

PS-34 海底鉱物資源開発のためのスラリー移送による配管摩耗

海洋開発系 * 高野 慧、小野 正夫、正信 聡太郎、高橋 一比古

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、海底鉱物資源を海上に移送し、生産するためには解決しなければならない技術的な課題が多い。その課題の中の1つにスラリー移送による揚鉱管の摩耗量評価に関する技術が挙げられる。揚鉱管の摩耗量は揚鉱システムの設計・運用時の重要な指標となるため、それを評価する技術が必要である。海底鉱物資源を海上に移送する際はスラリー状で移送することが想定されており、そのときの揚鉱管の内径は12インチ程度、鉱石の最大粒径は50mm程度になることも予想されているが、このような細い管を用いて最大50mm程度の大粒径粒子をスラリー移送する場合の配管摩耗に関する知見は少ない。このような背景を踏まえ、著者らは海底鉱物資源を海上にスラリー移送する際の揚鉱管の摩耗量評価に関する研究を行ってきた。本稿では著者らが実施してきた摩耗量評価のための試験概要及びその結果を紹介する。

2. 循環式摩耗試験

揚鉱管の摩耗量評価のための基礎データを取得するために、3種類の配管摩耗試験を実施した。

2.1 基礎データの取得試験（試験 No. 1）

配管材質や配管姿勢が摩耗特性に及ぼす影響を評価するための基礎データを取得することを目的として、スラリー循環式の配管摩耗試験を行った。試験装置を図-1に示す。摩耗量を計測する対象区間として、水平、鉛直、傾斜部を設けた。これは、揚鉱システムが、鉛直だけでなく、水平や傾斜した管を有すると想定されるためである。配管内面の材質の違いによる摩耗量の差異を評価するために摩耗量計測配管として3種類の内面材質を用意した。1つはSUS304であり、残りの2つは低密度ポリエチレン、スチレンブタジエンゴム（耐摩耗ゴム）である。2つの樹脂材は鋼管にライニングして試験に供した。また配管内径は80Aで、用いた模擬鉱石は流紋岩砕石5号（10-20mm）、移送流体は淡水とした。

2.2 配管傾斜角の影響評価試験（試験 No. 2）

前述の試験 No. 1と同様の配管径、模擬鉱石を用いて、配管の傾斜角が摩耗量に及ぼす影響を評価することを目的とした試験を実施した。配管内面材質は3種類用意した。1つはSUS304で、残りの2つはポリウレタ樹脂、セメントとセラミックボールを混ぜ

たものである。図-2に試験装置の全体図を示す。

2.3 模擬鉱石劣化の影響評価試験（試験 No. 3）

試験 No. 1 及び No. 2 は模擬鉱石を循環させる循環式の試験であり、その循環時間は2~4時間であった。模擬鉱石を循環させた結果として、試験後に模擬鉱石の角がとれたり、粒径が小さくなる現象が確認された。しかし実際の揚鉱の際、鉱石の移送時間が2~4時間となることは考えにくく、もっと短時間であると想定される。2~4時間循環させた場合の劣化した模擬鉱石を用いて得られた試験結果では安全側の評価ができないと考えられることから、循環させることによる模擬鉱石の劣化が配管摩耗に及ぼす影響を評価するための試験を実施した。なお、配管径及び模擬鉱石は試験 No. 1 及び No. 2 と同様であり、内面材質はSUS304を用いた。試験装置図を図-3に示す。

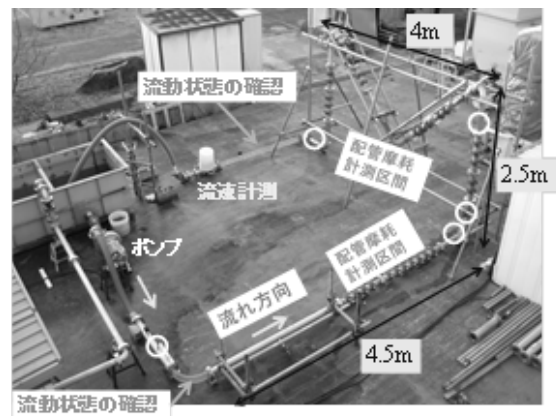


図-1 試験装置全体図（試験 No. 1）

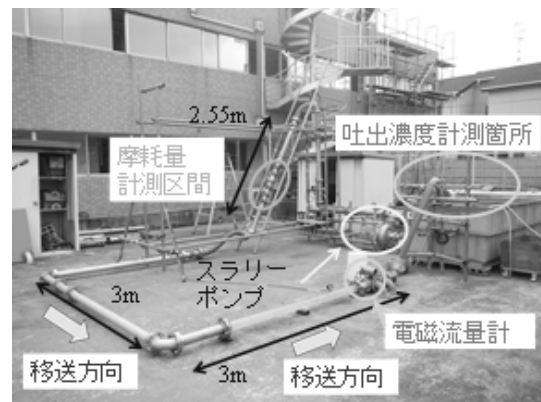


図-2 試験装置全体図（試験 No. 2）

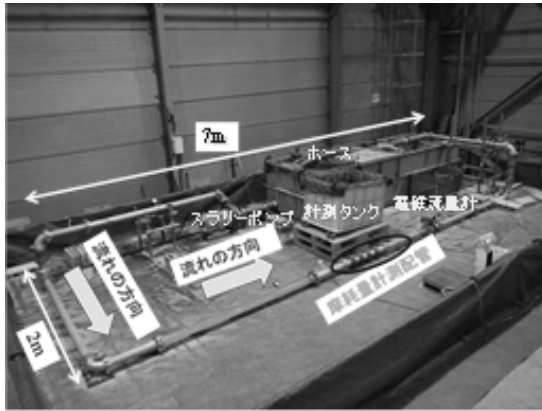


図-3 試験装置全体図 (試験 No. 3)

3. 試験結果

3. 1 基礎データの取得 (試験 No. 1)

摩耗量の結果を図-4 に示す。電子天秤 (最小表示 0.01g) を用いて試験前後の摩耗量計測配管の重量を計測して摩耗重量を算出し、材質の密度の違いによる影響を除くために体積に換算して摩耗量を評価した。SUS304 とポリエチレンライニング、ゴムライニングで摩耗量に顕著な差異が確認され、SUS304 の摩耗量が最も小さく、ゴムライニングの摩耗量が最も大きくなった。耐摩耗性ゴムは押しこむような摩耗 (変形摩耗) には耐性があるが、管内のスラリー移送時のような浅い衝突角度で衝突する場合は、削り取るような摩耗 (切削摩耗) が支配的であると考えられ、切削摩耗への耐性が小さいのではないかと推測される。また傾斜下降管の摩耗量が最も大きい傾向が確認された。

3. 2 配管傾斜角の影響評価 (試験 No. 2)

試験 No. 1 と同様の方法で摩耗量計測配管の摩耗量を計測した。摩耗量の計測結果を図-5 に示す。図中のライニング 1 はポリウレタ樹脂、ライニング 2 はセメントとセラミックボールを混ぜたものをそれぞれ表している。この結果より、本試験で実施した傾斜角の中では 30 度のときに摩耗量が最大という結果が得られた。海底ではフレキシブルホースを用いることが想定され、ホースの形状に留意する必要があると考えられる。

3. 3 模擬鉱石劣化の影響評価 (試験 No. 3)

試験 No. 1 及び No. 2 と同様の方法で摩耗量計測配管の摩耗量を評価した。試験結果を図-6 に示す。模擬鉱石の循環時間が長くなるにつれて摩耗率が減少している傾向が確認できる。試験結果を基に外挿することで、劣化していない場合の摩耗率を推定できる。実際の揚鉱管の摩耗量を評価するために、実機スケールの試験を循環式で実施する場合、模擬鉱石の劣化が摩耗率に及ぼす影響を評価する必要があると考えられる。

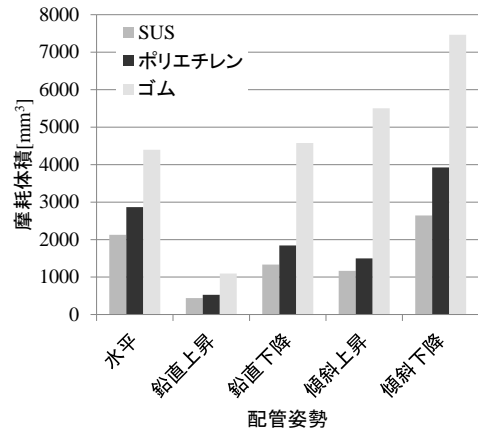


図-4 摩耗量計測結果

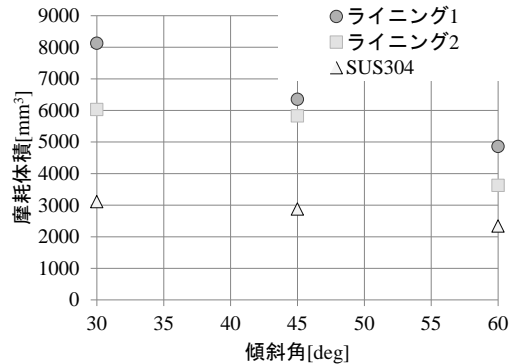


図-5 傾斜角と摩耗量の関係

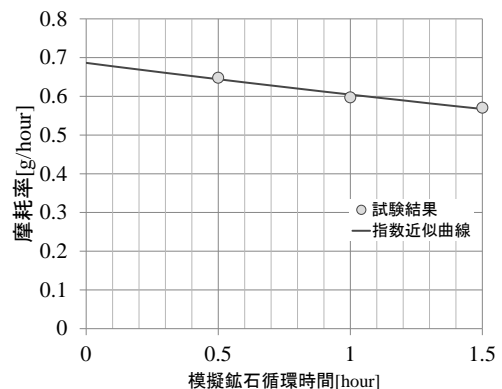


図-6 循環時間と摩耗率の関係

4. まとめと今後の課題

海底鉱物資源を生産する際の揚鉱管の摩耗量を評価するためのデータを取得することを主目的として、循環式摩耗試験を行ってきた。摩耗試験を行った結果、材質によって摩耗量に顕著な差異があることがわかった。また配管姿勢が摩耗量に影響を及ぼすことが確認できた。模擬鉱石の循環時間が長くなるにつれて摩耗率が小さくなることがわかった。

実際の採鉱・揚鉱システムでは海底におけるフレキシブルホースの使用が想定されるため、ホースの耐摩耗性評価および向上も今後の重要な課題である。