

鉄骨構造物の発破解体工法における設計・施工

AN EXAMPLE OF THE APPLICATION OF BLASTING-DEMOLITION METHODS TO STEEL-FRAME BUILDINGS

小林茂雄* 木下雅敬** 中津賢一*** 中川浩二****

by Shigeo KOBAYASHI, Masanori KINOSHITA, Kenichi NAKATSU and Koji NAKAGAWA

A blasting demolition technique was applied, for the first time, to demolish a steel-frame building in an ironworks, under the condition that it had to be carried out without failure. The present paper describes the procedures of this actual blasting-demolition, including the details of planning and design concepts and the analysis of the results.

The blasting demolition technique is expected to improve safety as well as efficiency, in particular when it is applied to steel-frame buildings. However, it is considered very important to establish some techniques suitable for demolishing buildings in Japan that are strongly reinforced against earthquakes. From the above viewpoint, the authors have been carrying out some experimental study of blasting demolition by using several existing buildings. This successful example of demolition using blasting methods, described in the present paper, has given instructive information with regard to necessary cares to be taken when applying blasting techniques to steel-frame buildings.

1. 緒言

近年、都市の再開発、敷地の有効利用、老朽化した機能の回復などを背景に土木建築の分野を問わず、構造物を解体するというニーズが大きくなっている。

我が国においてはその対象とする構造物が主に木造であったこともあり、構造物を効率良く解体することは過去には特に大きな問題とはならなかった。しかし、最近の除去対象構造物の増加傾向は木造以外の鉄骨あるいは鉄筋コンクリート構造物において著しく、構造物をいかに効率よく解体し、しかも工事にともなう振動、騒音等の環境への影響をいかに低減するかが問題となっている。

これを解決する方法のひとつにこれらの構造物を発破を用いて一気に倒壊するという技術がある。この技術は海外ではかなり広く用いられており、我が国へもマスコミ等を通じていくつかの情報がもたらされている。国内においても1985年に筑波万博の国連平和館の発破による解体が行われている¹⁾。また1987年からは通産省の委託により(社)全国火薬類保安協会内に「都市構築物解体用発破対策委員会」が設けられ、コンクリート構造物を発破で解体する場合の保安技術指針の策定が行われている。特に1988年にこの委員会によって行われた高島炭鉱鉱員アパートの倒壊実験は記憶に新しいところである²⁾。しかし諸外国の構造物に比

* 工修 新日本製鉄(株) 技術開発本部 土木建築技術部 (〒299-12 千葉県富津市新富20-1)

** 工修 新日本製鉄(株) 技術開発本部 鋼構造研究開発センター 主任研究員 (同上)

*** 新日本製鉄(株) 君津製鉄所 設備部 (〒299-11 千葉県君津市君津1)

**** 工博 山口大学教授 工学部社会建設工学科 (〒755 山口県宇部市常盤台)

べて鉄筋量が多く、また壁材などの二次部材も頑強で一般的に耐震性にすぐれたわが国の構造物は、言うまでもなくこれら諸国の構造物より壊しにくいと考えられ、発破を用いた解体工法を実用化するには、わが国特有の構造特性を考慮した手法を確立する必要があると思われる。

このような認識のもと、筆者らは製鉄所内という特殊な環境下ではあるが、実際の構造物を用いて発破解体に関するいくつかの実験的検討を行ってきた。最初に行ったRC構造物の解体実験においては、我が国におけるRC構造物の発破解体におけるいくつかの問題点を明らかにするための検討を行った³⁾。またそれに続いて鉄骨構造物の発破解体手法の開発に取り組み、ここでは老朽鉄骨構造物を用いて可能と考えられるいくつかの方法で発破倒壊させる実験的研究を行っている⁴⁾。

本報告はこれらの実験的研究の成果をもとに、実施工として確実に倒壊させるという立場から行った実際の解体工事に関する計画から結果までの過程について述べるものである。

2. 発破による鉄骨構造物の解体の意義

鉄骨構造物を解体する場合、構造物が大きくなれば重機等を用いた機械的な切断あるいはガスによる切断により作業は容易である。しかし構造物が重機の大きさより大きくなるとこれらの作業は著しく困難となり、倒壊という手法が重要となる。

発破を用いて鉄骨構造物を倒壊させる場合、おそらくその最も大きな意義として不測倒壊等に関する安全性の飛躍的な向上がある。従来行われてきた引き倒し工法と比較すると、安全性という立場から図-1に示すような大きな相違点がある。すなわち引き倒し工法においては容易に引き倒しが可能となるまで部材の特定部に切欠きを入れる等の事前作業を行い、その上で重機などによる引き倒しを行う。そのため、控えワイヤーによる仮設補強を行うとしても事前切欠きの程度は大きく、これによる引き倒し前における構造物の耐力の低下は著しく大きなものとなり、不測の事故としての倒壊に対する安全性の確保が容易ではない。これに対して発破倒壊の場合には発破による瞬間的な部材の切断、除去を主たる構造上の解体作業とするため、事前切欠きは最小限のものとすることが可能であり、十分安全な作業条件が確保できるとともに後述のように事前の安全性の評価が明確に行える。このような、倒壊ならびに事前安全性に関しての設計が発破によって鉄骨構造物の解体を行う上での重要なポイントであり、この考え方を明快にすることが本工法の確立に欠かせない事項であると考えられる。

3. 倒壊設計

発破による鋼構造物の解体は、爆薬を用いて部材の一部を切断・除去することにより構造物が全体として塑性メカニズムを形成して実現される。これを実施する際の問題点は大きく次の3段階に分けることができると考えられる。

- (1) 倒壊設計
- (2) 爆薬による鋼材の切断
- (3) 爆風、騒音、振動、飛石等の環境問題

(2)、(3)の鋼材の切断と環境問題についての詳細は他に譲ることとし、ここでは(1)の倒壊設計について詳述することとする。

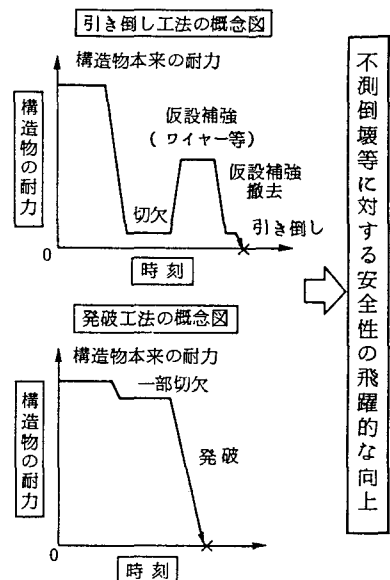


図-1 発破工法の概念

倒壊設計においてはまず、対象構造物の構造条件と周囲の環境（主として構造物周辺の空地の条件）等により倒壊モードを決定する。倒壊モードの決定にともない、その倒壊モードの実現に向けて崩壊メカニズム形成のための切断部材と回転ヒンジの生成位置（切欠き位置）を決定することになる。

切断部と回転ヒンジの生成予定位置についての基本的な考え方は、次の2点に集約される。

- a. 回転ヒンジの生成予定位置には、必要に応じて事前に切欠きを行う。構造物は切欠き後も長期荷重に対して少なくともメカニズム的には十分に安全であることを必要とする。
- b. 発破により所定の部材要素を切断、除去する。この部材要素の切断除去により、回転ヒンジの生成予定位置は降伏状態に達し構造物は崩壊メカニズムを生成する。この場合必ずしも全切欠き位置がその瞬間に降伏状態となることは必要としない。

したがって倒壊計算では、切欠きを施した状態で次の2点を確認する必要がある。

イ. 発破前において長期荷重に対し、安全であること。

ロ. 発破後において短期荷重に対して崩壊メカニズムを形成すること。

実際の倒壊設計に際してはまずロ. の崩壊メカニズムの形成が十分となる切欠き量を決定した後、イ. の発破前の安全性の確認を行うことになる。また発破後の短期荷重としては本報告では自重のみを考えているが、重機による引倒しを考え、水平荷重を加えて考慮することも可能である。

ここで切欠き量の決定においては、倒壊現象が弾塑性領域の動的かつ大変形の現象であるため、次の4つのレベルでの検討が考えられる。

- ① 弾性骨組の静的解析により、ヒンジ発生予定部の応力照査を行い予定部の降伏を確認する。
- ② 弾塑性骨組の静的解析により、架構の終局耐力を求めることで倒壊の確実性を検討する。
- ③ ②の解析に、さらに大変形（ $P \sim \delta$ 効果）を考慮して検討する。
- ④ 倒壊の動的な運動を時間ステップ毎にシミュレーションする。

今回のように確実に倒壊させることのみを目的とする場合は①か②の方法で十分であると考えられる。②の方法を用いれば部材の降伏による応力再配分を考慮できるため、架構全体としての倒壊荷重を求めることが可能である。したがって構造全体の倒壊に対する確実性を自重と倒壊荷重の比で表すことにより、倒壊確実性を示す明快な指標が得られることになる⁴⁾。しかし今回の場合

ア. 設定した倒壊形式は単純であり、ひとつの切欠き部の降伏による他部分の応力緩和を考慮する必要は小さい。

イ. 応力の再配分を考慮せず、すべての切欠き位置が降伏状態になるように設計するため、倒壊の確実性

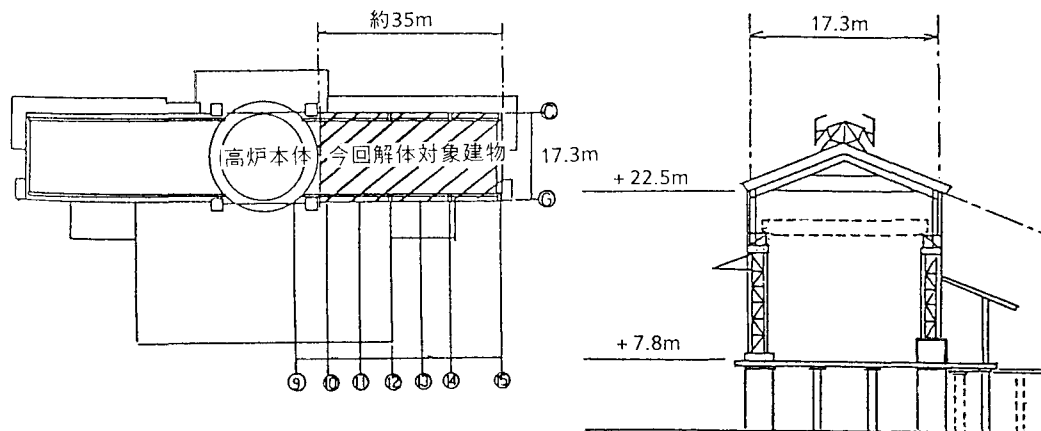


図-2 解体建物の概要

という立場からは安全側の設計になる。

したがって設計計算は弾性計算で十分であると考えられた。そこで今回の倒壊設計計算は①の手法によっている。次章にその詳細を述べる。

4. 倒壊設計計算

(1) 倒壊モードと切断、切欠き位置の設定

今回解体対象とした構造物は新日本製鉄(株)君津製鉄所構内に存在した高炉鋳床建家であり、築後約20年が経過している。建物の概要を図-2に示すが軒高15m、張間17.3mの極単純な鉄骨構造物である。また桁行き方向の長さは約35mであり、柱スパンは高炉側から6.4m, 6m, 6m, 6m, 10mであるが、このうち主柱は1柱目、3柱目、5柱目および6柱目であり、他は間柱である。すなわち35mの間には図-2の右側に示すような構面を4面含んでいることになる。他工事との関連で高炉本体よりの1スパン分は通常工法で先行解体し、残りの3構面を発破解体対象とした。

構造物の周辺条件としては床高さGL+7.8mの鋳床の上に建造されていることが特徴として挙げられる。そのため、2次解体を主として地表レベルで行うためには倒壊モードを水平モードとし、最終的には屋根根部を鋳床の横の空地へ引きずり落とした形とすることを必要とした。

倒壊モードを水平倒壊と設定することにより張間方向への水平倒壊を発生させるための切欠き、爆薬装着位置を決定する。鋼構造の場合部材が通常IあるいはH形鋼がチャンネルまたはアングル鋼材で構成されているが、切欠きは前述のように、ヒンジ部の断面2次モーメントを必要量減少させるべく行うことになる。

今回の構造物のメカニズムの決定に際しては、切断部材と回転ヒンジの生成位

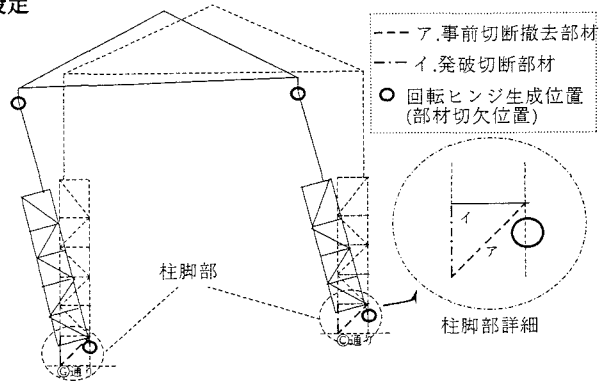


図-3 架構の崩壊メカニズムと部材の切断、切欠き位置の設定

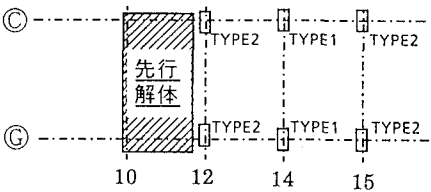


図-4 荷重負担幅の差に基づく柱タイプ

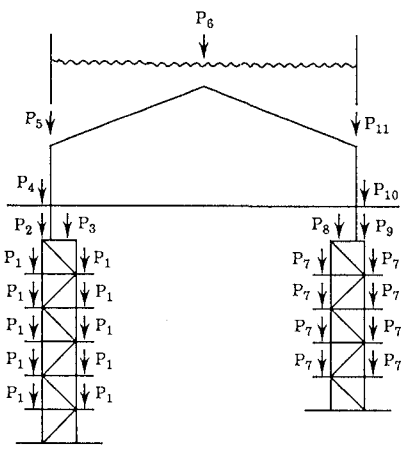


図-5 作用荷重分布図

表-1 解析に用いた荷重表

荷重記号	TYPE.1	TYPE.2
P1	0.288 tf	0.288 tf
P2	4.87 tf	4.34 tf
P3	5.67 tf	5.61 tf
P4	0.233 tf	0.233 tf
P5	0.514 tf	0.514 tf
P6	2.17 tf	2.17 tf
P7	0.336 tf	0.336 tf
P8	5.72 tf	5.66 tf
P9	5.33 tf	5.08 tf
P10	0.304 tf	0.304 tf
P11	0.678 tf	0.678 tf
w	0.223 tf/m	0.188 tf/m

置（切欠き位置）を図－３のように設定した。この場合切断部の発破除去後、切欠き部分が構造物の自重のみにより塑性化することで回転ヒンジが生成されるかどうかを検討することになる。またこれにともない切欠きを行った構造物の発破前における安全性を検討する。以下今回の工事における計算の実施例を述べる。

表-2 切欠部材の断面力

切欠部位	TYPE.1		TYPE.2	
	N(tf)	M(tf・m)	N(tf)	M(tf・m)
◎通り柱脚	16.3	4.61	10.8	2.90
◎通り柱頭	2.83	5.76	1.87	3.60
◎通り柱脚	18.7	6.79	12.0	4.26
◎通り柱頭	4.62	10.3	3.10	6.52

(2) 解析ケースと荷重条件

柱の位置により柱の負担する荷重条件が異なるため、下の２つのタイプについて検討する。（図－４参照）

Type 1 … 中間の柱の場合

Type 2 … 妻面の柱の場合

それぞれのタイプについて鋼材各部材に作用する自重を求め表示したものが表－１である。これらの荷重が図－５のように構造物に作用すると考える。まず、図－５において所定の部材が発破により切断、除去された状況での切欠き部材に作用する断面力を平面骨組弾性計算により求めたものが表－２である。

表-3 断面の切欠量の検討 (TYPE.1)

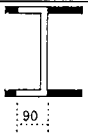
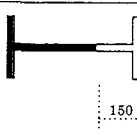
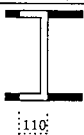
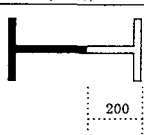
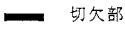
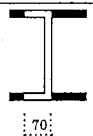
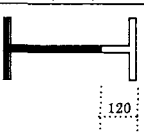
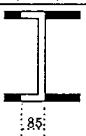
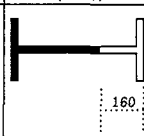
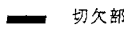
部 位	◎通り柱脚	◎通り柱頭	◎通り柱脚	◎通り柱頭
部 材	H-488-300-11-18	H-500-200-10-16	H-488-300-11-18	H-500-200-10-16
発生圧縮軸力(P)	16.25tf	2.83tf	18.67tf	4.62tf
軸方向圧縮耐力(P _{cu})	169.80tf	93.07tf	190.25tf	103.32tf
発生曲げモーメント(M _y)	461tf・cm	576tf・cm	679tf・cm	1,034tf・cm
終局曲げモーメント(M _{cu})	160tf・cm	131tf・cm	244tf・cm	230tf・cm
$\frac{P/P_{cu} + M_y/M_{cu} + M_z/M_{cu}}{1.5}$	1.98 (短期)	2.95 (短期)	2.06 (短期)	3.03 (短期)
切欠断面				
 切欠部	90	150	110	200

表-4 断面の切欠量の検討 (TYPE.2)

部 位	◎通り柱脚	◎通り柱頭	◎通り柱脚	◎通り柱頭
部 材	H-488-300-11-18	H-500-200-10-16	H-488-300-11-18	H-500-200-10-16
発生圧縮軸力(P)	10.76ton	1.87	11.99	3.10
軸方向圧縮耐力(P _{cu})	157.02ton	87.34	171.08	95.58
発生曲げモーメント(M _y)	290ton・cm	360	426	652
終局曲げモーメント(M _{cu})	110ton・cm	84	146	149
$\frac{P/P_{cu} + M_y/M_{cu} + M_z/M_{cu}}{1.5}$	1.92 (短期)	2.87 (短期)	1.99 (短期)	2.94 (短期)
切欠断面				
 切欠部	70	120	85	160

(3) 切欠き部材の降伏の確認

表一2の断面力に対して切欠き部が確実に降伏するように切欠き断面を決定する。そのための計算としては、昭和62年土木学会制定の鋼構造設計指針⁵⁾に基づき、軸方向力と曲げモーメントを受ける部材の終局限界状態の照査を行う。その際の必要条件としては以下のように考えた。

通常、構造物の設計においては荷重の組合せあるいは仮設構造物か永久構造物かといった構造物の性質に応じて適当な安全率が作用荷重に乘じられる。一般の建造物の場合、固定荷重+積載荷重のような長期的な荷重に対して安全率1.5、固定荷重+積載荷重+地震力のようないわゆる短期的な荷重状態に対して安全率1.0をとっている。すなわち短期的な状態に対しては構造物の終局耐力は、長期的な状態に対するその1.5倍あると考えていることになる。構造物を確実に壊すといった立場に立つ場合、各部に生じる断面力が短期的にも終局耐力以上であることが必要となるため、各作用力に対する耐力の比の合計を1.5で除した値が1以上であること、すなわち

$$(P/P_{cu} + M_y/M_{cuy} + M_z/M_{cuz})/1.5 \geq 1.0 \quad \dots\dots(1)$$

が必要条件となる。

- ここで P : 軸方向力
P_{cu}: 断面の圧縮耐力
M_y : 弱軸まわりに作用する曲げモーメント
M_{cuy}: 弱軸まわりの終局曲げモーメント
M_z : 強軸まわりに作用する曲げモーメント
M_{cuz}: 強軸まわりの終局曲げモーメント

表-5 事前切欠作業時の応力検討 (TYPE.1)

部 位	㊤通り柱脚 外柱	㊤通り柱脚 内柱	㊤通り柱頭	㊤通り柱脚 外柱	㊤通り柱脚 内柱	㊤通り柱頭
部 材	H-483-300・10-15 (切欠)	H-488-300・11-18	H-500-200・10-16 (切欠)	H-483-300・10-15	H-488-300・11-18 (切欠)	H-500-200・10-16 (切欠)
発生圧縮軸力(P)	12.9tf	4.40tf	3.69tf	12.9tf	4.40tf	3.53tf
軸方向圧縮耐力(P _{cu})	226tf	143tf	79.6tf	126tf	253tf	72.2tf
発生曲げモーメント (M _y)	40tf・cm	40tf・cm	224tf・cm	40tf・cm	40tf・cm	226tf・cm
終局曲げモーメント (M _{cuy})	722tf・cm	183tf・cm	173tf・cm	130tf・cm	866tf・cm	99tf・cm
$P/P_{cu} + M_y/M_{cuy} + M_z/M_{cuz}$	0.11 (長期)	0.25 (長期)	1.34 (長期)	0.41 (長期)	0.06 (長期)	2.34 (長期)

表-6 事前切欠作業時の応力検討 (TYPE.2)

部 位	㊤通り柱脚 外柱	㊤通り柱脚 内柱	㊤通り柱頭	㊤通り柱脚 外柱	㊤通り柱脚 内柱	㊤通り柱頭
部 材	H-483-300・10-15 (切欠)	H-488-300・11-18	H-500-200・10-16 (切欠)	H-483-300・10-15	H-488-300・11-18 (切欠)	H-500-200・10-16 (切欠)
発生圧縮軸力(P)	8.33tf	3.08tf	2.51tf	8.53tf	2.82tf	2.46tf
軸方向圧縮耐力(P _{cu})	226tf	129tf	73.3tf	116tf	253tf	67.4tf
発生曲げモーメント (M _y)	25tf・cm	25tf・cm	143tf・cm	25tf・cm	25tf・cm	145tf・cm
終局曲げモーメント (M _{cuy})	722tf・cm	110tf・cm	112tf・cm	82.4tf・cm	866tf・cm	63tf・cm
$P/P_{cu} + M_y/M_{cuy} + M_z/M_{cuz}$	0.07 (長期)	0.25 (長期)	1.31 (長期)	0.38 (長期)	0.04 (長期)	2.34 (長期)

本計算過程においては応力再配分を考慮していないこと、二次部材の拘束および初期不整や鋼材強度のばらつきを考慮し、式(1)の左辺が柱脚部で2.0、柱頭部で3.0以上となることを目標に切欠き断面を決定した。決定した切欠き断面とその時の圧縮耐力および終局曲げモーメント、式(1)の左辺の計算値（以下降伏係数と呼ぶ）を表-3、表-4に示す。鋼材(ss400)の降伏応力は $2.4\text{tf}/\text{cm}^2$ 以上であるが上限値については規定がない。ここでは倒壊を確実に実現することが目的であるため、上限値を過去のデータを参考に $3.2\text{tf}/\text{cm}^2$ と考え、これを設計強度として降伏係数を求めている。

決定した切欠き断面に対してはいずれの部分についても柱脚部で約2倍、柱頭部で約3倍の降伏係数が確保されており、初期不整や切欠き後の変形など軽微な不測の状況が存在しても、それぞれの部分で降伏は達成され、またそれにともない、崩壊メカニズムが形成されると考えられる。

(4) 発破前構造物の安全性の検討

構造物は発破により切欠き部分で塑性ヒンジが発生し、メカニズムを形成して崩壊する。しかし発破以前においては構造物は十分な安全性の確保がなされていなければならない。すなわち各切欠き部材がまったく降伏しないか、あるいは局所的な降伏が生じても構造物全体としてはメカニズムに至らず、安全性が確保されることが必要となる。このことから鋼材の降伏応力は下限値である $2.4\text{tf}/\text{cm}^2$ を採用した。また荷重条件についても1.5で除さない長期荷重条件を採用することとしている。これをもとに架構応力を各切欠き部材について計算した結果を表-5、表-6に示す。

計算結果によると事前切欠き作業により柱頭部は塑性化する可能性があるとは判断される。しかし構造物の他の部分においては十分な安全性が確保されているため、架構がメカニズム状態に至ることはない。従って切欠きを行っても発破前に構造物が倒壊する可能性はなく、事前作業の安全性は十分に確保されていると考えてよい。以上により設定した倒壊モードにしたがった倒壊設計計算は終了したことになる、倒壊の実施に必要な切欠き位置、切欠き量および爆薬装着位置が決定された。

5. 発破解体の準備作業

前述の倒壊設計計算結果にしたがい、発破に先んじて塑性ヒン

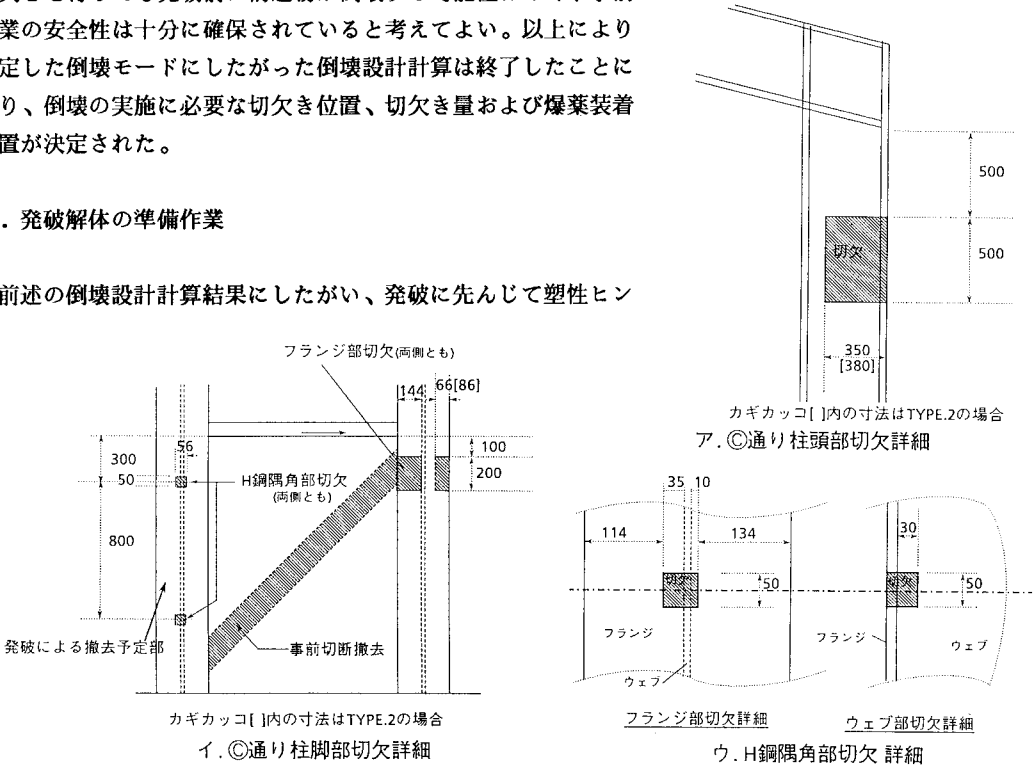


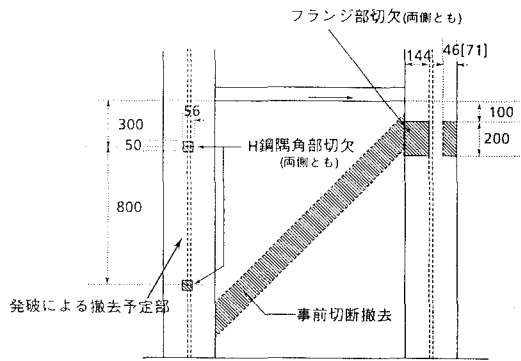
図-6 ◎通り事前切欠 切断計画

ジを形成すべき位置に切欠きを行い、また切断・除去する個所に爆薬を装着する。

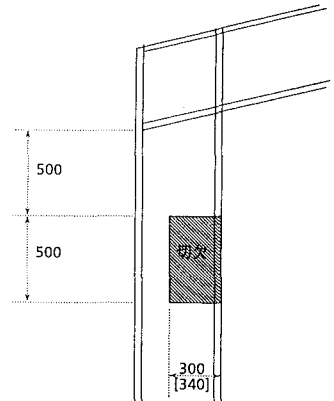
(1) 切欠き

a. 柱脚部の切欠き

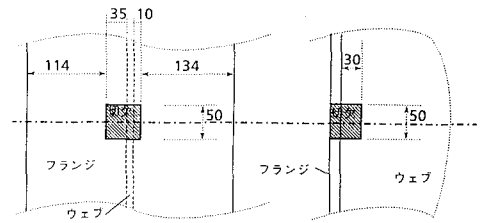
前述のように各柱は柱脚部では2本の H-488×300×11×18 からなっており、両部材は横材および斜材で連結されている。また構造物の横倒しを行う場合、曲げモーメントはフランジ部分が面内曲げ、ウェブ部分が面外曲げを受けることになる。そ



カギカッコ[]内の寸法はTYPE.2の場合
イ. ◎通り柱脚部切欠詳細



カギカッコ[]内の寸法はTYPE.2の場合
ア. ◎通り柱頭部切欠詳細



ウ. H鋼隅角部切欠詳細

図-7 ◎通り事前切欠 切断計画

のため主としてウェブ部分を残すことにより軸力に対する耐力を残し曲げに対する耐力を大きく減じることが意図し、2本のH型鋼のうち各図において右側の部材のフランジ部分を表-3、4に示すように切欠いた。また左側の部材については、部材が回転するのに十分なスペースを確保するため発破により80cm長さにわたって切断・除去することとした。爆薬装着位置についてはウェブ切断用爆薬とフランジ切断用爆薬を殉爆させ、かつ切断を確実にする目的からウェブ・フランジ接合部の板厚が一般部より厚い部分を図-6に示すように切欠いておいた。さらに切欠き部に隣接する斜材については構造計算上撤去しても問題がないため事前に切断撤去することとした。

b. 柱頭部の切欠き

柱頭部部材はH-500×200×10×16であり、構造物が横倒し倒壊する場合にはウェブ部分が面内曲げ、フランジ部分が引張および圧縮応力を受ける。そこで部材がなるべく軸方向耐力を残し、かつ曲げ耐力を減じることと、北側へ横倒しするという目的から、表-3、表-4に示すようにH型鋼の南側フランジとウェブ部分を切欠き、北側ウェ

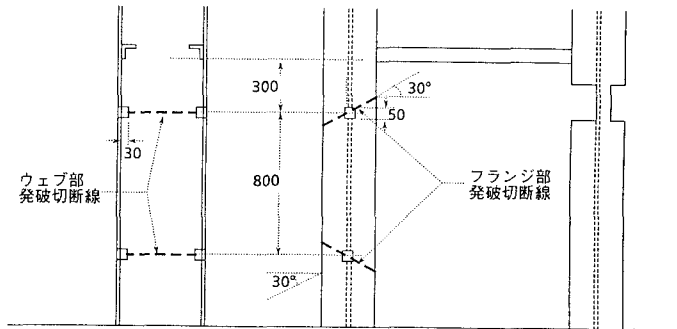


図-8 発破切断計画

ブ部分を残す切欠きを行った。なお切欠き部の高さは50cmとした。

上述の切欠き、切断計画をまとめて図-6、図-7、 図-8に示す。

(2) 爆薬の装着と起爆

本研究で用いた爆薬は成型爆薬である。成型爆薬は爆薬としてペントライト、金属ライナーとして1mm厚さの銅板を用いた棒状爆薬である。爆薬の規格と長さは表-7に示すとおりである。爆薬量は、所定の厚さの銅板を確実に切断できる薬量と爆薬形状をあらかじめ予備実験を実施して求めておき、その結果を参考にして決定した。成型爆薬の鋼材への装着は概略図-9に示すような配置で行い、装着を確実なものとするため鋼線で緊結した。またフランジ部の切断は部材軸に垂直ではなく、垂直から+30° および-30° の傾きを有する2断面で行い、切断された鋼材要素が放出されやすくし、また傾きの方向は対になっているもう一本の部材に当たることにより放出された部材要素が大きく飛ぶことがないように考慮した。

成型爆薬で鋼材を2つの断面で切断し、中間の要素を除去する場合、例えば10cm程度の狭い間隔であれば、2カ所の爆薬の相互干渉により切断が不完全になることがある⁴⁾。今回の場合上下2段の爆薬間距離は約80cmであり、吹き飛ばしが生じないだけの十分な距離を有すると考えられた。また起爆方法については、一つの断面を切断するために組み合わせた3本の爆薬が誤りなく爆発することを期するため、各断面ごとに2本、1本の柱について計4本のフランジ切断用の爆薬の先端を導爆線につないだ4本の工業用雷管で起爆することとした。また導爆線の起爆は束ねてこれを1本の電気雷管により行った。ウェブ切断用爆薬については前述のようにフランジ、ウェブ接合部の切欠きを介してフランジ切断用爆薬から殉爆させることとした。さらに柱毎の起爆は発破衝撃音を減じる目的で斉発薬量を減じ、各柱毎にDS1～DS6段の電気雷管を用いた。なお各雷管の規格秒時差は250msである。

(3) 減音

前項に述べたように各柱毎の爆薬の起爆に秒時差をつけることにより斉発薬量を減じるとしても、各電気雷管一本当りの薬量は1.2～1.4kgとなり発破時の音はかなり大きなものとなることが予想される。いま斉発薬量1.4kgの砂被覆のないペントライトが空气中で爆発するとして音源から100m、300m、1000mの距離における音圧および騒音を予測⁶⁾したものが表-8である。解体予定建物の立地場所は音に対する規制が特に厳しい場所ではないが万一の事故、周辺地域からの苦情等を生じないように、作業上可能な範囲で図-10に示すような木製の箱に砂を充填することによる減

表-7 成型爆破線の仕様

項目	フランジ用		ウェブ用
	15mm用	18mm用	
爆薬規格	500g/m	700g/m	400g/m
爆薬長さ	400mm (立ち上がり50mm)	400mm (立ち上がり50mm)	500mm (実測手法に応じて調整)
倒壊使用本数	8本	16本	12本
爆薬量	1.6 kg	4.5 kg	2.4 kg

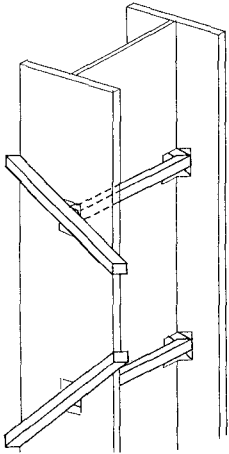


図-9 成型爆破線装着状況概要図

表-8 発破騒音の予測 (無対策時)

音源からの距離	ピーク過圧	音圧レベル	騒音レベル
100m	152 dB	140 dB	129 dB(A)
300m	141 dB	129 dB	118 dB(A)
1000m	129 dB	117 dB	106 dB(A)

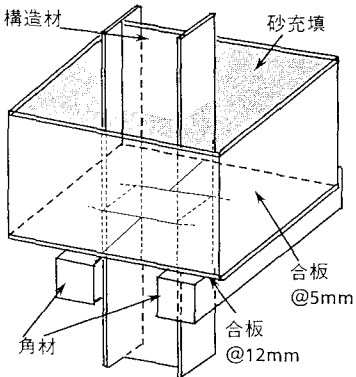
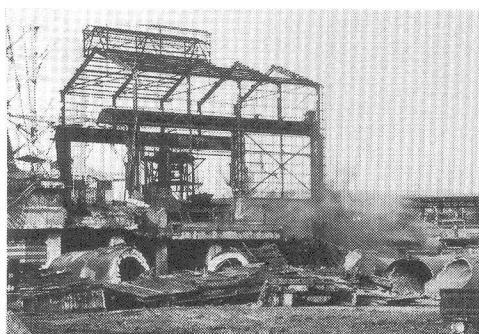
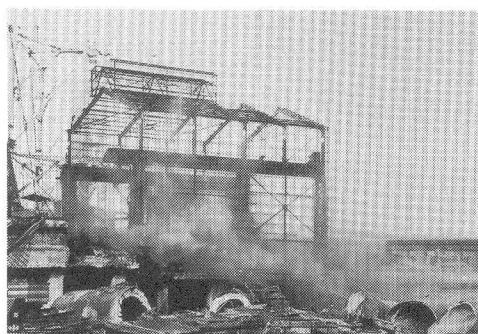


図-10 防音箱取付状況概要図



ア.発破直後 $t = 0.0\text{sec}$



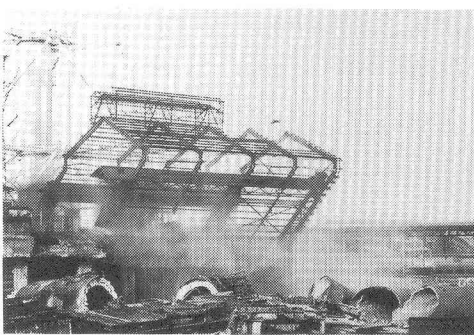
イ. $t = 0.5\text{sec}$



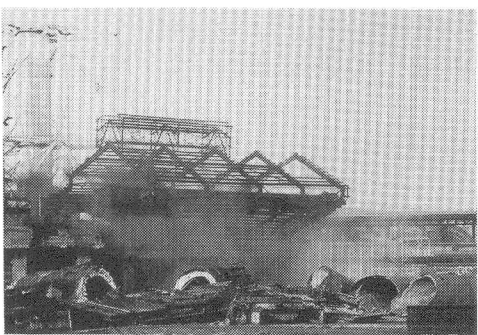
ウ. $t = 1.0\text{sec}$



エ. $t = 1.5\text{sec}$



オ. $t = 2.5\text{sec}$



カ. $t = 3.0\text{sec}$

写真-1 倒壊状況 (連続写真)

音対策を講じることとした。砂による消音効果は爆薬量に対して砂量が十分な場合特に高周波音成分に対して有効であり、今回用いた装置により10～15dB程度の消音効果があると期待される⁷⁾。

6. 構造物の倒壊

(1) 全体としての倒壊形成

前述の一連の事前作業の後、安全には万全を期して関係者ならびに周囲の作業、通行者の退避を行った上、発破、倒壊という過程に入る。爆薬の点火から構造物の完全な倒壊に至るまでの過程を一連の写真にし

て示したものが写真-1である。前述のように各柱の爆薬の起爆にはDS-1～DS-6段の電気雷管を用いているため、それぞれの起爆秒時には公称250msの差がある。そのため、構造物全体の倒壊の形式には若干のねじれが加わった形となっているが、そのねじれは特に大きくはなく、ほぼ2次元的な横倒し倒壊が行われている。その結果全体としては当初計画で意図した通りの倒壊形式が達成され、構造物の主たる部分は鋸床の外部へ投げ出される形となっている。

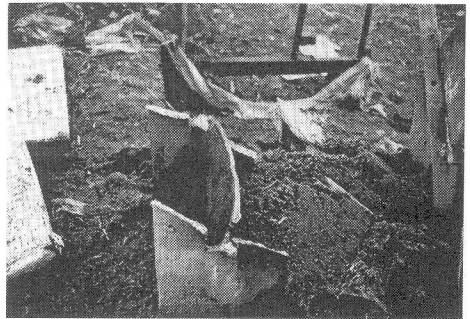


写真-2 柱脚部の発破切断面

(2) 個々の部材の切断、ヒンジの形成

爆薬による鋼材の切断は各柱2段、6柱、合計12の断面において完全であった。またそれぞれの切断面で3本の成形爆薬を組み合わせているが、切断後の破断面の状況からは予定通りの切断が行われていた(写真-2)。この点については本建物の倒壊が実施工としては初めてであったことから、薬量はかなりの安全率を見込んだ設計としたため当然と言えるが、少なくとも上下の爆薬間隔が80cmあれば爆薬相互の干渉が起こらないことを示している。また、塑性ヒンジについても柱頭部、柱脚部とも予定通りに発生し、本設計が多分に安全側であり、必要条件を大きく上回っているにしても、十分条件として有用であることが示された。柱頭部のヒンジの形成の状況を写真-3に示す。

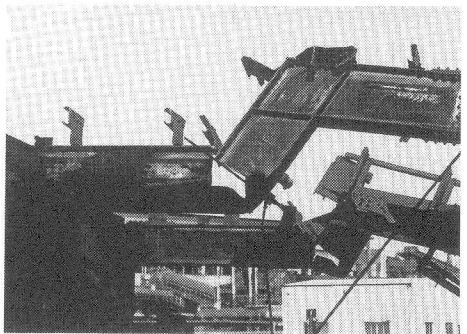


写真-3 柱頭部の塑性ヒンジ発生状況

(3) 飛散物、騒音

倒壊予定構造物の周囲には工場配管やシクナーなどいくつかの保安物件が存在した。コンクリート構造物を発破解体する場合と異なり、鋼構造物の場合には飛散物についてほとんど配慮する必要はなく、注意を要する物としては消音用の砂を入れる木枠と砂程度の軽い物体しか存在しないが、念のため、保安物件側発破部には古畳で消音用木枠を囲い、さらに、その外側をワイアーネットで囲んだ。しかし、爆破により古畳が飛ばされ、一ヶ所でワイアーネットが切断される結果となった。このことから今回のように飛散物が砂と木枠しかない場合には砂の飛散は問題ないものとし、むしろ古畳等で囲わない方が良いように思われた。

一方、発破衝撃音は各柱の起爆秒時差のため6個の衝撃音として分離して観測される。100m地点における観測では音圧で最大209Pa、最小87Pa、音圧レベル(Impulse)はFlat特性で最大130dB、最小124dB、A特性で最大112dB、最小102dBであった。

騒音については予測した値よりかなり小さいものとなっておりこれは減音用の砂被覆の効果であると判断される。

7. 鋼構造物の発破解体の課題について

筆者らは以前、本工法の実用化を目的としていくつかの実験的検討を行い、一連の結果から鋼構造物の発破解体の問題点について提言している⁴⁾。それらについて、今回の結果と照らして以下に述べておく。

(1) 倒壊設計計算における不確定要素の問題

今回のように倒壊方向が張間方向であれば、壁材や胴縁等の二次部材の拘束を特に考慮する必要はない。しかし鋼材強度のばらつきや建物の初期不整等は、できれば事前に調査しておくべき項目である。ただし、今回のように構造が簡単な弾性骨組解析で対応できるほど単純であり、しかも目標とする倒壊形式も単純である場合には、降伏係数を2~3に設定することにより不確定な点は吸収できると考えられる。

(2) 引倒し工法との併用

今回のように施工上の制約から水平方向の倒壊形式を取らざるを得ない場合は、引倒し用重機の作業が可能な十分大きなスペースがあれば、引倒し工法を併用したほうが当然確実性は向上する。しかし今回の研究から倒壊モードが単純であれば、十分に降伏係数を大きくとることにより、発破工法の単独適用も可能であることが示された。今後場所的な制約を受ける都市部等での適用を検討する場合には併用は困難であろう。そのような場所では鉛直型の倒壊形式が重力の方向と倒壊の運動方向が一致しているため合理的であり、スペース的にも有利である。

(3) 鋼材切断における爆薬の干渉問題、隅角部の処理

本研究では、切断対象となった建物柱の構造的特性から、切断中抜きの高さを80cmとる必要があった。したがって上下に装着した爆薬間隔はどの箇所でも80cmであった。この距離は、これまでの研究から相互の干渉をおこさないための十分な間隔であると考えられたため、特にこの件について検討は行っていない。実施結果を見ても切断状態は極めて良好であり、すべての箇所において意図どおりの切断がなされていた。また隅角部については万全を期して切欠き処理を行ったため、切欠き無しの場合、どのような結果が得られたかは不明であるが、これまでの結果から判断すると、今回のような前処理を行っておいた方が無難と思われる。

(4) 音の問題

減音材として用いる砂の厚みを十分厚くすれば、所定の規制値は満足できると考えられる。しかし、砂の量を多くすると作業性が非常に悪くなり、また飛散物も増加する。今回は特に音に関する規制値がなく、実施の可能な範囲で砂の量を決定し、前述の様な減音効果を確認した。しかし今後本工法の適用範囲を拡大するためには、コンパクトで作業性のよい減音器具の考案が望まれるところである。

8. 結言

本報告は筆者らがこれまでに行ってきた鋼構造物の発破による倒壊実験の結果をもとに、実施工として確実かつ、安全に倒壊させるという立場から行ったものの結果である。本過程においては、倒壊の考え方を単純化し、十分な安全率をとることにより「失敗がない」ということを最大の目標として実施した。従って、設計計算、薬量、減音がいずれも過大なものとなっていることは否めない。今後は実績を積むことによって、より安全で経済的な発破倒壊を実施することが必要であると考えている。

最後に本実験工事の実施にあたって、新日本製鉄(株)君津製鉄所の関係各位に多大なる援助を頂いた。また、日本化薬(株)厚狭工場の池田課長をはじめとする皆さんには、火薬の提供など発破工事の面で大変お世話になった。さらに、太平工業(株)君津支店には、工事の主要な部分を担当して頂いた。これらの方々に深い感謝の意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 富田幸助、加藤僚一：筑波万国博覧会「国連平和館」制御破砕解体工事について、工業火薬Vol.48、No.6,p.385,1987.
- 2) 小林尚：RC構造物の発破倒壊による解体実験、セメント・コンクリート、No.509,pp.49～58,1989.
- 3) 木下雅敬、長谷川昭美、松岡栄、中川浩二：発破による鉄筋コンクリート構造物の解体に関する基礎的研究、土木学会論文集、No.403/VI-10,pp.173～182,1989.
- 4) 小林茂雄、草深守人、池田義之、中川浩二：発破による鉄骨建家の倒壊工法に関する実験的研究、土木学会論文集、No.415/VI-12,pp.145～154,1990.
- 5) 土木学会鋼構造委員会 鋼構造物設計指針小委員会：鋼構造設計指針 PART A,pp.59～61,1987
- 6) du.pont :Blaster's Handbook,AIR BLAST FROM EXPLOSIONS,Chapter26,pp.434～446,1980
- 7) 小林茂雄、北村孝海、池田義之、中川浩二：砂による発破防音効果に関する実験的検討、土木学会第46回年次学術講演会講演概要集 6 ,pp380～381,1991

(1991年9月30日受付)