

その他の外部資金による研究開発

- 1 高軸力鉄骨柱部材の耐火性能解析

Analysis on Fire-Resistance of Heavy Section Steel Columns

(研究期間 平成 14～16 年度)

防火研究グループ

Dept. of Fire Engineering

萩原一郎

Ichiro Hagiwara

Structural safety of high-rise steel buildings in a fire situation depends highly on the behavior of their columns. The actual behavior of large-section columns that are commonly used in such buildings, however, is not clearly known because of a lack of appropriate fire test facilities for conducting full-scale experimental investigation. The behavior of a total of seven large steel columns exposed to fire is investigated experimentally using a high-performance column furnace in the BRI. Several findings to improve the structural redundancy of steel buildings exposed to fire are discussed: properly protected large steel columns show high fire resistance; however, if a portion of the fire protection is damaged, even a large-section column can surrender far earlier than expected; ceramic fiber blanket is a good option for robust protection; maintaining a smaller axial load ratio of columns is effective for fire resistance improvement; usage of high-performance steel grade, such as fire-resistant steel, greatly improves the fire resistance of columns and hence the fire redundancy of a building.

【研究目的及び経過】

超高層建築物において最も一般的な鋼構造の柱部材は、同じ耐火被覆を施すのであれば断面の小さな部材ほど火災に対して厳しい状況となるため、耐火被覆の開発においては超高層建築物で実際に用いられる部材に比べてかなり小さな断面の部材を用いて、加熱試験を行うのが一般的である。このようなことから、超高層建築物で実際に用いられるような大断面の柱に対して、実際に支えている軸力を導入して、加熱実験を実施することは極めて稀で、結果として、このような柱が現実にはどの程度安全なのか未解明な部分があった。

本研究では、常時（長期）における設計許容荷重が 10 MN を超えるような大断面鋼柱の載荷加熱実験を実施して、従来実験では確認されていなかった規模の鋼構造柱部材が、既存の数値解析モデルによる予測が適用できる範囲にあることを確認することを主目的として一連の実験による分析を行った。

【研究内容】

鋼柱の載荷加熱実験は、建築研究所所有の柱耐火試験装置を用いて実施した。本装置は、炉内加熱空間が幅 2.5 m × 奥行き 2.5 m × 高さ 4 m と大きく、最大載荷能力 20MN という大荷重を載荷できる高性能試験炉である。炉内温度は、最大温度 1350 までの範囲でプログラム可能である。

一連の実験では、2 種類の断面形状を有した鋼柱を試験体とした。A シリーズでは、厚板から溶接組み立てした角形鋼管（ - 580 × 580 × 40 ）を用いた。また、B シリーズでは、厚板をプレス成形した角形鋼管（ BCP - 600 × 600 × 28 ）を用いた。

いずれのシリーズにおいても、普通鋼と耐火鋼の 2 種類の鋼種による比較実験を実施した。とくに B シリーズは、両者の性能差を実験的に分析することを目的としている。また、時間 - 炉内温度曲線として、ISO834 に規定される標準火災温度曲線とともに、炭化水素 (Hydrocarbon) 火災温度曲線による実験も実施して、激しい火災に対する鋼柱の挙動を分析した。さらに、A シリーズにおいては、耐火被覆の一部を意図的に剥ぎ取った状態で載荷加熱実験を実施して、耐火被覆の健全性が損なわれた場合の鋼柱の性能劣化について分析している。

表 1 には、A シリーズ実験の概要をまとめている。表中の軸力比は、実際の鋼材の降伏応力度（ミルシート値）をもとに計算した長期許容荷重に対する載荷荷重の比を表している。耐震設計された日本の超高層建築物では、実際の軸力比は最大でも 0.6 程度であることが知られており、各実験の載荷荷重はほぼこれに対応したものとなっている（実験 A-3a を除く）。耐火被覆は、セラミックウールブランケットを用いている。実験 A-1 では柱が安定な状態で加熱を終了している。この試験体を常温近くまで冷却した後、耐火被覆の一部を剥ぎ取って再度載荷加熱実験を実施したものが実験 A-1a である。実験 A-3 と A-3a も同様の関係にある。表 2 には、B シリーズ実験の概要をまとめている。耐火鋼については常温での降伏点とともに、600 での降伏点も規格保証値（常温の降伏点の 2/3 以上の応力度）となっている。耐火性能を考える上では、高温の規格保証値が重要であるので、載荷荷重を決定する上では 600 における実降伏点（ミルシート値）の 3/2 倍の値を長期許容荷重計算のための基準強度とした。

表 1 実験の概要(A シリーズ)

実験記号	鋼種	被覆 (ファイアガード)	荷重(軸力比*)	加熱曲線	実験終了状況
A-1	SN490C	80 mm (3 時間認定耐火)	10.1 MN (0.5)	hydrocarbon	加熱開始後 3 時間時点
A-1a	SN490C	80 mm (3 時間認定耐火) 2 面各半分剥ぎ取り 75% 残存	10.1 MN (0.5)	hydrocarbon	変位反転開始 (27.5 分) 直後
A-2	SN490C	30 mm (1 時間認定耐火)	9.8 MN (0.49)	ISO-834	変位反転開始 (330 分) 直後
A-3	NSFR490C	30 mm (1 時間認定耐火)	12.9 MN (0.6)	ISO-834	加熱開始後 4 時間時点
A-3a	NSFR490C	30 mm (1 時間認定耐火) 2 面各半分剥ぎ取り 75% 残存	6.5 MN (0.3)	ISO-834	変位反転開始 (105 分) 直後

表 2 実験の概要(B シリーズ)

実験名	鋼種	被覆	荷重 軸力比*	加熱曲線	実験終了状況
B-CS06	SN490B BCP325	ファイアガード 30 mm (1 時間認定耐火)	8.60 MN (0.6)	hydrocarbon	210 分で座屈開始。座屈開始時の鋼材温度は 550
B-FR06	SN490B-FR BCP325		8.67 MN (0.6)	hydrocarbon	290 分で座屈開始。座屈開始時の鋼材温度は 680 (普通鋼より 80 分遅く、温度は 130 高い)
B-CS10	SN490B BCP325		14.19 MN (1.0)	ISO-834	135 分で座屈開始。座屈開始時の鋼材温度は 410
B-FR10	SN490B-FR BCP325		14.45 MN (1.0)	ISO-834	215 分で座屈開始。座屈開始時の鋼材温度は 600 (普通鋼より 80 分遅く、温度は 190 高い)

* 軸力比は、実降伏点に基づく長期許容軸力に対する比

[研究結果]

実験結果から以下の点が明らかになった。

- 1) 耐火被覆が完全であれば大断面鋼柱は非常に高い耐火性能を保有している。

実験 A-2、B-CS06 で明確になっているように、比較的軽微な耐火被覆厚さであっても標準火災温度曲線による加熱に対して、長時間にわたり荷重を支持し続けている。また、B-CS10 の結果から、軸力比 1.0 という限界の載荷、より激しい hydrocarbon 火災温度曲線加熱という極限的な実験条件に対しても、2 時間以上にわたり荷重を支持し続けている。このように、大断面鋼柱を、セラミックウールのような材料で適切に耐火被覆した材料は高い耐火性能を保有していることが明らかになった。

- 2) 耐火被覆が損傷すると耐火時間は急激に短くなる可能性がある。

実験 A-1a では、実験 A-1 と載荷および加熱条件を同一として実験が行われている。実験 A-1 は柱が座屈挙動を示すまで加熱していないが、実験 A-2 の結果も考慮して実験結果を外装すると実験 A-1 では約 10 時間程度は荷重支持能力を維持したと推定でききる。これに対して、耐火被覆の一部 (25%) を剥ぎ取った実験 A-1a ではわずか 30 分ほどで荷重支持能力を喪失し

ている。このように、大断面鋼柱であっても耐火被覆の一部に損傷を受け、その部分の柱が無被覆状態になると耐火性能は極端に低下する可能性がある。

- 3) 耐火鋼を採用することで、普通鋼に比べてより高い耐火性能を実現できる。

実験 B-CS06 と B-FR06、実験 B-CS10 と B-FR10 は、それぞれ使用する鋼種が異なるだけで、他の実験条件は同一である。それぞれ対応するものを比較すると、軸力比 0.6、ISO 834 加熱という実際の建物の火災に近い条件で、耐火鋼を用いることにより普通鋼を用いた場合に比べ 80 分間も長く荷重支持能力を保持し続けることができる。また、軸力比 1.0、hydrocarbon 加熱という、極限的な条件でも、耐火鋼は 80 分間も長く荷重支持能力を保持し続けることができる。

[参考文献]

- 1) 河野守, 増田秀昭, 川合孝明: 「実験による鋼軸力鋼柱の耐火性能分析」, 日本火災学会研究発表会概要集, pp. 98-101, 2003.5.
- 2) M. Kohno, H. Masuda: Fire-resistance of Large Steel Columns under Axial Load, Proc. of CIB-CTBUH Intern. Conf. on Tall Buildings, pp. 95-102, 2003.10