

## 大規模な横孔式段発発破例

藤間勝雄\*, 安河内孝\*\*, 前田正尚\*\*\*, 橋爪 清\*\*\*\*

ダム建設に使用する骨材を採取するための原石山において、直径約33m、高さ約33mのコブ状の山が存在した。このコブ状の山の三方はさらに急峻な崖になっており、掘削作業を行うための足場には限られた狭い範囲が残されているだけであった。そこで、この狭い場所から約20mの横孔をせん孔し、合計32孔の装薬孔に約2.4トンの爆薬を装填し、横方向自由面を利用したMS段発発破を行った。

大規模な横孔式段発発破については過去の施工例が見つからず、今回発生した種々の問題点を克服するのに、経験と勘で対応したことも多いが、満足のいく爆破結果を得たので、施工法あるいは発破法等について報告する。

### 1. 緒 言

利根川水系竈川の支流である道平川に建設される重力式コンクリートダムに道平川ダムがある。本ダムは洪水調節、不特定かんがい用水等の補給及び上水道用水の確保を目的とする多目的ダムであるが、ここで使用される骨材はダムサイト上流約2kmの地点の国有林内にある原石山から採取されることになっている。しかし、この原石山は東西を川に挟まれ、南北に伸びる瓢箪形の尾根を含み、最も緩い斜面でも約45度の勾配を持ち、殆どは垂直、場所によってはオーバーハンクとなっているような地形である。この原石山の一部に、今回の発破の対象となった山が独立し、著者らはその姿からこの山を「コブ山」と名づけた。(Fig.1)

この「コブ山」を掘削しなければ、ダム建設に必要なコンクリート用骨材を供給することができないばかり



Fig. 1 The lump shaped peak

か、他の作業にも支障をきたす状況であった。

本報では、「コブ山」の発破掘削工法について述べる。

### 2. 施工方法の検討

#### 2.1 地質及び地形

「コブ山」は、山頂の一部分が凝灰岩であることを除き、かなり風化した安山岩である。形状は掘削レベル面で直径約33m、高さ約33m、体積約12,000 $\text{m}^3$ の柱状を呈し、極めて足場の悪い位置に存在している。すなわち、三方向はさらに約70m垂直に切り立った深い崖になっており、一部のみ原石山主要部分と尾根状につながっているが、その接触部分の幅は約10m程度である。

#### 2.2 工法の検討

「コブ山」頂上には、人が登ることはもちろん、建設機械を導入することも困難で、山頂から段階的に原石を掘削採取するベンチカット工法を適用することは不可能であった。そこで一気に「コブ山」を発破する工法を取らざるを得なかったが、幸いなことに「コブ山」周

1992年6月19受理

\* $\text{株}$  熊谷組

〒162 東京都新宿区津久戸町17-1

TEL 03-3260-2111

\*\* $\text{清水建設 株}$

〒104 東京都港区芝浦1丁目2-3

シーバンスS館

TEL 03-5441-0569

\*\*\* $\text{株}$  カコー

〒104 東京都中央区日本橋本町4丁目4-11

永井ビル

TEL 03-3279-4951

\*\*\*\* $\text{日本化薬 株}$  化工品事業部

〒104 東京都千代田区丸の内1-2-1

東京海上ビル新館

TEL 03-3212-4365

辺には、若干の飛石や振動を生じさせても、人的被害の生じるような家屋等がなく、また人工構造物等も殆ど存在しないので過装薬とし、一気に「コブ山」を爆破する工法を基本として施工方法を検討することができた。

通常のベンチカット工法が採用できない場合、考えられる発破方法は坑道式大発破と横孔式発破である。

### 2.2.1 坑道式大発破

坑道式大発破法について検討したが、次のような理由により採用することはできなかった。

- ① 1.0m×1.5m程度の坑道を約20m程掘削することになるが、節理が非常に発達しているので、坑道掘削時の保安を確保できないと思われる。
- ② 特に、坑道式発破の場合、最小抵抗線の確認が重要となるが、前記のように三方向が絶壁であるので、地形の精密な測量ができず、確認作業が不可能である。
- ③ 爆薬の装薬開始後、点火まで日数を要すると思われ、その間近接工区での作業ができない。
- ④ 最近では、坑道式大発破が殆ど行われていないため、経験豊富な技術者が少なく、十分な知識及び経験のある者を責任者とし、計画及び実施させることが困難である。

### 2.2.2 横孔式発破

採石場等では採用されている発破方法で、比較的小

型の重機類で大量の岩石を採取できる発破方法である。原石山の下部に横孔を多数穿孔し、穿孔口元方向の自由面を利用する。この工法での問題点は

- ① 絶壁の真下での作業となるので、穿孔及び装薬中に浮石の落下による事故が予想される。
- ② 穿孔長が20m程度になるので、大型の油圧式削岩機が必要になる。
- ③ 節理が発達しているので、穿孔後崩れを起こし必要な量の爆薬を装填出来なくなる恐れがある。
- ④ 穿孔作業のできる切羽の幅が狭く、十分な足場を確保できないので、放射状に穿孔する必要がある、その精度を求めるのに困難を生じる。
- ⑤ 発破後、「コブ山」上部が破砕されずに居座れば、事後の作業に支障をきたす恐れがある。

### 2.2.3 横孔式段発破

横孔式発破には上記の問題点が考えられるが、次の観点により横孔式段発破工法を採用することで、「コブ山」を破砕することにした。

- ① 大型削岩機を導入すれば、一方向からの穿孔作業が行え、長孔の穿孔が可能である。
- ② ANFO爆薬の装薬に装填機を利用すれば、荒れた孔への装薬も可能である。
- ③ 段発電氣雷管を用いて横方向の自由面を利用し、「コブ山」の重心を変化させることにより「コブ山」全体がそのまま居座ることを防げる。

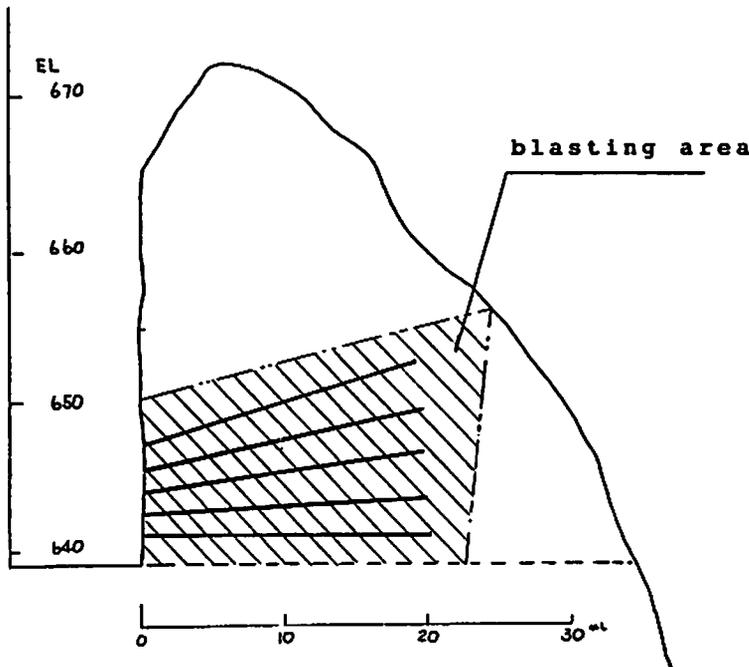


Fig. 2 Blasting area

### 3. 発破パターンの検討

#### 3.1 発破対象範囲

高さ約33mの「コブ山」の下部に発破によって空間を設け、自然落下による「コブ山」上部の破碎を促すため、使用する穿孔機械の能力上、削岩機の最大移動可能な範囲を穿孔した。結果的には横孔群の上下方向の幅は8~10mとなった。

又、穿孔長は使用した油圧式削岩機の能力により約20mが限度となった。これにより10m程、「コブ山」の後部が残ることになるが、残った部分には再度発破で撤去することも可能であると判断し、Fig. 2のように

発破対象範囲を決定した。

#### 3.2 最小抵抗線

自由面が周囲にあり、周辺から中央部に向けて段発破を行う場合、最小抵抗線は孔口方向ではなく装薬孔に直角方向の「コブ山」側面になる。

長装薬発破による最小抵抗線は装薬径の40~60倍が適当とされており、今回使用するビット径が102mmであり、ANFO爆薬を機械装填すること、および過装薬による多少の飛石が許されることから、最小抵抗線は穿孔径の40倍の約4mを基本とした。最下列の穿孔方向をFig. 3に示す。

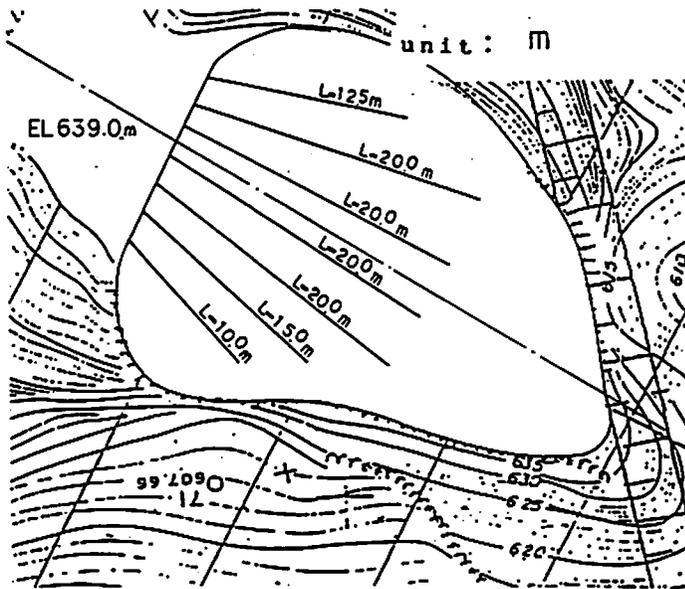


Fig. 3 Directions of bore-holes at the first level

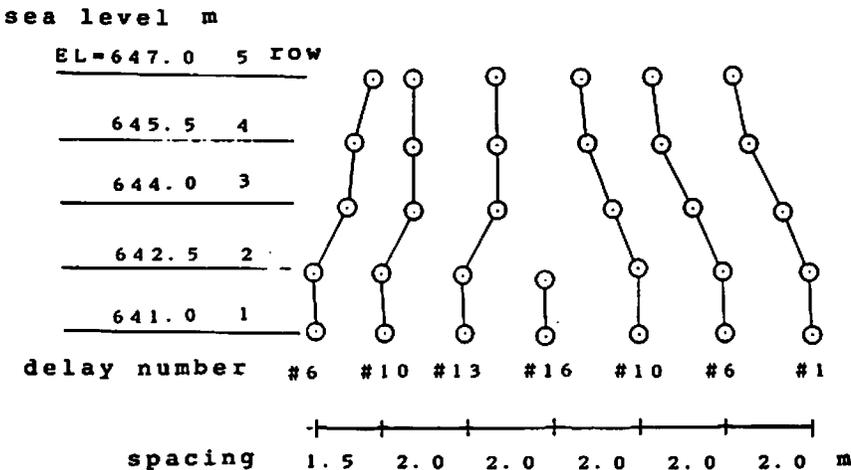


Fig. 4 Blasting pattern at the collar of bore-holes

又、口元方向には約5mの込物長をとり、孔尻部分では約4.5m程度の抵抗線を確認するよう考えたが削岩機的能力により装薬長は最長約20mとなり孔尻方向に約4.5mよりかなり大きな抵抗線になる場合も生じた。4mの最小抵抗線長は、放射線状の穿孔となるため、装薬中心付近での距離になるように努めた。

### 3.3 穿孔間隔

長装薬発破の孔間隔は通常、最小抵抗線の1~1.3倍が標準とされているが、今回の発破では、発破の確実性が最も重要な要因となっているので、できるだけ孔間隔を狭くし、装薬部分での岩石 $m^2$ 当りの爆薬量を増したかったが、今回は段発発破を考えており隣接孔ショックによる不発発生を防止するため、孔間隔を親ダイの位置で約1.5m離すことにした。孔口における穿孔配置をFig.4及びFig.5に示す。

### 3.4 段発発破の秒時間隔

段発発破では、新たな自由面をどこにどの程度の大きさに作るかが最も重要な点であるが、保安上はカットオフによる不発を発生させないことも大切である。前者は、DS段発発破、後者はMS段発発破が有利である。DS段発電気雷管の秒時は0.25秒間隔、MS段発電気雷管の秒時は0.025秒間隔であるので、今回はこの中間の秒時間隔として0.15秒基準に考えた。

この場合、MS段発電気雷管は#1、#6、#10、#13及び#16段を採用した。秒時間隔はTable 1の通りである。

点火後、岩石は自由面より10~20m/secの速度で動くといわれており<sup>2)</sup>、今回の段発電気雷管の秒時間隔をTableの通り0.13~0.19secとすると、岩石は1.3~3.8m飛び出すため、自由面としての空間が得られていることになる。

各段が爆発するときに前段装薬部の上部岩石が自然落下してもその距離は $y = gt^2/2$ 式において $t = 0.13 \sim 0.19$ 秒では $y = 0.08 \sim 0.18$ mとなり各段の前方に作られた空間をつぶさず、自由面は確保されていると考える。

又、最終の#16段の雷管が起爆されるのは、最初の

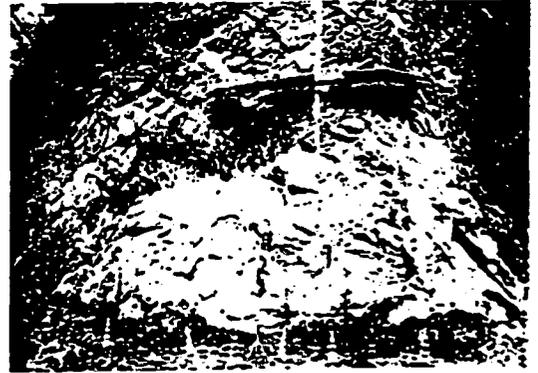


Fig. 5 Photo of bore-holes

雷管起爆後0.64secであり、その間に最初に破碎された側方上部の岩石は、自然落下により約2m落下するに過ぎず、この間破碎された岩石は持続して「コブ山」の外に向かって移動し続けていると考えられる。

### 3.5 爆薬の種類及び装薬方法

使用する爆薬は、爆速の高いこう質ダイナマイトを考えたが、穿孔長が最大約20mあり、節理が発達し孔荒れが生じていると予想されるので、孔尻にANFO爆薬を機械装填機にて装填し、次いで親ダイを装填し、その後の増ダイとしてANFO爆薬のピース品を装填することにした。機械装填機による静電気発生の問題を回避するためである。又、起爆を確実にするためANFO爆薬のピース品の次にも親ダイを装填した。尚、親ダイには3号桐ダイナマイトの直径80mm、長さ340mm、薬量2.25kgのものを、増ダイに使用したANFO爆薬は直径80mm、長さ470mm、薬量2.25kgのものを使用した。装薬状態の一例をFig.6に示す。

### 3.6 穿孔角度

削岩機を設置できる場所が非常に狭く、又孔の中央で最小抵抗線4m、孔間隔1.5mが取れるように、上下方向及び左右方向共放射状の穿孔パターンを考えた。削岩機の上方移動可能な高さは約6m程度であるから、装薬孔には角度を付けて穿孔した。ANFO爆薬を機械装填するときの上向き角度の限度は18度程度である

Table 1 Interval time of MS delay detonator

Delay No.	# 1	# 6	# 10	# 13	# 16
Firing Time(ms)	0	130	300	450	640
Interval Time (ms)	130	170	150	190	

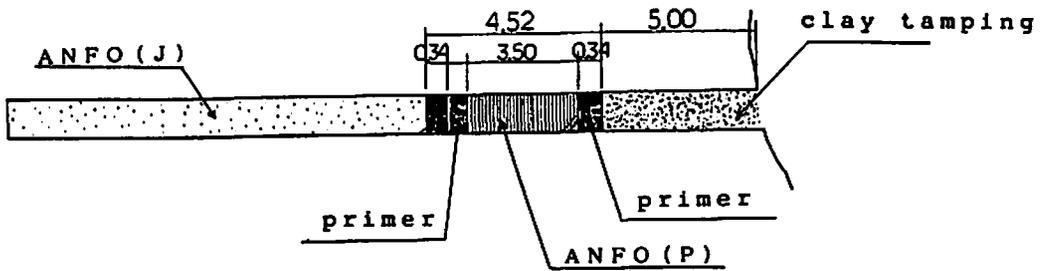


Fig. 6 Method of charging

ことを確認し<sup>3)</sup>、第1列から第5列までの穿孔角度を0.3、7、11、及び15度とした。穿孔角度の断面図の例をFig. 7に示した。

#### 4. 発破パターン<sup>4)</sup>の決定

実際に行った発破諸元をまとめると次の通りである。

岩 質：安山岩及び凝灰岩  
(風化が進み、亀裂が発達している)

ビット 径：102mm

孔数及び段別：

MSD 1段	5孔
6	10
10	10
13	5
16	2

穿孔 長：9~21m

爆薬使用量：2364.0kg

ANFO(重袋) 1860kg

ANFO(ピース) 324

3号綱ダイナマイト 180

掘 削 量：12,000m<sup>3</sup>

爆薬使用原単：0.20kg/m<sup>3</sup>

#### 5. 施 工

穿孔作業に先立ち切羽の浮石を人力及びバックホーで「こそく」し、更にクローラードリルで穿孔した孔に挿入した鉄筋棒に厚さ30mmの雑矢板を取り付けることにより、落石防護棚とした。

穿孔作業は上部の第5列、及び第4列を穿孔後、穿孔機械を設置している岩盤を下げ第4列、第3列、及び第2列を穿孔した。次いで、更に岩盤を下げた後、第3列及び第2列の一部と第1列を穿孔した。孔の向きはトランシットで、孔の角度はスラントルールを用いて調整しながら穿孔した。

「コブ山」を構成する岩は非常に節理の発達した安山岩で、特に両サイドは穿孔中にくり粉が噴出していることを観察した。又、「コブ山」中央部には幅30~50

cmの断層部が存在し、穿孔不可能なため穿孔長を短くしたところもある。この断層部を境にして安山岩から凝灰岩に変化していた。

穿孔完了後、各装薬孔をエアで清掃した後、装薬用に足場を組みANFOローダにより装薬を開始した。

結線後、結線部にはリーク防止のためプロタイトを施した。

#### 6. 発 破

発破の瞬間は記録したビデオテープで観察した。全ての爆薬が完爆した後、「コブ山」上部が落下し始め、ほぼ計画通りの発破が完了した。

穿孔長が予定した長さより短かったため、孔尻部に若干の未掘削部を残したが、意外に節理や亀裂等が発達していたため、予想したより広い範囲を破砕することができた。発破前後の「コブ山」の状況をFig. 8及びFig. 9に示す。

飛石は殆ど観察されず約150m離れたところに少量のこぶし大のものが転がり落ちていた程度であった。

尚、装薬孔口元方向約300m離れた地点の発破音は低周波騒音計(リオン社NA17)で132dB(SPL)、インパルス精密騒音計(リオン社NA61)で115dB(A)であった。

#### 7. 結 論

「コブ山」を横孔式段発破によって破砕するまでに次のことを検討した。

発破による大規模掘削方法として坑道式大発破や大口徑ベンチカット等があるが現場の特殊な地形のため、横方向の自由面を利用した横孔式段発破を考えた。

「コブ山」は節理や亀裂が発達しており、穿孔長が長く、しかも横孔であるため爆薬の装薬に困難を感じたため、主な爆薬となるANFO爆薬はANFOローダで装填した。装薬量は過装薬気味とし弱装薬による破砕不足を妨げた。

又、発破パターンとして孔配置、孔間隔、最小抵抗線、穿孔長、孔数、穿孔角度、あるいは孔列数等を検

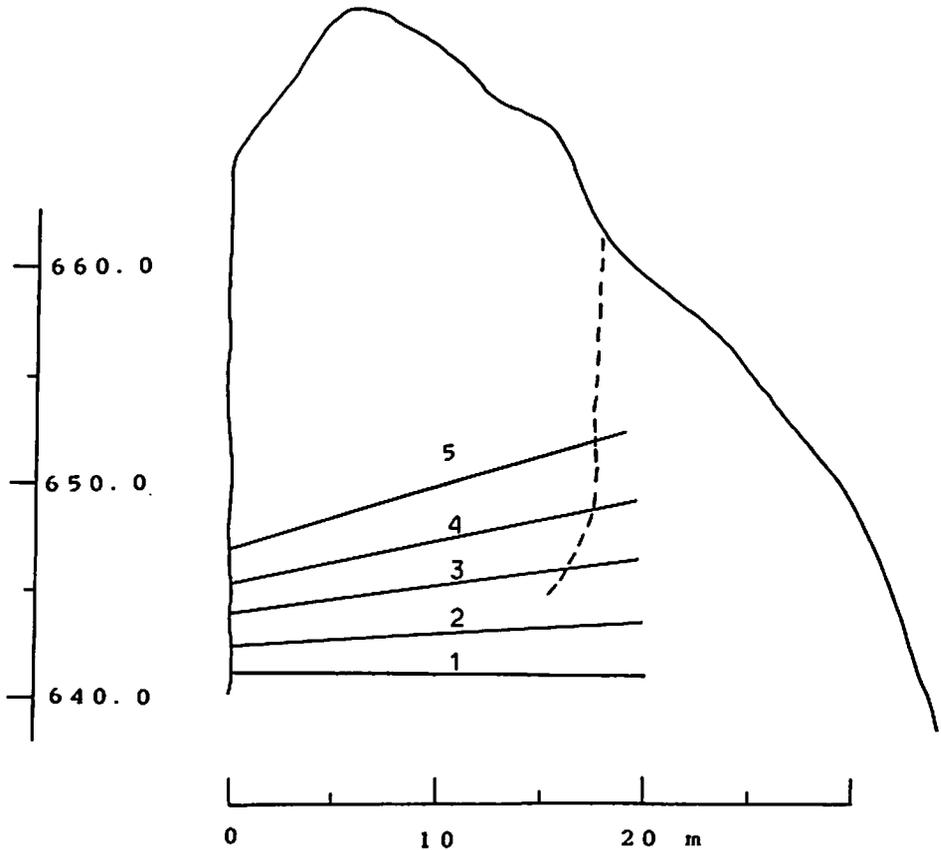


Fig. 7 A section of the lump shaped peak and bore-holes at the center of the peak



Fig. 8 Before blasting



Fig. 9 After blasting

討し、段発秒時は「コブ山」上部が重力により自然落下するまでに最終段が起爆される時間を選定した。

発破は予定通りに実施され、予想以上の破砕量を得、成功のうちに終了した。

本発破を実施するに当たり、高崎監督署、群馬県消防防災課、群馬県警察本部防犯部生活保安課、下仁田警察署、富岡土木事務所、道平川ダム工事事務所の他多くの方々にお世話になりました。厚くお礼申し上げます。

ます。又、工事関係者の方々に頂いた多大な苦勞と努力に敬意を表する次第です。

#### 文 献

- 1) 日本化薬株式会社資料
- 2) 工業火薬協会編，“新発破ハンドブック”，p382，山海堂，1989
- 3) 道平川ダム，“予備実験データ”

A delay blasting at the quarry site  
by skipping the lump shaped peak

by Katsuo FUJIMA\*, Takashi YASUGOUCHI\*\*  
Masanao MAEDA\*\*\* and Kiyoshi HASHIZUME\*\*\*\*

There was a lump shaped peak (approx. 33m dia., 33 m high) in the mountain from where aggregates for a dam construction should be taken.

Only a small land for quarrying works remained. because the peak was surround by sheer precipices on three sides.

Under such conditions, after the 32 lateral bore-holes, 20 m in length were drilled from the place, 2.4 tons explosives in total were loaded into the holes and blasted by Millisecond Delay Blasting method taking advantage of lateral free faces.

We could not find the past case of the large blasting that had lateral direction bore-holes. But we devised the various way to blast the peak and had well satisfied result.

We report the method of the blasting.

(\*Kumagai Gumi Co., Ltd., 17-1, Tsukuda-cho, Shinjuku-ku, Tokyo, 162

\*\*Shimizu Corporation, Seavans South, No. 2-3, Shibaura, 1-Chome, Minato-ku, Tokyo, 105-07

\*\*\*Kacoh Co., Ltd, Nagai Bldg, 4-11, 4-Chome, Nihonbashihon-cho, Chuo-ku, Tokyo, 103

\*\*\*\*Nippon Kayaku Co., Ltd. Tokyo Kaijo Bldg, 2-1, Marunouchi, 1-Chome, Chiyoda-ku, Tokyo, 100)