

スラグ流の流動とスラグユニット長について

日大生産工（院）○後藤 吉範 日本生産工（院）山田 泰正
日大生産工 遠藤 茂勝

1 はじめに

気液二相流は、空気と輸送媒体の分離が容易であり、粘性摩擦の低減効果があり低圧力で高速輸送が可能である。また、エマルジョン化した重油や海底資源として注目されている天然ガス（メタンハイドレード）等の輸送方法に期待でき、原子炉や化学工業プラントなど大規模な設備に幅広く用いられている。

しかし、従来の研究において、小口径で短距離の研究が多く、大口径で長距離輸送を対象とした研究は少なく未解明な部分が多い。また、管内のような閉ざされた空間を流れる二相流は均等な流れだけではなく不均一な流れが生じ界面形状が複雑に変化することで流動特性にも変化が生じるといった特徴を持っている。そこで、本研究では基本的な長距離気液二相流の流動特性を把握することとし管路全長を変化させ、スラグ流の速度変化、スラグユニット長などの流動特性の検討を行った。

2 実験概要及び実験装置

本研究で使用した実験装置は Fig-1 に示すように管内径 $d=38\text{mm}$ の透明なビニールパイプを用い、気相である空気と液相である水を同時かつ連続的に供給することによりスラグを発生させた。水は可視化のため着色したものをポンプから送水し、空気は 0.1 気圧状態で計量しエアコンプレッサーを用いて供給した。実験条件は Table-1 に示した 30 条件と管路全長 70,150,310,460,620m の 5 条件で行い、圧力測定地点は Table-2 に示す測定は管内圧力、スラグ流動速度、スラグ通過

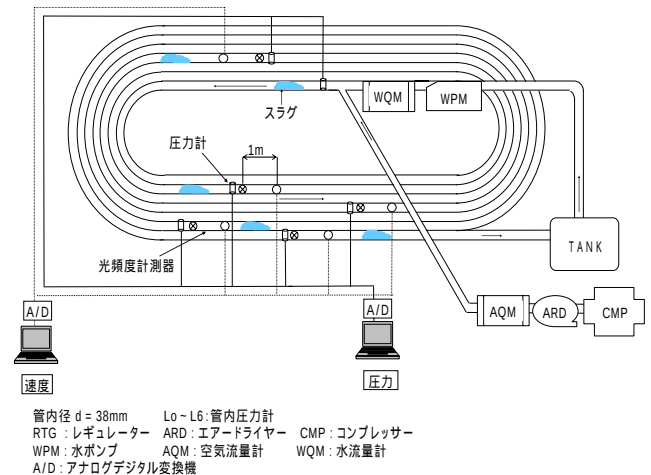


Fig-1 実験装置概要

Qa	Qw	Qa	Qw	Qa	Qw
(Nl/min)	(l/min)	(Nl/min)	(l/min)	(Nl/min)	(l/min)
20.0*	12.0	100.0	12.0	140.0	12.0
	20.0		20.0		20.0
	28.0		28.0		28.0
	36.0		36.0		36.0
	44.0		44.0		44.0
	52.0		52.0		52.0
40.0	12.0	60.0	12.0	180.0	12.0
	20.0		20.0		20.0
	28.0		28.0		28.0
	36.0		36.0		36.0
	44.0		44.0		44.0
	52.0		52.0		52.0

* 全長70mのみ Nl/min:0 1気圧の流量

Table-1 実験条件

	全長L(m)	測定地点(m)						
1周路	70.0	0.0	10.0	20.0	30.0	40.0	50.0	60.0
2周路	150.0	0.0	20.0	50.0	80.0	100.0	120.0	140.0
4周路	310.0	0.0	50.0	100.0	150.0	200.0	250.0	300.0
6周路	460.0	0.0	50.0	100.0	200.0	250.0	350.0	450.0
8周路	620.0	0.0	50.0	150.0	250.0	350.0	450.0	550.0
			100.0	200.0	300.0	400.0	500.0	600.0

Table-2 測定地点

Study on Relation Between Slug Flow Behavior and Length of Slug Unites

Yoshinori GOTO Yasumasa YAMADA Shigekatsu ENDO

周期、気相長、液相長を計測した。管内圧力は、ビニールパイプの上部に圧力計を設け 7 箇所測定を行い、スラグ流動速度は圧力計の下流側に光透過量測定装置を用いて測定した。光透過量測定装置は Fig-2 に示したように、長さ 1.50m のアクリル板を箱状に組み合わせ、ビニールパイプを通し、赤色 LED をアクリル板の側面に、1m の間隔があくように二カ所に配置し、反対側の側面の受光センサーで計測した。また、光透過量測定装置のサンプリング周波数は 2.0kHz、圧力計の周波数は 500Hz として、それぞれ 2 分間計測を行った。速度の計測は、スラグ流が上流側のセンサーを通過した時間と、下流側を通過した時間の差から求めた。スラグ通過周期は、液相スラグの先端部の通過時間によって求まることができる。また、気相長と液相長はマイナスレンジとプラスレンジに対応するので気相、液相を判断することができる。

3 実験結果及び考察

3.1 スラグ流速度について

空気流量とスラグ流速度について検討を行うために横軸に空気流量 Q_a 、縦軸にスラグ流速度 V_s をとり、管路長 70m における測定地点 $l=50.0\text{m}$ の水流量を示したものが Fig-3 である。この図より、空気流量が増加することで、どの条件においてもスラグ流速度が増加していることが確認できる。これは、液相の駆動力は圧縮空気なので、空気流量が増加することによって、速度が増加していることが分かる。

次に横軸に水流量 Q_w 、縦軸にスラグ流速度 V_s とし、水流量によるスラグ流速度の変化について示したものが Fig-4 である。これによれば、すべての空気流量において、水流量を増加させると、スラグ速度が増加することが分かった。これは、管路全長が短いために水流量の増加による粘性摩擦抵抗が増加し、そのままの流動が維持されている。

次に流動距離とスラグ流速度を示した。水流量 $Q_w=52.0(\text{l/min})$ の一定条件で横軸に流

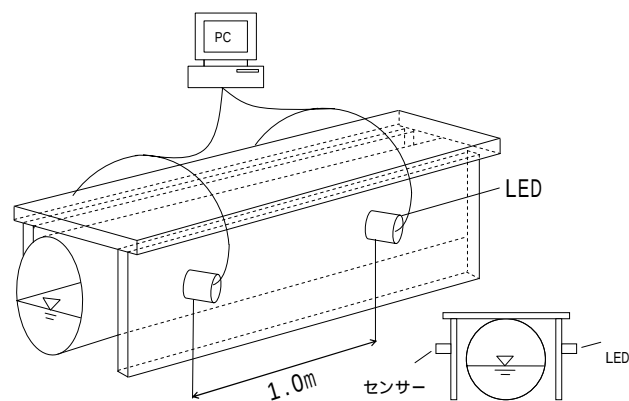


Fig-2 光透過量測定装置

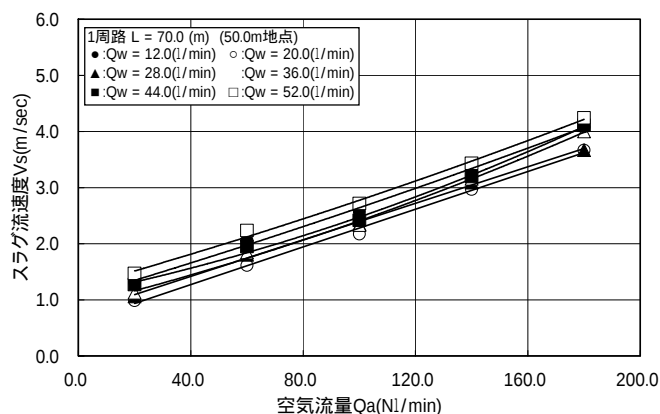


Fig-3 空気流量とスラグ流速度

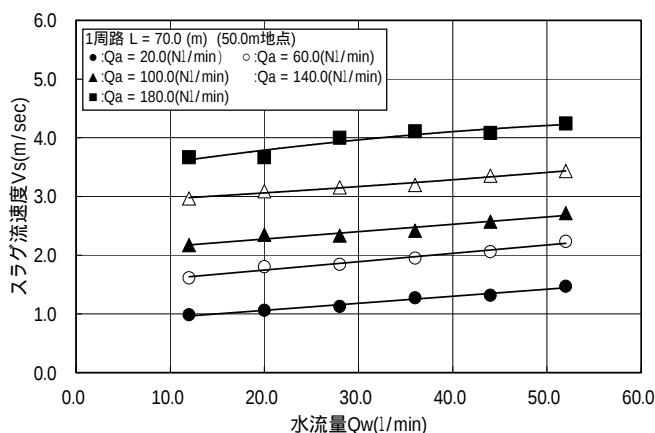


Fig-4 水流量とスラグ流速度

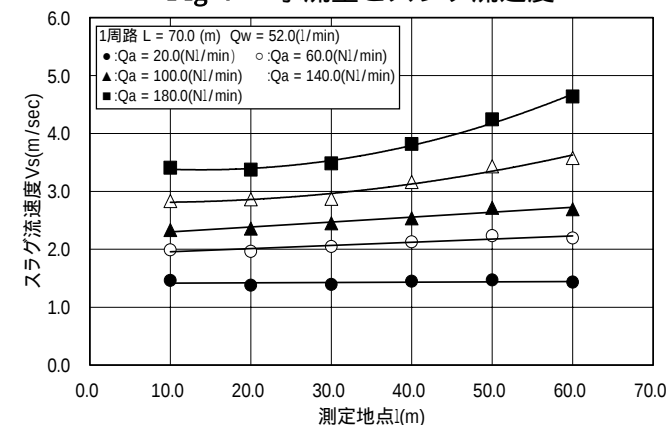


Fig-5 流動距離とスラグ流速度

動距離 l 、縦軸にスラグ流速 V_s を検討したのが Fig-5 である。これは空気流量が多い場合には流動距離が長くなるにつれてスラグ速度が増加している。これは空気が膨張したためだと考えられる。空気流量が少ない場合、速度は一定である。

3.2 スラグ流周期について

スラグ流通過周期と水流量の関係について検討した。横軸に水流量 Q_w 、縦軸にスラグ通過周期 T を示したのが Fig-6 である。これにより、水流量が増加するとスラグ通過周期が短くなっていくのが確認できる。これは、水流量が増加することによりスラグ発生周期が短くなり水流量が増加することでスラグが発生し周期が短くなったと考えられる。

次に流動距離とスラグ流通過周期の関係を示した。水流量 $Q_w = 52.0 (l/min)$ の一定条件で横軸に流動距離 l 、縦軸にスラグ流通過周期 T と示したのが Fig-7 である。これによれば、どの地点でも気相が多いが、周期は長くなっている。これは、気相が多いために速度が速くなるためだと考えられる。

3.3 気相・液相長

光センサーによって得られた記録より横軸に計測時間 t 、縦軸に赤色 LED の光をセンサーが受光した電圧値をとり時系列を示したものが Fig-8 である。この波形は、LED から発する光をセンサーが感知するとプラスの値を示し、液相の通過により光を遮断するとマイナスの値を示すものである。また、急激に光透過量が変化すると波形は大きな変動を示し、光を感知続けたり、光を遮断し続けた場合も同様にゼロになるように調節されるような仕様となっている。

この図より電圧がマイナスを示した時は、液相部が LED の光を遮断した場合であり、光透過量がプラスを示す場合は気相が通過した時である。このことから、液相部の波形の先端はほぼ垂直にマイナスの値を示していて、液相部の末端（気相部先端）はほぼ垂直にプラスの地点を示していることから気相部・液相部が判別できる。このことから気相長・液相

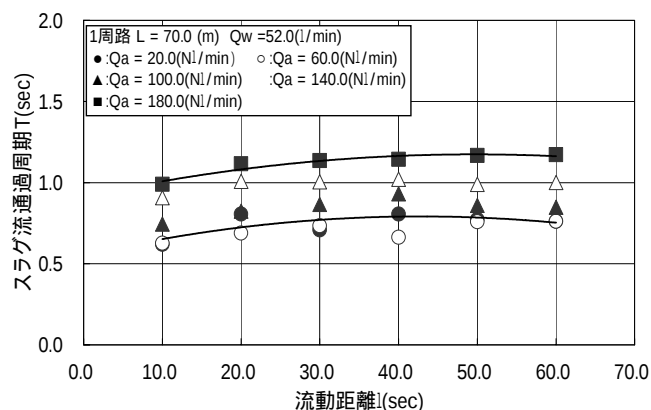


Fig-7 流動距離とスラグ流通過周期

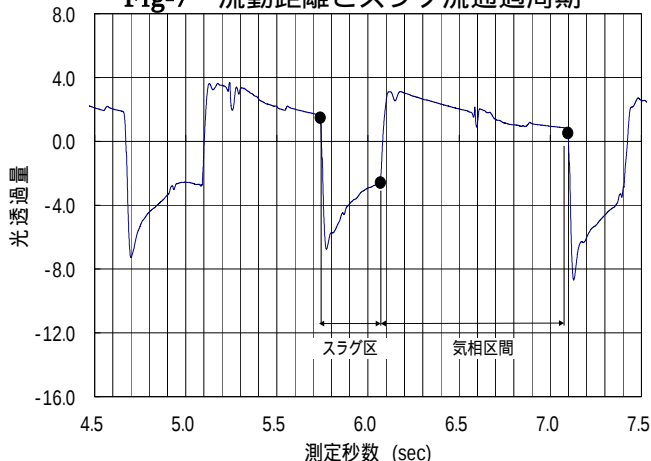


Fig-8 流動波形

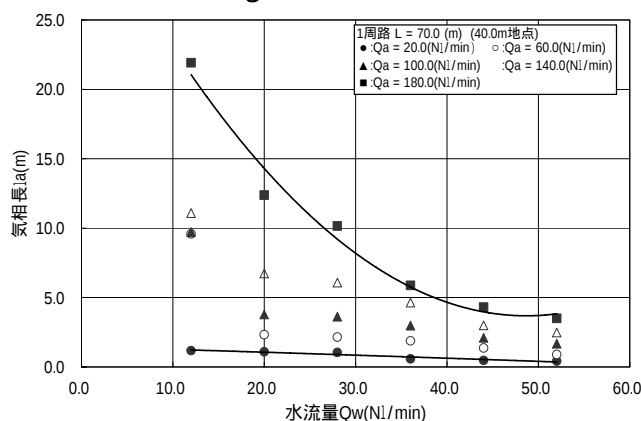


Fig-9 水流量と気相長

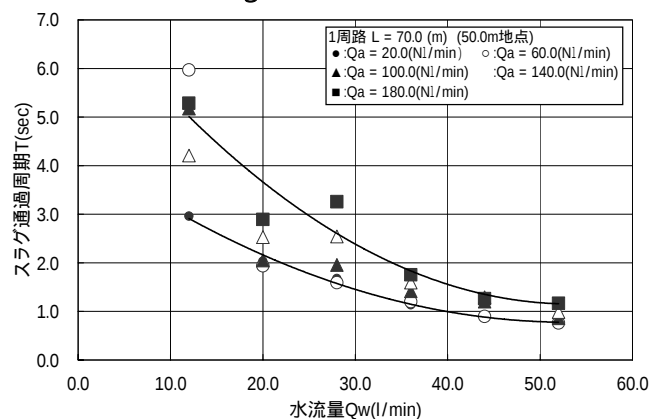


Fig-6 水流量とスラグ流通過周期

長は、スラグ流速に各部の時間との積によって長さを求めることができる。光波形の記録より横軸に水流量 Q_w 、縦軸に空気の高さをしたものが Fig-9 である。これによると水流量が増加すると空気の高さが短くなっていくことが確認できる。これは、Fig-6 で示したように周期が短くなり水流量が増加することでスラグ流が多く発生するためだと考えられる。

次に横軸に空気流量 Q_a 、縦軸に空気の高さをしたものが Fig-10 である。この図より、空気流量を増加していくと、水流量の少ないときにおいて気相長が長くなっている。これは、水の割合が少なく空気の割合が大きいため空気の膨張率が高くなっていくためと考えられる。

3.4 スラグユニット長

光波形データよりスラグのユニットの長さを算出することができる。算出方法は、Fig-11 におけるそれぞれの周期 T に対応した液相スラグ先端の移動速度 V_s をかけることにより長さを算出した。

$$\text{スラグユニット長 } \ell_u = V_s \times T$$

ここで、 V_s : スラグの平均流速

T : スラグ周期

この式で、スラグユニット長を算出することができる。

横軸に水流量 Q_w 、縦軸にユニットの長さ ℓ を示したものが Fig-12 に示した。これより、空気流量が少ない場合、水流量が増加するとユニットの長さが短くなっていることが分かる。これは、水流量が増加することでスラグ流が多く発生することが言える。また、実験で出た液相長の長さで計算で出した液相長がほぼ同じくらいの値が得られた。

4 まとめ

光透過量測定装置を用いたことで、気相液相部の判別ができ速度などが容易に算出可能となり、周期が求められることでスラグ流が発生しているのか確認ができた。また、空気流量が多いとき空気が膨張することによって

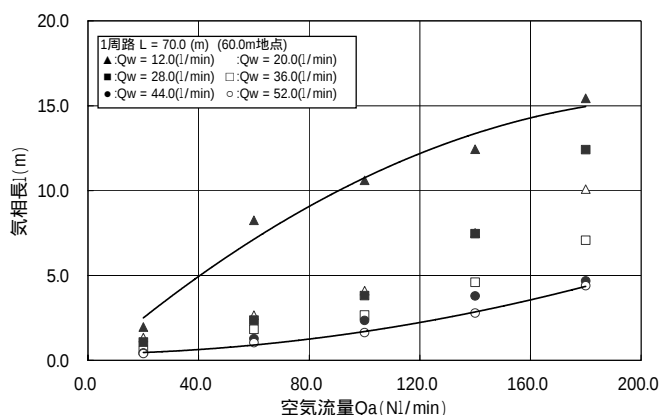


Fig-10 空気流量と気相長



Fig-11 スラグユニット

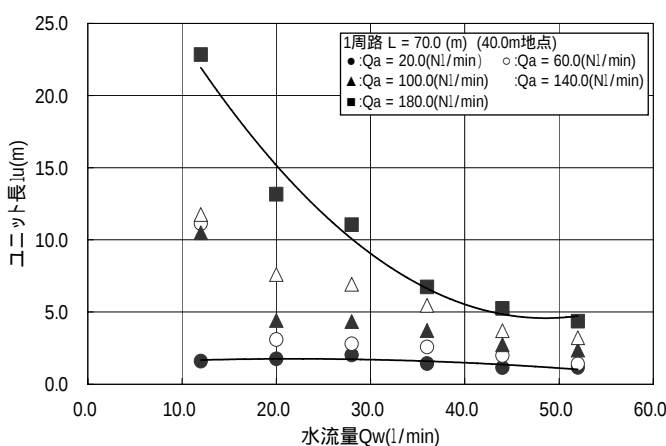


Fig-12 水流量とスラグユニット長

速度が増加していくことが確認できた。

参考文献

- 1) 日本機械学会編、気液二相流技術ハンドブック、pp1～83、1995 年
- 2) 山田泰正、小川元、落合実、遠藤茂勝、：気液管内流中の圧力損失と流況について、土木学会水工学論文集、Vol.50、2006 年
- 3) 山田泰正、濱田龍寿、小川元、落合実、遠藤茂勝：気液二相流における管内圧力低下に伴うスラグ流動について、土木学会海洋開発論文集、Vol.21.pp897-902、2005 年

