

波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 미치는 入射波浪의 方向分散性의 影響

The Effect of Directional Dispersion of Frequency Spectrum on the Joint Distribution of Wave Height, Period and Wave Direction

權 正 坤*
Jung Gon Kwon*

要 旨 : 海岸變形을 일으키는 漂砂移動의 大部分은 碎波帶內에서 생긴다. 漂砂移動에 대해서는 종래에 많은 研究가 행해져 왔고 여러 가지 종류의 漂砂輸送 모델에 근거를 둔 定量化가 이루어져 있다. 現地海岸에서 일어나는 漂砂移動量에 대해서 보다 精度 높은 定量化를 행하기 위해서는 現地海岸에서의 入射波浪의 方向分散性의 影響이 考慮된 波高, 週期, 波向의 結合確率分布의 特性을 明確히 해 둘 必要가 있다. 本 研究는 派別로 解析되어진 個個波의 定義法 및 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 미치는 各種 物理量 中 特히 淺海域에 있어서 無視할 수 없는 方向分散의 非對稱性의 影響에 대해서 檢討한 것이다.

Abstract □ The sediment transport in shallow water regions has been studied in various ways and, accordingly, many formulas have been proposed. However, when these formulas are applied practically in the field, they are not sufficient to fully estimate the sediment transport rate yet. The primary reason is how to take into account the effect of irregularities of field waves; wave heights, periods and directions. Therefore, it is necessary to investigate stochastic and kinematic characteristics of waves in three dimensional random seas in order to more accurately estimate it. In particular, the asymmetrical properties of directional spectrum become significant and play an important role in various phenomena in a shallow water region. In this study, their effects of incident waves the joint distribution of wave heights, periods and directions are investigated through field measurements.

1. 緒 論

本 研究는 종래에 發表되어진 一連의 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 대한 研究의 한 부분(權 等, 1988)으로서, 著者 등이 이미 誘導한 波高, 週期, 波向의 結合確率分布의 理論式과 現地 淺海域에 있어서 測定되어진 波浪을 基礎資料로서 波向定義法의 타당성에 대해서 먼저 考察한다(本 研究에서의 波向은 個個波의 波峯 및 波谷에 있어서의 물 粒子速度를 利用하여 定義한 것을 意味한다). 그리고, 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 미치는 各種物理量中 特히

淺水域에 있어서 無視할 수 없는 入射波浪의 方向分散의 非對稱性의 影響에 대해서 檢討을 하고자 한다.

2. 波高, 週期, 波向의 結合確率分布

多方向 不規則波浪場에 있어서의 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 대한 理論은 著者에 의해서, narrow-bandwidth frequency spectrum을 假定하고, 水位變動(η), 이의 時間微分($\dot{\eta}$) 및 물 粒子速度의 水平方向 成分(u, v)의 包絡線함수를 假定함으로써, 波高比($x=H/\bar{H}$), 週期比($\tau=T/\bar{T}$), 波向(θ)에 대한 結

*日本 TETRAPOD 株式會社 應用水理研究所(Nippon Tetrapod Co., Ltd., Applied Hydraulic Laboratory, Tsuchiura 300, Japan)

合確率分布를 다음과 같이 誘導(權 等, 1988, 1990) 했다.

$$P(\chi, \tau, \theta) = \frac{X^2 \times \bar{\sigma}}{2^3 \times r \times \tau^2} \times \exp\left[-\frac{\pi}{4\Delta} \times X^2 (A_{11} + A_{44} \bar{\sigma}^2 (1-1/\tau)^2 + 2A_{14} \bar{\sigma} (1-1/\tau))\right] \\ \times \left\{ \frac{\sqrt{\Delta}}{A} + \frac{B'}{A^{2/3}} \times \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \times X \times \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}} \exp\left\{\frac{B'^2 \pi}{4A\Delta} X^2\right\} \right. \\ \left. \times \{1 - \Pr(-B' \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2A\Delta}} X)\} \right\} \quad (1)$$

$$A = (A_{22} \cos^2 \theta + A_{33} \sin^2 \theta / \gamma^2 + 2A_{23} \cos \theta \sin \theta / \gamma) \\ B' = -(A_{12} \cos \theta + A_{13} \sin \theta / r + A_{24} \bar{\sigma} (1-1/\tau) \cos \theta + A_{34} \bar{\sigma} (1-1/\tau) \sin \theta / r) \\ \bar{\sigma} = 2\pi m_1 / m_0 \quad (2)$$

$$\langle \eta_c \eta_c \rangle = \langle \eta_s \eta_s \rangle = \langle \eta^2 \rangle = m_{00} \\ \langle u_c u_c \rangle = \langle u_s u_s \rangle = \langle u^2 \rangle = m_{20} \\ \langle v_c v_c \rangle = \langle v_s v_s \rangle = \langle v^2 \rangle = m_{02} \\ \langle \eta_c u_c \rangle = \langle \eta_s u_s \rangle = \langle \eta u \rangle = m_{10} \\ \langle \eta_c v_c \rangle = \langle \eta_s v_s \rangle = \langle \eta v \rangle = m_{01} \\ \langle u_c v_c \rangle = \langle u_s v_s \rangle = \langle uv \rangle = m_{11} \\ \langle \dot{\eta}_c \dot{\eta}_c \rangle = \langle \dot{\eta}_s \dot{\eta}_s \rangle = \langle \dot{\eta}^2 \rangle = m_{22} \\ \langle u_c \dot{\eta}_s \rangle = -\langle u_s \dot{\eta}_c \rangle = m_{12} \\ \langle v_c \dot{\eta}_s \rangle = -\langle v_s \dot{\eta}_c \rangle = m_{21} \quad (3)$$

$$\gamma_{10} = m_{10} / \sqrt{m_{00} m_{02}}, \quad \gamma_{01} = m_{01} / \sqrt{m_{00} m_{02}}, \\ \gamma_{11} = m_{11} / \sqrt{m_{20} m_{02}}, \\ \gamma_{12} = m_{12} / \sqrt{m_{20} m_{22}}, \quad \gamma_{21} = m_{21} / \sqrt{m_{02} m_{22}}, \\ \gamma = \sqrt{m_{02} / m_{20}} \\ \Delta = (1 + 2\gamma_{11} \gamma_{12} \gamma_{21} - \gamma_{12}^2 - \gamma_{21}^2 - \gamma_{11}^2 - \gamma_{10}^2 - 2\gamma_{01} \gamma_{10} \gamma_{12} \gamma_{21} + 2\gamma_{10} \gamma_{01} \gamma_{11} + \gamma_{10}^2 \gamma_{21}^2 + \gamma_{01}^2 \gamma_{12}^2 - \gamma_{01}^2) \\ A_{11} = (1 + 2\gamma_{11} \gamma_{12} \gamma_{21} - \gamma_{12}^2 - \gamma_{21}^2 - \gamma_{11}^2) \\ A_{12} = (\gamma_{21}^2 \gamma_{10} + \gamma_{01} \gamma_{11} - \gamma_{10} - \gamma_{01} \gamma_{12} \gamma_{21}) \\ A_{13} = (\gamma_{10} \gamma_{11} + \gamma_{12}^2 \gamma_{01} - \gamma_{10} \gamma_{12} \gamma_{21} - \gamma_{01}) \\ A_{14} = (\gamma_{10} \gamma_{12} + \gamma_{01} \gamma_{21} - \gamma_{10} \gamma_{11} \gamma_{21} - \gamma_{01} \gamma_{11} \gamma_{12}) \\ A_{22} = (1 - \gamma_{21}^2 - \gamma_{01}^2) \\ A_{23} = (\gamma_{01} \gamma_{10} + \gamma_{12} \gamma_{21} - \gamma_{11}) \\ A_{24} = (\gamma_{11} \gamma_{21} + \gamma_{01}^2 \gamma_{12} - \gamma_{12} - \gamma_{10} \gamma_{01} \gamma_{21}) \\ A_{33} = (1 - \gamma_{12}^2 - \gamma_{10}^2) \\ A_{34} = (\gamma_{11} \gamma_{12} + \gamma_{10}^2 \gamma_{21} - \gamma_{21} - \gamma_{10} \gamma_{21} \gamma_{12}) \\ A_{44} = (1 + 2\gamma_{10} \gamma_{01} \gamma_{11} - \gamma_{01}^2 - \gamma_{11}^2 - \gamma_{10}^2) \quad (5)$$

式 (3)에서 表示한 共分散中, $\dot{\eta}$ 및 v 의 共分散은 入射波의 方向分散의 非對稱性을 나타내는 것이고, 主方向에 대해서, 對稱的인 光易型의 方向分布함수(光易 等, 1975)를 適用할 경우에는 그 값은 0이 된다. 또한, 이러한 共分散은 方向 스펙트럼 $S(f, \theta)$ 의 推定值가 있을 경우(η , u , v 의 實測值가 있는 경우는 cross-spectrum 解析에 의해서)에는 다음과 같이 計算할 수 있다.

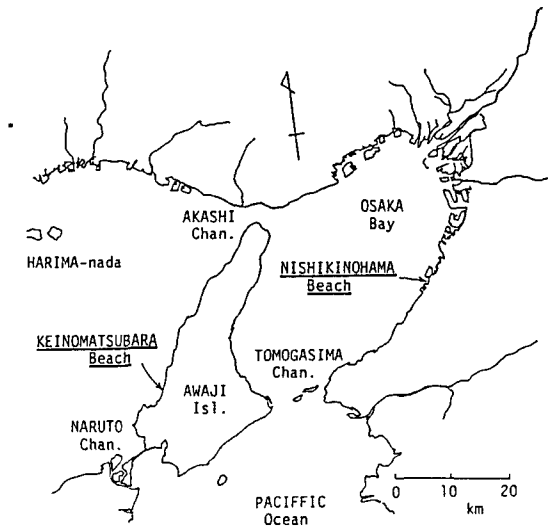
$$m_{12} = -\int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi 2\pi b(f)(f-\bar{f}) \cos \theta S(f, \theta) d\theta df \\ m_{21} = -\int_0^\infty \int_{-\pi}^\pi 2\pi b(f)(f-\bar{f}) \sin \theta S(f, \theta) d\theta df \quad (6)$$

$$b(f) = 2\pi f_i \frac{\cos h}{\sin h} \frac{k_i z}{k_i h}$$

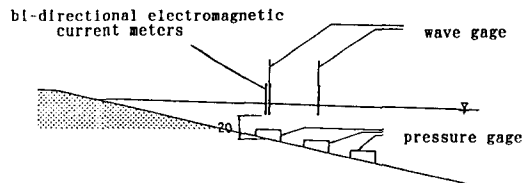
여기서, z 는 流速測定點의 海底面으로부터의 높이, h 는 水深이다.

3. 現地觀測의 概要

多方向 不規則波浪場에 있어서 波高, 週期, 波向의 結合確率分布의 妥當性을 檢證하기 위해, 겨울철 風浪下에서 Fig. 1(a)에서 表示한 日本 兵庫縣 慶野松原海岸 및 日本 大阪府 二色浜 海岸에서 測定을 行했다. 資料解析은 尖頭 周波類(f_b)의 4倍 以上の 週波數를 가지는 水位變動은 微小波로서 간주하여, 波別解析의



(a) Locations of observation sites.



(b) Outline of field observation set-up.

Fig. 1.

対象에서 제외했다.

觀測計器 設置方法은 Fig. 1(b)에서 보여진 바와 같이, 壓力式波高計 3台, 容量式波高計 2台, 水平方向 2成分 電磁流速計 1~2台를 使用하여 測定했다. 그

리고 波高, 週期, 波向의 結合確率分布 및 方向 스펙트럼(磯部 等, 1984)을 推定하기 위한 3成分 array는 水平方向 2成分 電磁流速計와 容量式 波高計(혹은, 壓力式波高計)이다. 測定된 全 경우의 測定水深, 波數, 無次元 共分散 係數($\gamma_{01} \sim \gamma_{21}$), long crestedness parameter(γ), 有義波高($H_{1/2}$), 有義週期($T_{1/2}$), Spectrum bandwidth parameter(ν), Ursell數, 水位變動에 對한 統計量 Kurtosis, Skewness, spectrum 尖銳度 parameter θ_p 등에 對한 統計量(合田 等, 1974)은 Table 1에 보여지고 있다.

4. 個個波의 波向 定義法

一般的으로, 多方向 不規則波浪場의 主方向 θ_p 는 式 (7)에서 定義되어진 것처럼, 2成分 水粒子速度의 共分散에 의해서 計算되어지고, 이 式은 한 가지의 統計量으로서의 代表波向이다.

$$\theta_p = 0.5 \tan^{-1} \left\{ \frac{2(u-u_0)(v-v_0)}{(u-u_0)^2 - (v-v_0)^2} \right\} \quad (7)$$

$$\theta(t) = \tan^{-1} \left\{ \frac{(v-v_0)}{(u-u_0)} \right\} \quad (8)$$

여기서, u_0, v_0 는 時間平均流速이고, 먼저 式 (8) 및 (7)로써 計算되어진 波向의 時系列 $\theta(t)$ 와 主方向 θ_p 가 어느 程度 對應하고 있는가를 考察한다(權 等, 1988).

Fig. 2의 (a), (b)는 慶野松原의 實測 資料 中 경우 (2-2)와 (2-4)의 實測 資料를 解析함으로써 얻어진

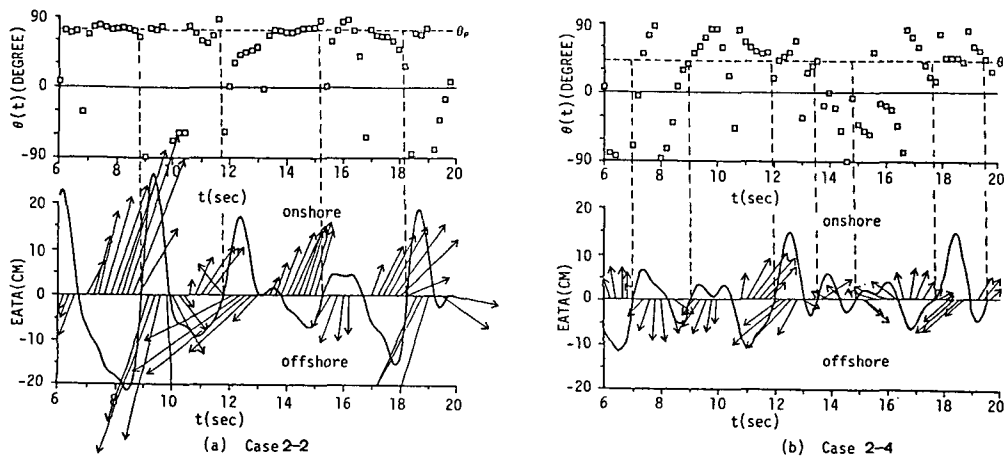


Fig. 2. Measured water particle velocity time series.

Table 1. Statistical characteristics of measured waves

Case	Depth (cm)	Wave number	r_{10}	r_{01}	r_{11}	r_{12}	r_{21}	$T_{1/3}$ (sec)	$H_{1/3}$ (cm)	v	Ursell number	Kurtosis	Skewness	Qp	
KEINOMATSUBARA															
1-1	60.0	279	0.8555	0.1305	0.0014	0.0316	0.3490	0.2660	2.92	8.03	0.374	16.8	3.056	0.042	2.907
1-2	60.0	290	0.8669	-0.0056	0.0019	0.0167	-0.0310	0.2814	2.93	8.19	0.373	17.4	2.834	0.079	2.365
1-3	82.0	602	0.8064	0.1033	-0.0039	0.0422	0.2039	0.3053	3.64	12.20	0.372	21.4	3.190	0.162	2.371
1-4	48.0	680	0.8265	0.1006	-0.0207	0.1480	0.7160	0.2565	3.02	8.30	0.414	30.7	3.140	0.193	1.837
1-5	97.0	700	0.8207	0.0366	-0.0147	0.0025	0.4116	0.3013	2.99	7.81	0.408	6.0	3.266	0.048	2.035
1-6	115.0	809	0.8189	0.1028	-0.0204	0.0510	0.6320	0.3915	2.38	8.37	0.302	2.6	2.939	0.023	2.320
1-7	121.0	668	0.6933	0.1606	-0.0197	0.0190	0.1630	0.3165	3.08	8.70	0.384	4.6	3.360	0.052	1.900
1-8	134.0	646	0.7825	0.1253	-0.0124	0.0655	0.6800	0.3545	3.04	10.53	0.393	4.3	3.070	0.033	1.890
1-9	95.0	314	0.6362	0.1648	-0.0060	-0.0220	0.5040	0.2730	2.90	18.63	0.365	14.4	2.577	-0.001	2.600
1-10	67.0	625	0.5957	0.1421	-0.0216	-0.0200	0.6560	0.2964	2.90	15.07	0.370	24.7	2.714	-0.251	2.720
1-11	113.0	1393	0.8081	0.1148	-0.0090	-0.2910	-0.0091	0.2987	2.77	19.81	0.362	9.4	2.950	0.016	2.220
NISHIKINOHAMA BEACH															
2-1	80.0	1185	0.9325	0.0263	-0.0025	-0.0001	0.6490	0.3070	3.30	44.08	0.362	66.6	3.137	0.1441	3.462
2-2	70.0	334	0.8989	0.0240	-0.0006	-0.0031	0.5100	0.1863	2.93	23.90	0.690	36.5	3.240	0.130	2.340
2-3	120.0	704	0.9058	-0.0061	0.0001	0.0276	0.4325	0.4306	2.81	23.20	0.358	10.0	2.990	0.1068	2.390
2-4	120.0	368	0.8942	-0.0633	0.0430	0.0501	0.0151	0.4834	2.72	24.40	0.356	9.7	3.040	0.2190	3.000

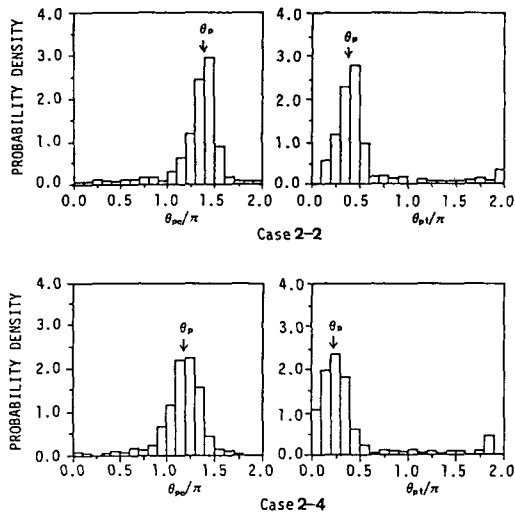


Fig. 3. Distribution of wave directions by individual waves.

결과이고, Fig. 2의 下側 그림에는 水位變動의 時系列과 물 粒子速度벡터를, 上側 그림에는 式 (7), (8)로 定義되어진 波向의 時系列 $\theta(t)$ 와 主方向 θ_p 를 나타내고 있다. 이러한 解析結果로부터, long crestedness parameter(γ)가 크고, 方向分散性이 큰 경우 (2-4)에 있어서는 $\theta(t)$ 가 매우 分散되어져 個個波에 대한 代表的 波向을 決定하는 것은 매우 어렵다. 그러나, γ 가 작고 方向分散性이 작은 경우 (2-2)에 있어서는 $\theta(t)$ 는 比較的 安定되어 있고 特히, 波高가 큰 個個波의 $\theta(t)$ 는 거의 θ_p 에 一致하는 것을 明確히 알 수 있다. 그리고, 水深이 얇아짐으로 해서 θ_p 는 屈折의 影響에 의해서 汀線의 直角方向(그림에서는 90)에 가까워진다. 이와 같은 $\theta(t)$ 의 時系列 中에서 個個波의 波向을 決定하는 한 가지 方法으로서 水位變動이 最大(혹은 最少)가 된 時點에서의 $\theta(t)$ (各各을 θ_{pc} , θ_{pt} 로 둔다)를 代表波向으로 보는 方法(磯部 等, 1987)이 있다.

Fig. 3은 測定되어진 $\eta(t)$, $u(t)$ 및 $v(t)$ 의 時系列로부터 波峯 및 波谷時의 式 (8)로 計算되어지는 θ_{pc} 및 θ_{pt} 의 出現頻도를 나타낸 것이다. Fig. 3에서 보여진 long crestedness parameter(γ)가 작고, 方向分散性이 작은 경우 (2-2)의 θ_{pc} 및 θ_{pt} 分布의 最頻値는 거의 主方向(θ_p)에 一致하고, 그 周위의 分散은 작다. 그러한 反面 γ 가 큰 (2-4)의 경우에 있어서는, $\theta(t)$ 의 分散이 큼에도 불구하고, θ_{pc} , θ_{pt} 의 最頻

値는 거의 θ_p 에 一致하고 있다. 그러므로, θ_{pc} 및 θ_{pt} 양자는 波別解析되어진 個個波의 波向으로서 使用할 수 있다는 것을 알 수 있다. 그러나, 入射波浪의 方向分散이 큰 領域(경우 (2-4))의 θ_{pc} , θ_{pt} 의 出現頻度の 最頻値는 거의 θ_p 에 一致하지만, 式 (8)로 定義되어진 $\theta(t)$ 의 時系列의 分散이 크기 때문에, 이와 같이 水深이 깊은 領域에 있어서는 個個波의 代表波向으로서, θ_{pc} 및 θ_{pt} 를 適用하는 것은 問題가 있기 때문에 今後 그들에 대한 상세한 研究가 요망된다.

5. 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 미치는 入射波浪의 方向分散의 影響

特히, 方向함수의 非對稱性이 波高, 週期, 波向의 結合確率分布의 分布形狀에 어떠한 影響을 미치는가에 대한 考察을 3에서 說明한 現地實測 資料에 의해서 檢討한다. 그러기 위해서는, 實測되어진 現地波浪이 式 (1)의 假定, 즉 narrow-bandwidth frequency spectrum을 어느 程度 만족하고 있는가를 確認해 必要가 있다. 實測된 水位變動 $\eta(t)$ 에서 구해지는 各種 統計量은 Table 1에 나타난 바와 같이, Ursell 數는 線形에서 非線形領域까지 걸치는 2.0-66.0의 넓은 分布를 하고 있지만, 波浪場의 線形性을 나타내는 parameter, Skewness, Kurtosis는 實測 全경우를 通해서 거의 0.0, 3.0이므로, 實測되어진 資料는 어느 程度 線形性을 지니고 있다는 것을 予測할 수 있다. 그리고, 周波數(f)에 대한 에너지의 퍼짐을 나타내는 spectrum bandwidth parameter(ν)는 0.2-0.4의 값을 나타낸다. 그러나, ν 의 값이 어느 程度이면 周波數 스펙트럼 narrow bandwidth가 된다는 研究는 現在 明確히 되어있지 않다. 그러므로, 本 研究는 Table 1에서 表示한 全경우에 대한 周波數스펙트럼의 narrow-bandwidth 假定의 確認은, 水位 및 波浪의 出現頻도를 調査함으로써 行한다. 波高가 Rayleigh 分布를 이룬다는 것은 水位가 Gauss 分布한다는 것과 스펙트럼이 narrow bandwidth라는 假定下에서 理論적으로 誘導되어져 있기 때문에, 水位가 Gauss 分布를 이루고, 波高가 Rayleigh 分布를 이룬다는 것을 認定할 수 있다면, 周波數 스펙트럼은 거의 narrow bandwidth의 假定을 滿足하게 된다. 그 結果 Table 1에서 表示한 全경우의 水位는 Gauss 分布를 이루고, 波高는 Rayleigh 分布를 이룬다는 것을 確認할 수 있었고,

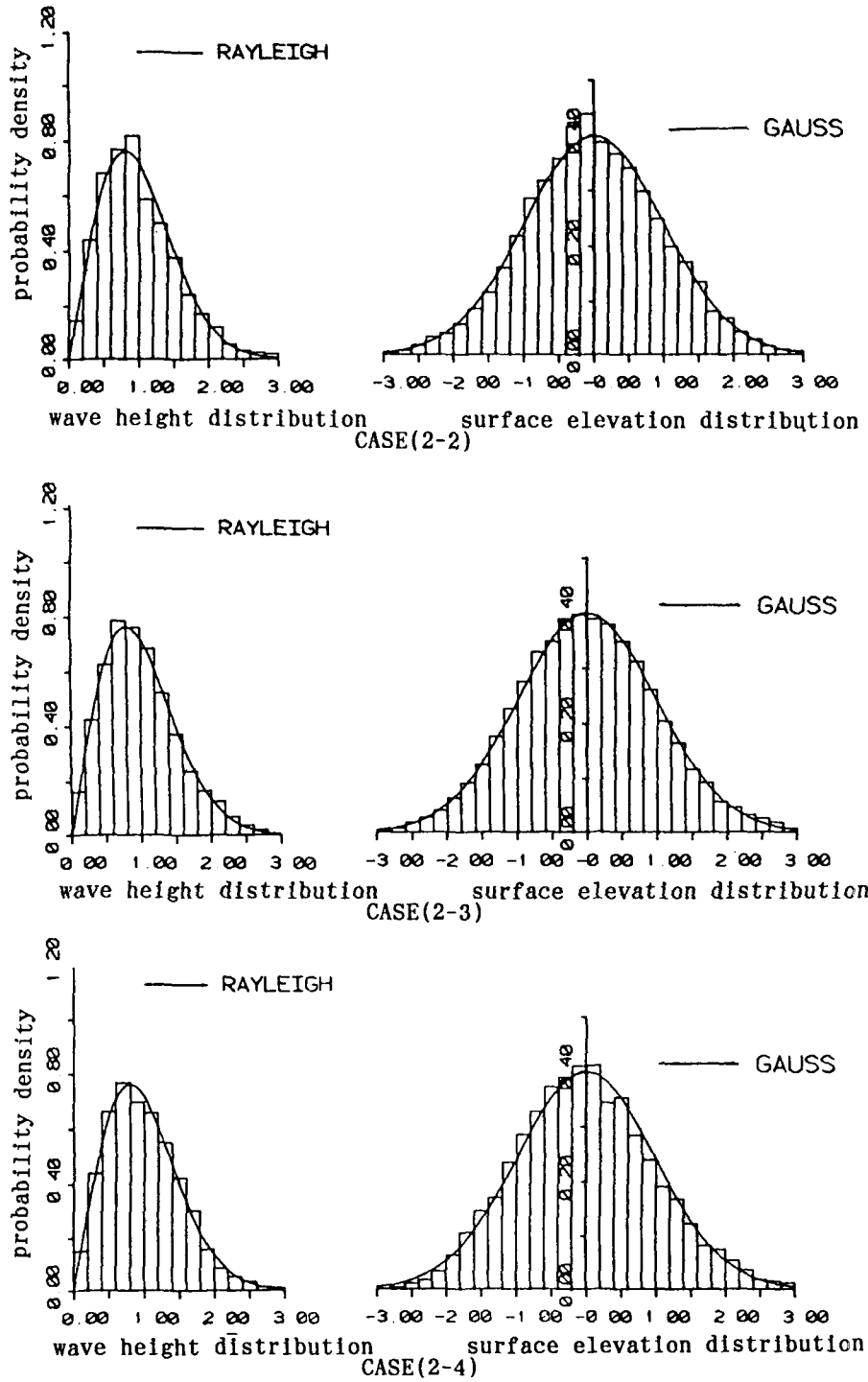


Fig. 4. Wave height and surface elevation distribution.

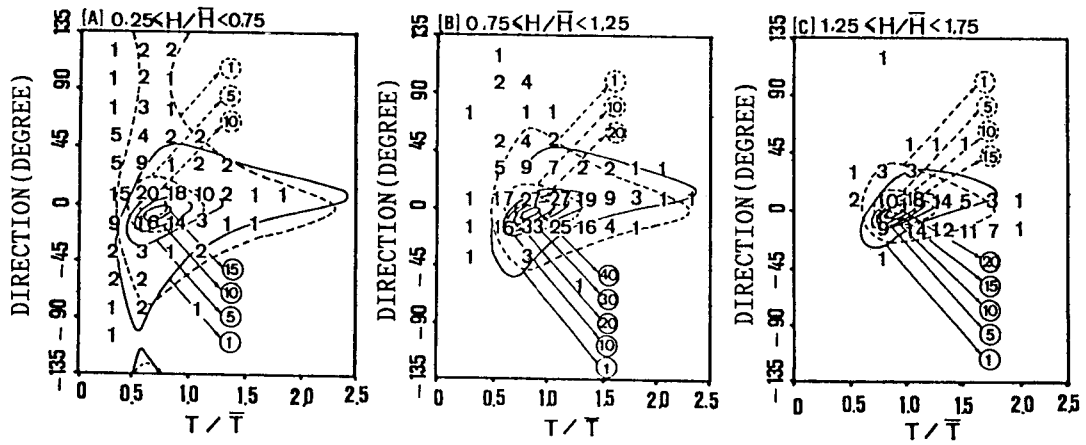


Fig. 5. Joint distribution of wave directions and periods.

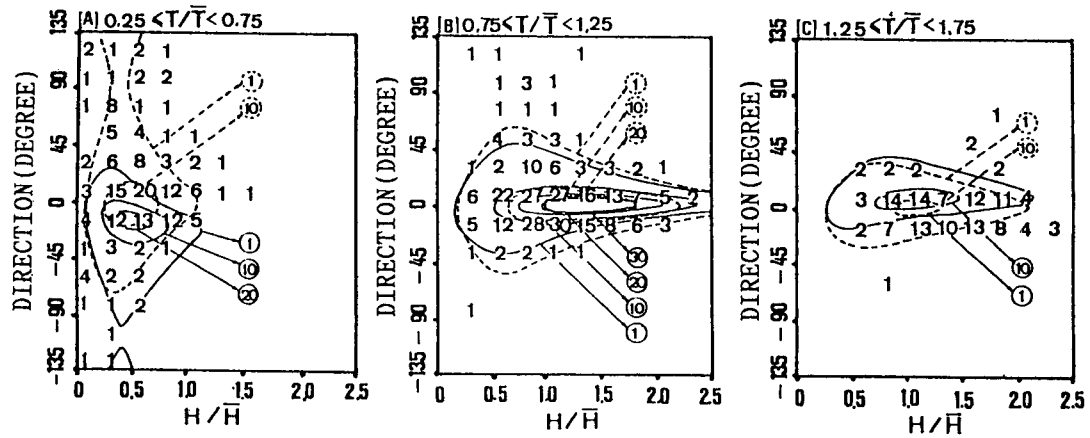


Fig. 6. Joint distribution of wave directions and heights.

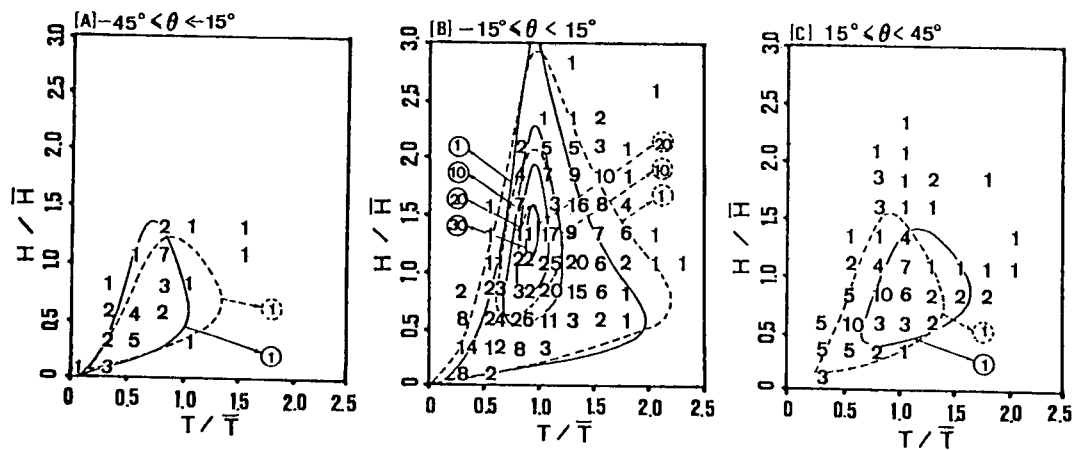


Fig. 7. Joint distribution of wave heights and periods.

그 대표적인 分布形狀은 Fig. 4 (a)-(c) (경우 (2-2)-(2-4))에 나타나 있다.

그러므로, 이러한 narrow bandwidth spectrum을 가지는 現地實測 資料를 使用하여 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 미치는 方向分散의 非對稱性的 影響에 대해서 考察한다. 2에서도 說明한 바와 같이 主方向에 대해서 對稱적인 方向分散함수를 適用할 수 있는 波浪場에서는 γ_{21} 는 0.0이 된다. 또한 著者が 別途 行한 에너지 平衡方程式에 근거를 둔 方向 스펙트럼의 淺水變形에 대한 數值計算 結果(權 等, 1989)에 있어서도, 深海에서 光型型 方向함수와 같은 偶함수를 入力條件으로서, energy 平衡方程式에 의해서 波浪을 淺水變形시키는 한, 方向함수는 水深이 얇아짐에 따라 현저한 非對稱的形狀을 나타내지 않기 때문에, 方向 스펙트럼에서 推定되어진 γ_{21} 의 값은 작고, 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 數值的으로 確認하고 있다. 그러나 Table 1에서 보여진 바와 같이, 實測波浪의 γ_{21} 는 有義한 값을 가진다. 그러므로 γ_{21} 가 波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 어떠한 影響을 미치는 가에 대해서, 特히, γ_{21} 가 큰 값을 나타내는 경우 (1-4)를 對象으로 檢討한다.

Fig. 5의 (a)-(c)는 경우 (1-4)의 實測되어진 水位變動으로부터 zero-down-cross法에 의해 波別解析되어진 個個波 中, 그림에서 表示한 波高比(H/\bar{H})에 存在하는 波의 波向, 週期の 結合分布을 表示한 것이고, \bar{H} 및 \bar{T} 는 平均波高, 平均週期이다. 그리고, η 와 v 의 無次元 共分散(γ_{21})을 考慮한 式 (1)로부터 計算되어진 結合確率分布을 實線으로, $\gamma_{21}=0$ 로 한 경우의 計算結果는 破線으로 表示하고 있다 各各의 그림에서 明白히 보여지는 바와 같이, 波高比에 불구하고, γ_{21} 가 有義한 값을 가지기 때문에, 그림 中の 數字로서 表現한 實測波의 出現波數는 主方向($\theta=0$)에 대해서 非對稱으로 된다. γ_{21} 를 無視한 경우의 計算結果(그림 中の 破線)도 考慮한 경우와 同一하게, 主方向에 대해서 非對稱으로 되지만, 이것은 破線에서 表示한 結果에 있어서도, γ_{21} 와 同一한 非對稱성을 나타내는 η 와 v 의 無次元共分散(γ_{01})를 포함하고 있기 때문이다. 그러나, γ_{21} 를 考慮한 경우와 無視한 경우의 計算結果는 明確한 推定差가 나타나고 있다. 즉, 後者의 경우는 分布形狀이 平滑化 되어지고 出現波數가 1 以上の 領域은 넓어지는데 반해, 高波數의 出現領域 (Fig. 5의 (a)는 10波 以上, (b) 20波 以上, (c)는 15波

以上)은 計算되어지지 않는다. Fig. 6, 7의 (a)-(c)는 그림에서 表示하는 週期別의 波高, 波向의 結合分布 및 波向別의 波高, 週期の 結合分布을 나타낸 것이고, 上述한 波向, 週期の 結合分布에 보여지는 경향과 동일하게, γ_{21} 를 考慮한 計算結果가 高波數의 出現領域에 대한 再現性이 양호하다. 그러나, 入射波浪의 方向分散을 나타내는 parameter, γ_{10} , γ 및 方向分散의 非對稱성을 나타내는 parameter γ_{21} , γ_{01} 間에는 Table 1에서 나타나 있는것 처럼 無相關關係이다. 이것은 測定되어진 波浪特性이 한정되어 있기 때문에 이들의 共分散이 一般的으로 어느 程度의 값을 취하는가에 대해서는 特性이 다른 波浪(方向集中度 parameter S_{max} 가 큰 나블)에 대한 解析이 必要하게 된다. 또한 γ_{12} (η 와 u 의 無次元 共分散)는 週波數 스펙트럼이 平均週波數(\bar{f})에 대해서, 對稱的 形狀을 가질 때에는 0.0이 된다.

6. 結 論

波高, 週期, 波向의 結合確率分布에 影響을 미치는 各種 物理量의 共分散의 空間分布 特性에 대해서, 淺海域의 波浪測定 結果와 比較, 檢討했다. 그 결과 特히, γ_{21} 는 波浪의 方向分散의 非對稱성을 나타내는 parameter이고, 淺海域에 있어서의 波高, 週期, 波向의 結合確率分布의 形狀에 크게 影響을 미치는 것을 明確히 했다.

謝 辭

本 研究는 著者が 大阪大學 大學院에서 行한 博士 論文의 일부분이고, 本 研究를 수행하는데 있어서 指導해 주신 榎木 亨教授, 出口一郎 助教授에게 謝意를 드린다.

參考文獻

- Jung Gon Kwon, Ichiro Deguhi, and Toru Sawaragi, 1990. On the joint distribution of wave height, period and direction in a three dimensional random seas, Coastal Engineering in Japan. (in press).
- Mitsuyasu, H. *et al.*, 1975. Observation of directional spectrum of ocean waves using a cloverleaf buoy, *J. Physical Oceanography*, Vol. 5; pp. 750-760.
- 權正坤 · 石本晴義 · 榎木亨 · 出口一郎, 1988. 波高, 週期別

- よび波向の結合確率分布について, 第 35回 海岸工學講演會論文集, pp. 148-152.
- 權正坤・出口一郎・榎木亨・本田耕一, 1989. 淺海域で測定された波浪の波高, 周期, 波向の結合確率分布, 第 36回 海岸工學講演會論文集, pp. 149-153.
- 權正坤, 1990. 多方向不規則波浪の特性解析及び沿岸流速算定に關する基礎的 研究, 大阪大學工學博士論文.
- 權正坤・榎木亨・出口一郎, 1988. 不規則波浪場における波向算定法に關する考察, 土木學會關西支部年講概要論文集.
- 磯部雅彦・近藤浩右・土屈川清司, 1984. 方向スペクトルの推定におけるMLMの擴張, 第 31回 海岸工學講演會論文集, pp. 173-177.
- 磯部雅彦, 1987. 多方向不規則波浪の派別解析法に關する理論的 考察, 第 34回 海岸工學講演會論文集, pp. 111-115.
- 合田良実・永井康平, 1974. 波浪の統計的性質に關する調査・解析, 港湾技術研究所報告, 第 13卷, 第 14号. pp. 3-37.