

漁港附近的波高統計分佈試驗研究

管芳苡¹ 林焯圭² 尹彰² 周宗仁³

摘要

本研究利用國立臺灣海洋大學『海洋工程綜合試驗館』裡的平面造波水槽，以八斗子漁港為模型港池進行規則波、及以JONSWAP為目標頻譜的單方向及多方向不規則波的平面遮蔽試驗，其目的在探討漁港內水面波動波高的統計機率分佈情形。結果顯示不論是單方向或是多方向不規則波，Gram-Charlier系列分佈比常態分佈還適合用來描述水面的波動。而整個港區的波高與週期的統計分析結果則與Goda(1974)的結果十分地吻合。常態分佈或是Weibull分佈在波高的機率分佈套配上較Rayleigh分佈好，而Weibull分佈中的形狀參數 α 與尺度參數 β 可經由迴歸分析而得到單一參數的分佈曲線。

A Laboratory Study of Wave Height Distribution inside a Fishery Port

Fang-Yii Kuan Jaw-Guei Lin John, Z. Yim Chung-Ren Chou

ABSTRACT

A series of hydraulic model test for the tranquility inside the Ba-Dou-Ze fishery port to investigate the wave height statistics properties inside the port was conducted in the Laboratory of Ocean Engineering of National Taiwan Ocean University. Regular, irregular long-crested and irregular short-crested incident wave trains were used. The results show that Gram-Charlier series distribution is better than the normal distribution for the surface elevation, and normal and Weibull distributions are better than Rayleigh distribution for the wave height. The Weibull distribution can be simplified into single parameter form from the regression between their parameters. The statistics properties of wave height and period for the entire measured zone are lie within the results of Goda(1974).

一、前言

一般港灣靜穩度的評估方式不外是利用用數值模擬或水工模型試驗的方法來：(1) 探討港內某些特定點的自然共振頻率；(2) 探討某些設計波浪作用下，港區內外水域的波動分佈情形。前者可以評估港址附近的經常性波浪頻率是否與港灣的自然頻率相近，但該結果僅顯示該特定點的波動性質，而不能真正地代表整個水域的波動情形；後者雖可提

供整個水域的波高分佈資訊，但在進行靜穩度評估時則又可能落入人為的主觀判斷。因此在港灣規劃上有必要對港內波動的評估定出一套作業準則。

有關海洋波浪的波高統計特性在過去已經有相當多的研究成果。Goda(1985)、Huang等人(1990a,b)及Herbich(1990)對波浪的統計特性均有詳細的敘述，但這些研究多著重於外海的水域。水面波動的統計分佈一般視其為常態分佈(光易恆, 1977)。然而在波浪向岸傳播的過程中，因海底底床的干擾所產生的非線性變化，Longuet-Higgings(1963)建議用Gram-Charlier級數來描述其機率密度分佈。Honda和Mitsuyasu(1976)經由現場觀測與模型試驗中也發現當非線性的影響無法忽略時常態分佈並不合理。Ochi和Wang(1984)認為偏態(skewness)及峰度

1. 國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士
2. 國立臺灣海洋大學河海工程學系副教授
3. 國立臺灣海洋大學河海工程學系教授

是描述此種現象非常重要的參數，並進一步建議只有當偏態小於0.2時沿岸的水面波動才可視為常態分佈。對於一個窄頻的深水波來說，當水面波動符合常態分佈時，其利用零上切法所判讀的個別波高的統計分佈可以用Rayleigh分佈來描述，但賴(1994)及尹(1996)經由試驗比較認為常態或Weibull分佈似乎都比Rayleigh分佈來得適切。Sundar等人(1994)也指出防波堤附近的水面波動屬於非常態分佈，而以Weibull分佈來描述該區域的波高分佈比Rayleigh分佈更為合適。對於港內的相關波浪統計特性的研究則未見廣泛討論，究其原因可能是港內的波動特性會因為港型及水深的複雜性而難以預測，而且勢必牽動大規模的水面波動量測，不僅需要龐大經費，執行上也有相當的難度。因此，一般對於港內的水面波動多半仍是用本節第一段所提到的方法來進行評估。

林(1995)、Lin & Tung(1997)曾利用數值模擬方式嘗試以一特定的水域面積內的總體波高分佈從波高發生機率的觀點來檢討港內的靜穩度，但由於缺乏港內的實際波高統計特性資訊，對於港內可能發生的最大波高只能用Rayleigh的理論分佈，水面波動則採用正規分佈的假設來進行解析。雖然港內的水面波動頻譜仍在窄頻範圍內，但由於港灣波動特性的影響，其頻譜形狀不一定是單峰的，此與Rayleigh分佈的基本條件不合。為了瞭解港內波高的統計分佈特性，本研究以八斗子漁港的地形與佈置進行了一系列平面遮蔽試驗，並針對港內所有量測點的時間序列作相關的統計分析，包括水面波動與個別波高的統計特性，及利用頻譜分析探討各規則成分波的性質。

本文中第二部份是說明本研究的試驗設計，第三部份為相關的分析，第四部份是對試驗結果的分析與討論，最後則為結論與建議。限於篇幅相關理論部份僅能簡述，詳細描述可參考管(1999)。

二、水工模型試驗

2.1 試驗設備與配置

本試驗場地是位於國立臺灣海洋大學河海工程研究所的『海洋工程綜合試驗館』內之平面水槽(長50公尺×寬50公尺×深1公尺)。造波機是由七組日本

本田工業株式會社製作的多方向不規則造波機所組成，總造波板長度為28公尺，可造出 $30^{\circ}\sim 150^{\circ}$ 任一方向、不同週期($0.5\text{sec}\leq T_{1/3}<5\text{sec}$)之規則波或不規則波波列。波高量測是使用42個頻道的容量式波高計，波形記錄則經由TEAC公司所製造的DR-F1類比/數位轉換器將類比訊號轉換成文字型式。取樣頻率設定為50Hz，每次取樣3分鐘。



圖1 試驗配置圖



圖2 港內波高測點分佈圖

八斗子漁港位於台灣的東北端海岸，距基隆港以東約2公里左右，為一天然避風海灣，灣域水面達三十萬平方公尺。由於向東面對廣大的海域，港區易受N-NE向波浪之侵襲。圖1為試驗配置圖，模型縮尺為1:81，海岸地形為定床並鋪設至實際水深約-50公尺處，試驗水深為60cm。圖2為波高量測位置分佈圖，波高計的間隔為50cm；造波機前另擺放了兩支波高計以量測入射波。實際港內的測點有：A區25點、B區53點、C區25點；另外港外(D區)有48點，總計共151個測點。

2.2 試驗造波條件

為了瞭解不同造波方式(規則波、單方向及多方向不規則波)對港內波高分佈所造成的影響,本試驗用相同的代表波高與週期分別以此三種不同造波方式進行試驗與量測。不規則波以JONSWAP經驗頻譜為目標譜(Goda, 1985),

$$S(f) = \alpha H_{1/3}^2 T_p^{-4} f^{-5} \exp[-1.25(T_p f)^4] \times \gamma \exp[-(T_p f - 1)^2 / 2\sigma^2] \quad (1)$$

並以黃(1998)所得到一適用於該試驗造波水池的示性週期與主頻關係式進行轉換:

$$T_p = \left(\frac{0.952971}{T_{1/3}} + 0.0698527 \right)^{-1} \quad (2)$$

其中, $S(f)$ 為頻譜密度函數; α 為Phillips常數; T_p 為譜峰處的頻率; γ 為譜峰集中度係數; σ 為頻譜寬度。並配合Mitsuyasu方向散佈函數產生多方向不規則波

$$S(f, \theta) = S(f) \cdot G(f; \theta) \quad (3)$$

其中, $S(f, \theta)$ 為方向頻譜密度函數; $G(f; \theta)$ 為Mitsuyasu的方向散佈函數。

$$G(f; \theta) = G_0 \cos^{2\pi} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (4)$$

θ 是方向角, 係以波浪主方向依逆時針方向起算; 而 G_0 是一個常數:

$$G_0 = \left[\int_{\theta_{\min}}^{\theta_{\max}} \cos^{2\pi} \left(\frac{\theta}{2} \right) d\theta \right]^{-1} \quad (5)$$

表1為試驗造波條件, 主波方向有N向(112.5°)及NNE向(90°)兩種。

表1 造波條件

造波種類	示性波高 $H_{1/3}$ [cm]	主方向 θ [deg]	主頻 f_p [Hz]	散佈指數 S_{\max}
規則波	6	90° 及 112.5°	0.7、0.9及1.1	—
單方向 不規則波				—
多方向 不規則波				10、25及50
多方向 不規則波				10、25及50

三、相關的統計分析

在進行波浪統計或頻譜分析之前, 水面變化記錄的時間序列先進行去除平均值及長期趨勢的處理, 詳細的處理步驟可參考管(1999)。

3.1 水面波動統計特性

水面波動的統計分析是以Hochstaeder(1989)提議的 $k \leq \sqrt{N}$ 分割方法繪製機率分佈條形圖, 並套配常態及Gram-Charlier系列兩種理論分佈曲線, 同時利用最小平方方法的總體誤差進行最佳理論水面波動機率分佈的檢定(Haan, 1991)

由各取樣點的時間序列可以計算其中心矩(central moment):

$$m_k = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^k \quad (6)$$

其中, m_k 是第 k 階的中心矩。中心矩可代表一個時間序列的基本統計性質, 例如 m_1 是平均值; m_2 的平方根是標準偏差值(standard deviation)可描述一組序列偏離平均值的情形; m_3 偏態(skewness)可描述一個序列向左($m_3 > 0$)或向右($m_3 < 0$)偏離的型態; m_4 是所謂的峰度(kurtosis)可描述一個序列的分佈集中度。對於常態分佈來說, $m_3 = 0$, $m_4 = 3$ 。湯(1982)認為實際海洋水面波動的機率密度函數雖近似於常態分佈, 但其 m_3 不等於 0, 尖峰大都偏左, 且 m_4 亦不等於 3, 反映出非線性作用的存在。

3.2 波浪能譜分析

本研究將波形記錄的時間序列(每筆的總取樣個數為14000個)切割成1024個記錄點長的子序列(一共可分割成13個子序列)。將這些子序列分別經由快速傅立葉轉換後得到個別的樣本粗譜, 再透過利用時間域的時域分段平均法及頻率域的漢寧視窗平滑法進行粗譜的平滑, 以降低頻譜的偏度(陳和馬, 1991)。

3.3 波高、週期統計特性

在波高與週期的統計中是利用零上切法來判讀各水面高程時間序列的個別波高與相對週期。除了計算各代表性波高 H_{\max} 、 $H_{1/10}$ 、 $H_{1/3}$ 、 H_{mean} 與 H_{rms} , 以及其相對週期外, 也以 $k = 4\sqrt{0.75(N-1)^2}$ (Hahn和Shapiro, 1987)間隔數對所有波高在零至最大波

高間進行分割並繪製波高分佈條形圖，其中也套配 Rayleigh 分佈、常態分佈和 Weibull 分佈，同時採用奇-方檢定法來檢定最佳理論分佈。

Weibull 分佈中有兩個重要參數，形狀參數 α (shape parameter) 及尺度參數 β (scaling parameter)，需由試驗數據求出。 α 的大小決定了整個曲線的形狀：當 $\alpha=1$ 時，Weibull 分佈就變成指數分佈；而當 $\alpha=2$ 時，則變成 Rayleigh 分佈。但陳和馬(1991)也指出：當 $\alpha \rightarrow 3$ 或 4 時 Weibull 曲線的形狀就變得有點類似對稱型的常態分佈。 β 則決定 Weibull 分佈機率曲線的“擴展”程度。本文利用最大近似法並配合修正後的 Newton-Raphson 法找出機率分佈中的參數並進行比較。

3.4 統計參數的推估

本文也討論了由頻譜所計算之各個頻譜矩 (spectral moment) 與由零上切法所求得之相關代表性波高與週期間的關係。頻譜矩的表示式：

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n S(f) df \quad (7)$$

其中，零譜矩 m_0 表示該筆波浪記錄的波譜總能量。

對一窄頻且水面機率分佈符合常態分佈的波浪，Longuet-Higgins 由 Rayleigh 機率分佈推導出平均波高 $H_{m_{con}}$ 與零階譜矩 m_0 的關係

$$H_{m_{con}} = (2\pi m_0)^{1/2} \quad (8)$$

以及平均波高 $H_{m_{con}}$ 和均方根波高 H_{rms} 與 m_0 的關係

$$H_{rms}^2 = \overline{H^2} = 8m_0 \quad (9)$$

此外，平均週期：

$$T_{0,1} = m_0/m_1 \quad \text{及} \quad T_{0,2} = \sqrt{m_0/m_2} \quad ; \quad (10)$$

示性波高：

$$H_{m_0} = 4\sqrt{m_0} \quad ; \quad (11)$$

頻譜寬度參數：

$$\varepsilon_2 = \sqrt{\left(\frac{m_0 m_2}{m_1^2}\right) - 1} \quad \text{及} \quad \varepsilon_4 = \sqrt{1 - \left(\frac{m_2^2}{m_0 m_4}\right)} \quad ; \quad (12)$$

譜峰集中度係數：

$$Q_p = 2 \int_0^{\infty} f s^2(f) df / m_0^2 \quad (13)$$

皆在討論之列。本文也將所求得之特性波高之間或特性週期之間的相關性與 Goda(1974) 及 郭(1992) 的結果相比較。

四、結果分析與討論

4.1 水面高程的統計特性

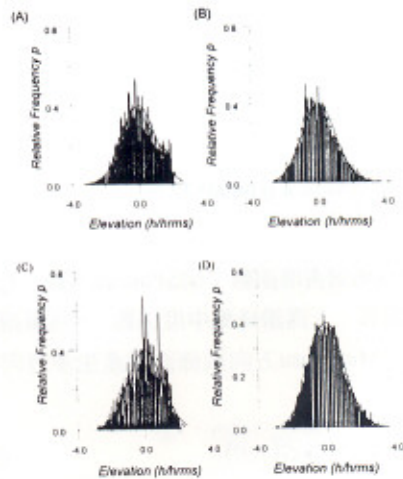


圖3 單方向不規則波水面機率分佈圖(: Histogram; —: Normal Dist.;: Gram-Charlier Dist.)

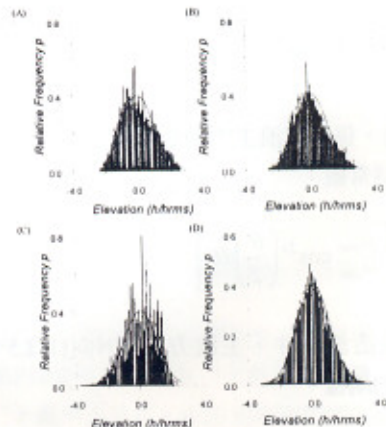


圖4 多方向不規則波水面機率分佈圖(: Histogram; —: Normal Dist.;: Gram-Charlier Dist.)

為便於比較，本部份於港池 A 區到 D 區中各取一特定點進行討論，圖 3 及 4 分別為主頻 $p=1.1\text{Hz}$ ，入射角度為 90° 之單方向及多方向不規則波 ($S_{mix}=10$) 的水面波動機率分佈圖，圖中 (A)、(B)、(C) 及 (D) 依序分別為四個分區量測點的結果。圖 3 中顯示 A

至C區均無法以常態分佈來描述；而圖4中也有相同的情況。但不同的造波條件下各水域仍具相似的統計特性，而且Gram-Charlier系列分佈比常態分佈更合適用來描述水面波動的機率分佈。

表2 水面波動偏態係數統計表(Ochi和Wang法)

	單方向 不規則波	多方向 不規則波	所有資料
常態分佈($m_3 < 0.2$)	60.49%	54.45%	55.96%
非常態分佈($m_3 > 0.2$)	39.51%	45.55%	44.04%

表2為所有不規則波試驗(3624筆記錄)的偏態值(m_3)依照Ochi和Wang的建議以偏態係數0.2為分界所作的統計分析結果。表中顯示不論是單方向或多方向不規則波，港區內外的水面波動似乎用常態分佈來描述較為適合，此一結果與圖3及4的觀察大不相同。為了瞭解此一差異性，本研究以最小平方總誤差檢定法比較實際水面波動分佈與常態分佈及Gram-Charlier系列分佈的套配情形：

$$\Delta = \Delta_n - \Delta_g \quad (14)$$

其中， $\Delta_n = \sum (p_n - p)^2$ ， $\Delta_g = \sum (p_g - p)^2$ ，註標n為常態分佈，g為Gram-Charlier系列分佈。當 Δ 的值小於零，表示水面的波動較傾向於常態分佈。反之則表示較適合Gram-Charlier系列分佈，表3為其結果。

表3 最小平方法($\Delta = \Delta_n - \Delta_g$)檢定結果

	單方向 不規則波	多方向 不規則波	所有資料
常態分佈($\Delta \leq 0$)	35.54%	30.79%	31.98%
Gram-Charlier系列分佈 ($\Delta \geq 0$)	64.46%	69.21%	68.02%

表4 以偏態係數 ± 0.15 為分界之統計結果

	單方向 不規則波	多方向 不規則波	所有資料
常態分佈 ($ m_3 \leq 0.15$)	31.02%	31.64%	31.48%
非常態分佈 ($ m_3 > 0.15$)	68.98%	68.36%	68.52%

由表3可看到港區內外絕大部份的水面波動不屬於常態分佈，而以Gram-Charlier系列分佈來描述較為合適，也顯示出Ochi和Wang的建議不適用於本試驗的資料，因此本研究進一步以 ± 0.15 為分界重新統計(如表4所示)而得到與圖3及圖4以及表3相近的結果。依此比較不同波浪條件作用下港內水域的偏態分佈情況也發現港內水域有較大的範圍屬於非常態分佈，但由於港型與波動行為的複雜性，目

前尚未能找出一定的趨勢。

4.2 波高與週期的統計特性

本文將所有的波浪記錄之特性波高利用迴歸方式分析彼此間的關係，圖5(A)是 $H_{1/10}$ 與 $H_{1/3}$ 的相關性；圖5(B)則為 $H_{1/3}$ 與 H_{max} 的相關性。表5是本試驗與Rayleigh理論公式和Goda的結果的比較，由表中可看出本試驗結果與Goda的結果相當吻合。表6為與郭(1992)所列之統計結果的比較。由於本試驗的測點多位於淺水區域，所得到的統計結果幾乎比郭的資料來得小。

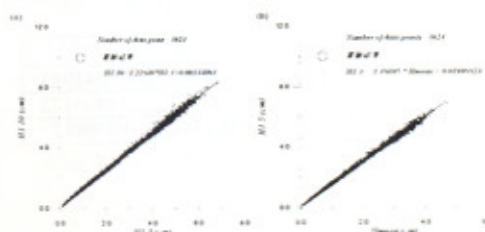


圖5 特徵波高之關係分佈圖

表5 各特性波高之相關性比較

Rayleigh理論	Goda統計結果	試驗結果
$H_{1/10} = 1.27H_{1/3}$	$H_{1/10} = (1.15-1.45)H_{1/3}$	$H_{1/10} = 1.21846H_{1/3} - 0.00344083$
$H_{1/3} = 1.60H_{max}$	$H_{1/3} = (1.40-1.75)H_{max}$	$H_{1/3} = 1.48095H_{max} + 0.0199882$
$H_{max} = 1.8H_{1/3}$	$H_{max} = (1.6-2.0)H_{1/3}$	$H_{max} = 1.58714H_{1/3} + 0.0180582$

表6 均方根波高與其他波高之參數比較

郭(1992)統計結果	試驗結果
$H_{1/10} \cong 2.03H_{max}$	$H_{1/10} = 1.81162H_{max} + 0.0120965$
$H_{1/10} = 1.8H_{rms}$	$H_{1/10} = 1.6669H_{rms} + 0.00108071$
$H_{1/3} = 1.416H_{rms}$	$H_{1/3} = 1.36618H_{rms} + 0.000983163$
$H_{max} = 0.887H_{rms}$	$H_{max} = 0.918342H_{rms} - 0.0029075$

圖6為本試驗之各特性週期的關係圖：(A)為 $T_{1/10}$ 與 $T_{1/3}$ 的關係圖，(B)為 $T_{1/3}$ 與 T_{max} 的關係圖。表7為 $T_{1/3}$ 、 $T_{1/10}$ 與 T_{max} 及 T_{max} 間的關係式。表中顯示本試驗結果均在Goda(1974)所統計的範圍之內。

圖7及8分別為四個量測區域的各一特定點在波浪條件為主頻 $f_p = 1.1$ 及入射角度為 90° 之單方向及多方向($S_{max} = 10$)不規則波的波高機率分佈與理論曲線的比較圖。圖9與10為同樣波浪條件下的港區 α 參數分佈圖，顯示港池內的 α 值多大於2.5，說明港內外的波高分佈均呈現Weibull分佈或常態分佈的趨勢。表8為單方向及多方向不規則波的波高機率

分佈之奇-方檢定值，表中顯示三種理論的機率分佈有效水準均為99.9%，但Weibull分佈之 χ^2 值均明顯地比常態分佈或Rayleigh分佈小。

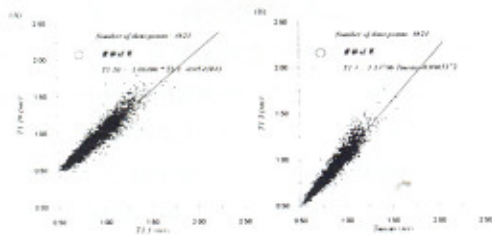


圖6 特性週期之關係分佈圖

表7 各特性週期之相關性比較

Goda統計結果	試驗結果
$T_{1/10}=(0.9\sim 1.1)T_{1/2}$	$T_{1/10}=1.08496T_{1/2}-0.0543943$
$T_{1/2}=(0.9\sim 1.4)T_{0.025}$	$T_{1/2}=1.13706T_{0.025}-0.0805172$
$T_{0.025}=(0.6\sim 1.3)T_{1/2}$	$T_{0.025}=1.1341T_{1/2}-0.070832$

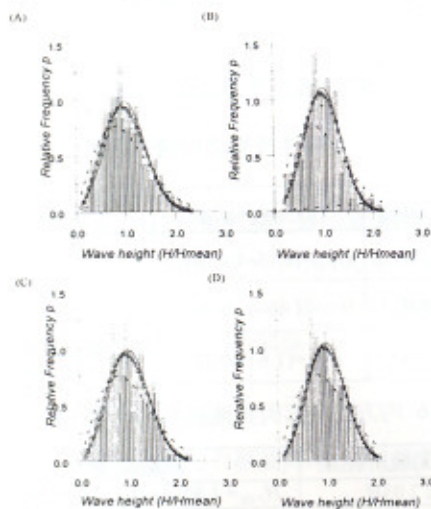


圖7 單方向不規則波波高機率分佈圖(: Histogram; —: Normal Dist; ...: Rayleigh Dist; -⊖-: Weibull Dist.)

圖11及12分別顯示單方向及多方向不規則波之 α 機率分佈圖及累積機率分佈圖，不管是單方向或多方向不規則造波，約有60%的 α 值集中在2.25至2.75之間(平均值約為2.4左右)，因此波高的分佈較接近Weibull分佈。 β 值的分佈則比 α 值更為集中，其平均值約為0.75，而標準偏差則約為0.2。

圖13為依本研究所有數據的Weibull分佈形狀參數 α 與尺度參數 β 之關係圖。我們可以看到Weibull分佈中的兩個參數 α 及 β 有相當明顯的關係，其幕

級數型式的迴歸關係式為：

$$\beta = 0.92764\alpha^{-0.24318} \quad (15)$$

利用這個式子可將Weibull分佈函數簡化為單一參數之機率分佈：

$$p(x; \alpha; \beta) = 0.92764\alpha^{0.75682} x^{\alpha-1} e^{-0.92764\alpha x^\alpha} \quad (16)$$

其中， $x \geq 0$ ， $\alpha > 0$ 。

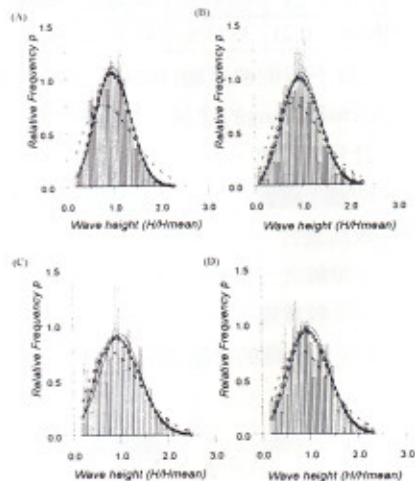


圖8 多方向不規則波波高機率分佈圖(: Histogram; —: Normal Dist; ...: Rayleigh Dist; -⊖-: Weibull Dist.)



圖9 單方向不規則波 α 參數分佈圖

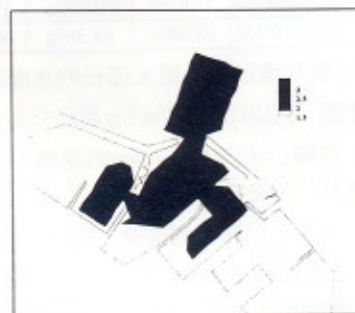


圖10 多方向不規則波 α 參數分佈圖

表8 各種波高機率分佈的奇-方檢定值

		常態分佈	Rayleigh分佈	Weibull分佈
單方向不規則波	平均值	2.86	3.20	2.23
	標準差	0.90	0.95	0.48
	有效水準	99.9%	99.9%	99.9%
多方向不規則波	平均值	2.63	3.48	2.16
	標準差	1.09	1.69	0.67
	有效水準	99.9%	99.9%	99.9%

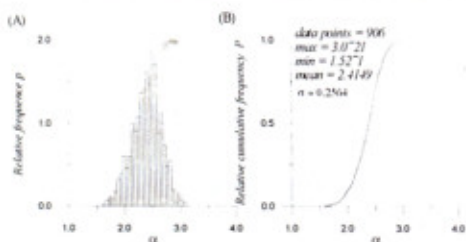


圖11 單方向不規則波Weibull分佈參數 α 。(A)相對機率分佈圖；(B)累積機率分佈圖

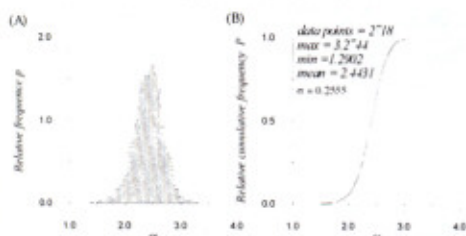


圖12 多方向不規則波Weibull分佈參數 α 。(A)相對機率分佈圖；(B)累積機率分佈圖

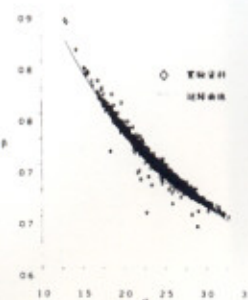


圖13 Weibull分佈 α 與 β 參數之關係圖

五、結論與建議

本研究利用八斗子漁港的平面遮蔽試驗探討漁港內外的波浪統計特性。整理以上的討論與分析可以得到以下的結論與建議：

1. 就水面波動的機率分佈來說，不管是單方向或是多方向不規則造波，Gram-Charlier系列曲線比常態分佈合適。但Ochi和Wang所建議的，以

水面波動的偏態 $m_3=0.2$ 為常態分佈的判定值與本研究的結果並不符合；本研究的建議以 m_3 介於 ± 0.15 為常態分佈。

2. 就波高機率分佈來說，整個港池的 α 值大部份都大於2.5，也就是說Weibull分佈或常態分佈來描述港區的波高，比Rayleigh分佈更為合適。而由奇-方檢定結果Weibull分佈又比常態分佈更為合適。單方向不規則波的Weibull分佈形狀參數 α 值較多方向不規則波小。而隨著散佈指數的增加， α 值有變小的趨勢。
3. 由本研究的試驗波高資料所迴歸出形狀參數 α 及尺度參數 β 的關係式可將Weibull分佈簡化為單一參數的機率分佈。
4. 就波高與週期的統計結果來說，依據本研究所得到的相關特性波高之間與相關特性週期之間的關係，其結果比由Rayleigh理論公式推導或郭(1992)所整理的結果來得小，但和Goda(1985)所列的試驗結果相當地吻合。
5. 不論是單方向或是多方向不規則造波在統計分析上都具有相似的特性。但單方向不規則造波及規則造波時，整個港區的Kd值有偏大的情形。這可能是由於此類造波方式將波能集中在一特定方向所致。
6. 由於本研究僅是針對以八斗子漁港為模型進行相關的水工模型試驗，且缺乏實測資料，因此其結果尚不足以對漁港的波動特性作任何結論。此有待日後進一步收集其他各種漁港的模型試驗、數值模擬或現場實測資料進行比對與繼續探討。

謝誌

本計畫係農委會專題研究計畫「漁港附近海岸海濱流系統研究」(計畫編號：88科技-1.4-漁-01(7))及國科會專題研究計畫「風波流及其交互作用—臺灣附近海面的波浪特性行(III)」(編號NSC88-2611-E-019-028)之研究成果，承蒙農委會及國科會經費補助本計畫始得順利進行，在此敬表謝忱。

參考文獻

1. Kimura, Akira (1981) "Joint Distribution of the Wave Heights and Periods of Random Sea Waves".

- Coastal Engineering in Japan, Vol. 24, pp.158-165
2. Ochi, Michel K. and Wei-Chi Wang (1984) "Non-Gaussian Characteristics of Coastal", Coastal Engineering Conference, Houston, pp.516-531.
 3. Goda, Yoshimi (1985) *Random Seas and Design of Marine Structures*, University of Tokyo Press, 323p.
 4. 宇宙文、文聖常 (1985) 海浪理論與計算原理，科學出版社，北京，pp. 127-177。
 5. IAHR (1986) "List of Sea Stste Parameters", pp.12-21
 6. 湯麟武 (1986) 波浪學綱要，台南水工試驗所，台南。
 7. Hochstader, D. (1989) *Ein fuehrung in die statistische Methodenlehre*, 6. Aufl., Verlag Deutsch, Frankfurt/M., 553p.(in German)
 8. Herbich, John B., Editor (1990) *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, Vol. 1, pp.409-532.
 9. 光易恆著，湯麟武譯 (1990) 波浪，台南水工試驗所印行，pp. 24-31
 10. 陳上及、馬繼瑞 (1991) "海洋數據處理分析方法及其應用"，海洋出版，北京。
 11. Chen, S.-J. and G.-R. Ma (1991) *Methods of Oceanographic Data Applications*, China Ocean Press, Beijing, 660p.(in Chinese)
 12. Haan, C.T. (1991) "Statistical methods in hydrology", Iowa State University Press, 5th Printing, pp.378.
 13. 郭金棟 (1992) 海岸工程，中國土木工程學會，台北，pp.77-84
 14. Huang, Norden, C. C. Tung, and Steven R. Long (1990) "The Probability Structure of the Ocean Surface" in *Ocean Engineering Science*, edited by Benard Le Méhauté and Daniel M. Hanes, Vol. 9, Part A, pp.335-366.
 15. Sundar, V., H. Noethel and K.-P. Holz (1994) "Asymmetries in Waves and Velocities in a Groin Field", *J. Coastal Res.*, Vol. 9, pp. 861-946.
 16. Sundar V., H. Noethel and K.-P. Holz (1994) "Wave Kinematics in Groin Field - Time Domain Analysis", *Ocean Engineering*, Vol. 21, pp.467-487.
 17. 賴明遠 (1994) 近岸波高機率分佈的探討，碩士論文，海洋大學河海工程研究所，基隆，66頁。
 18. Huang, Norden, C.C. Tung, and Steven R. Long (1990) "Wave Spectra" in *Ocean Engineering Science*, edited by Benard Le Méhauté and Daniel M. Hanes, Vol. 9, Part A, pp.197-238.
 19. 林炤圭 (1995) *Statistical Properties of Wave Conditions in Harbors*，博士學位論文，美國北卡羅萊那州立大學，220頁。
 20. 尹彰 (1996) "有關波浪模擬問題的探討"，港灣技術，第十一卷，第一期，pp. 137-176。
 21. 黃偉柏 (1998) 平面造波水槽之特性探討，碩士論文，海洋大學河海工程研究所，基隆，105頁。