

東京大学 学生員 杉山俊幸
 東京大学 正員 堀川清司
 日本テトラポッド(株) 松村好造

1. はじめに

近年、海底ケーブルや海底パイプライン等の建設が盛んになり、海洋構造物に関する、より正確な知識・情報が必要となつてきている。その中でも特に、構造物に作用する波力の大小は、設計の難易度を大きく左右するため、その評価の合理性・正確性・妥当性が要求される。しかしながら、この分野の研究は必ずしも多くなく、特に、海底面の影響を考慮した研究はあまりない。従つて、本研究では、海底面近傍に比較的大口径の円柱が水平に設置された場合の円柱に作用する波力について、海底面の影響を調べ、波高・波長・水深・円柱の径・円柱と自由表面との位置関係等の要素との関連を明確にし、さらには、渦や剝離が生じる場合の検討も加えて、波力を合理的に評価することを目的とする。

2. Yamamoto-Nath の評価方法

平面境界を有する円柱を、ポテンシャル流理論に基づき、鏡像の原理も応用して取扱つた Yamamoto-Nath の評価方法によると、波力は、微小振幅波理論を用いて

$$\text{水平成分} \quad f_H = -\rho \pi a^2 C_L \dot{U} \sin \sigma t \quad (1)$$

$$\text{鉛直成分} \quad f_V = -\rho \pi a^2 C_L \dot{V} \cos \sigma t + \rho a C_L U^2 \cos^2 \sigma t \quad (2)$$

ただし

$$\dot{U} = \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\cosh k(h-y_0)}{\sinh kh} \quad V = \frac{H}{2} \sigma^2 \frac{\sinh k(h-y_0)}{\sinh kh} \quad U = \frac{H}{2} \sigma \frac{\cosh k(h-y_0)}{\sinh kh}$$

ρ : 流体の密度 a : 円柱の半径 y_0 : 円柱中心軸の水深

σ : 角周波数 k : 波数 h : 水深 H : 波高

C_L , C_L : 鏡像の原理を応用して求められる慣性係数及び揚力係数

で表わされる。ただし、抗力や循環による揚力などは無視できる場合を取扱っており、これらの条件が満足される場合には、実験結果とかなりよい一致をみている。

3. 実験

実験は、東京大学工学部土木工学科水工実験室内の長さ23m、幅0.8m、深さ1mの二次元造波水路(造波形式:ユニバーサルタイプ)で、カンチレバー式波力計を用い、管径 $D=12\text{cm}$ 及び 8cm の円柱を対象として円柱と境界面の間のギャップ e

$\% = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0$

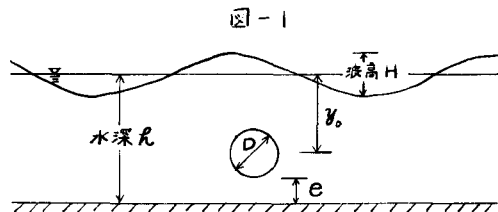
(図-1 参照)

の7ケースに変化させ、表-1に示す波の条件のもとで行ない、波力の水平成分、鉛直成分を測定する。また、これと並行して、染料を投入し、円柱周辺の水流の動きを観察する。

表-1 波の条件

	T	H	2cm	4cm	6cm	8cm		T	H	2cm	4cm	6cm	8cm
水深	0.8s	○					水深	0.8s	○				
	1.1s	○	○	○				1.1s	○	○	○		
25cm	1.4s	○	○	○			40cm	1.4s	○	○	○	○	
	1.7s	○	○	○				1.7s	○	○	○	○	○

(T: 周期 H: 波高)



4. 実験結果および結論

波力の水平成分については、図-2に示すように、渦や剝離の発生の有無に係わらず、(1)式を用いて評価すれば十分であることが確認された。しかし、鉛直成分については、図-3から明らかなように、(2)式の右辺第1項で表わされる慣性力項に関して特にバラツキが大きく、(2)式の右辺第2項で表わされる平面境界が存在することによって生じる揚力項に関しても、図-4に示すように、絶対値として大きな値となる傾向にある。渦や剝離の発生状況と、染料投入によって定性的に観察した結果を考慮に入れると、鉛直成分については、渦や剝離が発生しない条件の下では、(2)式を適用すればよいことが確かめられたが、そうでない場合には、渦や後流域の形成によって生じる循環による揚力が発生すると考えられるため、その場合の評価方法に検討を加える必要がある。実験結果によれば、水流速度の水平成分及びその2乗に比例する力の線形和と循環による力と仮定して評価すればよい傾向にある。前者の力の係数については、Reynolds数やKeulegan-Carpenter数との関連を調べれば得られると考えられ、後者については、カルマン渦列との対応から得られるのではないかと考えられる。従って、渦や剝離の発生状況・強さ等を何らかの基準をもって定量的に評価し、これらとの関連を実験的に明らかにし、理論的裏付けを行なうことが今後の課題としてあげられる(図-5 参照)

なお、本研究では、円柱が静水面下の0.6D以下にあれば自由表面の影響は無視でき、また、周期、波高、波長水深等の個々の要素と波力との関係は、特に見出されなかった。

