

# PS-27 海底鉱物資源開発に用いる移送管の動的挙動に対する内部流れの影響に関する研究

海洋開発系 \*山本 マルシオ、藤原 智、金田 成雄、小野 正夫、高野 慧、山本 譲司、正信 聡太郎

## 1. はじめに

本研究では、掘削ユニットと水中スラリーポンプをつなぐ海底熱水鉱床を揚収するための移送管を対象とする(図-1)。このような線状構造物の設計には、石油産業でライザーシステムの設計に使用されてきた工学的手法が適用できる。しかし、熱水鉱床のような鉱物を海水と混じったスラリーとして輸送する場合、移送管内部の固液二相流の比重、流速、圧力などの変動が予想される。そこで、内部流の変動が移送管に及ぼす影響を実験的に調べたので、その結果について報告する。

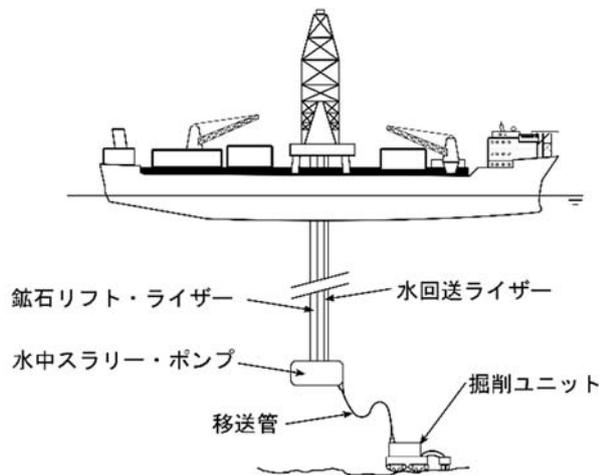


図-1 海底鉱物資源開発用システムの模式図

## 2. 実験設備

実験は当所の深海水槽で行った。図-2に実験装置の模式図を示す。移送管模型の上流端「End A」を水深10mの位置に固定して、その上流にスラリーポンプを設置した。図中のポンプ横の矢印は内部流の方向を示している。

流量が時間変動する内部流を発生させるため、インバータを用いて、ポンプのモーターの回転速度を制御した。

移送管模型の挙動は、3次元画像計測システムで測定した。また、模型内部の圧力損失及び流速も測定した。さらに、模型の両端にロードセルを設置して、模型両端に作用する荷重を測定した。

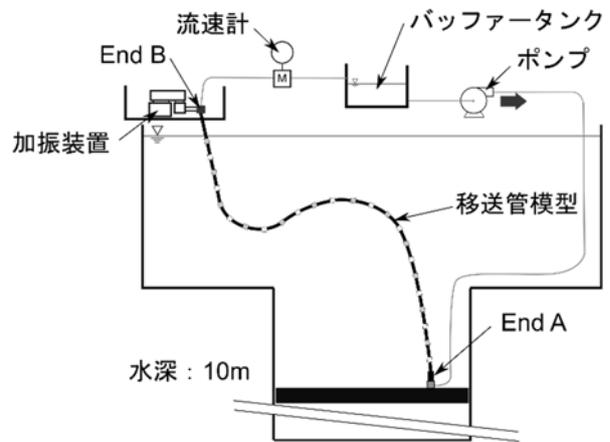


図-2 実験装置の模式図

### 2.1 移送管模型

表-1に、移送管の想定実機及び縮尺模型の主な特性の比較を示す。相似条件として、フルード数及びコーシー数を考慮した<sup>1)</sup>。ただし、曲げ剛性及び軸剛性については若干の目標値との乖離が見られるが、オーダーは合っているため縮尺模型としての機能は果たすことが出来る。

表-1 想定実機と模型の関係

	想定実機	1/5 縮尺比	
		目標	実測
外径 [m]	0.254	0.0508	0.050
内径 [m]	0.203	0.0406	0.038
長さ [m]	85	17	17
曲げ剛性 [Nm <sup>2</sup> ]	3.85E+2	0.123	0.6
軸剛性 [N]	4.12E+5	3.3E+3	8.0E+3
線重量[kg/m]	26.80	1.07	1.17

図-3に移送管模型の詳細を示す。メインパイプは3つの層(内側から、シリコンチューブ、金属網、ビニル被覆)で構成される。Steep-wave形状を再現するため、模型に沿って取り付けられた15個の浮力体を設置した。

## 3. 実験結果

実験は、外部流れ、波、上端揺動のない状態とし、内部流の条件のみを変更した。

内部流の平均流速を3.25m/sとして、3種類の脈動流(脈動振幅0.45m/sの1ケース;脈動周波数0.224Hz, 0.373Hz, 0.447Hzの3ケース)の条件で実験を行った。なお、各脈動周波数で2回計測を行った。

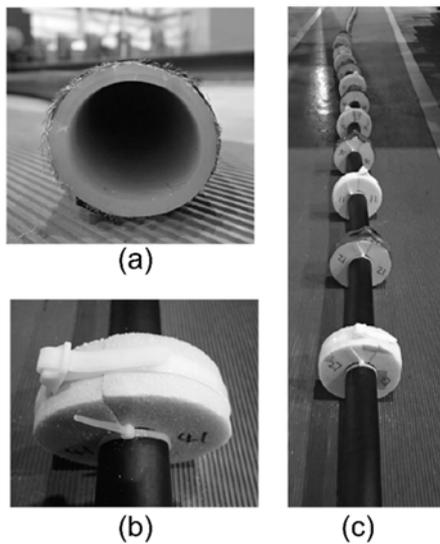


図-3 移送管模型

(a) 模型断面 (内側からシリコンチューブ, 金属網, ビニル被覆), (b) 浮力体, (c) 模型全体

実験開始時は, 模型を静止状態にしておき, その後, 脈動する内部流を起こした. 脈動流により, 移送管模型の振動が確認された. 図-4に, 脈動周波数 0.224Hz のときの移送管模型の水平方向挙動を示す. 図中の丸印は, 模型の振動の中央位置を示している. 赤い矢印については, 矢印の長さが水平方向変位の振幅, 矢印の向きが位相を示している (向きが相対する二つのマーカは位相が 180deg ずれていることを表している). 本実験で行った 3 種類の脈動周波数の中で, 0.224Hz のケースで水平方向挙動の最大振幅が発生した.

図-5に, 移送管模型内部の圧力損失の平均成分, 変動成分を示す. 周波数が高くなるにしたがって, 圧力損失の変動量が大きくなっていることがわかる.

#### 4. まとめ

本研究で, 縮尺移送管模型を用いて, 脈動する内部流が移送管の挙動に与える影響を調査した. 内部流の脈動により, 脈動周波数と同じ周波数で模型が振動することが観察された. また, 実験した 3 種類の脈動周波数の中では 0.224Hz のときに, 移送管模型の水平方向挙動の振幅が最大となった.

実機では, 内部流は脈動することが予想される. そのため, 移送管の動的挙動に対する内部流の影響を理解することが必要である. 本研究で得られた知見は, 移送管やコネクタ等の設計及び疲労解析に利用できると考える.

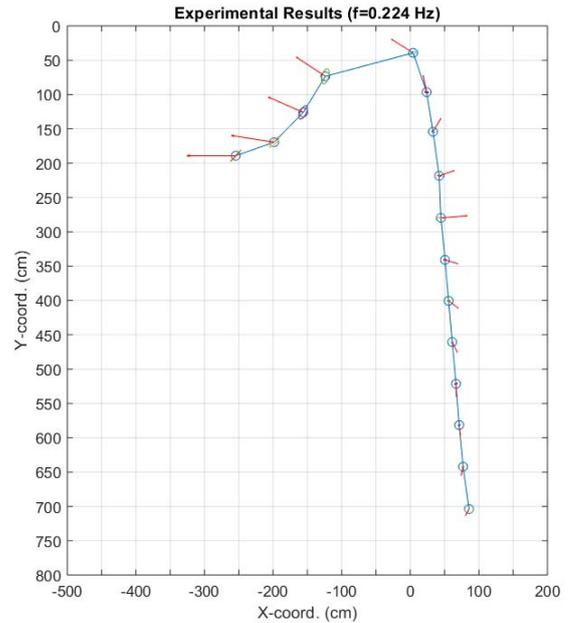


図-4 移送管模型の水平方向挙動の計測結果例

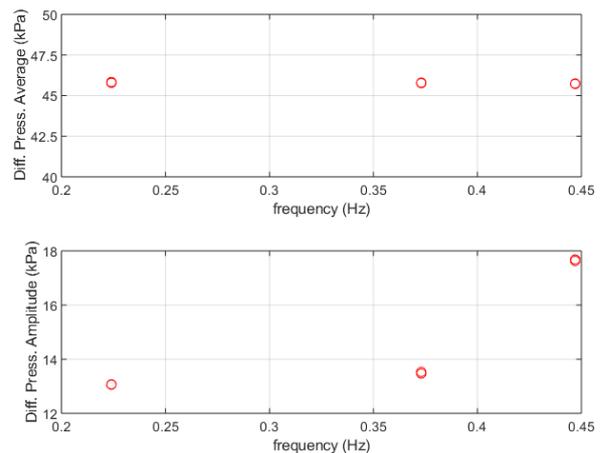


図-5 圧力損失の計測結果例

#### 参考文献

- 1) Chakrabarti, S. K. "Offshore Structure Modelling", Singapore: World Scientific Publishing, 1994.
- 2) Yamamoto, M. *et al.* "Experimental Analysis of Reduced-Scale Jumper for Deep-Sea Mining", Proc. 38<sup>th</sup> International Conference on Ocean, Offshore & Arctic Engineering, Glasgow, OMAE2019-95990, 2019.