

海中構造物の変位の確率特性について

国鉄名古屋鉄道管理局 正員 ○ 沢島 幹雄

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：この研究は直円柱による構成された海中構造物の不規則波による変位の確率特性について検討したものである。海中構造物の変位特性を知ることはその安全性・稼働率を知る上で大変重要なることである。従来、スペクトル法にもヒュク構造物の変位特性の検討は数多く試みられているが、その確率特性に関してはまだ十分な検討が行われていない。これは構造物の変位は単に波力の確率特性を知るのみでは十分でなく、その履歴を知る必要があり、不規則波の場合それは困難である。このことによる。この研究は、この波力の履歴の算定に、新たに不規則波の連の概念を導入し、変位の確率特性の解明を試みたものである。

2. 構造物の変位応答：不規則波力による構造物の変位は以下の仮定のもとに算定した。(1)ゼロトップクワース波の内部機構は微小振幅理論で近似できる。(2)円柱に作用する波力はモリソンの式により算定できる。(3)波力による構造物の変位は微小であり、構造物は線型1自由度系と見なし得る。(4)不規則波はmarrow-bandであり、zero-up-cross波の周期はほぼ一定である。

モリソン式の線型化ならびに構造物の等価線型化はHalemanら¹⁾と同じ方法によった。すなわち、モリソン式の抗力項はフーリエ級数展開により第2項まで作用した。

$$F(\theta) = F_0 \left[\frac{8}{3\pi} \sin(\theta - \pi/2) + \frac{8}{15\pi} \sin(3\theta + \pi/2) \right] + F_1 \cdot \sin \theta \quad (1)$$

ただし、 F_0 、 F_1 は抗力および慣性力の振幅である。

構造物に図-1のように質量および外力が上部に集中するような等価系に、変換すると、作用外力 $P_0(\theta)$ は変位が等しいという条件より

$$P_0(\theta) = F_0 f_0 \left[\frac{8}{3\pi} \sin(\theta + \pi/2) + \frac{8}{15\pi} \sin(3\theta + \pi/2) \right] + F_1 f_1 \cdot \sin \theta \quad (2)$$

となる。ここに f_0 、 f_1 はそれぞれ抗力および慣性力の作用点変位の比の定数である。¹⁾

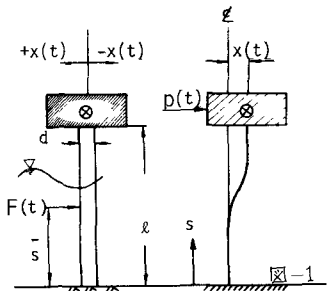
今この等価系に図-2に示すように $t=0$ から波が作用し始める場合を考える。最初の波の1波だけ作用した場合の構造物の変位は微分方程式

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = P_0(\theta) \quad (0 \leq \theta \leq 2\pi) \quad (3)$$

を解けば得られる。ここに m ；荷重を含む構造物の質量、 c ；減衰定数、 k ；バネ定数である。系は線型であるので系全体の変位は両式の各項が単独に作用した場合の変位の和として与えられる。今両式の右辺外力項 P_0 のかわりに、 $F_1 \sin(\omega t + \varphi)$ 、($\omega = 2\pi/T$) とおいて1波1周期だけ作用した時の構造物の変位は、

$$\begin{aligned} x(t) = & \frac{F_1 e^{-h\omega t}}{2m\omega d} \cdot \frac{1}{\sqrt{(h\omega m)^2 + (d\omega + \omega d)^2}} \left[e^{h\omega t} \cos[(d\omega + \omega d)t - \omega t + \varphi - \beta_1] \right]_{t=0}^{t'} \\ & - \frac{F_1 e^{-h\omega t}}{2m\omega d} \cdot \frac{1}{\sqrt{(h\omega m)^2 + (d\omega - \omega d)^2}} \left[e^{h\omega t} \cos[(d\omega - \omega d)t + \omega t + \varphi - \beta_2] \right]_{t=0}^{t'} \end{aligned}$$

と求められる。ここに、 $\omega_m = \sqrt{k/m}$ 、 $\omega d = \omega_m \sqrt{1-h^2}$ 、 $h = c/2\sqrt{mk}$ 、 $\beta_1 = \tan^{-1}(d\omega + \omega d)/k\omega$ 、 $\beta_2 = \tan^{-1}(d\omega - \omega d)/k\omega$ であり、積分の上限 t' は $0 \leq t \leq T$ の時 $t = t'$ 、 $t > T$ の時、 $t' = T$ となる。したがって、(2)式第1項による変位 $x_{11}(t)$ は、両式の $F = 8F_0 f_0/3\pi$ 、 $d = -1$ 、 $\varphi = \pi/2$ と代入すれば求められる。以下同様に、第2項による変位 $x_{12}(t)$



は $F = 8F_0 \cdot f_0 / 15\pi$, $d = -3$, $\varphi = \pi/2$, 第3項による変位 $x_3(t)$ は $F = F_2 f_2$, $d = -1$, $\varphi = 0$ と x を代入すれば求まる。最終的に第一波の波による変位は3つの変位の和

$$x_1(t) = x_{11}(t) + x_{12}(t) + x_{13}(t) \quad (5)$$

で与えられる。以下 m 波目の波が、一様波だけ作用した場合の変位を $x_m(t)$ $\{t = t - (m-1)T\}$ とすると、 m 同期目の波が作用している時の構造物の変位 $x_m(t)$ は、

$$x_m(t) = \sum_{i=1}^m x_i(t) \quad (6)$$

となる。図-2からもわかる様に、1波だけによる変位はしばらくにつと減衰し、その影響はあまり度へは及ばない。影響の及ぶ範囲を示す尺度として本研究では構造物の変位応答の整定時間 T_s を用いた。すなわち、入射波の周期 T と T_s との比より影響

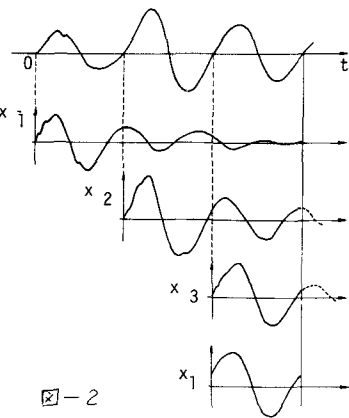


図-2

が何周期後まで及ぶかと決定した。例えば $T/T_s \approx 2$ ならば考慮すべき波の履歴(組み合わせ)は、これに波が作用している間の1周期を加えた3周期となる。波高を適当な幅でランク分けし、各ランクに入る波高とその中央値で代表させることとする。いま図-2に示す3波 H_1, H_2, H_3 をそれぞれランク i, j, k に入ったとすれば無数の波高の組み合わせの中から、3波がこの組み合わせで出現する確率は、

$$P_{ijk} = P_i \cdot P_{ij} \cdot P_{ijk} \quad (7)$$

で与えられる。ここに P_i は波高ランク i に入る確率があり、 P_{ij}, P_{ijk} はそれぞれランク j, k に入る確率である。式(7)で与えられる変位の $(m-1)T \leq t \leq mT$ の間の最大値と最小値の差を D_m とし、存在し得るすべての D_m とその出現確率を計算すれば変位の確率分布を求めることができる。

図-3は $\omega/\omega_n = 0.3$, 減衰比 0.7 , $\bar{\zeta} = 10.0$ とした時の確率分布で、long waves と示したものは、構造物が非常に浅い位置に設置された場合のもので、deep-water waves は、梁毎成に設置された場合の結果である。相対的な関係は、波力の確率分布とほぼ同じである。図-4は減衰比の効果を検討したもので ω/ω_n が小くなるほど mode が、右に移動し、大きな変位の出現確率が增大していることがわかる。

以上、この研究で得た結果について述べたが、今後、実験的研究もあわせて行い、理論の妥当性と検証する必要があると考えらる。

最後に、この研究は文部省科学研究費による研究の一部であることを付記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) Harleman, D.R.F., W.C. Nolan, V.C. Honsinger; Proc. 8th Conf. Coastal Eng. pp. 482-499, 1962
- 2) 木村 晃; 熊本大学工学部研究報告, 第10巻第1号 pp. 310-324, 1979.
- 3) 木村晃, 瀬山明, 工野晃; 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 373-377, 1980.

