

風波の水粒子速度

鳥取大学工学部 正員 頼山 明
鳥取大学工学部 正員 木村 晃
大日本土木(株) 〇正員 岡友慶記

1. はじめに: この研究は, 波別解析法により定義した不規則波の内部機構を検討するために, 風制水槽で発生させた風波を対象として研究を行った。まず, 浅海域にある不規則波に対して, 従来の成分波の概念とは異なり, スペクトル解析法の適用に問題があることを指摘し, つづいて zero-up-cross 法による科学的取り扱いの妥当性を示したものである。

2. 実験装置および方法: 実験は長さ25m, 幅0.6m, 深さ1mの一部片面ガラス張り風制水槽を用いて行った。水槽の一端に勾配1/10の斜面を設置した。水粒子速度は位相差式超音波流速計を用いて測定した。実験水深は $h = 40\text{ cm}$ と一定とし, 測定点の水深は水平床部分の $h = 40\text{ cm}$ (A), および斜面上の 30 cm (B), 20 cm (C), 10 cm (D) の計4点である。また, 流速計の設置位置は各点とも静水面下 5 cm とした。

3. クロススペクトル解析: 通常, 互いに異なる2つの不規則波のデータの周波数成分相互の相関を検討するためにはクロススペクトル解析を用いることが多い。この研究では, FFTを用いたベリオドグラム法と採用してクロススペクトル解析を行い, 水粒子速度の水位変動に対するGain, 両者のコヒーレンスおよび位相スペクトル等を計算した。図-1はC点における水位変動のスペクトル図である。図中に示す直線がPhillipsの平衡スペクトルを表わしたものであり, 若干 overshoot 現象が見受けられるが, 全体としては理論値とほぼ対応しており, ここで用いた不規則波が十分発達した現地波と同等なスペクトル特性を持つことがわかる。図-2はC点 ($h = 20\text{ cm}$) における水粒子速度の水位変動に対するGainを計算した結果である。図中の破線が次式の微小振幅波理論による周波数伝達関数である。

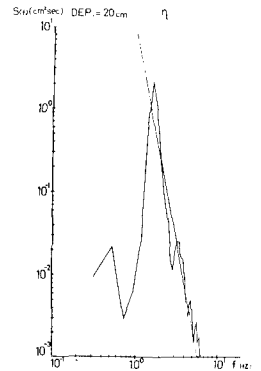


図-1 水位変動のスペクトル

$$U = \frac{\cosh k(h+z)}{\sinh kh} \eta$$

ここに U : 水平方向水粒子速度, η : 水位変動

A点, B点でもほぼ同様の結果が得られており, データはこの周波数伝達関数とはあまり対応がよくない。したがって, 風波の内部機構に関する従来の線型重ね合わせ理論には若干の問題があると考えられる。ここではさらに水位変動と水粒子速度に対するこの成分波の概念との対応性について検討するために両者のコヒーレンスを求めた。その結果を示したのが図-3である。水位変動と水粒子速度をそれぞれに対して微小振幅波理論にもとづく成分波の概念が適用できるならば, コヒーレンスをすべて周波数で1になり, 図-4の位相スペクトルも同様にすべて周波数で0になるはずである。しかし, 図からわかるように, この点のみならずすべて周波数で満足されているとはいえず, 特に $f < 1.5\text{ Hz}$, $f > 3.0\text{ Hz}$ の周波数帯で食い違いが顕著である。以上の結果から, 成分波の概念は若干が指摘しているように有効周波数帯の外で通用できず, 有効周波数帯内であっても, 図-2に示すように成分波の水位変動と水粒子速度は微小振幅波理論と若干異なる関係を持つ。この原因の1つとして波の非線型特性がある。実験データからこの波の岸比が

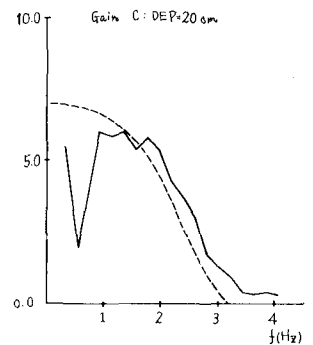


図-2 Gain C点

より, 谷が平らになるという共通の特性が見られ, それは水深の減少とともに顕著になる。不規則波がこうした非

線型性を持つ場合には、スペクトル解析による成分波の特性の検討に問題がある。これらの不規則波の非線型性も考慮するため、ここでは zero-up-cross 法による波の内部機構を検討する。

4. zero-up-cross 法による不規則波の取り扱い；最近、岩垣らは zero-up-cross 法で定義した個々の波の特性を波高・周期のほぼ等しい規則波と単純に置き換えと考えることは問題があり、個々の特性について基礎的な研究の必要と指摘している。ここでは、実際の不規則波の内部機構について、zero-up-cross 法による取り扱いの可能性を検討する。しかし、不規則波の個々の波と規則波と比較することは、その不規則性の故にあまり意味がない。したがってここでは、ここで用いたデータを zero-up-cross 法で定義し、波高・周期のほぼ等しい数波を水深の zero-up-cross 点をそろえて重ね合わせて平均化した平均波について検討した。これらと波高・周期より求めた微小振幅波、Stokes 波第2次近似解、およびクノイド波等の波動理論と比較した。一樣水深部では、波形、水粒子速度とも微小振幅波理論と比較的良好な対応を示しているが、水深の浅部では、1) 1) Stokes 波の方が良い対応を示し始め、D 点 ($h=10\text{cm}$) ではクノイド波が最も良い対応を示した。図-5 は D 点における平均波の波形、水粒子速度と前述した3つの理論式との対応を示したものである。図中、実線が平均波で、破線が微小振幅波、点線が Stokes 波および点鎖線がクノイド波理論による値である。波形について見ると Stokes 波とクノイド波の波形の差はほとんどなく、平均波形は岩垣らが報告しているいわゆる波形の前の波の特性がわかるように見られるもの、これは両理論とも良い対応を示している。一方、水平方向水粒子速度は図からわかるように D 点においてはクノイド波理論との対応が最も良好である。図-6 は平均波の水粒子速度と前述した波動理論との対応性を検討したもので、平均波の水粒子速度の最大値・最小値との差 V と理論値 V_{th} との比 V/V_{th} とを波高水深比 H/h に対してプロットしたものである。図中、○印は V_{th} として Stokes 波理論を用いたものである。図からわかるようにデータは幾分ばらついてはいるものの、理論値の $\pm 10\%$ の範囲におさまっており、平均波の水粒子速度場は、規則波の理論によりほぼ正確に推定することができる。ただし、波動理論の適用限界については規則波のそれを用いることは問題がありそうである。すなわち、図-6 の V/V_{th} と H/h との関係は、平均波のそれと最もよく対応したものをを用いたが、その適用限界は必ずしも規則波に対して用いられている Wilson の基準は負かではない。たとえば、Stokes 波は破線に示した適用範囲 $k_0^2 L^2/h^3 < 1$ よりも幾分広い適用範囲を持つようである。

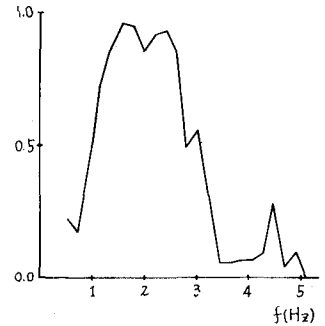


図-3 コヒーレンス 点: 水深 20 cm

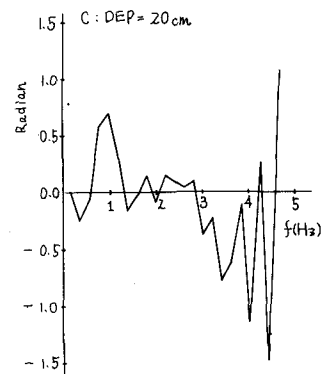


図-4 位相スペクトル

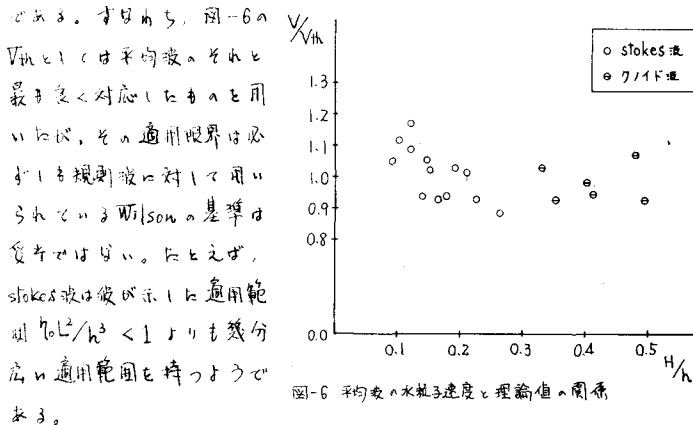


図-6 平均波の水粒子速度と理論値の関係

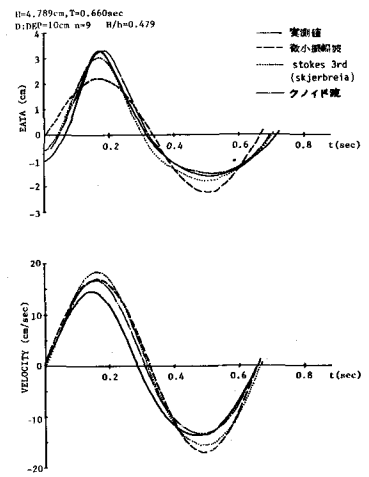


図-5 a: 波形の比較, b: 水粒子速度の比較