

ASI-Gauss 衝突崩壊解析手法の破断・接触表現について

正会員
正会員

○磯部 大吾郎*
Kyaw Myo Lynn **

ASI-Gauss 法 有限要素法 衝突崩壊解析
部材破断 要素接触

1. 緒言

骨組構造体の衝突崩壊問題に有効な解析手法として、ASI-Gauss 有限要素法が開発された[1]。本手法は、少数要素で高精度の解を与える順応型 Shifted Integration 法(ASI法)[2]に対し改良を加えたもので、弾性変形域においてさらなる高精度化を実現している。また、要素内の積分点をシフトし、同時に断面力を解放することで破断を表現し、幾何学的な位置関係に基づいて要素間をギャップ要素で拘束することで接触を表現可能とした。衝突荷重を節点力として加える方法に比べ、衝突物体の性状の差異を考慮でき、崩壊過程の解明に有効であると考えられる。本稿は、これらの部材破断・要素接触アルゴリズムについて解説し、その検討結果について報告するものである。

2. 部材破断アルゴリズム

ASI-Gauss 法では、線形チモシェンコはり要素を2要素単位で考え、弾性要素では応力評価点がガウス積分点に一致するように数値積分点を配置する。これは、ガウス積分点で評価される曲げ変形の精度が数学的に保証され、その点が2点積分における最適な位置であることを利用している。さらに、ASI法と同様に部材性状に合わせて数値積分点を順応的にシフトすることで、高精度な弾塑性解を算出することが可能である。

部材破断アルゴリズムでは、2要素で構成される部材の曲率と軸ひずみの値によって部材の破断を判定する。線形チモシェンコはり要素は、数値積分点を1つだけ持ち、横たわみの不連続性を許容する剛体・ばねモデルと等価である。そこで、破断面をどちらか一端に設定し断面力を解放すれば、破断の表現が可能となる。このことを利用し、図-1に示すように、まず要素の降伏が判定された瞬間に要素内の数値積分点をシフトし、塑性ヒンジを要素端に発生させる。次に、その要素が破断臨界値を超えた場合に断面力を瞬時に解放し、それまで作用していた内力を解放力として作用させる。いずれの段階でも、同一部材内の隣接要素の積分点位置は中央点にシフトされる。また、破断した要素もその積分点位置は中央点となる。これは、各々の場合で1点積分が最適であるためである。本研究では、破断の判定パラメータとして部材の曲率 κ_x , κ_y および軸ひずみ ϵ_z を使用し、これらのうち一つでも以下に示す条件式を満たした場合に、その要素が破断すると判定した。

$$\left(\frac{\kappa_x}{\kappa_{fx}}\right) - 1 \geq 0 \text{ or } \left(\frac{\kappa_y}{\kappa_{fy}}\right) - 1 \geq 0 \text{ or } \left(\frac{\epsilon_z}{\epsilon_{fz}}\right) - 1 \geq 0 \quad (1)$$

ただし、 κ_{fx} , κ_{fy} は x, y 軸回りの破断曲率、 ϵ_{fz} は破断軸

ひずみである。部材が破断する際には破断面に新しい節点が設けられ、その2節点で要素質量が等分割されるように設定した。

3. 要素接触アルゴリズム

部材破断のみを考慮した解析では、破断した部材が他の部材をすり抜ける等の挙動を示すため、衝突エネルギーが構造物に適切に伝達されない可能性がある。また、衝突時の力を節点力のみで入力すると、構造物に対する局所的な作用となってしまう、大規模な構造物間の衝突現象を表現するには無理が生じる。そこでASI-Gauss 有限要素法では、要素間の接触により衝突現象を表現する。要素間の接触は、(i)接近する要素どうしが特定の距離内に在ること、(ii)それらの4つの節点在同一平面上、またはそれに近い状態に在ること、の2つの条件によって判定する。接触を判定された2つの要素については、図-2に示すように節点間に4本のギャップ要素を新

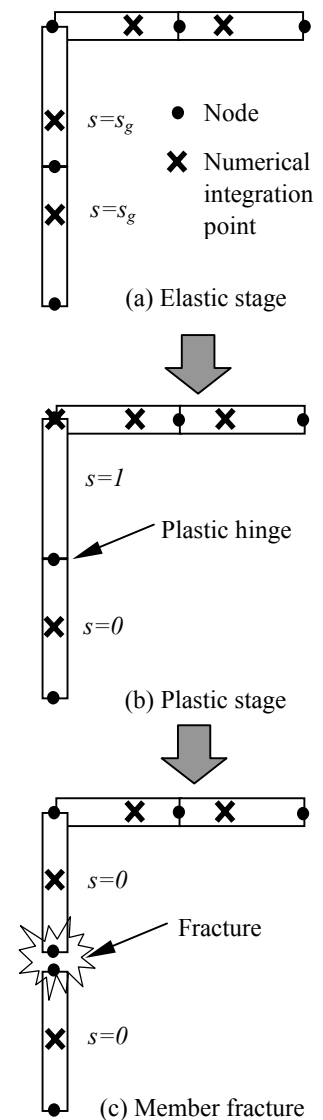


図-1 ASI-Gauss 法における破断の表現

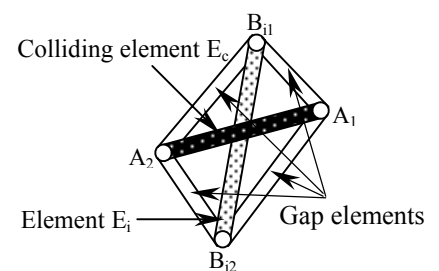


図-2 ギャップ要素による接触の表現

設し、要素間を拘束する。ギャップ要素には、他の要素と同一の材料定数と幾何形状パラメータを使用した。

4. 解析例

破断・接触アルゴリズムの有効性を検証するため、図-3に示すような簡単な2部材モデルの衝突解析を行った。

まず、自由運動をする部材に初速度 50m/s を与え、両端を固定した部材に水平に衝突させた。接触部材中央の節点における変形量の絶対値を監視し、変形が戻った点でギャップ要素を削除し拘束を解放すると、図-4に示すように2部材の運動エネルギー(KE)、位置エネルギー(PE)、ひずみエネルギー(SE)の総和は推移する。図から、接触中、拘束解放後においても総エネルギーが保存されることが分かる。変形量に基づいて拘束の解放を自動的に判定すると、この場合には2部材モデルは図-5のような挙動を示した。

次に、部材の降伏と破断を考慮した衝突解析を行った。この場合には変形量が戻らず、その値による拘束解放の判定は困難である。また、実際には部材が固まりとなって動き、周囲に与える力学的影響が少ないことが考えられるため、被接触要素が降伏または破断した場合には、拘束の解放は行わないことにした。例として、部材の初速度を 100m/s、破断曲率を $\epsilon_{fx} = \epsilon_{fy} = 0.04$ 、破断軸ひずみを $\epsilon_{fz} = 0.3$ とした場合の解析例を図-6に示す。

5. 結論

本稿では、ASI-Gauss 衝突崩壊解析手法における破断および接触表現について検討を行った。その結果、接触した要素間の拘束時間を変形量で判定すると、エネルギーを保存した挙動が得られることが分かった。逆に言えば、エネルギーの消失を考慮したい場合にもこの方法は有効であると考えられる。今後、減衰効果等も導入し、大規模骨組構造に対する解析を実施する予定である。

参考文献

- 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), 発刊予定.
- D. Isobe and M. Tsuda: Seismic Collapse Analysis of Reinforced Concrete Framed Structures Using the Finite Element Method, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Vol.32, No.13, (2003), pp.2027-2046.

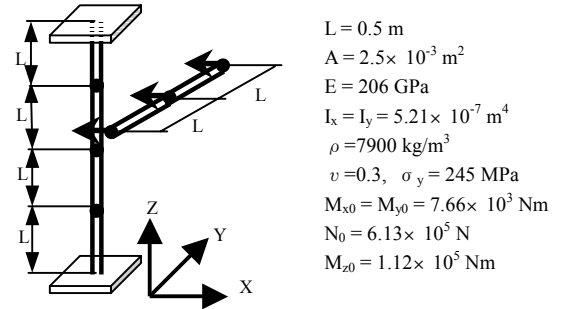


図-3 衝突解析に用いた2部材モデル

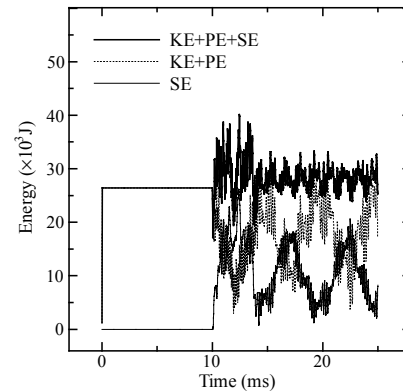


図-4 部材が有するエネルギー量の推移

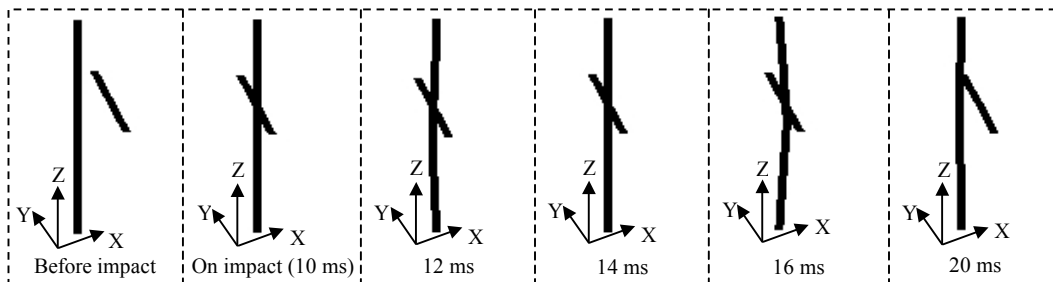


図-5 弾性部材の衝突解析

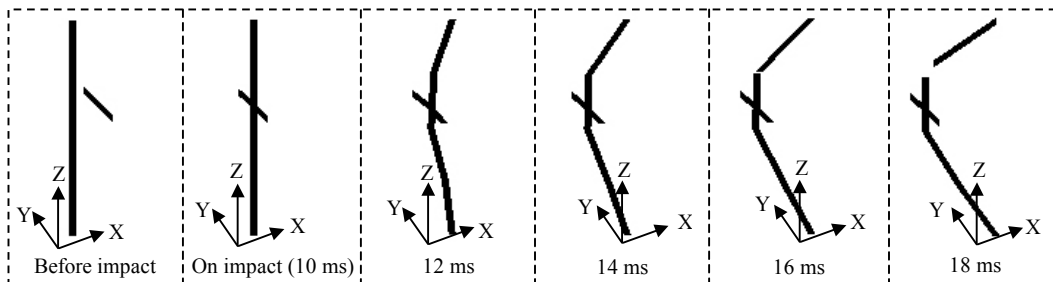


図-6 部材の降伏と破断を考慮した衝突解析

*筑波大学助教授 機能工学系 工博

** 筑波大学大学院生

* Institute of Eng. Mech. and Systems, University of Tsukuba, Dr. Eng.

** Graduate student, University of Tsukuba