

急速ずり処理システム

トンネル掘削施工におけるずり処理の高速化

藤 内 隆

近年建設産業において生産性を向上させることが課題となっている。

山岳トンネル工事においても生産性を向上することで、トンネル掘削工期を短縮し、早期に供用することが求められる。その掘削工期を短縮するには、掘削作業の一連の流れである掘削サイクル（削孔～装薬～発破～ずり出し～一次吹付け～支保工設置～二次吹付け～ロックボルト打設）時間を短縮することが必要である。

今回、掘削サイクルのずり出し作業に着目し、急速ずり処理システムを開発・実用化することでサイクルタイムの短縮を実現した。

本稿ではその技術概要と現場実証結果について報告する。

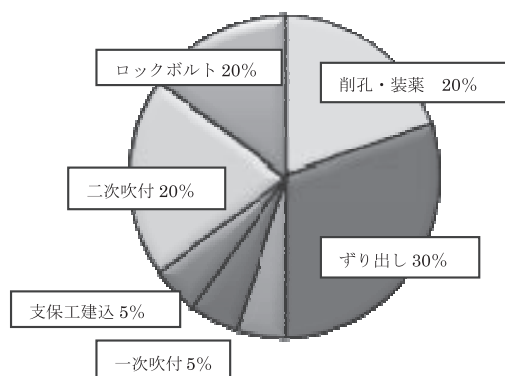
キーワード：急速ずり処理システム，ずり出し，連続ベルトコンベヤ，サイクルタイム，ストック

1. はじめに

長大トンネルなどの施工において、工程の確保は重要な課題となっている。発破を用いるトンネル工事における一連の掘削サイクル（削孔～装薬～発破～ずり出し～一次吹付け～支保工設置～二次吹付け～ロックボルト打設）を短縮することは、工程短縮に対して非常に有効である。

特にずり出し作業は、通常地山では掘削サイクルの約3割をしめるため、ずり出しサイクルタイムの短縮は全体のサイクルタイム短縮に有効である（図－1）。

本開発では、連続ベルトコンベヤによるずり出し方式において、掘削ずりの一部を切羽の後方にストックすることで、掘削サイクルタイムを11%短縮したので、その技術の概要を報告する。

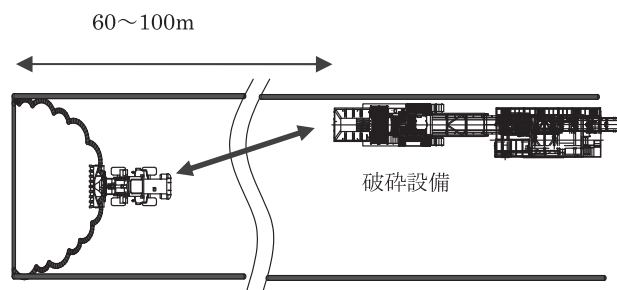


図－1 一般的なサイクルタイム

2. 開発の背景

連続ベルトコンベヤ設備を使用したずり出しでは、発破したずりを細かく破碎してベルトコンベヤ設備に積載できる大きさにする必要がある。その破碎設備から切羽までの距離は発破の退避や他作業の作業性を考慮して、切羽から約60～100mの位置に配置する。

従来のずり出しでは、ホイールローダ1台で切羽から破碎設備までずりを運搬するため、運搬時間がかかりずり出しサイクルタイム短縮の障害となっていた（図－2）。



図－2 従来のずり出し方法

3. 急速ずり処理システムの概要

急速ずり処理システムは、ずりを急速に処理する急速ずり処理システム、その効果を事前に予測する効果事前予測シミュレーション、ずり出し中の安全を確保

する安全管理システムの3つから構成される。以下にその概要を記す。

(1) 急速ずり処理システム

2台のホイールローダを使用して切羽から破碎設備までずりを運搬もしくは一時的に切羽近傍にストックすることで、迅速に切羽のずりを処理することで次工程の作業に早く移行する。ストックしたずりは次工程以降にホイールローダで破碎設備へ運搬して処理する(図-3)。

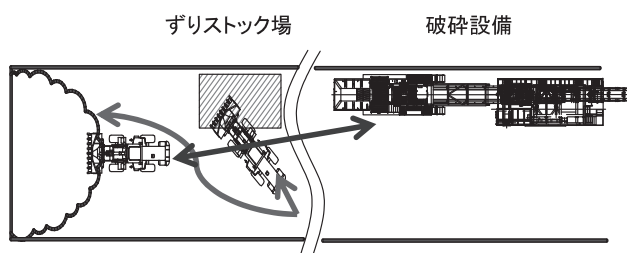


図-3 急速ずり処理システム概要

ずりをストックするずりストック場は、次工程以降の作業に支障がない場所へ配置する。

そしてずりをストックする場合は、破碎設備の処理限界をホイールローダオペレータに合図を送り、予め設定したずりストック場にずりをストックする。

(2) 効果事前予測シミュレーション

切羽のずりを迅速に処理するためにホイールローダ2台で作業を行った場合のサイクルタイムを切羽での積み込み、走行、離合、待機時間を次式により想定し、各作業が円滑にできるか事前に検討を行った(図-4)。

サイドダンプ1台でのずり処理時間

$$T1 = \frac{V}{\frac{S1 \times 60}{t1}}$$

サイドダンプ2台でのずり処理時間

$$T2 = \frac{V}{\alpha \left(\frac{S1 \times 60}{t1} + \frac{S2 \times 60}{t2} \right)}$$

α : 2台による作業効率係数

V : ずり処理量 (m^3)

$S1$: サイドダンプ1台目積み込み量

$S1 = Q1 \div 1.5$ (積み込効率)

$Q1$: サイドダンプ1台目バケット容量 (m^3)

$t1$: サイドダンプ1台目往復運搬時間

$$t1 = tk + ts + tc$$

tk : 往復時間

ts : 切羽でのずり積み込み時間

tc : クラッシャでの積み込み時間

$S2$: サイドダンプ2台目積み込み量

$$S2 = Q2 \div 1.5 \text{ (積み込効率)}$$

$Q2$: サイドダンプ2台目バケット容量 (m^3)

$t2$: サイドダンプ2台目往復運搬時間

$$t2 = tk + ts + tc + tr$$

tk : 往復時間

ts : 切羽でのずり積み込み時間

tc : クラッシャでの積み込み時間

tr : サイドダンプ2台目待機時間

ずり出し時間(分)

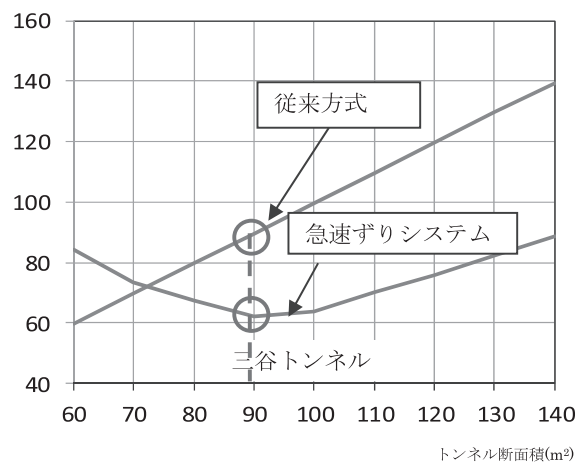


図-4 効果予測シミュレーション

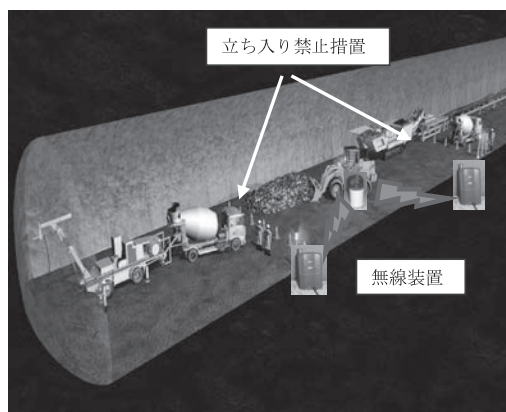
従来のずり出し方法では、トンネル断面積が大きくなればなるほど1回の発破で発生するずり量が多くなるため、ずり出し時間は直線的に長くなる。一方ストックする場合は、小断面図では1台のホイールローダの方がずり出し時間は短い。これは小断面では2台のホイールローダの作業性が低下するためである。 $80 m^2$ を超えると作業性が良くなり、 $90 m^2$ が最もずり出し時間が短くなる。 $100 m^2$ を超えると作業性はよいが1回の発破のずり発生量が多いため、ずり出し時間も長くなる。

この効果事前予測シミュレーションから急速ずり処理システムを導入した三谷トンネル(断面積 $89 m^2$)では、従来方式では90分であり、急速ずり処理システムを導入した場合は60分となり30分の短縮が可能であることが予想された。

(3) 安全管理システム

急速ずり処理システムでは、ストックしたずりを次工程以降にホイールローダで破碎設備に運搬し処理することで切羽作業との重複作業となる。そして切羽作業のため機械や人がずりストック作業場所の横断が生じる。

そこでホイールローダと機械や人との接触災害を防止するため安全管理システムの導入を行い災害リスクの低減を図った（図—5）。



図—5 安全管理システム

4. 実証実験

(1) 実験の概要

現場に本導入する前に2台のホイールローダの作業性とストックしたずりの処理作業と切羽作業の同時作業が可能かを検証するため実証実験を行った（写真—1, 2）。

2現場での実証実験よりホイールローダ2台での作業性と切羽作業とストックずり処理作業の同時作業が可能であることが実証された。

また、ずり出しサイクルタイムも10～20%短縮できることを確認した。



写真—1 実証実験状況（こばやし峠トンネル）



写真—2 実証実験状況（厚賀トンネル）

5. 現場導入

実証実験結果より効果が確認できたため現場導入を行った。

(1) 導入現場概要

現場名：八鹿日高道路 三谷トンネル（南側）工事
発注者：国土交通省 近畿地方整備局

工期：平成25年8月10日～平成28年2月28日

【トンネル概要】

トンネル延長：1515 m

代表内空断面積：80.15 m²

掘削工法：爆破工法（坑口部 機械掘削）

(2) 現場適用状況

平成27年4月6日よりホイールローダを1台増台し、急速ずり処理システムの本導入を行った。

ホイールローダ2台の作業性は問題なく施工可能であることが確認された（写真—3）。また切羽作業とずりストック処理作業の同時作業も可能であることが確認できた（写真—4）。



写真—3 ホイールローダ2台でのずり出し



写真一4 ストックずり処理と切羽作業の同時作業

(3) 適用効果

急速ずり処理システムを導入する前のずり出し時間は90分であったが、導入後は60分となり33%短縮できた。

これは効果予測シミュレーションの予想とほぼ同じ値でありシミュレーションの有効性が確認できた。

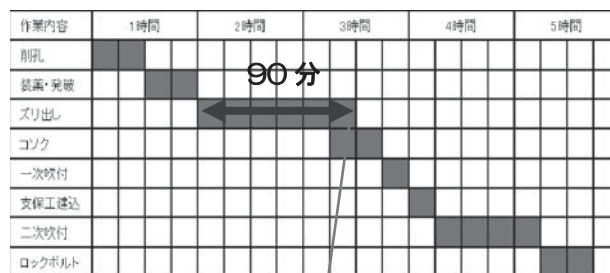
また、削孔・装薬発破～ずり出し～吹付～ロックボルトの一連の作業時間は導入前4.75時間が4.25時間になりサイクルタイムを11%短縮できることが実証された(図一6)。

更に安全管理システムの導入によりストックずり処理作業と切羽作業の同時作業が安全に施工できることが確認された。

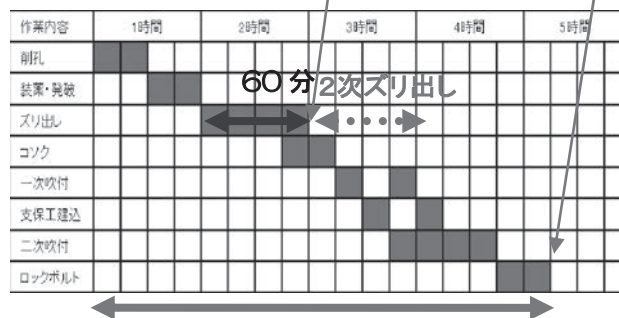
6. おわりに

今後は、三谷トンネルでの実施工をもとに問題点を洗い出し、更なる改善を行うことでサイクルタイムの

(導入前)



(導入後)



図一6 従来工法との効果比較

短縮を図り、トンネル工事における生産性向上に努めて行く所存である。

J C M A

【筆者紹介】

藤内 隆 (とうない たかし)
清水建設㈱
土木技術本部開発機械部
主査

