

# スムーズブラスティング工法による固定堰撤去工事の実績

桑原 力\*・峰 重之\*\*  
鈴木 邦夫\*\*\*・小嶋 孝雄\*\*\*\*

## 1. ま え が き

爆破工法による構造物の撤去作業は多くの例があり現在も行なわれているが、ダム本体の一部である固定堰のようなマスコンクリートを爆破工法の一つであるスムーズブラスティング工法によって、大がかりに撤去した例は少ないようであるので、ここにその工事概要を報告する。

## 2. 工 事 概 要

本工事は東北電力(株)による発注の第二鹿瀬発電所新設工事に伴い、昭和3年に築造された鹿瀬ダムのうち右岸側に位置した固定堰について約40m撤去し、新発電所(第二鹿瀬発電所)の取水口流入部とする工事である。

この撤去工法として、水中爆破案とダム湛水を低下させてから行なうドライの爆破案とが考えられた。前者の場合は、水中爆破による水中衝撃圧が生じ、隣接する既設ダムのゲート、ピアおよび新設されたダムのスクリーン、ゲートに被害が起こる恐れがある。よって、この水中衝撃圧を減少させるためには薬量を極力減らすか、またはエアバブルカーテンを採用する方法が考えられる。この場合、薬量を減らす方法は最も基本的なことであるが、構造物に被害がないような水中衝撃圧におさえるには“g”単位でしか薬量を使用することができなくなりこれではマスコンクリートの撤去を短期間に行なうことができない。

エアバブルカーテンによる水中衝撃圧の減衰効果は最近多く論ぜられ、実際の施工にも使用されつつある。こ

れは、水中のエアバブル(気泡)が水中衝撃圧のエネルギーを吸収する原理を利用したものであり、この工事に関してもエアバブルカーテンの効果に関する予備実験がダム下流内で行なわれた。これによると、エア量 $1\text{ m}^3/\text{min}$ 程度で衝撃圧を $1/10$ に下げる減衰効果があり、エアバブルカーテンを二重にすると、さらに減衰することが実証されている。

しかし、当撤去工事の場合、固定堰に隣接する既設のダム構造物は昭和3年に築造された古いものであり、とくに爆破による水中衝撃圧の被害が心配されるし、また撤去する固定堰下流に新設された発電所の取水口のスクリーン、ゲートは15m以内に位置するため、きわめて被害を受けやすい。しかも、ひとたび被害を受けると既設発電所の運転業務と新設中の発電所建設工事に多くの支障をきたすため水中爆破工法には問題点が残る。そこで、最も安全かつ確実な方法と考えられる後者の「ダム水位を低下させてから実施するドライによる撤去工法」を採用することに決定した。ドライにして爆破するにしても、非撤去部に爆破振動が直接伝わることを避けるため撤去部と非撤去部の間にスプリット(すき間)を入れ完全に両端を縁切りして、しかもそのうえ地盤を伝播していく爆破振動を最少限にするため、薬量をコントロールしながらスムーズブラスティング工法で短期間に施工するものである。次に鹿瀬ダムの諸元を示す。

形 式：重力式コンクリートダム

越流堰堰長：220.022 m

越流堰高さ：32.61 m

越流堰門扉：20門、鋼製ラジアルゲート

固定堰堰長：61.358 m

固定天端幅：2.220 m

固定勾配：前面1:0.2、背面1:0.7

撤去部：撤去長 40.500 m

撤去高 11.820 m (EL 69.00~EL 80.82)

撤去量 3 673 m<sup>3</sup> (コンクリート)

ダム水位低下：低下水位 EL 68.660 m

低下期間：昭和47年6月1日~20日

\* 正会員 前田建設工業(株)技術研究部次長

\*\* 前田建設工業(株)鹿瀬作業所所長

\*\*\* 前田建設工業(株)鹿瀬作業所

\*\*\*\* 正会員 前田建設工業(株)技術研究部

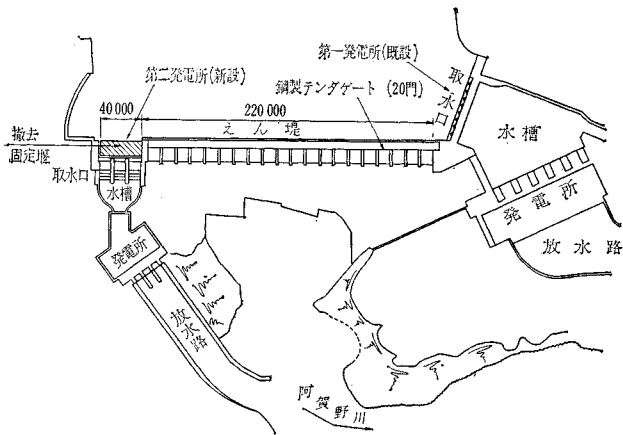


図-1 鹿瀬ダム一般平面図

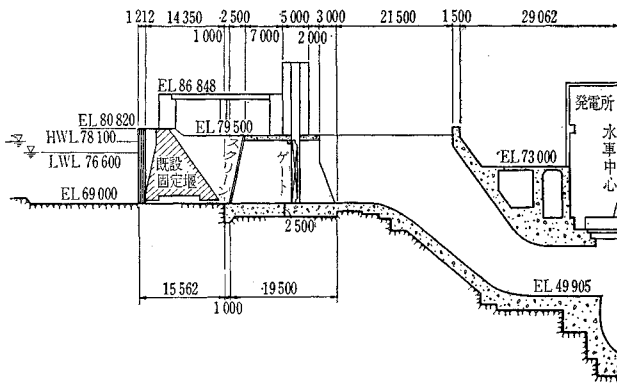


図-2 水路縦断面図

### 3. 施工方法

#### (1) 両端はつり撤去(スプリット)

撤去部の爆破の際に非撤去部に被害があつてはならないので種々の施工方法が考えられたが、爆破によってコ

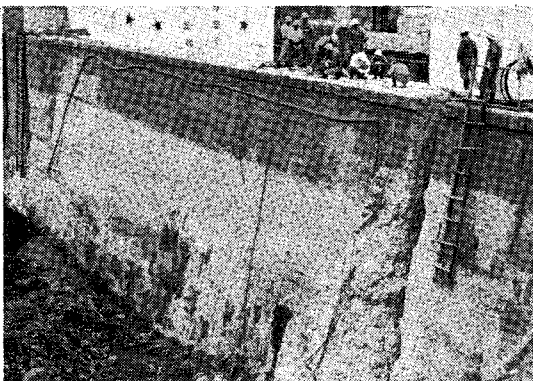


写真-1 撤去部固定堰

ンクリートを伝播するショック波および圧力波をシャ断する方法としてスプリットを施工することが最も効果的である。そのため、撤去部と非撤去部の境界面(切断予定面)にスプリットを施した。このスプリット幅は1mであり、人力でブレーカー、ピックハンマー等によって図-4のように水位低下前にはつる部分と水位低下後にはつる部分とに分けて行なつた。前者は山側、川側両者合せて258 m<sup>3</sup>であり、この作業は爆破工事の以前に他の工事とともに行なつておいた。また、後者は山側、川側合計24 m<sup>3</sup>でこれは水位低下後に短時間で行なつた。

#### (2) せん孔

① 爆破による地盤振動の軽減から集中装薬を避け、分散装薬となるよう孔ピッチをできるだけ小さくした。

② 撤去は固定堰を端から順次爆破して取り壊す方式を採用するので、爆破効果から列のピッチは小さいほうが望ましいが、隣接爆破による発破孔の圧壊を防ぐため1mピッチに計画した。

③ 孔間隔(ダム軸直角方向)は最小抵抗線(ダム軸方向)により決定した。一般式として三方自由面の場合

$$S \approx (1.4 \sim 2.0) W$$

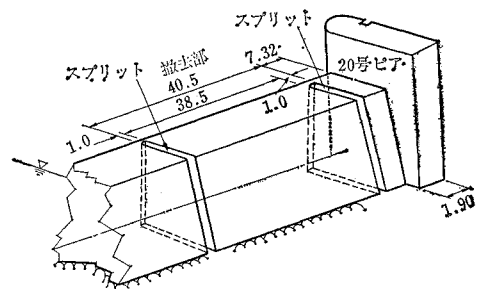


図-3 はつり部分詳細図

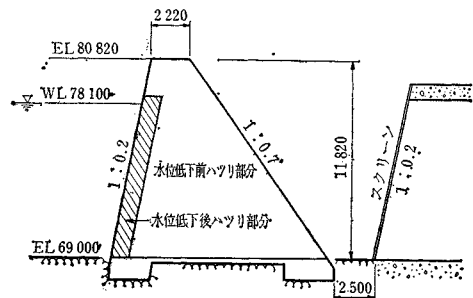


図-4 はつり部分断面図

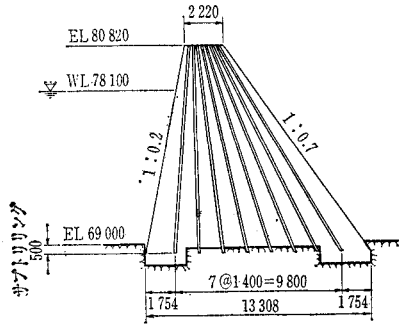


図-5 せん孔断面図

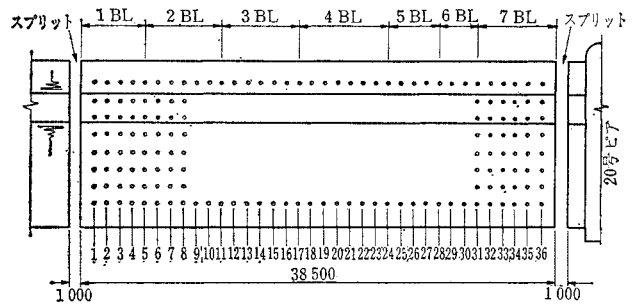


図-6 せん孔平面図および爆破順序図

ここに  $S$  : 孔間隔  $W$  : 最小抵抗線  
といわれているが、破碎効果などを考えて上式の最小値とし、孔間隔は 1.4 m とした。

④ せん孔径は、使用ダイナマイト径 50 mm と導爆線径 4.9 mm にキャップ 15 mm を加えて 70 mm 程度になるので、ピットは 70 mm を使用した。

⑤ せん孔機械はクローラードリル・CRD-6 を採用した。当初せん孔長 12~14 m、加えて傾斜が最大 60° 程度もあるのでクローラードリルではせん孔精度に疑問がもたれた。そこで試験せん孔をしたところ、十分せん孔できる見通しがあったので、クローラードリルで施工した。せん孔実績は 8 時間、平均せん孔長 13 m のものが 8 本であり昼夜施工した結果 16 本/日の成果を得た。

### (3) 水位低下

せん孔作業と爆破の防護（新設スクリーンの飛石被害を防ぐための防護工事）を水位低下の前にすべて完了させておいた。水位低下は 6 月 1 日から 20 日の間で、この 20 日間に固定堰撤去工事をすべて完了させるわけである。なお、この期間内には取水口前面の岩盤面の整理のための岩盤掘削工事も含まれている。

### (4) 両端はつり残し部分の撤去

水位低下後、ただちに両端部に残っている山側、川側合計 24 m<sup>3</sup> のコンクリートを 2 日間で取り壊しを行なった。これは火薬とピックハンマーを使用して行ない、薬量は構造物に被害のない程度の小量を用いて、しかも小部分に分けながら取り壊し、幅 1 m のスプリットを完全に入れた。

### (5) 装薬と点火

#### a) 単位装薬量

単位当り適正な装薬量を決定するには、種々の式がある。また実績から求めるものもある。一般に、岩盤掘削には単位装薬量 0.3 kg/m<sup>3</sup> 程度であるといわれている

が、今回も自由面が多いこと、必要以上の飛散を防ぐため薬量をできるだけ小さくすることが望ましいことから、0.3 kg/m<sup>3</sup> を基準として決定した。

#### b) 一段発当りの最大装薬量

爆破による振動エネルギーは爆薬総エネルギーのうちわずか 0.1% 程度であり、岩石破壊エネルギーも爆薬エネルギーの何%かで他の大部分は風圧、ずりの飛散エネルギーになるといわれている。振動エネルギーがダムに与える影響は、地質や構造物の条件でそれぞれ異なるので推定するのがむずかしいが、今回の撤去工事に先立って行なわれた発電所本体の掘削工事に使用されている火薬量を参考とした。ここでは、一段発当り 40 kg 程度が爆破振動もそれほど大きくなく良好な結果が得られているので、この撤去工事も一段発当り最大装薬量を 40 kg 以下とした。

#### c) 使用爆薬

本撤去工事に使用した爆薬は次のとおりである。

2号覆 100 g × 25 φ × 150 l

(親ダイナマイトに使用)

3号桐 750 g × 50 φ × 320 l

#### d) 使用導爆線

長いせん孔の中に多くのダイナマイトが入るので、個々のダイナマイトに雷管と脚線をつけて入れるのでは時間がかかり施工性も悪く脚線が多くなって断線の原因を多くするし、また隣接爆破によって脚線が切られたり、親ダイナマイトが飛ばされたりして不発になるカットオフの原因にもなる。そこで、導爆線使用によって施工性もよくなり、カットオフもかなり防止できるので下記の導爆線を使用した。

第 2 種導爆線 外径 4.9 mm 爆速 6 200 m/sec

#### e) 使用電気雷管

爆破振動の継続時間は一般に 30~40 ms といわれているので、ここではそれ以上の段発時差をつける。

MS 電気雷管は DS 電気雷管と比して次の長所があるといわれている。

- ① 隣接発破孔の圧壊が少ない。
- ② カットオフが少ない。
- ③ 孔尻や残留薬がない。
- ④ 岩石が小さく破碎される。

以上の点から電気雷管は MS を中心に MS 1, 3, 5, 7, 9, 10 段, DS 2, 3 段を使用した。

#### f) 装薬方法

装薬は破碎効果をもとめるため、できるだけ分散装薬になるようにデッキチャージ方式とし、爆薬と爆薬の間に砂袋のアンコ（ビニール袋に砂をつめたもの、 $50\phi \times 420$ mm）をつめた。爆薬は導爆線にチャージして起爆するが孔内で密着していないと不発になる恐れがあるので、1孔に2本の導爆線を使用してその防止をはかった。装薬順序としては、まず孔底部に入る踏えのダイナマイトを導爆線（ $l=14$  m, 2本）にしぼりつけ、それを爆破孔に入れ、次に砂袋アンコを所要数だけ落としこみ、その後にダイナマイトを入れる方式とした。この作業を繰り返し最後に雷管を取付けた親ダイナマイト（2号種）を導爆線に巻きつけて落とし込み、その上に砂袋タンピングを行なった。装薬は均等に分布されるように図-7のように千鳥に配置した。

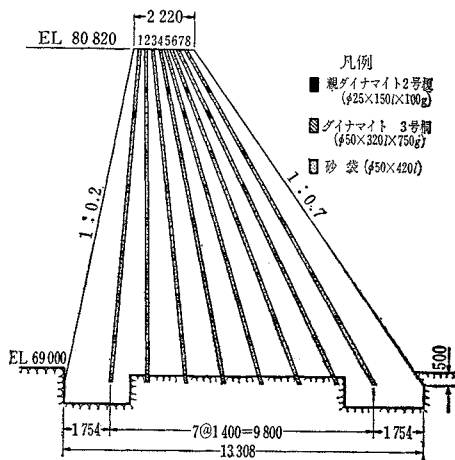


図-7 装薬配置図

#### g) 爆破順序

爆破は図-7のように7ブロックに分けて行なった。川側にある既設ダムの20号ピアに与える爆破による影響を考えて、山側から爆破を行なった。つまり、まず1ブロックの爆破を行ない、ずり処理後、2ブロックの爆破をかさね以下順次それを繰り返した。爆破の段数が各ブロックそれぞれ異なっているが、当初は7ブロックとも同段数で行なう計画であった。しかし、爆破による破壊の様子と隣接する20号ピアに埋設されたひずみ計、振動計による測定値（測定結果は考察で示す）を検討し

ながら行なったために各ブロックの段数が異なったものになった。爆破による次のブロックの孔潰れがありうるので、装薬は次のブロックの第1列まで行ない、その列には親ダイナマイトをつけず次の日に爆破する方式をとった。せん孔の列数は、当初38列（撤去部38.5 mで1 mピッチで計画）であったが、施工ジョイント部分の2か所を除いて36列とした。

#### h) ずり処理

ずり処理は各ブロックの爆破ごとに行なった。各ブロックのずり量はそれぞれ異なるが、爆破後のルーズな状態で500~1000 m<sup>3</sup>程度であり、このずり運搬はこの工事と並行して行っている取水前面の岩盤掘削に使用している重機（D120Rブルドーザー、60Sドーザーショベル、ダンプカー）で行なった。ずり運搬作業は翌日に行なう次のブロックの爆破の前に完了させるため昼夜兼行で行なった。

### (6) 爆破防護工

#### a) スクリーン防護柵

新設されたスクリーンは爆破する固定堰から15 m以内にあるので、爆破後のずりはスクリーンの前面に数m堆積すると思われる。そこで、このずりの圧力に耐えうるスクリーン防護が必要であるためH鋼と矢板で壁をつくり、その上に金網をかぶせた防護柵をつくった。

#### b) 飛散防止工

MS発破はDS発破よりもずりの飛散が大といわれ、既設ダムおよび取水口ゲート機器、構造物等に損傷を与えないように厳重な防止工が必要である。そこで、まず爆破するブロックをブラッシングマットでおおい、さらに架空線を張って、防爆シートを上方と取水口側に張り、飛石の防止を完全にした。

### (7) 爆破工程

爆破は表-1に示すように1日1爆破で行なった。当初は装薬とずり処理に時間がかかると予想していたので2日1爆破であったが、装薬に導爆線、砂袋アンコを使用したことによって施工が簡単になり、かさねて、ずり処理も重機を強化したことにより一段と早くなったことなどのためである。

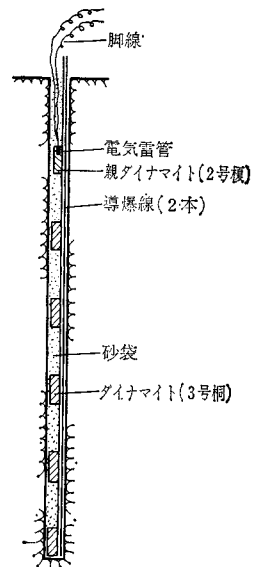


図-8 装薬詳細図

表-1 爆破工程

ブロック号	1	2	3	4	5	6	7
装薬量 (kg)	186.4	190.7	147.9	169.5	76.3	62.4	93.6
施工日	6/3	6/4	6/5	6/6	6/7	6/8	6/9

注：サイクル 装薬 7:00~12:00 爆破防護 13:00~14:30  
 待避 14:30~15:00 点火 15:10  
 ゼリ撤去 16:00~昼夜

4. 装薬量実績

表-2 に示すとおりである。

表-2 装薬実績表

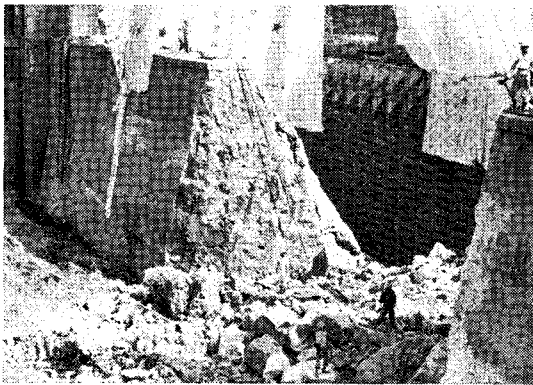
ブロック	段数	孔番								計	備考
		1	2	3	4	5	6	7	8		
1	MS 1	4.80	4.80	4.80	4.80	4.05	4.80	4.80	4.80	37.65	6/3 15:30 l=5.2m V=494 m³ 単位装薬量 0.38 kg/m³
	MS 3	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	38.40	
	MS 5	4.05	4.05	4.80	4.05	4.80	4.80	4.80	4.80	36.15	
	MS 7	3.30	7.05	3.30	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	37.65	
	MS 9	2.55	6.10	6.15	3.30	4.80	4.80	4.05	4.80	36.55	
	小計	19.50	26.80	23.85	21.75	23.25	24.00	23.25	24.00	186.40	
2	MS 1	4.80	4.80	4.80	4.05	4.80	4.80	4.80	4.80	37.65	6/4 17:10 l=6.2m V=589 m³ 0.32 kg/m³
	MS 3	4.80	4.80	4.80	4.80	4.05	2.35	1.80	2.20	29.60	
	MS 5	4.80	4.80	4.80	4.80	4.05	3.95	2.83	1.85	31.88	
	MS 7	4.80	4.70	4.80	4.80	4.80	4.05	2.27	1.45	30.77	
	MS 9	2.55	4.80	4.80	4.80	4.05	4.05	1.70	1.40	28.15	
	MS10	4.80	4.80	4.80	4.80	4.80	4.05	2.65	1.05	31.75	
小計	26.55	28.70	28.80	28.05	26.55	23.25	16.05	12.75	190.70		
3	MS 1	4.80	4.80	4.80	4.80	2.55	4.05	2.75	1.63	30.18	6/5 15:10 l=6.2m V=589 m³ 0.25 kg/m³
	MS 3	3.30	3.30	4.15	0	2.55	4.05	3.45	1.45	22.25	
	MS 5	3.30	3.30	4.05	4.80	4.05	2.55	0.50	0.50	23.05	
	MS 7	2.55	3.30	4.05	2.55	2.55	3.30	2.65	1.65	22.60	
	MS 9	4.05	3.30	4.05	4.05	2.55	1.80	3.20	1.45	24.45	
	MS10	4.05	3.30	4.05	2.55	3.30	4.05	2.45	1.65	25.40	
小計	22.05	21.30	25.15	18.75	17.55	19.80	15.00	8.33	147.93		
4	MS 1	4.05	4.05	3.30	4.05	4.05	3.30	3.30	1.45	27.55	6/6 15:10 l=7.3m V=694 m³ 0.24 kg/m³
	MS 3	4.05	4.05	4.05	4.05	3.30	3.30	2.55	0.80	26.15	
	MS 5	3.30	0	3.30	1.80	2.85	2.85	2.05	1.05	17.20	
	MS 7	4.05	4.80	4.05	4.05	3.30	4.05	2.28	1.05	27.63	
	MS 9	3.30	3.30	1.80	3.30	4.05	3.30	3.05	1.25	23.35	
	MS10	4.05	4.05	4.05	1.80	1.80	4.05	2.55	1.05	23.40	
DS 3	3.67	2.93	3.67	2.50	5.18	2.93	2.83	0.48	24.19		
小計	26.47	23.18	24.22	21.55	24.53	23.78	18.61	7.13	169.47		
5	MS 1	0.18	4.32	1.80	2.93	2.93	3.68	2.08	0.48	18.40	6/7 15:10 l=4.00m V=380 m³ 0.2 kg/m³
	MS 3	2.93	2.93	2.93	3.68	3.68	2.93	2.08	0.48	21.64	
	MS 5	2.93	1.33	1.33	3.68	2.93	3.68	1.80	0.48	18.16	
	MS 7	2.93	0	2.93	2.93	3.68	3.68	1.42	0.48	18.05	
	小計	8.97	8.58	8.99	13.22	13.22	13.97	7.38	1.92	76.25	
6	MS 1	3.68	3.68	1.43	3.68	2.93	3.68	1.43	0.68	21.19	6/8 15:10 l=3.00m V=285 m³ 0.22 kg/m³
	MS 5	3.68	3.68	2.18	2.18	3.68	2.92	2.83	0.68	21.83	
	MS 7	2.93	2.93	2.93	2.18	2.93	3.68	1.33	0.48	19.39	
	小計	10.29	10.29	6.54	8.04	9.54	10.28	5.59	1.84	62.41	
7	MS 1	3.68	2.18	3.68	3.68	3.68	1.80	2.18	0.68	21.56	6/9 15:10 l=6.60m V=627 m³ 0.15 kg/m³
	MS 5	2.93	3.68	2.93	0	2.18	2.93	2.18	0.68	17.51	
	MS 9	3.68	2.18	3.68	3.68	3.68	2.93	2.18	0.48	22.49	
	DS 2	3.68	3.68	3.68	3.68	3.68	2.93	2.18	0.48	23.99	
	DS 3	0	2.18	0	3.68	0	2.18	0	0	8.04	
小計	13.97	13.90	13.97	14.72	13.22	12.77	8.72	2.32	93.59		
合計	127.80	132.75	131.52	126.08	127.86	127.85	94.60	58.29	926.75		

5. 考察

(1) スムーズブラस्टィングの効果

スムーズブラस्टィング工法の採用により、予定していたブロックのみ撤去できるので工事が安全であり、また爆破された面はせん孔位置がはっきりと確認されるほどであり、きわめて整った面を残している。スムーズブラस्टィングによる爆破面のできぐあいは、せん孔精度によって大きく影響されるといわれており、今回もクロ

ロードリルによるせん孔をスラント等で測定しながら注意深く行なった。爆破面をみても、クローラドリルによるせん孔も、かなり精度のよいものであったことがいえるし、実際に爆破面からせん孔精度を測定してみても30 cm以内のずれでおさまっているものがほとんどであった。装薬方法も導爆線を使用しデッキチャージにして分散装薬させたことは、スムーズブラस्टィングをよりいっそう効果的なものとしたと考えられる。



写真—2 爆 破 面

## (2) コンクリートの破砕度

装薬の実績表にも示しているように第1ブロックの爆破では単位装薬量を  $0.38 \text{ kg/m}^3$  としたが、過装薬ぎみで破砕されたりは、かなり小さくなったために第2ブロックは  $0.32 \text{ kg/m}^3$  にして行なったところ、破砕の程度もドーザーからダンプに積み込むのに最適なものとなった。以下、各ブロックについては隣接する20号ピアに近づくため、少しずつ装薬を減少させて行なったところ、多少大きなずりが出たが、ほとんどにクラックが入っていて簡単に小割がきくものであった。

## (3) 爆破による隣接孔への影響

今回のせん孔はダム軸方向に1 mピッチであるので、次のブロックの孔潰れがあるかもしれないと心配されたがほとんど孔潰れがなく、あっても第1列目の孔が1 cm程度ずれているものが多少見受けられた程度であった。装薬時に次のブロックの第1列まで行なうことによって多少孔潰れがあっても、導爆線の切断がないかぎり爆破を行なうことができる。

## (4) 爆破振動

爆破振動は東北電力(株)と電力中央研究所の協力のもとに行なわれた。隣接する20号ピアにひずみ計と振動計とを埋込んで、それらを計測しながら爆破を行なった。これらの計測によると踏えの部分のダイナマイトが

底部岩盤に直接伝播されるので爆破振動に大きく影響していると考えられたため、踏えのダイナマイトの量を1, 2ブロックでは2本, 3, 4ブロックでは1本, 5, 6, 7ブロックでは0.5本にそれぞれ減少させて爆破を行なった。計測された結果によると第5ブロックの爆破のときが最大であり、振動計で約11.9 kine (kine=cm/sec)、ひずみ計で約  $15.3 \times 10^{-6}$  の引張ひずみ(引張応力に換算すると  $15.3 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^8 = 4.6 \text{ kg/cm}^2$  程度)が作用している。第5ブロックの爆破で装薬が小さいにもかかわらず、大きな振動が作用しているのは理解しにくい。ダム基礎の岩盤条件など種々の条件によって大きくなったのではないかと思われる。

爆破振動による被害は、一般的に10 kine以上になると古い建築物等に少々生じる場合があるといわれており今回の値はダムという構造物から判断すると安全な範囲であるといえるし、また引張力は微々たるものでクラックが生じるものでないといえる。

## (5) 工程の短縮

孔底に入る最初のダイナマイトを導爆線につけて落とし込み、その後に砂袋を落す方法はダイナマイトも砂袋も自重で落ち込んでいくので装薬もきわめて簡単になり早くなった。大量の装薬を行なう工事では、装薬方法を簡単にすることが工程の短縮により効果的であると考えられる。

表—3 測 定 結 果

ブロック 番号	1	2	3	4	5	6	7
計器							
ひずみ計*	$\times 10^{-6}$	12.6	12.3	13.0	15.3	9.3	—
振動計**	kine	—	9.0	9.2	11.9	10.1	8.6

注: ① \*印・ひずみはすべて引張力。  
 ② \*\*印・振動計は鉛直方向。  
 ③ 電力中央研究所測定結果から抜粋。

## 6. 結 び

固定堰撤去工事を隣接構造物に被害を与えることなくしかもマスコンクリート構造物を短時間に撤去できたことは満足のできるものであった。

今後このような古いダム等の一部を撤去する工事があると思われるが、本撤去工事を参考の一部としていただければ幸いである。

本工事に關して東北電力鹿瀬発電所建設所吉田土木課長、曾根田副長、猪股氏、電力中央研究所鍋岡地質研究室長に多大のご意見・ご指導をたまわった。付記して深甚の謝辞を表する次第である。

(1972.7.13・受付/1972.9.5・再受付)