

# 先進ボーリングを用いた切羽前方の湧水調査技術 「T-DrillPacker®（水圧圧送方式）」の開発

平塚 裕介\*<sup>1</sup>・熊本 創\*<sup>1</sup>・山本 肇\*<sup>1</sup>

Keywords : mountain tunnel, advanced boring, groundwater inflow rate, hydraulic pressure, packer

山岳トンネル, 先進ボーリング, 湧水量, 湧水圧, パッカー

## 1. はじめに

山岳トンネル工事では、施工中に大量の湧水が発生すると、トンネル切羽の崩壊や水没などの危険があり、工事の安全や工期・工費に重大な影響を及ぼすことがある。そのため、切羽前方の湧水帯の位置や流量・水圧を確実に把握し、止水注入や水抜き孔設置などの湧水対策を事前に検討する必要がある。切羽からの先進ボーリングを利用した湧水帯の調査では、ボーリング口元での湧水量や水圧の測定が簡便であるが<sup>2)</sup>、個々の湧水帯を正確に調査するためには、パッカーを用いて湧水帯を水理的に隔離して測定することが望ましい<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>。従来の方法では、図-1のように、パッカー挿入のために、削孔管やビットを全て引き抜く必要があり、孔壁崩壊のリスクを伴うという課題があった。削孔管引き抜き作業には多くの手間と時間を要することも併せて、特に100m程度以上の中長尺のボーリングではパッカーを用いた湧水測定の実施が困難な場合が多かった。最近では、削孔管の中からパッカーを先端まで挿入しビットを前方に押し出すことで、削孔管を引き抜くことなく、パッカーを設置する方法が開発されているが、測定後のビット回収や再削孔の方法は明らかではない<sup>3)</sup>。

これまで筆者らは、削孔管を引き抜く必要がなく、ボーリング先端の湧水量、湧水圧を迅速かつ確実に測定できる調査技術「T-DrillPacker®」を開発してきた<sup>5)</sup>。これまでは、ロッドを継足してパッカーを挿入する「ロッド方式」を中心に開発を進めてきた。ロッド方式の開発により、削孔管を全て抜管する従来法と比べて調査時間を大幅に短縮できたが、それでも100m程度

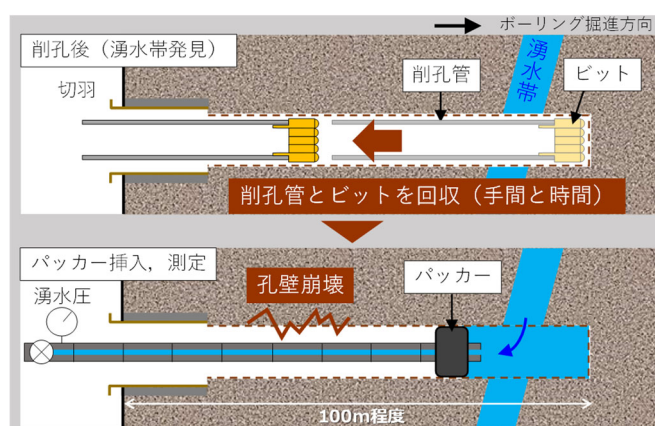


図-1 従来の湧水圧測定方法

Fig.1 Conventional method for hydraulic pressure measurement

の中長尺のボーリングでは、パッカーの設置・回収作業にある程度の時間を要しており、1本のボーリングで実施可能な調査数量に限りがあった。たとえば、地質や湧水状況から複数箇所での調査が必要と判断される場合でも、トンネル掘削工事を一時中断して行う先進ボーリングでは調査時間の制約から、測定箇所を1~2箇所に限ることが必要になる場合もあった。そこで、測定作業を更に高速化するため、パッカーをロッドの代わりに水流で高速圧送し短時間でボーリング孔先端に設置する「水圧圧送方式」を新たに開発した。本稿では水圧圧送方式の概要と動作確認試験の結果について報告する。

## 2. T-DrillPacker（ロッド方式）の概要

水圧圧送方式の説明に先立ち、既開発のロッド方式について概要を説明する。本技術は、二重ビットを用

\*1 技術センター 社会基盤技術研究部 地盤研究室



図-2 T-DrillPackerの概要  
Fig.2 Overview of T-DrillPacker

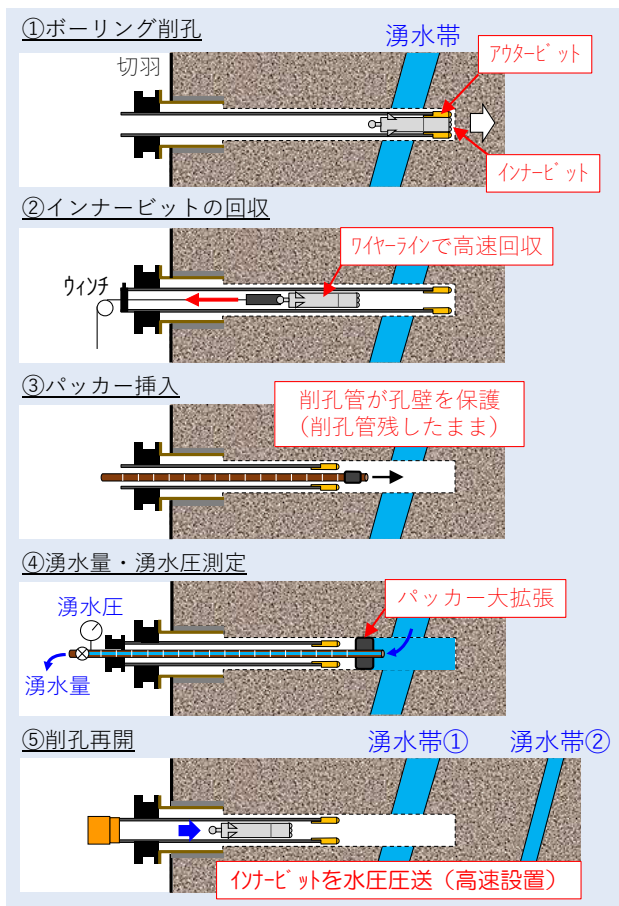


図-3 T-DrillPacker (ノンコア削孔) の測定手順  
Fig.3 Workflow for T-DrillPacker (non-core drilling)

いて削孔を行うことで、削孔管を残したままパッカーの設置を可能とする調査技術である。二重ビットはアウタービットとインナービットから構成され(図-2(a)), 削孔中に湧水帯が確認された際は、ワイヤラインでインナービットを速やかに回収することができ

る(図-3②)。インナービット回収後、削孔管を湧水帯の手前まで後退させ、パッカーをロッドを用いて押し込み、インナービットを回収した後の隙間を通して挿入、拡張させて湧水帯の水量や水圧を測定する(図-3③, ④)。削孔管が既削孔区間の孔壁を保護した状態でパッカーを挿入することができるため、孔壁崩壊のリスクも少なく、迅速・確実な測定が可能である。測定完了後には、インナービットを水流で圧送しアウタービットに再セットし、削孔を速やかに再開することができ、複数の湧水帯が確認された場合でも、繰り返し削孔と測定を行うことが可能である(図-3⑤)。

本技術で用いるパッカーは、アウタービットの狭い内径を通して挿入するため、通常よりも大きな拡張幅が必要となる。そこで、図-2(b)に示す初期径の約3倍拡張可能な大拡張パッカーを新たに開発した(初期外径40mmから最大120mmまで拡張可能)。削孔マシンやワイヤラインシステムなどは、鉤研工業㈱のPS-WL(パーカッションワイヤラインサンプリング工法)<sup>9)</sup>を用いている。上記のノンコア削孔タイプに加え、二重ビットをコアを格納する鋼管(コアチューブ)を備えたコアビットに代えることで、コア削孔にも適用可能である(図-2(c))。コア削孔タイプの場合、コアチューブをワイヤライン回収した後にパッカーをコアビットの内側を通して挿入する。

### 3. 水圧圧送方式の開発

これまでのロッド方式では、図-4に示す通り、パッカーをロッドを継足してボーリング先端まで挿入していた。パッカーをボーリングマシンのドリルヘッドのフィード機構を用いて機械的に押し込むことも可能であるが、挿入・設置に一定程度の時間と労力を要する(図-5)。これに対して、新たに開発した水圧圧送方式では、パッカーをボーリング先端まで水流で高速圧送し、ロッド方式よりも短時間で設置が可能である(現状では湧水圧が2MPa程度以下であれば圧送可能)。図-6(a)に水圧圧送方式で用いるパッカーを示す。本パッカーは、孔壁に密着し、測定区間とそれ以外の区間を隔離するための前方ラバー、削孔管内に流入する湧水を止水するための後方ラバーを備えたダブルパッカー構造である。パッカーの設置時は、ボーリングマシンのドリルヘッドより送水しパッカーをボーリング先端へ圧送する(図-6(b))。装置の後端には、パッカーを所定の位置に固定させるためラッチおよび圧送時の水圧を受圧するためのピストンが接続されている。

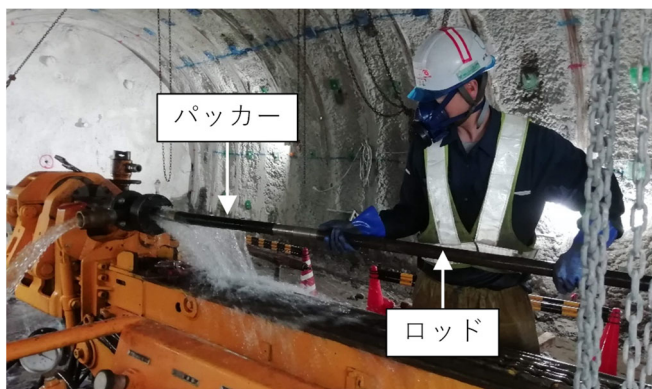


図-4 ロッドによるパッカー挿入  
Fig.4 Packer installation by adding rods

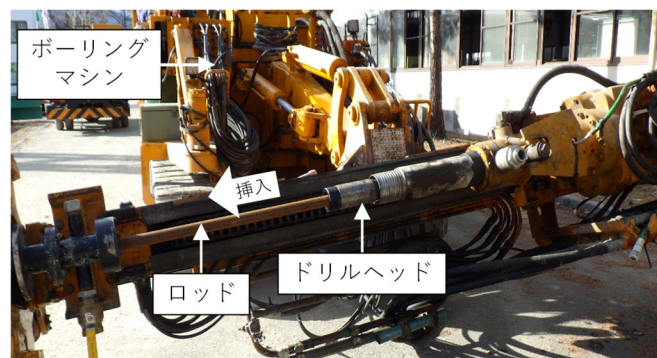


図-5 ドリルヘッドによるパッカーロッド挿入  
Fig.5 Installation of packer rods by drill head

パッカー設置後、更に送水を継続すると削孔管内の水圧が上昇し、所定の圧力を超えると拡張流路を通じてパッカーラバー内へ水が圧入されパッカーが拡張する仕組みとなっている。パッカー以奥の測定区間の湧水圧は、測定流路を通じてボーリング口元で測定する。測定後、パッカーが孔壁に密着している状態で、削孔管を数cm後退させて排水流路を開放することで、パッカー内の水を排出しパッカーを収縮する(図-7)。収縮後は、ピストン後端に備えたワイヤーをウィンチで巻き取ることで高速回収する(図-6(c))。以上により、ロッド方式よりも簡易に短時間でパッカーの設置・回収が可能となる。また、パッカー挿入時の人力作業も少なくなり、大量湧水発生下での作業環境や安全性も大幅に改善される。

#### 4. 動作確認試験

水圧圧送方式の圧送・拡張および収縮・回収の動作検証を行った。試験に先立ち、ボーリング先端に配したアクリル管に対してパッカーを圧送し、パッカーが問題なく拡張できることを目視で確認した(図-8)。図

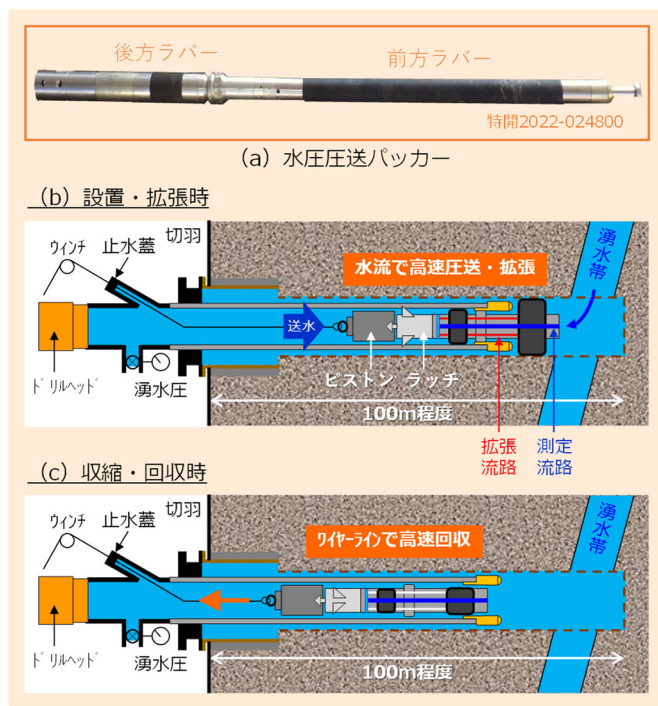


図-6 T-DrillPacker (水圧圧送方式) の概要  
Fig.6 Overview for T-DrillPacker (pressure-driven packer system)

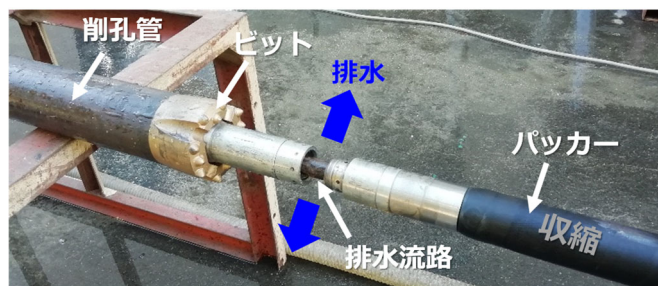


図-7 パッカー収縮状況  
Fig.7 Contracted of packer



図-8 パッカー拡張状況  
Fig.8 Inflated of packer

-9 に試験の全景を示す。実際のトンネル現場で使用するボーリングマシンや送水ポンプ、ビット・削孔管などのボーリングツールを用いて試験を行った。ボーリング孔を模擬した鋼管(延長約20m)を配置し、その先端から鋼管内へ送水することで地山からの湧水を

模擬し、現場での調査状況を再現した。送水ポンプはパッカー圧送用と模擬湧水用の 2 台があり、どちらも定流量吐出で制御される。まず、模擬湧水量 300L/min（送水ポンプの最大吐出値程度）に対してパッカーの圧送・拡張を行った。パッカーの動作状況を確認するため、図-10 に示す模擬湧水圧および削孔管口元で測定したパッカー以奥の水圧（以後、区間湧水圧）ならびに模擬ボーリング孔口元の水圧（以後、口元湧水圧）を測定した。パッカー拡張後に、模擬湧水圧を送水ポンプと圧力調整用排水弁により 1MPa および 2.2MPa 程度となるように調整した。測定結果を図-11 に示す。区間湧水圧は与えた模擬湧水圧と同程度であり、またパッカーより手前区間の水圧である口元湧水圧が変化していないことから、漏水等の問題はなくパッカーが正常に機能していることが確認できた。測定後、パッカーが問題なく収縮し、回収できることも確認した（図-7）。パッカーの設置・回収に要する時間は、挿入延長 100m を想定した場合、ロッド方式では 130 分程度かかるのに対して水圧圧送方式では 10 分程度である（約 13 倍高速化）。これにより、ボーリング削孔を中断してから、測定後の削孔再開までに要する調査時間はロッド方式の約 4 時間／箇所に対して水圧圧送方式は約 1.5 時間／箇所まで短縮できると考えられる。

## 5. まとめ

先進ボーリングを用いた湧水調査技術 T-DrillPacker について、パッカーをボーリング孔先端まで水流で高速圧送する「水圧圧送方式」を新たに開発した。動作確認試験の結果、パッカーの圧送・拡張および収縮・回収が正常に動作することが確認できた。また今回の結果より、調査時間の大幅短縮が期待できることが示された。本技術により、ロッド方式より多くの箇所での測定が可能となり、1本のボーリングでより詳細な調査を行うことができるようになると思われる。今後はトンネル現場での技術実証を積み重ね、本技術の改良を進めるとともに、広く現場適用していく予定である。

### 参考文献

- 1) 高原 英彰, 依田 淳一, 川原 一則: 偏圧する高压帯水層の地山における湧水圧管理を用いたトンネル掘削, トンネル工学報告集第 15 巻, pp.101-105, 2005.
- 2) 永利 将太郎, 長川 善彦, 中田 暁之, 大畑 雅義: 多量湧水区間をさまざまな対策で施工, トンネルと地下, 550 号, Vol.47, No.6, pp.7-16, 2016.

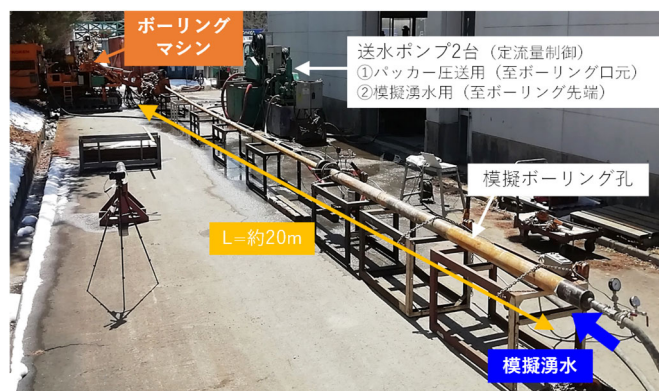


図-9 試験全景

Fig.9 Overview of test

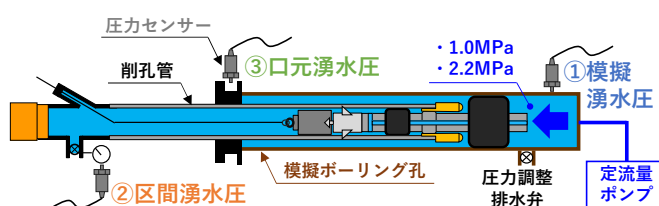


図-10 水圧測定位置

Fig.10 Position of water pressure measurement

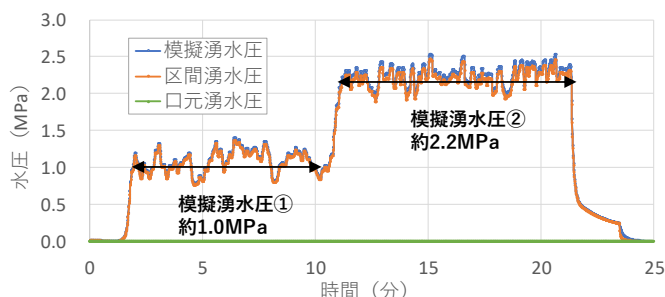


図-11 水圧測定結果

Fig.11 Results of hydraulic pressure measurement

- 3) 村山 秀幸, 丹羽 廣海, 伊東 佳彦, 岡崎 健治, 山崎 秀策: 坑内水平ボーリング削孔中における湧水圧の測定方法について, 土木学会第 71 回年次学術講演会, pp.785-786, 2016.
- 4) 滝 英明, 志水 俊仁, 升元 一彦, 岩野 圭太, 岡田 侑子, 川端 淳一, 倉岡 研一, 久我 俊充, 橋本 淳弘: 中尺ボーリング先端区間の湧水圧モニタリング技術, 土木学会第 72 回年次学術講演会, pp.437-438, 2017.
- 5) 平塚 裕介, 熊本 創, 増岡 健太郎, 山本 肇: 先進ボーリングを用いた切羽前方の湧水調査技術「T-DrillPacker」の開発, 大成建設技術センター報, 第 54 号, 2021.
- 6) 日本トンネル技術協会「トンネル新技術への挑戦」連載講座小委員会: トンネル新技術への挑戦 (16) —トンネル切羽から行う短尺・中尺ボーリング—, トンネルと地下, 559 号, Vol.48, No.3, pp.73-83, 2017.