

衝突崩壊解析における接触アルゴリズムの検証

Verification of Contact Algorithm for Impact Collapse Analysis

○非 久永 哲也 (筑波大院) 正 磯部 大吾郎 (筑波大)

Tetsuya HISANAGA, 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. 緒言

骨組構造物の衝突崩壊解析を行うに当たり、部材の接触や破断をどう評価するかは重要である。骨組構造物の崩壊解析に有効な手法として ASI-Gauss 法[1]がある。本手法は通常の有限要素法に比べ、格段に少ない要素数で高精度の収束解が得られる順応型 Shifted Integration(ASI 法)[2]を改良し、弾性解の精度を上げたものである。本研究室ではこれまで ASI-Gauss 法を用いた WTC 全体モデルの衝突崩壊解析[3]に平面判定型[1]の接触アルゴリズムを導入していた。この方法は計算コストが小さいが、2つのパラメータを任意に仮定する必要があるため、パラメータ依存性が高いという問題があった。また、楕円体判定型[4]の接触アルゴリズムも開発したが、この方法は要素を細かく分割することで厳密性は高くなるが、計算コストが大きくなるという問題があった。そこで、大規模構造物の解析を行うためにもこれらを改善した、内分ベクトル型接触アルゴリズムを開発した。本アルゴリズムでは、要素間の内分ベクトルを導出し、そこから得られる角度によって接触判定を行う。本稿では、ASI-Gauss 法[1]に内分ベクトル型接触アルゴリズムを導入して解析を行い、その結果を実験結果と比較し、本アルゴリズムの有効性を検証する。

2. 内分ベクトル型接触アルゴリズム

本アルゴリズムは大きく分けて3つの段階を経て接触判定を行う。1段階目は中点間距離の比較、2段階目は部材幅の比較、3段階目は角度による接触判定である。破断要素は接触判定から除外する。図1に接触判定の過程を示す。

1段階目は、要素の中点間距離を求めることで、衝突要素近傍での他の要素の存在有無を調べる。衝突要素と被衝突要素それぞれの中点座標を求め、得られた中点間距離が2つの要素長の和の半分より小さくなったとき接触アルゴリズムは次へ進む。2段階目は、図1-①に示すように衝突要素軸(I)から被衝突要素(II)の節点への法線ベクトルを考える。衝突要素軸上から見たとき(図1-②)、衝突要素と被衝突要素の最短距離dを求め、部材幅と比較を行う。dが部材幅以下となったとき接触の可能性が極めて高いとし、接触判定を継続する。3段階目として、dを決める際に求めた被衝突要素の内分点Mを用いて角度の計算を行う。図1-③に示すように、点Mと衝突要素のなす角が両側とも鋭角なら接触と判定し、それ以外の場合は接触と判定しない。本アルゴリズムで必要なパラメータは部材幅のみであり、信頼性が高い。

接触が判定された要素の組は、図1-④に示すように4つの節点を4本のギャップ要素で結合する。この操作によって衝突要素の節点力がギャップ要素を通して被衝突要素の節点に伝わり、要素同士の接触を表現することが可能になる。なお、ギャップ要素には、本研究では他の要素と同じ物性値を用いる。また、ギャップ要素の変位が最大となる時間までの2倍の時間が経過した場合、または衝突要素もしくは被衝突要素が破断した場合に接触を解除する。

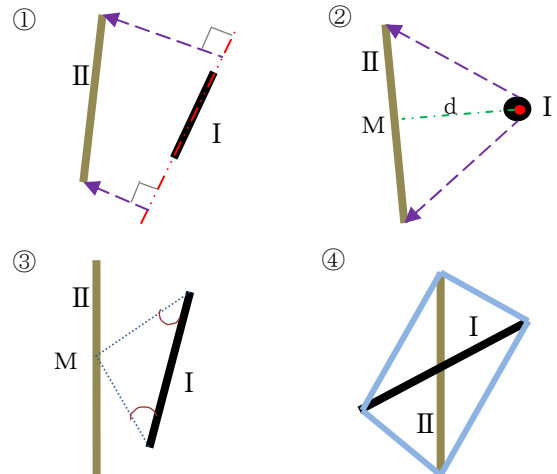


図1：接触判定

3. 解析と実験

2部材を衝突させる解析と実験を行い比較した。解析・実験は共に長さ730mm・ $\square 30 \times 30$ mm・厚さ2mm・質量437gのアルミ角パイプを用いた。1つの部材は両端固定とし、もう一つの部材を自由落下させ衝突させる。その挙動を解析と実験において比較し、接触アルゴリズムの有効性の検証を行った。固定端を地面から900mmに配置し、落下部材は固定端の400mm上方から自由落下させた。接触位置は、落下部材の中心から90mm離れた位置であり、被衝突要素については中心から65mm離れた位置とした。

解析では、実験に用いるアルミ角パイプを想定し、図2に示す材料・断面定数を用い、1部材4要素分割で弾性解析を行った。解析結果を図3に示す。時間増分1.0ms、総ステップ数1000stepでPC(3.00GHz Intel Pentium4, 512MB RAM)による計算時間は約6sであった。

実験はハイスピードカメラによって撮影した。その際1sあたり90コマ撮影可能なモードで行った。固定部材は万力で固定し、落下部材は手から直接自由落下させた。実験結果を図4に示す。

4. 結果

解析の結果、接触までの時間は0.32s、接触から接地までの時間は0.64sであった(図3)。実験の結果、接触までの時間は0.28s、接触から接地までの時間は0.50sであった(図4)。また落下部材の挙動は、解析と実験共に部材が接触、半回転した後、接触した点に遠い端が先に接地した。両者を比較すると、接触までの時間と衝突から接地までの時間は共に実験の方が早くなっている。解析の自由落下時間は理論値と一致しているため、これらの相違は実験の際の誤差と考えられる。また、部材の挙動は、図3,4よりほぼ同じであることが分かる。したがって、この内分ベクトル型接触アルゴリズムは実現象を表現する上で有効であると言える。

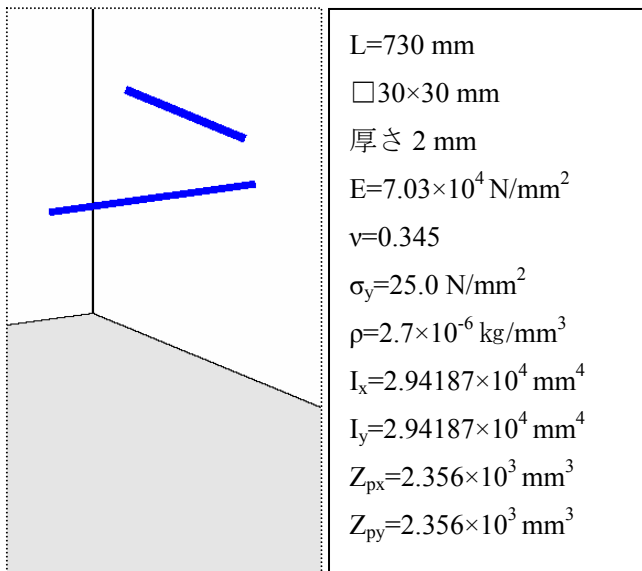


図 2 : 2 部材衝突モデル

5. 結言

本稿では、2 部材衝突の実験と解析を比較し、内分ベクトル型接触アルゴリズムの有効性について検討を行った。その結果、経過時間に多少の相違はあるが挙動がほぼ一致し、本アルゴリズムは有効であることが確認された。今後は、本アルゴリズムを用いて WTC 全体モデルの衝突崩壊解析を行い、WTC の全体挙動について再調査する予定である。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 都井 裕, 磯部 大吾郎: 骨組構造の有限要素崩壊解析における順応型 Shifted Integration 法, 日本造船学会論文集, 第 171 号,(1992),pp363-371.
- [3] 佐々木 嗣音, 磯部 大吾郎: 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東),(2006),pp269-270.
- [4] 今西 健介, 磯部大吾郎: ASI-Gauss 法による骨組構造の進行性崩壊解析, 日本機械学会第 18 回計算力学講演会講演論文集, No.05-2, (2005), pp.325-326.

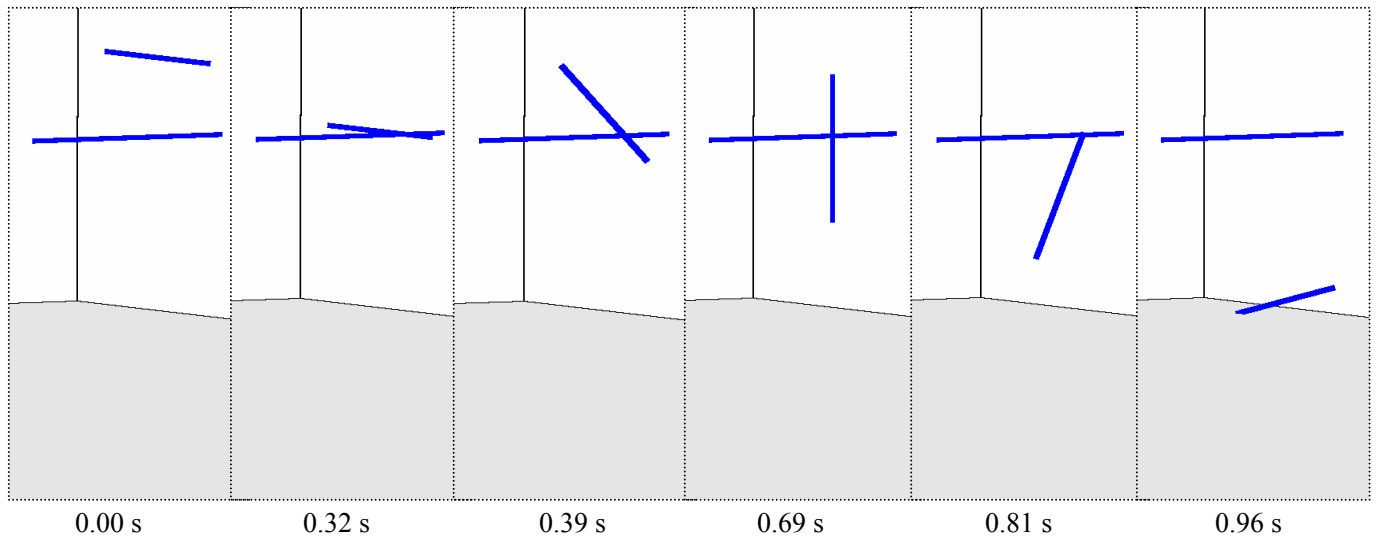


図 3 : 解析結果

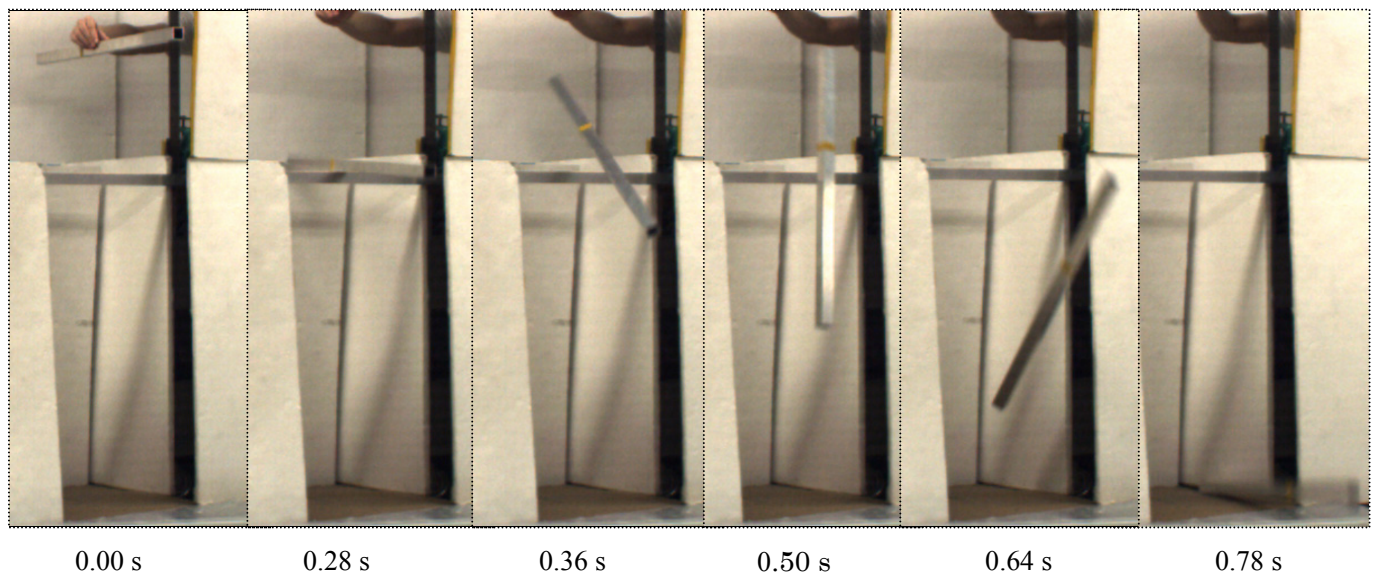


図 4 : 実験結果