

築60年を超える既設ダムリニューアル工事

狭隘断面の堤体削孔工法

金 木 洵太朗・大 西 仁 志・平 山 哲 也

栃木県日光市にある五十里（いかり）ダムは、鬼怒川の洪水調整用ダムとして大正15年から調査が始まり、昭和25年に着工、昭和31年に完成した、当時国内最大の重力式コンクリートダムである（堤高：112m 堤頂長：267m 堤体積：468,000m³）。

当ダムは完成から既に62年を経過しており、下流の河川環境保全と設備の老朽化のため新たな放流設備の更新が必要とされた。本工事では、放流配管を堤体上下流方向に貫通させる工事を、非出水期という限定された短期間で行う必要があった。また堤体削孔断面は狭隘なため、機械化施工が厳しい条件下で施工しなければならない。本稿では、近年増加傾向にある既設ダムの再開発事業の取り組みとして、現在施工中である五十里ダム施設改良工事において、これまでに実施した堤体削孔工法及び無人切削機械の施工事例を紹介する。

キーワード：ダムリニューアル、堤体削孔、狭隘断面、連孔スリット掘削方式、無人化施工機械

1. はじめに

五十里ダムは、利根川水系鬼怒川上流ダム群の一角として洪水調節・利水運用を行っており、平成27年の「関東・東北豪雨」においても、洪水調節等で下流の被害軽減に寄与している。しかし、現状の設備では取水口がダム湖底部にあり、出水後の放流水の濁りが長期にわたり、ダム湖底部の水温の低い水を放流して

いるため、下流域の生態系や利水運用に影響があった。今回実施する「選択取水設備」の新設により、ダム湖の取水高さが切り替えられるようになり、出水後の放流水の長期の濁りを解消することができるとともに、下流の水温に合わせた位置で取水・放流ができ、下流域生態系への影響を軽減することが可能となるため、当該河川流域の治水・利水・環境の面で有用な設備として期待されている。図-1に事業概要図を示す。

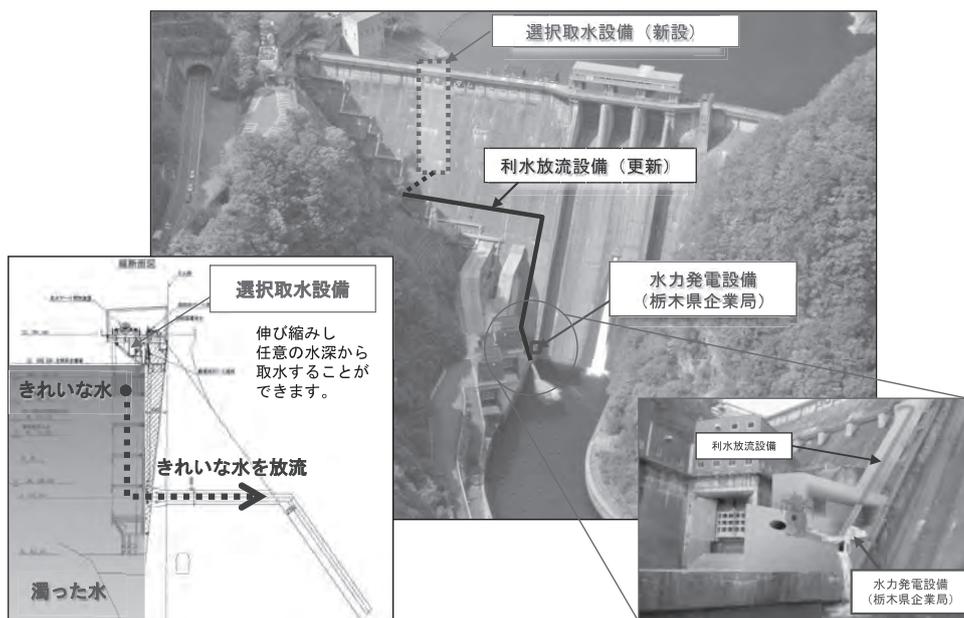


図-1 事業概要

2. 五十里ダムにおける堤体削孔工事

(1) 五十里ダム施設改良工事の概要：

本工事は、①上流側に取水設備コンクリート工（H：40 m W：10 m V：664 m³）、②下流側の堤体下流放流管コンクリート工（1,099 m³）、③放流設備コンクリート工（2,970 m³）、④ダム中腹の堤体削孔工（2.6 m × 2.6 m 馬蹄形、L：26 m）、及び放流管設置後の閉塞工（高流動コンクリート：130 m³）がある。取水設備、配管及び発電設備等の機械設備は別業者工事となるが、同時期の施工となるため、工程調整を行いながら工事を進めていく必要がある。図-2、3に工事概要断面図と3D模式図を示す。

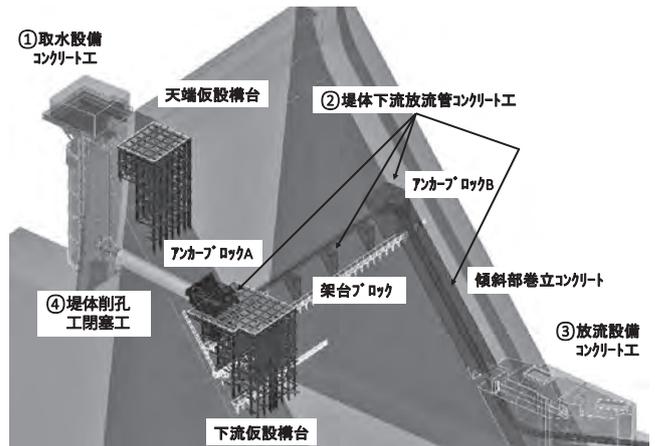


図-3 3D 模式図

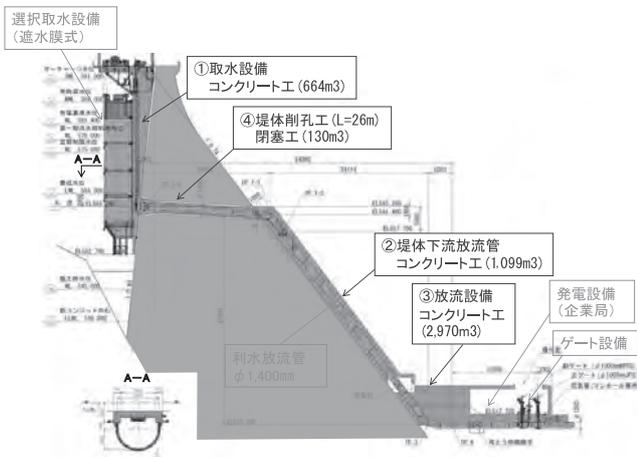


図-2 工事概要断面図

(2) 堤体削孔計画

堤体削孔は、下流側から削孔を開始し、上流側へと貫通する。図-4に堤体削孔計画図を示す。削孔断面形状は、通常部が2.6 m × 2.6 mの馬蹄形、貫通部が3.8 m × 3.8 mの矩形形状（ベルマウス）であり、削孔延長は約26 mで、下流方向に6.9%の勾配である。施工は、出水期の6月から10月まで1次削孔を行い、非出水期の貫通部より水位が下がる11月から2次削孔を実施し、出水確率の低い1月以降に3次削孔を行い貫通する。

堤体削孔を行うにあたり、まず機械の選定を行った。現地の条件として、五十里ダムの天端幅は5.5 mであり、作業床に機械を降ろすための揚重機は最大

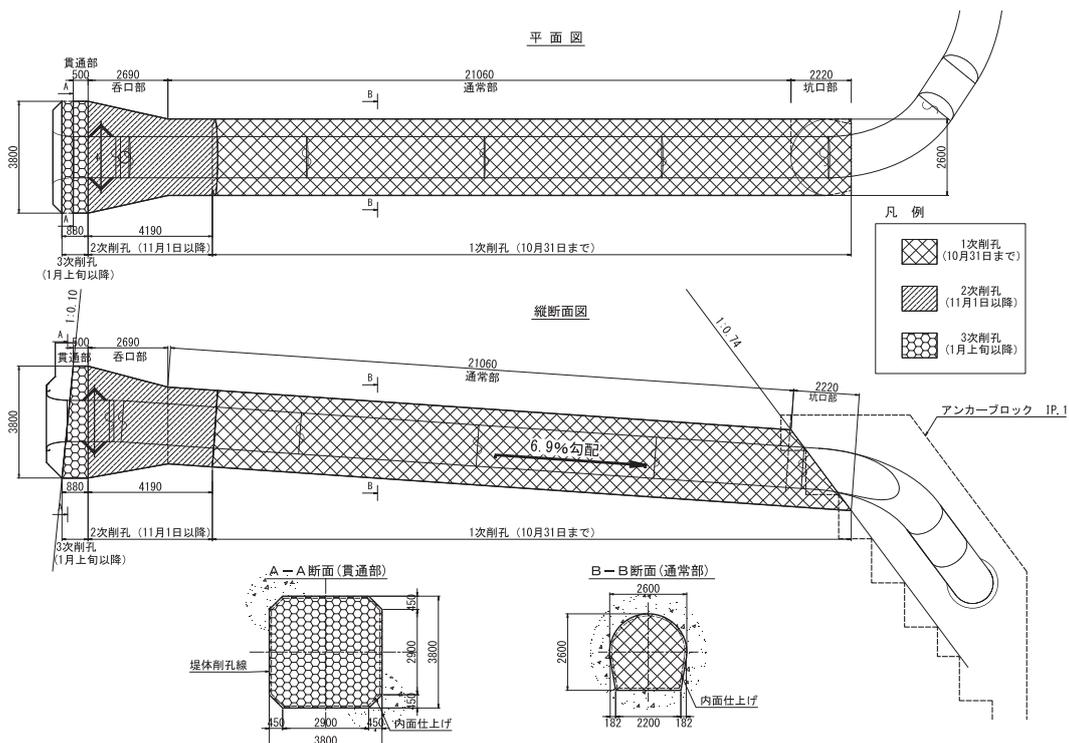


図-4 堤体削孔計画図

80 t級クローラークレーンに限定されてしまう。さらに削孔断面が狭いため、自由断面掘削機のような大型の機械で削孔することが出来ない。また既設堤体にひび割れがあるため、堤体への衝撃・振動等の影響を極力与えないようにする必要があり、発破工法やブレーカー等の打撃破碎機の使用も難しい。以上のことから、軽量・小型の機械で施工でき、既設堤体への影響が少なく、かつ傾斜面への対応が可能であり、工期・コスト面で有利となる「連孔スリット掘削方式」を採用した。

(3) 連孔スリット掘削方式

連孔スリット掘削方式とは、既設堤体に衝撃を与えずに、掘削断面の外周をドリルまたはボーリング機械により連孔削孔し、既設堤体と分離したあと内部のコンクリートを破碎・搬出する。その中で削孔方式の異なる以下の二つの工法について検討した。

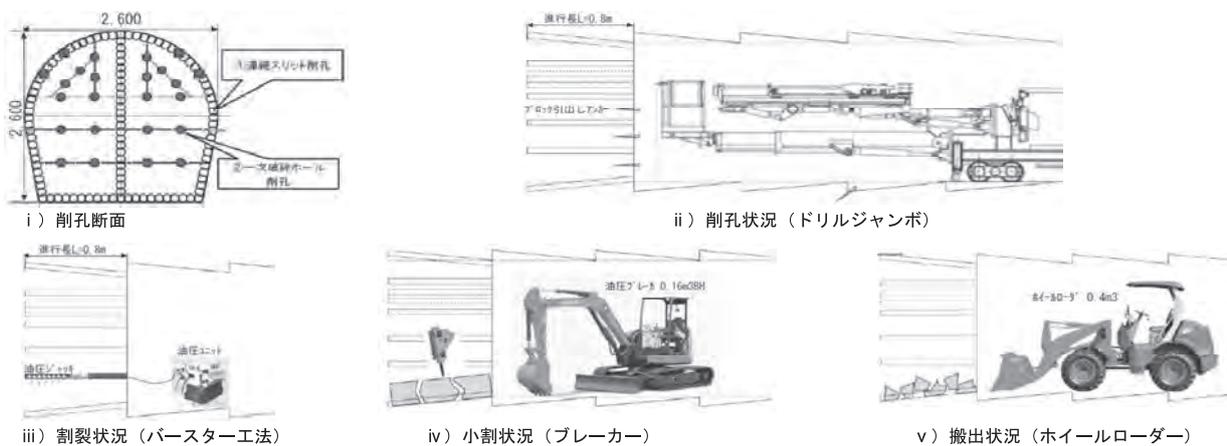
- ① FON 工法方式：ドリルジャンボで連孔削孔し、空けた孔に油圧ジャッキを差し込み割裂（バースター工法）した後、ブレーカーでさらに細かく

く破碎し、ホイールローダー等で搬出する工法。
 図一5に施工概要図を示す。

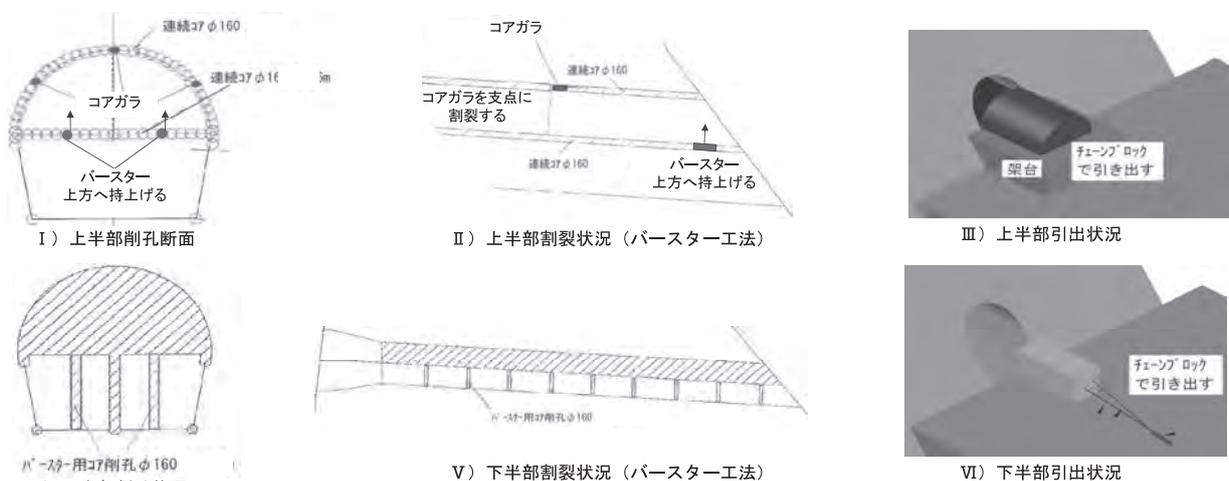
- ② コアボーリング方式：削孔断面を上半部と下半部に分け、コアボーリングマシンにより水平連続コア削孔し、①と同じくバースター工法で割裂後、大きく割ったコンクリートブロックを引出し、ワイヤーソーで揚重可能な大きさに切断して搬出する工法。図一6に施工概要図を示す。

①では、ドリルジャンボのブームの取り回しが制約されること、小割り時のバックホーや搬出時に使用するホイールローダー等の施工機械も、狭隘な坑内での効率性・安全性に懸念がある。

②では、削孔にはコアボーリングマシンを使用するので、施工性で有利なこと、その他に重機等を使用しないので安全性を高めることが出来る。また①では、0.8 m 程度ずつ機械を入れ替えながら進んでいくのに対し、②では一度に奥まで同じ作業を繰り返すため、サイクルタイムの短縮になり、工程的に有利である。以上のことから、②のコアボーリングマシンを使



図一5 FON 工法方式 施工概要図



図一6 コアボーリング方式 施工概要図



図一七 施工フロー

用した連孔スリット掘削方式を採用した。図一七に施工フローを示す。

(a) コアボーリング

馬蹄形上半部の外周と下半部ワイヤーソー切断用の通し孔をコアボーリングにて貫通部手前まで削孔する。(削孔径：φ 160 全削孔延長：1,340 m) 3mごとにコアガラを撤去した後、再度上流へ向けて穿孔し、終端部では20m以上のケーシングの出し入れをしながら削孔を行った。またコンクリート設計強度は24 N/mm²だが、既設ダムコンクリートの骨材は良質堅硬な玉石が多く、100 N/mm²以上の硬度があるため、削孔速度が計画では40 m/日であったが実際は28 m/日と削孔進捗を妨げられ、工程を確保するため昼夜施工で対応した。

(b) コンクリートブロック引出し

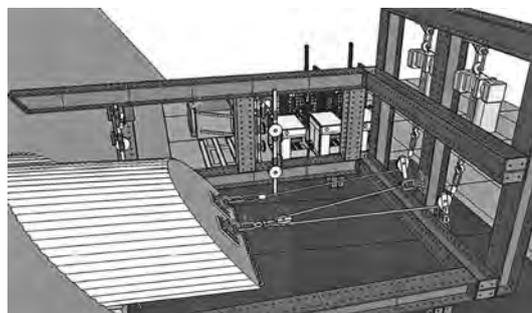
上半部コアボーリングの完了後、ボーリング孔に油圧ジャッキを差込み、てこの原理で坑内でコンクリートブロックを割裂する(バスター工法 写真一2)。図一八に示すような架台を設置し、割裂したコンクリートブロックを電動チェーンブロックと滑車を利用して引き出す(写真一3)。引き出したコンクリートブロックを揚重可能な大きさにワイヤーソーで切断し、搬出する。以上を繰り返し上半部を撤去した後、下半部をワイヤーソーで切断、バスター工法により小割りして引出し撤去する(写真一4)。



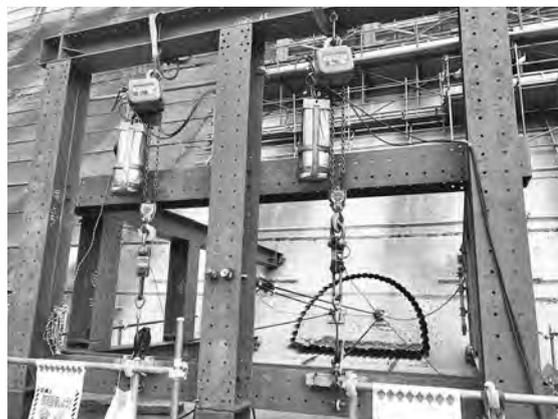
写真一 コアボーリング施工状況



写真二 割裂状況 (バスター工法)



図一八 引出し架台概要図



写真三 コンクリートブロック引出状況 (上半部)



写真一四 コンクリートブロック引出状況（下半部）



写真一六 貫通後（下流側から望む）

割裂するコンクリートブロックは、長さ4mのブロックで重量24t程度となり、コンクリート面でのすべり係数を0.5（実験値）として引出し荷重を12t程度と算出した。しかし、既設ダム施工時に上下流方向へケーリングパイプが設置されており、その破断荷重も考慮して、最大引出し荷重40tで引出し可能な架台と電動チェーンブロックを設定した。今回の施工においては最大のもので、長さ7m・重量45tのブロックを引出し荷重24tで引き出した。

(c) 貫通部（呑口部）

平成29年12月までにコンクリートブロックの引出しを完了させ、平成30年1月から貫通部の施工を行った。貫通部は、通し孔を開けワイヤーソーで周囲を切断したが、壁面とのクリアランスがないため写真一5のように分割して引き出しを行った。貫通後の写真を写真一6、7に示す。また呑口部は、写真一8のように上流側からコアボーリングにて連孔削孔し矩形に成形した。



写真一七 貫通後（坑内）



写真一八 貫通部（呑口部）



写真一五 貫通部引出状況

(4) 壁面切削

前述した連孔スリット掘削方式で施工した壁面は、コアボーリングの連孔により波形状になっており、またワイヤーソー切断した面は滑面になっているため、壁面の整形と配管後に施工する充填コンクリートの付着をよくするためにチッピングを行った。

従来機では、切削機のアタッチメントが取り付け可能なベースマシンは0.25 m³級バックホウとなるが、それではこの狭隘な坑内に収めるのは不可能であった。また有人機だと切削面が近く、跳ねたコンクリー



写真一 9 無人施工機械



写真一 10 小型回転式切削機

ト片がオペレーターに当たる恐れがあり、安全性に懸念があった。そこでスウェーデン製無人施工機械(W:1.0m L:2.5m H:1.5m 重量:1.6t)を導入した(写真一9)。以下に無人施工機械の特徴を示す。

- ・キャビン等が不要でコンパクトなサイズのため、狭隘部での施工が可能である。
- ・小型の割に強力な油圧システムを採用しており、従来の同サイズの機械では扱えないアタッチメントが使用できる(0.07 m³級バックホウサイズで0.25 m³級バックホウサイズのアタッチメントの装着が可能)。
- ・アウトリガーを張ることにより、強力な掘削性能の反力を確保できる。
- ・リモコン操作によりオペレーターが離れた場所から操作可能で、ハツリ作業による飛石や上部からの崩落の恐れのある場所でも安全性が確保される。
- ・オペレーターが搭乗しないため、振動機械作業使用時の振動障害を防ぐことができる。
- ・電動モータ駆動方式で、騒音が小さく、排ガス等の発生もないため、作業環境が改善される。

実際に切削を開始すると、オペレーターが機械に搭乗しないため、切削時に飛散する飛石等に接触することがなく、坑内部での施工でも安全に対するリスクが回避でき、今後の狭隘部施工でも使用できることが証明できた。

無人施工機械のアタッチメントには、コンパクトな施工機械に対応できる小型回転式切削機を使用した(写真一10)。写真一11～14に施工状況写真を示す。こちら重量が130kgと軽量なため、今回の使用機械に装備できるよう接合部を改造し使用した。しかし、切削性については、コア削孔時に確認した高強度の骨材が想定以上に密に入っていたため、小型切削機の能力を超えてしまい、切削能力が計画では1.0 m³/h(既設ダムコンクリート強度24 N/mm)に対し0.2 m³/h



写真一 11 底盤切削状況



写真一 12 坑内配置状況



写真一 13 側壁切削状況



写真-14 切削完了（呑口部）

と著しく低下し、工程遅延の恐れがあるため昼夜施工で対応し完了させた。また、ビットやドラム部分が骨材の硬度に耐え切れず、磨耗や破損が多く、高強度岩等に合わせた小型回転式切削機の開発が課題となった。

3. おわりに

現在、堤体削孔部は坑内に放流管（別途施工）を設置して充填コンクリートを打設し、閉塞工を終了した。ダム湖の水位も回復し、放流管呑口部の上部まで湛水しているが、閉塞部の上流からの漏水もなく、高度な品質を確保できている。

五十里ダム施設改良工事は、他の躯体工事を継続施工中であり、狭隘で峻険な作業環境であるが、今後も安全管理・品質管理を徹底し、無事故・無災害で鋭意進めていく所存である。

当工事は、狭隘な断面での施工と、仮締切等の大掛かりな仮設備を使用せず非出水期内に堤体削孔・閉塞

を完了させるという厳しい条件下での施工であったが、技術面・安全面・品質面の数々の課題を克服し、非出水期内の施工を完了することが出来た。

今後、既設ダムの再開発事業の増加が見込まれる中、当工事の施工実績が参考となれば幸いである。

謝 辞

五十里ダム施設改良工事にあたりまして、五十里ダムの管理者であり、発注者である国土交通省関東整備局鬼怒川ダム統合管理事務所の関係者の皆様と関連施工協力会社の皆様にご指導・ご協力いただきありがとうございました。誌面をお借りして感謝の意を表します。

JICMA

【筆者紹介】

金木 洵太郎（かねき じゅんたろう）
大成建設㈱
関東支店 土木部
H28 五十里ダム施設改良工事作業所
主任



大西 仁志（おおにし ひとし）
大成建設㈱
関東支店 土木部
H28 五十里ダム施設改良工事作業所
課長



平山 哲也（ひらやま てつや）
大成建設㈱
本社 土木本部 機械部 機械技術室
課長

