

平成 29 年 6 月 17 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26820383

研究課題名（和文）大粒径粒子のスラリー移送による管内摩耗量評価手法構築に関する研究

研究課題名（英文）Evaluation method of the pipe wear due to large particle slurry transport

研究代表者

高野 慧（Takano, Satoru）

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・その他部局等・研究員

研究者番号：90636820

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：日本の排他的経済水域には海底鉱物資源が賦存していることが知られている。本研究では、海底鉱物資源を開発する場合の課題の一つであると考えられる、鉱物を海水と混合したスラリー状で移送した場合の配管摩耗に着目し、当該摩耗量の評価手法について検討した。実験を通じて、大粒径粒子の衝突による摩耗を表現する摩耗モデルを構築し、数値計算結果と組み合わせることで、摩耗量を推定した。そして推定結果と大粒径粒子を用いたスラリー移送による配管摩耗試験結果を比較し、本手法が有効である可能性が示唆される結果を得た。

研究成果の概要（英文）：Subsea minerals exist in the deep water within Japanese exclusive economic zone. Since the pipe wear due to large particle slurry flow is one of significant technical issues in subsea minerals production, we studied the evaluation method of pipe wear due to large particle slurry flow.

We proposed the model based on a the experiments for predicting the wear due to large particle collisions. Then we estimated the wear volume based on the model and numerical computing of slurry flow. The evaluation method may be valid with comparing the estimation results to results of pipe wear experiments due to large particle slurry flow.

研究分野：船舶海洋工学

キーワード：スラリー 配管 摩耗 大粒径 海底鉱物資源

1. 研究開始当初の背景

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。それらの海底鉱物資源を開発するためのシステムの一部である揚鉱システムにおいては、水と鉱石を混合したスラリーを、揚鉱管を通して海上まで移送する方式が有望であると考えられている。しかし、継続的に海底の鉱石を移送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。その中の1つに鉱石を移送する際の揚鉱管の摩耗量評価が挙げられる。海底鉱物資源をスラリー移送する場合、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程度の大粒径の粒子を移送する場合の配管の摩耗に関する知見はほとんどない。しかし、揚鉱管の摩耗量評価は揚鉱システム的设计・運用時の重要な指標となるため重要である。

2. 研究の目的

本研究では、管内の摩耗量を評価するために、次の2点に着目した。

(1) 大粒径粒子の衝突による摩耗特性

小粒径粒子の衝突による摩耗量推定に関する過去の研究事例を参考に、大粒径粒子が衝突する場合の摩耗特性を把握する。粒子の衝突による摩耗は、切削摩耗と変形摩耗に分けることができ、これらの合計が全摩耗となる。そこで大粒径粒子が衝突する場合、全摩耗における切削摩耗と変形摩耗の寄与率を明らかにする。また衝突速度が摩耗量に大きな影響を及ぼすことが知られているが、大粒径粒子の衝突による摩耗においては、摩耗量と衝突速度の関係は明らかとなっておらず、これを明らかにする。

(2) 揚鉱管の管内摩耗量の評価手法の構築

前述の摩耗特性を基に、大粒径粒子のスラリー移送による揚鉱管の管内摩耗量の評価手法を構築する。摩耗特性と、管内の大粒径粒子のスラリー移送を表現した数値計算結果を組み合わせることで、摩耗量を推定し管内摩耗量を評価する。そして当該結果の妥当性を、スラリー循環式の配管摩耗試験を通して検証する。大粒径粒子のスラリー移送による管内摩耗量評価手法はこれまでになく、本研究で評価手法を構築する。

3. 研究の方法

(1) 落下衝撃試験

大粒径粒子の衝突による摩耗特性を把握することを目的とした落下衝撃試験を実施した。試験装置の全体図を図1に示す。ホッパー部分に模擬鉱石を投入し、それらの模擬鉱石がコンベアで上方まで運ばれた後、誘導管を通過して自由落下し、下にある供試体に衝突するという装置である。供試体を取り付ける傾斜台を変更することで模擬鉱石が供

試体へ衝突する角度を変更することができる。また、傾斜台の高さを変更することで、衝突速度を変更することが可能となっている。傾斜台を図2に示す。

本試験では、供試体としてSUS304の板材を用いた。また、粒径の違いが摩耗量に及ぼす影響を評価するために、模擬鉱石として単粒度砕石3号(40mm)、5号(20mm)、6号(10mm)の3種類を用いた。

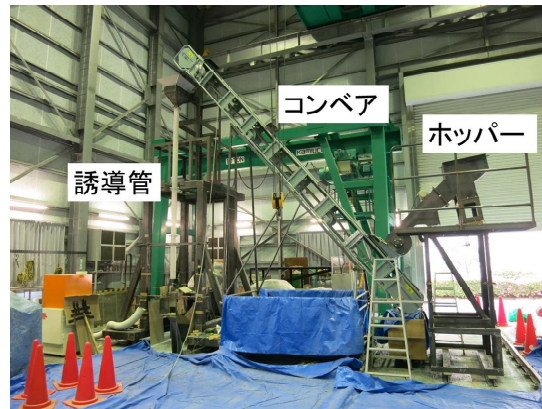


図1 落下衝撃試験装置



図2 傾斜台

(2) 摩耗量評価手法の構築

前述の落下衝撃試験結果から得られた摩耗モデルとスラリー流を表現した数値計算による粒子の配管壁への衝突情報(衝突速度、衝突角度等)を組合せて、摩耗量の推定を試みた。数値計算では、計算負荷等を鑑み、粒子間の衝突は考慮しない計算を実施し、管壁への衝突情報を取得した。なお数値計算は、後述の配管摩耗試験と同じ条件で実施した。

(3) 配管摩耗試験

大粒径粒子を用いたスラリー循環式の配管摩耗試験を実施し、摩耗量推定結果の検証のためのデータを取得した。試験装置の全体図を図3に示す。本試験では、模擬鉱石として単粒度砕石5号を用いた。当該模擬鉱石は前述の落下衝撃試験で用いた模擬鉱石と同じ産地・粒径の砕石である。使用した模擬鉱石を図4に示す。また、配管径は80Aとし、摩耗量を計測する配管の材質は前述の落下衝撃試験で供試体として用いた材質と同様のSUS304とした。また、模擬鉱石が管壁へ衝突の様子を高速度カメラで撮影し、衝突情報の参考とした。本試験では、スラリー流速を試験パラメータとして試験を実施した。模擬鉱石の投入量は試験装置の配管全長と、目標とする濃度を基に決定した。

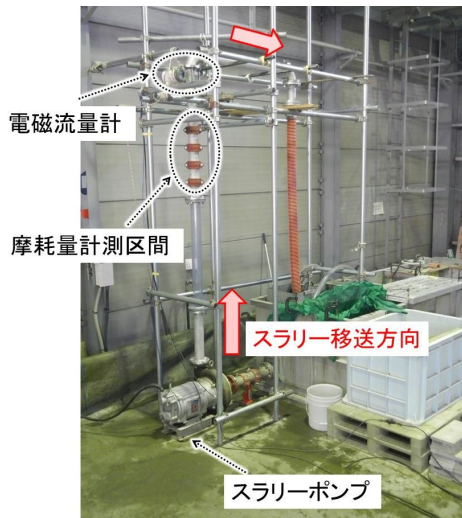


図3 試験装置



図4 模擬鉱石

4. 研究成果

(1) 落下衝撃試験

過去の研究事例を参考に、摩耗モデル式を構築した。本モデル式は全体の摩耗量が、粒子が対象物に押し込まれることによる摩耗と粒子に対象物が削り取られることによる摩耗の和で表されるものである。また、本試験結果から、摩耗量は粒子の衝突速度の2.2乗に比例するという結果が得られたため、モデル式では、摩耗量は粒子の衝突速度の2.2乗に比例するとした。モデル式と試験結果を比較した結果を図5に示す。なお、モデル式中の定数は、試験結果に一致するように定めた。

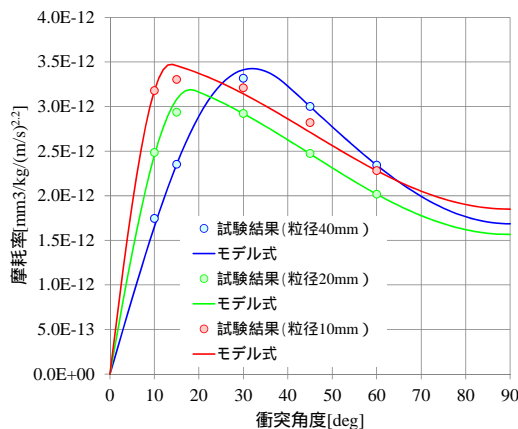


図5 モデル式と試験結果の比較

この結果から、本モデル式で摩耗量を表現できることがわかった。また、粒径が小さいほど、衝突角度が小さいところで摩耗量が卓越しており、切削摩耗が支配的であると考えられる。

(2) 摩耗量評価手法の構築

数値計算結果から得られた粒子の管壁への衝突角度と、管断面における粒子速度の平均値及び構築した摩耗モデルを組合せて摩耗量を推定した。数値計算では、流速は前述の配管摩耗試験における流速と同等の流速を与え、濃度については、配管摩耗試験における平均濃度を与えた。計算結果の例として、衝突角度の分布を図6に示す。

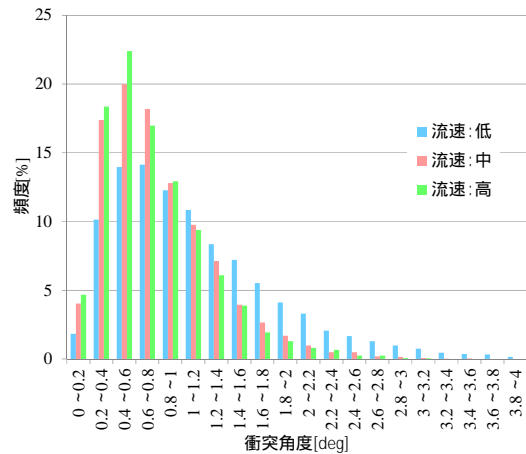


図6 衝突角度頻度分布

(3) 配管摩耗試験

本試験では、摩耗量計測配管の試験前後の重量と板厚を、重量計と超音波板厚計を用いてそれぞれ計測し、重量減少量と板厚減少量から摩耗量を評価した。板厚は円周方向について、8箇所計測した。本試験では流速をパラメータとしており、流速と摩耗量の関係を図7に示す。また、図7には速度の2.2乗の曲線も示しており、摩耗量が流速の2.2乗に比例していることを確認した。板厚計測結果の例を図8に示す。円周方向に均一に板厚が減少していることが確認できた。これは、鉛直管ではスラリー中の模擬鉱石が円周方向に均一に衝突するためであると考えられる。また、重量減少量を板厚減少量に換算し、実測した板厚減少量と比較した結果を図9に示す。なお、重量減少量を板厚減少量に換算する際、板厚は円周方向に対して均一に減少するとした。板厚減少量が小さいところでは、両者に少し差異があるが、概ね一致しており、板厚が正しく計測できていることが確認できた。

高速度カメラを用いた撮影では、模擬鉱石の軌跡を撮影するため、模擬鉱石を2、3個移送した状態で撮影を実施した。なお、衝突情報の参考とするために、高速度カメラによる撮影を行う際は、摩耗量計測区間を透明配管に交換し、当該箇所を撮影した。撮影した

結果例を図 10 に示す。

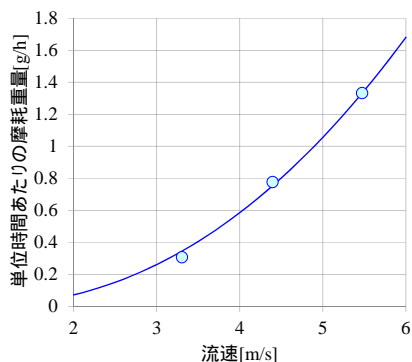


図 7 流速と摩耗量の関係

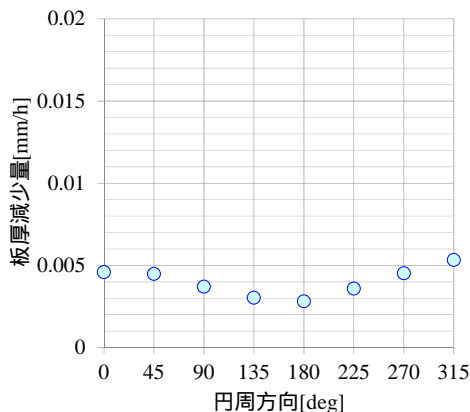


図 8 板厚減少量

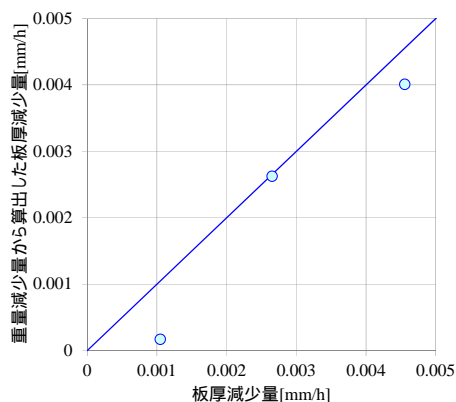


図 9 板厚減少量への換算結果

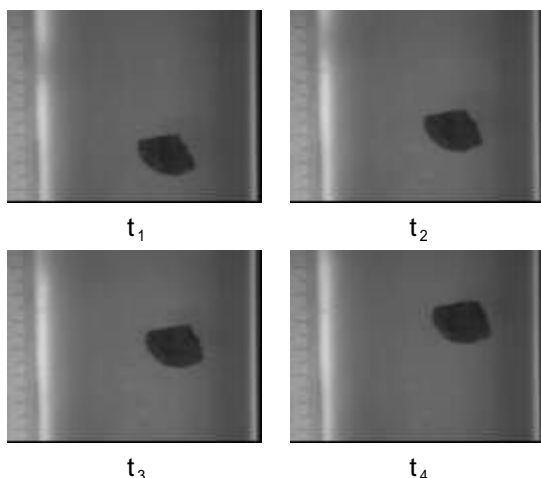


図 10 高速度カメラでの撮影例

本試験結果から求まる摩耗量と(2)で推定した摩耗量を比較した結果を表 1 に示す。

表 1 摩耗量比較結果

流速	試験結果	推定結果	試験結果/ 推定結果
低	2.6×10^{-7}	1.0×10^{-8}	25
中	6.5×10^{-7}	1.9×10^{-8}	35
高	1.1×10^{-6}	3.7×10^{-8}	31

表 1 より、両者の絶対値自体には乖離がみられるが、試験結果と推定結果の比は概ね一定となっており、定性的には良い傾向を示していると考えられる。値に乖離がみられる原因として、数値計算では粒子の衝突を顧慮しておらず、粒子の衝突情報に差異があることや、循環式摩耗試験で、試験装置の構成上、吐出濃度を計測することが難しかったことから、数値計算時に与えているスラリー濃度が実験と乖離している可能性があること等が考えられる。

以上の結果から、本手法で摩耗量が推定できる可能性があることが示唆されたが、摩耗量の絶対値としては乖離があるため、今後は、粒子の衝突情報を高精度に取得する手法の検討が望まれる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 1 件)

高野慧、小野正夫、正信聡太郎、大粒径粒子の衝突による摩耗モデル構築に関する実験的研究、日本船舶海洋工学会、平成 27 年 11 月 16 日、東京

〔その他〕

(1) 所属機関ホームページ
<https://www.nmri.go.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高野 慧 (TAKANO Satoru)

国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術
 研究所 その他部局等 研究員

研究者番号：90636820