

固気液スラグ流の流動特性について

日大生産工（研）○渡辺 翔 日大生産工（院）山田 泰正
日大生産工（院）幕内 真一郎 日大生産工 遠藤 茂勝

1、はじめに

近年、港湾内事業の一つとして航行船舶の水深の確保を目的とした海底の浚渫工事が行われてきた。浚渫した堆積物を陸地まで輸送するのに、従来の方法ではポンプ輸送を行っていた。しかし、この方法では堆積泥と大量の海水を同時に輸送しているため、輸送効率が極めて悪く、汲み上げた海水の余水処理問題やヘドロなどによる周辺地域への環境汚染が発生する。

この問題の改善策として圧縮空気を用いて輸送する混気圧送システムが注目された。この方法は、堆積泥と圧縮空気を同時に管路輸送することで大量の水を必要とせず、余水処理問題や周辺地域への環境汚染が低減されるだけでなく、輸送効率の向上にもつながるという利点がある。

実際に現場において土砂を混気輸送すると固気液三相流となる。しかし、浚渫工事による土砂は含水比が非常に高いことから気液二相流として扱うことができる。土砂輸送では管路の可視化による研究ができず、目測によるスラグ流速、通過周期の測定ができないため、本研究では管路内の圧力を測定したデータを用いて圧力特性やスラグ流速、通過

Table.1 実験条件

Qa	Qs	Qs
(m ³ /min)	(m ³ /min)	(m ³ /min)
90	10.08	11.45
180	10.07	12.48
306	11.83	12.73

周期、の解析を行うこととした。

2、実験方法及び装置

本実験で、使用した混気圧送実験装置は、Fig.1 に示した通り、全長 L = 1745m、管内径 d=57cm(0m ~ 1205.3m)、71cm(1205.3m ~ 1724m)であり、測定地点を 300m、600m、800m、1000m、1200m とした。空気の供給は 0m 地点から行っているが距離が長いので、1000m 地点において空気流量を再度供給している。

実験で使用した土砂は、土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3) = 2.5 \sim 2.7$ 、自然含水比 $W_n(\%) = 114 \sim 151$ であり、実験条件は Table.1 に示したとおりである。圧力の測定は各測定地点に圧力センサーを設け、1 秒毎に測定し、圧力センサーから送られてきたデータを変換したものを圧力データとした。

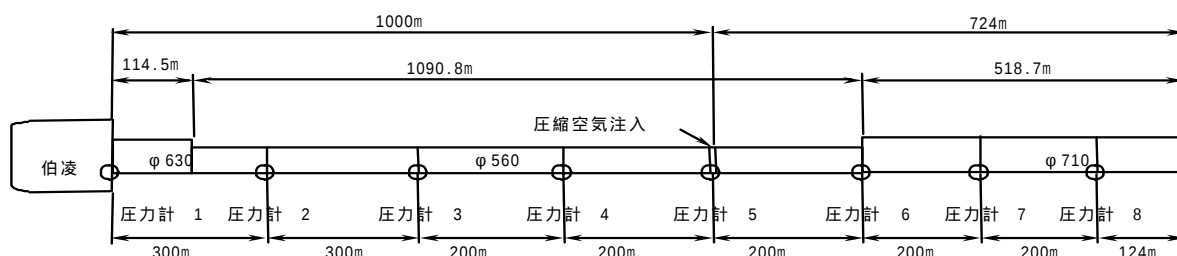


Fig.1 実験概略図

Study on Friction Flow Characteristics of Gas-Liquid-Solid three Phase Flow

Shou WATANABE, Shinichiro MAKUCHI, Yasumasa YAMADA,
Shigekatsu ENDO

3、実験結果及び考察

(1) スラグの圧力について

スラグ流は圧縮空気によって流動しているため空気と土砂が接している部分、つまりスラグが通過する時に、圧力が一番高くなることから、この値をスラグ No.とし、これと圧力の関係を示したものが Fig.2 である。この結果から同じ距離では圧力はほぼ一定な値となることはいえる。

次にその圧力と距離の関係について検討する。横軸に距離、縦軸に圧力を取り空気流量別に示したものが Fig.3 である。この結果から距離が進むにつれて圧力は低下していることが分かる。これは、距離が進むにつれて、空気の圧縮性が徐々に減少しているためだと考えられる。

そこで、空気流量による圧力変化も考えられることから横軸に空気流量比、縦軸に圧力を取り、測定地点別に比較したものが Fig.4 である。この結果から空気流量が大きいほど圧力が高くなる。これは、空気流量が大きいほどスラグを流動させる力が大きくなるためであると考えられる。

(2) スラグ流速について

スラグ流速の求め方として、Fig.5 に示すように測定地点の連続する 2 つの圧力波形グラフを比較し、全体の圧力波形の形から同じスラグの通過時の圧力変動と思われるもの同士を対応させることで測定地点間のスラグの移動時間からスラグ速度を求めた。

まず、スラグ流速の距離に対する変化について検討する。横軸に距離、縦軸に速度を取り、空気流量 $90(\text{m}^3/\text{min})$ と一定にしたものが Fig.6 である。このグラフから、スラグ流速は距離が進むにつれ、増加することがわかる。

また、Fig.6 を他の条件と比較するために空気流量、土砂流量の全条件を載せたものが Fig.7 である。この結果からいずれの条件においても距離が進むにつれて速度は増加しており、また空気流量が増加すると速度も増加

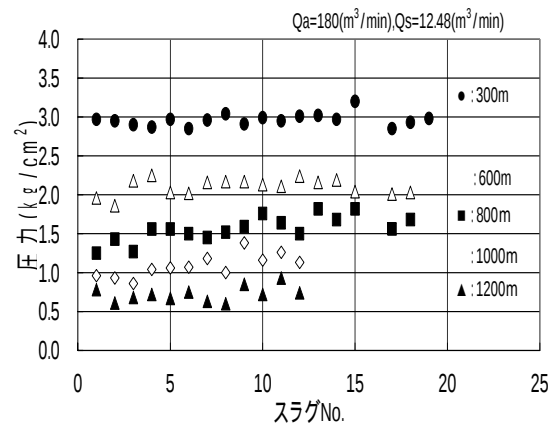


Fig.2 スラグ No.と圧力

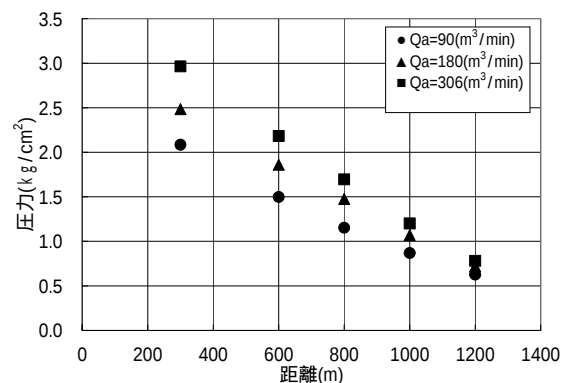


Fig.3 スラグ距離と圧力

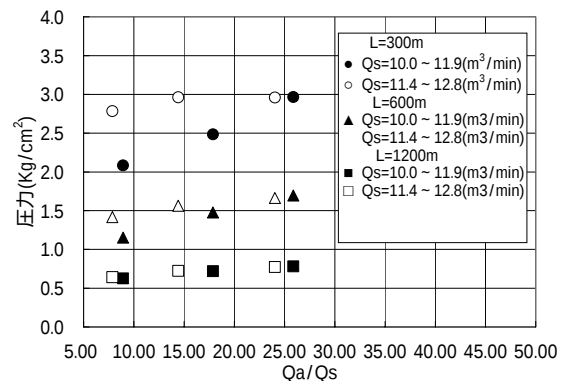


Fig.4 空気流量比と圧力

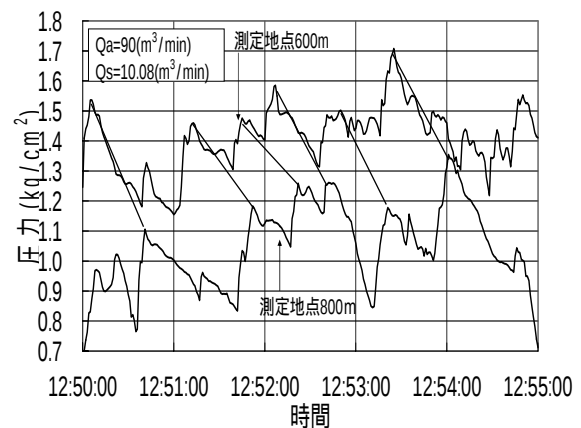


Fig.5 測定地点間の圧力伝達時間の比較

している。これは、距離が進むにつれて、圧力が下がり、そのため空気が膨張し、その分スラグが押し出されるため加速し、スラグ流速が上昇すると考えられる。

ここで空気流量による速度変化についても考えられることから空気と土砂の流量比と速度について検討を行った。横軸に空気流量比をとり縦軸に速度をとり測定地点 300m ~ 600m と 1000m ~ 1200m の 2 つの区間の結果を示したのが Fig.8 である。これから空気流量が増加することで速度が上昇することが分かる。これは、圧力の結果からも示した通り、空気流量が増加することでスラグを流動させる力が増えるためである。また、距離が進むほど速度の上昇率が高くなることから空気の膨張性についても検討する必要がある。

そこで、空気の膨張性を表す空気の容積流量 J_G について速度との関係を検討する。横軸に J_G 、縦軸に速度をとり空気流量 90(m³/min)一定での土砂流量別を示したものが Fig.9 である。なお、 J_G は気相容積流量を管断面積で除したものである。この結果より速度が増加すると J_G も増加し、空気流量が同じ場合では同直線上に乗るが土砂流量が異なると同直線上に載らないことが分かる。ここで、過去の研究において¹⁾水を用いた場合では、 J_G とスラグ流速の関係は空気流量、水流量の異なる条件でも同直線上に乗ることがわかっている。どの実験条件においても同じ水を用いていることから物性が同じため同直線上に載るが、今回使用した土砂は実験条件により含水比が異なるので粘性も異なり同じ物性とはいえないので土砂流量が異なると同直線上には載らないと考えられ速度と J_G の特性は土砂の物性に支配されることが考えられる。

(3)スラグ通過周期について

スラグ No.を取った点をスラグが流動していると考えられることから、スラグ No.同士の間隔をスラグの一周期とした。

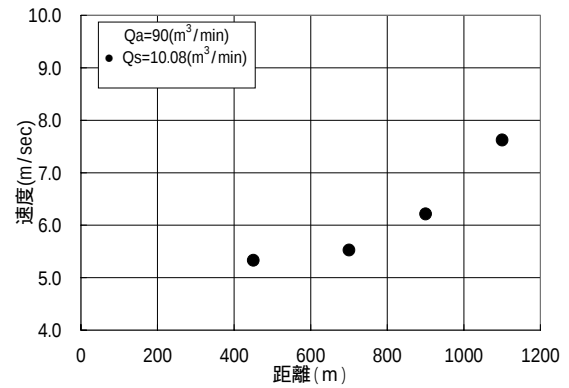


Fig.6 距離と速度

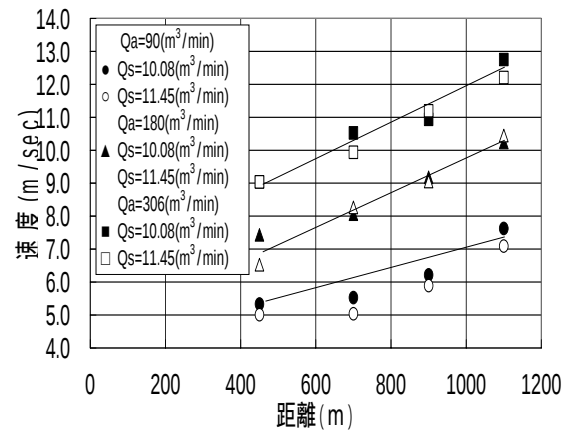


Fig.7 距離と速度

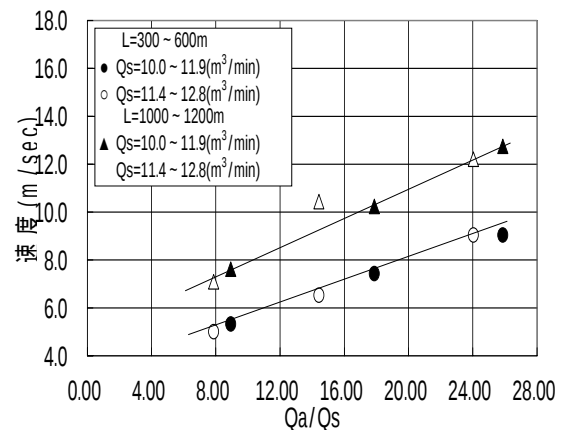


Fig.8 空気流量比と速度

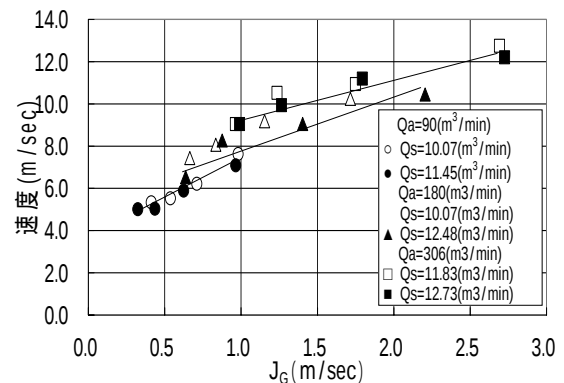


Fig.9 J_G と速度

まず、スラグ周期と距離について検討を行った。横軸に距離、縦軸に周期を示したものが Fig.11 である。この結果から距離が進むにつれて周期は長くなるが、1200m 地点では周期は短くなっている。これは、距離が進むにつれて圧縮空気が減少し、スラグが崩壊したり、空気が膨張する等の原因から周期が長くなるものと考えられる。また、1000m 地点において空気を供給しているため 1200m 地点では崩壊していたスラグが再び生成されたり、速度が加速されるなどの影響で周期が短くなったものと考えられる。

スラグ通過周期は空気流量に左右されることから空気流量を増やしたときのスラグの周期について検討する。横軸に空気流量比、縦軸に周期をとり 2 点間の周期を示したものが Fig.12 である。このグラフから 1000 地点では空気流量が増加すると周期は短くなるが 300m 地点ではほぼ一定となる。また、空気流量が増加することで周期は短くなる傾向を示す。この原因としてスラグの崩壊が考えられる。空気流量の増加は圧力の増加に繋がることから圧力と周期との関係について検討することでスラグの崩壊の原因を把握することとした。

そのため圧力と周期の関係を検討し、その結果を示したのが Fig.13 である。この結果から 圧力が小さいほど、周期が長くなる。これは圧力が低下することによりスラグ流の流動に必要な力が弱くなりそのためスラグが崩壊しやすくなるためだと考えられる。

4、まとめ、

今回の解析により、圧力データを用いて圧力の特性だけでなくスラグ流速、周期の特性についても解析することができた。また、今後の課題として、水、CMC から同様の圧力データを取り、スラグ流速、周期、圧力を求め本研究で求めたデータと比較・検討を行っていく必要がある。

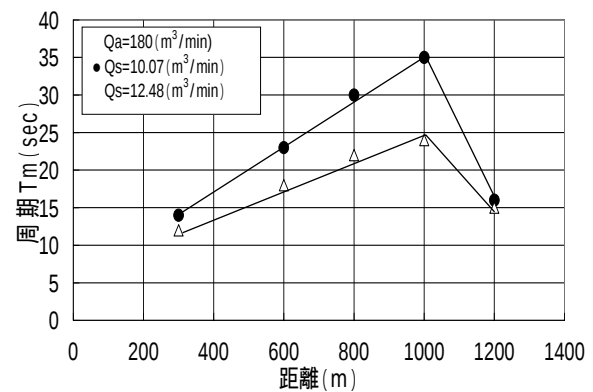


Fig.11 距離と周期

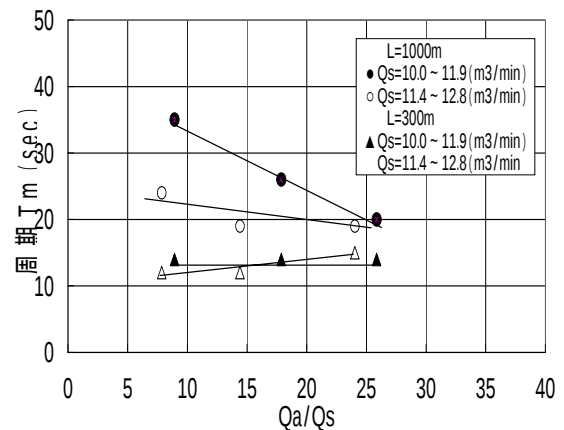


Fig.12 空気流量比と周期

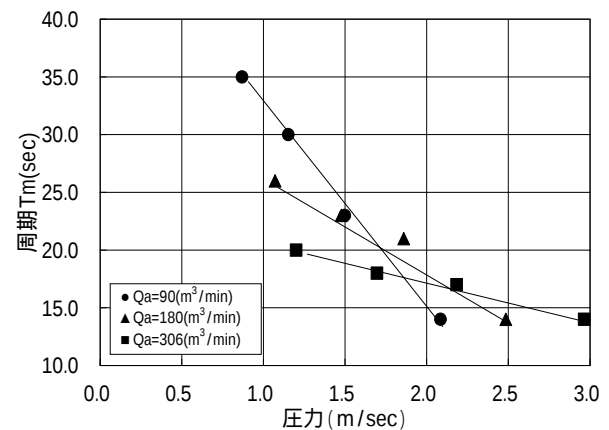


Fig.13 圧力と周期

「参考文献」

- 1) 小川, 落合, 北澤, 遠藤, 高粘性溶液をスラグ流の特性について, 海洋開発論文集, VOL. 19, (2003), pp.725 ~ 730
- 2) 幕内, 山田, 小川, 落合, 北澤, 遠藤, 気液スラグ流の発生メカニズムと流動周期特性について, 海洋開発論文集, VOL. 20, (2004), pp.905 ~ 910