

浮遊構造物の長周期動揺について

住友建設株式会社 正員 池田 幸寿
鳥取大学 工学部 正員 木村 晃
鳥取大学 工学部 正員 瀬山 明

1. はじめに：浅海域で見られる浮遊構造物の長周期動揺という現象は、外海から来襲した長周期の波により生ずるものと考えられて来た。本研究では新たに、同現象発生の原因を波群の来襲に伴い現われる surf beat に求め、surf beat の特性を検討すると共にそれによる浮遊構造物の長周期動揺について検討を行なったものである。

2. Surf Beat の解析：本研究では、着者が不規則波の伝播特性に関する実験を実施した際のデータを用いて surf beat の検討を行なった。図-1 は 1/20 斜面上水深 20cm の観測点で Peak 周波数 $f_p = 0.7$ (Hz) の不規則波において、それぞれ 0.08, 0.10, 0.12 (Hz) 以上の高周波成分をカットして得た surf beat の波形から Zero-up-cross 法で定義した周期 T_{SB} を読み取り作成した相対度数分布図である。図より surf beat の周期

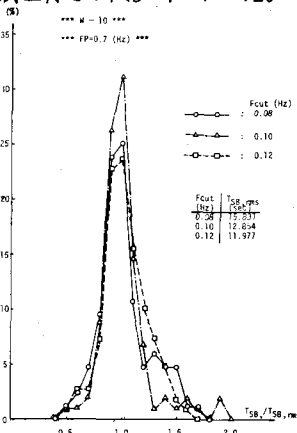


図-1 周期の相対度数

はほぼ一定として良い事、Cut off 周波数を若干変えても分布は大して変化せずその平均周期は表面波の平均周期の 7~10 倍程度の値をとる事などがわかる。また表-1 は、上記方法で定義した波高 H_{SB} の分布から Weibull 確率紙を用いて決定したその形状母数の値を示したものである。同表か

Place f_p (Hz)	W-10	W-11	W-12
0.5	1.38	1.30	1.26
0.7	1.20	1.19	1.26
0.9	1.32	1.29	1.19
1.2	1.36	1.52	1.35

表-1 波高の形状母数から、 f_p 等を種々変化させた場合にも形状母数の値はほぼ一定値 1.3 をとる。つまり、surf beat の波高は指数分布と Rayleigh 分布の中間的な分布形状を示す。

3. 浮遊構造物の変位応答：図-2 は実際の振動系とそれをモデル化した等価系を表わす。本研究では同図 (a) に示すような浮遊構造物を対象とし、以下の仮定の下

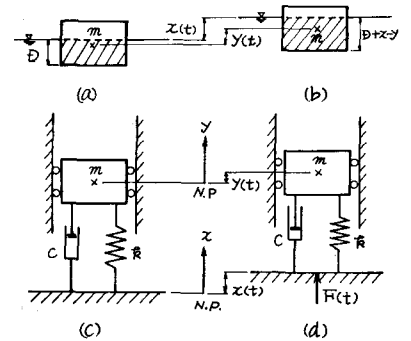


図-2 実際の振動系と等価系

に議論を進める。(1) surf beat の周期は一定、(2) 浮遊構造物は入射波の波長に比して充分大きい為、波自体による動揺はほぼ無視でき、平均水位の変動 (surf beat) のみによって動揺する、(3) 構造物は剛体、(4) 構造物は上下方向のみに動揺し、変位に比例した復元力と速度の 1 乗に比例した減衰力を受ける為線形 1 自由度のバネ質量系として取り扱うことができる。上記仮定に基づき運動方程式を立てると次式のようなになる。

$$\begin{cases} m\ddot{y} + c\dot{y} + ky = F_0 \sin(\omega_{SB}t + \varphi) = F(t) & \text{---(1)} \\ F_0 = H_{SB} k / 2 \cos \varphi & \text{---(2)} \\ \varphi = \tan^{-1}(c\omega_{SB}/k) & \text{---(3)} \end{cases}$$

ここに、 m ：系の有効質量、 c ：減衰係数、 k ：バネ定数、 H_{SB} ：水位変動幅、 ω_{SB} ：水位変動の円振動数、 φ ：作用外力と水位変動の位相差である。

今、式(1)の $F(t)$ のかわりに

$$F(t) = \begin{cases} F_0(t) \sin(\omega_{SB}t + \varphi) & (i-1)T \leq t \leq iT \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

つまり、間欠的な 1 周期分の水位変動が作用した場合の浮遊構造物の変位は式(1)より次式で与えられる。

$$y_i(t) = \frac{F_0 e^{-\frac{c}{2m}t} \cos(\omega_{SB}t + \varphi) \cdot \cos(\omega_{SB}t + \varphi - \beta_i) \cdot \Gamma_i(t)}{2m\omega_d \sqrt{(\frac{c}{2m})^2 + (\omega_{SB} - \omega_d)^2}} - \frac{F_0 e^{-\frac{c}{2m}t} \cos(\omega_{SB}t + \varphi) \cdot \cos(\omega_{SB}t + \varphi - \beta_i) \cdot \Gamma_i(t)}{2m\omega_d \sqrt{(\frac{c}{2m})^2 + (\omega_{SB} - \omega_d)^2}}$$

$$\begin{cases} t > (i-1)T \\ 0 \leq t \leq (i-1)T \end{cases} \quad \text{---(4)}$$

ここに、 $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 、 $\omega_B = \omega_n \sqrt{1-\zeta^2}$ 、 $\zeta = C/2\sqrt{mk}$ 、 $\beta_1 = \tan^{-1}((\omega_{SB} + \omega_B)/\zeta\omega_n)$ 、 $\beta_2 = \tan^{-1}((\omega_{SB} - \omega_B)/\zeta\omega_n)$ であり積分の上限は $(i-1)T \leq t \leq iT$ の時 $t = t$ 、 $t > iT$ の時 $t = iT$ である。浮遊構造物は外力の作用が終了しても暫くは動揺を続ける。外力の影響がどの程度まで及ぶかという問題について、本研究では浮遊構造物の変位応答の整定時間 T_s (式(4)のインディシャル応答が平衡値の±5%以内に入るのに要する時間。図-3参照)を用いた。そして T_s の値が surf beat の周期の何周期分に相等するかという事で、考慮すべき surf beat の履歴数を決めた。(表-2参照) 同表より、それが N と読み取れ任意時刻において第 N 番目の水位変動が作用

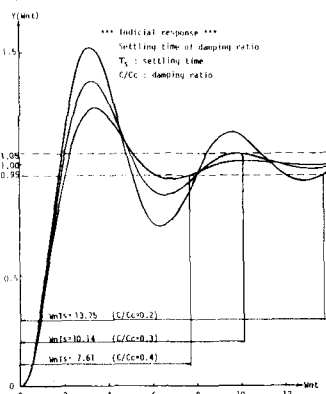


図-3 インディシャル応答

表-2 考慮すべき履歴数

C/C_c	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
ω_B/ω_n							
0.2	1	1	1	1	1	1	1
0.6	3	2	1	1	1	1	1
1.0	5	3	2	2	1	1	1
1.4	7	4	3	2	2	2	1
2.0	10	5	4	3	2	2	1

せ、即ち次式で求められる。

$$y(t) = \sum_{i=1}^N y_i(t) \quad [(n-1)T \leq t \leq nT]$$

ここに、 $y_i(t)$ は第 i 番目の水位変動による浮遊構造物の変位応答を意味する。図-4 は ω_{SB}/ω_n の値を変化させた場合の式(4)の結果を示したものである。図より、 ω_{SB}/ω_n の値が増大するに伴い T_s は長くなり変位は小さくなる事がわかる。また図-5 は変位応答の増幅率 η を示したもので、浮遊構造物は小規模な振幅で非常にゆっくりと上下に長周期で動揺し、特に問題となるような大きな動揺は同図で $r \approx r_m$ (r_m : η_{max} 時の r) の共振状態にある場合に主すると考えられる。

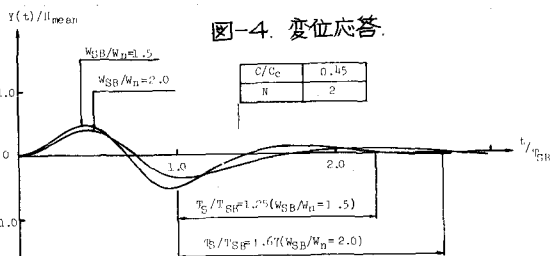


図-4 変位応答

4. 変位の確率特性

図-6 は $C/C_c = 0.45$ 、 $\omega_B/\omega_n = 1.0, 1.5, 2.0$ とした時の変位の非超過確率を示したものである。同図において、変位は平均波

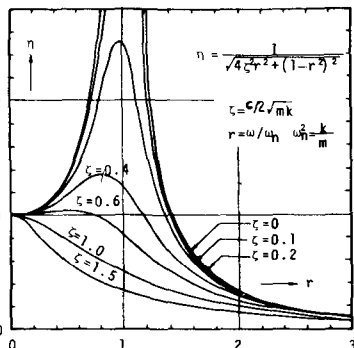


図-5 変位応答の増幅率

高の水位変動が作用した時の浮遊構造物の定常応答の振幅で割って正規化してある。図より、 ω_{SB}/ω_n の増加に伴い分布が左に移動し大きな変位の出現確率が減少してあり、例えば $\omega_{SB}/\omega_n = 1.5, 2.0$ の 90% 非超過確率は $\omega_{SB}/\omega_n = 1.0$ のそれぞれの 8割、6割に減少することがわかる。

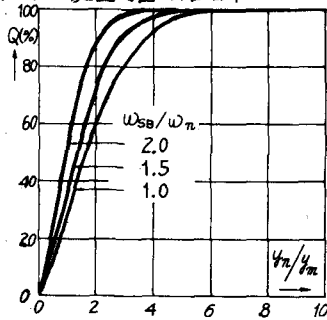


図-6 変位の非超過確率

5. おわりに：本研究は、具体的な浮遊構造物を想定して行なったものではないため、パラメーター等の選定には実際にその長周期動揺が問題となっている浮遊構造物のそれにただちに適用できるような系統的なものにすることができなかった。今後、実験による検証をも含めてここに示した理論の妥当性を検討することが必要である。

＜参考文献＞

木村晃、瀬山明、浜島昇雄：不規則波による海中構造物の変位の確率特性、第28回海講、pp401~405、1981。