

火災を受けた鉄骨建物に残存する耐荷・変形能力
—1層1スパン鉄骨骨組み—

火災 鉄骨骨組 残留変形 残留構造性能 FEM

正会員 西野孝仁*

1. はじめに

火災は鉄骨建物に残留変形・残留応力を生じさせ、それが被災建物の剛性・耐荷能力・変形能力といった構造性能を低下させる可能性がある。したがって被災建物は再使用の可否、再使用する場合の補強・補修方法が検討されることになる¹⁾が、その際必要となるのは被災建物に残存している構造性能に関する情報である。本研究は火災を経験した鉄骨建物に残存する構造性能と火災状況の関係を明らかにすることを目的としており、その基礎的研究として1層1スパン鉄骨組の火災温度と残存水平剛性・水平耐力・変形能力に関する有限要素解析を行ったので、その結果について報告する。

2. 解析概要

解析対象建物は柱を□-400×400×12の角形鋼管、梁をH-500×200×10×16のH形鋼とする1層1スパン鉄骨骨組みである。柱と梁の材長は図1に示すように部材中心間寸法で3250mmと6000mmであり、柱脚部の支持条件は固定支持としている。柱梁接合部は内ダイアフラムで補強し、梁中央部は水平力載荷のためにスチフナーで補強している。常時荷重は自重・床荷重・柱軸力であり、床荷重の大きさは2.30kN/m²、梁が支える床面積を24m²としてこれを等分布荷重に置き換えて梁に与える。また柱軸力は柱脚部で0.1Nyとなるように柱頭部に与える。ここにNyは柱の降伏軸力である。材料の機械的性質は柱・梁で同一とし、応力度-ひずみ度関係は鋼材の設計用高温強度式と古村等による鋼の高温時応力-ひずみ関係式の両者を勘案して作成されたSS400材の関係式²⁾を多線形近似したモデルとした。解析に使用した多線形応力度-ひずみ度関係は図2に示す20、100、200、300、400、500、600、700℃の場合であり、この温度以外の温度での応力度-ひずみ度関係は近傍の定められた応力度-ひずみ度関係から線形補間で求めるものとする。また温度に関わらずひずみが0.15以上では応力の上昇が無いものとした。降伏棚が無い500℃以上の場合のヤング係数はひずみ0~0.0001間を直線として求めた(表1)。弾塑性状態の判定はVon-Misesの降伏条件に従うものとする。またポアソン比および線膨張係数は温度に関わらず0.3および12×10⁻⁶K⁻¹とした。解析方法は有限要素法を用いた非線形解析であり、汎用構造解析プログラムDIANA9³⁾を使用した。要素タイプは曲面シェル要素、要素数は15572である。外部荷重は火災を想定した熱荷重と水平荷重である。熱荷重は骨組み全体に20℃から最高温度Tf(=300, 400, 500, 600℃)まで与え、その後20℃まで低減する。次に梁のウェブと中間スチフナー接合部中央点に構面内強制水平変位を与えるものとする。

この骨組みは梁降伏型であり、柱の反曲点高比は0.612である。初期剛性Koは3.94×10⁴(N/mm)、降伏層せん断力Qyは5.38×10⁵(N)、降伏水平変位δyは13.7mmである。これらの数値算定には部材の伸縮および部材構成板要素の変形は考慮していない。

3. 解析結果

図3にTf=600℃における骨組みの変形状態を示す。柱

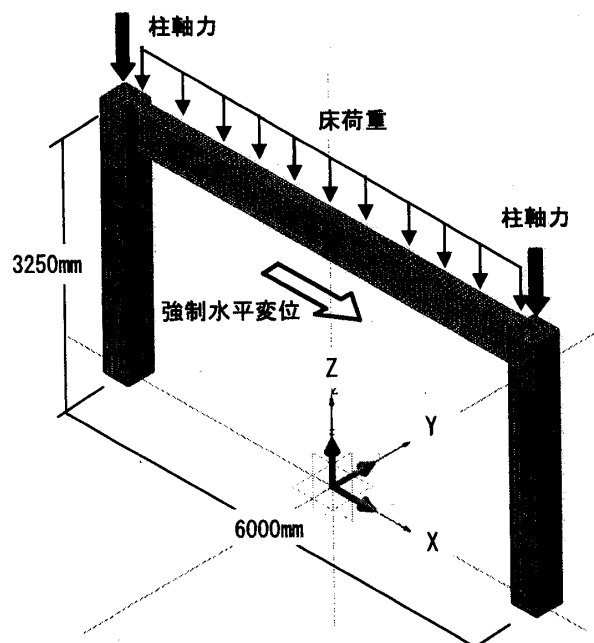


図1 解析モデル

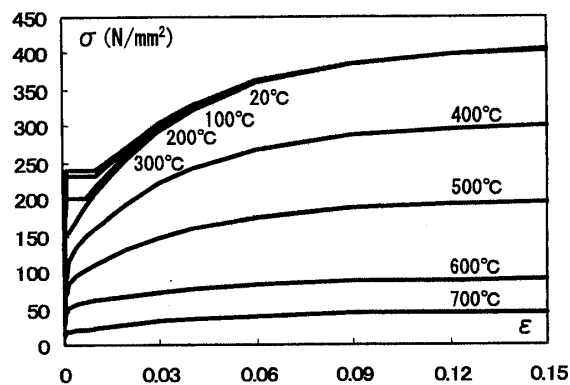


図2 材料の応力度-ひずみ度関係

表1 温度とヤング係数の関係

温度(℃)	20	100	200	300	400	500	600
ヤング係数 ×10 ⁵ (N/mm ²)	2.10	2.08	2.02	1.91	1.76	1.50	1.24

は熱膨張によって伸びるとともに梁の熱膨張によって外側に押し広げられ、梁は上方へ撓む。400℃時には柱部材角が 4.09×10^{-3} rad、梁の撓み量が 7.00×10^{-4} となり、600℃時には柱部材角が 6.17×10^{-3} rad に増加するが、梁の撓み量は柱梁接合部近傍板要素の局部変形の影響により拘束効果が低下し、 6.67×10^{-4} に減少する。この時、柱脚部外側フランジには 3/1000 程度の大きさの局部座屈波が生じていた。

図4に火災最高温度 $T_f=600^\circ\text{C}$ における鎮火後の骨組みの残留変形状態を示す。温度低下により柱頭の位置はほぼ火災前の位置に戻るが、梁には下方への撓みと、柱には外側への撓みが残留する。この時の梁の撓みは 6.52×10^{-4} と許容値に比べ小さい。また梁端部の下フランジと柱脚部外側フランジには局部変形が残留しており、 $T_f=600^\circ\text{C}$ における鎮火後の柱脚部局部変形は 600℃時より増大し、波の高さが 8/1000 となった。

図5に板要素の応力状態を示す。図5aは柱梁接合部の梁下フランジ局部変形部分の応力状態、図5bは柱脚外側のフランジ局部変形部分の応力状態である。両図とも白シンボルは最高火災温度時、黒シンボルは鎮火時の応力状態である。また実線は初期降伏曲面を表している。最高火災温度時には変形拘束により圧縮の応力が生じ、 $T_f=400, 600^\circ\text{C}$ の場合の鎮火時には引張の応力が残留する。

図6に $T_f=600^\circ\text{C}$ の骨組の水平変位 $9.5 \delta y$ 時の変形状況、及び図7に水平力 Q と水平変位 δ の関係を示す。ここに Q_y は降伏水平力、 δy は降伏水平変位である。柱脚部には図6に示すような局部変形が生じている。この局部変形の成長には鎮火時の残留局部変形が関係していると考えられ、 T_f が高いほど柱脚部の残留局部変形が顕著となるため水平力-水平変位関係に及ぼす影響も大きくなる。 $T_f=500^\circ\text{C}$ では $Q/Q_y=0.6$ 程度から、また $T_f=600^\circ\text{C}$ では $Q/Q_y=0.3$ 程度から剛性の劣化が顕著となる。

図8に水平剛性と火災最高温度の関係を示す。水平剛性は $\delta / \delta y=0 \sim 1.0$ の区間を直線として算定した。 $T_f \geq 400^\circ\text{C}$ で剛性の劣化が著しくなり $T_f=600^\circ\text{C}$ では 82% に減少する。図9に水平耐力と火災最高温度の関係を示す。最大耐力は T_f が高くなるほど減少するが減少幅は小さく $T_f=600^\circ\text{C}$ でも 97% に減少するだけである。図10に変形能力と火災最高温度の関係を示す。変形能力は最大耐力時の水平変形と定義した。変形能力は $T_f \geq 400^\circ\text{C}$ で大きく減少し、 $T_f=600^\circ\text{C}$ で 84% に減少する。

4. 結論

火災を受けた鉄骨建物に残存している構造性能を明らかにする為の基礎的研究として、1層1スパン骨組の加熱・冷却及び加熱冷却後の水平加力時挙動に関する有限要素解析を行った結果、以下の知見を得た。

- (1) $T_f=600^\circ\text{C}$ の場合、鎮火時には柱脚部に火災温度 600°C 時よりも大きな局部変形が残留する。
- (2) 水平剛性は $T_f \geq 400^\circ\text{C}$ で劣化が著しくなり $T_f=600^\circ\text{C}$ では 82% に減少する。
- (3) 最大耐力は T_f が高くなるほど減少するが減少幅は小さい。
- (4) 変形能力は $T_f \geq 400^\circ\text{C}$ で大きく減少し、 $T_f=600^\circ\text{C}$ で 84% に減少する。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建物の火害診断及び補修・補強方法、2006年8月
- 2) 日本建築学会：鋼構造耐火設計指針、1999年1月
- 3) JIPテクノサイエンス：DIANA9 ユーザーマニュアル、2005.9

* 広島国際大学工学部 准教授・博士 (工学)

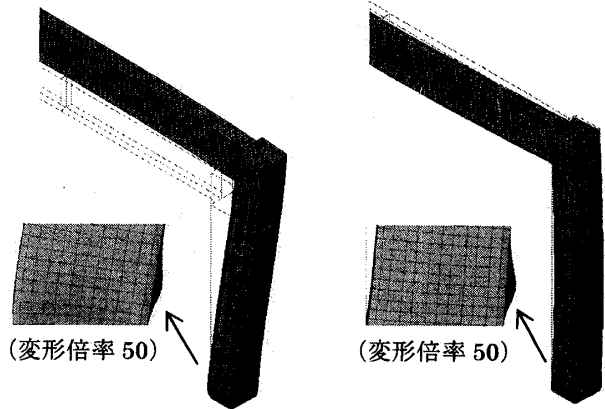


図3 火災温度 600℃時の変形状況 (変形倍率 25) 図4 鎮火時の変形状況 (変形倍率 25)

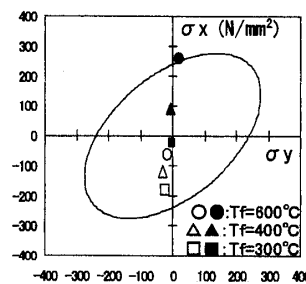


図5a 梁端部の応力状態

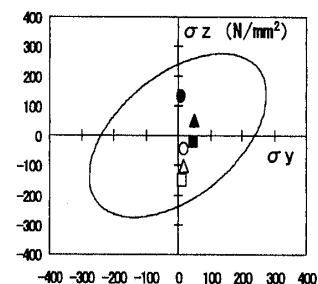


図5b 柱脚部の応力状態



図6 柱脚部の局部変形状況

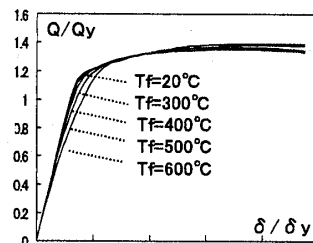


図7 水平力-水平変位関係

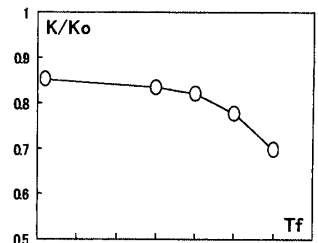


図8 水平剛性と火災温度

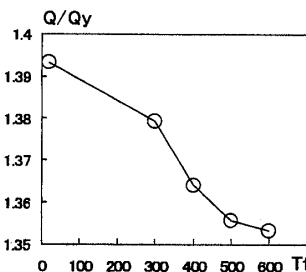


図9 水平耐力と火災温度

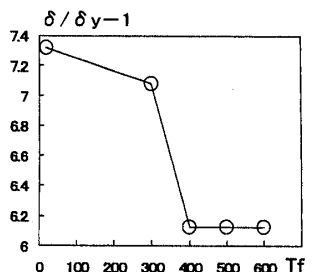


図10 変形能力と火災温度

Assoc. Prof., Faculty of Eng., Hiroshima International Univ., Dr. Eng.