

# 解説 礫・玉石に挑む

## CMT工法による 玉石混り砂礫地盤への取組み

たなか ちとせ  
**田中 基紀**  
CMT工法協会会員  
株式会社野間西支店長



### 1 はじめに

近年推進工事は大口径化、超長距離化、急曲線施工等の高い技術力が要求され、様々な技術開発が進んでいる。しかし、土質条件によっては過酷な推進工事となる玉石混り砂礫地盤の施工においては、克服すべき課題が未だに山積しているのが現状である。



写真-1 玉石転動による推進管の破損

当社はCMT工法協会員として、1993年に滋賀県大津市において初めて全面ローラビット装着の玉石砂礫対応型掘進機を開発して以来当該地盤に挑戦している。本稿では、その体験例と玉石砂礫地盤への当社の取組みを紹介する。



写真-2 異常磨耗した掘進機

目の推進管の破損が発生した。以後200m推進中までに6箇所において管の破損が起り、いずれの場合も推進力が急上昇した直後に破損が発生し、破損後は推進力が低下した。破損原因となった玉石径は約150~200mmが主体で、破損発生地点は発達立坑より35~155mの間で、破損した推進管は1本目から20本目までに集中していた。

到達後の掘進機はゲージカッターが1ヶ所脱落。カッターヘッドの面板・外周板が異常に磨耗していた。

玉石による管破損原因は周辺地山が強固で地盤反力が十分にあり、玉石の転動しやすい玉石径(10~20cm)が多いことと考える。また、破損した推

進管が20本目までに集中したことは、掘進機により乱された地山が50m程度までは安定し難いことと考える。

### 2.2 1997年 愛知県江南市

表-2

φ1000mm L=300m
N値>50 透水係数10 <sup>-2</sup> (地下水流あり)
玉石・礫率 55~95%

砂分の含有率が3~30%まで極端に変化し土砂の取込み制御及び方向制御に非常に苦心した。また掘進機カッターヘッドが大きく損耗し内部から補強しながら到達に至った。

CMT工法は面板加圧方式で切羽の安定を図ることより、循環泥水の比重・粘性の調整は不要であるとされて

いるが、玉石の破碎時は推進速度が変動し面板押付力が一定しない。面板押付力が変化すると切羽が不安定になり地山の細粒分の取込み制御が難しくなった。泥水調整(比重・粘性)を試みたが直ぐに希釈され効果が持続せず、使用材料の選定や設備の検討に思考錯誤した。

また、掘進機的面板・外周板の磨耗点検を行った所、面板補強材や硬化肉盛による補強にもかかわらず大きく磨耗していた。ただ、CMT工法はチャンバを開放することが可能であるために、チャンバ扉を開けて掘進機内部より圧気作業により切羽を安定させた後、面板・外周板の補修・補強を行えたので無事に到達することができた。

破碎された濃飛流紋岩の岩片が掘進機周辺に周りに回り込み回転部分を激しく消耗させたことによるものだが、その度合いは当初の予測を遥かに超えるものであった。



写真-3 異常磨耗した掘進機面板



写真-4 掘進機外周板

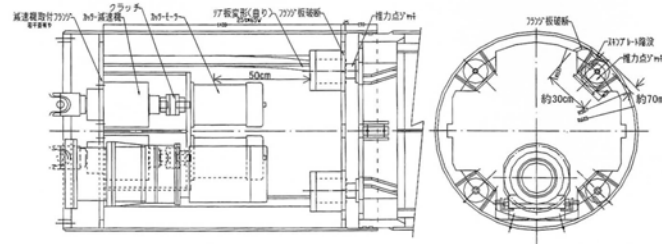


図-1 掘進機破損箇所図

### 2.3 2003年 山梨県中巨摩郡 (現南アルプス市)

表-3

φ1000mm L=472m R=110m
荒川扇状地堆積物：シルト混り玉石地盤 切羽の自立性に乏しい
茅ヶ岳火山噴出物：玉石混り砂礫地盤 巨大転石が多い φ1000mm
黒富士火山噴出物：シルト混り砂礫地盤 粘性土を挟む

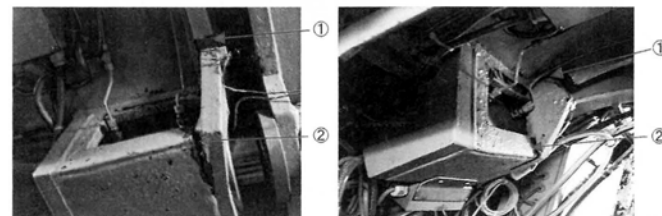


写真-5 掘進機破損写真

上記互層を推進中に約330m地点で推進力の異常上昇が起った。

推進管内及び掘進機内を点検したところ、掘進機右推進力点ジャッキ部の補強板の破断が発見された。詳細に調査すると推進力点ジャッキ部のスキンプレートが推進方向に約50cm、円周方向に約30cm、中心方向に約7cm陥没していた。それに伴い推進力点ボックス上部溶接部分および掘進機最後尾補強フランジが破断していた(写真一

5内の①②で示した箇所)。

掘進機破損原因の詳細が不明であり、内部からの修理は不可能と判断し、掘進機破損地点にφ2500mmの立坑を掘削して原因究明と修理を行った。掘進機を破損させた原因としては、焼け砂層の存在、主因の玉石の形状・強度及び掘進機との相対的な位置が最悪の状態であったと言える。

#### ①焼け砂

富士山の噴火砂で火山の周辺に局所的に堆積している地層。砂の粒子が相

互に密着しており、粘り強さが大きいので地耐力が非常に大きい。焼け砂層が掘進機の上載地盤に分布していたので玉石転動時に大きな反力で下方に押付けた。

#### ②玄武岩質安山岩

形状：650×500×300  
の逆おむすび形  
一軸圧縮強度：205MN/m<sup>2</sup>  
引張強度：12.4MN/m<sup>2</sup>

(但し資料が拘束状態であると>20MN/m<sup>2</sup>)

主因の玉石の下端が突出して曲率の小さな球面になっているため1点で集中的に加圧し、地山側の上端は曲率が大きく焼け砂より面で圧密反力を受けた。  
③玉石と掘進機の位置関係は、玉石の下面長手方向にローラビットによる切削面が確認できたことから、掘進機右上部外周付近に接する位置に

あった。  
当例は推進不能となり緊急の立坑を築造した事例であるが、事前土質調査に基づき推進管の選定、工法選定（掘進機構造・耐久性）、施工方法を十分に検討した上でのアクシデントであり不可抗力と判断された。

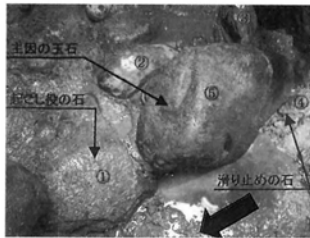


写真-6 主因の玉石

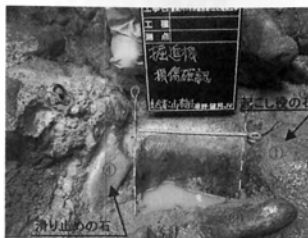


写真-7 掘進機陥没状況

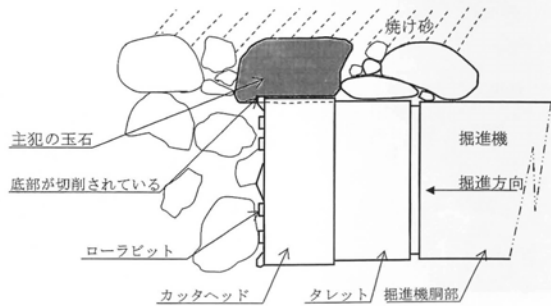


図-2 主犯の玉石が削られている状況

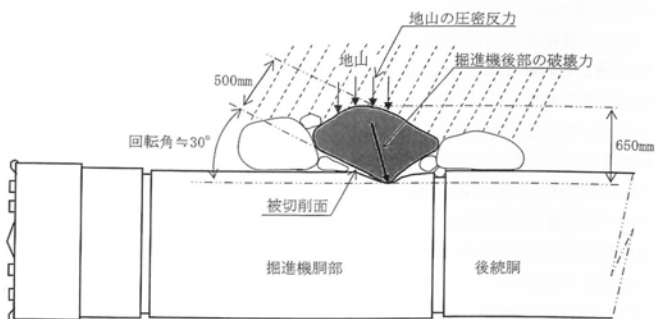


図-3 主犯の玉石が掘進機を押し潰した状況

## 2.4 2010年 岐阜県美濃加茂市

表-4

φ1000mm L=249.53m R=150m×2箇所
玉石平均圧縮強度285.7MN/m <sup>2</sup>
最大径 650mm

当該路線は木曾川沿いに位置して、濃飛流紋岩系の玉石分布率がが高く、地下水位は管天付近にあり無水層に近い地盤であった。

立坑掘削時には写真の通りの玉石層であり、推進延長250mではあるが難工事が予想された。前述2.1～2.3の経験に基づき、掘進機の強度の向上、セミ・シールド機構の採用、緩み土圧抑制材の注入圧・注入量管理を徹底した結果、懸念されたローラビットの損耗、カッターヘッドの磨耗は想定内におさまり、推進管の損傷もなく無事到達に至った。

玉石混り砂礫地盤（時には砂礫混り玉石地盤）を安全・確実に推進する場合は課題に対してより一層、技術の改善・開発に取組まなければならないと痛感した。



写真-8 立坑掘削状況

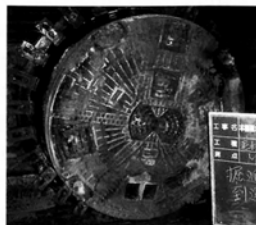


写真-9 到達時掘進機面

表-5 土質条件

	本郷雨水幹線 M532-1←M14-1 (φ1200路線)			
	流域Bor H3-No.11	下水Bor H16-No.3	下水Bor H16-No.4	加重平均
路線延長	—	—	—	255.40m
推進延長	—	—	—	249.53m
対象延長	22.85	172.66	54.02	249.53m
土被り	4.47	4.38	6.29	4.80m
管径	mm			φ1200
滑材	%			
地質名	玉石混りり砂礫 玉石～砂岩 玉石混りり砂礫			
平均N値	46	33	50	38
単体積重量γ1	kN/m <sup>3</sup>	21.2	20.6	22
内部摩擦角φ1	°	40.8	34.8	42
粘着力C1	kN/m <sup>2</sup>	0	0	0.0
単体積重量γ2	kN/m <sup>3</sup>	22	21.3	22
内部摩擦角φ2	°	42	34.6	42
粘着力C2	kN/m <sup>2</sup>	0	16.8	0
岩圧縮強度σ	kN/m <sup>2</sup>	10.3		10.3
玉石圧縮強度σ	kN/m <sup>2</sup>	297	297	245
切削抵抗Pe	kN/m <sup>2</sup>	500	500	500
透水係数	cm/sec	10 <sup>-4</sup>		
レキ混入率	%	65.6	52.7	58.4
RQD	%		74	74
ズリ抵抗C	kN/m <sup>2</sup>	2.02	1.93	2.02
抑制粘度V	mpa.s	15,000	14,490	15,000
最大粒径	mm			650
地下水位 (GL-)	m	3.57	3.70	5.90
水頭差		1.62	1.40	1.11
切削泥水圧Pw	kN/m <sup>2</sup>	16.2	14.0	11.1

ト・カッターヘッドに高い耐久性が求められる。

### ■ローラビット

センタートリコンビット、フェースローラビット、ゲージカッター  
母材に超鋼チップを圧入したもので、形状はへら型、砲弾型、丸ボタン型があり玉石強度により選定する。圧砕方式はチップにより玉石表面にひび割れ破断を起し砕いてゆくが、チップと玉石の接触面は部分的であり、位置・面積・方向が毎回変わる。また、玉石の割裂強度次第では面を1000KN程度押付けることがあり、ローラのベアリング耐荷力の強化を図った。

表-6 ローラビットベアリング耐荷力

動トラスト荷重	140KN
動ラジアル荷重	410KN



写真-10 掘進機内 点検扉からチャンバ内

フェースローラ・ゲージカッターの取付けは全て両持支持にて取付ける。

ローラビットの寿命はチップの磨耗・欠損、母材の磨耗（母材が磨耗するとチップの脱落が起きる）、ベアリングの破損等で決定する。当該地盤では各ローラの寿命を周動距離で判断することは難しい。玉石の強度や存在率等の因子が大きく寿命を左右する。当工法ではカッタートルクや掘進速度と押付力の変動を一つの判断材料にするが、礫破砕時はマシンが大きく揺

### 3 玉石砂礫地盤への取組み

玉石砂礫地盤を推進する課題は以下の三点になる

- (1) 掘進機の耐久性 (ローラビット・カッターヘッド他)
- (2) 推進力の低減
- (3) 推進管の品質確保 (クラック・孔あき)

上記3課題の検討には対象地盤の綿密な土質調査が必要不可欠です。

- ①対象地盤の玉石の成因（岩種）調査例を挙げると河川に付随するものでは、河川段丘や扇状地があります。一般的には河川段丘の玉石分布は偏っているが、扇状地では比較的均等です。
- ②マトリックスの分類と粒度組成マトリックスの分類や粒度組成はマトリックスがどの程度玉石を固定す

る能力を持つかの有力な判断資料になる。玉石砂礫地盤のN値は「50以上」という表記が多いが、マトリックスの支持力として判断することはできない。

③玉石の分布率と割裂強度  
玉石地盤の推進計画を行う場合、礫率70%、最大径500mm以上等の表記が多いが、最多玉石径や1m当りの存在率が大きな問題点となる。

玉石の割裂強度は掘進機の耐久性（ローラビット/カッターヘッド）の検討や推進管（高強度管）の選定に重要になる。

(1) 掘進機の耐久性  
CMT工法の玉石・礫対応掘進機はφ800～1800mmの実績があるが特に需要の多いφ800～1000mmについて記す。

CMT玉石礫対応掘進機は岩盤掘進機と同様の高い回転トルクを有し、玉石を破砕する工法でありローラビッ

動するので各データの解析が難しい。CMT工法はφ800mから機内よりのビットの点検・交換が可能であるため「疑わしきは点検」との姿勢で対応し、早めの交換を心掛けている。

■カッタヘッド

カッタヘッドは高トルクの回転力と面板押付力における耐久性が要求される。圧砕された破片により面板・外周板の対磨耗性やマシナレット部のベアリング強度の強化を図った。

カッタヘッドの磨耗対策は面板及び外周板に特殊補強材を装着し、隙間は硬化肉盛溶接で補強する。

(2) 推進力の低減

玉石・礫破砕型掘進機は面板に装着したローラビットで玉石を圧砕しながら推進を行う。玉石の割裂強度が大きく、また地盤の自立性がない場合は500～1000KNで面板を押付ける。マトリックスの粒度組成が悪い場合は添加材を面板から注して切羽前面を圧密状態にする。圧砕された岩片は掘進機外周へ押し出される。

一方、CMT工法の推進力低減方法は「緩み土圧抑制材」を管外周テールボイドに注入し緩み土圧の発生を防止し推進力低減を図る。

テールボイドへ圧砕された岩片が周り込むと、岩片が推進管に接している面は点接触に近く、単位面積当りの接触面圧が非常に大きくなる。例えば「滑材」を注入しても接触面圧が大きいと滑材膜が膜面切れを起こし効果は期待できない。到達した推進管外周面のセメント分が洗い出され骨材がむき出しになっていることから推進管外周の過酷な環境が推測される。極圧状態で膜圧切れ状態を生じない「鱗片状黒鉛」などの減磨材の添加を検討したが実現には至っていない。

添加材を面板より十分注入し、外周テールボイドへ注入する「緩み土圧抑制材」の粘性を20,000mPa.sまで上げて推進管外周の環境の緩和に努めている。

他方、面板スリット（土砂取込み口）の形状や遠隔操作による開口率調整に



写真-11 到達した推進管外周面状況

より、クラッシュによる2次破砕が可能な岩片・礫を出きるだけ取込み、外周への周り込みを防止して推進力低減に努めている。

(3) 推進管の品質確保

玉石・砂礫地盤における推進管の品質確保にクラックや孔あき発生防止が上げられる。

【玉石による推進管損傷が起こる条件】

①危険な大きさの玉石が多数ある

危険な大きさとは中径の60～200mm程度で、これより小さければ玉石の強度が小さく玉石が割れ、これより大きいと地山に包まれ回転し難い。

②地盤のN値が高い

楔作用や転動は反力となる地山強度がなければ地山側へ逃げるので推進管に大きな外圧は掛からない。

③推進管の一点耐荷力より硬い玉石がある

管強度より玉石の割裂強度が小さければ先に割れる。

④巨礫が存在する

N値が小さくても巨礫と管の間に玉石が挟まり 楔作用が起こる。

対象地盤がこれらの条件に当てはまる場合は掘進機の性能や管外周への手当てだけではクラックや孔あき防止は難しい。玉石の割裂強度より推進管の1点耐荷力が大きければ推進管の破損は防げる。管の破損が起きると連続的に発生することが多く破損防止には、採用管種（高強度管）の検討を十分注意して行う必要がある。

玉石の割裂強度と管の耐荷力は以下のようになる（参考値）。

ガラス繊維入り管の場合は推進管の中央に一点集中荷重をかけると、ガラス繊維により集中応力が広く分散される。また、推進管の端面に近い所に一点集中荷重をかけると、荷重点より端面に近い方は荷重が分散できないので孔が開く前に縦割れクラックが先行して生じ孔が開く。中央より約30%耐荷力が低下する。

推進管材の強化によってクラック・孔あき防止対策とするのは、経済的には負担になるが、対象地盤の条件によっては検討すべき重要事項である。

CMT工法では掘進機後部にセミ・シールド機構を配置することで掘進機を直接押付け、推進を行う。推進管の管列自体が弾性体であり、クッション材が加わると推進力による圧縮力を受

け、縮んで応力を蓄えようとする。推進距離が延びると元押しジャッキによる掘進機への推進力伝達が不安定になり切羽への押付力が安定しない。掘進機後部に配置したセミ・シールド機構で掘進機を操作することで、地山の変化等に瞬時に対応できる。また、元押しジャッキの推進力負担より先端抵抗を減じることができ、推進中は常時管列全体に推進力をかけ続けることによる管破損の可能性も減じられる。

4 おわりに

現在、推進工法は広範囲に適用されている。近年の技術開発の進歩と共に大口径・超長距離・急曲線が求められるが、特に玉石・礫地盤の施工においては事前の詳細な土質調査が工事の成否を左右すると言っても過言では

ない。

今回は玉石・礫地盤推進の中でも過酷な条件での施工例を中心に報告をしたが、このような現場での問題点は一般の玉石・礫地盤推進にも通じる問題でもある。玉石・砂礫地盤においては玉石の強度・分布率・最多玉石径・マトリックスの状態を詳細に調査したうえで、管径・管種・掘進機仕様・推進延長等の検討を詳細に亘って施工計画を立てないと想定外の結果に陥る危険性のある工事である。

CMT工法は岩盤推進から始まり礫地盤推進や超長距離推進、さらには障害物撤去推進などを手掛けており、玉石・礫地盤はどちらかと言えば得意とする範囲に入る部分である。ここで紹介した通り国内には非常に過酷な条件の現場もありその対応にはさらなる努力が必要であると考えている。

CMT工法の基本テーマである「如何なる条件下の工事をも失敗することなく安全に、安心して完遂すること」を目指し、協会・協会員が益々技術を研鑽し推進工法の発展に貢献したいと思っている。

【参考文献】 CMT協会提供資料

○お問合せ先

CMT工法協会  
〒547-0002  
大阪市平野区加美東4-3-48  
Tel: 06-4303-6026  
Fax: 06-4303-6029  
http://www.suiken-cmt.co.jp/  
佃姫野組関西支店  
〒651-0085  
神戸市中央区八幡通3-2-5  
I・N東洋ビル304  
Tel: 078-252-1152  
Fax: 078-252-1172

表-7 カッタヘッドの許容耐荷重 (kN) (参考値)

呼び径	φ800	φ1000
従来型	600	800
新型	1000	1200

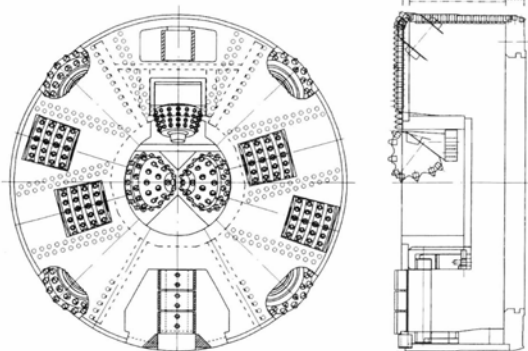


図-4 磨耗対策

表-8 推進管の損傷

損傷種別	特徴
推進力伝達による割れ	管端面破壊
方向修正による割れ	ドーナツ状割れ 縦割れ
玉石 楔作用による割れ	連続縦割れ ヘアークラック状
転動 (カム作用) 割れ	縦割れ+孔あき φ60～200mmの玉石径が多い

表-9 玉石強度 (kN)

種別と引張強度 (割裂強度)	濃飛流紋岩 24 (N/mm <sup>2</sup> )	神戸層流紋岩 16 (N/mm <sup>2</sup> )	花崗岩 11 (N/mm <sup>2</sup> )
サイズ (φ・mm)			
60	88	59	40
90	132	88	61
120	176	118	81
160	235	157	108
200	294	196	135

表-10 推進管の一点荷重耐荷力

呼び径	管種	管厚 (mm)	一点集中荷重耐荷力 (kN)	
			中央載荷	端部載荷
900	SSP1種	90	240	168
900	SSP2種	90	334	233
1000	SSP1種	100	304	212
1000	SSP2種	100	400	280
1000	SSP1種	中厚120	600	420
1000	SSP2種	半管100	192	

※推進管の載荷試験機を使用し、鉄のブロックを玉石代わりに推進管天井に一点荷重を加え求めた。(未試験管は推定値)