

II-316 傾斜堤および曲面堤に作用する波力の基本特性

清水建設(株) 大崎研究室 正会員 清川哲志

1. はじめに

近年、防波堤の設置水深の増大に伴って、従来の直立ケーソンを用いた混成堤に替わる新しい断面形状の防波堤が実用上の観点から検討されている。特に谷本ら^{1),2)}は、曲面ケーソン、台形ケーソンに作用する波力に関する実験を通じて、設計に関する具体的な検討と提案を行っている。しかしながら、波力におよぼす断面形状の影響については必ずしも現在までに十分に明らかになっていないように思われる。一方、著者は、固有関数展開法を拡張した境界展開法を開発し、2次元任意断面の防波堤による波の反射の厳密解を構成することが可能であることを示したが、理論的な展開に重点を置いたため、数値計算例については一例を示しただけであった³⁾。しかし、この境界展開法は、線形理論のため適用上の限界があるものの、断面形状の影響を厳密に理論の中に取り込むことができるので、上記のような問題の検討には最適であると思われる。そこで、本報では図-1に示すような傾斜堤と曲面堤を取り上げ、境界展開法を用いた理論的な検討により、これらの断面形状が波力特性におよぼす影響を明らかにする。

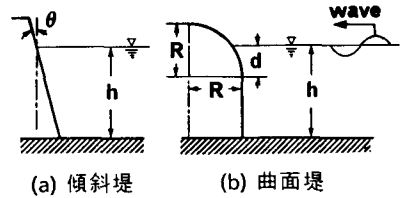


図-1 断面形状と使用記号

2. 解析法の概要

ここで取り扱う波の反射・散乱の問題は、速度ポテンシャルに関する境界値問題として定式化することができる。境界展開法では、まず固有関数展開理論に基づき壁面以外のすべての境界条件と基礎方程式を満足する一般解を求める。この一般解は複素未定係数を係数に持つ固有関数の無限級数の形で求められる。次に壁面の境界条件にこの一般解を代入する。壁面形状が鉛直座標 z の関数として一意的に与えられることを考慮すると、こうして得られた式は z のみの関数として表されることがわかる。したがって、境界条件が壁面上のすべての点で成り立つことは、与えられた z の定義域、すなわち海底から水面までの任意の z に対して成り立つということと同値である。そして、この必要十分条件は、両辺を固有関数展開したとき同じ次数の係数が等しいことである。この条件から一般解中の複素未定係数に関する連立1次方程式が得られ、この解を一般解に代入することによって求める速度ポテンシャルが得られるものである。この詳細については参考文献[3]を参照されたい。

3. 傾斜堤に作用する波力の特性

図-2は、傾斜堤に作用する全波力の特性を、下記に定義する波力係数の形で示したものである。

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_z \end{pmatrix} = \frac{\omega_0 H_0}{k} \tanh kh \times \begin{pmatrix} C_x \\ C_z \end{pmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

ここに、 F_x, F_z : 波力の水平、鉛直成分、 C_x, C_z : 水平、鉛直の波力係数、 ω_0 : 海水の単位体積重量、 H_0 : 入射波高、 k : 波数 ($=2\pi/L$, L : 入射波長)、 h : 水深である。

図は傾斜角 θ をパラメータとし、波力係数を kh の関数として示したものである。実線、破線はそれぞれ水平、および鉛直の波力係数である。定義式から明らかなように、波力係数が1のとき、水平波力は直立壁に作用する微小振幅重複波の水平波力に一致する。したがって、この図から kh の増加に伴って直立壁に比べて傾斜壁の方が作用波力が小さくなる

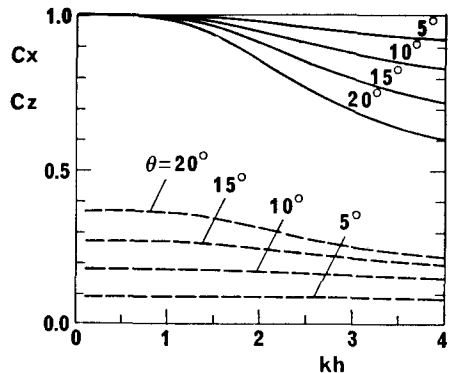


図-2 傾斜堤の波力係数

ことがわかる。そして、この性質は傾斜角度 θ が大きいほど著しい。一方、谷本らは、実験結果に基づく考察より、水平波力は傾斜角度にかかわらず一定になるという結論を出しており、設計波力の算定法もこれに則って提案している²⁾。この谷本らの結論とここで得られた理論結果とは矛盾するようであるが、谷本らの実験は、 $h/L=0.106\sim 0.239$ ($kh=0.666\sim 1.502$)で行われており、この図に見られるように水平波力係数に対する傾斜角度の影響がほとんど無い範囲の実験である。特に実験結果が示されている $h/L=0.137$ ($kh=0.861$) の場合、理論値の差異も1%未満である。これに対し、 kh が大きくなるほど、すなわち相対的に大水深となるほど、傾斜の影響によりかなりの波力の低減効果が得られることがわかる。これは、波圧の位相効果によるもので、 kh が小さいときは壁面が傾斜していても壁面上の波圧の位相はほとんど同じであるが、 kh が大きくなると壁面各点で波圧に位相差が生じるためである。したがって、谷本らが提案した波力算定法は、 $kh>1$ の範囲で過大評価となる。防波堤の設計思想に言及するのは本報の範囲を越えるが、今後検討の余地が残されているように思われる。

4. 曲面堤に作用する波力の特性

図-3,4は、図-1に示した曲面堤に作用する全波力特性を波力係数の形で示したものである。波力係数の定義は傾斜堤の場合と同じである。このうち図-3は、 d/R を0.5に固定して d/h を変化させたものである。また、図-4は、 d/h を0.5に固定して d/R を変化させたものである。いずれも水平波力係数は、 kh の増加に伴って減少しており、直立壁に比較して有利となることがわかる。また、曲面堤と傾斜堤の波力特性で大きく異なる点は、傾斜堤の場合は鉛直波力係数も kh の増加に伴って減少するのに対して、曲面堤の場合、逆に増加することである。谷本らも指摘しているように、鉛直波力は揚圧力を打ち消す方向に作用するから、波力特性だけから見れば、曲面堤の方が優れていると言える。また、図-4からわかるように、 d/R を大きくする、換言すれば水面付近での曲率を大きくすると、波力係数の低減効果が著しく大きくなる。もちろん、この場合実際には碎波するので、波力の特性もここで示したものと異なるであろうが、水平波力が減少するという基本的性質は残ると思われる。また、 $d/R=0.8$ の場合に見られるように水平波力係数がほぼ0となる条件が存在する。これもやはり波圧の位相効果によるものである。ちなみに、この場合、防波堤前面の波高は入射波高の約3.1倍に増幅されている。

5. あとがき

傾斜堤、曲面堤、いずれも直立堤よりも水平波力が減少し、その上鉛直波力が揚圧力を打ち消す方向に作用するので、大水深防波堤の安定上、優れた断面形状であることが確認された。波力算定法としては、高さの等しい直立堤に作用する波力を合田式によって算定し、これに図-2~4に示した波力係数を乗じればよいように思われるがどうであろう。今後の検討を待ちたい。

参考文献

- 1) 谷本勝利他:大水深波浪制御構造物の水理特性と試設計,第32回海講論文集,1985.
- 2) 谷本勝利他:台形ケーソンの設計における波力の算定法,第32回海講論文集,1985.
- 3) 清川哲志他:急勾配任意断面斜面による波の反射の厳密解の構成法とその応用,第28回海講論文集,1981.

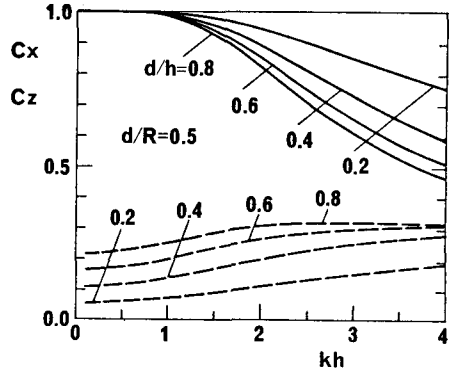


図-3 曲面堤の波力係数 ($d/R=0.5$)

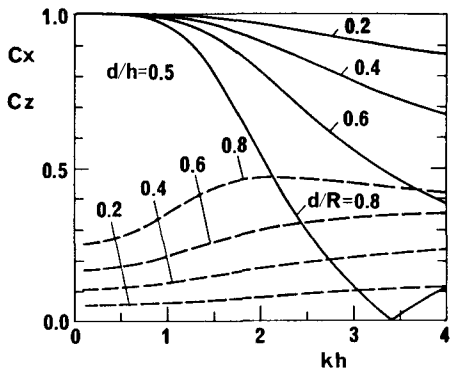


図-4 曲面堤の波力係数 ($d/h=0.5$)