

【FE02】

ボーリング熟練技術者判断の言語化による掘進技能向上の試み

株式会社相愛 ○須佐美 俊和, 坂本 正幸, 谷崎 優也, カオ ダク トウアン

1. 背景と目的

ボーリングマシンを用いた地質コア採取において、若手技術者の育成が喫緊の課題となっている。その要因の一つは、高品質な地質コアを採取するためには長期間の訓練が必要なことである。地質コア採取時、熟練技術者は掘進条件の微細な変化を、目、指、音、計測器波形で捉え、目に見えない地質変化や孔内変化を推定し、掘進条件を感覚的に修正している。このように、高品質なコア採取には、長期の訓練で得られる経験的スキルが必要である。

若手技術者が熟練技術者の暗黙知から学び、掘進技能をより速く向上させるためには、掘進中の各掘進条件を数値化するとともに、熟練技術者の標準的な掘進条件や、掘進条件変化時の判断を言語化することが有用であると考えた。本稿では、掘進条件の数値化と熟練技術者判断の言語化の手法、およびそれらの有用性について述べる。

2. 掘進条件の数値化

(1) 数値化方法

掘進条件の変化を数値で捉えるため、掘進条件数値化システム（以下、システム）を開発した<sup>1)</sup>。図-1にシステムの構成を示す。本システムは、各種センサ、制御ユニット、電源ユニット、操作ユニットから構成される。

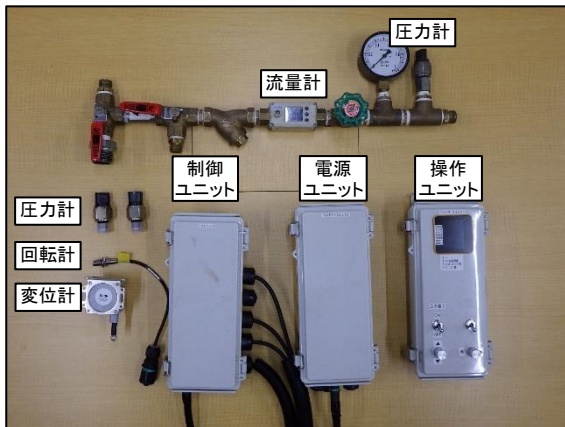


図-1 掘進条件数値化システムの構成

各種センサは制御ユニットに接続され、制御ユニットが送水量、送水圧、先端荷重、回転数、掘進速度を取得する。これらの掘進データを、技術者（機長）の手元に設置された操作ユニットに無線で送信し、図-2に示す操作ユニットのディスプレイに表示することで、数値に基づく掘進を実現した。また、内蔵したIoT SIMによって掘進データをクラウドに送信することで、掘進結果の迅速な振り返りを可能とした。さらに、電源にはモバイルバッテリーを採用し、小型化を実現した。



図-2 操作ユニットのディスプレイ

(2) 数値化結果

本システムを現場に適用し、掘進を実施した。取得した掘進データのうち、砂岩割れ目の充填物でコア詰まりした際のデータを、図-3に示す。縦軸は掘進深度（28.80m～29.00m、1目盛り2cm）、横軸は左から順に、送水量、送水圧、先端荷重、ビット回転数、掘進速度である。

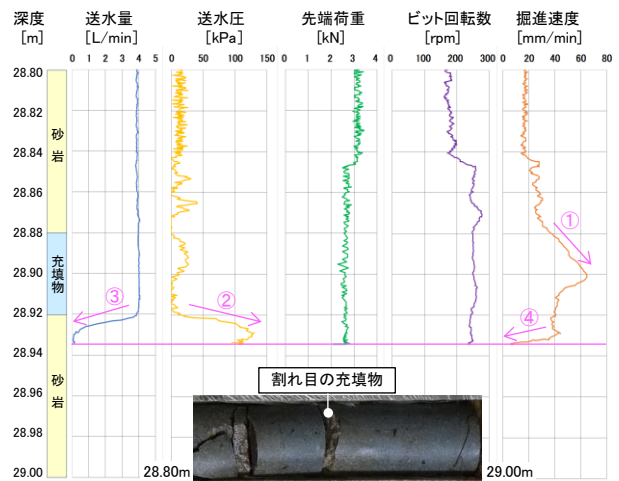


図-3 コア詰まり時の掘進データ

このグラフから、砂岩割れ目に達した際、掘進速度が20mm/minから65mm/minに上昇し（図-3①）、その後割れ目の充填物（難透水性）がビット通水口（ウォーターウェイ）を塞いだため送水圧が20kPaから130kPaに上昇し（図-3②）、同時に送水量が4L/minから0L/minに減少した（図-3③）ことが読み取れる。結果的に掘進速度がほぼ0mm/minとなり（図-3④）、コア詰まりとなった。

このように、コア詰まり直前には掘進条件の変化という予兆が明確に発生していることが分かる。コア詰まり回避のためには、掘進条件の変化から孔内の現象を理解し、適切な機械操作を即座に実施する必要がある。そのため、掘進条件の数値化に加え、掘進条件変化時の判断を言語化することが重要であると考えた。

### 3. 熟練技術者判断の言語化

#### (1) 言語化方法

言語化にあたって、70代の熟練技術者の協力を得た。熟練技術者が有する暗黙知を言語化するためには、「条件・場面」×「行為・行動様式」×「理由」として記載することが有用である<sup>2)</sup>。まず、条件・場面に関しては、ボーリングの掘進が①ビットの回転、②ビットへの荷重、③送水から成り立ち(図-4)、これらの条件の一つでも不良であると高品質なコアを採取することができない<sup>3)</sup>ことから、掘進条件変化時に着目した。行為・行動様式および理由に関しては、熟練技術者のボーリングマシンに掘進条件数値化システムを取り付け、さらにヒアリングを行うことで、地質ごとの標準的な掘進条件、掘進条件変化時の孔内現象、および掘進条件変化時の機械操作方法とその操作の理由を言語化した。

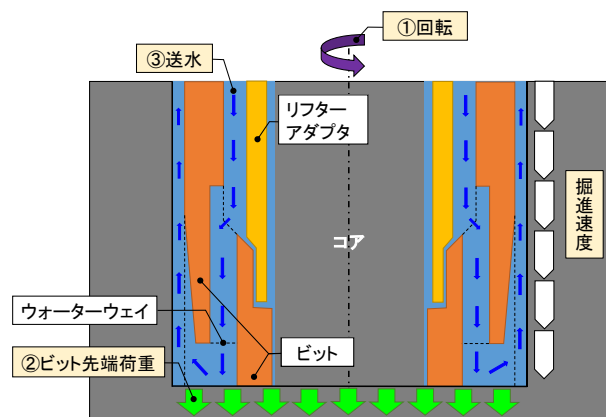


図-4 ボーリング孔内模式図

#### (2) 言語化結果

言語化した熟練技術者判断のうち、送水圧上昇時の熟練技術者判断について詳細を述べる。送水圧上昇の主要因は、図-4に示したウォーターウェイが粘性土で目詰まりすることである。この目詰まりという孔内現象を、送水圧上昇という掘進条件変化で捉えた際の熟練技術者判断を、図-5のフローチャートにまとめた。

送水圧が急激に上昇した場合、ウォーターウェイ全箇所が目詰まりしたと考えられる。一方、送水圧が徐々に上昇した場合は、一部が目詰まりしたと考えられる。送水圧上昇後に安定する場合を除き、送水圧が下がるまで次の対処を行う。

まず、ビット給圧を下げ、ビット回転を止め、ビットを1-2cm 上昇させ、ビットと孔底の間に隙間を作る。次に、1-2速でビットを回転させて遠心力を与える。さらに、ビットを孔底まで下降させ、ビット上昇とビット回転を2-3回繰り返す。それでも解決しない場合は、1速でビット回転させ、ビットを1-2cm 上昇させ、送水量を徐々に上げて送水圧を高める。ヒアリングした熟練技術者は、この一連の操作によって、送水圧上昇という掘進条件変化を対処している。

要因①ウォーターウェイ全箇所目詰まり  
要因②ウォーターウェイ一部目詰まり

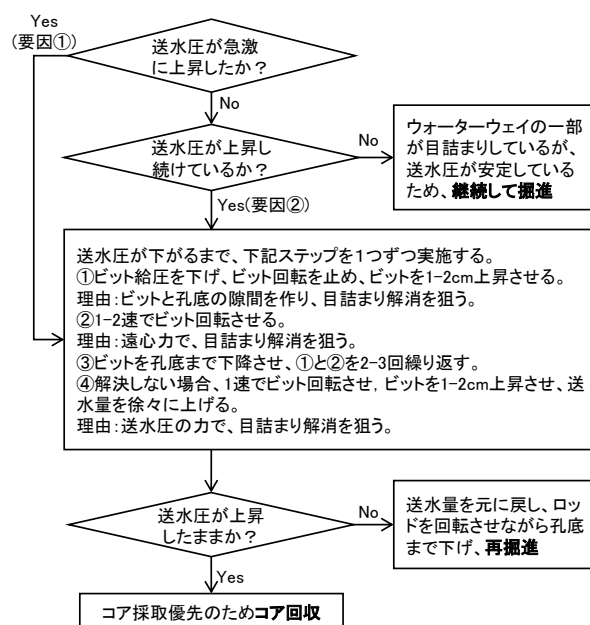


図-5 送水圧上昇時の熟練技術者判断

送水圧上昇に加え、送水量や掘進速度の変化に対する機械操作とその操作の理由をフローチャートに落とし込むことで、熟練技術者が有する暗黙知の一部を言語化することができた。

#### 4. まとめと今後の課題

地質ボーリングの現場に掘進条件数値化システムを導入することで、掘進条件を数値で把握し、狙いの掘進条件に調整し、掘進条件の変化を数値で捉えることが可能となった。さらに、掘進条件変化時の熟練技術者判断を言語化することで、孔内で発生している現象と機械操作方法の理解が大幅に促進された。

掘進条件の数値化と熟練技術者の判断の言語化を組み合わせることで、判断根拠が明確化され、若手技術者が自信を持って掘進することができるようになり、若手技術者の技能向上が図られた。

今後は、言語化の取り組みをさらに推し進めるとともに、掘進条件変化時に適切な機械操作を促す仕組みの高度化や、部分的な自動化などに取り組み、若手技術者の掘進技能向上に寄与したい。

#### 《引用・参考文献》

- 1) 須佐美俊和, 西村博幸, 坂本正幸, 谷崎優也 (2023) : ボーリング掘進条件数値化による掘進技能向上の試み, 全地連技術フォーラム2023論文集, 論文 No. 0P4.
- 2) 森和夫 (2020) : 実践 現場の能力管理 生産性が向上する人材育成マネジメント, p. 86.
- 3) 全国地質調査業協会連合会編 (2023) : ボーリングポケットブック [第6版], p. 158.