

鉄骨構造物の爆破解体に関する研究

(第2報 高炉櫓発破解体工事)

星野雅一*, 長野正幸*, 西田 佑*, 緒方雄二**

和田有司**, 勝山邦久**

本報では前報で述べた成形爆薬による切断部材の挙動に関する研究に基づいて、実際の鉄骨構造物の発破解体工事について報告する。この工事は、新日本製鐵(株)釜石製鐵所構内に存在する最後の高炉設備で、発破解体の対象となったのは、底部の平面寸法17 m×17 m、最大高さ77.6 m、総重量約1,724 トンの高炉櫓施設である。解体工事では、総薬量約18.4 kgのV型成型爆破線と16個の地震探査用電気雷管を用いて、高炉設備の鉄柱前脚を切断除去することで、高炉櫓を倒壊させる。また、倒壊過程についてはDDAを用いた数値シミュレーションから検討した。

1. はじめに

従来の鉄骨構造物の解体は、油圧機械(パワー・ベルに付ける鉄骨カッター等)での解体が可能な構造物であれば、地上から機械解体工法が用いられる。また、重機の作業高さ等の制限から、高層建築物では、上部から順番に人力にて解体するのが一般的な解体工法である。この工法は、作業員がガス切断作業を高所で行い、切断した部材は大型の重機等を使用し吊り下ろされていく。このため、この解体工法では、墜落・挟まれ・飛来落下物等の労働災害の発生が懸念されている。しかし、高層構造物を発破により転倒させ、背を低くした状態で解体を進めると、上記の危険が回避でき、解体作業の安全性が確保できる。さらに、解体工期の短縮、解体工費の軽減につながる有効な工法である。

今回は、高層構造物を解体する場合、高所作業等を極力避けることによる安全性の確保を第一目的とし、発破解体工法の一例として、立地条件および周辺への

影響を考慮しながら、鋼製高炉櫓を発破工法により転倒させる解体法を実施したので報告する。なお、転倒後の高炉櫓は、従来の重機による解体を行った。

2. 高炉櫓発破工事の概要

この工事は、岩手県釜石市に所在する新日本製鐵(株)釜石製鐵所構内に存在する最後の高炉設備を解体・撤去するものである。

立地条件的には製鐵所内の敷地にあり、高炉櫓転倒時には周辺の設備等は解体撤去されている。よって、高炉櫓を転倒させるために必要な敷地の確保については、問題はなかった。但し、周辺には北側の約150 m離れたところに国道283号線が通っており、また、東側の約130 m離れたところには一般企業の建物、工場等が点在し、発破作業に伴って発生する振動・騒音に関する環境の保安全管理には十分に留意した工事計画が必要であった。Fig. 1に工事現場周辺の概略を示す。

この高炉本体は、1935年に火入れされ、その後、昼夜を問わずに稼働し続け、50年の間に7回改修され、1985年に休止したままの状態であった。Fig. 2に解体途中の高炉設備の全景を示す。

事前作業としては、高炉本体廻りの諸設備および本体の一部は機械解体等(一部は発破解体)で解体撤去した。最終的には、高炉櫓と除塵設備のみを残す状態となり、除塵設備側の配管を事前にガス切断することにより高炉櫓と除塵設備との縁切作業を行った。Fig. 3に事前作業終了後の状況を示す。

解体対象となる高炉櫓は、構造として鉄骨式の4本

1997年3月28日受理

*株式会社カコー

〒101 東京都千代田区神田西福田町4-1

メディックスビル

TEL 03-3255-7770

FAX 03-3255-7780

**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

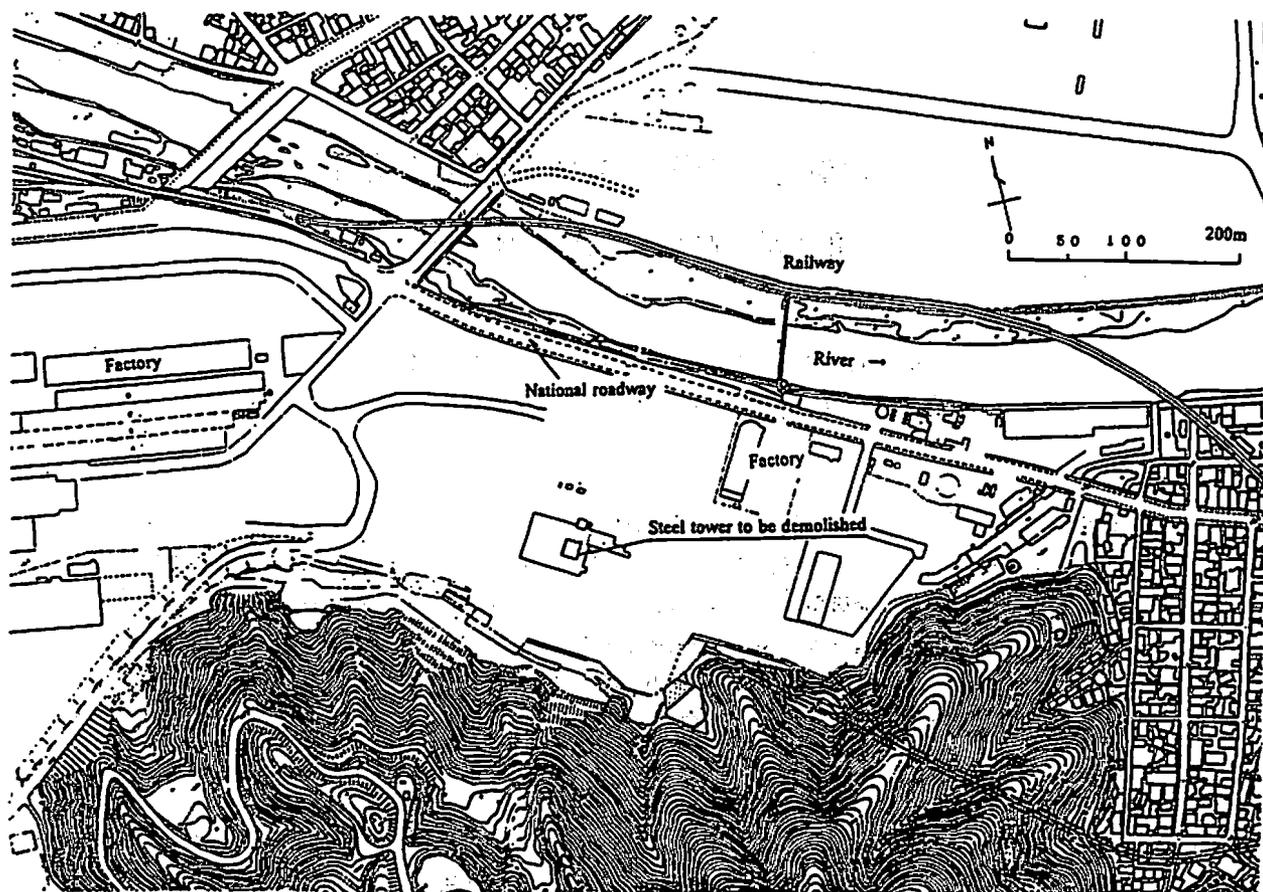


Fig. 1 Layout of surroundings of steel tower

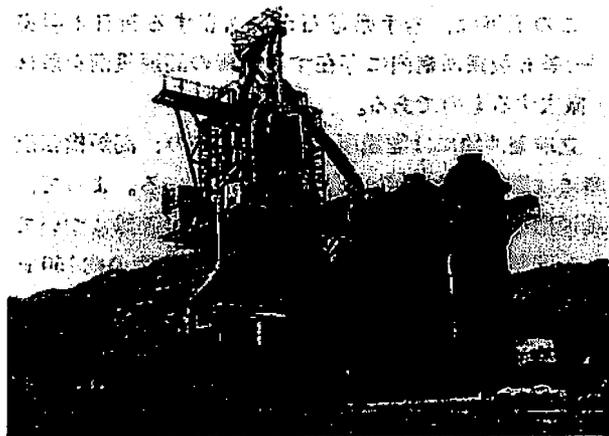


Fig. 2 Photograph under the pre work with demolition machine

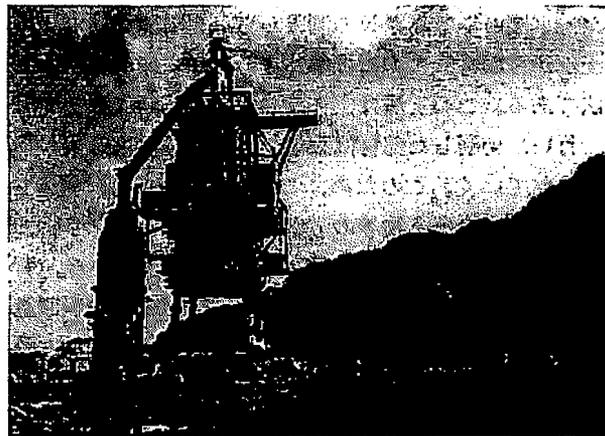


Fig. 3 Photograph after the pre work with demolition machine

の柱からなり、底部の平面寸法は17 m × 17 m、最大高さ77.6 m、総重量は約1,724トンであった。構造的には、これを4本の柱(板厚32mmのボックス溶接構造、断面寸法1 m × 1 m)で支えている、比較的単純な構造であった。Fig. 4に高炉構概要を示す。転倒方向側の2本の柱(前脚)を発破によって切断撤去(間引き)し、転倒モーメントを利用した方法で転倒させた。

V型成型爆破線(爆薬量1 kg/m)をボックス溶接構造の柱の周囲(突切断長約15.8 m)に取り付けて、こ

こを爆破切断面とした。柱の上、下部2箇所を爆破切断面とし、長さ約5 mの間をハの字に間引かれるように計画した。間引かれる部分は約6トンの重量になる。Fig. 5に発破箇所の計画図を示す。

今回切断されて間引かれる部分を容易にかつ確実に引き抜くために、この部分にワイヤーロープを取り付け、約3.5トンの錘をつけて間引く方向に張力を掛けておいた。また、転倒を容易にし、転倒方向を確実にするために、発破当日に、発破切断しない側の柱(後

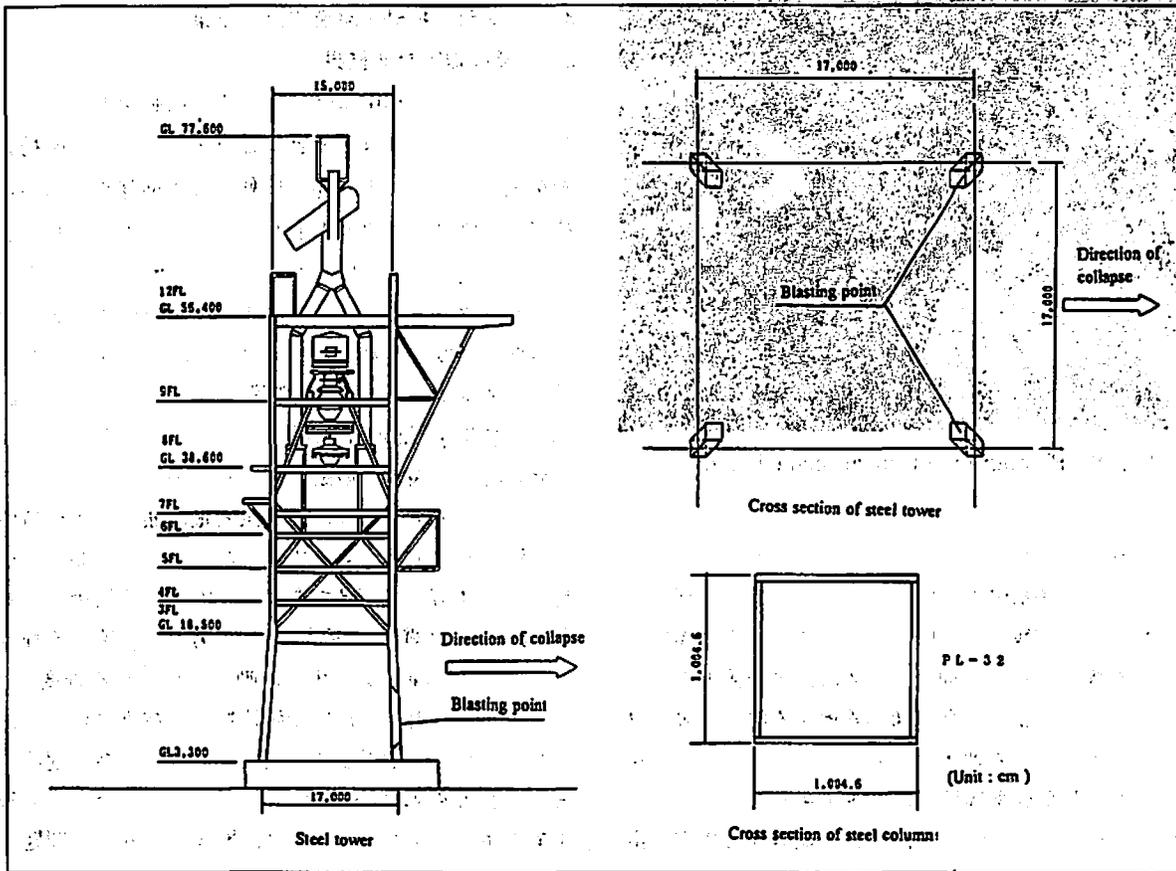


Fig. 4. Figure of steel tower

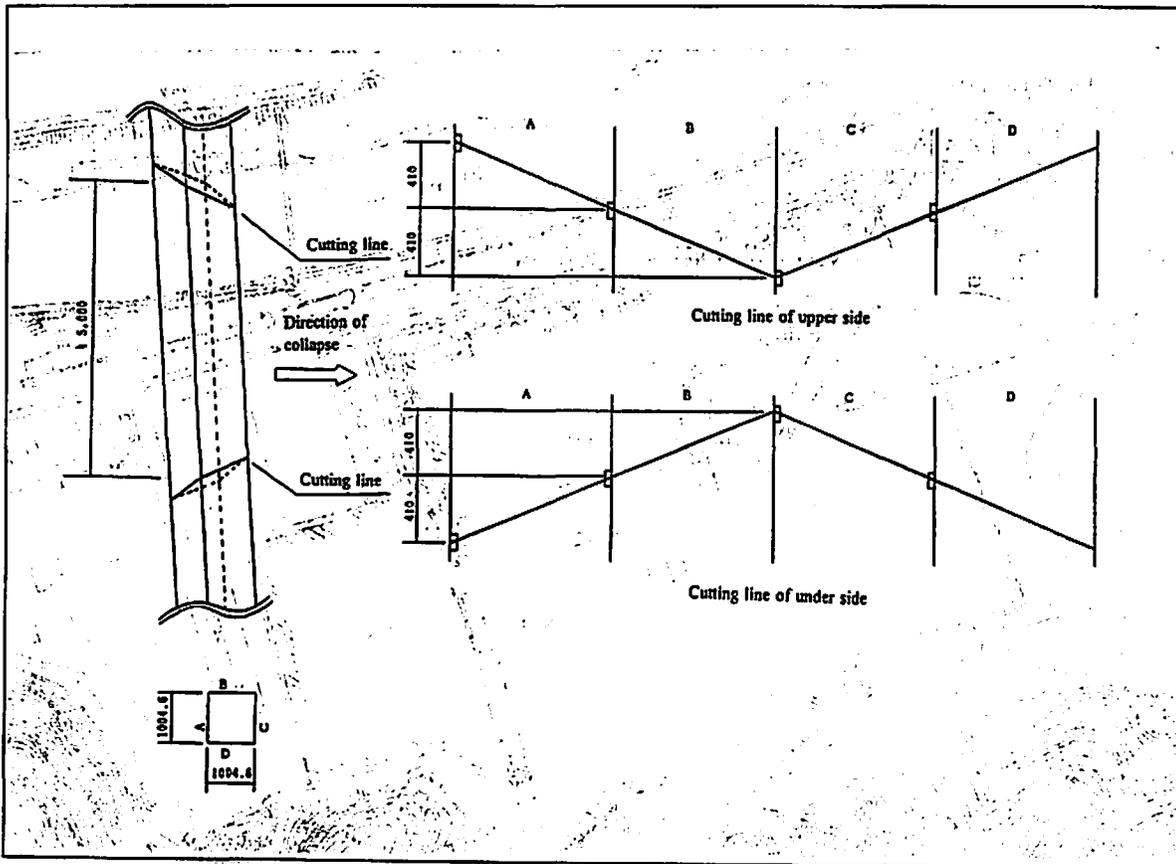


Fig. 5. Cutting plan of steel column with shaped charge



Fig. 6 Photograph of linear shaped charge

脚)の周囲をガス切断した。このとき、ボックス溶接構造である柱の転倒方向側および両サイドの一部はガス切断しないで残しておいた。発破により周辺環境へ与える影響をなるべく抑えるために、発破箇所を防爆シートで覆い、また、高炉槽が着地する際の振動、騒音抑制対策として着地予定位置に砂によるマウンドを設置した。V型成型爆破線は、専用金具と鉄工用ビスを用いて柱に取り付けられ、これを地震探査用電気雷管で起爆した。合計、V型成型爆破線16個(爆薬換算量:約18.4kg)と地震探査用電気雷管16個を使用した。Fig. 6にV型成型爆破線の装着状況を示す。

3. 発破時の振動・騒音の計測結果

3.1 発破振動計測結果

発破時および槽倒壊時に発生する振動を把握し、また周囲に与える影響の度合を確認するために、振動計測を実施した。従来、発破振動と人体感覚や建物への被害の評価は、変位速度値を尺度として用いられてきたが²⁾、近年、発破振動が他の公害振動と同じように扱われてきているため、本計測では、振動規制法で規制基準の尺度とされている振動レベルにて測定した。計測位置をFig. 7に、計測解析フローをFig. 8、計測解析結果をTable 1に示す。

発破時と倒壊時の振動レベル値の差異はほとんどなく、また、距離の増大に伴う減衰量は通常の伝播特性と比較すると小さいものであった。全ての計測点で振動レベルは67~71 dBであり、気象庁震度階級によると「震度Ⅱ(軽震)」に相当し、「大勢の人に感じる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかる程度」のものであり、周辺の建物や建造物への被害は皆無であった。また、振動規制法で定められている特定建設作業時の勧告基準値75 dBを下回っており、今回の発破作業に伴って発生した振動は、警戒区域外へは問題のない程度のものであったと思われる。

3.2 発破騒音計測結果

振動測定と同様に、発破時および槽倒壊時に発生す

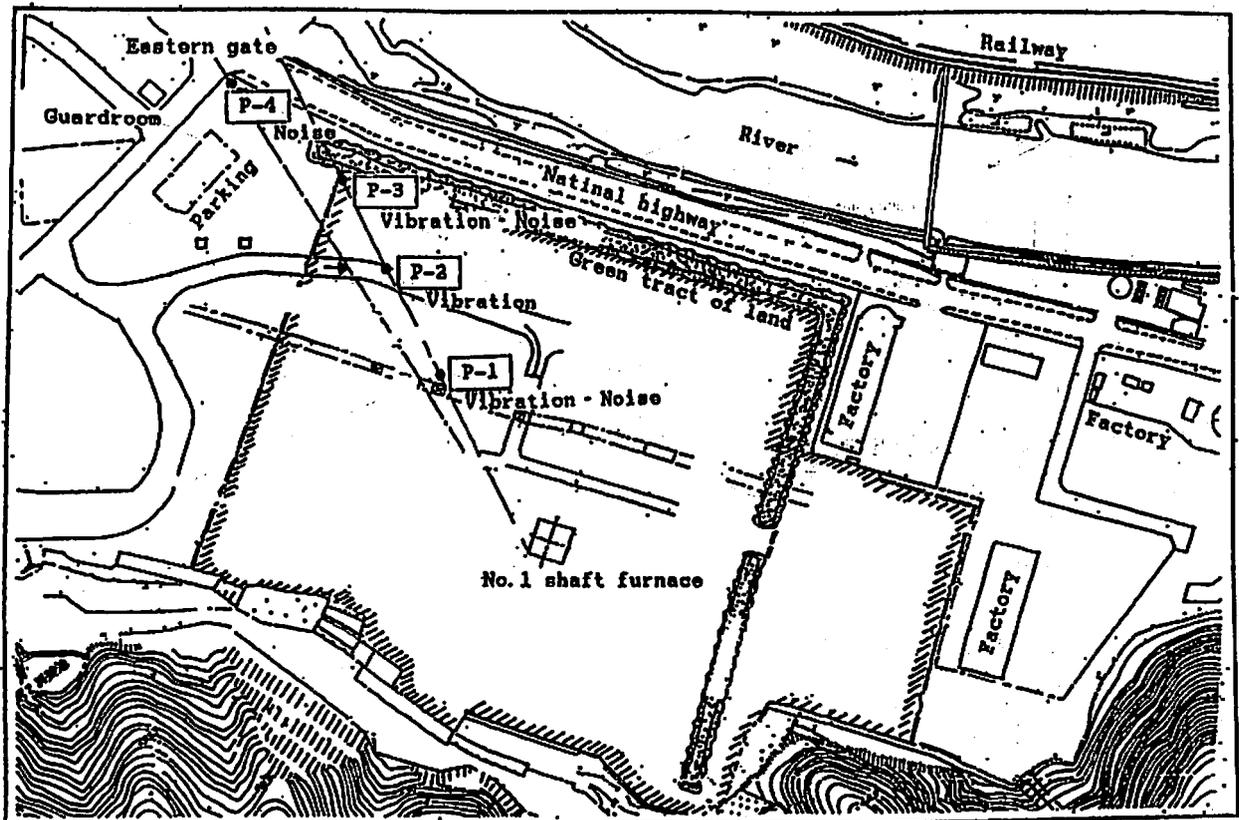
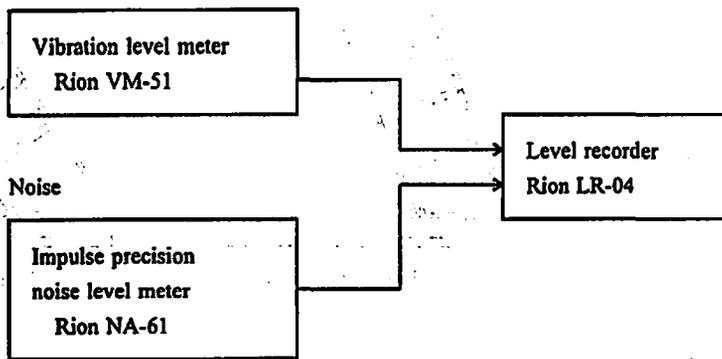


Fig. 7 Location of vibration and noise measurements

① Vibration



② Noise

Impulse precision
noise level meter
Rion NA-61

Fig. 8 Instruments used for measuring vibration and noise

Table 1 Results of vibration level

| Component Location | Distance (m) | Vibration level | |
|-----------------------|-----------------|------------------|--------------------|
| | | Blasting (dB) | Collapsing (dB) |
| P-1 | 100 | 71 | 71 |
| P-2 | 150 | 68 | 71 |
| P-3 | 200 | 67 | 68 |

Table 2 Results of noise level

| Component Location | Distance (m) | Noise level | |
|-----------------------|-----------------|---------------------|-----------------------|
| | | Blasting (dB(A)) | Collapsing (dB(A)) |
| P-1 | 100 | 120 | 104 |
| P-3 | 200 | 119 | 98 |
| P-4 | 260 | 109 | 90 |

る騒音を計測した。計測位置は振動計測と同じく Fig. 7 に、計測解析フローを Fig. 8 に、騒音計測結果を Table 2 に示す。鉄骨構造物の切断に成形爆薬を用いた工事の場合には、貼り付け発破と同様に騒音が極めて大きく、周囲の住民に与える影響が大きな問題となる。今回の解体工事においても、爆源からの距離が 200 m と離れているにもかかわらず、120 dB(A) 程度の騒音レベルが測定された。この値は、騒音規制法で定められている特定建設作業時の勧告基準値 85 dB(A) を大きく上回っており、今後、騒音低減対策が重要な検討事項になるであろうと思われる。

今回、事前の広報活動により、発破現場、時間等が周辺住民に周知徹底されていたので、発破騒音に対する驚きの声や苦情は聞かれなかった。

4. 倒壊過程の数値シミュレーションと倒壊状況

4.1 数値シミュレーション方法

高炉櫓の倒壊過程の数値シミュレーションには、筆者等が発破における破壊過程や飛石の飛翔性で用いてきた不連続変形法 (Discontinuous Deformation Analysis: 以下 DDA) を適用した^{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。今回の解析では、高炉櫓の倒壊過程について DDA を用いて検討した。

4.2 数値シミュレーション結果

数値シミュレーションでは、まず、高炉櫓の後脚が地上面から離れることを前提として実施した。この場合の数値シミュレーション結果を Fig. 9 に示す。数値シミュレーション結果から前脚の部材の一部を成形爆薬により間引くことで、後脚の最下部が支点となり、前脚方向への倒壊が始まる。前脚は、地上面の切断箇所より前方に到達する。その後、切断部分が地上面に到達すると、切断部分が支点となり高炉櫓が転倒する。

しかし、実際の爆破解体では、後脚の頭部から折れ曲がって転倒したことから、次に、後脚の最下部を固定した状態での数値シミュレーションを実施した。数値シミュレーション結果を Fig. 10 に示す。この場合は、後脚の頭部が支点となって前脚方向に倒壊する。前脚は、地上面の切断箇所より後方に到着する。その後は切断部分が地上面に到達すると、切断部分が支点となり倒壊する。このため、後脚の最下部を支点として倒壊する場合と比較して、倒壊範囲が後方になり、さらに、倒壊に要する時間は短くなる。

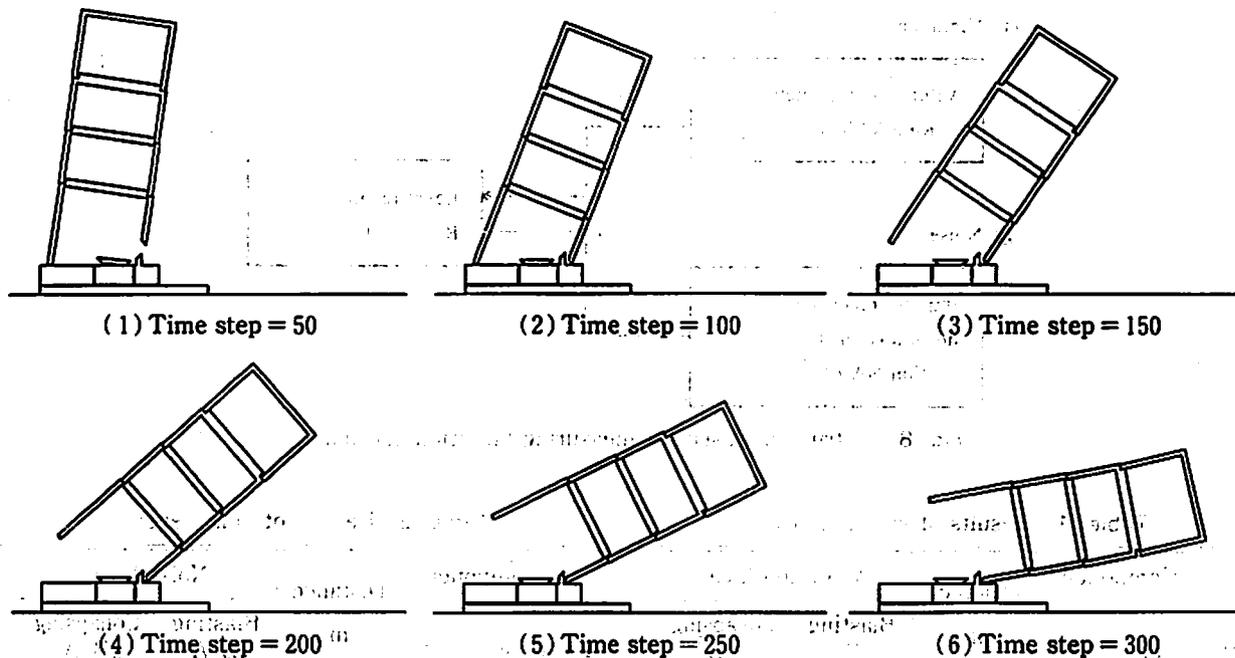


Fig. 9 Numerical simulation of blasting demolition

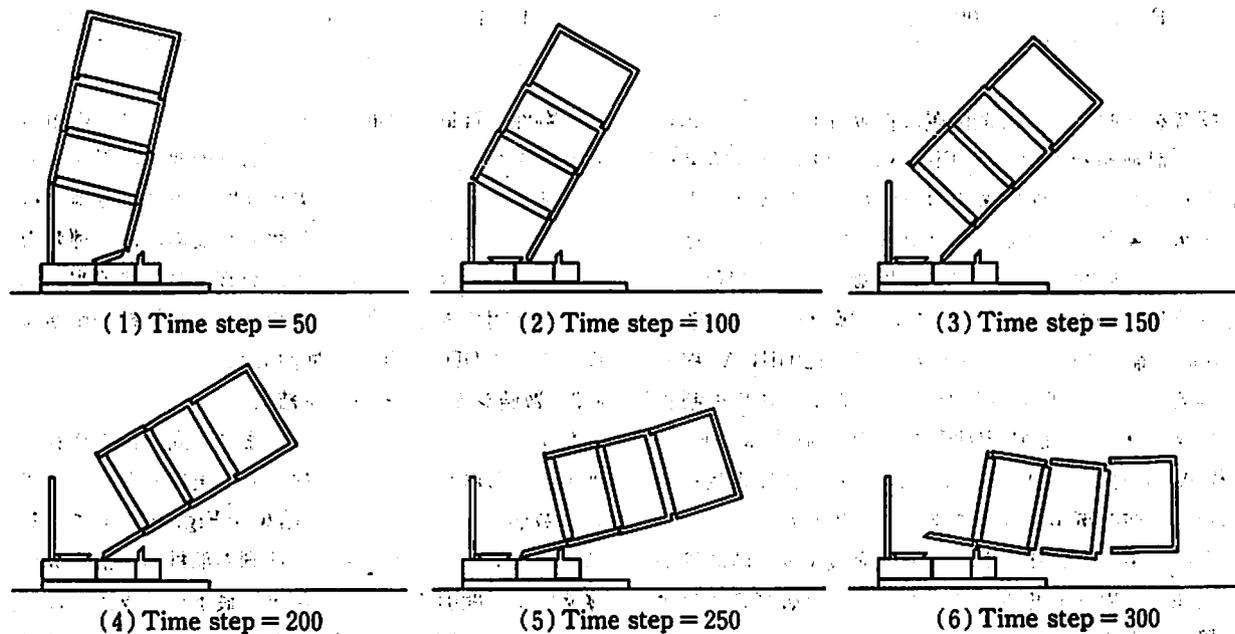


Fig. 10 Numerical simulation of blasting demolition

4.3 高炉槽構造物の倒壊状況

実際の高炉槽の倒壊では、前脚の一部が爆破切断、撤去されたことにより、高炉槽の重心と支点、すなわち後脚の頭部との位置の関係から、後脚の頭部に曲げの力が働き、折れ曲がり始める。さらにこの後脚の頭部が支点となり、高炉槽の重心がこの支点より転倒方向側にあることで高炉槽に転倒モーメントが作用し、転倒し始める。高炉槽の倒壊過程をFig. 11に示す。この倒壊過程は、数値シミュレーション結果ともほぼ一致する。高炉槽は、爆薬点火後約6秒後に着地し、

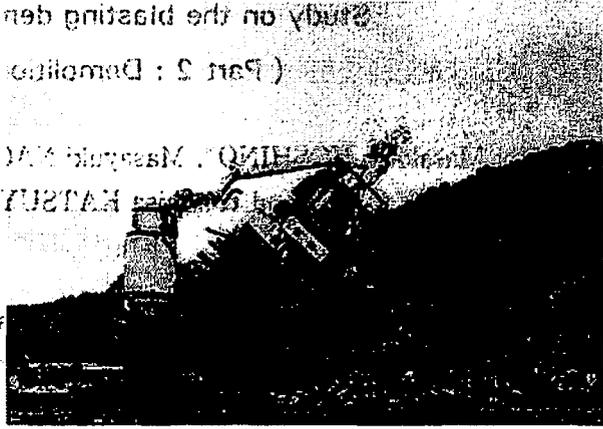
倒壊終了までに約15秒を要して、所定方向のマウンドの上に横たえた。

成形爆薬により切断された部材が所定方向に間引かれた理由として、V型成型爆破線によるノイマン効果で発生した金属ジェットにより鉄骨部材が十分に切断されたことはもとより、間引かれる部材をへの字にできるようにしたことが最大の要因であると思われる。

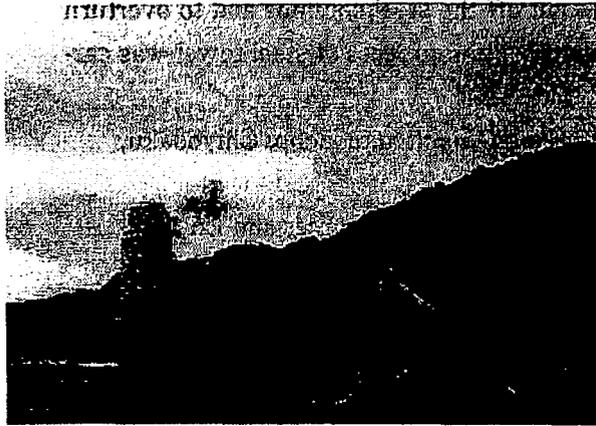
以上、柱部の爆破切断、所定方向への部材の間引き、および転倒にわたる解体作業をほぼ計画通りに実施できた。



Photograph 1



Photograph 2



Photograph 3

Fig. 11 Collapse process of steel tower

5. まとめ

鉄骨構造物の代表的な高炉櫓の解体工事で、成形爆薬を用いて前脚の一部を爆破切断、ハの字型に間引くことで、所定方向に転倒させることができた。また、DDAを用いることで鉄骨構造物の倒壊状況の数値シミュレーションが可能であることを示した。

参考文献

- 1) (社)全国火薬類保安協会「RC集合住宅発破倒壊実験報告書」, 1989
- 2) (社)日本トンネル技術協会「トンネル工事の発破振動および騒音対策に関する調査研究報告書」, 1977
- 3) 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, 33 (1995)
- 4) 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)
- 5) G. H. Shi and R. E. Goodman, "Discontinuous Deformation Analysis", proc. 25th U. S. Symposium on Rock Mechanics (1984)

Study on the blasting demolition of steel construction

(Part 2 : Demolition work of steel tower)

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

As the basic study for demolition of steel construction was reported in part 1, the demolition work of steel tower which located in Kamaishi factory of Nippon Steel Corporation was carried out. The dimensions of this steel tower was 17 m \times 17 m in cross section and 77.6 m height. The total weight is about 1,724 t. The 18.4 kg linear shaped charge and 16 seismograph electric detonators were used to cut off the steel columns and to overturn the steel tower. The numerical simulation of the demolition process of steel tower was carried out using DDA method.

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

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