

進行性崩壊現象における部材接合強度の影響

Effect of Member Joint Strength in Progressive Collapse Phenomenon

○非 今西 健介 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Kensuke IMANISHI, 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. はじめに

本研究は9・11テロで崩壊した世界貿易センタービル(WTC)の進行性崩壊現象に端を発しており、崩壊過程に影響すると考えられる要因を数値解析によって検証し、最終的に現象全体を解明することを趣旨としている。WTCの事例については、航空機燃料による大規模な火災がビルの倒壊を招いた主な要因として挙げられている⁽¹⁾が、本研究ではWTCの構造、特に部材接合部に着目し、その強度と進行性崩壊現象との因果関係について検証を重ねてきた⁽²⁾。その背景には米国の高層建築物における部材接合強度の脆弱さという問題がある。すなわち、地震荷重を考慮しなくてよい環境にある米国東部では、柱や梁の接合部における曲げ耐力は部材のそれよりも小さくて済むが、飛行機の衝突といった強大な外力や崩壊による衝撃力に対しては弱点となる。

この問題に対し本研究では、要素の曲率と軸ひずみの破断臨界値を操作することで部材接合強度を表現してきたが、これらだけでは部材の材料学的性質しか考慮できず、部材接合部が本来有する強度を十分に表現できたとはいえない。そこで、上記の破断臨界値に加え、部材接合強度を表現するパラメータとして新たに「部材接合係数」を導入し、接合強度の影響を取り込んだ数値モデルの構築を行った。本稿では、10層骨組構造モデルの進行性崩壊解析に部材接合係数を取り入れた結果について報告する。

2. 部材接合係数

本研究の進行性崩壊解析ではASI-Gauss法⁽³⁾を用いており、各要素の両端(部材側、接合部側)で計算される降伏関数値によって塑性化判定を行う。降伏関数は次のように表される。

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

ここで M_x , M_y , N , M_z はそれぞれ x , y 軸回りの曲げモーメント、軸力、ねじりモーメントであり、添字“0”は各全断面塑性値を示す。また、部材接合係数 C_j を定義し、各要素の接合部側の降伏関数を

$$\hat{f}_y = \left(\frac{M_x}{C_j M_{x0}} \right)^2 + \left(\frac{M_y}{C_j M_{y0}} \right)^2 + \left(\frac{N}{N_0} \right)^2 + \left(\frac{M_z}{M_{z0}} \right)^2 \quad (2)$$

とする。この部材接合係数 C_j は鋼構造の柱梁接合部の終局強度設計⁽⁴⁾における接合部係数 α を基にしている。接合部係数 α は、終局状態において梁部材の塑性変形能力を十分に生かすため、接合部の最大曲げ耐力が梁部材の全塑性モーメントを上回るよう、通常1.0以上の値を設定する。これを本研究では、 $\alpha \geq 1.0$ の場合には塑性ヒンジが接合部ではなく部

材に発生すると考え、逆に $\alpha < 1.0$ の場合には塑性ヒンジが部材よりも先に接合部に発生すると考える。すなわち

$$\begin{aligned} \text{If } \alpha \geq 1.0 & \text{ then } C_j = 1.0 \\ \text{If } \alpha < 1.0 & \text{ then } C_j = \alpha \end{aligned} \quad (3)$$

の条件式を用いる。このように定義された C_j を用いることで、数値モデルに接合部要素を追加せずとも、部材接合強度の強弱をより明確に表現することが可能となる。

3. 進行性崩壊解析

解析対象は高さ10層36m、幅・奥行き各2スパン12mの骨組構造であり、断面は柱:200mm×200mmのBOX型、梁:200mm×200mmのH型、材料はJIS G 3136 SN490Bとした。床スラブ等の固定荷重として各階4.0kN/m²を梁の自重に加え、塑性座屈を考慮するため各階柱の中央に全体座標系 x 方向に+10mmの初期不整を与えた。今回は特に部材接合係数 C_j が崩壊過程に及ぼす影響を検証するため、破断臨界値は全て一定値とした。上部が垂直落下するCase 1と傾斜落下するCase 2を想定し、それぞれ $C_j=1.0$ (Case a)と $C_j=0.3$ (Case b)とした計4通りの解析を実施した。時間積分法には数値減衰を導入したNewmarkの β 法($\delta=5/6$, $\beta=4/9$)を用い、時間増分 $\Delta t=0.01$ msとした。

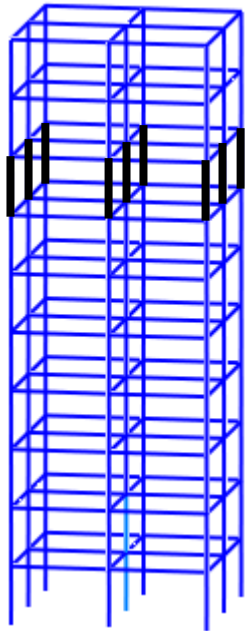
解析結果を図1~図4に示す。まず、 C_j を変えたことによってCase 1、Case 2に同様の傾向が見られることが分かる。すなわち、 $C_j=1.0$ とした場合(Case 1a, Case 2a)は建物全体に渡って柱が変形し低層から崩壊が始まっているが、 $C_j=0.3$ の場合(Case 1b, Case 2b)は落下する上部を含め建物の上層から進行性崩壊が起きている。このことは、部材接合係数が崩壊過程に大きく影響を及ぼすことを示しており、接合部の脆弱さがWTCの進行性崩壊を引き起こした要因となったことが考えられる。また、図2(Case 1b)の中では柱が局所的に座屈し、そこから進行性崩壊が始まっている。数値モデルに予め初期不整を入れて座屈を考慮することで、より現実的な崩壊過程の検証が可能となったと考えられる。

4. 結論

本稿では部材接合強度を表現するパラメータとして部材接合係数 C_j を提案し、それを組み込んだASI-Gauss法を用いて骨組構造の進行性崩壊解析を実施した。その結果、 C_j が崩壊過程に影響を与えるパラメータであることを実証した。今回は C_j の影響についてのみ検証したが、実際の接合部では C_j の大小と破断臨界値の大小には何らかの比例関係があると推測する。よって、 C_j と破断臨界値とを複合的に変化させることで崩壊過程により顕著な差異が現れると考えられ、これを今後の課題としていく予定である。

参考文献

- (1) ASCE/FEMA: World Trade Center Building Performance Study: Data Collection, Preliminary Observation, and Recommendations, (2002).
- (2) 今西健介,磯部大吾郎: ASI-Gauss 法を用いた骨組構造の進行性崩壊解析,日本建築学会学術講演梗概集 B-1 構造 I, (2005), pp.329-330.
- (3) 磯部大吾郎,チョウミョウリン: 飛行機の衝突に伴う骨組構造の崩壊解析,日本建築学会構造系論文集,第579号, (2004), pp.39-46.
- (4) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針.



Case1

太線部：損傷した柱

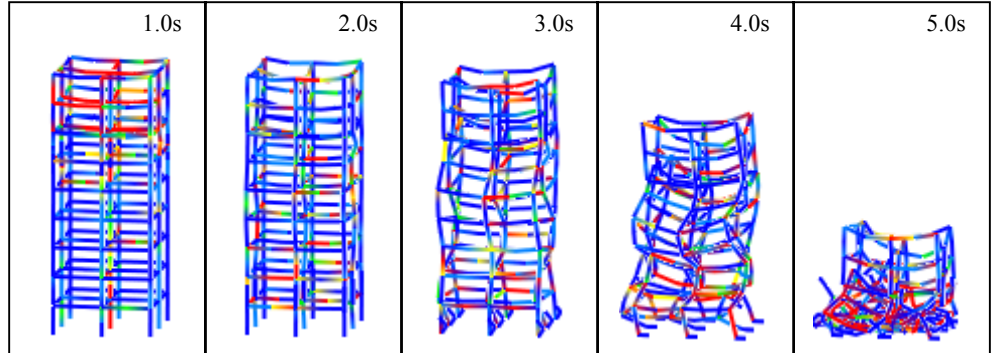


図1 解析結果 (Case1a 部材接合係数 $C_j=1.0$)

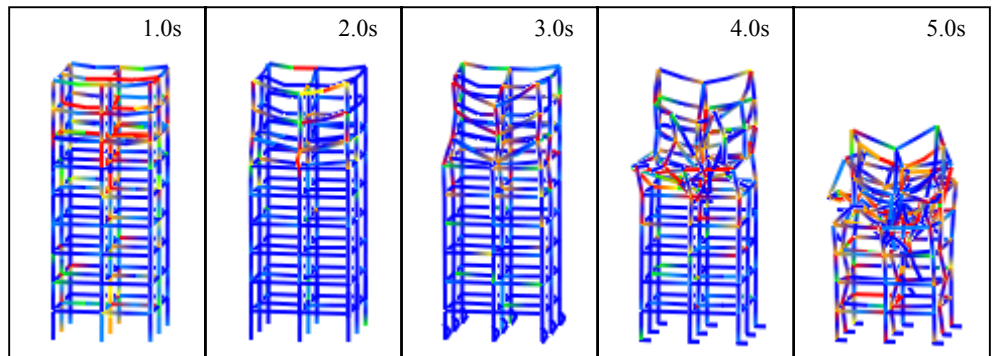
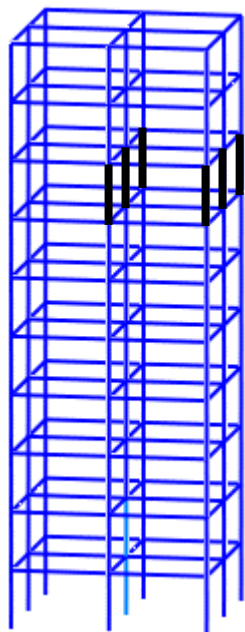


図2 解析結果 (Case1b 部材接合係数 $C_j=0.3$)



Case2

太線部：損傷した柱

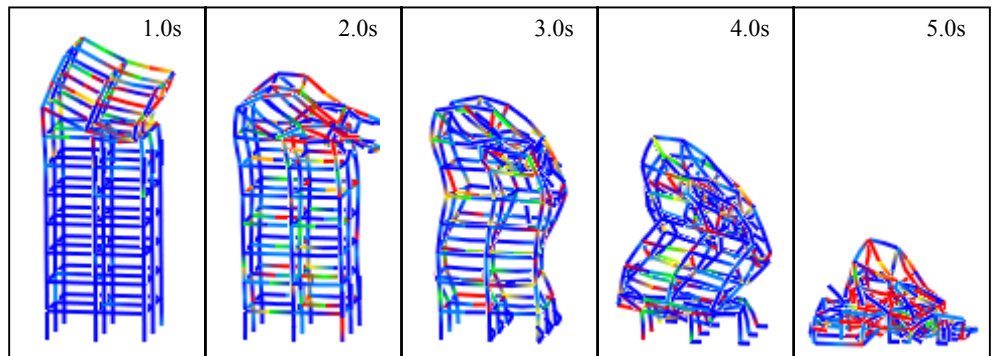


図3 解析結果 (Case2a 部材接合係数 $C_j=1.0$)

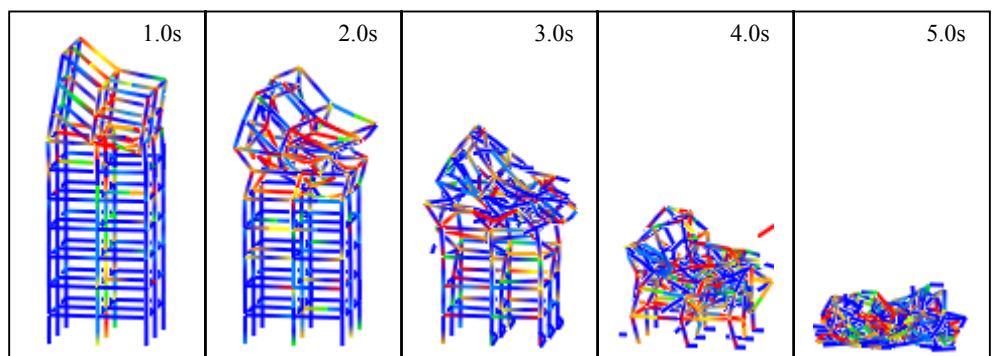


図4 解析結果 (Case2b 部材接合係数 $C_j=0.3$)