

火災時における非耐力壁の落下飛散範囲に関する数値解析的検討

正会員 ○除村 直樹*¹
同 鈴木 淳一*²
同 磯部 大吾郎*³

非耐力壁 火災応答解析 鋼構造建築物
崩壊解析 ASI-Gauss 法

1. 緒言

火災によって構造部材が高温化し、建築物の変形が大きくなると、非構造部材にも損傷が及び、建築物周辺に落下・飛散する恐れがある。そのため、火災が発生した際の周囲の安全確保を実現するには、落下物の飛散範囲について検討する必要がある。本研究では、建築物の崩壊解析に実績のあるASI-Gauss 法¹⁾に、高温化に伴う強度・剛性低下アルゴリズムを導入し、さらに非耐力壁の分離条件を設定して火災応答解析を行う。本稿では、同一の建築物モデルに対し火災の発生する範囲、平面位置、階数を変化させて数値解析を行うことで、火災による建築物の変形、非耐力壁の飛散範囲について分析した結果を報告する。

2. 火災の表現

本研究では、高温化に伴い構造部材に熱ひずみを発生させるとともに、縦弾性係数と降伏応力を低下させることで火災を表現する。火災が発生した区画では、柱と天井側の梁のみが高温化することとし、床側の梁は、床によって遮熱されるため高温化しないと仮定する。構造部材の温度は、耐火被覆材による断熱効果等の影響を無視し、数値解析上は短時間で700[°C]まで上昇するように設定した。その後は一定の温度を保つこととする。鋼材の応力-ひずみ関係はバイリニア型で近似し、温度上昇に伴う鋼材の縦弾性係数、降伏応力の低下曲線には、図1に示すNIST²⁾によるものを用いた。

3. 解析条件

3.1 想定建築物と解析モデル

想定する鋼構造建築物は、表1に示す条件で、ベースシア係数を0.167として設計した。柱は角形鋼管、梁はH形鋼であり、各寸法は建築物に必要とされる保有水平耐力を満足す

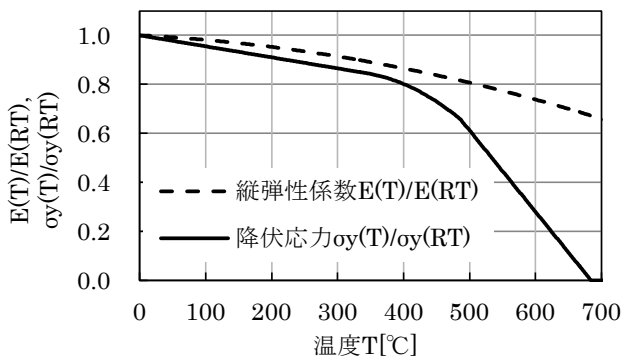


図-1 温度上昇に伴う鋼材の強度低下曲線

る断面³⁾とした。また、建築物の外周部に非耐力壁である軽量気泡コンクリートパネルを設けた。非耐力壁は断面寸法と長さ密度をそれぞれ125×600[mm]、4000[mm]、600[kg/m³]とし、Lアングルを介して梁にロッキング構法で取り付けられており、外側へ250[mm]張り出していることとする。なお、Lアングルの断面寸法は75×75×9[mm] (一部75×75×12[mm])とし、鋼種はSS400とする。この想定建築物を全て線形要素のみでモデル化する。非耐力壁は、各スパンの中央に1枚ずつ配置し、破断するまでは弾性体とする。床は剛床を仮定する。

3.2 非耐力壁の分離条件

非耐力壁とそれを梁につなぐ結合部材を破断させることで構造部材から非耐力壁を分離させる。分離条件は、実大4層鉄骨構造物の振動台実験⁴⁾での結果を参考にし、非耐力壁の面内・面外回転角が0.05[rad]以上になった場合と設定する。なお、建築物の水平方向の変位によって、結合部材がねじれるような非耐力壁の回転を面内回転とし、非耐力壁が建築物の外側に押し出されるような回転を面外回転とする。

3.3 火災条件

本研究では、簡単のために火災範囲を1階層に限定し、平面位置や範囲が異なる4種類の火災を設定した(図2参照)。さらに、火災が発生する階を1, 4, 8, 12階に変えることで計16パターンの火災条件で解析を行う。そして、危険側に想定するために、降伏応力が0になるまで部材温度(685°C以上)を上昇させた。なお、火災室外にある構造部材の温度上昇、火災範囲の変化は考慮しない。

表-1 建築物の条件

階数(階高[m])	12(4)
x方向スパン[m]	10×6×10
y方向スパン[m]	6×6×6×6
床荷重[kgf/m ²]	800
鋼種	SS400

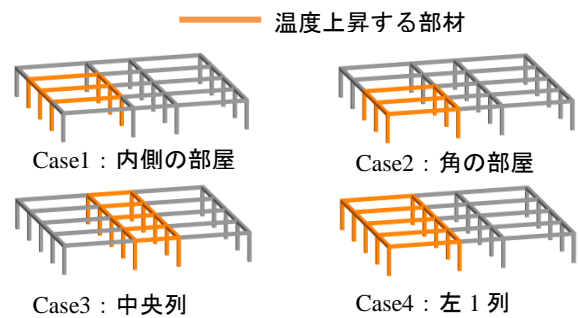


図-2 火災範囲の設定

4. 解析結果

4.1 解析の終了時における建築物の概観

解析結果の一例として、火災が発生した階が4階の場合について図3に示す。この図において、床は黒色、非耐力壁は紫色で表示している。構造部材は青色から赤色で表示し、赤色に近いほど降伏が進んでいることを示している。

火災範囲が狭いCase1とCase2では、建築物の変形があまり見られなかった。しかし、Case2では火災範囲内の非耐力壁が落下した。一方、火災範囲が広いCase3とCase4では、火災が生じた階より上層の階に変形が見られた。Case3では、温度が上昇した柱が塑性座屈し、それに伴い多くの梁の両端に塑性ヒンジが形成され、火災室が鉛直方向に沈下するように変形した。また、建築物の手前側と奥側にあった非耐力壁が数多く落下した。Case4では、火災範囲内で柱が座屈した後、火災室の天井側の梁と床側の梁が接触するまで変形し、建築物の上層部全体が左側に傾き、倒壊に至った。

4.2 非耐力壁の飛散

建築物から落下した非耐力壁の飛散距離を、地表面レベルに達した非耐力壁要素の節点の座標値で評価する。なお、落下した非耐力壁は、その節点の変位を拘束することで接地を表現する。結果の一例として、図4にCase3の場合の落下した非耐力壁から建築物の側面までの最短距離（飛散距離とする）と、非耐力壁が落下する前の節点の高さ（落下高さとする）との関係を示す。図4より、落下高さが大きくなるにつれて飛散距離が長くなる傾向があることが分かる。しかし、落下高さが大きい場合でも飛散距離が短い場合があり、この違いは、非耐力壁の落下中に構造部材などと接触することで生じた、水平方向の速度が影響しているものと考えられる。

各火災条件での最大飛散距離を表2に示す。なお、Case4では建築物が倒壊しており、その他の火災条件の場合とは建

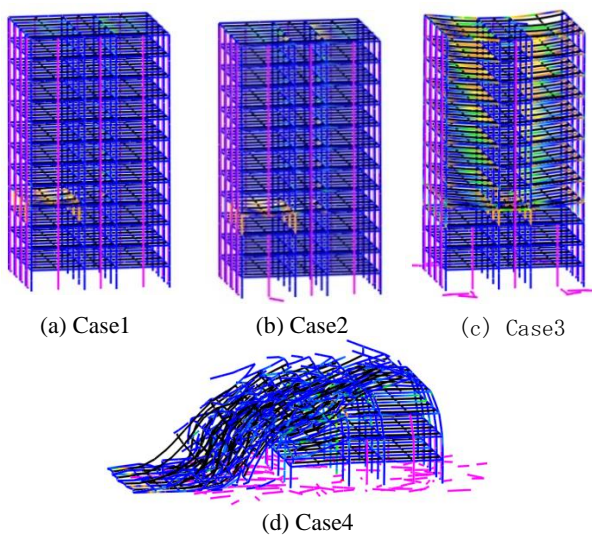


図-3 解析の終了時における鳥瞰図（4階での火災）

築物の挙動が大きく異なるため、対象外とした。火災範囲ごとの最大飛散距離を比較すると、Case1では約13[m]、Case2では約8[m]、Case3では約15[m]であった。非耐力壁の長さが4[m]であることを考慮すると、火災範囲によって最大飛散距離に大きな相違はないと考えられる。

5. 結語

本数値解析結果においては、火災時の部材の飛散状況は以下の通りとなった。火災範囲が狭い場合は建築物の変形が小さく、落下した非耐力壁の数も少なかった。一方、火災範囲が広い場合は、火災階層より上層が変形し、倒壊する場合も見られた。倒壊しない場合でも、多くの非耐力壁が建築物の周囲に落下した。その飛散距離は非耐力壁が落下する高さに依存し、火災範囲は飛散距離の最大値にあまり影響しないことが示された。

参考文献

- 磯部大吾郎, レティタイタン: 高層建築物の火災時崩壊挙動に関する数値解析的検証, 日本建築学会構造系論文集, 第76巻, 第667号, pp.1659-1664, 2011.
- NIST NCSTAR 1: Federal Building and Fire Safety Investigation of the World Trade Center Disaster: Final Report of the National Construction Safety Team on the Collapse of the World Trade Center Tower, 2005.
- 鈴木淳一, 阿部修太郎, 鈴木弘之, 大宮喜文, 若松孝旺: 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, 第608号, pp.157-164, 2006.
- 松岡祐一, 吹田啓一郎, 山田哲, 島田侑子, 赤澤資貴, 松宮智央: 実大4層鉄骨建造物の振動台実験における外装材の耐力性能評価, 日本建築学会構造系論文集, 第74巻, 第641号, pp.1353-1361, 2009.

付記: 本研究は平成24年度科研費(23760541 研究代表者 鈴木淳一)の助成を受けた。

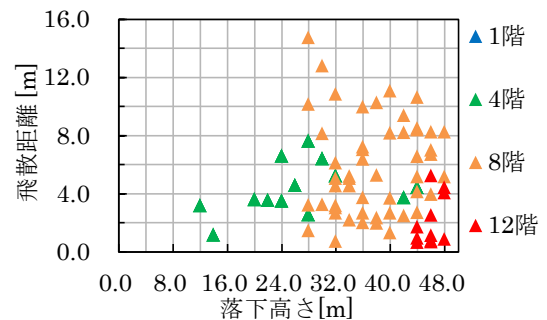


図-4 落下高さと飛散距離の関係 (Case3)

表-2 各火災条件での最大飛散距離[m]

	Case1	Case2	Case3
1階	飛散なし	4.0	飛散なし
4階	飛散なし	3.9	7.6
8階	飛散なし	飛散なし	14.7
12階	13.2	8.2	5.2

*1: 筑波大学大学院システム情報工学研究科 大学院生

*2: (独)建築研究所 博 (工)

*3: 筑波大学准教授 博 (工)

*1: Graduate Student, Univ. of Tsukuba

*2: Building Research Institute, Dr. Eng.

*3: Division of Eng. Mech. and Energy, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.