

PS-24 係留ラインに作用する流体力の推定法に関する研究

海洋開発系 * 石田 圭、齊藤 昌勝、佐藤 宏

1. はじめに

係留浮体を対象とした動揺シミュレーション、特に係留ラインに作用する動的張力の推定精度を向上させるためには、係留ラインの流体力を正確に把握することが重要である。本研究では、カタナリーチェーンの上端を加振した場合の試験とシミュレーションの比較を行うことを目的として、シミュレーションへの入力データとなるチェーンに作用する流体力を計測するため、チェーンの要素模型の直接強制加振試験を実施したので、その方法と結果について報告する。

2. 試験方法

試験は、海上・港湾・航空技術研究所の所有する海洋構造物試験水槽（44.5×27.1×2m）で実施した。対象とした係留ラインの要素模型（チェーン）の写真と要目を図-1 及び表-1 に示す。本模型は実機線径 84mm を想定した縮尺 1/10.5 のチェーンである。

試験は、強制動揺装置の駆動部先端に検力計を取り付け、検力面にチェーン固定治具を接続し、チェーン長手方向に対して直角方向に水平規則加振を行った。試験時のセッティング及び座標系を図-2 に示す。チェーンの両端にワイヤーを取り付け、水平になるように治具に固定した。また張力計及びターンバックルを用いて、張力調整を行った。水面の影響を極力少なくするため、チェーンは水面から 100mm の位置に配置した。

試験条件を表-2 に示す。流体力係数の振幅影響を確認するため、振幅は 3 条件とした。また本方法で計測される検力計の値には、治具に作用する流体力も同時に含まれるため、チェーンを外した状態での計測も実施した。



図-1 係留ライン要素模型

表-1 模型要目

	unit	model
Chain diameter	mm	8.0
Length	mm	590
Weight	kg	0.689

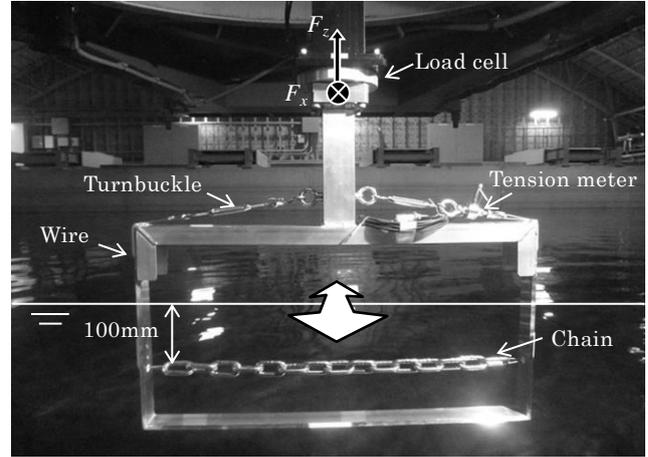


図-2 試験セッティング

表-2 試験条件

Period [sec]	Frequency [Hz]	Amplitude [m]
4.55	0.22	0.18
4.0	0.25	
3.45	0.29	
2.78	0.36	0.09
2.17	0.46	0.03
1.85	0.54	
1.45	0.65	

3. 解析方法及び試験結果

係留ラインを対象とした運動方程式は次式で与えられる。ここで、 f はチェーン両端に作用する外力（加振力）、 M はチェーン質量、 m_a はチェーンの付加質量、 x は加振変位、 N は減衰係数である。本試験において復原力は存在しない。

$$f = (M + m_a)\ddot{x} + N\dot{x} \quad (1)$$

次に x と f を (2) 式のようにモデル化する。ここで、 $x(t)$ 、 $f(t)$ はそれぞれ時々刻々の変位と加振力、 ω は角周波数 (rad/sec)、 t は時間 (sec) である。また f_1 は治具にチェーンを固定した状態、 f_2 は治具のみの状態とする。

$$\begin{aligned} x(t) &= A_x \cos \omega t + B_x \sin \omega t \\ f(t) &= f_1(t) - f_2(t) = A_f \cos \omega t + B_f \sin \omega t \\ f_1(t) &= A_{F1} \cos \omega t + B_{F1} \sin \omega t \\ f_2(t) &= A_{F2} \cos \omega t + B_{F2} \sin \omega t \end{aligned} \quad (2)$$

f_1 と f_2 の時系列の時間合わせを行い、 f_1 の時系列と f_2 の時系列の差を取ることで、チェーン両端に作用する加振力 f を求める。なお、 f は式 (1) に基づき、チェーンの慣性力、チェーンの付加質量、チェーンに作用する減衰力の和と釣り合っている。

次に A_X 、 B_X 、 A_F 、 B_F を用いて、(3) 式よりチェーン両端に作用する単位加振振幅あたりの加振力の振幅 F を求める。またチェーン質量 M 及び ω を用いて、(4) 式よりチェーンに作用する単位加振振幅あたりの慣性力 F_M を計算する。

$$F = \sqrt{\frac{A_F^2 + B_F^2}{A_X^2 + B_X^2}} \quad (3)$$

$$F_M = M\omega^2 \quad (4)$$

次に、(2) 式を (1) 式の運動方程式に代入し、付加質量 m_a 及び減衰係数 N を (5)、(6) 式のように算出する。ここで、 α は加振力と変位の位相差である。以上が解析の流れである。

$$m_a = \frac{F}{\omega^2 \sqrt{\tan^2 \alpha + 1}} - M \quad (5)$$

$$N = \sqrt{\frac{F^2}{\omega^2} - (M + m_a)^2 \omega^2} \quad (6)$$

以下に実際の解析結果を示す。(2) 式で表される治具にチェーンを固定した状態 f_1 の時系列データの一例 (試験条件: 振幅 0.18m, 周期 1.85sec) を図-3 に示す。計測データにはノイズが含まれており、それを除外する必要があるため、 A_X 、 B_X 、 A_F 、 B_F は計測値に最小二乗法を適用し、算出した。

(3) 式より算出した単位加振振幅あたりの加振力の振幅 F と (4) 式で計算した単位加振振幅あたりの慣性力 F_M の比較結果を図-4 に示す。なお、図-4 に用いた F は単位を N/m に変換している。 F には F_M に加えて、付加質量、減衰力が含まれており、図-4 より加振力の振幅が慣性力の振幅よりも大きいことから本試験結果が妥当であることを確認した。また F と F_M は高周波数になるにつれて、2 次関数的に値が増加しており、双方の傾向が良く一致していることから、取得データの妥当性が確認できる。

(5) 式、(6) 式より算出した付加質量 m_a 及び減衰係数 N を図-5、図-6 にそれぞれ示す。付加質量 m_a は高周波数になるに従い、小さくなる。減衰係数 N は周波数に対してほぼ線形になっていることから、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。また m_a 及び N のどちらも振幅影響が明確に見られるため、シミュレーションを行う際には適切なモデル

を使用する必要がある。

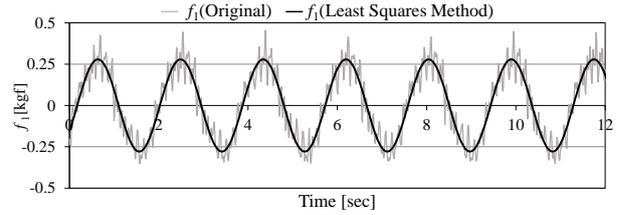


図-3 f_1 の時系列データ

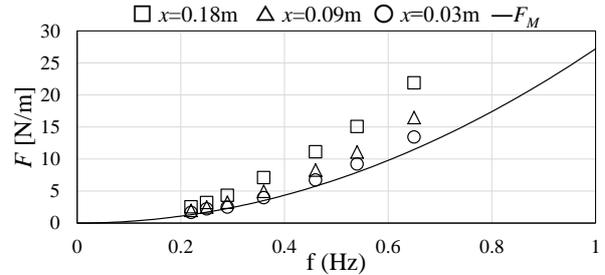


図-4 解析結果と計算値の比較

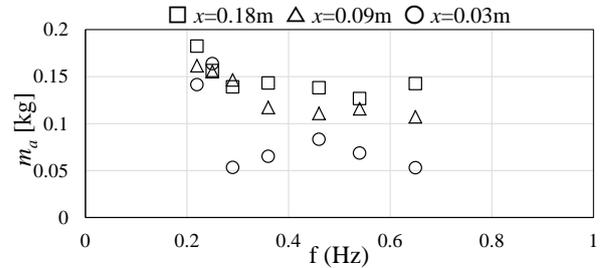


図-5 付加質量 m_a

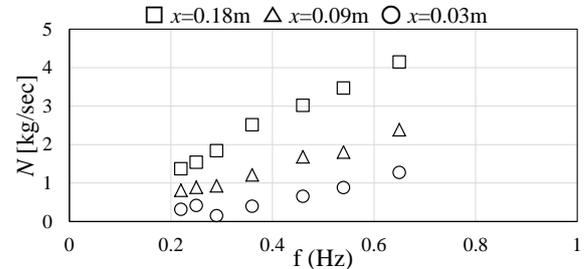


図-6 減衰係数 N

4. まとめ

本研究では、係留ラインの要素模型を対象に、水中での直接強制加振試験を行い、係留ラインに作用する流体力を計測した。加振力の振幅と慣性力の比較により、取得データの妥当性を検証した。今後は、今回算出した付加質量と減衰係数を用いて、シミュレーション計算結果との比較検証を行っていく。

参考文献

- 1) 日本船舶海洋工学会：船体運動力学，2007
- 2) 星野邦弘：係留ラインに働く静的および動的張力特性について，船舶技術研究所報告，第 25 巻，第 2 号，研究報告，pp.161-193，1988