

第Ⅱ部門 一般化曲線座標を用いた拡張 Boussinesq 方程式による波浪変形計算

京都大学工学研究科 学生員 ○ 雨森洋司
京都大学防災研究所 フェロー 高山知司

1. 研究の目的

近年、外洋から港湾に侵入する周期1～数分程度の長周期波による荷役障害が、各地の港湾で報告されている。荷役障害の原因は、ナイロン製ロープで岸壁に係留された数千～数万 DWT クラスの大型船のサージ運動が許容量を超えることにより引き起こされている。これは、船体と係留索からなる振動が、長周期波との共振によって励起されたもので、荷役効率を向上させ、港湾の経済性と安全性を確保するためには、その対策が緊急に必要である。しかしながら、具体的かつ有効な対策方法は未だ提案されておらず、急務の課題となっている。

一般の船舶動揺の解析においては、港湾形状および海底地形の影響が導入されておらず、船舶による散乱波やその動揺に伴う発生波が、岸壁等により反射して船舶に再び入射することが考慮されていない。このため、係留船舶動揺量を精度良く推定するためには、波浪変形計算と船舶動揺計算を連成して解く手法が必要となる。この手法に関して、榎木ら(1988)、森田ら(1994)、大山ら(1996)が提案しているが、船舶の取り扱いを無係留としているため、現実的ではない。そのため、任意形状の港湾で、任意海底地形における港内波浪の計算と係留船舶の動揺計算が同時に行えるモデルを構築することが重要となる。

本研究は港内での波浪の挙動と係留船舶の動揺を同時に解析する計算法の開発を将来的目的として、まず始めに、任意の港湾形状、海底地形における波浪変形計算モデルを構築することを目的とする。

2. 研究の内容

- 1) 基礎方程式は、速度ポテンシャルから速度、圧力が容易に求められること、船舶動揺計算に拡張する上で船舶形状を簡易化したときに速度ポテンシャルが容易に決定できること等の利点から Chen and Liu(1995)により誘導された速度ポテンシャル表示の拡張型 Boussinesq 方程式を用いて、モデルを構築した。その際、複雑な港湾形状を表現するために一般化曲線座標を用いた。
- 2) 基礎式の離散化において、時間差分は4次精度 Adams-Bashforth-Moulton スキームを用いた。空間差分は1階微分については4次精度中央差分、2階微分については2次精度中央差分を用いた。境界前面では、同精度の片側差分を用いて離散化した。
- 3) 造波境界については、Wei et al(1999)が提案した造波ソースを与える手法を用いた。この手法は、速度ポテンシャルそのものは与える必要が無いため、反射波は入射波に影響されることなく造波ソース上を自由通過する。多方向不規則波の取り扱いはシングルサンメーション法を用いた。
- 4) 安定して計算を行ない、計算領域をできるだけ小さく抑えるために、スポンジ層と呼ばれるエネルギー吸収境界を設けて波浪を減衰させた。スポンジ層については、大山・灘岡(1990)が提案した手法を用い、スポンジ層厚さは入射波の平均周期あるいは有義波周期での波長と同程度とした。
- 5) 完全反射境界においては、境界法線方向の速度ポテンシャルの勾配および波形の勾配が0となる条件を用いた。反射境界の取扱いについては、格子境界番号を課すことにより判別した。
- 6) 浅水変形計算として、海底勾配1/100で水深が8mから1mに変化する領域に、振幅0.05m、周期4sの規則波を入射させた。空間メッシュ幅は、クーラン数を一定にするよう変化させ、水深8mにおいて $\Delta x = 1\text{m}$ 、水深1mにおいて $\Delta x = 0.4\text{m}$ となり、波長を同点数で表現できる。時間ステップ幅は、 $\Delta t = 0.06\text{s}$ とした。

- 7) 図2に示すような幅200mの海域を想定し、そこに開口幅50mの防波堤を設置した簡易矩形港湾内に、波高1.0m、周期10sの規則波および有義波高1.0m、有義波周期10sの一方方向不規則波を入射させた。不規則波の周波数スペクトルは、Bretschneider-光易型を用いた。水深は10mの一定水深とした。空間メッシュ幅は $\Delta x = \Delta y = 1.0\text{m}$ で、時間ステップ幅は、 $\Delta t = 0.05\text{s}$ として計算を行った。
- 8) 内側半径が100m、外側半径が300mで 45° 湾曲したのち、10mの直線部分に開口50mの防波堤を設置し、さらに 45° 湾曲した同心円状湾曲港湾に波高1.0m、周期10sの規則波および有義波高1.0m、有義波周期10sの一方方向不規則波を入射させた。水深は10mの一定水深とした。

3. 主要な解析結果

本研究によって得られた主要な結果を以下に示す。

- 1) 浅水変形計算の結果は、水深1mにおいて波高比は1.67となった。水深と波長の関係を図1に示すように、長波に対する分散関係式による一定水深における波長の変化と比較した結果、両者は良く一致した。
- 2) 矩形港湾に規則波を入射させた結果、防波堤裏側まで波が回折して進行してくることを確認した。不規則波を入射させた結果、図3に示すように、短周期の波は防波堤によって遮蔽されるが、長周期波は防波堤裏側まで進行してくることを確認した。
- 3) 同心円状湾曲港湾においては、規則波および不規則波ともに計算を進めていくと発散しやすいことが分かった。

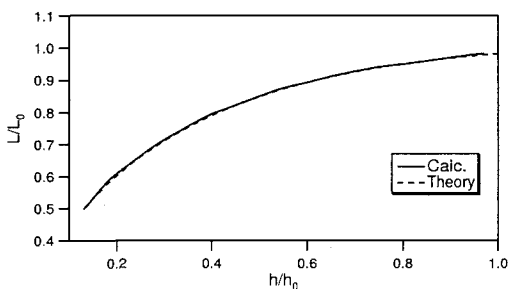


図1: 水深と波長の関係

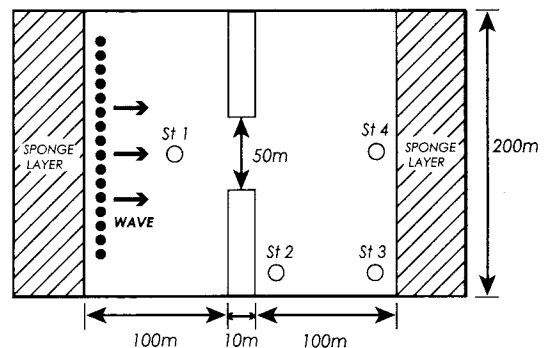


図2: 矩形港湾計算領域

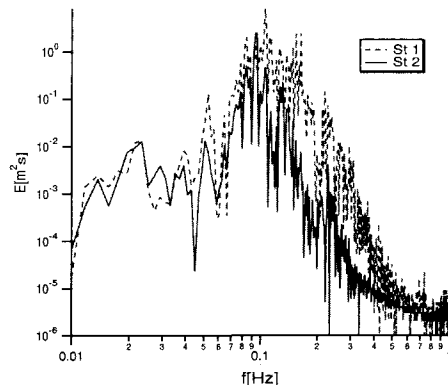


図3: 港内周波数スペクトル

参考文献

- 1) Chen, Y. and P.L.F. Liu(1995) : Modified Boussinesq equations and associated parabolic models for water wave propagation, J. Fluid Mech., Vol. 288, pp. 351-381.
- 2) Wei, G. J. T. Kirby, and A. Sinha(1999) : Generation of waves in Boussinesq models using a source function method, Coastal Eng., Vol 36, pp.271-299.
- 3) 大山 巧・灘岡和夫(1990) : 数値波動における開境界処理のための数値消波フィルターの開発, 海岸工学論文集, 第37巻, pp.16-20.