

建物の耐震強度が火災崩落挙動に与える影響

Influence of Earthquakeproof Structural Strength 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), Daigo IROBE, (Univ. of Tsukuba)

緒言

世界貿易センタービル群の一つであるWTC7は火災によって進行性崩壊を引き起こしたと言われている。このような火災崩落挙動を生み出した原因に対し、WTC7が存在していたニューヨークにおいて地震はほとんどないという地域性に注目した。これより本研究では構造的強度の影響を調べるため耐震強度の一般的指標であるベースシア係数を考慮し、その相違がもたらす火災発生時の構造物の挙動を比較した。本解析において以下の点を考慮した。

- ・最小限の計算コストで解析可能なASI-Gauss法[1]を使用
- ・部材接合部を考慮するため部材接合係数を導入
- ・部材破断の判定式に軸ひずみ、せん断ひずみ、回転角を使用
- ・温度上昇に伴う部材の弾性係数・降伏応力の低下曲線をNISTの報告書[2]から引用

これらを用いて、異なるベースシア係数・部材接合強度を有する10層3スパン骨組構造物の火災崩落解析を行った。

ASI-Gauss法

解析手法: 線形要素を用いたASI-Gauss法

要素が弾性域

1部材を2つのサブセット要素と見立て、2点積分法における最適な積分位置であるガウス積分点で応力を評価(図1)

要素が塑性化

線形要素は要素と剛体ばねモデルの関係より、任意の塑性ヒンジ形成点に応じて数値積分点を順応的にシフトして応力を評価(図2)

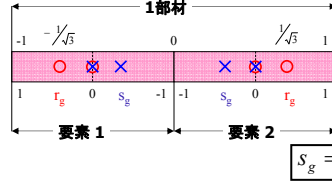


図1 ASI-Gauss法での弾性域における積分点位置

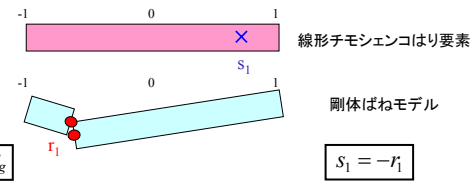


図2 線形要素の物理的等価関係

部材接合係数

- M_x : x軸周りの曲げモーメント
- M_y : y軸周りの曲げモーメント
- N : 軸力
- M_z : ねじりモーメント
- 添字0: 全断面塑性値

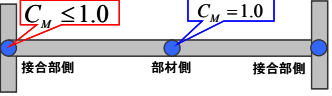
$$f_y = \left(\frac{M_x}{M_{x0}}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{M_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{z0}}\right)^2 = 1$$

本研究における塑性化判定は、各要素の両端において算出される降伏関数を用いて行う。ここで部材接合係数 C_M を定義し、各要素の接合部側の降伏関数を

$$f_y = \left(\frac{M_x}{C_M M_{x0}}\right)^2 + \left(\frac{M_y}{C_M M_{y0}}\right)^2 + \left(\frac{N}{N_0}\right)^2 + \left(\frac{M_z}{C_M M_{z0}}\right)^2 = 1$$

とすることで、接合部側の強度を表現する。

NISTの報告書「WTCにおける接合部の曲げ耐力は、部材の20~30%であった」



接合部側において
 接合部耐力 ≥ 部材強度 ⇒ $C_M = 1.0$
 接合部耐力 < 部材強度 ⇒ $C_M < 1.0$

図3 部材接合部概念図

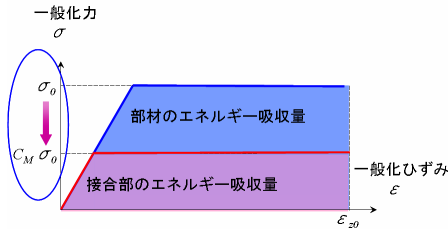


図4 部材側・接合部側のエネルギー吸収量

部材の破断アルゴリズム

破断判定に用いるパラメータ及び判定式

$$\left(\frac{\epsilon_x}{\epsilon_{xc}}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{yz}}{\gamma_{yxc}}\right)^2 + \left(\frac{\gamma_{xz}}{\gamma_{zxc}}\right)^2 + \left(\frac{\theta_x}{\theta_{xc}}\right)^2 + \left(\frac{\theta_y}{\theta_{yc}}\right)^2 \geq 1$$

- ϵ_x : 引張軸ひずみ
- γ_{yz} : x軸方向のせん断ひずみ
- γ_{xz} : y軸方向のせん断ひずみ
- θ_x : x軸周りの回転角
- θ_y : y軸周りの回転角
- 添字c: 破断臨界値

- ・破断臨界値は藤本ら[3]による高力ボルト梁継手の純曲げ実験及び引張実験のデータに基づいたものを使用した。
- ・2部材4要素のモデルに対し、両端に曲げモーメントを載荷し静的解析を行った。

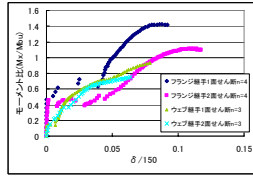


図7 使用した実験データ[3]

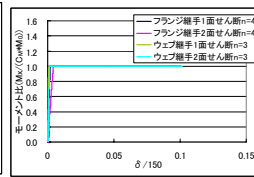


図8 解析結果

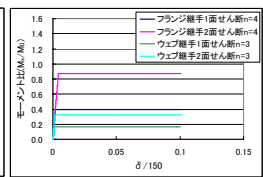


写真1 純曲げ実験後の様子[3]



写真2 引張実験後の様子[3]

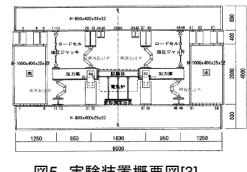


図5 実験装置概要図[3]

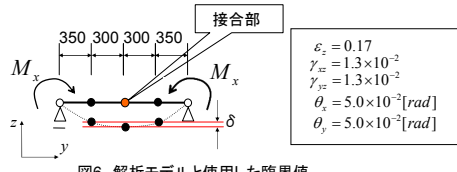


図6 解析モデルと使用した臨界値

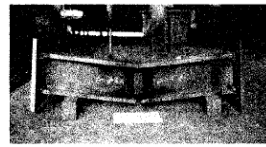


写真1 純曲げ実験後の様子[3]



写真2 引張実験後の様子[3]

部材の耐力低下曲線

火災により温度が上昇すると部材の耐力低下が著しく起こる。温度上昇に伴う弾性係数・降伏応力の低下率をNISTの報告書[2]から引用した

700°Cにおいて
 弾性係数: 60%、降伏応力: 15%まで低下(常温と比較)

これらの耐力低下曲線を用いて、上記と同様に純曲げの静的解析を行った。

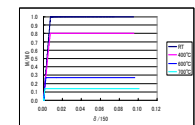


図12 高温時における純曲げ解析結果

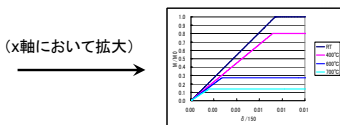


図13 高温時における純曲げ解析結果

高温時における降伏応力・弾性係数の低下をそれぞれ確認

10層3スパン骨組構造物の崩落解析

上記で示したアルゴリズムをASI-Gauss法に適用し、図14に示すような10層3スパン骨組構造物の火災崩落解析を行った。使用部材はJIS G 3136建築構造用圧延鋼材SN490Bである。固定荷重として各階4.0[kN/m²]の床荷重を加え、上記で仮定した温度上昇時刻歴に基づき部材を温度上昇させる。以下の2つの場合における解析結果を示す。

- Case1: ベースシア係数 $C_b = 0.22$ 、部材接合係数 $C_M = 1.0$
- Case2: ベースシア係数 $C_b = 0.08$ 、部材接合係数 $C_M = 0.2$

構造的強度の差異による火災崩落挙動の相違

結論

本研究では、構造的強度の差異を考慮して大規模骨組構造物の火災崩落解析を行うため、計算コストの小さいASI-Gauss法を用いた。また、部材接合部を表現するため部材接合係数を導入した。さらに、藤本らによって行われた高力ボルトの梁継手の純曲げ実験及び引張実験のデータに基づき、破断判定のパラメータとして軸ひずみ・せん断ひずみ・回転角を用いた。温度上昇に伴う部材の耐力低下曲線をNISTの報告書より引用し、高温時における弾性係数・降伏応力の低下を確認した。これらを用いて、10層3スパン骨組構造物の火災崩落解析を行い、構造的強度の相違により異なる火災崩落挙動を示した。今後はWTCの全体モデルに適用していく予定である。

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] NIST: Structural Fire Response and Probable Collapse Sequence of the World Trade Center Towers. (2005).
- [3] 藤本健太郎, 濱田直之, 瀬川純史, 平島岳夫, 上杉英樹, 安部武雄: 高力ボルト継手の耐火性に関する実験的研究(その1~3), 日本建築学会大会学術講演梗概集A-2, (2006), pp.105-110.