

VI-102

重力式流体輸送による掘削ブリの搬送

石油資源開発（株） 吉野 進、川崎製鉄（株） 神津 一則
 ○ 清水建設（株） 土田 充、孟 岩、深尾 延弘、木村 厚之

1. はじめに

新潟・仙台ガスパイプライン建設工事において、掘削延長 1,021m、掘削径 2.3m、勾配 12% の二井宿トンネルを TBM(Tunnel Boring Machine)で施工した。本トンネルでは、掘削ブリの搬出に流体輸送方式が採用されることになった。しかし、従来の管路流による圧送方式では、ブりが管を閉塞することでウォーターハンマーが発生し、ブリの搬出システムを損壊する可能性がある。そこで代替手法として、掘進方向に対して12%の上り勾配を利用した、重力式流体輸送方式を採用した。本方式では、TBMの後方に設置したガス管に泥水を常時疎通しておき、そのガス管に切羽で発生したブりを投入し、開水路状態を保持したまま、重力を駆動力としてブりを坑外に搬出する。

本報では、重力式流体輸送を工事に適用するために必要な水理条件を実験により明らかにし、さらに、実験で得られた知見を元に構築された、現地の重力式流体輸送システムについて報告する。

2. 実験の目的および実験施設

本実験では、重力式流体輸送を現地に適用するために必要な水理条件を明らかにする。今回の実験では、図-1に示した実験施設を用いた。土砂を輸送するガス管の延長は35mであり、現地のトンネルに対応した12%の勾配を有している。泥水は、地点Dのタンク内に設置された泥水ポンプにより、地点Aにポンプアップされ、ガス管の最上部に投入される。ブりは、地点Aに設置されたホップからガス管中に投入され、ブりを含んだ泥流はガス管内を流下し、地点Dのタンクに流入する。そこでブりが沈殿、分離、除去され、泥水のみが地点Aまで再度輸送される。この実験施設を用いて、以下の項目により重力式流体輸送の現地への適用性を検討する。

(1) 水面の安定（項目1）：ブりを含んだ泥流が安定して流下する水理条件を検討する。泥水流量が投入したぶり量を輸送するのに十分であれば、ガス管内を流下するブりを含んだ泥流は、一定水深を保持すると考えられる。なお、水深の経時変化は、図-1の地点Bと地点Cに設置した超音波変位計を用いて計測した。

(2) 泥水停止時のブリの完全流下（項目2）：ブリの投入終了と同時に泥水の供給を停止した場合に、ガス管内にブりが残留しない水理条件を検討する。これは、現地で重力式流体輸送システムが不測の事態で停止した場合にも、ブりがガス管内に残留しない事を意図したものである。また今回の実験は、図-1に示すように、現地に適用することを想定して実物大の実験を行っているため、供給すべきぶり量が膨大となり、長時間の実験を行うことができない。そのため、平均水面の経時変化が微小であった場合、項目1を満たすだけでは、泥水が供給されたぶり量に対して十分な輸送能力があるとは必ずしも判断できない。そこで、ブリの投入終了と同時に泥水の供給を停止すれば、泥水の流下能力がブリの供給量に満たない場合には、輸送能力を越えたブりがガス管内に残留すると考えて、項目1と併に項目2を、輸送能力の過不足を判断する指標とした。

(3) 開水路状態の保持（項目3）：ブりを含んだ泥流が常に開水路の状態で流下する水理条件を検討する。これについては、ガス管吐口をビデオで録画し、開水路状態が保持されているかどうかをチェックした。

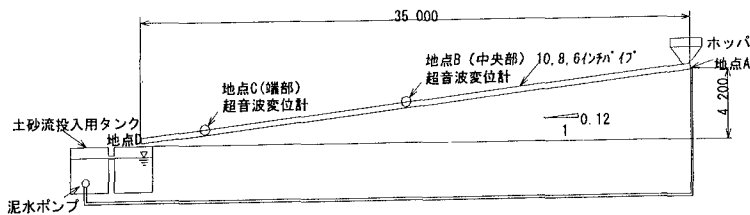


図-1 実験施設概要

3. 実験条件および実験結果

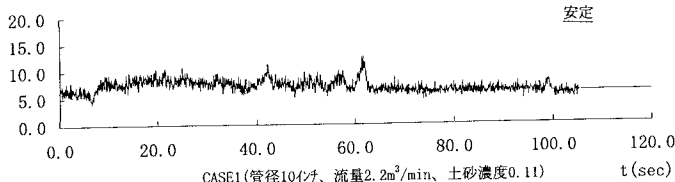
今回行った実験条件を表-1に示した。泥水の流量は、ポンプ能力上限の $2.2 \text{ (m}^3/\text{min)}$ 以下に設定し、ブリの投入量は、TBMが最大掘進速度 6.5 (cm/min) で稼動したときの単位時間当たりの発生ぶり量 $0.27 \text{ (m}^3/\text{min)}$ として設定した。また、投入するブリのサイズは、現地で発生するブりを想定して、最大粒径 4 (cm) 程度にした。

表-1に各検討項目に対する実験結果を示す。これより、各項目をすべて満足するためには、泥水流量 $1.9 \text{ (m}^3/\text{min)}$ 以上、ガス管の口径8インチ以上、土砂体積濃度が0.12以下であることが必要であることが分かる。また、項目1に対する実験結果を図-2に例示する。

4. 考察

今回行った実験では、所定の土砂を流下するために、土砂濃度が0.12以下になるように泥水流量を設定しなければならなかった。高橋（1982）による土砂輸送形態の分類によると、今回の実験で行ったブリの輸送は、土砂流に分類される。高橋が行った土砂流の実験結果を整理し、流路勾配と限界土砂濃度との関係を求め、今回の実験と比較したのが、図-3である。ここで、 $\tan \theta$ は流路勾配であり、 C^* は土砂体積濃度である。図-3中の直線は、高橋の実験結果に対する回帰曲線であり、今回の実験結果とよい一致を示している。これより、高橋の実験は、中央粒径1.4（mm）の砂粒を用いているにも関わらず、今回の実験のような礫（最大粒径40mm）輸送への適用を期待できることが分かる。

h(cm)



h(cm)

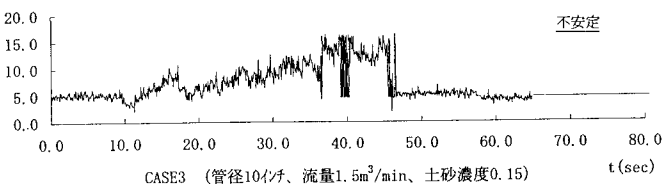


図-2 重力式流体輸送の水位の経時変化

表-1 実験条件および実験結果

	管の呼径 (インチ)	流量 (m³/min)	投入土砂量 (m³/min)	土砂濃度	項目1	項目2	項目3
CASE1	10.0	2.2	0.268	0.11	○	○	○
CASE2	10.0	1.7	0.268	0.14	×	×	○
CASE3	10.0	1.5	0.268	0.15	×	-	○
CASE4	8.0	2.2	0.268	0.11	○	○	○
CASE5	8.0	1.9	0.268	0.12	○	○	○
CASE6	8.0	1.7	0.268	0.14	×	×	○
CASE7	6.0	2.2	0.268	0.11	○	○	×
CASE8	6.0	1.9	0.268	0.12	×	×	×
CASE9	6.0	1.7	0.268	0.14	×	×	×

○・・・当該項目をクリアした

×・・・当該項目をクリアできなかった

-・・・当該項目を検討しなかった

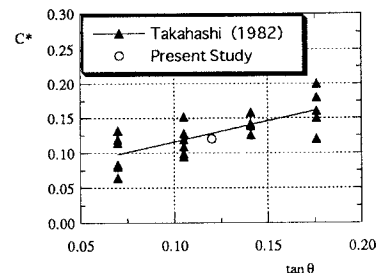


図-3 流路勾配と限界濃度の関係

5. 現地への適用

今回の実験より得られた結果に基づき、重力式流体輸送を現地に適用した。工事では、据付時の作業性や経済性も考慮して8インチのガス管を採用した。図-4に現地で稼働している流体輸送の流況の一例を示した。これによると、ガス管中を流下するブリを含んだ泥流の水面は安定しており、泥水流量が投入ブリを輸送するのに十分であることが分かる。本データ採取時点では、泥水流量を1.7（m³/min）に減少させているにも関わらず、ブリによるガス管の閉塞は生じていない。これは、TBMの掘進速度が2.0～3.0（cm/min）程度であり、当初想定した掘進速度の半分程度にすぎないためであろう。また、輸送延長は300（m）であるが、実験時のガス管延長が35（m）であったために懸念された、TBMの掘進に伴う流体輸送の延長距離増大によるトラブルの発生はなかった。

h(cm)

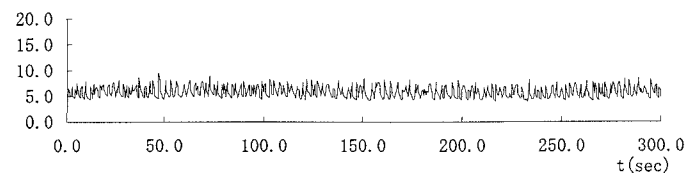


図-4 現地の重力式流体輸送の流況

・（管径8インチ、流量1.8m³/min、掘進速度1.9cm/min、土砂濃度0.04）

6. まとめ

掘進方向に12%の上り勾配を持つトンネルのブリ搬出に、重力式流体輸送を適用するために実物大実験を行った。その結果、呼径8インチ以上のガス管に流量1.9（m³/min）の泥水を疎通させれば、現地で発生するブリ（最大0.27m³/min）を坑外へ搬出可能である事が分かった。

参考文献 高橋 保：土石流の停止・堆積機構に関する研究（3），京大防災研究所年報 第25号B-2，pp327-348，1982