

II-390

二方向波による小口径円柱の波力係数に関する一考察

名古屋大学工学部 正 員 富田孝史
 名古屋大学大学院 学生員 姜閔求
 東洋建設(株) 正 員 倉田克彦
 名古屋大学工学部 正 員 岩田好一朗

1. はじめに

小口径円柱に作用する流体力は、Morison et al.¹⁾を始めとして数多くの研究者が取り組んできた工学的に重要な課題の一つである。多方向不規則波浪場の円柱に作用する波力も、例えば、Issacson and Nwogu²⁾により研究されている。しかし、異なる2方向から伝播してくる波が卓越する、すなわち2つの波による斜交波によって小口径円柱に作用する波力に関する研究は非常に少ない。そして、一般に波力は直方向力と揚力に分けて考えられるが、波力係数を定義する際の座標軸の取り方も明確でないと思われる。本研究では、斜交波動場の小口径円柱の波力係数(抗力係数、慣性力係数)を水理実験結果から検討した。ここに、その一部を報告する。

2. 水理実験

実験では、東洋建設(株)総合技術研究所鳴尾研究所の平面水槽(長さ30m、幅21m、深さ1.5m)を使用した。この水槽にはピストンタイプの多方向不規則造波装置が設置されており、水槽内周囲に反射波を極力小さくするために砕石による消波斜面や消波かごを設置した。円柱に作用する波力の計測には、円柱の上端を固定した片持ちばり形式の波力計測装置を使用し、円柱上部に取り付けた三分力計により水平2方向の波力を計測した。したがって、本実験で計測される波力は円柱に作用する全波力となる。使用した円柱は、直径(D)が5cmと8cmでともに長さが84cmの2種類である。なお、波力計測装置の水中における固有振動数は10Hzであった。実験では表-1に示すように、静水深(h)を50cmに固定し、斜交波を構成する一方の波(wave-1)を2種類の規則波、もう一方の波(wave-2)を1から3種類の規則波とした。そして、それらの波を交差角(2つの波の伝播方向のなす角度; θ)を0°, 30°および60°の3種類とした。なお、全ての実験ケースにおいて波は非碎波である。また、wave-1あるいはwave-2のみの場合の実験も行った。実験は、まず、図-1に示す○の位置に波力計測装置を固定し、●の位置に電気容量式水位計を設置して、波力と4地点の水位を計測した。その後、波力計測装置の代わりに水位計と超音波流速計を設置して、5地点の水位と○の位置における水平2方向の流速を計測した。なお、流速を計測した深さは、静水面下12.5cm、25.0cmおよび37.5cmである。

3. 波力係数の定義

本研究では、下式を使用して、最小自乗法により抗力係数(C_D)や慣性力係数(C_M)を決める。

$$\mathbf{F} = \frac{\rho D}{2} C_D \int_{-h}^{\eta} \mathbf{v} |\mathbf{v}| dz + \frac{\rho \pi D^2}{4} C_M \int_{-h}^{\eta} \mathbf{a} dz \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 $\mathbf{F}$ は波力ベクトル、 $\mathbf{v}$ は流速ベクトル、 $\mathbf{a}$ は加速度ベクトル、 η は静水位を基準にした水位変動、 h は静水深、 D は円柱の直径、 ρ は水の密度および z は静水面を基準にした鉛直軸である。上式を使用する際には、全水深にわたる流速や加速度が必要になる。本研究では、流速の時間波形における水理実験による計測値との比較から、斜交波の流速場に対して適用可能であると判断されたKangらによる3次理論³⁾を使用する。また、抗力係数と慣性力係数は時間により変化しないと仮定する。

4. 結果および考察

まず、波力ベクトル $\mathbf{F}$ を直角2方向に分割するときの座標軸の取り方による抗力係数 C_D と慣性力係数 C_M の差異について検討する。図-2は、 $\mathbf{F}$ を図-1に示すx軸とy軸方向の成分に分けた場合の C_D と C_M 、図-3は流速ベクトルが最大値を示すときの向き(p軸)とそれに直交する向き(s軸)に $\mathbf{F}$ を分けた場合の C_D と C_M である。座標軸の取り方によらず、 C_D は KC 数($= \sqrt{\int_{-h}^{\eta} v^2 dz / (\eta + h)}_{max} T / D$ (図-2の場合)、 $= \sqrt{\int_{-h}^{\eta} v^2 dz / (\eta + h)}_{max} T / D$ (図-3の場合); T は斜交波の平均周期、 v は $\mathbf{v}$ のy方向成分、下付添字 max は最大値を示す)の増加に伴って増加し、 KC 数 $> 7 \sim 8$ ではほぼ一定になる傾向と、 C_M は KC 数 < 5 で KC 数の減少に伴って増加するが、 KC 数 > 5 ではほぼ一定値をとる傾向が認められるが、p-s軸を座標軸にした場合の方がx-y軸の場合よりも C_D と C_M ともに若干大きな値となっている。この差異には、円柱周辺に形成される渦が影響を及ぼしていると考えられる。斜交波の場合、形成される渦は非常に複雑であるが、p軸に沿う渦の影響が最も強くなると考えられ、p-s軸を座標軸とした場合の C_D と C_M が大きくなったと考えられる。

つぎに、水深波長比が C_D や C_M に及ぼす効果を検討する。図-4は交差角 $\theta = 60^\circ$ の場合の C_D と C_M と KC 数の関係を水深波長比(h/gT^2)をパラメーターにして示したものである。この図に示す $\theta = 60^\circ$ や 30° (図示して

表 1 実験条件

case	wave-1		wave-2		θ (deg)	h (cm)
	T_1 (s)	H_1 (cm)	T_2 (s)	H_2 (cm)		
1	1.1	6.5	2.0	12.0	0 30 60	50
2				9.0		
3				5.5		
4				9.5		
5			1.61	6.5		
6				8.0		
7			1.3	5.0		
8	8.4	8.4	2.0	9.0	0 30 60	50
9			1.61	6.5		
10			1.3	5.0		

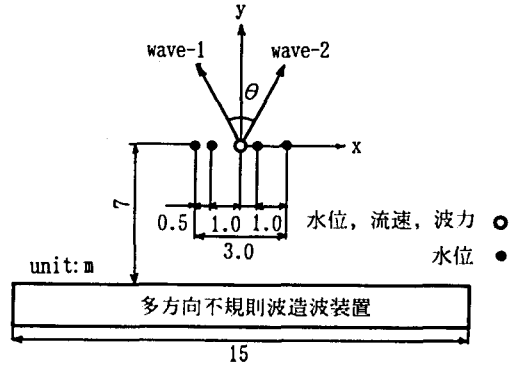


図 1 水位計，流速計，波力計測装置の設置位置

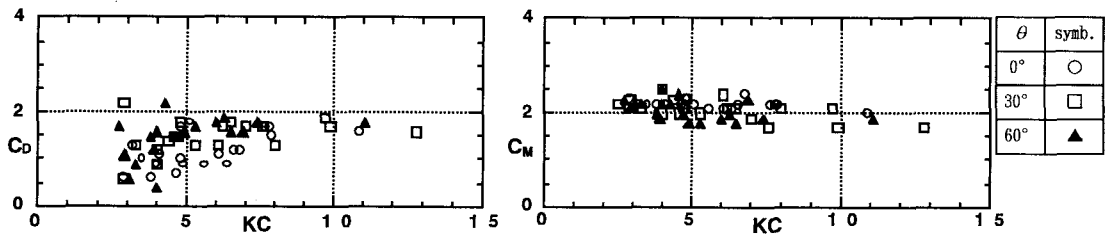


図 2 x-y 軸の場合の C_D と C_M

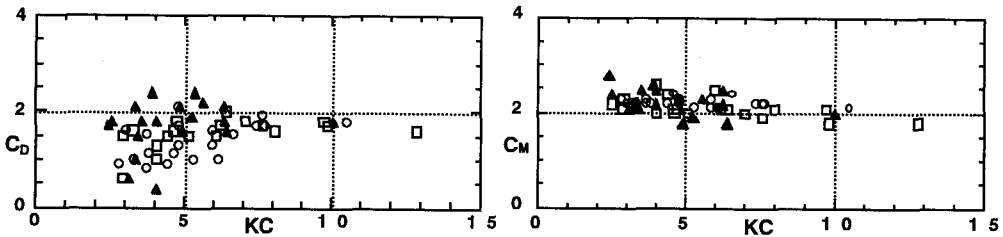


図 3 p-s 軸の場合の C_D と C_M

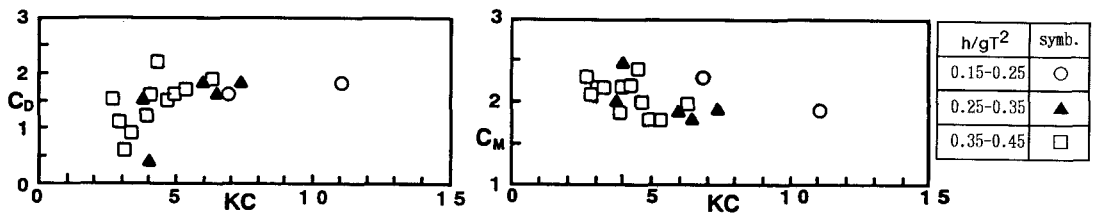


図 4 x-y 軸で $\theta = 60^\circ$ の場合の C_D と C_M

いない) の場合には，データ数が少ないためもあり，水深波長比の効果は明確ではないが， $\theta = 0^\circ$ の場合には，水深波長比が小さくなるにつれて， C_D は大きくなる傾向が認められた。

5. おわりに

水理実験結果に基づいて，円柱に作用する斜交波の波力係数は座標軸の取り方により波力係数の大きさが変化するを確認した。今後は，斜交波の波力に及ぼす非線形効果を中心に研究を進める所存である。

参考文献: 1) Morison, J.R., O'Brien, M.P., Johnson, J.W. and Schaaf, S.A. : The Forces Exerted by Surface Wave on Piles, *Petroleum Trans. AIME*, Vol.189, pp.149-157, 1950. 2) Issacson, M. and Nwogu, N. : Short-Crested Wave Forces on a Vertical Pile, *Proc. the 7th Int. Conf. on Offshore Mech. and Arctic Eng.* pp.47-54, 1988. 3) Kang, Y.-K., Tomita, T., Kurata, K. and Iwata, K. : Wave Kinematics of Nonlinear Crossing Wave, *Proc. 4th Int. Offshore and Polar Eng. Conf.*, 1994 (in printing).