

# 31. タイヤ式多目的運搬台車について

## － 急曲線・急勾配に対応した坑内運搬台車 －

清水建設(株)土木技術本部機械技術部 ○藤井暁也  
清水・東急特定建設工事共同企業体 磯部哲  
首都高速道路株式会社 溝口孝夫

### 1. はじめに

泥土圧シールドトンネルの掘削土搬出や資材の搬送は、一般的にはトンネル内に軌条（レール）を敷設し、軌条上に充電式運搬台車を走行させている。それに対し今回馬場出入口工事においては、タイヤ式多目的運搬台車を採用した。

以下、タイヤ式多目的運搬台車の採用理由、台車の特徴、現場導入効果について報告する。

### 2. 横浜環状北線馬場出入口工事概要

横浜環状北線（以下、北線）は、横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間、第三京浜道路「港北インターチェンジ」から首都高横羽線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路である（図-1）。

馬場出入口は、横浜環状北線のほぼ中央に位置し、地表の現道と北線の本線トンネルを接続する馬場出入口および馬場換気所を構築し、現道の太田神奈川線を整備・拡幅する工事である。このうち馬場出入口のシールド工事は、泥土圧シールド（外径φ10.13m～11.13m）工法により、地上発進立坑から既設の北線本線トンネルに接続するランプトンネルを構築するものである。工事の特徴として、次の項目が挙げられる。



図-1 横浜環状北線馬場出入口位置図

#### (1) 急曲線施工

最小曲線半径 50m で掘進する区間が存在する。

#### (2) 急勾配施工

最急 7.4%～8.1% という下り勾配で掘進する。

### 3. 急勾配に対応した坑内搬送台車の検討

本工事では、急曲線、急勾配施工となることを考慮して、坑内搬送について、

- ・ 軌条（レール）式工法
- ・ タイヤ式工法

の2案を比較検討した。

5%以上の勾配で施工する場合は、安衛則202条の「軌道のこう配」より、逸走防止対策を設ける必要があり、主に下記の搬送方式が検討採用される。

- ・ ラック&ピニオン方式
- ・ リンクチェーン方式
- ・ タイヤ方式
- ・ ウィンチ方式
- ・ ホイスト方式

#### 3. 1 軌条（レール）式工法の検討

軌条（レール）式工法を採用するにあたり、以下(1)～(3)の課題を検討する必要があった。

##### (1) 機関車の走行車輪

機関車が安全に走行するためには、レールと車輪間の摩擦抵抗が必要である。レールの摩擦抵抗は一定であるため、車輪側で摩擦抵抗を増やさなければならない。機関車の車輪の勾配別材質、対応方法は一般的に次のとおりである。

- ・ 0～30%…………… 鋳鋼車輪
- ・ 30～50%…………… アルキャン※車輪
- ・ 50%以上…………… 車輪と他の逸走防止装置併用（ピンラック式、アプト式）

また摩擦係数は下記の値を用いる。

- ・ 鋳鋼車輪…………… 0.2程度
- ・ アルキャン車輪…………… 0.4程度

※アルキャン：セラミック粒子を混合したアルミニウム合金で高粘着性を有する材料

## (2) 制動装置

機関車が安全に走行するためには、確実なブレーキ性能を有していなければならない。坑内機関車の制動装置には一般的に以下のような種類があり、これらの制動装置を単独または組み合わせ装備されている。

- ・ サーボモーターによるサーボブレーキ
- ・ 油圧ディスクブレーキ
- ・ 無励磁作動（負作動）電磁ブレーキ

サーボモーターは指令速度に応じたモーターのトルク制御により上り下りの勾配、牽引負荷の大小にかかわらず、常に機関車の一定速度走行を可能にする。従来の運転員の経験と勘による熟練操作と異なり、速度および停止指令のみの容易な運転、制動操作が可能である。

ディスクブレーキは、車軸と共に回転する円盤状の金属ローターを、その両側から2枚の摩擦材（ディスクパッド）で挟み、圧着することで制動力を生み出すものである。

無励磁作動（負作動）電磁ブレーキは、通電オフあるいは停電時にバネにより制動力が働くスプリングクローズ式の無励磁作動（負作動）電磁ブレーキである。スプリングを複数個使用しているため信頼性が高く保持用ブレーキ、非常停止用ブレーキに適している。

## (3) レール（第3軌条）

通常の軌条（レール）式工法では、レール2条の上を走行する。5%以上の急こう配の条件でレール工法を採用する場合、ラック式（歯軌条）と呼ばれる第3軌条を追加する。この方式はラック式（歯軌条）と呼ばれ、2本のレールの中央に歯型のレール（歯軌条、ラックレール）を敷設し、機関車の床下に設置された歯車（ピニオン）とかみ合わせることで、急勾配を登り下りするための推進力と制動力を補助する方式である（図-2）。

以上のように軌条式（レール）を採用する場合は、追加の対策が必要となる。



図-2 第3軌条（ラック式レール）

## 3. 2 タイヤ式工法検討

タイヤ式工法は、車輪がタイヤで構成される車両で坑内運搬する方式である（図-3）。この車両の車輪はゴムタイヤで、ディーゼルエンジンで走行するタイプなどがあり、軌条を必要としない。

また、軌条（レール）式は、単線の場合、分岐点の退避車線で逆行の車両の通過を待機する必要があり、その場合サイクルタイムに遅れが発生する。

さらに、本工事では5%以上の急勾配がある為、第3軌条の設置、撤去工事を行うことで、段取り替えの日数、工費が別途必要となるが、タイヤ方式では不要となる。これらを勘案して今回のシールド工事では、タイヤ式工法を採用した。



図-3 タイヤ式工法で使用する車両の例

## 3. 3 タイヤ式工法採用の問題点および対策

タイヤ式工法を採用するにあたり、坑内で車両後進時に発生する災害は重篤災害に繋がる可能性があるため、特に以下の災害の発生防止対策を検討した。

- ・ 後進運行の距離を極力短くする事
- ・ 坑内すれ違い場所の設置

上記について検討した結果、本工事では、前後2方向に運転席が配置された坑内搬送台車を採用し（図-4）、常に運転手が前向きに走行できることで死角を減らし、災害の抑制を図った。更にこの車両の走行時の安全性を向上させるため、路面については全線H鋼枕木を敷き詰め、滑り止め防止用の鉄筋を配置した。さらにH鋼枕木を採用することにより、全線においてすれ違ふことが可能となった（図-5）。



図-4 前後に運転席が配置された坑内搬送台車

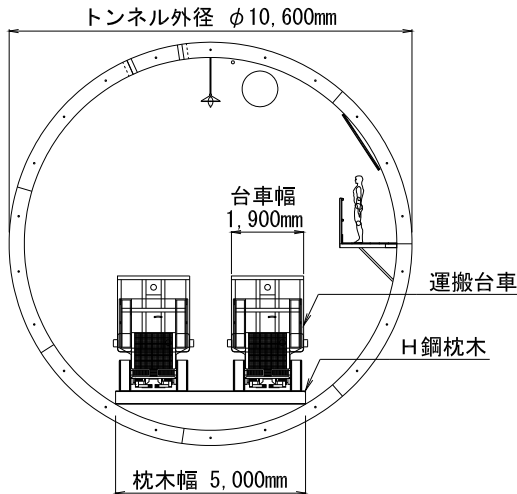


図-5 坑内走行状況図(運搬台車×2台)

#### 4. タイヤ式坑内搬送台車の特徴

##### 4.1 積載重量, 走行速度

タイヤ式の坑内搬送台車では、積載物は用途に応じてブリ函、クレーン、アジテーターなど多様な用途に対応が可能である。多目的に運搬する台車という意味で、MSV (Multi service vehicles) と呼称する。MSVは、積載重量については、10t~200tまでの対応が可能で、また、装備可能な空車での最大走行速度は20 km/h (表-1) である。なお15tの積載車両をMSV15、50t積載車両をMSV50と呼ぶ。

表-1 レール式とタイヤ式 (MSV) の走行制限速度比較

レール式	「トンネル工事における運搬設備による危害防止に関する技術基準」	
	動力車のみ	15[km/h]
	牽引運転	10[km/h]
	後押し運転	8[km/h]
	急曲線、分岐器区間	3[km/h]
タイヤ式	MSV装備能力	
	MSV15(セグメント搬送)	
	空車, 水平走行	20[km/h]
	空車, 上り7%勾配	16[km/h]
	実車, 水平走行	15[km/h]
	実車, 上り7%勾配	7[km/h]
	MSV50(掘削土運搬)	
	空車, 水平走行	18[km/h]
	空車, 上り7%勾配	16[km/h]
	実車, 水平走行	9[km/h]
実車, 上り7%勾配	6[km/h]	
本工事における制限速度		
上り勾配	5[km/h]	
下り勾配	7[km/h]	

#### 4.2 勾配, 転倒に対する安全装置

MSVの設計は、空車走行時最大登坂能力25%まで可能であるが、本工事のトンネル勾配は7.4%~8.1%であることより、今回は最大積載重量載荷時10%対応車を採用した(図-6)。

その他安全装置として、転倒を防止するため転倒傾斜センサーを装備しており、車体に組み込まれた傾斜計により、車体の転倒傾斜角度4°で警告、転倒傾斜角度6~7°で緊急自動停止するようにした。

また前述の通り車体の前後には運転席を装備し、運転者は常に進行方向側の運転席で運転を行うことで、後退時の坑内作業員の巻き込まれ災害を抑制できるようにした。



図-6 MSV 急勾配走行状況

#### 4.3 制動装置 (ブレーキ)

逸走の危険性を排除するため、MSVには5種類の制動装置を装備した。

- ① 静止ブレーキ (パーキングブレーキ)  
パーキングピストンが多層ディスクを押さえる。
- ② ダイナミックブレーキ  
サービスピストンが多層ディスクを押さえる。
- ③ 油圧ブレーキ (HST=Hydro Static Transmission : 静油圧駆動装置)  
油圧ポンプへの吐き出し量を減少し、モーター回転を減らす。
- ④ 緊急ブレーキ  
パーキングピストンが多層ディスクを押さえる。
- ⑤ セーフティーブレーキ  
エンジン回転数の過回転を判断し、コンピュータが自動判断し停止させる。

特に③油圧ブレーキ (HST) に使用されている駆動方式は、可変容量形ポンプと定容量形モーターを組み合わせた動力伝達機構である。駆動軸と被駆動軸の回転比率を無段階に変えることやその逆転も可能である。ポンプで一度油圧動力に変換

してから、油圧モーターにより再度機械的な回転に変換することにより大出力の安定したトルクが得られる。この油圧ブレーキは油圧が発生しない限り機械的に駆動しない、即ちブレーキがかかったままになる。

またステアリングモードは2輪駆動・4輪駆動・カニ走行があり、小回りが利き、幅寄せもスムーズに行うことができる。さらに車体幅は1.0m～1.9m、車高は1.5m～3.2mで多種にわたるシールドマシン後続設備の区間走行にも安全に対応することができる。

#### 4. 4 環境対策

環境に関しては、ディーゼル特定特殊自動車の排出ガス規制を順守することが重要である。

本工事で採用した MSV15（エンジン定格出力110kw）は、エンジンから排出されるPMを捕集、低減するためにDPF（Diesel Particulate Filter：PM捕集装置）を採用し、MSV50（エンジン定格出力235kw）は尿素による排出ガス浄化技術を搭載し、排出ガス規制値（2011年規制）をクリアした（表-2）。

表-2 排出ガス規制値（2011年規制）

	エンジン定格出力	
	75kw以上 130kw未満	130kw以上 560w未満
CO(g/kWh)	5	3.5
一酸化炭素	(6.5)	(4.6)
NWHC(g/kWh)	0.19	0.19
非メタン炭化水素	(0.25)	(0.25)
Nox(g/kWh)	3.3	2.0
窒素酸化物	(4.4)	(2.7)
PM(g/kWh)	0.02	0.02
粒子状物質	(0.03)	(0.03)

※括弧内の値は上限値を表す。

#### 5. 導入効果

本工事でのタイヤ式多目的運搬台車（MSV）の走行状況は良好であり、発進、停止時もスムーズに動作している。現場では、発進時の合図、後続台車進入時の表示、走行前のブレーキの確認などを、さらなる安全対策として実施し、衝突事故、逸走事故防止に努めている。

またMSVは、環境に配慮したエンジンを搭載しているため、坑内環境も良好である。

#### 6. おわりに

本工事のような急勾配、急曲線トンネルにおいて、タイヤ式多目的運搬台車により、安全に坑内搬送を行うことができた（図-7）。この台車は最大積載200tまで対応できるため、今後の国内の大型シールド工事で有効な選択肢の一つとなると考えられる。



図-7 坑内急曲線走行状況

#### 参考文献

- 1) トンネル工事標準示方書「山岳工法編」・同解説，土木学会，pp.156～158，平成18年
- 2) トンネル工事標準示方書「シールド工法編」・同解説，土木学会，pp.192～193，平成18年
- 3) 現場関係者必携 トンネル工事の安全「運搬編」，日本トンネル技術協会，pp.50～73，平成3年1月
- 4) トンネル工事における運搬設備による危害防止に関する技術基準，日本トンネル技術協会，pp.45～158，昭和51年3月