

ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術「T-DrillPacker[®]Jumbo」を開発 短尺ボーリングにより切羽前方の湧水圧を安全かつ容易に測定可能

平塚 裕介・藤田クラウディア・熊本 創・棚島 秀一

大量湧水の発生が懸念される山岳トンネル工事を安全・確実に施工するため、ドリルジャンボを用いて切羽前方の湧水圧を測定する技術「T-DrillPacker[®]Jumbo」（以下、本技術）を開発した。従来、施工中の切羽からドリルジャンボで施工した短尺ボーリングの湧水圧を測定するためには、切羽直下にてパッカーの設置などの長時間の人力作業が必要であり、安全性や労力に課題があった。本技術はドリルジャンボのガイドシェルを用いてパッカーの設置・回収、拡張などを行い、従来よりも安全かつ容易に湧水圧の測定を可能としたものである。本稿では、技術の概要ならびにトンネル工事での適用事例について報告する。

キーワード：山岳トンネル，ドリルジャンボ，短尺ボーリング，湧水圧，パッカー

1. はじめに

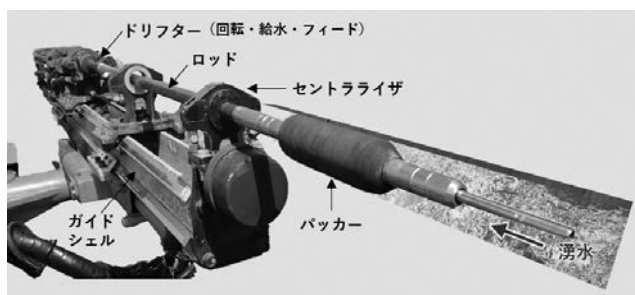
トンネル工事を困難にする大きな要因の一つとして湧水がある¹⁾。特に断層破碎帯や未固結地山等における突発的な高圧・大量の湧水は、施工性の低下や切羽の崩落^{2), 3)}などを引き起こし工事の安全性や工期・経済性の面で重大な問題となる⁴⁾。工事を安全・円滑に進めるため、事前に湧水発生個所の位置や、湧水量・湧水圧を把握し、適切な対策を計画することが重要である^{5), 6)}。切羽前方調査の一つとして、トンネル施工機械であるドリルジャンボで施工する数十m程度の短尺ボーリングがある⁷⁾。ボーリング孔の湧水圧を正確に測定するためには、パッカーを用いた調査が望ましいが^{8), 9)}、切羽直下にて1～2名の作業員がパッカーの設置から、拡張、回収まで全ての作業を人力で長時間行う必要があり、安全性や労力面の課題から、従来、実施が困難であった（図—1）。そこで、筆者らは短尺ボーリングの正確な湧水圧をドリルジャンボを用いて従来よりも安全・容易に測定できる技術を開発した¹⁰⁾。本稿では、技術

の概要ならびに大量・高圧湧水が懸念された山岳トンネルにて適用した事例について報告する。

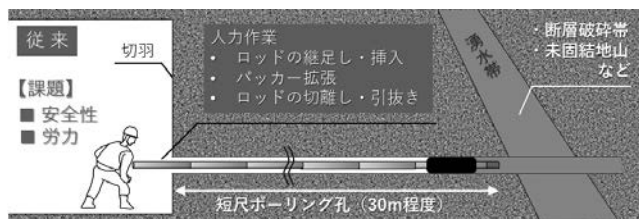
2. 本技術の概要

(1) 特徴

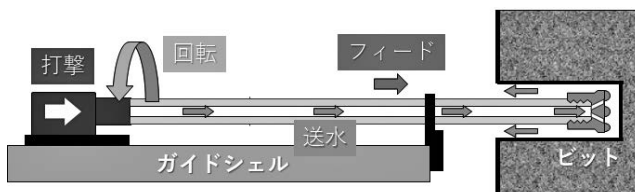
図—2に本技術の概要を示す。ドリルジャンボは、削孔用アーム（ガイドシェル）を用いて火薬の装薬やロックボルト設置のための孔などを削孔する¹¹⁾。図—3にガイドシェルの機能を示す。削孔は推力（フィード）でビットを岩盤に密着させ、同時に打撃力と回転



図—2 本技術の概要



図—1 従来の湧水圧測定方法



図—3 ガイドシェルの機能

力を与えて行う。また、削孔中の孔内の掘り屑（カッティングス）の排出やビット冷却のために送水も行われる¹²⁾。本技術は、これらガイドシェルの「フィード」, 「回転」, 「送水」機構を活用してパッカーの設置・回収と拡張を機械で行う。これにより、湧水圧の測定に際し、切羽直下での人力作業が大幅に軽減され、安全性が向上する。

(2) 測定手順

以下に測定手順を図—4 とともに示す。

①パッカー挿入

先端にパッカーを取り付けたロッドを、フィード機構を用いてボーリング孔へ挿入する（図—4 a）。1 本目のロッド挿入後、ドリフターを後退させて次のロッドをセットし、ネジで接続して前方に送り込む（図—4 b）。ネジの接続・切り離しは、図—5 に示す油圧セントライザでロッドを把持しながらドリフターを回

転させて行う。

②測定ユニットの取付け

最後に接続したロッドの後端に、後述する「測定ユニット」を接続する（図—4 c）。

③パッカー拡張、湧水圧測定

測定ユニットに圧力計やバルブ類を取り付けた後、ドリフターからパッカーへ送水加圧し、パッカーを拡張する（図—4 d）。その後、測定ユニットに取り付けたバルブを閉塞し、測定区間の湧水圧を計測する。

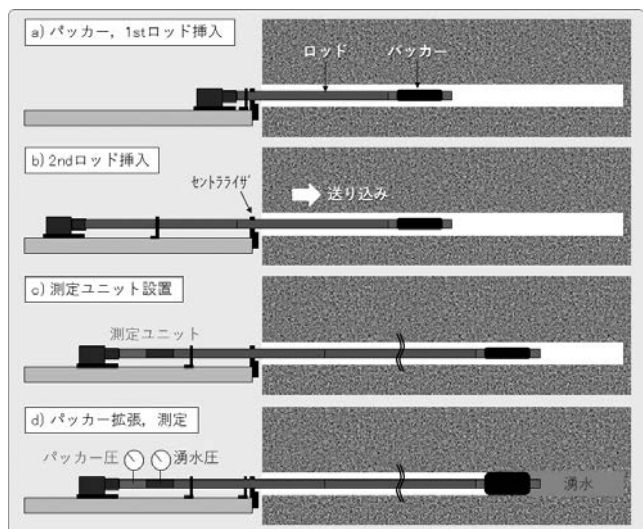
④パッカー収縮・回収

パッカー圧測定器に取り付けたバルブを開放し、パッカー圧ラインの水を排水し、パッカーを収縮する。バルブや圧力計、測定ユニットを取り外した後、①と逆の手順でロッド、パッカーを順次回収する。

(3) 装置の構成

(a) 測定ユニット

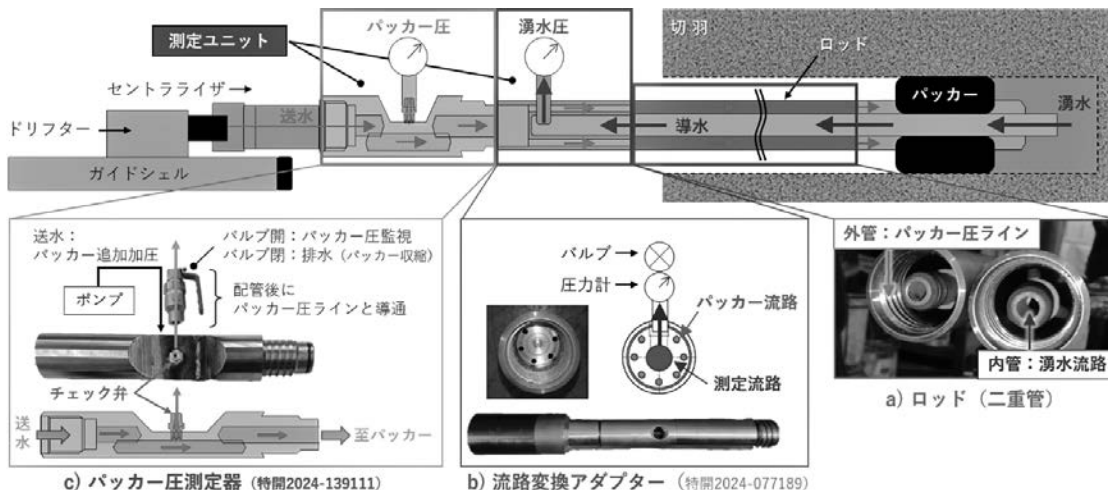
図—6 に測定ユニットの概要を示す。ロッドはパッカーを膨らますためのパッカー圧ライン（外管）と、測定区間の湧水を圧力計まで導水する測定流路（内管）



図—4 測定手順



図—5 油圧セントライザ



図—6 測定ユニット

から構成される二重管構造になっている（図—6 a）。

ドリフターから供給された水は、流路変換アダプタ（図—6 b）を通じて、パッカー圧ラインに分配される。パッカー拡張後の測定区間の湧水は、測定流路（内管）を通り、流路変換アダプタ内の複数ある小孔のパッカー圧ラインの間を縫うようにして圧力計まで導水され、これら2つの流路が干渉することなく湧水圧を測定できる。

湧水圧を長期間モニタリングする際は、パッカー圧を監視し、低下が見られる場合は再加圧する必要がある。図—6 c に示すパッカー圧測定器は、パッカー拡張後に計器類を接続することでパッカー圧ラインと導通するチェック弁構造となっており、パッカー圧の監視や再加圧を可能としたものである。

（b）セントラライザ

通常のスセントラライザは削孔ロッドの外形に合わせて把持部（ブッシュ）の形状は六角形である。パッカーロッドは円形であるため、図—7 に示す専用のブッシュを開発した。これは、円形の把持部にロッド表面にくい込む歯が施されており、パッカーロッドを供回りなく確実に把持することができる。

油圧スセントラライザが搭載されていないドリルジャンボでは、ロッドの把持が不可能である。そこで、ガイドシェルに着脱が容易な「水圧式スセントラライザ」を新たに開発した（図—8）¹⁴⁾。本装置は、シリンダーとヒンジ構造を備えており、シリンダー下部の配管から給水すればピストンが上方に移動し、スセントラライザが開放され、上部の配管から給水すれば、スセントラ

ライザを閉じられる。本スセントラライザは油圧源の増設なく容易に導入可能であり、手押しポンプ操作のみで作業員が容易に取扱い可能である。また、配管を長くすれば切羽から離れた位置で安全に開閉することができる。

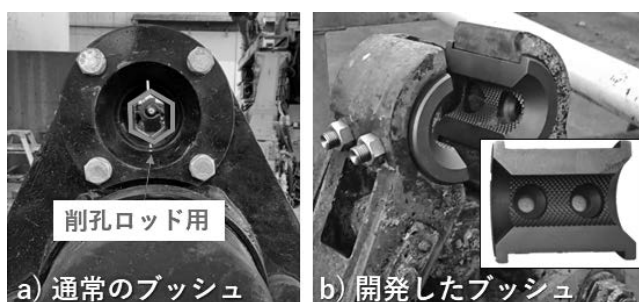
（c）ロッドのネジ形状

本技術は、ロッドの締め付けをドリルジャンボの強い回転力で行うため、ネジ部の破損などのトラブルを防止するには、ネジの形状が重要な要素となる。本技術では、二重管ロッドのネジ形状として削孔ロッドで実績のあるロープネジを採用した（図—9）。この滑らかなネジ形状とネジ部の先端のリード部より、機械によるロッドの継ぎ足しを円滑に行うことができる。

3. 現場適用

（1）試験概要

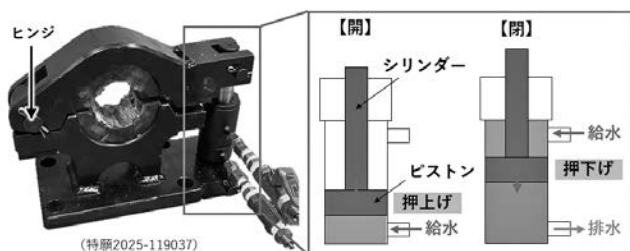
本技術を国内の道路トンネル工事にて実施した短尺ボーリングに適用した。本現場の地質縦断図を図—10 に示す。調査位置付近には硬質な砂岩層が広く分布し、直近の切羽は鋼製支保工を設けず施工され、湧水もなかった（写真—1 a）。しかし、既施工区間の実績では泥岩の介在に伴う破碎部から時折湧水が発生しており、今回の試験位置は、高土被り（320 m）で、想定地下水位が高いこともあり、多量湧水の発生が懸念されていた。そこで、前方の地質・湧水状況の調査を目的に実施した短尺ボーリング（長さ 21 m、孔径 64 mm）に本技術を適用した¹⁵⁾。



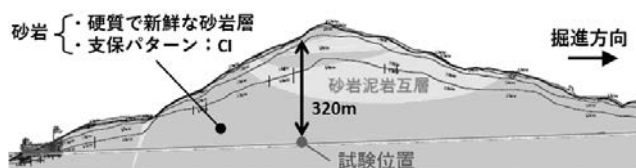
図—7 油圧スセントラライザの把持部（ブッシュ）



図—9 ロッドのネジ形状



図—8 水圧式スセントラライザ



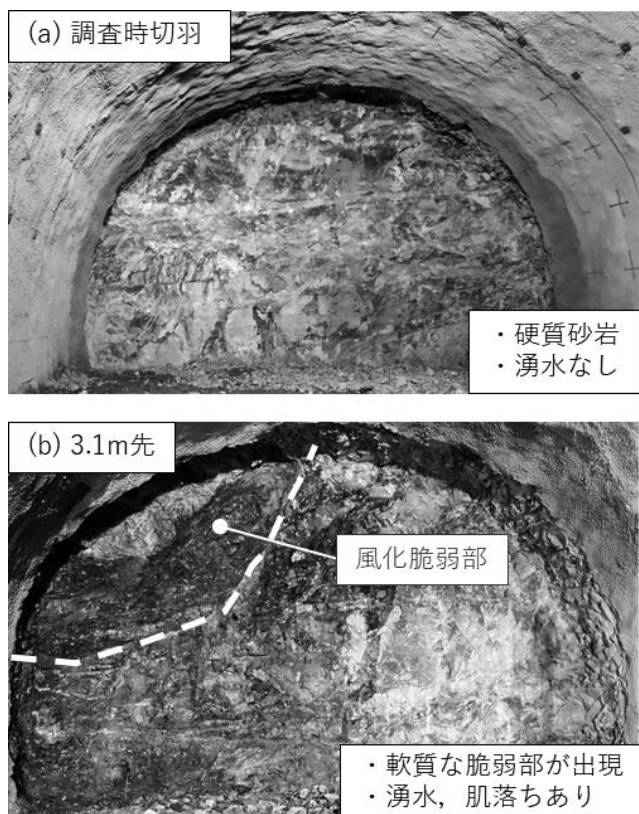
図—10 適用現場の地質縦断図

(2) 試験結果

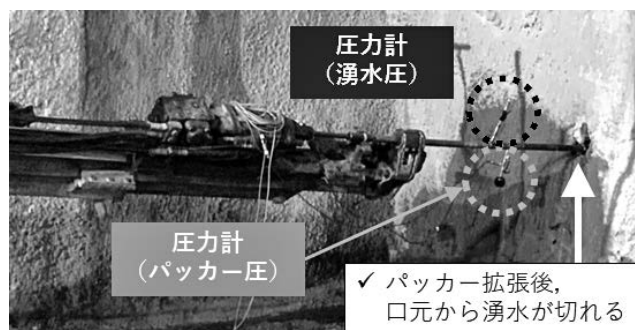
図一 11 に短尺ボーリング削孔中に得られた穿孔速度や湧水量の測定結果を示す。削孔深度 10 m 以降で穿孔速度の増加および穿孔エネルギーの減少が見られ、地山の軟質化が認められた。削孔時に採取したスライム観察でも同深度付近で褐色風化を伴う岩片や断層岩粒子が見られ、岩質変化が確認された。また、削孔中に削孔ロッド (L=3.0 m) 1 本毎にボーリング口元で湧水量を測定した結果、削孔深度 12 m 以降で湧

水が発生し、削孔終了時点で 27 L/min の湧水が確認された。これらの結果より、現切羽の 10 m 前方での地山の脆弱化と湧水増加が懸念されたため、この区間を対象に本技術による湧水測定を実施した。

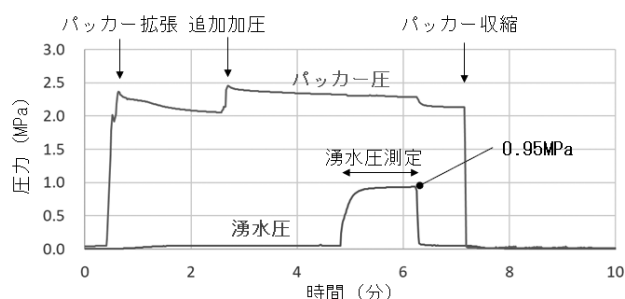
湧水圧の測定状況を写真一 2 に示す。湧水区間の手前にパッカーを設置した後、ボーリング口元から排水される湧水を目視で監視した結果、パッカー拡張後に湧水が止まったことから、パッカーが確実に拡張していると判断した。図一 12 に湧水圧ならびにパッカー圧の測定結果を示す。パッカー圧が 2 MPa 以上で維持できていることを確認した後、バルブを閉塞して湧



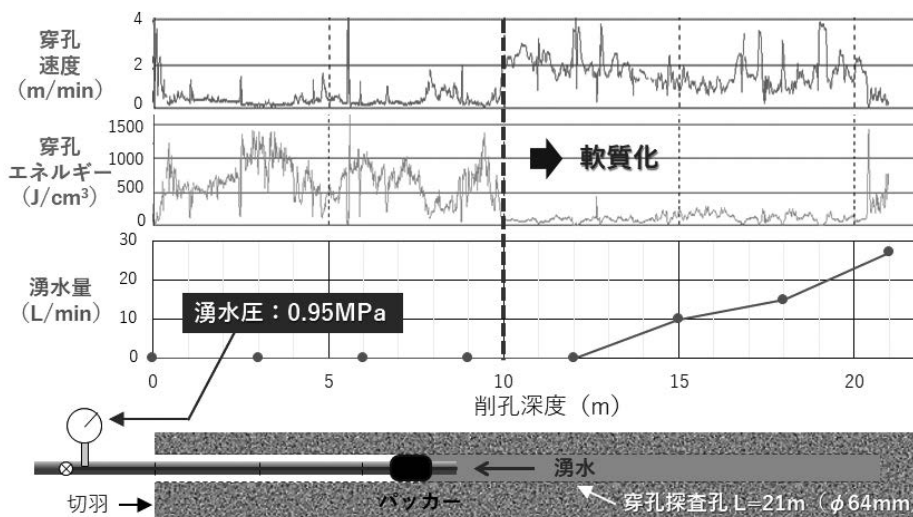
写真一 1 試験時ならびに試験後の切羽状況



写真一 2 湧水圧測定状況



図一 12 湧水圧測定結果



図一 11 短尺ボーリングの穿孔速度・エネルギー、湧水量

水圧の測定を開始した。その結果、0.95 MPa の高压湧水が観測された。

(3) 試験後の切羽状況

写真—1 b に試験後のトンネル施工における切羽状況を示す。切羽を 3.1 m 掘削した地点で風化を伴う脆弱部が左肩部に出現し、肌落ちと少量の湧水も発生した。この脆弱部の岩盤強度はドリルジャンボの削孔データから軟質と評価された¹⁶⁾。本技術で確認された高压湧水の存在も考慮し、この段階で支保パターンのランクアップ（鋼製支保工追加，上下半分掘削）と各種対策工の準備を行った。

その後、数 m 掘進した地点で脆弱部と肌落ちがさらに拡大し、切羽湧水量も増加した。そこで、先行して準備した対策工のうち、注入式フォアボーリングと水抜きボーリングを速やかに実施し、切羽の安定化をはかりながら掘削を進め、脆弱区間を安全に施工することができた。本技術により、切羽前方の湧水状況を事前に把握することで、早期に適切な対策工を準備・実施することができ、安全・円滑なトンネル掘削に貢献できることが示された。

4. おわりに

山岳トンネル工事の切羽から行われる短尺ボーリングの湧水圧を、ドリルジャンボを用いて安全・容易に測定する技術を開発した。本技術を、湧水が発生している短尺ボーリングに適用した結果、脆弱区間の湧水圧を測定することができた。本測定結果は、試験後のトンネル掘削時に確認された脆弱区間に対する早期の対策検討に繋がり、安全・確実なトンネル掘削に役立てられた。今後は、高压・大量湧水が予想される山岳トンネル工事で本技術を積極的に活用し、安全で効果的な湧水対策に役立てていく予定である。

J C M A

《参考文献》

- 1) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説，pp.325, 2016.
- 2) 平野太一，奈良 聡，吉永浩二，大谷達彦，原島 大，山田宏道：スコリア地山におけるトンネル掘削時の湧水対策，土木学会第 78 回年次学術講演会，VI-287, 2023.
- 3) 佐藤 勉，久下 敦，狩野 亮：地すべりが懸念される坑口部と多量湧水区間を各種対策工を用いて掘削－河津下田道路 河津トンネル逆川地区－，トンネルと地下，第 53 巻，1 号，pp.19-30, 2022.

- 4) 土木学会：トンネル標準示方書 [共通編]・同解説／[山岳工法編]・同解説，pp.33, 2016.
- 5) 土木学会：山岳トンネルの補助工法－2009 年版－，トンネルライブラリー，第 20 号，pp.205, 2009.
- 6) 山岳トンネル先進ボーリング連載講座小委員会：山岳トンネル先進ボーリング入門 (4)－施工計画の基本および得られる情報と効果 (1)－，トンネルと地下，第 39 巻 12 号，pp.942, 2008.
- 7) 「地下水対策」連載口座小委員会：トンネルにおける地下水対策 (5)－山岳トンネルと地下水－，トンネルにおける地下水対策 (5)－山岳トンネルと地下水－，520 号，Vol.44, No.11, pp.63-74, 2013.
- 8) 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，VI-393, pp.785-786, 2016.
- 9) Xialin Liu : Predicting tunnel groundwater inflow by geological investigation using horizontal directional drilling technology, Advances in Civil Engineering, Volume 2022, Article ID 6578331.
- 10) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創：ドリルジャンボによる短尺ボーリングの湧水圧測定技術の開発，第 78 回年次学術講演会，VI-284, 2023.
- 11) 市来孝志，山上順民，坂井一雄，刀根航平：コンピュータジャンボの削孔データから換算した強度物性による地山評価の試み，土木学会第 79 回年次学術講演会，III-262, 2024.
- 12) 箱崎 武：ドリルジャンボの安全作業，社団法人日本建設機械化協会東北支部 支部だより，Vol.150, pp.18, 2007.
- 13) 羽柴公博，福井勝則，小泉匡弘：打撃式油圧さく岩機による穿孔過程，Journal of MMIJ, 133 巻 9 号，pp. 223-229, 2017.
- 14) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創，安倍 徹：ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術 T-DrillPacker®Jumbo の適用性向上，土木学会第 80 回年次学術講演会，VI-1270, 2025.
- 15) 藤田クラウドディア，平塚裕介，熊本 創，安倍 徹：ドリルジャンボを用いた湧水圧測定技術 T-DrillPacker®Jumbo の現場実証試験，土木学会第 79 回年次学術講演会，VI-370, 2024.
- 16) 市来孝志，山上順民，坂井一雄，刀根航平：コンピュータジャンボの削孔データから換算した強度物性による地山評価の試み，土木学会第 79 回年次学術講演会，III-262, 2024.

〔筆者紹介〕

平塚 裕介 (ひらつか ゆうすけ)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム



藤田 クラウドディア (ふじた くらうでいあ)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム

熊本 創 (くまもと そう)
大成建設(株)
技術センター
社会基盤技術研究部
地盤研究室 地下水チーム

櫛島 秀一 (ぬでじま しゅういち)
古河ロックドリル(株)
営業本部特機部
営業課