

6

トンネル工事の提案技術の開発

ー パーカッション・シングルリバース (PS-SR) 工法の実証実験結果 ー

小山 俊滉*1・舟橋 孝仁*1・植村 義幸*1・中原 法久*1・宇田 誠*2

概 要

トンネル施工中の切羽前方地山調査として、近年ではパーカッションワイヤラインサンプリング工法による水平コアボーリングが行われることが多いが、この工法は地山からの多量湧水に遭遇した場合、コア採取が不能になることがある。そこで、著者らは、多量湧水条件下でも高速削孔と効率的なコアボーリングが可能なパーカッション・シングルリバース (PS-SR) 工法を開発した。これまでに、本工法による模擬地山を掘削した性能確認試験を行い、本工法の現場適用の可能性を確認している。しかし、本工法の適用地山については未確認であったため、実際の地山を本工法で掘削した。その結果、本工法は、切羽から実施する 100m 程度の先進調査ボーリングとして十分な適用性を有することを確認することができた。

キーワード：山岳トンネル、切羽前方探査、PS-SR 工法、先進ボーリング、多量湧水

DEVELOPMENT OF A NEW INNOVATIVE TECHNOLOGY DESIGNED FOR TUNNEL CONSTRUCTION
- RESULTS OF DEMONSTRATION OF THE PERCUSSION SINGLE REVERSE (PS-SR) METHOD -

Toshihiro KOYAMA*1, Takahito FUNAHASHI*2, Yoshiyuki UEMURA*3,
Norihisa NAKAHARA*4, Makoto UDA*5

Abstract

In recent years, the horizontal core boring by percussion wire line sampling method has been frequently used for the soil survey ahead of a cutting surface in a tunnel under construction, but with this method, it is sometimes impossible to collect core samples when encountering a great amount of spring water from the ground. To cope with this problem, the authors have developed a percussion single-reverse (PS-SR) method that enables high-speed drilling and efficient core boring even when there is a large volume of spring water. To date, by using this method, we tested and confirmed its performance through boring in simulated ground, and demonstrated that it is applicable to actual ground sites. However, since the feasibility of the method to our intended site ground had not yet been confirmed, we cautiously used this method for boring the actual ground. As a result, this method has demonstrated sufficient applicability as an advance survey boring about 100 m ahead of the cutting face.

Keywords: mountain tunnel, cutting ahead of face survey, PS-SR method, advance boring, large amount of spring water

*1 Tunnel-Geology Group, Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

*2 Tunnel Group, Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

*3 Manager, Tunnel Group, Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

*4 Manager, Tunnel-Geology Group, Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

*5 Executive Officer, Deputy Executive General Manager, Civil Engineering Division

トンネル工事の提案技術の開発

ー パーカッション・シングルリバーズ (PS-SR) 工法の実証実験結果 ー

小山 俊滉*1・舟橋 孝仁*2・植村 義幸*3・中原 法久*4・宇田 誠*5

1. はじめに

山岳トンネル施工中には、切羽前方 100m 程度の地質と湧水を確認するために先進ボーリング調査が行われることがあり、その調査手法として、近年ではロータリーパーカッションドリルを用いたパーカッションワイヤラインサンプリング (PS-WL) 工法が採用されることが多い。図-1 に PS-WL 工法の概要図を示す。PS-WL 工法は、回転と打撃による高速削孔と迅速なコア回収により、切羽掘削行程に与える影響が少ない日程で延長 100m のコアボーリングが可能である。しかし、掘進中に地山からの高圧・多量湧水に遭遇した場合、コアが格納されたイン

ナーチューブが湧水圧により押されて勢いよく口元に突出し、作業の安全性に問題が生じることがある。また、湧水圧に押し入れインナーチューブの挿入ができずコア採取も困難となり、限られた時間内に所定のボーリング延長を確保できないこともある。

そこで著者らは、地山からの高圧・多量湧水が生じてでもコア採取が継続できるボーリング工法として、パーカッション・シングルリバーズ (PS-SR) 工法を考案した。図-2 に PS-SR 工法の概要を示す。PS-SR 工法は、ロータリーパーカッションドリルを用いて回転・打撃により削孔を行う。送水は口元のプリペンダーからロ

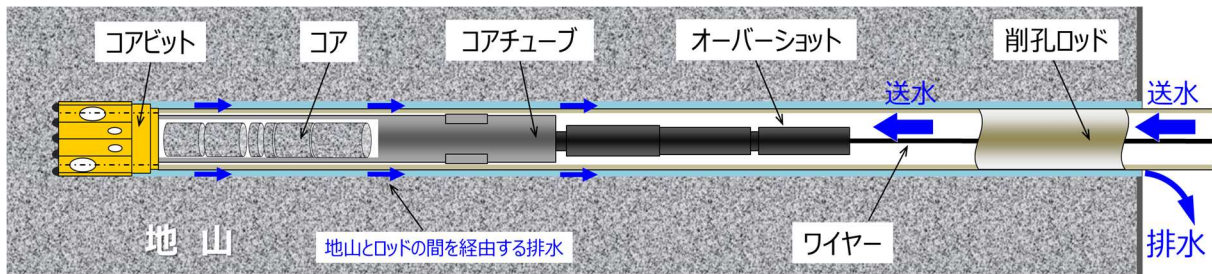


図-1 パーカッションワイヤラインサンプリング (PS-WL) 工法概要図

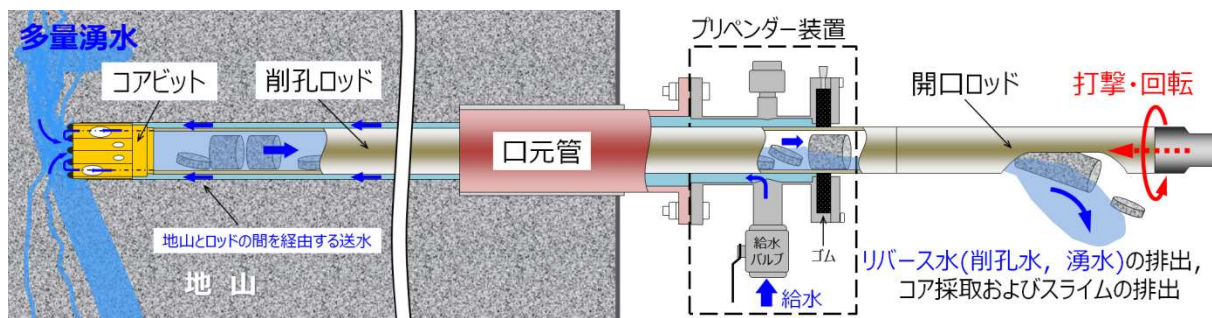


図-2 パーカッション・シングルリバーズ (PS-SR) 工法概要図

- | | | | |
|----|------|---------|---------------------|
| *1 | 土木本部 | トンネル技術部 | トンネル地質グループ |
| *2 | 土木本部 | トンネル技術部 | トンネルグループ |
| *3 | 土木本部 | トンネル技術部 | トンネルグループ グループリーダー |
| *4 | 土木本部 | トンネル技術部 | トンネル地質グループ グループリーダー |
| *5 | 執行役員 | 土木本部 | 副本部長 |



写真-1 PS-SR 工法主要機器および坑内設置状況

ロッドと地山の間を經由し、掘削先端へ至る。プリペンダーは、回転するロッドをゴムで締め付けながら、送水の漏洩を防止する装置である。削孔により得られるコアは、掘削先端に達した送水と地山からの湧水により、先端から口元までロッド内を自動的かつ連続的に輸送される。コアは、排水（リバース水）とともに口元の開口部にて排出・回収される。これにより、PS-WL 工法で用いるインナーチューブの挿入・回収作業を省略することができるため、PS-SR 工法は削孔作業中の省力化も期待できる。また、PS-SR 工法は PS-WL 工法と共通の削孔機械を用いるため、両工法相互の切り替えも可能である。これまでに、模擬地山を削孔した性能確認試験により PS-SR 工法の現地適用の可能性について示した¹⁾が、実現場において多様な地質への対応、延長 100m 以上の長尺コアボーリングへの適応性については未確認であった。そこで、本検討では、施工中の山岳トンネルにおいて、地質が異なる 2 種類の地山に対し PS-SR 工法を適用し、長尺コアボーリングの実証実験を実施した。



写真-2 PS-SR 工法コア採取部

本稿では、本工法の適用地山の検討および長尺コアボーリングの適応性について、実証実験により得られた知見を報告する。

2. 実証実験概要

実証実験は、空洞の存在が懸念される中硬質

石灰岩地山（フィールドA）のトンネルと亀裂が発達する中硬質安山岩地山（フィールドB）のトンネルで1回ずつ実施した。PS-SR工法の主要なボーリング機器の坑内設置状況を写真-1に示す。ボーリング口元には長さ4mの口元管をセメントミルクで固定・設置し、それにプリペンダーを固定した。削孔ロッド（外径89mm 内径64mm）は、1.5m/本ロッドを使用し、ロッド先端には外径101mm、コア径56mmのコアビットを装着した。削孔延長は、口元から120mを目標とした。コア採取方法は、既往の試験結果¹⁾を参考に、コア採取部において開口ロッドから排出されるコアおよびスライムを受け箱で採取する方法とした。なお、写真-2に示すように、受け箱には網目3mmのネットを設置し、スライムを含んだリバー水とコアの分離を試みた。削孔機は、PS-WL工法で使用するものと同じロータリーパーカッションドリルを用いた。また、施工期間は準備工からボーリング実施、片付けまでの作業を4方(2日間)以内で実施するものとした。

3. 実証実験結果

表-1に実証実験結果の概要を示す。

3. 1 地山状況の違いによる適用性

フィールドAにおける試験施工は、切羽手前約10mの左側壁から左向き10度、上向き0度の角度で削孔を行った。口元から16m付近までは地山からの湧水はなかったものの、順調に削孔とコア排出が行われていた。しかし、深度16m付近でロッド開口部から排出されるリバー水、コア、スライムが極端に減少した。その後も削孔を継続したが、深度21mに達した段階で掘進不能となり、ロッドを全て抜管した。抜管後のロッド内部には、輸送されなかったコアやスライムが残留していた。これは、PS-SR工法が削孔ロッドと地山の間に送水するため、地山へ水が逸水する状況ではロッド先端まで水が十分に供給されず、地山からの湧水もなかったことから、コア輸送を担うリバー水が不足

したためと想定される。ボーリング延長線上に石灰岩特有の空洞があり、掘進先端が到達したため、図-3に示すように送水が逸水したと考えられる。よって、地下水が貯留されていない空洞が存在する地山で、ロッド先端へ十分な水が供給できない条件では、PS-SR工法の適用が困難になる可能性があると考えられる。

フィールドBでは、切羽手前18mの右側壁から右向き10度、上向き4度の角度で削孔を行った。フィールドBの安山岩には亀裂が多く存在し、送水の逸水が想定された。掘進中に地山からの多量湧水は生じなかったが、逸水およびコア詰まりは発生せず、毎分100L~150Lの送水のみによるコア輸送で所定延長の深度120mまで掘進することができた。このことから、対象とした地山の亀裂程度であれば、湧水がなくても本工法は問題なく適用できると考えられる。

3. 2 長尺ボーリングの適用性

フィールドAでは、石灰岩地山特有の空洞の問題により長尺ボーリングには至らなかった。なお、フィールドAにおける実証実験では、PS-SR工法からPS-WL工法に切り替え、所定の削孔延長へ到達した。一方、フィールドBの安山岩地山では、所定延長の深度120mまで

表-1 実証実験結果概要

対象地山	フィールドA 石灰岩地山	フィールドB 安山岩地山
掘削延長	21m	120m
コア形状	れき状~岩片状 短柱状	れき状~岩片状 短柱状~長柱状 ※最大長40cm
コア採取率	84%	100%
施工サイクル (1.5m当り)	平均15分	平均13分

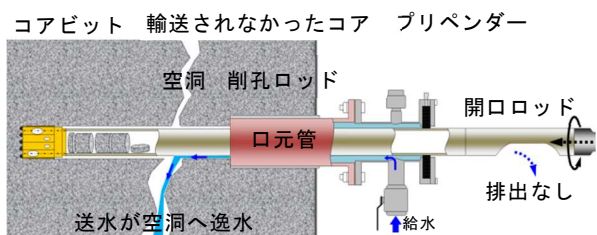


図-3 フィールドA 逸水状況想定概要図

削孔とコア採取を行い、準備・撤収を含め、目標とした2日間以内に作業を完了することができた。このことから、PS-SR工法は、PS-WL工法により切羽掘削作業の合間に実施する延長100m程度の長尺コアボーリングと同等の適応性を有しているものと考えられる。フィールドAで採取されたコアはディスク状が主体であった(写真-3)。フィールドBでは主に岩片状コア、短柱状～長柱状コアが採取でき、採取率も100%近い結果を得た(写真-4)。フィールドBでは、岩片状コアが多い箇所、柱状コアが多い箇所と差が表れたため、地山の亀裂状態を概ね推定でき、切羽前方の地山状況の予測に活かすことができる有用な試料が得られたものと考えられる。

施工サイクルに関しては、削孔中の主な作業はロッドの継ぎ足しのみであり、実証実験においても、ボーリング作業の省力化および効率的なコア回収ができていることを確認した。

4. まとめ

高速削孔と効率的なコア輸送を両立し、先進ボーリング中における多量湧水に対応可能なPS-SR工法を開発し、トンネル坑内から地山を掘削する実証実験を行った。実験では、PS-SR工法の地山適用性および長尺ボーリングに対するの適応性について検証を行った。

- (1) PS-SR工法は、地山条件にもよるが、ボーリング中の湧水が少ない場合においても、送水のみで本工法の適用は可能である。
- (2) 送水が空洞や開口亀裂等へ逸水する地山に対しては、PS-SR工法の適用が困難となる場合がある。
- (3) PS-SR工法は、施工中のトンネル現場で切羽から実施する延長100m～150m程度の長尺コアボーリングとして十分な適応性を有する。



写真-3 フィールドA 採取コア

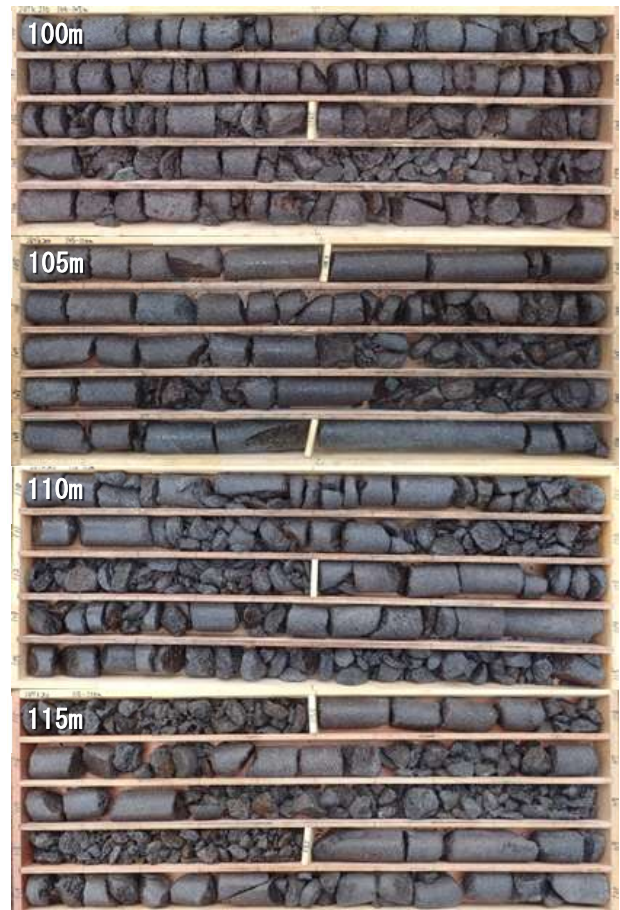


写真-4 フィールドB 採取コア

参考文献

- 1) 小山ほか：PS-SR工法の適用地山および長尺コアボーリングへの適応性に関する検討，土木学会第74回年次学術講演会，Ⅲ-275，2018.