

ASI-Gauss 有限要素法を用いた骨組構造体の衝突崩壊解析

准会員 ○Kyaw Myo Lynn*
正会員 磯部 大吾郎**

衝突崩壊解析 有限要素法 要素接触
ASI-Gauss 法 ASI 法

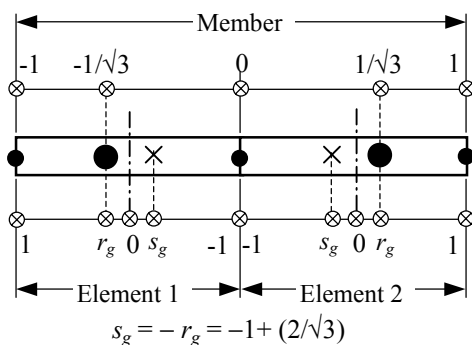
1. 緒言

本研究は、骨組構造体の衝突崩壊問題に有効な有限要素解析手法の開発を目的とした。少数要素で高精度の解を与える順応型 Shifted Integration 法(ASI 法)[1][2]に対し改良を加え、弾性変形域においても高精度な変位解を与える ASI-Gauss 法を開発した。さらに、これに部材破断アルゴリズムおよび要素接触アルゴリズムを加え、衝突現象のシミュレートが可能とした。

一般的に、衝突により構造物内に発生する撃力を定めることは難しいとされる。また、衝突荷重を節点力として解析モデルに加える方法では、衝突現象を正確に表現できないと考えられる。本研究では、要素同士の接触によって衝突現象を表現するアルゴリズム[3]を採用し、その有効性についてエネルギー保存の観点より検証した。さらに、解析アルゴリズムの有効性を検証するため、10 階建ての骨組構造体と飛行物体の衝突をシミュレートした。

2. ASI-Gauss 法

ASI 法[1][2]とは、部材内に全塑性断面が発生した直後に、その断面に正確に塑性ヒンジが形成されるように数値積分点をシフトする手法である。ASI 法では弾性挙動をする線形チモシェンコはり要素の数値積分点を要素中央点に配置した。一方、本研究で提案する ASI-Gauss 法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点に一致するように数値積分点を配置する。図-1 は ASI-Gauss 法における数値積分点と応力評価点の位置関係を示す。これは、ガウス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



× Numerical integration point ● Stress evaluation point

図-1 ASI-Gauss 法における数値積分点と応力評価点

点積分における最適な位置であることを利用している。

単純なフレーム構造を用いた静的・動的応答解析を実施した結果、ASI-Gauss 法は、ASI 法と比較しても格段に少ない要素分割数で高精度の解を与え、2 要素分割で解がほぼ収束することが確認された。

3. 要素接触アルゴリズムとその検証

本研究では、要素接触アルゴリズムにより、骨組構造体同士の衝突や破断部材と他の部材との衝突を表現している。本アルゴリズムでは、接近する 2 本の要素の節点間距離および節点の幾何学的位置関係により接触の判定を行う[3]。接近する 2 つの要素が特定の距離内にあり、かつ同一平面内に存在するかまたは平面に近い状態にある場合、接触と判断される。

接触と判定された要素同士については、節点間に計 4 つのギャップ要素(接合要素)を結合し、これらを一時的に拘束する。ギャップ要素は他の要素と同じ物性値や断面形状を持つと仮定した。さらに、結合してから特定の時間(0.5ms)が経過するとギャップ要素の剛性を零にし、断面力を解放する。

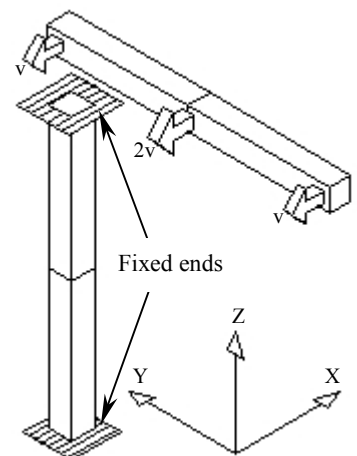


図-2 解析対象の 2 部材モデル

要素接触アルゴリズムを検証するため、図-2 に示す単純なモデルを用いて衝突解析を行った。モデルに含まれる 2 本の部材は 0.5m 離れ、1 本は両端が固定されている。他の 1 本は両端自由で、50m/s の初期速度で両

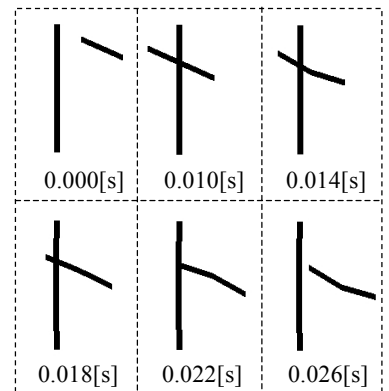


図-3 2 部材モデルの衝突解析

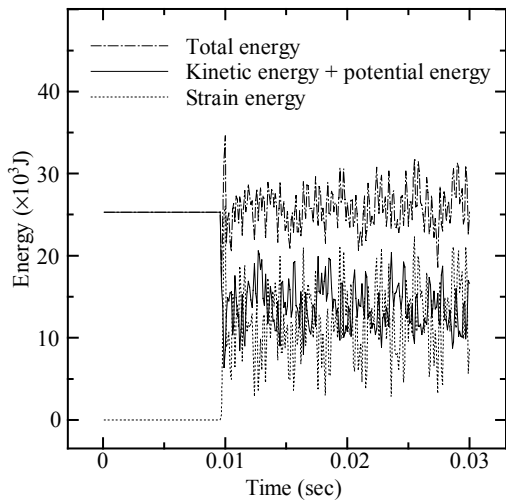


図-4 モデル内のエネルギー推移

突し、その後振動しながら跳ね返ることが確認できる。図-4 は、衝突前後に両部材が有するエネルギーの推移を示す。衝突前は運動エネルギーと位置エネルギーの和が全体を占めているが、衝突後にはひずみエネルギーが増加し、他の二者が減少することが確認できる。また、それらの総和は衝突前後においてほぼ一定であるといえる。曲線に見られる振動は、両部材内に発生する縦波および曲げ波によるものだと考えられる。

4. 骨組構造体の衝突解析

本研究では、図-5 に示す 10 階建ての骨組構造体に対し

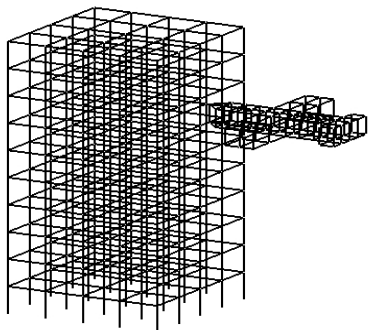


図-5 解析モデル

て飛行物体を衝突させる解析を行った。1 部材当たりの要素分割数を 2 とした。また、骨組構造体は鋼鉄製、飛行物体はジュラルミン製と仮定し、飛行物体に水平方向の初期速度を与えた。そして、表-1 に示すように飛行物

体の初期速度、大きさ、積載重量を変化させた計 4 種類の解析を行い、パラメータの相違による影響を調べた。

本解析では、変形理論として有限変形理論、増分理論として Updated

表-1 解析パラメータ

	初期速度 kmph	幅 m	積載重量 kg
解析①	440	15	15000
解析②	320	15	15000
解析③	440	12	15000
解析④	440	15	12000

Lagrangian Formulation (ULF)、時間積分法として Newmark の β 法 ($\beta = 0.4[3]$)、ソ

ルバーとして共役傾斜法(CG法)を使用した。時間増分を $10\mu\text{sec}$ とし、25000 ステップ(0.25s)計算した。

解析結果より衝突荷重および衝撃波の伝達が確認された(図は本稿では割愛)。骨組構造体の最下階にも一時的に塑性化した要素が存在し、衝突による衝撃が構造物全体に影響を及ぼすことが確認された。

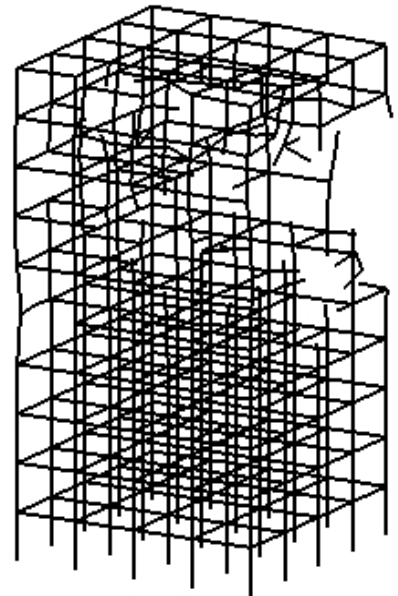


図-6 衝突被害の状況

図-6 は、解析①における衝突被害を示す。本研究で行った 4 種類の解析結果を比較すると、飛行物体の運動エネルギーが大きい場合、すなわち初期速度または積載重量が大きい場合、衝突被害が拡大することが分かる。また、運動エネルギーが同じでも衝突面、すなわち飛行物体の大きさが小さい解析では被害が最も少なく、衝突面の大きさが被害に大きく影響していることが分かった。

5. 結論

本研究では、衝突物体および被衝突物体の要素同士の接触によって衝突現象を表現し、その有効性を検証した。その結果、信頼性の高いアルゴリズムであることが分かった。さらに、ASI-Gauss 有限要素法を用いた衝突崩壊解析により、10 階建ての骨組構造体と飛行物体との衝突をシミュレートした。その結果から衝撃波の伝達やパラメータの相違による衝突被害への影響を確認することができ、本解析アルゴリズムが骨組構造の衝突解析に有効であることが示された。

参考文献

- 1) Y. Toi and D. Isobe: Adaptively Shifted Integration Technique for Finite Element Collapse Analysis of Framed Structures, Int. J. Numer. Methods Eng., Vol.36, (1993), pp.2323-2339.
- 2) D. Isobe and Y. Toi: Analysis of Structurally Discontinuous Reinforced Concrete Building Frames Using the ASI Technique, Computers and Structures, Vol.76, No.4, (2000), pp.471-481.
- 3) 磯部大吾郎、森下 真臣: ASI 有限要素法による大規模宇宙骨組構造のデブリ衝突解析、日本機械学会論文集、(A 編)、第 64 巻、第 627 号、(1998)、pp.2726-2733.

* 筑波大学 大学院

** 筑波大学助教授 機能工学系 工博

* Graduate School, University of Tsukuba

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