

Fig. 2 Cutting off areas of various size.

れば、倒壊の過程でも、これは一体構造のままで倒れると考えられる。この場合は、地面に到達する時点で地面に衝突して、それから解体が進む。ただ、鉄筋コンクリート製煙突の場合は、筒体が解体し難いあるいは全く解体できないので、倒れた後、二次発破を実施する必要がある。

爆薬の爆轟後、生成する高圧のガスの膨張によって煉瓦製筒体に破壊と分離作用が起り、破砕された煉瓦塊は煙突の筒体から外へ放出され、自由面としての空洞開口部ができて煙突の倒壊が促進される訳である。

3. 煙突倒壊のキーポイントは発破によって作る切欠である。

(1) 切欠部断面積(S)の大小

煙突の直径の大小を問わず、煙突下部に発破により一箇所の切欠部を作れば、それで一体構造の状態が破られて、煙突を倒すことができる。切欠部の大きさは煙突発破のキーポイントであるので、これらを、これまでずっと経験してきた施工例から次のように述べる。

切欠部の切口断面積が煙突の横断面積の1/2を越えるようにすることが必須条件である。これはいかに切欠部を作ったからといっても、重心を失わない限り倒壊は起こらないからである。Fig. 2に切欠部切口断面積の大きさと煙突倒壊との関係を示す。もし $S_R$ で煙突断面積の1/2を示せば、 $S > S_R$ の時、煙突は倒壊する。 $S = S_R$ の時も倒壊の可能性はあるが、煙突材料の構造強度が高ければ(例えば鉄筋コンクリート構造のような場合)容易には倒壊はしない。そして、 $S < S_R$ の時は倒壊させることは不可能である。

(1) 切欠の切口の高さ(以下切欠の高さと呼ぶ)

これは切欠の断面の垂直方向における高さのことを言い、爆発高さ(炸高=爆高)と呼んでいる。Hの大きさは構造強度によって決定する。即ち、構造強度が高ければHも大きくとることになるし、また逆に構造強度が低ければHは小さく設定することになる。これはHを大きくとれば、煙突が速やかに重心を失い、全体的な倒壊に関するモーメントも大きくなって、そのため下部の未発破部分をへし折ることもできて施工が早くできる。もし煙突に鉄筋がある場合は即ち爆発高さ(炸高)を大きくとって鉄筋の支持力を破壊するようにする。これらに関する実験式を示せば次のとおりである。

$$H = (1/4 \sim 1/2) \Phi \quad (1) \text{式}$$

ただし、H: 切欠の高さ

$\Phi$ : 切欠部の煙突の外径、(以下同様)

$$\textcircled{1} H_1 = 1/2 \cdot \Phi$$

$H_1$ : 鉄筋コンクリート製煙突の場合の爆発高さ(炸高)

$$\textcircled{2} H_2 = 1/3 \cdot \Phi$$

$H_2$ : 無筋コンクリート製煙突の場合、あるいは煙突壁厚0.8mを越える場合の爆発高さ(炸高)

$$\textcircled{3} H_3 = 1/4 \cdot \Phi$$

$H_3$ : 煉瓦製煙突の場合の爆発高さ(炸高)

$H < 1/4 \Phi$ の場合は煙突下部に作る切欠の大きさが不足するため、倒壊に要するモーメントが小さく、重心を失うまでに至らず、煙突が切欠部の力に支持される可能性がある。これで、煙突がいくらか変位したとしてもなお倒壊までに至らず、これは極めて危険な状態であると言える。

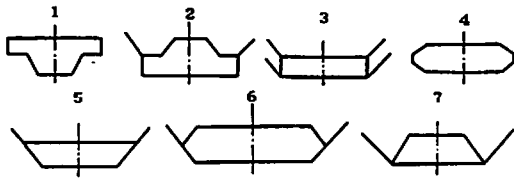


Fig. 3 7 Forms of cutting off areas.

煙突の倒壊についてのモーメントは次式により計算できる。

$$M = G \cdot h \quad (2) \text{式}$$

ただし、 $G$ ：煙突の重量

$h$ ：切欠から煙突重心までの距離

$H > 1/2 \cdot \Phi$  の場合は煙突下部の空間が大きく、重心を失うに要する高さとしては大き過ぎて、煙突各部の倒壊速度も大きく倒壊時の反動も増大する。そのため煙突倒壊部周辺の発破研の散らばりも大きくなり、また地面に対する衝突破壊も大きくなって、環境に悪影響を及ぼす恐れが極めて大きい。

### (3) 発破切欠の形状

発破により切欠く切口の形状は削孔パターンの幾何学的な形状によって決まる。これまでに7種類の切欠形状を考案し使用してきた。これらをFig.3に示す。

第7番目に示す切欠形状がよく、煙突を確実に倒すことができ、反動が少なく、予定した方向からの変位が殆ど生ぜず且つ違った方向へ倒れる可能性も最も少ないので、これは発破による煙突の倒壊工事に自信を持って使用できる。

切欠の長さ $L$ は一つの重要な発破に関するパラメーターである。これは切欠部の横断面積 $S$ が $1/2 \cdot S_R$ より大きい条件、即ち、 $S > 1/2 \cdot S_R$ の時決定することができる。次に $L$ 決定の実験式を示す。

$$L = 2/3 \cdot \Phi \cdot \pi \quad (3) \text{式}$$

ただし、 $L$ ：切欠の長さ(m)

$\Phi$ ：切欠部の煙突外径(m)

反発力を制御するための切欠角度 $\alpha$ は $45^\circ \sim 60^\circ$ にして、そこに普通、各列4～5孔からなる壁体を通する不装薬孔の列2列を配置する。

以上は煙突の定方向爆破撤去用の切欠のパラメーターについて述べた。

もし、周囲の環境条件が許せば、原位置で垂直方向にそのまま崩せる爆破撤去方法が採用できるが、現在では、使用している火工品に起爆誤差があるため、煉瓦積み構造の煙突で、この原位置爆破撤去法では高さ20～30m程度が可能範囲である。コンクリート製煙突になると、これは一体構造で強く、崩壊時に重心位置の変位が生ずれば即間違った方向に倒れて行く恐れが

あるので適用することはできない。

この原位置に崩落させる発破法には、切欠を作るための発破用の削孔の配置は煙突全周の壁面上に行ない、その部分の高さ $H$ は2～2.5mにとる。全孔に同段の雷管を使用して一斉発破を行なうが、切欠部より上部の煙突構造全部について重心を失わせて垂直に崩落させて煉瓦の構造を解体する。

### 4. 煙突発破切欠部の削孔配置に関するパラメーター

普通、発破切欠部の位置は煙突下部の基礎部に置かれるが、地面までの距離が近ければ近いほど反発や振動は少なく、飛散する研も制御し易い。普通、切欠の底面が地上0.3～1mの所にくるように置かれる。

切欠部の削孔配置は使用する火工品の種類及び煙突の立体的な構造によって決める。既に切欠の高さや長さについて述べたが、次に削孔配置に関するパラメーターを紹介する。

#### (1) 削孔の深さ

$$l = 2/3 \cdot \delta \quad (4) \text{式}$$

ただし、 $l$ ：削孔深度(cm)

$\delta$ ：煙突壁厚(cm)

#### (2) 孔間隔と列間隔

$$a = b = 3/5 \cdot \delta \quad (5) \text{式}$$

ただし、 $a$ ：削孔間隔(cm)

$b$ ：列間隔(cm)、 $\delta$ ：煙突壁厚(cm)

以上が壁厚0.5m以上の煙突に関するパラメーターである。水塔あるいはコンクリート製の煙突で、壁厚0.5m以下の場合は次式による。

$$a = b = (2 \times 3/5) \delta = 1.2 \delta \quad (6) \text{式}$$

### 5. 装薬量の計算

煙突発破における装薬量の計算式は非常に多いが、計算の方法は大体において同様である。1㎡当たりの煉瓦あるいはコンクリートの破壊に要する爆薬の消費量は、以下に示す経験によって得た実験式によって求められる。

$$Q = K \times l \quad (7) \text{式}$$

ただし、 $Q$ ：削孔1孔当たりの装薬量(g)

$l$ ：削孔深度(cm)

$K$ ：普通1.5～2(g/cm)、煉瓦で1.5、コンクリートで2(g/cm)

(7)式は爆速3,200～4,500m/secの爆薬、即ち硝安爆薬、スラリー爆薬、エマルジョン爆薬等の使用時に適用できる。このことは数多くの実施例から証明できる。高爆速の爆薬の使用に対してもこれを1にとって使用することもできる。

### 6. 関係のあるパラメーターの計算

#### (1) 爆風圧の計算

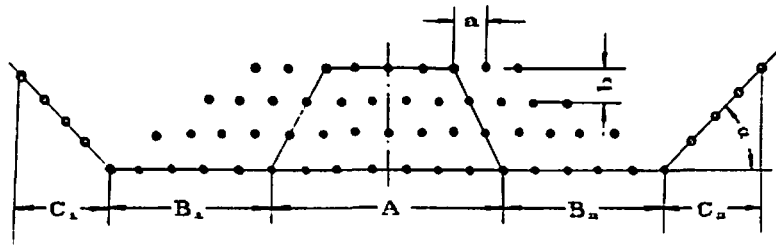


Fig. 4 Standard arrangement of the blasting holes.

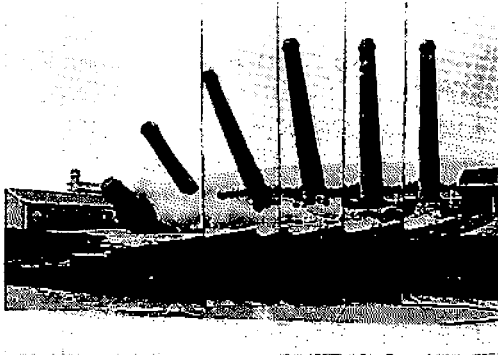


Photo. 1 Scene of falling down of the stack in Pingding shan city.

$$P\Delta = K \times (Q^{1/3}/R)^a \quad (8) \text{式}$$

ただし、 $P\Delta$  : 爆風圧

$K$  : 爆破常数 ; 1.43

$Q$  : 爆破1回当たり装薬量 (kg)

$R$  : 爆破箇所までの距離 (m)

$a$  : 爆発指数 ; 1.55~2

(2) 飛び研の計算

$$V_c = 20(Q^{1/3}/W)^2 \quad (9) \text{式}$$

$$S_x = V_c^2/g \quad (10) \text{式}$$

$V_c$  : 飛び研の速度 (m/sec)

$W$  : 最小抵抗線の長さ (m)

$Q$  : 爆破1回当たりの1孔当たり装薬量 (kg)

$S_x$  : 飛び研の飛散距離 (m)

$g$  : 重力の加速度 (9.8m/sec<sup>2</sup>)

発破防護柵として、煙突壁面上に依るいは竹で編んだアンベラ等を2~3重に被せて、飛び研及び空気中の衝撃波や爆発音も押え得るようにした。(10)式にこれらに関する係数 $K_x$ を乗じて、防護柵を施した時の飛び研の飛散距離を出す実験式(11)式を次に示す。

$$S_m \leq (V_c^2/g) \times K_x \quad (11) \text{式}$$

ただし、 $K_x$ : 係数で、普通0.3にする。

7. 煙突の倒れる方向を決定する方法

煙突の定方向爆破撤去においてその倒壊する方向を決定することはもう一つの重要なキーポイントである。

周囲の環境に基いて、倒壊させる方向を決定するとすれば、倒壊する範囲内に倒壊中心を決めて、地上にマークして、それから煙突壁面上に倒壊中心線即ち切欠の中心線を描く。こうして、その中心線の両側に削孔を配置するが、この時両側に配置する削孔の孔数、孔間隔及び列間隔はともに左右同じパターンにする。削孔深度及び装薬量も同じにする。起爆の順序には2種類の方法がある。Fig. 4に典型的な切欠部の削孔パターンを示す。

図中●印は煙突壁厚の2/3の長さで削孔した装薬孔

○印は煙突壁を貫通した空孔

$$a = b = 400 \sim 500 \text{ (mm)}$$

Fig. 4中A区域は心抜き発破部で、1段のミリセコンド雷管(0~13ms)、 $B_1$ 及び $B_2$ の区域はいわゆる切欠部、3段のミリセコンド雷管(50ms)、 $C_1$ 及び $C_2$ の区域は空孔で貫通した切断用の孔を削孔する非装薬の部分である。これは煙突の壁が厚い場合2列配置する。

倒壊方向制御のため、中心線両側に配置する削孔数、孔間隔、列間隔及び装薬量も相等しくする。切欠も中心線を軸として両側対称にする。かくして、方向も定まる。 $C_1$ 及び $C_2$ 区域は煙突倒壊時の角度の制御のためにつけるものであるが、これでまた倒壊時の反動を小さくするものである。







8. 煙突発破の実例

1976年以来89年までに21件の煙突及び水タンク等の塔槽類の爆破撤去を行なった。これらはダイナマイト、スラリー爆薬、エマルジョン爆薬等を使用してきた。爆薬の使用量はしだいに少なくなっている。セコンド雷管の1, 2, 3段とミリセコンド雷管の1, 3段と瞬発雷管等を使用した。発破効果から見て、ミリセコンド雷管の1, 3段は比較的好かった。切欠の高さは2.5mから0.8mへ下がった。切欠の長さは煙突周長の1/2から2/3まで増し、起爆法も正起爆から逆起爆へと進め、総合的に改善してきた。Photo 1に中国河南省平頂山市での煙突爆破撤去の状況を示す。(表1参照)

9. まとめ

工業の生産面での速やかな発展に連れ、古い建築物

表 1 発破による煙突撤去の実例

年 月 日	1985.8.3.	1987.7.10.	1987.11.12	1988.4.3.	1988.5.5.	1989.7.31.
省 県	四川省重慶市	安徽省淮北市	江蘇省邳縣	江蘇省徐州市	江蘇省銅山縣	河南省平頂山市
会 社 名	兩桐炭鉱	火葬場	棉麻公司	ゴム 八廠	大箕山炭鉱	鉱務局倉庫
煙突高さ (m)	52	38	水タンク 28	48	47.5	32
煙突直径 (m)	4.5	3.4	5.2	4.6	4.2	3.6
煙突壁厚 (m)	0.9	0.8	0.65	0.85	0.9	1
結 構	煉瓦	耐火煉瓦	外部コンクリート 内部 煉瓦	外部コンクリート 内部 煉瓦	煉瓦	外部コンクリート 内部 煉瓦
環境条件	建物まで 2.5m. 両方向に倒壊 可能	複雑、一方向 で、40° 以内に倒壊 可能	複雑、建物 まで0.5 m、40° 以内に倒壊 可能	複雑、市内の 盛り場住民区 域	複雑、炭鉱の 区域	複雑、40° 以内に倒壊可能
切欠の形式						
列 数	5	4	4	4	3	3
削 孔 数	93	67	72	89	82	80
孔 間 隔 a = b	0.5	0.4	0.52	0.4	0.45	0.45
削 孔 長 (m)	0.7	0.5	0.42	0.62	0.6	0.7
装 薬 量 (kg)	10.5	6.3	4.12	7.5	6.4	6.4
起爆方式 雷管使用量 (本)	逆起爆 85	逆起爆 67	正起爆 66	81	72	72
結 果	6°偏った、 事故なし	2°偏った、 事故なし	規定方向ど おり、事 故なし	規定方向ど おり、事故なし	事故なし	事故なし

の更新需要があるので、この古い建築物の撤去はますます多く成りつつある。古い建築物の発破による撤去方法は、機械による破砕撤去の方法に比べて、工期の短縮、高能率、コスト等の面で優れたものがあるが、ただ、安全を確保することが必須の条件であるので、そこには特別の難しい点がある。特に、高い煙突や水タンクの塔等には定方向爆破法の適用は必須であり、煙突をあらかじめ予定した方向へ倒す条件では、左右の偏差は普通 $8^{\circ}$ 以内に成るようにしなければならない。

定方向爆破撤去法のキーポイントは、理屈に適った削孔の配置、適切な装薬量の選定、発破によって重心を失わせるように働かせるための切欠部の適正な造成等である。このように適正な選定を行えば、煙突のような構造物の一定方向への倒壊を実現することはできる。ただし、環境条件は複雑であるから、爆破撤去作業に当たっては、一定の積み重ねによって得られる経験と機敏性とを兼ね備えておくことが肝要なことである。かかる要件を満たして始めて安全な発破作業の実施が保証されるのである。

---

## Numerical Study on the Removals of Stacks by the Fixed Directional Blasting Method

by Rong Ji-Kai\* and Hou Shan-Gwn\*

With the development of industries, renewal's demands of old structures has been increased.

Since 1976, for over 13 years, the authors have been carried out the removing works of 21, in total, with relation to towers and tanks such as stacks and water tanks.

This paper describes in detail the technologies, knowledges and derived experimental formulas obtained from these experiences, such as follow :

- (1) the strict selection of the blasting points at the structures,
- (2) the decision of the depths of boreholes, the number of boreholes and the charging quantities of explosives.
- (3) the estimate on the blast and fragmented flying stones.

The fixed directional blasting method is much more effective than the mechanical pulling down method on the towers and tanks such as stacks and water tanks in the terms of constructions and costs.

However, the keeping safety is the utmost important precondition, so that we have to master enough the accurately controlled blasting technique to make assurance doubly sure on the works.

(\*China University of Mining & Technology, Xuzhou City, Jiang Su Province, China 221008.)