

改良型気泡ボーリング装置の掘削性能

中央開発㈱ ○佐藤 真治

1. はじめに

近年、ボーリング調査手法として気泡を掘削媒体にしたボーリングが確立されつつある。気泡発生装置には、高品位のコア採取及び高精度の原位置試験を目的とするものや、給水仮設軽減を目的とするものがある。このうち後者のものは、軽量・コンパクトなものが多いが、掘削能力が限定され、掘削速度も一般的に遅いことが知られている。また、掘削には気泡を扱う特別なノウハウが必要なことが多い。

気泡ボーリングは、一般的に掘削速度が遅い点から通常工法と比較して高価な調査方法であり、技術浸透の妨げにもなっている。

筆者らは掘削速度に着目し、掘削速度を向上させるための改良型気泡発生装置を開発した。

本報告は、改良型装置の開発経緯及び開発装置の概要を紹介すると共に、本装置で行った比較実験の結果を報告するものである。

2. 改良型気泡発生装置開発の経緯

筆者は、過去に深度10m程度のボーリングを山岳地において多数据削する業務を担当したが、掘削水の確保と当初の施工工程の維持に非常に苦労した経験がある。その際、気泡ボーリングの適用を考えたが、従来の発泡装置では掘削速度が遅いため、工期短縮が不可能と考え、断念した。

以上の経緯により、新型の装置開発に着手し、今後の同種問題を解決しようと試みた。

(1) 従来型の気泡発生装置

まず、改良型装置の開発にあたり、従来型の気泡発生装置の原理を整理した。従来型の気泡発生装置は、基本的に二種類の気泡発生機構に分けられる。

- ① ポンプ等を利用して強制的に高圧気体にノズルで発泡液を噴射させる方法
- ② 配管や種々の物理現象を利用して差圧を発生させ、圧縮空気と掘削空気の気圧差により発泡液を混入させる方法

(2) 改良型装置のコンセプト

改良型気泡発生装置は、掘削速度を向上させることを第一目標に、以下のコンセプトで開発を行った。

- ① 掘削速度向上による施工コストの削減
- ② 装置を小型化することによる可搬性の向上
- ③ 装置全体をメカニカルとする（電気・電子部品を使用しない）ことによる操作性向上
- ④ 装置の材質を吟味することにより、メンテナンス性向上

3. 改良型気泡発生装置の概要

一般に気泡ボーリングの掘削速度はなぜ遅いのか？この問題に関して、装置の能力試験を行った結果、ある程度の掘削速度を得るために気泡発生には、圧縮空気の流速に関係が深いことが判明した。

改良型気泡発生装置は、前記試験結果を基に、気体速度を高速に保ちつつ発泡液を混入させることができるエジェクターを採用した。この結果、発泡気体の品質が高く、小型軽量の装置とすることが可能となった。

(1) 発泡装置の基本仕様

先に述べた改良装置の基本コンセプトを考慮しながら開発を進めた結果、表-1に示すような仕様による装置が最適であると考えた。

表-1 改良型気泡発生装置の基本仕様

項目	装置名	細目	仕様
圧縮空気発生装置	エアー コンプレッサー	吐出空気量	最大500l/min. 大気E状態
		吐出圧力	最大0.69 MPa
		質量	82 kg
発泡装置	エジェクター	質量	約12 kg
		寸法	50×50×50cm(縦×横×高さ)
		配管部	継ぎ手 チューブ継ぎ手(耐圧0.98MPa) ホース 8~16mmホース(耐圧0.98MPa)
モニター部	主要配管部	主要配管部	12mm管材, SUS304仕様
		発泡部	エジェクター 最大吸引力-740cmHg
		圧力計	最大指示圧力 0.98MPa
安全装置	モニター部	流量計	空気流量計 1,000l/min 液体流量計 500cc/min
		逆止弁	クラッキング圧力 9.8kPa
		安全バルブ	作動圧力 0.69 MPa

心臓部となるエジェクターは、内部形状により様々な圧力-吸引特性を有することができる。このため、装置内には特性の違うエジェクターを並列に複数取り付けてある。またメンテナンスを容易にするため、金属部材はSUS304仕様としている。装置の中で最も質量の重いものは、コンプレッサー(約80kg)であり山岳地への搬入も容易である。

(2) エジェクターの概要

エジェクターは、高圧の気体を高速で噴出することにより、流れの密度を大きくして、気体の粘性を利用して吸引力を得るためのものである。通常は工場や航空・宇宙分野で多用されているものであるが、機構が単純であり、容易に応用できる。

エジェクターの基本概念図を図-1に示した。すなわち、エジェクターは圧縮空気を利用して発泡液を吸引できる能力を有することができる。ただし、ボーリング掘削は排気側(掘削先端)が高圧になるといった特殊な条件になるため、試行錯誤の結果、図-2に示すような構成とすることにした。

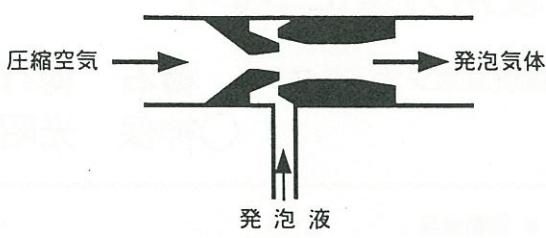


図-1 エジェクターの構造概念図

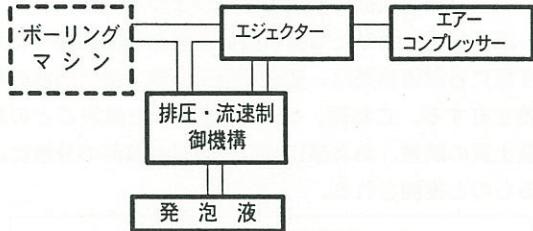


図-2 改良型気泡発生装置の構成

4. 改良型気泡発生装置の掘削性能

掘削能力試験では、今回開発した気泡発生装置と従来型の気泡発生装置とで比較を行った。比較した従来型の気泡発生装置は、ポンプによる強制圧入方式（発泡部はノズル）である。

基本的な項目の比較を表-2に示す。

表-2 掘削方法（装置）の違いによる特徴比較

	従来工法 (掘削水使用)	従来型発泡装置	改良型発泡装置
調査場所	掘削水を周辺に確保できない場合には、タンクによる運搬が給水ホースを長く敷設する必要がある	調査位置による制約を受けないただし、タイプによっては大きな作業スペースが必要	調査位置による制約を受けない
掘削媒体の仮設 (給水仮設)	給水仮設の必要があり、掘進開始までにある程度の時間を要する	従来工法よりも速やかに掘進が開始できる	
掘削深度	特に制約を受けない	地下水位が高い場合等において掘削困難となることがあり、深い深度には向かない	
掘進速度	従来型気泡ボーリングと比較して早い傾向にある	掘削水を使用した場合と比較して非常に速い	掘削水を使用した場合に近い速度
原位置試験	データの蓄積も多く、物性値間の比較が可能	従来工法と比較して高い精度の値を示す傾向にある	

この結果、改良型装置はほぼ想定した能力を満足することが確認できた。

(1) 改良型装置の掘削性能

改良型気泡発生装置の能力を把握するために実施した掘削試験の結果、発泡液濃度別に行った発泡液量と掘削速度に図-3の様な関係が見られた。なお使用した発泡液は、(株)テルナイト社製の「テルフオーマー23L」である。

上記発泡液を使用した場合には、発泡液濃度を1.0%以下とすると、発泡混合気体の粘性が弱く、極端にスライム排除効果が悪くなる。また濃度を5.0%以上とすると、逆に発泡混合気体の粘性が強くなりエア詰まりが多くなるようである。特に図に

は示していないものの、濃度10%ではほとんど掘削ができない状態であった。

同図より、改良型装置においては発泡材の濃度2%・発泡液量100cc/min程度が最も掘削速度が速い結果となった。

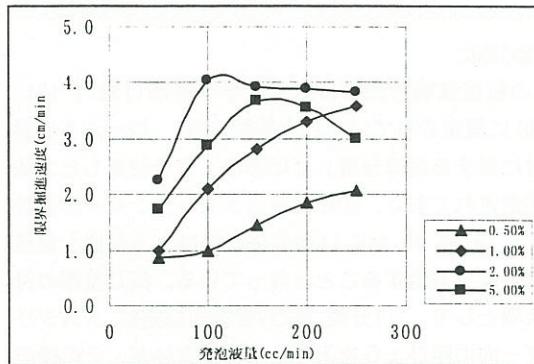


図-3 発泡液量と掘削速度の関係

(2) 従来型との比較結果

図-3で実施した試験と同じ地盤・発泡液で比較掘削を実施した結果、従来型装置は発泡液濃度と掘削速度に有意な関係は認められず、限界掘削速度として概ね3.0cm/minであった。特に発泡液量に関しては、最低でも200cc/min以上の液量を混入しないと掘削が困難であった。

すなわち、改良型装置は従来型と比較して少量の発泡液量で、より高速に掘削できることが判明した。

5. 問題点と今後の課題

改良型気泡発生装置は、当初の基本スペックを満足することができたものの、適用範囲を広げるためには、問題点も残されている。

(1) 改良型装置の問題点

改良型の発泡装置は、従来型と比較して、その能力が優位であることが確認できたが、装置心臓部にエジェクターを使用しているため、圧縮空気が減速・減圧する部分の熱変化が著しく、冬期使用において発泡気体が凍結する現象が見られる（気温1℃以下）。通常の使用には問題ないものの、本装置の適用範囲の制限となっており、今後の課題となっている。単純にはエジェクター周辺をヒーターで保温すれば良いのであるが、本装置開発に当たっての基本コンセプト（メカニカルな装置を大原則とする）に反するため、現在更なる改良に着手中である。

(2) 今後の展望

本装置は、良質な発泡気体を安定して吐出できることから、礫質土砂の不搅乱試料採取にも応用できる可能性がある。今後は装置の改良を進めながら、適応地盤の拡大や不搅乱試料の採取等を視野に入れ、完成度の高いものとし、多くの調査に利用できるようにしたいと考えている。