

P32. 懸濁気泡水ボーリング工法における懸濁水中の ファインバブルの挙動に関する実験的研究

Behavior of fine-bubble of suspension water associated with Improved Fresh-Water Core Sampling

○上田正人（中央開発），竹村貴人（日本大・文理），濱本昌一郎（東京大・院・農学）

Masato Ueda, Takato Takemura, Shoichiro Hamamoto

1. はじめに

従来工法によるボーリング工法では，地滑り等の破碎帯試料，第四系の軟質粘性土や緩い砂質土の高品位なサンプリングは困難であった．そこで従来工法に替わるボーリング工法として，清水あるいはポリマー系泥水に気泡を分散混入させる微細気泡ボーリングシステムが開発されている¹⁾．このシステムでは，物理的製法により生成した粒径1mm以下の微細な気泡（マイクロバブルもしくはファインバブル）を掘削流体に混濁させて気泡水としたものである．また，本システムは，気泡水による優れたスライム排除効果を発揮することにより高品質なボーリングコアを採取する掘削技術として特許を取得している（特第4025485号）．上田⁽²⁾では，普通工法では採取不能だった砂質試料が採取可能になったことが，また，山根ほか⁽³⁾では微細気泡泥水によるサンプリングコアの物理特性として，N値によってややバラツキがあるものの，飽和度がほぼ凍結サンプリングと同等の状態を保って採取された結果が報告されている．

しかしながら，ファインバブルそのものの詳細なメカニズムは未だ説明されていないこともあり，微細気泡ボーリングによる掘削のメカニズムの解明はなされ

ていない．本研究ではファインバブルを含んだ気泡水をボーリングの掘削流体とした時の気泡の役割を明らかにすることを試みる．

2. 気泡ボーリングシステムでの検証

図1に原位置で使われるシステムの概要を示す．図2に本システムで発生されるファインバブルの一例を示す．発生したファインバブルは，レーザー粒度計で測定した結果1mm以下の直径を持つことを確認している（図3）．ここで，測定されたファインバブルは常圧下で発生・測定されたものであり，その直径は20-80 μm に集中している．また，原位置で掘削水の循環に使用しているファインバブルを含んだ掘削流体を採取し，動画にてファインバブルと掘削により生じた切り屑やスライム等を含んだ流体の撮影を行った．ここで，掘削流体にはポリマー系溶液であるイーゾードリル（ベントナイト産業株式会社）が0.1-0.2wt%含まれている．図4に動画撮影結果の1コマを示した．得られた画像から複数個の気泡を選び上昇速度を画像処理から求めたところ200-300 $\mu\text{m/s}$ であった．この値は気泡径が20-80 μm としたときのストークス則から求めた上昇速度と整合的である．ファインバブルを含んだ掘削流体中では一部の気泡はゆっくりと上昇している．図4の上図は全体図であり気泡とともに切り屑が含まれている．下図は上図の四角枠内を拡大したものである．中心部の2つの重なっている気泡に切り屑が付着していることがわかる．

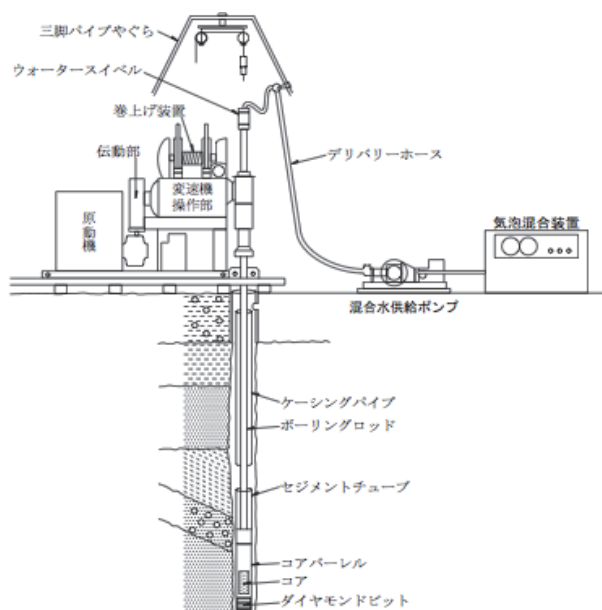


図1 システム概要図



図2 気泡ボーリングシステムで発生した気泡の例

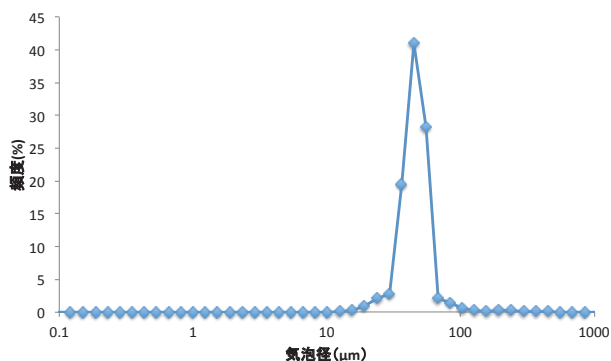


図3 レーザー粒度計による気泡径の測定（マルバーン社製スプレーテックにより石英ガラスセル中の気泡水を測定）。

このことは、少なくとも光学顕微鏡で観察可能なスケールにおいては、ファインバブルを含んだ掘削流体では、いくつかのファインバブルに切り屑が付着していることを示している。ここで、ファインバブルの切り屑が付着する原理としてゼータ電位が考えられる。ゼータ電位については次の式で表わすことができる⁽⁴⁾。

$$\zeta = \eta \mu / \varepsilon$$

ζ : ゼータ電位 (V)

η : 水の粘性 ($\text{kg m}^{-1} \text{s}^{-1}$)

ε : 水の誘電率 ($\text{kg}^{-1} \text{m}^{-3} \text{s}^2 \text{coul}^2$)

μ : 気泡の移動度 ($\text{m}^2 \text{s}^{-1} \text{V}^{-1}$)

高橋⁽⁴⁾による測定の結果から、ゼータ電位は気泡径の大きさによらないこととpHの影響が大きいことが報告されている。本システムで使用した掘削流体にはイージードリルが含まれており、pHの実測の結果は7.4であった。高橋⁽⁴⁾によるゼータ電位とpHの関係から、本システムでのファインバブルのゼータ電位は-80~-50mVと推定され、ファインバブルの表面は負に帯電しているものと思われる。従って、切り屑の付着のメカニズムとしてファインバブル表面の帯電が考えられ、図4で観察された切り屑だけでなく、光学顕微鏡で観察できないほどの小さなもの切り屑も他のファインバブルに付着しているものと思われる。

従って、孔底から注入されたファインバブルを含む掘削流体は孔底近傍で切り屑を付着させ、浮上するより速い速度で圧送されることで、ファインバブルがない場合より多くの切り屑を孔口まで運んでいるものと考えられる。

今後、これらの現象を実験室で再現し、気泡ボーリングシステムによる切り屑排除メカニズムの解明を進めていく予定である。

引用文献

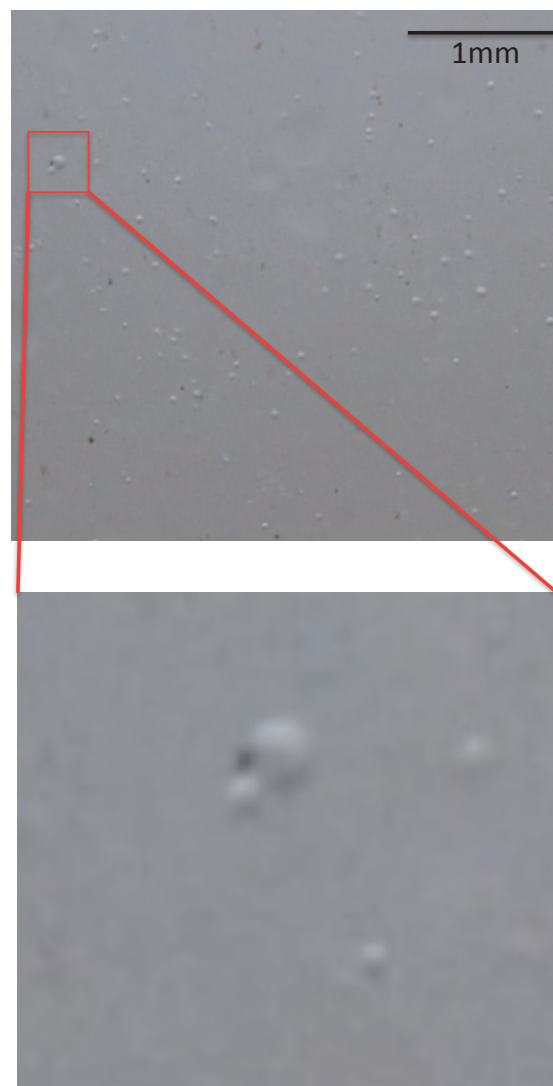


図4 光学デジタル顕微鏡によるファインバブルを含む掘削流体の動画観察の1コマ（上）。上図の四角枠を拡大した図（下）

- 1) 荒木邦夫・大鹿明文・岡野軍治(2003): 表層～深地下にわたり高品質コアを採取する「IFCS 工法」の開発(懸濁)気泡水コア-サンプリング工法, 電力土木, No.303, pp.156-158.
- (2) 上田正人(2011): 賛助会員のページ, 岩の力学ニュース, No.99, pp.11-12.
- (3) 山根信幸・磯谷修二・藤井直・高野仁・岡田克寛・岡村未対・上田正人(2013): 空気注入不飽和化工法における品質管理方法の検討, 第48 回地盤工学研究発表会
- (4) 高橋正好(2009)マイクロバブルおよびナノバブルに関する研究, <https://staff.aist.go.jp/m.taka/takahashi2.pdf>
- (5) 高橋正好, マイクロバブルによる水環境の浄化技術の確立
<http://www.i-step.org/kasumi/cleanup/image/015.pdf>