

新耐火設計法の開発

Development of New Fire Resistant Design

高橋 孝二* 長谷部 廣行**
Koji Takahashi Hiroyuki Hasebe
阿世賀 宏***
Hiroshi Asega

要 約

近年、耐火設計法は急速に発展し、火災性状を予測することによって、架構あるいは部材が崩壊しないよう設計する、新しい耐火設計法¹⁾が提案されている。しかし、高温時の鉄骨あるいは鉄筋コンクリート部材の力学性状の解明は、未だ研究の余地を残している。ここでは、構造用鋼材の高温部材実験と高力ボルト摩擦接合継手の高温せん断実験の概要を述べ、それらの実験結果を踏まえて開発した「新耐火設計法」を自走式立体駐車場に適用した場合について解説する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 高温時における鋼構造部材の耐力変形性能
- § 3. 高温時における高力ボルト摩擦接合継手の性能
- § 4. 新耐火設計法の概要
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

建設省総合開発プロジェクト「建築物の防火設計法の開発（1982年～1986年）」（以下、防火総プロ）で示された新しい思想に基づく耐火設計法¹⁾は、建築物の開口条件や可燃物量に応じて火災性状を予測し、その火災に対して架構が崩壊しないよう設計する方法であった。このプロジェクトを転機に、これまでの仕様書規定の設計法から、少数ではあるが、耐火設計の分野においても性能設計が可能となり、構造設計と同様に構造技術者の自由な架構計画が可能になった。

そこで、「防火総プロ」で提案されたこの新しい耐火設計法を習得し、建築構造部材の耐火性能の把握および耐火設計技術の実用化研究を行う目的で、6社の共同研究として「建築物の耐火設計法に関する研究開発」委員会を設置した。

本報告では、本委員会では実施した、溶接構造用鋼材(SM材)の高温部材実験と高力ボルト摩擦接合継手の高温せん断実験の成果の概要を述べ、それらの実験結果を踏まえて開発した「新耐火設計法」を自走式立体駐車場に適用した場合の概要について解説する。

本研究は財団法人日本建築防災協会に設置された共同研究会（日本大学、千葉大学、ベターリビング、建設省建築研究所、佐藤工業、戸田建設、ハザマ、前田建設工業、フジタ、西松建設）によって実施された。

§ 2. 高温時における鋼構造部材の耐力変形性能

溶接構造用鋼材の高温時における耐力・変形性状を把握することを目的とした、角形鋼およびH形鋼を用いた3種類（純圧縮実験、純曲げ実験、曲げ圧縮実験）の実験について報告する²⁾。

2-1 純圧縮実験

(1) 実験概要

試験条件を表一に示す。試験体変数は断面形状、幅厚比および鋼材温度である。試験体形状を図一に、試験装置を図二に示す。

表一 純圧縮実験条件

断面	幅厚比	鋼材温度(℃)			
		常温	400	500	600
□-150×150×6	25	●	●	●	●
□-135×135×4.5	30	●	●	●	●
H-135×135×6×9	7.5	●	●	●	●
H-120×120×4.5×6	10	●	●	●	●

* 技術研究所技術研究部建築技術研究課

** 企画技術部企画技術課

***技術研究所技術研究部

試験体形状を図-1に、試験装置を図-2に示す。試験体は箱型電気炉により加熱した。電気炉は試験体を覆うように設置し、鋼材温度は目標温度の±20℃に収まるように調整した。温度の測定は、シース型熱電対を使用し、試験部分の様な温度分布を確認する為に計8個の熱電対を図-1に示す場所に配置した。変形測定は、試験部分の圧縮変形量を測定した。

(2) 実験結果

H形鋼の実験結果を図-3に示す。縦軸は試験部分の平均圧縮応力である。横軸は標点区間の圧縮変形を標点距離で除した平均歪みである。

角形鋼，H形鋼とも600℃における耐力は、常温に比べ25%程度は保持していることが確認された。また、500℃においては、常温時に比べ50%以上の耐力を保持している。幅厚比による差異は、角形鋼，H形鋼とも幅厚比が大きい試験体の方がどの温度条件においても耐力低下が早いことがわかった。

2-2 純曲げ実験

(1) 実験概要

試験条件を表-2に示す。試験体変数は、幅厚比および鋼材温度である。

実験方法は、両端がジャッキとローラーによって支持されている加力梁に試験体を取り付けて、加力梁の一端をジャッキで上方に持ち上げることで、試験体に純曲げを生じさせる。高温状態にする方法は、純圧縮実験と同様に行った。

表-2 純曲げ実験条件

断 面	幅厚比	鋼材温度 (℃)			
		常温	400	500	600
H-135×135×6×9	7.5	●	●	●	●
H-120×120×4.5×6	10	●	●	●	●

(2) 実験結果

実験結果を図-4に示す。縦軸は、試験部分の曲げモーメントを公称値 ($\sigma_y = 330 \text{ N/mm}^2$) を用いた降伏曲げモーメントで無次元化した値である。横軸は試験部分の曲げ変形量を降伏時のたわみ量で無次元化した値である。

実験結果は、いずれの幅厚比においても、常温の試験体を除いては、変形の増大に伴う耐力の低下は無く、降伏たわみの20倍以上の変形能力を有していた。各温度における曲げ耐力は、常温時における公称の降伏モーメントに対して、500℃で80%，600℃で40%程度であった。

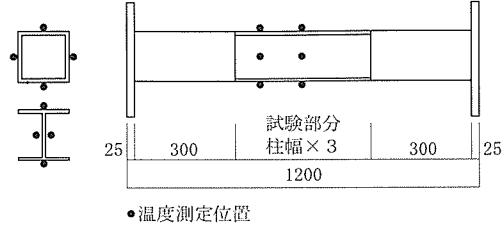


図-1 純圧縮実験の試験体形状

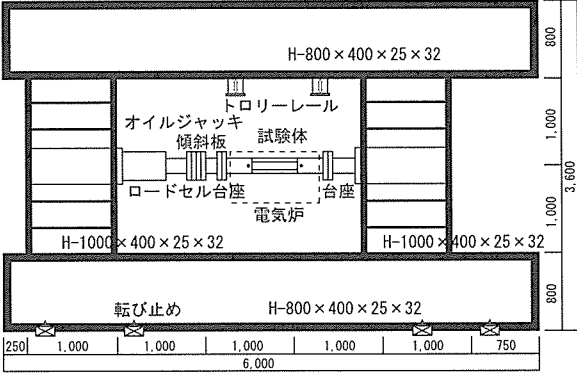


図-2 純圧縮実験の試験装置

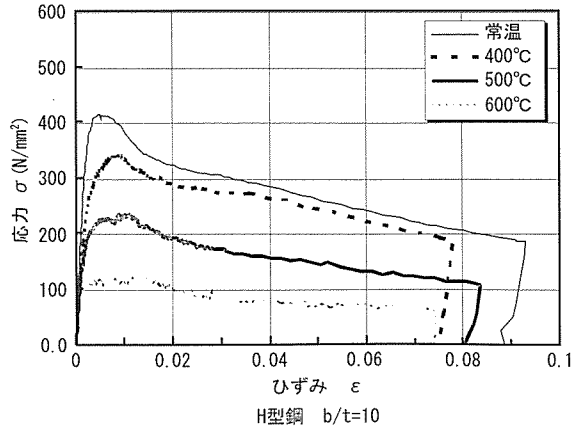
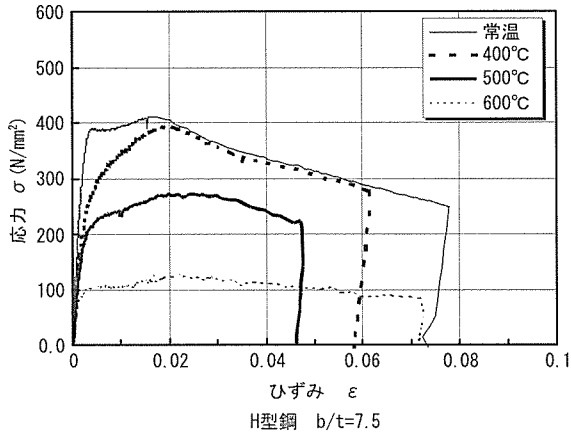


図-3 純圧縮実験の実験結果

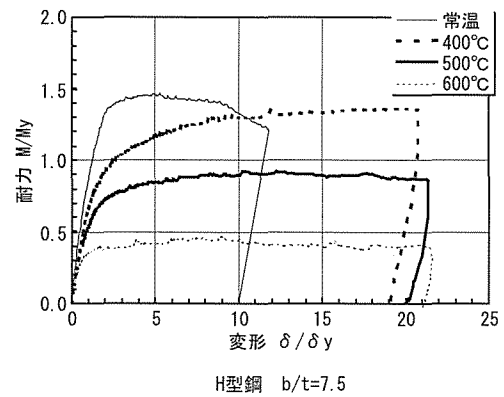
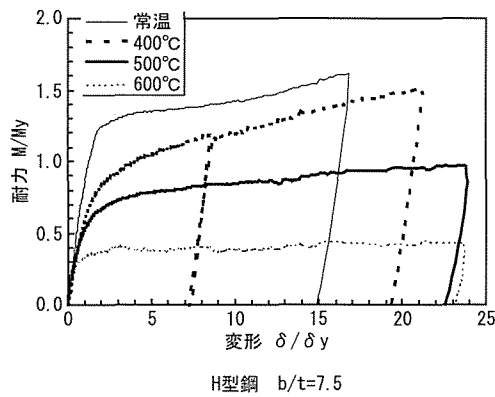


図-4 純曲げ実験の実験結果

2-3 曲げ圧縮実験

(1) 実験概要

試験条件を表-3に示す。試験体変数は幅厚比と軸力比および鋼材温度である。

角形鋼の純圧縮実験で裏当て金の影響が見られたため、裏当て金なしの試験体を6体含めた。

試験装置を図-5に示す。試験部分が目標温度で一定になることを確認した後、水平アクチュエーターにより所定の軸力を与える。軸力を一定に保持した状態で、ピン支持側垂直アクチュエーターで加力梁を固定し、加力側垂直アクチュエーターで加力梁を下方に変位させて、試験部分に曲げを与える。

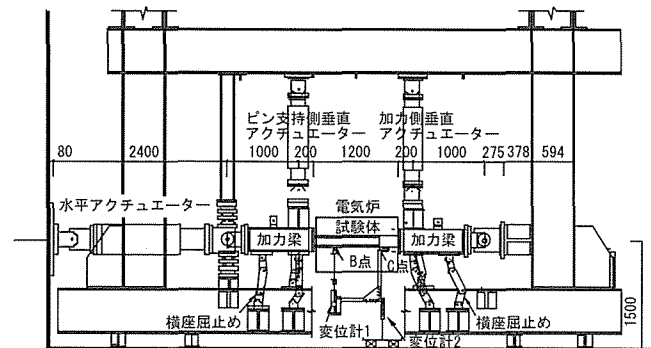


図-5 曲げ圧縮実験の実験装置

表-3 曲げ圧縮実験条件

断面	幅厚比	軸力比	鋼材温度 (°C)				
			常温	400	500	550	600
H-135×135×6×9	7.5	0.3	●	●	●		●
		0.4	●	●	●	●	
		0.5	●	●	●	●	
H-120×120×4.5×6	10	0.3	●	●	●		●
		0.4	●	●	●	●	
		0.5	●	●	●	●	
□-150×150×6	25	0.3	●	●	●		●○
		0.4	●	●	●	●	
		0.5	●	●	●○	●○	
□-135×135×4.5	30	0.3	●	●	●		●○
		0.4	●	●	●	●	
		0.5	●	●	●○	●○	

○裏当て金無しの試験体

(2) 実験結果

実験結果を図-6に示す。ここでは幅厚比の小さなH形鋼b/t=7.5の結果を示す。グラフの縦軸は、モーメントを常温時の公称値 ($\sigma_y = 330 \text{ N/mm}^2$) を用いた塑性モーメント M_p で無次元化した値であり、横軸は、測定間

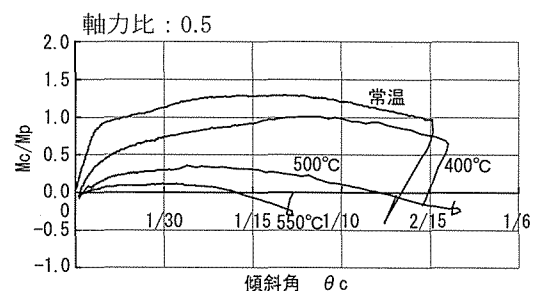
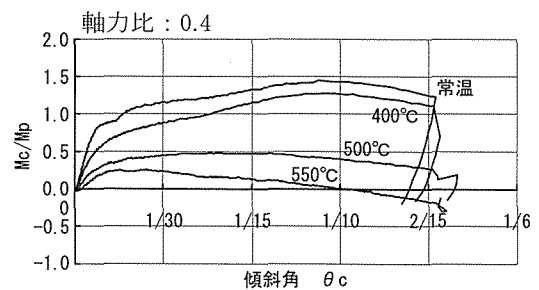
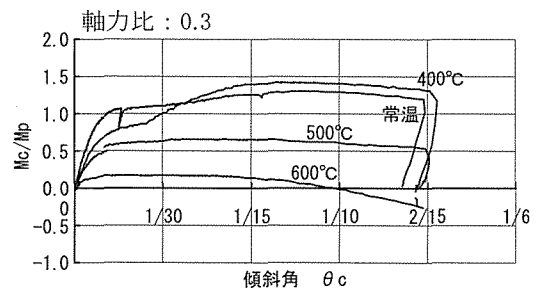


図-6 曲げ圧縮実験の実験結果 b/t=7.5

距離の傾斜角を表す。

傾斜角の小さい段階でグラフが終了しているものは、その時点で軸力を保持できないことを意味している。

ヨーロッパ基準³⁾に定められる柱の限界水平変形 $h/30$ (図中では傾斜角1/15に相当) に達しても軸力を保持できたのはH形鋼と角形鋼とも、軸力比0.3では600℃、軸力比0.4では550℃、軸力比0.5では500℃であった。

§ 3. 高温時における高力ボルト摩擦接合継手の性能

鉄骨架構の耐火設計を行うには、火災時の高力ボルト接合部が応力をどの程度伝達できるかを把握する必要がある。高力ボルトに関する実験で500℃以上のデータは未だ少ないのが現状である。そこで、650℃までの高力ボルト摩擦接合継ぎ手の引張試験について報告する⁴⁾。

3-1 実験概要

供試ボルトには、S10T-M22の構造用トルシア形高力ボルト (JSS II 09規格) を用いた。本実験では、2面せん断面のうちの1面がねじ部となるように、首下長さを80mmとし、締付け長さに加える長さを31mmとした (標準寸法は35mm)。試験体形状を図-7に示す。使用鋼材はSM490A (母材25mm厚、添板12mm厚) で、2面せん断の摩擦接合形式の継手試験体である。

試験条件を表-4に示す。まず部材実験と同じ温度である400℃、500℃、550℃、600℃、およびRTについて3体の実験を行ない、この結果より200℃、300℃、650℃について2体の実験を行なう事とした。

試験体の加熱には電気炉を用いた。外側が箱形 (500mm×500mm)、内側が円筒形 (φ200mm)、高さが350mmの二つ割型電気炉である。約10℃/分で温度を上昇させて、所定温度で1時間温度を保持し、温度が±3℃で安定したのを確認した後に加力を開始した。载荷には油圧式200tf万能試験機を用いた。

温度測定については、供試ボルトの穴芯より上下40mmの両面に計4個のK熱電対を配置し、供試ボルト近傍の添板表面温度を測定した。

表-4 実験条件

常温	200℃	300℃	400℃	500℃	550℃	600℃	650℃
● ● ●	● ●	● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ● ●	● ●

3-2 実験結果

実験結果を図-8に示す。すべり荷重は、300℃より顕著に低下し、400℃～500℃において長期許容せん断力を下回り、500℃を超えると耐力はほとんど期待できない。最大荷重は、300℃を超えると顕著に低下し、600℃

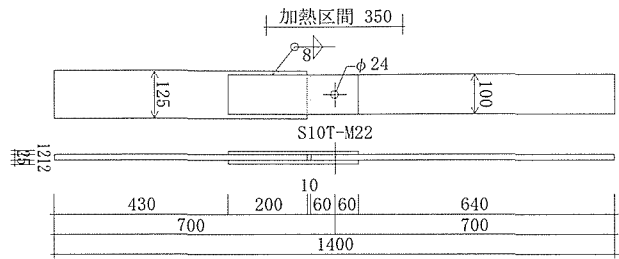


図-7 試験体形状

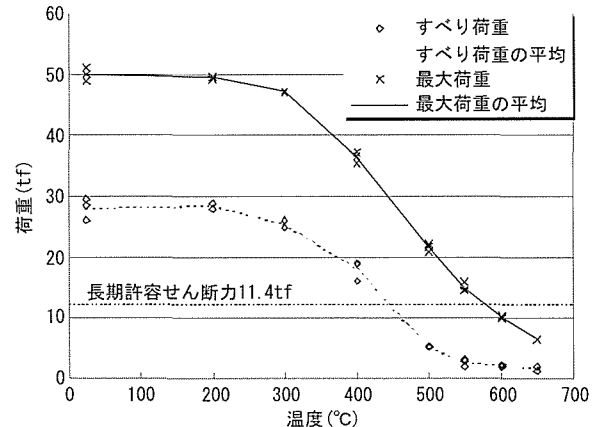


図-8 実験結果

になると長期許容せん断力を下回る。

常温、200℃、300℃、400℃の実験では、すべり荷重に達した後に小さなすべり音がして、最大荷重に達した後は破断による大きな衝撃音がした。500℃以上の実験では、すべり音および破断時の衝撃音は確認できなかった。

§ 4. 新耐火設計法の概要

これまでは、鋼構造の耐火性能を満足させる方法として、要求耐火時間に対して鉄骨部材の温度が平均350℃以下になるように耐火被覆を施していました。しかし、総プロで開発された、耐火設計法を用いれば、耐火被覆を全く用いずに、施工することが可能となり、その一例として、自走式の立体駐車場に対して、高温に強い特殊鋼材 (耐火鋼) の使用により無耐火被覆工法が実用化されている。

ここでは、これまで述べてきた高温時の部材および接合部の実験結果を踏まえて開発した新耐火設計法を解説する。この設計法により、自走式立体駐車場の一般鋼材による無耐火被覆工法が可能となる。

新しい耐火設計法のフローを図-9に示す。この設計法では、それぞれの建物について、その設計条件・使用条件に基づいて、火災性状予測、鋼材温度予測、架構の耐火性能、接合部の耐火性能、類焼被害防止性能、維持管理を予測し、建物の耐火安全性を総合的に検証できる。

する場合、応力は緩和される傾向にあるので、常温時の長期荷重による応力を高温時のボルトの耐力が超えているかを確認する。摩擦接合の種類を図-13に示す。

(5) 類焼被害防止性能

建物の周辺で火災が発生すると建物外周部の部材が火災または輻射による熱に曝され、架構が倒壊する可能性がある。ここでは、燐棟火災や市街地火災を想定して、建物の安全性を確認する。

(6) 維持管理

設計条件（火災性状予測、鋼材温度予測、類焼被害防止性能など）を維持管理計画に基づいて、所有者および管理者に徹底させる。

§ 5. おわりに

溶接構造用鋼材の高温部材実験と高力ボルト摩擦接合継手の高温せん断実験の概要を述べ、それらの実験結果を踏まえて開発した「新耐火設計法」を自走式立体駐車場に適用した場合について解説した。今後は、用途範囲を拡大し、その他の建物についても用途・規模に合った合理的・経済的な耐火設計法を提案して行くつもりである。

最後に本研究を共同で進めてまいりました佐藤工業、戸田建設、ハザマ、前田建設工業、フジタ、ベータリビング、建設省建築研究所の皆様、また、鉄骨部材の実験を遂行して頂いた千葉大学・上杉研究室の皆様に深謝致します。

参考文献

- 1) 日本建築センター：建築物の総合防火設計法 第4巻，財団法人日本建築センター，1988.
- 2) 平島岳夫，他：高温時における鋼構造部材の耐力変形性能に関する研究，構造工学論文集，Vol. 46B, pp.735-746, 2000.
- 3) Design Manual on the European Recommendations for the Fire Safety of Steel Structure, ESSC-Technical Committee3 Fire Safety of Steel Structure, 1985
- 4) 平島岳夫，他：高力ボルト摩擦接合継手の高温時におけるせん断耐力に関する実験，構造工学論文集，Vol. 47B, 2001.
- 5) 山本幸一，吉田正友，岡村義徳，田中義昭：自走式2層3段自動車車庫の実大火災実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，1997. 9, pp133-136.

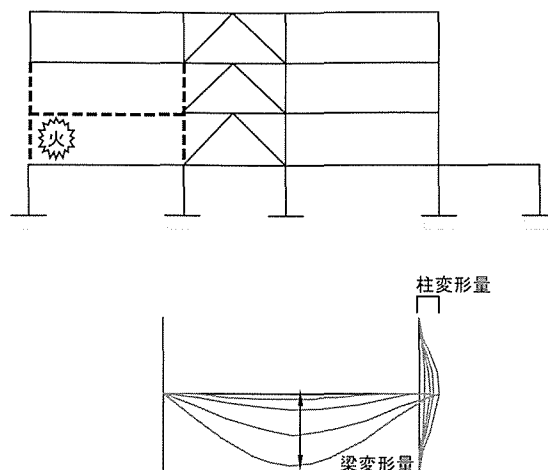


図-12 解析例

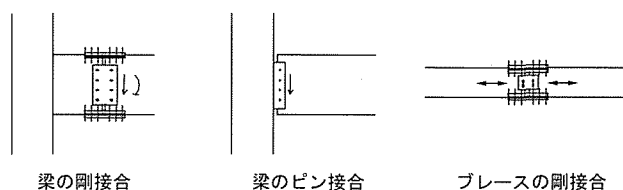


図-13 高力ボルト摩擦接合部の種類