

孔径検層を用いた地下施設の安定性評価 の可能性について

穂刈 利之¹・石井 卓¹・松井 裕哉²

¹正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島三丁目 4 番 17 号)
E-mail: toshiyuki.hokari@shimz.co.jp

²正会員 日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター (〒098-3207 北海道天塩郡幌延町宮園町1-8)

地下施設の設計に必要な岩盤の特性はボーリング調査で取得することが多く、採取した岩芯の物理・力学試験と孔内において物理検層・水理試験等が行われる。本論文は、孔径検層データによる地下施設の安定性評価の可能性について、軟岩の深度1000m孔で実測されたデータを用いて検討したものである。孔径検層を、孔掘削直後と孔内を清水置換し、ある期間経過した後に実施した。この両者の差と一軸圧縮試験結果を組み合わせることで岩盤の力学的安定性を検討した。その結果、地山強度比と孔径差の関係をを用い孔壁の安定性を評価できる可能性があることが明らかになった。

Key Words : caliper log, stability analysis, boring, diameter change, competence factor

1. はじめに

近年地下利用が多様化するとともに、地下施設の大規模化および大深度化が進んでいる。例えば、高レベル放射性廃棄物の最終処分施設は地下 300m より深い地層に建設されることが予定されている。大規模・大深度地下施設を合理的・経済的に設計・建設するためには、事前調査(文献調査、地表踏査、物理探査、ボーリング調査、トレンチ掘削による地層調査など)により対象岩盤の特性を十分把握する必要がある。

本論文は、岩盤の力学的安定性を迅速かつ経済的に評価する一つの方法として、ボーリング調査時に実施する孔径検層に着目した手法を提案する。そして、この手法を北海道幌延町で進行中の幌延深地層研究計画において掘削された深度 1000m のボーリング孔で実施した結果について報告する。

2. 調査位置および地質

図-1 に、調査を実施したボーリング孔の位置と周辺の地質を示す。ボーリング孔は HDB-11 と呼ばれる深度 1000m の鉛直孔である。ボーリング孔周辺の地質は、深度 440m 以浅で声間層、それ以深は稚内層に区分されている。声間層は珪藻質泥岩で、稚内層は、深度 465m 以深で硬質頁岩、深度 440~465m の間には珪藻質泥岩層か

ら硬質頁岩層に変化する漸移帯が存在する¹⁾。珪藻質泥岩と硬質頁岩の一軸圧縮強度は、それぞれ 2~5MPa、5~25MPa 程度の範囲に分布し、工学的には軟岩に分類される。

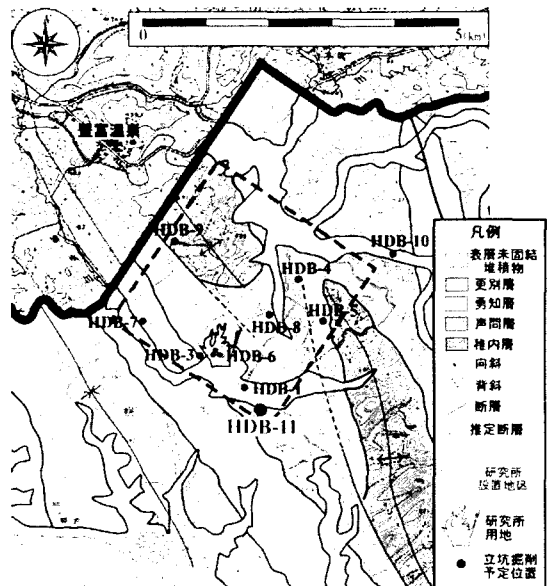


図-1 ボーリング孔位置および周辺地質

3. 孔径検層の測定と孔壁の安定性の考え方

今回は、下記の手順で孔径検層を行いデータを取得した（以下“二重孔径検層法”と称す）。

- ① 掘削後のボーリング孔を孔壁洗浄して孔内を清水で満たす。
- ② 直ちに孔径検層を行い初期孔径値を取得する。
- ③ 孔内に清水を満たした状態である期間放置する。
- ④ 再度孔径検層を行い、放置後の孔径を計測する。
- ⑤ 初期値と比較し、孔径が時間経過によって変化した箇所を調べる。

掘削中は掘削泥水により孔壁が保護されているが、清水置換によって孔壁にかかる圧力が減少する。このため、岩盤の強度が低い場合、砂質岩、亀裂性岩盤では孔壁の崩落、軟岩では孔壁のはらみ出し等が生ずると考えられる。孔径測定結果が1回目と2回目で変化している箇所は、孔壁の安定を保てない箇所であり、岩盤中の空洞安定性確保が困難な箇所と判断することができる。このような考え方にに基づき今後の検討を実施した。

4. HDB-11孔における調査の概要

(1) 孔径検層の実績

孔径検層はXYキャリパー（2方向）であり、測定範囲は76～350mm、測定精度は1mmである。

深度1000mのボーリング孔は主に孔壁保持のケーシング挿入の関係から4段階に分けて掘削された¹⁾。各掘削深度は、第1段階0～153m、第2段階153m～453m、第3段階453～803m、第4段階803～1020mであった。

第2段階において孔径検層は掘削直後および6日後に実施した。第3段階では掘削直後、6日後および68日後に実施したが、6日後では一部区間しか実施していないため、データとしては掘削直後と68日後を採用した。第4段階では掘削直後および19日後に実施した。なお、第1段階では本手法のデータは取得できなかった。

測定データはX、Y方向で値が異なるため、以後の評価で用いた孔径は両者の平均値を用いている。

(2) 一軸圧縮試験

物理・力学試験に用いる岩芯は約50m間隔、20深度で採取し、単位体積重量および一軸圧縮強度を測定した。

(3) 初期地圧

地山強度比の算出に必要な初期地圧は、岩芯の単位体積重量から推定した土被り圧を用いた。また、このボーリング孔では、いくつかの深度で水圧破碎法により直接初期地圧が計測されている。

5. 結果および考察

一般に、岩盤の空洞安定性評価の指標として地山強度比²⁾が用いられている。本論文では、このパラメータと二重孔径検層法で得られたデータを組み合わせボーリング孔における検層データから岩盤中の円孔の安定性を概略的に評価することを試みた。検討結果の概略を以下に示す。

二重孔径検層法による測定結果を図-2に示す。第3段階（深度453～803m）の2回目の検層では、2ヶ月以上にわたる孔内試験のためスライム等が孔底に溜まり、所定の深度まで計測できなかった。なお、深度450mおよび800m付近は、挿入するケーシングの段の切り替え位置に相当し、ケーシング挿入作業に伴い非常に大きく拡大していると考えられる。

深度800m以深では時間の経過とともに多くの深度で孔が楕円形状になっている。具体的には、1回目の測定値では深度約800～850mで孔の楕円化が認められるのに対し、2回目の測定値では深度約800～920mおよび深度940m以深においても孔の楕円化が認められる。これらのデータから、深度800m以深はボーリング孔のような径の小さい孔も力学的に不安定であることが推定できる。また、楕円形状の変形が進んだ要因としては、次の図-3によると、水平面内最大主応力と最小主応力の比が高くなっていること、および地山強度比が1以下と小さい値を示していることが挙げられる。

図-3は、岩芯試験による一軸圧縮強度と推定土被り圧を深度との関係で示したものである。また、水圧破碎試験で得られた初期応力を併せて示す。初期地圧の計測値と比較すると、推定土被り圧は、声問層においては水平面内最小主応力とほぼ等しく、稚内層中では水平面内最大主応力値と最小主応力値の間に分布している。水平面内最大主応力値は最小主応力値の1.2～1.4倍となっている。

図-4は、孔径変化率比と地山強度比を深度との関係で示したものである。孔径変化率は以下の式で算出した。

$$\text{孔径変化率} = 1 - (1 - \alpha) / \text{経過日数} \quad (1a)$$

$$\alpha = 1 \text{ 回目の孔径} / 2 \text{ 回目の孔径} \quad (1b)$$

上式を用いて評価した理由は、各段階での1回目と2回目の孔径検層の間の放置期間が異なることによる。上式からわかるように、2回目に孔径が拡大した場合は孔径変化率は1以下となる。

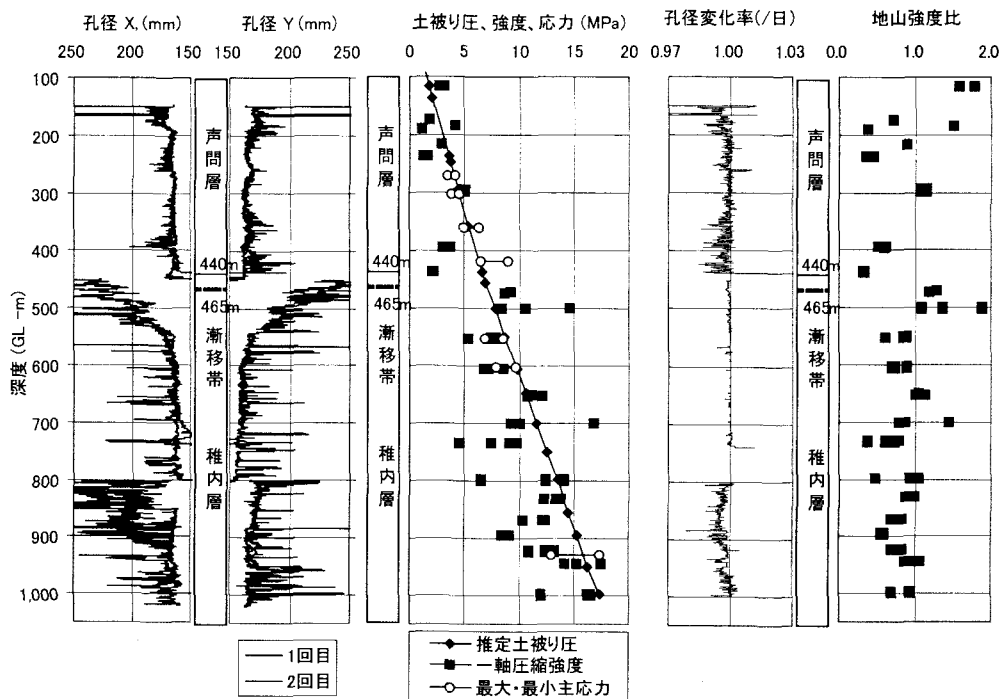


図-2 孔径検層結果

図-3 一軸圧縮試験結果および
孔に作用している地圧

図-4 孔径変化率・地山強度比の深度分布

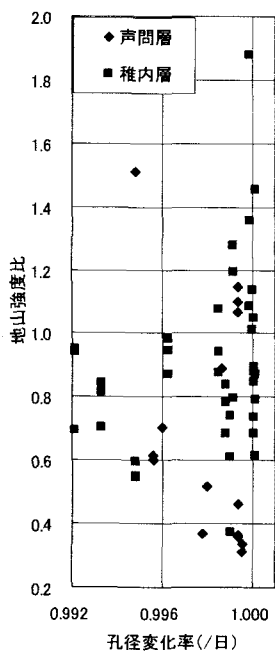


図-5 孔径変化率と地山強度比の関係

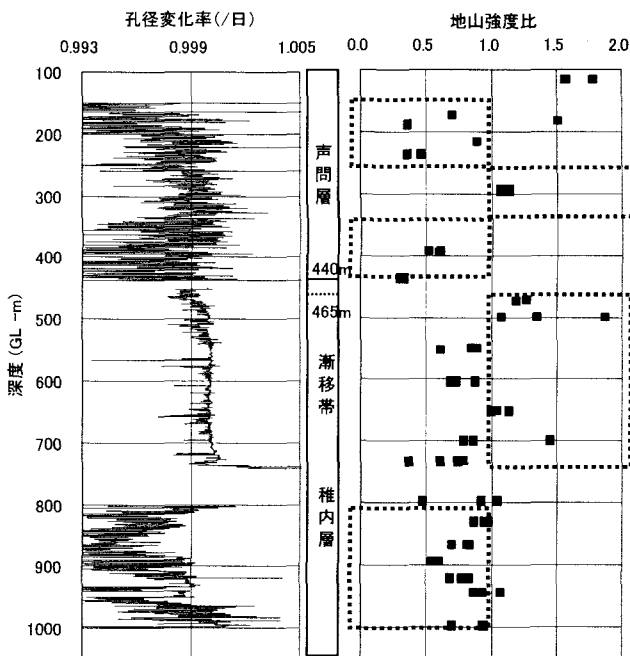


図-6 孔径変化率によるゾーニング

地山強度比の深度分布を見ると、声間層・稚内層それぞれに深度増加とともに地山強度比が低下する傾向を示す。孔径変化率の深度分布を見ると、深度約 400~800m の区間の値はその上下に比して小さい。この区間は、稚内層の上部にある漸移帯を含む硬質頁岩部に相当し、地山強度比は深度 800m 以深に比して大きい。特に漸移帯では力学的異方性が大きく水平方向の強度・変形特性が鉛直方向のそれに比べて大きく³⁾、その影響によりほとんど孔径変化が生じていない可能性がある。

図-5は、孔径変化率と地山強度比の関係を表したものである。図-5より孔径変化が生じている深度は、ほとんどが地山強度比が1を下回っていることがわかる。これは声間層・稚内層とも同様であり、岩相には依存しない。既往の研究²⁾では、地山強度比が2を下回ると孔洞壁面よりせん断破壊が生じそれにより地山が押し出される現象が起こることが指摘されているが、今回のしきい値は1であった。これは、孔内水があることにより孔壁に内圧が作用しているためと考えられる。

なお、上記の関係を満たさないデータが若干存在する。例えば、深度約238mおよび437mでは、地山強度比が0.3~0.4と低いが孔径変化率がほぼ1である。図-2を見ると、それらの深度では時間経過によって孔は楕円状に変化しているものの、XYの平均値では変化していないことが原因である。深度約551mと604mでも同様であった。このため、孔径検層データの整理方法には課題が残る。

図-6は、上記の關係に基づいて、孔径変化率が0.999を越える区間と越えない区間をゾーニングしたものである。このようなゾーニングにより力学的安定性に関する目安を得ることができ、例えば、数本のボーリング調査データから岩盤中に空洞を掘削した場合の力学的安定性を迅速かつ相対的に比較するなどという場合には有効な手法となりえる可能性がある。

しかしながら、本提案の孔径変化による孔の安定性評価の評価手法では、掘削泥水の性状（成分・濃度・密度

など）、岩盤中の平衡水位、岩盤の透水性、割れ目の性状（本数・幅・角度など）、岩種、地層水の水質、応力場、放置期間などにも影響を受けられる。今後、本手法にこれら条件を組み入れることができれば、より詳細かつ一般性を有する形で力学的安定性評価が可能になると考えられる。

4. まとめ

ボーリング孔掘削直後およびある期間を経過後実施した孔径検層と一軸圧縮試験を組み合わせ、岩盤中に空洞を掘削した場合の力学的安定性を概略的に評価することを試みた。その結果、以下の知見が得られた。

- ① 孔径変化率と地山強度比の關係では、地層に依存せず、地山強度比が1を下回る場合に時間経過に伴う孔径の大きな変化が生じる可能性が高い。
- ② 孔径変化率によって孔壁が安定な区間と不安定な区間をゾーニングでき、その結果から岩盤中に空洞を掘削した場合の概略的な力学的安定性の目安を得ることができる。

参考文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構：幌延深地層研究計画 平成 16 年度調査研究成果報告, pp.14-17, 2005.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書 [山岳工法編]・同解説, pp.35-44, 1996.
- 3) 核燃料サイクル開発機構：高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発—平成 14 年度報告—, JNC TN1400 203-004, pp.3-82~3-83, 2003.

APPLICABILITY OF THE CALIPER METHOD TO MECHANICAL STABILITY ANALYSIS ON UNDERGROUND FACILITIES

Toshiyuki HOKARI, Takashi ISHII and Hiroya MATSUI

This paper tries to investigate applicability of the caliper log method to the mechanical stability analysis in use of data obtained in a 1000 m deep borehole drilled in the soft rock. The method is supposed to estimate the mechanical stability on the basis of diameter changes between the first caliper measures and the second after some intervals in the borehole where the drilling mud is replaced by water. As a result of analysis of relationship between competence factors and diameter ratios as indicators of its changes, we could identify locations of the stable zones and the unstable according to the diameter ratio profile.