

解説

巨石地盤

CMT工法による 巨石地盤への対応と施工例

たなか もとき
田中 基紀

CMT工法協会



1 はじめに

推進技術は下水道事業を中心に著しい開発・発展をとげ、平成25年における下水道普及率（76.3%）に大きく貢献してきた。

推進工法の技術開発は長距離化、急曲線化、大口径化が急速に進んだが、土質条件によっ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。

岩盤推進を目的に開発されたCMT工法複合掘進機は岩盤推進技術を応用して、長距離推進や玉石砂礫地盤へと挑戦しているが巨石地盤克服への取組みを紹介する。

2 開発履歴

2.1 CMT複合掘進機

CMT複合掘進機は岩盤推進用に開発され、1981年に兵庫県三田市において1号機が採用された。面板には切削ビットが装着されたものであったが、1992年には面板にローラビットを装着した掘進機が開発された。当時の掘進機の砂礫地盤への対応は機内クラッシャが対応できる礫径100mm程度までに制限されていたが、岩盤用として

ローラビットを装着したローラヘッド型面板が開発されたことにより、1993年には玉石礫対応型掘進機の1号機が開発された。

- ①ローラビットを装着したローラヘッドで玉石礫を破碎する
- ②カッターヘッドが大きなカッタートルクを有する
- ③マシンタレット部のベアリング耐荷力が大きい
- ④機内に2次破碎用クラッシャフィーダを有する
- ⑤φ800mmより機内からビット交換が可能である（CMT圧気設備併用）

以上の掘進機性能をもって巨石を含む玉石礫地盤に取り組んでいるが、玉石砂礫地盤においても、長距離・急曲線・急勾配等のさらに過酷な条件下での推進施工が求められてきた（表-1）。

2.2 （巨石）玉石礫対応掘進機の技術開発

巨石は300mm以上の玉石の呼称であるが、岩塊から分離し転石となり、風雨にさらされ、河川に運ばれた場合に脆い部分はそぎ落され堅固な岩芯部分が残るため、元の岩盤の平均的な強度より大きな岩石強度を有することがある。岩盤が一樣で風化されやすい花

崗岩等は岩石資料の圧縮強度が50～200MN/m²に対して、転石の圧縮強度は100～200MN/m²であり、節理面からの風化以外に風化され難い流紋岩・安山岩・玄武岩等火山岩は岩石資料の圧縮強度が50～200MN/m²に対して、転石の圧縮強度は100～200MN/m²であり、稀に300MN/m²を超えるデータも報告される。このような巨石を破碎して推進するには各パーツにおいて高耐久性を有する掘進機が要求される。

（1）カッターヘッド

CMT複合掘進機は（公社）日本推進技術協会の主分類では「土圧方式-面板加圧方式」に分類されている。削土密閉加圧方式や泥水加圧方式と異なりカッターヘッドに取付けた面板で直接切羽を加圧して切羽の崩壊を防ぐ方式である。また、100MN/m²を超える玉石（巨石）はローラビットを押付けても瞬時に破碎することはできない。手前から少しずつ圧壊を繰返し200mm程度になれば一気に破碎される。切羽を保護して玉石（巨石）を破碎するには、面板を数十トンの力で切羽に押付けた状態でカッターを回転させることが必要になるが、CMT複合掘進機は元来岩盤掘進機として設計製作されたので大きなカッ

表-1 玉石砂礫地盤実験表

年月	施工場所	呼び径	距離 (m)	線形	記事
1993.05	滋賀県大津市	1000	333	R = 200	礫破碎型1号機 (ローラ型)
1994.03	長崎県諫早市	1000	210	直線	河川横断
1994.09	岐阜県岐阜市	1000	523	R = 200×3	推進延長500m以上
1995.04	滋賀県大津市	1000	460	R = 100/500	鉄道横断
1996.05	愛知県犬山市	900	262	R = 100/200	推進管穴開き発生
1996.11	愛知県江南市	1000	261	R = 100	掘進機面板摩耗穴開き発生
2000.01	山梨県中巨摩郡	1000	542	R = 100/300/500	玉石により掘進機損傷
2002.04	滋賀県大津市	1100	693	R = 60/65/300	VR = 500 中折れ型
2009.12	岐阜県美濃加茂市	1200	249	R = 150×2	
2010.03	兵庫県姫路市	1800	433/247	R = 300×3	大型ローラビットの開発
2012.07	静岡県静岡市	1000	699/243	R = 200×2/600	VR = 300 玉石砂礫最長距離
2012.11	兵庫県姫路市	1350	538	R = 75/500/700	中折れ型
2013.01	兵庫県神戸市	1000	330	R = 55/300VR = 700	上り6.9%中折れ型
2013.06	滋賀県東近江市	1000	584	R = 50/100/300/700	中折れ型
2013.06	滋賀県東近江市	1000	595	R = 100/150	

(玉石砂礫地盤施工実績抜粋)

表-2

(参考値)

呼び径	電動機	回転数	トルク	動力	ベアリング許容耐荷力
1000	11kw×4	4.6rpm	80kN・m	44.75kw	1,200kN

タトルクを有し、マシンタレット部のベアリング耐荷力が大きく玉石（巨石）砂礫地盤の推進が可能になる(表-2)。

この様に切羽保護や玉石（巨石）破碎を目的に押付けられた面板は、玉石（巨石）が破碎されチャンバに取込まれる過程において、面板は角張った破砕片により激しく切削摩耗される。過去にカッターヘッド面板や外板が破砕片に削られて穴が開くという事象が発生した。

対応策として超硬チップを面板に埋込み強化を図る。幅15mm、長さ60mm、厚み10mmの長型超硬チップを180枚埋込み（φ1,000mm）、その間には耐摩耗硬化肉盛溶接を厚さ3～4mm施し補強する。

巨石に遭遇すれば2～5mm/分の速度で少しずつ削って破碎する。玉石砂礫地盤の多くは粒度構成が悪く自立性がないので、マトリックスである細粒分が過剰に取り込まれると、玉石が揺動し破碎が困難になると共に上載地盤の陥没を引き起こすことがある。

複合掘進機は開口率3～4%に絞った土砂取込み口を1箇所（モノスリット）設けることで細粒分の取込みを制御す

る。さらに遠隔操作による自動開閉スリット機構が開発され開口率を0～4%で制御する。（φ800mmより対応可能）
(2) ローラビット

CMT複合掘進機の玉石礫対応型は超合金チップ（JIS-E5）を圧入したローラビットを装着している。カッターヘッドの低速回転に合わせたローラビットによる集中荷重型の圧壊方式により、巨石表面に引張応力によるひび割れ破断を発生させて圧壊する。

ゲージ・フェースローラビットは押付け力や衝撃力に耐えられるように原則として両持支持にて取り付け。

ローラビットの交換要因は①チップの摩耗・欠損②母材の摩耗③ベアリング・シールの破損が考慮される。

①チップの摩耗

超合金は硬度が高いほど靱性が低いとされている。チップと巨石の接触面は部分的であり、位置・面積・角度が毎回変化するために摩耗や欠損が増加

される。

超硬チップの材質はJIS-E5を採用しているが、巨石の強度・大きさや出現率を考慮して、へら型・砲弾型・丸ボタン型を選択する。玉石（巨石）礫対応型のローラビットの配列は、（φ1,000mm型）

【センタツーコンビット】

センターに2個配置し最外周側のチップは2パスになる。

【フェースビット】

外周側に向かい4個配置し20mm間隔の1パスで全面を掘削する。

【ゲージカッタ】

チップ配列が2種類のビットを4個配置し、チップは半径方向に3列並び内側2列は2パス、最外周は4パスとしテールボイドを確保する。

②母材の摩耗

チップの摩耗と共に母材も激しく摩耗し、転動距離の長い外周側ほどチップ