

円断面片持梁の水中振動

川建, 和雄
九州大学応用力学研究所 : 助教授

長浜, 智基
九州大学応用力学研究所 : 助手

篠崎, 高茂
九州大学応用力学研究所 : 文部技官

<https://doi.org/10.15017/4743592>

出版情報 : 應用力學研究所所報. 48, pp.25-37, 1978-09. 九州大学応用力学研究所
バージョン :
権利関係 :



円断面片持梁の水中振動

川 建 和 雄*
 長 浜 智 基**
 篠 崎 高 茂***

概 要

梁の撓みと流体力の相互作用を考慮した、円断面梁の水中振動特性推定法の有効性を吟味するために、固有振動、端末バネ加振振動、及び波によって誘起される振動について実験を行った。

固有振動数従って共振振動数については、計算結果と実験結果は良く一致した。減衰及び応答曲線については、ポテンシャル流体力を考慮するだけでは不十分であった。線型非ポテンシャル流体力を導入することによって、計算精度の向上を図った。

1. 緒 言

構造物の水中に於ける振動特性を求めるに際しては、通常付加質量の概念が用いられる。Clough¹⁾は、精力的な実験を行い、各種断面部材に就いて、付加質量係数を求めた。ここでは、構造物の強度部材としてしばしば用いられる、円断面材に関する結果に注目することにする。彼は全長 $l=36$ in (914.4 mm) 直径 $d=3$ in (76.2 mm) の棒の剛体としての変位振動実験から、付加質量係数 $m'=0.95\sim 0.97$ を得た。これは非粘性ポテンシャル理論から求めた $m'=1$ とほぼ合致している。更に、彼は全長 $l=24$ in (609.6 mm) 直径 $d=3$ in の垂直片持梁の曲げ振動実験から、固有周期 $T=0.333$ s と共に付加質量係数 $m'=0.58$ を得た。そしてこの付加質量係数が大幅に小さく ($1\rightarrow 0.58$) になったのは、梁の軸に沿っての3次元流の存在、及び水面における波の発生によると推測している。

筆者の一人²⁾は、この問題に関して、流力弾性的考察すなわち梁の撓みとポテンシャル流体力の相互作用をとり入れた解析法を提案し、上述 Clough の実験結果は、端末部の流体力減少によることを示した。原田ら³⁾もこの種問題の解析法を提唱した。その1は、線型周波数応答解析である。予め、梁の単位撓みに対し、ポテンシャル流体力を求めておき、付加水及び造波影響係数マトリックスを定めるとともに、入力波が作用した時の波力を同じくポテンシャル理論により定め、解析を行うものである。但し、実際の計算に際しては、付加水及び造波影響マトリックス並びに波力は自由振動実験より決定している。その2はモード解析を利用した時刻歴応答解析法である。筆者らは、其後この問題に関し円断面片持梁を用いて若干の実験を行ったので、その結果に就いて解析法と併せ以下に述べる。

* 九州大学助教授、応用力学研究所

** 九州大学助手、応用力学研究所

*** 九州大学応用力学研究所文部技官

2. 実験方法

供試模型には、アクリル (PMMA) 及び塩化ビニール (PVC) 管を鋼板 900 mm (縦)×600 mm (横)×14 mm (厚)に取り付けたものを用いた。図1及び図2参照。PVC 梁については、振動中の味噌すり運動を避けるため、中心にアクリル板材を挿入して、一方向の曲げが生ずるようにした。固有振動数を変化させるため、先端部に重量を付した。表1参照。

津屋崎海洋災害実験所の小型実験水槽を用いて、端末初期撓み約 5 mm の固有振動、端末部バネ加振による強制振動、並びに波により誘起される振動実験 (PVC-C 及び D) を行った。写真1参照。この水槽は、60 m (長)×1.5 m (幅)×1.5 m (深) の寸法を持ち、プランジャ型造波機を備えている。

計測には歪ゲージ (図1と2において黒く塗りつぶして示す) 及び加速度計 (図中 白ヌキ) を用い

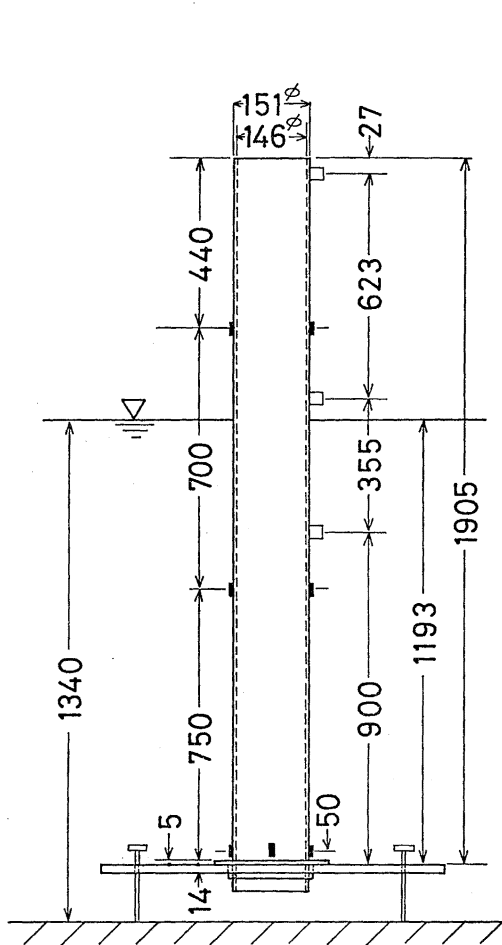


図1 アクリル梁

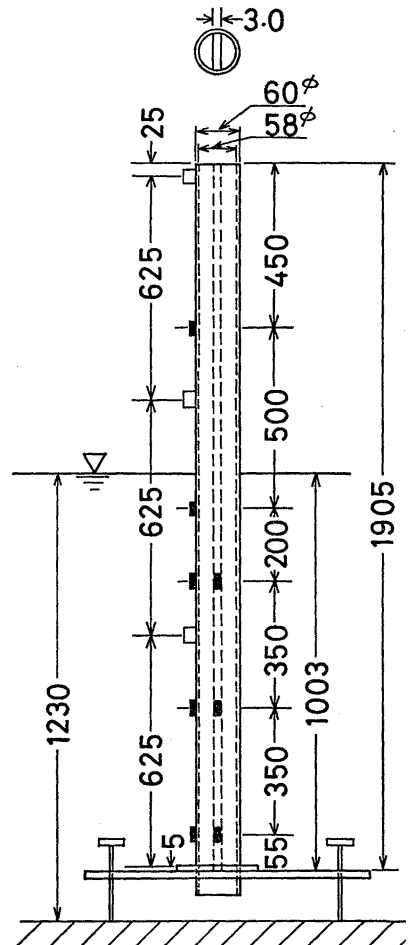


図2 塩化ビニール梁

表 1 供 試 梁 諸 元

		PMMA	PVC	
Length	$l(\text{m})$	1.905	1.905	
Water depth	$h(\text{m})$	1.193	1.003	
Outer diameter	$d(\text{m})$	0.151	0.060	
Flexural rigidity	$EI(\text{kg m}^2)$	1190	22.31	
Weight	$mg(\text{kg})$	2.67	0.930	
Distributed weight	$mg(\text{kg/m})$	1.40	0.488	
Tip weight	$P_0(\text{kg})$	none	A	none
			B	1.0
			C	2.5
			D	4.0

た。これら計器の出力を電磁オシログラフに記録した。

3. 固有振動

3.1. 計算法

梁の撓み $w(y, t)$ は、影響函数 $c(y, \eta)$ を用いれば、梁自体の運動による造波抵抗 $p_R(y, t)$ 及び慣性力 $-m(y)\ddot{w}(y, t)$ により、

$$w(y, t) = \int_0^h c(y, \eta) p_R(\eta, t) d\eta - \int_0^l c(y, \eta) m(\eta) \ddot{w}(\eta, t) d\eta, \quad (1)$$

と与えられる⁵⁾。ここに m は単位長当たりの梁質量、 $\dot{\cdot}$ は時間 t に関する微分、 y と η は梁の下端から計った距離、そして h は水深を表す。造波抵抗は、梁が正弦振動を行う場合、

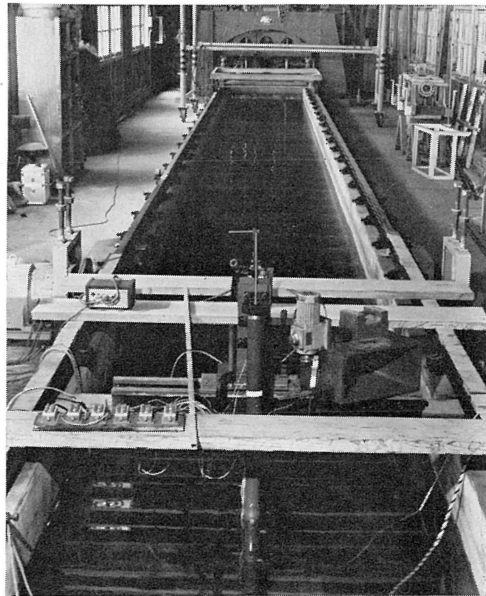


写真1 波により誘起される振動

$$w(y, t) = \exp [i(\omega + i\delta)t] W(y), \quad i = \sqrt{-1}, \quad (2)$$

ポテンシャル理論に基いて,

$$p_R(y, t) = \exp [i(\omega + i\delta)t] (\omega + i\delta)^2 \pi a^2 \rho_w U(y), \quad (3)$$

$$U(y) = U'(y) - iU''(y) = \left[\cosh ky B(R - iI) \int_0^h W(y') \cosh ky' dy' \right. \\ \left. + \sum_j \cos k_j y B_j R_j \int_0^h W(y') \cos k_j y' dy' \right] / h, \quad 0 \leq y \leq h, \quad (4)$$

$$(\omega + i\delta)^2 = kg \tanh kh = -k_j g \tan k_j h,$$

$$B = 2/(1 + \sinh 2kh/2kh), \quad B_j = 2/(1 + \sin 2k_j h/2k_j h),$$

$$R = -[J_1(ka)\{kaJ_0(ka) - J_1(ka)\} + Y_1(ka)\{kaY_0(ka) - Y_1(ka)\}] / D,$$

$$I = \frac{2}{\pi} / D, \quad D = \{kaJ_0(ka) - J_1(ka)\}^2 + \{kaY_0(ka) - Y_1(ka)\}^2,$$

$$R_j = K_1(k_j a) / [k_j a K_0(k_j a) + K_1(k_j a)], \quad (5)$$

と計算されている⁶⁾⁷⁾。以後これをポテンシャル流体力と呼ぶ。ここに $a = d/2$ は梁の半径, ρ_w は水の質量密度, g は重力の加速度; J_i, Y_i , 及び $K_i (i = 0, 1)$ は各々 Bessel, Neumann, 及び変形 Bessel 函数である。上式(2)及び(3)を(1)へ代入すると,

$$W(y) / (\omega + i\delta)^2 = \int_0^h c(y, \eta) \pi a^2 \rho_w U(\eta) d\eta + \int_0^l c(y, \eta) m(\eta) W(\eta) d\eta, \quad (6)$$

を得る。若し, 仮に(4)の代わりに,

$$U(y) = m' W(y), \quad 0 \leq y \leq h, \quad (7)$$

を用いると, 今述べてきた方法は通常の方法と一致する。さて, (4)及び(6)を用いて, モード $W(y)$, 振動数及び減衰 $\omega + i\delta$, 並びに流体力分布 $U(y)$ を求めるに際しては, 繰返法を用いることができる⁸⁾。片持梁の影響函数は

$$c(y, \eta) = \left. \begin{array}{l} (3\eta - y)y^2 / 6EI, \quad y < \eta \\ (3y - \eta)\eta^2 / 6EI, \quad \eta < y \end{array} \right\}, \quad (8)$$

と書くことができる。ここに EI は曲げ剛性を表す。構造減衰がある時は, EI の代わりに

$$EI' = EI(1 + ik_s), \quad (9)$$

を用いる⁸⁾。尚, (5)によって k 及び k_j を決定するに当たっては, 後例に見る如く $\delta/\omega \ll 1$ であるから, δ を無視し⁸⁾, Newton-Raphson 法を適用する。式(4)における項数 j は 20 で打切る。

3.2. 固有振動数

アクリル梁の空中及び水中における固有振動数の計測値及び計算値を表 2 に示す。水中固有振動数の計算値は, 計測値に比し 2%程小さいが, 満足すべきものである。尚, 仮に通常の計算法によるものとすれば, $m' = 0.76$ と置いた時 $f = 9.00$ Hz が得られる。図 3 には, モード, 流体力分布, 及び $m' = 0.76$ とした時の流体力分布を示した。尚, この模型については, 減衰の計測は行わなかった。

塩化ビニール梁の空中及び水中における固有振動数及び対数減衰率 $\eta = 2\pi\delta/\omega$ の計測値を表 3 m 欄

表 2 アクリル梁の固有振動数

	in air		underwater	
	$f(\text{Hz})$	η	$f(\text{Hz})$	η
m	14.0	none	9.2	none
c	14.02	0.	9.00	0.00216

Legend m, measured; c, calculated

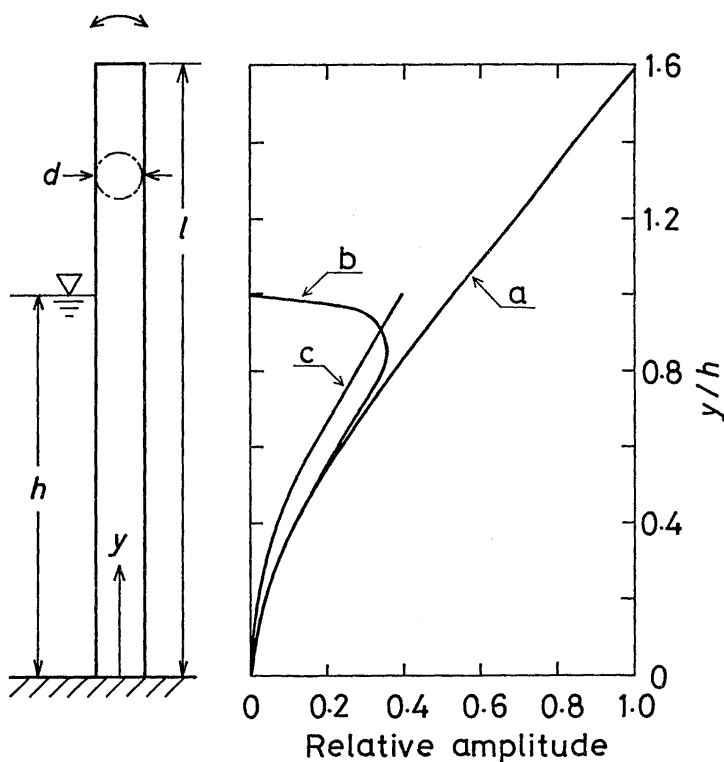


図 3 水中振動計算 (PMMA)

a, モード $W(y)/W(l)$; b, 流体力 $U(y)/W(l)$; c, 流体力 $0.76 W(y)/W(l)$

に示す。例えば、 $D(P_0 = 4\text{kg})$ の場合、空中の振動数 0.71 Hz 水中のそれ 0.73 Hz と、水中の振動数の方が高くなっている。実験精度の不足とも考えられる。又一方、室温 $27\text{--}32^\circ\text{C}$ に比し水温 21°C と、約 10°C の温度差による縦弾性係数従って曲げ剛性の変化による寄与もあるものと考えられる。本報告では、簡単のためそのような温度補正は行わず、計算に際しては表 1 に示した水中における曲げ剛性計測値を一貫して用いた。後述の様に空中における振動実験から定めた構造減衰係数 $k_s = 0.019$ を用いて得られた計算結果を同表中 c 1 欄に示す。固有振動数は、空中及び水中とも、計測値と計算値は、実験誤

表 3 塩化ビニール梁の固有振動数と対数減衰率

		in air		underwater			
		$f(\text{Hz})$	η	$f(\text{Hz})$	η	$c_D W(D)$ (mm)	c_{LNP}
A	m	3.26	0.0695	2.83	0.365		
	c 1 2 3	3.263	0.05968	2.824 2.815 2.815	0.2224 0.3651 0.3650	62.95	0.1622
B	m	1.43	0.0563	1.42	0.0912		
	c 1 2 3	1.403	0.05968	1.360 1.360 1.360	0.07106 0.09117 0.09129	48.5	0.1127
C	m	0.94	0.0564	0.94	0.0658		
	c 1 2 3	0.940	0.05968	0.927 0.927 0.927	0.06107 0.06572 0.06578	25.0	0.0577
D	m	0.71	0.0582	0.73	0.0651		
	c 1 2 3	0.755	0.05968	0.748 0.748 0.748	0.06006 0.06509 0.06509	42.5	0.0952

Legend m, measured; c, calculated; c 1, $U(y)$ has been used;
c 2, $U(y)+F_D(y)$; c 3, $U(y)+F_{LNP}(y)$

差の範囲で良く一致している。先端に重量を付したB, C, 及びDの場合には, 計測値及び計算値の両者とも, 空中及び水中の振動数に即んど差がない。これは, 流体力に比し, 先端重量が振動数決定に大きく寄与することを示している。先端に重量を付さないAの場合には, 水中振動数計測値は空中のその87%となっており, 流体力の影響が顕著に現われている。本法による計算結果は, 流体力の影響を良く反映し, 満足すべきものである。仮に, 通常の方法を適用するとすれば, $m'=0.85$ と置いた時 $f=2.83 \text{ Hz}$ が得られる。図4に, Aの場合のモード, 流体力分布, 及び $m'=0.85$ とした時の流体力分布を示した。

これをまとめると, 通常の方法では, 1節に述べた Clough の模型に対しては 0.58, 本節で述べた PMMA 梁については 0.76, PVC-A 場合には 0.85 と予め付加質量係数を与えておかないと計測値に近い計算結果を得ることが出来ない。本報告に述べた方法によれば, 何れの場合についても, (4)及び(6)を連立させて解くことにより, 計測値に近い計算値が得られる。換言すれば, 通常の方法では, 幾何学的寸法, 水深, 曲げ剛性, 質量分布が異なる毎に, 異った付加質量係数を与えないと, 良い計算値が得られない。これは, 条件が異なると, 流体力分布が異なることを示しているものといえよう。本報告に述べた方法では, 梁の撓みと流体力の相互作用を考慮した計算を行うのであるから, 上述の如く, 適用範囲が広がっている。

3.3. 減 衰

図5に, 空中(縦線付マーク)及び水中における固有振動数と対数減衰率間の, 表3中m欄に記載し

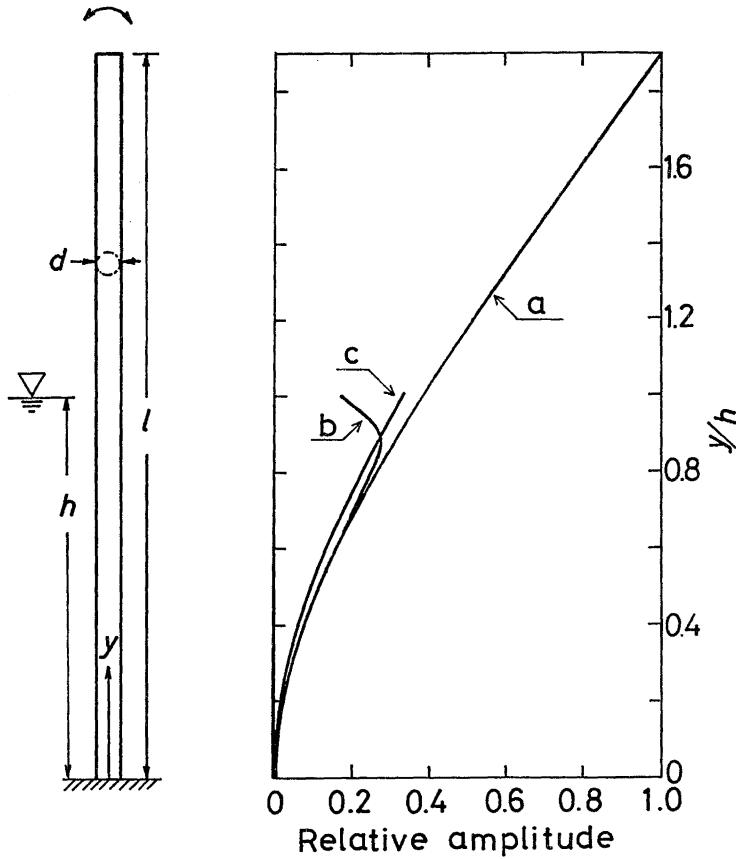


図 4 水中振動計算 (PVC-A)

a, $W(y)/W(l)$; b, $U'(y)/W(l)$; c, $0.85 W(y)/W(l)$

た関係を示した。空中における対数減衰率は、ほとんど振動数に関係なく、略一定の値をとることが判明した。これから、構造減衰係数 $k_s=0.019$ と定めた。これを用いて計算した結果は、既述の様に、表 3 中 c 1 欄に記載されている。当然のこと乍ら、空中に於ける減衰に関する計算結果は、計測値に近い値となっている。

加うるに、図 5 には、A 及び B の両場合について、水中振動に関する計算結果が、マークを塗りつぶして示してある。残りの C 及び D の場合については、この図上では、計算値は計測値の陰にはいつてしまう。図 6 には、水中振動実験において得られた、歪のオシログラフ上の第 $n+1$ 振幅の読みが、第 n 回目の読みに対してプロットされている。直線は最小 2 乗法を用いてひいた。この直線の傾斜の自然対数をとって求めたものが、対数減衰率の計測値として、表 3 及び図 5 に示してある。空中振動についても同様に行った。流体力の影響があまり大きくない、B、C、及び D の場合については、対数減衰率は空中のそれを若干上まわる程度である。従って計算値も、計測値に近い値が得られている。

流体力の影響が顕著に現われた A の場合については、減衰の計算値は計測値よりはるかに小さい。こ

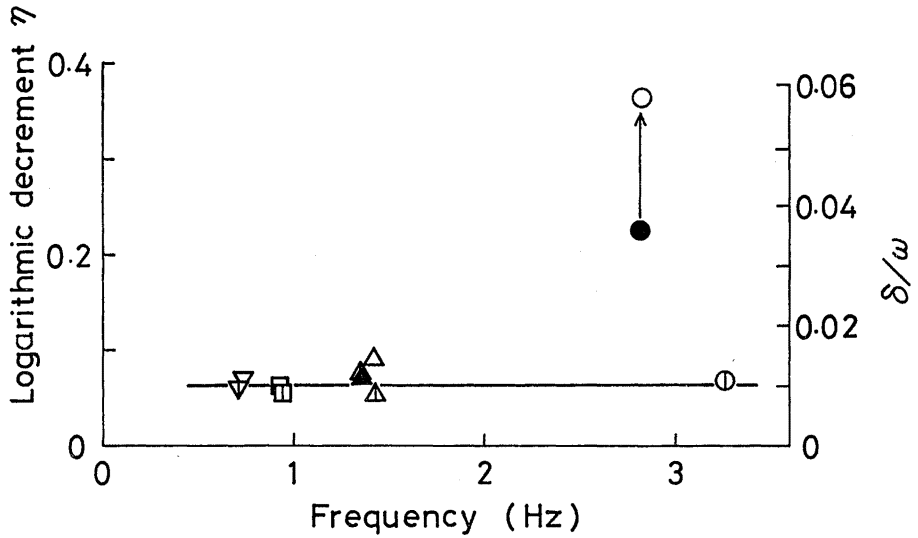


図 5 固有振動数と対数減衰率 (PVC) ○A, △B, □C, ▽D

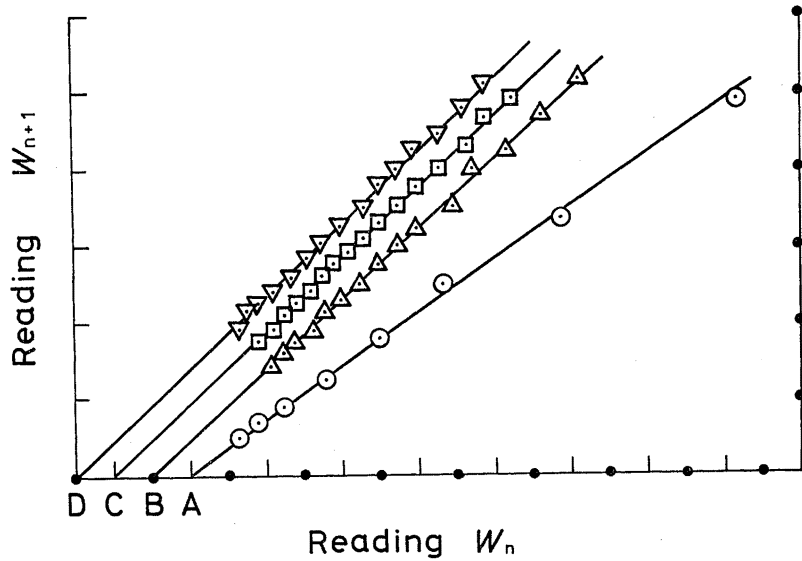


図 6 水中における対数減衰率 (PVC)

の原因を、(4)で与えられるポテンシャル流体力以外の、非ポテンシャル流体力に求める。まず、速度平方則に従う抗力 $k_D(y, t)dy$ を考察する。時間に関して準線型化を行って取り扱う。すなわち

$$|\sin \theta| \sin \theta = \sum_{p=0}^{\infty} \frac{2}{\pi} \frac{1}{2p+1} \left[1 - \frac{(2p+1)^2}{(2p+1)^2 - 4} \right] \sin \theta \doteq \frac{8}{3\pi} \sin \theta, \quad (10)$$

を用いれば¹⁰⁾、撓み(2)から

$$\begin{aligned}
 |-\dot{w}(y, t)|\{-\dot{w}(y, t)\} &\doteq \exp[i(\omega+i\delta)t] (\omega+i\delta)^2 \frac{8}{3\pi} (-i) \frac{\sqrt{\omega^2+\delta^2}}{\omega+i\delta} \exp(-\delta t) W^2(y) \\
 &\doteq \exp[i(\omega+i\delta)t] (\omega+i\delta)^2 \frac{8}{3\pi} (-i) W^2(y), \quad (11)
 \end{aligned}$$

を得る。これを用いて

$$\begin{aligned}
 p_D(y, t) dy &= \frac{\rho_W}{2} |-\dot{w}(y, t)|\{-\dot{w}(y, t)\} c_D 2a dy \\
 &\doteq \exp[i(\omega+i\delta)t] (\omega+i\delta)^2 \pi a^2 \rho_W F_D(y) dy, \quad (12)
 \end{aligned}$$

$$F_D(y) = -i \frac{8}{3\pi} \frac{c_D}{\pi a} W^2(y), \quad (13)$$

が導かれる。ここに c_D は抗力係数である。この抗力を、(4)で与えられるポテンシャル流体力に加えて、固有振動解析を行った。例えばAの場合について、通常用いられている $c_D=1.4$ をとり、初期端末撓み $W(l)=5$ mm を用いて計算したところ、対数減衰率はポテンシャル流体力を用いた時の約7%しか増加せず、依然として計測値よりはるかに小さな値しか得られないことが判明した。そこで、計測値に等しい減衰率を与えるような $c_D W(l)$ を試行により求めた。その結果を表3中c2欄に示す。固有振動数の変化はほとんどない。Aの場合について述べると、 $c_D W(l)=62.95$ mmの時に、対数減衰率の計算値は計測値に一致する。初期端末撓み $W(l)=5$ mm (水面に於ける変位 $W(h) \doteq 2$ mm, レイノルズ数 $Re=2\pi f W(h) 2a/\nu \doteq 2000$) とすれば、 $c_D=12.59$ となる。これは可成り大きい値である*。又、この取扱では、端末撓みが減衰するにつれて、抗力係数 c_D が増加し、 $c_D W(l)$ が一定となるような機構を考えないと、計算値は計測値を旨く説明することができない。減衰が撓み振幅の函数になるのは、非線型振動の特長の一つである。しかし乍ら図6に示したように、この固有振動実験では、小さな撓みの振動が持続しており、減衰率は振幅に独立である。

すなわち、これまでに述べてきた実験において得られた減衰は線型の現象と見做し得るから、次の様に改めて線型非ポテンシャル流体力を考える、

$$p_{LNP}(y, t) dy = \exp[i(\omega+i\delta)t] (\omega+i\delta)^2 \pi a^2 \rho_W F_{LNP}(y) dy, \quad (14)$$

$$F_{LNP}(y) = -i c_{LNP} W(y), \quad (15)$$

ここに c_{LNP} は無次元の定数である。これを粘弾性模型と対比させて述べる。力 f が速度 \dot{x} を用いて擬 Newton 則

$$f = \mu \dot{x}, \quad (16)$$

で表されるものとする。すなわち、変位 x 従って力 f が共に振動数 ω の正弦振動

$$x = x_0 \exp(i\omega t), \quad f = f_0 \exp(i\omega t), \quad (17)$$

を行う時、 M を質量として比例定数 μ が ω の1次函数

* 最近岩垣ら¹¹⁾ は同程度の大きさの抗力係数を報告している。

$$\mu = \mu(\omega) = cM\omega, \quad (18)$$

で与えられるような模型を考えると,

$$f_0 = icM\omega^2 x_0 \quad (19)$$

が得られる。これは (14) 及び (15) と同じ形である。但し、流体の挙動が、この式によって記述される訳ではない。梁に作用する減衰力を現象論的模型を用いて表そうと試みた迄である。さて、この力を (4) に加えて、三度目の固有振動解析を行った。計測値に等しい対数減衰率を与える c_{LNP} を試行により求めた。これを表 3 中 c 3 欄に示す。この値は次節で述べる、強制振動の応答計算に用いる。

以上の様に、減衰に関してはポテンシャル理論の与える造波抵抗(4)を用いるだけでは、計測値を旨く説明することが出来なかった。線型非ポテンシャル流体力 (15) を考慮する必要があった。

4. 強 制 振 動

4.1. 計 算 法

端末に外力 $f(l, t)$ が作用する時、梁の撓みは

$$w(y, t) = c(y, l)f(l, t) + \int_0^h c(y, \eta)p_R(\eta, t)d\eta - \int_0^l c(y, \eta)m(\eta)\ddot{w}(\eta, t)d\eta, \quad (20)$$

で与えられる。定数 K のバネで加振するとすれば

$$f(l, t) = \{A_s \exp(i\omega t) - W(l)\exp[i(\omega t - \theta)]\}K, \quad (21)$$

ここに、 A_s はバネの変位振幅、 θ はバネの変位に対する梁の撓みの位相遅れを表す。撓み及び造波抵抗の表示は(2)及び(3)に代わり

$$w(y, t) = \exp[i(\omega t - \theta)]W(y), \quad (22)$$

$$p_R(y, t) = \exp[i(\omega t - \theta)]\omega^2 \pi a^2 \rho_w U(y), \quad (23)$$

となる。ここで (21), (22), 及び (23) を代入すれば、(20) から

$$W(y) = c(y, l) [A_s \exp(i\theta) - W(l)]K + \int_0^h c(y, \eta)\omega^2 \pi a^2 \rho_w U(\eta)d\eta + \int_0^l c(y, \eta)\omega^2 m(\eta)W(\eta)d\eta, \quad (24)$$

が得られる。加振振動数 ω が与えられれば、繰返法により(4)及び(24)を連立させて解き、応答比 $W(l)/A_s$, モード $W(y)$, 位相遅れ θ , 及び流体力分布 $U(\eta)$ を定めることができる。

正弦波

$$A_w \exp[i(\omega t - kx)], \quad (25)$$

が入射する時、梁に作用する波力はポテンシャル理論により

$$p_H(y, t) = \exp(i\omega t)\pi a^2 \rho_w gk A_w \chi^*(ka) \cosh ky / \cosh kh, \quad (26)$$

$$\chi^*(ka) = \frac{4i}{\pi ka} \cdot \frac{1}{kaJ_0(ka) - J_1(ka) - i(kaY_0(ka) - Y_1(ka))}, \quad (27)$$

で与えられる。梁の撓みは

$$w(y, t) = \int_0^h c(y, \eta) p_H(\eta, t) d\eta + \int_0^h c(y, \eta) p_R(\eta, t) d\eta - \int_0^l c(y, \eta) m(\eta) \ddot{w}(\eta, t) d\eta, \quad (28)$$

の形に求められる。ここで (22), (23), 及び (26) を用いれば, (28) から

$$W(y) = \int_0^h c(y, \eta) \pi a^2 \rho_w g k A_w \exp(i\theta) \chi^*(ka) \cosh k\eta / \cosh kh d\eta + \int_0^h c(y, \eta) \omega^2 \pi a^2 \rho_w U(\eta) d\eta + \int_0^l c(y, \eta) m(\eta) \omega^2 W(\eta) d\eta, \quad (29)$$

を得る。入射波の振動数が定まれば, 波力 $\chi^*(ka)$ は既知となる。繰返法を用いて (4) 及び (29) を連立させて解き, 応答比 $W(l)/A_w$, モード $W(y)$, 位相遅れ θ , 及び流体力分布 $U(y)$ を決定することができる。

外力 $p(y, t)$ 及び慣性力が定まれば, 剪断力 $S(y, t)$ 及び曲げモーメント $M(y, t)$ を次式により計算する,

$$S(y, t) = \int_y^l [p(\eta, t) - m\ddot{w}(\eta, t)] d\eta, \quad (30)$$

$$M(y, t) = - \int_y^l (\eta - y) [p(\eta, t) - m\ddot{w}(\eta, t)] d\eta. \quad (31)$$

曲げモーメントが定まれば, 歪 ϵ は梁理論により計算出来る。

4.2. 応答振幅比と歪

バネ加振 ($K=0.77 \text{ kg/m}$) により得られた応答振幅比 $W(l)/A_s$ の計測値を, A及びBの両場合について, 図7に示す。波により誘起される振動によって求められた応答比 $W(l)/A_w$ の計測値を, C及

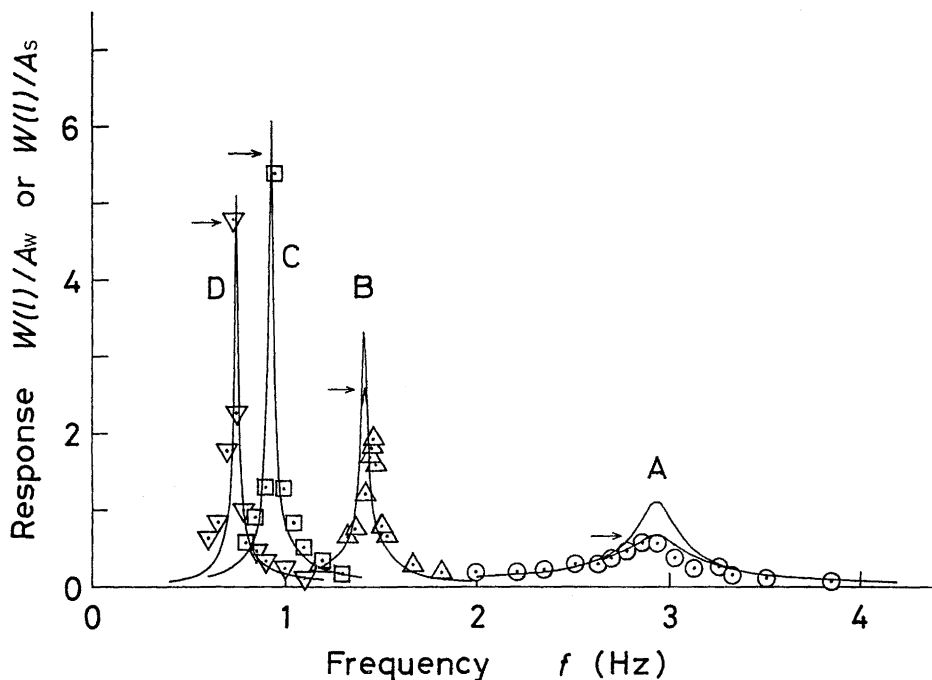


図7 応答振幅 (PVC)

びDの場合について同じく図7に示す。図中ポテンシャル流体力(4)を用いて得られた計算結果を示してある。共振振動数に関しては、計算値は大略満足すべき結果を与えている。

応答振幅比に関しては、共振点近傍に於いて、計算値は大き目な値となっている。特に流体力の影響が顕著に現われるAの場合について、その差が目立つ。応答のピークは、減衰によって大きく左右されることが、1自由度の振動子同様、本例にも認められる。ここで、前節で考慮した線型非ポテンシャル流体力(15)を(24)の右辺に現われるポテンシャル流体力 $U(\eta)$ に加えて、バネ加振に関する応答計算を行った。波により誘起される振動に関しては、流体の梁に対する相対速度を考慮し、

$$p_{LNP}(y, t) dy = \exp[i(\omega t - \theta)] \omega^2 \pi a^2 \rho_w F_{LNP}(y) dy,$$

$$F_{LNP}(y) = i c_{LNP} [A_w \exp(i\theta) \cosh ky / \sinh kh - W(y)],$$

を(29)の右辺に現われるポテンシャル流体力 $U(\eta)$ に加え、再度応答計算を行った。定数 c_{LNP} の値は、表3中c3欄に示したものをそのまま用いた。その結果を同じく図7に示す。共振振動数はほとんど変化しない。応答の計算値は→印で示したところまで下がり、計測値と可成り合うようになった。

尚、共振時の歪振幅計測値を、計算値(実線)と併せて、図8に示した。計算はほぼ妥当な値を与えている。

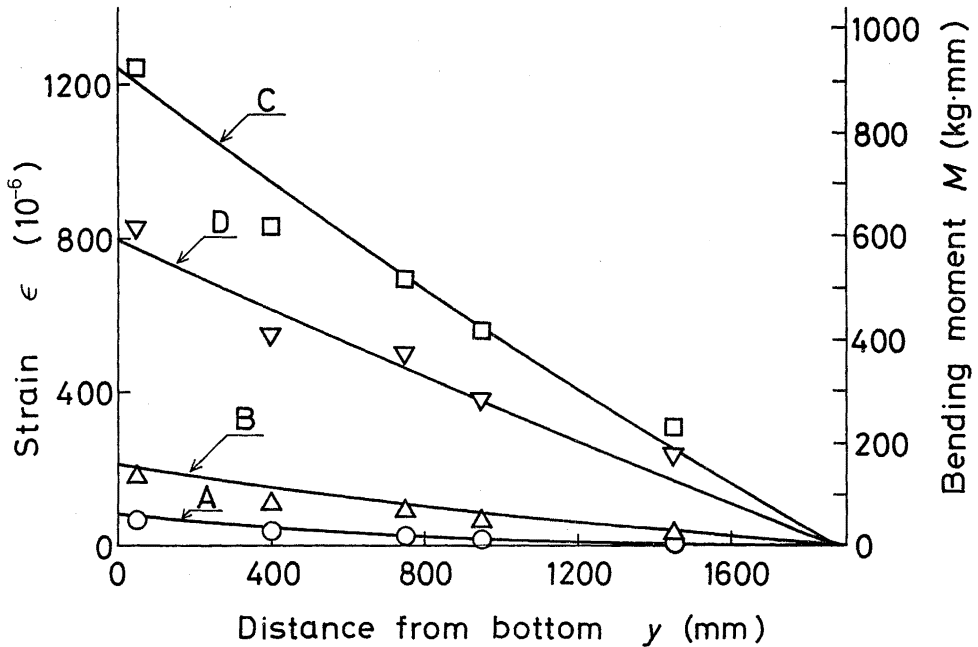


図 8 歪分布 (PVC)

5. 結 語

本報告では、円断面梁の水中振動解析に関し、梁の撓みと流体力の相互作用を考慮した、流力弾性的

方法の有効性を示すために、計算結果と実験結果の対比を行った。この計算によれば、振動数、対数減衰率、モード、及び流体力、更には応答曲線が、種類の異なった条件に対し、統一して得られる。

1. 振動解析に際し最も重要且つ基本的な、固有振動数従って共振振動数に関しては、ポテンシャル流体力を用いることにより、計測値に近い計算値を得ることが出来る。
2. しかし乍ら、減衰特性に関しては、ポテンシャル流体力を用いるだけでは、不十分であった。対数減衰率については、計算は計測値に比し小さ目な値しか与えない。又、強制振動における応答振幅については、計算値は、安全側とはいえ、過大な結果を示した。
3. 対数減衰率が、先端撓みの大きさに無関係に、略一定である実験結果に基き、線型非ポテンシャル流体力を付加した。対数減衰率に関する計測値が旨く解釈出来るようにこの力を定め、その結果を強制振動の計算に用いた。これにより、応答振幅の計算値は計測値に近くなった。

以上の様に、梁の撓みと流体力の相互作用を考慮した水中振動解析法の実用上の価値を吟味した。尚、本方法は円断面梁に留まらず、例えば有限要素法を用いれば、板構造の水中振動解析に拡張することが可能である。

謝 辞

本研究を行うに当たり、田才教授から貴重な教示と多大の便宜を賜った。又、小寺山助教授からは有益な討論を載いた。田代技官は水槽実験に際し骨身惜しまず尽力下さった。記して厚く謝意を表す。計算は応用力学研究所 FACOM 230-48 を用いて行った。

参 考 文 献

- 1) Clough, R. W.: *Effects of earthquakes on underwater structures*, Proc. 2nd World Conference on Earthquake Engineering II (1960) 815—831.
- 2) 川建和雄: 水中における円断面梁の振動特性の一計算法, 九州大学応用力学研究所所報 第45号 (1976) 397—406.
- 3) Kawatate, K.: *A vibration analysis of an underwater beam with circular section*—Letter to the Editor, J. Sound and Vibration 58 (1978).
- 4) 原田敬, 金広和彦, 遠山泰美: 海洋構造物の規則波に対する動的応答, 西部造船会会報第53号 (1977) 67—74.
- 5) Bisplinghoff, R. L., Ashley, H., and Halfman R. L.: *Aeroelasticity*, (Addison-Wesley, 1958) P. 88 and 154.
- 6) 伊藤喜行, 木原力: 円柱の動揺に伴う造波抵抗, 港湾技術研究所報告第11巻第3号 (1972) 37—58.
- 7) 桜井彰雄: 水中構造物の振動 (表面エネルギー減衰について), 電力中央研究所所報第14巻第2号 (1964) 91—98.
- 8) 日本航空宇宙学会編: 航空宇宙工学便覧 (丸善, 1976) pp. 392—394.
- 9) 小坪清真: 土木振動学 (森北出版, 1974) p. 159.
- 10) Blevins, R. D.: *Flow-induced vibration* (Van Nostrand Reinhold Co., 1977) p. 124.
- 11) 岩垣雄一, 石田啓, 佐藤道彦: 円柱に作用する規則波と振動流による波力の比較, 土木学会第32回年次学術講演概要集 II-54 (1977) 99—100.

(昭和53年6月5日 受理)