

# 建築耐火構造の開発

## Development of Fire Resistant Structure for Steel-frame Buildings

伏見 光 雅<sup>\*(1)</sup> 計 良 光一郎<sup>\*(2)</sup> 力 石 寛<sup>\*(3)</sup>  
 Mitsumasa FUSHIMI Koichiro KEIRA Hiroshi CHIKARAISHI

### 抄 録

コスト、工期短縮、室面積の有効利用、作業環境の改善及び建築デザインなどの観点から、鉄骨建築物の耐火被覆の省略ニーズは極めて高かった。建設省の総合技術開発プロジェクトにおいて“建築物の総合防火設計法”が開発（1982～1987年）されると共に、一般鋼に比べ極めて優れた高温特性（耐火性）を有する建築構造用耐火鋼材（FR 鋼）、建築構造用ステンレス鋼材が開発されたことにより、建物用途によっては耐火被覆の省略が可能となった。本報では、FR 鋼、ステンレス鋼の概要とそれらを無被覆で使用した建築耐火構造の例を紹介する。

### Abstract

From the viewpoint of the reduction of costs and construction period, the effective utilization of interior space, the improvement of the environment during spraying and the building design, the need for constructing of steel-frame buildings without protection is very great. Construction of steel-frame buildings without protection is made possible by the development of the “integrated design system for fire safety buildings” through a cooperative and comprehensive study promoted by the Ministry of Construction and also by the development of fire resistant steel (FR steel) and stainless steel for building structural use having excellent high-temperature properties (fire resistant properties) compared with conventional steel for building structural use. This report outlines FR steel and stainless steel for building structural use, and describes some examples of steel-frame buildings using these steels without protection.

## 1. はじめに

鉄骨建築物は、火災時に熱で鋼材強度が下がり、建築物としての強度が低下するため、現行の建築基準法では不特定多数の人が利用する建築物及び市街地の建築物について、火災から鉄骨を保護するために耐火被覆が義務付けられている。例えば、高層ビルで要求される3時間耐火では、火災（約1 000 °C）で3時間加熱されたときに鉄骨温度が平均で350°C以下になるように鉄骨を厚み5 cmの湿式ロックウールで被覆する必要がある。これは、仕上げ材も含めると鉄骨t当たり5～6万円のコストアップとなるため、鉄骨建築物の競争力低下の一因となっていた。更に、この耐火被覆の工事費低減だけでなく、工期短縮や室面積有効利用、吹付け工事の作業環境（人手不足や周辺への飛散養生）などの面から耐火被覆の省略のニーズは極めて高かった。また、鉄骨造のフレームそのものを建築のデザインに取り入れる試みが多く、この点からも耐火被覆の省略が望まれていた。

一方、建設省総合技術開発プロジェクト“建築物の総合防火設計法の開発”（1982～1987年）において、従来の建築基準法などに基づく仕様書的な規定によらず、建築物の火災条件、設計条件や使用材料の性能により、総合的に建築物の防災安全性を評価する手法が開発された。この新しい設計法に対応して、鉄骨建築物の耐火被覆の

省略実現へ向けた大きな二つの潮流が生じた。一つは、1988年に新日本製鐵が従来の一般建築用鋼材（以下、一般鋼という）と比較して極めて優れた高温特性（耐火性）を有する建築構造用耐火鋼材（以下、FR 鋼という）を開発したことである。FR 鋼を使用することで一般鋼に比べ耐火被覆を大幅に削減できるとともに、建築物の用途によっては無被覆とすることが可能となった。二つめは、建設省総合技術開発プロジェクト“建設事業への新素材・新材料利用技術の開発”（1988～1992年）の一環として上述の新しい設計法をベースにステンレス鋼の耐火性能に関する研究が行われ“新ステンレス鋼利用技術指針”に耐火設計法として盛り込まれたことである。これに伴い、ステンレス鋼部材も建物の条件によっては無被覆で使うことが可能となった。

以上を踏まえ、本報では建築耐火構造材としてFR 鋼、ステンレス鋼の概要とそれらを無被覆で使用した建築耐火構造の例を紹介する。

## 2. FR 鋼、ステンレス鋼の特徴

FR 鋼とは、Fire Resistant Steel（耐火鋼）の略で、一般鋼にCr やMoなどの合金を添加することで高温耐力を大幅に向上した鋼材である。圧延以降の工程は一般鋼と同じである。鋼材は高温になると耐力が低下する。図1に高温時の耐力（降伏点）の低下を、FR 鋼と一般鋼の一例（ばらつきがある）との比較で示す。火災時には地

\*<sup>(1)</sup> 建材営業部門 建材開発技術部 掛長

\*<sup>(2)</sup> 建材営業部門 建材開発技術部 専門部長

\*<sup>(3)</sup> 建材営業部門 建材開発技術部 室長

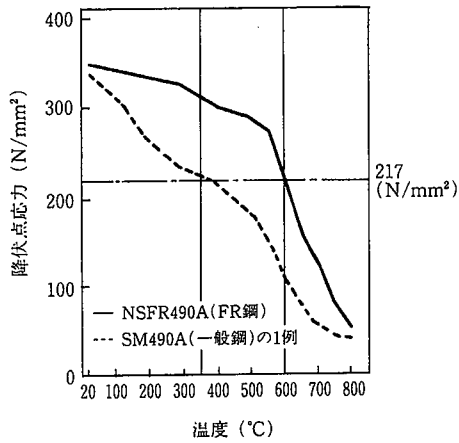


図1 鋼材の降伏点の温度依存性

震や暴風などを同時に考慮しないことから建物の自重を支持できる強度、すなわち長期許容応力度が火災時に必要な強度となる。建設省告示第2 999号では、火災時の鋼材の許容温度を平均で350°Cと規定し、この温度以下となるよう被覆することを義務付けている。これは図1に示すように、一般鋼の高温時降伏点が350°C付近で常温時降伏点の3/2(長期許容応力度：SM490Aでは217N/mm<sup>2</sup>)に低下し、火災時に建築物に要求される耐力を下回るからである。FR鋼は、高温時降伏点がこの長期許容応力度を600°Cまで保持することを保証しており(ミルシートに記載)、一般鋼と比較して極めて高温耐力に優れている。FR鋼の特徴は以下の3点である。

- (1) 高温耐力が一般鋼と比較して著しく高い(図1参照)。(600°Cでの降伏点が常温規格値の2/3以上を保証する)
- (2) 常温時性能は溶接構造用圧延鋼材(JIS G 3106)、建築構造用圧延鋼材(JIS G 3136-1994)の規格に合致する。(常温時の設計は従来どおりである)
- (3) 一般鋼と同等の溶接性がある。

ステンレス鋼は、鉄をベースに、CrあるいはCrとNiを加えた成分系を基本とする合金鋼で、さびにくい鋼材として広く知られている。鋼材部材として使用できるステンレス鋼の鋼種及び規格を示す。鋼種はいずれもオーステナイト系で強度は以下の2種類である。

- (1) SUS304, SUS316, SCS13A : SS400 と同じ
- (2) SUS304N2 : SM490 と同じ

SUS304は約18%のCrと約8%のNiを含有し、通称18-8ステンレスと呼ばれる最もポピュラーなステンレス鋼で、普通鋼のSS400と同じ強度である。一方、SUS304N2は、SUS304にN及びNbを添加したステンレス鋼で、普通鋼のSM490と同じ強度を有している。また、SUS316は、Moなどの添加により、SUS304より耐食性を高めた鋼材である。ステンレス鋼は、従来より圧力容器やボイラーチューブ用の耐熱鋼として広く使用されており、耐食性ととも耐熱性にも優れている。図2にステンレス鋼(SUS304)及び普通鋼(SS400)の高温強度の比較を示す。ステンレス鋼は、鋼材温度200°C近辺までは製造時の熱処理(加工硬化)の効果が解除され降伏点が低下するが、その後は、鋼材温度700°Cを超えるまでその低下率は極めて少ない。但し、降伏点が加工硬化の解除で初期に低下するので、降伏点の常温時規格値の2/3を下回る温度は約500°Cと耐火鋼より低いが、600°Cを超える温度領域での低下率は耐火鋼より少ない。

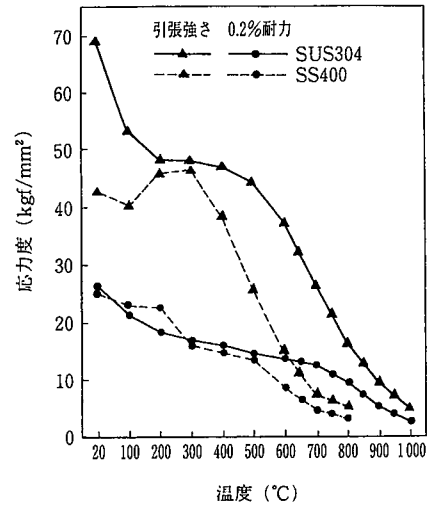


図2 ステンレス鋼の高温強度

### 3. 建築物の耐火設計手法

FR鋼やステンレス鋼を使用した建物は、火災時の柱、梁の鋼材温度が従来の350°Cより高いことなど、従来の建築基準法の範ちゅうに該当しない点があることから、被覆軽減、無被覆にかかわらず建物ごとに耐火設計を行い、建設大臣認定(38条認定)を取得する必要がある。FR鋼については新日本製鐵は、(財)日本建築センターに委託し、1989年1月“FR鋼耐火設計ガイドライン”(FR鋼を使用した建物の耐火設計手法、以下ガイドラインという)を作成、同センターの防災性能評定で各耐火設計について審査を受けている。なお、ガイドラインは1990年10月に高炉製鉄会社ほか4社へ技術開示しており、他4社の耐火鋼に関してもこの耐火設計手法が適用されている。

図3にガイドラインで規定した耐火設計フローを示す。基本フローは“建築物の総合防火設計法”に準拠している。FR鋼を使用する

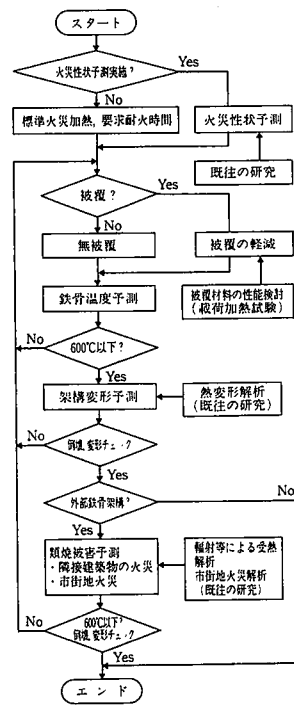


図3 耐火設計フロー

ことで従来の建築基準法の範ちゅうを超える以下の項目が新たに規定されている。

- (1) 部材（柱、梁）の高温耐力（耐火性能）を従来の加熱試験（標準加熱を与え鋼材温度を測定）ではなく、高温時の荷重支持能力で評価する荷重加熱試験方法
  - (2) 鋼材温度が600℃と高くなることで大きくなる架構の熱変形について、その安全性を検証する手法
  - (3) 外部鉄骨建物について、周辺の木造密集地域の市街地火災（都市大火）による加熱を受けた架構の類焼被害を検証する手法
- また、ステンレス鋼については、1959年に設立されたステンレス協会が建設省建築研究所との官民共同研究協定を締結し、“新ステンレス鋼利用技術小委員会”を組織した。この中で、ステンレス鋼の高温性能及び部材、架構の耐火性能を解明し、その優れた高温強度（高温時の機械的性質を総称する）を反映した耐火設計手法が確立されて“新ステンレス鋼利用技術指針（1993年）”に盛り込まれている。耐火設計フローは基本的にFR鋼のものと同様である（但し、例えば設計応力度が小さい部材では“FR鋼の600℃”を超える高温域まで無耐火被覆検討が可能となる）。

#### 4. 無被覆化の建物用途とその実績

以上、優れた高温強度を有するFR鋼、ステンレス鋼を用い、前述した耐火設計手法に従うことにより、建物内部の可燃物量が少なく火災時に鋼部材の表面温度が小さい場合など、建物用途によっては無被覆化が可能となる。新日本製鐵ではこれまで無被覆化が可能な用途開発を推進し、数々の実績を作ってきた。図4にその実績の推移を示す。用途としては自走式の開放型立体駐車場（以下、自走式立駐という）、プールの上屋、全天候型のテニスコートの上屋などのスポーツ施設、アトリウム、デザイン性を表現させるための外部鉄骨架構などが挙げられる。評定実績は年々増加しており、特に自走式立駐の増加が目立つ。

FR鋼、ステンレス鋼を使用するためには、建物ごとに耐火設計を行い、建設大臣認定（38条認定）を取得する必要がある。ユーザー側からみると評定取得のための費用や時間を要することになる。このような煩わしさを解決するために、実績の多い建物用途を対象に耐火設計法の一般認定取得も推進している。本稿が掲載される頃には“自走式立駐”用途については表1に示す規模制限付きで一般認定化されている予定である。

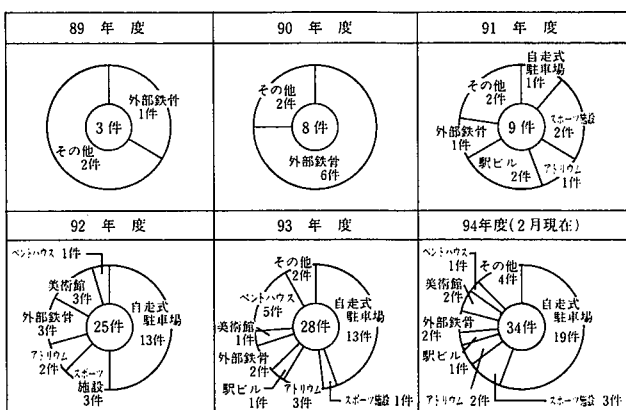


図4 無被覆化の建物用途の個別評定実績の推移

表1 自走式立駐の一般化範囲

駐車場の規模	一般化の認可形態	運用
①駐車場専用の場合 4階建て以下 かつ 延べ床面積20,000㎡以下	責任設計のもと各高炉5社ごとに一般認定をうける	各高炉メーカー作成の耐火設計図書を建築確認申請図書に添付し、建築確認を得る。
②他用途との複合の場合 最上階から4階建て以下 かつ 延べ床面積20,000㎡以下		

#### 5. 無被覆化の用途例

以下にFR鋼の用途例と耐火設計の概要を示す。ステンレス鋼については、“新ステンレス利用技術指針”（1993年）の完成から現在までの運用期間内でまだ適用例が出ていない。実適用が望まれるところである。

##### 5.1 立体駐車場-センシティーパークプラザビル

###### 5.1.1 建物の概要

施主：千葉そごうほか  
設計：タカハ都市科学研究所  
施工：大成建設、鹿島、奥村組、不動建設、旭建設JV  
(鉄骨製作：阪和興業 [川上鉄骨、大川鉄工、伊藤溶接工業])

建築面積：7,171㎡

延べ床面積：86,324㎡

階数：地上17階、地下2階

千葉市のJR千葉駅前に建設された地上17階、駐車場台数1,800台の我が国最大規模の自走式駐車場である。図5、6に基準階平面図及び断面図を示す。また、写真1に建物外観を示す。この駐車場は、4階以下が店舗で、5～17階までが駐車スペースとなっており、利用者は、駐車場東側の建物外の円形ランプウエーで駐車場の5階に

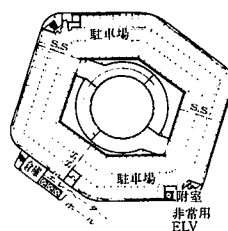


図5 基準階平面図

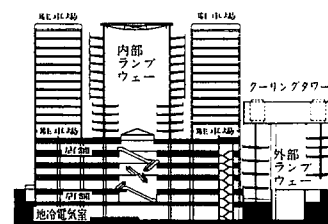


図6 断面図



写真1 センシティーパークプラザ

設けられたゲートに入車し、建物内の円形ランプウエーで各階の駐車スペースへアクセスするレイアウトとなっている。駐車スペースは、一辺39.5mの六角形で円形ランプウエーを取り囲むように配置されている。写真2にFR鋼を使用した駐車スペースを示す。構造は、梁間方向ラーメン、桁行方向（六角の外周）ブレース造で一つおきに設けられたK型ブレースで鳥籠状の構造となっている。

5.1.2 耐火設計の概要

自動車は、車体が鋼板など主として不燃物で構成されていることから、図7に示すように可燃物はガソリンやオイルを含めても全体重量の15%程度であり、床面積当たりの可燃物量も15kg/m<sup>2</sup>以下程度と、事務所ビル(50kg/床m<sup>2</sup>程度)などと比較して極めて少ない。また、タイヤやプラスチックダンパなどから隣接車両に延焼することもあるものの、複数台の車両が同時に延焼することはない、また、外気に開放していることからフラッシュオーバーに至るような激しい火災とはならない。鋼材温度は、過去に行われた駐車場の火災実験を参考に、図8に示すように輻射・熱伝導解析により予測した。これにより、FR鋼柱・梁部材の表面温度が600°C以内であることを立証し、図9に示す架構の安全性などを実施して無耐火被覆化を実現した。

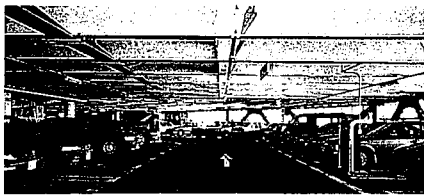


写真2 室内

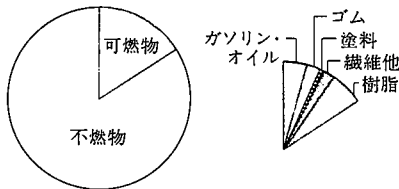
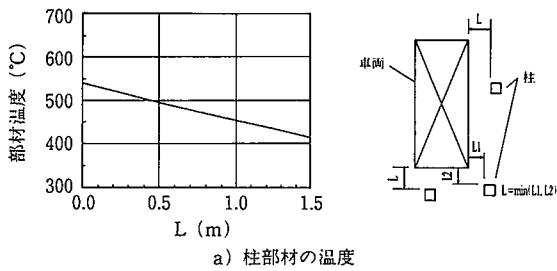
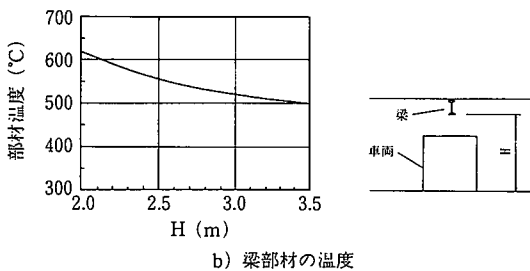


図7 自動車の可燃物量



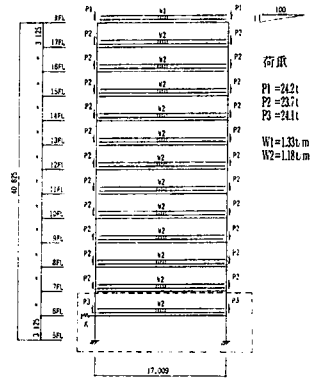
a) 柱部材の温度



b) 梁部材の温度

図8 柱・梁部材の温度解析結果

架構モデル(E6通り)



縮約化

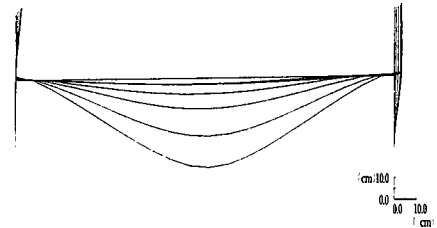
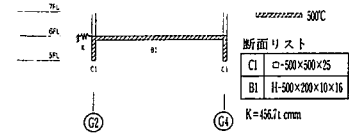


図9 (a) 架構の安全性検討結果

架構モデル(G2通り)

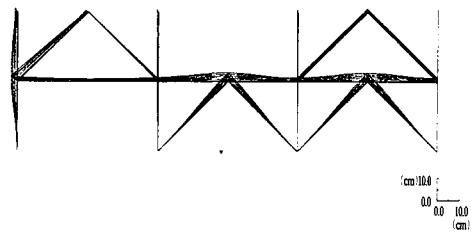
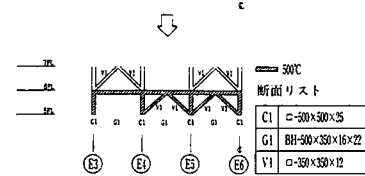
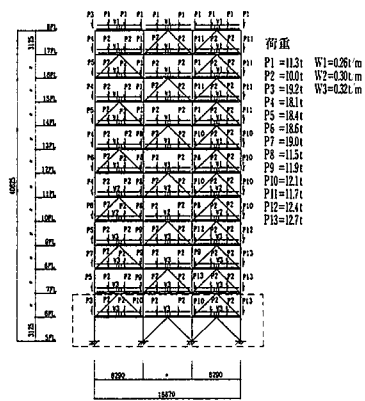


図9 (b) 架構の安全性検討結果

5.2 スポーツ施設-常滑公園体育館

5.2.1 建物の概要

施主：常滑市  
 設計：住宅・都市整備公団，環境デザイン研究所  
 （構造設計：構造計画研究所）

施工：西松，矢作，兵善JV（鉄骨製作：新日本製鐵）

建築面積：5 080m<sup>2</sup>

延べ床面積：8 661m<sup>2</sup>

階数：地上4階

常滑公園（愛知県常滑市）に建設されたこの体育館では，写真3，図10に示すように立体トラスによる100.8×50.4mの屋根を4周の大トラスで支持するというダイナミックな構造が採用されている。大トラスは，耐候性仕様のFR鋼（プレパレン処理）が採用されている。

5.2.2 耐火設計の概要

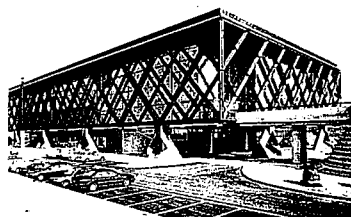


写真3 常滑公園体育館

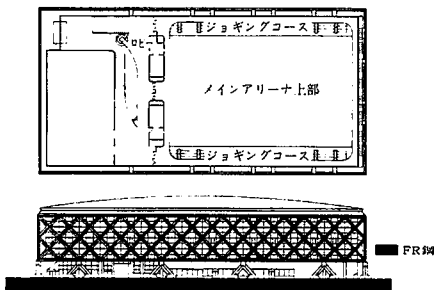


図10 平面図，断面図

用途が体育館であることから，メインアリーナの火災荷重は25kg/m<sup>2</sup>に設定した。メインアリーナ部の火災による立体トラスの表面温度の解析結果を図11に示す。火災荷重が小さいため火災温度は低く，また，トラスと窓の距離が2.1mと離れていることから，トラスの表

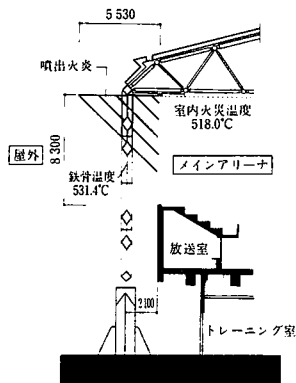


図11 鋼材温度

面温度が600°C以下となることを立証した。図12にこの表面温度のときのトラスの熱変形解析の結果を示す。トラスの変形量はわずかであり，また部材の局部座屈も生じないことが立証でき，架構の安全性を確認した。

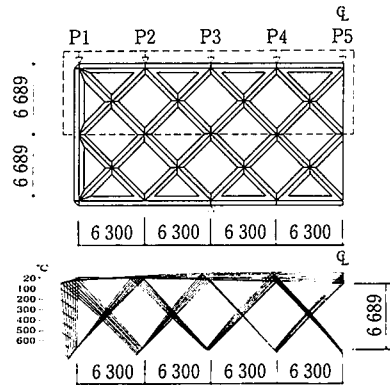


図12 大トラスの熱変形解析

5.3 アトリウム-ラパーク三郷長崎屋店

5.3.1 建物の概要

施主：長崎屋  
 設計・施工：フジタ（鉄骨製作：富士栄工業）  
 建築面積：7 628m<sup>2</sup>

延べ床面積：26 410m<sup>2</sup>（アトリウム部分：320m<sup>2</sup>）

この建物は，埼玉県三郷市の三郷ニュータウンに建設された長崎屋ショッピングセンター（写真4参照）で，図13に示すようにショッピングプラザ内にアトリウムをもつ。アトリウム屋根架構は軽量の鉄骨が曲面形に組みられ，仕上工事（アルミパネル）が複雑であることから，写真5に示すように無被覆のFR鋼適用が計画された。

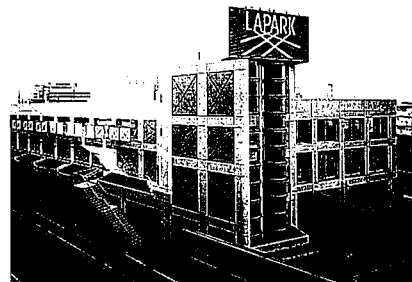


写真4 長崎屋ショッピングセンター

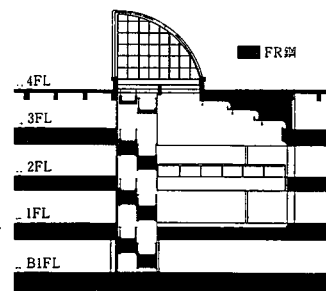


図13 断面図



写真5 アトリウム屋根架構

5.3.2 耐火設計の概要

この建物は、地階、1・2階が店舗で、3階と屋上が駐車場となっている。アトリウム屋根は屋上に設置されている。ここでは図14に示すように、1階プラザの展示物の自由燃焼火災及び2階店舗火災による窓からの噴出火災に対して検討を行った。結果として、アトリウム屋根部分で600°C以下となっていることを立証し、アトリウム架構の安全性を確認した。

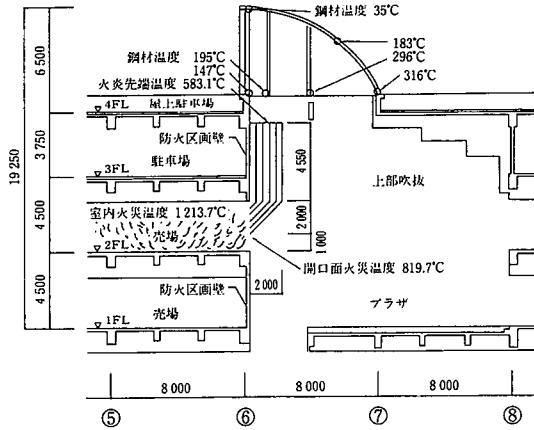


図14 噴出火炎性状図

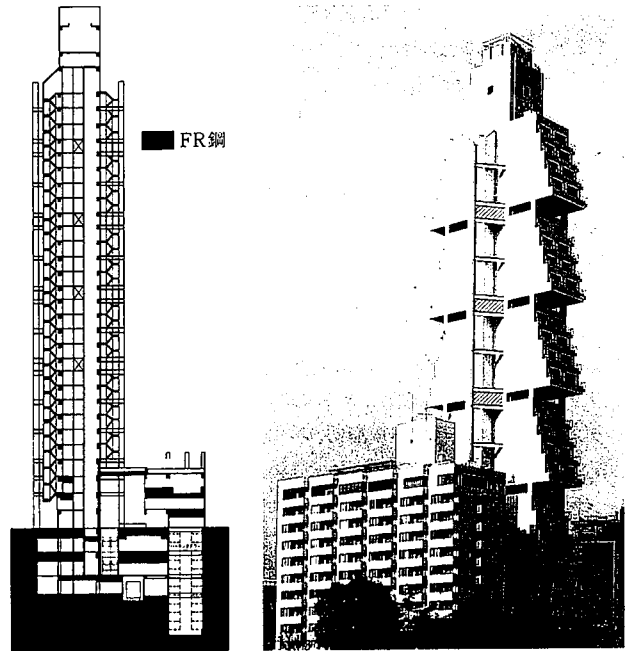


図16 断面図

写真6 法華クラブ池之端店

5.4 外部鉄骨架構-法華クラブ池之端店

5.4.1 建築物の概要

施主：法華クラブ  
設計：菊竹清訓建築設計事務所（構造設計：松井源吾，大林組）

施工：大林組（鉄骨製作：新日本製鐵）

建築面積：777m<sup>2</sup>

延べ床面積：9798m<sup>2</sup>

階数：地上26階，地下3階

このホテルは、図15, 16に示すように客室60と小規模であるが、地上26階、最高高さ110mの高層ホテルである。4階分のブロックを5層に積み上げることで、高くそびえ立つ自然の樹木がイメージされている。建物の幅が8mと小さいので、耐震用の柱(バットレス)が外部に設置されており、この柱及び梁に耐火鋼が使用されている。外観を写真6に示す。

5.4.2 耐火設計の概要

耐震架構は、基本的には外部鉄骨タイプであるが、1～3階で建物内部（アトリウム）を貫通している。このため、アトリウム1階のコーヒーラウンジにおけるソファ、机などの火災を想定した検

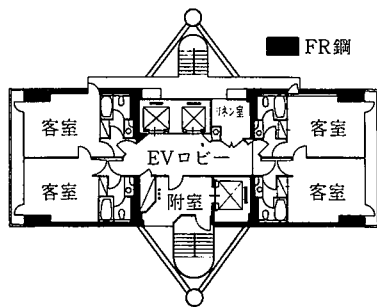


図15 平面図

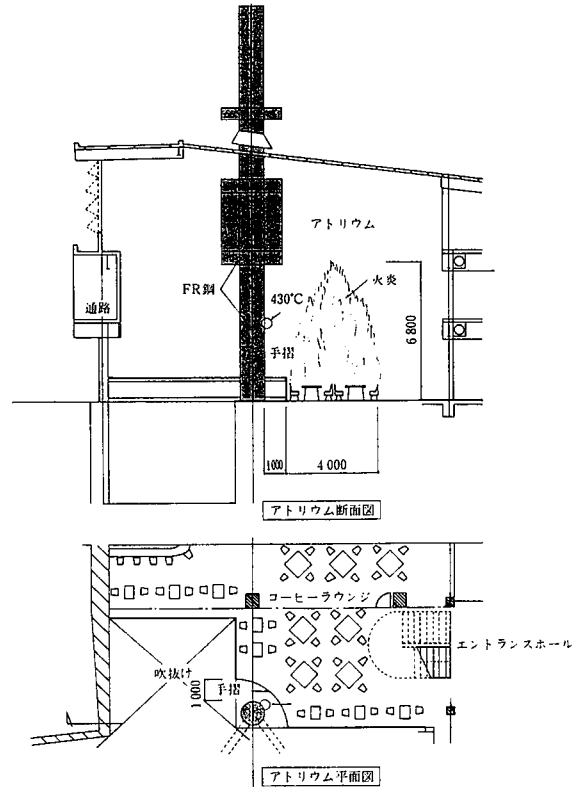


図17 鋼材温度

討を行い、図17に示すように鋼材温度が600°C以内であることを立証した。また、客室50kg/m<sup>2</sup>、リネン室200kg/m<sup>2</sup>などに設定し、窓からの噴出火災による耐震架構の鋼材温度が600°C以内であることも立証し、耐震架構の構造安定性検討により倒壊が生じないことを確認した。更に、敷地が準防火地域に近接していることから、市街地火災による類焼被害に対して安全であることを確認している。

## 6. おわりに

新しい建築耐火構造としてFR鋼及びステンレス鋼を無被覆で使用する例を紹介した。FR鋼、ステンレス鋼は一般鋼と比較して高温特性に優れていることから、もちろん可燃物量の大きな建物用途（事務所、倉庫、店舗など）では被覆軽減して使用することも可能である。いずれにしても、工事費の低減、工期短縮、室面積の有効利用あるいはデザイン性に大きな影響を及ぼし、波及効果は極めて大きいものとする。今後、紹介した建物用途のほかに更に用途開発を

進める、あるいはこれまでの建物用途で実績が積み重なったものについて一般認定の取得を推進するなどして、FR鋼及びステンレス鋼のより使い易い環境を築き上げてゆくつもりである。

### 参照文献

- 1) 国土開発技術センター、日本建築センター：建築物の総合防火設計法
- 2) ステンレス建築協会 ほか：新ステンレス鋼利用技術指針
- 3) 作本好文：鉄骨耐火の新材料と新工法。彰国社