

III-477 TBM(トンネルボーリングマシン)グリッパによる変形係数の測定

電源開発㈱	正会員	砂道紀人
電源開発㈱		野田厚志
新技術計画㈱		梶山貴司

1. はじめに

トンネル掘削において岩盤分類を行うに当っては目視による切羽観察が大きな比重を占めている。現在では数量化などの手法を用い切羽観察結果をできるだけ定量的に判断するようになってきているが、切羽観察は目視によるもので観察者の主観に依存し、その評価も異なってくる。

電源開発㈱は静岡県西部の天竜川において秋葉第三発電所新設工事を行っている。この放水路トンネルはパイロット・リーミング方式のTBM(西独・ヴィルト社製、パイロット掘削径3.3m、リーミング掘削径7.1m、 $\ell=3330\text{m}$)によって掘削しており、現在、パイロット掘削機による掘削を終了しリーミング掘削機による掘削を行っている。パイロット掘削ではTBM本体がトンネル内空の大部分を占め、一般の発破工法で実施される内空変位測定などの計測が行えず、実施しても切羽の進行が早く、その結果を支保の選定に反映させることは困難であった。このような状況の中で、パイロット掘削機のグリッパ・載荷機構が孔内載荷試験および平板載荷試験の載荷機構とほぼ同じであることに着目し、グリッパを坑壁に押し付けた時の地山の変形を測定し変形係数を求めてみた。(ここでいう変形係数は載荷パターンの違いなどから正確には孔内載荷試験および平板載荷試験より求まる変形係数と意味合いが異なる。)また、このグリッパ・載荷試験は切羽直後で実施でき、結果も短時間で得られることよりTBM工法における岩盤分類、支保選定の定量的判断の指標となることを確認した。

2. 試験方法

パイロット掘削機の本体概要を図-1に示す。TBMはそろばん玉状のディスクカッターを地山に押し付け回転させて地山を掘削する。この押し付け力(推力)と回転力(回転トルク)との反力を得るために図-1に示すような前後4個ずつ計8個のグリッパ(80cm×90cm)を地山に押し付けTBM本体を固定している。グリッパは油圧により作動し、その押し付け圧力は高圧 F_h (19.2kg/cm²)と低圧 F_ℓ (8.7kgf/cm²)の2段階となっており地山を確実にとらえられるようになっている。

試験は図-2に示すようにグリッパの前後にマグネットスタンドを用いてダイヤルゲージを固定し、測定ロッドを直接坑壁に当て実施した。まず、低圧で載荷して、この時のダイヤルゲージの値を初期値(δ_ℓ)とし、次に高圧で載荷して、この時のダイヤルゲージの値を測定値(δ_h)とした。測定結果より半無限体表面の円形部分が等変位を受ける場合と考え、次式を用いて変形係数(D)を求めた。¹⁾

$$D = \frac{(1-\nu^2)}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{\Delta P}{\Delta \omega} \right) = \frac{(1-\nu^2)}{2 \cdot a} \cdot \left(\frac{F_h - F_\ell}{\delta_h - \delta_\ell} \right)$$

ただし、ここで ν はポアソン比、 a は載荷板の半径である。実際のグリッパは長方形であるが便宜上、

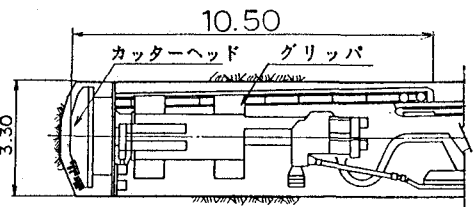


図-1 パイロット掘削機の本体概要

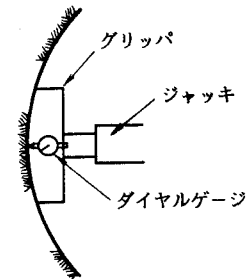


図-2 測定状況

上式をそのまま用い長方形の面積を円形に換算してaを求めた。

3. 試験結果

図-3に現場で用いている岩盤分類とグリッパ載荷試験より求めた変形係数(D)の関係を示す。併せて同位置で行ったシュミットハンマ反発度(n)を示す。

現場で用いている岩盤分類は主に黒色片岩を対象としさらにTBM掘削ということを考慮して、風化の程度、素掘り面の性状および弱線の状況に着目して作成したものである。各岩級の物性値などは①, ②, ③, ④, ⑤級がそれぞれ電中研式分類のA, B, CH, CM, CL・D級にほぼ対応している。④, ⑤級のデータがないのは地山状況が悪いためグリッパを高压で押し付けると坑壁が崩落する恐れがあり測定者が近づけないためである。

図-3よりグリッパ載荷試験より求めた変形係数は①級が16000kgf/cm²程度で、岩級が低下するに伴い小さくなっている。これに比べてシュミットハンマ反発度はばらつきが大きくなっており、グリッパ載荷試験より求めた変形係数の方が岩盤分類とよく対応していることがわかる。これはシュミットハンマ反発度が地山を点でとらえているのに対しグリッパ載荷試験は地山を面としてとらえることができるためであろう。

解析に用いた変形係数(D')とグリッパ載荷試験より求めた変形係数(D)の関係を図-4に示す。解析に用いた変形係数は孔内載荷試験など各種測定結果および岩盤分類より決定し、その値は①, ②, ③, ④, ⑤級の順に100000, 50000, 20000, 10000, 5000kgf/cm²である。グリッパ載荷試験より求めた変形係数は解析で用いた変形係数の1/2 ~ 1/8の値となっているが解析で用いた変形係数が大きくなるとグリッパ載荷試験より求めた変形係数も大きくなり両者には強い相関があることがわかる。

4. まとめ

今回のグリッパ載荷試験より求めた変形係数より次のことがわかった。

- ① グリッパ載荷試験より求めた変形係数は孔内載荷試験や岩盤分類を参考に決定した変形係数と相関が見られる。
 - ② グリッパ載荷試験より求めた変形係数は目視による岩盤分類とよく対応する。
- 以上のことよりグリッパ載荷試験より求める変形係数は岩盤分類の定量的指標となることが確認できた。これは前述のように切羽に近い位置で各種測定ができないTBM工法にとって地山の情報を切羽直後で簡単に入手できる貴重な手段となろう。

今後、TBM工法においてグリッパを地山に押し付けたときの坑壁変位を油圧ジャッキの伸縮等により常時遠隔測定することで、簡単な切羽観察とこの値により切羽直後で精度の高い岩盤分類・支保の選択が可能となると思われる。

【参考文献】

- 1) 土木学会岩盤力学委員会, 現位置岩盤の変形およびせん断試験の指針 - 解説と設計への適用 -, 1983

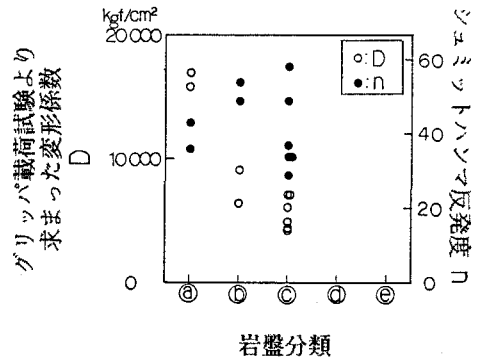


図-3 岩盤分類とグリッパ載荷試験より求めた変形係数(D)の関係

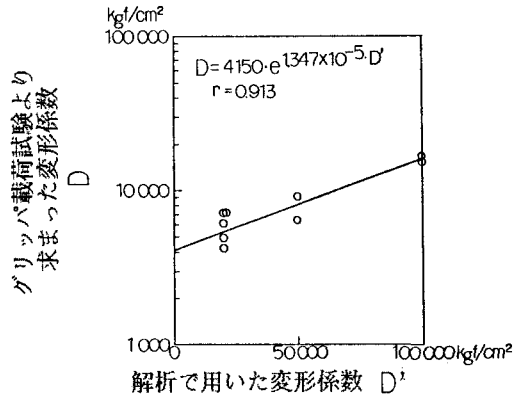


図-4 解析に用いた変形係数(D')とグリッパ載荷試験より求めた変形係数(D)の関係