

《実用講座》

爆 破 7

若 園 吉 一\*  
佐 藤 忠 五 郎\*\*

3.5 長孔発破

ダム基礎掘削などに際して地形が急しゅんな場合に、ボーリングマシンを使用して数10mから100m以上におよぶ長孔をせん孔して、岩盤を一挙に爆破する工法である。この工法の利点は、長孔発破の準備期間中もそれより下部の掘削が支障を受けることなく実施できることであるが、反面岩盤が堅硬でないと長孔をせん孔することがむづかしく、また1孔の装薬量が大きくなり爆破時の振動が増大する欠点がある。

わが国においては、一般にダムサイトの岩盤は堅硬でないものが多く、また従来ボーリングマシンの性能が良くなかったので、長孔発破の顕著な実施例は見当たらない。

図-3.18(a) 鳴子ダム本体掘削正面図

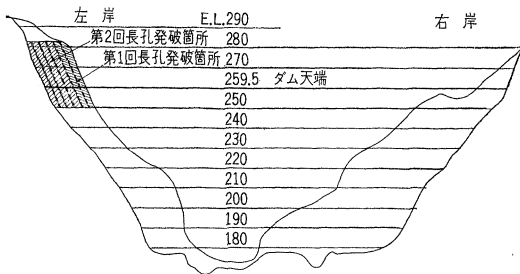
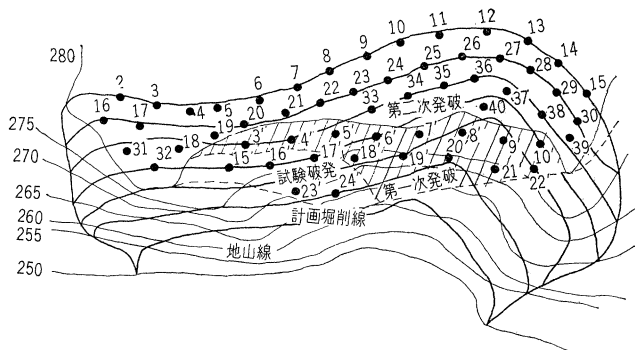


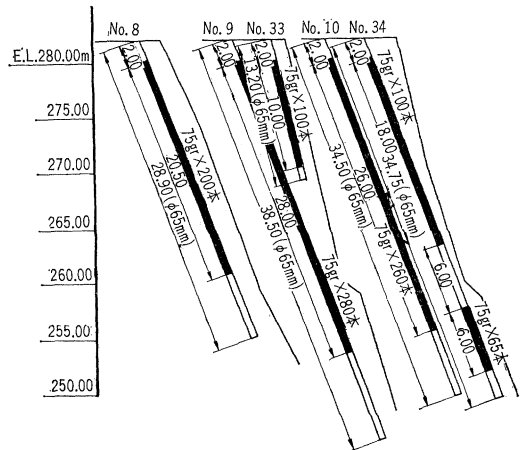
図-3.18(b) 鳴子ダム長孔発破掘削せん孔位置平面図



\* 正員 工博 京都大学工学部

\*\* 正員 工博 鹿島建設KK

図-3.18(c) 鳴子ダム長孔発破掘削断面図



小規模の長孔発破の実施例<sup>4)</sup>としては、鳴子ダムの左岸掘削の一部を行なったものがある。鳴子ダムはコンクリートアーチダムで、高さ94.5m、コンクリート量180000m<sup>3</sup>、堤体基礎掘削量169000m<sup>3</sup>、岩質は閃緑カコウ岩と石英粗面岩であって、左岸のEL280~EL250の間約7800m<sup>3</sup>の掘削を試験発破、第1次、第2次発破の3回にわけて実施した(表-3.4)。図-3.18は鳴子ダムにおける長孔発破のせん孔配置を示している。

表-3.4 鳴子ダムにおける長孔発破

区 分	ボーリング せん孔数量	装 薬 量	掘 削 量
試験発破	5本 106.5 m	92.8 kg	約 500 m <sup>3</sup>
第1次発破	13 474.0	274.6	1800
第2次発破	39 1236.0	1510.0	5500
計	57 1816.5	1877.4	7800

(1) せん孔作業

長孔発破においては、せん孔の成否が工程および工費に多大の影響を与える。したがってボーリングに際して熟練工が高性能の機械を使用して施工速度を早めることと、ビットの消耗を最小限に止めることが必要である。また、せん孔用水は相当量の給水のほかに岩盤のきれつ

に浸透することを見込んで用意するとともに、浸透水による孔内崩壊がしばしば起こることも予期して、セメンティションの準備とか拡孔の用意をあらかじめしておく必要がある。

このせん孔作業に使用した機械は、利根ボーリングUD-3型、4型、5型、RL-150型、鉸研DE-1型、長谷川式R-150型であって、ビットは主としてφ55~65mmメタルクラウンを用いた。

せん孔中最も困難を感じたのは、コアチューブの肩部がスライムによって締め付けられロッドの揚げ降しに非常に難儀したことであり、

またコー チューブ カップリングの箇所を切断して取り出し不能になって、せん孔を中止するものもあった。

せん孔速度は平均1交代(約10時間)1台当り1.5~3.0mで、これは岩質、使用機械、熟練度によって異なるものであるが、鳴子ダムの実施期間は昭和29年8月~30年2月の間であるので比較的能率が良くなかったものと考えられる。

(2) せん孔配置

ボーリング孔のせん孔配置は、原則的に最小抵抗線の長さを2mとし、孔間隔は3mとした。第1次発破は2列、第2次発破は3列の千鳥に配置した。

(3) 装薬量の計算

長孔発破の場合の装薬量の計算は Hauser 公式  $L=CW^3$  を修正してつぎの式を用いた。

$$L_1=CW^2 \dots\dots\dots(3.3)$$

$L_1$ : 孔長1m当りの装薬量(kg/m)

C: 岩石係数

W: 最小抵抗線の長さ(m)

岩石係数Cはボーリング中の掘削抵抗およびコー等参考にして決定する。

鳴子ダムにおいては閃緑カウ岩の掘削であり、その岩石係数は一般に0.35程度であるが風化の状況、岩質によって決定すべきであって、試験発破では0.30~0.35、第1次、第2次発破では0.25とした。

(4) 装薬および発破

本工事に使用した爆薬は3号新桐ダイナマイトでφ32mm 112.5g、φ25mm 75g、およびφ20mm 45gを用い、装薬には割竹(幅1.5~2.0cm、厚さ1.5cm)を使用した。割竹は内外の節をよく削り取り、肉厚も適当に矯正して長さ7~9mのものを21番線で継ぎ、割竹にダイナマイトと導爆線とを沿わせ水系とブラックテープでばく着し、補強のため先端から5mの間は21番線で補強し、防水のためコンパウンドを塗布した。さらに孔中へのそう入に便なるように先端にトタン製キャップをかぶせて装薬を行なった。

込め物としては、爆破効果を良くするために装薬後泥水を注入して填そくを行ない、孔中のきれつによるろ水を防水した。

点火の方法は第1次

発破においては第1列をMS1段、第2列をMS5段電気雷管を用いた。第2次発破では同じように列ごとにそれぞれMS1段、4段、7段電気雷管を用いて爆破を行なった。爆破後ののり面はほぼ計画どおりとなり、所期の目的を達することができた。

外国における大規模な長孔発破の施工例としては、Mouvoisin Damの基礎岩盤掘削<sup>15)</sup>がある。ここではカウ岩の基礎岩盤にボーリング孔径85mm、孔長80~150mにおよぶ41孔の長せん孔を行ない、19700kgの爆薬を用いて一挙に70000m<sup>3</sup>の掘削を行なった。

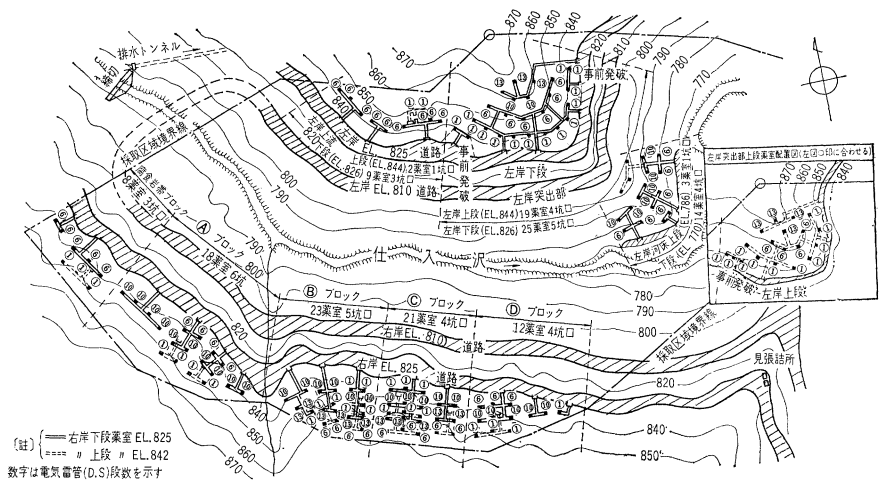
3.6 坑道発破<sup>16)</sup>

坑道発破による掘削は、従来よりきかに行なわれてきているが、この施工にあたっては坑道の断面は坑内の作業にさしつかえない範囲として、高さ1.5~1.6m、幅0.9~1.3m程度の小断面の坑道を掘削し、原則的にはT字形の坑道とし、その終端に薬室を設けてここに多量の爆薬を集中装薬したのち、坑道を埋戻し、これを爆破することにより一時に多量の掘削を行なう工法である。

大型削岩機および機械類を使用せずに一時に多量の掘削を行なうには最も適当した工法であって、従来は主として原石採取に施工されたが、最近における傾向は単に原石採取のみならずあらゆる大規模の掘削に、ときには小規模なダム基礎掘削にすら利用されるに至っている。本工法は小型削岩機による小断面坑道の掘削が可能であれば急しゅんな地形においても施工可能であって、高さ数10mから100m以上におよぶ掘削も一発破で掘削が可能であり、この意味においてわが国のような急しゅんな地形の多い所では適当した工法である。

坑道発破において特に注意すべき点は、一時に多量の爆薬を集中して使用するため、特にその取り扱いに慎重

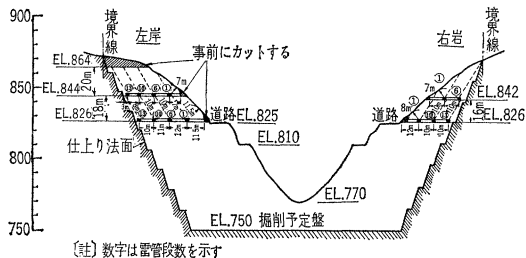
図—3.19 奥只見ダム原石山坑道発破薬室配置図



を期さなければ往々にして不測の大事故を起こすもので、多数の人命を失なった例が非常に多い。坑道発破の際の点火方法は、従来は主として導爆線を使用したのであるが、最近においては電気雷管を使用する点火方法が採用され、多数薬室の場合にも必ずしも全薬室を瞬発せずに、時差をつけて数群に区分して点火させることも可能となり、今後の坑道発破の技術の向上と相まって、その適用範囲も一段と広められるものと考えられる。

図-3.19 は坑道発破の一例として、奥只見ダム工事における原石山坑道発破の概要を示したものである。すなわち原石の所要量約 2 000 000 m<sup>3</sup> を採取するため、EL 825 以下の部分は前述したベンチカット工法によったが、EL 825 以上はすべて坑道発破により掘削を行った。この坑道発破による掘削量は約 200 000 m<sup>3</sup> であったが、その積込み運搬用重機械類の進入路は EL 825 に設けられてあった。EL 825 以上の部分、すなわち高低差 60 m 程度の部分を坑道発破で掘削するには爆破岩塊の最大径を 600 mm 程度とするため、図示のように最小抵抗抗線の標準を 10 m とし上下 2 段に薬室を配置し、かつ奥行の方向に 3 列または 4 列に薬室を設けて、DS 電気雷管を使用して時差 1.2 秒にて各ブロック (図-3.19、図-3.20 の同一 DS 電気雷管段数の薬室群) ごとに斉発させたものである。

図-3.20 奥只見ダム原石山坑道発破標準断面図



### 3.6.1 坑道発破の装薬量の計算

(a) 計算式 一般に図-3.21 の場合において、坑道発破の装薬量は次式で表わされる。

表-3.5 抗力係数 C の値

岩 質	C の 値
非常に軟質な岩石 (沖積土), 砂の固結したもの	0.11
軟らかい石灰岩	0.20
軟質のれき岩および砂岩	0.26
軟質の雲母片岩	0.28
硬質のれき岩および砂岩	0.30
中硬の雲母片岩	0.32
中硬の石灰岩, 粘板岩, 石英粗面岩	0.35
中硬の玄武岩	0.36
硬質の粘板岩, 粒状石灰岩, 玄武岩	0.40
石英粗面岩, 凝灰岩, 安山岩	0.42
普通硬度のカウ岩	0.45
普通硬度の片麻岩, はん岩	0.45
硬質のカウ岩および石英粗面岩	0.57

$$L = CW^3 \dots\dots\dots(3.4)$$

L: 装薬量 (kg)

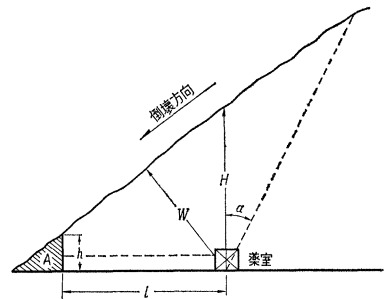
C: 爆破すべき物体の抗力係数 (岩石係数)

W: 最小抵抗抗線の長さ (m)

抗力係数 C の値に関しては、後述の H (薬室の位置における山のかぶり) / W (最小抵抗抗線) = 1.5 の場合を標準として表-3.5 を参照されたい。

ただし、図-3.21 において、山ののり尻 A 部分は必ず発破前にあらかじめ掘削しておく必要がある、一般に h ≥ 3m 程度に掘削する。また、薬室の深さ l と最小抵抗抗線 W とが非常に異なっている場合には "吹抜け発破" となりのり尻部が残留して地山を崩壊させることができないから、のり尻 A 部をさらに追い込むか、または補助薬室を併用する必要がある。爆破後の崩壊方向は必ず岩層に逆目にならないように選定すべきであるが、逆目の場合には爆破後 "オーバーハング" して以後の作業に危険となるから、あらかじめ対策をたてて爆破を行なうべきである。

図-3.21 坑道発破断面図



のり尻 A 部をさらに追い込むか、または補助薬室を併用する必要がある。爆破後の崩壊方向は必ず岩層に逆目にならないように選定すべきであるが、逆目の場合には爆破後 "オーバーハング" して以後の作業に危険となるから、あらかじめ対策をたてて爆破を行なうべきである。

薬室位置における崩壊角 α は岩質、断層の有無、岩の走行などの条件によって異なるが、一般に α の値は α = 20~30° 程度と考えられる。また薬室間隔は最小抵抗抗線 W と同じ値にするのを標準としているが、W にくらべて大きければ岩の破碎程度は大となり、小さければ破碎程度は小さくなる。なお、薬室の深さ (最小抵抗抗線 W) と薬室位置における山の高さ H との関係は H/W = 1.5 を標準 (最小限) として、H/W = 2.0 の場合が最も有効であり、H/W = 3.0 を限度として坑道発破を実施すべきである。H/W > 3 の場合は爆破後 "オーバーハング" して非常に危険であるので、上下 2 段に薬室を設けて実施しなければならない。

(b) 抗力係数 C の値の修正について 式 (3.4) で表わされる装薬量は、H/W = 1.5 の場合を標準としているが、下記の場合には抗力係数 C の値をそれぞれ修正する必要があるように考えられる。

① H/W > 1.5 の場合:

H/W = 1.5 を標準として、

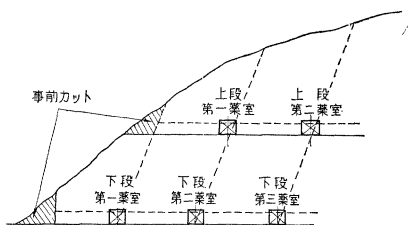
H/W = 2.0 の場合 10~20% 増し (1.1C ~ 1.2C)

H/W = 3.0 の場合 さらに 10~20% 増し

(1.2C ~ 1.45C)

ただし、上段一次発破終了後、下段二次発破実施に際

図一3.22 縦深に薬室を配置した場合の坑道発破断面図



して、下段薬室直上のずりの高さは地山換算 1/2 とみなして  $H$  の値をきめる必要がある。

②縦深に薬室を配置した場合：図一3.22 に示すように縦深に薬室を配置した場合には、第一薬室については①の抗力係数 ( $C_1$  で表わす) を採用する。

第二薬室については  $C_1$  の 25~50% 増し ( $C_2=1.25C_1 \sim 1.50C_1$ )、第三薬室については  $C_2$  のさらに 25~50% 増し ( $C_3=1.55C_1 \sim 2.25C_1$ ) とし以下同様。

坑道発破を実施するにあたって、薬室の配置が上下二段以上におよび、その上、縦深にさらに数列になるような場合には、上記①、②の組み合わせによって抗力係数  $C$  の値を修正し、装薬量を爆破の目的に適するように変更すべきであろう。実例として奥只見ダム原石山においては、岩石(カコウ岩)の標準状態の抗力係数値を  $C=0.5$  と仮定し、①の  $C$  の修正は  $H/W=2.0$  の場合 20% 増し、②の  $C$  の修正は 35% 増しを採用し好結果をえた。

坑道発破に際しての爆薬使用量は一般土木工事においては、軟岩で  $0.2 \sim 0.3 \text{ kg/m}^3$ 、硬岩で  $0.4 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$  である。以後の小割発破を考慮すれば、さらに増加する。

(c) 薬室の爆発時差について 上記 (b) 抗力係数  $C$  の値の修正を可能にするためには、薬室の爆発時差をいくらすべいかが一番問題となるが、あまり短時間では爆発直後の地山の崩壊が十分でなく、また反対にあまり長時間では崩壊したずりが安定した状態で地山をおおい、つぎの薬室(特に縦深に薬室が配置されている場合)の爆発に余分の大きな荷重となるため、所要の薬室の爆発時差は地山の崩壊が十分進行し、かつ崩壊しつつあるずりがまだ流動中であるような時間差が最も有効と考えられる。奥只見ダム原石山の坑道発破においては、図一3.19、図一3.20 に示すように、1回の発破を数群にわけて DS 電気雷管を使用して時差をつけて斉発したが、0.9 秒の時差では時差が短かすぎて結果がよくないので、1.2 秒間隔を採用して好結果をえることができた。

### 3.6.2 坑道発破用爆薬

爆薬の爆発作用は、静的効果すなわち爆薬の仕事能力と、動的効果すなわち衝撃破壊力の二つにわけて考えられる。しかし坑道発破のように、非常に多量の爆薬を一時に爆発させて岩石を崩壊する場合は、その効果は主として静的効果すなわち爆薬のもっている Total Energy

で決定され、爆速、猛度などのような動的な性能はそれほど関与しない、とみなしてよいと思われる。むしろ岩質、節理の状態によっては、かえって高爆速の爆薬は避けなければならない場合が多いようである。

一般に火薬の力  $f$  は次式で表わされる。

$$f = \frac{P_0 V_0 T}{273} \dots \dots \dots (3.5)$$

$P_0$  : 大気圧 (=  $1.033 \text{ kg/cm}^2$ )

$V_0$  : 爆薬 1 kg から発生するガスを  $0^\circ\text{C}$  1 気圧に換算した体積 ( $l/\text{kg}$ )

$T$  : 爆発温度 (絶対温度)

$f$  の値が爆薬 1 kg あたり  $10\,000 \text{ l-kg/cm}^2$  前後の爆薬を使用すれば、坑道発破の爆破効果はどの坑道発破用爆薬を用いても同等と考えてよいであろう。坑道発破用爆薬に関しては 1.2.6 項を参照されたい。坑道発破用爆薬の選定条件としては、(a) 爆速のあまり速くないもの、(b) ガス比容の大きなもの、(c) 取り扱い上の安全性のあるもの、(d) 耐水性、不凍性のあるもの、(e) 価格の安いもの、などを重視してきめるべきであって、奥只見においては TNT : AN = 20 : 80 の固形の爆薬を使用した。

### 3.6.3 坑道発破の利点と欠点

坑道発破は小型削岩機のみを使用して、小断面の坑道掘削が可能であれば施工できるから、特にとりたてて使用機械と称するものは必要としない点が特色である。しかしながら坑道掘削および以後の装薬、埋戻しに多数の労務者を常時使用せねばならず、また前述の事故防止のため、労務者の爆薬の取り扱い方法に特に留意する必要がある、したがって労務管理を必要とする欠点がある。

坑道発破による掘削後の岩石は、爆破時における最小抵抗線の値が大であるほど破砕の程度は大塊を生じやすく、また大小不ぞろいとなり、他の工法に比して必ず小割発破を必要とする欠点がある。本工法においては、爆破後の小割をできる限り少なくし、積込み運搬機械の性能を十分発揮するように、ずりの大きさを制限できる設計と施工を行なうよう留意することが必要である。

坑道発破においては機械費の占める割合は僅少であって問題とするにたらないから、工事費の大部分は爆薬費と労務費であるが、爆薬費の  $1 \text{ m}^3$  あたり消費量は岩質と工法とによって大体一定しているの、工事費は労務費の多少によって左右されるが、労務費の安価なわが国においては、坑道発破がいずれの工法に比しても最も経済的工法である場合が多い。

### 参 考 文 献

- 14) 東北地建鳴子ダム工事事務所：“鳴子ダム工事誌” 1959年 3月
- 15) 田中治雄：“ダム基礎の地質とその掘削方法”，土木学会編トンネルと掘削工法，1959年 8月
- 16) 佐藤忠五郎：“大発破工法について”，土木学会編，トンネルと掘削工法，1959年 8月 (文責 佐藤忠五郎)。