

各種技術を駆使したダム撤去工事

宮 地 利 宗・野 間 達 也

荒瀬ダムは、1954年に熊本県が築堤した発電専用の重力式コンクリートダムであるが、その役目を終え2012年より撤去工事を行なうこととなった。撤去工事としては、まずダム本体上流側の水位を低下させるために、上流面の岩盤をオールケーシング工法による水中掘削、また堤体には無発破硬岩トンネル掘削工法であるFONドリル工法を使用して矩形のトンネルを割岩掘削した。さらに、ダム本体の解体には、経済性の向上を目指して発破解体を有効利用し、門柱の倒壊発破工法を開発するとともに、越流部の発破解体時には、発破振動を制御するために種々の雷管を使用し、環境に配慮したダム撤去工事を実現した。

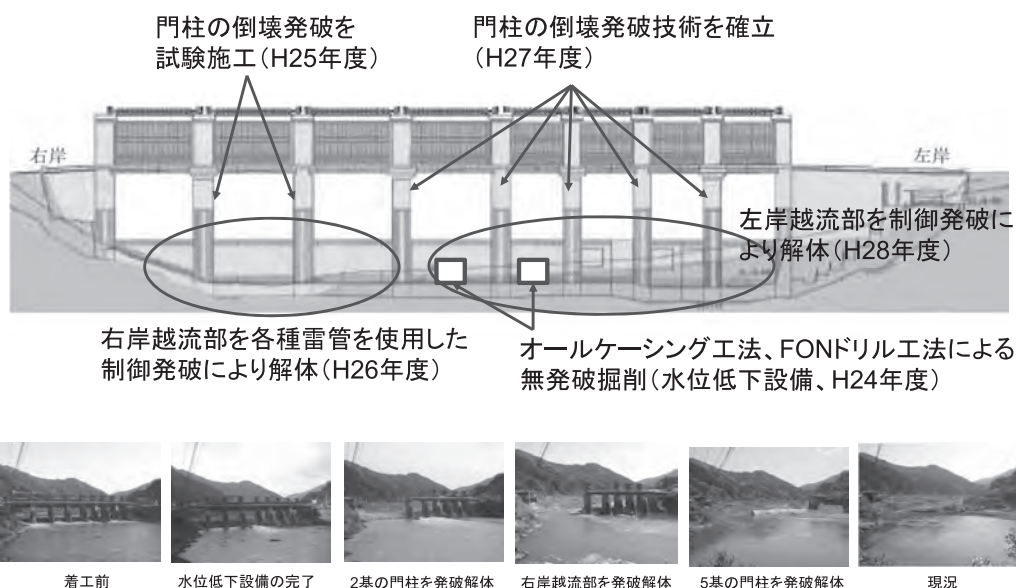
キーワード：ダム撤去、発破解体、電子雷管、オールケーシング工法、割岩工法

1. はじめに

荒瀬ダムは、1954（S29）年、球磨川河口から19.9 km地点の熊本県八代市坂本町に築造された発電専用の可動堰付き重力式越流型コンクリートダム（堤高25.0 m、堤頂長210.8 m、堤体積47,167 m³）である。しかし、水利権が失効したことからその役目を終え2012年より撤去工事を行なうこととなった。

荒瀬ダム本体等撤去工事は、ダム建設以前の河川に復元することを目指し、越流部の門柱9基を含めダム本体のコンクリート約27,000 m³を撤去するものである。

工事概要を図一1に示す。撤去工事は、まず貯留しているダム上流側の水位を低下させる必要があり、堤体内下部に水位低下装置を設置した。このとき、堤体上流側的水中岩盤掘削にオールケーシング工法を適用、また堤体の穴あけ（矩形のトンネル）にFONドリル工法¹⁾を用いてダムコンクリートを割岩掘削した。つぎに、ダム本体を解体するが、経済性の向上を目指して発破解体を有効利用し、門柱の倒壊発破工法を開発するとともに、越流部の発破解体時には、直近に位置する国道・県道・JR鉄道・民家への発破振動・騒音を制御するために種々の雷管を使用し、環境に配慮したダム撤去工事を実現した。



図一1 撤去工事の概要

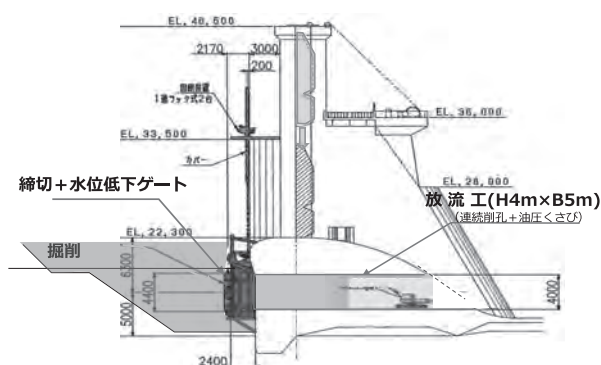
本稿では、ダム撤去のために導入・開発したこれら3つの技術について報告する。

2. オールケーシング工法

(1) 水中岩盤掘削工事の経緯

水位低下設備を設置するにあたり、上流側の設備設置箇所に岩盤が残っている可能性があったため、ボーリング調査を実施し、その存在を確認した。施工条件として非洪水期中に水位低下設備の設置を完了する必要があった。図—2に水位低下設備の縦断面図を示す。

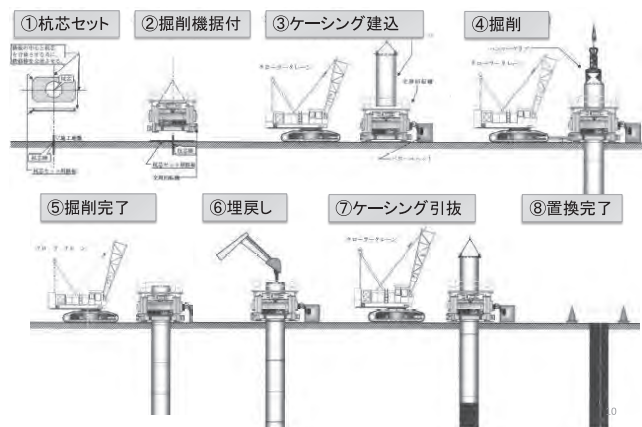
ここで、水中の岩盤を早期に確実な施工を行なう必要があったため、全周回転掘削工法により岩盤掘削を計画した。



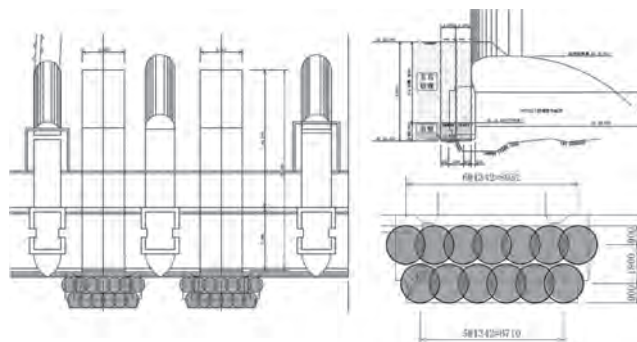
図—2 水位低下設備縦断面図

(2) 施工方法

施工するにあたり効率よく岩盤掘削を進めるため、ケーシング径をφ1,800mmとした。施工ヤードとして、上流側に盛土を行い、敷き鉄板を掘削箇所周囲に設置し、鉄板上に全周回転掘削機を搭載し掘削を行った。施工フロー図を図—3に、掘削平面配置図を図—4に示す。



図—3 オールケーシング施工フロー図



図—4 オールケーシング掘削平面配置図

(3) 施工結果

ボーリング調査の結果により、掘削の土質区分は掘削上面から玉石混じり礫が9.6m、硬岩2.2mで構成されており、岩盤強度は209MPaであることが判った。施工実績として岩盤に到達してからの掘削時間は掛かるものの、稼動時間9時間/日で日平均掘削量は26.3m³/日(1本/日)であった。

掘削状況写真を写真—1に示す。



写真—1 オールケーシング掘削状況(全景)

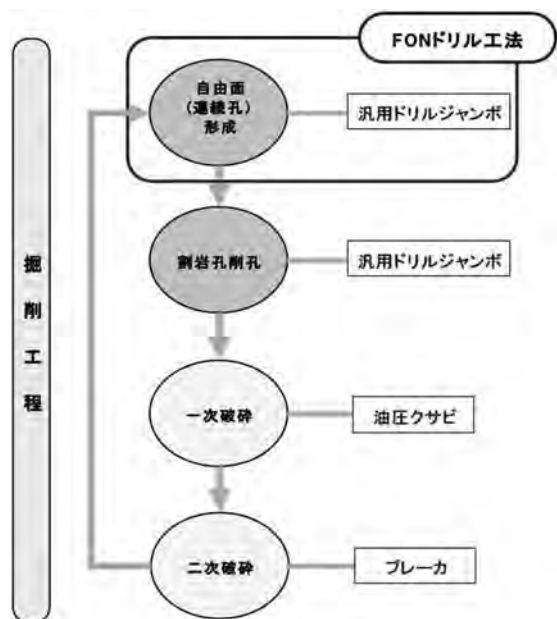
3. 水位低下設備の構築

(1) 水位低下設備

水位低下設備は、図—1で示した位置に既存のダム堤体内に図—2に示したような幅5m高さ4m、長さ17mの矩形断面トンネルを2基構築することから、既存堤体の構造に影響を与えない設計・施工が求められる。このため、この設備については全面無発破による掘削が求められ、割岩工法を採用した。

(2) 割岩工法によるコンクリート掘削

割岩工法とは、自由面を形成した後、岩石・岩盤の引張強度が圧縮強度の1/8～1/20程度であることを利用し、割岩孔の壁面に割岩機により力を与え、自由面に向けて引張応力を発生させることにより岩盤に亀

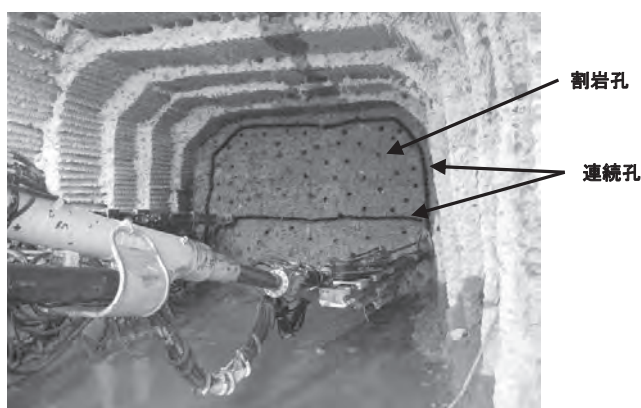


図—5 割岩工法施工手順

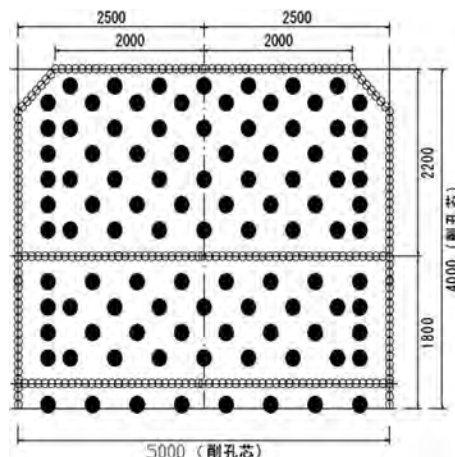
裂を発生させ破碎する工法であり、図—5に施工手順を示す。この際、形成自由面の連続性や汎用ドリルジャンボ使用の可否が重要な点となるため、FONドリル工法を採用した。FONドリル工法の特長は、①汎用ドリルジャンボのドリフター先端にSABロッドと呼ばれるガイドとなるロッドを取り付ける機構のため、自由面形成において専用機は不要、②機械の大きさ、性能を問わず、どんな汎用機械においても施工が可能のため、大断面から小断面まであらゆる断面に対応可能、③ビットがSABロッドを打撃しながら連続孔を穿孔するため、形成される自由面の連続性に優れ、形成される自由面の幅も在来工法より広いため割岩時の施工性が高い、という点にある。

(3) 施工結果

写真—2に自由面形成状況を、図—6に最終的に採用した穿孔パターンを示す。



写真—2 自由面形成状況



図—6 採用した穿孔パターン

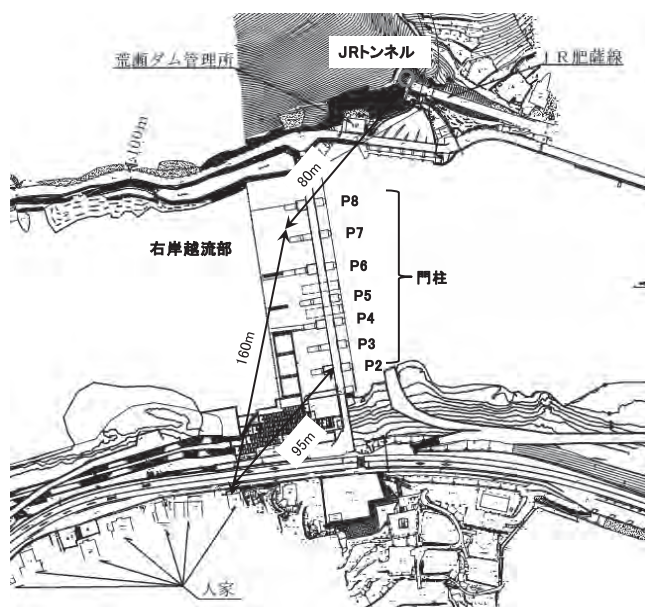
岩盤掘削とコンクリート掘削において大きく異なった点は、①非常に硬質な玉石状の粗骨材と、これと比較すると強度の低いセメントペーストの組み合わせだったため、穿孔時に粗骨材からペースト部へビットが逃げ、特に割岩孔穿孔時に穴曲りが発生した。これに対応するためリトラックビットを採用した。②岩盤と異なり掘削対象に大きな亀裂がないこと、また硬質な岩盤と比較するとコンクリートはいわゆる「しわい」材料のため大型油圧くさびによる割岩時に硬質岩盤ほどの発生亀裂の進展が見られなかった。このため、コンクリートの圧縮強度は 25 N/mm^2 であったが、図—6に示す割岩孔の配置は岩盤では $150 \sim 200 \text{ MPa}$ 程度の設計パターンとなった。これよりコンクリートを破碎対象とする場合の破碎設計は岩盤と異なることが明らかとなり、 150 kg 級のドリルジャンボ使用時にけるコンクリートに対する掘削歩掛かりが得られた。

4. 門柱および越流部の解体発破

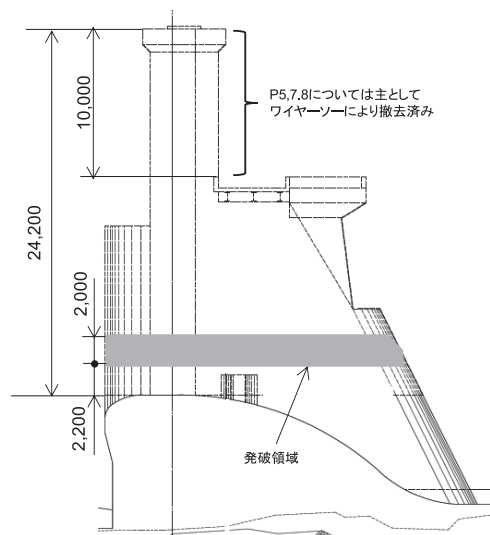
(1) 解体発破対象

これまでの解体発破の対象は、図—7に示すように門柱7基と越流部である。ここで、越流部の解体発破を開始した右岸越流部より右岸側には約 80 m の離隔でJR肥薩線のレンガ積みトンネル、左岸側には約 160 m の離隔で民家がある。また、最も民家に近接した門柱部P2と民家との離隔距離は 95 m となっている。このため、JRトンネル近傍の路線用擁壁において振動レベル、民家軒先において振動および騒音レベルを測定し、管理基準値を設定して基準値以下の発破となるように施工を進めた。設定した管理基準値は鉄道トンネルについての振動レベルは 89 dB （振動速度に換算して 2 kine ）以下、民家に対しては振動レベル 75 dB 、騒音レベル 96 dB としている。

門柱の解体は当初設計では上部から1.5～2.0 mずつ制御発破でびび割れを発生させて、油圧圧砕機（ニブラ）で下部へ掴み降ろす計画となっていた。しかし、油圧圧砕機には、小割りしたコンクリート片を把持して下へ降ろす機能はなく、運転席からも視野に入らないこと等から施工は困難であり、工程的にも非洪水期の限られた施工期間では処理不能と判断した。これより、P7・P8を対象とした試験施工時は管理橋上部10 mについては主としてワイヤーソーを用いて撤去後、残りの14 mについては図—8に「発破領域」と示した部分を1度の発破で破砕することにより上部を倒壊させる「倒壊発破」を実施したところ良好な結果が得られた。このため、P5を除く残りの4基の門柱については、工期短縮を図るために、上部を撤去することなく約22 mの高さを発破で倒壊させる「倒壊発



図—7 解体発破対象

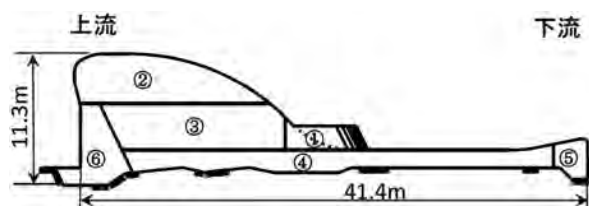


図—8 門柱部断面図

破工法」により解体することとなった。ここでは、右岸越流部の各種雷管を使用した解体発破と、全長22 mにわたる門柱の倒壊発破工法について示す。

(2) 種々の雷管を使用した右岸越流部の解体発破

右岸越流部の解体発破手順を図—9に示す。図に示すように、試験発破①で発破振動・騒音を確認後、②～④で越流部中心部上部より順次盤を下げていき、盤下げが終了した時点で下流側の最後の締め切りとなる⑤、上流側の締め切りとなる⑥を解体した。なお、解体撤去後はこの部分に川を転流した。



図—9 越流部解体発破手順

実際の施工では、以下に示す理由により②はDS雷管、③はMS雷管、④は秒時差をその場で設定できる新型電子雷管を使用した。なお、雷管の種類にかかわらず、装薬孔はほぼ垂直方向に穿孔し、孔間隔は2 mの格子状とすることを基本とした。表—1に各雷管使用時の振動レベル・騒音・低周波音を示す。

表—1 各雷管における振動レベル・騒音・低周波音

	JR トンネル (dB)		民家 (dB)		
	振動レベル	騒音	振動レベル	騒音	低周波音
DS	64	98	62	85	118
MS	76	98	75	79	121
電子	59	96	59	79	107

(a) DS 雷管による解体発破

図—9の②で示した部分は、図—2で示した越流部を左右に分割して2回の発破で解体することを試みた。ここで採用した全装薬量は228・302 kg、発破段数は10・14、最大斉発量は26 kg、発破係数は0.21・0.26 kg/m³であり、上流側より7列のベンチ発破とした。しかし、DS雷管では秒時差が250 ms以上あるため、発破により発生するガスが施工継ぎ目等より逃げてしまい不利なこと、また3列目以降は自由面からの距離が離れることにより、発破により亀裂は入るものの完全な分離はできないこと、などが分かった。

(b) MS 雷管による解体発破

この結果および民家側の騒音が予測より低かったこ

とを受け、図—9の③の部分はMS雷管を用い、2列ずつのベンチ発破とした。採用した全装薬量は211～222 kg、発破段数は10、最大斉発量は28 kg、発破係数は $0.28 \sim 0.29 \text{ kg/m}^3$ であり、これにより2列ずつ完全に解体することが可能となった。ただし解体が進むにつれて、特に民家側における振動レベルは大きくなる傾向が認められた。これは、解体が進むにつれダム本体の自重が軽くなり、これに伴いダム基盤の拘束力が小さくなったため振動が伝わりやすくなったと考えられ、これ以降については対策が必要となった。

(c) 新型電子雷管による解体発破

発破振動を低減するには、段当たりの斉発量を低減することが最も効果が高く、このため電子雷管が開発されてきたが、最新の電子雷管は秒時差をその場で決定できる。また、筆者らは、トンネル現場において秒時差が15 msでも振動は収束することを確認している。これより、1孔1段（段当たり2.5 kg、49段）・秒時差15 msで発破したところ、振動レベルはJR側54 dB、民家側59 dBと格段に低減された。

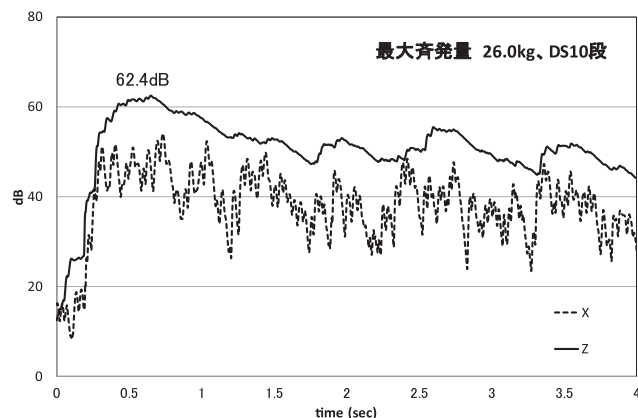
ここで、全装薬量は102～202 kg、発破係数は $0.24 \sim 0.30 \text{ kg/m}^3$ としている。図—10～12に民家側における各雷管の振動レベル計測結果を示す。

今回の結果より、旧設コンクリート構造物を発破により解体する場合には、①MS雷管のように段間秒時差の短い電気雷管を使用する方が有利なこと、②自由面からの距離は一定以内とすること、③解体が進むにつれて発破振動が大きくなる場合があり、電子雷管の使用などにより段当り装薬量を少なくする必要があること、が分かった。

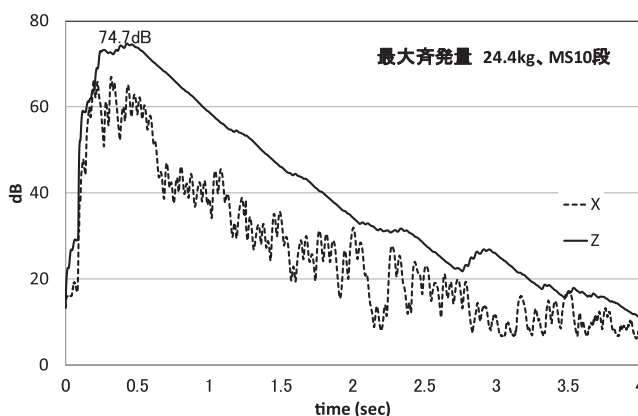
(3) 門柱部の倒壊発破工法

前述したように、門柱の撤去については平成26年度に門柱上部10 mを切断した形状で倒壊発破を試験施工したところ良好な結果が得られたことより、工期短縮および工費縮減を目的として平成27年度に撤去した5基のうち4基は上部を切断しないまま倒壊発破により撤去している。

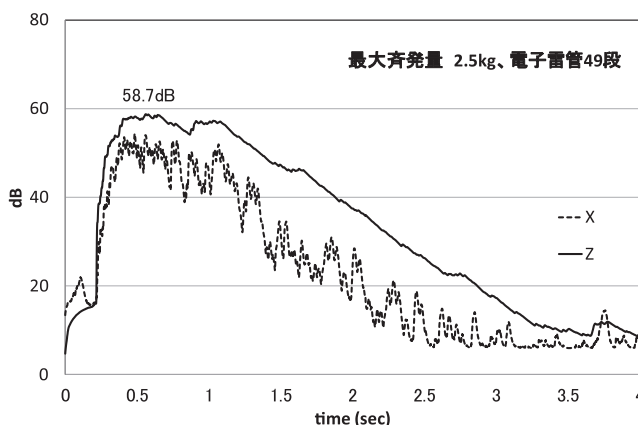
上部を切断したP7、P8の倒壊発破時には、発破振動・騒音、また倒壊時の門柱が地面に衝突する際に発生する振動については、管理基準値を下回る結果となったが、上部を切断しないで倒壊させると、門柱の自重は約1,400 tとなり、また門柱の位置が民家に近づくため、何らかの対応をしないと地面との衝突時に発生する振動は管理基準値を超過する可能性が高い。これより、事前検討を実施した結果、600 mm以下に破砕したコンクリート殻を使用した盛土（厚さ1 m）



図—10 DS雷管による計測結果（民家側）



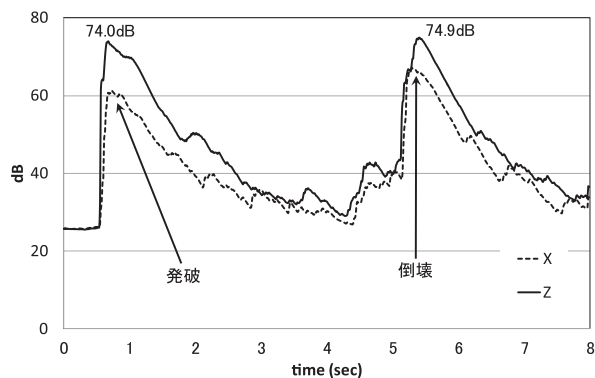
図—11 MS雷管による計測結果（民家側）



図—12 新型電子雷管による計測結果（民家側）

を倒壊範囲に施工後、さらにその上に200 mm以下に破砕したコンクリート殻を $H = 1 \text{ m} \times 3 \text{ 列}$ 、 $H = 1.5 \text{ m} \times 1 \text{ 列}$ の盛土を施工することで、これらをクッション材とすることにより管理基準値は満足できると想定した。

最も民家に近接したP2の倒壊発破時における民家で計測した振動レベル測定結果を図—13に示す。図に示されているように、発破時ならびに倒壊時ともに管理基準値以下の振動値を実現した。写真—3にP2の発破の瞬間を、写真—4に倒壊の瞬間を示す。



図—13 P2 倒壊発破時の計測結果（民家側）



写真—3 P2 倒壊発破 発破の瞬間



写真—4 P2 倒壊発破 倒壊の瞬間

5. おわりに

ダムの本格的な撤去工事は、荒瀬ダムが本邦初の工事である。このため、いくつかの課題に直面することとなった。本稿では、このうち代表的な工種について報告している。

他にも、いくつかの撤去工法を実施、映像によるアーカイブズの収録や長期材齢コンクリートの調査なども実施し、資料としている。

ダムは、重要構造物であり半永久的に運用するために設けられた施設であり、近年は運用の見直しや老朽化による改修工事が増加している。その多くは、ダムの運用を休止することなく貯水位を維持したまま工事を進めている。このため、上流側では水中作業、ダム本体では本体および機械設備への振動の影響、施工精度が求められ、水位変動によるダム挙動に追随した仮設備など課題を抱えている。本工事で応用・開発した技術は、これまでの改修技術に対し、安全性、経済性、施工性の面からも十分に適用できることを確認できた。

J C M A

《参考文献》

- 1) 野間他：硬岩の小断面避難連絡坑における割岩掘削，土木学会トンネル工学報告集第15巻，2005.

【筆者紹介】

宮地 利宗（みやち としむね）
 (株)フジタ
 九州支店 土木工事部
 荒瀬ダム作業所長



野間 達也（のま たつや）
 (株)フジタ
 建設本部 土木 EC トンネルシールド部
 主席コンサルタント

