

# 1) - 2 火災を受けた鋼架構の機能維持および再使用性評価技術の開発

## Assessment for reusability and functional preservation of steel structures after a fire

(研究期間 平成 23~25 年度)

防火研究グループ  
Dept. of fire Engineering

鈴木 淳一  
Jun-ichi Suzuki

The objective of this research project is to assess damage on steel construction buildings by a fire. Damage estimation for the relation between damage of building's structures and non-structural elements was conducted in this study. The severe damages of outer columns and beams affect largely to the fall of exterior walls; however, some exceptions where severe damages of inner structure affect the fall of exterior walls were observed. Localization of a fire was the most effective measurement to mitigate degradation of stiffness of structures and residual stress in structures.

### 【研究目的及び経過】

建築物の耐火設計では、火災時における部分架構・部材の崩壊温度を終局耐力に基づき推定している。一般的な設計では、火災時の構造体の崩壊に対する安全性については検討するが、火災後の再使用性までは十分に検討しておらず、崩壊を免れた構造体の損傷等を設計段階に想定していない。本研究では、火災後における構造体の機能維持・再使用性と損傷の関係を明らかとするため、火災時の加熱冷却過程における鋼架構の力学的挙動を分析し、損傷の程度を定量化することを目的とした。

### 【研究内容】

本研究では、火災時の架構の加熱冷却過程における残留変形・残留応力、火災後の地震時における架構の構造特性、残留応力の解放メカニズム、火災時に構造体に生じる変形と非構造部材(外壁)が被る損傷や脱落等の関係、当該部材の周囲への飛散範囲に関して検討した。

解析対象架構は 12 層 3 スパン(図 1、階高 4 m、スパン長 10 m)とし、設計用地震力を伝達できる必要最小断面の部材(SS400)を配した。梁上荷重、柱梁耐力比、ベースシア係数はそれぞれ、48.0kN/m、1.5、0.17 とした。

図 2 は内側・外側 2 スパン火災、全 3 スパン火災の火災範囲を示している。加熱される部材の最高履歴温度  $T_{max}$  を、100~崩壊の直前温度の範囲で 100°C 刻みで設定した。解析では部材温度を  $T_{max}$  まで温度上昇させた後、常温(20°C)まで温度を下降させた。解析には有限要素法による弾塑性熱応答解析を用いた。なお、火災室に面する部材は柱・梁共に一様に温度上昇し、火災区画外への熱伝導はないものとした。

### 【研究結果】

(1)火災時・冷却時の架構の応力

図 3 は①外側スパン火災(X1-X2)、②内側スパン火災(X2-X3)、③内・外側 2 スパン火災(X1-X3)、④全 3 ス

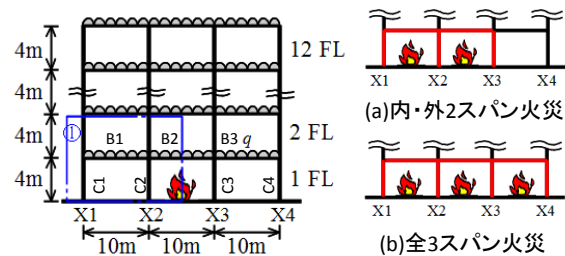


図 1 解析対象架構

図 2 火災範囲

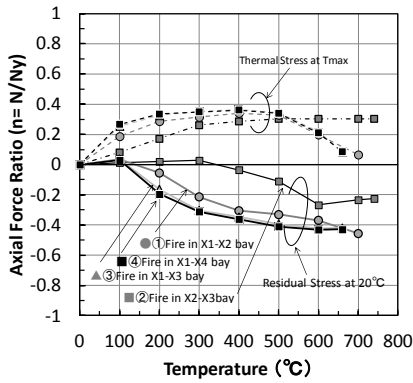
ン火災(X1-X4)時の梁の最大応力と冷却後の残留応力と履歴温度の関係である。図より、火災時の梁の熱応力と冷却後の残留応力は、外側スパンの梁よりも内側スパンの梁の方が、①の火災を除いて大きくなる。また、①から④の火災を比較すると、加熱範囲が大きく、最高履歴温度が高いほど、残留応力も大きくなる。①の火災では、加熱を受ける B1 以外の梁の火災時の熱応力は、火災スパンから離れるほど小さくなり、冷却後の軸力比は B2 で約-0.1、B3 で-0.05 以下に留まる。②の火災では、加熱を受ける B2 が大きく塑性化する  $T_{max} = 400^{\circ}\text{C}$  以下であれば、非火災室の梁 B1、B3 に残留応力が生じにくいこともわかる。③の火災時は非火災室を除き、梁の残留応力は④の火災の場合と大きな差はないことがわかる。

(2)火災後地震時の架構の層剛性

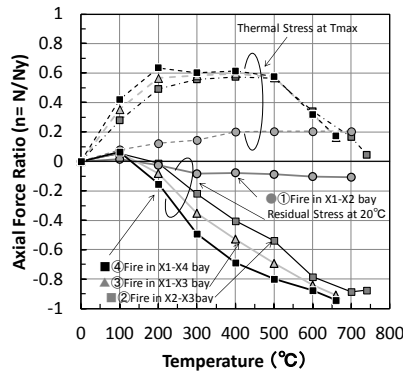
図 4 は、加熱冷却過程を経た架構の層剛性を示している。図より、架構の層剛性は、加熱温度の上昇および加熱範囲の拡大に応じて低下する傾向があることがわかる。①の火災を被った架構の剛性が最も高く、④の火災を被った架構の剛性が最も低い。これは、図 5 に示した梁の残留軸力の大きさが影響しており、残留応力が大きい部材が多いほど水平加力時に塑性化が生じ易いことも要因となっている。

(3)火災後の残留応力解放方法

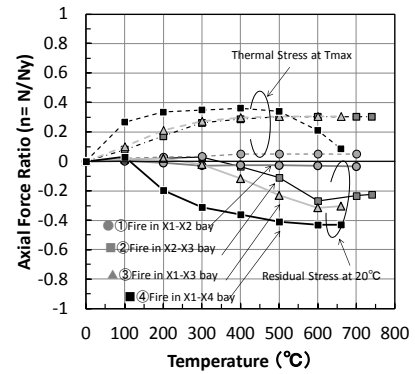
架構の内側スパン火災を想定し、架構が  $T_{max} = 600^{\circ}\text{C}$



a) B1 の最高履歴温度-軸力比関係



b) B2 の最高履歴温度-軸力比関係



c) B3 の最高履歴温度-軸力比関係

図 3 火災位置における梁の熱応力と残留応力

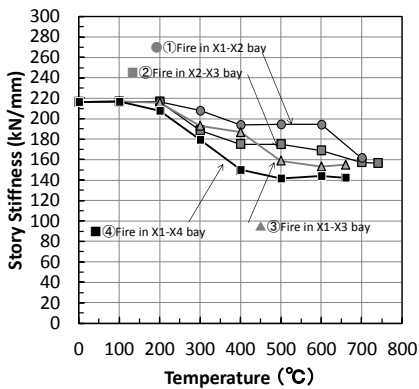


図 4 火災温度と層剛性

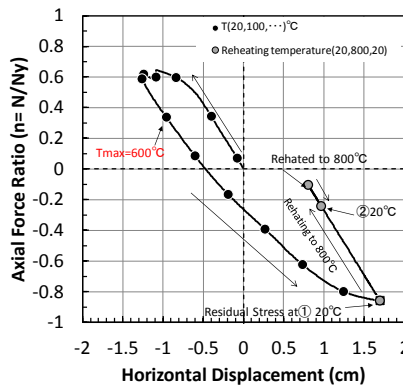


図 5 荷重変形関係

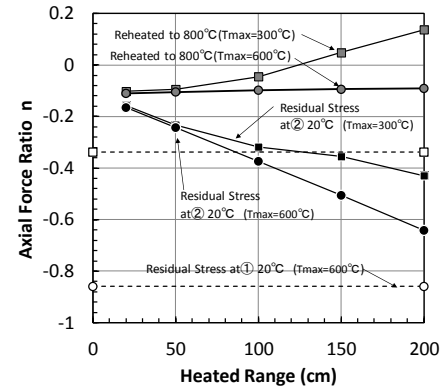


図 6 再加熱範囲と残留軸力

まで加熱を受けて常温まで冷却した後に、残留応力の解放を目的として梁の中央部分を局部的に再加熱する。図 5 は、梁の中央部分(x=50cm)を再加熱した後、常温まで冷却される過程の梁の軸力比と変形関係を示したものである。図より再加熱することにより、Tmax=600°Cの火災では火災後に比べて 1/3 程度に残留応力が低減していることがわかる。図 6 は、再加熱部の長さ x をパラメータとした解析結果である。図には Tmax =300°Cの結果もプロットしている。Tmax の大きさによらず x が短い方が残留応力は低減することがわかる。これは再加熱した部分の局部的に塑性化により応力が解放されるためである。しかし、Tmax =300°Cのように、比較的残留応力が小さい場合に x=200cm 程度の広範囲を再加熱すると、再加熱前よりも、残留応力が大きくなることもある。これより残留応力の解放には、局所的な加熱を複数箇所で行うことが効果的であることがわかった。

(4)火災時における非構造部材(外壁)の飛散状況

梁の中央がたわむよりも梁が傾くような変形の方が外壁の落下を誘発しやすい。外壁は火災建物近傍に落下する傾向があるが、構造体等との接触によって水平速度が付加されるのが大半であった。図 7 のとおり、95%程度の外壁は水平速度 3m/s の放物線で包含されるが、一部の外壁は落下高さの 1/3 まで飛散する可能性があるこ

とが明らかとなった。

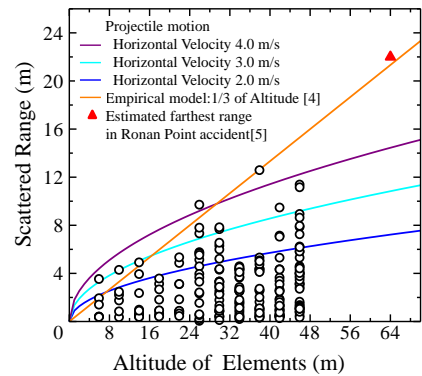


図 7 非構造部材の高さと飛散範囲

【参考文献】

- 1) 鈴木淳一,古山智史：火災を受けた鋼架構の機能維持・再使用性に関する研究,平成 24 年度火災学会研究発表概要集,pp.46-47, 2012
- 2) 鈴木弘之：火災時における鋼骨組の崩壊温度,日本建築学会構造系論文集, No.477, pp.147-156, 1995
- 3) 鈴木淳一他：火災時における鋼架構の崩壊温度とリダンダンシー～耐震設計が耐火性能に与える効果～,日本建築学会構造系論文集, No.608, pp157-164, 2006
- 4) 鈴木 正彦他：外壁タイルの剥落飛散性状に関する実験的検討,日本建築学会関東支部研究報告集<構造系>, 1979, pp.337-340
- 5) Pearson, C. and Delatte, N.: Lessons from the Progressive Collapse of the Ronan Point Apartment Tower, Forensic Engineering, pp.190-200, 2003