面)



(変位追従モデル)

図-13 免震目地の概要

免震目地の耐火性能は部材近傍火災(免震目地の

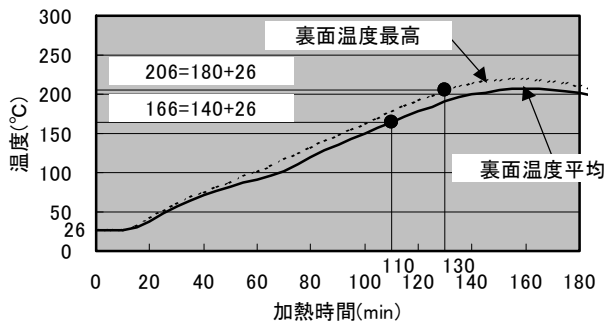


図-14 耐火試験での免震目地の裏面

近傍で起こる火災を想定) によって検討した。3 MW の燃焼¹⁾を想定しており、免震装置の耐火性能を検討する電線の火源と異なるが、電線に比べて十分大きな火災であり、これで安全であることが証明されれば電線火源による火災でも安全と考えた。以下に告示式(ルートB)により算出した免震層の等価火災時間(ある火災のもとで生ずる火災を標準火災に換算したの火災継続時間)を示す。

火災継続時間(tf)を局所的な高温域が20分間継続するとして等価火災時間(tf(460))に直した。¹⁾

$$tf(460) = tf / (460 / \alpha)^{3/2}$$

$$= 20 / (460 / 500)^{3/2} = 22.7 \text{ 分}$$

α 1: 部材近傍火災温度上昇係数(500)

改訂後の基準で壁として1時間耐火を確保するためには、試験終了時まで試験体の裏面平均温度の上昇が140°C以下であることと、試験体の裏面最高温度の上昇が180°C以下であることを確認しなければならない。ここでいう試験終了時とは、試験開始から要求耐火時間の1.2倍が経過した時間をいう。

裏面温度上昇の平均が140°Cに達する時間は110分、裏面温度上昇の最高が180°Cに達する時間は130分であった。よって免震目地の保有耐火時間は、 $tfr = 110 \div 1.2 = 92$ 分とした。

免震目地の保有耐火時間(tfr)92分に対し、等価火災時間(tf)が22.7分であることにより、継続する内部火災に対して安全であることが検証された。

3.5 免震層以外の耐火検証について

免震層以外の火災室については、告示式(ルートB)により、各室の火災性状から火災継続時間(tf)と主要構造部材(柱、梁、壁、床等)の屋内、屋外の保有耐火時間(tfr)を算出し、全部材の保有耐火時間(tfr)が火災継続時間(tf)を上回ることを確認した。

尚、検討では、設計担当者でも正確かつ迅速に検証できるように作成した耐火検証プログラムを使用した。

ここでは、屋内火災に対する検証事例を述べる。図-15に耐火検証プログラムのイメージを、図-16に主要構造部材の耐火検証フローを示す。

図-15 耐火検証プログラムのイメージ(入力編)

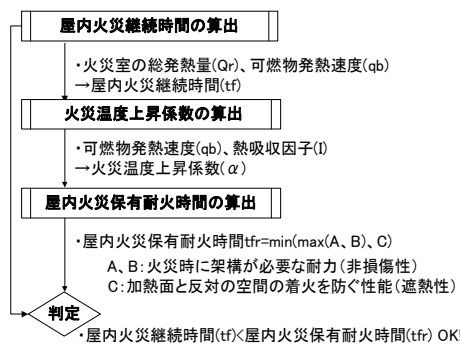


図-16 主要構造部材の耐火検証フロー

a. 屋内火災の性状

(a) 屋内火災継続時間の算出

屋内火災継続時間は、火災室の可燃物の総発熱量と外気に通ずる開口部の量で決定される。以下に算出方法の概略を、表-2、図-17に火災性状を示す。

- ① 可燃物総発熱量(Qr)の算出
 $Qr = Q1$ (収納可燃物) + $Q2$ (内装材) + $Q3$ (隣室からの熱量)
 - ② 可燃物発熱速度(qb)の算出
 可燃物の表面積(A)と外気に通ずる開口部の量(fop)から算出
 - ③ 火災継続時間の算出
 $tf = Qr / (60qb)$

表-2 火災性状

	住戸	店舗	バルコニー
Qr(MJ)	80000	33000	9000
A(m ²)	250	210	30
Fop(m ²)	10	1.5	19
qb(MW)	15.3	2.6	1.5
Tf(min)	88	210	100

総発熱量が最も多い住戸に比べて店舗の火災継続時間が長いのは、可燃物の表面積に対して外気に通ずる開口部がバランス良く配置されており、火災に対して過不足無い空気が供給されるため、可燃物が早く燃焼

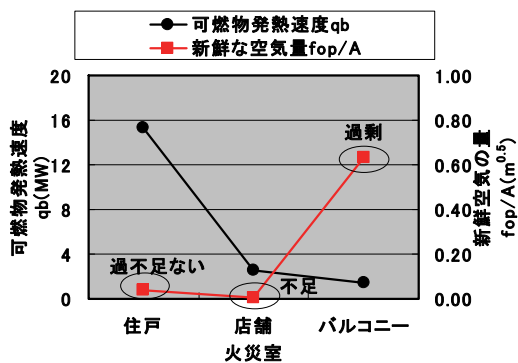


図-17 火災性状

する結果である。一方、総発熱量が小さいバルコニーは外部に面しているため、外気が過剰に供給され屋内火災継続時間が長くなったと考えられる。

(b) 屋内火災保有耐火時間の算出

主要構造部材の屋内火災保有耐火時間は、屋内火災の激しさの程度を表す火災温度上昇係数と耐力部材については火災により被害を受ける部材の劣化深さや部材もつ熱特性から、非耐力部材については部材のもつ熱特性から決まる。以下に非耐力壁を例にとり算出方法の概略を示す。表-3、図-18 に火災温度上昇係数と非耐力壁の屋内保有耐火時間を示す。

- ① 火災温度上昇係数(α)の算出
可燃物発熱速度(q_b)と熱吸収因子(I)から算出
- ② 遮熱性の耐力(C)の算出
火災温度上昇係数(α)と壁厚(D)、遮熱特性(c)から算出
 $C=118.4CD \cdot D^2/\alpha^{(3/2)}$

表-3 火災温度上昇係数と屋内火災保有耐火時間

	住戸	店舗	バルコニー
α	506	305	140
tf	88	210	100
tfr	201	500	1608

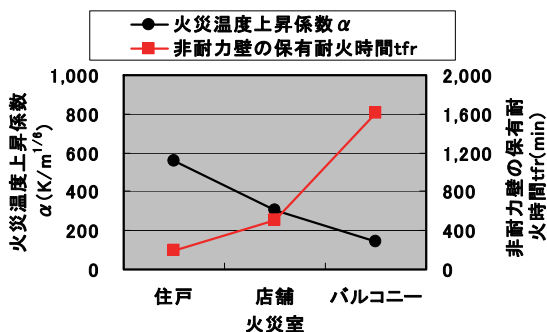


図-18 火災温度上昇係数と屋内火災保有耐火時間

非耐力部材の屋内火災保有耐火時間は、火災温度上昇係数が大きいほど短くなる傾向であった。しかし、

火災温度上昇係数が上昇すると可燃物が早く燃焼するため、一般的には屋内火災継続時間が短くなる。屋内火災保有耐火時間が屋内火災継続時間を上回るような設計をするには、火災温度上昇係数に注目しながら検討する必要があることが分かった。

5. まとめ

中間層免震のマンションにおいて、免震層の局所火災の影響を検討することによって無耐火被覆の積層ゴムでの火災安全性を確認できた。また、大臣認定(ルートC)により建物の耐火認定を取得する場合の注意点も判明した。以下にその概要を示す。

i. 部材断面の変更および仕様のアップ

RC建物の場合は通常的设计をしていれば仕様規定に抵触しないが、性能規定で検証すると、最小断面で設計することの多い小梁や床の断面変更が生じる可能性がある。また、最上階から数えた階数と部材断面から規定される要求耐火時間よりも、性能規定により算出した屋内火災継続時間が長くなる場合があるので、部材の仕様アップ(1→2時間耐火)が考えられる。

ii. 開口部の仕様変更

隣地、道路境界から延焼規定がかかる開口部には防火設備を設置しなければならない。その場合、開口部は耐火検証上の外気に通ずる開口とみなせず火災継続時間が延びるので、煙感知連動型の排煙設備の設置等が必要な場合がある。

6. あとがき

耐火性能の大臣認定を通じて、検証方法の流れや、性能規定による利点、欠点を把握した。今後は、構造形式の違う建物で検証を行うなど、データを蓄積し、検証の効率化を図りたい。

【参考文献】

- 1) (財)日本建築センター、「耐火性能検証法の解説及び計算例とその解説」、井上書院、2001
- 2) (社)電線総合技術センター、「EM 電線・光ファイバのデータベース整備研究成果報告書」、2000
- 3) 田中哮、「建築火災安全工学入門改定版」、日本建築センター、2002