

10. 連続ベルトコンベアによる TBM 掘削ずり搬出

(顧問 組)：*斎藤 篤, 工藤 繁樹
清水 学

1. はじめに

ここ数年、道路トンネルや発電用導水路等の山岳トンネルの施工にTBM (Tunnel Boring Machine) 工法が注目を浴びており、その施工件数は顕著に増加する傾向にある。TBMの最大の特徴は高速掘進性にあり、その特徴を最大限に発揮させるためには、TBMの掘削能力に見合ったずり搬出能力が必要である。そこで、TBMの長距離掘削を考慮して、鋼車によるレール方式と連続ベルトコンベア方式を比較検討した結果、東海北陸自動車道袴腰・城端トンネル避難坑工事のずり搬出に連続ベルトコンベア方式を採用した。

ここでは、袴腰・城端トンネル避難坑工事の施工実績に基づく連続ベルトコンベア（以下連続ベルコン）の運用について報告する。

2. 工事概要

工事名称：東海北陸自動車道 袴腰・城端トンネル避難坑（その1）、（その2）工事

工事場所：自）富山県東砺波郡上平村漆谷

至）富山県東砺波郡城端町大字是安

工 期：平成 6 年 10 月～平成 11 年 11 月

発注者：日本道路公団 新潟建設局

施 工：ハザマ・大日本土木共同企業体

施工延長：城端トンネル 3,242 m (φ 4.5 m, 貫通)

袴腰トンネル 5,901 m (φ 4.5 m, 施工中)

また、図-1 にずり搬出経路図を示す。

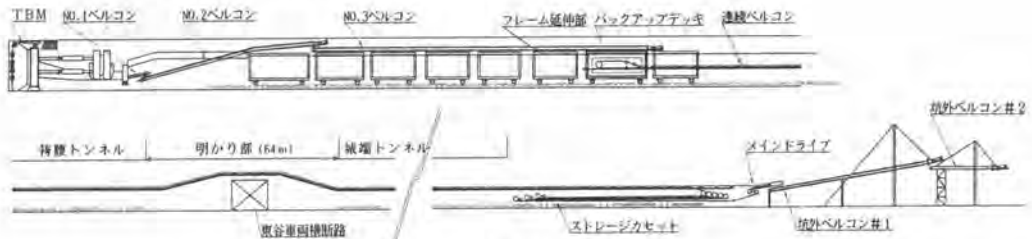


図-1 ずり搬出経路図

3. 連続ベルコン概要

3-1 連続ベルコンの選定理由

TBMの掘削ずり搬出方法について、TBMの高速掘進を確保するため、城端トンネル (L

＝ 3.2 km, トンネル最大勾配＝ 3 %) をモデルに鋼車によるレール方式と連続ベルコン方式を比較検討した。鋼車によるレール方式の場合、ずり搬出用鋼車はバッテリーカー＋鋼車 $6 \text{ m}^3 \times 2$ 台を 1 編成として、最大 6 編成が必要となり、複線軌道、ポイント設置、軌道の保守、資材の搬入などによる掘削サイクルへの影響が心配された。また、トンネル勾配が 3 % の下り実車となるため、バッテリーカーの制動距離の観点から安全管理に問題が発生する懸念があった。

一方、連続ベルコン方式の場合、坑内全線にベルコンを延伸するだけで、連続的に大容量のずり搬出が可能となる。また、ずり搬出をベルコンで行うため、坑内を走行する列車は資材運搬および人員輸送のみの使用に限られることから、単線軌道で済み、坑内の安全性を確保することができる。

以上のような検討の結果、経済性、安全性などを総合的に判断してずり搬出には連続ベルコンを採用した。

3-2 システム概要

連続ベルコンは、図-2 に示すように、TBM 後続台車にセットされたバックアップデッキとトンネル坑外に設置されたストレージカセットが 1 本のベルトコンベアで結ばれており、掘削ずりを坑外まで連続的に搬出することが可能である。坑外のストレージカセットには、300 m (掘進距離＝ 150 m) のベルトがストックでき、TBM の進行に伴い、ストレージカセット内のベルトは自動的に引き出され、ストック分のベルトがなくなれば、新たにベルトを接続し、ストレージカセット内にストックする。コンベアの駆動は、メインドライブにより行うが、延長が長くなれば、ブースタドライブを追加する必要がある。

坑内ベルコン設置状況を写真-1、坑内標準断面図を図-3 に示す。

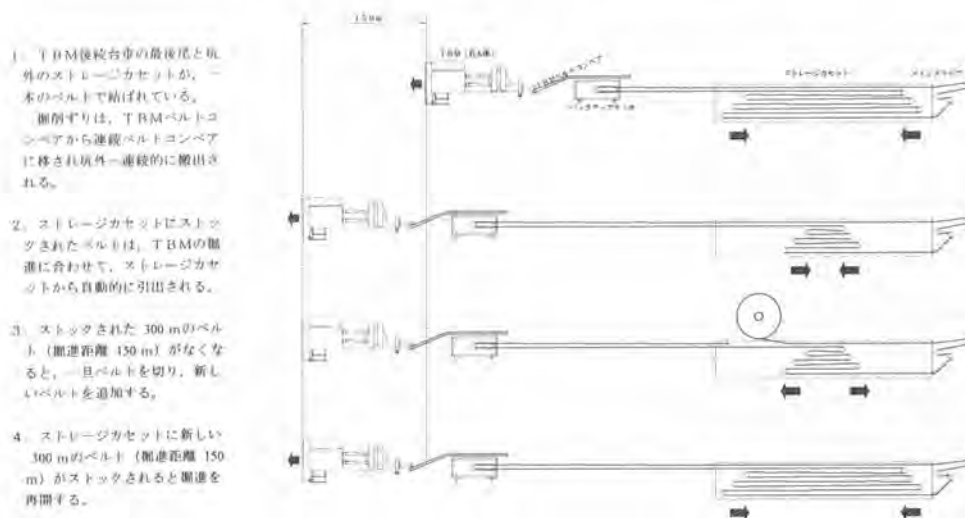


図-2 連続ベルコン イメージ図



写真-1 坑内ベルトコン設置状況

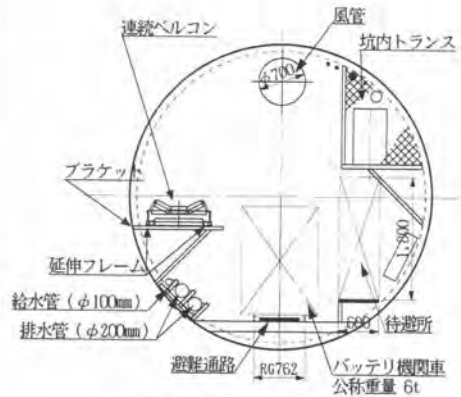


図-3 坑内標準断面図

3-3 主要諸元

表-1 に本システムの主要諸元を示す。

表-1 連続ベルトコンベア主要諸元

NO	項目	仕様	備考
1-	基本仕様		
1	システム全長	9,207 m	高低差= 96 m
2	ベルト幅	610 mm	
3	ベルト速度	168 m / min	
4	運搬能力	336 t / h	
5	ストレージカセット長	56 m	
6	ストレージカセット容量	300 m	
2-	駆動装置仕様		
1	駆動形式	タンデムドライブ	
2	起動方式	ソフトスタータ	
3	メインモータ	150kW	
4	キャリアブースタ NO.1	150kW	設置位置:メインモータより 3.2 km
5	キャリアブースタ NO.2	150kW	" :メインモータより 6.4 km
6	リターンブースタ NO.1	112kW	" :メインモータより 4.2 km
7	リターンブースタ NO.2	112kW	" :メインモータより 6.7 km
3-	ベルト仕様		
1	引張強さ	630 kg f / cm	
2	サイズ	610 × 3P × 5.0 × 2.0	幅×フライ×上ゴム×下ゴム
3	厚さ	9.6 mm	
4	芯体材質	ナイロン	
5	カバーゴム材質	普通ゴム	
4-	ローラ仕様		
1	キャリアローラ径	φ 100 mm	
2	キャリアローラ取付ピッチ	1.5 m	
3	トラフ角	27°	
4	リターンローラ径	φ 100 mm	
5	リターンローラ取付ピッチ	3.0 m	

4. 現場運用

4-1 起動方法

1) 制御方式

ベルコン起動時の衝撃負荷を和らげるために”ソフトスタータ”を使用した。ソフトスタータは、低速で起動し、徐々にモータの回転速度を上げていくものであり、SCR（サイリスタ）による位相制御を行っている。

2) 起動順序

図-4に示す通り、最終的に連続ベルコンの総延長は約9kmとなるため、1台のメインドライブ（以下MD）の他に2台のキャリアブースタドライブ（以下CBD）と2台のリターンブースタドライブ（RBD）の設置を予定している。

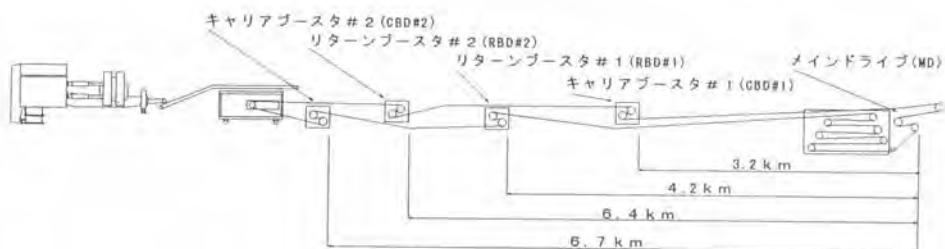


図-4 メインドライブおよびブースタドライブ配置図

ドライブの起動は、順次起動とし”MD→CBD#1→RBD#1→CBD#2→RBD#2”の順序でモータが始動するようタイマを設ける。

現在は、MD×1台、CBD#1×1台で運転を行っており、MD始動後、5秒後にCBD#1が始動するように設定している。CBD#1の始動時間については、タイマの設定遅延時間を0（同時起動）～60秒の範囲で変えて試運転を行い、その結果MDおよびCBD#1が最もスムーズに起動した値を採用した。

4-2 ベルコンフレーム延長（写真-2参照）

次の①～④の作業を坑内で繰り返し行うことにより、ベルコンを延長する。

- ① 3m掘進ごとにベルコンフレーム固定用のブラケットを設置。ブラケットは坑壁にアンカで固定。不良地山区間では、支保工に溶接して固定。
- ② フレーム設置（長さ3m）。
- ③ リターンローラ設置（3m間隔）。
- ④ バックアップデッキのテールピース内でキャリアローラ取付（1.5m間隔）。



写真-2 フレーム延伸部

4-3 ベルトの盛り換え

150 m掘進ごとに以下の①～⑤の手順により、ベルトの盛り換えを行う。図-4に盛り換え作業概要図を示す。

- ① 延伸用のベルトを盛り換え架台上に設置 (写真-3)。
 - ② 架台付近でベルトを固定し、ベルトを切断 (図-5上)。
 - ③ 機械的接続 (スプライス使用) にて延伸用のベルトと既設のベルトを接続 (写真-4)。
 - ④ 油圧シリンダでキャリアカセットを牽引することにより、ベルトを引き込む (図-5中)。
 - ⑤ 300 m分のベルトを引き込んだら、他端を機械的接続にて固定 (図-5下)。
- なお、機械的接続は仮接続とし、後日自然加硫にて再接続する。

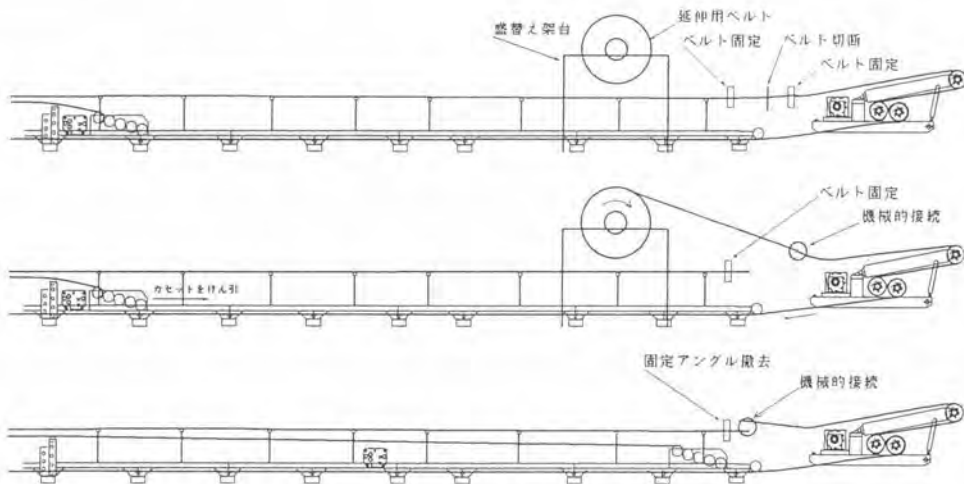


図-5 ベルト盛り換え概要図

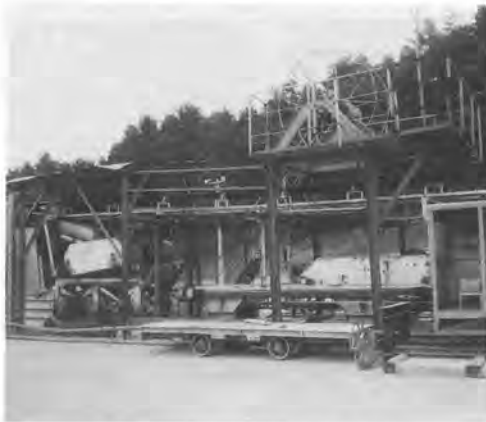


写真-3 ベルト盛り換え架台



写真-4 機械的ベルト接続作業

4-4 安全対策

安全対策として以下のことを実施している。

- ① 100 m毎に非常停止スイッチを設置し、スイッチ間をロープで結ぶことにより、坑内全線で非常停止可能な機構とした。なお、非常停止機構の延長は、フレーム延長作業と並行して逐次行う。
- ②ベルコン起動時は、坑内電話にて一斉放送し、さらに、各ドライブにて警報音を鳴らし、ベルコン稼働中は表示灯を点灯する。
- ③テールピースでは、作業員がキャリアローラを取り付ける際に、ベルコンに巻き込まれるのを防止するために防護板を設け、安全にローラ取り付け作業が行えるようにしている。

4-5 蛇行調整

ベルトの蛇行調整として以下の対策を行った。

- ①ローラ取付角度の調整
- ②自動調芯ローラの使用（リターン側）
- ③ガイドローラの使用

5. 連続ベルコンによる成果

施工途中ではあるが、連続ベルコンを採用したことにより、現在までに以下の成果を確認できた。

- ①ずり搬出のロスタイムがなく、TBMによる連続的な掘削が可能である。
- ②資材搬入、来客等による掘削サイクルへの影響がない。
- ③坑内は単線軌道ですみ、複線軌道敷設時間や軌道の保守点検時間が削減できる。
- ④ベルト盛り換え作業をTBMのメンテナンス、または他の仮設備の盛り換え作業（換気用連続風管、高圧ケーブル等）と並行して行うことにより、ベルト盛り換え作業自体が掘削サイクル上のクリティカルパスとはならない。

6. おわりに

現在まで、連続ベルコンは順調に稼働している。今後も保守点検作業を充実させ、無事故で貫通を迎えたいと考えている。

最後に、連続ベルコンを導入するにあたり、様々なご指導、ご協力頂いた関係者の方々に深く感謝致します。