

清水建設(株) 大崎研究室 (正) 清川哲志

1. はじめに

海洋構造物の天端高の決定は、その結果が直接工費に反映するので、設計開発をする立場からすると重要な問題である。しかしながら、現在のところその考え方、手法ともに十分には確立されていないように思われる。そこで、本論文では、浅海域用石油生産プラットフォーム、あるいは人工島の形状として比較的良好に見られる矩形断面およびその角を落として得られる八角形断面を有する柱状構造物を例にとり、回折の影響による構造物前面での波高増幅率の特性、およびその確率論的天端高決定法への応用について述べる。

2. 構造物前面における波高増幅率

構造物の天端高を決める基礎となるのは、構造物周辺の波高の大きさなので、まずこの特性について述べる。波高を求めるための理論は、著者が導いた面対称柱体による波の回折・散乱の理論¹⁾である。これは、波の入射方向に対して対称な一様断面を有する柱状構造物による波の回折・散乱を、速度ポテンシャルに関する境界値問題として定式化し、その解を固有関数展開およびフーリエ余弦展開を用いて求めるもので、任意の面対称柱体による波の回折・散乱の厳密解が得られところに特長がある。この詳細は参考文献に譲ることにし、さっそく、図-1に示す矩形断面および八角形断面柱体前面波高の特性について述べることにする。図-2は、矩形断面柱体の前面における最大波高 H_{max} と入射波高 H_i との比 H_{max}/H_i を、 D_2 と入射波長 L の比 D_2/L の関数として示したもので、波向きに対する偏平度を表すパラメータ D_1/D_2 を 0.6~1.4 に変えて計算した結果を示したものである。 H_{max}/H_i は、入射波高が構造物前面で最大どの程度増幅されるかを表しているもので、以下ではこれを波高増幅率と呼ぶ。これからわかるように、 D_2/L が大きくなることによって波高増幅率も増加し、いずれも入射波高の2倍以上となる。前報でも指摘したことであるが、孤立構造物によって波が反射・回折する場合、直立壁による完全反射の場合と異なって、入射波高の2倍がとり得る最大の波高ではないことに注意する必要がある。したがって、天端高を決定する際も、2次元模型による実験結果などを援用するのは問題があると言えよう。また、 D_1/D_2 が波高増幅率におよぼす影響は複雑で、 D_2/L によって大ききの順位が入れ替わっていることがわかる。同様に、図-3は、正方形断面 ($D_1/D_2=1.0$) の角を落とすことによって得られる八角形断面柱体の波高増幅率の特性を示したものである。この場合、 D_1/D_2 が小さくなるほど、したがって角を大きく落すとすほど、波高増幅率が小さくなっていることがわかる。

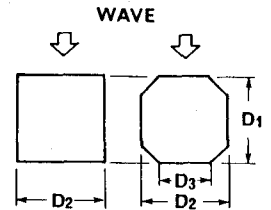


図-1 記号の説明

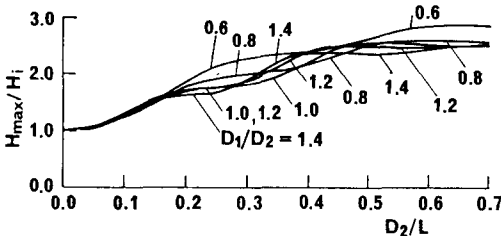


図-2 正方形断面柱体前面における波高増幅率

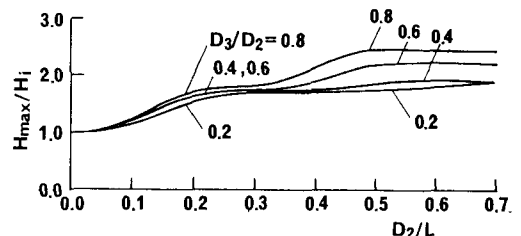


図-3 八角形断面柱体前面における波高増幅率

3. 必要天端高の概念

天端高の決定方法には次の2つの考え方ができよう。1つは最大波の打ち上げ高を基準にし、天端高をそれより幾分高くするもので、もう1つは許容越波量に相当する流量を設定し、実際の越流量がこの許容値以下になるように天端高を決めるものである。後者は、波頂が構造物天端高より高くなり、その結果海水がデッキ上を流れることがあっても、それが構造物およびそこで作業する人々に重大な被害を与えない限り、許容しようという考え方である。波の打ち上げ高を基準にする場合、越波を許容する場合に比較して必要天端高が大きくなることから、護岸についていえば、越波を許容する考え方が主流となっている。石油生産プラットホームに関しても、仮に波群中の何波かがデッキに達したとしても、構造物とその付属設備にとって致命的な打撃になるとは考えられないから、これを許容することにし、その確率をある一定値以下に押えるという考え方が現段階では最も合理的と思われる。すなわち、必要天端高は、波の不規則性およびその統計的性質を考慮し、波がデッキに達する確率をある一定値以下におさえるために必要な高さとして定義される。

4. 天端高の確率論的決定法

不規則波による構造物前面の最大波高の応答スペクトル $S_o(\omega)$ は、波高増幅率の周波数応答関数 $H(\omega)$ と入射波の標準スペクトル $S_i(\omega)$ を用いて次式によって求められる。

$$S_o(\omega) = |H(\omega)|^2 S_i(\omega) \quad \omega: \text{角振動数} \quad \cdots \cdots (1)$$

したがって、 $H(\omega)$ として図-2,3に示した波高増幅率を ω の関数として表したものを、 $S_i(\omega)$ として、たとえばブレットシュナイダー・光易の標準スペクトル²⁾を用いれば、矩形断面および八角形断面柱体前面における最大波高の応答スペクトル $S_o(\omega)$ が簡単に求められる。そして、応答スペクトル $S_o(\omega)$ から、構造物前面における最大応答波の平均波高 H が通常の手順に従って求められる。さらに、レーリー分布を仮定すれば、天端高 h_d を越える波高を H_d とするとき、波高が H_d を越える確率 $P(\bar{H}_d)$ が次のように求められる²⁾。

$$P(\bar{H}_d) = \exp\left\{-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{H_d}{\bar{H}}\right)^2\right\} \quad \cdots \cdots (2)$$

具体例として50mの水深に設置される50m×50mの大きさを持つ正方形および八角形断面のプラットホームを想定し、有義波高6.8m、有義波周期10.5秒の波に対する必要天端高を求めてみる。図-4に図-2,3における正方形断面と八角形断面の波高増幅率を ω の関数として表したものを、また、図-5にこれを用いて式(1)より求めた応答スペクトルを示す。この応答スペクトルを用いて構造物前面における平均波高を求めると、正方形断面、八角形断面に対して、それぞれ9.03mおよび8.28mとなる。したがって式(2)における $P(\bar{H}_d)$ を0.01とすると、対応する H_d は21.9mおよび20.05m、0.001とすると26.8mおよび24.8mとなる。これから、波がデッキに達する確率を1%以下に押えるためには天端高をそれぞれ11mおよび10m以上、0.1%以下に押えるためには13.5mおよび12.5m以上とすればよいことがわかる。ちなみに、確率1%の場合、設計上の最も大きい暴風雨が2時間続いたとして、その間に構造物の天端を越える波は7波以下、0.1%の場合1波未満ということになる。

5. あとがき

海洋構造物の天端高の確率論的決定法について述べた。この手順を要約すると以下のようなものである。まず、与えられた D_2 に対して、図-2あるいは図-3を用いて構造物前面における最大波高の増幅率の周波数応答関数を求め、次に式(1)より応答スペクトルを求める。そして、天端高を越える波の許容確率を設定し、応答スペクトルから得られる平均波高を用いて式(2)により、それに対応した波高および天端高を決める。

1) 清川哲志・小林 浩：面対称柱体による波の散乱と波力，土木学会論文報告集 No.336, pp.55~64, 1983
2) 堀川清司：海岸工学—海洋工学への序説—，東京大学出版会，pp.48~56, 1973

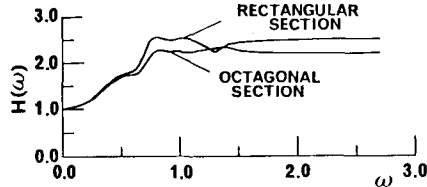


図-4 波高増幅率の周波数応答関数

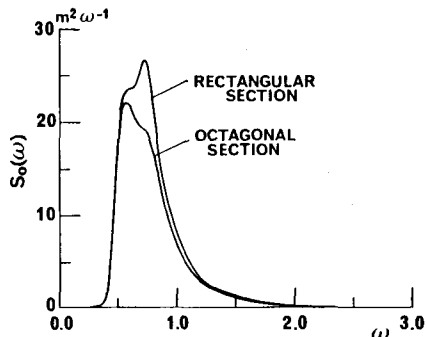


図-5 構造物前面最大波のスペクトル