

風洞水槽を利用した不規則波の発生装置（海岸波浪シミュレーター）とその2, 3の特性について

土 屋 義 人・山 口 正 隆

RECIRCULATING RANDOM WAVE GENERATOR (SHALLOW WATER OCEAN WAVE SIMULATOR) USING A WIND WAVE TANK AND ITS CHARACTERISTICS

By Yoshito TSUCHIYA and Masataka YAMAGUCHI

Synopsis

There are some types of random wave generator to reproduce random waves simulating shallow water ocean waves. A random wave generator using a recirculating wind wave tank called shallow water ocean wave simulator was established. This consists of a doughnut shaped wind wave tank, a blower, a wave direction controller and an experimental straight tank. Some characters of the apparatus are described by the use of the results of spectral characteristics of generated waves and wave characteristics obtained by the significant wave method. It was found that this apparatus is well available to reproduce random waves in conducting experimental investigations in coastal engineering.

1. 結 言

海岸波浪の変形、回折、反射および屈折現象や波のうちあげおよび波圧、波力、越波や海浜変形や漂砂など、海岸工学上の諸問題はすべて規則波によって実験され、また観測波浪も主として有義波の概念によって取扱われ、計画設計に応用されてきたが、しかし実際の海岸波浪は不規則波であって、それがどの程度これまでの結果と対応できるかはほとんどわかっていない。一方、最近風波の発生・発達に関する理論が進展したが、一般に吹送距離の短い風洞水槽では、限られた実験しかできず、理論の完全な検証ができなくて、波浪予知法の確立に大きな障害となっているように思われる。

本研究では、これらにこたえるべく、適切な海岸波浪シミュレーターを試作して、海岸波浪そのものをシミュレートし、海岸工学上の諸現象の解明に役立てようとするものである。一方、最近各国において前述した実験目的に適した不規則な海岸波浪を発生せしめる装置の試作がなされ、すでに実用に供しうる段階に至っているものもあるが、必ずしもこの発生機の開発に成功したとはいえないと考える。

ここでは、このような現状において、海岸波浪を完全にシミュレートした波浪の発生装置を新たに試作したので、その概要とこれを用いて実施した若干の実験結果とともにこの装置の特性について述べたいと思う。

2. 不規則波発生方式とその特徴

海岸波浪をシミュレートした波の発生機をその発生方式によって分類すれば、つぎのようになる¹⁾。

- 1) 風洞水槽を利用する方法
- 2) 造波板の駆動による方法

- a. 有限個の正弦波を合成する方法
- b. 造波板を駆動するモーターの回転数と振幅を変化させる方法
- c. 造波板をランダムに駆動させる方法

これらのうち、造波板の駆動による方法は、これまで一様な規則波の発生に対して用いてきたものであって、微小振幅波に関する限りでは、その造波理論は確立されている。したがって、不規則運動をする造波板による造波特性が規則波の場合でカバーできるかが問題であって、その適用できる範囲内で不規則波を発生させるかあるいはその造波板の造波特性を見出してから使用するかのいずれかと考えられる。これらの実例としては、a. の方式によるものはすでに著者の 1 人土屋らによって京大工学部に設置されており(参考文献¹⁾にはこの造波機が岩垣らによって試作されたことと明記されているが、これは間違いである)、その後この造波方式による合成波の特性が岩垣らによって報告されている。これは、油圧を利用して、数個の油圧ポンプで合成された油圧の変動によって造波板を駆動させるものであるが、経費的に安価である利点をもつ一方、油圧ポンプ系に若干の改良を必要とするであろう。b. の方式によるものは、運研において合田および永井²⁾によって試作され、すでに実用に供せられている。c. によるものは、これまで構造物のランダム振動の研究に用いてきた振動台と全く同じ機構によって造波駆動を電氣的に制御しようとするものであって、大別するとつぎの 2 つの方法がある。すなわち、造波板の駆動方式として、電磁式と油圧式とがあって、前者は比較的小規模なものしか製作できないが、後者では大規模なものまで可能であって、自動車その他荷重の大きい振動台の駆動方式はほとんどこの方式によっている。前者の方式によるものは、すでに阪大工学部に、また後者のものは京大工学部¹⁾や土木研究所³⁾において試作されている。また、外国では、カリフォルニア大学で最初に試作されて以来、ノールウェイ工科大学、デルフト水理実験所、アメリカの海岸工学研究センターなどにおいて、すでに実用に供せられている。

一方、1) の方式によるものは、いわゆる風洞水槽であって、これまで各国において風波の研究のために種々の水槽が設置され、海岸波浪のシミュレーションと風波の発生・発達機構や変形などの研究のために利用されてきたものであることは、周知のとおりである。この方式の最大の利点は、海岸波浪と同じ機構によって、直接風の作用で波浪を発生せしめようとするものであるが、最大の欠点はいわゆる吹送距離に対応しただけ風洞水槽の長さを十分長くできないので、どうしても大きな風波を発生させようすると、風速を増大させることになり、したがって white caps などの発生のために必ずしも海岸波浪の十分なシミュレーションができないことが少なくないことである。したがって、より大きな風波を発生させるためには、なんらかの工夫によって吹送距離を増大させる必要があり、そのためにエンドレスな風洞水槽の試作が考えられて、防災研でも数年前岩垣らを中心としてこの種の問題が検討されたことがあった。その当時、このような方式による風洞水槽の 1 つとして、ソ連に大規模な円形風洞水槽が完成し⁴⁾、有義波高約数十 cm に及ぶ風波を発生させることに成功している。これらの風洞水槽では、主として風波の発生・発達に主眼がおかれている。しかし、ここでとりあげるものは、原理的にはこの方式によるものであるが、以上の目的のほか発生させた風波を風洞水槽外へとり出して、実験用の不規則波としようとするものである。

3. 海岸波浪シミュレーターの装置

この装置は、前述したように風洞水槽を利用して不規則を発生させようとするものであるが、吹送距離を十分とるためと発生した風波を風洞水槽外へとり出すために、Fig. 1 に示すようなドーナツ型とし、その中央部に直線部を設けて、円弧による風波の変形をできるだけ減少させるように考慮したものであって、その構成および装置の概要は、つぎのとおりである。

3.1 構成

このシミュレーターは、Fig. 1 に示すように、長さ 25 m の直線部の両端に直径 6 m の半円部をとりつけたドーナツ型の風洞水槽とこの風洞部に一様に送風し、これと循環させるための送風機によって、風洞水槽内に任意の風波を発生させるようになっている。この発生した風波を実験用に不規則波としてとり出した

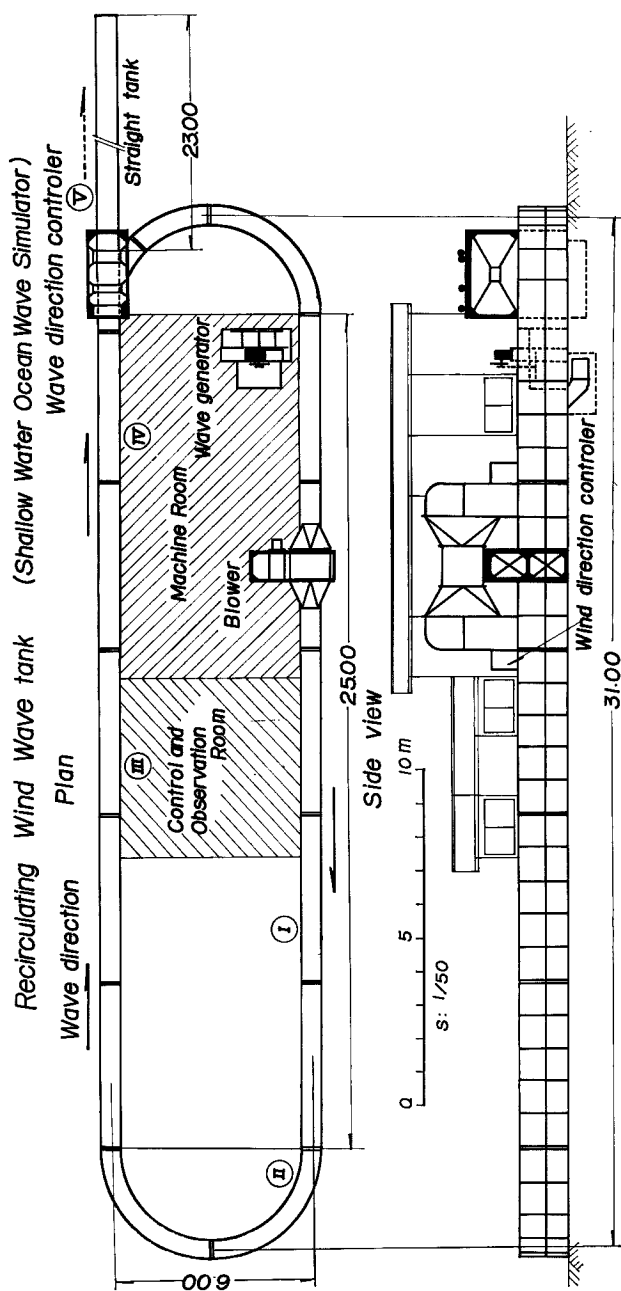


Fig. 1 General view of recirculating random wave generator.

めに、ドーナツ型風洞部の一端に波向制御装置が設けられ、これによって風波を実験用の直線水槽部へ導入するようになっている。この直線水槽部の長さは現在約 31 m であるが、将来実験の目的に応じて数十 m 程度以上に延長する予定である。水槽の断面は幅 0.5 m、高さ 1.5 m の矩形断面であり、ドーナツ型風洞水槽部の延長は約 68 m である。一方、直線水槽部は、その断面は幅 0.5 m、深さ 0.65 m であって、鋼製水槽から成立っている。

一方、風洞水槽部の送風機の直前には、比較的長周期の規則波を起こすもぐりピストン型の造波機が設置され、規則波の実験とともに、規則波と風波とを合成したいいわゆる long-crested random waves も発生できるようになっており、これら相互の非線型干渉の効果を実験的に研究できる。また、風洞水槽部の中央部のスペースは 2 つに分けられて、配電盤や送風機および造波機のある機械室と水槽の側面および底面の一部がガラス張りになっていて、風洞内における諸現象の観察や測定を可能にした計測制御室とがあり、ここには送風機、造波機および波向制御装置をボタン操作によって制御する制御盤がおかれている。

3.2 送風機

エハラ軸流送風機によって、Fig. 1 に示すような風路を通じて送風し、風洞水槽内をできるだけ一様に送風できるように考えたものであって、その諸元はつぎのとおりである。30 HP のモーターによって、最大風量 $900 \text{ m}^3/\text{min}$ を送風するが、水槽内の水深との関係によって相違するけれども最大平均風速は 25 m/sec 程度と考えられる。また、最小風速は 3 m/sec 程度でこれより約 25 m/sec まで任意に変えることができる。なお、送風機の吸込口と吐出口付近には、風洞水槽内の流れをできるだけ乱さないように、ガイドをつけてあるが、将来若干の改造をして、送風機の影響が風速分布に大きく現われないように順次検討していきたいと考えている。また、送風機が所定の回転速度に達してから風洞水槽内へ送風するための風向制御装置も手動式のものを取付けてあるが、現在のところその必要性はあまり高くないと思われる。

3.3 波向制御装置

これは風洞水槽部に発生させた風波をできるだけ短時間で直線水槽部に誘導するものであって、鋼製のゲートをモーターによって昇降させるようになっており、その波向切換えのための所要時間は約 0.2 sec 以内である。また、この波向の切換のために風洞水槽内に発生した風波の特性を損なうことはほとんどないものと考えられる。

3.4 造波機

規則波を発生させるための造波機は、風洞水槽内での波の進行をさまたげないようにしなければならないので、もぐりピストン型 (submerged piston type) のものとしたが、その特性はつぎのとおりである。ピストンの直径は 1 m とし、最大ストロークは 40 cm で連続的に変化できる構造となっており、その周期は 0.5 ~ 5 sec まで無段変速器直結の 7.5 HP のモーターによって任意に変えられるようになっている。発生波の特性は、現在のところ明確ではないが、最大波高約 30 cm 程度であって、周期や水槽内の水深によって変わることは当然である。

3.5 発生および操作方法

まず、波向制御装置を閉じて送風機によってドーナツ型の風洞水槽部に送風し、これを回流させると、所定の水深において風波は時間とともに発達する。この風洞内で所要の風波（不規則波）がえられたときに、波向制御装置を操作して、不規則波を直線水槽部に誘導し、各種の実験に用いるわけである。現在のところ、本装置に直結のスペクトルアナライザーがないので、その記録をみて直ちに波向制御装置を操作することはできないが、適当な条件のもとにあらかじめ各種の風波の特性を調べておけば、所要の不規則波を発生することができる。一方、ここで発生する風波は、非定常な海岸波浪に対応するものであるために、波浪の特性に及ぼす非定常性の影響も詳細に検討できるし、またこのことはこの海岸波浪シミュレーターの本質的な特性とも関連するはずである。この点に関しては、すでに若干の実験を実施したので、次章において考察するつもりである。以上の操作は、計測制御室において、押しボタン式の操作盤において行なうことができる。

一方、前述したように、ドーナツ型風洞水槽部は、これまでの風洞水槽と相違して（ソ連に1基試作されたことはすでに述べたが）、吹送時間を任意にとれば、波高 および波長のきわめて大きい風波を発生させることもできるわけであり、いいかえれば無限大の吹送距離（時間）に対応した風波を発生・発達することが可能である。さらに、造波機によって最大5 sec 程度の規則波を発生させ、これに風波を加えると、いわゆる long-crested random waves を作ることができるので、波の相互干渉や風波の乱れの発生機構などに関する実験も実施できる。

3.6 計測装置

現在、本シミュレーター用の計測装置は、各種の実験に応じて試作または購入しているが、次章において述べる基礎実験において使用した主な装置は、つぎのとおりである。風洞水槽部には、制御用および実験用を兼ねて Fig. 1 にも若干示してあるように、数個の電気抵抗線式波高計、超小型風速計、各種の波圧計、超音波風速計および超音波流速計などが設置され、適宜、実験に用いられているが、将来リアルタイムのスペクトルアナライザーなどを付属した制御関係の装置を完備して、適切に不規則波を発生できるようにしたいと考えている。

4. 海岸波浪シミュレーターの特性

4.1 風波の発達特性

以上述べた風洞水槽は、現在のところきわめて特殊なものであるので、まず風洞内の風速分布を調べる必要がある。Fig. 2 は水槽内に水を入れない場合に、小型風速計を用いて測定した風洞内の数点における風速分布であり、図中の 300, ..., 700 は送風機の回転数を示す。これらの図において、送風機の吐出口直後

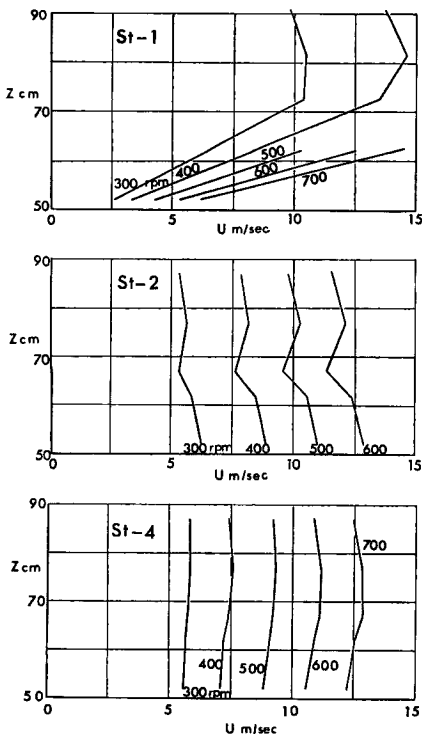


Fig. 2 Distribution of wind velocity in recirculating wind wave tank.

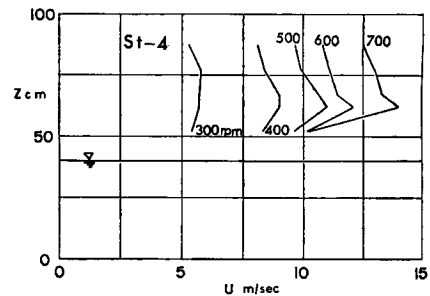


Fig. 3 An example of wind velocity distribution above wind waves.

(St-1) ではかなり急な速度こう配をもっていることがわかる。また湾曲部直前 (St-2) においても風洞中心部付近に極小値をもつ特異な分布をしており、これを改良するためには、送風機の吐出口の角度を変える必要がある。しかし、湾曲部よりかなり離れたと (St-4), ほぼ一様な分布になっているようである。Fig. 3 は水深 $h=40\text{ cm}$ の場合の水の上の風速分布の1例であり、図中送風機の回転速度の増大とともに、速度こう配が急になっている原因の1つは、最下部の風速計が風速の増大とともに、かなり波をかぶるようになったためである。

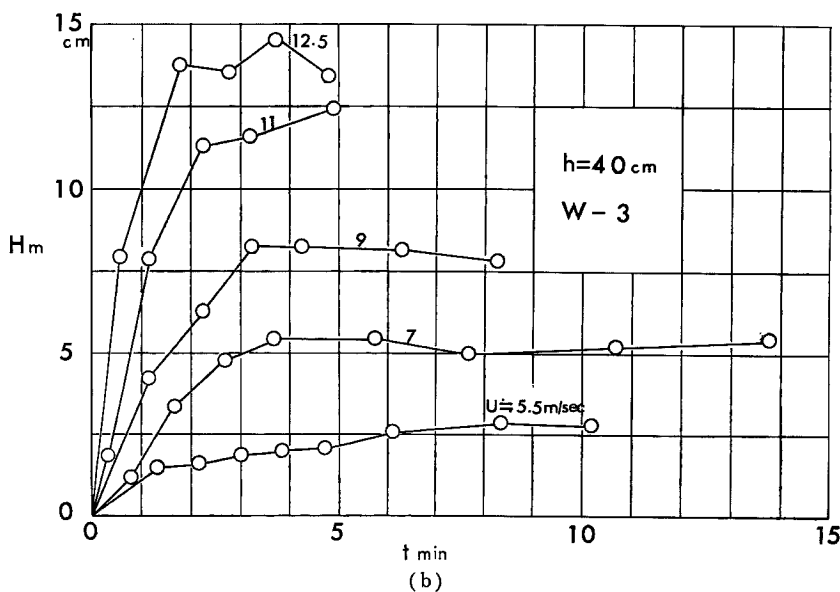
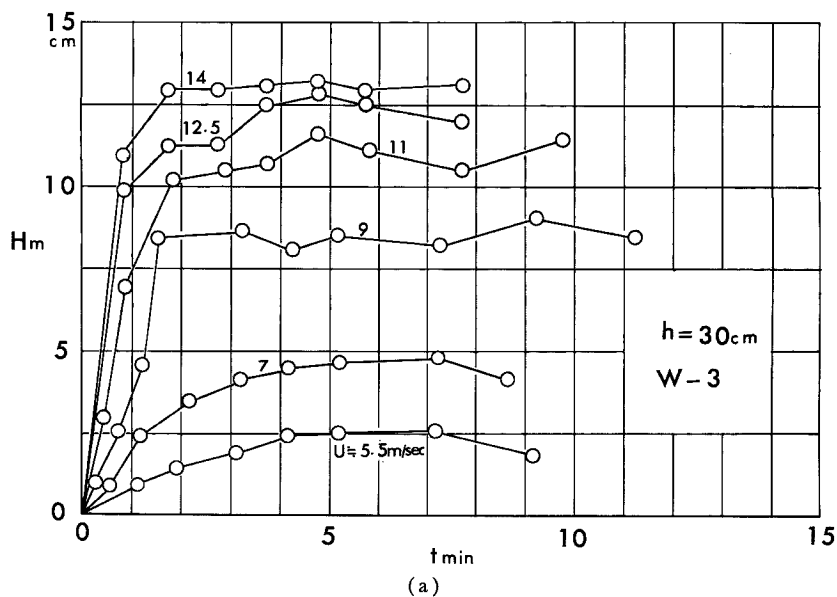


Fig. 4 Growth of mean wave height with duration time.

つぎにこの風洞を用いて発生させた風波の発達特性について検討しよう。**Fig. 4** は風速を種々変化させて発生させた風波の発達特性を示し、縦軸には平均波高を、横軸には吹送時間を用いた。記録の処理にあたっては、問題もあるが、非定常な風波を対象としたため、記録より 30 波を読みとり、その平均値を用いた。これらの図によれば、低風速の場合も風波が非定常である時間は、きわめて短いようであって、5 min ~ 6 min で一定値に近づき、ほぼ定常状態とみなしうるのである。また風速の増大とともに、波高がほぼ一定に近づく時間は急速に短くなっている。**Fig. 5** は **Fig. 4** で述べた記録のうち非定常な発達過程にある風波をスペクトル解析したものであるが、非定常な発達過程においても見掛け上、いわゆる fully developed wind waves のスペクトルとあまり変わらないようであって、高周波部分では Phillips⁵⁾ が次元解析的に与

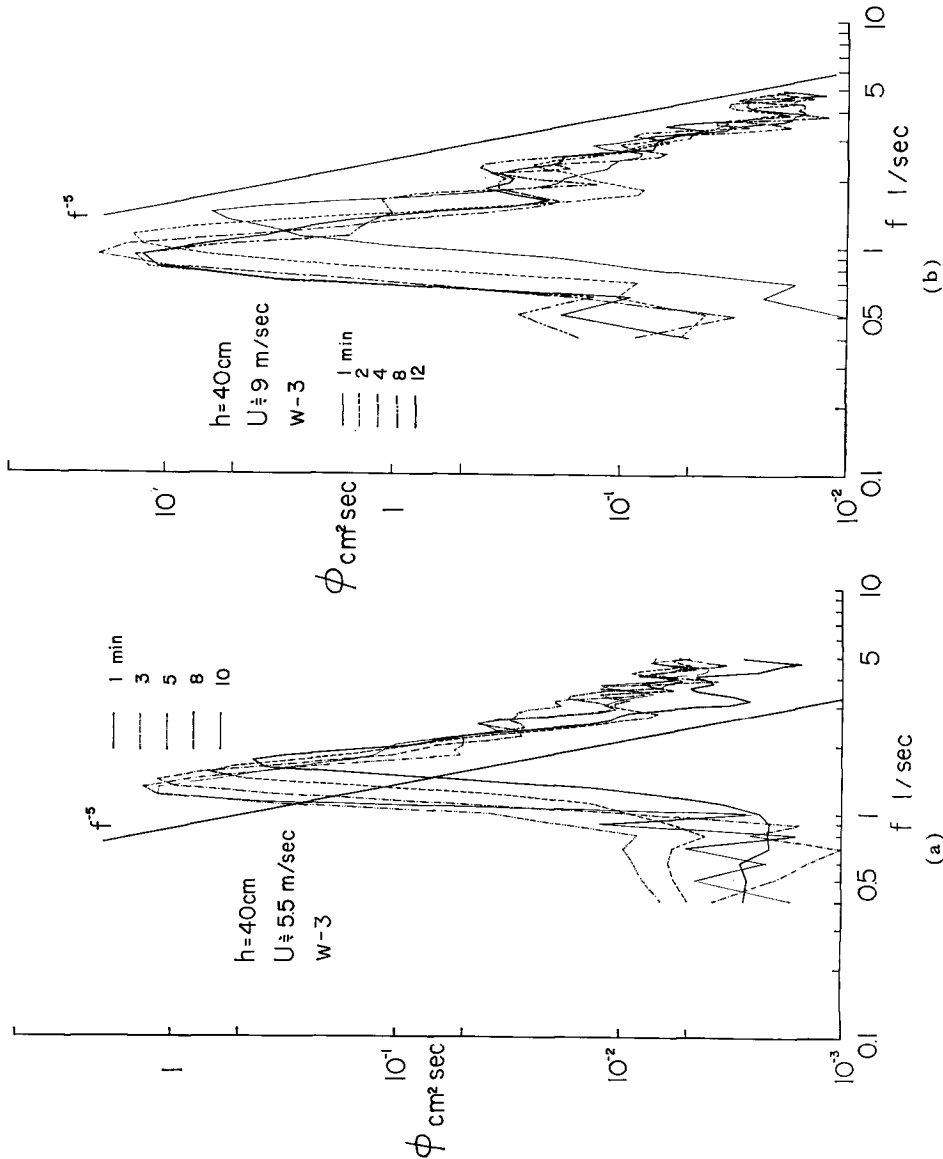


Fig. 5 Growth of wind wave spectra in unsteady state with duration time.

えた f^{-5} 則でよく表示されている。またこの図によれば、吹送時間の増大とともに風波の発達していく様子すなわち中心周波数の減少および風波のエネルギーの増大がよくわかる。なお、計算にあたってはこうした非定常な現象の解析に定常確率過程の手法を適用するのは問題もあるが、解析した記録の時間内では定常状態であるとみなして、通常の Blackman-Tukey の方法によりデータ総数 $N=600$, lag 50, 読みとり間隔 $\Delta t=0.1$ sec とした。自由度は約 23 であり、若干精度が不足していると思われるが、これは非定常過程を議論するので、記録の長さを十分にとれなかったためである。

さて、一般に通常の風洞水槽において起こされた風波の高周波側のスペクトルは f^{-5} よりもこう配が急速である場合が見られるが、この点を検討するため、また Fig. 5 で述べた非定常状態における波のスペクトルと比較するため、波向制御装置を開いて通常の直線風洞水槽と同様の状態にして得られた定常状態の記録のスペクトル図が Fig. 6 であり、このうち (a) は吹送距離を、(b) は風速をパラメーターにしたものである。計算では $N=1200$, log 50 とし、自由度約 48 である。図によれば、Fig. 6 の場合もスペクトルの高周波側は f^{-5} 則でよく示されていることがわかるが、さらに注意すべきことは湾曲部より送風機側の吹送距離

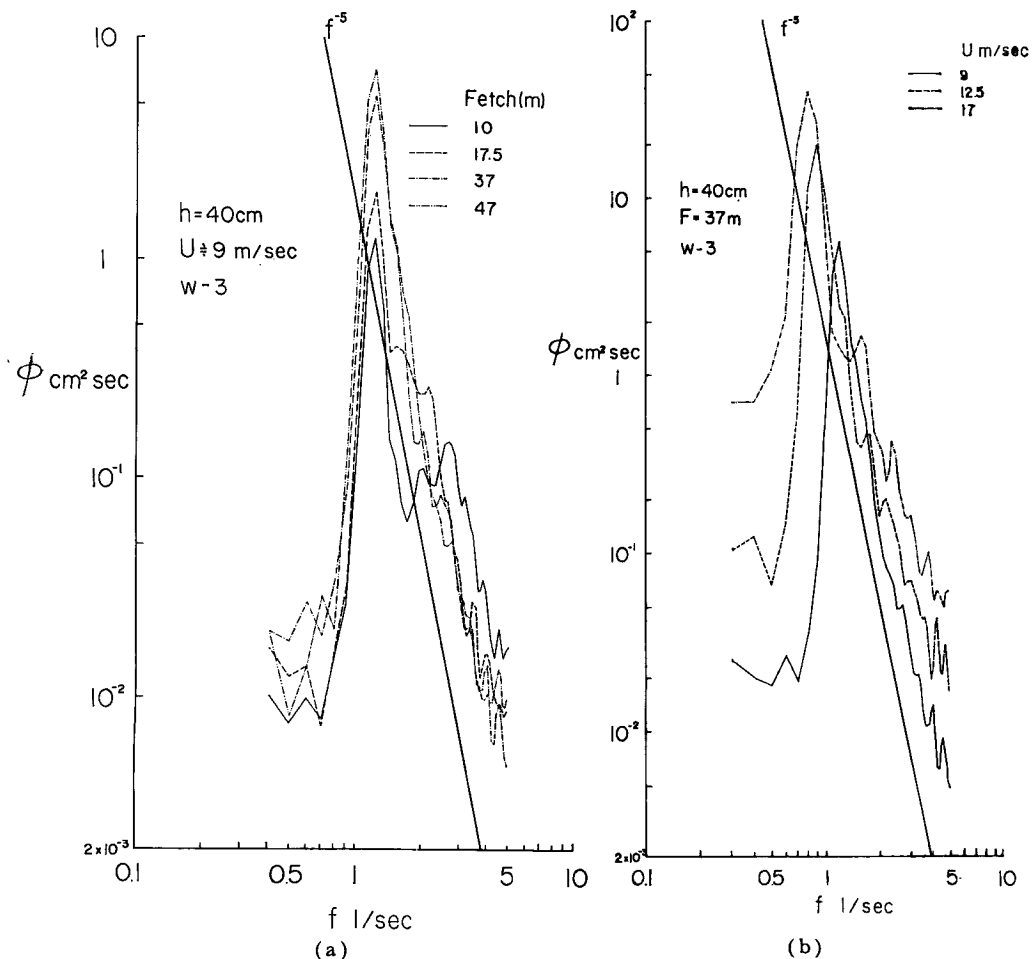


Fig. 6 Growth of wind wave spectra in steady state with fetch.

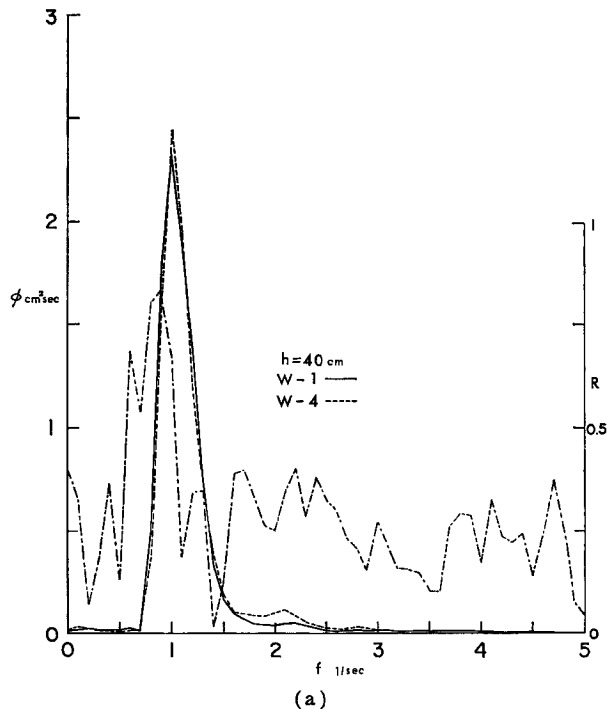
$F=10$ および 17.5 m の地点におけるスペクトルにおいて、中心周波数部分のエネルギー密度に比べて、高周波側のその占める割合が大きいくことである。これは前述の風速部分とも対応してこの風洞水槽の特性とも考えられるが、詳細は不明である。また (b) では風速の増大とともに波の非線型性が卓越する様子がよく示されている。

4.2 円弧部分の発達特性に及ぼす影響

この風洞は Fig. 1 に示したように2つの円弧部分を備えており、これが風波の発達特性にどのような影響を及ぼすかを調べる必要がある。従来曲線部を通過する波の変形の問題についてはその研究例が少ないが、そのうち、(定常波の場合であるが) Johns⁶⁾ の結果によれば、波の周期が短くなるにつれ、水路軸と直角方向の水位変動が卓越するようになることである。しかし、本実験ではその現象は顕著には見られなかった。つぎに、円弧部分および送風機の風波に及ぼす影響を波のスペクトルの観点から示したのが Fig. 7 である。図中 W-1, ..., W-4 は Fig. 1 に示された波高計の設置位置であり、実線および点線はそれぞれの波高計で得られたパワースペクトルを示し、1点鎖線はそれらのコヒーレンスである。Fig. 7 によれば、風波のスペクトルは高周波側では若干異なるが、全体的にはほとんど同じ形をしており、円弧部分および送風機の影響をあまり受けないようである。しかし両者の関係を示すコヒーレンスの値は中心周波数より低周波側の1点を除いてきわめて小さく、両者の線型的な関係がほとんどないことを示しており、この点がこの風洞の特性とも考えられるが、解析例が少なく、さらに詳細な検討が必要であろう。

4.3 発生波の特性

Fig. 8 は風洞水槽内の発生波の特性を調べるため、有義波高などの波の統計量と Longuet-Higgins⁷⁾ が定常確率過程と狭帯域のスペクトルとを仮定して求めた理論式とを比較したものであり、図中の白丸は波向制御装置を開いた通常の直線風洞水槽と同じ定常状態の波の場合であり、黒丸はそれを閉じた状態での非定常状態の波をあらわす。解析に使用した波の数は90波である。これらの図から、波高の小さいときは見掛け



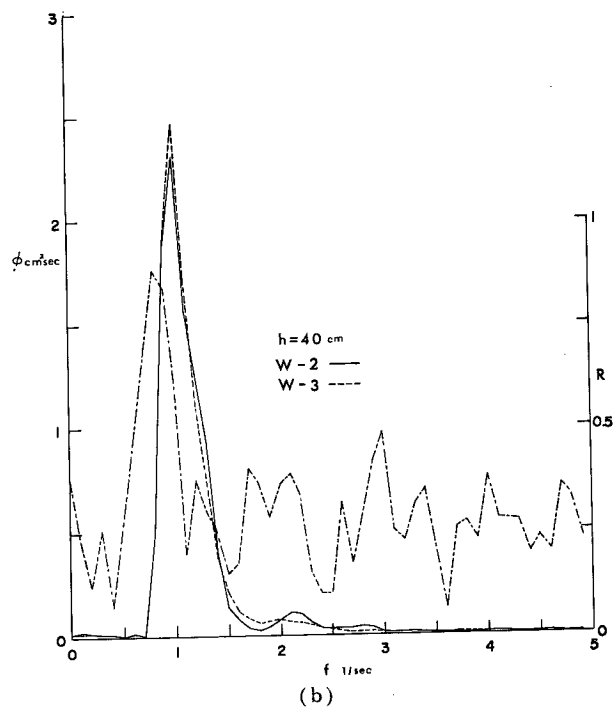
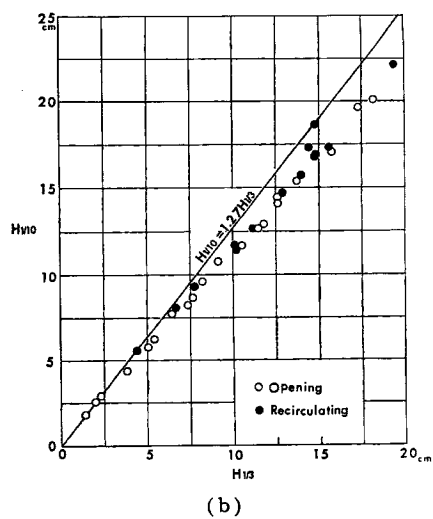
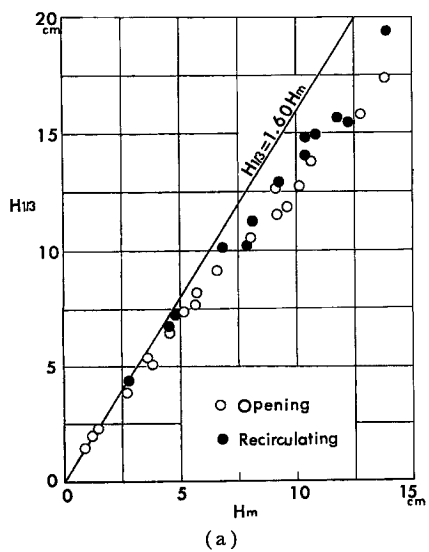


Fig. 7 Modification of wind wave spectra by curved channel and blower.



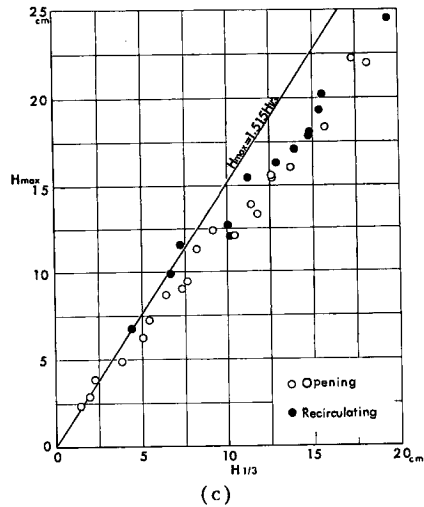


Fig. 8 Comparison between theoretical curves by Longuet-Higgins for $H_{1/10}$, $H_{1/3}$ and H_m and experimental values.

上実験値と理論曲線との対応はよいが、波高が増大するにつれ、実験値は理論曲線よりかなり下にくるようになる。この現象は Colonell⁸⁾ の実験をはじめとして、いくつかの風洞水槽実験においても見られ、この理由として実験風波が Rayleigh 分布より正規分布に近い性質をもっているためとされているようである。また、実験値をよく注意してみると、非定常状態での波は定常状態の波に比べて、若干理論曲線に近いようにも思われるが、資料の数が十分でないため、詳細はわからない。つぎに Figs. 9 および 10 は吹送時間を十分長くにとってほぼ定常状態と考えられる風洞水槽内の発生波 (generated waves) と波向制御装置を開いて直線水槽に取り出した波とを比較し、その特性の変化を調べたものである。図中の点線は 1 対 1 の対応をなす直線であり、実線は実験値に基づいてひいた generated waves の波高と直線水槽部にとりだした波高の関係である。なお、記録の解析では風洞内に含まれている波の数の制約のため 60 波としている。これらの図によれば、底面および側面の摩擦およびその他の原因によるエネルギー損失のため、波高は減少して

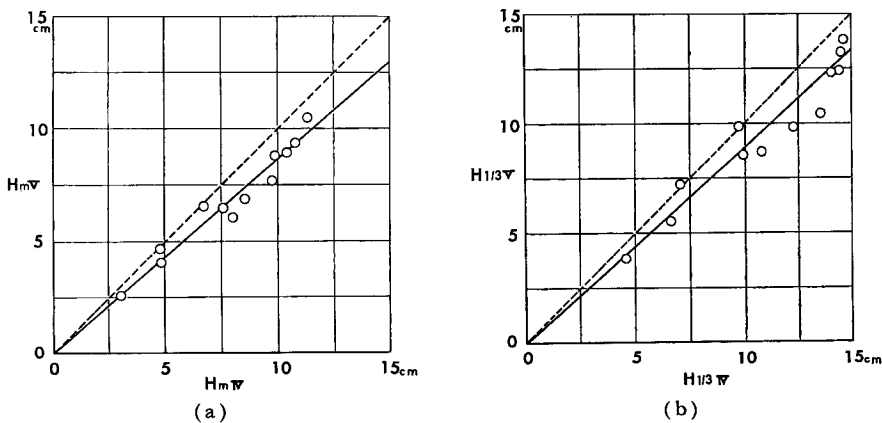


Fig. 9 Comparison between wave characteristics obtained by significant wave method at W-4 and W-5 in quasi-steady state.

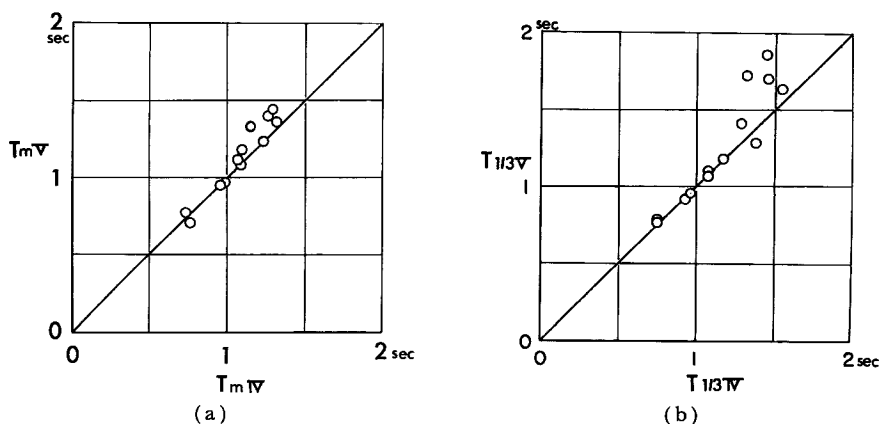


Fig. 10 Comparison between wave characteristics obtained by significant wave method at W-4 and W-5 in quasi-steady state.

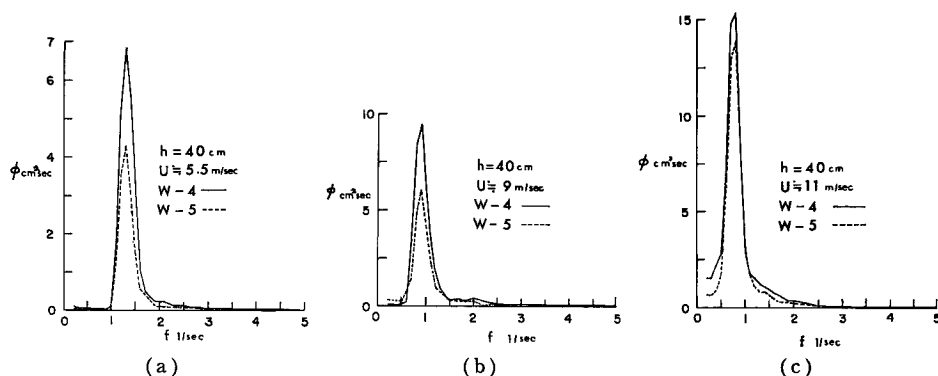


Fig. 11 Comparison between wind wave spectra in quasi-steady state at W-4 and W-5.

いるが、周期に関してはあまり変化していないことがわかる。また、**Fig. 11** はスペクトルの形で示した generated waves と直線水槽に取り出した波との関係であるが、風速の小さい場合には、相対的にエネルギー損失が大きく、エネルギースペクトルの減少は大きい、全体的な形はそれほど変化していないようである。以上の図は風洞内で吹送時間が十分長くほぼ定常状態と考えられる波の場合である。**Fig. 12** は風速を一定にして、吹送時間を種々変えて非定常状態での波を直線水槽部に取り出したときの **Figs. 9** および **10** と同様の図であるが、非定常状態の波においても、定常状態のそれに比べて顕著な差はないようであり、むしろ波高の減衰の割合が小さいようにも見える。さらに、**Fig. 13** は風洞水槽内で生成された不規則波の内部機構を調べるために示した水位変動および波圧のパワースペクトル図であり、図中の実線および点線はそれぞれ水位変動および波圧のパワースペクトルを示し、1点線は両者のコヒーレンスである。また (a) は波向制御装置を開いた場合であり、(b) はそれを降した場合である。(計算では $N=1200$ 個, lag 50 とした。) 周知のように、両者のスペクトルは中心周波数付近ではその形がきわめてよく類似しており、圧力計の応答性の良好であることを示しているが、高周波側ではその応答性が悪く、波圧のスペクトルは水位変動のそれに比べて、かなり小さくなっている。また注目すべきことは両者のコヒーレンシーであって、(a) の場合、中心周波数付近ではコヒーレンシーの値が1に近く、両者の関係が密接であることを示しているが、(b) の場合には **Fig. 7** で見られたように、両者のパワースペクトルが中心周波数近傍ではきわめてよく似

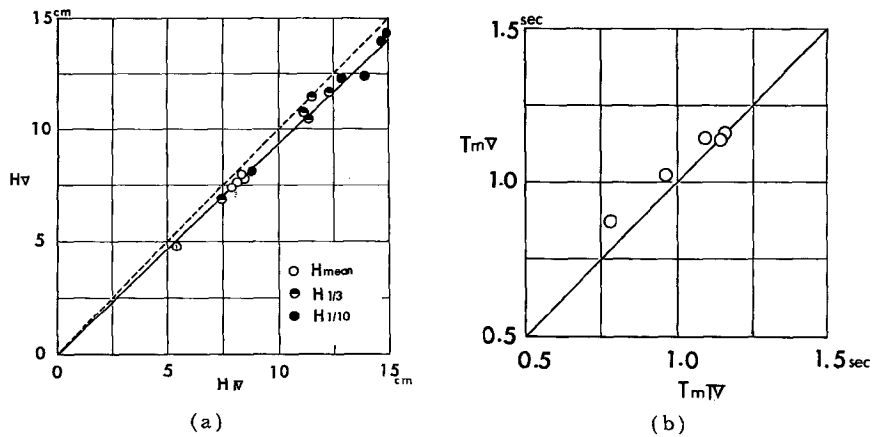


Fig. 12 Comparison between wave characteristics obtained by significant wave method at W-4 and W-5 in unsteady state.

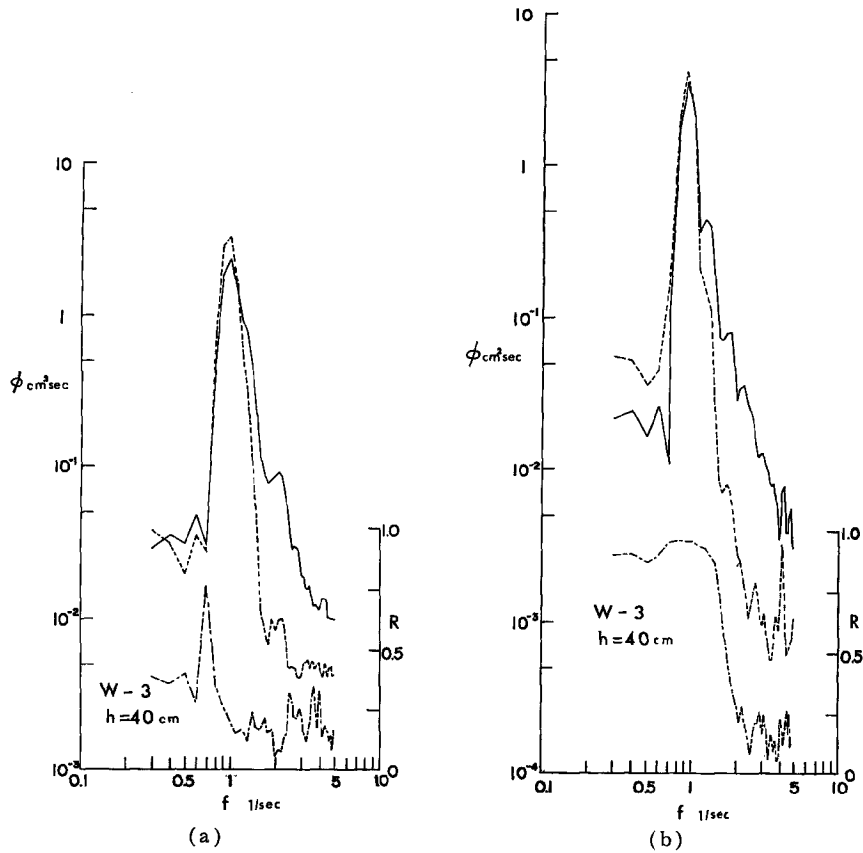


Fig. 13 Spectra of wind waves and wave pressure in quasi-steady and steady state.

た形をしているのに対し、中心周波数より低周波側の1点を除き、コヒーレンスの値がきわめて小さく、両者の対応関係がきわめて悪いことを示している。この理由は全く明らかでないが、本装置のような循環式の風洞水槽の特性とも考えられ、この点について今後の検討が必要である。

4.4 造波機による long-crested random waves およびその波圧の特性

Fig. 14 は風洞水槽に備え付けた造波機により起こした比較的周期の長い規則波の上に風波を重ね合わせたいわゆる long-crested random waves およびその波圧のスペクトルを示すものである。計算では $N=1200$ 個, lag 50 としている。さて、水位変動のスペクトル図で、低周波側のピークは造波機で起こした波によるものであり、高周波側のピークは風波によるものであることがただちにわかるであろう。波圧のスペクトル

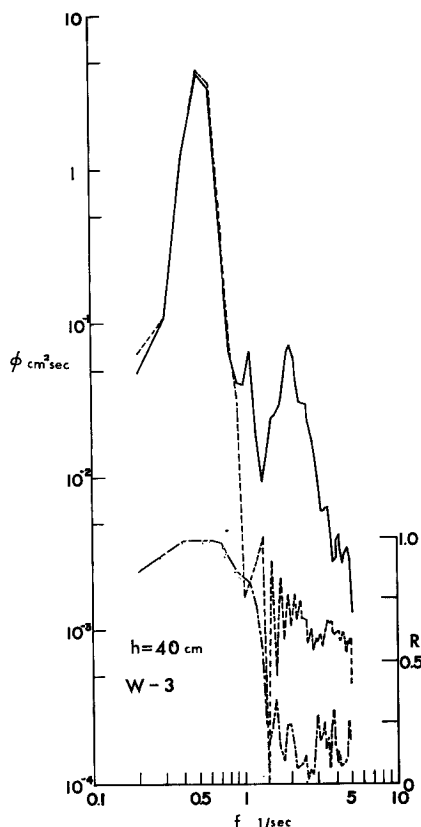


Fig. 14 Spectra of long-crested random waves and their pressure on bottom.

はすでに述べたように中心周波数付近では水位変動スペクトルとよく似た形をしていて、コヒーレンスの値も1に近いが、高周波側ではその対応関係が悪くなっている。さらに Fig. 13 (a) と比較すると明らかなように、波圧計の応答性はある限界の周波数は存在すると思われるが、周波数の領域にかかわらず、水位変動のスペクトルの中心周波数付近で良好であることがわかる。また Fig. 13 も含めて水位変動と波圧のパワーおよびクロススペクトルより圧力式波高計の表面波への変換に用いられる n 値の特性に関する詳細な議論が展開できるが、この点に関してはつぎの機会にゆずることにする。

4.5 風波の減衰特性

Fig. 15 は風洞水槽内で吹送時間を長くにとって波を十分発達させた状態で、送風機のスイッチを切った後の風波の減衰特性を示すものであるが、エネルギーの供給がなければ、風波の減衰はかなり急速であり、とくに波高の大きい場合にはその傾向が著しいことがわかる。なおこの場合解析した波の数 は 30 波である。

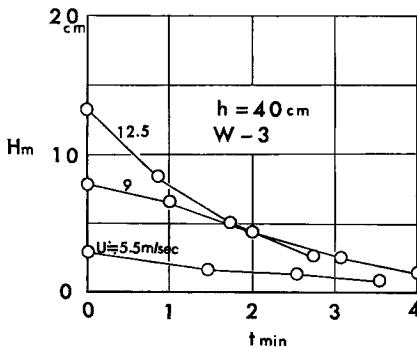


Fig. 15 Damping characteristics of wind waves.

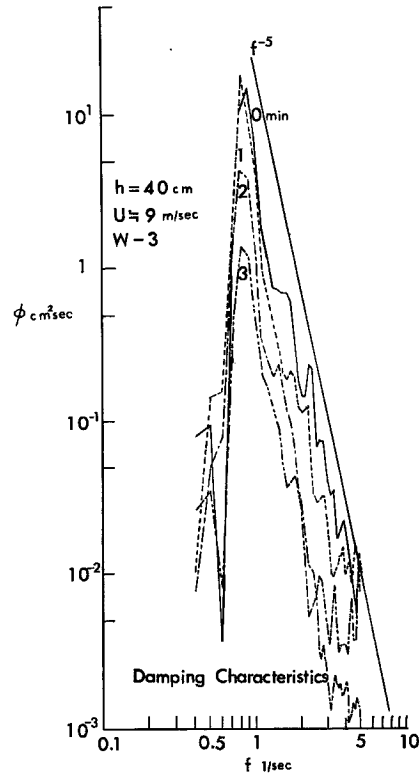


Fig. 16 Damping characteristics of wind wave spectra.

Fig. 16 はそうした場合の 1 つをスペクトル解析したものである。計算では $N=600$ 個, $\text{lag } 50$ としている。この図から減衰状態での風波は発達状態での風波と異なって中心周波数は全く変わらず、また中心周波数付近から高周波側にかけて全体的にエネルギーの逸散が現れているが、なお高周波では f^{-5} 則でよく近似されることがわかる。

5. 本装置の適用性と問題点

以上、この海岸波浪シミュレータの 2, 3 の特性について述べた。必ずしも十分その特性を究明できたわけではないが、ここではこの装置の適用性について簡単に考察してみたい。

5.1 適用性と発生方法

前述したように、本装置において発生される風波はいうまでもなく非定常な波であるために、定常状態の波の特性とかなり相違するものと考えられたが、大きな問題もなく海岸波浪のシミュレーターとして使用できると思われる。しかし、吹送時間を長くしたり、また風速が大きい場合には、吹送流が発達し、かなりの流れが発生するので、あまり風速を大きくして使用する場合には問題がある。これに対して、送風機や湾曲

部が風波の発達に及ぼす影響は、さほど大きくないようであって、このような回流式の風洞も大いに実用に供しうるものと考えられる。しかし、現状では送風機の吐出口付近での風速分布の歪が若干大きいようであるので、風波に関する研究においては、小規模の改造を必要とするであろう。

一方、本シミュレーターの操作方法においては、前述したように発生する風波が非定常であるために、どうしても任意の時間における風波のスペクトル特性を知る必要があるので、たとえばリアルタイムのスペクトルアナライザーを直結して制御する必要があると考えられる。しかし、与えられた水深に対して、種々の条件のもとに発生した風波の特性を前述したような方法によって調べておけば、限られた範囲内では十分不規則波を発生させることができると考えられる。

5.2 問題点

風速の大きい場合には、水槽内にかなり強い吹送流が発生することを述べてたが、この流れの存在によって風波の発達特性がどう変化するかを、さらに詳細に調べて、その適用限界を明らかにしておく必要がある。もっとも、この現象を利用すれば、大きな風波による吹送流に関する研究も実施できるものと考えられる。

6. 結 語

以上、海岸波浪をシミュレートした不規則波の発生装置として、ドーナツ型の風洞水槽を利用した装置を試作したので、その2, 3の特性とともに、この発生方式について若干の考察の結果を述べた。操作方法やあるいはこの装置の適用限界など、さらに使用にあたってあらかじめ説明しておかなければならない諸現象も少なくないが、この方法で発生した波はあくまで風波であって広い周波数範囲にわたって、海岸波浪をシミュレートできるものと考えられるので、今後この装置を大いに使用して、海岸工学上の諸問題の究明につとめ、海岸災害の防止に役立てるつもりである。

最後に、本装置は文部省一般研究費によって試作されたものであり、研究分担者としてご指導ご協力を賜った石原教授、矢野名誉教授、岩垣教授、樋口助教授および鳥取大学工学部の野田教授に謝意を表明するとともに、実験結果の解析において熱心に助力していただいた岡本義夫補佐員の労に感謝する。なお、この特殊な風洞の設計および製作に協力された正豊工学実験装置製作所長に謝意を表明したい。

参 考 文 献

- 1) 岩垣雄一・村上仁士・酒井哲郎・木村 晃：電気油圧式不規則波発生機について，第17回海岸工学講演会論文集，昭45. 11, pp. 409-414.
- 2) 合田良実・永井康平：造波板の変速運動による発生不規則波のスペクトルについて，運研報告，第8巻，第3号，昭44. 9, pp. 47-75.
- 3) 富永正照・橋本 宏：造波機による不規則波の発生，第17回海岸工学講演会論文集，昭45. 11, pp. 415-419.
- 4) Schulejkin, W.W.: Theorie der Meereswellen, Akademie-Verlag, Berlin, 1960.
- 5) Phillips, O. M.: The Equilibrium Range in the Spectrum of Wind-Generated Waves, Jour. Fluid Mech., Vol. 4, 1958, pp. 426-434.
- 6) Johns, B. and A. M. Hamzah: Long Standing Waves in a Curved Channel, Jour. Fluid Mech., Vol. 34, Part 4, 1968, pp. 759-768.
- 7) Longuet-Higgins, M. S.: On the Statistical Distribution of Height of Sea Waves, Jour. Mar. Res. Vol. 11, No. 13, 1952, pp. 245-266.