

長崎大学工学部 学生員 有馬文昭

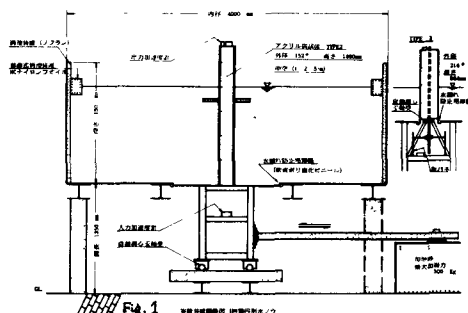
広島大学工学部 正 員 花井正実

長崎大学工学部 正 員 高橋和雄

1. 結言 流体中で構造物が振動する場合に、構造物は流体の慣性力、水の粘性による抗力ならびに表面波によるエネルギー散逸（造波抗力）等の作用を受ける。水中構造物の振動問題に関しては、現在までに理論的、実験的研究が数多く行なわれており^{1),2)} 水中橋脚に対する動水圧および水の付加質量の問題が詳細に研究されている。固定式水中展望塔のように流体による効果が著しい中空構造物にこれらの研究成果をそのままあてはめることは問題があり、付加質量のみならず流体が振動減衰に及ぼす影響を考慮した取り扱いが必要があるものと考えられる。しかしながら、これまでのところ、流体による振動減衰の影響まで言及した研究はほとんど見受けられない。そこで本研究では 水中構造物の振動時における固有振動数および振動減衰を明らかにするために、断面形状や質量の効果も含め 種々の形状の模型でタンク内の振動実験を行なった結果および水の圧縮性と粘性を無視した線形理論解析および流体の粘性抗力を考慮したシミュレーションによる結果とを比較検討したものを報告するものである。

2. 実験装置および実験方法 Fig.1は、本研究で用いた実験装置と供試体の形状を示すものである。

- (1) TYPE.1 材質：アクリル 外径(D)；152 ϕ
(弾性モデル) 高さ(L)；1690mm 肉厚(t)；2.5mm
(2) TYPE.2 材質：アクリル、他の寸法はTYPE.1に同じ。
(弾性モデル) 剛体DISK付；外径2 ϕ , 3 ϕ 、t；25mm
(3) TYPE.3 材質：アリキ板(SPC-ZC)、D；216 ϕ
(剛体モデル) L；864mm、中央（ステンレス鋼管）



実験は、定常強制振動と自由振動について行なった。定常強制振動実験では、水深をパラメーターとして水平方向 ($\theta = 0^\circ$) に 正弦波加速度 (4.9gal, 9.8gal.) を入れた場合の加速度応答をモデルの先端に設定した加速度計によって測定した。TYPE.2のモデルにおいては、剛体DISKを下端より7 ϕ , 8 ϕ の位置に固定して同様に実験を行なう。自由振動実験では、初期振幅が1, 2, 3, 5mmの場合について行ない 固有振動数と減衰効果について調べた。

3. 実験結果および解析結果 Table.1およびTable2はそれぞれTYPE.1, TYPE.2の固有振動数について、流体と構造物の連成振動をFEMによって解析した結果と実験結果とを比較したものを示す。また、Fig.2はTYPE.2の解析による振動モードである。

(1) 固有振動数、付加質量について 基本振動モードにおける両結果は、ほぼ一致していると言える。明らかに、流体力は 水中構造物の固有振動数および振動モードに変化を与え、これらの傾向は モードの次数によって異なる。Fig.2から明らかなように 水中における基本振動モードは 空気中でのモードと差は小さいが、その他の高次のモードでは両者の差は著しい。Table.3は、基本振動モードにおける水深の変化による付加質量（空気中の一般化質量=1.0）と固有振動数を解析と実験とで比

Table 1 Comparisons of natural frequencies of a elastic cylindrical tower.

		TYPE 1			
		Unit, Hz			
Case	Water-level	E.X.P.	F.E.M.	First-mode	Second-mode
	Surround	Inside	First-mode	Second-mode	Third-mode
1	Zero	Zero	15.49	15.40	90.61
2	Normal (90)	Zero	7.30	7.28	39.18

D ; A diameter of the experimental model. (15.2cm)

Table 2 Comparisons of natural frequencies of a elastic cylindrical tower with circular disk.

		TYPE.2			
		Unit, Hz			
Case	Water-level	E.X.P.	F.E.M.	First-mode	Second-mode
	Surround	Inside	First-mode	Second-mode	Third-mode
1	Zero	Zero	12.39	12.21	82.44
2	Normal (90)	Zero	6.57	6.91	33.43

D ; A diameter of the experimental model. (15.2cm)

較したものである。固有振動数は、入力レベルに無関係に供試体の水没体積の増大に伴い低くなる。解析(N0.1)は、空気中の振動モードを用いて流体の影響を評価した結果で付加質量は実験値より20%程度小さく評価された。解析(N0.2)では水中での構造系のたわみ形状として供試体の自重および流体中剛体として軸く際に作用する一般化付加荷重による片持梁のたわみ形状を使用した。両結果は、解析(N0.1)よりはるかに一致する。ゆえに基本振動数については、流体-構造系の連成振動(FEM)として取り扱う必要はなく、上述の方法によることも可能である。以上のことより、従来の水中構造物の取り扱いでかかる構造物の固有振動数は予測できる。

(2)減衰定数、抗力係数について 流体-構造系の連成振動減衰は、種々様々な要因が関連してこの定量的評価は解析的に困難である。そこでモデル自体の減衰が小さく、水の減衰効果が把握しやすいTYPE.3によって定常強制振動の応答の比較検討を試みた。(Table 4, Fig. 3) 理論解析においては、水中の見掛けの減衰定数

$$\zeta' = \frac{\zeta_1}{\sqrt{1 + \frac{B_1}{M_1}}}, \quad \zeta_1: \text{空気中減衰定数}, B_1: \text{付加質量}$$

$$p_1: \text{空気中一般化質量}$$

を用いると、水中で減衰定数は0.58(%)となりゆえに応答は空気中より大きくなる。一方定常強制振動実験では、空気中の応答より小さくなり見掛けの減衰定数は1.10(%)である。この傾向は水深の増加に伴い著しい。また、入力レベルが高くなるほど減衰は大きくなる。(入力9.8galで1.10%, 入力4.9galで1.02%)。このように、上述の見掛けの減衰定数だけでは流体中の構造物の減衰現象は説明できない。そこで従来からよく行なわれている速度の2乗に比例する粘性抗力を導入してシミュレーションによる応答解析を試みた。供試体受浸(4th)の状態では、抗力係数 $C_D=1.7$ (入力9.8gal), ($C_D=3.2$ (入力4.9gal)となり入力レベルによって異なり、また水深によって C_D 値は変化する。これらの値は、通常用いられる一様流体中の $C_D=1.2$ よりもかなり大きな値となった。次に、自由振動実験から得られた減衰現象については、空気中の減衰定数は、初期振幅の変化に無関係にほぼ1.2%の一定値を示す。水中における実験では、流体が静止の状態(初期状態)付近では、ほぼ一定値を示し振幅の減少とともに低下し一定値に接近する。この傾向は、初期振幅により異なり、初期振幅5mmでは1.50%~1.20%、1mmでは1.72%~1.40%へ推移する。以上のように流体中ではかかる構造物の微小振動においても減衰現象は振幅および流体の状態と何らかの依存性がみられる。しかしながら今た不明な点が多く残されこれらを説明していくことが今後の研究課題になると思われる。

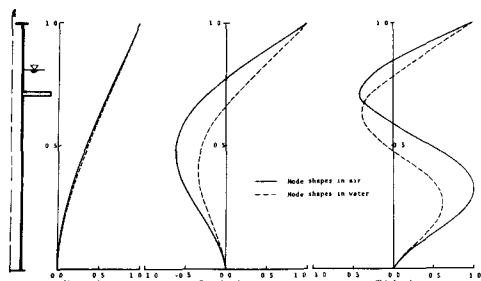


Fig.2 Comparisons of mode shapes of a elastic cylindrical tower with circular disk

Table 3 Comparisons of added mass and frequencies of a elastic cylindrical tower with various water levels

Water level	TYPE 1					
	Exp.		Calc. (W0.1)		Calc. (W0.1)	
	Added-mass	Frequency(Hz)	Added-mass	Frequency(Hz)	Added-mass	Frequency(Hz)
9.00 D	4.900	7.30	5.767	7.98	4.486	7.31
8.50	3.794	7.95	3.094	8.80	3.785	7.96
8.00	3.205	8.65	2.553	9.68	3.131	8.67
7.50	2.685	9.45	2.126	10.62	2.692	9.44
7.00	2.280	10.30	1.796	11.55	2.276	10.26

Table 4 Dynamic properties of rocking vibrations of a rigid cylindrical tower

Water level	Exp.				Calc.			
	Natural frequency (Hz)	Added mass (kg)	Acc response	Damping Ratio (%)	Natural frequency (Hz)	Added mass (kg)	Acc response	Damping Ratio (%)
0 (in air)	10.44	1,000	61.33	0.82	10.44	1,000	62.48	0.82
3 D	7.42	1,980	45.53	1.10	7.40	1,988	142.51	0.58

D: A diameter of the experimental model (21.6 Cm)
Input acc = 0.8Gal

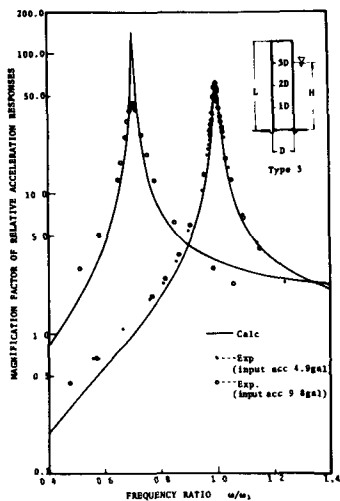


Fig 3 Relative acceleration responses of a rigid cylindrical tower

[参考文献] (1)佐藤尚周・土岐重三:水中橋脚の振動と耐震設計に関する基礎的研究,土木学会論文集, No.100, 88, 38, 12

(2)小沢清康:円形水中橋脚に働く地震力とその弾性振動,土木学会論文集, No.120, 89, 40, 8

(3)C-Y. LIAW・Amil K Chopra, Dynamics of towers surrounded by water, Earthquake engineering and structural dynamics, Vol 3, 33-49, 1974