

不規則波の質量輸送について

京都大学防災研究所 正会員 工屋義人
 京都大学防災研究所 正会員 山下隆男
 京都大学大学院 学生会員 大下哲則

1. 緒 言：漂砂や海浜変形などの海浜過程においては、波による質量輸送を的確に把握することが大切である。本研究では、スペクトル解析法と波別解析法とを用いて、波速の定義との関係を考慮した定形進行波の質量輸送速度の理論的表示を適用して、不規則波の質量輸送速度を定式化する。ついで、二重床式不規則波造波水槽を用いて不規則波の質量輸送に関する実験を行い、理論的表示と比較して、その適用性を究明する。

2. 不規則波の質量輸送の理論：不規則波の質量輸送に関する研究は、最近2, 3発表されているが、規則波の場合ほど多くない。すなわち、Ming-Shun Changは、粘性流体と完全流体の場合について水粒子の運動方程式をせき動法を用いて解き、第2次近似解を求め、不規則波の質量輸送を表示した。また、Jhon A.T. Byeは不規則波の周波数スペクトルを用いて質量輸送速度を表し、P.P.G. Dyke・S.F. Barstowらは不規則波を個々の波の重ね合せと考え、質量輸送速度の表示を与えている。

i) 波別解析法による質量輸送速度の表示 不規則波を定形進行波の重ね合せと考え、Dyke-Barstowらの計算法を参考にして、その質量輸送速度の表示を説明する。

1) Lagrange座標 まず、工屋・安田のStokes波理論より説明された、波速の定義によらない定形進行波の質量輸送速度を適用して、不規則波のそれの表示を求めるところ、次式のようになる。

$$U_s = \frac{1}{2\pi} [C_{01}(k_1 \alpha_1 p_1)^2 / 4 \sinh^2 k_1 h \cdot \{ 1 + 2 \cosh 2k_1(h+z) - k_1 \alpha_1 p_1 / \sinh k_1 h \}] \quad \dots (1)$$

ここに、 α_1 はん番目の定形進行波を意味し、 C_{01} ：波速、 k_1 ：波数、 α_1 ：振幅、 p_1 ：重みあひれ：水深であり、座標は図-1で示すようにとっている。また、波速の第1定義および第2定義の場合の不規則波の質量輸送速度の表示は、それぞれ次式のようになる。

$$U_s = \frac{1}{2\pi} [C_{01}(k_1 \alpha_1 p_1)^2 / 4 \sinh^2 k_1 h \cdot \cosh 2k_1(h+z)] \quad \dots (2)$$

$$U_s = \frac{1}{2\pi} [C_{01}(k_1 \alpha_1 p_1)^2 / 4 \sinh^2 k_1 h \cdot \{ \cosh 2k_1(h+z) - \sinh 2k_1 h / k_1 h \}] \quad \dots (3)$$

ii) Euler座標 この場合、従来のStokes波理論によると規則波の質量輸送は存在しないが、工屋・安田のStokes波理論によると存在し、不規則波の質量輸送速度の表示は、次式となる。

$$\bar{U}_s = \frac{1}{2\pi} [C_{01}(k_1 \alpha_1 p_1)^2 / 4 \sinh^2 k_1 h] \quad \dots (4)$$

② スペクトル解析法による質量輸送速度の表示 不規則波の特性を周波数スペクトルで表示し、その質量輸送速度をByeの計算法を用いて説明する。一般に、周波数スペクトル $S(\omega)$ をもつ不規則波の質量輸送速度の表示は、次式のようになる。

$$U_s = 2 \int_a^b AS(\omega) d\omega \quad \dots (5)$$

ここに、 a および b は対象とするスペクトルの積分範囲であり、理論的には、 $a=0$ 、 $b=\infty$

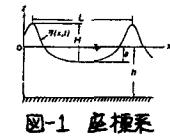


図-1 座標系

TSUCHIYA YOSHITO, YAMASHITA TAKAO, OHSHIMO TETSUNORI

である。また、 A は左右の次元が一致するような次元をもち、かつ通常は kh や ζ などの関数として与えられる。本研究では、周波数スペクトルとして、Pierson-Moskowitzスペクトルを参考、質量輸送速度の表示を説明する。

i) Lagrange座標 A として、土屋・安田の Stokes 波理論による表示を適用すれば、式(5)より不規則波の質量輸送速度の表示は、次式のようになる。

$$U_s = \int_0^\infty C_0 k^2 C_1 \sigma^{-5} \exp[C_2 \sigma^{-4}] / 2 \sinh^2 kh \cdot \{1 + 2 \cosh 2k(h+z)\} d\sigma \quad \dots \dots (6)$$

また、同様な方法で、波速の第1および第2定義の場合は、それぞれ次式で表される。

$$U_s = \int_0^\infty C_0 k^2 C_1 \sigma^{-5} \exp[C_2 \sigma^{-4}] / 2 \sinh^2 kh \cdot \cosh 2k(h+z) d\sigma \quad \dots \dots (7)$$

$$U_s = \int_0^\infty C_0 k^2 C_1 \sigma^{-5} \exp[C_2 \sigma^{-4}] / 2 \sinh^2 kh \cdot \{2 \cosh 2k(h+z) - \sinh 2kh\} d\sigma \quad \dots \dots (8)$$

ii) Euler座標 前述した場合と同様に、不規則波の質量輸送速度の表示は、次式となる。

$$\bar{U}_s = \int_0^\infty C_0 k^2 C_1 \sigma^{-5} \exp[C_2 \sigma^{-4}] / 2 \sinh^2 kh \cdot d\sigma \quad \dots \dots (9)$$

3. 不規則波の質量輸送に関する実験：

山実験装置および方法 実験は図-2に示すような長さ19.2m、幅70cmおよび高さ107.5cmの水槽を用いて行った。この水槽は、従来のように、その両端が閉じられた有限長の水槽と異なり、水路部が造波部と質量補給用暗き部の上下2層からなる二重床式不規則波造波水槽であり、拘束の少ない無限長の波の場をつくることができる。より適切に表面に伴う輸送現象を研究することができた。まず、造波板の駆動で不規則波を約20分間造波し、水槽内の非定常な振動現象の減衰をまち、上流端より10mの地表に中立粒子（ニトロベンゼンとキシレンの混合物）を放ち、その運動軌跡を約2分間16mm用カメラで撮影した。撮影と同時に容量式波高計によく波の特性を記録した。

②実験結果および考察 以上の実験により得られた質量輸送の結果は、3つの理論曲線とともに、図-3および図-4に示した。図中、Stokes 1st def. は波速の第1定義を、Stokes 2nd def. は波速の第2定義を用いた場合を表しており、S-3 は工屋・安田による関係から求めた式を表している。ここでは、拘束条件より比較の対象とする曲線は、Stokes 1st def. と S-3 である。波別解析法による場合もスペクトル解析法による場合も大きな相違はないが、前者は計算が簡単である代りに、スペクトルに対して質量輸送速度を定式化することができない。これに対して、後者はその鉛直分布を定式化できるけれどもスペクトルにおける成分波の線形性の仮定と波の非線形性による質量輸送現象との不統一はまぬがれない。

4. 結語：以上、不規則波の質量輸送の表示を確立するため、波別解析法およびスペクトル解析法を導入し、従来の Stokes の波速の定義に依存する質量輸送速度の表示および工屋・安田の Stokes 波理論によるものとの方法による表示を求め、実験によりその適用性を確かめたが、今後は質量輸送と拘束条件との関係をさらに明確にし、実際海岸への適用性を確かめねばならない。

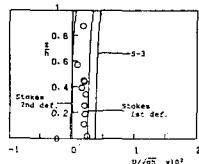
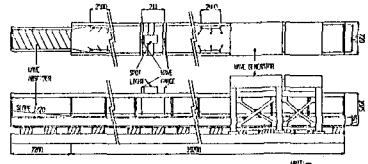


図-3 波別解析法による理論曲線と実験結果の比較 (opened, $h=20.8\text{cm}$)

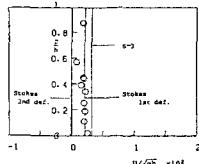


図-4 スペクトル解析法による理論曲線と実験結果の比較 (opened, $h=20.8\text{cm}$)