

CO₂ 発生を抑制する長大トンネルずり搬出システム

—東北新幹線八甲田トンネルの施工—

蓼沼慶正・赤澤正彦

東北新幹線の八戸～新青森間のトンネル掘削工事にあたっては、幾つかのトンネルでダンプトラックのずり搬出に代わり、長大連続ベルトコンベヤによるずり搬出が行われている。長大連続ベルトコンベヤの導入により、ずり搬出の省エネルギー化及び換気設備の簡素化が可能となり、温室効果ガスである CO₂ の排出量が大きく抑制される。本報文では、これによる CO₂ 排出量の抑制効果について試算・評価した。その結果、トンネルの工事全体で 10% 程度の CO₂ 排出量抑制効果があり、ベルトコンベヤによるずり搬出は、環境負荷を軽減する工法であることが明らかになった。

キーワード：環境、トンネル、温室効果ガス、CO₂、ずり搬出、ベルトコンベヤ、換気

1. はじめに

東北新幹線は 2002 年 12 月 1 日、盛岡～八戸間が着工以来 11 年の歳月を経て開業し、現在八戸～新青森間で延伸工事を行っている。この区間 (81.2 km) では、トンネルが全体の 6 割 (49.7 km) を占め、18 本のトンネルを計画しており、現在そのうち 12 本のトンネルですでに掘削工事を行っている。

これらのトンネルの掘削工事にあたっては、幾つかのトンネルで、長大連続ベルコンによるずり搬出が行われている。本報文では、トンネル建設工事における CO₂ 排出削減に向けた取組みのうち、ずり搬出に長大連続ベルトコンベヤシステム (写真—1) (以下、ベルコンと略す) を採用することによる CO₂ 排出量の抑

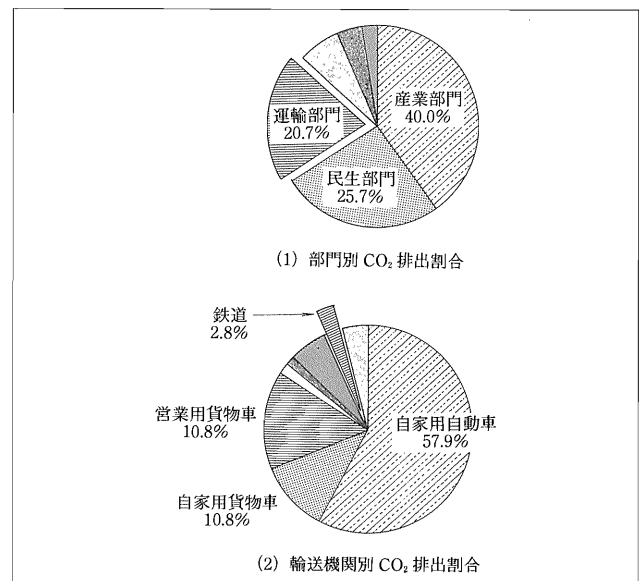


写真—1 ベルコンによるずり出し

制効果について試算・評価した。

2. 背景

1992 年 5 月にブラジルのリオデジャネイロの地球環境サミットで採択された気候変動枠組条約により、社会全体で温室効果ガス、特に CO₂ 排出量の削減が要請されている。この条約に従って 1997 年 12 月に協定された京都議定書で、2008 年～2012 年の期間における日本の CO₂ 排出割当量が 1990 年比 6% 減と定められた。これに従って、産業、運輸、民生などあらゆる部門について CO₂ 排出削減に向けた取組みが行わ



図—1 CO₂ 排出割合グラフ (国土交通省資料による)

れている。

2000年度において、運輸部門から排出されるCO₂は国内で発生する総量の約20.7%を占めている。そのうち、鉄道の占める割合は2.8%である(図-1)。

また鉄道交通における輸送人キロ当たりのCO₂排出量は自家用自動車の約10分の1にすぎない(図-2)。このことから、運輸部門におけるCO₂排出抑制には、自動車交通から鉄道交通へのシフトが効果的であり、都市鉄道および新幹線の整備はモダリティシフトの推進に大きく寄与できると言える。その一方で、鉄道の新規路線建設にも多大なエネルギー消費を必要とする。CO₂削減には建設を含めたシステム全体を見据えた観点で取組む必要があることから、建設工事期間中に発生するCO₂の排出抑制も重要な課題である。

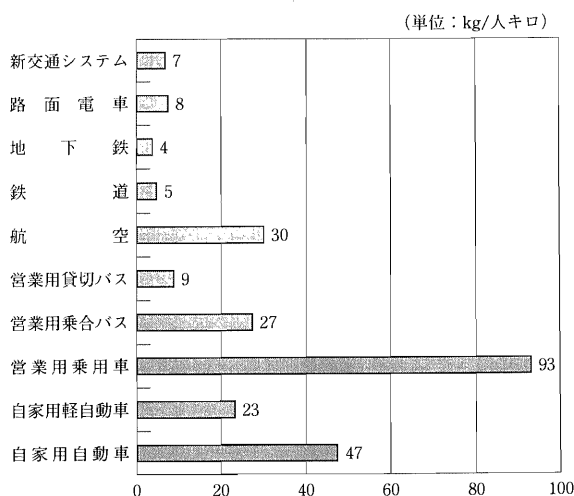


図-2 1人を1km運ぶ際に発生するCO₂量の比較(国土交通省資料による)

建設部門においては、京都議定書の内容を受けて1998年、建設業3団体(社団法人日本建設業団体連合会、社団法人日本土木工業協会、社団法人建築業協会)が建設工事(施工)段階におけるCO₂排出量について1990年度を基準として、2010年度までに12%削減することを目標に掲げた。この目標を達成するための施策として、

- ① 高効率仮設電気機器の使用促進、
- ② 断熱型仮設事務所の使用促進、
- ③ 燃料消費の少ない建設機械・車両の採用促進、
- ④ 重機・車両のアイドルストップ運動推進、
- ⑤ 発生土の相互利用の促進、

の5点を掲げている¹⁾。

このうち、ベルコンを使ったずり搬出は上掲③に相当する。ベルコンは鉱山や採石場等での鉱石・土砂の運搬用に使われてきたが、これをトンネル工事のずり搬出に応用するものである。

3. 長大連続ベルコンの概要

トンネル坑内において掘削ずりをベルコンで搬出する場合、工事の進捗に合わせベルトの長さを自在に延伸できることが望ましい。延伸ベルコンではそのための工夫として、余分なベルトはベルトストレージに格納し、切羽の進行に追従してベルトの先端部が移動するたびにベルトストレージの幅を狭め、ベルトを外に送り出すシステムになっている。ベルトストレージに格納されているベルトがなくなったら、新たなベルトを接続し、ベルトストレージに格納する(図-3)²⁾。

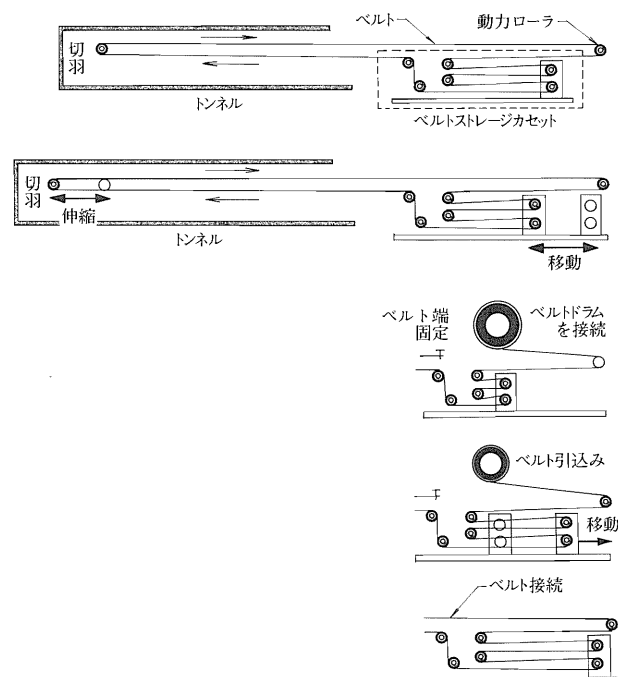


図-3 連続ベルコン延伸イメージ図³⁾

延伸型の長大連続ベルコンを利用したずり出し方式は、日本では平成7年に北海道電力日高発電所導水路建設(TBM工法)で採用されたのが始まりである。従来、TBM掘削ではずりトロックによるずり搬出が主な方式であったが、1台あたりの搬出量が限られているため、サイクルタイムに影響が出るなど急速施工に不向きな点があった。それに対してベルコン方式は、ずりの連続搬出が可能のため、TBM掘削の急速施工に適したずり搬出システムである。

これをNATMトンネルで初めて採用した国内最初の例は2004年開業予定の九州新幹線田上トンネルである。現在、NATMトンネルにおけるずり搬出は経済性や施工法の変化に対応しやすいタイヤ(ダンプトラック)方式を採用することが主流になっている。しかし、タイヤ方式は坑内の安全対策および換気対策な

どの環境維持対策に多くの労力が必要となる。

これにかかる負担を抜本的に軽減するために、NATM トンネルのずり搬出でもベルコン方式が採用された。田上トンネルは発破掘削であることから、発生する巨大な岩ずりを破碎する必要があったため、切羽の進行に合わせて移動できる自走式クラッシャ（写真—2）を開発した³⁾。



写真—2 自走式クラッシャ

ここでベルコン方式の主な長所・短所をまとめると、表—1 のとおりとなる。このうち、コストとシステム

表—1 ベルコン方式の主な特徴

長 所	<ul style="list-style-type: none"> ・サイクルタイムに影響しない高速施工の実現 (TBM 掘削時) ・坑内通行車両を減少させることによる安全性の向上と路盤維持費低減 ・排ガスの減少による換気対策の低減 ・ある程度勾配のある斜坑 (25% 程度) でもずり運搬が可能
短 所	<ul style="list-style-type: none"> ・高額な初期投資費用 ・システムの一部が故障しただけでも全体が停止 ・急曲線への対応が難しい (緩曲線では実績あり) ・運搬可能な岩塊・土塊 (大きさ, 物性) が限られている

の安定性については改善が図られてきており、近年のトンネル工事ではベルコンシステムを導入する事例が多くなってきている。

現在、東北新幹線・八戸～新青森間工事におけるベルコンによるずり搬出の採用率は延長 2,000 m 以上の工区で 4 割程度となっており、長大トンネルのずり搬出にベルコン方式が普及しつつあることを示している。

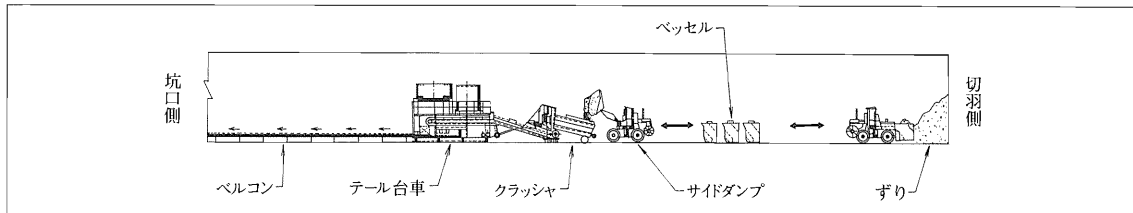
なお、延伸ベルコン方式ではないが、坑口から土捨場までの坑外にずり運搬用ベルコンを設置した例として八甲田トンネル築木工区 (ベルコン延長 1,730 m) があり、これも狭い工専用道路の交通量削減に大きく役立っている。

4. 評価の前提条件

今回、CO₂ 排出量試算のモデル工区として、坑口から約 3,000 m にわたってベルコンによるずり搬出実績のある八甲田トンネル市ノ渡工区を対象として、トンネル本体工事完成まで (掘削～インバートコンクリート・覆工コンクリート) をベルコン方式およびタイヤ方式でそれぞれ施工した場合の CO₂ 排出量を求めた。

本工区におけるベルコンシステムの概要は図—4 に示すとおりである。本工区では、切羽から発生したずりは、ベッセル (ずり運搬容器) に入れ、切羽後方まで運搬し、クラッシャ付近でベッセルごと仮置きしている。これにより、吹付け、ロックボルト打設等の切羽作業とベルコンによるずり出し作業を並行して行うことが可能となっている。

ここで、CO₂ 発生量を試算する際、支保パターン毎



図—4 ベルコンシステム概要図

表—2 試算条件

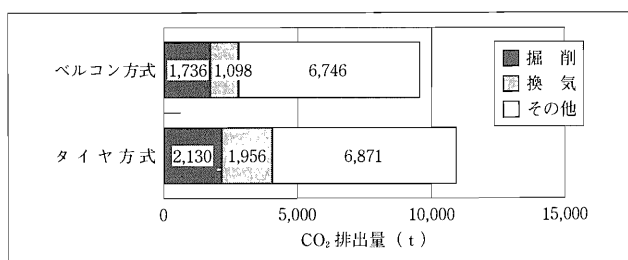
内燃機関 (機械設備)	$CO_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2) = \text{燃料使用量 (L)} \times CO_2 \text{ 排出原単位 (kg-CO}_2/L)$ ・燃料使用量 (L) = 総稼働時間 (h) × 燃料消費量 (時間当たり) (L/h) ・総稼働時間 (h) = 総稼働日数 (日) × 日当たり稼働時間 (h/日) ・総稼働日数 (日) = 機械台数 (台) × 1 台当たり稼働月数 (月/台) × 月当たり稼働日数 (日/月) ・燃料消費量 (時間当たり) (L/h) = 定格出力 (kW) × 燃料消費量 (出力時間当たり) (L/kWh)
電動機 (電気設備)	$CO_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2) = \text{使用電力量 (kWh)} \times CO_2 \text{ 排出原単位 (kg-CO}_2/kWh)$ ・使用電力量 (kWh) = 総稼働時間 (h) × 実負荷出力 (kW) ・実負荷出力 (kW) = 定格出力 (kW) × 負荷率
その他 (火薬)	$CO_2 \text{ 排出量 (kg-CO}_2) = \text{火薬使用量 (kg)} \times CO_2 \text{ 排出原単位 (kg-CO}_2/kg)$

のサイクルタイムの違いによる機械稼働時間の変動、建設機械、資材の製造過程における発生量、などをどうみるかといった問題がある。

今回は、工事で直接発生するCO₂を求めることとし、機械資材製造時は除外した。また、掘削パターンはこれまでの施工区間で代表的なものを選び、月進は一定であると仮定した。建設機械・資材の製造時に発生するCO₂に関しては除外して計算した。また、CO₂排出量の算定方法については文献(4)を参照した(表—2)。

5. 試算結果

図—5に本工区におけるタイヤ方式とベルコン方式のCO₂発生量をそれぞれ算出したものをグラフで示す。図中、その他の項目についてはコンクリート(吹付け、覆工、インバート)、ロックボルト、給排水、土捨、照明などが含まれている。



図—5 試算結果

(1) 坑内通行車両の減少に伴う削減効果

最も直接的な削減効果としては、ダンプをベルコンに置換えることにより化石燃料の消費が削減されることである。なお、トラックミキサ等資材運搬車はベルコンの有無で変化はないとした。

試算の結果、394 t (18.5%)のCO₂削減効果となった。

(2) 換気設備の簡素化による削減効果

ベルコン導入がもたらすもう一つのCO₂排出削減効果は、坑内の通行車両を減らすことによる換気設備の簡素化が挙げられる。発破の後ガス、ロードヘッダ等の機械掘削やコンクリート吹付けによる粉塵は発生源が限定されていて、効率よく集塵機で捕捉できるが、坑内の通行車両は、発生場所が特定できないため、換気設備は、通行車両による粉塵や排ガス中の有害物質への対策が大きい。

市ノ渡工区では換気に送気方式を採用しており、換気ファンを総出力514 kW (37 kW×4台+110 kW×

4台)から総出力330 kW (集塵機55 kW×2台+110 kW×2台)程度に減らし、さらにずり出し時の稼働が無いため、稼働時間も減らせることができると考えられる。その結果、CO₂換算で85.8万kg (43.8%)の削減効果となった。

(3) 工事全体のCO₂排出量とエネルギーコストの試算

上記以外にも、ずりの大きさが均等化されることで、土捨場におけるずり盛土時のバックホウ運転が省力化される。これにより、12万kg、他の工事種類部門で約2%弱の削減効果があると試算した。

以上の削減効果を総合すると、138万kg (12.6%)のCO₂排出削減が可能であるという結果になった。

この結果をもとに軽油と電力のエネルギーコストについても試算した。エネルギーコストは以下の計算式によった。

機械エネルギーコスト(円)

$$= \text{燃料使用量 (L)} \times \text{燃料価格 (円/L)} \quad (1)$$

電気エネルギーコスト(円)

$$= \text{使用電力量 (kWh)} \times \text{電力価格 (円/kWh)} \quad (2)$$

計算の結果、ベルコンを採用した場合はタイヤ方式に比べ、エネルギーコストは約3,900万円 (12.6%)削減されるという結果になった。

6. 考察

今回の試算におけるCO₂削減割合は京都議定書の6%および建設業3団体の12%という削減目標に対し、建設業3団体の削減目標をもクリアした。このように、ベルコン方式はCO₂の排出抑制に貢献できるずり搬出システムであることが明らかになった。

さらに、今回の試算には数値としては上がってきていないが、ベルコンを採用することによるCO₂削減要素がもう一つある。

それは、ずりをベルコンで運べる状態にすることが、自動的に盛土材に適した状態にするという点である⁹⁾。これは発生土のリサイクルをするうえで非常に好都合であり、2章で述べた建設業3団体のCO₂排出削減に向けた施策(⑤発生土の相互利用の促進)につながっている。例えば、本工区の掘削ずりは、盛土材等に流用しているが、その際、あらかじめクラッシャでずりの大きさを均等化して扱いやすい状態にしてあることから、作業の省力化が図られている。

さて、今回の試算はともに発破工法によるトンネルであるため、CO₂の排出量は火薬の使用量も影響する。そのため、地山状況が変化した場合、ベルトコンベアにかかるCO₂削減量が同じでも、工事全体の削減率については異なる結果となる。また、機械掘削によるトンネルと比較する場合、火薬から発生するCO₂はゼロとなるが、掘削機の稼働によって発生するCO₂を新たに考慮する必要があるため、発破掘削とは異なる結果が出るのが予想される。よって一律の割合でCO₂を削減できるとは限らないが、いずれにしても発生量の抑制に貢献できると考える。

7. 今後の課題

ベルトコンベア方式はタイヤ方式に比べて環境に優しいずり搬出システムであることを示したが、本格的に普及させるには二つの課題がある。

第1の課題は初期費用である。

ベルトコンベア方式は路盤維持や換気設備においてランニングコストが安く、長大トンネルでは経済的に施工できる可能性があるが、短いトンネルの場合はシステム導入時の初期投資がかさみタイヤ方式より高額となる。施工業者側の立場からみれば、システムをできるだけ他の工事に転用することを考えるため、今後も安定的に長大トンネル工事を受注できる見込みがなければ導入に対して慎重にならざるを得ない。

第2の課題は、導入事例がまだ少数であるため、地質及び工法との相互関係に未知の部分があることである。

トラブルに対しての原因や対処方法がまだ十分であるとはいえず、原因によっては対応に時間を要する場合もある。しかし、採用例が増加している現状から、ノウハウが蓄積されることにより、システムの信頼性がより高まることが期待される。

9. まとめ

ずり搬出にベルトコンベアを導入した事例をもとに、タイヤ方式でずりを搬出した場合のCO₂排出量を比較・評価した。その結果、今回のケースでは京都議定書の削減目標(6%)とともに、建設業3団体の削減目標(12%)も達成できることがわかった。

今後は、ベルトコンベアずり搬出システムについて環境負荷を軽減する工法として、本格的な導入に向けて検討する必要があると考えられる。

JCM A

《参考文献》

- 1) 地球温暖化防止対策ワーキンググループ：CO₂削減量実態調査報告書一平成12年度調査結果一、(社)日本建設業団体連合会・(社)日本土木工業協会・(社)建築業協会、2001.9
- 2) 藤原敬和、佐藤謙治：トンネル用延伸ベルトコンベア、日本トンネル技術協会第44回施工体験発表会、1999.12
- 3) 丹後勝弘、安東亮一郎、吉富幸雄、栗原勝美：発破掘削に連続ベルトコンベア出しシステム、トンネルと地下、1999.3
- 4) 阿部愛和：建設工事におけるCO₂排出量の算定一現場データによるケーススタディとその分析例一、建設機械、2003.6
- 5) 木村裕俊、三浦剛、山崎幹彦、桑田充：連続ベルトコンベアシステムを土砂地山に採用、トンネルと地下、2002.11

【筆者紹介】



藤沼 慶正 (たでぬま よしまさ)
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部
盛岡支社
七戸鉄道建設所
所長



赤澤 正彦 (あかさわ まさひこ)
独立行政法人鉄道建設・運輸施設整備支援機構
鉄道建設本部
盛岡支社
七戸鉄道建設所
所員