

利用音能觀測碎波之研究

施士力* 翁國郎** 周宗仁***

本研究發展一種新的碎波觀察與分析方法。由於碎波產生之浪濤聲為水面波浪散失能量主要部分之一，其浪濤聲大小反應碎波特性，且與入射波週期、波高及底床斜度等因素有關。本文即在試驗水槽中測取碎波音壓資料，經過頻譜分析，探討試驗水槽內碎波時之主控音頻（Dominated frequency）之分佈，並積分計算音壓能流量（Energy flux），分子探討碎波特性與相關參數間之關係，可以獲知，水槽內碎波浪濤聲之主控音頻大致分佈於 1,000Hz — 2,000Hz 之間；而其音壓能量流隨入射波波高或週期之增加而增大。

一、前言

海面波浪碎波時，水粒子溢出水表面形成白色浪花且產生浪濤聲，造碎波過程中水面形成不連續，且損失巨大之波浪能量，使碎波研究工作愈形困難。以往探討碎波之研究多以理論分析⁽¹⁾、數值計算⁽²⁾及試驗攝影⁽³⁾等方法進行，且各俱成果。惟對碎波能量損失及保持方面，由於其為非穩定及俱複雜性，故相關研究工作尚不多見。然而碎波時產生浪濤聲放出音能是碎波過程中波浪散失能量之主要部分之一，因此，碎波時產生之浪濤聲必與碎波特性（波高、週期或頻率）、底床坡度存在一定性或定量關係。而過去相似之研究⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾有國內及國外學者利用連續音波在海洋中進行觀測海洋波浪受到水面波、水內波及潮汐作用時產生之音波調變。基於此，本研究即利用試驗室水槽造波且使其碎波，於碎波過程中測定其音壓變化，再加以分析，則可獲知碎波時釋放之相對音能之大小及其主控音頻，探討其與波浪特性、底床坡度及碎波形態間之關係，提供從另一角度觀測碎波之技巧與研究之基礎。

二、研究方法

2-1 碎波時產生之浪濤聲

深海波前進不產生碎波時，僅有海水面起伏之變化，並未發出浪濤聲；而當波浪進入斜床海底使波浪淺化變形終至破碎，此時之衝湧（surf）及激湧（Bore）等產生之濺溢水聲，將使波浪藉由

* 國立臺灣海洋大學河海工程研究所副教授

** 國立臺灣海洋大學河海工程研究所研究生

*** 國立臺灣海洋大學河海工程研究所教授

聲音能量的釋出消散其可觀之波能，而此種聲音能量之大小即包含了波浪特性及斜床程度等變因；而且也反應了不同之碎波型態。將這些特性作為研究碎波之基礎，其研究方法及步驟為

- (1) 在水槽內就特定之波浪頻率及波高造波。
- (2) 於碎波點測定碎波波高及觀察碎波型態。
- (3) 於碎波點測定碎波時之音壓。
- (4) 分析所測取之資料；經由頻譜分析獲得碎波浪濤聲之主控音頻；由頻譜積分，獲得碎波浪濤聲釋放之相對能量值。
- (5) 將分析結果就波浪特性、碎波型態及斜床坡度等因素深入探討碎波浪濤聲所表現出之碎波特性。

2-2 水工試驗

(a) 試驗設備

本研究係在海洋大學河海工程研究所海工館之斷面水槽進行水工試驗，其配置如圖 1 所示，主要設備為：

- (1) 斷面水槽：長 50 公尺，寬 180 公分，深 180 公分。
- (2) 造波機及資料供取系統：由軟體輸入造波資料以驅動造波機造波，並自動測取波浪資料解析。
- (3) 音壓資料測取系統：使用日本沖電氣會社製造之高感度音壓計 SW1020 及受波器 ST1020，測取音壓資料。

(b) 試驗條件及音壓資料分析方法

本研究分別以斜床坡度 1:12.5、1:15，水深 35 公分，37 公分，40 公分及輸入造波頻率 0.7、0.8、0.9 等條件分別進行試驗。測取之音壓資料係以 SI 制，取 $1\mu\text{ Pa} = 1\mu\text{ Newton/m}^2$ 產生之音壓能量密度為測定基準；以高感度音壓受波器輔以全頻寬音壓計，每次記錄 5 秒鐘之浪濤聲，在記錄時段內約可獲得 3 次碎波浪濤聲之資料，其記錄區間隔 $1/6,000$ 秒，幾乎可視為連續音壓記錄。整理擇取碎波浪濤聲之部分的資料，每次約可獲得 10,000 個有效資料，據以進行頻譜分析。但是測得之浪濤聲之 dB 值，將無可避免地包含了周遭環境及造波機固定音頻之干擾。因此，在試驗進行中，以隔音材料作覆被、儘量減少外界噪音干擾、達到最佳靜音之試驗環境；且分別測取未造波時外界狀況及碎波時之音壓資料，其結果分別以圖 2 及圖 3 所示，就二者之分析結果，判斷碎波浪濤聲之主控頻率；並由二者頻譜積分之差值獲得碎波時釋放浪濤聲之相對音壓能量流值，這些結果即為由浪濤聲所表現之碎波特性。

三、試驗結果及分析

3-1 音壓頻譜及主控音頻

測得之資料係以分貝 (dB) 值示意之聲音能量密度相對程度之大小。在碎波過程中所測得之紛亂浪濤聲，即表示各瞬間聲音能量密度之變化；若將獲得之音壓資料進行頻譜分析，則可得到如圖

4及圖5之相對能譜。圖4係在未造波時包含周遭環境干擾而先行測取音壓資料所得之能譜，而圖5係濾掉周遭環境干擾後之碎波音壓之能譜；二者能譜在頻率區間有類似分佈，但能量密度值之大小不同，此即為碎波音壓所現之效應。由能譜分析出能量密度極值主要表現於二峰點，將各能譜相對於能量為極大值之音頻 F_{peak} 整理於表1—表6，更有助於主控音頻之探討。

結合能譜圖與 F_{peak} 整理表之結果可以得知，在未造波測取音壓資料時，其音壓能量密度主要來自於造波機之馬達音能，其主控頻率應在第一峰處；而測取碎波音壓資料時，雖然僅慎地作隔音處理，仍難以克服造波機聲音之干擾；由於造波機音頻應屬固定，故碎波能譜圖上所表現之第一峰點位置與未造波能譜圖一致，更進而確定判斷其為造波機產生音壓能量密度之主控頻率位置。

碎波之浪濤聲視波浪特性及碎波型態而表現不同之音壓能量密度分佈。由 F_{peak} 整理表及能譜圖得知，當碎波能量密度大於造波機干擾之能量密度時，方能表現出碎波浪濤聲之主控音頻，否則主控音頻仍與造波機干擾者一致。由能譜解析顯示，音壓能量密度分佈集中於第二峰點附近之頻寬範圍內；而 F_{peak} 整理表中，碎波聲音之主控音頻亦大多為第二峰點之頻率，因此，據以判斷能譜分析中，第二峰點所對應之頻率為碎波浪濤聲之主控音頻，而由表顯示，碎波主控音頻分佈在 $1,000\text{Hz} - 2,000\text{Hz}$ 間。

3-2 音壓能量流

由上述主控頻率分析，可以看出碎波音壓能量密度分佈雖集中於 $1,000\text{Hz} - 2,000\text{Hz}$ 之間，但仍有其不定性。Robert⁽¹⁰⁾ (1983) 建議，由於聲音能量傳遞時之衰減及失真，受到測定點位置及當時環境干擾之影響頗大，因此以聲音能量流探討音波特性較具意義。依據該項建議，本文將能譜分析結果之音壓能量密度對頻率範圍積分，以獲得音壓能量流之值，來探討音壓能量流與入射波特性（波高、頻率）、斜床坡度及碎波型態間之關係，獲致下述之結果

(1)圖6—圖9顯示相同入射波頻率時，相同斜床坡度情況下，碎波之音壓能量流、水深與入射波高間之相對關係。雖然無定量規則可循，但其趨勢顯示由碎波損失之音能大致隨水深增大而減小，意謂相同波浪條件及斜床坡度時，淺水碎波較深水碎波聲勢大；而圖示另一趨勢為碎波音能隨入射波波高漸增而大，亦可說明相同波週期及斜床條件時，大入射波高將產生強碎波型態、散失較大音能。

(2)圖10—圖13，由另一角度探討相同水深及斜床坡度情況下，碎波之音能、入射波頻率及入射波波高間之相對關係。同樣觀察獲知之特性及趨勢為，入射波頻率愈小時，斜床上將產生較強碎波、散失較大音能。

四、結論與建議

利用測取音壓資料，分析其主控音頻或音壓能量流來探討碎波特性之方法，尚在起步發展階段，對音壓資料測取技術、資料整理及分析，未臻成熟，本文僅係初步之研究成果，今後有賴更進一

步之發展及探討，因此有如下之建議與結論：

1. 由碎波浪濤聲探討碎波特性，是可行且有待深入探討之課題。若在試驗室水槽進行測取音壓資料之試驗時，首先須克服造波機及外界之噪音干擾，以避免碎波音壓能量密度太小而使音壓相對能譜分析顯出不穩定。
2. 本文研究之結果，其定性趨勢為碎波音壓能量流大致隨入射波波高或週期增大而增大；且顯示碎波浪濤聲之主控音頻分佈在 1,000Hz 至 2,000Hz 之間。

本文之建議為進行類似研究試驗者提供預警，注意隔音之處理，以求試驗之完美。而本文之結論為試驗水槽內碎波浪濤聲之特性提出說明，相關趨勢及主控音頻之討論，將作為下一步研究工作之基礎、或發展研究方法之依循。

參考文獻

1. Longuet-Higgins, M.S., and Cokelet, E.D., (1976): "The deformation of steep surface wave on water, I. A numerical method of computation", Proc. Roy. Soc. London, A350, pp.1-26.
2. 周宗仁、左羅航，(1985)："斜坡面上碎波波形之數值計算研究"，第八屆海洋工程研討會論文集，pp251-259。
3. 黃煌輝、林呈、許明雄，(1987)："以可視化法探討波浪碎波之流場"，第九屆海洋工程研討會，pp.34-50。
4. Essen, H.H., F. Schirmer, and J. Siebert, (1979): "Measurements of ocean surface-waves with an acoustic range." Deutsche Hydrographische Zeitschrift, 31, 6-15.
5. Essen, H.H., (1979): "Theoretical investigations on acoustic remote sensing of ocean surface waves." J. Geophys., 45, 183-198.
6. Essen, H.H., F. Schirmer, and b. Schmalfeldt, (1981): "Influence of tides on acoustic continuous-waves (C-W) propagation in shallow water." Acoustica, 48, 286-292.
7. Essen, H.H., F. Schirmer, and S. Sirkes, (1983): "Acoustic remote sensing of internal waves in shallow water, Int. J. Rem. Sens., 33-47.
8. Schirmer, F., and H.H. Essen, (1983): "The spectrum of internal motions in the North Sea, inferred from modulation of an acoustic underwater signal." in North Sea Dynamics, ed. by Sundermann and Lenz, Springer Verlag Berlin, pp.166-172.
9. 李賢文，(1987)："浪濤聲測定海洋波浪之研究"，海洋科學學術研討會論文集，國科會研討會專刊第十集，pp.11-24。
10. Robert J. Urick, (1983): "Principles of underwater sound.", 3rd ed. McGraw-Hill Book Company. pp.14.

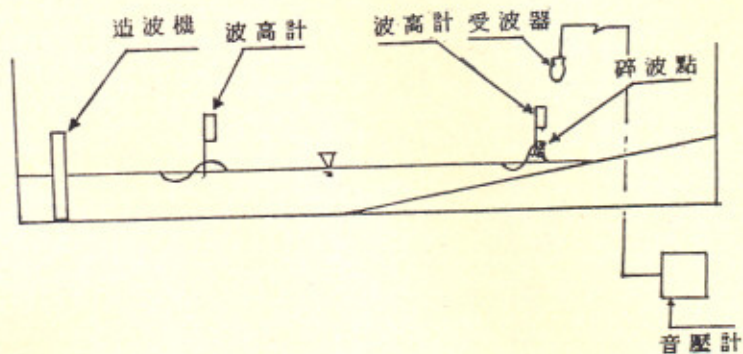


圖 1 實驗佈置示意圖

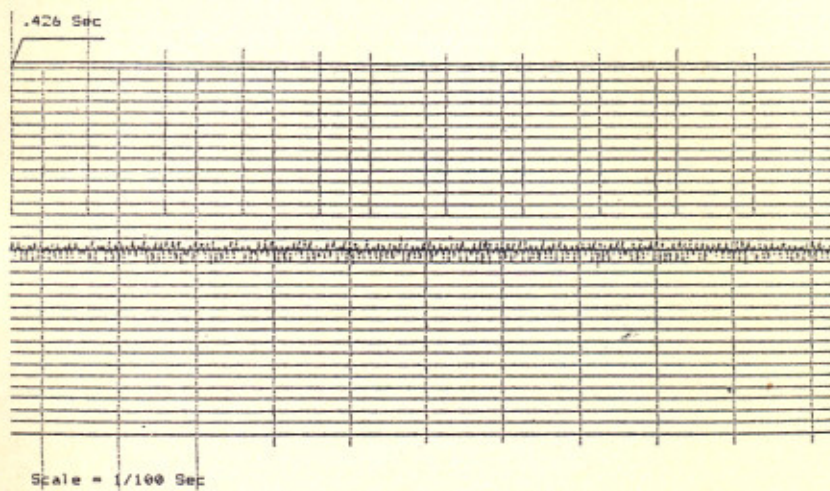


圖 2 未造波環境實測音壓記錄圖

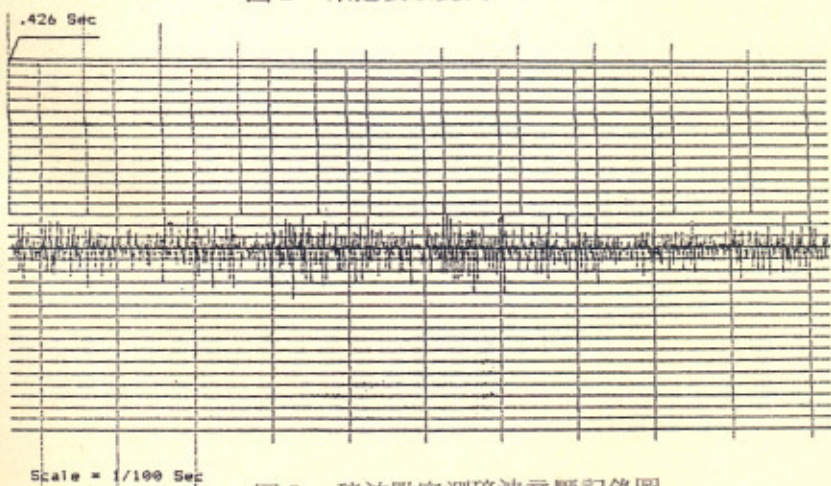


圖 3 碎波點實測碎波音壓記錄圖

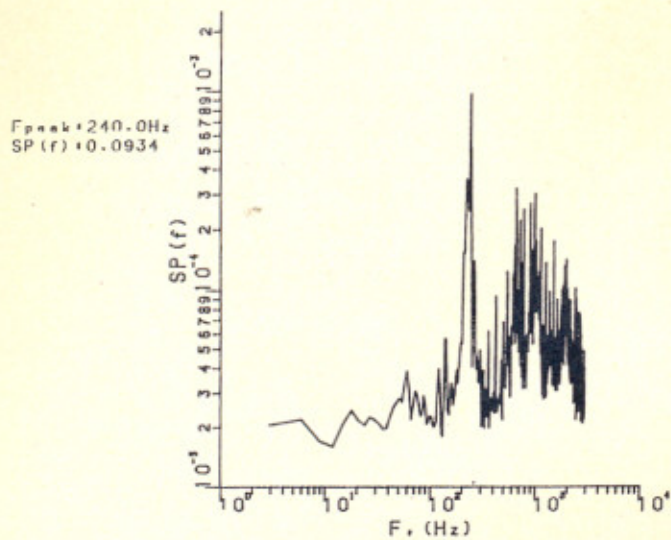


圖 4 未造波環境實測音壓能譜圖

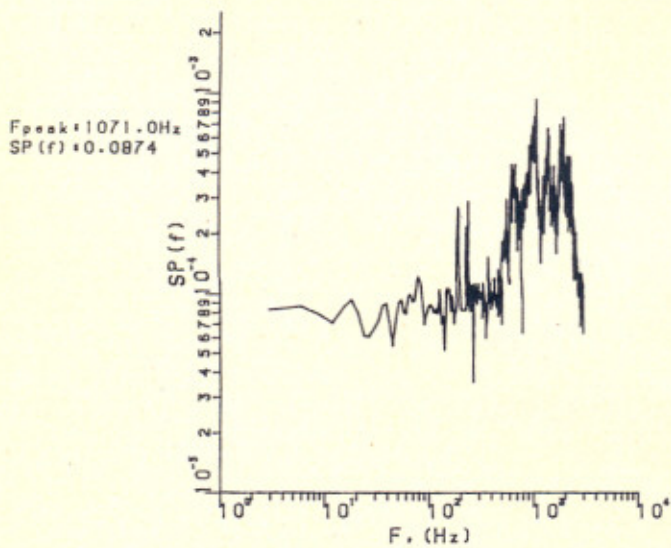


圖 5 碎波實測音壓能譜圖

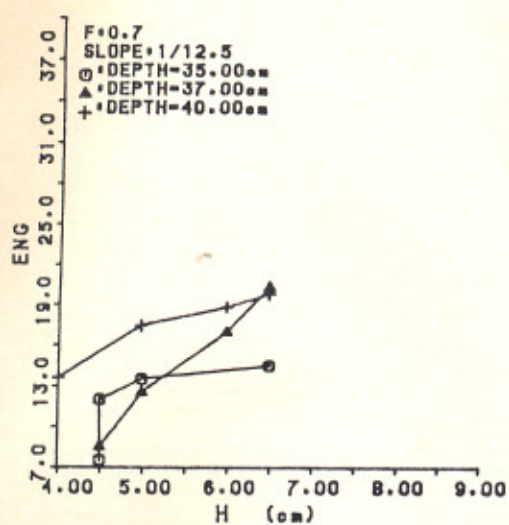


圖 6

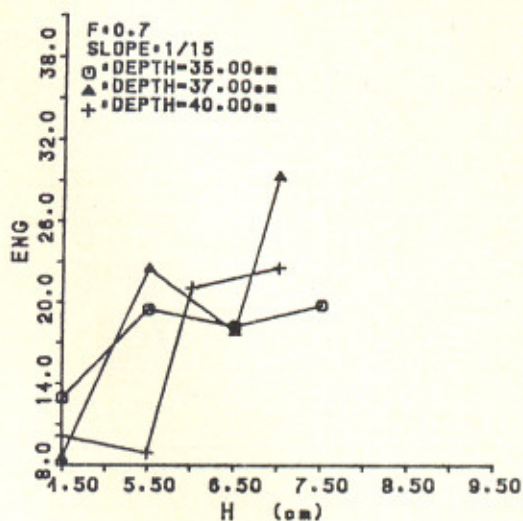


圖 7

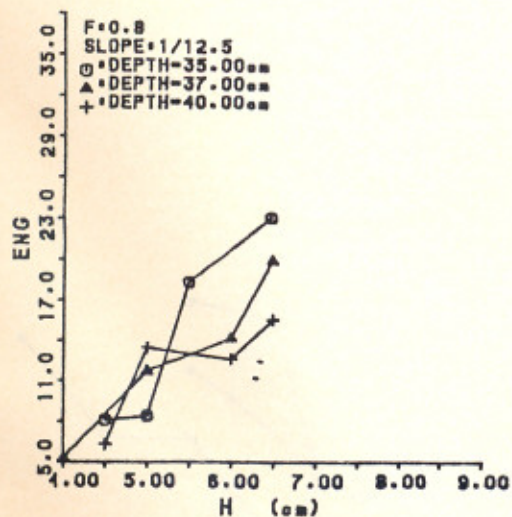


圖 8

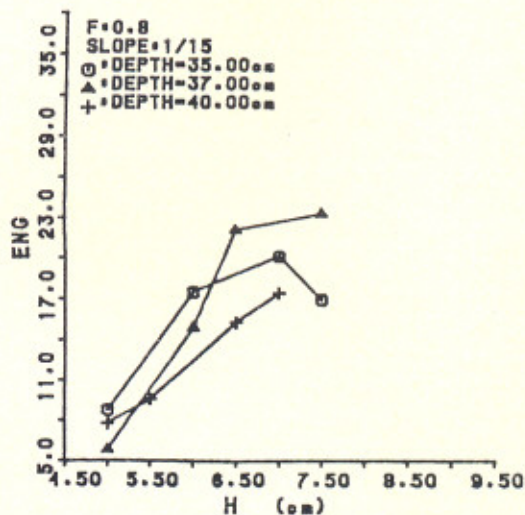


圖 9

圖 6 — 圖 9 碎波音壓能量流圖

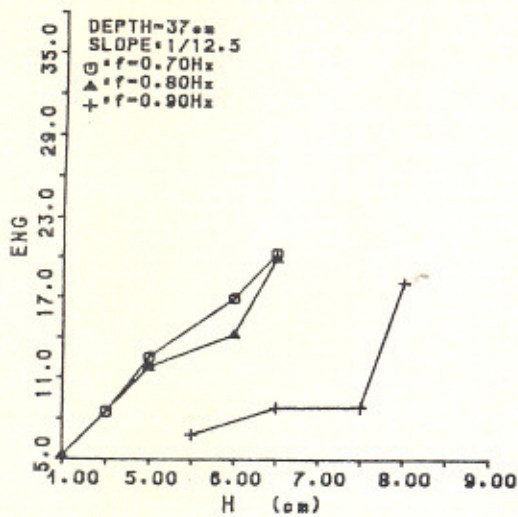


圖 10

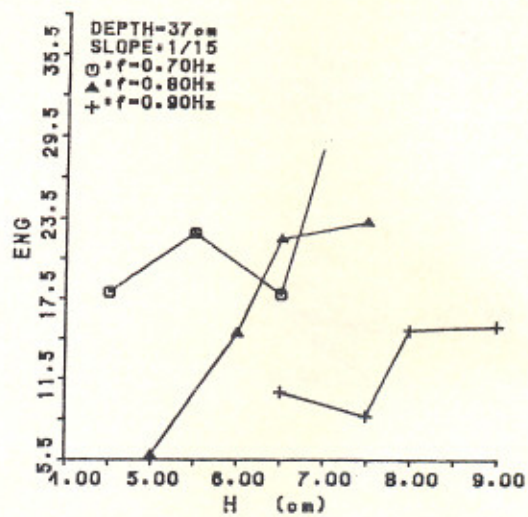


圖 11

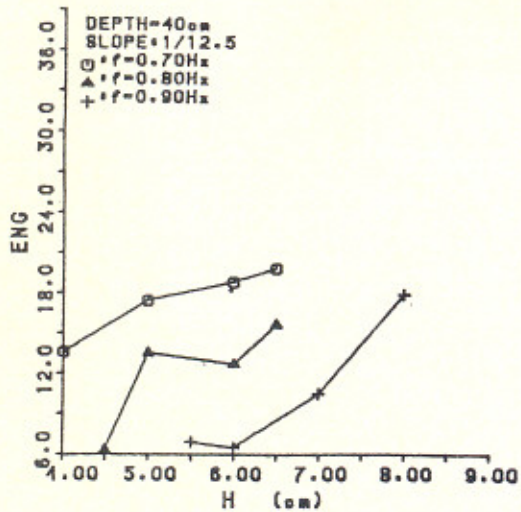


圖 12

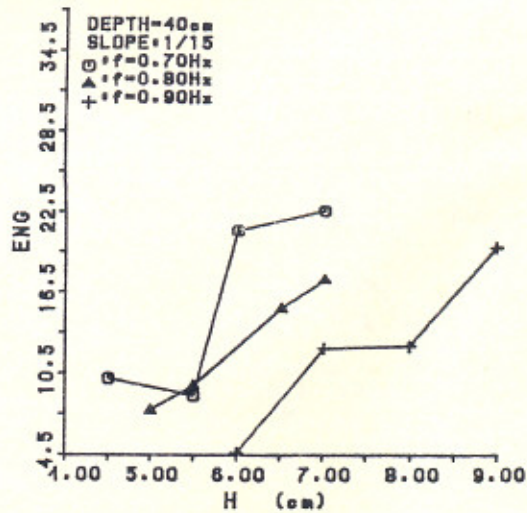


圖 13

圖 10 — 圖 13 碎波音壓能量流圖

Depth = 35 cm Slope = 1 : 12.5			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	0.5	717	1797
	5.0	717	1071
	4.5	717	1071
	4.0	240	996
0.8	0.5	240	1803
	5.5	240	1818
	5.0	240	951
	4.5	240	1071
0.9	7.5	240	993
	8.5	240	1080
	6.0	240	672
	5.0	240	237

表 1

Depth = 35 cm Slope = 1 : 15			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	7.5	1350	1047
	6.5	1347	1071
	5.5	1347	1350
	4.5	1347	1350
0.8	7.5	1347	1818
	7.0	1347	1353
	6.0	1350	1044
	5.0	1347	1341
0.9	9.0	1347	1905
	8.5	1347	1908
	7.0	1347	1344
	6.5	240	1050

表 4

Depth = 37 cm Slope = 1 : 12.5			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	0.5	240	1824
	6.0	240	1047
	5.0	240	1824
	4.5	240	1029
0.8	0.5	1350	1821
	6.0	1350	1824
	5.0	1350	1824
	4.0	1350	1824
0.9	8.0	1350	240
	7.5	1350	1353
	6.5	1350	237
	5.5	1350	1347

表 2

Depth = 37 cm Slope = 1 : 15			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	7.0	240	1071
	6.5	240	1071
	5.5	240	1053
	4.5	240	1071
0.8	7.5	240	1902
	6.5	240	1983
	6.0	240	1074
	5.0	240	1953
0.9	9.0	240	1851
	8.0	240	1920
	7.5	1347	1344
	6.5	1347	1341

表 5

Depth = 40 cm Slope = 1 : 12.5			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	0.5	717	1065
	5.0	717	860
	4.5	717	1008
	4.0	996	1284
0.8	0.5	1350	1353
	5.5	1350	1721
	5.0	1350	1344
	4.5	1350	1824
0.9	7.5	240	1050
	6.5	240	1044
	6.0	240	1824
	5.0	240	1824

表 3

Depth = 40 Slope = 1 : 15			
		F _{peak} (Hz)	
F _{Hz}	H _{cm}	未造波	純碎波
0.7	7.0	860	1080
	6.0	900	860
	5.5	900	897
	4.5	420	540
0.8	7.0	860	866
	6.5	860	857
	5.5	860	857
	5.0	860	420
0.9	9.0	860	903
	8.0	860	1578
	7.0	1347	1002
	6.0	1347	1341

表 6

表 1—表 6 音壓能量密度最大值對應之音頻 F_{peak} 整理表

A Study of Breaking Wave by its Sound Energy Dissipation

Shi Su-Liek* Weng Kuo-Lang** Chou Chung-Reng***

ABSTRACT

This paper develops a new technique on studying the breaking water waves. As wave breaking, there are large wave energy lost and the sound energy dissipation is one of the main part. That sound level induced by wave breaking is something to do with the characteristics of incident wave (wave period and wave height) and sea bed slope is interested by the authors. So experiments of wave breaking with different incident waves on the sloping bed was performed and to take up the sound level data at the breaking point. All the obtained data are analyzed through spectrum analysis to discuss the distribution of dominate frequency of sound level and calculate the sound energy flux as wave breaking. The results give the knowledge that the dominate frequency of sound at wave breaking distribute between 1000Hz--2000Hz, and depict that the sound energy flux is growing with the wave period or wave height of incident wave.

* Associate Professor, Institute of Harbour and River Eng. National Taiwan Ocean University.

** Graduate student, Institute of Harbour and River Eng. National Taiwan Ocean University.

*** Professor, Institute of Harbour and River Eng. National Taiwan Ocean University.