

ラオス国ナムニアップ1水力発電所

開口亀裂が発達したダム基礎地盤への Hybrid 工法（改良 GIN 工法）の優れた適用性について

ナムニアップ1パワーカンパニー 正会員 ○川田 達也
 関西電力株式会社 正会員 三鼓 晃
 株式会社大林組 正会員 長坂 誠司

1. ナムニアップ1水力発電所における地質の特徴とカーテングラウティング施工中の課題

ラオス国ナムニアップ1水力発電所（以下 NNP1）の主ダム地点は、図-1 に示すように泥岩と砂岩が互層を形成し、多数の弱層や右岸に褶曲帯が存在するとともに、縦横に多数の亀裂が内在する複雑な地質となっている。特に褶曲帯部におけるカーテングラウティングにおいては、孔崩れ、パッカートラブル、グラウト材の大量注入等が頻発し、非常に厳しい施工となった。また、右岸高標高部では、発達した開口亀裂のため、グラウト材を大量に注入しても圧力が上昇せず、湛水開始後の貯水池の水位を配慮しながら施工を続けた。

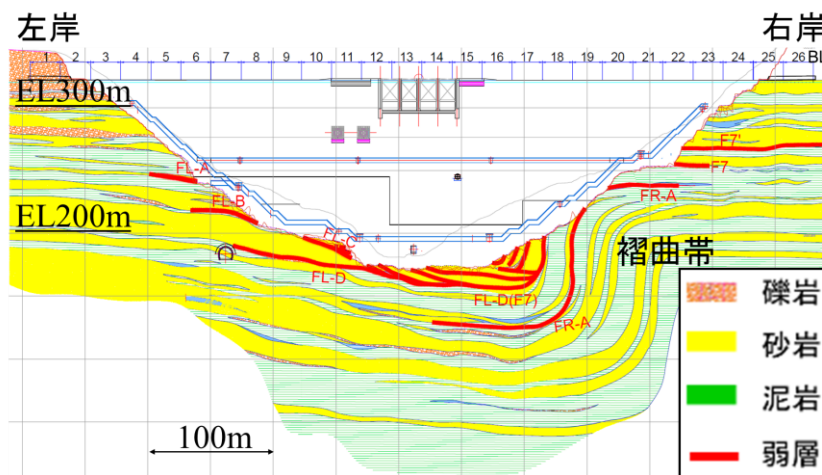


図-1 地質断面図(ダム軸)

2. データから見る右岸側施工の困難性

図-2 はダム軸方向 24m 毎に区切ったブロック毎の総改良長および総注入セメント量を示した。褶曲帯周辺のブロック 16 から 20 では、総改良長 3,000m かつ総注入セメント量 300t を超過しており、他のエリアに比べて施工に時間を要したことがわかる。また、総改良長と総注入セメント量を比較すると、右岸高標高部にあたるブロック 23 から 25 では、総注入セメント量の総改良長に対する比が相対的に高くなっており、他のブロックに比べて総改良長自体は小さいものの単位改良長あたりの注入セメント量が多くなっていることがわかる。

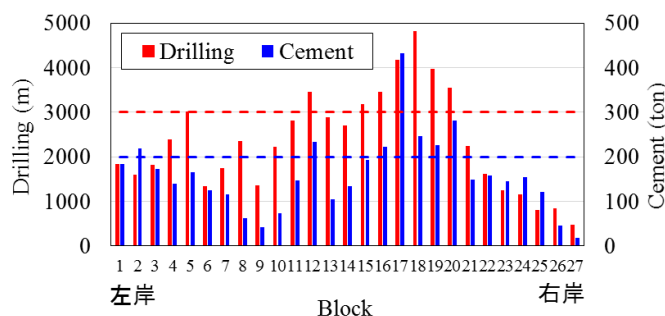


図-2 各ブロックの総改良長・総注入量

3. 独自の仕様確立による施工の効率化

NNP1 では、細かな亀裂から開口亀裂まであらゆる地盤性状に対応できるよう段階的に配合を切り替えるコンベンショナル工法と、単一高配合グラウトを使用し、注入圧力と注入量を GIN カーブ（圧力×注入量で定義される GIN No. に到達した時点で注入を完了する方法）によって制御する GIN 工法を、それぞれのメリットを活かし本地点の地質特性を踏まえて組み合わせた施工法を開発・適用した。各工法のイメージを図-3 に示す。開口亀裂が多数存在する特性を考慮し、材料試験および試験施工の結果から高濃度と高流動が両立する W/C=1.5 を基本配合とし、施工効率と品質確保の両立を図った。図-4 のように

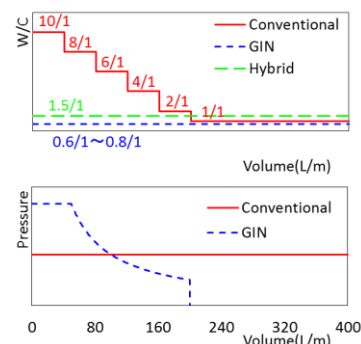


図-3 各工法の特徴

キーワード カーテングラウティング, 開口亀裂, GIN 工法, Hybrid 工法, 注入効率

連絡先 〒530-0003 大阪市福島区福島 5-1-7 関西電力(株)水力エンジニアリングセンター TEL 06-4796-8857

注入開始後、圧力上昇が確認できない場合は開口亀裂あるいは空洞の存在によるものと判断し、富配合 $W/C=0.8$ に速やかに変更し、注入効率を上げる方法を採用した (Hybrid 工法)。表-1 に示すように、Hybrid 工法を地質状況に応じて柔軟に適用することにより注入効率を格段に上げることができた。なお、品質については各ブロックでグラウト完了基準を満足した後、都度試験孔で効果を確認した。

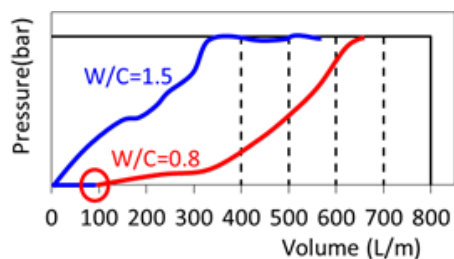


図-4 Hybrid 工法概念図

表-1 Hybrid 工法の注入効率

工法	コンベンショナル(計画)	Hybrid(実績)
単位セメント量	47 (kg/m)	93 (kg/m)
注入時間	2.8 (hour/stage)	0.8 (hour/stage)
注入効率	83 (kg/m/hour)	562 (kg/m/hour)

4. 工程遵守のための対策

当初計画では改良長約 20,000m を 20 ヶ月で完了させる計画としていたが、湛水開始時期を 2018 年 7 月から雨季到来前の 2018 年 5 月に変更したこと、想定以上に発達した亀裂の影響により実績改良長が計画の約 20,000m から約 55,000m となったことなどから、工程遅延を防止するために作業員および施工機械を増員、増強して対応を行った (図-5)。施工初期は月 1,000m の進捗を確保すべく、作業員約 50 名・グラウトマシン 2 台・削孔機 6 台で進めていたが、パイロット孔や追加孔発生状況を踏まえ、都度、増員・増設が不可欠となった。2017 年 9 月にはグラウト施工会社を 2 社に増やしたが、2018 年 2 月以降は更なる進捗の向上が不可欠となり、2018 年 4 月には作業員約 200 名・グラウトマシン 9 台・削孔機 26 台を現場に配置し、その月の改良長は約 7,300m を達成した。2018 年 5 月には右岸高標高部を除いたカーテングラウチングが完了し、湛水を開始した。2018 年 6 月末に、右岸高標高部も含めたカーテングラウチングが完了した。コンクリート長を含む全削孔長は約 63,000m、総注入セメント量は約 4,300t に達した。

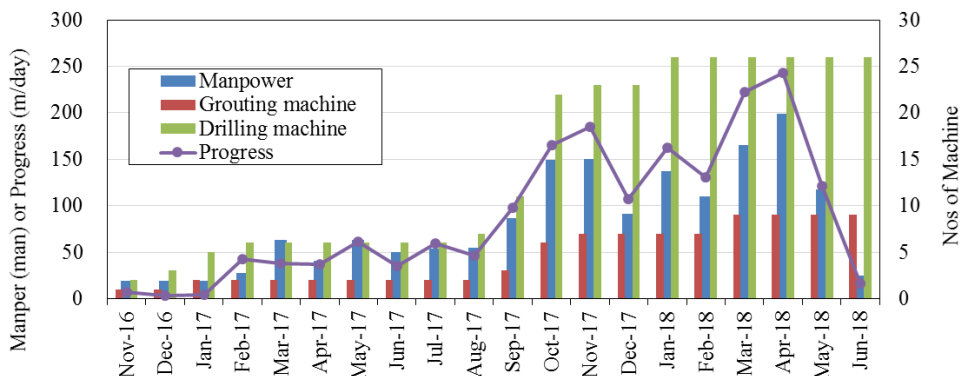


図-5 月別の労務者数および機械台数と進捗の関係

5. おわりに

NNP1 では、その地質の特性からカーテングラウチングの総改良長が当初計画の 2.5 倍以上となったが、独自工法の採用や増員増設により施工速度の向上を図り、ほぼ計画通りに湛水を開始することができた。また、施工速度の向上だけでなく、図-6 に示すように、最終次数孔において改良目標である非超過確率 85% を満足することができた。各ブロックで実施したチェック孔においても 90% のステージ (全 648 ステージ中 586 ステージ) で改良目標値を満足しており、日本と同等の品質を確保することができた。初期湛水においては、途中、一部の基礎排水孔の揚圧力および漏水量の増加がみられたが、追加グラウチングの実施の効果もあり、大きな問題もなく、2019 年 8 月には常時満水位に到達した。

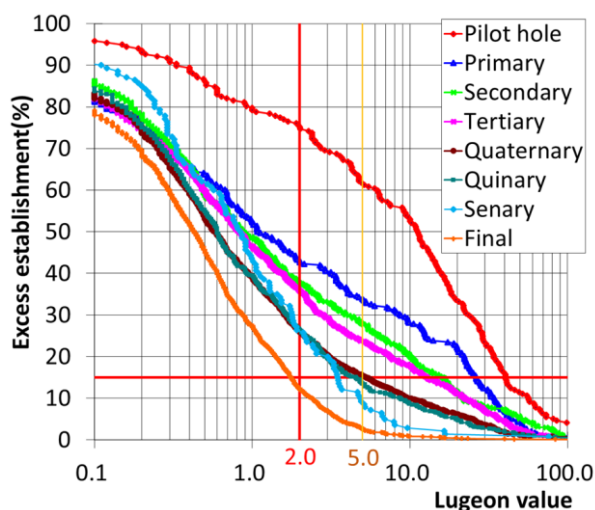


図-6 非超過確率図