

PS-23 水中線状構造物の流体力に関する研究

海洋開発系 * 石田 圭, 齊藤 昌勝

1. はじめに

海底油ガス田開発に用いられる係留浮体を対象とした動揺シミュレーションの中で、係留索として使用されるチェーンやワイヤーなどの水中線状構造物に作用する動的張力が正確に評価されなければ、浮体の動揺に対する推定結果に誤差が生じる。要因の一つとして、評価対象となる実機スケールの水中線状構造物に作用する流体力を正確に把握できていないという点が考えられる。本研究では、実機スケールの水中線状構造物の流体力特性を正確に把握するため、一般的に水槽試験で使用される模型サイズから実機と同程度のサイズまでのスケール模型を用いて、流体力特性に対するスケール影響を明らかにするための水槽試験を実施した。本稿では、その方法及び結果について述べる。

2. 試験方法

試験は、当所の所有する海洋構造物試験水槽（44.5×27.1×水深 1m）で実施した。対象とした水中線状構造物の要素模型（チェーン型及び円柱型）の写真と要目を図-1及び表-1に示す。本模型は、セミサブリグでよく用いられる実機線径84mm¹⁾を想定した縮尺模型である。

本試験は、強制動揺装置に検力計を取り付け、検力面に模型固定治具を接続し、模型長手方向に対して直角方向に水平規則加振を行った。試験セッティングを図-2に示す。模型はワイヤー及びターンバックルを用いて治具に対して水平に固定した。また水面影響を極力少なくするため、模型中心を水面から400mmの位置に配置した。試験条件を表-2に示す。加振周期は実海域で発生頻度が高い波周期5~15secより設定し、加振振幅は試験装置の上限値（180mm）及び振幅影響を確認するために3種類とした。本来であれば、付加質量や減衰係数に及ぼす模型端部の影響を把握するために、模型の長さをパラメータとした感度解析を行うべきだが、今回は検力計の容量による制限のため、模型長さ一定で実施した。



図-1 要素模型

表-1 模型要目

Type	Chain				Cylinder				
	No	1	2	3	4	1	2	3	4
Scale	1/1.39	1/2.63	1/3.36	1/7	1/1.4	1/2.63	1/3.36	1/7	
Diameter [mm]	60.5	32	25	12	60	32	25	12	
Link width	3.35*diameter				-				
Link length	6*diameter				-				
Number of links	4	8	10	21	-				
Length [mm]	1089	1088	1050	1032	1000				
Weight [kg]	8.82	2.61	1.56	0.36	2.83	0.8	0.45	0.11	

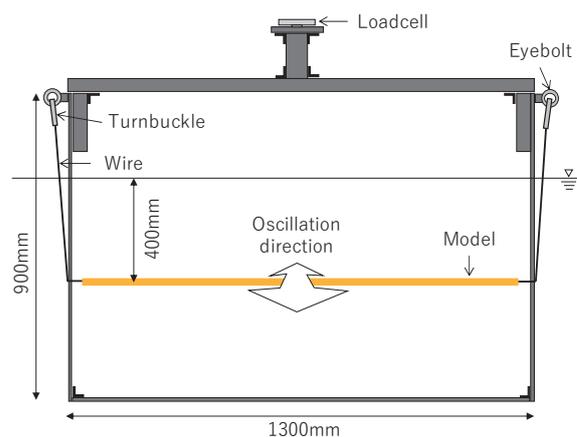


図-2 試験セッティング

表-2 試験条件

No	1	2	3	4	Amplitude [mm]
Period [sec]	4.24	3.09	2.73	1.89	± 180, ± 120, ± 60
	5.09	3.70	3.27	2.27	
	5.94	4.32	3.82	2.65	
	7.64	5.56	4.91	3.40	
	9.34	6.79	6.00	4.16	
	11.03	8.02	7.09	4.91	
	12.73	9.26	8.18	5.67	

本試験で計測される検力計の荷重には、治具に作用する流体力も同時に含まれるため、空状態（模型無し）での荷重を差し引いて解析を行った。

3. 解析方法及び試験結果

解析方法については、これまでに著者らが用いた手法²⁾を採用し、(3.1)式より模型両端に作用する単位加振振幅あたりの加振力の振幅F、模型の付加質量 m_a 、減衰係数Nを算出した。

$$m_a = \frac{F}{\omega^2 \sqrt{\tan^2 \alpha + 1}} - M, \quad N = \sqrt{\frac{F^2}{\omega^2} - (M + m_a)^2 \omega^2} \quad (3.1)$$

ここで、 ω は角周波数、Mは模型質量、 α は加振力と変位の位相差である。上式より算出した付加質量 m_a 及び減衰係数Nについての一例を図-3から図-6に示す。本稿では、加振振

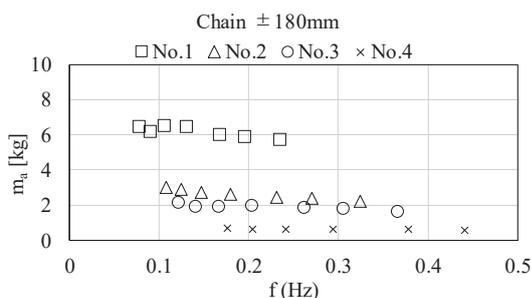


図-3 チェーン型模型の付加質量

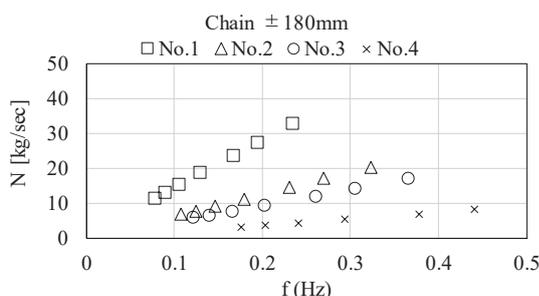


図-4 チェーン型模型の減衰係数

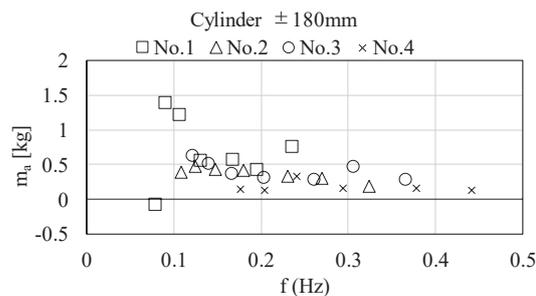


図-5 円柱型模型の付加質量

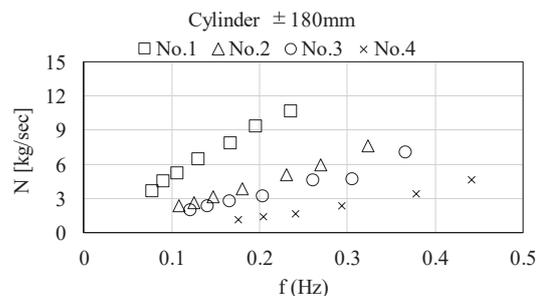


図-6 円柱型模型の減衰係数

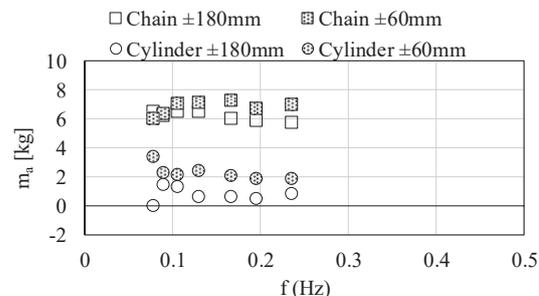


図-7 付加質量に対する振幅影響

幅±180mm の場合の付加質量及び減衰係数へのスケール影響について述べる。各図の縦軸は付加質量及び減衰係数、横軸は加振周波数を表す。

チェーン型模型の付加質量(図-3)は、加振周波数による変化は少ないが、スケールが大きくなるに従い、付加質量が増加する傾向が確認できる。減衰係数(図-4)に関しては、加振周波数の増加に伴い、ほぼ線形に大きくなっている。このことから、減衰係数は速度の二乗に比例する項として扱うことが可能であると考えられる。付加質量と同様にスケールが大きくなるにつれ、減衰係数も増加する傾向が確認できる。付加質量及び減衰係数は共に明確な傾向が出ており、計測データの妥当性が確認できる。

円柱型模型の付加質量(図-5)は、チェーン型と比較すると多少ばらつきはあるものの、加振周波数が高周波になるに従い、付加質量が減少する傾向が出ている。データの傾向が乱れている理由としては、チェーン型に比べて円柱型で計測される荷重自体が小さいということが考えられる。減衰係数

(図-6)に関しては、チェーン型と同様に加振周波数の増加に伴い、ほぼ線形に大きくなっているため、こちらも速度の二乗に比例する項として扱うことが可能であると考えられる。なお、円柱型模型 No. 1 の低周波数(0.079Hz)の計測データについては、計測誤差により値が乱れている。最後に、図-7 に最大径の模型に作用する付加質量に対する振幅影響を比較した結果を示す。KC 数影響を考慮すると、振幅の減少に応じて、付加質量は小さくなるはずだが、両模型共に若干大きくなる傾向にある。この結果については、さらなる検討が必要である。

4. まとめ

本研究では、スケールの異なる水中線状構造物の要素模

型を対象に水中強制加振試験を行い、各模型に作用する流体力の傾向を比較した。今後の展望としては、本試験の結果には付加質量及び減衰係数に及ぼす模型端部の影響が含まれていると考えられるため、模型の長さをパラメータとした感度解析を行うなど、スケール影響についてさらなる分析を行い、水中線状構造物に作用する流体力のデータベース作成に着手する。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 19K15232 の助成を受けたものです。関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) Odfler drilling HP : <https://www.odfjelldrilling.com/Business-Areas/Mobile-Offshore-Drilling-Units/Fleet-of-semis-drillships/>
- 2) 石田 他：係留ラインに作用する流体力の推定法に関する研究, 海上技術安全研究所研究発表会講演集, 第 18 巻(2018), pp. 248-249.
- 3) 元良誠三 他：船体と海洋構造物の運動学, 成山堂書店, (1992).