

I-472

砕波を考慮したTLDシミュレーション

清水建設 正会員

○金子誠一

東京大学 学生会員 孫 利民

東京大学 正会員 藤野陽三

1. はじめに

浅い水を用いたTLD(同調液体ダンパー)に砕波が生じたときのモデル化として1自由度等価TMDモデルによる(参考文献[2])のも1つのやり方であるが、本研究では基礎波動方程式を実験から得られる2つのパラメーターで補正し、砕波状態でのTLDの数値シミュレーションを試みる。

2. 基礎方程式

長方形TLDに対する基礎方程式(参考文献[1])に2つのパラメーター C_{da} 、 C_{fr} を導入すると次のようになる。

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h\sigma \frac{\partial(\phi u_s)}{\partial x} = 0 \quad (1), \quad \frac{\partial u_s}{\partial t} + \frac{\partial u_s^2}{\partial x} + C_{fr}^2 g \frac{\partial \eta}{\partial x} + gh\sigma \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \frac{\partial \eta}{\partial x} = -C_{da} \lambda u_s - \ddot{X}_s \quad (2),$$

但し、座標系は図1にあるように定義する。 η は波高、 u_s は水面での水粒子の水平方向の速度、 g は重力加速度、 k は波数を表し、 $\sigma = \tanh(kh)/(kh)$ 、 $\phi = \tanh(k(h+\eta))/\tanh(kh)$ 、 $\ddot{X}_s$ はベース加速度、 λ は容器底面、側面および水面の減衰への影響を表す減衰係数で、式(3)で表される。

$$\lambda = \frac{1}{h+\eta} \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{\omega \nu} \left\{ 2 + \frac{2h}{b} \right\} \quad (3),$$

ここで、 ω :加振角振動数、 ν :動粘性係数、 b :容器の奥行きである。パラメーター C_{da} は基礎方程式中の減衰項を割増し、砕波による液体の減衰の増加を表すものである。一方、 C_{fr} は C_{da} を上げることに伴う波速の減少を補正するものである(参考文献[3]、[4])。なお、微小振幅では $C_{da} = C_{fr} = 1.0$ である。

3. 実験結果を用いたパラメーターの値の決定

容器のサイズと水深の異なる4通りのケース($2a = 59.0 \text{ cm}$, $h = 3.0 \text{ cm}$, 6.0 cm (ケース6N1,6N2)ならびに $2a = 39.0 \text{ cm}$, $h = 2.0 \text{ cm}$, 4.0 cm (ケース4N1,4N2)の4ケース)を対象に振動台実験によりエネルギーロスの周波数応答をいくつかのベース振幅 A に対して求めた。次に、新たに導入した2つのパラメーター C_{da} 、 C_{fr} の値をいろいろと変えて、計算を行い、実験値に最も近くなるような組合せを求めた。その結果、 C_{da} は加振振幅と共に増大し、 C_{fr} は砕波しているときには、ベース振幅によらず、およそ1.05の値をとることがわかった。また、最適なパラメータの組合せを用いたエネルギーロスの計算例を図2に示す。縦軸は液体を剛体質量とみなしたときの最大運動エネルギーで無次元化したエネルギーロス、横軸は振動数比(加振振動数をTLDの固有振動数で除した値)である。

式(2)の運動方程式を無次元化し、その加速度の項と減衰の項の関係をプロットしたものが図3である。実験値はほぼ1本の曲線に乗っており、

$$\frac{C_{da} \sqrt{\omega_w \nu}}{\varepsilon \sqrt{gh}} = f \left(\frac{\omega_w^2 A}{\varepsilon g} \right) \quad (4)$$

のような関数 f を考えることができる。ここで、 ε = 水深比(h/a)、 ω_w = TLDの一次線形固有振動数、 A = ベース振幅。最小自乗法により関数を定め、整理すると、

$$C_{da} = 0.57 \sqrt{\frac{\varepsilon h \omega_w}{\nu}} A \quad (5)$$

を得る。

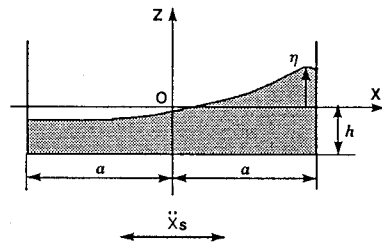


図1 座標系の定義

4. TLDを設置した1自由度構造物の応答計算への適用

TLDを設置した1自由度系の構造物に振幅一定の正弦波外力が加わったときの構造物の変位を計算する。波高が基準値 (波高>水深 h) を越えた場合は、砕波発生とみなし、 $C_{fr}=1.05$ とし、 C_{da} は(5)式により評価する。計算を繰り返し、定常状態になったときの構造物の振幅を、その外力、加振周波数に対する構造物の応答とする。計算結果を図4に示す。縦軸は構造物の振幅、横軸は振動数比である。このケースでは構造物の固有周期は 1.45 sec、TLDの固有周期もそれに同調させてあり、TLD容器サイズ $2a$ は39.0 cm、水深 h は 3.0 cm、TLDと構造物の質量比は 1.05% である。図4の通り、本研究の方法によれば、従来の (砕波を考慮しない) 計算法よりも高い精度で、TLDを設置した構造物の応答予測を行うことができることが確かめられた。

5. まとめ

TLDにおける砕波の影響は基礎方程式に2つのパラメーター C_{da} 、 C_{fr} を導入することで補正しうることを示した。また、その計算方法をTLD-構造物系の応答予測に適用し、従来の計算方法よりも、精度が向上されることがわかった。

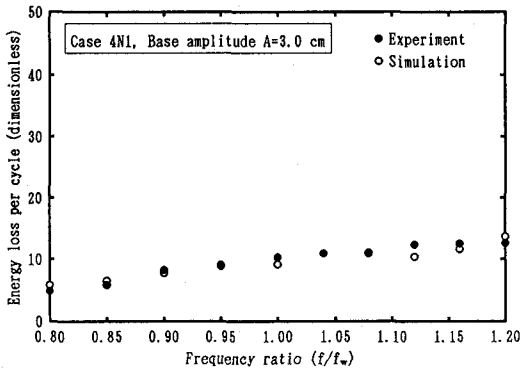


図2 エネルギー損失の計算例

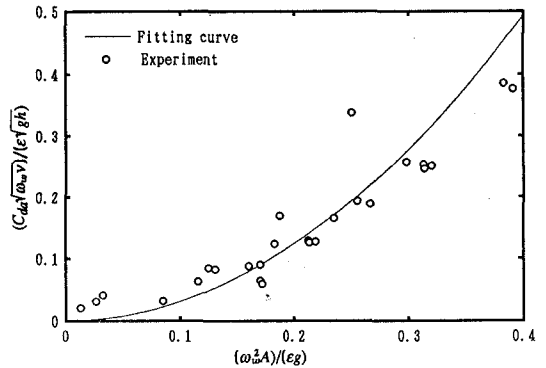


図3 減衰項と外力項の関係

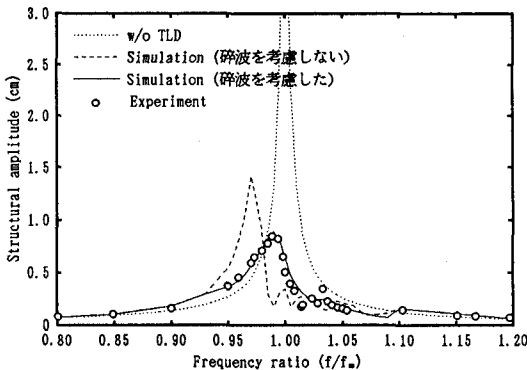


図4 (a) 構造物の応答計算の例

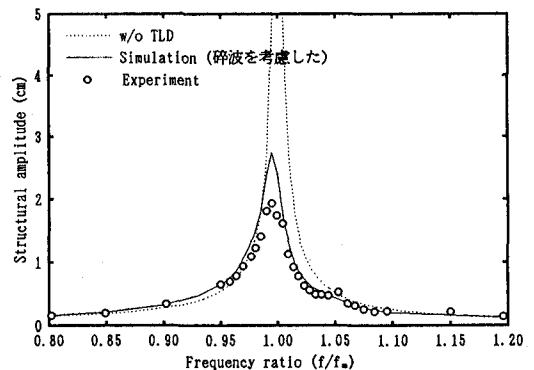


図4 (b) 構造物の応答計算の例

<参考文献>

- [1] 藤野、パチュコ、孫、チャイセリ、磯部：構造工学論文集、Vol.35A、pp.561-574 (1989)。
- [2] 藤野、パチュコ、チャイセリ、孫、古賀：構造工学論文集、Vol.36A、pp.577-590 (1990)。
- [3] 金子誠一：東大土木工学科卒業論文 (1991)。
- [4] 孫利民：東大土木工学科博士論文 (準備中) (1991)。