

高所ボーリングマシンによる基礎処理工事の合理化

秋田 真良・谷田部 好信・上山 廣美・島田 保之

コンクリートダム建設における基礎処理工事のうちコンソリデーショングラウチングは、ダムの形状、建設地点の基礎岩盤の性状、打設工法・打設工程あるいは打設設備などによって適切な施工方法が異なるため、各現場で適宜選択して合理化が図られている。ハザマでは、コンソリデーショングラウチングの合理化の一環として、打設工程に影響を与えず、法面での足場組立てが不要な高所ボーリングマシンを開発し、現場適用を進めてきた。本報文では開発機械の特徴および施工実績を紹介するものである。

キーワード：コンクリートダム、コンソリデーショングラウチング、高所ボーリングマシン、中央内挿法、ロータリーパーカッション

1. はじめに

重力式コンクリートダムにおける打設工法の主流が、合理化を進める中で、柱状工法から面状工法（RCD工法、拡張レヤー工法など）へと変化してきている。

一方、基礎処理工事のうち打設工程に大きく影響を与えるコンソリデーショングラウチングは、基礎全面あるいは必要な領域に対して、岩盤を削孔し、セメントミルクを注入することで基礎の変形の抑制、支持力の増加、着岩部付近の浸透流の防止を図ることを目的に施工される。

施工方法としては、格子状に配置された低次数孔だけでは基礎岩盤が規定の改良値に達しない場合、追加孔の位置を前孔の中央に配置する中央内挿法が効率的である。施工対象が各々のダムサイト特有の基礎岩盤であるため、一律に効果的な施工方法を定めることは難しい。そこでハザマとしては、コンクリート打設前（ノンカバー）施工のうち中央内挿法による施工方法を維持しつつ、コンクリートの打設工程に影響を及ぼさない、高所ボーリングマシンの開発並びに現場適用を図った。

2. 従来のコンソリデーショングラウチングの施工上の問題点

コンソリデーショングラウチングは、本体コン

クリートを2～3リフト打設後（カバー）あるいは、打設前（ノンカバー）に施工されるが、施工時期、方法の選定にあたっては、岩盤性状、注入圧力の大きさ、リークおよび岩盤変位状況などを検討して決定する。カバーおよびノンカバー施工の概念図を図1、図2に示す。

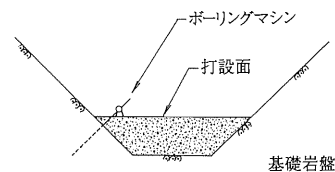


図1 カバー施工概念図

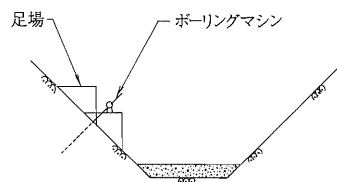


図2 ノンカバー施工概念図

柱状工法の場合、打設ブロック数が多いため、着岩ブロックの打設休止時に施工可能であり、コンクリート打設工程に与える影響は小さいが、面状工法の場合、以下のような施工上の問題点が考えられる。

(1) カバー施工の場合

- ① 打設ブロック数が少なく直上リフトの打設までの間隔が短いためにコンクリート打設工

程に影響を与える。ただし、冬季に打設を休止する寒冷地のダムにおいて、河床部を休止期間中に施工することでその影響を少なくしている現場もある。

- ② 注入する必要のないコンクリートを削孔するため、工事費が増大する。

(2) ノンカバー施工の場合

- ① コンクリート打設工程に影響を与えないために、足場を組んで先行施工し、コンクリート面とある程度の離隔をとる必要がある。
- ② 足場より削孔するため、軽量のロータリーボーリングマシンが中心となり、孔壁が安定するような堅硬な岩盤においては、削孔時間が長くなるためパーカッション方式より工事費が増大する。

3. これまでの合理化の実施例

ノンカバー施工によるコンソリデーショングラウチングの合理化実施例を表一に示す。これより事例1, 3においては堤敷法面への足場設置に関して、事例4, 5においては削孔方式に関して、さらに事例2においてはその両方に関して合理化が図られており、いずれも現場の特徴をいかしたものである。コンソリデーショングラウチングの合理化には、適用するダムの岩盤性状、ボーリングマシンの搬出入方法、コンクリート打設方法を十分に考慮する必要がある。今回はRCD工法、

拡張レーヤ工法で施工される重力式コンクリートダム(上野ダム)への適用を対象に開発を進めた。

4. 高所ボーリングマシンの開発

(1) 上野ダムの概要

上野ダムは、東京電力株式会社が建設中の神流川発電所の下部ダムである。当ダムは、中尾根を残して堤体掘削を行い、堤高の高い中尾根の左岸側を主ダム、低い右岸側を脇ダムと呼称している。コンクリート打設は、主ダムをRCD工法、脇ダムを拡張レーヤ工法で施工する。打設備備は、主ダムが21t×75mタワークレーン2基、脇ダムが13.5t×75mタワークレーン1基である。

ダム諸元を表一2に、ダム軸縦断面図、及び標準断面図を図一3、図一4に示す。

表一2 上野ダム諸元

型 式	重力式コンクリートダム
堤 高	120 m
堤頂長	350 m
堤体積	72 万 m ³

ダム基礎の地質は、泥質岩基質の混在岩であり、主ダムでは主にチャート岩塊が、脇ダムでは砂岩チャート岩塊混在岩及び砂岩岩塊混在岩が分布しており、堅硬である。

(2) 上野ダムにおけるコンソリデーショングラウチング施工上の特徴

当ダムのコンソリデーショングラウチングは、

表一1 ノンカバー施工時の合理化実施例

	概 要	効果および課題	施 工 仕 様			
			削 孔 機	孔 配 置	改良深度	改良目標値
事例1 ²⁾	鋼製の足場をクレーンにて設置し足場上より削孔する。	ユニット式なので設置、撤去が簡単に行える。	ロータリー	1 m 三角形格子	10 m	5 Lu
事例2 ³⁾	油圧ショベルのブーム先端にロータリーパーカッション削孔機を搭載し、コンクリート打設面より施工する。	12.8 mの高さまで削孔可能 機械が大型(1.2 m ³ 級バックホウ)であるため、ある程度の施工ヤードが必要	ロータリー パーカッション	5 m 正方形格子	7 m	5 Lu
事例3 ³⁾	斜面部のカバーコンクリート上にレールを設置し、その上を移動する鋼製の足場から施工する。	足場の移動に時間がかかる 足場への通路の確保が難しい	ロータリー	5 m 正方形格子	7 m	5 Lu
事例4	油圧式ホイールジャンボにてコンクリート打設面より削孔する。	4 m程度の高さまで削孔可能 基本孔完了後、追加孔の施工のみに適用	パーカッション	3 m 正方形格子	10 m	5 Lu
事例5	クローラドリルにてコンクリート打設面より削孔する。	1 m程度の高さまで削孔可能 基本孔完了後、追加孔の施工のみに適用	パーカッション	3 m 正方形格子	10 m	5 Lu

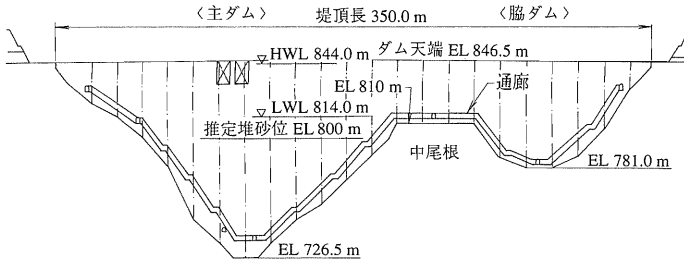


図-3 ダム軸縦断面図

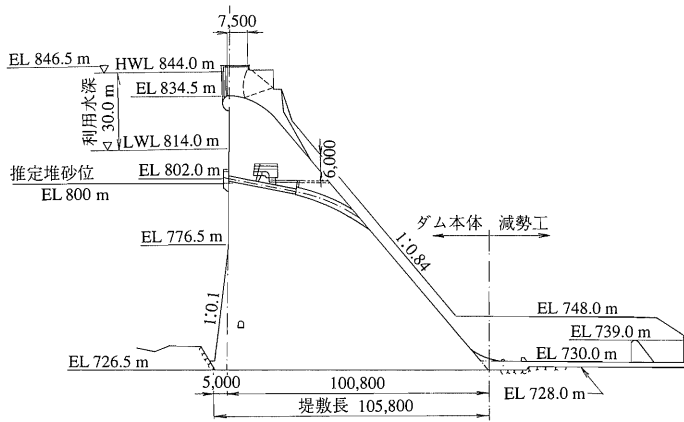


図-4 ダム標準断面図

改良深度を中尾根 10 m, その他 5 m, 標準孔パターンを 5 m×5 m 格子とし, 中央内挿法による施工で計画している。コンソリデーショングラウチング孔配置図を図-5 に示す。また, 施工上の特徴を以下に示す。

- ① 事前の調査結果より, 岩盤が堅硬であるためロータリー方式では削孔時間が長くなる。

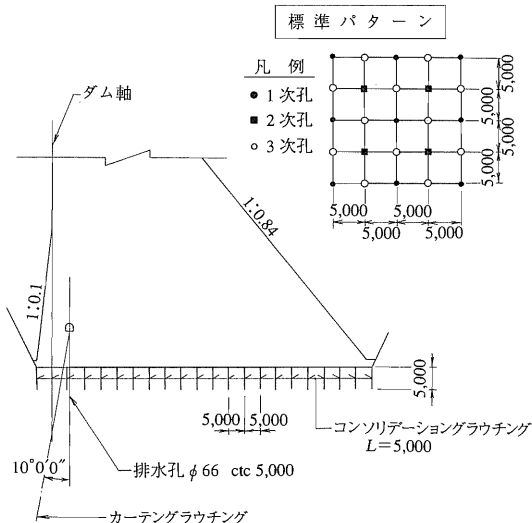


図-5 コンソリデーショングラウチング孔配置図

- ② 試験施工の結果, パーカッション方式による施工でも孔壁が安定する。
- ③ 打設工程が1リフトを3分割し, 3日サイクルで計画されており, かつ追加孔の施工がほとんどないと予想されたため, 施工本数は5~10本/日程度である。
- ④ 堤敷法面が急峻(23°~65°)である。
- ⑤ 施工場所が主ダム, 脇ダムに分かれており, 施工箇所の移動が多い。
- ⑥ コンクリート打設設備として, タワークレーンを使用するため, 大型重機の搬出入が可能である。

(3) 高所ボーリングマシンの開発のねらい

ノンカバー施工によるコンソリデーショングラウチングの従来の問題点,

合理化の実施例および上野ダムの特徴より開発のポイントを以下のように設定した。

- ① 打設面から中央内挿法による施工が可能なこと。
- ② コンクリート打設工程に影響を与えないために, 岩盤性状に応じて, 削孔速度の速いロータリーパーカッションあるいはパーカッション削孔機を使用できること。
- ③ 打設に先行施工することで不要なコンクリート部分の削孔を行わないこと。
- ④ 施工能率を向上するために, 自走可能なこと。
- ⑤ 足場を組まずに作業可能なこと。
- ⑥ 既存のクレーン設備(20tあるいは13.5tなど)で堤体内への搬出入が可能であること。

上記のポイントを満足し, 合理化の実現性が高いものとして, 削孔高さ10mに対応できるようにロングブームを取付けた0.65m³級バックホウとロータリーパーカッションドリルを組合わせた高所ボーリングマシンを開発した。その全景を写真-1に示す。

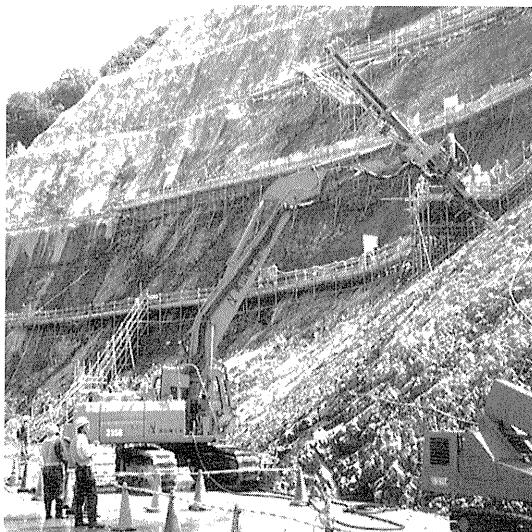


写真-1 高所ボーリングマシン全景

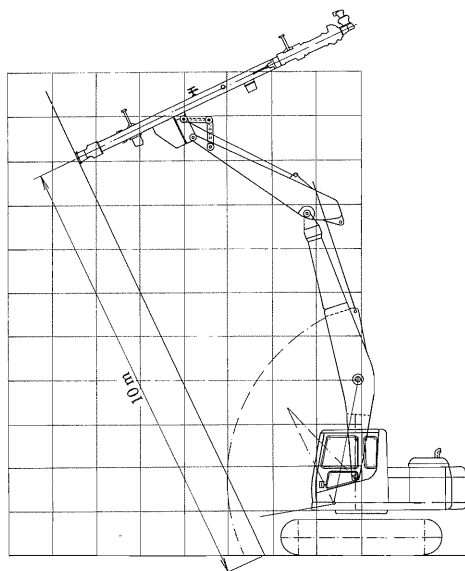


図-6 高所ボーリングマシン外形図

(4) 開発機械の仕様と特徴

高所ボーリングマシンの仕様を表-3に、外形を図-6に示す。

開発した高所ボーリングマシンは次のような特徴を有する。

- ① 総重量が19.45tであるため、6m³級のコンクリート打設設備(20t級クレーン)を有するダムであれば、そのままの状態で堤体への搬出入が可能である。さらにカウンタウエイト及びガイドシェルを外せば4.5m³級の打設設備(13.5t級クレーン)で搬出入が可能である。
- ② 削孔時の状況に応じて、水および圧縮空気の供給が可能である。
- ③ 削孔位置の状況を監視カメラにて目視確認できる。

表-3 主な仕様

ベースマシン	バックホウ0.65m ³ 級
運転質量 (t)	19.45
定格出力 (kW/rpm)	73.5/1,800
最大せん孔深さ (m)	7.5
最大せん孔高さ (m)	10.0
使用ロッド(径×長さ) (mm)	38×(4,310+3,660)
ガイドシェル全長 (m)	6.95
フィード長 (m)	4.15
ドリフト質量 (kg)	165
打撃数 (bpm)	2,300~2,800
回転数 (rpm)	0~250
クローラ全長×同全幅 (m)	3,690×2,490
走行速度(高/低) (km/h)	5.5/3.3
登坂能力 (°)	35
全長×全幅×全高 (mm)	10,510×2,490×3,540

- ④ 運転席から離れて遠隔操作が可能であるため、法面からの落石に対して安全である。
- ⑤ ロッドの継ぎしを自動で行う。

5. 本体工事での施工実績

(1) 施工実績

平成11年5月より高所ボーリングマシンによるコンソリデーショングラウチングの施工を開始し、打設工程に影響を与えることなく、平成13年11月に完了した。施工状況を写真-2に示す。注



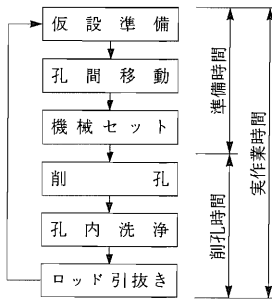
写真-2 施工状況

入用の足場として高所作業車を併用し、削孔と注入を同時作業で施工した。施工仕様および施工サイクルを表—4、表—5に示す。

表—4 施工仕様

削孔径	φ66 mm
削孔機	ロータリーバーカッション
削孔長	5.5 m
ビット	ダイヤモンドビット

表—5 施工サイクル

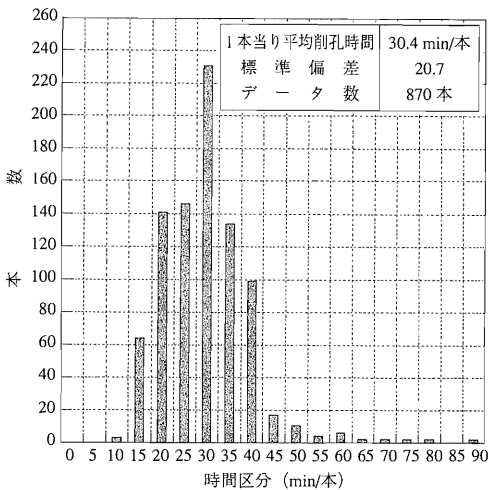


ここで、堤体上での給水、給気ホースの移動などを含む仮設準備から高所ボーリングマシンのセットまでを準備時間、削孔開始からロッド引抜きまでを削孔時間とした。

これまでの施工実績から得られた1本当たりの削孔時間および準備時間の分布を図—7、図—8に示す。日当たりの削孔本数と準備時間の関係を図—9に示す。

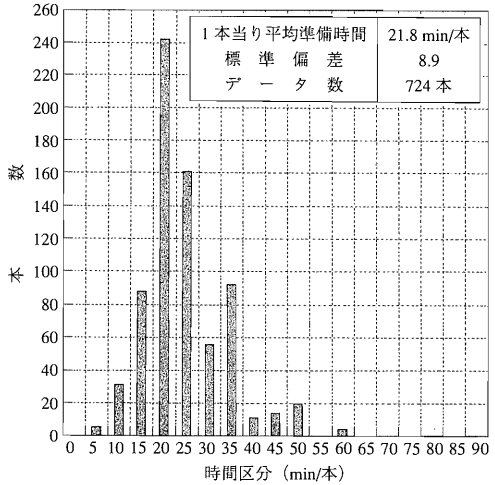
以上より次の点が考察できる。

- ① 図—7より1本当たりの削孔時間は概ね15～40分に分布しており、全データの平均は30.4分/本、標準偏差は20.7であった。



図—7 1本当たりの削孔時間分布

- ② 図—8より1本当たりの準備時間は概ね10～35分に分布しており、全データの平均は21.8分/本、標準偏差は8.9であった。



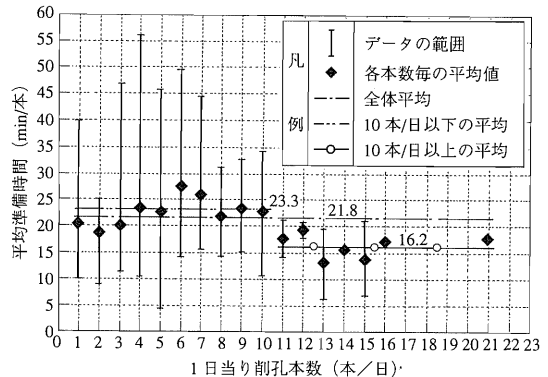
図—8 1本当たりの準備時間分布

- ③ ①および②の結果より、当ダムの基礎岩盤の削孔に高所ボーリングマシンを用いた場合の平均的な施工能力を表—6に示す。これより1本当たり(削孔長5.5 m)の削孔時間は30.4分、準備時間も含めた実作業時間は52分であった。

表—6 施工実績 (分/本)

準備	削孔	実作業
21.8	30.4	52

- ④ 図—9より日当たり削孔本数が10本以下の場合、1本当たりの平均準備時間は4～56分/本に分布しており、平均値は23.3分/本であった。10本より多い場合、準備時間は7～22分/本、平均値は16.2分/本であり10本以下の場合より短くなった。



図—9 削孔本数と準備時間の関係

この理由としては、10本以下の場合、型枠作業との調整あるいは堤敷法面に設置している仮設通路の部分的な撤去作業などが含まれていたためである。また、削孔本数が10本より多く確保出来た場合は、連続的に削孔作業を行っており、他作業による拘束がなかったためである。したがって、他の作業による拘束を受けない場合の準備時間は16分/本程度と考えられる。

(2) 今後の課題

これまでの施工実績より今後、以下のような課題に取り組むことでさらに適用範囲が広がるものと考えられる。

- ① 削孔箇所の位置決め時、あるいは削孔中の岩盤性状の変化時には、操作に慣れた運転工が必要になる。操作性の向上を図ることで運転工の適用範囲をさらに広げる。
- ② 削孔途中での岩質の変化、あるいは粘土層を含む弱層の削孔など、孔壁の維持が難しい場合には、途中で削孔を中断し、ロッドを少しずつ上下させながら引抜き、再削孔を行った箇所もあった。アタッチメントの取替えによりロータリ削孔も可能な構造とすることで適用岩盤の範囲を広げる。
- ③ 13.5t級クレーンにて堤外へ搬出する場合、分解する必要がある。当初、分解組立て作業に2.5時間程度必要であったため、ベースマシンとガイドシェル間のホース類をワンタッチ式のジョイントに改良するなど分解組立て作業の工程短縮を図った。実施工のなかでさらに改良を加えより作業時間を短縮できる構造にする。

6. おわりに

コンソリデーショングラウチングにおける合理化の観点、

- ① 岩盤性状に応じた削孔方式の採用、
- ② コンクリート打設工程に影響を与えない、
- ③ 足場組立てが不要等、

から判断すれば、高所ボーリングマシンは非常に

有効であり、当初の開発目標は達成できた。

今後、適用範囲を広げるために、操作性のさらなる向上、多種多様な岩盤への適用が可能なアタッチメントの開発、あるいは作業サイクルの短縮に向けた取組みが必要と考える。

ダム基礎岩盤の硬さ、岩種、掘削勾配はそれぞれのダムによって異なっており、最適なコンソリデーショングラウチングの施工方法を一つに決定づけることは難しく、ダム現場ごとに独自に合理化の着目点を見つけだし、開発を進めているのが現実である。しかしながら、現場条件に左右されることなく、合理化を図るためには、施工機械の開発のみならず、ダムの設計、施工方法の各側面から更に検討していく必要があると考える。

J C M A

【参考文献】

- 1) 産業調査会：土木工事の問題解決辞典
- 2) 宮ヶ瀬ダム工事誌，pp.101-103
- 3) 宮ヶ瀬ダム工事誌，pp.101-102
- 4) 建設省河川局：ダム積算の解説，pp.279-281

【筆者紹介】

秋田 真良（あきた まさよし）
株式会社間組
土木事業総本部
ダム統括部
主任



谷田部 好信（やたべ よしのぶ）
株式会社間組
関東支店
神流川ダム出張所
所長



上山 廣美（うえやま ひろみ）
株式会社間組
土木事業総本部
ダム統括部
部長



島田 保之（しまだ やすゆき）
東京電力株式会社
神流川水力建設所
上野第一工事事務所
所長

