

# 高品質コア・サンプリングシステム (OYO HQCS-MS : ハークス) の開発 —ボーリング掘進状況の数値化と高品質コアによる地質情報の高精度化—

谷川正志\*・山根 誠\*・仙石昭栄\*\*・山田政典\*\*\*

## Development of a high quality core sampling & monitoring system: OYO HQCS-MS

### - The digitization of the drilling conditions and precision geological interpretation by high quality core -

Masashi TANIGAWA\*, Makoto YAMANE\*, Akiyoshi SENGOKU\*\* and Masanori YAMADA\*\*\*

#### Abstract

The authors have developed an OYO-style High Quality Core Sampling and Monitoring System (OYO HQCS-MS) to address a requirement of high quality core sampling techniques for examining foundation problems and to replace conventional empirical techniques with quantitative ones. In OYO HQCS-MS, the physical properties of drilling are digitized and monitored so that the drilling machine operation can be optimized based on the digitization. Test results show that core sample contained useful information that reflected subsurface geology and rock properties. The visualization of drilling conditions provides precious drilling information that can be used as daily drilling reports and training tools for young operators. The digitized data can be used as an on-site feedback and a tool to decompose complicated problems in sampling techniques. Understanding such problems will lead to a development of new technologies, such as an automated drilling machine. Undisturbed and unaltered high quality core obtained by OYO HQCS-MS enables us to interpret detailed subsurface geology and bed rock information, such as microstructures, internal fine structure, slip surface, and fault surface. The high quality core provides ideal samples for laboratory tests and undisturbed boring core images. Authors demonstrated that the observed slip clay layer and/or tectonic fault surface of the high quality core can be used for evaluating the shear sense. The evaluation can be done by using a resin fixation method in which core sample is fixed with resin and divided into two longitudinal halves. The method provides a very effective way to solve difficulties in conventional qualitative core observation.

Keywords: Drilling, digitize of a dig, high quality core, sampling, technical skill for a dig

#### 要 旨

地盤の問題を検討する上で重要な高品質コアのサンプリングについて、従来の経験的技術から計測に基づいた技術への転換を目指し、ボーリング作業に必要な各種物理量を数値化し、数値に基づく適切な機械操作を促すシステム—OYO HQCS-MS(高品質コアサンプリング&モニタリングシステム:ハークス)—を開発した。このシステムを適用した実証試験により、高品質コアのサンプリングに有益な掘進情報が得られると同時に、その情報は地質や岩盤の状態を反映したものであることがわかってきた。ボーリング掘進状況の数値化は、客観的な情報を得ることができることから、ボーリング日報としての利用や若手ボーリングフォアマン(機長)の育成ツールとして利用が可能である。また、取得したデータの分析結果を現場へフィードバックすることにより、地質・岩盤の状態に合わせた掘進時の物理量の設定が可能となり、ボーリング機械の自動制御を含めた技術開発へ繋がると考えている。

一方、地中の地質を乱さずに採取した高品質コアでは、地すべりの内部構造や地すべり面や断層の微細構造の観察が可能になる。また、室内試験に際して望ましい供試体の提供や、乱れの少ない孔壁画像の取得などを可能にする。その事例として、すべり面粘土とテクトニックな断層を含む高品質コアについて、樹脂固定法によるコア半割標本作製・観察し、コア半割標本の微細な複合面構造から、せん断センスを評価することで、これまでコア表面の肉眼観察のみでは識別が困難であったすべり面粘土と断層ガウジを識別する有効な方法となった。

キーワード: ボーリング, 掘進の数値化, 高品質コア, サンプリング, 掘進技能

\*応用地質(株)エンジニアリング本部 \*\*応用地質(株)東北支社 \*\*\*応用地質(株)四国支社

\*OYO Corporation Engineering Headquarters, \*\*OYO Corporation Tohoku Regional Office, \*\*\* OYO Corporation Shikoku Regional Office

## 1. はじめに

地盤調査に関わる大きな課題の一つとして、日常では見ることのできない地中の情報の取扱い方が挙げられる。

ボーリングに注目すると、ボーリングコアの採取状況によっては、必要な情報が十分に得られない場合もある。このため、近年、ボーリング技術の機材に関する開発が進められてきた。<sup>1) 2)</sup>

電力会社や国土交通省の一部では、地盤の問題を検討する上で高品質コアボーリングが推奨され、高品質コアによる精緻な地質観察が行われている。

しかし、高品質コア採取時のボーリング掘進技術は、ミストや泥水の送水材料の違い、専用ビットやコアチューブの仕様の違いに加え、掘進作業はボーリングフォアマンの経験的技能に委ねられ、そのノウハウはボーリングフォアマンに内在した暗黙知として留められている。本研究は、このようなベテランのボーリングフォアマンのノウハウを数値化するために取り組んだものである。

本報文では、2章から5章で、ボーリング掘進状況に関わる物理値を数値化し、この数値に基づく適切な機械操作をフォアマンに促すシステムの研究開発について述べる。6章では、ボーリング掘進技術の高度化によって得られた高品質コアによる微細構造の観察事例を示し、地質情報の高度化について述べる。

## 2. システム開発の目的

ボーリング掘進作業の暗黙知を具体化しようとする試みは、「計測ボーリング技術」として、以下に示すような幾つかの研究がなされている。

計測ボーリング技術は、高レベル放射性廃棄物処分場のボーリング調査技術高度化開発として3重管のコアバレルを用いた研究が進められている<sup>1)</sup>。また、ボーリング技術の後継者への技術継承として、ボーリングフォアマンの制御アルゴリズムである掘削制御モデルの基礎研究事例もある<sup>2)</sup>。前者は通常のボーリングの機材とは異なるため、一般のボーリング調査としての利用まで至っていない。後者は多様な地質・岩盤と、異なる技能のボーリングフォアマンとの複雑な制御アルゴリズムを研究している段階にある。

応用地質株式会社は、筆者らを中心に高品質コアのサンプリング技術としてLWLP (Low Water Low Pressure) 工法<sup>3) 4) 5)</sup> という掘進方法を採用している。LWLP工法は、掘進時のビットの先端に対し低送水かつ低荷重でゆっくりと掘進するという原理に基づくものであるが、これらの要素が物理量として数値化されるまでには至っていない。

一方で有能なボーリングフォアマンは、掘進時のボーリング機械の微細な変化を経験として体感し、これを頼

りに複雑な操作を行うことで良好なコア採取率を確保している。具体的には、①トルクの変化をエンジン音の変化として捉えコア詰まりなどの異常を感知、②掘進速度の変化を目視で把握、③掘進速度の変化を手掛かりに送水量・ビットにかかる荷重やロッドの回転を感覚的に調整、という一連の操作である。つまりボーリング掘進では、このような微細な変化に神経を研ぎ澄ませることが高品質コアを採取する基礎となる。

そこで、ボーリングによる高品質コアを採取するために、掘進状態について主観による評価から計測物理値を用いた数値評価へ導くことを目的とした。掘進中の微細な変化を数値として可視化することができれば、ボーリング掘進状況の適切な判断が期待でき、コア採取率は革新的に向上すると考えた。

## 3. ボーリング掘進状況の数値化の仕組み

開発したシステムは、高品質コアサンプリング&モニタリングシステム (High Quality Core Sampling and Monitoring System) の英文の頭文字からHQCS-MS (ハークス) と名付けた。表1に示す5つの物理値を数値化できるセンサーを配置し、ロガーと操作パネル (モニター兼用) でシステムを制御する仕組みである。図1にハークスの構成器材のラインナップを示し、表1に計測する物理値とセンサー仕様を示す。

表1 計測物理値とセンサー仕様

計測物理値	センサー種類	検出精度
掘進速度	変位センサー	0.1mm/sec 以下
送水量	送水量センサー	0.5~100/分
送水圧	送水圧センサー	10MPa
ビット先端荷重	油圧荷重センサー	1~50MPa
ロッド回転	光検出器	10 回/秒



図1 ハークスの構成器材一式

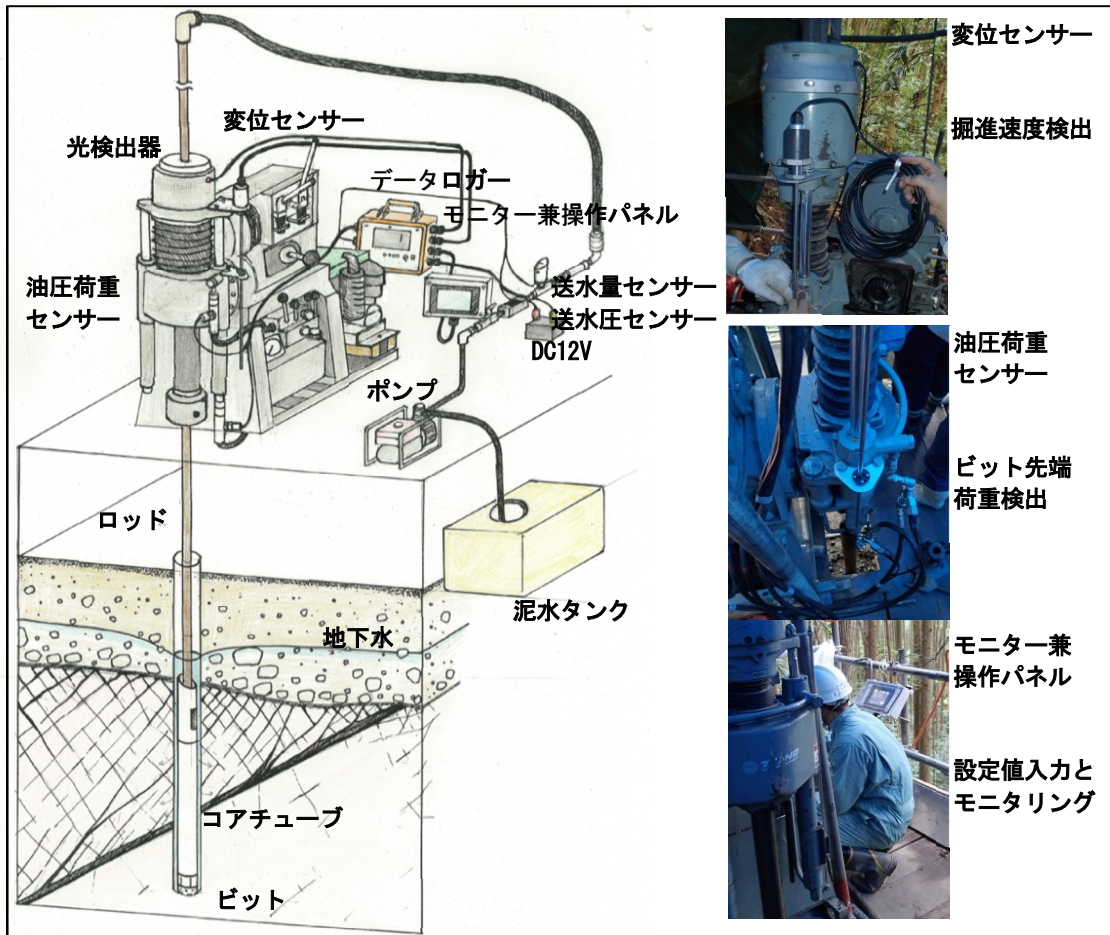


図2 ハークスの概念図と設置状況

5つのセンサーにより得られた計測物理値は、最小1秒単位でモニターに数値が表示され、計測を開始してから終了するまでのデータをcsvファイルとして記録する。

コアを乱すことなく採取する最も重要な物理値には、直接的に地盤の乱れに影響するビットの先端荷重がある。ビットの先端荷重は、油圧荷重を測定し、スピンドル荷重やロッドの本数、コアチューブの荷重および孔内水位を入力することで、換算による先端荷重を表示できるように開発した。

次にロッドの回転数と掘進速度は、ビットが適切に選定され、適切な回転により安定した掘進を実現する意味において重要な物理値である。ロッドの回転数は、スピンドル頭部の回転部に光検出器を設置し、回転を連続的にカウントできるように開発した。掘進速度は、掘進時のスピンドルの上下運動を変位計によって計測する仕組みとした。

掘進作業は、熟練したボーリングフォアマンを中心に実施されているため、操作の簡便性が課題であった。設定や数値を入力する画面は、タッチパネルとし、画面上で簡単に入力可能なものとした。掘進時のモニター画面に表示される各計測物理値の数値は、リアルタイムに変化するものとした。また、ボーリングフォアマンの掘進時の目安として、各計測物理値に上限と下限の閾値が

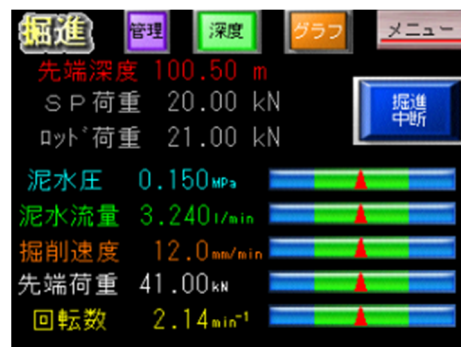


図3 掘進時のモニター画面図

設定できる構成とし、数値の変化を把握できるものとした(図3参照)。

#### 4. ボーリング掘進状況の数値化の有用性実証試験例

ボーリングコアの採取時には、ポリマー系泥水を掘削面へ送り、先端ビットに荷重と回転を加えて地盤の掘進を行う。ボーリング機械には数社のメーカーはあるが基本的な機能は同じである。ハークスは、あらゆるボーリングマシンのメーカーや機種に対して設置が可能になるように設計した。表2には、ハークスを適用したメーカーと機械名の一覧を示す。



ハークスを適用したフィールドは、ダム関連調査を中心に、高品質コアの採取が求められた業務を選定した。表3には、ハークスを適用したフィールドの特徴を示す。

以下に、ボーリング掘進時にハークスを適用することで確認した4つの成果について説明する。

表2 ハークスを適用したメーカーと機械名の一覧表

メーカー	機械名
鉱研工業株式会社	YBM-1WA
	YSO-1H
東邦地下工機株式会社	D-1-C-S1
	D-2K(Ⅱ)92
	D-1-B43
	D2-KS58R
株式会社東亜利根ボーリング	TEC-1

#### 4.1 掘進状況の数値化による客観的な機械操作の実現

掘進状況の数値化により機械操作の判断が容易になった。

表3におけるG地点について、健全な粘板岩から粘板岩内に破碎部が出現した後、チャートへと変化した際のハークスのデータを図4に示す。粘板岩を掘進中、掘進速度6.0mm/minから徐々に上昇し(図4①参照)、破碎部で30.0~50.0mm/minに達した(図4②参照)。同時に先端荷重が上昇したため、先端荷重をできるだけ一定にするように荷重を調整した(図4③参照)。その後、硬質なチャートに変わり、先端荷重2.8~3.0kNで掘進を継続したが、チャート内の割れ目の多い区間に近づくると先端荷重が3.5kNに上昇したため(図4④参照)、先端荷重を低下させ、掘進速度の異常上昇を50.0mm/min程度に抑えた(図4⑤参照)。一方で、ロッド回転数を130回/min程度に安定

表3 ハークスを適用したフィールドの特徴

地域	地点	調査対象	地質	課題
東北	A	ダムサイト 貯水池地すべり	新第三紀火砕岩・堆積岩	地すべり内部構造、すべり面深度
	B		第四紀層、新第三紀火砕岩・堆積岩	未固結砂礫の層相、断層・褶曲構造
中部	C	橋梁調査	新第三紀火山岩	破碎帯の強度特性
	D	ダムサイト 貯水池地すべり	ジュラ紀付加体	不連続面の分布と性状
北陸	E	貯水池地すべり	三疊紀片麻岩	地すべり内部構造
	F	大規模地すべり	ジュラ紀堆積岩	地すべり内部構造、すべり面深度
四国	G	ダムサイト	ジュラ紀付加体	岩盤状況、すべり面深度
	H	貯水池地すべり	白亜紀付加体	崖錐堆積物の性状、すべり面深度

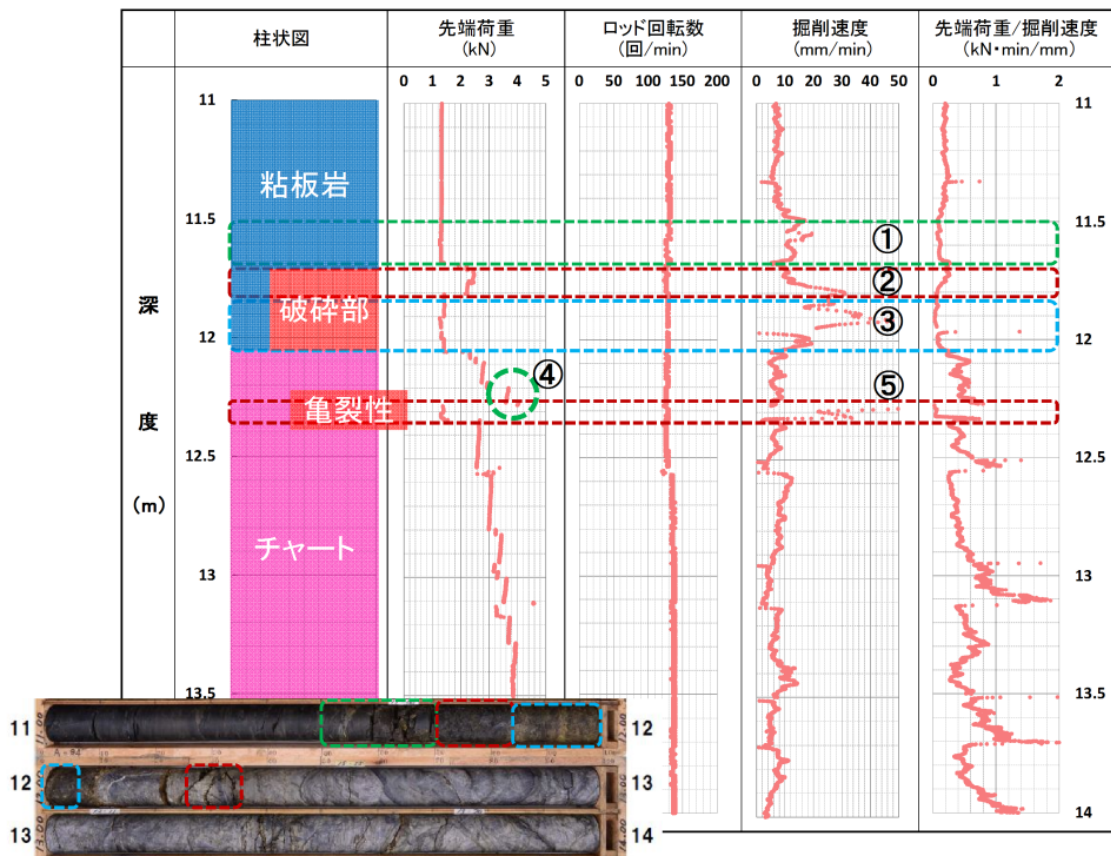


図4 地質の違いによる先端荷重と掘進速度の変化記録



化させることで先端荷重の調整に集中し、高品質コアの採取を実現した。

これらのハークスからの情報はリアルタイムに表示されるため、コア採取に必要な正確な操作を可能とした。

#### 4.2 コア詰まりの予兆

コア詰まりの予兆は、トルクの影響によるエンジン音の変化の発生前に、先端荷重と掘進速度の変化が検出されるため、コアを流すリスクが大幅に軽減した。

コア詰りは、コアチューブの先端において、コアが微小に動くことで内管に接触し、スムーズにコアが入らなくなる状態である。つまり、コア詰りが発生する初期の予兆は、先端荷重の増加および、掘進速度の低下として現れる (図5参照)。

表3におけるB地点では、現河床堆積物を乱さないコア採取を行った際、コア詰りの予兆が顕著に確認された。φ10~50cmの河床礫は、先端荷重を2.0kN以下に極力低減し掘進を進めたが、頻繁に先端荷重が上昇した (図6①参照)。先端荷重の上昇に伴い掘進速度が低下したため、コアチューブをその都度回収することで、コアの乱れを最小限に留めた。

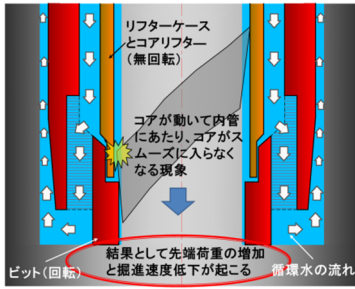


図5 コア詰り概念図

コア詰りは、先端荷重の上昇と掘進速度の低下という形で現れることから、先端荷重を掘進速度で除することで、コア詰りの予兆の検出を試みた (図6②参照)。現河床堆積物では、コア詰りの予兆となる変化が頻繁に発生し、コア採取が極めて困難であったことがわかる。コア詰りの予兆を意識し、先端荷重を軽減することでコア詰りを回避した結果、乱れの少ないコアを採取することができた。

以下のように、ハークスによるボーリング掘進状況の数値化をモニターすることによって、コア詰りの予兆を把握し、コアの損失を回避することで、コア採取率の向上に一定の成果を得た。

#### 4.3 地盤の透水性の把握

水圧が急激に増減する区間があり、透水性に関わる岩盤の状態が把握された。

ボーリング掘進時において、送水量と送水圧の変化は地盤の透水性により大きく影響する。特に亀裂等の影響で透水性が高い区間においては、送水量に対して送水圧が低下する傾向にあり、漏水区間の検出が可能である (図7参照)。

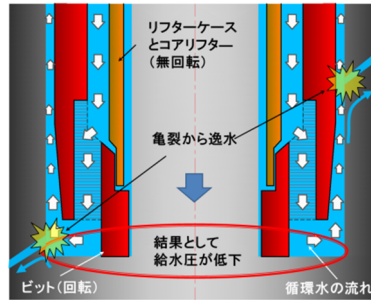


図7 漏水箇所検出の概念図

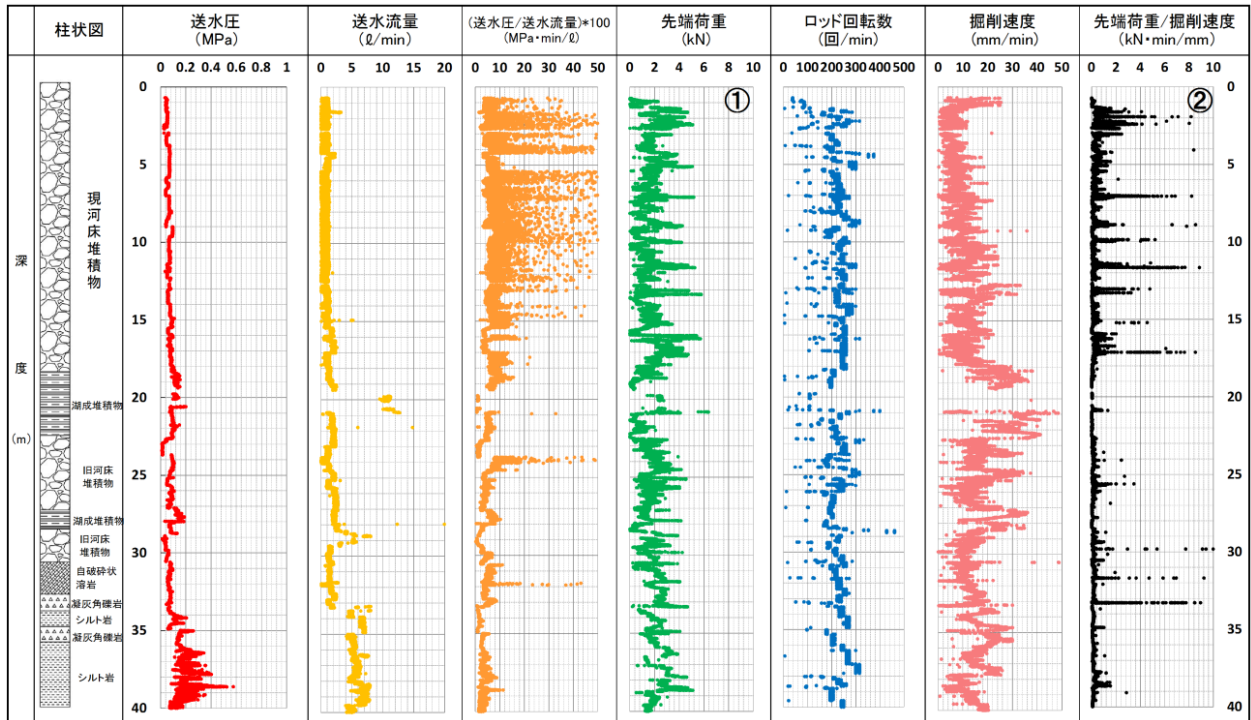


図6 現河床堆積物内のコア詰り予兆の記録

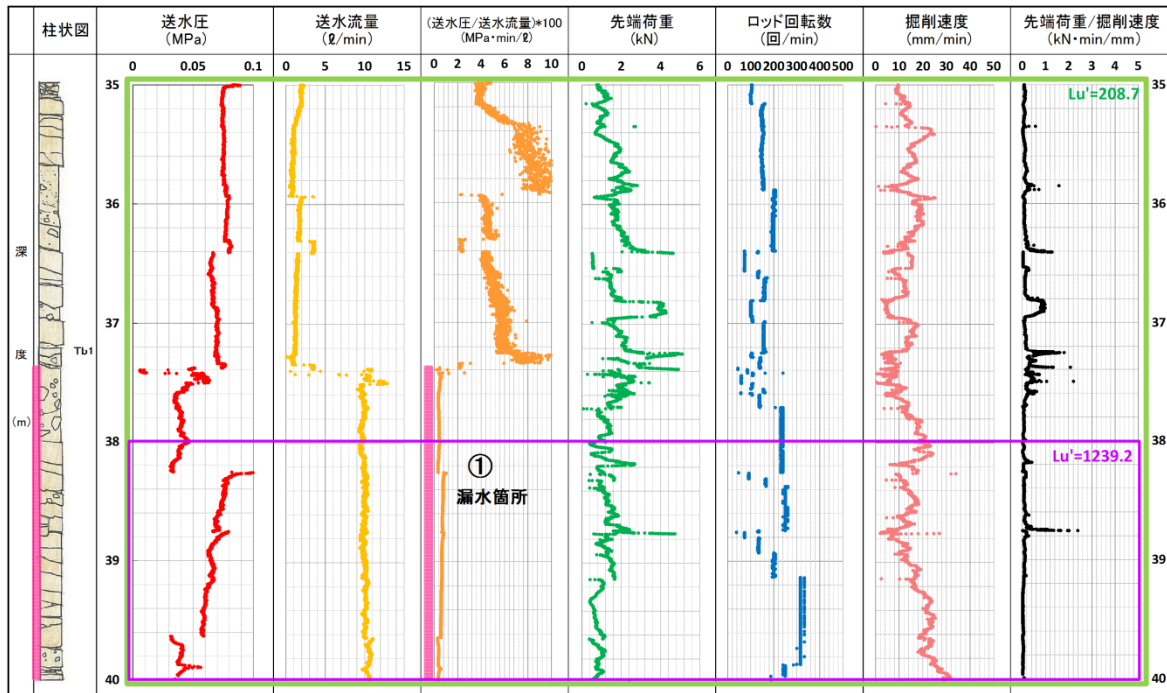


図8 高ルジオン値を示す岩盤内の漏水区間の検出記録

表3におけるB地点では、ルジオンテストの結果、深度35~40m区間の換算ルジオン値は208.7となり、深度38~40m区間の短区間の換算ルジオン値は1239.2の高ルジオン値を示した。深度37.40~40.00m区間で送水圧の低下と送水量の著しい増加が認められることから、この間に透水性亀裂の存在が推定できる。本区間のボーリング掘進時の送水量と送水圧の記録に着目すると、 $(\text{送水圧} / \text{送水量}) \times 100$  という係数で表すことで強調できる(図8①参照)。この現象は、明確な透水係数を表すものではないが、掘進時に得られたハークスのデータにより漏水区間の検出が可能となった事例である。

#### 4.4 掘進データの利活用

ハークスでは、掘進技術向上・育成ツール・ボーリング作業日報としての利活用が可能である。ハークスによるデータは、最小1秒単位で収録されており、ボーリングフォアマンが気になった作業状況を確認することで、日々の掘進時の動作の振り返りにより、以後の掘進作業の改善を行うことができた。このようにハークスによる掘進作業の検証を繰り返すことで、ボーリングフォアマンの明らかな技術向上が図られた。また、ハークスのデータを岩盤の状態によって整理することで、若手ボーリングフォアマンの掘進作業の育成ツールとして活用できることを確認した。

一方、ハークスで得られたデータは、これまでボーリング日報では把握できなかったボーリング掘進時の変化を捉えており、データの分析によって、上記の漏水箇所の検出のような物理特性を把握できることを確認した。

#### 5. ハークスの技術展開

前節で述べた実証試験結果では、ハークスのデータに基づく掘進作業を制御することにより、高品質ボーリングコアの採取に有益であることがわかった。

一方でハークスを用いた高品質ボーリング調査の実証事例が少ないため、さらに多様な地質条件において十分な実証を行う必要がある。また、高品質ボーリング掘進状況の計測物理値による数値評価を汎用性のあるものにするためには、取得したデータを分析し、現場へフィードバックし、作業と分析の循環を作りだす具体的な展開が必要である。また、ハークスで得られる記録は、自動制御を含めた次世代のボーリング機械を開発するための基礎データとして利用することも考えている。

2章から5章を通じて、高品質サンプリングに関わるハークスの研究開発の成果について述べた。6章では、ハークスを用いて得られた高品質コアによる地質情報の高精度化について、断層ガウジとすべり面粘土の識別を事例にして述べる。従来のボーリングコアでは地すべりによるすべり面とテクトニックな断層の識別が困難であったが、高品質コアは樹脂固定法の研磨面の微細構造の観察により、その識別が可能となり、地質解析に有効な手段として活用が期待される。

#### 6. 高品質コアを用いた断層ガウジとすべり面粘土の識別の事例

本章では、挿入式孔内傾斜計で変位が検出されている位置の高品質ボーリングコアを用いて、樹脂固定法で作成したコア半割標本の観察から、すべり面内部の微細構造などによるせん断センスの把握が地すべりによるすべり面とテクトニックな断層の識別に有効であった事



例を報告する<sup>4)</sup>。

### 6.1 高品質コアを用いた観察の目的と方法

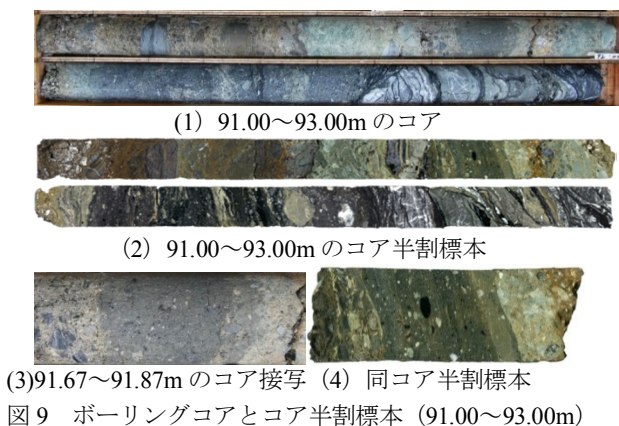
近年、地すべり移動体内部の地質構造やすべり面などをノンテクトニックな地質構造としてとらえる視点が拡がりつつある<sup>7)</sup>。脇坂ほか<sup>8)</sup>は、地すべり移動体の高品質なコアの地質観察によって、無構造な角礫岩の分布位置と頻度が、地すべり移動体を地質学的に認定する指標になるとしている。ただし、すべり面粘土と推定された細粒な破碎岩 (crushed rock) には、地すべり起源でも複合面構造が認められることがあるなど、テクトニックな断層起源の破碎岩との区別がつかないことがあることも指摘している。

検討の対象としたボーリングコアは、四国山地中央部の山地斜面のジュラ紀付加体秩父帯北帯の地すべり移動体を貫いて掘削された深度 122m のボーリングである。すべり面付近には、厚層で連続性の良いチャート岩体の下位に緑色岩を伴う海洋性岩石から構成されるサブユニットと、この下位の混在岩層から構成されるサブユニットの境界の低角度断層があり、地形に対し流れ盤で分布する。

本孔での標本の作製位置は、すべり面粘土 (91.72~91.82m) を挟んだ 91.00~93.00m の 2m 区間である (図 9)。すべり面粘土の孔壁画像撮影による傾斜は SW 方向 20 度で、ほぼ斜面の最大傾斜方向の流れ盤となり、孔内傾斜計による観測で得られた変位方向とも一致している。コア半割標本の姿勢は、灰色粘土の最大傾斜方向としたため、図 9 において、観察面で灰色粘土が下側へ傾斜する半割片では、観察面に向かって下側が谷側 (SW 方向)、上側が山側 (NE 方向) に相当する。

標本を作製する手法は樹脂固定法を採用した。その詳細については、「樹脂固定法によるすべり面標本の作製マニュアル (案)」<sup>9)</sup>を参照されたい。

コア半割標本の観察では、10 倍程度のルーペを用いた観察のほか、実体鏡によって最大 20 倍程度まで拡大した観察も行った。また、観察部分を広範囲に拡大して可視化するために、標本の研磨面を一般的なスキャナーで読み込み画像化した。



### 6.2 コア半割標本の観察結果

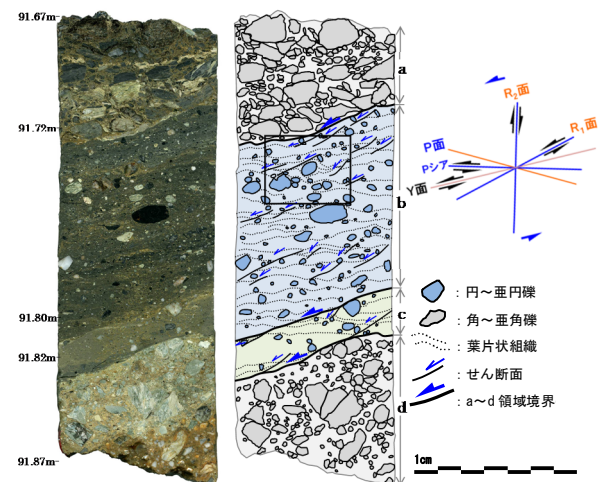
深度 91.72~91.82m のすべり面粘土を含む 91.67~91.87m の半割コア標本を図 10 に示す。標本の b および c 領域には、葉片状組織とせん断面の組み合わせからなる面構造群の発達があり、それぞれ P 面<sup>10)</sup>と R1 面<sup>10)</sup>に対応する複合面構造が観察された。また、a~d 領域境界は P 面および R1 面を含むせん断帯全体の方向を画する主せん断面であり、この面が Y 面<sup>10)</sup>である。これらの複合面構造の配置から、標本観察面でのせん断センスは左ずれ、標本の上下方向を考慮すると正断層である。さらに、そのほかの微細変形構造として、葉片状組織の非対称褶曲、粘土中の細礫~砂粒子の周囲に正断層センスを示す  $\sigma$  タイプの非対称構造が観察された (図 11)。

一方、このすべり面粘土 (91.72~91.82m) の下位の深度 93.35m の破碎部には、複合面構造をせん断センス指標とすると、逆断層センスが観察された (図 12)。

### 6.3 微細構造によるすべり面粘土と断層ガウジの識別

すべり面粘土または断層ガウジと推定される箇所には、微細な複合面構造から正断層センスおよび逆断層センスの 2 通りのせん断センスが存在することが確認された。地すべりのすべり面および付加体のテクトニックな断層の形成条件から、正断層センスを示す箇所はすべり面粘土、逆断層センスを示す箇所は断層ガウジと識別した。

付加体に分布する地すべりでは、テクトニックな断層をすべり面の一部としている場合が多いが、すべり面粘土と断層ガウジの識別をコア表面観察のみで行うのは困難であるか、不可能である。ただし、本事例のように、採取時の乱れの少ない高品質コアを用いた半割標本の微細構造を観察することにより、微細構造から推定されるせん断センスによって、テクトニックな断層ガウジかすべり面粘土かを識別する有効な方法の一つになると思われる。





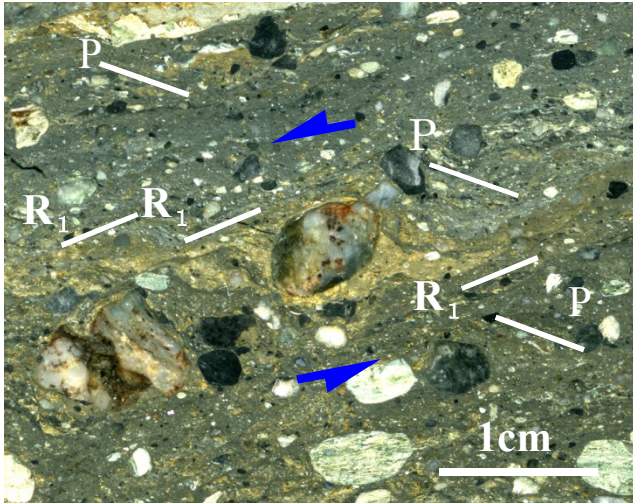


図 11 すべり粘土に認められる $\sigma$ のタイプ非対称構造。写真中央の礫の左上および右下へテイルが認められる。写真の範囲は図 10 の長方形の枠内である。  
P : P 面構造, R<sub>1</sub> : R<sub>1</sub> シア。

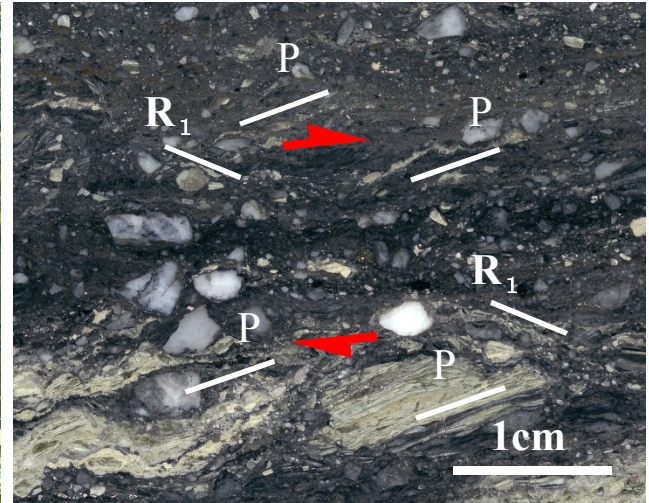


図 12 すべり面より下位の深度 92.35m に認められる断層ガウジ内部の面構造。これは半割標本の対になる側の研磨片であるため、他の画像と向きをそろえるため画像の左右を反転してある。

### 7. 高品質ボーリングおよび高品質コアからの展望

ハークスを用いたボーリングでは、掘進状況を数値化することで、作業内容が経験による主観的評価から物理評価へと変わり、これが高品質コアの高い取得率につながることを確認した。またボーリング掘進状況の数値化は、掘進に関わる計測物理量が地質・岩盤の状態の変化をリアルタイムで捉える有効な手段であることを示した。

高品質コアにより地質構造や岩盤状況を詳細に把握することは、理学的な根拠に基づく工学的判断を可能とするものである。さらに、コアから得られる情報に掘進状況のデータを加味することで、より実態に即した工学的判断を実現させるための新たな知見を得られる可能性がある。

ハークスによるボーリング掘進状況の数値化は、経験的理論である暗黙知から物理評価の技術へと変化させることで、地中からもたらされる情報の精度と量を加速的に向上させるものである。

### 8. おわりに

高品質コアの採取を目的として開発したハークスは、通常のボーリング機械に簡便に設置できることから、多くの現場で適用が見込まれる。特に高い精度の地質構造解析を必要とするダム関連調査や地すべり調査、断層調査等においては、ハークスの適用により解析結果の品質向上に貢献できると考える。

謝辞：本稿は、応用地質株式会社東北支社、四国支社、中部支社、北陸支店の同僚地質技術者と協力して成果を

まとめたものである。ここに記して関係者の皆様に感謝の意を表します。

### 参 考 文 献

- 1) 財団法人 電力中央研究所. 平成 20 年度地層処分技術調査等委託費 (地層処分共通技術調査 ボーリング技術高度化開発). 2009, 報告書.
- 2) 谷和夫, 眞本悠一. 計測ボーリング技術を活用したボーリング機械の掘進制御モデルの提案. 地盤工学会. 2003, 「第 38 回地盤工学研究会」秋田, vol. 65, p. 129-130.
- 3) 山田政典, 森山豊. LWLP 工法を用いた三波川帯地すべりの発生過程. 日本地すべり学会. 2009, 日本地すべり学会研究発表会講演集, vol. 48, p. 114-115.
- 4) 谷川正志, 古宮一典. LWLP 工法による高品質ボーリング. 地盤工学会. 2011, 地盤工学研究発表会発表講演集 (CD-ROM), vol. 46, ROMNUNNO 46.
- 5) 竹内佑佳, 辻岡秀樹, 安達和徳, 服部康浩, 細田宏. LWLP 工法を使った高品質コア採取率による地質解析事例. 全地連. 2012, 「技術フォーラム 2012」新潟.
- 6) 山根誠, 山田政典, 仙石昭栄, 脇坂安彦, 赤松薫. すべり面粘土と断層ガウジを識別する複合面構造—秩父帯の地すべりを例として—. 応用地質. 2015, vol. 56, no. 3, p. 94-104.
- 7) ノンテクトニック断層研究会編著. ノンテクトニック断層：識別方法と事例. 2015. 近未来社. p. 248.
- 8) 脇坂安彦, 上妻睦男, 綿谷博之, 豊口佳之. 地すべり移動体を特徴づける破碎岩：四万十帯の地すべり

りを例として. 応用地質. 2012, vol. 52, no.6, p. 231-247.

- 9) 独立行政法人土木研究所土砂管理研究グループ地すべりチーム. (2012) : 樹脂固定法によるすべり面標本の作成マニュアル (案) . 2012, 土木研究所資料. vol. 4227, p. 18.
- 10) Rutter,E.H.;Maddock,R.H.;Hall,S.H.; White,S.H. Comparative microstructures of natural and experimentally produced clay-bearing fault gouges. Pure and Applied Geophysics. 1986, vol.124, no. 3, p. 3-30.