

大阪大学工学部 正員 樺木 亨
大阪大学工学部 正員 後野 正雄
神戸市役所 正員 岩橋 哲哉

1. 概説 海洋構造物等の鉛直円柱部材に働く衝撃波力に関しては沖波砕波波力を対象とした研究が数例報告され、また現在も研究が進められその情性が明らかになりつつある。しかし構造物の構成部材である静水面上に設置された水平円柱に関しては、非砕波の波による円柱と波面の縁近し衝突により衝撃的かつ強大な波力の発生が考えられるにもかかわらず、Kaplan & Silbert¹⁾、Sarpkaya²⁾らのわきま報告例があるのみで、その実態は明らかではない。この水平円柱に作用する衝撃波力は静止水面への円柱の落体問題も応用したモデルが与えられている。そこで本研究では、水平円柱に作用する非砕波の波による衝撃波力の実態を実験的に明らかにし、この理論モデルの適合性についても検討を加えた。

2. 実験装置および実験条件 本実験で使用した円柱は波力計と一体化されたもので、直径70cm、長さ25cmの鋼製円柱である。波力計は幅1cm、厚さ6mmの半リソウ状になり、その端部に設けられた受感部の歪を計測することにより波力を求める。この波力計は1方向の力だけを計測しうるものであること

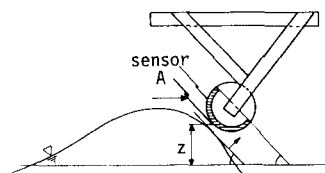


図1. 波力計および設置方法

とから、図1に示すように円柱に衝突する波面の法線方向の力のみが計測可能である。またこの円柱の相対設置高さ z/h は0.3~1.0 (ただし z : 静水面から波面とセンサーの接触点までの高さ、 h : 波頂高) に変化させ、そのときの相対水深 $L=0.05 \sim 0.09$ 、毎底勾配 $1/10$ 、水深 h に対する波頂高 h/L の大きさを表す相対波頂高 $\eta/h = 0.3 \sim 1.0$ という条件で実験を行なっている。この場合相対波頂高からわかるように砕波に近い波を対象としている。

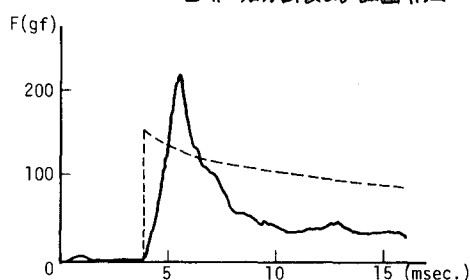


図2. 衝撃波力の時間変化

3. 実験結果および考察

① 衝撃波力の時間変化特性と落体問題との比較

実験より得られた波力時間曲線の一例を図2に示す。図中実線は実験値、点線はKaplan & Silbertによる理論値である。これによると波力は作用開始後数ミリ秒程度の短い時間で立ち上がり最大値に達する衝撃的な力であり、本実験の範囲では1cm幅当り最大460gの強大な衝撃波力が認められた。この立ち上がり時間は理論では表わされないものである。また理論による衝撃波力の最大値は次のように表される。

$$F = \frac{\pi}{2} \rho g v^2 D \quad (1) \quad \left(F: \text{単位幅に作用する衝撃波力}, D: \text{円柱径}, \rho: \text{密度}, v: \text{波面の法線方向速度(波面速度と呼ぶ)} \right)$$

これを変形すると無次元衝撃波力は以下のように求められる。

$$\frac{F}{\rho g D} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{v^2}{g D} \quad (2)$$

そこで無次元衝撃波力と無次元波面速度との関係を示したのが図3である。図中○は実験値、実線は(1)式で示す理論値、点線は本実験における上限値を示している。なお波面速度はフィルム解析による実験値を用いている。このグラフを見る限り、実験値は理論式で算定される衝撃波力より大きく、波動場における物体と自由表面との衝突現象に落体問題を適用することは、危険側の値を与えるものであると言えよう。

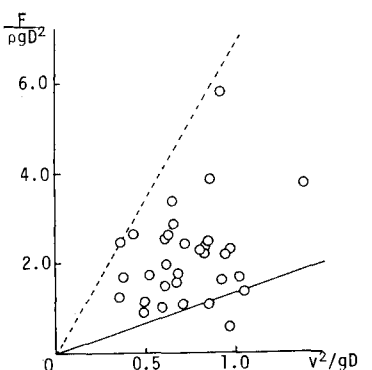


図3. 波力の実験値と理論値との比較

b) 衝撃波力に影響をよぼす諸量 上述のように水平円柱に作用する衝撃波力は、落体問題に応用した理論ではうまく表現できないので、ここでは波動場の特性を表す種々のパラメータの影響について考察を加える。そこで次元解析によって無次元のパラメータを考え、実験条件を考慮すれば衝撃波力は最終的に次式で示される関数形となる。

$$\frac{F}{\frac{1}{2}\rho g h D} = f\left(T\sqrt{\frac{g}{h}}, \frac{z}{h}, \frac{z}{h}, Re, We\right) \quad (T: \text{周期}, Re, \text{レイノルズ数}, We: \text{ウェーバー数})$$

以上のうち Re, We は実験条件からほぼ一定とみなせる。したがって、衝撃波力を支配するパラメータは、 $T\sqrt{g/h}, z/h, z/h$ となる。

図4は無次元衝撃波力と無次元周期 $T\sqrt{g/h}$ の関係を示したもので、図中の記号は他の2つのパラメータが一定であり、周期のみが変化していることを表わしている。これによると無次元周期が大きくなるにしたがって無次元波力のばらつきが大きくなる傾向を持つが、周期の衝撃波力に与える影響は顕著ではない。これは波動理論からみても本実験の場合、相対水深が小さい範囲で進行されているので、波形として孤立波に近い形となり周期の効果が小さいためと考えられる。

無次元衝撃波力と相対設置高さ z/h の関係を示したものが図5であり、相対波頂高 z/h によって分類している。本実験の範囲内では、相対波頂高にかかわらず z/h が大きくなるにしたがって衝撃波力のばらつきは小さくなり、またその値も小さくなる傾向がある。これは波頂付近で最大値をとる水粒子速度の鉛直分布からは説明できない現象である。次に図6は無次元衝撃波力と相対波頂高 z/h の関係を示したものであり、 z/h によって分類している。これによると相対設置高さにかかわらず相対波頂高が大きくなる程、衝撃波力は小さくなるという定性的傾向を示す。しかし図5、図6を見る限り z/h と z/h の2つのパラメータだけで衝撃波力の明確な表示は難しいと思われる。そこでこの2つに独立で波の非対称性を表すパラメータとして、図1 A点における孤立波理論による波面の勾配 θ と奥側値 θ_T との比 $\tan\theta/\tan\theta_T$ を考えた。このパラメータが大きいほど波の非対称性は大きいことを示す。図7は縦軸に無次元衝撃波力、横軸に z/h をとり $\tan\theta/\tan\theta_T$ の分類で示してある。図より明らかに非対称性の大きい波の方が z/h にかかわらず大きい衝撃波力を示すことがわかる。

以上のように水平円柱に作用する衝撃波力の算定においては、落体問題に置き換え、速度の関数のみで評価することは設計時には危険側となることが多く、波の非対称性の大きさも強い影響を与えることがわかる。しかしながら本実験の範囲は碎波点近傍の波に限られており、今後浅海から深海までのより広い範囲の研究が必要となるであろう。

① Kaplan & Silbert: Impact Forces on Platform Horizontal members in splash zone, O.T.C., 1976

② Sarpukaya: Wave Impact Loads on Cylinder, O.T.C., 1978

- $0.35 < z/h < 0.55$
- $0.80 < z/h < 1.00$
- $0.55 < z/h < 0.75$
- $0.50 < z/h < 0.70$
- $0.75 < z/h < 0.95$
- $0.70 < z/h < 0.80$

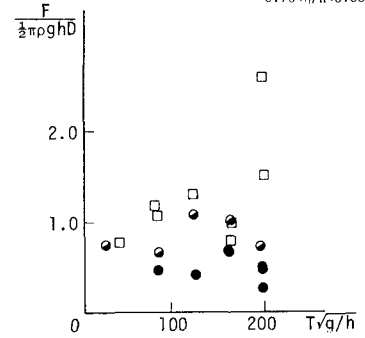


図4. 周期と衝撃波力の関係

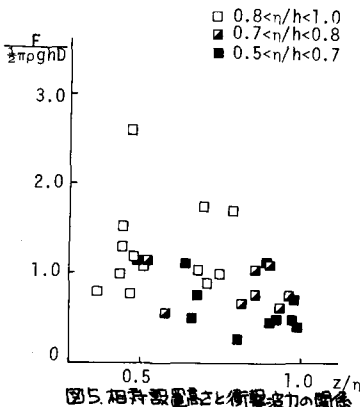


図5. 相対設置高さと衝撃波力の関係

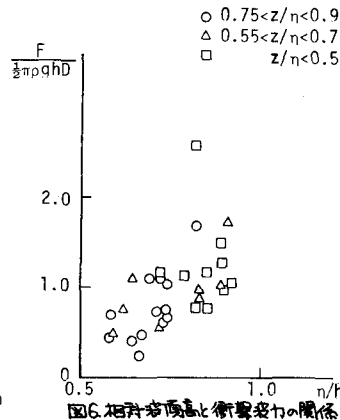


図6. 相対波頂高と衝撃波力の関係

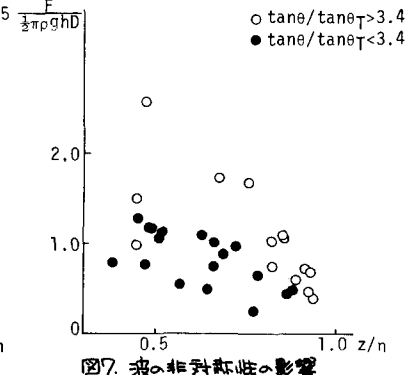


図7. 波の非対称性の影響