

レイズボーラーを用いた

斜坑掘削データによる地山評価の検証

THE VERIFICATION OF ROCK MASS EVALUATION BY INCLINED SHAFT EXCAVATION DATA USED RAISE BORER

高森重治¹⁾, 富岡孝仁²⁾, 河邊信之³⁾, 三浦智哉⁴⁾

Shigeharu TAKAMORI, Takahito TOMIOKA, Nobuyuki KAWABE and Tomoya MIURA

At penstock construction (sectional area 17m², length 140m and 48 degrees) in Omarugawa power station, we construct it by enlargement excavation used blasting after pilot excavation by Raise Borer method (2.44m-diameter). In the case of its system, it is important to obtain information about geological state at pilot excavation. Then, we grasp summarily rock mass state at inclined shaft, and try to guess support pattern by analyzing excavation data by Raise Borer. And further, we verify its technique by seismic prospecting

Key word: inclined shaft, Raise Borer, excavation data, support pattern, seismic prospecting

1. はじめに

一般に、我が国の地山状況は、複雑で変化に富んでいるため、トンネル掘削前に地山条件を的確に把握し、地山状況に適応した支保工を事前に設計することは困難である。したがって、施工前に地山条件を適切な指標により分類した地山分類ごとに、吹付けコンクリート、ロックボルト、鋼アーチ支保工等の支保部材を適宜選定した支保パターンを設定して当初設計とし、掘削時の観察・計測結果をもとに検証し、必要に応じて修正設計を行い、現地の状況に適合した合理的な支保工としなければならない。特に、立坑や斜坑の掘削では事前に想定した地山条件と大幅に異なる場合や切羽の崩壊、支保工の変状が生じた場合はその対策に難渋し、大幅な工期の遅延や工費の増大を招く恐れがあるため、支保パターンの設定はより慎重に行わなければならない。

宮崎県木城町に建設中の小丸川地下発電所建設工事において、水圧管路下部斜坑掘削工事(掘削断面積 17m², 延長 140m, 斜坑角度 48°)ではレイズボーラー工法を用いて導坑を掘削した後(導坑径φ2,440mm), 発破方式による切上げ掘削により工事を進めている。本斜坑周辺では、ボーリングによる事前調査は実施しているものの、斜坑ルートを直接調査していないことから、レイズボーラー工法による導坑掘削時の地質情報を得ることは非常に重要であった。

そこで本報告では、斜坑の掘削工事においてレイズボーラー工法による導坑掘削時に得られた掘削データを分析することにより地山条件を概略的に評価する手法を紹介するとともに、弾性波探査試験を実施することにより上記手法をさらに定量的に検証した結果を報告する。

-
- 1) 正会員 九州電力(株) 小丸川発電所建設所 主任
 - 2) 正会員 九州電力(株) 小丸川発電所建設所
 - 3) 正会員 ハザマ・熊谷・飛島・鉄建共同企業体 小丸川作業所 工事課長
 - 4) 正会員 ハザマ・熊谷・飛島・鉄建共同企業体 小丸川作業所 工務主任

2. 水圧管路下部斜坑の概要

小丸川地下発電所は、小丸川の支流大瀬内谷川の最上流部に上部ダムを築造して上部調整池とし、小丸川中流部に下部ダムを築造して下部調整池とし、この間の有効落差約 646m を約 2.8km の水路でつなぎ、毎秒 222m³ の水を導水することにより、地下に設けた発電所で最大出力 120 万 kw (30 万 kw×4 台) の発電を行うものである。地質は西南日本地質構造区分のうち四万十帯南帯に位置し、新生代古第三紀始新世～漸新世前期の日向層群(砂岩・頁岩)とこれに貫入した新第三紀中新世の尾鈴山酸性岩類の木城花崗閃緑岩を基盤とした場所に位置している。このうち水圧管路下部斜坑ルートは花崗閃緑岩の貫入に伴う日向層群のホルンフェルス化が進んだ境界部に位置している。この境界部では調査段階から、帯水層からの大量湧水の発生、ホルンフェルス化した脆弱な岩盤面の出現が予想されたことから、切詰め掘削時の天端・鏡面の崩壊が懸念された。図-1 に水圧管路縦断面図及び図-2 に発電所付近鳥瞰図を示す。

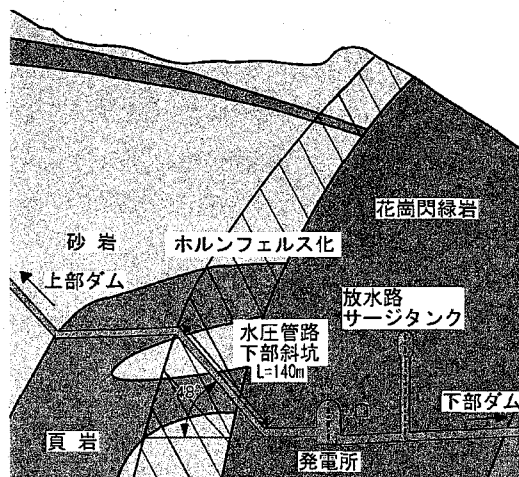


図-1 水圧管路縦断面図

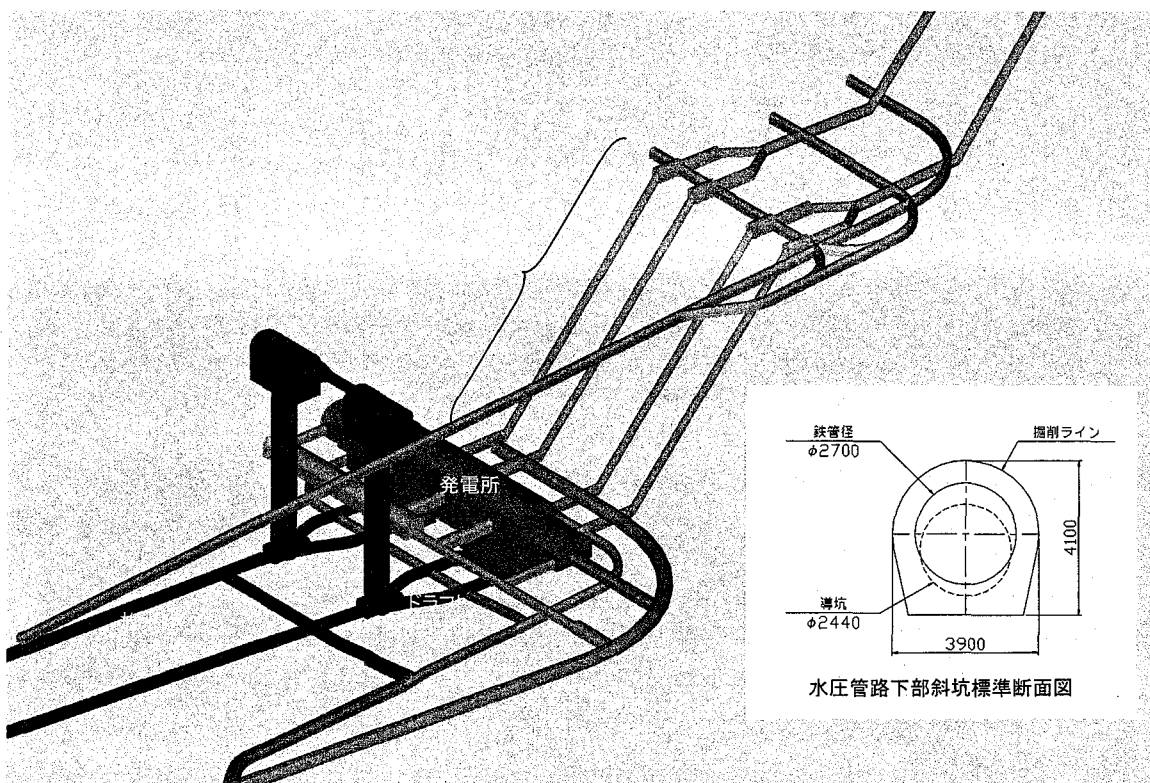


図-2 発電所付近鳥瞰図

斜坑の掘削工法としては、安全性、高速掘進性、省力化に優れたレイズボーラー工法により導坑を掘削した後、発破による切詰め掘削を行う、導坑先進工法を採用した。また、斜坑切詰め掘削における支保パターンとしては図-3 に示す支保パターンが設定されており、特に境界部の弱層部については補助工法を計画していた。

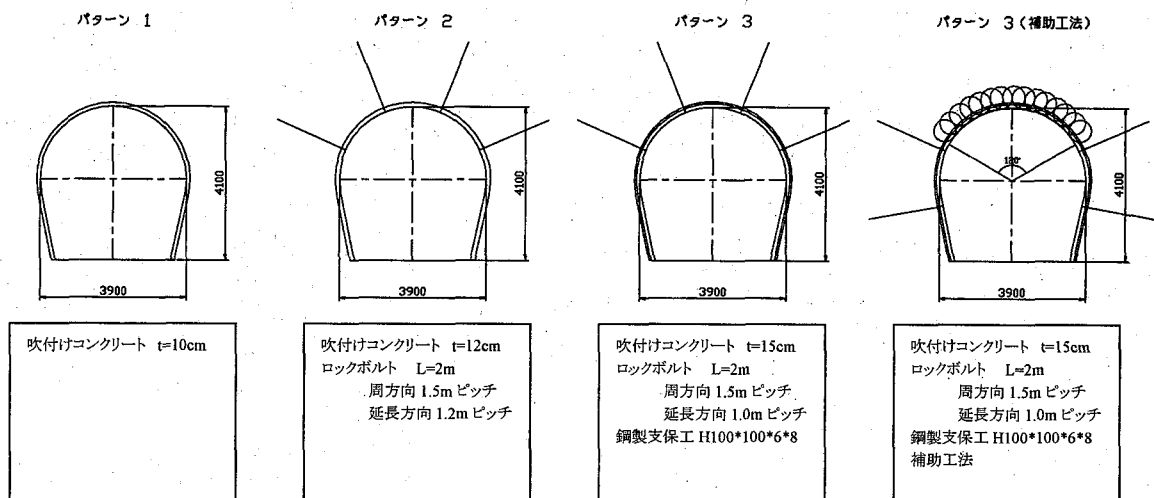


図-3 水圧管路斜坑 支保パターン図

3. レイズボーラー工法の概要

レイズボーラー工法は、地表または上部坑道にレイズボーリングマシンを設置し、目的の下部坑道に向けて約300mm程度のパイロット孔を貫通させた後、下部坑道で大口径のリーミングビットを取り付け、今度はそれを回転させながら上向きに引き上げてパイロット孔を所定の大きさに拡幅する工法である。リーミングで掘削されたずりは下部坑道に自然落下し、下部坑道より搬出される。

斜坑の地山性状を概略的に把握し支保パターンを設計するため、レイズボーラー掘削時のデータを用いることとした。レイズボーラー掘削時のデータとしてはパイロット掘削、パイロット拡孔およびリーミング掘削時の各掘進速度、給進力、回転数および回転トルクをコンピュータによりリアルタイムに収集した。また、データの分析にあたっては、岩種についてはレイズボーラーの掘削ずりを採取し、地質境界点の位置については掘進速度および給進力に着目すること、さらに給進力の安定性から亀裂の発達の有無を分析した。図-4及び図-5にリーミング掘削時のデータを示す。

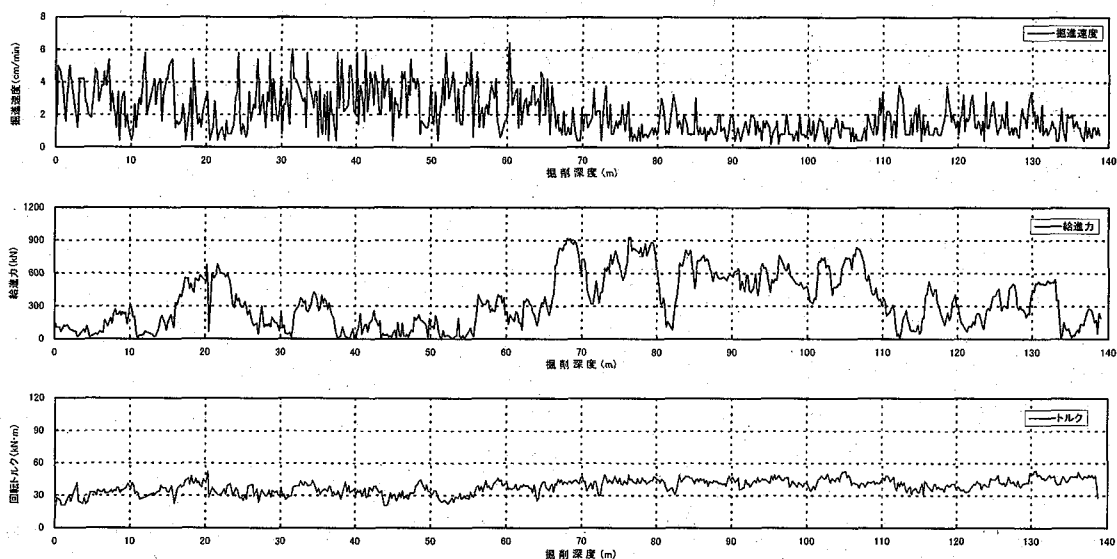


図-4 リーミング掘削時のデータ(4号水圧管路)

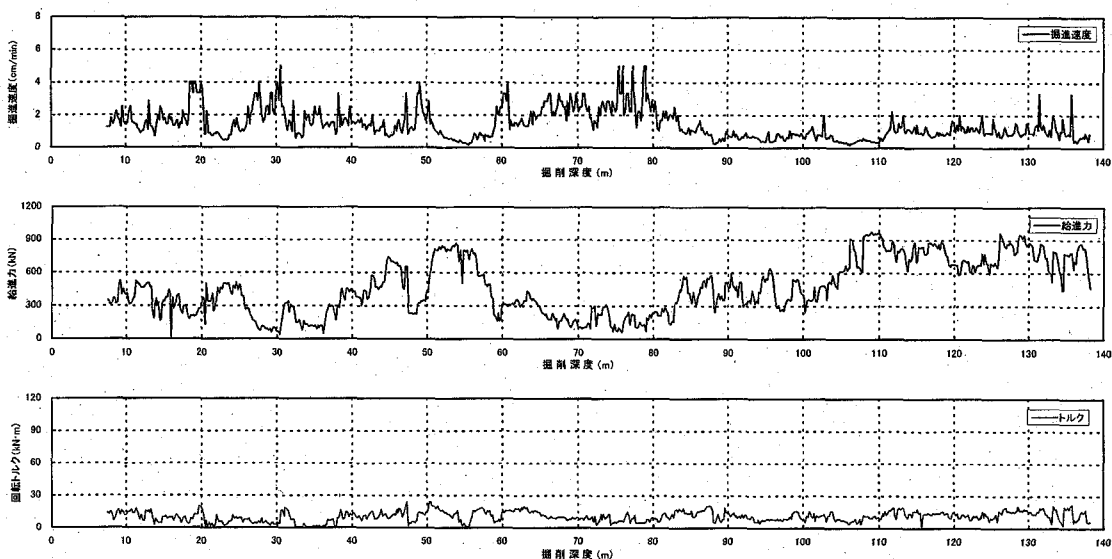


図-5 リーミング掘削時のデータ(3号水圧管路)

また、掘削時には表-1に示すような掘削管理基準値を設定し、リーミング掘削時にはパイロット掘削時に得られたデータから岩盤が不均一な箇所と考えられる区間においては、特に掘削データに注意し、各値が管理基準値内に収まるように制御しながら掘削した。

4. レイズボーラー掘削データの分析とその結果

図-6及び図-7にリーミング掘削データの分析結果を示す。4号水圧管路では以下のように分析した。

- 掘削深度 65m～70m を境に給進力と掘進速度の関係が逆転しており、同区間が地質境界と予測された。レイズボーラー掘削ずりにおいても同区間が地質境界であると予測された。
- 掘削深度 0m～65m までは給進力を与えなくても掘進速度が速いため、対象地山は中硬岩(頁岩・砂岩互層)と予測され、掘削深度 70m～140m では給進力を与えても掘進速度が遅いため、対象地山は硬岩(花崗閃緑岩)であると予測された。
- 掘削深度 95m 以降で湧水量が増加しており、地質境界よりも下部側の花崗閃緑岩に帯水層が存在すると予測された。
- 掘削深度 0m～20m 及び 30m～70m では掘進率(掘進速度/給進力)が特に高く、同区間はホルンフェルス化により地山が変質していると判断された。

以上の結果から支保パターンの設計としては掘削深度 70m～140m の花崗閃緑岩を主体とする区間に支保パターン 1 を、掘削深度 0m～65m の頁岩・砂岩互層区間において支保パターン 2 及び 3 を設定した。また、特に掘進率の高い 0m～20m 及び 30m～70m 区間では補助工法を計画した。

3号水圧管路切上げ掘削は4号水圧管路切上げ掘削後に実施したため、4号水圧管路の実施結果を踏まえ、以下のように分析した。

- 掘削深度 80m～85m を境に給進力と掘進速度の関係が逆転しており、同区間が地質境界と予測された。レイズボーラー掘削ずりでは掘削深度 80m～100m の区間において頁岩・砂岩及び花崗閃緑岩の互層となっており、明確な地質境界は想定できなかった。

表-1 掘削時の管理基準値

● パイロット掘削時	
掘進速度	3～5cm/min
給進力	200～500kN
回転数	30～55rpm
回転トルク	7～20kN-m
● リーミング掘削時	
掘進速度	0.6～1.0cm/min
給進力	700～1000kN
回転数	7～12rpm
回転トルク	20～40kN-m

- 掘削深度 0m～40m および 60m～80m までは給進力を与えなくても掘進速度が速いため、対象地山は中硬岩(頁岩・砂岩互層)と推測され、掘削深度 85m～140m では給進力を与えても掘進速度が遅いため、対象地山は硬岩(花崗閃緑岩)であると推測された。
- 掘削深度 10m～40m 及び 55m～85m の区間において、特に掘進率(掘進速度/給進力)が高いため、ホルンフェルス化により地山が変質していると判断した。
- 4 号水圧管路の実績から、掘進率が低く、比較的良好であると考えられた花崗閃緑岩が分布する区間においても亀裂が発達し、一部 CM 級の岩盤が確認できた。

以上の結果から支保パターンとしては掘削深度 100m～140m の花崗閃緑岩を主体とする区間に支保パターン 2 を、掘削深度 0m～100m の頁岩・砂岩互層区間において支保パターン 3 を設定した。また、特に掘進率の高い 10m～40m 及び 60m～85m 区間では補助工法を計画した。

レイズボーラー工法により得られた掘削データを分析し、支保パターンを想定し発破による切上げ掘削を行ったが、切上げ掘削時にはほぼ想定したとおりの位置に地質境界点が出現し、特に掘進率の高い区間において CM 級の岩盤を確認することができた。また、切上げ掘削後に弾性波探査試験を実施したが、弾性波探査試験結果とレイズボーラー掘削データを分析した結果は非常に高い相関関係を示しており、本地山条件においてはレイズボーラー掘削データから地山評価を行う手法は有効であるとの結論が得られた。

レイズボーラー掘削データから切上げ掘削時の地山評価を行う場合、以下に示す評価方法が適用できると考えられる。

- ① 対象地山の種類を想定する場合、掘進率に着目し、特に掘進率が高い区間では地山が変質していると考えられる。
- ② 対象地山の亀裂間隔を想定する場合、給進力、回転トルクに着目し、給進力が安定せず回転トルクが上昇する場合、対象地山は不均一な地山で亀裂が発達していると考えられる。

5. おわりに

今回、レイズボーラー工法により得られた掘削データを分析し、地山評価を行う手法は有効であることがわかった。しかしながら、3 号水圧管路と 4 号水圧管路の分析結果において、それぞれの分析結果と地山状況、弾性波探査試験結果との相関は認められるものの、3 号、4 号それぞれの掘進率の値が異なる等、絶対評価までには至らなかった。

今後、地下発電所のほか、地下廃棄物処理場、地下エネルギー貯蔵施設等の地下構造物、また大断面立坑、斜坑において安全性、高速掘進性及び省力化に優れたレイズボーラー工法の需要が高まると予想されるなか、上記手法を確立するためには更なるデータ収集と解析が必要であると考えられる。

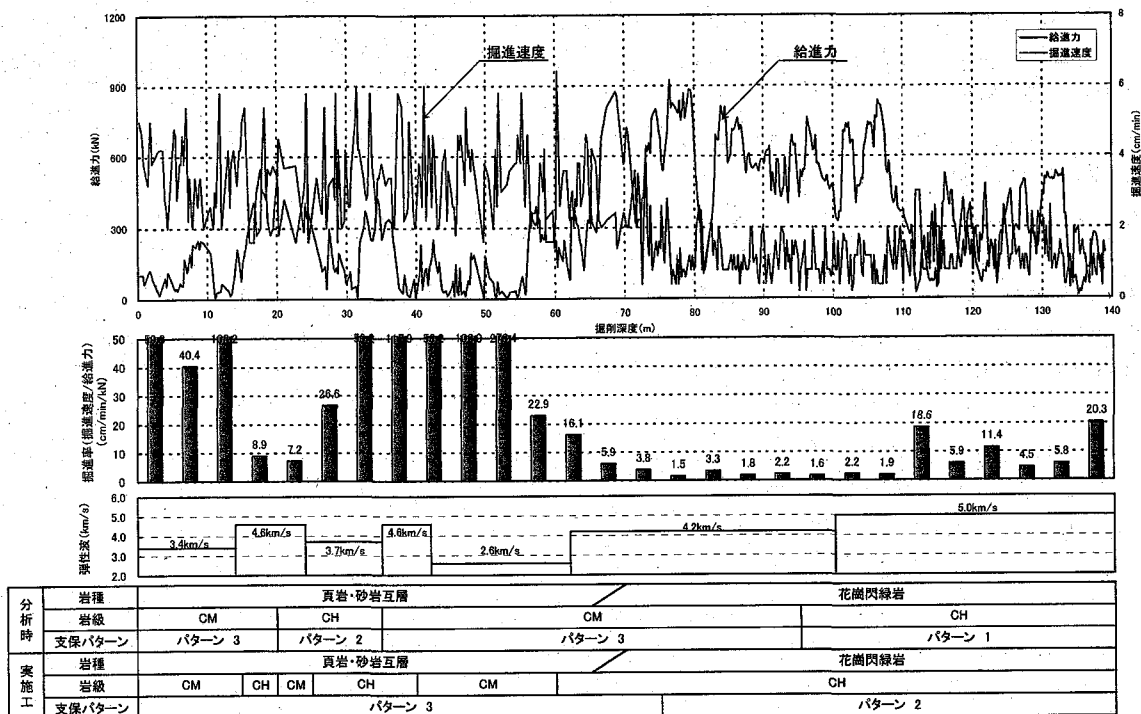


図-6 リーミング掘削データの分析結果(4号水圧管路)

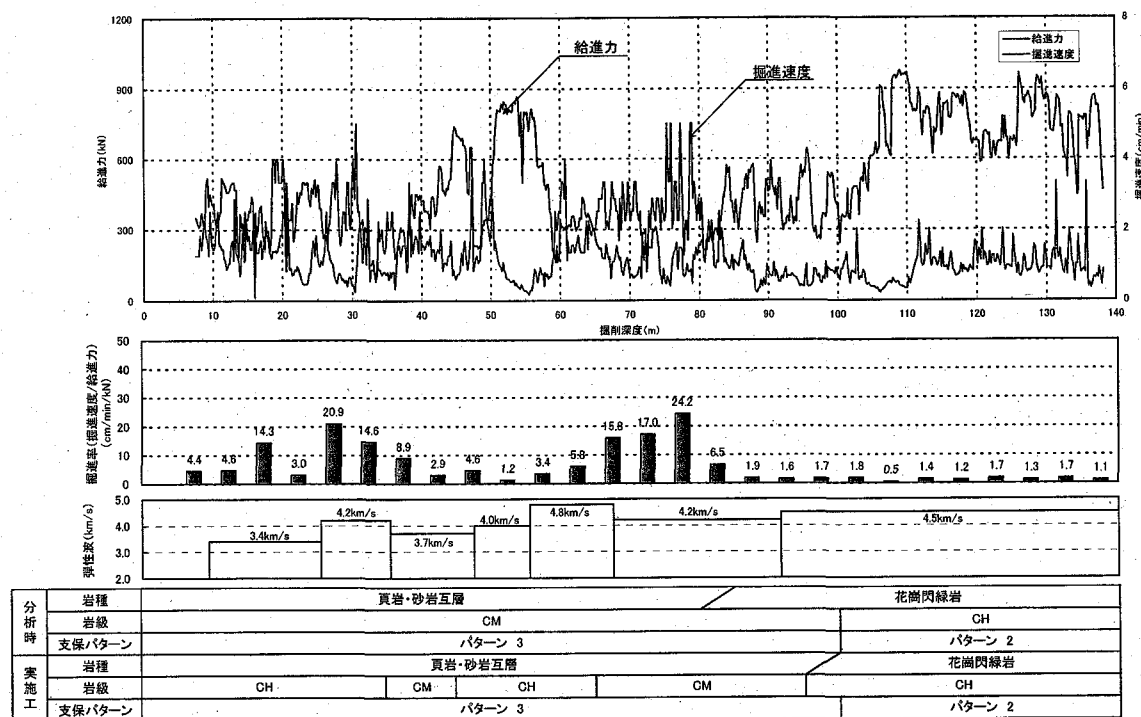


図-7 リーミング掘削データの分析結果(3号水圧管路)