

発破を用いた縦 NATM 工法による大深度立坑の掘削施工実績

(独)水資源機構 非会員 梶谷隆志 金井大輔
 鹿島建設(株) 正会員 漆崎達也 丸山深直 池元康彦 小池裕之
 鹿島建設(株) 正会員 高田丈夫 沼野友伸 ○佐藤慎祐 辻 良祐 手塚康成

1. 概要

思川開発事業は栃木県鹿沼市に位置し、思川支川の南摩川に南摩ダムを建設して洪水調節を行うものであるとともに、南摩ダムと黒川および大芦川との間を導水施設で連絡して、効率的に水資源開発を行う事業である。図-1に事業全体図を示す。

本工事では思川開発事業のうち、黒川、大芦川および南摩ダムを結ぶ導水路トンネルの築造、導水路への取水放流設備の築造を行う。工程確保の上で導水路トンネルの築造がクリティカルであり、その発進基地となる立坑掘削・築造工事の工程厳守が不可欠であった。立坑掘削は地質が硬質岩盤であることから発破を併用した岩盤直掘工法とし、NATM に準拠して吹付けコンクリートを主たる土留めに採用した(本稿では縦 NATM 工法と呼ぶ)。本稿では大深度立坑の施工検討および黒川流入立坑における実績について報告する。



図-1 思川開発事業全体図

2. 工事諸元・地盤条件

工事名：思川開発導水路工事 発注者：独立行政法人水資源機構 施工者：鹿島建設株式会社
 工期：2019年11月26日～2025年3月31日うち立坑掘削期間：2020年8月1日～2021年1月31日
 施工数量：導水路工(黒川工区)泥水式シールドφ2,940mm×L2,833m、導水路工(大芦川工区)泥水式シールドφ3,500mm×L5,735m、黒川流入立坑φ12.6m×H43.5m、大芦川流入立坑φ12.9m×H45.3m、南摩注水工φ18.0m×H46.5m、黒川取水放流工1式、大芦川取水放流工1式
 立坑諸元および支保パターン諸元：表-1 および表-2 参照

表-1 立坑諸元

| 立坑位置 | 主な地質 | 一軸圧縮強度 (kN/m ²) | 掘削パターン(m) | | | | | 掘削深度 |
|------|-----------|-----------------------------|-----------|------|-----|-----|------|------|
| | | | カイトウウォール | DIII | DI | CII | CI | |
| 黒川 | 花崗閃緑岩 | 103,000 | 1.0 | 5.6 | 3.3 | 5 | 28.6 | 43.5 |
| 大芦川 | 泥質ホルンフェルス | 141,000 | 1.0 | 7 | 6 | 10 | 21.3 | 45.3 |

表-2 支保パターン諸元

| 支保パターン | 進行長(m) | 鋼製支保工 | 吹付CON厚さ(mm) | 金網 | 掘削方法 |
|--------|--------|-----------------|-------------|-------------|----------|
| DIII | 1.0 | H-150×150×7×10 | 200 | φ5×□150×150 | 機械掘削 |
| DI | | | | | 発破併用機械掘削 |
| CII | 1.2 | H-125×125×6.5×9 | 150 | | |
| CI | 1.5 | なし | | | |

表-3 管理値一覧

| 管理値 | 騒音 | 振動 | 低周波音 | 出典 |
|-------|----|----|------|---------------|
| 管理目標値 | 70 | 64 | 100 | 火薬学会提言値(夜間対象) |
| 管理限界値 | 85 | 75 | 130 | 火薬学会提言値(昼間対象) |

3. 課題および対策検討

立坑周辺には民家や工場が近接(黒川 165m、大芦川 120m)しており騒音・振動・低周波音による影響が懸念された。特に発破について、火薬学会が夜間を対象に提言した値(表-3 参照)を管理目標値として評価した結果、発破1回あたりの装薬量を50kgまで減らしても低周波音レベルが114dBとなり、管理目標値を満足できないことが判明した。また振動レベル64dBを達成するためには1段あたり装薬量(以下、発破1回あたりの装薬量を含め最大装薬量と称す)を4.4kg以下と厳しく制限する必要があることが判明した。

すなわち掘削作業においては、最大装薬量制限のため分割して発破する必要があること、発破は昼間に限定されることから、施工サイクルが増大し、工程確保が極めて困難となる。また、大芦川立坑の施工条件はさらに

キーワード 大深度立坑、NATM、制御発破

連絡先 〒330-0844 埼玉県さいたま市大宮区下町2-1-1 鹿島建設(株)関東支店土木部 Tel:048-658-7510

厳しいため、先行する黒川立坑の実績を踏まえ発破計画を検討する必要があった。そこで、本工事では以下の2点の対策を実施し、工程確保を目指した。

・発破方法の工夫

本工事では電気雷管に高精度秒時電子雷管 eDev II を採用し、その機能を活用した全断面分割発破を行うこととした。eDev II は電子雷管の一種で、以下の優れた特徴を有し、通常の電気雷管を用いた発破では実現が難しい最大薬量・起爆秒時間隔の制御下での発破が可能である。①1回の起爆操作で最大20秒以内での複数分割発破(本工事实績では最大4分割)を、実際の装薬量に応じて自在かつ容易にできる。②雷管1本ごとに起爆秒時を設定することができるため、1段を1つの親ダイに割り振ることができるとともに、短い間隔の連続秒時に設定することで振動持続時間を短縮し起震周波数を高い領域に制御できる。

これらの特徴を活かし、管理目標値を満たすため適宜発破パターンや起爆秒時を見直して管理限界値(表-3)を超えないよう①計測値等(直近の最大薬量、環境計測値と管理目標値との比較、削孔時間、近隣住民や作業員からのヒアリング)に基づく評価と検討②最大薬量決定③装薬と断面分割④発破を繰り返すことで発破パターンの改善を図った。

・夜間作業の効率化を図る仮設備の工夫

条件を満たす施工サイクルの策定として、昼間で削孔・装薬・発破作業を、夜間にずり出し・支保工設置作業を実施することとした。これらを実現するため、夜間に発生するずりを防音ハウス内で仮置きできるような埋込式のずりピットを設置し、また、より大型の重機で立坑下でのずり搬出を効率化できるように、30t橋型クレーンを設置した。加えてずり搬出の更なる効率化のために10m³ベッセルとベッセル転倒架台(図-2、3)を採用した。

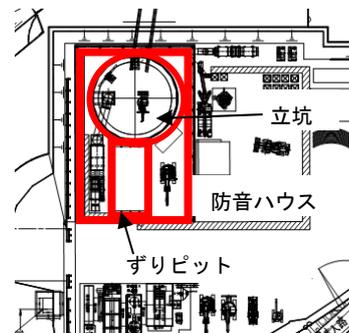


図-2 ヤード平面図



図-3 立坑掘削用仮設備

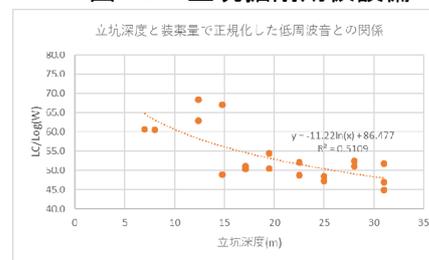


図-4 立坑深度と低周波音との関係

4. 結果と考察

立坑掘削期間中、周辺民家等に環境測定器を設置し常時計測を行った。その間、最大騒音レベルは深度 GL-7.0m・最大薬量 44.8 kg で 80.0dB、最大低周波音レベルは深度 GL-8.0m・最大薬量 50.4 kg で 103.0dB、最大振動レベルは深度 GL -8.0m・斉発量 1.2 kg で 54.1dB を記録した。装薬時の充填不足による鉄砲現象が発生し想定される以上の騒音レベル・低周波音レベルを記録したこともあったが、全発破において管理限界値を下回り、概ね管理目標値を満足する結果となった。また、周辺民家からの苦情もなかった。

先行して掘削した黒川立坑では、低周波音は最大値を浅い深度で記録した後、最大薬量は増加しながらも深度が上がるにしたがって低下した。立坑深度と最大薬量で正規化した低周波音レベルとの関係を図-4 に示す。低周波音は一般に坑内減衰は無いといわれているが、今回の施工では明らかな減衰が確認された。後続の大芦川立坑は民家までの距離が黒川立坑より近く、より厳格な管理が必要となるため、立坑深度を一つの変数として予測的に反映し、発破パターン見直し時に援用した。立坑が深くなるに従い爆風圧が坑内干渉などにより低減され、低周波音の伝達媒体となる防音ハウス壁面の振動が小さくなったものと推察される。

さらに、上記のように仮設備を工夫したことで、夜間はずり出し・支保工設置作業に専念し、最も硬質な岩盤を対象とする CI パターンでは当初計画した 0.75m/日を上回る 1.0m/日で施工することができた。

5. まとめ

本工事は発破掘削を併用した縦 NATM 工法により大深度の立坑掘削を行うものであり、施工段階における安全性はもとより、工程厳守、周辺環境への配慮が求められた。黒川・大芦川立坑ともに計画通りに施工が進捗し、掘削を完了させた。以上より、本工事における施工方法の妥当性が確認されたと考えている。今後の同種工事の参考となれば幸いである。