

## - 2 建築構造物の耐火性能評価ツールの開発

### Development of Performance Evaluation Tools for Fire Resistance of Building Structures

(研究期間 平成 14～15 年度)

防火研究グループ  
Dept. of Fire Engineering

河野 守  
Mamoru Kohno

増田秀昭  
Hideaki Masuda

茂木 武  
Takeshi Motegi

A series of fire resistance experiments were conducted to investigate structural behavior in fire circumstances. The experiments include, loaded heating of two types of heavy steel columns and loaded heating of high-strength-bolt connections. The knowledge of the behavior found in the experiments should constitute the essential part for the development of performance evaluation tools. Unfortunately, this three year research project was shortened to two years; the development of the tools was not achieved and is left for future work.

**【研究目的及び経過】** 建築基準法の性能規定化に伴い、限界耐力計算、耐火性能検証法が法体系に位置付けられた。従来、設計実務においてはパーツの組み合わせに終始していた「耐火設計」に、性能を陽に検証した設計を行う工学的な手法を導入した点で、耐火性能検証法の登場のインパクトは大きい。一方で、耐火性能検証法で検証できる対象は一般的な建築構造物の一部に限れており、通常の構造設計で考えられている骨組全体の応力解析を直接取り扱う体系とはなっていない。鉄骨造平面骨組の耐火性能を評価する解析手法も研究段階では提案されているが、それが設計実務に広く応用される状況にはない。そこで、本研究では実務設計に活用可能な耐火性能評価ツール群を開発することを目的とする。

本研究においては、前述の目的を3カ年で達成することとしていたが、諸般の都合により2カ年で終了することとなった。これに伴い、主として高軸力鋼柱および高力ボルト接合部の耐火性能把握実験の成果をまとめるに留まり、これらの成果をベースとした耐火性能評価ツール群の開発は将来の研究課題となった。

**【研究内容】** 建築物の耐火性能を評価するためには、部材の耐火性能および、接合部の耐火性能を把握する必要がある。とくに、2001年9月11日の米国WTCタワーの崩壊でも注目

された、大断面鋼柱および鉄骨造接合部の耐火性能に関して、1) 溶接組み立て角形鋼管柱、2) プレス成形角形鋼管柱、および3) 高力ボルト接合部の耐火性能について実験的に研究した。

以下に各項目の概要を記す。

#### 1) 溶接組み立て角形大断面鋼柱の荷重加熱実験

試験体は、SN490CまたはSN490C耐火鋼で厚さ40mmの鋼板から溶接組み立てした角形鋼管( -580×580×40)である。柱長さは4.3mで、うち4.0mが加熱長さである。柱耐火試験炉を用いた荷重加熱実験条件および結果を表1に示す。なお、A-1aおよびA-3aは、A-1およびA-3の実験終了後試験体を冷却した後、被覆の一部を剥ぎ取って再度荷重加熱したものである。

#### 2) プレス成形角形大断面鋼管柱の荷重加熱実験

試験体は、SN490BまたはSN490B耐火鋼板からプレス成形した角形鋼管(BCP325, -600×600×28)である。柱長さ等は前項と同様である。

表1 溶接組み立て大断面鋼柱の荷重加熱実験結果

実験名	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	NSFR490 C	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	NSFR490 C	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

\* 軸力比は、実降伏点に基づく長期許容軸力に対する比

載荷加熱実験条件および結果を表 2 に示す。  
 3) 実大高力ボルト接合部の載荷加熱実験  
 試験体は、H 形鋼 (H - 488×300×10×18) の中央部に高力ボルト (S10T-M20) 接合部を設けた図 1 に示すはりである。また、実験条件を表 3 にまとめる。

表 2 プレス成形角形大断面鋼管柱の載荷加熱実験結果

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-F R 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-F R 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

載荷加熱実験の結果、

C-1, C-2 試験体は下フランジのボルト破断により、D 試験体では荷重レベルにより母材部またはボルト破断により、それぞれ載荷荷重が維持できなくなり崩壊した。

図 2 は、既往の文献等による理論崩壊温度と実験結果を比較したものである。図に示されるように、実験結果は崩壊モードを含めて理論崩壊温度と良く対応している。

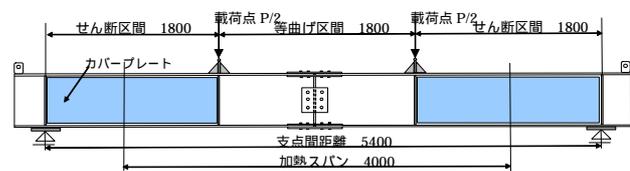


図 1 高力ボルト接合部試験体概要

【研究結果】 本研究から得られた知見をまとめると以下の通りとなる。

- 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。
- 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。
- 耐火鋼等の高性能鋼を採用することで、耐火被覆損傷時の耐火性能劣化を緩和できる可能性がある。
- 高力ボルト接合部は、高温時には摩擦接合から支圧接合に移行し、ボルトがせん断破壊に至る。
- 常温時に全強接合されていても、崩壊温度が高い場合にはボルトせん断破壊に達する。

表 3 高力ボルト接合部載荷加熱実験条件

試験条件	荷重レベル(荷重値)
[C-1 試験体] 継手の高温曲げ崩壊を想定した試験体 2 体 継手と梁の常温曲げ強度比 $\gamma = 0.90$ ボルト フランジ部 4 本 ウェブ部 2 本	$0.24\bar{M}_y$ (176kN) $0.39\bar{M}_y$ (294kN)
[C-2 試験体] C-1 試験体からウェブボルトを削減した試験体 1 体 $\gamma = 0.81$ ボルト投入量 フランジ部 4 本	$0.24\bar{M}_y$ (176kN)
[D 試験体] 最適な全強度設計が施された試験体 2 体 $\gamma = 2.12$ ボルト フランジ部 10 本ウェブ部 3 本	$0.33\bar{M}_y$ (246kN) $0.76\bar{M}_y$ (572kN)

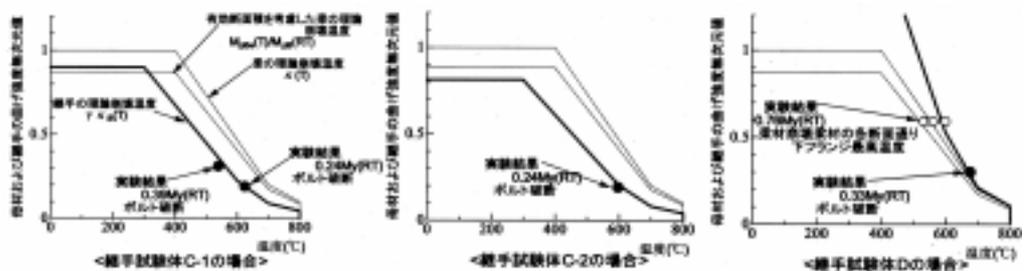


図 2 高力ボルト接合部の耐火性能実験と理論との比較

【備考】 本研究の詳細については以下の論文を参照のこと。

- 河野守, 増田秀昭, 川合孝明: 「実験による高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
- 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

- 河野守, 尾崎文宣, 川合孝明: 「高力ボルト接合部継手の高温曲げ耐力に関する実験」日本建築学会大会学術講演梗概集, 2004.8 (掲載予定)