

# PS-28 船体動揺計算に必要な波生成法のシミュレータへの導入

運航・物流系 \* 福戸 淳司、疋田 賢次郎、三宅 里奈

## 1. はじめに

現在、海難事故の再現や、海洋開発に従事する作業船の運航の検討において、波浪中での運動の再現や波浪を考慮した操船支援システムの検討・評価のニーズが増えている。

波浪中での船の運動をシミュレータ上で再現するためには、景観上違和感の無い波浪の表現と、この波浪に同期した船体運動の計算に基づく船の動きの表現が必要になる。

本来、海洋波は、無限の周波数の波の重ね合わせで構成されると考えられており、シミュレータ上でも同様の方法での波の表現をすることが望ましい。しかし、操船リスクシミュレータの従来の波の表現では、計算量を節約するためにテクスチャを利用することで現実感を向上させる事ができたため、代表波高、代表波周期、代表波方向で指定された条件の内、各条件を所定の手順で変えた 9 つの波の重ね合わせとして表現していた。

一方、船体の動揺は、出会い波周期によって応答が異なる。この出会い波周期は、波に対する船の航行状態により変わるため、固定された少数の波では、本来あるべき波の出会い周期が表現できず、実際より過小な船体動揺になる。

そこで、2013 年度に実施した操船リスクシミュレータの画像生成用システムの更新に合わせて、最高 1000 波の波の重ね合わせが可能な波浪生成機能を操船リスクシミュレータに導入した。

この波の生成法には、海上技術安全研究所の実海域再現水槽<sup>1)</sup>に組み込まれている生成法も組み込まれており、実海域再現水槽で実施した実験と同じ状況での操船体験が可能となる。

## 2. 波浪生成機能とそのシステム構成

操船シミュレータの景観画像表示システムは、メインシステムと、12 台の画像生成部（景観画像 10 画像 + 双眼鏡画像 2 画像）から構成されており、画像生成プログラムは各画像生成用 PC 上に配置される。画像生成プログラムは、メインシステムから指示される描画中心と方向、および交通流を構成する船舶の運動計算結果を基に、固定物標、船舶等の移動体、波や視程等の環境条件によって、指定された点と方向の景観画像を生成する。

このため、波の画像を生成するためには、メインシ

ステムから波の生成法を確定するために必要な情報を入力するユーザインタフェースと、入力に基づく波の画像生成機能が必要となる。

また、運動計算に用いるためには、画像生成とは違うプロセスで行われている運動計算プロセスで、画像生成システムで用いるものと同様の値を提供する波高計算機能が必要となる。

このため、図-1 に示すシステム構成で波浪生成機能を構築した。

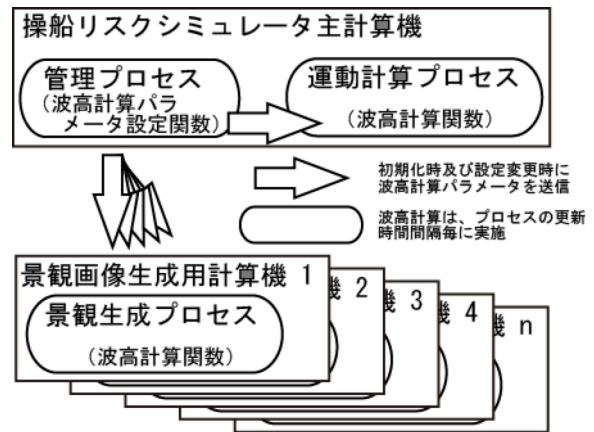


図-1 波浪生成機能のシステム構成図

生成できる波として、(1) 規則波、(2) 既存の船舶への対応を行うための従来方式による波の他、実海域再現水槽に合わせて、(3) 一方向不規則波、(4) 多方向不規則波および (5) 波高、波周期、波向き及び位相を波毎に指定した任意形状の波、を表現できるように機能を構築した。また、巨大構造物の風下等の平穏域を設定できるように、任意形状の領域の内と外で異なる発生条件の波を発生させ、この領域の外縁に設けた干渉領域で滑らかに波の状況が変更できるように波浪域の分割機能も設定できるようにした。

## 3. 波の生成法

海洋波は、無限の周波数の波の重ね合わせで表現でき、適切に波の数を設定すれば、有限個の波の重ね合わせである式 (1) として近似的に表現できる。

$$Z = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} a_i \sin\left(\frac{2\pi}{T_i} t + \frac{2\pi}{g/2\pi (T_i)^2} (X \cos(\theta_i) + Y \sin(\theta_i)) + \varepsilon_i\right) \quad (1)$$

Z: 波高(m)  
 $a_i$ : 成分波振幅(m)  
 t: 時刻(sec)  
 $T_i$ : 成分波の波周期(sec)  
 g: 重力加速度 (m/s<sup>2</sup>)  
 X,Y: 位置座標(m)  
 $\theta_i$ : 成分波の波向(rad)  
 $\varepsilon_i$ : 位相 (rad)

規則波は、波の数  $n$  が 1 の時にあたり、成分波振幅、波周期、波向き及び位相を適宜設定する事で任意の位置及び時間の波高は一意に定まる。

不規則波は、波のパワースペクトルから、いわゆるシングルサンメンション法<sup>2)</sup>を用いて生成する。具体的には、まずシミュレータの初期化時あるいは波の設定の変更時に 0Hz から 1Hz までの波周期を、波のパワースペクトルに基づき等エネルギー分割法により  $n$  個の波周期( $T_i$ )の成分波に分割し、式(1)の  $n$  個の各成分波の波振幅( $a_i$ )、波周期( $T_i$ )を波のパワースペクトルに基づき設定する。さらに、一方向不規則波の場合は設定された代表波方向を成分波の波向( $\theta_i$ )に、多方向不規則波の場合は波方向分布関数に基づいて各成分波毎に波向きを計算し、これを成分波の波向( $\theta_i$ )に設定する。位相については、乱数を発生し位相( $\varepsilon_i$ )に設定する。

次に、シミュレーション実行時には、シミュレータから出力される時々刻々の時刻  $t$ 、位置(X,Y)に応じて式 (1) により成分波毎に波高を計算し、これを重ね合わせてその位置(X,Y)の波高とし、これをつなぎ合わせて波を表現する。

波のパワースペクトルとしては、ITTC、ISSC、JONSWAP、Bretschneider・光易パワースペクトルを必要な変数と共に設定できる他、観測結果に基づく任意のスペクトルも設定できる。

また、波方向分布関数についても、 $\cos^n$  型と光易型が設定できる他、グラフ等で表現される任意形状の波

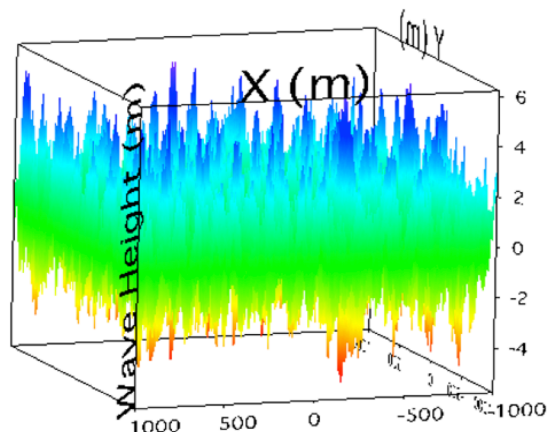


図-2 生成された不規則波形

方向分布関数を設定できる。図-2に、以下の条件で生成した波の3D表示を示す。縦軸は、横方向 X (m)、奥行き方向 Y (m) で示される位置の波高 (m) を示す。

- ・ ITTC スペクトル 有義波高 5m
- ・  $\cos^n$  型波方向分布関数 主方向 180 deg.

さらに、集中波を形成する波群のパラメータを求め、上述の環境波に重ね合わせる事により、突発的な巨大波も生成できる。

#### 4. 波の表示

波の画像表現は、ディスプレイ画面上に表示されている景観画像の内、海面として設定された画像を設定したポリゴン数に自動分割し、分割した各点の波高を上述の方法で計算して、各点をつなぐ形でポリゴンを設定し、波の画像を作成する。また、波面の詳細度を確保するため、分割数を、1000 点以上とし、この条件で、リアルタイム表示を可能にした。



図-3 新しい景観画像

#### 5. まとめ

2013 年度に実施した操船リスクシミュレータの画像システム更新に併せて、波の生成機能の整備を行った。従来、比較的少ない波の重ね合わせにより波を表現していた。この波でも景観上は問題なかったが、船の運動によっては、その動揺が過小に計算されることがあった。そこで、重ね合わせる波を増やす事により、広範囲な船体運動の計算を可能にした。現在、波の生成の検証をしている所であるが、今後さらに船体運動の検証も行い、各種船舶システムの開発・評価に生かす予定である。

#### 参考文献

- 1) 谷澤 克治、他 6 名、「実海域再現水槽」、海上技術安全研究所報告 第 10 巻 第 4 号 (2010)、pp. 343-382
- 2) 平山 克也、宮里 一郎、「任意形状スペクトルによる多方向不規則波の造波法の提案」、港湾空港技術研究所報告、第 48 巻、第 2 号、(2009.6)、pp. 199-214