

PS-26 エアリフト方式での揚鉱に関する研究

海洋開発系 *高野 慧、正信 聡太郎、山本 譲司、金田 成雄、小野 正夫、笹川 広紀

1. はじめに

日本の排他的経済水域には多くの海底鉱物資源が賦存していることが知られているが、それらの資源を商業化した実績はまだない。一方、海底鉱物資源の海上への移送方法の1つとして、エアリフト方式による固気液三相流での移送は有益な手法と考えられている¹⁾。エアリフト方式での移送においては、浸水率や空気供給量と揚水量の関係が重要であると考えられる。そこで、著者らは浸水率や空気供給量と、揚水量の関係を実験的に調査し、三相流の評価のための基礎データを取得することを目的として、配管と模擬球を用いたエアリフト方式による固気液三相流の移送試験を実施した。ここでは、試験の概要と試験結果について説明する。

2. 三相流移送試験概要

2.1 試験装置

試験装置の模式図を図-1に示す。試験装置は内径26.2mmの透明塩ビ管、内径31.7mmの樹脂ホース、空気を供給するためのコンプレッサ、模擬球を供給するためのフィーダ、移送された模擬球を回収するための分離タンクで構成されている。本試験では、海底資源を模擬した固体として、直径4mm、密度 $2,553\text{kg/m}^3$ のガラスビーズ（以下、模擬球）を用いた。また移送流体には淡水を用いた。

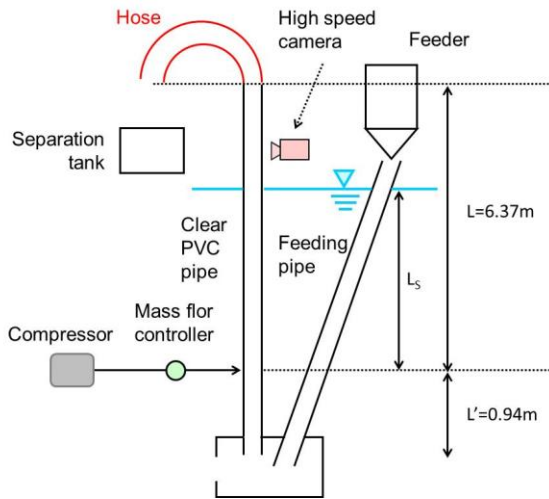


図-1 試験装置模式図

2.2 試験方法

はじめに、マスフローコントローラで設定した空気量を配管内に供給する。次に、流れが安定したことを確認した後、

フィーダから模擬球を投入した。移送された三相流は分離タンクへ吐出され、模擬球だけを回収し、回収した模擬球をフィーダへ戻した。三相流が安定したことを確認した後、小型円筒容器で三相流を回収し、水と模擬球の重量をそれぞれ計測した。また、フィーダにて模擬球の供給量を調整し、移送する模擬球の量を変化させた。

2.3 試験条件

本試験では、空気供給量を $12.7\sim 191.1\text{L/min}$ の範囲で変化させて試験を実施した。また、試験装置を設置した水槽の水位を変更することにより、 $0.55, 0.64, 0.74$ の3種類の浸水率($\sigma=L_s/L$)で試験を実施した。

3. 試験結果

3.1 気液二相流

気液二相流を移送したケースの水流束の計測結果を図-2に示す。図中の横軸はマスフローコントローラで制御した供給空気流量から算出した空気流速 j_g を、縦軸は小型円筒容器で回収した水量と回収時間から算出した水流束 j_s を表す。空気流速の増加とともに、水流束が増加する傾向が確認できるが、ある値を超過すると、水流束は減少へと転じる。これは、空気流速の増加による水流束の増加より、摩擦による損失分が大きくなるためである²⁾。

また、浸水率が大きいくほど、水流束が大きくなる傾向が確認できた。これは既存の文献で報告されている傾向³⁾と一致する。

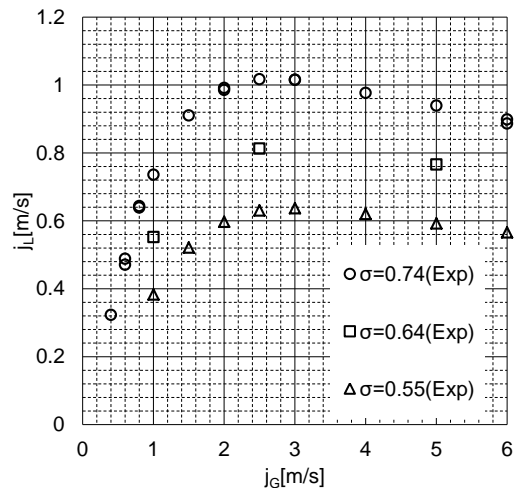


図-2 水流束計測結果（気液二相流）

次に、代表的な流動様式に関する模式図を図-3に示す。水量との関係もあるが、一般的には図の右側ほど空気量が大き

い。気液二相流の流動様式を観察するために、本試験では、高速度カメラを用いて気液二相流の撮影を行った。高速度カメラで撮影した画像の一部を図-4及び図-5に示す。本試験では、ほとんどのケースでスラグ流とチャン流のどちらかであることが確認できた。

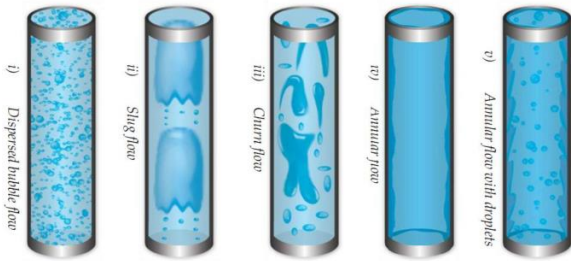


図-3 流動様式模式図

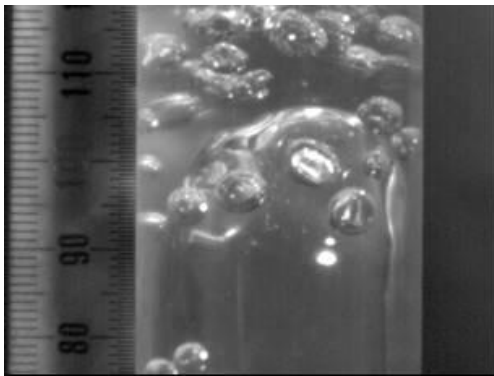


図-4 スラグ流 ($\sigma=0.55$, $j_G=31.9$ [L/min])

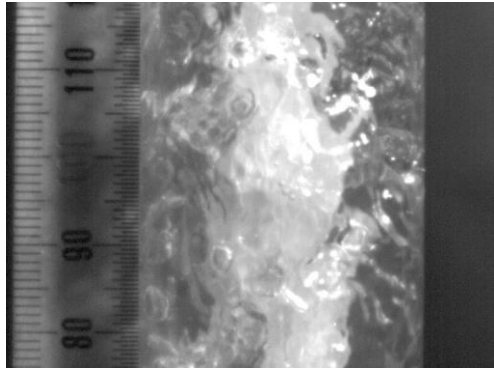


図-5 チャン流 ($\sigma=0.55$, $j_G=159.3$ [L/min])

3. 2 固気液三相流

固気液三相流を移送したケースの試験結果を図-6及び図-7に示す。図-6には、試験結果を、吐出濃度 C_T (固相流量を液相流量で除したもの) で分類して示している。気液二相流の場合と同様に、空気流速が増加するにつれて水流束が増加し、ある値を超えると減少するという傾向が確認でき、浸水率が大きいほど、水流束が大きくなる傾向も確認できた。また、吐出濃度が大きくなるほど水流束が減少する傾向が確認できた。これは、濃度が高いほど、模擬球を上昇させるのに必要なエネルギーが増加するためであると考えられる。

また、本試験において、固気液三相流を撮影したところ、ほとんどのケースで気液二相流と同じような流動様式が観

察された。

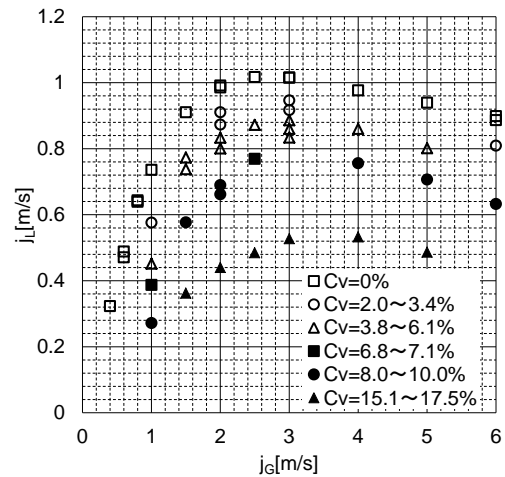


図-6 水流束計測結果 (固気液三相流、 $\sigma=0.74$)

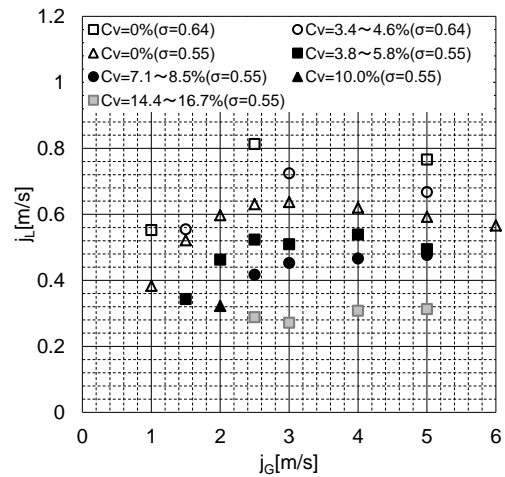


図-7 水流束計測結果 (固気液三相流)

4. まとめ

透明塩ビ配管、ガラスビーズを用いてエアリフト方式での固気液三相流の移送試験を実施した。浸水率が増加すると、水流束が増加する傾向が確認された。また、吐出濃度が増加すると、水流束が減少する傾向が確認された。今後は圧力損失や体積率を計測するとともに、鉛直管だけでなく、傾斜管を対象とした試験も実施し、鉛直管・傾斜管における圧力損失や体積率を推定するモデル式を構築していきたい。

参考文献

- 1) Claire Beauchesne et al : State of the Art of 1D Steady State Flow Assurance Models for Deepsea Mining Production System Using Air-Lift Pumping, OTC2015, 2015.
- 2) スラリー輸送研究会 : スラリー・カプセル輸送技術要覧, 開発問題研究所, 1984.
- 3) 吉永俊雄他 : エアリフトポンプの揚固特性, 混相流, 4巻, 3号, 1990.