

ロータリーパーカッションによる逆循環式水平 コアボーリングシステムの開発

舟橋 孝仁*1・小山 俊滉*1・植村 義幸*2・宇田 誠*3

概要

トンネル施工において、先進ボーリングとしてパーカッションワイヤーラインサンプリング工法（PS-WL 工法）が利用されることが多い。この工法は、掘進中に高圧多量湧水に遭遇した場合に、作業上の安全性が低下したり、コア採取が不能になることがあり、所定のボーリング延長が得られないことがある。そのため、ボーリング中に高圧多量湧水に遭遇した場合においても、これらの事態を回避できる新たなコアボーリングの方法を検討する必要がある。

そこで、著者らはパーカッション・シングルリバース工法（PS-SR 工法）を開発し、性能確認試験を行なった。確認試験では、PS-SR 工法のボーリングシステムとしての実用性を確認することができ、PS-SR 工法がボーリング作業の効率化、省力化に繋がるボーリング工法であることを確認した。

キーワード：先進ボーリング，高圧多量湧水，PS-SR 工法，ロータリーパーカッション，効率化

DEVELOPMENT OF A ROTARY PERCUSSION-BASED REVERSE CIRCULATION HORIZONTAL CORE BORING SYSTEM

Takahito FUNAHASHI *1, Toshihiro KOYAMA *1

Yoshiyuki UEMURA *2, Makoto UDA *3

Abstract

In mountain tunnels construction, The Percussion Wireline Sampler is frequently used for advancing horizontal boring. In this method, when high-pressure and much of groundwater is encountered during drilling, the safety in operation may be lowered or the core may not be obtained, and a predetermined boring extension may not be obtained. Therefore, there was necessary to consider and develop a new core boring method that can avoid these problems even when high pressure and much of groundwater are encountered during boring.

To meet this requirement, we developed The Percussion Single Reverse Drilling (PS-RS method) and conducted the performance confirmation test. In the performance confirmation test, it was possible to confirm the practicability of the PS-SR method as a boring system, and it was confirmed that the PS-SR method is a boring method that leads to more efficient boring and labor saving.

Keywords: advancing horizontal boring, high-pressure and much of groundwater, PS-SR method, rotary percussion, streamlining

*1 Tunnel Technology Department, Civil Engineering Division

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

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

ロータリーパーカッションによる逆循環式水平コアボーリングシステムの開発

舟橋 孝仁*1・小山 俊滉*1・植村 義幸*2・宇田 誠*3

1. はじめに

長大山岳トンネルは、トンネルルートの上地上条件やトンネルが地下深部に位置するなどの制約により、事前に地山状況や地質情報を十分、かつ正確に把握することが困難である。そのため、長大山岳トンネルの施工では、トンネル施工中の地山調査が特に重要となる。

トンネル施工中の調査としては、切羽前方の地質、地下水及び地山物性の把握ならびに地下水の低下等を目的として、トンネル切羽付近から先進調査水平ボーリングが実施される。最近では、高速掘進と迅速なコア回収が可能な、パーカッションワイヤーラインサンプリング工法（以降、PS-WL 工法と呼ぶ）が利用されることが多い。また、調査ボーリングは、切羽での掘削作業と競合するため、一般にはトンネル掘削への影響を最小限にするため、限られた時間で行っているのが現状である。

しかしながら、PS-WL 工法は、掘進中に高圧、多量湧水に遭遇した場合、コア回収時に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勢いよく口元に飛び出したり、ワイヤーがロッド内で絡むなど、作業上の安全性に問題が生じることがある。また、インナーチューブをロッド先端まで圧送する際、湧水圧に押されてインナーチューブのセットに時間を要したり、セットができずコア採取が不能になることがあり、限られた時間内に所定のボーリング延長が得られず、結果的にトンネル掘削の進捗に影響を与えてしまうといった問題点がある。

そのため、ボーリング中に高圧、多量湧水発生に遭遇した場合においても、ボーリング掘進

及びコア回収を継続可能とすることができ、限られた時間で効率よくコア採取が行えるボーリング方法を開発する必要があると考えた。

2. 工法開発のコンセプト

本開発における、先進ボーリング工法の開発コンセプトは、かつて青函トンネル建設時代に実用化されたリバース工法のボーリング機構とロータリーパーカッションドリルによる施工の利点を組み合わせることを考えた。前者は、ボーリング先端で切削したコアを地山湧水の排水とともに口元まで輸送できる効率的なコア採取方法に着目し、後者は、高速掘進が可能であることに着目した。これにより、PS-WL 工法で掘進不能な湧水が生じた場合においても、高速かつ効率の良いコアボーリングが行えるものと考えた。本開発では、この先進ボーリング工法をパーカッション・シングルリバース工法（以降、PS-SR 工法と呼ぶ）と称することとした。

PS-SR 工法の開発の位置付けは、PS-WL 工法の拡張的な工法とし、PS-WL 工法から容易に切替え可能な工法であるとともに、単独でも適用可能な工法とすることを開発の目標とした。

そこで、本開発では、PS-SR 工法の実用性について検証するため、性能確認試験及び現地試験施工を実施した。性能確認試験では、地山を想定した模擬供試体を作製し、パーカッションドリルを用いたボーリングにより、PS-SR 工法の動作確認、コアサンプリング方法の検討、コア採取状況の確認を行なった。現地試験施工では、施工中のトンネル現場において、実際の地山に対し、実機を用いた試験施工を行ない、実

*1 土木本部 トンネル技術部

*2 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

*3 執行役員 土木本部 副本部長

機における動作確認、コア採取状況等を確認し、本工法の適用性及び問題点の抽出を行なった。

3. PS-SR 工法の概要

PS-SR 工法のボーリングシステムの全体概要図を図-1 に示す。ボーリング口元には長さ 2~4m 程度の口元管 (SGP150) を地山側に設置し、口元管には、削孔水の送水、止水の役割を果たすプリペンダー装置が固定される。写真-1 にプリペンダー装置を示す。プリペンダー装置は、a 部の給水バルブより送水でき、b 部より削孔ロッド (外径 89mm, 内径 63.5mm) の挿入を行う。ここで、送水した水をボーリング先端まで圧送するため、ロッド挿入箇所 (b 部) の止水を行う必要がある。b 部における止水は、注入バルブ (c 部) から水による加圧を行い、内部の硬質ゴムを収縮させロッドを締め付けることにより行った。

プリペンダーより送水された水は、ビット先端までは地山とロッドとの間を流れる。一方、排水は、削孔時に生じるスライム及びコアとともにロッド内を流れて削岩機側まで戻ってくる。コアはコア回収部において、コアサンプラーや開口ロッド等を用いて採取する。

削孔は、PS-WL 工法で使用するロータリーパーカッションドリルで行い、基本的に単管掘削となる。なお、コアビットは PS-WL 工法と同様のものとした。

本工法の適用範囲は、コアサンプリングが前提となるため、軟岩以上の硬度を持つ地山を想

定しており、コア流出が懸念される未固結地山や著しい逸水が懸念される亀裂性地山、空洞の存在が懸念される地山では適用が困難となる可能性がある。

ここで、PS-WL 工法と PS-SR 工法の作業サイクルの比較を表-1 示す。PS-SR 工法は、リバース水とともにコアが自動的に輸送されるため、PS-WL 工法に比べ、コア回収のためのインナーチューブの圧送、設置、回収等の作業が発生しない分、コア回収が効率的に行える。また、作業が削孔ロッドの継ぎ足しのみとなるため、省力化にも寄与する。

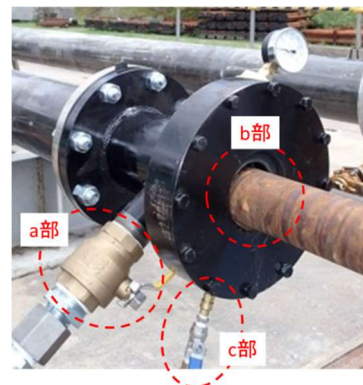


写真-1 プリペンダー装置

表-1 作業サイクル

PS-WL工法	PS-SR工法
1) インナーチューブを圧送・設置	1) 掘進
2) 掘削	2) コア排出
3) 水圧によるオーバーショット挿入	3) ロッド継ぎ足し
4) ウインチによるインナーチューブ回収	4) 1)へ
5) インナーチューブ挿入	
6) ロッド継ぎ足し	
7) 1)へ	

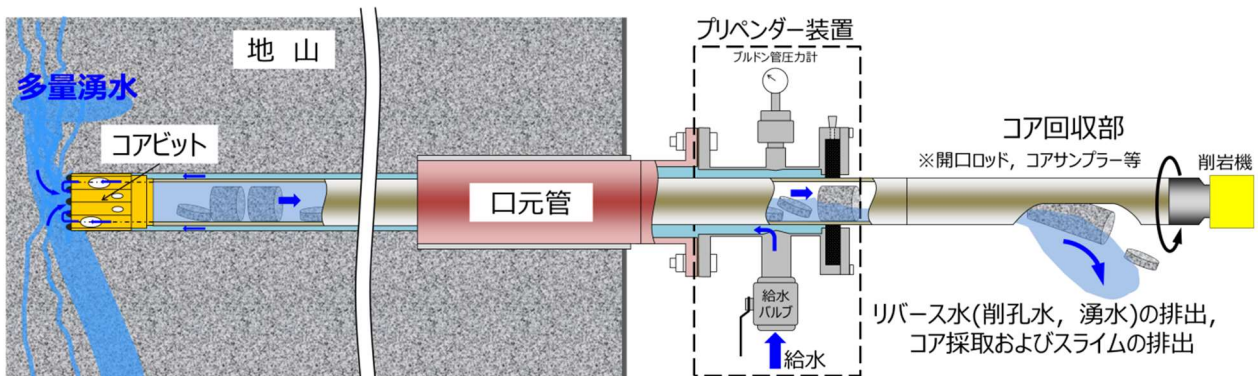


図-1 PS-SR 工法のボーリングシステムの全体概要図

4. 性能確認試験

PS-SR 工法の実用可能性を確認するため、模擬供試体を用いた試験を行った。試験では、本工法の基本的な動作性能、プリペンダーの性能確認、コアサンプリング方法の検討、コア回収状況及び採取率等について確認した。

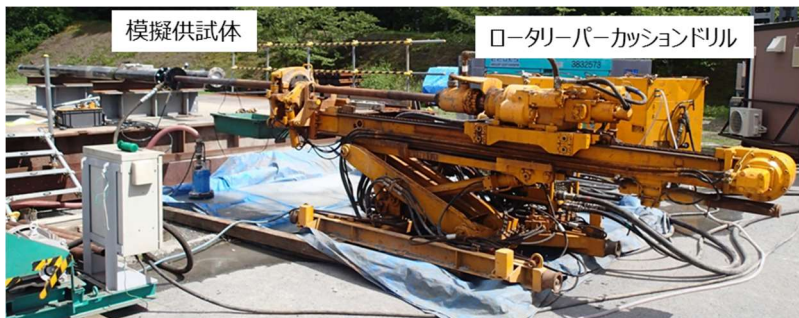


写真-2 模擬供試体及びドリルマシン設置状況

4. 1 試験概要

試験は、写真-2に示すように構台に模擬供試体を固定した状態で実施した。模擬供試体は、長さ5.5mのSGP150管(外径165.2mm, 内径155.2mm)内にセメントミルクを充填し、硬化させて地盤を模擬した。模擬地盤は、概ね軟岩～中硬岩程度を想定した。削孔は、ロータリーパーカッションドリル(スキッドタイプ)を使用し、給圧及び送水量は、PS-WL工法を行う場合と同程度とした。なお、試験における1掘進長は、1.5mとした。

4. 2 コアサンプリング方法

通常のリバース工法(ロータリー式)は、輸送されたコアをロッド末端より排出する。しかしながら、ロータリーパーカッション式の本工法は、ロッドの末端が削岩機により塞がれるため、コアやスライム等を排出する場所がない。そのため、改めて本工法に適したコア採取方法を検討する必要がある。本試験で試したコアサンプリング方法を表-2に示す。

パターン1:長さ20cm程度の開口部を設けたロッド(開口ロッド)を用いて、開口部から排出される全てのコア、スライムをメッシュ網及び受け箱で受け取る方法

パターン2:開口ロッド内にSGP50(外径60.5mm, 内径52.9mm)有孔管(以降、コアキ

表-2 コアサンプリング方法

	パターン1	パターン2	パターン3
コアサンプリング方法	開口ロッド +受け箱 (メッシュ網有り)	開口ロッド +コアキャッチャーA (SGP50有孔管(有孔径 φ5mm@10cm))	開口ロッド +コアキャッチャーB (メッシュ状の筒(φ60,網 目3mm))

表-3 性能確認試験結果のまとめ

	パターン1		パターン2	パターン3
プリペンダーの止水状況(目視)	○		○	○
コアサンプリング方法の有効性(目視)	○		○	△ (強度不足)
コアとスライムの分離状況(目視)	△ (コア, スライム混合)		○	○
コア採取率 (コア採取長/掘進長)	77% (1m/1.3m)	91% (1m/1.1m)	53% (0.8m/1.5m)	86% (0.3m/0.35m)

ャッチャーAと称す)を挿入し、ロッド内を流れてくるコアを格納し採取する方法

パターン3:開口ロッド内にフレキシブルなメッシュ状の筒(φ60mm)(以降、コアキャッチャーBと称す)を挿入し、ロッド内を流れてくるコアを格納し採取する方法

4. 3 試験結果

性能確認試験結果のまとめを表-3に示す。試験結果は、コアサンプリング方法の有効性、コアとスライムの分離状況、コア採取率(1掘進長に対するコア採取長の割合)についてまとめた。

PS-SR 工法の試験状況を写真-3に示す。PS-SR 工法の動作性能については、ビット先端で掘削されたスライム、コア及び削孔水は、削孔とともにロッド開口部より自動的に排出されていることが確認でき、ボーリングとしての基本動作に問題のないことを確認した。また、作業もロッドの継ぎ足し作業のみであり、作業の省力化が図れていることも確認することができた。プリペンダー装置の止水状況は、口元(写真-3の破線丸部)より削孔中に水が漏れ出す状況も発生したが、水圧ポンプ(手動)で再加圧することにより、水漏れを止めることができた。しかしながら、ロッドの打撃・回転とともに硬質ゴムの劣化(主に摩擦に伴う磨り減り)がみられ、今後、ロッドと硬質ゴムの摩擦低減、新たな止水方法等を検討する必要がある。

ここで、コアサンプリング毎の採取コアを写真-4に示す。いずれのコアサンプリングパターンにおいても、5~10cm程度の短柱状コアが採取できていることが確認できる。PS-SR 工法はPS-WL 工法と同様のコア掘削を行うため、実際の地山においてもPS-WL 工法とほぼ同様のコアが掘削できると考える。なお、パターン3については、試験途中でコア詰りが発生し掘進不可となったため、コアの取得量が少なくなっている。

コアとスライムの分離状況は、パターン2の方が優れていたが、コアキャッチャー内でスライムが一部の孔を塞ぎ排水を妨げていた。パターン1では、コア受け箱に網目の細かいメッシュを使用しており、スライムとコアが混合した状態となったため分離状況が悪かったが(写真-5)、これはメッシュの網目を変更することにより改善できると考える。パターン3では、分離状況は良好であったものの、ロッド内でのコア残留やコア詰り、コアキャッチャー自体の強度に問題が生じた。コアキャッチャーを使用したコア取得は、スライムやコアの詰まり解消、排水の妨げ防止等、今後の検討課題と言える。

コア採取率は、コア詰りが発生したパターン



写真-3 PS-SR 工法試験状況

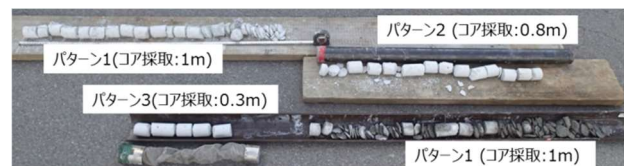


写真-4 採取コア



写真-5 コアとスライムの混合状況

3を除けば、パターン1が良好であった。パターン1は、開口部から排出されるコア及びスライムを受け箱により全て回収できるため、他のパターンに比べ採取率の向上に寄与したと考える。

5. 現地試験

実機を用いた実際の地山に対してPS-SR 工法の適用性を確認するため、現地試験施工を実施した。試験施工では、実現場での適用性、コア回収状況、作業性、サイクルタイム等の確認を行なった。

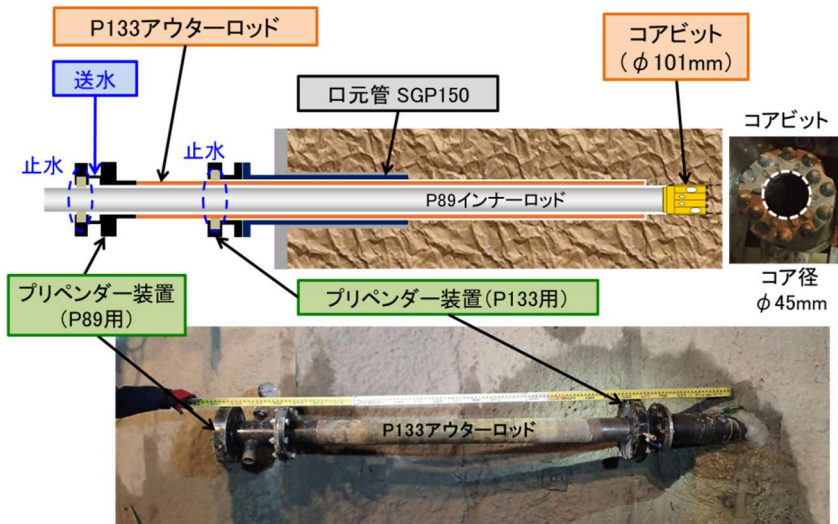


図-2 現地試験における口元付近の概要図



写真-6 現地試験状況



写真-7 現地試験における採取コア

5.1 現地試験の概要

現地試験は、先第三紀の石灰岩（中硬質）で、一部に粗粒玄武岩の貫入がみられる地山で実施した。ボーリング中の地山湧水は、600～900l/minであり、湧水が発生する状況下での試験施工となった。

現地試験施工実施時の口元付近の概要図を図-2に示す。現地試験では、切羽後方に口元を設置したため、送水時の既掘削区間からの逸水を最小限にするためにアウター管（外径133mm，内径106mm）を用いた。そのため、口元管（SGP150）には、アウター管用のプリペンダー装置を装着し、アウター管に削孔ロッド用のプリペンダー装置を装着した。コアサン

プリング方法は、開口ロッドから排出されるコアとスライムを受け箱で受け取る方法とした。なお、現地試験では、事前の性能確認試験結果を踏まえ、受け箱は目の粗いメッシュ網にスライム排出用の孔を設け、コアとスライムの分離を図った。

5.2 現地試験結果

現地試験状況を写真-6に、PS-WL工法及びPS-SR工法で採取したコアを写真-7に、試験結果のまとめを表-4に示す。

PS-SR工法によるコア取得状況は良好であり、取得したコアもPS-WL工法で採取したコアと遜色ないことがわかる。また、コアとスライムの分離についても十分な分離が行われてお

表-4 現地試験結果のまとめ

	PS-SR工法	PS-WL工法
コア採取状況 コアとスライムの分離状況	取得状況 ◎ 分離状況 ◎ (但し, コアはばらばら)	取得状況 ◎ 分離状況 ◎
コア採取率	80~100%	70~100%
作業内容	① 1.0m掘進 ② コア排出 ③ ロッド継足し, 開口ロッドセト	① コアチーフを圧送・設置 ② 1.5m掘進 ③ オーバーショット挿入・圧送 ④ コアチーフ・オーバーショット回収 ⑤ ロッド継足し
サイクルタイム (1.5m当り)	15分	21分

り, 性能確認試験で確認できたコアとスライムが混合する状況は改善された。コア採取率も 80~100%以上で, PS-WL 工法と同等であり問題なくコアを採取することができている。よって, PS-SR 工法は, 実機による実際の地山に対して十分な適用性を有していることが確認できた。

一方, 作業に関しても, 性能確認試験と同様にロッドの継ぎ足しのみであり, 作業の効率化, 省力化が図れることを確認した。サイクルタイムについては, PS-SR 工法は PS-WL 工法と比べ 30%程度の時間短縮が図れ, 限られた時間内におけるボーリング施工延長の増大に繋がると考えられる。

6. まとめ

高圧多量湧水地帯においてもコア採取が可能なロータリーパーカッションによる逆循環式水平コアボーリングシステム (PS-SR 工法) の開発を行ない, 性能確認試験及び現地試験施工を実施した。

(1) 性能確認試験では基本動作の確認を行ない, PS-SR 工法のボーリングシステムとしての

実用性を確認した。

- (2) PS-SR 工法に適したコアサンプリング方法は, ロッド開口部から排出されるコアを受け箱で採取する方法であり, この方法はコア採取率の向上に寄与する。
- (3) コアとスライムの分離は, コアキャッチャーの使用が優れていたが, 使用にあたってはコア詰りの懸念やコアキャッチャー自体に強度が必要であることがわかった。また, コアとスライムの分離には, メッシュ等を用いることでコアとスライムが容易に分離できることがわかった。
- (4) 現地試験により, PS-SR 工法は, 実際の地山, 湧水発生状況下においても問題なくコア採取が可能であり, PS-WL 工法と同等のコアを取得できる。
- (5) PS-SR 工法は, 適用地山を限定することにより, 効率的かつ省力化に繋がる。また, PS-WL 工法に比べ 1 回当りのボーリング施工延長の増大に繋がる工法であることが確認できた。