

# 13. トンネルにおける施工の合理化、生産性向上の取組み

～ロックボルト打設装置の開発、ツインアーチフォームセントルと連続ベルトコンベヤの組合せ～

鹿島建設株式会社 北海道支店 山岸 隆史  
小林 真悟  
○田村 広行

## 1. はじめに

日高自動車道は、北海道苫小牧市を起点とし、厚真町、むかわ町、日高町、新冠町、新ひだか町を経由して浦河町に至る延長約120kmの一般国道の自動車専用道路である。このうち厚賀静内道路は日高厚賀ICから静内IC(仮称)に至る延長16.2kmの区間である。高速ネットワークの拡充による近隣都市間の連絡機能の強化、地域間交流の活性化、及び国際拠点港湾苫小牧港・拠点空港新千歳空港等への物流効率化等の支援を目的として計画されている。このうち大狩部トンネル(仮称)は日高厚賀ICに隣接する新冠町に位置するトンネルであり、延長2,151m(掘削延長2,149.8m)のトンネル施工を行うものである。図-1に現場位置図を示す。



図-1 現場位置図

当工事では、NATMトンネルの掘削に関するサイクルタイムの向上や、様々な施工の合理化の取組みをしている。本稿では、NATM工法で実施するロックボルト工のサイクルタイム短縮や安全性の向上を目的とした「ロックボルト打設装置」及びTAF工法(ツインアーチフォーム工法)と連続ベルトコンベヤの併用についての創意工夫について述べる。

## 2. 工事概要

### 2.1 全体工事概要

工事名：日高自動車道  
新冠町 大狩部トンネル工事  
発注者：北海道開発局室蘭開発建設部  
施工者：鹿島・宮坂特定建設工事共同企業体  
JV比率(鹿島60:宮坂建設工業40)  
工事場所：北海道新冠郡新冠町大狩部  
工期：2016(H.28).10.1～2021(R.3).3.26

### 2.2 主要工事数量

- |         |          |
|---------|----------|
| ・掘削工    | 2,149.8m |
| ・覆工     | 2,151.0m |
| ・インバート工 | 2,151.0m |

### 2.3 地盤条件

大狩部トンネルは標高50～100mの平坦面(段丘面)を有する丘陵地に計画されている。

岩種は凝灰質泥岩互層(凝灰質泥岩、砂岩および礫岩からなる)や凝灰質塊状泥岩など多岐に渡り、非常に岩相変化が激しい地層である。図-2に地質縦断図を示す。

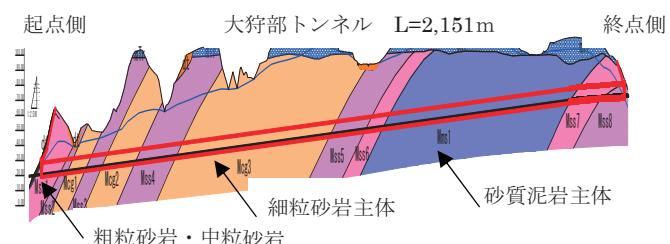


図-2 地質縦断図

トンネル形状は、トンネル中央部分に中央分離帯が配置されており、扁平率26%の大断面トンネル(掘削断面積 $A=122.5\text{m}^2$ )となっている。図-3に標準断面図を示す。

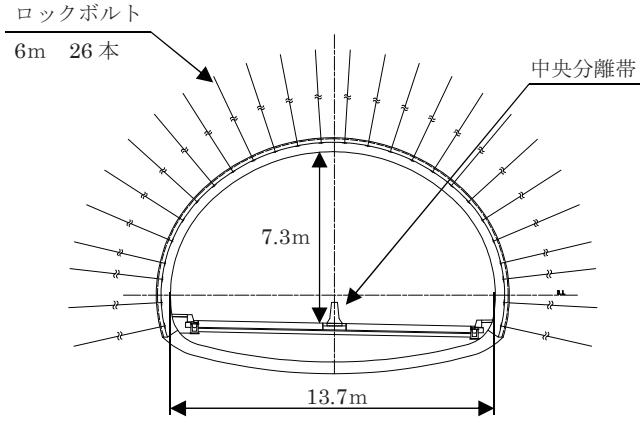


図-3 標準断面図

## 2. ロックボルト打設装置

### 2.1 開発の背景

山岳トンネル工事では近年、高齢化に伴う熟練作業員の減少や不足が深刻な問題となっている。このような背景の中、品質・安全を確保しながら工程を確保するためには生産性の向上が望まれる。

本工事の代表パターン断面は全延長の86%を占めており、1断面内につき26本のロックボルト( $L=6\text{m}$ )が計画されている。掘削1サイクルのうち、ロックボルトの施工に要する時間は37%を占めるため、ロックボルトの施工がサイクルタイム全体に与える影響は非常に大きい。表-1に施工サイクルタイムを示す。

そこで、依然として旧来の施工方法を行っているロックボルト工に着目し、省人化・自動化に向けた課題を抽出した。

#### ① モルタル充填時とロックボルト挿入時の孔荒れ

ロックボルトの施工では、ドリルジャンボで地山を削孔して、削孔した孔に塩ビパイプを挿入して、モルタルを孔奥から充填する。削孔した孔が孔荒れしていると、モルタル充填時に塩ビパイプが挿入できないため、再削孔する必要が生じ、サイクルタイムを悪化させる。図-4に再削孔概要図を示す。

#### ② 身体的負担となるロックボルト重量

6mのロックボルトは、1本当たりの重量が約20kgと非常に重く、人力で取り扱うのは身体的負担が大きい。作業員の高齢化に伴い、この負担は増加する一方である。

また、3mロックボルト施工に比べ、切羽直下での作業時間が長くなるため、肌落ち災害のリスクが高くなる。

表-1 施工サイクルタイム表（実績）

項目	時間(分)	割合
掘削、ズリ出し	105	39%
1次吹付、鏡吹付	15	6%
建込	20	7%
2次吹付	30	11%
ロックボルト	100	37%
合計	270	100%

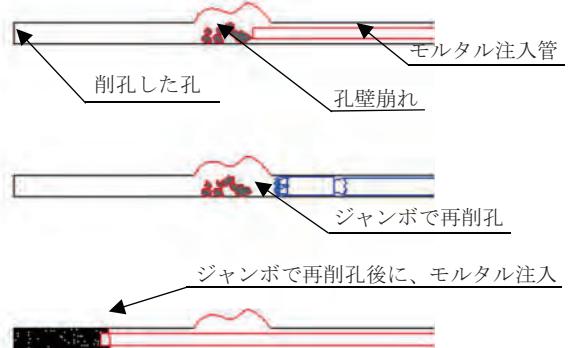


図-4 再削孔概要図

### 2.2 施工装置の開発

施工装置の開発に当たっては、通常のロックボルト施工時に使用するドリルジャンボをベースとする条件とした。モルタル注入、ロックボルト挿入を機械施工するためである。ドリルジャンボは3ブームを採用し、センターブームをモルタル注入専用とする計画とした。写真-1にドリルジャンボを示す。

#### ① モルタル注入装置

図-5にモルタル注入装置図を示す。モルタル注入装置は、ドリルジャンボのドリフター(削岩機)にモルタル注入管を設置して、ドリフターの機械操作でモルタル注入管を削孔した孔に挿入できる構造とした。

モルタル注入管にはボーリングロッドを使用することとした。モルタル供給時の閉塞を懸念し、過去の実績より $\phi 20\text{mm}$ ではなく、 $\phi 25\text{mm}$ の中空ボーリングロッドを採用し、孔詰まり防止のため、先端には円錐型のキャップを採用した。

ボーリングロッドと先端キャップには焼き入れ・焼き戻し加工を行い、韌性を与え、削孔した孔に挿入困難な場合に打撃が可能な構造とした。



写真-1 ドリルジャンボ

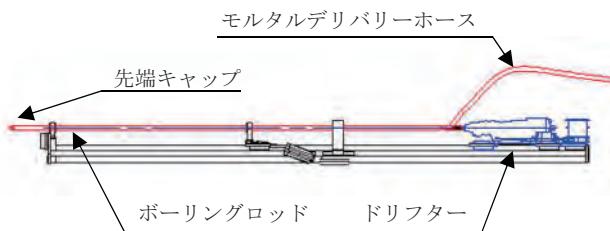


図-5 モルタル注入装置図

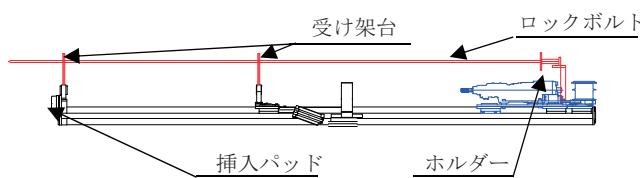


図-6 ロックボルト挿入装置

## ② ロックボルト挿入装置

図-6にロックボルト挿入装置を、図-7にロックボルト挿入概要図を示す。ガイドセルの2箇所に受け架台を、ドリフターの後方にホルダーを装着して、ロックボルト挿入装置とした。ロックボルト挿入装置にロックボルトをセットし、ドリフターを機械操作することで、削孔した孔にロックボルトを挿入することを可能とした。

## 2.3 施工実績

本装置の導入により、モルタル注入、ロックボルト打設作業の機械化が可能となり、下記の効果を得た。

### ① サイクルタイム向上

図-8にサイクルタイムを示す。削孔とモルタル充填は装置の有無に関係なく同じ時間をするが、削孔後に本装置を用いて速やかにモルタル充填を開始できることから、5分間のサイクル短縮になっている。(但し、クリティカルパスではない)

ロックボルト挿入は、本装置を用いることで作業時間そのものを31分間短縮できる。削孔が全て完了してから挿入作業を開始したとしても、全体

のサイクルタイムとしては27分間の短縮となった。

### ② モルタル充填時の再削孔

図-9にモルタル注入概要図を示す。また、写真-2、3にモルタル注入装置全景と先端部を示す。モルタル注入を機械化することにより、孔荒れが発生した場合にでも、モルタル注入管(ボーリングロッド)の挿入が可能である。

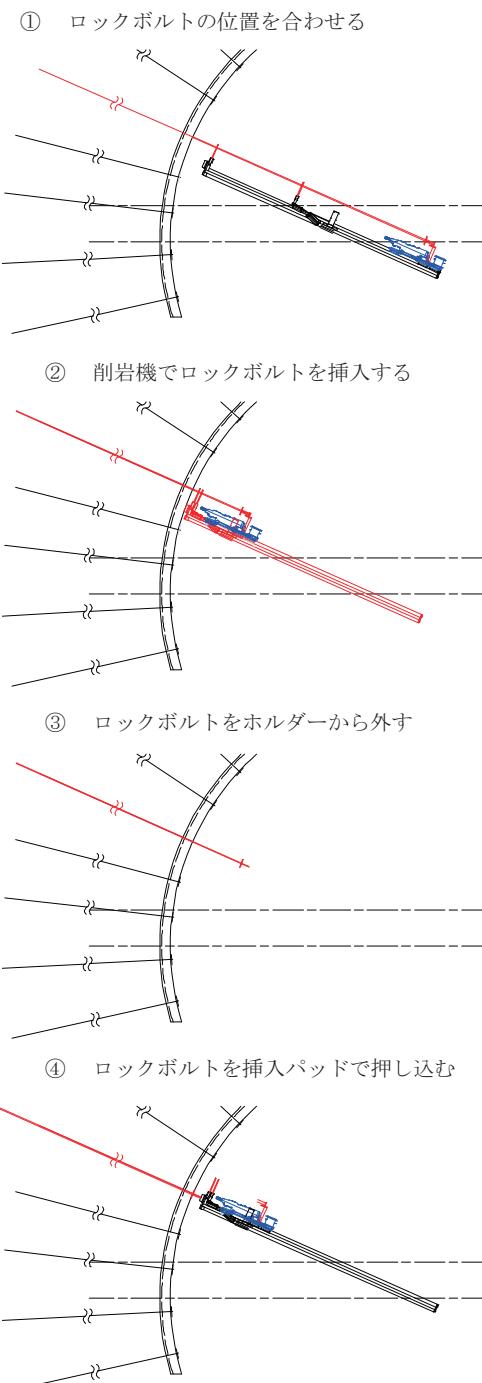


図-7 ロックボルト挿入概要図

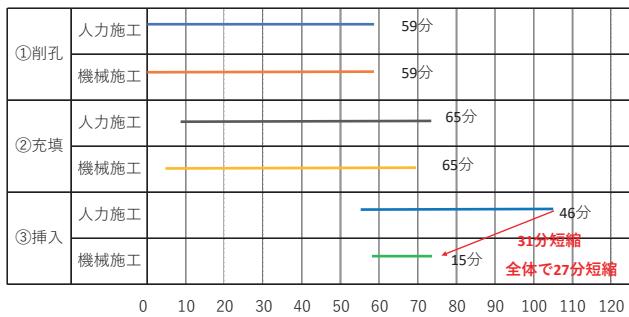


図-8 ロックボルト工のサイクルタイム

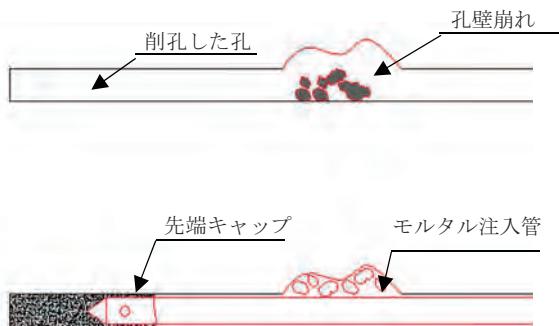


図-9 モルタル注入概要図



写真-2 モルタル注入装置全景



写真-3 モルタル注入装置先端

### ③ 作業環境の改善

モルタル注入作業とロックボルト挿入作業を機械化したことで、人力作業を削減できたため、身体的負担の低減につながった。

また、両作業の機械化に伴って、手が空いた作業員は次の作業の準備に取り掛かることができるた

め、全体のサイクルタイムの向上にも寄与している。

### 3. ツインアーチフォームセントルと連続ベルトコンベヤの組合せ

#### 3.1 開発の背景

当工事では、覆工コンクリートの品質向上を目的に、2基のセントル型枠を使用することにより、養生時間を66時間とすることが可能なツインアーチフォーム工法「TAF工法」(以下、TAFと称す)を採用した。TAFでは、径の縮小・拡大機能を持たせた2つのアーチフォーム(型枠)を、1台のガントリ台車で交互に使用するため、通常のセントルと比較し仮設備の配置スペースが極めて少ない。このTAFと連続ベルトコンベヤズリ搬出方法を組合せた現場は過去に例がないため、連続ベルトコンベヤの通過方法検討を行った。図-10に仮設備配置図を示す。



写真-4 ロックボルト挿入状況

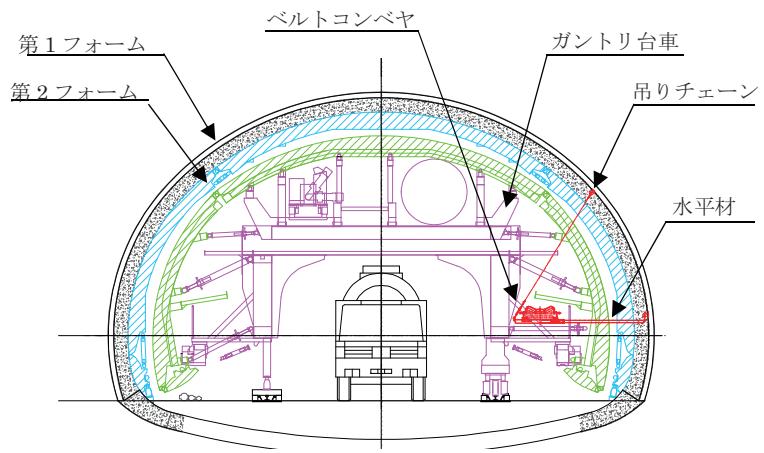


図-10 仮設備配置図

通常のセントルではベルコンの設置個所をセントル歩廊内部とするが、TAFはガントリ台車の移動に伴うベルコンの盛替えが頻繁になるため、非常に手間と時間が掛かり、標準打設サイクルの2日に1回の打設サイクルが困難となり施工サイクルに与える影響が大きい。図-11にガントリ台車移動概要図を示す。

TAF と連続ベルトコンベヤを組合せるためには、ガントリ台車の移動に合わせてベルトコンベヤを盛替える必要があるため、移動の支障にならない場所へ配置できないかを検討した。TAF 断面図を再検討した結果、ガントリ台車下側に空間があるので、こちらにベルトコンベヤを配置する計画とした。図-12 にベルコン配置図を示す。

その際に問題として覆工の進捗に合わせてベルトコンベヤのカテナリー変更<sup>※1</sup>が必要となり検討を行った。

(※1 カテナリーとは、ロープや電線などの両端を持って垂らした時にできる曲線で、カテナリー曲線といわれている)

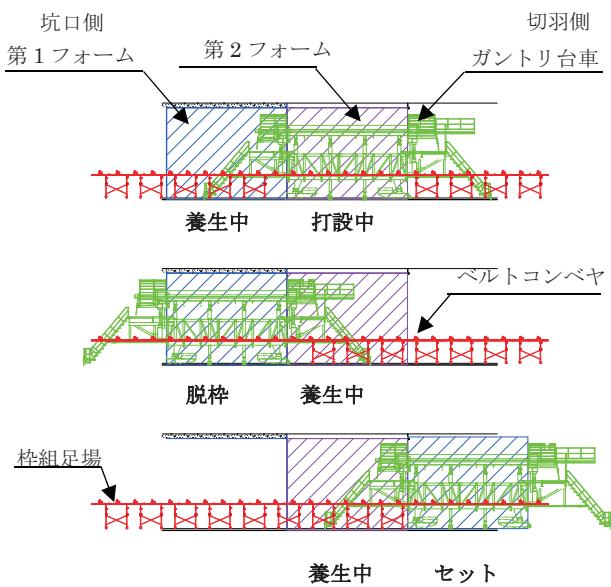


図-11 ガントリ台車移動概要図

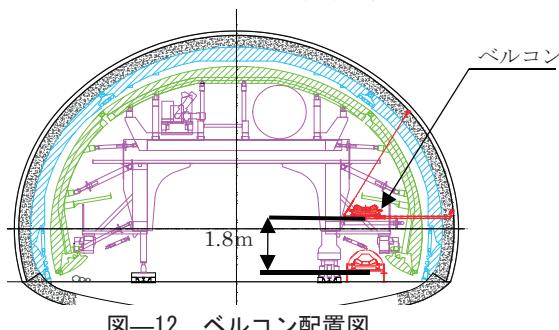


図-12 ベルコン配置図

### 3.3 カテナリー変更方法検討

ベルトコンベヤの位置をガントリ台車下側に配置するには、垂直高さで約 1.8m 下げる必要があり、このカテナリー変更をどのように行うかを検討した。

カテナリー変更方法には、様々な変更方法がある。下記に検討したカテナリー変更方法を示す。

#### ① フレーム調整区間による変更

一般的な方法としては、枠組み足場と単管パイプを使い、高さ調整を行いカテナリー変更する方

法がある。図-13 に枠組足場によるカテナリー変更方法を示す。

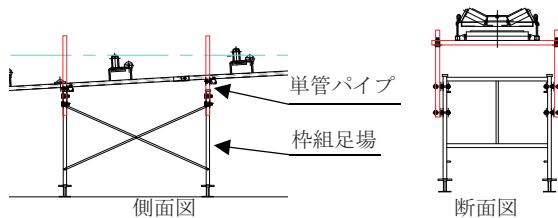


図-13 枠組足場によるカテナリー変更方法

この場合、カテナリー変更する高さにより調整区間延長が長くなり、カテナリー変更に要する作業量が多いだけでなく、蛇行調整区間も長くなり効率が悪い。当現場でこの方法を採用するとカテナリー変更区間が約 60m となり覆工の進行に合わせて移動させる必要がある。図-14 にカテナリー変更図を示す。

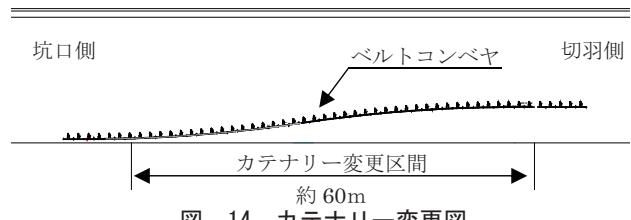


図-14 カテナリー変更図

#### ② カテナリー変更台車による変更

カテナリー変更距離を短くする方法としては、台車を製作してカテナリーを変更する方法がある。当現場のカテナリー変更高さは垂直高さで約 1.8m となるため、ベルトを Z 型に折り返すことによりカテナリー高さを変更する方式を検討した。図-15 にカテナリー台車を示す。

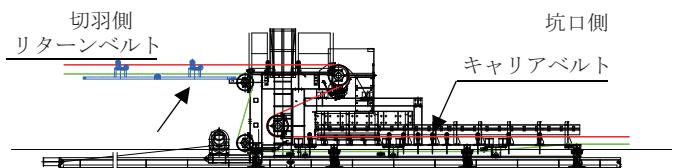


図-15 カテナリー台車

上記検討の結果、枠組み足場を使用した場合の変更区間長が約 60m 必要となり覆工の進行に合わせて移動することは困難なことから、カテナリー台車を使用したカテナリー変更方法を採用することとした。

### 3.4 カテナリー台車採用の課題

カテナリー台車を使用するためにはどのような問題点があるのかを検討した。

ベルトコンベヤの位置を垂直高さで 1.8m 下げると、ベルトコンベヤフレーム位置が GL + 200mm

と非常に低い位置となり、その位置でのカテナリ一台車移動方法を検討する必要があった。

また、カテナリ一台車は、覆工の進捗に合わせてベルトを通過させたまま移動する必要があるためベルトライン上で移動しなければならない。そのためベルトを蛇行させない移動方法を検討する必要があった。

### 3.5 カテナリ一台車課題の解決策

カテナリ一台車の移動方法はタイヤ方式とレール方式案がある。しかし、本工事は道路トンネルのため台車設置位置が埋戻し砂利となるため、タイヤ方式では牽引する際にベルトライン上を走行させることが難しく、移動後にベルトコンベアが蛇行する可能性が高い。また、カテナリ変更後の高さが、GL+200mmと非常に低いことから、高さ確保のためにタイヤサイズを小さくする必要があり、砂利道では抵抗が大きく移動が困難となる。そのため、レール方式にて移動することにした。

レール方式の採用に当っては、カテナリ一台車の移動に、レールの盛り替えが伴うがレールを切り離さない移動方法を検討した。

それは、カテナリ一台車をジャッキアップしレールを装着したアイビームを吊り上げ、先端を前方に牽引することでレールを移動させる方法である。図-16にレール移動概要図、図-17にジャッキ部詳細図を示す。この採用により、切り離し作業による手指の挟まれる危険性が無くなった。また、レール盛り替えに掛かる時間が短縮されて、掘削サイクルに影響なく施工が可能となった。

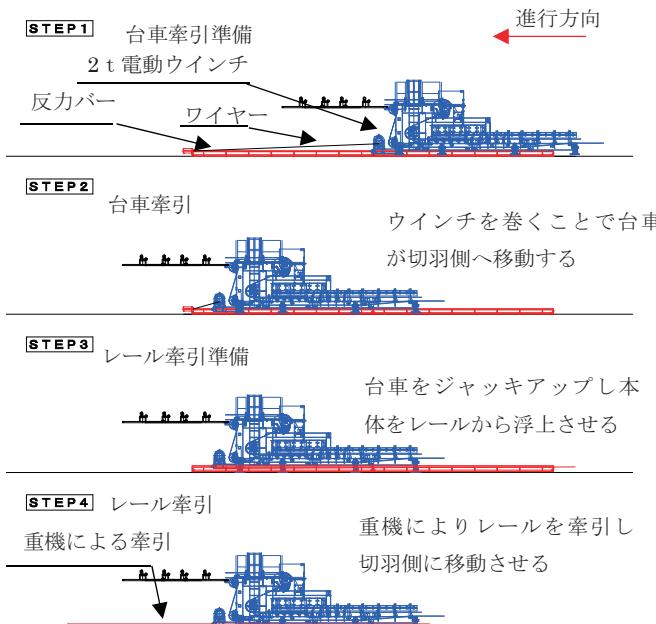


図-16 レール移動概要図

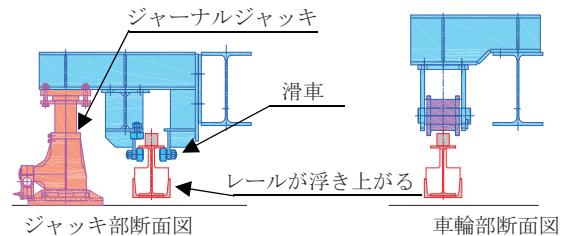


図-17 ジャッキ部詳細図

### 3.6 施工実績

ツインアーチフォームセントルと連続ベルトコンベヤの組合せは過去に例が無く、標準打設サイクルを達成するために、連続ベルトコンベヤの盛替え方法を検討した結果、カテナリ一台車を使用することで可能となった。また、カテナリ一台車の移動方法は、掘削サイクルの向上にも寄与する結果となった。図-18に掘削サイクルと台車移動時間について示す。掘削サイクルタイム 270 分のうち、ベルトコンベヤが稼働していない 165 分で移動と試運転調整をするため、1 回の移動距離は 30mとした。

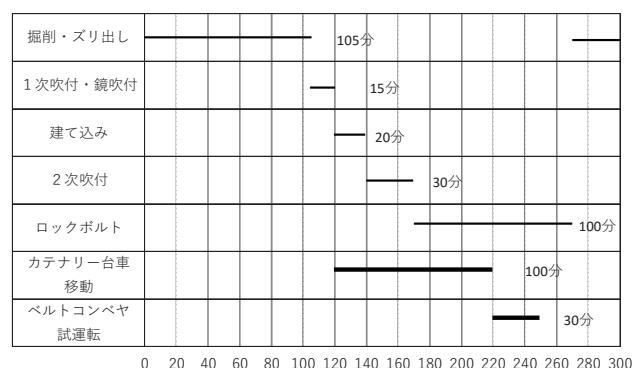


図-18 掘削サイクルと台車移動時間

### 4. まとめ

トンネルにおける施工の合理化、生産性向上の取組みとして「ロックボルト打設装置の開発」、「ツインアーチフォームセントルと連続ベルトコンベヤの組合せ」について詳述した。どちらも、サイクルタイムの向上や安全性の向上など非常に価値のあるものとなった。両者の効果によりサイクルタイム短縮として掘削 1 サイクル 47 分の短縮を実現し、1 年間に換算するとおよそ 50 日分もの時間短縮効果を発揮した。その結果、日建連推奨の年間 104 日閉所に大きく近づくことができている。