

長大トンネルのズリ搬出システムの開発

Development of "New mucking-out-system" in big and long tunnel

小早川忠行¹⁾ ○鈴木仁志²⁾ 江上晴久³⁾ 蓼沼慶正⁴⁾ 渡辺康司⁵⁾

Tadayuki KOBAYAKAWA, Hitoshi SUZUKI, Haruhisa EGAMI, Yoshimasa TATENUMA, Yasushi WATANABE

Recently, tunnel construction is in the tendency of the big and long. So far, the method of mucking-out was general to use some dump trucks. This time, we are improved with a pit environment, rapid work, safety and saving labor of the tunnel construction. It developed "New mucking-out-system" which combined carrying out by endless conveyer belt, impact-roll-crasher with the temporary-moment-putting system use to some mucking vessels. This report introduces "New mucking-out-system" adopted in HAKKOU DA TUNNEL between HACHINOHE and SHIN-AOMORI at TOUHO KU SHINKANSEN.

Key Words: tunnel, mucking, conveyer belt, crasher, vessel

1. 開発の概要

近年、トンネル工事は大断面、長大化の傾向にある。従来、長大トンネルのズリ出し方式は、重ダンプトラック等を使用するのが一般的であったが、省力化、急速化が困難なことから、排気ガスに対する坑内環境の改善にも限界があることや車両による接触事故等の安全衛生上の問題がある。

今回、トンネル工事の省力化、急速化と坑内環境および安全性の向上を図るため、ベッセルによる運搬仮置き工法と、インバクトロールクラッシャを備えた延伸ベルトコンベアによる搬出を組み合わせた「長大トンネルズリ搬出システム」を開発した。

このシステムは、運搬、仮置き工程と搬出工程に分けることにより、切羽のズリ出し時間を大幅に短縮できることから、急速施工を実現できる。更に、発破掘削や機械掘削といった掘削工法の変更に柔軟に対応できる。また、ダンプトラックを使用しないことから内燃機関からの排出ガスを少なくでき、坑内環境を改善できる特徴がある。

本報告は、東北新幹線八戸・新青森間の八甲田トンネル市ノ渡工区に採用した「長大トンネルズリ搬出システム」を紹介するものである。

東北新幹線八甲田トンネルは、全長 26.455 kmで、完成すれば世界最長の陸上トンネルである。工事は 6 工区からなり、市ノ渡工区は起点側坑口から、4,325mを施工するものである。

地質は、新第三紀の砂岩層と、凝灰角礫岩および安山岩から成っている。掘削工法は、砂岩部は自由断面掘削機によるショートベンチカット工法で約 2,000m 掘削し、その坑奥は、発破工法による補助ベンチ付全断面掘削工法を採用する。

2. 開発の課題

従来のトンネル掘削は、①削孔・装薬・発破または機械掘削、②ズリ出し、③鋼アーチ支保工・吹付けコ

- | | |
|------------------------------|------------------------------|
| 1) 佐藤工業(株) 東北支店八甲田作業所 所長 | 4) 日本鉄道建設公団 盛岡支社 七戸鉄道建設所 所長 |
| 2) 正会員 佐藤工業(株) 東北支店八甲田作業所 課長 | 5) 日本鉄道建設公団 盛岡支社 七戸鉄道建設所 副所長 |
| 3) 佐藤工業(株) 東北支店八甲田作業所 係員 | |

ンクリートおよびロックボルト工，といった作業の繰り返しである．この内②ズリ出しは，一般的にズリを切羽においてダンプトラックに積み込み，坑外まで搬出するダンプトラック方式である．長大トンネルでは，施工距離が長くなり，ズリ処理時間が増加してサイクルタイムに影響を及ぼすほか，ダンプトラックの台数が多くなるなどの課題があった．

2. 1 坑内環境などの安全衛生上の課題

長大トンネルの掘削において，ダンプトラック方式では，ズリ運搬車両が大型化と増加し，車両から排出される排気ガスや走行路面からの粉じんの発生などにより坑内空気汚染が増大する．これらの問題点に対して，工事車両の排気浄化装置の取り付け，送風機の大容量化や増設，低漏率風管の採用などによって対応してきたが，必ずしも換気効率が良くなく，坑内環境改善の課題が残る．

また，ズリ運搬車両の増加は，作業員と車両または車両同士の接触事故の発生する確率が増加するなどの課題がある．

2. 2 施工の省力化，急速化

近年，長大トンネルにおいて連続ベルトコンベア方式が採用され始めている．この工法では，切羽からホイールローダにより連続ベルトコンベアまで運搬するための時間や，大きなズリを小割に要する時間などにより，ズリ出し時間が増大しており，省力化，急速施工化の課題である．

また，長大トンネルでは地質が一定していることは稀である．このため地質条件に対応したトンネル掘削工法（発破工法，機械掘削工法，補助ベンチ付全断面掘削工法，ショートベンチカット工法等）の変更に対して効率的な対応ができていない．更に，トラックミキサ車などの車両の方向転換場所は，断面を拡幅するなどの対策が必要であった．

3. 「長大トンネルのズリ搬出システム」の概要

これらの課題に対し，坑内環境等の安全衛生上の改善と施工の省力化および急速施工化を図るために開発した「長大トンネルのズリ搬出システム」の概要を以下に，システム概要図を図－1に示す．

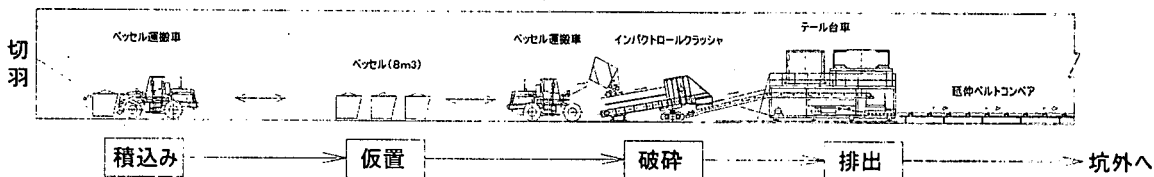
3. 1 「長大トンネルのズリ搬出システム」の概要

本工法は，トンネル掘削で発生するズリの搬出工法として，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，ズリ容器（ベッセル）とインパクトロールクラッシャを備えた延伸ベルトコンベアを使用するシステムである．大きく分けて次の3工程に分類できる．

第1段階：切羽で発生したズリは，ホイールローダによりベッセル（容積8m³）に積み込み，50～100m後方に運搬し，1サイクル分を仮置きする．

第2段階：仮置きしたベッセルは，インパクトロールクラッシャまで運搬し，投入して，ズリを破砕する．

第3段階：破砕されたズリは，乗り継ぎコンベアを介して延伸ベルトコンベアにより坑外に搬出され，傾斜コンベアによりズリをストックする．



図－1 システム概要図

3. 2 「長大トンネルのズリ搬出システム」の特徴

「長大トンネルのズリ搬出システム」の特徴はズリ出しの工程を3段階に分けることにより，坑内環境の改善と施工の省力化，急速化を実現したことである．これらの特徴を以下に述べる．

- ①ベッセルによる仮置き方式により、ダンプトラックの待ち時間によるロスタイムが無く、更に、クラッシャへの投入時におけるロスタイムがなくなり、ズリ搬出時間が短縮され、掘削作業全体の施工サイクルが短縮できる。
- ②ベッセルによる仮置き方式により、全断面掘削、ショートベンチカット工法等の掘削作業の変更に対して柔軟に対応でき、作業効率が変わらない。
- ③ベッセルによる仮置きにより、時間当たりのズリ搬出量を平均化でき、インパクトロールクラッシャや延伸ベルトコンベアの能力を小規模化が可能である。
- ④切羽とインパクトロールクラッシャとの間にターンテーブルを設置することができるため、トラックミキサ車などの車両の方向転換が容易である。
- ⑤ダンプトラックの排気ガスや巻き上げ粉じん、騒音が減少し、坑内環境が良好になる。
- ⑥ダンプトラックの走行が無くなり、走行車両の減少により、後方の覆工作业箇所における車両の接触事故の発生する確率が減少し、安全性が向上する。
- ⑦ズリ出し時の切羽後方での作業に対しての規制が無く、測量作業、路盤の維持管理作業、覆工作业などが効率的に実施できる。
- ⑧インパクトロールクラッシャにより、破碎されたズリの適用範囲が拡大し、建設廃棄物の減量化、再利用化が促進される。

4. 「長大トンネルのズリ搬出システム」の構成

「長大トンネルのズリ搬出システム」は、ズリ積み込み、ベッセル運搬、クラッシャによる破碎、延伸コンベア、傾斜コンベアによるズリ搬出からなっている。これらの仕様を以下に示す。

4. 1 ベッセル積み込み運搬

積み込み機、ベッセル運搬機：ホイールローダ・TCM870（3.0m³クラス）×3台

ベッセル容積：8m³×24缶

4. 2 インパクトロールクラッシャ

クラッシャはジョークラッシャタイプが一般的であるが、ズリ投入位置が高く作業性が悪いので、当トンネルでは、チェーンコンベアと5本の破碎歯を円筒状に取り付けて、高速回転することにより破碎するインパクトロールクラッシャを採用した。このクラッシャは投入位置が低く小型であり、坑内の作業に適している。（写真－1 参照）

型 式：SB-130

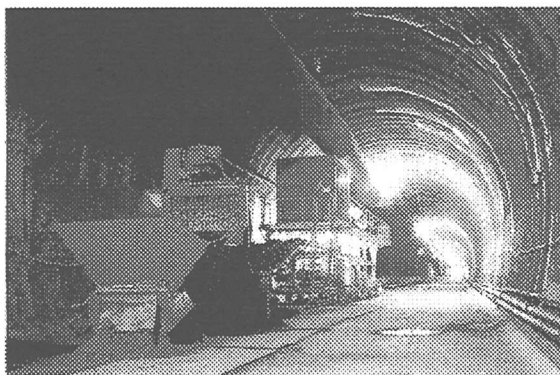
動 力：132KW+30KW（400V）

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 乗り継ぎコンベア

乗り継ぎコンベアは、延伸コンベアのテール台車に搭載し、インパクトロールクラッシャのズリ排出口と、延伸ベルトコンベアの受け口との高さ調整を行う。

ベルト幅：900 mm

機 長：14.7 m

ベルト速度：60 m/h

電 動 機：7.5 KW

最大運搬能力：30 t/h

テークアップ方式：スクリュース式

4. 4 延伸ベルトコンベア

延伸ベルトコンベアは、「長大トンネルのズリ搬出システム」の主要構造部であり、破碎したズリを坑口まで搬出するベルトコンベア部と、延伸用ベルトを貯蓄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る。

1) 延伸ベルトコンベア

延伸ベルトコンベアに使用するベルトの長さは、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、ベルトストレージに蓄積し逐次延伸する。(写真-2 参照)

ベルト幅: 610mm

ベルト速度: 150m/分

最大運搬能力: 300t/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-3 参照)

貯蓄ベルト能力: 最大450m

ユニット寸法: 1.65m×3.16m×77m

電動機: 30KW×4P (400V)

テークアップ方式: 油圧シリンダー式

3) メインドライブおよびブースタドライブ

メインドライブは、延伸ベルトコンベア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アの延長は勾配等の条件により異なるが、当トンネルでは約2400mである。それ以上の延長の場合にブースタドライブを増設することで、更に延長することができる。(写真-4 参照)

メインドライブおよびブースタドライブ電動機

: 30KW×4P (400V)

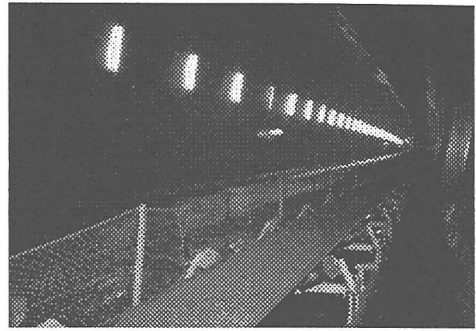


写真-2 延伸ベルトコンベア



写真-3 ベルトストレージ

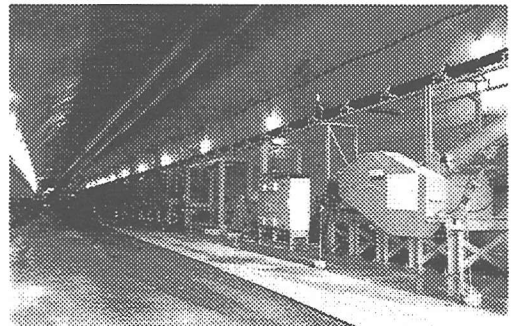


写真-4 メインドライブ

4. 5 傾斜ベルトコンベア

傾斜ベルトコンベアは、延伸ベルトコンベアにて運搬してきたズリを坑外の仮置きヤードに排出するものである。(写真-5 参照)

ベルト幅: 900mm

ベルト速度: 70m/h

最大運搬能力: 300t/h

機長: 51.4m

傾斜角度: 15度

電動機: 37KW (200V)

テークアップ方式: グラビティー式

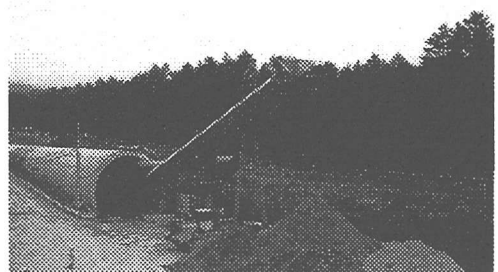


写真-5 傾斜コンベア

5. 開発に当たっての問題点と対策

「長大トンネルのズリ搬出システム」の導入に当たり、次のような点を考慮した。

5. 1 延伸ベルトコンベアの設置位置の検討

延伸ベルトコンベアの設置は、安全性、作業効率などから次のような点を検討した。

- ①防水シート張架台やアーチセントル部は安全に通過できること。
- ②防水シート張架台やアーチセントル部の通過に際し、盛り替え作業を必要としない方法であること。
- ③延伸ベルトコンベアからズリがこぼれ落ちても危険が無いような高さにすること。

これらの検討項目に対し、次のような対策を行った。

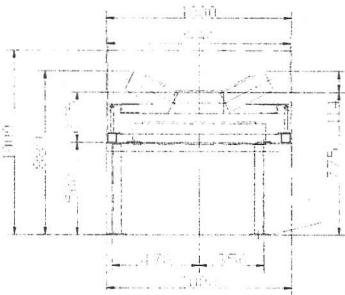


図-2 延伸ベルトコンベア標準断面図

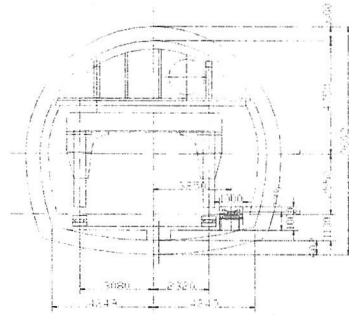


図-3 アーチセントル偏心状況

- 1) ベルトコンベアの高さは、運転時に人間の腰の高さより低い場合、巻き込まれなどの恐怖感を生じるため、1 mとした。なお、ベルトコンベアからこぼれたズリの処理と維持補修のため、下部の空間を50 cmとした。(図-2 参照)
- 2) アーチセントルは、型枠セット、移動が容易にできるようにガントリー部を38 cm 偏心させて、ベルトコンベアのスペースを作った。(図-3 参照)
- 3) アーチセントルのベルトコンベア通過部に鋼製の防護カバーを設けた。(写真-6 参照)
- 4) アーチセントルの型枠セット時や移動時には、ベルトコンベア側に作業員の出入りが不可能なので、下猫型枠は油圧シリンダーにより遠隔操作できる構造とした。

5. 2 安全対策

延伸ベルトコンベアの採用に当たり、実施している安全対策は次のものである。

1) 運転時の警報

- ・延伸ベルトコンベア運転開始1分前に、傾斜ベルトコンベアからの落下地点に音声で知らせる。
- ・延伸ベルトコンベア運転開始時にチャイムを鳴らす。
- ・延伸ベルトコンベア運転中は、100 m毎に設置した回転灯が点灯する。

2) 緊急停止

- ・引綱式緊急スイッチを全線に張る。(写真-7 参照)

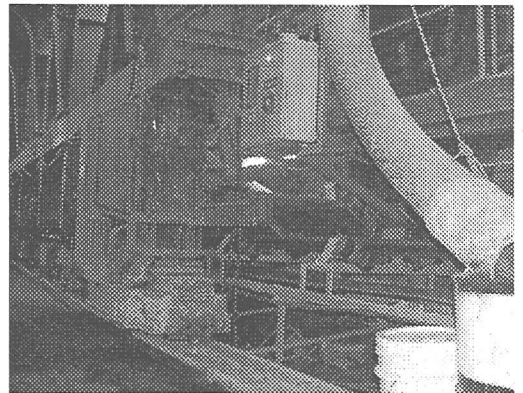


写真-6 アーチセントル通過状況

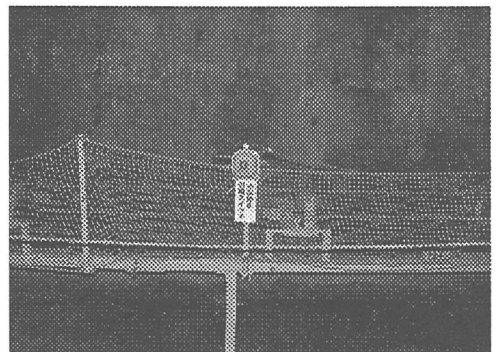


写真-7 緊急停止装置

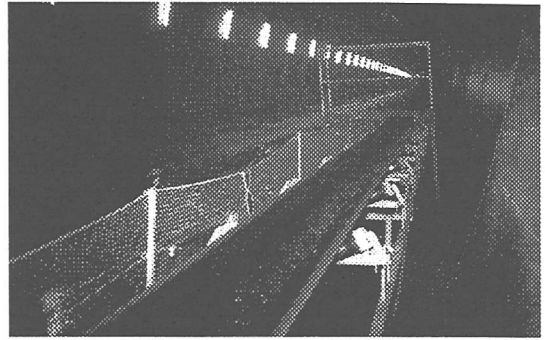
3) 巻き込まれ防止対策

- ・ 延伸ベルトコンベアの全線をネットで柵を設ける。
- ・ 防水シート張架台やアーチセントルの作業個所では、鋼製の囲いを設ける。

4) 延伸ベルトコンベアを跨ぐ場合

- ・ 跨線橋を100mごとに設ける。

(写真－8 参照)



写真－8 ベルトコンベア跨線橋

6. サイクルタイム

当トンネルの掘削工法は、自由断面掘削機を使用した機械掘削から、現在、補助ベンチ付全断面掘削工法へと変わっている。表－1のトンネル諸元において、補助ベンチ付全断面掘削工法にて、ズリ出しにダンプトラックを使用した場合と比較して、「長大トンネルズリ搬出システム」では、ズリ出し時間が約30分程度短縮し、サイクルタイムにおいても一定の効果があったと考えられる。

表－1 トンネル諸元

掘削断面積	70.5 m ²
1 発破進行長	1.5 m
1 発破掘削量	105.8 m ³
ズリふえ率	1.8
吹付けコンクリート	t = 10 cm, 3.4m ³
ロックボルト	φ22×3 cm, 10 本

7. おわりに

八甲田トンネル市ノ渡工区は、平成12年8月から「長大トンネルズリ搬出システム」の運転を開始している。現在の切羽位置は2,400mであり、約170,000m³のズリを搬出したが、大きなトラブルも無く順調に稼働している。

今後、トンネル延長が2,800mを越えた時点で、ブースタドライブを増設する予定であるが、ベルトに掛かる張力が現在最大値となっているため、早めに増設することも検討している。

安全設備は、アーチセントル通過個所および防護設備について追加した設備は現在のところなく、安全作業に大きく寄与している。

また、当初期待していた坑内環境は、2,000m³/分の送気式換気設備と1,500m³/分の大型集じん機による換気システムで、切羽から坑口まで良好な状態である。特に覆作業個所では、車両の往来が著しく減少したため、安全性、作業性が大幅に向上している。

省力化、急速化においては、トンネル延長が伸びてもズリ出し時間は変わらないため、本格的に発破工法となった場合、急速施工が更に進むと期待できる。

現在、東北新幹線八戸・新青森間において、延伸ベルトコンベアによるズリ搬出は、3現場有り、おのこのシステムは異なるが、当初の目的に向けて順調に進捗しており、今後長大トンネルにおいて、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、安全性向上に「長大トンネルのズリ搬出システム」が参考になれば幸いである。