

発破によるコンクリート構造物撤去

施工結果を次段階施工へフィードバックして、ダム本体撤去を効率化

宮 地 利 宗

平成 30 年 3 月に熊本県営「荒瀬ダム」の撤去工事が完了した。撤去の目標として、ダム建設前の川の姿に戻すことである。全国において、昭和 29 年 12 月から昭和 48 年 11 月までの約 19 年間の高度成長期に建造され、老朽化した施設の補修・補強工事や役目を終えた施設の撤去工事が計画・実施されている。本工事は、コンクリート構造物の撤去を、生態系や周辺環境への負荷低減を考慮して行うための一つの工法として、発破による事例を紹介する。

キーワード：構造物解体、廃棄物利用、発破、河川内施工、在来線近接作業

1. はじめに

荒瀬ダムは、日本三大急流の一つである球磨川の河口から約 20 km の地点に「球磨川地域総合開発計画」に基づき建設された発電専用ダムである。昭和 29 年に発電を開始、当時はその発電量が県内電力の約 16% を占め熊本県経済に大きく貢献しその後 50 年にわたり電力を供給してきたが、平成 22 年 3 月 31 日に荒瀬ダム水利権が失効したことから発電を停止した。

撤去までの経緯として熊本県は、平成 14 年度にダム撤去を判断し、準備に必要な期間を考慮し、平成 22 年 3 月までの 7 年間の水利権を更新した。しかし、平成 20 年度に撤去費用の増加による多額の資金投入が不可能であることや地球温暖化が進む中、水力発電の意義が再評価されたこと等を鑑みて、ダムの存続を判断した。しかし平成 21 年度末に水利権が失効するのに伴い、新たに水利権の申請が必要となり、関係者の同意を得ることが非常に困難と判断し、平成 22 年 2 月に改めてダム撤去の方針を固め、2 年間の準備期間を経て、平成 24 年度からダム撤去工事を発注、以降 6 ヶ年を掛けてダム本体の撤去を行った。

施工場所は一級河川球磨川の河川内である。球磨川（一級河川）は水量が多く、清流球磨川としても知られており、鮎漁が盛んな河川である。

河川内で施工できる時期は鮎の生息育成に配慮した期間の 11 月中旬から 2 月末までの 3.5 ヶ月であるため施工期間が非常に短い。本工事は、このような施工条件のもとで実施する、全国でも前例の少ない、発破によるダム本体の撤去工事である。

発破箇所から 100 m 以内に保安物件として県道・国道、民家があり、振動・騒音規制法により騒音 75 dB 以下（発破時の瞬間最大 96 dB 以下）・振動 75 dB 以下になるように施工した。また、ダムの右岸側には JR 九州肥薩線が走っており、JR トンネル箇所では 2.5 kine 以下に定めて施工にあたった。

また河川内の工事であり、飛び石等によるコンクリート殻の飛散防止に留意する必要があった。

ダム本体の撤去は前例も少なく、工事内容には技術的に確立されていないものが多かったため、日々の工事を試験施工と位置付けて施工結果を次段階の施工にフィードバックし、施工仕様や施工方法の改善に継続的に取り組んできた。

今回の報文では、本撤去工事の中でも特に課題が多く、時として試行錯誤的な過程も経ながら施工を進めた、門柱コンクリート（有筋）の倒壊発破による撤去工事、および河川水位以下の堤体コンクリート（無筋）撤去工事について報告する。

以下に、工事概要を記載する。

工事名称：荒瀬ダム本体等撤去工事

発注者：熊本県企業局

工事場所：熊本県八代市坂本町荒瀬地内

工期：平成 24 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 20 日

施工：フジタ・中山建設工事共同企業体

施工内容：

撤去延長 $L = 148.4 \text{ m}$ （堤頂長；210.8 m）

構造物撤去工（ダム本体取壊し） $V = 27,013 \text{ m}^3$

導水路トンネル埋戻し $V = 22,931 \text{ m}^3$

仮設工（仮設橋梁 2 橋、仮締切 他）1 式

機械設備工（水位低下設備、既存ゲート・発電機等撤去）1式

公園設備工（左右岸部）1式

現場位置図を図一1に撤去概要図（上流面図）を図一2に示す。

以下にダム本体撤去の順序を示すが、年度毎に1段階ずつ作業を進める計画であった。

- ①第1段階は、荒瀬ダム貯水位を低下させるべく、堤体内に水位低下設備（排水路）を2条掘削。内1条に通水してダム貯水位を低下。右岸端部の鋼製ゲートを撤去。
- ②第2段階は、初年度に引き続き水位低下設備（水路及びゲート）を完成（2条通水）させるとともに、鋼製ゲートの撤去を右岸側から順次実施。右岸側門柱上部（ダム天端より上の部分）を、ワイヤーソー等を用いて切断撤去（3基）した後に、



図一1 荒瀬ダム位置図

管理橋を右岸側3径間撤去。この後に右岸側門柱の倒壊発破を実施（2基）。

- ③第3段階で、全ての鋼製ゲートを撤去。水位低下設備を用いて球磨川の流れを左岸側に切り替えて、右岸側堤体コンクリートを撤去し、右岸側にみお筋を確保。
- ④第4段階は、ダム中央部～左岸側の門柱を撤去（5基）。内4基は門柱上部を残した状態で倒壊発破を実施。
- ⑤第5段階は、左岸側堤体コンクリートを撤去。
- ⑥第6段階は、公園等周辺整備を実施。

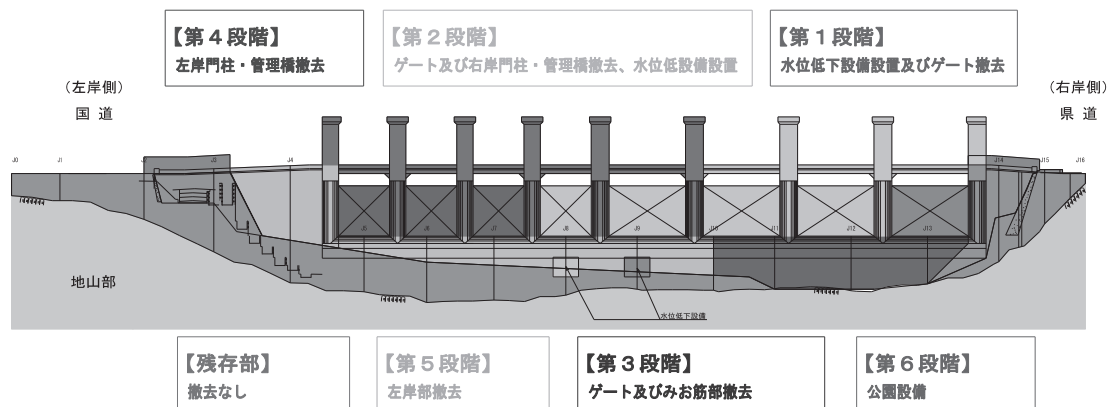
2. 門柱部の倒壊発破計画と検証

当初、門柱部撤去計画では、ウォールソーで鉄筋を切断したうえで、高さ2mごとに発破し、重機で下に落とさせる予定であった。しかし、この工法では高所作業が発生し作業足場の確保が必須となるが、発破時に毎回足場を撤去して発破後に再設置することになるため、非洪水期の限られた施工期間内に目標の基数の門柱を撤去することが困難であることが判明した。そこで、可能な限り高所作業を削減し、工程の短縮を図るとともに危険な作業を回避して安全性を向上させることを目的として、門柱の低い位置から倒壊させる工法を検討した。

(1) 倒壊発破準備

門柱を倒壊させるには、まず倒壊させる躯体高さを門柱間隔（15m）以下にする必要があるため、柱上部を所定の高さまでワイヤーソーにより切断撤去した。

門柱を堤体から切り離して倒壊させる箇所に、発破によりクサビ形の切込みを設ける計画とした。コンクリートに内包されている鉄筋等を、ウォールソーおよ



図一2 撤去概要図（上流面図）

びワイヤーソーを併用して事前に切断して、埋設物の影響を回避することにより、発破時に正確なクサビ形状の切込みを形成できるようにした。

(2) 雷管・爆薬の選択

騒音・振動を抑制するにはDS雷管が適しているが、門柱が倒れ始める前にクサビ形の切込みを形成する必要があるため、極力瞬間的に所定量のコンクリートを取り除けるように、電気雷管は秒時差の小さいMS雷管を選択した。

爆薬の径は孔間隔を極力狭めることによりコンクリートを残存させないようにするためφ30mmの爆薬を選択した。

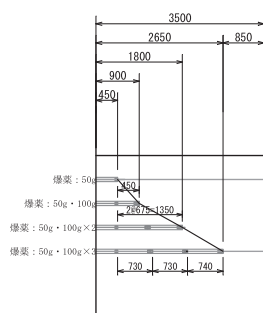
(3) 試験施工

試験施工として、倒壊させる構造物の一部に発破を仕掛け検証を行なった。過去の文献を参考に発破計画を実施した。

計画は、直角三角形（下面が水平）に噴出させるパターンと若干下面に角度を付けたパターンとしたが、試験施工は穿孔角度を水平にして、孔間隔を0.5mとし、全孔同時発破とした。

結果は、コンクリート表面から0.5m程度までしか噴出せず、倒壊させるには不十分であった。この時の

パターン1 (MS3段)



パターン2 (瞬発)

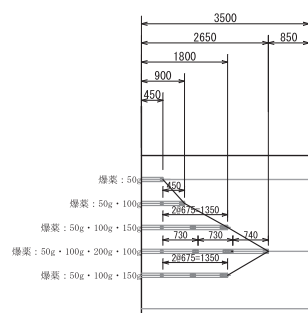


図-3 発破パターン図



写真-1 発破後の状況

発破パターン図と発破後の写真を図-3と写真-1に示す。

(4) 本施工 (第2段階) 右岸側門柱2門撤去

試験施工の結果により、水平穿孔では十分な効果が得られないことが判明した。

試験施工の反省点を踏まえた上で、試験施工を行った門柱にて第1回目の倒壊発破を実施した。孔配置はトンネルの芯抜き発破からヒントを得て、上下に角度を付けて斜めに穿孔し、中心から外側に雷管による段差をつけ、孔間隔は試験発破と同じく0.5mで計画した。電気雷管は瞬発とMS雷管3段と5段を使用した。門柱の形状や埋設物の影響により倒壊する躯体がバランスを崩すことがないように、また、門柱の上下流側の円形部や鋼製ゲートの角落し部は大型ブレイカにて事前に撤去しておいた。

発破パターン図と倒壊状況写真を図-4と写真-2に示す。

この発破パターンを隣の門柱に適用したところ、同様に良好な効果を得ることができた。

標準部

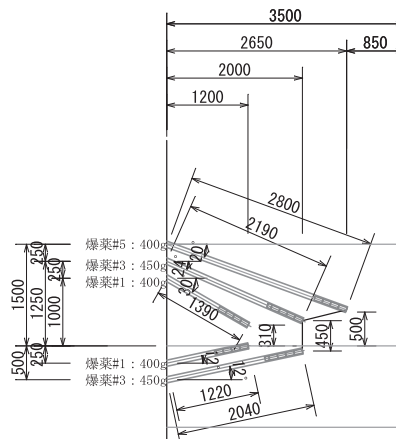


図-4 発破パターン図



写真-2 発破の状況

(5) 本施工（第4段階）左岸側門柱5門撤去

第2段階の発破が成功したことにより、第4段階では門柱上部を残した状態で倒壊させることを目標に計画した。

まず門柱1本を第2段階と同様の撤去方法（上部をワイヤーソーにて事前撤去後、倒壊発破）にて倒壊～撤去し、2径間分の倒壊スペースを確保した。門柱上部がある状態で倒壊しても隣接する門柱と接触しないことを確認後、門柱を上部とともに倒壊させることにした。しかし、事前の解析結果により門柱の上部・下部の重量を合計すると10t以上と重くなり、倒壊時の振動が規制値である75dBを超えることや、門柱のバランスが悪いため転倒方向の制御が難しく、上流側に転倒してしまう可能性が高いことが判明した。

振動対策として、三角形に盛土を行ない、振動を分散させることにした。また、転倒方向制御対策としては、門柱の事前撤去部を一部残して、門柱上部の重量を支えることでバランスを保つこととした。

振動対策の盛土と転倒方向制御対策の支え部と発破状況の写真を写真—3～5に示す。また、門柱撤去順図を図—5に示すように、まず①の門柱を倒壊・撤去を行い、②の門柱を倒壊させられるスペースを確保した後に②の門柱を倒壊・撤去した。その後は順次③・④・⑤の順に倒壊・撤去を行った結果、全ての門柱の倒壊方向を制御し、予定通りの方向へさせることができた。

(6) 振動・騒音

振動については、民家側は全て規制値内【振動：75dB以下（JRトンネル箇所では2.5kine以下）】で収まり、JR側ではP8の発破時に最大0.63kineを観



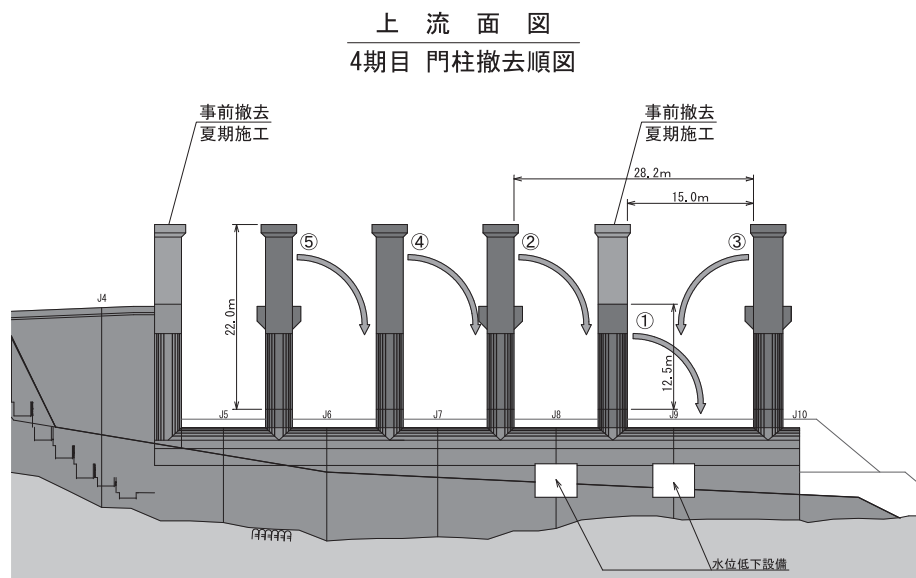
写真—3 振動対策盛土



写真—4 転倒方向制御対策の支え部（残柱）



写真—5 発破状況



図—5 門柱撤去順図

測したが、規制値 2.5 kine 以内に収まった。

騒音については、規制値を 75 dB 以下（瞬間最大 96 dB 以下）としていたが、ほぼ規制値を満足した。

振動対策としては、高さ 1 m の盛土（河床砂利や破碎したコンクリート殻）を緩衝材とし、門柱全体（上部＋下部）を倒壊させるものについては、さらに緩衝盛土の上に三角形の高さ 1 m の盛土（破碎したコンクリート殻を使用）を 4 列作成し、倒壊時の振動抑制を実施した結果、振動は規制値内に収まった。

3. 堤体部の発破計画と検証

本コンクリート構造物は水平打ち継ぎが 0.5 m ～ 1.0 m 毎にあり、爆轟反応により発生したガスが抜け易い状態になっている。また、コンクリートの配合区分や打設位置や時期の違いや骨材のばらつき等により、破碎効果に差異が出るがあった。

使用されている粗骨材は 150 mm 以下の丸みを帯びた河床砂礫であることから、爆破による振動でモルタル分がきれいに剥がれ落ちバラバラになる傾向が見られたものの、一方では岩盤のような割れ目が少ないことから穿孔間隔どおりの大割れになる場合もあれば、コンクリート打継部の脆弱部からのガス抜けにより、期待通りの発破効果が得られず弱装薬状態となったため、鉄砲現象を起こすこともあった。

堤体左岸側の発破作業においては、地上部を 2 ブロック、水中部を 3 ブロックに分け発破効果の検証を行なった。本報では、河川水位以下となる右岸側の撤去作業における施工上の配慮と施工結果について報告する。発破ブロック順序図（下流面図）を図—6 に示す。

(1) 雷管・爆薬の選択

原設計は電気雷管（DS）と含水爆薬（ ϕ 30 mm）

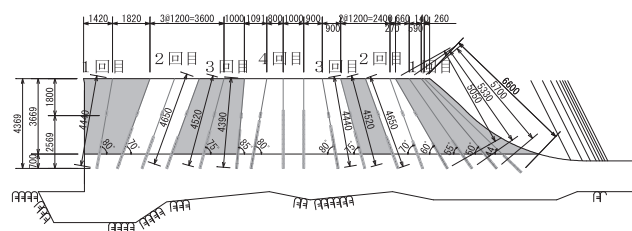
を使用したベンチ発破となっていた。

騒音を抑制するには DS 雷管が適しているが、飛石等の発生や爆轟によるガスの抜けを抑制し発破効果を確実に得るために、秒時差の早い MS 雷管を選択した。最小抵抗線と孔間隔を極力広げ、穿孔数量を少なくして工程短縮を図るために含水爆薬の直径を ϕ 30 から ϕ 50 mm に変更した。

(2) 穿孔パターン

水中部の穿孔径は地上部と同様としたが、最小抵抗線と孔間隔はコンクリート破碎殻がバックホウで回収できるように、1.2 m 以下の千鳥配置とし、穿孔角度 $45^\circ \sim 90^\circ$ で計画・実施した。また、発破回数の低減と工期短縮のため、上下流側を同時に発破した。

撤去ラインまでコンクリートを確実に破碎するため、1 回で発破する列は 1 方向につき 3 列以下とし、地上部での発破結果を考慮し、サブドリリングを 0.7 m とした。



撤去高が一番高い発破パターン図（1ブロック）及び撤去高が一番低い発破パターン図（3ブロック）を図－7，8に示す。

（3）発破係数

水中発破は、弱装薬による破碎不足が懸念されたため、確実に破碎できるよう水中発破の標準係数より多く計画した。まず1回目の発破で確実に破碎し、次の発破の抵抗線を確保するため多めの係数約0.7 kg/m³で発破を実施し、順次効果を確認しながら係数を調整した。

水深が浅くなると、発破による飛石が発生し易くなることが想定できたため、徐々に係数を下げていった。

（4）周辺環境を考慮した水中発破養生

水中発破においては、振動により河川水に濁りが生じるため、発破範囲を河川土砂で締め切り濁水の流出を防止した。また、吹き上がる濁水を流出させない対策として、締め切りの法肩部に土堰堤を築造した。

水中発破状況写真を写真－6～8に示す。



写真－6 発破前



写真－7 発破中



写真－8 発破後

（5）振動・騒音

水中発破は地上発破と違い、騒音については水中発破の方が地上発破と比べて10 dBと大きく低減した。振動についても1段当りの最大斉発量を18.0 kg～28.8 kgと地上部より多くしたが、同程度の振動で収まった。

結果的に、環境基準を超えることはなく、発破作業を完了することができた。また、前項で記したように河川土砂で締め切りを行い、影響範囲を限定することで、魚類や水中生物への影響はなかった。

（6）飛石対策

飛石対策としては、孔口に土のうを被せたり、砂を盛ったり、防爆シートを敷設したりするが、孔数が最大80孔と多く、また回収作業を容易に行なえるよう、強靱な素材のパラウェブ・マットを使用した。

養生の状況写真を写真－9，10に示す。



写真－9 パラウェブ・マット設置（発破前）



写真－10 パラウェブ・マット設置（発破後）

（7）破碎効果まとめ

以上の対策によって、十分な破碎効果（底面に撤去残りがなく計画形状を確保するとともに、バックホウで容易に撤去可能な破碎粒度）を得ることができた。これより水中部のコンクリート殻をバックホウにより所定の高さまで容易に撤去することができた。また、振動・騒音を基準値以内に抑制し、飛石を防止したことにより、周辺の家屋や道路・鉄道、および球磨川の

河川環境に対する影響を最小限度に抑制できた。

4. おわりに

本工事に際して、近隣住民及び球磨川の河川環境に対して細心の注意を払って施工した。全国でも稀有な施工例ではあるが、失敗が許されない状況の中、安全と周辺環境への配慮を最優先とし、工程を厳守するよう計画し、トラブル等を発生させることなく当該工事を完了することができた。

環境モニタリング調査によると、ダム上流の河川内に建設前と同様に瀬が復活した。また止水環境から流水環境に変化したことにより、回遊魚や流水性種の確認割合が増加した。さらに、ダム上下流において、底生動物の種数や多様性が増加した。

最後に、発破によるコンクリート構造物を撤去する際は、年代によるコンクリートの性状（骨材の種類等）

をよく見極めて計画する必要があることが判った。骨材が川砂利等の玉石であれば、発破振動により骨材とモルタルが分散し易いが、本工事の仮設重力式擁壁を撤去した結果によると、骨材に碎石を使用している場合は、骨材とモルタルの付着強度が増して分散しにくい傾向がみられた。

今回の撤去事例を一つの指針として頂ければ幸いである。

J C M A

【筆者紹介】

宮地 利宗（みやち としむね）
フジタ

