

運輸省港湾技術研究所 正員 鈴木高二朗・前田保男・高橋重雄

1. はじめに

近年、港内長周期波による荷役作業の中断、係留索の切断事故等が数多く報告され、長周期波発生、そしてその港内への伝播等について多くの研究がなされている。しかしながら、長周期波発生のメカニズムが十分解明されていないことから、未だにその対策が見いだされていないのが現状である。特に港内での長周期波についても多くの研究がなされているが、十分解明されているとは言い難い。

港内長周期波は不規則波群に伴う2次長周期波（拘束波）が港口部で拘束を放たれ、自由波となって港口部から港内に侵入するために発生するものと考えられている（関本ら（1990））。しかしながら、長周期波は長波であるため流速分布が水面から水底まで一様であり、また波高が高々30cm程度で流速も小さく、マウンド内での水頭損失が小さいため、防波堤のマウンドを容易に透過し、港内に侵入している。特に、通常は港口部の長さには比べ防波堤の延長がかなり長いことを考えると、このマウンド透過波を無視することはできないと考えられる。また、マウンドから侵入した長周期波が、防波堤と岸壁の間で共振状態となっていることも考えられる。本研究では断面二次元の有限要素法解析により、マウンド透過による港内長周期波の影響を検討しようとするものである。

2. 数値計算方法

本報告における計算は、規則波のマウンド透過波高（伝達率）を計算するものであり、長周期波としては周期 $T=30\sim 180\text{s}$ 、波高 $H=10\sim 30\text{cm}$ の長波を対象とし、比較のための通常の波浪として周期 $T=10\sim 20\text{s}$ 、波高 $H=10\sim 1000\text{cm}$ を対象とした。また、計算は波の部分に対しては微小振幅波、マウンド部分についてはダルシー則を用いた周波数領域の有限要素法解析によるもので、マウンドと波の接続部で流速と圧力を連続させ、波とマウンド部を同時に解いている（朴ら（1996）、高橋ら（1996））。ただし、現実にはマウンド内部の間隙水の動きは乱流状態になっており、ダルシー則が成り立たない。すなわち、流速が大きくなると透水係数が小さくなるため、透水係数がフォルヒハイマー式に合致するよう、繰り返し計算を行った。係数 α 、 β はそれぞれ1500、1.8、マウンド材の空隙率 $n=0.395$ を用いた。ただし、周期的に流速が変化する事についても考慮している。

計算は現地で使用されているマウンド材、堤体の断面形状を考慮して、マウンド石粒径 D を40と60cm、ケーソン幅 B を10～24m、マウンド厚 $h-d$ を1～5mまで変化させて行った。ここに、 h は水深、 d はマウンド上水深である。なお岸壁がある場合を除いて、マウンドを透過した長周期波は岸側で消滅する（反射率が0）として計算している。

3. 計算結果

図-1～4は計算結果の例を示すものである。計算結果をとりまとめると以下の通りである。

- ①長周期波の波高伝達率は、通常の波浪に比べてかなり大きい。例えば、水深15m、マウンド厚4m、マウンド石粒径60cm、ケーソン幅10mの場合には、周期60sで波高10cmの長周期波では30%を上回り、波高20cmでも20%程度となる。ケーソン幅が20mで波高10cmの場合は23%程度である。
- ②一方、周期10sで波高10cmの波浪では、10%程度であり、波高が10mでは2%程度である。混成堤のマウンド透過波については倉田ら（1980）が周期12s、波高6.0mの波浪に対して計算し、2～3%程度の波高伝達

キーワード：長周期波、マウンド透過波、有限要素法、Forheimer則、波高伝達率

連絡先 運輸省港湾技術研究所水工部耐波研究室 〒239 横須賀市長瀬3-1-1 TEL. 0468-44-5011 FAX. 0468-42-7842

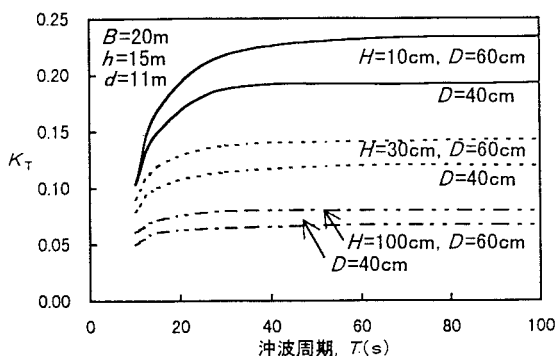


図-1 周期と波高伝達率

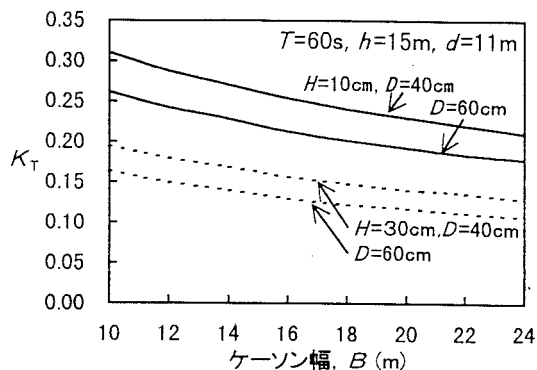


図-2 ケーソン幅と波高伝達率

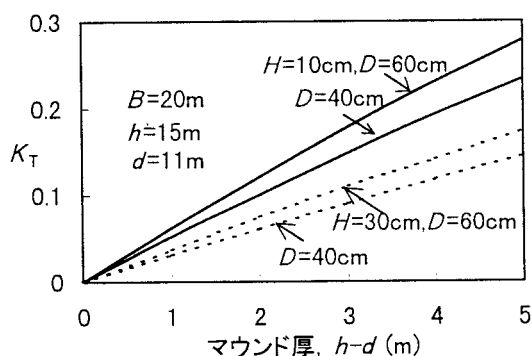


図-3 マウンド厚と波高伝達率

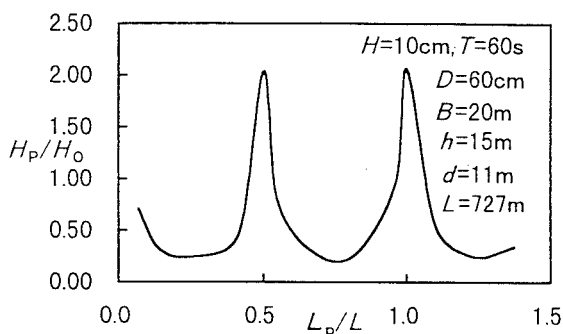


図-4 港内奥行長と波高増幅率

率があるとしているが、今回の計算結果はこれに沿うものである。

- ③図-1に示すように、周期が長いほど、波高が小さいほど、波高伝達率は大きくなる。ただし、周期が40s以上では周期による変化は少ない。波高による変化は波高が小さい時に大きく、波高の増大に伴って急激に小さくなり、1m以上ではその変化は少ない。
- ④粒径が小さくなればもちろん伝達率は小さくなるが、40cmのときは60cmのときの85%程度である。
- ⑤図-2に示すように、ケーソン幅が大きくなると波高伝達率は小さくなるが、20mの場合は10mの場合のほぼ80%程度となる。
- ⑥マウンド厚が大きくなれば(図-3)、それに比例するように波高伝達率は大きくなる。
- ⑦ケーソン防波堤では、施工上ケーソンとケーソンの間に隙間があることが多い。この効果についても計算を行ったが、1%程度の隙間からは、数%の長周期波の伝達波が透過する危険性があると考えられる。
- ⑧図-4は港内岸壁で長周期波が反射することを考慮して計算したもので、港内奥行長 L_p と波高伝達率(増幅率)の関係を示している。ただし L_p を波長 L で無次元化しており、湾奥反射面での波高 H_p を沖波波高 H_0 で除した波高増幅率を示している。やはり奥行長が $1/2$ 波長の整数倍で共振が発生しており、増幅率は2倍程度になっているのが分かる。防波堤前面でも重複波となって波高が2倍となっており、増幅率が2倍のときは、あたかも防波堤が無いような状況(完全透過)になっていることを、計算結果は示している。

参考文献

- 倉田克彦・巻嶋敏秋・桑原正博・川野成仁(1980):混成堤防石マウンドからの透過現象に関する考察,第27回海岸工学講演会論文集, pp. 401-405.
- 関本恒浩・清水琢三・窪泰浩・今井澄雄・品津昌央(1990):港湾内外のサーフビートの発生・伝播に関する現地調査,海岸工学論文集,第37巻, pp. 88-90.
- 高橋重雄・鈴木高二朗・特瀬克正・岡村知光・下迫健一郎ほか(1996):護岸の吸い出しに関する水理模型実験,港湾技術研究所報告,第35巻2号, pp. 3-58.
- 朴佑善・高橋重雄・鈴木高二朗・姜閔求(1996):波-地盤-構造物の相互作用に関する有限要素法解析,海岸工学論文集,第43巻, pp. 1036-1040.