

ASI-Gauss 法を用い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 部材接合強度 崩壊の初期条件
ASI-Gauss 法 有限要素法

1. 緒言

2001 年のニューヨーク世界貿易センタービル (WTC) のテロ事件において、最終的にビルの倒壊を招いた主な原因は、航空機燃料に引火して発生した大規模な火災であるとされている[1]。しかしその一方で、飛行機が衝突した際に、瞬間的に発生した衝撃力が床スラブの結合部を損傷し、構造物を進行性崩壊に早く至らしめた可能性も否めない。崩壊過程においても、結合部の損傷によって部材の塑性変形能力が十分に生かされなかった可能性が指摘できる。この議論の背景には、WTC1, WTC2 の結合部が風荷重のみを想定した比較的簡素な構造であったことが挙げられる。また、WTC1 では被災階から上層の部分がほぼ垂直に落下したのに対し、WTC2 では上層部が傾きながら落下したことが確認されている。現在、このような進行性崩壊現象に対しエネルギー論的な扱いをするのが一般的となっているが、本研究では崩壊の初期条件といえるこれらの落下形態の相違が、その後の崩壊現象に何らかの影響を与えた可能性があるものと推測した。

上記の議論の検証には、構造物の情報を部材単位で捉えつつ構造物全体を動的に数値解析する手段が有効であると思われる。しかし実際には、解析対象の空間的・時間的規模の大きさから、計算コストの面で解析が困難となり、このような問題に対する知見は少ない。そこで本研究では、最小限の計算コストで解析可能な ASI-Gauss 法を用い、崩壊の初期条件および部材接合強度の進行性崩壊現象に対する影響を調べた。ASI-Gauss 法の詳細については他文献[2]に譲り、本稿では、簡単な 10 層 1 スパン骨組構造に対し、部材破断・要素接触を考慮して進行性崩壊解析を実施した結果について報告する。

2. 骨組構造の進行性崩壊解析

本研究では、要素毎に計算された曲率 κ_x , κ_y と軸ひずみ ϵ_z が予め設定された限界値を超えた場合に、その時の塑性ヒンジ点で破断したと判定する[2]。ここで用いられる条件式は

$$\left| \frac{\kappa_x}{\kappa_{xc}} \right| - 1 \geq 0 \text{ or } \left| \frac{\kappa_y}{\kappa_{yc}} \right| - 1 \geq 0 \text{ or } \frac{\epsilon_z}{\epsilon_{zc}} - 1 \geq 0 \quad (1)$$

となる。ここで添字 c がついたものはそれぞれの破断臨界値であり、本研究では部材接合強度を表すパラメータとしてこれを使用する。

解析対象は高さ 10 層 36 [m]、幅・奥行き 1 スパン 6 [m] の骨組構造とし、部材定数には JIS G 3136 建築構造用圧延鋼材 SN 400 H 型鋼を用いた。また、WTC では階層が高くなるにつれ柱部材の断面が小さく、接合に使われた

ボルトの本数も少なくなっていたことから、本モデルでも上層階になるほど断面積を小さく、破断臨界値にも小さい値を設定した。崩壊の初期条件としては、8 層目の柱 4 本の根元全て(Case 1)、隣り合う柱 2 本のみ(Case 2)を強制破断した場合の 2 種類を設定した。さらに、個々の場合で柱の接合強度を大小 2 種類与え、計 4 種類の解析を行った。時間積分法には Newmark の β 法を用い、 $\beta=0.4$ [2]、 $\Delta t=0.1$ [ms]とした。各解析結果を図 1~図 4 に示す。

先に図 1 と図 3 により崩壊の初期条件の影響について調べると、Case 1 では建物の低層階から、Case 2 では比較的上層の階から崩壊が始まっていることが観察できる。また Case 1 では、上層部が下層部に接触してから崩壊がさらに進行するまでに約 1.3 [s]の“静止”時間があることが確認された。一方、Case 2 ではそのような“静止”時間は確認されず、最後までほぼ連続的に崩壊した。次に、図 1 と図 2、図 3 と図 4 により部材接合強度の影響を比較すると、Case 1 の方が Case 2 に比べて接合強度が崩壊過程に及ぼす影響が大きいことが確認できる。Case 2 では、初期条件の影響で偏った力が作用し、建物の各所で比較的早く部材が降伏するため、崩壊過程に対し接合強度はあまり影響しない。その一方で、Case 1 では構造全体で平均的に衝撃力を吸収するため、変形がゆっくり進行し、そのため接合強度の相違が大きく影響を及ぼすものと考えられる。

3. 結言

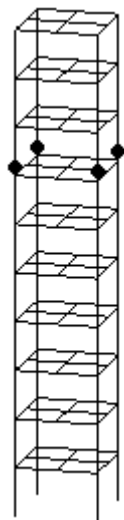
本稿では、ASI-Gauss 法を用いて骨組構造の進行性崩壊解析を実施した。その結果、崩壊の初期条件や部材接合強度などの、エネルギー論だけでは議論できない要素が崩壊過程全体に大きな影響を与える可能性があることが確認された。今後は、せん断ひずみを考慮した破断判定や、計算精度と安定性の向上を両立できる時間積分法等を取り入れ、世界貿易センタービルの崩落シミュレーションを行う予定である。

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) 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.



Case 1
(●部で損傷)

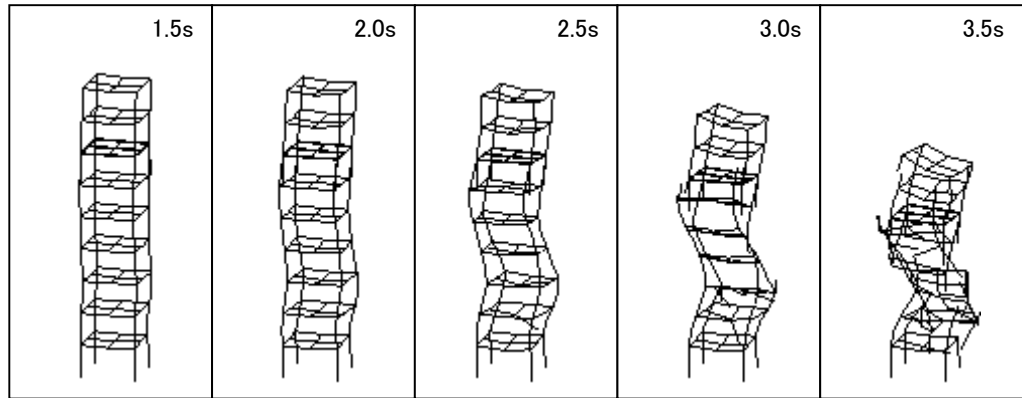


図-1 解析結果(Case 1, 部材接合強度 大)

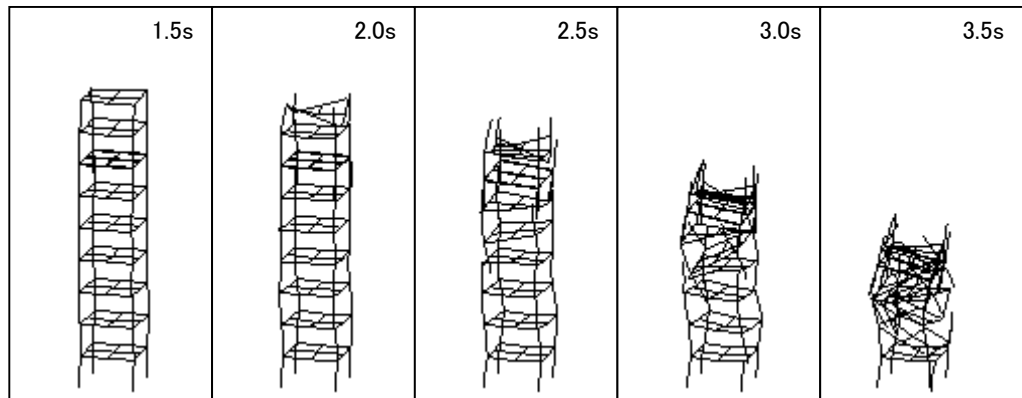
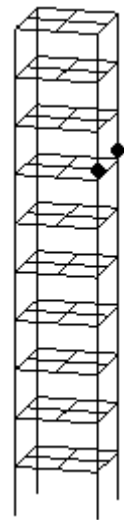


図-2 解析結果(Case 1, 部材接合強度 小)



Case 2
(●部で損傷)

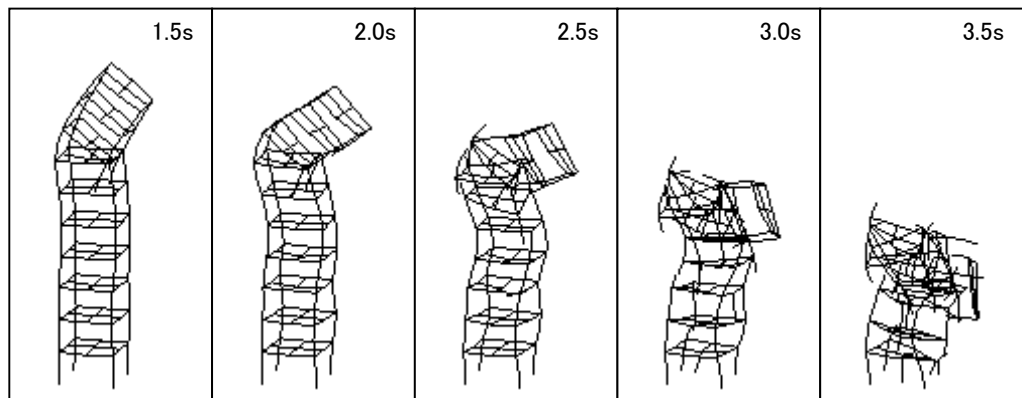


図-3 解析結果(Case 2, 部材接合強度 大)

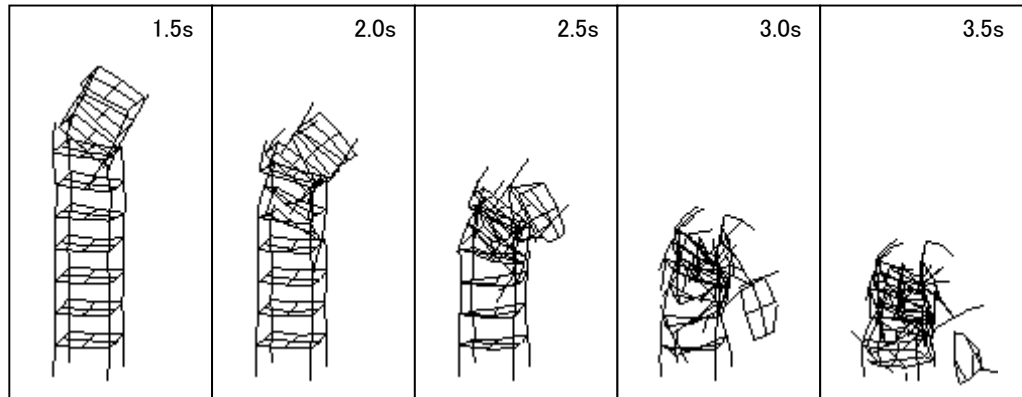


図-4 解析結果(Case 2, 部材接合強度 小)