

45. ロングブーム吹付機開発による切羽作業の安全性向上

清水建設(株)土木技術本部機械技術部 ○藤吉 卓也
同 土木技術本部技術開発部 鈴木 正憲
同 宮狩トンネル作業所 田代 浩信

1. はじめに

山岳トンネル工事における安全性向上のためには、トンネル掘削作業時における切羽安定によるリスク低減が重要課題のひとつである。特に軟弱な地山においては、掘削直後の応力解放時から切羽の挙動が不安定な場合があり、崩壊・崩落まで発展する恐れもある。

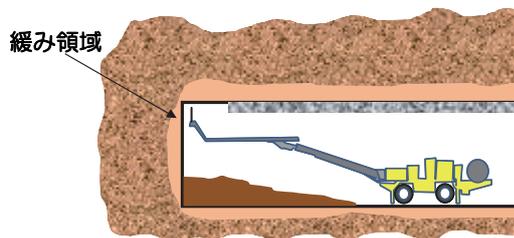
このような危険な状況を回避するためには、掘削直後の地山の緩みを抑制し、できるだけ早く切羽を安定させることが重要である。

当社は、早期コンクリート吹付けによる切羽安定を主目的とし、吹付け範囲が通常仕様の約 1.4 倍であるロングブーム吹付機を開発し、現在稼働中の現場へ導入を行った。本稿では機体の開発経緯及び現場での稼働状況について報告する。

2. ロングブーム吹付機開発の目的

切羽安定対策の一つとして、掘削直後に行う鏡吹付けがあり、吹付けコンクリートによって、小土塊の崩落防止や地山の緩み領域拡大の抑制を行う。特別な支保材料や機材の準備必要としない鏡吹付けは、切羽安定に対する補助工法として一般的かつ有用である。

●ロングブーム機（ズリ出し前吹付け）



●従来吹付け機（ズリ出し後吹付け）

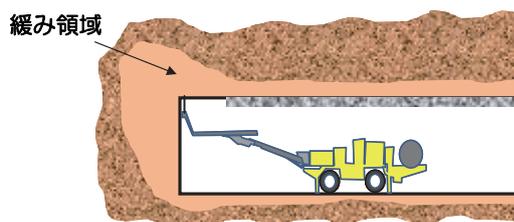


図-1 ロングブームによる緩み領域拡大抑制

このときズリだし作業に先行して吹付け作業を行うことができれば、切羽の緩み領域の拡大を抑制することができる。しかし通常の吹付機のブーム長では、吹付け可能範囲の制約によって、掘削ズリが切羽から撤去されなければ、吹付け作業を行うことが出来なかった。

そこで吹付け機のブームを長尺化し、掘削ズリが切羽近傍に堆積している状態から、吹付け作業を開始することができるロングブーム吹付機開発について検討を進めた(図-1)。さらに大断面トンネルでは、ロングブーム吹付機を壁面近くに寄せることにより、積込み機械と切羽での同時作業も可能である。この開発により、ズリだし作業中の緩み領域の拡大を抑制し(図-2)、切羽作業の安全性向上を図ることを主目的とする。

また吹付け面と機体の離隔距離を大きくとることが可能となることにより、安全性向上の観点では、さらに次のような改善項目が挙げられる。

- ① 切羽直近での落石により機体が損壊リスクを低減することができる。
- ② インバート仮閉合（吹付けコンクリート）時に法肩から離れて機体を配置が可能となり、機体の設置路盤の崩壊リスクを低減することができる。

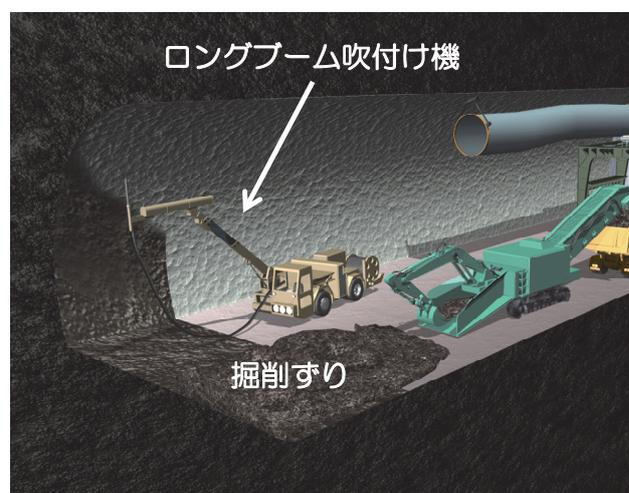


図-2 ズリだしと吹付けの同時施工のイメージ

3. 設計における課題

ロングブーム吹付機の開発においては、ロングブーム仕様へ変更したときに発生する問題点を検討し、次の項目を設計時における課題とした。

- ① 吹付けノズルの振動抑制
- ② コンクリート閉塞対策
- ③ 機体の安定性確保

以下に実施事項及び検討内容を示す。

3.1 吹付けノズルの振動抑制

作業性について、先端のノズル部の振動が大きくなりオペレータの吹付け操作に支障がでる可能性があった。事前に検証おこなうために、製作設計に前立ってロングブームを模擬した実験機を用いて、データ収集を行った(図-3)。

振動の計測方法は、ブーム先端付近にマーカーを貼り付け、マーカーの動きをハイスピードカメラで撮影を行い、撮影データより振幅、速度、加速度の計測を行うものとした。ブームの挙動再現性については、現役のオペレータに依頼し実際の吹付作業におけるノズルワークを再現した。

ブームを最も伸ばした姿勢と、ブームを最も縮めた姿勢での吹付け動作における振動を測定し、比較した結果、ブームの振幅はほぼ同程度であった。しかし速度、加速度においては、ブームを縮めた方がより大きい値を示した。これらのデータについて検証を行った結果、ブームを縮めた時に振動が速く激しくなる現象は、ブームを縮めた時のブームの固有振動数と、オペレータのノズル操作による振動数が重なった場合の共振であることが明らかになった。よって振動抑制のために、共振時の振動数が発生しないようブームの剛性強化を本設計における条件の一つとした。

3.2 コンクリートの閉塞防止

ブームの長尺化に伴い吹付けコンクリートの圧送距離が延びるため、ホース内での閉塞の可能性が高くなる。なお、コンプレッサからのエア合流部までは、通常仕様機と条件は同じであるため、

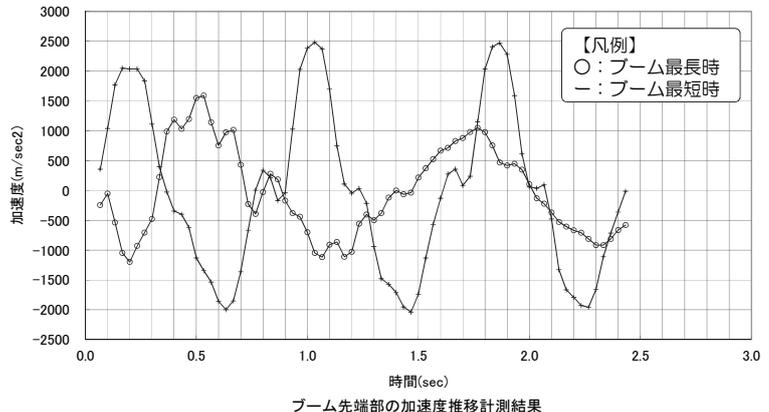


図-3 ロングブーム先端の振動データ収集

コンクリートポンプの能力は検討項目から外した。よって今回はエア合流部より先端側の配管方式について設計検討を行った。

ロングブームに適した方式を検討した結果、マテリアルホースはブームの動きに対してフレキシブルに対応できることから、通常用いる低压マテリアルホースを延長する方向で設計を進めた。しかしホースの長尺化による施工中の取り回しの不便さや、捻れ等による閉塞が懸念された。対策として、通常地上を這わせるホースを、新規製作した固定器具を用いてブームに固定し、地上に接触しないようにした。またブームの伸縮にホースが滑らかに追従するように固定位置を設定した。

3.3 機体の安定性確保

ロングブーム吹付機は従来機に比べ大きくブームが前方に張り出す姿勢となるため、安定性確保が必要であり、走行時を含めた様々な作業姿勢において、機体の安定性を検討した。

もっとも不安定な作業姿勢における重心位置を部材重量等から算出した結果、重心位置はアウトリガを転倒支点とした前後左右の支点間内に十分収まっており(図-4)、ロングブーム仕様においても機体が十分な安定度を有していることを確認した。

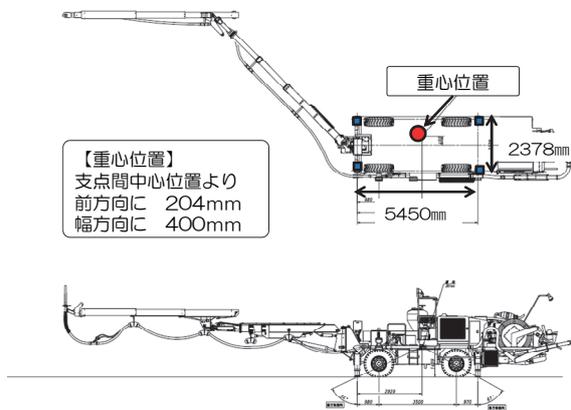


図-4 最も不安定な作業姿勢での重心位置

5. 現場における稼働状況報告

製作工場での動作確認試験を行った後、平成25年5月、中部横断道自動車道の宮狩トンネル工事に導入した。現場概要と稼働状況を報告する。

5.1 現場概要

工事名：中部横断自動車道 宮狩トンネル工事
発注者：中日本高速道路東京支社
(南アルプス工事事務所)
工期：自)平成24年3月7日
至)平成28年4月14日

【トンネル概要】

- a)トンネル延長 2,893m
- b)掘削断面積 標準部 80m²
(非常駐車帯部 100m²)
- c)掘削工法 全断面掘削工法
- d)掘削方式 機械掘削・爆破掘削

5.2 現場での適用状況

まず、実機による性能確認を目的として、現場進入路および坑外仮設備ヤードにおける仮設の法面吹付けでの試験施工を行った。その結果、ロングブーム仕様による吹付けノズル稼働範囲の拡大に関しては、従来機では届かなかった高所や仮設建物の裏の部分を吹付けできることを確認できた。さらに、ロングブーム化にともない、コンクリートの圧送ホースが従来に比べ大幅に長くなったが、施工中の閉塞などのトラブルは発生せず、通常仕様機と同様の吹付け能力を確認した。

これらの試験施工の結果、ロングブーム吹付け機の施工性能が確認されたため、トンネル本坑の掘削に適用した。宮狩トンネルの坑口部は3ヵ所の地滑りが確認されており、坑口部の切羽は地滑りの影響で風化し脆かったため、肌落ちなどの災害リスクが懸念された。長尺先受け工を併用しながら掘削を実施したが、掘削後に切羽の安定の低下が見られたため、ロングブーム吹付け機により、ズリ出し前に切羽の吹付けを行った(写真-2)。その結果、肌落ちの危険を回避しながら切羽の安定化を図れたことで、従来に比べ作業員の安全性の向上も確認された。

また、不良な地山が発生した場合も、切羽に堆積したズリ後方にロングブーム吹付け機を配置した状態で、ブームを最大に伸ばした吹付けを行うことも可能である(写真-3)。



写真-2 坑口部の吹付け状況



写真-3 堆積ズリ後方からの吹付け作業

6. おわりに

本技術は古河ロックドリル(株)との共同開発である。今後は、現場での適用を通して、ロングブーム吹付け機の施工性に関するデータを収集・解析し、一層の性能の向上を図っていく。

参考文献

- 1) 土木学会：吹付けコンクリート指針(案)，H17年
- 2) 土木学会：山岳トンネルの補助工法－2009年版－，H21年