

建物の火災崩落挙動について

On Fire-induced Collapse Behavior of Buildings

○非 小室 友暢 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Tomonobu OMURO, Graduate School, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

Daigoro ISOBE, Univ. of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba-shi, Ibaraki

1. 緒言

9.11米国テロ事件でWTC7ビルは火災により進行性崩壊が引き起こされたとされている。一方、2005年にマドリッドのWindsorビルで起きた大火災においては、ビルが全焼したにも関わらず骨組みだけ残し全体崩壊には至らなかった。これらの相違を生み出した要因を調べる必要がある。

そこで本研究では、建物の火災崩落現象を解析するためのシステムを開発した。火災という長時間の現象を動的に解析するには長い計算時間を要するため、最小限の計算コストで解析可能なASI-Gauss法^[1]を適用した。また、準静的領域と動的領域を両立して解くため、部材の急速な変形の有無によって時間増分を変化させる制御アルゴリズムを導入した。さらに、柱同士が接触する際には軸剛性のみを持つヒンジ要素を形成させ、実現象に即した崩落挙動の再現を試みた。また、部材破断、要素間接触および温度上昇における部材の耐力低下曲線を導入した。さらに、温度上昇に伴う部材の膨張は構造物の強度に多大な影響を及ぼす^[2]ため、熱ひずみを加えて熱膨張を考慮した。これらを用いて10層2スパン骨組構造の火災崩落解析を実施し、火災が生じた階層や床範囲などの火災初期条件に対する崩壊モードの相違を調べた。なお、解析では部材の座屈を考慮し、柱部材中央に10mmの初期不整を加えた。

2. 部材の耐力低下曲線

構造物の鋼材温度が上昇すると耐力は著しく低下し、本来の機能が損なわれる。鋼材の温度上昇が構造物に及ぼす影響を考慮するため、温度上昇の時刻歴と部材耐力との関係を近似し、解析に使用した。温度上昇の時刻歴には、JIS A 1304に示される耐火曲線^[3] (図-1) を線形近似したものを用いる。また、部材の耐力低下曲線にはMenzelの曲線^[2] (図-2) を用いた。図中でE、 σ_y はそれぞれヤング率および降伏応力の低下曲線上の値、E'、 σ_y' はそれらの近似値である。剛性および降伏応力は約700°Cでほぼゼロとなるため、700°Cまでの近似とした。

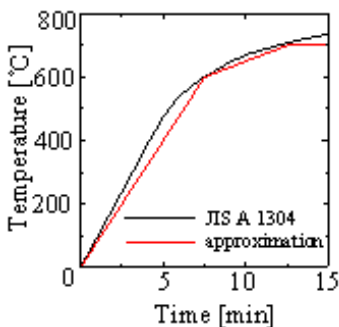


図-1 温度上昇曲線

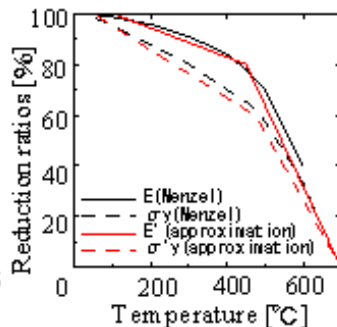


図-2 部材の耐力低下曲線

3. 熱膨張の考慮

本研究では、機械ひずみ値に熱ひずみを加え、温度上昇に伴う部材の熱膨張を考慮した。熱ひずみと温度の関係は次式のように示される。

$$\Delta \varepsilon = \alpha \Delta T \quad (1)$$

ここで、 $\Delta \varepsilon$ 、 ΔT および α はそれぞれ、ひずみ増分、温度増分、線膨張係数である。また、機械的なひずみと熱ひずみの関係は次式のように示される。

$$\varepsilon_m = \varepsilon - \varepsilon_T \quad (2)$$

ここで、 ε_m 、 ε_T および ε はそれぞれ、機械ひずみ、熱ひずみ、全体ひずみである。

4. 火災による骨組構造の崩落解析

解析対象は幅、奥行き2スパン12m、高さ10層36mの骨組構造とし、部材定数としては柱、梁共にSN490B鋼材を使用した。解析に用いた破断臨界曲率 κ_{fx} 、 κ_{fy} は共に 2.0×10^{-4} 、破断臨界軸ひずみ ε_{fx} は0.05で、自重は外力として各節点に加えた。なお、床と壁は考慮していない。火災発生条件は4つの場合 (Case1~4) を想定した。Case1では、8層部分全体に火災が発生し、同時に柱と梁の温度が上昇する。同様に、Case2は8層の片側部分で火災が発生した場合、Case3は6~8層部分全体で火災が発生した場合、Case4は6~8層の片側部分で火災が発生した場合である。

図3に解析結果を示す。Case1においては、火災により8層部分で柱が降伏し、上層部が落下する様子が観察できる。その際に大きな衝撃力の発生が確認されたが、進行性崩壊を引き起こすまでには至らず、8層部分が潰れたのみで建物全体は原形に近い状態で留まった。Case2では、最終的に上層部分が片側に傾いたのみだった。これは、火災発生側の9層と6層が接触し、反対側の柱が降伏せず引張力に耐えているからである。Case3では、上層部が落下した衝撃により下層部のみならず上層部までが変形し、多数の部材が下方に落下している。これは、落下した層の運動エネルギーがCase1と比較して大きいことを示している。Case4では、Case3の場合と比較して構造物全体の軸力分布が大きく偏る。部材耐力が低下し崩壊していく中で、片側3層部分がほぼ同時に潰れるため、反対側の柱に大きな曲げモーメントがかかる。そのため、形状を留めていることが困難となり、上層部が横倒しになっている。このように、火災が多層に渡って偏って発生した場合には周囲への危険が伴うだけでなく、建物自体にも局所的に多大な力が加わり、不安定な状態となる。解析はPC (Pentium4, 2.26GHz CPU, 384 Mbyte RAM) 上で行い、1000sの現象を解析するのにCase4においては総ステップ数56556step、計算時間は約3時間を要した。

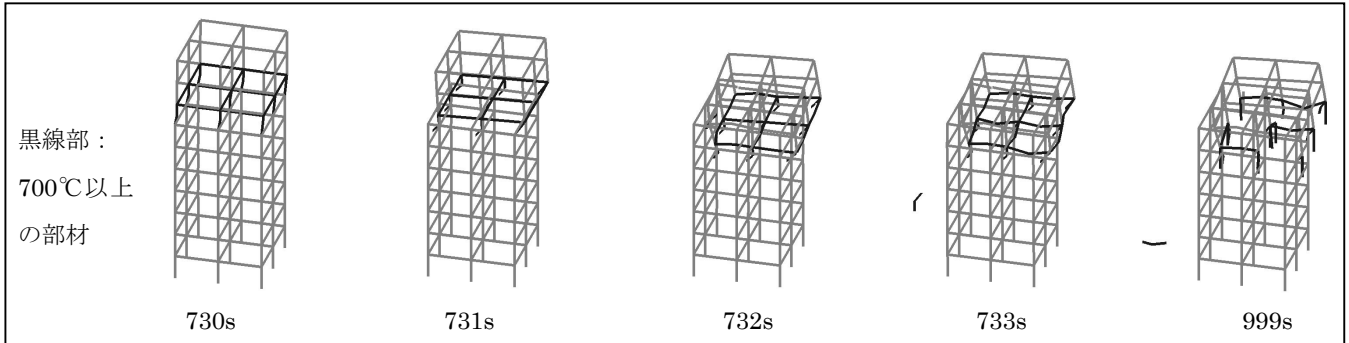
5. 結言

本稿では、ASI-Gauss 法を用い、火災による耐力低下を考慮した骨組構造の崩落解析を行った。解析結果より、火災発生条件が変わることで崩壊モードの相違を引き起こすことが確認できた。また、火災が発生した際に比較的低い温度で部材の耐力が低下し、部材が融点に達するよりも早く骨組構造全体が崩落に至ることが確認できた。今回行った解析のパターンに限らず、火災発生条件の相違から様々な崩壊モードが発生することが考えられる。今後は、火災の延焼などの

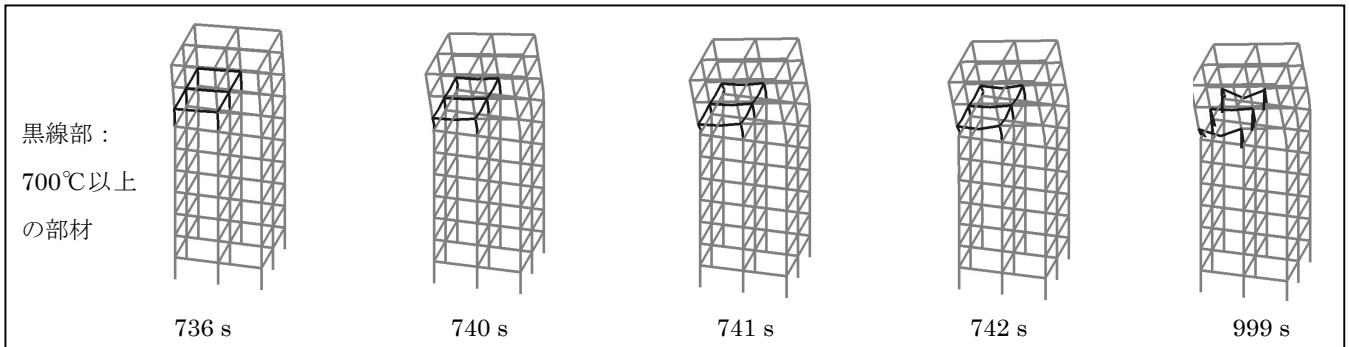
条件を加えた上で、進行性崩壊現象までを含めた大型構造物の崩落解析を行っていく予定である。

参考文献

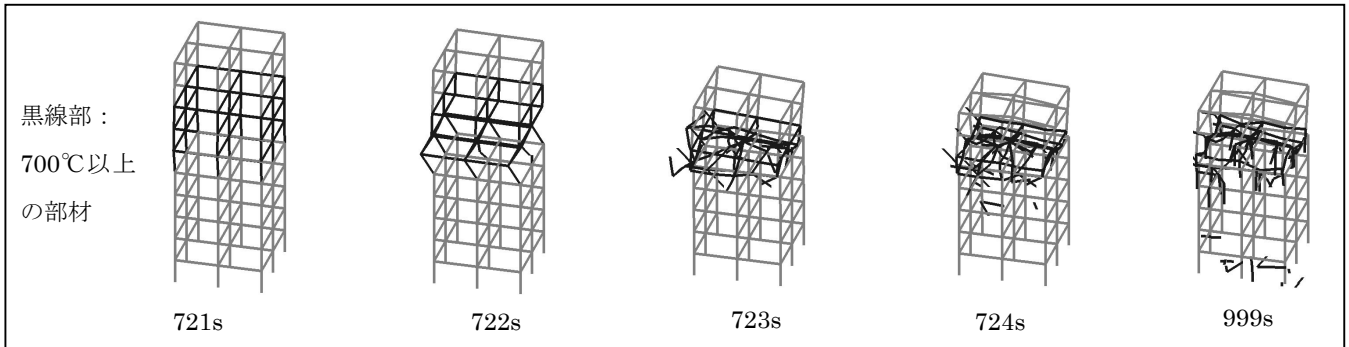
- 1) 磯部大吾郎, チョウ ミヨウ リン: 飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 日本建築学会構造系論文集, 第 579 号, (2004), pp.39-46.
- 2) 原田 有: 建築耐火構法、工業調査会
- 3) JIS A 1304 「建築構造部分の耐火試験方法」



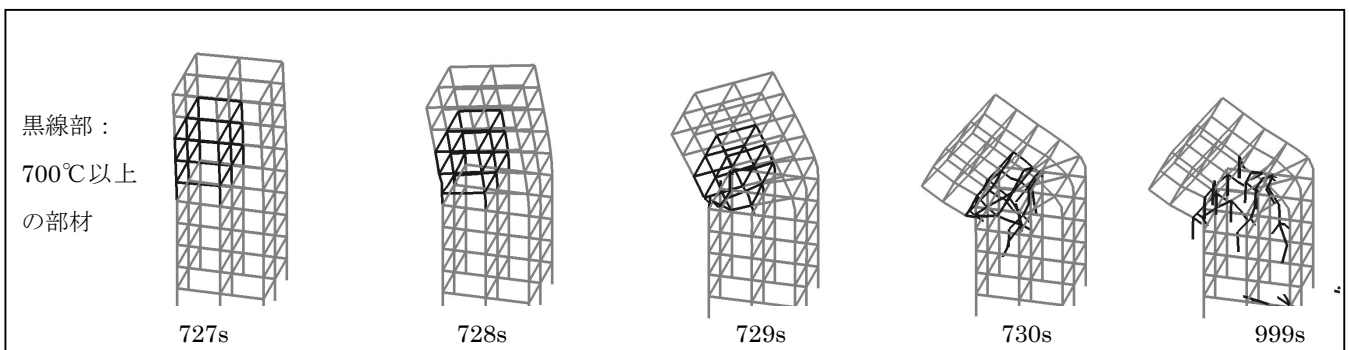
(a) Case 1



(b) Case 2



(c) Case 3



(d) Case 4

図-3 解析結果