

第Ⅱ部門

エネルギー貯蔵タンクに及ぼす津波流体力の算定に関する研究

大阪大学	大学院工学研究科	学生員	○北口	春陽
大阪大学	大学院工学研究科	学生員	國松	航
大阪大学	大学院工学研究科	学生員	岩崎	舜
大阪大学	大学院工学研究科	正会員	荒木	進歩
大阪大学	大学院工学研究科	正会員	青木	伸一

1. 研究の背景と目的

エネルギー貯蔵タンクは石油などのエネルギー源を貯蔵している。東日本大震災では津波によってタンクが流出し大規模な火災の一因となった。今後起こりうる南海トラフ地震でも同様な被害が想定されているだけに、タンクの津波に対する安全性の検討は急務である。そこで本研究では、擬似津波を発生させる実験から円筒タンクに及ぼす津波流体力の評価手法の検討を試みた。

2. 津波流体力の算定式

流体力の算定式として挙げられるものには静水圧型式、抗力型式、モリソン式などがあり、本研究ではモリソン式により津波流体力を検討できないかを検証した。モリソン式は海中の構造物に作用する力を求める場合などにはよく用いられるが、陸上を遡上する津波の流体力算定のために用いている研究事例は少ない。以下にモリソン式を示す。

$$F = \frac{1}{2} C_D \rho A u |u| + C_M \rho V \frac{du}{dt} \quad (1)$$

ここに F : 発生する力, C_D : 抗力係数, ρ : 流体の密度, A : 物体の投影面積, u : 流速, C_M : 慣性力係数, V : 没水体積, g : 重力加速度である。モリソン式は抗力と慣性力の和で表され, C_D および C_M は構造物の形状によって異なり円柱の場合, C_D は 0.6~1.0, C_M は理論的に 2.0 に決定される。厳密に言えば C_D はレイノルズ数によっても変動する。しかし, これらの両係数は実験的に求められる係数でもあるとされている。本研究ではこのモリソン式を津波流体力の算定に適用できないか, またできる場合の C_D および C_M はどの程度になるかを検討した。

今回のモリソン式中の係数決定方法については,

実験で測定した実測波力とその時の流速等をモリソン式に代入して得られる計算波力が一致するすという考えのもと, それらの誤差に最小二乗法を適用して決定することとした。結果, 以下のようにモリソン式中の諸量の時系列を用いて計算される。

$$C_D = \frac{\left| \frac{\sum F_i F_D(t)}{\sum F_i^2} - \frac{\sum F_D(t) F_i(t)}{\sum F_D(t)^2} \right|}{\left| \frac{\sum F_i F_D(t)}{\sum F_i^2} - \frac{\sum F_D(t) F_i(t)}{\sum F_D(t)^2} \right|} \quad (2) \quad \text{ただし,} \quad F_D(t) = \frac{1}{2} \rho u^2 A$$

$$C_M = \frac{\left| \frac{\sum F_i F_D(t)}{\sum F_i^2} - \frac{\sum F_D(t) F_i(t)}{\sum F_D(t)^2} \right|}{\left| \frac{\sum F_i F_D(t)}{\sum F_i^2} - \frac{\sum F_D(t) F_i(t)}{\sum F_D(t)^2} \right|} \quad (3) \quad F_i(t) = \rho \frac{du}{dt} V$$

3. 水理模型実験

今回, 投影面積はタンクの直径に進行波の遡上水深を, 没水体積は底面積に進行波の遡上水深を乗じることで算出した。よって, 係数を決定するために必要な諸量は(1)タンクに及ぼす波力, (2)遡上水深, (3)流速である。これらの測定を阪大2次元水槽にて行った。図-1に阪大2次元水槽, 図-2にタンク模型を示す。ゲート前後に水位差をつけて倒すことで擬似津波を発生させる仕組みである。また(1)~(3)は3か所で測定し岸壁に近い方から順に地点A, B, Cとしている。

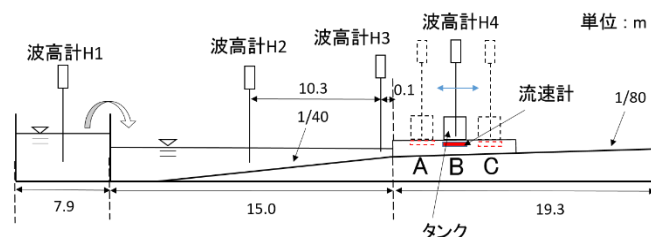


図-1 実験水槽断面図および計測機器の配置

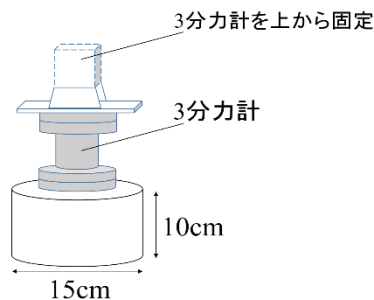


図-2 タンク模型および3分力計の設置方法

なお擬似津波の規模は、岸壁前波高(H3)が Case1 : 10cm, Case2 : 12.5cm, Case3 : 15cm となるよう 3 パターンで発生させた。

3. 計算範囲と結果

計算に代入する波力、遡上水深および流速はすべて時系列のデータである。よってどの時間範囲を代入するかを決める必要がある。そこで今回は波がタンクに衝突する瞬間を含めるか否かの2パターンの時間範囲で計算することとした。例を以下の図-3 に示す。

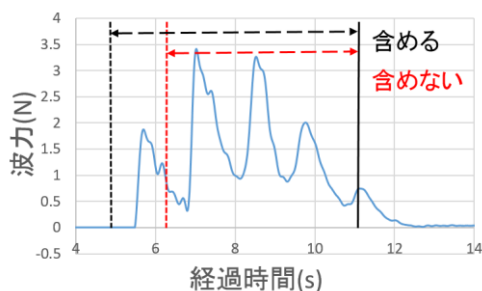


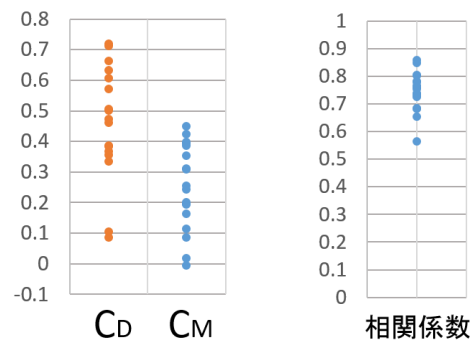
図-3 計算範囲の例(地点 B Case3 の波力)

次に係数の計算結果を表-1 に、表-1 を図示したものを用いて図-4 に示す。

表-1 係数の計算結果まとめ

		Case1			Case2			Case3		
		C_D	C_M	相関係数	C_D	C_M	相関係数	C_D	C_M	相関係数
A	含める	0.32	0.16	0.78	0.38	0.24	0.76	0.46	0.31	0.68
	含めない	0.47	0.12	0.75	0.51	0.40	0.77	0.50	0.45	0.68
B	含める	0.39	0.20	0.78	0.63	0.31	0.80	0.57	0.35	0.74
	含めない	0.33	0.02	0.76	0.66	0.42	0.80	0.61	0.39	0.74
C	含める	0.10	0.09	0.65	0.36	0.25	0.86	0.71	0.20	0.73
	含めない	0.09	0.00	0.56	0.37	0.39	0.85	0.72	0.19	0.73

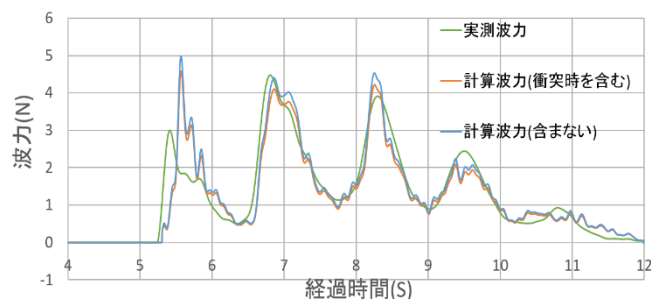
計算範囲を波の衝突時を含めるか含めないかで分けて計算したが結果的にはそれによって C_D と C_M には大きな差異は見られなかった。

図-4 C_D , C_M , 相関係数の分布

ここでの相関係数とは実測波力と計算波力の相関を示すが 0.7 以上が多く見られることから強い相関、つまりモリソン式の適用性が高いことを示している。

またモリソン式を適用した場合 C_D は 0.4~0.7 程度、 C_M は 0.1~0.4 程度を使用することが望ましいと思われる。今回は係数の程度を範囲で提示したが、今後は異なる条件下での係数算出数を増やすことでレイノルズ数による変化を提言できる余地はある。

以下に示す図-5 は実測波力と計算波力の比較の時系列である。

図-5 実測波力と計算波力の比較
(地点 A Case1)

比較図から分かるように波がタンクに衝突する瞬間の波力を過大評価しているが、それ以降は概ね一致をしている。この傾向は他の場合でも多く見られた。このことから波がタンクに衝突する際に関しては、モリソン式中の抗力と慣性力で表現するには不十分な場合もあると考えられるが、モリソン式の適用性は高いと結論付ける。