

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

大阪大学工学部 正員 榎木 亨

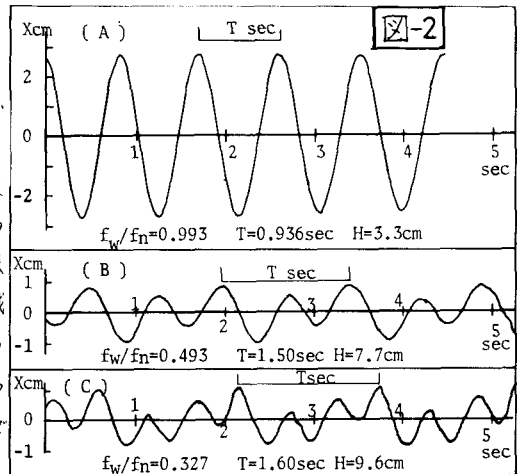
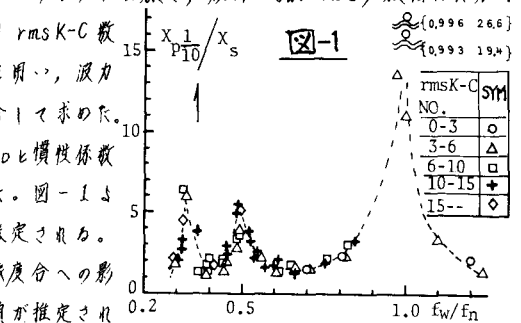
大阪大学工学部 学生員 三木秀樹

1. ええがき；昨年度より著者らは、単円柱モデルを用いて動的応答に対する波動場における揚力の効果について検討を加えてきたが（この結果については、第23回海構論文集に投稿中）、この際揚力方向だけでなく従来より研究されてきている波向方向の振動応答についても構造物の固有周波数 f_n が波の周波数 f_w に比し大きい領域で共振現象が出現する事実と見い出している。しかも、実際的には f_n が f_w より大きいのが固定式海洋構造物では一般的であることや著者らの結果によるとこのような領域下で振動変位の絶対値が揚力方向の振動変位（以下Y方向変位と称す）と波向方向のそれ（以下X方向変位と称す）との合成変位で与えられることから、X方向におけるこのような領域下での共振現象について検討した次第である。

2. 実験装置と実験方法；この項目については、前投稿中論文に詳しくわかるので簡単に述べる。本実験に用いた単円柱の構造は、水路床下側に鋼棒バネ部、水路床より静水面より20cmまでゴアフル製の実験円柱部、さらにその上に円柱と同径の鉄製荷重部の3部よりなり、バネ部下端の固定された片持梁形式である。振動変位は、頂部変位を対象に円柱の鉛直上方より高速度カメラにより撮影した。円柱径Dは2.5cm、水深は35cm一定とし、実験円柱の水中固有周波数 f_n は荷重部の調整により1.075, 1.351, 1.914 Hzの3種類を選定した。実験円柱に作用せしめた規則波は、周期 $T=0.7\sim 2.3$ 秒、波高 $H=2\sim 11$ cmの範囲にある。

3. 波向方向における振動変位の実態；図-1はX方向における共振曲線で、横軸に f_w/f_n を、縦軸にX方向の実測の固有共振最大変位 X_{p10} と静的最大変位 X_s との比をとりrms K-C数とパラメータとして示す。ここで X_s は、Morison 波力式を用い、波力積分領域を変動水表面までとし叙述する等価振動モデルを介して求めた。なお、水粒子速度、加速度は線形振動理論で求めた抗力係数 C_D と慣性係数 C_M には、著者らの実験の平均値 $C_D=1.5$ 、 $C_M=2.2$ を用いた。図-1よりX方向の共振点は、 $f_w/f_n=1.0, 0.5, 0.333$ の3ヶ所と推定される。また、波浪周特性を支配するパラメータK-C数による共振度合への影響は見られないようである。上記共振点について以下の事項が推定される。

A) $f_w/f_n=1.0$ での共振現象は、従来研究されてきたものでX方向の作用波力の卓越周波数が f_w と同一であることより生じるものである。この場合のX方向変位一時間曲線を示すのが図-2(A)であり、波と同一の周波数で振動している。
B) $f_w/f_n=0.5$ の共振現象は、 $f_w/f_n=1.0$ に比しその度合は小さいが3.5～5.5の範囲の増中率を有している。この場合のX方向変位一時間曲線を示すのが図-2(B)であり、振動波形は波の基本周波数と2倍周波数とが共存し後者の卓越した形で混存した波形となっている。
C) $f_w/f_n=0.333$ の共振現象は、 $f_w/f_n=0.5$ とはほぼ同程度の増中率を有しており、この場合のX方向変位一時間曲線を示すのが図-2(C)である。振動波形は、波の基本周波数と3倍周波数とが共存し



後者の卓越した混存波形となっている。ここでは詳述しないが、着床時の揚力による振動結果では $f_w/f_n = 0.5$, 0.333 付近では X 方向より Y 方向にかなり大きく振動変位が出現しており、X 方向の振動変位にそれほど着目する必要はない。しかし、 $f_w/f_n = 0.5$, 0.333 付近以外の境界領域では X, Y 両方向による振動変位絶対値に対する検討を要するため、 $f_w/f_n = 0.5$, 0.333 を含む範囲で X 方向の振動特性が要となる。以上の X 方向にわたる $f_w/f_n = 0.5$, 0.333 付近で各々波の 2, 3 倍周波数の卓越波形で共振現象が出現する理由は、Morison 波力式と妥当とするならば、抗力項の非線形性並びに水平波力 F_x , 転倒モーメント M_x が波動の有限振中性のための高調波成分を有する点に推定される。この一例を示すのが表-1 であり、 F_x , M_x の積分領域と変動水表面 z とし、水粒子速度、加速度的算定には簡単のため線形波動理論を用いて F_x , M_x と波の一周期分発生させ調和解析した結果を示す。表-1 より F_x , M_x は、 $n = 2, 3$ の波の 2, 3 倍周波数成分と基本周波数成分の 1 割程度有することになり、これら高調波成分が $f_w/f_n = 0.5$, 0.333 で共振出現したものと推定される。以下、4. でこの推定を検証するため、振動外力並びに方程式において I) 力、モーメント等の積分領域と変動水表面 z とした場合、II) 同様の積分領域を静水面 $z=0$ とした場合の 2 者により応答を求め実測値と比較してみた。

4. X 方向の振動応答計算；図-3 は、実験円柱の等価振動モデルで水路床下の鋼棒バネが長さ L の棒バネ部に、円柱並びに荷重部が長さ l の剛体部に相当してあり、棒バネ上端の水平変位 x と回転角 θ を考えた自由度 2 の振動モデルにモデル化した。この振動モデルの波動場中での X 方向にわたる振動方程式は、(1)(2)式のように導ける。

$$(m+m_V)\frac{d^2x}{dt^2} + (m+m_V)G\frac{d^2\theta}{dt^2} + C\frac{dx}{dt} + G_A C\frac{d\theta}{dt} + \frac{6EI}{\ell^3}(2x-l\theta) \\ = \frac{1}{2}C_D\rho D \int_0^{h+n} (u - \frac{dx}{dt} - z\frac{d\theta}{dt}) |u - \frac{dx}{dt} - z\frac{d\theta}{dt}| dz + \int_0^{h+n} \frac{C_M\rho\pi D^2}{4} \frac{\delta u}{\delta t} dz \quad (1)$$

$$(m+m_V)G\frac{d^2x}{dt^2} + [I_G + I_{GV} + (m+m_V)G^2]\frac{d^2\theta}{dt^2} + G_A C\frac{dx}{dt} + G_A^2 C\frac{d\theta}{dt} + \frac{2EI}{\ell^2}(2l\theta - 3x) = \int_0^{h+n} z [\frac{1}{2}C_D\rho D(u - \frac{dx}{dt} - z\frac{d\theta}{dt}) |u - \frac{dx}{dt} - z\frac{d\theta}{dt}| \\ + C_M\rho\frac{\pi D^2}{4} \frac{\delta u}{\delta t}] dz + [m_G G_A - \rho g \pi D^2 \frac{(h+n)^2}{8}] \theta \quad (2)$$

$$m_V = C_V \rho \pi \frac{D^2}{4} (h+n) \quad (3)$$

ここに、 m は付加質量を除く振動系の鉄質量、 m_V は付加質量で (3) 式で与えられ、付加質量係数 $C_V = C_M - 1.0 = 1.2$ を用いた。 G は水底より m と m_V と考慮して求めた重心までの距離、 G_A は m だけで求めた重心までの距離、 C は構造減衰量で以下では 0.02 と用いた。 I_G , I_{GV} は各々 G までの m , m_V による慣性モーメント、 η は水面変動で、 u , $\frac{\partial u}{\partial t}$ は各々水粒子水平速度、加速度で以下では線形波動理論により求めた。(1), (2) 式を解くに当っては Newmark の β 法を用いて時間間隔 $\Delta t = 0.005$ 秒で数値的に求めた。図-4 は、X 方向にわたる応答計算結果の一部を示すもので、図中実線が前述した I) による結果、点線が II) による結果、白丸が実測結果である。図-4 (A)(A')(B)(C) は $f_w/f_n = 0.5$, 0.44 , 0.333 付近の結果であり、I) による結果が (A)(A')(B)(C) 共に実測とよく一致し、(C) では I) と II) による差異はほとんどないが、(A), (A') では波形の周波数が異なるなど大きな相違が生じていることがわかる。したがって、I) による手法が X 方向の共振点を拾うては妥当であり、特に $f_w/f_n = 0.5$ 付近では I) による応答推定が是非必要とすることが明らかである。なお、ここでは $f_w/f_n = 1.0$ 付近の結果を示さなかったが、(C) と同様 I) と II) による差異がほとんどなかったことを付記しておく。

T=1.8sec H=6cm		
	n	$\sqrt{a_n^2 + b_n^2}$
F _x	1	11.6
	2	0.87 (g)
	3	1.3
	4	0.22
	5	0.33
M _x	1	215.5
	2	27.0 (gcm)
	3	25.3
	4	2.85
	5	6.07

表-1

