

東急建設(株) 土木技術部 正員 加藤 雅也
北海道大学工学部 正員 浜中建一郎

1. はじめに

潜堤等の海中構造物の周辺波動場に減衰定常波成分が含まれていることはよく知られている。しかしながら、実験で入・反射波の分離推定を行う場合入射波と反射波の進行波成分だけを考え、減衰定常波成分は考慮していない場合が多い。これは、減衰定常波成分が構造物から離れるに従い急激に減少するため、構造物から適当な距離離れた位置で波高を測定することにより減衰定常波成分を無視することが出来るためである。合田らは自らの提案した入・反射波分離推定法について潜堤を対象とした実験による検証を行い、規則波に対しては入射波の波長の0.1倍以上離れると、入・反射波の振幅は一定になるとしている¹⁾。しかしながら、その距離は構造物や入射波の条件ならびに分離推定法により様々であると考えられる。そこで今回、潜堤、水平板、可撓性シートに対して反射波の減衰定常波成分が構造物からどの程度の距離まで及ぶのか、また、最小自乗法による入・反射波分離推定にどの程度影響を及ぼすかについて解析的に調べたので報告する。

2. 解析方法

2.1 最小自乗法による入・反射波分離推定法

浜中ら²⁾の方法を基に、複数の波高計により同時に水位を測定した場合の最小自乗法による入・反射波分離推定法を以下に簡単に示す。

一般に部分重複波の波形 η は入射波振幅を a_I 、反射波振幅を a_R とすると、

$$\eta = a_I \cos(kx - \omega t + \varepsilon_I) + a_R \cos(kx + \omega t + \varepsilon_R) \quad \cdots(1)$$

と表すことが出来る。一番沖側(造波機側)の波高計の座標を x_0 、その波高計と他の波高計の距離を l_i ($i=1,2,\dots$) とすると $x=x_0+l_i$ であり、 $\phi_I = kx_0 + \varepsilon_I$ 、 $\phi_R = kx_0 + \varepsilon_R$ とおくと、

$$\eta = A(x) \cos(\omega t) + B(x) \sin(\omega t)$$

$$A(x) = C \cos(kl_i) + D \sin(kl_i) \quad \cdots(2) \quad B(x) = E \cos(kl_i) + F \sin(kl_i) \quad \cdots(3)$$

$$C = a_I \cos(\phi_I) + a_R \cos(\phi_R) \quad \cdots(4) \quad D = -\{a_I \sin(\phi_I) + a_R \sin(\phi_R)\} \quad \cdots(5)$$

$$E = a_I \sin(\phi_I) - a_R \sin(\phi_R) \quad \cdots(6) \quad F = a_I \cos(\phi_I) - a_R \cos(\phi_R) \quad \cdots(7)$$

である。

測定波形を $\eta^* = A^*(x) \cos(\omega t) + B^*(x) \sin(\omega t)$ と仮定し、測定データと η^* とから最小自乗法により $A^*(x)$ 、 $B^*(x)$ を求める。さらに、 $A^*(x)$ 、 $B^*(x)$ と(2)、(3)式の $A(x)$ 、 $B(x)$ を用いて最小自乗法により C 、 D 、 E 、 F を求め、最終的に(4)~(7)式の連立方程式から a_I 、 a_R を求めることが出来る。

2.2 領域分割法を用いた解析

潜堤、水平板、可撓性シートのように構造物周辺領域を矩形に分割出来る場合、構造物周辺波動場は領域分割法により解析的に求めることが出来る^{3)・4)・5)}。この方法により得られる反射領域の水面形 η は、

$$\eta = -\frac{i\omega}{g} \left(A \exp(-k_0 x) \frac{\cos k_0(z+h)}{\cos k_0 h} + \sum_{n=0}^{\infty} B_n \exp(k_n x) \frac{\cos k_n(z+h)}{\cos k_n h} \right) \exp(i\omega t) \quad \cdots(7)$$

$$\omega^2/g = k \tanh kh = -k_n \tanh k_n h \quad (n=1,2,3,\dots), k_0 = ik$$

で、減衰定常波成分を含んでいる。ここで、 A は入射波の複素振幅、 B_n は反射波の複素振幅、 ω は角周波数、 h は水深である。

求められた水面形 η を測定データとし2.1で述べた最小自乗法による入・反射波分離推定を行う。

3. 解析結果

最初に、図-1~3に、各構造物毎の、入射波振幅を1とした場合の減衰定常波成分を構造物からの距離と

入射波の波長の比 x/L で示す。計算は、没水比 $R/h=0.5$ 、堤体幅水深比 $B/h=0.87$ について、相対水深を $h/L=0.54, 0.22, 0.14$ の3種類について行った。ただし、減衰定常波成分の展開項数は $n=10, n=20$ の場合について行った結果大きな違いは見られなかったので $n=10$ の場合についてのみ示すこととする。また可撓性シートの場合の無次元初期張力は $T_0/\rho gh^2=0.26$ である。どの構造物についても、減衰定常波成分は入射波の周期が短いほど減衰しにくく、 $h/L=0.54$ の場合は入射波長の0.7倍程度までその影響が及ぶ。また、 $x/L=0$ での減衰定常波成分は $h/L=0.22$ の場合に最大となり、これは減衰定常波成分が最大となる特定の入射波周期が存在することを示唆している。

次に、減衰定常波成分が最も大きい可撓性シートの場合について、最小自乗法による入・反射波分離を行い得られた反射率と真の反射率との比を図4, 5に示す。図中の横軸の x/L は構造物に最も近い波高計と構造物の距離と入射波の波長との比である。図4は波高計2台、図5は波高計3台使用した場合で、波高計間隔はいずれも $\Delta x/h=0.56$ である。可撓性シートの場合図-3から各 h/L での減衰定常波成分の影響範囲は $h/L=0.54$ の時 $x/L < 0.7$ 、 $h/L=0.22$ の時 $x/L < 0.4$ 、 $h/L=0.14$ の時 $x/L < 0.2$ である。この結果と図4, 5を考え合わせると、分離推定に減衰定常波成分の影響が全くなくなるのは全ての波高計が影響範囲外となった場合であるが、一台でも多く影響範囲外とすることでかなりその影響を緩和することが出来ることがわかる。また、同じ x/L で、波高計2台の場合に比べ3台の場合の方が影響が小さくなるのは、減衰定常波成分の影響の少ない波高計が1台多く含まれることによるものでその効果は大きい。

4. まとめ

最小自乗法による入・反射波分離推定における減衰定常波成分の影響を3種類の構造物について調べた。その結果、減衰定常波成分の影響は入射波の波長の0.7倍程度まで及ぶ場合があることがわかった。また、入・反射波分離推定における減衰定常波成分の影響を小さくするためには、一台でも多くの波高計を影響範囲外に設置することが望ましい。最後に実験上の制約によって、波高計を構造物から十分に離すことが出来ない場合、2.1で示した最小自乗法による入・反射波分離推定法では、測定波形として(1)式のかわりに(7)式を用いることにより、減衰定常波成分の振幅も最小自乗法により求めることができ、簡単に減衰定常波成分を考慮した入・反射波分離推定法とすることが出来る。

参考文献

- 1) 合田良実他: 港湾技研資料No.248, 1976, pp3~24.
- 2) 浜中建一郎他: 第43回年次講演集, 1988, pp596~597.
- 3) 井島武士: 水工学に関する夏期研修会講義集, 1971, B-1-1~B-1-31.
- 4) 吉田明徳他: 海講論文集第36巻, 1989, pp474~478.
- 5) 加藤雅也他: 海洋開発論文集Vol.8, 1992, pp295~300.

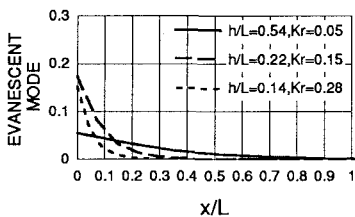


図-1 減衰定常波成分の影響（潜堤）

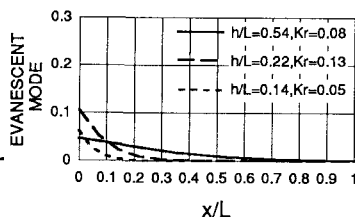


図-2 減衰定常波成分の影響（水平板）

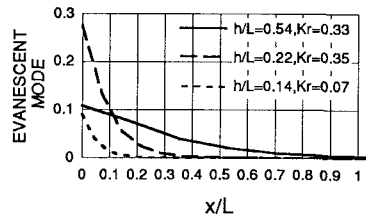


図-3 減衰定常波成分の影響（シート）

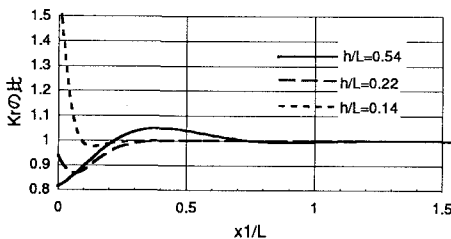


図-4 反射率の比（波高計2台）

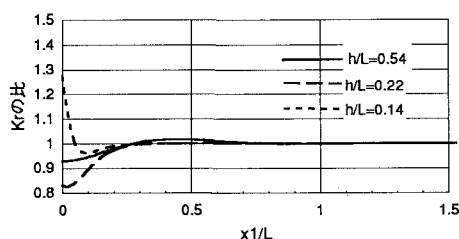


図-5 反射率の比（波高計3台）