

多分割グリッパ方式 T B M における 載荷試験データについて

戸田建設(株)本社 正会員 内藤将史*、フィロ 岡村光政*
戸田建設(株)大阪支店 上野 修、奥村利博

1. はじめに

近年、複雑な地山条件などにも対応できるシールド型 T B M (Tunnel Boring Machine) が開発され、山岳トンネル施工における急速施工、自動化・省力化、作業環境の改善という観点から、T B M 工法が見直され、導水路トンネル、二車線道路トンネルの避難坑、第二東名・名神高速道路の超大断面トンネル先進導坑など、その施工例が急速に増加する傾向にある。このような状況のなか、筆者らは土砂～中硬岩の広範囲な地山状況で掘進可能な複合地盤対応 T B M を開発し、下水道工事への適用を試みた。一般に、メイングリッパ載荷試験による M G (Main Gripper) 係数は、地山評価の有効な指標となることが知られている。当工事では、全線セグメント施工である制約上、本 T B M 構造の特徴の一つである多分割グリッパを用いた載荷試験を掘進毎に実施して地山評価の指標とし、T B M 掘進の可否判断など、施工管理に活用した。

本報告では、当 T B M 施工における多分割グリッパ載荷試験結果と掘進データとの相関分析を実施し、通常の左右拡張方式グリッパによる載荷試験データとの比較を行った結果について報告する。

2. 工事概要および複合地盤対応 T B M の特徴

当工事は、頁岩・砂岩から構成され頁岩優勢な地層において、延長=1,594m、掘削外径φ 2,200mm(セグメント外径φ 2,000mm)の下水道を築造する工事である。対象地山の一軸圧縮強度は、数 MPa ～ 100MPa 程度、全体的にき裂度が高く湧水量も多い状況にあり、岩盤等級は B ～ D の範囲のなか、C_M 級以上の良好な岩盤が延長の約 5 割程度を占める。このような土砂～中硬岩までの広範囲な地山状況で掘進できる T B M の特徴は以下の通りである。図 - 1 に T B M 外形図を、表 - 1 に T B M の仕様を示す。

比較的良好な地山では、T B M 推進、セグメント同時組立が可能となる。

切羽密閉式、高水圧対応の止水機構を有しているため、軟弱層および多量湧水状況での施工性が良い。

T B M 本体後方のメイングリッパは、全 8 方向(4 対)の多分割方式を採用している。

表 - 1 主な T B M 仕様

シールド関係	シールドジャッキ	500kN × 1050s × 29MPa × 8 ¹⁰
	切羽単位面積当たり推力	1122 kN/m ²
	シールドジャッキ伸長速度	60mm/min(全数作動時)
カッター関係	回転数	6.1 rpm
	掘削トルク	224kNm(常用)、332kNm(最大)
	旋回油圧モータ	8.07L/rev × 17kNm × 14MPa × 2 ¹⁰
テレスコピック関係	テレスコジャッキ	1000kN × 500s × 35MPa × 4 ¹⁰
	有効ストローク	450mm
	中折れ角度	最大3度
グリッパ関係	フロントグリッパジャッキ	300kN × 80s × 35MPa × 4 ¹⁰
	メイングリッパジャッキ	1000kN × 80s × 35MPa × 8 ¹⁰

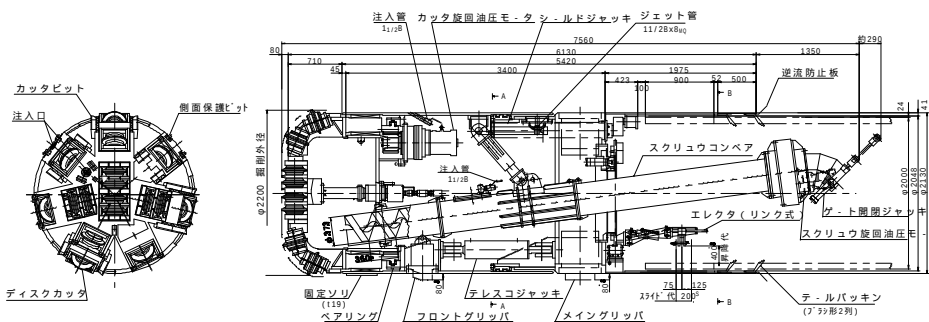


図 - 1 T B M 外形図

本 T B M のメイングリッパは一般的な T B M の左右拡張方式と異なり、坑壁全周に推進反力をとる多分割方式を採用している。同方式ではグリッパ占有空間を小さくでき、T B M 機体長を縮小できるが、推進反力を得るための面圧は通常のシールド型 T B M (2 ～ 5MPa) に比較して最大 7.8MPa と大きくなっている。多分割グリッパの配置模式図と形状を図 - 2 に示す。

3. TBM掘進データとMG係数の関係

TBM掘進データであるカットトルクや推力は、岩盤物性を表す指標の一つである一軸圧縮強度と図-3に示すような正相関にあることは良く知られている¹⁾。同事例は、平均圧縮強度40MPa程度のき裂が少ない火山角礫岩を対象地山とした掘削外径φ2,300mmシールド型TBMによる掘進結果である。圧縮強度は、坑壁におけるシュミットハンマ(SH)試験より換算した強度を用いている。

MG係数については、坑壁地山評価などとの相関性が高い傾向にあることが知られている²⁾。当工事は、比較的に湧水量が多く、全線セグメント施工であることから、ずり性状の確認を除き、坑壁観察および試験が実施できない状況にあった。そこで、MG係数を地山物性を示す指標と考え、各種TBM掘進データとの相関分析を行った。

図-4にMG係数と相関性の良い推力との関係を示す。図中には、多分割グリッパ方式TBMの結果とともに、上記の火山角礫岩に適用した左右拡張方式グリッパTBMの結果を併記した。推力と地山の圧縮強度とが比例関係にあることから、推力範囲の違いは主に対象地山強度の違いによるところが大きく、当工事の地山強度が広範囲にあることがわかる。また、MG係数の値の違いは、岩盤強度、き裂程度、グリッパ形状と面圧の程度などに起因する。多分割グリッパ方式の場合、グリッパ面積が小さいため、単位面圧あたりの変位量が大きくなり、その結果、MG係数が小さくなることが最大要因と考えられる。

左右拡張方式グリッパのTBMでは、推力とMG係数は比例関係が認められるものの、相関係数 $R = 0.484$ と相関性はさほど高くない。一方、多分割グリッパ方式における推力とMG係数の相関係数 $R = 0.632$ であり、比較的に相関性が高い結果になっている。この結果により、多分割グリッパ方式によるMG係数は、切羽の地山強度との相関性が高いと判断できる。これは、グリッパ面積が小さいため、より局所的な岩盤物性を捉える試験となっているためと考えられる。また、図中データの相関性は、坑壁全周8方向(4対)のMG係数を平均した結果により得られた結果であることから、坑壁全周の平均的な地山物性を捉える載荷試験において多分割グリッパが有効であると考えられる。

4. おわりに

多分割グリッパによるTBMは、載荷試験による坑壁全周の平均的な地山物性を捉えることができる反面、グリッパ面積が小さく面圧が大きいことから、局所的な弱層部において推進反力が確保できない場合も考えられる。今後、TBM掘進におけるグリッパ面積、面圧などの影響についてデータ分析を行う所存である。

参考文献 1)大窪、内藤：TBM機械データと地質状況の相関性について、土木学会トンネル工学研究論文・報告集、第8巻、pp.243～248、1998.11

2)内藤、岡村：TBM導坑先進掘削工法における地山評価について、第53回土木学会年次学術講演概要集、-B84、pp.168～169、1998.9

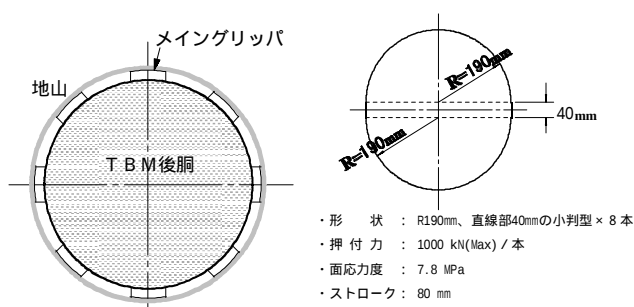


図-2 多分割方式グリッパ

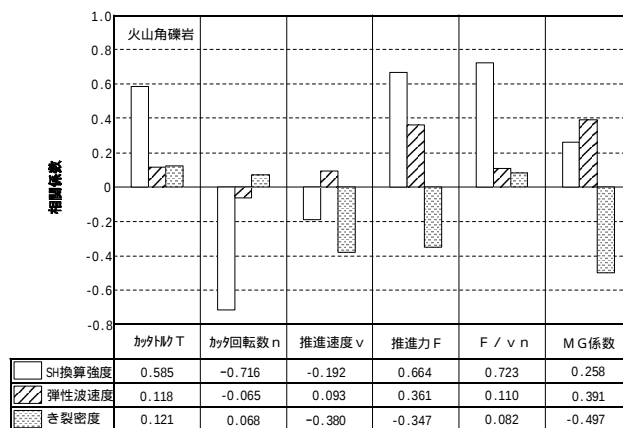


図-3 TBM掘進データと地質データの相関

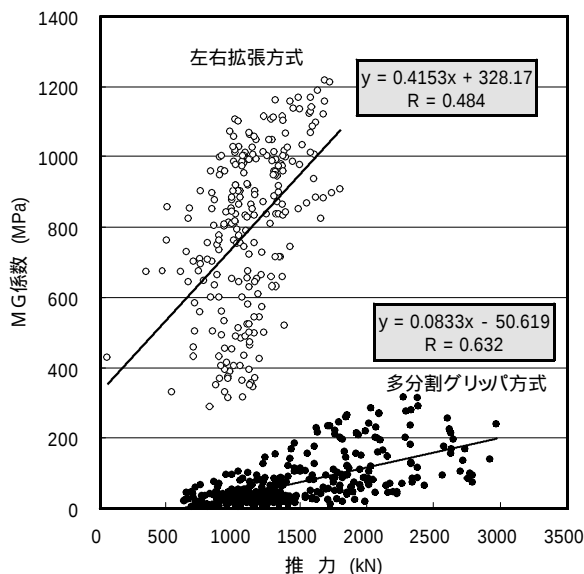


図-4 推力とMG係数の関係