

円柱群による波の回折計算について

福山大学工学部 正員 梅田 真三郎

1. まえがき

近年、沿岸海域の埋め立てや海洋開発等によって円島堤や複数の大型円柱構造物が造られるようになった。この場合、円柱径が波長に比較し得る大きさになると、円柱による波の影響や円柱間の相互干渉等を考慮する必要が生じている。筆者らは、このような大口径円柱群による波の回折に関して簡便な形で表される理論近似級数解を導いた。本研究では、その解の精度や計算例について述べる。

2. 理論近似級数解

円柱が水底まで達している場合の円柱群への入・反射波をポテンシャル理論で考える。2本の円柱の場合を基準として各円柱への入・反射波を順次考え、境界条件を適用してポテンシャル解を導く。一般に大口径円柱の場合円柱の外縁間隔をある程度以上とれば、円柱間隔が円柱径に比べて大きいと考えられるので、境界条件の適用に際して近似を導入する。得られた解を理論近似級数解と名付けた。そのポテンシャル解を示すと以下ようになる。

まず、第1次入・反射波に関しての円柱 Γ_n ($n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm Me$) でのポテンシャル Ψ_n^1 は、微小振幅進行波と円柱からの第1反射波とで

$$\Psi_n^1 = \Phi_0^n + \Phi_1^n \quad (1)$$

で表される。次に第2次入・反射波以後に関しては、円柱の個数を M とすると、

$$\Psi_n^k = \left\{ \sum_{m=-Me}^{Me} \Phi_{k-1}^m \right\} - \Phi_{k-1}^n + \Phi_k^n \quad (Me = (M-1)/2) \quad (2)$$

で、円柱 Γ_n より上にある円柱の個数 M_u 、 Γ_n より下にある円柱の個数 M_d とすれば、ここでの入・反射波のポテンシャル Φ_k^n は、

$$\Phi_k^n = (-1)^{k-1} \left\{ \sum_{j=1}^{Mu} \text{Ex}[\Phi_{k-1}^m]_{m \rightarrow n-j} + \sum_{j=1}^{Md} \text{Ex}[\Phi_{k-1}^m]_{m \rightarrow n+j} \right\} \quad (k=1, 2, \dots) \quad (3)$$

で表される。ここでの $\text{Ex}[\Phi_{k-1}^m]_{m \rightarrow n-j}$ などは、2つの円柱への入・反射における関係を円柱径や円柱間隔などの座標系によって定義されるものである。

このようなポテンシャル Ψ_n^k を求めることができれば、 M 個の円柱がある場合の速度ポテンシャル Φ をポテンシャル Ψ の重ね合わせとして算定することができる。

3. 解の精度

理論近似級数解を導くにあたっては、円柱での境界条件の適用に際して近似を導入してきた。従ってこの解に基づいて円柱による波の回折計算を行おうとすると、解の精度が問題となるであろう。まず種々の円柱径や円柱間隔に対して、近似を導入したことによってこの解が厳密解に比べどの程度の誤差が生じているかを2本の円柱の場合について調べてみた。紙面の都合でその結果だけを述べると次のようになる。

円柱径 D が大きくなりしかも円柱の外縁間隔 l_0 が小さくなった場合、すなわち l_0/D が1.0より小さくなったように円柱による干渉効果が非常に大きくなった場合には、近似を導入したことによる誤差が円柱近傍で特に大きくなってくる。しかし l_0/D が1.0以上になると誤差も小さくなり、円柱による波の回折などの波の変形計算に対して今回の近似の導入はほとんど問題がないと考えられる。

次に理論近似級数解を用いて円柱に働く波力の算定を試みた。種々の円柱半径 z_0 と円柱間隔 p に対してポテンシャル解 $\Phi(z_0, \theta)$ から質量係数 C_{mx}

$$C_{mx} = \frac{1}{\pi k z_0} \int_0^{2\pi} \Phi(z_0, \theta) \cos \theta \, d\theta \quad (4)$$

を求めた。その結果の1例として、 $p/z_0 = 5.0$ の場合の kz_0 に対する質量係数の変化を示したのが図-1である。単一円柱の質量係数を破線で、大楠による結果を1点鎖線と実線で図に付け加えた。

kz_0 に対する質量係数の変化をみてみると、単一円柱の場合に比べ円柱間の相互干渉効果の影響を受けていることがわかる。しかし大楠の結果と比較すると、一部質量係数の値が小さくなっているところがある。これは近似の導入の影響によるものと想像される。

4. 計算例

円柱群による波の回折計算例の1つとして、3本の円柱列のうち中央の円柱を波の進行方向とは逆方向にずらした場合の結果を示す。まず入射波高に対する回折波高比である回折係数の分布を示したのが図-2である。

$y/L = 0.0$ 上の中央の円柱と他の円柱とに挟まれた領域では、回折係数の変動が激しく円柱による波の相互干渉効果が顕著であることが想像される。次に位相差から円柱背後の峯線の変化を求めた結果、図-3のようになった。 $x/L = -1.0$ 上では円柱の影響を受けて位相差が大きく、峯線の変化が激しい。図には峯線の y 方向での最急勾配点と思われるところに×印を示した。中央円柱の1波長背後では最急勾配点は今ひとつはっきりしないが、 $x/L = -1.0$ 上の中央の×印と $x/L = -2.0$ 及び -3.0 上の×印を連ねた方向が中央円柱による回折の方向と思われる。

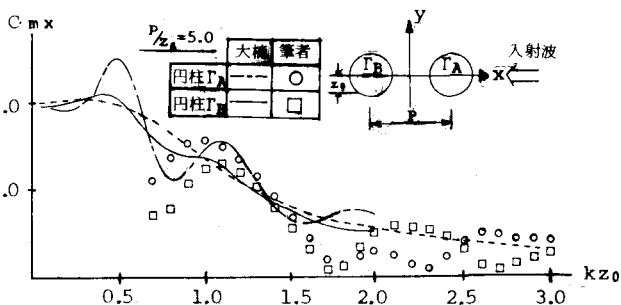


図-1 円柱に働く波力【質量係数】(2本の円柱の場合)

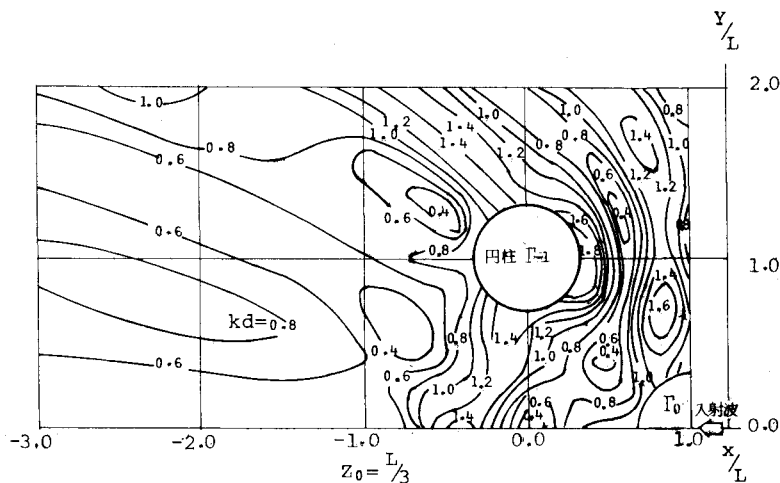


図-2 回折係数の分布 (円柱径 $z = L/3$ の3本の円柱の場合)

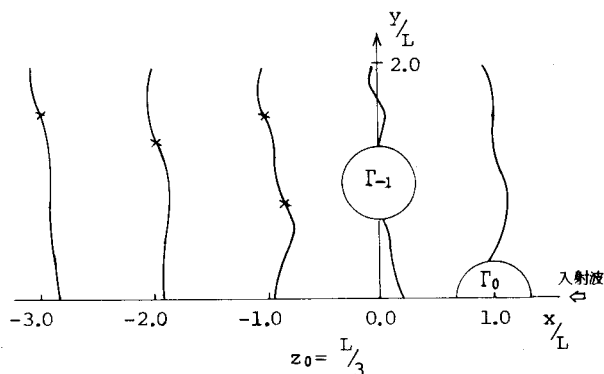


図-3 円柱背後の波の峯線 (円柱径 $z = L/3$ の3本の円柱の場合)

<参考文献>

- 1) 梅田・鹿: 円柱群による波の回折に関する研究、土木学会論文報告集、第329号、1983
- 2) 大楠: 複数本の鉛直円柱に働く波力について、日本造船学会論文集、第131号、1972