

デュアル・フェース・サーペント型造波装置によって 造波された二方向波浪の特性

加藤 雅也* 平山 克也**・丸山 晴広***
 平石 哲也****・永井 紀彦****

1. ま え が き

沖合い人工島のように比較的水深の深い海域に構造物を建設する場合や、避泊船舶の係留問題を考える場合に、波の多方向性を考慮する必要がある。そこで、多くの研究機関で波の多方向性を考慮した実験が行われ、造波制御方法や解析手法等が確立されつつある。また、最近では、沖合いでの大規模な現地観測が実施され、主波向やピーク周波数の異なる双峰型の方向スペクトルが観測されている(例えば、永井ら, 1993)。このような双峰型の多方向不規則波を、以下では“二方向波浪”と記すこととする。さらに、東京湾や大阪湾内では、湾内の風波に外海からのうねりが重畳し、しばしば二方向波浪が形成される。これまでに双峰型スペクトル波に関する研究は数例行われているが、主として周波数スペクトルに関するものであり(例えば、間瀬ら, 1995)、主波向が大きく異なる二方向波浪に関する研究は現地観測データの解析(例えば、永井ら, 1993)や方向スペクトル解析に関する研究(例えば、磯部ら, 1984; 橋本, 1992)の中で取り扱われているだけで、水理模型実験で検討された例は無いようである。しかしながら、今後は、沖合いでの波浪特性や構造物に作用する波力を模型実験で検討する場合に、二方向波浪を実験水槽内に精度良く再現することが必要になってくると考えられる。そこで、本研究では、水槽内の二辺にL型に配置した多方向不規則波造波装置を各々独立に制御することのできる造波システム(デュアル・フェース・サーペント型造波装置)を用いて、二方向波浪の再現性を中心とした特性を検討し今後の模型実験手法の高度化に資することを目的とした。

2. 実験方法

(1) 実験設備

図-1に実験に使用した水槽及びデュアル・フェース・サーペント型造波装置の概要と波高計アレイの設置位置を示す。デュアル・フェース・サーペント型造波装

* 正会員 運輸省港湾技術研究所水工部 (東急建設株式会社)
 ** 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所水工部
 *** 運輸省港湾技術研究所水工部
 **** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所水工部

置は、図の上側(第1造波面)に50台、図の左手側(第2造波面)に30台のピストン型造波機からなる多方向不規則波造波装置により構成されている。そこで、各々の造波面を独立に制御することにより、水槽内に二方向波浪を発生させることができる。また、二方向波浪を水槽内に再現する場合、壁面からの反射波だけでなく、互いの造波面から直接進行してくるエネルギーの大きな斜め波を吸収する必要がある。デュアル・フェース・サーペント型造波装置では、伊藤ら(1994)の方法に基づく斜め波の吸収制御機構を採用している。

波高計アレイは星型配置とし、図のP1点とP2点に設置した。ただし、図中の設置位置の座標は両造波面の交点を原点とし、第2造波面をx軸、第1造波面をy軸とした。また、以下に示す波向きθは、第1造波面の法線方向を0°とし、反時計周りを正としている。

(2) 実験条件

二方向波浪に関する現地観測例を解析すると、現地では周期6~8sの比較周期の短い波と周期10~12sの比較周期の長い波が共存している場合が多い。このような現地観測例に基づき、実験条件を表-1に示すように設定した。ただし、水深は70cmで一定としている。CASE 1~CASE 15ではデュアル・フェース・サーペント型造波装置による二方向波浪の基本的な特性を調べ、CASE 16では、いわき沖で1995年1月4日午前0時に観測された現地データの再現を試みた。

以下に造波信号作成における目標スペクトルについて記述する。CASE 1~CASE 15では比較的一般性の高いスペクトルを用いることとし、周波数スペクトルには式(1)に示す修正ブレットシュナイダー・光易型スペクトル(合田, 1987)を、方向関数には式(2)~(4)に示す光易型方向関数(合田ら, 1975)を用いた。

$$S(f)=0.205H_{1/3}^2T_{1/3}^{-4}f^{-5}\exp[-0.75(T_{1/3}f)^{-4}] \dots\dots\dots (1)$$

$$G(f;\theta)=G_0\cos^{2s}\left(\frac{\theta}{2}\right) \dots\dots\dots (2)$$

$$G_0=\int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}}\cos^{2s}\left(\frac{\theta}{2}\right)d\theta]^{-1} \dots\dots\dots (3)$$

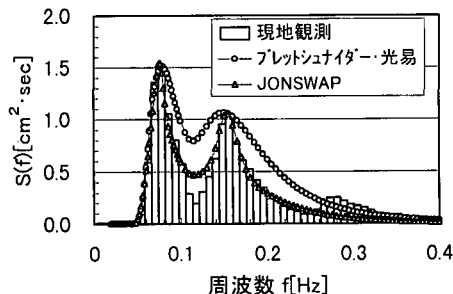


図-3 いわき沖周波数スペクトル

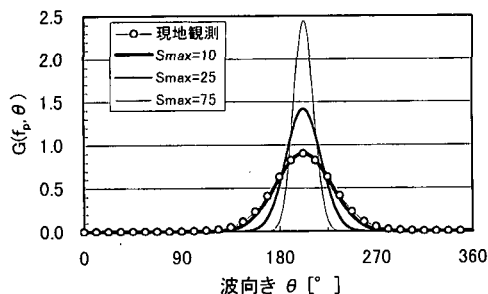


図-4 高周波数側ピーク周波数の方向関数

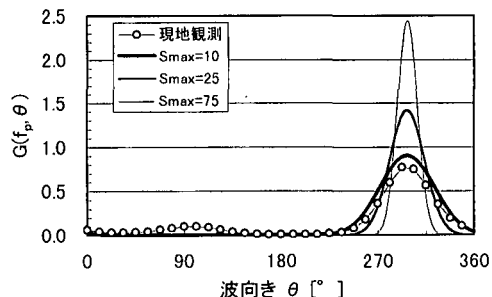


図-5 低周波数側ピーク周波数の方向関数

3. 実験結果および考察

(1) 有効造波領域に関する検討

図-6は、第1造波面から、有義波高 $H_{1/3}=7.0$ cm、有義波周期 $T_{1/3}=1.33$ s、方向集中度パラメータ $S_{max}=10$ の波を、第2造波面から、 $H_{1/3}=3.5$ cm、 $T_{1/3}=3.0$ s、 $S_{max}=25$ の波を造波し、主波向の交差角 α を 90° とした場合に、P1点とP2点で計測した周波数スペクトルを目標の周波数スペクトルと比較した結果である。P1点では目標の周波数スペクトルと良く一致しているものの、P2点では、目標の周波数スペクトルとは一致せず、特に第2造波面から造波した波のエネルギーレベルが小さくなっている。これは、P2点が造波面から遠く、二方向波浪の造波における有効造波領域の限界点付近に位置しているためと考えられる。

図-7は、図-8と同じ実験条件で、P1点で計測された水位変動を用いてEMEPおよびEMLMで方向スペクトル解析をし、式(9)に示すように方向スペクトルを周波数方向に積分した $G_2(\theta)$ で表したものを示している。

$$G_2(\theta) = \int_0^\infty G(f; \theta) \cdot S(f) df \dots\dots\dots (9)$$

また、図-8は、同様にP2点の解析結果を示している。なお、以下では、便宜的に $G_2(\theta)$ を“2次元方向スペ

クトル値が一致するように合わせ込みを行った結果、プレットシュナイダー・光易型スペクトルでは高周波数側のスペクトルの勾配が一致しないことがわかった。そこで、JONSWAP型スペクトルを用いてスペクトルのピーク値や尖鋭度の合わせ込みを行った結果、図に示すように良く一致させることが出来た。ここで、合わせ込んだ2つの周波数スペクトルの有義波高、有義波周期、尖鋭度はそれぞれ、 $H_{1/3}=0.95$ m、 $T_{1/3}=6.0$ s、 $\gamma=2.2$ と $H_{1/3}=0.95$ m、 $T_{1/3}=12.0$ s、 $\gamma=1.5$ である。

次に、図-4と図-5にそれぞれのピーク周波数における方向関数を調べた結果を示す。両者ともに、 $S_{max}=10$ の光易型方向関数に良く一致している。

以上の結果から、この実験ケースにおいては、周波数スペクトルはJONSWAP型スペクトルを、方向関数には光易型方向関数を用いることとした。

(3) 解析方法

実験では、全てのケースで造波開始と同時に水位の測定を開始し、サンプリング周波数20 Hzで5000データ取得した。計測データの解析は、造波開始30秒後からの4096データを用いて、拡張最大エントロピー原理法(EMEP) (橋本, 1992) と拡張最尤法(EMLM) (磯部ら, 1984) により方向スペクトル解析を行った。

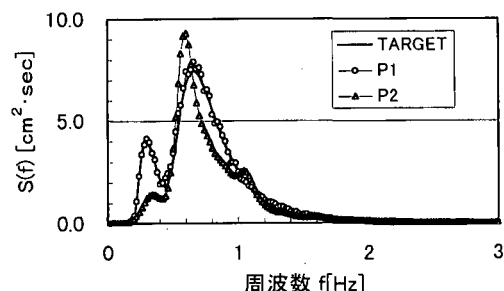


図-6 周波数スペクトルの比較 (CASE 2)

クトル”と記す。図-7に示すように、P1点では、EMEPによる解析で主波向 $\theta_b=0^\circ$ の波のエネルギーレベルが目標値より大きくなっているものの、概ね目標の2次元方向スペクトルを有する波が造波されていることがわかる。一方、図-8に示すように、P2点では、目標とする2次元方向スペクトルとは異なり、明瞭な双峰型スペクトルとはなっていない。また、紙面の都合によりここには示していないが、本論文の実験条件の範囲では、全ての条件に対して同様の結果が得られ、P1点周辺では目標とする波浪場が概ね再現できるが、P2点付近では再現できないことがわかった。特に、両造波面から $S_{\max}=10$ の波を造波する場合、P1点は各々の造波面に対する有効造波領域の境界線付近となるにもかかわらず、目標の波浪場がほぼ再現された。

(2) 方向分布特性に関する検討

図-9～図-11は、第2造波面から造波する波の $S_{\max}$ を10、25および75に変化させた場合の、P1点の2次元方向スペクトルを示している。 $S_{\max}=25$ の場合、発生波の方向集中度は目標値にほぼ一致するが、 $S_{\max}=10$ では目標値より若干高く、 $S_{\max}=75$ では目標値より低くなっている。これは、高山ら(1987)が単面のサーベント型造波機で調べた結果に一致している。したがって、このような方向集中度の低下は、二方向波浪の相互作用によるものではなく、サーベント型造波機自体の性能による

ものである。

(3) 波の交差角に関する検討

図-12に目標とする波の交差角と実験値の比較を示す。目標とする設定交差角が増大すると、測定した交差角は設定値よりも小さくなるが、本研究の範囲内では、交差角の誤差は概ね10%以内に収まっている。各造波面の造波可能な主波向きの範囲と本実験による誤差の程度を考慮すると、デュアル・フェース・サーベント型造波装置で再現可能な二方向波浪の交差角の範囲は $90^\circ \sim 120^\circ$ である。

(4) 現地観測波浪の再現

図-13、図-14に、いわき沖で観測された方向スペクトルを再現した結果を示す。図-13は周波数スペクトル

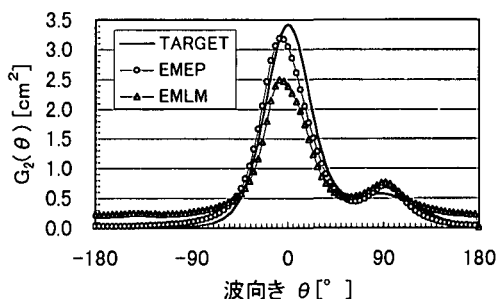


図-9 2次元方向スペクトル (CASE 15, $S_{\max}=10$)

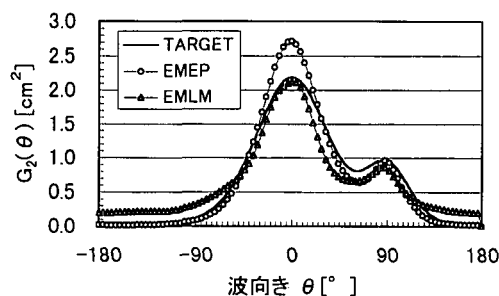


図-7 P1点の2次元方向スペクトル (CASE 2)

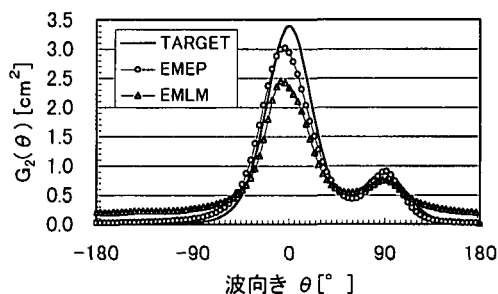


図-10 2次元方向スペクトル (CASE 14, $S_{\max}=25$)

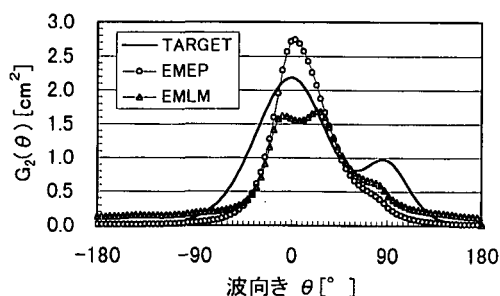


図-8 P2点の2次元方向スペクトル (CASE 2)

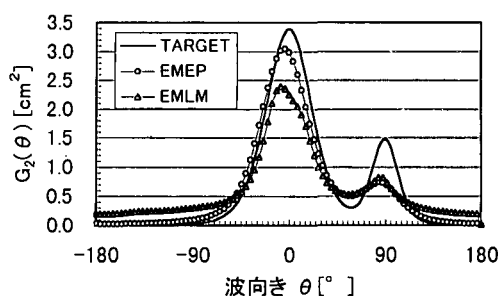


図-11 2次元方向スペクトル (CASE 13, $S_{\max}=75$)

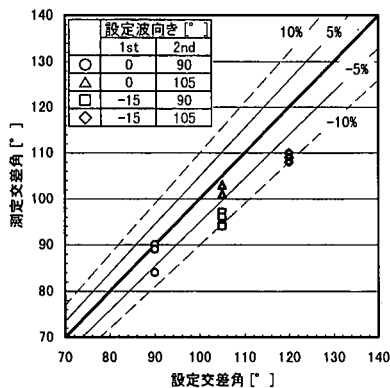


図-12 二方向波浪の交差角の比較

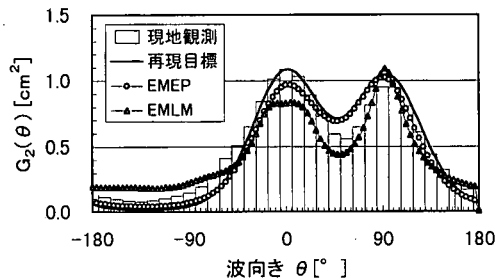


図-14 2次元方向スペクトルの比較 (CASE 16)

しながら、方向集中度パラメータが大きい場合や波の交差角が大きい場合は再現性が低下する。

また、現地観測データを再現する場合、二つの独立した波浪に精度良く分離することができれば、現地の二方向波浪を精度良く再現できることがわかった。

今後は、現地観測された二方向波浪のスペクトルについて解析を進めると共に、二方向波浪による大規模浮体の動揺等の模型実験への適用を検討したいと考えている。

参考文献

- 磯部雅彦・近藤浩右・堀川清司 (1984): 方向スペクトルの推定における MLM の拡張, 第 31 回海岸工学講演会論文集, pp. 173-177.
- 伊藤一教・磯部雅彦・勝井秀博 (1994): 多方向不規則波の反射吸収造波理論, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 101-105.
- 合田良実・鈴木康正 (1975): 光型方向スペクトルによる不規則波の屈折・回折計算, 港研資料, No. 230, p. 45.
- 合田良実 (1987): 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第 34 回海岸工学講演会論文集, pp. 131-135.
- 高山知司・平石哲也 (1987): サーベント型造波機による発生波の特性に関する実験—大水深海洋構造物実験場内の切れ波造波装置—, 港研報告, Vol. 26, No. 3, pp. 37-83.
- 永井紀彦・橋本典明・浅井 正 (1993): 沖波の方向スペクトルの出現特性 (第 1 報)—いわき沖の観測結果—, 港研報告, Vol. 32, No. 2, pp. 45-113.
- 橋本典明 (1992): 海洋波の方向スペクトルの推定法に関する研究, 港研資料, No. 722, 118 p.
- 間瀬 肇・小沢勇介 (1995): 双峰型スペクトルの浅海変形, 土木学会論文集, No. 509, II-30, pp. 183-191.

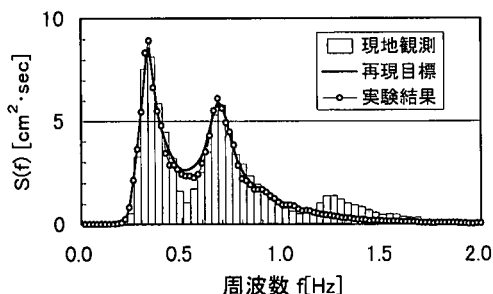


図-13 周波数スペクトルの比較 (CASE 16)

ル、図-14 は 2 次元方向スペクトルの比較を示しているが、いずれも現地観測データと良く一致している。したがって、現地観測データを二つの独立した波浪に精度良く分離することができれば、デュアル・フェース・サーベント型造波装置を用いて現地の二方向波浪を再現できることがわかった。

4. あとがき

デュアル・フェース・サーベント型造波装置を用いて二方向波浪を造波しその特性を調べた。その結果、本研究の範囲内では、目標の方向スペクトルと概ね一致し、双峰型スペクトルの特徴を認識することができた。しか