

部材接合係数を考慮した骨組構造の進行性崩壊解析

正会員 ○今西 健介*
同 磯部 大吾郎**進行性崩壊 部材接合係数 破断
ASI-Gauss 法 有限要素法

1. 緒言

本研究は 2001 年の米国同時多発テロで倒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、その崩壊過程を有限要素法による動的解析で解明することが主目的である。ビルの倒壊を招いた主な原因は航空機燃料による大規模な火災であるとされている[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討する。前稿[2]では部材の破断条件として要素の曲率と軸ひずみの破断臨界値を設定したが、これらのパラメータ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て部材接合係数を新しく取り入れ、部材耐力のみならず接合部の曲げ耐力までを考慮に入れた進行性崩壊解析を実施可能にした。本稿では、簡単な 10 層 1 スパン骨組構造モデルに部材接合係数を取り入れ、進行性崩壊解析を実施し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は ASI-Gauss 法[3]を用いており、各要素の両端において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。

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

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”はそれぞれの全断面塑性値であることを示す。ここで、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 を元としている。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に通常 1.0 以上の値を設定する。本研究では、 $\alpha \geq 1.0$ の場合には塑性ヒンジは接合部ではなく梁部材に発生すると考え、逆に $\alpha < 1.0$ の場合には、塑性ヒンジは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。

3. 進行性崩壊解析

解析対象は、高さ 10 層 36 [m]、幅・奥行き 1 スパン 6 [m] の骨組構造モデルである。部材定数には JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材 SN490B を用い、断面は柱を箱型、梁を H 型とし、上層階になるほど柱の断面積を小さくした。また、固定荷重として各階 40 [kN/m²] の床荷重を加えた。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調べるため、破断臨界値は全て一定に設定した。上層が垂直に落下する Case1、傾斜して落下する Case2 を想定し、それぞれ $C_j=1.0$ と $C_j=0.2$ の場合について計 4 通りの解析を実施した。時間積分法には Newmark の β 法を用い、数値減衰を考慮するため $\beta=4/9$ とし、時間増分を $\Delta t=0.01$ [ms] とした。

解析結果を図 1~図 4 に示す。図より、Case1、Case2 ともに $C_j=0.2$ のモデルの方が早く“砂城”のように倒壊していることが分かる。また、いずれも $C_j=0.2$ の方が破断箇所も多い。破断臨界値が一定であることを考えると、部材接合係数は構造物全体の強度と崩壊過程に大きく影響しているものと思われる。また、Case1 と Case2 を比較すると、Case1 では低層部から、Case2 では中層部から崩壊が始まっているという差異が確認できる。

4. 結言

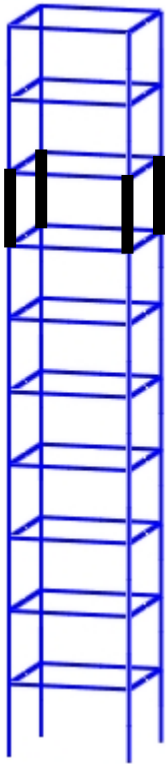
本稿では、部材接合強度を表現する新たなパラメータとして部材接合係数 C_j を提案し、ASI-Gauss 法を用いた骨組構造の進行性崩壊解析を実施した。その結果、部材接合係数 C_j が構造全体の耐力に対し大きな影響力を与え、進行性崩壊現象を論じる上で重要なパラメータであることが判明した。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、独立行政法人日本学術振興会の科学研究費補助金基盤研究 A1 (課題番号: 16206055) から一部援助を得た。ここに謝意を表す。

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.
- 4) 日本建築学会: 鋼構造接合部設計指針



Case 1

太線部：損傷した柱

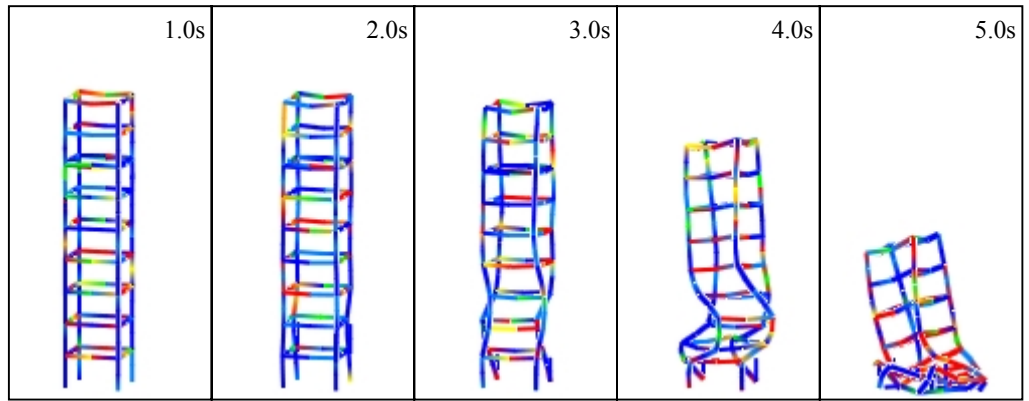


図-1 解析結果(Case 1, 接合部係数 $C_j=1.0$)

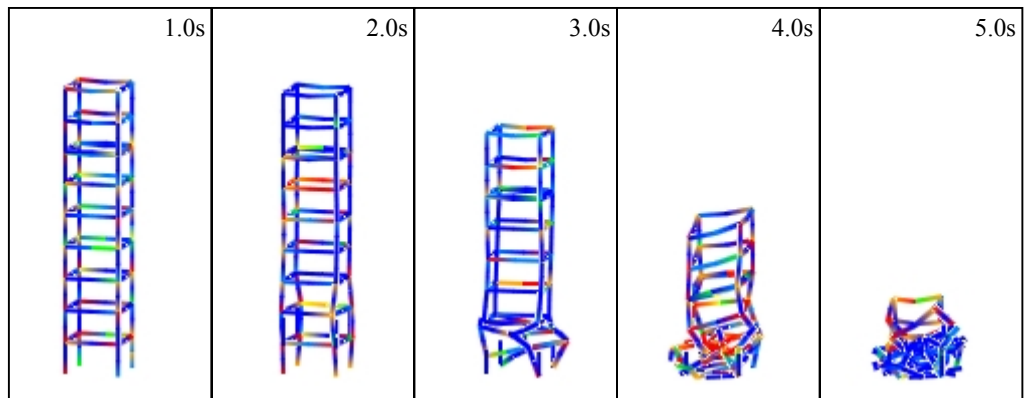
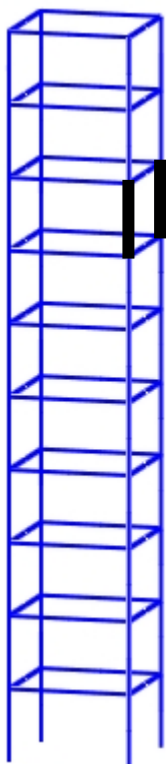


図-2 解析結果(Case 1, 接合部係数 $C_j=0.2$)



Case 2

太線部：損傷した柱

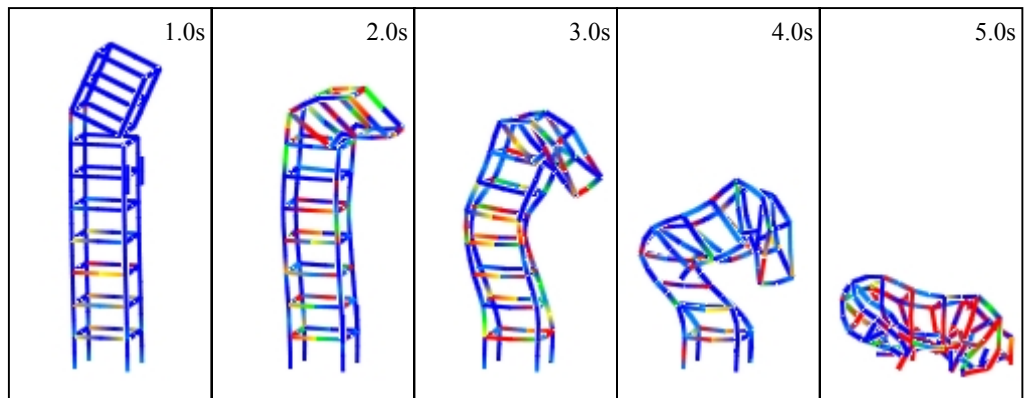


図-3 解析結果(Case 2, 接合部係数 $C_j=1.0$)

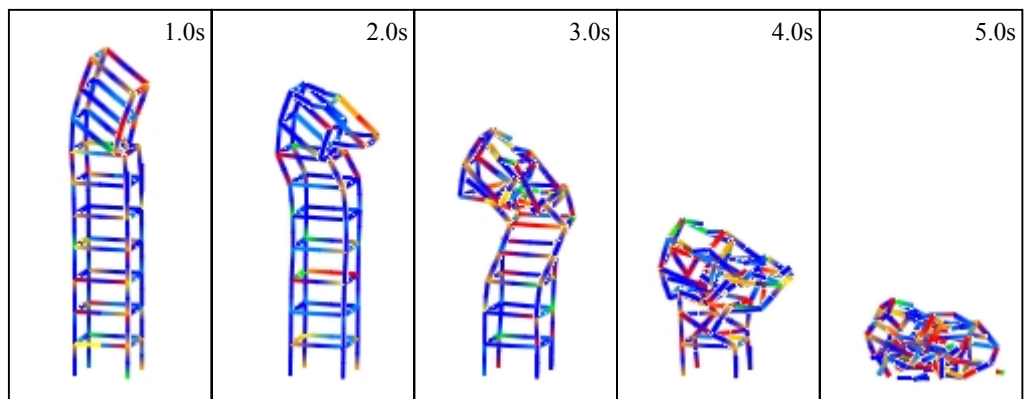


図-4 解析結果(Case 2, 接合部係数 $C_j=0.2$)

* 筑波大学大学院生

**筑波大学大学院助教授 博 (工)

* Graduate student, University of Tsukuba

** Dep. of Eng. Mech. and Energy, University of Tsukuba, Dr. Eng.