

大潟海岸における波浪の変形について (3)

柿 沼 忠 男*・伊 福 誠**

1. 緒 言

かつて第一の著者が勤務していた京都大学防災研究所では、昭和41年11月に、新潟県大潟町にある帝国石油(株)所有の長大棧橋(海上の長さ: 250m, 先端における水深: 6~7m)に6台のリレー型階段抵抗式波高計を設置し、また、昭和43年9月には大潟海岸の沖合2.3km, 水深25mの地点にある帝国石油(株)所有の海中塔に階段抵抗式波高計を設置して、波浪を記録していた。

参考文献1)では、そうした棧橋先端の観測地点W-2での実測値とエネルギー輸送量の概念に基づいて提案した予知法^{1),2)}による推算値との比較から、従来わが国沿岸で簡易ブイによって観測して得た海底摩擦係数と波のReynolds数との関係³⁾がかなり妥当なものであることを得た。前々報⁴⁾では、沖合の海中塔と棧橋先端の地点W-2間の波高減衰と棧橋に沿うW-1~6の6観測地点での波高減衰を調べた結果、沖合では上述の関係³⁾が比較的良好に満足されるのに対して、岸に非常に近い領域ではかなり大きな海底摩擦係数の値が算定されること、こうした領域における波高減衰は有義波や平均波の波高あるいは波形勾配が大きくなるにつれてその割合が増大すること、観測地点W-4とW-5においては、むしろ有義波高がある程度以上大きいと逆に波高が増大すること、などを見出し、また、岸に非常に近い領域での有義波法による摩擦係数の値が比較的大きいのは、沖合と岸とでは、非線型干渉の強さや様子が異なるためではないかという示唆が得られた。前報⁵⁾では、さらに資料を加えて棧橋に沿う観測地点W-2とW-5の2地点間の波高減衰を調べた結果、前々報と同様な傾向があること、有義波高の減衰には波形の上下非対称性が大きく関係すること、などを見出した。

この論文は、前報で解析した観測地点W-2及びW-5の2地点に加えて観測地点W-3, W-4及びW-6の3地点での波浪記録をも解析して、前々報及び前報に引続いて、海岸波浪の変形についての基礎的資料を得ようとしたものである。

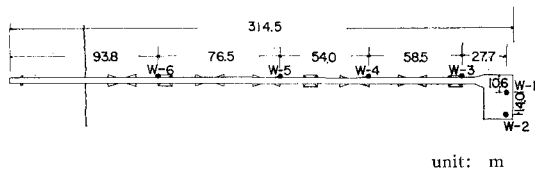


図-1(a) 棧橋における波高計配置図

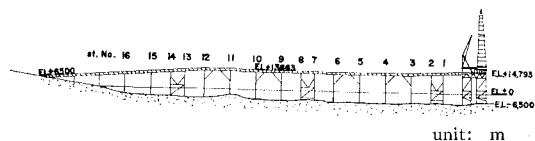


図-1(b) 棧橋立面図

図-1(a), (b)は、棧橋における波高計の配置図(W-1~6)及び棧橋立面図である。この立面図でわかるように、この棧橋に沿う海浜断面は比較的単調であって、ほぼ一定の水深を示していた。

2. 波浪資料の解析

昭和41年12月26日14時~28日10時及び昭和42年2月23日8時~25日0時の2時間ごとのW-3, W-4及びW-6での波浪資料を解析し、各種平均波の波高、周期及び有義波の波形勾配、分散, skewness, kurtosis, パワースペクトル及びバイスペクトルを求め、これらの諸量と前報で得たW-2とW-5での諸量を用いて、W-2~5 (140.2m), W-2~6 (216.7m), W-3~5 (112.5m), W-3~6 (180.9m) 及びW-5~6 (76.5m) 間での波浪変形について検討してみた。なお、ここで得た分散, skewness, kurtosis 及び両スペクトルは、10分間の波浪記録を1sec間隔でデジタル・トレサ OT-50 によって読みとり、京都大学の大型計算機によって求めたものである。

以上の解析において、有義波法は、10分間の波浪記録から10cm以上の波高(記録中、水位が+1mを越えたあとは30cm以上)と2sec以上の周期を読みとった。

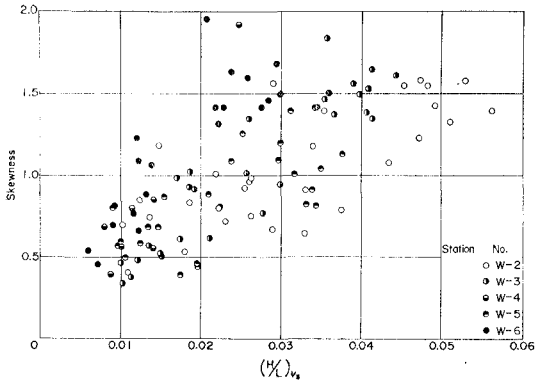
3. 波浪変形の解析結果

(1) skewness 及び kurtosis と波形勾配の関係

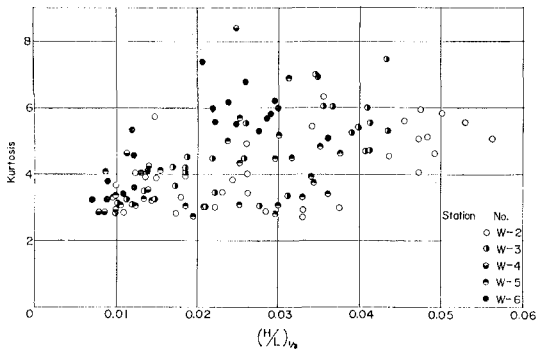
図-2 及び 図-3 は、それぞれ、W-2~6 の5観測地

* 正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部海洋工学教室

** 正会員 工修 愛媛大学助手 工学部海洋工学教室



図—2 skewness と波形勾配の関係



図—3 kurtosis と波形勾配の関係

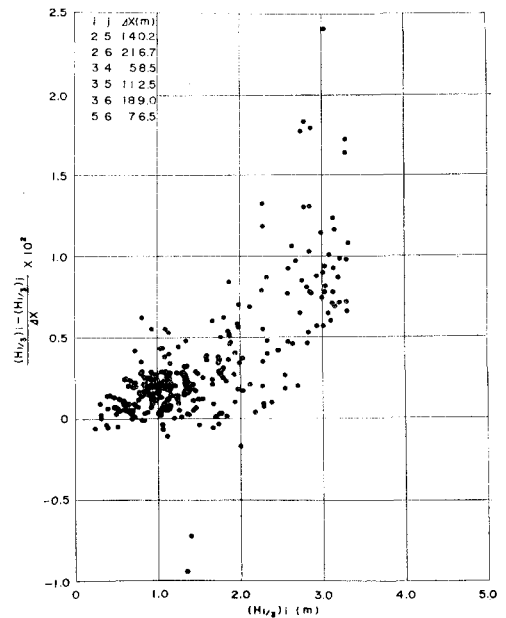
点における資料について、skewness 及び kurtosis と有義波の波形勾配との関係を、観測地点を区別して示したものである。図中、○と●は前報の結果を示す。Longuet-Higgins (1963)⁶⁾ は、波形勾配と skewness 及び kurtosis の間には、波形勾配が大きくなるにつれて skewness も kurtosis もともに大きくなるという関係があることを理論的に得ており、また、合田・永井⁷⁾ は、名古屋、苫小牧、留萌、山背泊港の観測記録から、skewness と深海波の波形勾配の相関はほとんどみられず、ただ、skewness の大きいものは kurtosis も大きい傾向がややみられるという結果を得ている。

図—2 をみると、skewness と波形勾配の関係は、点がかなりばらついているが、Longuet-Higgins が理論的に得た結果と似た傾向を示し、また、図—3 にもそうした傾向がみえる。これらの図をみると、W-3, 4, 5 の区別は不明確であり、W-2 の方が比較的低めで、W-6 の方がわずかに高めであるがはっきりと区別するのは無理のように思える。skewness と $(H/L)_{1/3}$ の相関係数は、W-2, W-3, W-4, W-5 及び W-6 の各観測地点で、それぞれ、0.80, 0.92, 0.92, 0.70 及び 0.76 で、kurtosis と $(H/L)_{1/3}$ のそれは、それぞれ、0.52, 0.77, 0.94, 0.44 及び 0.62 である。また、観測地点を区別せずにすべての資料について求めると、それぞれ、0.68 及び 0.47 で

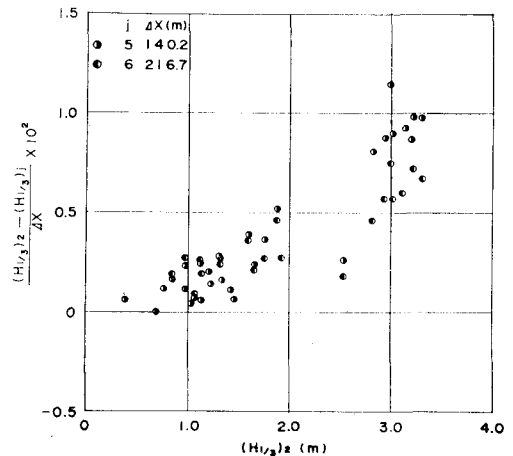
ある。観測地点 W-4 を除けば、skewness と $(H/L)_{1/3}$ の相関係数の方が kurtosis のそれより高い値を示すことがわかる。

(2) W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間の波浪変形

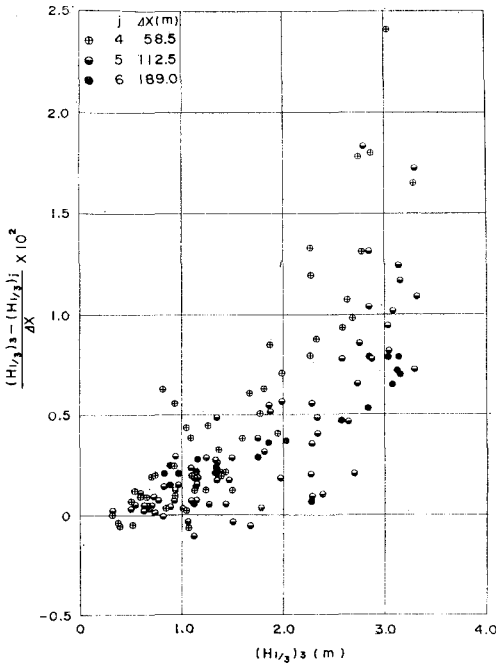
図—4 (a) は、前々報 (昭和42年1月1日~31日の0時と12時における波浪資料) 及び前報で得た結果とともに、有義波の波高に対する単位距離当りの波高減衰を、観測地点を区別せずに示したものである。なお、解析した波浪資料の沖側の観測地点での有義波高は 0.30~3.31 m の範囲であるが、この図に示された波高減衰は従来わが国沿岸で観測して得た海底摩擦係数の値より大きな値を算定させることになる⁵⁾。図—4 (a) をみる



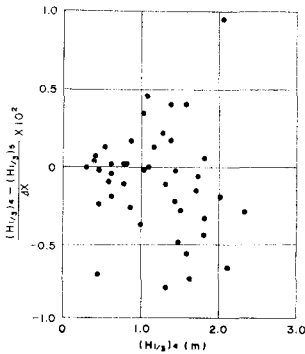
図—4 (a) 波高減衰と有義波高の関係



図—4 (b) 波高減衰と有義波高の関係 (W-2~j)



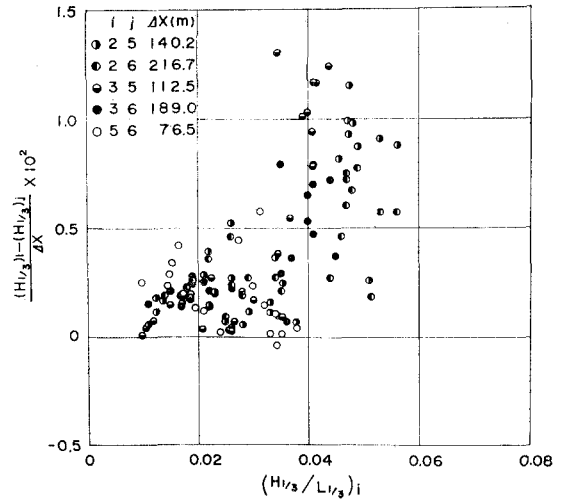
図—4 (c) 波高減衰と有義波高の関係 (W-3~j)



図—4 (d) 波高減衰と有義波高の関係 (W-4~5)⁵⁾

と、有義波高が大きくなるにつれて波高減衰も増大していることがわかり、その相関係数は0.56である。なお、図—4 (b), (c), (d) は、それぞれ、観測地点を区別して示したものであるが、(b) の W-2~5 及び W-2~6 間での相関係数は0.93 及び 0.87 であり、(c) の W-3~4, 3~5 及び 3~6 間での相関係数は0.88, 0.70 及び 0.66 で、詳細にみると W-3~4 間での波高減衰の割合が大きめである。なお、(d) は、54.0m と比較的短い距離での W-4~5 間の波高減衰を示したものであるが、顕著な傾向も見られず、むしろ有義波高がある程度以上大きいと逆に波高が増大するようにも見える⁵⁾。有義波高と波高減衰の相関係数は -0.10 である。

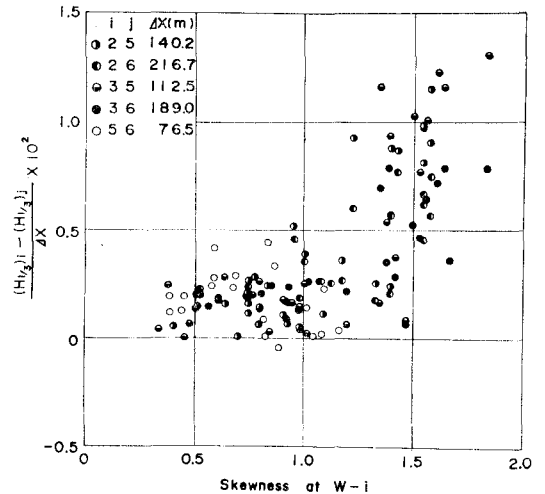
図—5 は、有義波の波形勾配に対する W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間での単位距離当



図—5 波高減衰と波形勾配の関係

りの波高減衰を示したものである。この図をみると、波形勾配が大きくなるにつれて波高減衰も増大していることがわかる。W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間での相関係数は、それぞれ、0.77, 0.70, 0.79, 0.74 及び -0.15 であり、観測地点を区別せずにすべての資料について求めると、相関係数は 0.64 という値を示す。

図—6 及び 図—7 は、W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間での単位距離当りの波高減衰を、それぞれ、沖側の観測地点での skewness 及び kurtosis に対して示したものである。図—6 中、●は前報の結果を示す。この図をみると、skewness が大きくなると波高減衰も増大していることがわかる。W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間での相関係数は、それぞれ、0.81, 0.73, 0.74, 0.70 及び 0.03 であり、



図—6 波高減衰と skewness の関係

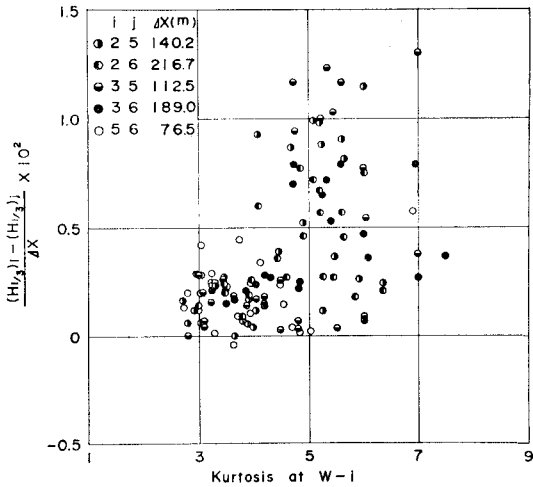


図-7 波高減衰と kurtosis の関係

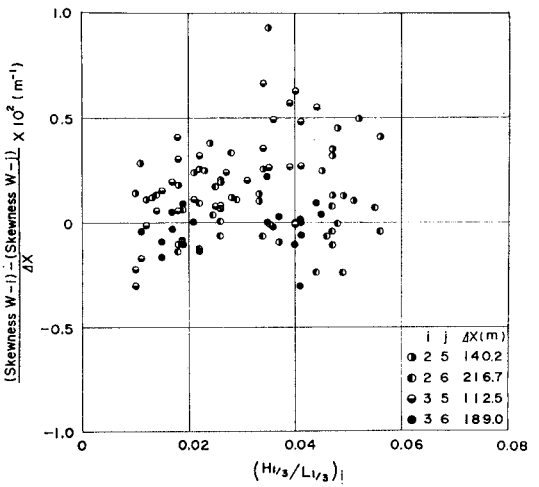


図-9 skewness の減衰と波形勾配の関係

観測地点を区別せずにすべての資料について求めると、相関係数は 0.70 である。前報で述べた理由から、有義波高の減衰には波形の上下非対称性が大きく関係することがわかる。

図-7 をみると、kurtosis が大きくなると波高減衰も増大しているようである。W-2~5, W-2~6, W-3~5, W-3~6 及び W-5~6 間での相関係数は、それぞれ、0.54, 0.43, 0.40 及び 0.19 であり、観測地点を区別せずにすべての資料について求めると、相関係数は 0.35 である。

なお、解析した資料は、0.2~4.0 m/sec の陸風下の 8 例を除けば、大抵の場合、6.2~14.5 m/sec の海風下のものである。

図-8 及び 図-9 は、単位距離当りの skewness の減衰を沖側の有義波高及び波形勾配に対して示したもので

ある。これらの図をみると、skewness の減衰は有義波高や波形勾配に関係なさそうである。有義波高と skewness の減衰の相関係数は、W-2~5, W-2~6, W-3~5 及び W-3~6 間で、それぞれ、0.40, -0.18, 0.66 及び 0.06 であり、観測地点を区別せずにすべての資料について求めると、相関係数は 0.21 である。また、有義波の波形勾配と skewness の減衰の相関係数は、W-2~5, W-2~6, W-3~5 及び W-3~6 間で、それぞれ、0.41, -0.17, 0.65 及び 0.08 で、すべての資料については 0.25 である。

図-10 は、W-2~5 及び W-3~5 間での単位距離当りの有義波の波高減衰と skewness の減衰の関係を示したものである。この図をみると、skewness の減衰が大きくなると波高減衰も増大する傾向がみえる。W-2~5 及び W-3~5 間での相関係数は、それぞれ、0.40 及び

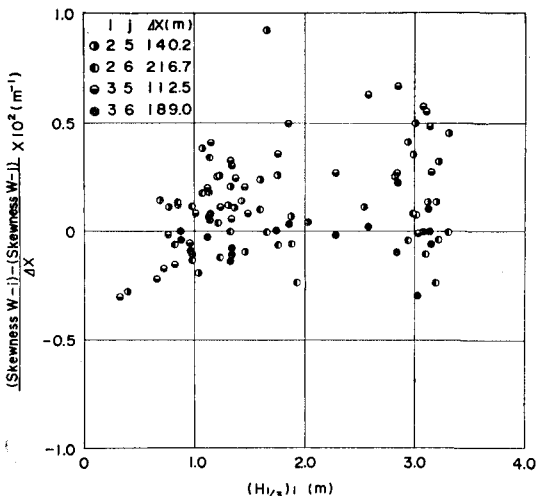


図-8 skewness の減衰と有義波高の関係

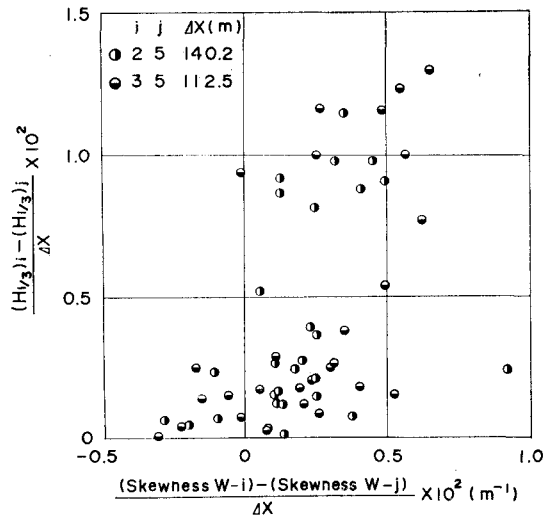


図-10 波高減衰と skewness の減衰の関係

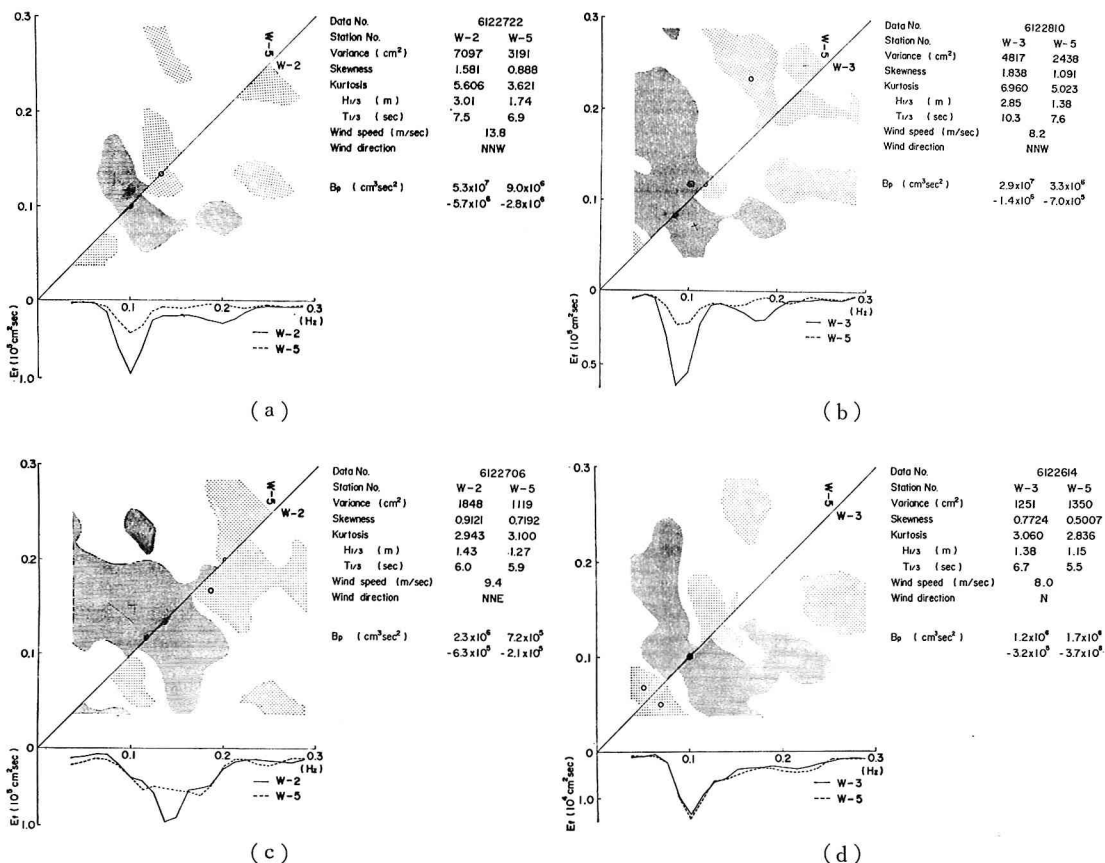


図-11 パイスpekトルの変形例

0.60 で、すべての資料については 0.52 である。

skewness が周波数ごとにどのように分布しているかを調べるためにパイスpekトルを求め、そうしたパイスpekトルの沖側の観測地点 W-2 から岸側の観測地点 W-6 にいたるまでの変形を 60 例について検討した。図-11 (a)~(d) は、代表的な 4 例を示す。なお、これらは、有義波高が減衰している資料に対応したものであるが、図中には、沖側及び岸側の観測地点のパワースpekトルも、それぞれ、実線及び破線によって示してある。密な影をつけた部分は、パイスpekトル密度が正で、かつパイスpekトルピークの 20% より大きい領域を示し、粗い影をつけた部分は、パイスpekトル密度が負で、その絶対値が負のパイスpekトルピークの 20% より大きい領域を示している。● 及び ○ は、それぞれ、正及び負のパイスpekトルピークの位置を示している。一般的傾向として、沖側の地点では、パワースpekトルの第 1 ピーク成分波の自己相互の干渉の位置に正のパイスpekトルピークが生じている。図-11 (a), (b) は、図-10 中、W-2~5 及び W-3~5 間では有義波高の減衰及び skewness の減衰が比較的大きい資料についてであり、図-11 (c), (d) は、W-2~5 及び W-3~5 間では有義波

高の減衰及び skewness の減衰が比較的小さい資料についてのものである。(a) は、W-2 での有義波高 3.01 m, 有義波周期 7.5 sec, 風速 13.3 m/sec の海風下に対するもので、有義波高及び skewness は、それぞれ、ほぼ 40% 減衰している。パワースpekトルの第 1 ピーク及び第 2 ピークは、それぞれ、ほぼ 70% 減衰し、第 2 ピークは顕著でなくなり、第 1 ピークの低周波側及び第 2 ピークの高周波側の裾はほとんど減衰せず、全体になだらかな形をしている。正、負のパイスpekトルピークの絶対値は、それぞれ、約 80%, 50% 小さくなり、第 1 ピークの低周波側の裾の成分波及び第 2 ピークの高周波側の裾の成分波においては自己相互の干渉が負の値を示す領域がなくなっており、全般的には正、負の領域とも小さくなっている。(b) は、W-3 での有義波高 2.85 m, 有義波周期 10.3 sec, 風速 8.2 m/sec の海風下に対するもので、有義波高及び skewness は、それぞれ、ほぼ 50% 及び 40% 減衰している。パワースpekトルの第 1 及び第 2 ピークは、それぞれ、約 70% 及び 50% 減衰しているが、第 1 ピークの低周波側及び第 2 ピークの高周波側の裾はほとんど減衰せず、0.21 Hz 付近に小さな第 3 ピークが生じ、全体としてなだらかな形をしている。

正, 負のバースペクトルピークの絶対値は, それぞれ, ほぼ 90% 及び 50% 小さくなっているが, 正の領域が非常に大きくなっていることがわかる。(c) は, W-2 での有義波高 1.43 m, 有義波周期 6.0 sec, 風速 9.4 m/sec の海風下に対するもので, 有義波高及び skewness は, それぞれ, ほぼ 10% 及び 20% 減衰している。パワースペクトルは, 0.14 Hz 付近のピークが減衰し, 0.11 Hz 及び 0.18 Hz 付近にほぼ等しいスペクトル密度をもつ 2 つのピークが生じ, ならかな形をしている。正, 負のバースペクトル密度は, それぞれ, ほぼ 70% 減衰しているが, パワースペクトルの第 1 及び第 2 ピーク成分波の自己相互の干渉に加えて, さらに第 1 ピーク成分波と第 2 ピーク成分波との他己相互の干渉が正のバースペクトル密度を示すため正の領域が増大しているようである。(d) は, W-3 での有義波高 1.38 m, 有義波周期 6.7 sec, 風速 8.0 m/sec の海風下に対するもので, 有義波高及び skewness は, それぞれ, ほぼ 20% 及び 35% 減衰している。パワースペクトルは, 第 1 及び第 2 ピークとも 10% 程度大きくなっているが, よく似た形をしている。正, 負のバースペクトルピークの絶対値は, 両者ともほぼ 15% 大きくなっている。この図をみると, パワースペクトルの第 1 ピークの高周波側の裾の成分波の自己相互の干渉が負の値を示す領域が増大し, 正の領域が若干小さくなってはいるが, ほぼ似ているようである。

4. 結 語

以上, 著者らは, 大潟海岸の棧橋で観測して得た波浪資料に基づいて, 浅海における海岸波浪の変形を調べた結果, 岸に非常に近い領域では, 従来の海底摩擦係数と波の Reynolds 数との関係が満足されず, 比較的大きな海底摩擦係数の値を算出することになること, こうした領域における波高減衰は有義波の波高や波形勾配あるい

は skewness が大きくなるにつれてその割合が増大すること, kurtosis についてもそうした傾向が見えること, そうした波高減衰には波形の上下非対称性が大きく関係すること, などを見出した。また, バースペクトルの変形例に基づいて沖側と岸側の観測地点における波浪の非線型性を比較した。

今後, こうした成果に基づいて, さらに多くの資料を解析して, 浅海における海岸波浪の変形を調べていきたいと思う。

最後に, この研究を進めるにあたり, 終始, ご激励, ご指導を賜った京都大学岩垣雄一教授に深く感謝の意を表するとともに, 資料の整理や図面の作成に大いに助力をいただいた研究生の北本慶一氏に謝意を表する。なお, この研究が文部省科学研究費による研究の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 柿沼忠男・石田 昭・門司剛至: 大潟海岸における波浪推算の一例, 第 15 回海岸工学講演会講演集, pp. 69-72, 1968.
- 2) 岩垣雄一・柿沼忠男: 海岸波浪の予知に関する研究 (第 1 報)—伊勢湾台風時における沖波の推算—, 京都大学防災研究所年報第 5 号 A (10 周年記念号), pp. 284-295, 1962.
- 3) 岩垣雄一・柿沼忠男: 現地海岸の海底摩擦係数について (2), 第 13 回海岸工学講演講演集, pp. 21-29, 1966.
- 4) 岩垣雄一・柿沼忠男・門司剛至: 大潟海岸における波浪の変形について, 第 16 回海岸工学講演会講演集, pp. 69-73, 1969.
- 5) 柿沼忠男・二ツ谷敏雄・川合 茂: 大潟海岸における波浪の変形について (2), 第 20 回海岸工学講演会論文集, pp. 535-538, 1973.
- 6) Longuet-Higgins, M.S.: The Effect of Non-Linearities on the Statistical Distribution in the Theory of Sea Waves, J. Fluid Mech., Vol. 17, pp. 459-480, 1963.
- 7) 合田良実・永井康平: 波浪の統計的性質に関する調査・解析, 港湾技術研究所報告, 第 13 巻第 1 号, pp. 3-37, 1974.