

大潟海岸における波浪の変形の観測

柿沼忠男・門司剛至

OBSERVATIONS OF TRANSFORMATION OF SHALLOW WATER WAVES OFF THE OGATA COAST

By Tadao KAKINUMA and Takeshi MONJI

Synopsis

Ten-minute simultaneous wave records have been obtained in shallow water off the Ogata Coast by six step-resistance type wave gauges set along a long pier at depths of 6~7 m and at a tower at a depth of 25 m. This paper presents the results of wave observations analyzed both by the significant wave and the wave spectrum method.

The main results obtained are as follows: 1) Though the relationship between bottom friction factors and wave Reynolds numbers in shallow water off some Japanese coasts obtained by Iwagaki-Kakinuma (1966) are relatively reasonable at offshore side stations, the calculated values of bottom friction factors are much greater at onshore side stations; 2) The interactions between spectral component waves at onshore side stations differ from at offshore side stations in strength and behaviour; 3) The significant wave heights at W-5 are greater than those at W-4 when those are comparatively high.

1. 緒 言

最近数年間、著者らは、わが国各地の海岸で、ブイを用いた波浪観測を実施し、相対応する沖側と陸側の地点での各種平均波高の減衰と一次元波浪スペクトルの変形を調べることにより、浅海波の予知にとって重要な要素の一つである海底摩擦係数を求めるという方法で海岸波浪の変形の研究を行なった¹⁾。

その後、新潟県大潟町にある帝国石油KK所有の長大栈橋（海上の長さ：250m、先端における水深：6~7m）を利用したリレー型階段抵抗式波高計による海岸波浪の変形の観測²⁾に移行し、波浪スペクトルにもとづいた波の卓越方向を見つけ出す努力³⁾、記録にもとづいた海岸波浪の非線型性の解析⁴⁾、および有義波法による浅海波の推算値と観測値との比較検討^{5),6)}を行なって、浅海での海岸波浪の変形に伴う二、三の問題点を提起してきた。

京都大学防災研究所では、前記長大栈橋への波高計設置についで昭和43年9月に、大潟海岸の沖合 2.3 km、水深 25 m の地点にある帝国石油KKの海中塔に、波高 14 m まで測定できる階段抵抗式波高計を設置し、有線式テレメータ方式（沖電気KK製）によって、陸上の観測室で、栈橋での波高計と同時に記録できるようにした。Fig. 1 は、そうした海中塔と栈橋の位置図である。

この論文は、新潟県大潟海岸の栈橋に設置した6台の波高計（Fig. 2）の記録を解析すると同時に、沖合の海中塔での波高計の記録の解析も行ない、従来のブイによる波浪観測結果と比較検討して、浅海における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。

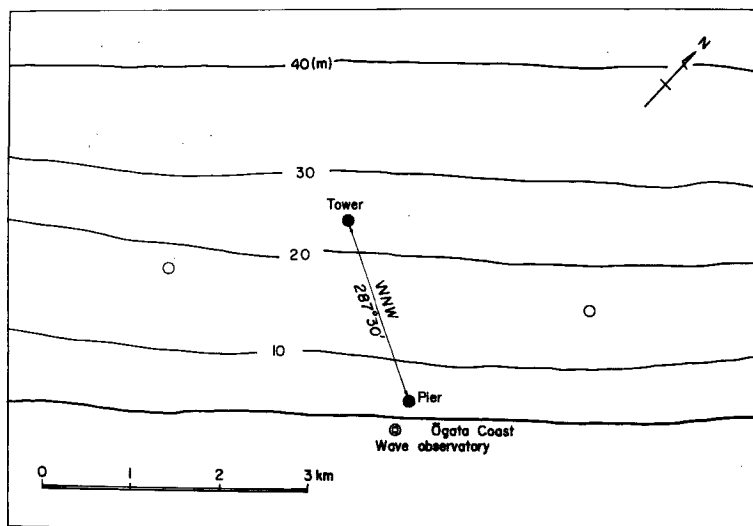


Fig. 1 Location of pier and tower.

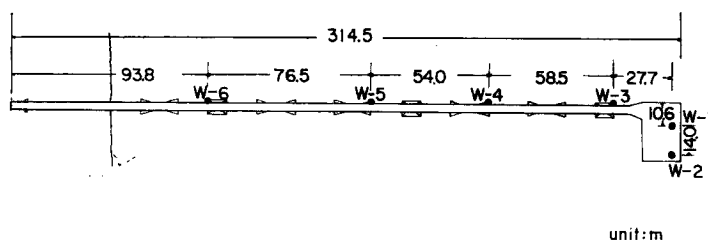


Fig. 2 Position of wave gauges at pier.

2. 大湊海岸における波浪資料の解析

昭和42年1月1日～31日の0時と12時における栈橋に沿う W-1～6 での波浪資料を解析し、各種平均波の波高、周期、有義波の波形勾配、波浪スペクトル、スペクトルのピークに対応する周期、およびスペクトル幅の変化を求めた。Fig. 3 は、そうした諸特性の変化を示す。なお、ここで得た波浪スペクトルは、京都大学防災研究所にある周波数分析器によって得たものであり、スペクトルの幅は、便宜上、スペクトルのピークの高さの70%における周波数帯とした。

また、波浪予知法の検討⁵⁾に用いた資料番号 1～10 について、参考文献6) において W-2 における bispectra を得たが、ここでは、有義波法によって W-2 と W-5 における個々の波の波形勾配の頻度分布および個々の波の波形勾配と周期との関係を求めた。読みとり波数は90～150個(10分間)で、読みとりは周期 2 sec 以上、波高 10 cm 以上とした。

さらに、昭和43年12月9日19時～11日22時の2時間ごとの W-0 と W-2 での波浪資料を解析し、各種平均波の波高、周期、有義波の波形勾配、波浪スペクトル、skewness、および kurtosis を得た。

3. 波浪の変形の解析結果

(1) W-2 と W-5 間の波浪変形

Fig. 4 は、昭和42年1月における栈橋の2地点 W-2 と W-5 の間の単位距離あたりの波高減衰を平均

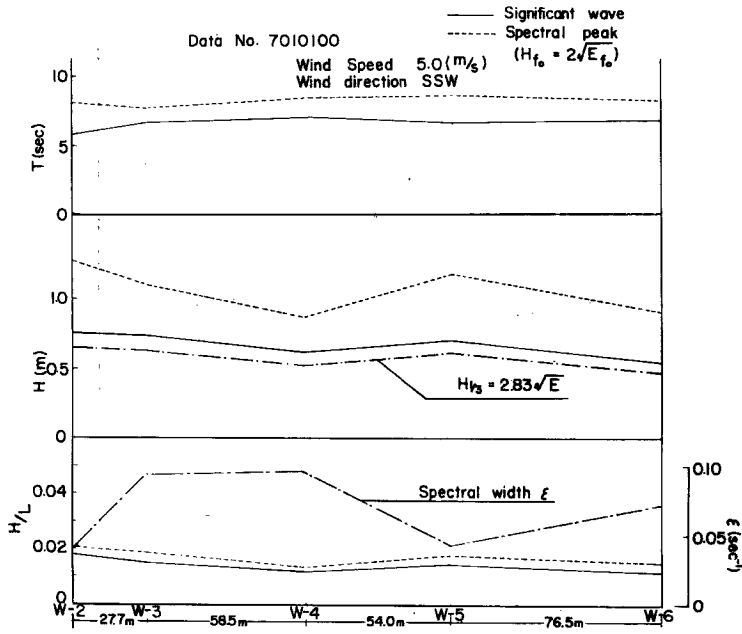


Fig. 3-1 Transformation of wave characteristics.

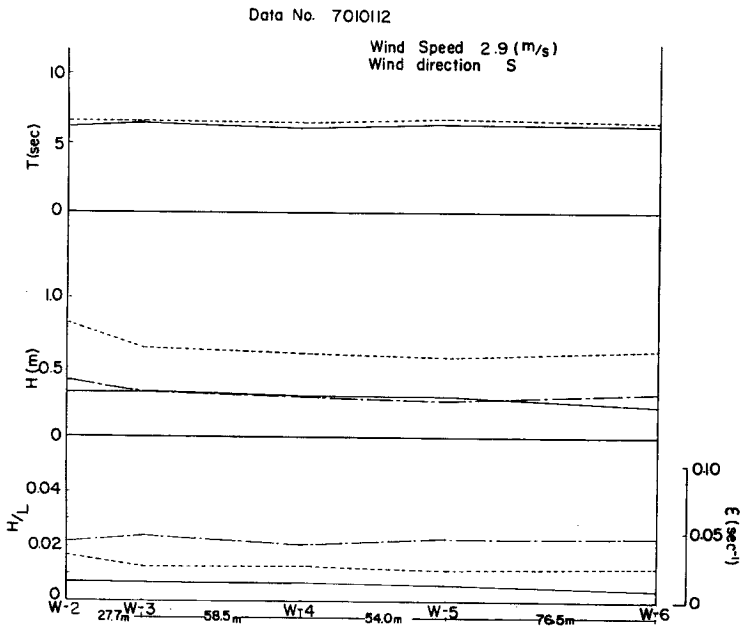


Fig. 3-2 Transformation of wave characteristics.

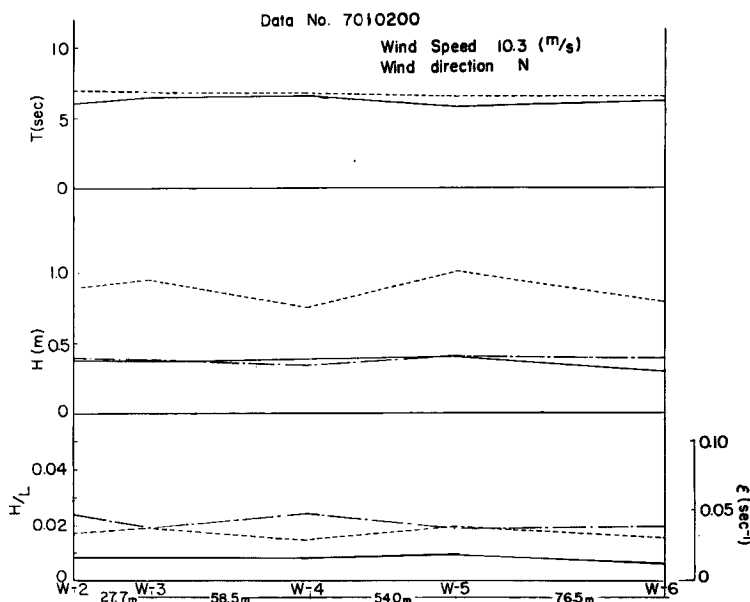


Fig. 3-3 Transformation of wave characteristics.

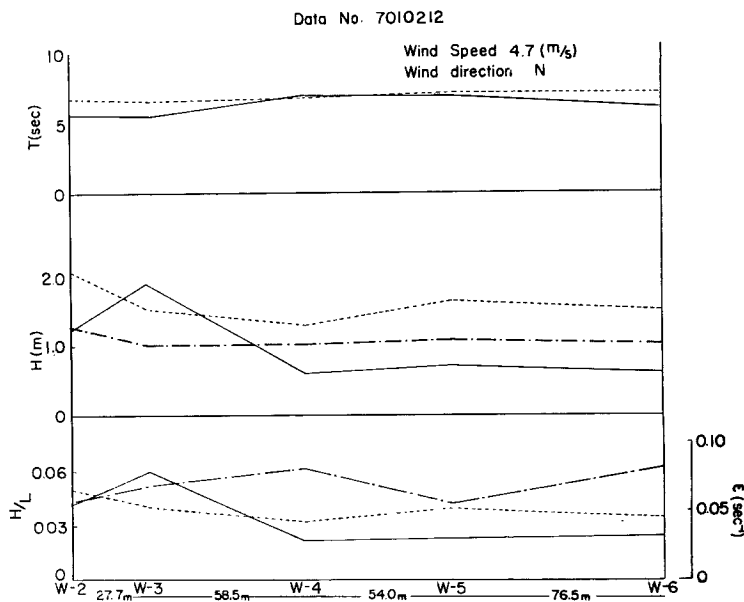


Fig. 3-4 Transformation of wave characteristics.

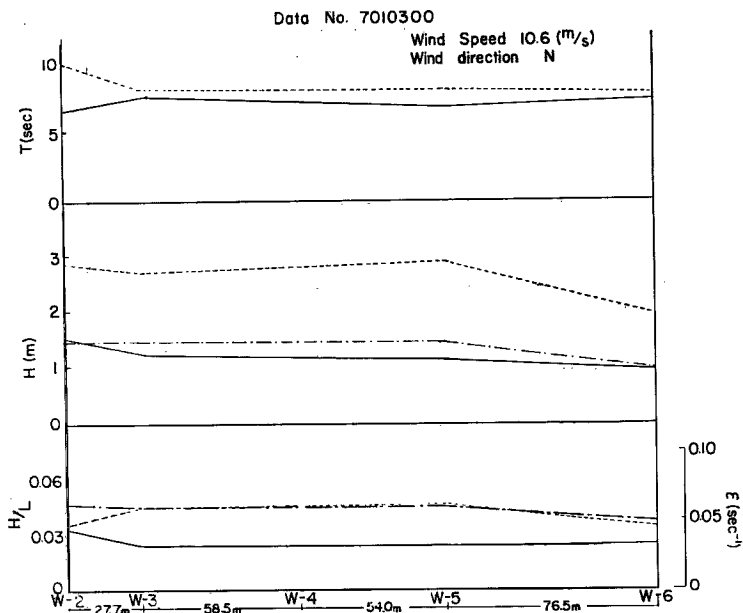


Fig. 3-5 Transformation of wave characteristics.

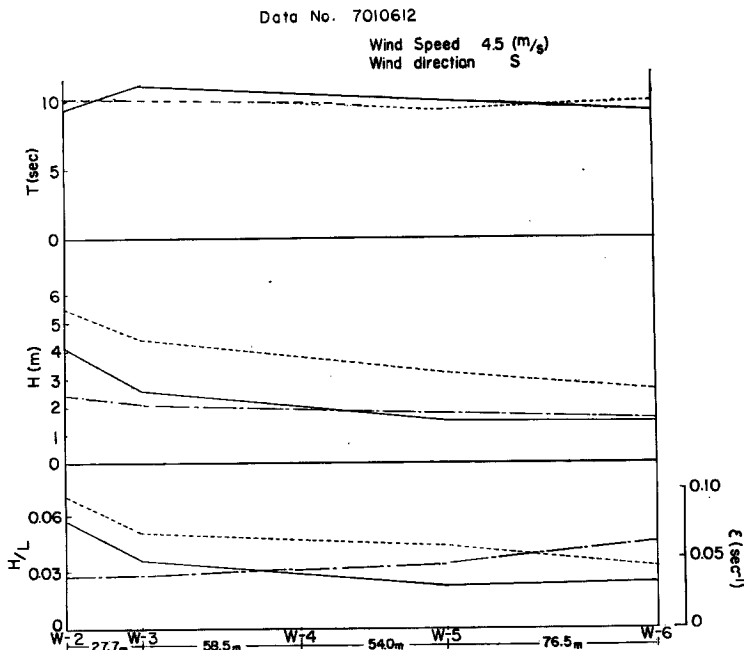


Fig. 3-6 Transformation of wave characteristics.

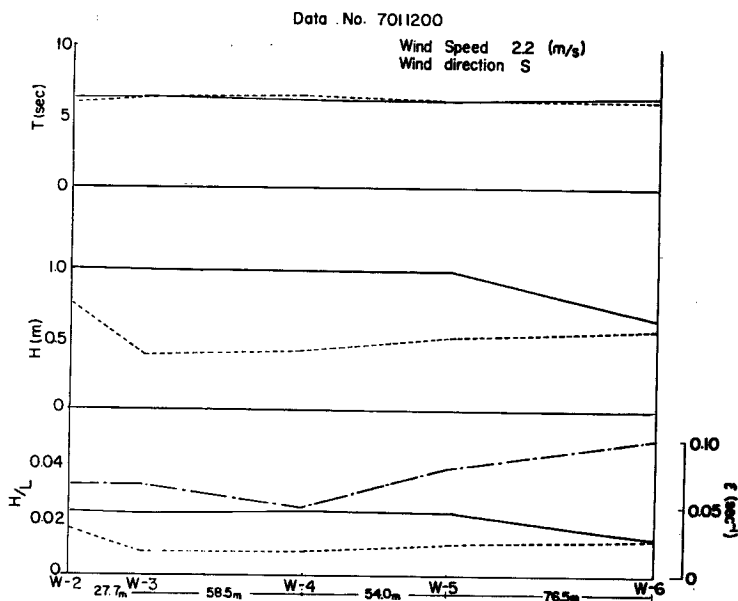


Fig. 3-7 Transformation of wave characteristics.

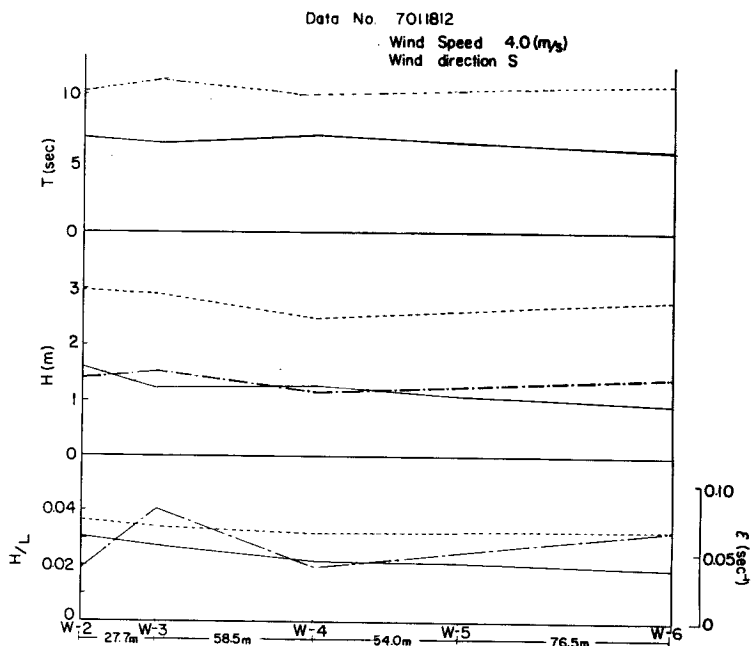


Fig. 3-8 Transformation of wave characteristics.

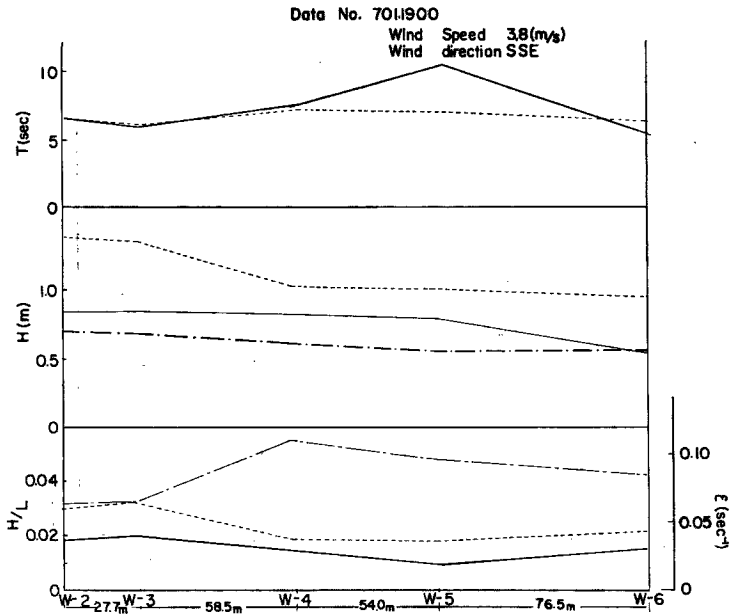


Fig. 3-9 Transformation of wave characteristics.

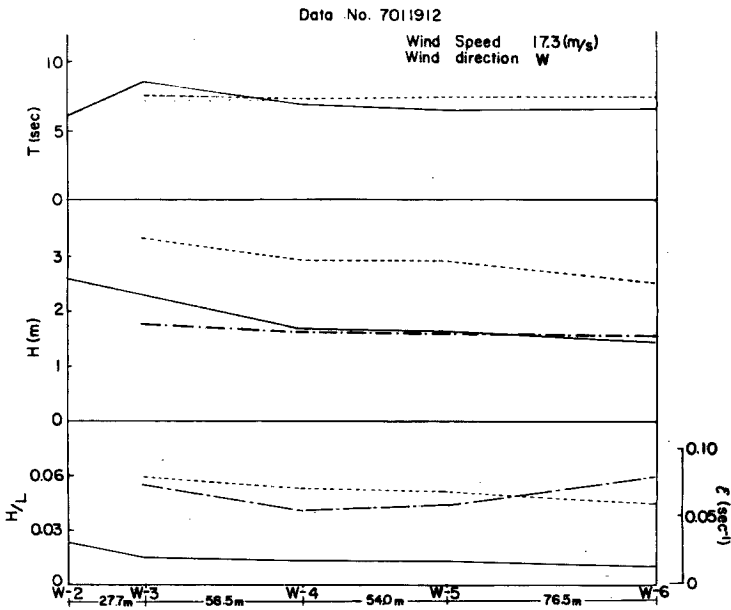


Fig. 3-10 Transformation of wave characteristics.

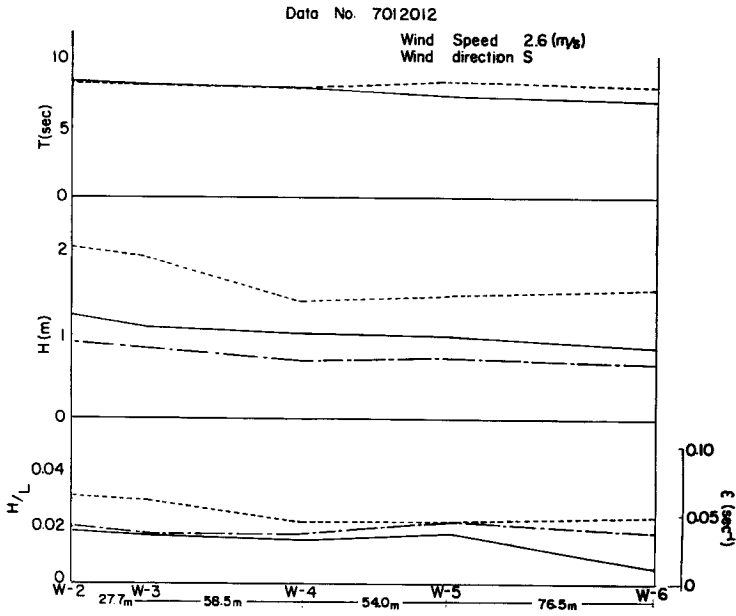


Fig. 3-11 Transformation of wave characteristics.

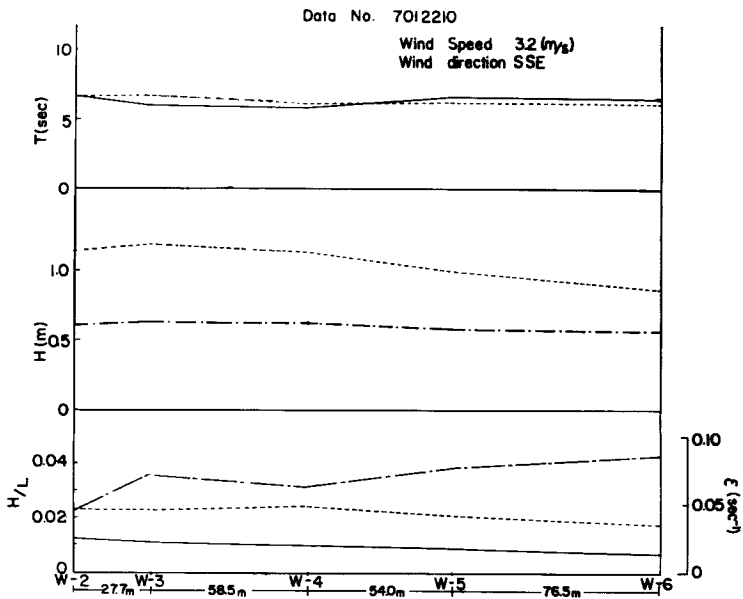


Fig. 3-12 Transformation of wave characteristics.

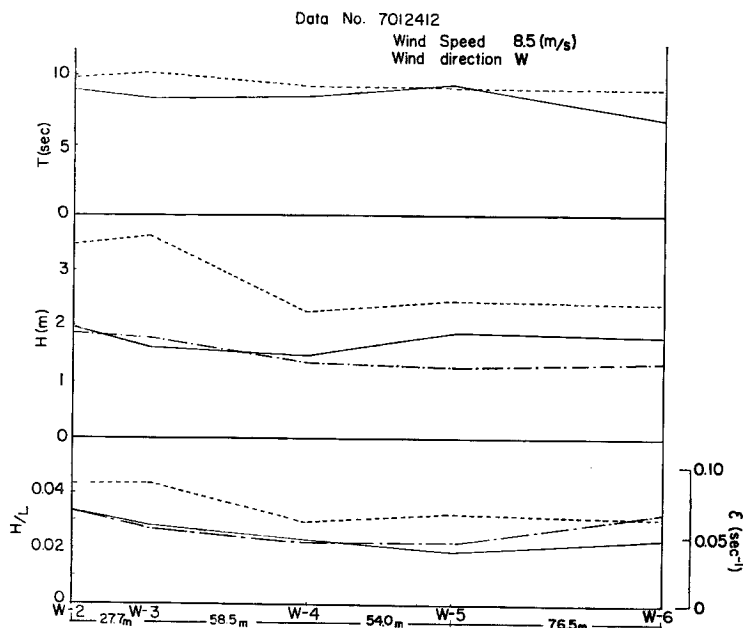


Fig. 3-13 Transformation of wave characteristics.

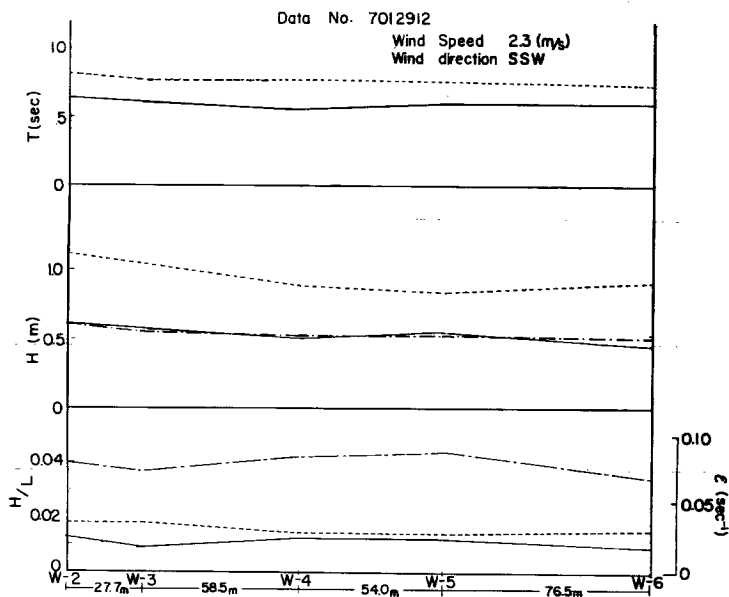


Fig. 3-14 Transformation of wave characteristics.

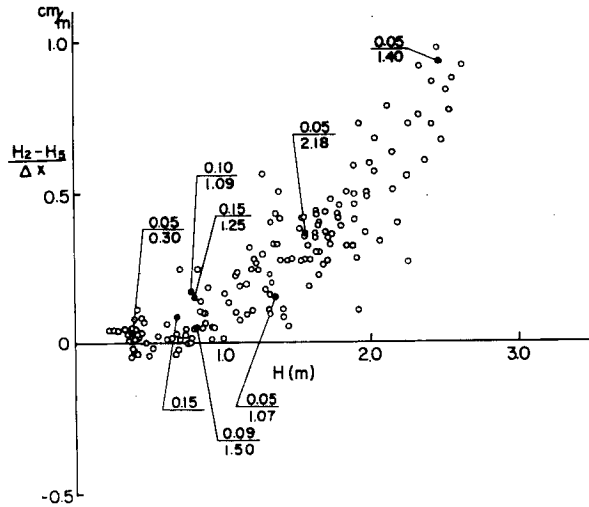


Fig. 4 Wave damping between W-2 and W-5 (mean waves).

波に対して示したもので、図中、●に対応する数字のうち、上段は天気図から推算して得た沖波の有義波高と棧橋の先端 W-2 における有義波高とから求めた海底摩擦係数 f の値⁹⁾であり、下段は W-2 と 5 の 2 地点での有義波高の減衰から微小振幅波として求めた f の値である。沖波の発達、うねりの深海における減衰、および浅海波の発達の推算法として、それぞれ、岩垣一柿沼の修正 Wilson 法、Bretschneider 法、および柿沼一石田一門司の修正 Bretschneider 法を適用することによって天気図から推算して得た上段の f の値は、従来わが国沿岸で観測して得た f の値と波の Reynolds 数 Re_r との関係満足しているが、こうした値にくらべて下段の値が非常に大きいことがわかる。図中、●がプロットした○の群の中にあることから、○の波浪資料についても同様な傾向があると思われる。

Fig. 5 は、昭和42年1月の W-2 と W-5 における平均波高の波高比と W-2 における平均波高との関係を示したものであり、Fig. 6 (a), (b) は、それぞれ、昭和41年12月と昭和42年1月の W-2 と W-5 における波高比を W-2 における波形勾配に対して示したものである。Fig. 5 をみると、海風の場合（風速 10 m/sec 程度）、波高が大きくなるにつれて減衰も大きくなるが、陸風の場合（風速 2~3 m/sec) には、

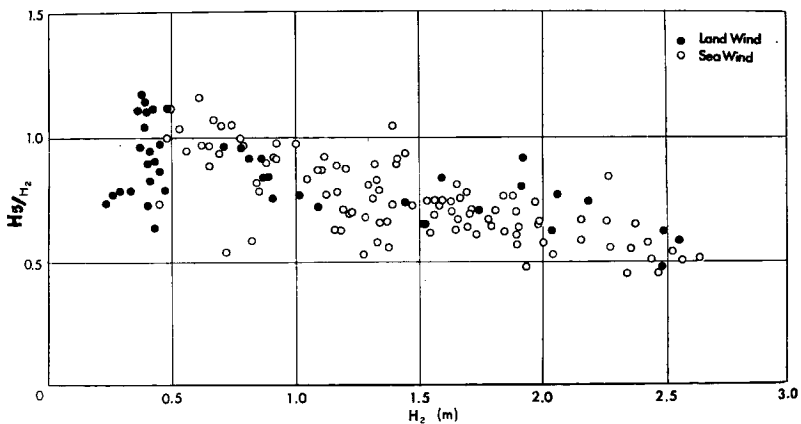
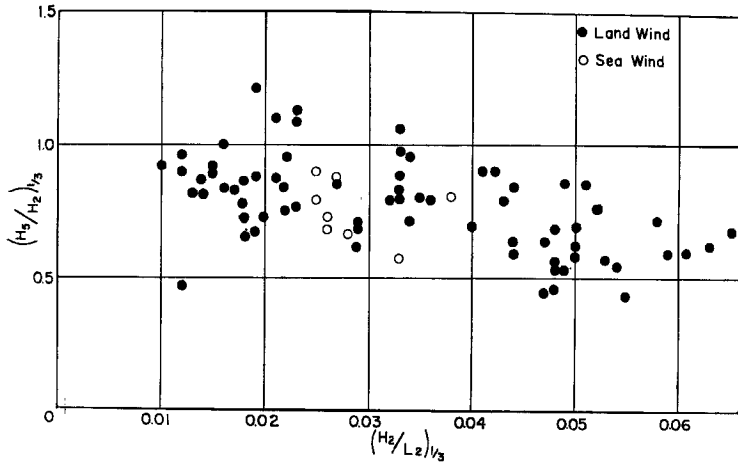
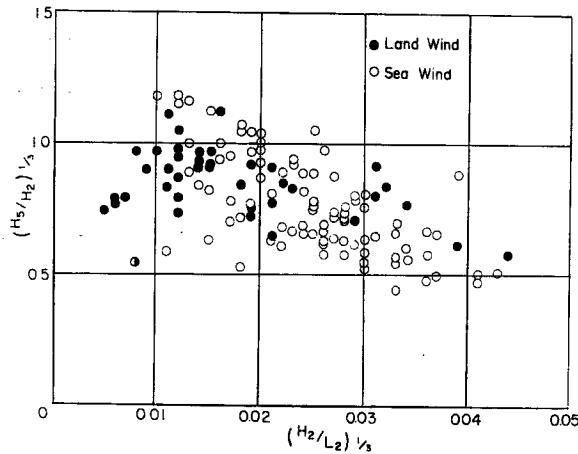


Fig. 5 Relationship of H_5/H_3 against H_2 (mean waves).



(a)



(b)

Fig. 6 Relationship of H_3/H_2 against H_2/L_2 .
(a) Dec. '66. (b) Jan. '67.

海風の場合の資料に比較して波高の増大に伴う減衰は小さいようである。Fig. 6 (a), (b) をみると、波形勾配が大きくなるにつれて減衰も大きくなり、波形勾配の増大に伴う減衰の割合は、(a) では海風の場合が少ないので不明であるが、(b) の場合には、Fig. 5 と同様、海風の方が大きいようである。また、Fig. 7 は、こうした資料について、W-2 と W-5 における有義波の波形勾配を微小振幅波理論に基づいて求めて、比較したものである。Fig. 7 をみると、両者は、陸風の場合は同一の値を示すが、海風の場合には、沖側の波形勾配の値が0.035以上では沖側の方が大きく0.035以下では同一の値を示していることがわかる。こうしたことから、海風の場合、10 m/sec 程度の風の影響を受けて、個々の波の一部がくずれ、減高減衰の割合を大きくしているのではないかとと思われるが、波浪資料や風の資料をさらにくわしく分類し、検討する必要がある。

(2) W-0 と W-2 の間の波浪変形

水深 25 m の地点にある沖合の観測地点 W-0 と水深 7 m の地点にある W-2 の2地点での有義波高の

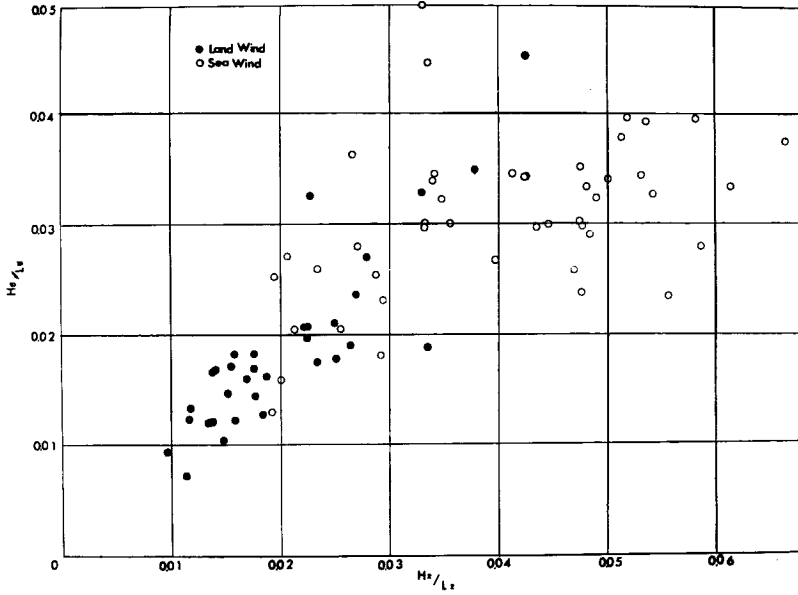


Fig. 7 Comparison of wave steepness at W-5 with wave steepness at W-2.

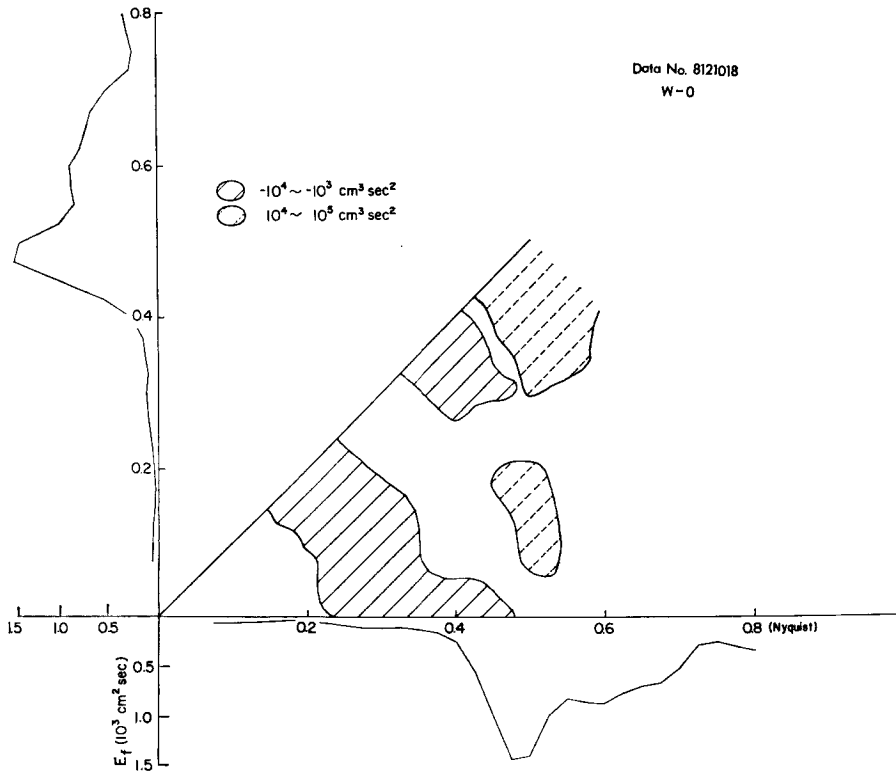


Fig. 8-(a) Bispectrum at W-0 (1 Nyquist=0.5 cps).

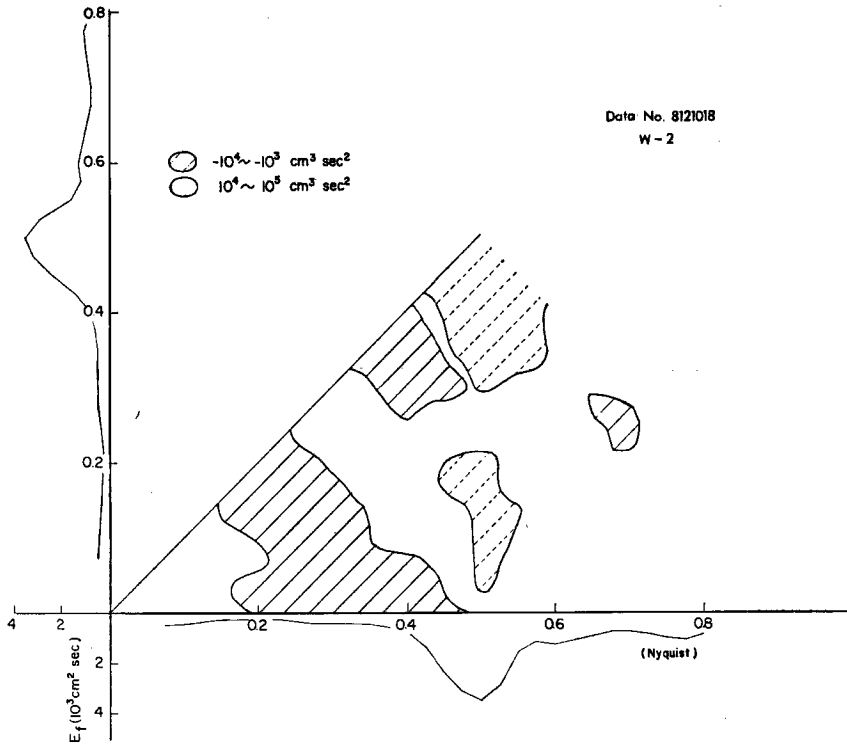


Fig. 8-(b) Bispectrum at W-2 (1 Nyquist=0.5 cps).

減衰からも微小振幅波として海底摩擦係数 f の値を求めた。得た結果は、波の Reynolds 数 $6 \times 10^4 \sim 10^5$ に対して f は 1.7~3.0 という値を示したが、こうした関係は、従来の $f-Re_T$ 関係¹⁾ の上限に相当している。有義波法は方向分散について考慮していないが、約 2 km 離れた W-0 と W-2 の間には方向分散の効果もあると考えられる。なお、この解析に用いた資料は、昭和43年12月10日18時~11日4時のもので、観測時の風速は 7 m/sec 程度、風向は NNW であり、新しい波高計配列²⁾によって求めた波の卓越方向は風向とほぼ一致していた。

Fig. 8 (a), (b) は、そうした場合の W-0 と W-2 での bispectra の一例である。Fig. 8 をみると、水深 6~7 m のところにある栈橋の観測地点 W-1~6 の bispectra^{4)*} が示しているように、パワースペクトルがピークを示す成分波は、沖側で自己相互の干渉が強かったものが、岸に近づくにつれて種々の干渉を起こし、もっとも岸の地点では卓越した干渉がなくなってしまうといった複雑な変化をするのに反して、(a) および (b) の両者ともピーク成分波自身の干渉が強くなり、その形は非常によく似ていることがわかる。こうしたことから、岸に非常に近い領域と沖合とは、スペクトルの成分波間でのエネルギー輸送が異なり、ことに岸の近くでは複雑な非線型干渉が生じ、有義波法による海底摩擦係数 f の算定値を大きくしたと思われる。

波形勾配と skewness および kurtosis の間には、一定の関係、すなわち、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が理論的に示されているが⁷⁾、Fig. 9, 10 は、それぞれ、資料番号 1~10 の W-2, W-5 および昭和43年12月10日11時~20時における W-0 の資料について、有義波の波形勾配と skewness および kurtosis の関係を示したものである。Fig. 9 をみると、1点(資料番号7の W-2 での値)を除けば、波形勾配が大きくなるにつれて、skewness は一様に

*. 4) および 5) の skewness および bispectra の符号干を±に訂正。

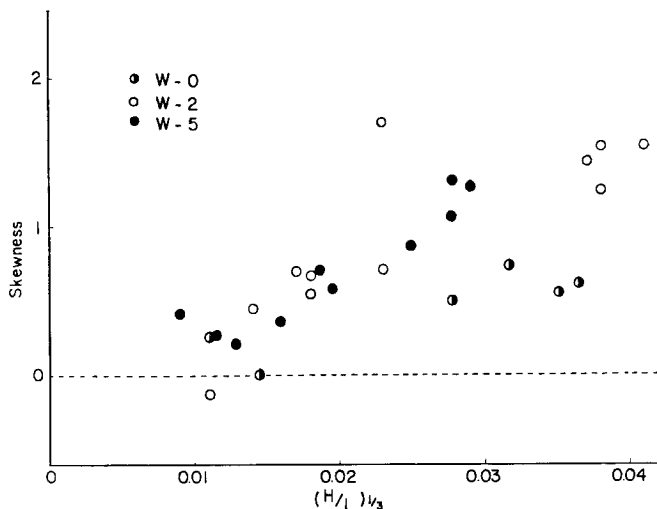


Fig. 9 Relationship of skewness against wave steepness.

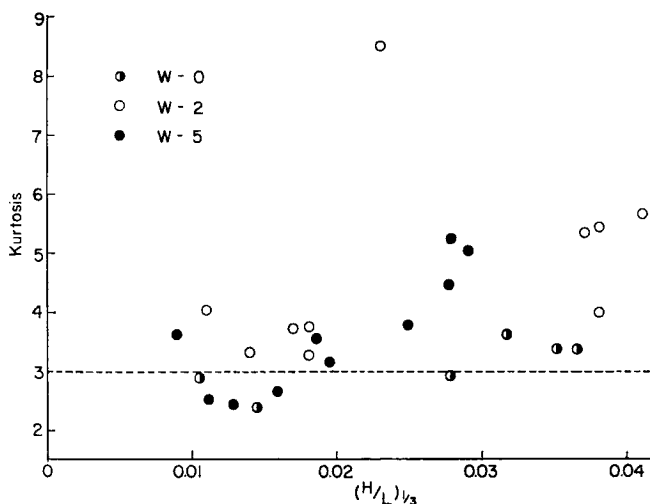
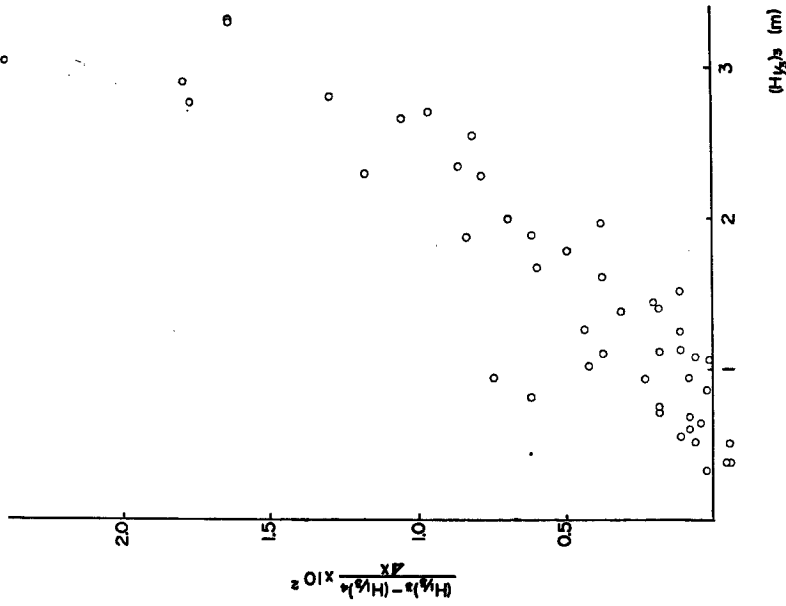


Fig. 10 Relationship of kurtosis against wave steepness.

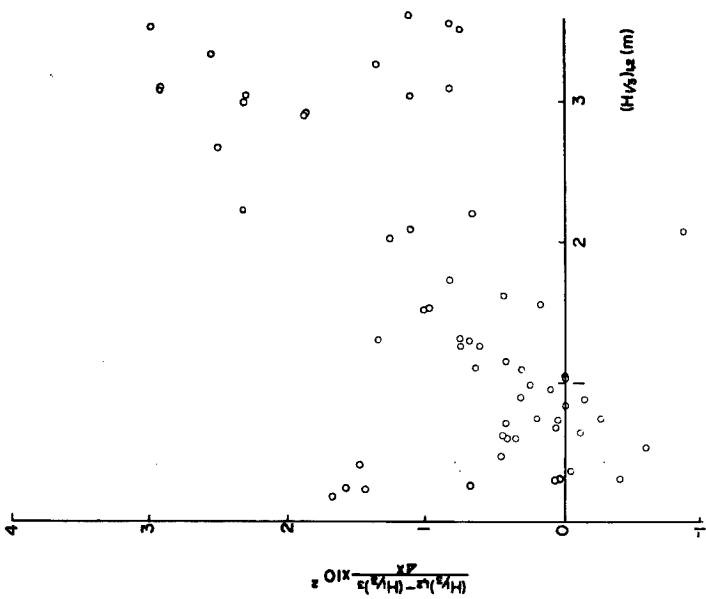
大きくなっており、また W-2,5 と W-0 は同一時刻に対応する資料ではないが、これらと比較すると、W-0 の方が同一波形勾配に対して skewness が小さくなっていることがわかる。このことは、沖側にある海中塔の W-0 の記録の方が、栈橋の W-2,5 の記録より非線型性が弱いことを示していると思われるが、資料をさらに増加して検討する必要がある。約 140 m 離れた W-2 と W-5 の記録を比較すると、W-5 の方がやや上側にあるが、はっきりと区別するのは無理のように思える。Fig. 10 をみると、有義波の波形勾配と kurtosis の間にも Fig. 9 と同様な関係があるようにみえる。この図においても、資料番号7の W-2 での値だけが極端に大きくなっている。

(3) W-1,2~3,3~4,4~5 および 5~6 間の波浪変形

Fig. 11 は、昭和42年1月における有義波の単位距離あたりの波高減衰を示す。Fig. 11 (a) は、観測地 W-1,2~W-3 点間の減衰を示したもので、有義波高がごく小さい場合を除いて、有義波高が大きくなる



(b)



(a)

Fig. 11 Wave damping at pier.
 (a) W-1, 2~W-3.
 (b) W-3~W-4.

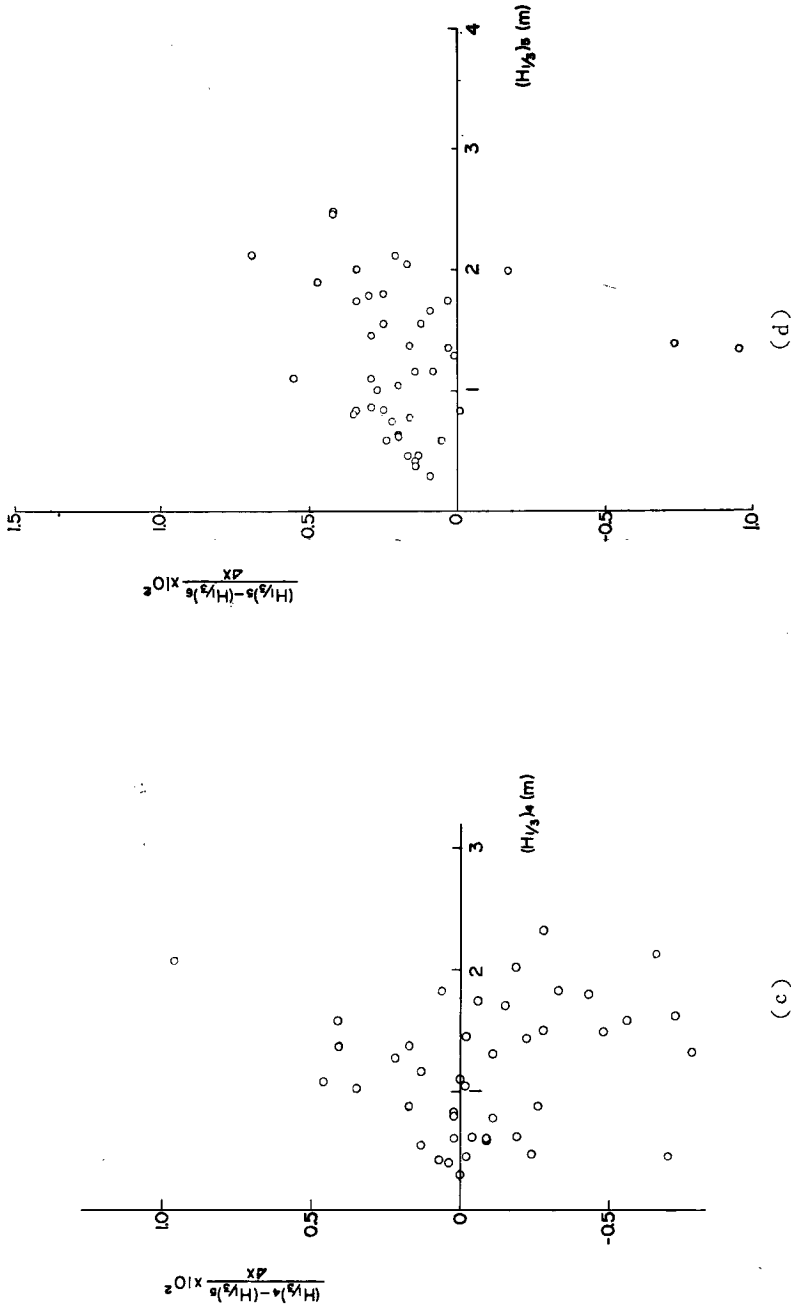


Fig. 11 Wave damping at pier.
 (c) W-4~W-5.
 (d) W-5~W-6.

につれて減衰の割合も増加している（有義波高 2 m に対する減衰の割合は約 1 cm/m）が、ばらつきも大きい。Fig. 11 (b) は、W-3~4 間の減衰を示したもので、有義波高が大きくなるにつれて減衰の割合は直線的に増加している。有義波高が 2 m のときの減衰の割合は約 0.5 cm/m で、Fig. 11 (a) に示した、W-1, 2~3 間より減衰の割合が小さい。Fig. 11 (d) は、W-5~6 間の減衰を示したもので、減衰はしているが、その割合は、Fig. 11 (a), (b) に示した区間と比較して小さい。Fig. 11 (c) は W-4~5 間の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。こうした W-4 と W-5 における現象は、この 2 地点間の距離が 54.0 m といった短い距離なのではっきりはしないが、海底地形によって影響されて生じたとも思えず、反射の影響があるかどうかを調べる必要がある。すなわち、反射波が波の減衰にどの程度影響するのか、不規則波としての反射現象を解明しなければならない。

4. 結 語

以上、著者らは、大瀨海岸の棧橋と海中塔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、沖合では従来の海底摩擦係数と波の Reynolds 数との関係が比較的よく満足されるのに対して、岸に非常に近い領域では海底摩擦係数の算定値が大きく、こうしたことは、沖合と岸とでは、非線型干渉の強さや様子が異なることなどによるという示唆を得、さらに観測地点 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という結果を得た。

今後は、こうした示唆に基づいて、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、御激励、御指導を賜った岩垣雄一教授と土屋義人教授に深く感謝の意を表明するとともに、資料の整理や計算に大いに助力を頂いた防災研究所の人見哲夫技官に心から謝意を表する次第である。なお、この研究は文部省特定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) 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回海岸工学講演会講演集，昭41.12, pp.21~29.
- 2) 岩垣雄一・樋口明生・野田英明・柿沼忠男：大瀨波浪観測所における観測施設と二、三の観測例，京都大学防災研究所年報，第10号B，昭42.3, pp.237~250.
- 3) 柿沼忠男・石田昭：波浪スペクトルにもとづく大瀨海岸の波向の推算について，京都大学防災研究所年報，第11号B，昭和43.3, pp.337~353.
- 4) 柿沼忠男・石田昭・門司剛至：記録にもとづく海岸波浪の非線型性の解析，第15回海岸工学講演会講演集，昭43.12, pp.73~79.
- 5) 柿沼忠男・石田昭・門司剛至：大瀨海岸における波浪推算の一例，同上，pp.69~72.
- 6) 柿沼忠男・石田昭：海岸波浪の予知に関する研究（第2報）一大瀨海岸における浅海波の推算一，京都大学防災研究所年報，第12号B，昭和44.3, pp.657~668.
- 7) Longuet-Higgins, M. S.: The Effect of Non-Linearities on the Statistical Distributions in the Theory of Sea Waves, J. Fluid Mech., Vol. 17, 1963, pp.459~480.