# 岩盤基質部の変形特性に関する実験的検討

清水建設　正会員　○若林　成樹
清水建設　正会員　多田　浩幸
清水建設　正会員　西　琢郎
清水建設　正会員　中谷　篤史

## 1．はじめに

地下発電所やエネルギー備蓄施設などの大規模な岩盤空洞は硬質岩盤中に掘削される場合が多い．硬質岩盤中には破砕帯や断層等の連続した大規模な亀裂から節理や層理などの中規模の亀裂まで多数含まれ，岩盤の強度や変形特性は岩盤基質部の物性と亀裂の力学特性や分布特性によって左右される．これまでに神岡鉱山栃洞鉱の坑道内で亀裂を採取して室内試験を行い，せん断強度・せん断剛性・垂直剛性などの力学特性の評価[1)]や，既存の長さ 250m のボーリング孔のコア試験から岩石の力学特性等を評価してきた．また坑道での亀裂スケッチとボーリング孔のボアホールテレビ観察も実施して亀裂の分布特性[2)]に関する各種データを得てきた．しかし，岩盤基質部の物性に関するデータは無く，インタクトなボーリングコアと同じ物性と設定すると全ての亀裂をモデル化する必要があり，現実的とは言えない．そこでボーリング孔で実施した孔内載荷試験を利用してモデル化できない亀裂の変形を含む岩盤基質部の物性を想定した結果について報告する．

## 2．調査地域の岩盤状況

孔内載荷試験を実施したのは図-1 に示す栃洞鉱-300m 準（EL.550m）レベルのほぼ南北にのびる坑道内から N79° E 方向に削孔されたボーリング孔である．ボーリングコア観察から岩盤等級の出現比率をまとめた結果を表-1 に，各岩種の出現比率とコアの力学特性を表-2 に示す．岩盤等級に関しては B～CH 級が主体で，一部に CM 級以下が存在する非常に良好な岩盤である．岩種は主に変成岩類である片麻岩と混成岩類である伊西岩からなり，これらにアプライト岩脈が陥入している岩盤状況である．

コアの力学試験結果から最も硬質な岩石は伊西岩と角閃石片麻岩であり，一軸圧縮強度は 176～191N/mm$^2$，弾性係数は 60.4～64.3kN/mm$^2$ となっている．また，この 2 岩種で全体の 51.0%，26.4%を占めている．次に硬質な岩石は優白色片麻岩，単斜輝石片麻岩，アプライトであり，一軸圧縮強度は 132～140N/mm$^2$，弾性係数は 50.6～53.8kN/mm$^2$ となっている．最も軟質な岩石はやや変質した緑泥石化片麻岩であり一軸圧縮強度は 79N/mm$^2$，弾性係数は

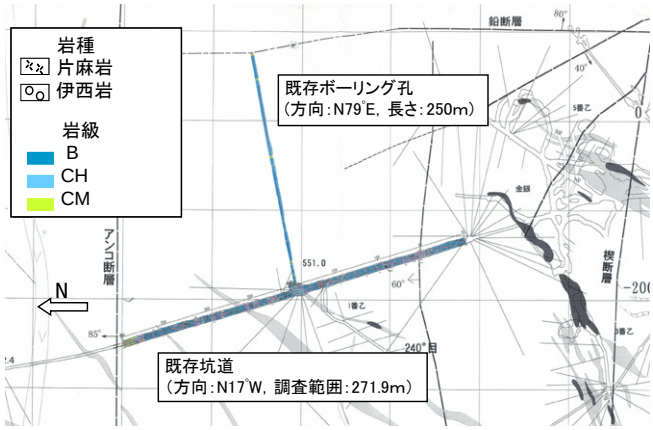



図-1　神岡鉱山栃洞鉱の-300m 準レベルの調査位置

表-1　岩盤等級の出現比率

| 岩盤等級 | B | CH | CM | CL | 計 |
|---|---|---|---|---|---|
| 延長(m) | 233.25 | 16.45 | 0.1 | 0.2 | 250.0 |
| 比率(%) | 93.3 | 6.58 | 0.04 | 0.08 | 100.0 |

表-2　岩種の出現比率と力学特性

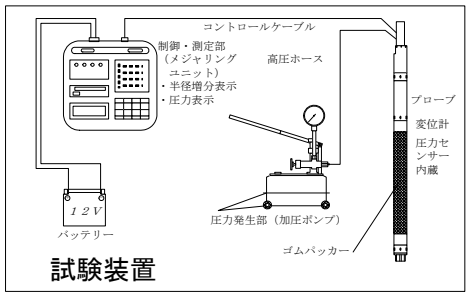
| 物性 | | 伊西岩 | 片麻岩 | | | | アプライト | 花崗岩等 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 角閃石片麻岩 | 優白色片麻岩 | 単斜輝石片麻岩 | 緑泥石化片麻岩 | | |
| 出現比率(%) | | 51.0 | 26.4 | 8.7 | 5.6 | 4.9 | 1.6 | 1.5 |
| 力学特性 | 一軸圧縮強度 σc (N/mm$^2$) | 191 | 176 | 132 | 140 | 79 | 140 | — |
| | 弾性係数 Es (kN/mm$^2$) | 60.4 | 64.3 | 50.6 | 53.5 | 34.6 | 53.5 | — |
| | ポアソン比 ν | 0.24 | 0.26 | 0.18 | 0.24 | 0.20 | 0.24 | — |
| | 引張り強度 σt (N/mm$^2$) | 9.3 | 10.5 | 7.9 | 4.9 | 5.8 | 4.9 | — |

キーワード　不連続性岩盤，岩盤基質部，孔内載荷試験，変形係数，弾性係数
連絡先　〒135-8530　東京都江東区越中島 3-4-17　清水建設(株)技術研究所　地下技術グループ　TEL 03-3820-8396

34.6kN/mm$^2$ となっている.

## ３．孔内載荷試験結果

コアの力学試験結果から，岩盤基質部の変形特性がほぼ同じと想定される区分は伊西岩・角閃石片麻岩，優白色片麻岩・単斜輝石片麻岩・アプライトと緑泥石化片麻岩の 3 区分と考えられる.各区分から伊西岩,優白色片麻岩,緑泥石化片麻岩の B 級，CH 級区間を選定して計 6 点で孔内載荷試験を行った.図-2 に試験装置，試験状況，載荷パターンを示す．5，10，15，20MPa の段階載荷とし，載荷時は 1MPa/min，除荷時は 2MPa/min の速度で行った.



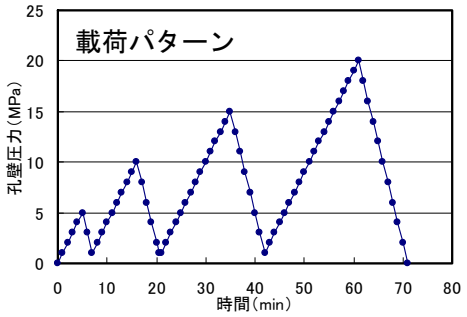
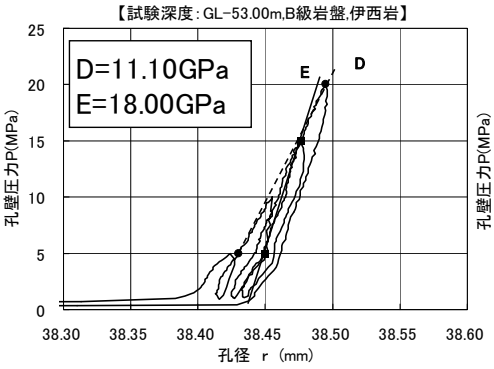
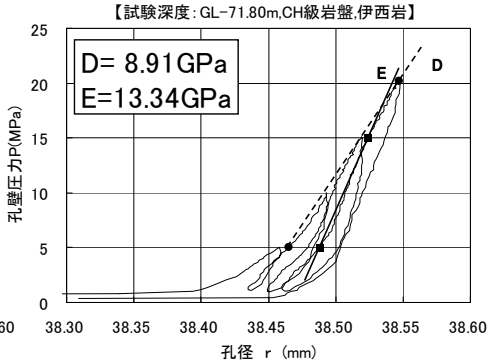
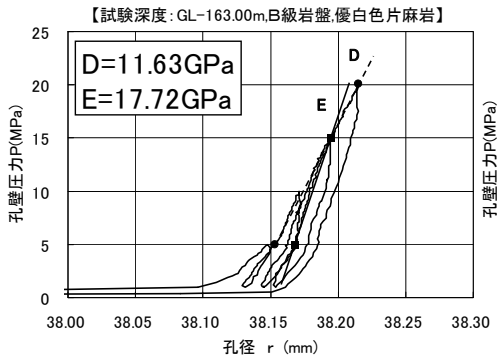



図-2　孔内載荷試験の試験装置，試験状況と載荷パターン

試験結果の一例として伊西岩，優白色片麻岩の B 級，CH 級の試験結果を図-3 に示す．5～20MPa の初期載荷時の勾配から求めた変形係数 D と 5～15MPa の再載荷時の勾配から求めた弾性係数 E を図中と表-3 にまとめて示す．変形係数 D には孔周辺の主な亀裂が閉合する際の変形が含まれるが，弾性係数 E は主な亀裂の閉合後の変形を表しており，モデル化できない亀裂の変形を含む岩盤基質部の変形特性を反映していると考えられる．同じ岩級の伊西岩と優白色片麻岩の弾性係数はほぼ同じであり,調査した栃洞鉱周辺岩盤は主にこの 2 岩種からなっており，岩盤基質部の弾性係数として表-3 に示す平均弾性係数である 15.4kN/mm$^2$ 程度と想定した．また,コア試験では緑泥石化片麻岩が最も軟質であったが，孔内載荷試験結果とは整合しなかった.



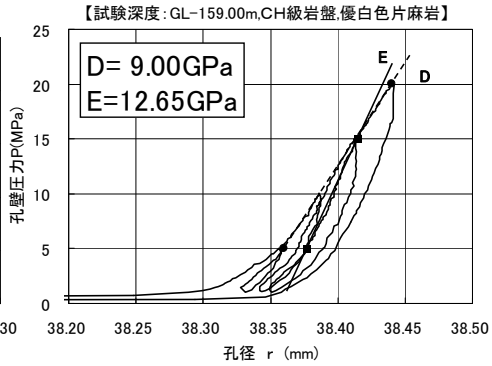




図-3　孔内載荷試験結果（伊西岩，優白色片麻岩）

表-3　孔内載荷試験結果一覧

| 岩種 | 岩級 | 深度 m | 変形係数 kN/mm$^2$ | 弾性係数 kN/mm$^2$ | 平均値 kN/mm$^2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 伊西岩 | B | 163.0 | 11.10 | 18.00 | 15.4 |
| | CH | 159.0 | 8.91 | 13.37 | |
| 優白色片麻岩 | B | 53.0 | 11.63 | 17.72 | |
| | CH | 71.8 | 9.00 | 12.65 | |
| 緑泥石化片麻岩 | B | 235.0 | 18.75 | 26.30 | 20.6 |
| | CH | 152.5 | 11.67 | 15.01 | |

## ５．おわりに

孔内載荷試験結果からモデル化できない亀裂の変形を含む岩盤基質部の弾性係数は再載荷時の勾配から 15.4kN/mm$^2$ 程度と想定された．今後はこれまでに評価してきた亀裂の力学特性や分布特性と合わせ，不連続性岩盤解析による空洞の安定性評価を進める予定である.

**参考文献**

1)若林ら：天然亀裂の強度変形特性に関する実験的検討,土木学会第 65 回年次学術講演会，Ⅲ-199，2010.9.
2)西ら：硬質岩盤における亀裂方向性調査結果の分析，土木学会第 64 回年次学術講演会，Ⅲ-212，2009.9.