

30. 長大トンネルずり搬出システムの開発

佐藤工業㈱：*城井出 義久、小早川 忠行、
今岡 彦三

1. はじめに

近年、トンネル工事は大断面・長大化になっており、従来掘削後のずり出し作業は、重ダンプトラック等を使用する場合が一般的で、施工の省力化・急速化がしにくいことや、排気ガスによる坑内環境の悪化・車両による接触事故等安全衛生上に問題があった。

今回、トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を進めるため、ベッセルによる運搬・仮置き工程と、インパクトロールクラッシャーを備えた連続ベルトコンベヤによる搬出工程を組み合わせた「長大トンネルずり搬出システム」を開発した。

運搬・仮置き工程と搬出工程に分けた「長大トンネルずり搬出システム」は、切羽解放までを大幅に時間短縮することから、急速化施工を実現すると共に、ずり発生形態に影響を受けないため掘削工法の変更に柔軟に対応できる等の特徴がある。

本報告は、東北新幹線「八戸・新青森」間の八甲田トンネル [全長 26,455m] で、完成すれば世界最長の陸上トンネルとなる6工区のうち、全長 4,325mの市ノ渡工区に導入した「長大トンネルずり搬出システム」を紹介するものである。

2. 開発の課題

2.1. 施工の省力化・急速化

従来のトンネル掘削のサイクルは、①さっ孔・装薬・発破または機械掘削、②ずり出し、③吹付けコンクリートおよびロックボルト施工の繰り返し作業である。この内②ずり出しは、切羽でダンプトラックに積み込み坑外まで搬出するのが一般的であるが、この方法では施工距離が長くなるにつれて、ずり処理作業時間が増加し、サイクルタイムに大きな影響を及ぼす。

最近採用されている連続ベルトコンベヤ方式では、一般にホイールローダ1台によるため、切羽から連続ベルトコンベヤまでのずり運搬時間、また、連続ベルトコンベヤで運搬できない大きさのずりを小割するのに要する時間がかかり、切羽を早期に解放できないため次工程に進めない。

2.2. 坑内環境等安全衛生

ダンプトラックに積み込み坑外まで搬出する方式では、車両による接触事故の危険性が高く、また、トンネル内全般にわたり排気ガスおよび走行面からの粉塵が発生し、坑内環境が悪化する。

連続ベルトコンベヤ方式では、連続ベルトコンベヤで運搬できない大きさのずりを小割する時、広い範囲で粉塵が発生する。坑内環境の悪化を改善するため、換気方式の改善、中継送風機の増設や大流量送風機への取替、漏風率の小さい風管や大口径の風管の採用、大型集塵機の採用等、主として換気設備対応の対策を行うも、粉塵発生量抑制対策とはなっていない。

3. 新システムの概要と特徴

トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を進めるため、ベッセルによる運搬・仮置き工程と、インパクトロールクラッシャを備えた連続ベルトコンベヤによる搬出工程を組み合わせた「長大トンネルずり搬出システム」を開発した。

3.1. 新システムの概要

本工法は、トンネル掘削で発生する岩塊（ずり）の搬出工法として、従来のダンプトラックやコンテナ式運搬車を使用する代わりに、ずり容器（ベッセル）とインパクトロールクラッシャを備えた連続ベルトコンベヤを使用するシステムであり、以下の3工程で行う。図-1にシステム概要図を示す。

第1段階：掘削場所（切羽）で発生したずりをベッセルに積み込み、50～100m程度後方まで、運搬、仮置きする。

第2段階：インパクトロールクラッシャにより、ずりを破碎・小割する。

第3段階：破碎後のずりを連続ベルトコンベヤで坑外まで搬出する。

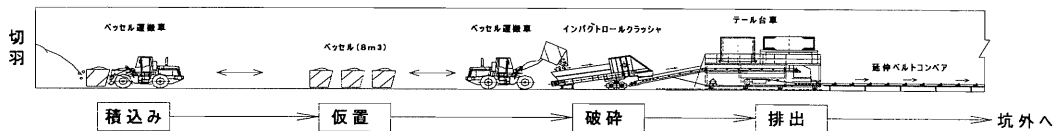


図-1 システム概要図

3.2. 新システムの特徴

- ①ベッセルを用いた仮置き方式による搬出時間の短縮に伴って、切羽での施工サイクルが早くなる。
- ②ベッセルを用いた仮置き方式による時間当たり搬出量の低下（平均化）に伴って、クラッシャやコンベヤ能力の小規模化が可能になる。
- ③切羽～クラッシャ間を小運搬するため、掘削方法の変更（全断面掘削から上半先進）にも柔軟に対応できる。
- ④ダンプトラックの排気ガスや車両粉塵による汚染がきわめて少ないので、換気設備を省力化できる。
- ⑤走行車両数の減少により、車両接触等に対する安全性が著しく向上する。
- ⑥クラッシャによって破碎されたずりの摘要範囲が拡大し、建設廃棄物の減量化、再利用化が促進される。

4. 新システムの構成

新システムは、切羽よりベッセル運搬、インパクトロールクラッシャ、テール台車に搭載した乗り継ぎベルトコンベヤ、延伸ベルトコンベヤおよび傾斜ベルトコンベヤから構成される。

市ノ渡工区に導入した仕様を以下に示す。

4.1. ベッセル運搬

ベッセル容量：8 m³

ホイールローダ仕様：TCM870(クイックカップ[®]採用)

4.2. インパクトロールクラッシャ

クラッシャは、縦型のジョークラッシャタイプが一般的であるが、ずり積み込み位置が高く作業性が悪いいため、当現場では、チェーンコンベヤと円筒状に5本の破碎歯が取り付けられ高速回転するコンパクトで高性能である横型インパクトロールクラッシャを組み合わせたものを採用した。

また、坑内を簡単に移動できるようにするため、市販のユニークタイヤ(φ850-8 輪)を取り付けた。

メーカー：DBT社（ドイツ）
型式：SB-1310
動力：132kw +30kw（400v）
投入最大寸法：950*600*2000 mm
破碎後寸法：0~200 mm
処理能力：120~200 t/h
インパクトロール回転数：442 rpm

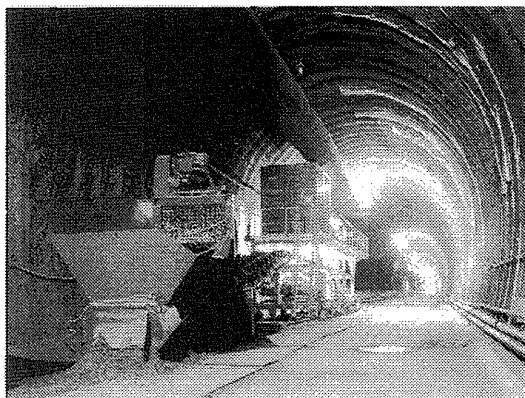


写真-1 インパクトロールクラッシャ

4.3. 乗り継ぎベルトコンベヤ

インパクトロールクラッシャのずり排出口と、延伸ベルトコンベヤの受け口との高さ調整、また、インパクトロールクラッシャの設置位置決めをスムーズにするため、テール台車に搭載された中継ベルトコンベヤである。

ベルト幅：900 mm	機長：14.7 m
ベルト速度：60 m/分	電動機：7.5 kw（200v）
最大運搬能力：300 t/h	テックアップ方式：スクリュー方式

4.4. 延伸ベルトコンベヤ

新システムの主構造であり、破碎したずりを坑口まで運搬するベルトコンベヤと、延伸用ベルトを蓄積しておくベルトストレージ部および駆動部のメインドライブから構成されている。

(1) 延伸ベルトコンベヤ

延伸ベルトコンベヤに使用するベルト自体は、1巻300mであるため、切羽の進行が150m 近くになった時点で、新しいベルトを加硫接合して、延伸させる。

ベルト幅：610 mm
ベルト速度：150 m/分
最大運搬能力：300 t/h

(2) ベルトストレージ

ベルトストレージ内に蓄積したベルトを切羽の進行に合わせて、油圧制御によりベルトに一定の張力を与えながら自動的に延伸していく設備である。



写真-2 延伸ベルトコンベヤ

蓄積ベルト能力：最大 450m

ユニット寸法：1.65m*3.16m*77m

電動機：30kw*4p (400v)



写真-3 ベルトストレージ

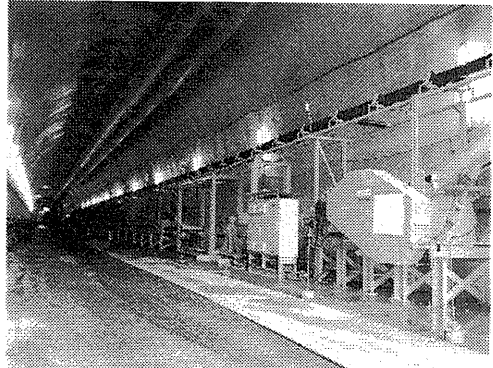


写真-4 メインドライブ

(3) メインドライブ・ブースタードライブ

延伸ベルトコンベヤ全体の動力部である。1台の電動機での駆動可能なベルトコンベヤの延長は、約2,400mである。当JVでは今後切羽が2,800mに到達した時点で、中間地点に2台目の電動機(ブースタードライブ)を増設する予定である。

電動機：30kw*4p (400v)

テークアップ方式：油圧シリンダー式

4.5. 傾斜ベルトコンベヤ

延伸ベルトコンベヤで坑口まで運搬したずりを坑外の仮置きヤードに排出するベルトコンベヤである。

ベルト幅：900 mm

ベルト速度：70 m/分

最大運搬能力：300 t/h

機長：51.4m

傾斜角度：15°

電動機：37 kw (200v)

テークアップ方式：グラビティ式

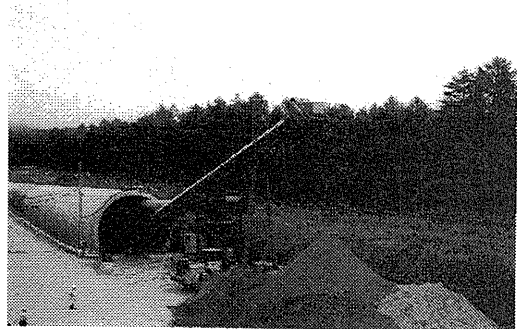


写真-5 坑外傾斜ベルトコンベヤ

5. 採用にあたっての問題点とその対策

新システムを八甲田トンネルに導入するにあたり、問題点とその対策を以下に示す。

5.1. 延伸ベルトコンベヤの設置場所

ベルトコンベヤの設置場所を考える際、次のような検討項目を考慮した。

- ・こぼれたずりによる危険が無い様、できる限り低く設置するとともに、設置撤去を容易にする。
- ・防水シート張り架台やアーチセントルの通過時に、盛替えを必要としない。

この検討項目に対し、以下の考えで設計した。

- (1) ベルトコンベヤの高さは、運転時に人間の腰の高さより低い場合、挟まれ等の恐怖感が生じるため、1mとし、ベルトコンベヤからこぼれたずりの処理と維持補修のため、下部の空間を50cmとした。(図-2参照)

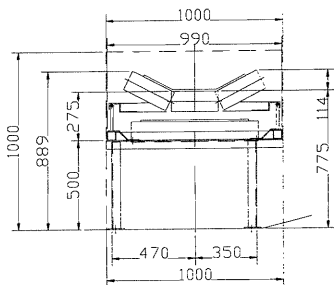


図-2 延伸ベルトコンベヤ標準断面図

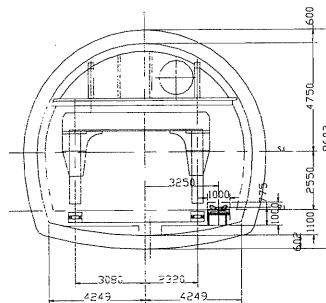


図-3 アーチセトル偏心状況

- (2) アーチセトルはセット・移動のため、片側のガントリ部を38cm偏心した。(図-3参照)
- (3) アーチセトルのベルトコンベヤ通過部に鋼製の防護カバーを設けた。(写真-6参照)
- (4) アーチセトルのセット・移動時には、ベルトコンベヤ側には作業員の出入りが不可能なので、ベルトコンベヤ側の下猫は油圧シリンダーで作動する構造とした。

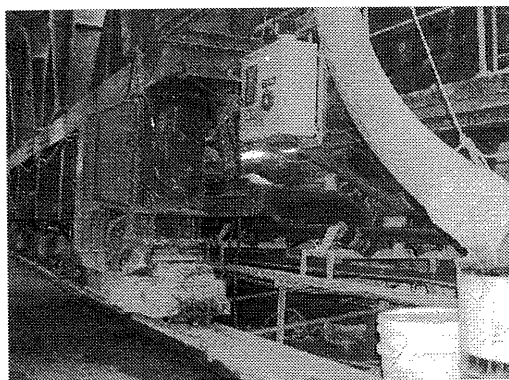


写真-6 アーチセトル通過状況

5.2. 安全対策

当現場で実施している安全対策を以下に示す。

(1) 運転時の警報

- ・ベルトコンベヤ運転開始1分前に、傾斜ベルトコンベヤ落下付近に音声で知らせる。
- ・ベルトコンベヤ運転開始時にチャイムを鳴らす。
- ・ベルトコンベヤ運転中は100m毎に設置した回転灯が点灯している。

(2) 巻き込まれ防止

- ・全線ネットで柵を設ける。
- ・防水シート架台やアーチセトルの作業箇所では、鋼製の囲いを設ける。

(3) ベルトコンベヤを跨ぐ場合

- ・移動できる跨線橋を100m毎に設置する。(写真-7参照)

(4) 緊急停止

- ・引き綱式緊急停止スイッチを全線に張る。(写真-8参照)



写真-7 ベルコン跨線橋

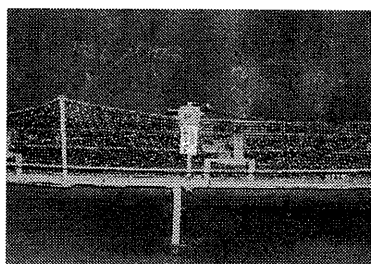


写真-8 緊急停止装置

6. 経済性について

採用にあたって、当工区 4,325mをトラックコンテナ方式による在来工法と延伸ベルトコンベヤ方式による新工法とのコスト比較をした結果、延伸ベルトコンベヤ採用分岐点は、トンネル延長 3,750mとなった。

環境や安全面での評価をどのようにコスト面で考慮するかは難しいところではあるが、トンネル延長 2,500mを越える場合は、新システム採用に対する検討を行う必要があると考えている。

7. 現況

平成12年8月から新システムによるずり出しを開始し、現在トンネル延長 1,300mの内約 590mを施工した。平均すると1日当たり約7時間の稼働で、合計 51,000m³のずりを処理し、大きなトラブルもなく順調に稼働している。

坑内環境は、坑外に設置した送風機(インバータ制御)で換気量を 1,200m³/分、坑内に設置した大型集塵機(インバータ制御)で換気量 700m³/分で運転しているが、従来のダンプ方式や新システムを導入する以前に比べ、切羽後方から坑口までクリーンな状態である。特に覆工作業箇所では、車両の往来が著しく少なくなったため、安全性・作業性が大幅に向上している。

また、ずり出しの所用時間は、40～50分程度で、従来工法と比較して約半分となっており、当初の目的である「急速施工化」を実現している。

8. おわりに

当トンネルは、ほぼ全線、当初設計でインバートコンクリートや中埋めコンクリートがあり、平坦な仕上がりとなっているため、延伸ベルトコンベヤの固定は容易に行うことができる。しかし、インバートコンクリートのない大断面トンネルに適用していくには、コンベヤの固定方法や掘削断面から覆工断面へのコンベヤの簡単な盛替え方法を考案するのが不可欠である。

現在、東北新幹線八戸・新青森間のトンネル現場は10現場あり、この内4現場は、延伸ベルトコンベヤによるずり出しを実施または実施予定である。いずれのトンネルも延長 2,500m以上であり、長大トンネルでは今後ますます採用が増えると考えられる。

今後、トンネル工事の省力化・急速化と坑内環境・安全性向上を実現した「長大トンネルずり搬出システム」が、延伸ベルトコンベヤ方式を用いる場合の参考になれば幸いである。