

鉄骨構造物の爆破解体に関する研究

(第1報 鉄柱部材の挙動について)

緒方雄二*, 和田有司*, 勝山邦久*, 西田 佑**

星野雅一**, 長野正幸**

鉄骨構造物の爆破解体では、成形爆薬を用いて鉄柱を切断して転倒解体される。このため、成形爆薬により切断された部材の挙動と切断後の構造体の倒壊制御が重要となる。本研究では、鉄骨構造物解体の基礎的研究として、成形爆薬により切断される部材の挙動について、モデル実験と不連続変形法による数値シミュレーションから検討した。モデル実験から45度の角度で切断される部材は、長辺方向にほとんど回転せずに飛び出すことを明らかにした。また、不連続変形法による数値シミュレーションからも切断された部材がほとんど回転せずに長辺方向に飛び出すことを確認した。切断角度による検討では、飛び出す飛翔体の速度に切断される角度が重要であることを示した。さらに、実規模鉄骨構造物の鉄柱の爆破解体への適用についても検討した。

1. まえがき

近年、都市部の再開発に伴い老朽化した構造物の解体処分が大きな問題となっているが、これに爆薬を用いる爆破解体が注目されている。解体重機を用いる従来の解体工法は、工期の長期化、経費の増大および解体重機の使用に伴う振動・騒音等が問題となっている。また、解体重機の使用による労働災害が問題となっている。これに対して、爆破解体は、工期の短縮、経費の節減および解体重機使用による災害の防止等の利点が多い。しかし、爆破作業を都市中心部で実施するために、爆薬の爆轟に伴って発生する衝撃振動・騒音の制御および解体時に発生する飛石の防御等の問題から十分に実用化されていないのが現状である。

爆破解体では、ビル等のコンクリート構造物の解体には、産業爆薬が用いられるが、鉄骨構造物の解体には、成形爆薬と呼ばれる特殊な爆薬が用いられる。成

形爆薬は、V型および円錐状に型どりされた金属製の容器に高性能爆薬(RDX等)を装填し、爆薬の爆轟により発生する金属ジェットを一定方向に集中させて、この金属ジェットで鉄等の金属材料を瞬時に切断させるものである¹⁾。このため、鉄骨構造物の爆破解体では成形爆薬による部材の切断と切断後の部材挙動の解明と制御が重要となる。

本研究では、鉄骨構造物の爆破解体制御の基礎的な研究として、成形爆薬を用いて切断される部材要素について、実験的に解明するために、鉄柱のモデル爆破実験を実施した。また、成形爆薬により切断分離される部材要素の挙動を数値シミュレーションする方法として、不連続変形法(Discontinuous Deformation Analysis: 以下DDA)を用いて検討した²⁾。モデル実験による部材要素の解析結果とDDAによる数値シミュレーション結果を報告する。

2. モデル実験

2.1 実験モデル

実験モデルの概略をFig. 1に示す。実験で用いた鉄柱モデルは、断面20×20mm、高さ25.5cmの角柱である。実験では、成形爆薬により切断された部材の挙動を検討するために、既に切断された部材モデルに雷管で発生する衝撃圧を加えて、部材の挙動を計測解析した。実験モデルは、この鉄角柱の中央部付近の2カ所を45度の角度で切断し、3個の部材とした。この

1997年3月28日受理

*工業技術院資源環境技術総合研究所

〒305 つくば市小野川16-3

TEL 0298-58-8564

FAX 0298-58-8558

E-mail yujioga@nire.go.jp

**株式会社カコー

〒101 東京都千代田区神田西福田町4-1

メディアックスビル

TEL 03-3255-7770

FAX 03-3255-7780

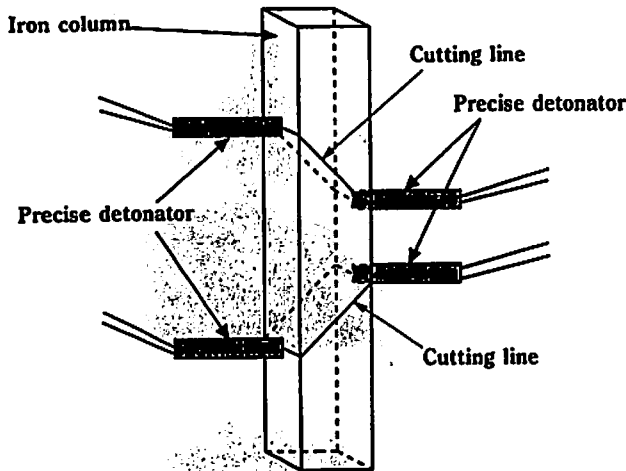


Fig. 1 Experiment model

3個の部材の切断面をエポキシ樹脂剤で固定することで、成形爆薬により切断された鉄柱部材モデルとした。このため、中央部の部材は台形状となり、長辺が90mm、短辺が50mmとなる。なお、この実験モデルは、実規模鉄柱の約1/50のサイズとなる。

2.2 実験方法

成形爆薬による鉄柱部材に加わる衝撃圧は、雷管の爆轟で発生する衝撃圧を加えた。実験では、部材要素モデルの切断面上の左右4箇所中央部に精密雷管をエポキシ樹脂で固定した。これを精密起爆器を用いて同時起爆することで切断時に成形爆薬により鉄柱部材モデルに加わる衝撃荷重とした。実験の状況をFig. 2に示す。実験では、鉄柱部材モデルの下部を万力で固定した状態で実施し、上部部材には固定等を行っていない。精密雷管の起爆後にモデル部材が、分離飛翔する状況の観察は、高速度ビデオ(Nac社製HSV1000:撮影速度1,000FPS)を用いて行った。計測ビデオから鉄柱部材モデルの飛翔状態及び移動速度・距離を解析した。また、実験後に飛翔した部材の飛翔距離等を計測し、解析結果と比較検討した。

2.3 実験結果および考察

高速度ビデオによる観測結果から中央部の切断部材が左側(長辺方向)に飛び出し飛翔する状態が観測できた。また、飛び出した中央の切断部材は、ほぼ水平方向に飛び出し、ほとんど回転しない状態が観測された。これは、精密雷管の同時起爆により衝撃圧がほとんど同時に部材に加わるために、中央部の切断部材に加わる回転モーメントが均衡し、回転しなかったものと思われる。また、上部の部材は回転しながら上方向に飛び出す。高速度ビデオによる観測結果をFig. 3に示す。

高速度ビデオによる観測結果から飛翔体の飛翔状況を解析すると水平方向には、約5.6m/sでほぼ一定速

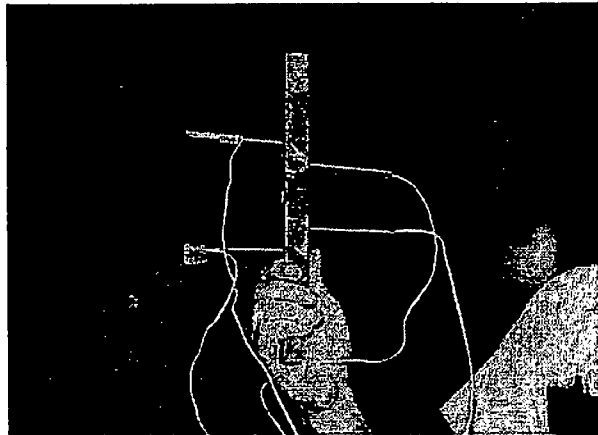


Fig. 2 Photograph of model experiment

度で飛翔する。また、垂直方向は、重力加速度の影響を受けており、数値データの最小二乗法による解析結果から中央部の切断部材は放物線状に飛翔することを確認した。これは、精密雷管の起爆による加速が、高速度ビデオによる計測間隔である1ms以内で終了し、衝撃圧による加速が主であり、膨張ガスによる影響をほとんど受けていないことを示している。飛翔状況および水平方向の飛翔速度の解析結果をFig. 4に示す。

中央部の部材が左側(長辺方向)に飛び出した理由として、精密雷管の同時起爆により左右に同程度の衝撃荷重に加わるが、切断した部分で上部と下部の部材と反発し、中央部の切断部材において左側(長辺方向)に加わる力が大きくなったためと思われる。

中央部の切断部材の飛翔距離については、ビデオによる観測結果から切断部分の飛翔速度が約5.6m/sの等速度となることから、飛翔距離はモデル供試体の高さから約2.4mと推定できる。しかし、実験後の飛翔距離が約3.23mとなることから、落下後の転がりによるものと推定できる。

3. 数値解析

3.1 数値解析方法

部材挙動の数値解析方法は、実験結果から部材が分離飛翔することから、これまで筆者らが発破で発生する飛石および発破の数値シミュレーションに適用してきたDDAを用いた^{3,4)}。DDAは、不連続体の解析を目的として、1984年にShiとGoodmanにより提案された解析方法で、トンネル・斜面・ダム等の安定性解析や岩盤空洞の支保設計等に利用されている⁵⁾。このDDAは未知数として変位を用い、有限要素法でのマトリックス構造解析と同様に平衡式を組み立てるために全ポテンシャルエネルギーの最小化を行い、剛性・質量・荷重によるサブマトリックスの重ね合わせを行う。この方法では、個々の要素に対する変位・変形・歪が可能で、要素相互間の滑り・分離・接触が可能

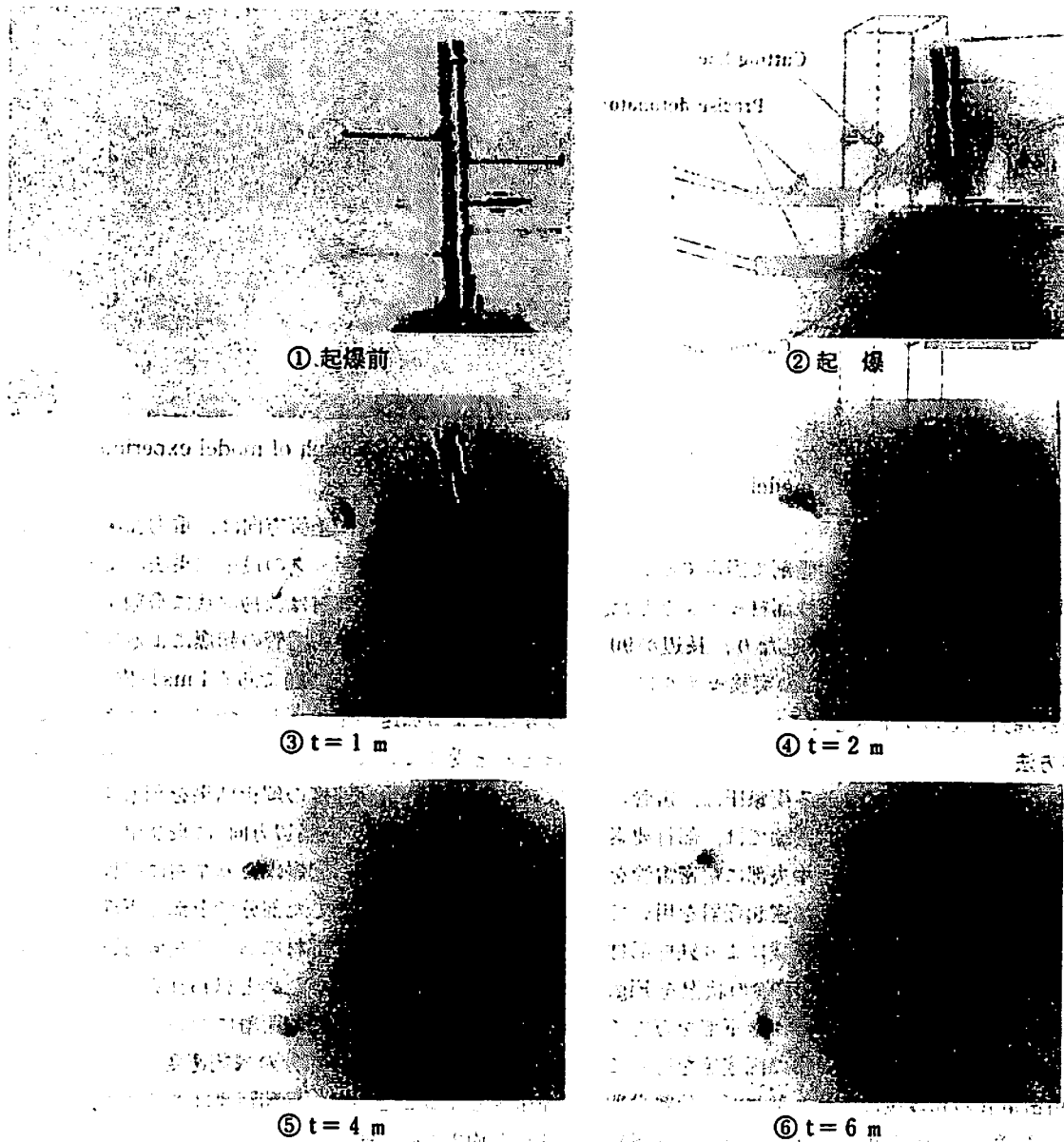


Fig. 3 Observation results of high-speed video

である。さらに、分離した要素には、運動方程式が適用できる。このため、発破で発生する飛石には十分適用できることを、実験結果の解析から確認している。今回の数値解析では、成形爆薬で切断された部材が分離して飛翔することから、このDDAを用いて分離して飛翔する部材について検討した。

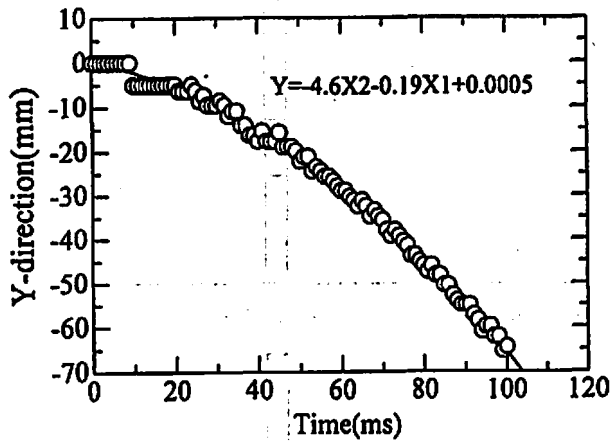
数値解析では、モデル実験と同様に解析対象となる鉄柱を3個の要素として分割する。数値解析での荷重入力点は、モデル実験で4個の精密雷管を固定して、衝撃荷重を加えるため、切断面に接する要素内部の8カ所とした。また、この時の入力荷重は、精密雷管による荷重が部材要素に垂直に加わるとして、精密雷管の起爆方向にとした。荷重の入力時間は起爆後 $t=t_1$ まで一定とし、 $t=t_2$ で0とし、以後は0とする。このため、解析モデルの左右から加わる部材要素に加わ

るトータル荷重の大きさは同じとなる。モデル実験では、下部の部材を万力で固定した状態で実施したので、数値解析でも、下部の要素には固定点を設定した。

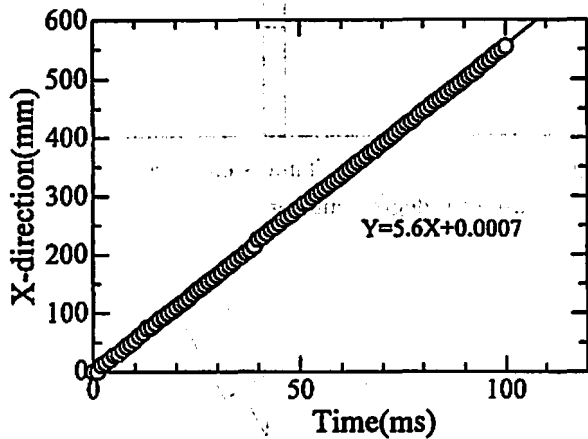
数値解析では、実験モデルの他に鉄柱部材の切断角度による影響についても検討を加えた。つまり、鉄柱モデルに対して水平に切断した場合(0度)と鋭角に切断した場合(30度)での部材の挙動と飛翔体の移動速度について解析し、部材の切断角度による影響を検討した。

3.2 実験モデルの数値シミュレーション結果および考察

実験モデルの数値シミュレーション方法として、DDAを用いて部材の切断・分離・飛翔状況を解析した。モデル実験の数値シミュレーション結果をFig. 5に示す。DDAによるモデル実験の数値解析結果か



(a) Movement of cutting part



(b) Velocity in horizontal direction

Fig. 4 Analysis of cutting part

ら時間の経過に伴い3個の要素が分離する。中央部の部材要素は分離し左側(長辺方向)に水平に飛び出す。

また、この分離した中央部の部材要素は、ほぼ水平に移動し、ほとんど回転しない。しかし、上部の部材は上方向に回転しながら移動する。この解析結果は、モデル実験結果と一致する。これは、衝撃荷重による部材の挙動を数値シミュレーションでは、雷管による衝撃荷重を想定して入力したため荷重入力時間が短く設定した。このため、固定した下部要素の影響が少なくなり、上下の切断面で発生する回転モーメントが均衡し、分離した要素に加わる回転モーメントがほとんど作用しないためと思われる。しかし、上部の部材は、片側みの荷重入力のため、回転モーメントが発生する。このため、回転して飛翔したものと思われる。また、水平方向に飛翔する中央部の部材の飛翔速度は、約5.8 m/sとなり、モデル実験結果とはほぼ一致する。

3.3 切断角度による数値シミュレーション結果および考察

切断角度による部材の挙動へに影響を検討するために、切断角度0度及び30度における要素の挙動を45度と同じ荷重条件で実施した。切断角度0度での数値シミュレーション結果をFig. 6に示す。0度に切断した部材での数値シミュレーションでは、部材はまったく移動せず、そのままの状態を保つことを確認した。これは、衝撃荷重が、均衡し要素を移動させる力が作用しないためである。しかし、切断角度を30度とすると、45度と同様に中央部の部材が時間の経過に伴い鉄柱から分離し左側(長辺方向)に飛翔する。分離して飛翔する部材は、ほぼ水平に移動し、ほとんど、回

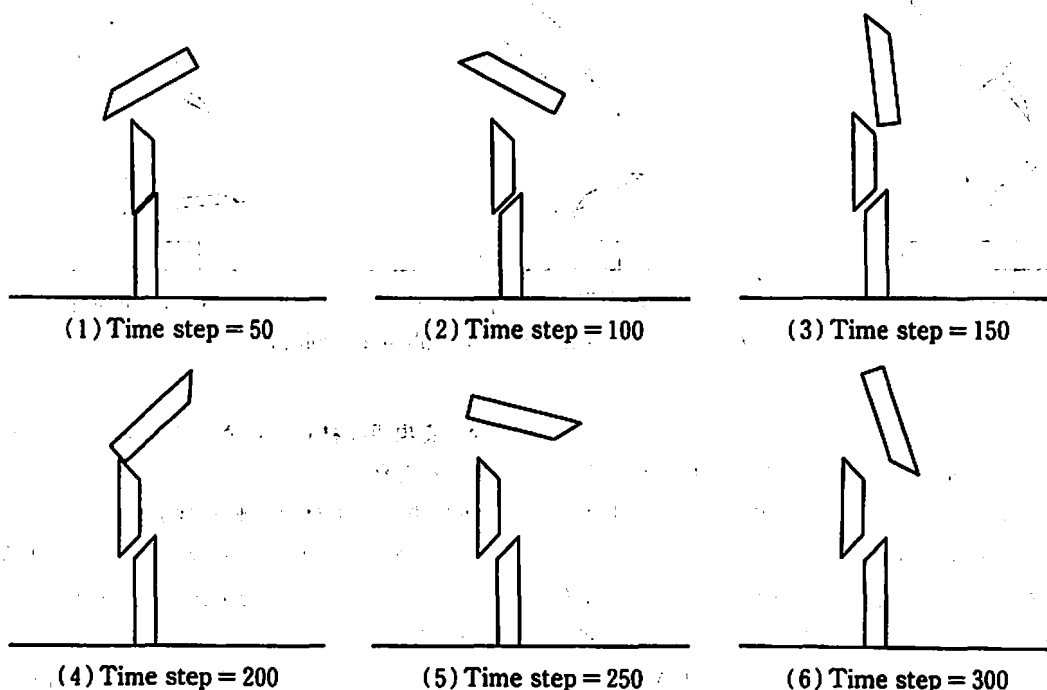


Fig. 5 Numerical simulation results of model experiment using DDA

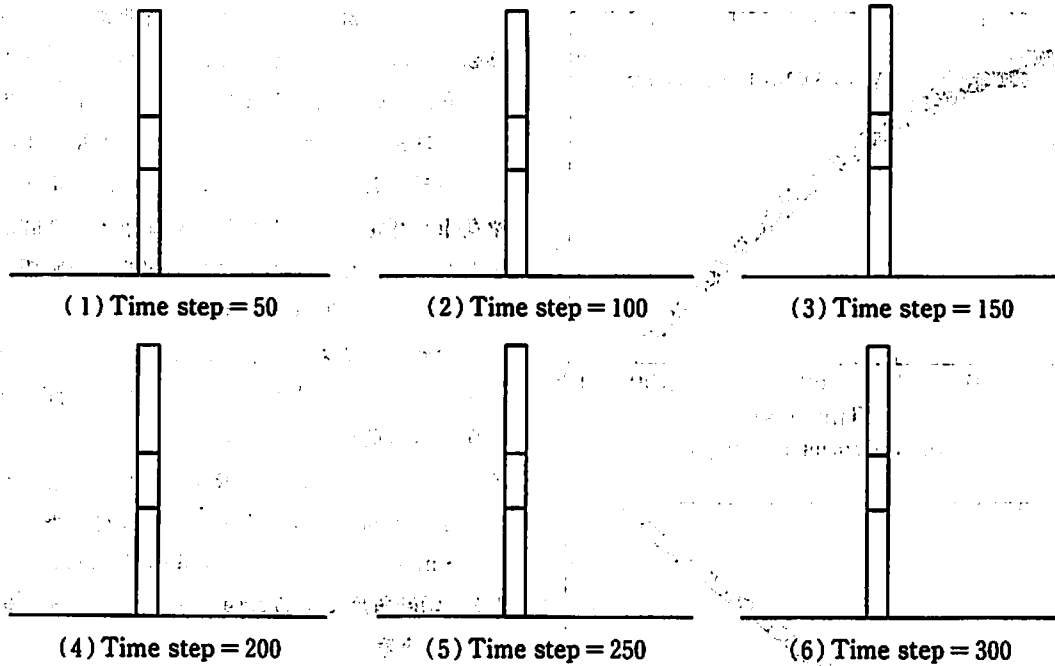


Fig. 6 Numerical simulation result in case of 0 degree cutting

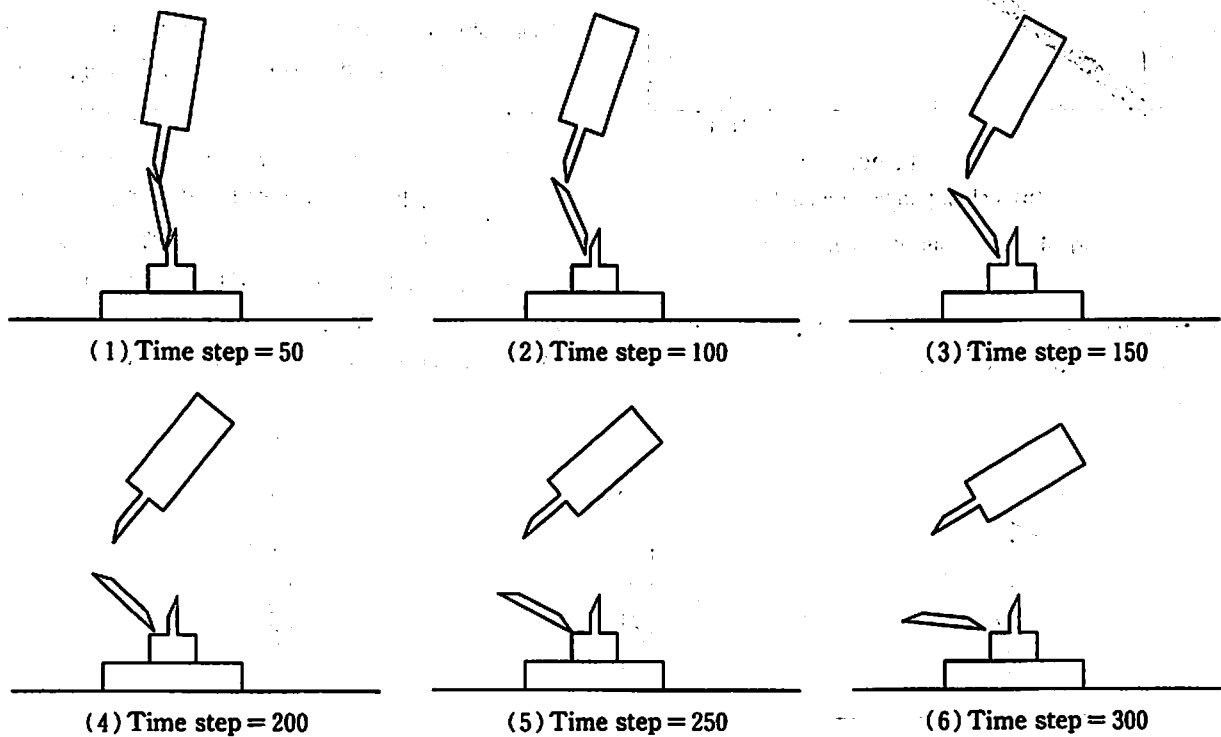


Fig. 7 Numerical simulation of full scale column

転しない。また、上部の部材は上方向に回転しながら飛翔する。この解析結果は、45度に切断した結果とほぼ同じであった。しかし、この時の中央部の要素の飛翔速度は、約4.3 m/sとなり、小さくなる。これは、切断角度を小さくすることで、要素部材に加わる反発力が小さくなるためと思われる。つまり、切断角度が大きくなると中央部の要素に加わる力が大きくなるためと思われる。

3.4 実規模部材での数値シミュレーション結果および考察

実規模での部材の挙動を検討するために、 1.0×1.0 mの部材を切断する場合について、DDAによる数値シミュレーションを実施した。実規模の実験では、部材に数千トンの荷重が加わっているため、上部の部材の要素面積を大きくすることで実規模部材要素を想定した。数値シミュレーション結果をFig. 7に示す。

数値シミュレーション結果からモデル実験と同様に切断した中央部の部材が左側に移動し、上部部材が倒壊する。また、上部の要素については上部にはほとんど移動せず、右側に倒壊する。これは、モデル実験と異なり上部要素の重量が大きいので上方向に移動させるだけの力が作用しないためと思われる。この結果からDDAを用いて鉄骨構造物の倒壊状況のある程度は数値シミュレーションできることを示した。

4. まとめ

鉄骨構造物の解体の基礎的研究として、成形爆薬で切断し分離する部材要素についてモデル実験とDDAによる数値シミュレーション結果から以下のことが判明した。

1. 鉄柱モデル実験から、中央部の部材要素が分離して、長辺方向にほぼ平行に移動し、ほとんど回転しないで飛翔する。これは、部材を45度に切断することで長辺方向への反発力が大きくなり、飛翔するものと思われる。また、分離飛翔する中央部の部材が回転しないのは、部材に加わる回転モーメントが均衡するためと思われる。
2. DAAを用いて、モデル実験で分離飛翔する部材要素の状態を数値シミュレーションできることを

確認した。また、切断する角度により部材要素の飛翔速度等が変化することを示した。さらに、実規模部材モデルへの適用から鉄柱の倒壊状態を推定し、成形爆薬による切断される部材が移動倒壊することを示した。

文 献

- 1) 新・発破ハンドブック, 工業火薬協会編
- 2) G. H. Shi and R. E. Goodman, "Discontinuous Deformation Analysis", Proc. 25th U. S. Symposium on Rock Mechanics (1984)
- 3) Yuji Ogata, Yuji Wada, Kunihisa Katsuyama and Tasuku Nishida, "Observation and numerical simulation of the fly rock caused in bench blasting", 23rd International Conference of explosives and blasting technique (1997)
- 4) 馬貴臣, 三宅淳巳, 小川輝繁, 和田有司, 緒方雄二, 勝山邦久, 「発破シミュレーションと発破解体時の振動軽減」, 火薬学会誌, Vol. 56, No. 1 (1995)
- 5) 大西有三, 佐々木猛, 「不連続変形法とその岩盤工学への適用について」, 第24回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集 (1992)

Study on the blasting demolition of steel construction

(Part 1 : Movement of the cutting part)

by Yuji OGATA*, Yuji WADA*, Kunihisa KATSUYAMA*, Tasuku NISHIDA**
Masakazu HOSHINO** and Masayuki NAGANO**

Shaped charge is used to the blasting demolition of steel construction in general. It is important to control the movement of cutting part with shaped charge for the blasting demolition of steel construction. The movement of cutting part with shaped charge was studied in the small scale experiment with steel bar and precise detonator. The numerical simulation using Discontinuous Deformation Analysis (DDA) was carried out at the same time. Conclusions are briefly summarized as follows;

1. As the result of small scale experiment the cutting part with shaped charge was moved to long side direction without revolution. The force to the long side of cutting part was larger than short side.
2. The DDA method can be applied to simulate the small scale experiment to discuss the movement of cutting part in blasting demolition of steel construction. It showed that the cutting degree is important to control the movement and velocity of cutting part. The DDA method was able to apply the full scale blasting demotion of the steel column.

(*Safety Engineering Department, National Institute for Resources and Environment, AIST, MITI, 16-3 Onogawa, Tsukuba Science City, Ibaraki, 305, Japan

**Kacoh Co., Ltd., Medix Building, 4-1 Kanda-nishi-fukudacho, Chiyodaku, Tokyo 101, Japan)