

平面水槽の造波特性に関する研究

Experimental Studies on Characteristics of Regular and Irregular Waves in a Wave Basin

福本 正* 多田 彰秀**
 Tadashi Fukumoto Akihide Tada

要 約

弊社技術研究所水理実験棟内の平面水槽には、規則波および不規則波を発生することの可能なピストン型造波機3基が設置されている。本研究では、これらによって造られる規則波および不規則波の基本特性を明らかにするために基礎的な水理実験を行った。本報ではその結果について報告するものである。まず、予備実験を行い計測領域の絞り込みと造波条件の設定を行った。ついで、規則波実験より、入力条件と発生波の平均波高との関係を明らかにした。さらに、不規則波の実験も行い、構造物の有無によるスペクトル特性の変化についても考察を加えた。その結果、今後行われる予定の各種消波構造物等に関する水理模型実験の際に有効な情報になるとと思われる平面水槽の造波特性を明らかにすることができた。

目 次

- §1. 緒論
- §2. 計測条件の設定
- §3. 規則波に関する検討
- §4. 不規則波に関する検討
- §5. 結論

§1. 緒論

21世紀に向けた海洋空間の有効利用およびそれに伴う技術開発が積極的に推進される中、水理模型実験の果たす役割はまだまだ大きいものと考えられる。すなわち、複雑な境界条件を有するような場合、対象とする水理現象の挙動を把握しやすいこと、さらには対策工の直接的検討が可能なことなど多くの利点を有しているからである。

さて、弊社技術研究所水理実験棟内に設置された平面水槽 (Fig. 1 参照) を用いて波浪実験を行う際には、あらかじめ造波機の特徴、導波板の影響および消波装置の効果など水槽の有する造波特性を十分に理解しておく必要がある。本報では、まず予備実験から入力電圧と造波

機ストローク (振幅の2倍) の関係を明らかにするとともに、規則波の計測条件を設定する。ついで、この計測条件の下に規則波を造波させ、平均波高と入力電圧の関係を見出している。さらに、これらのパラメータを用いて造波機の理論式および理論波形との比較検討を行っている。最後に、不規則波実験より構造物の有無による目標スペクトルと発生スペクトルの比較検討を行い、若干の考察を加える。

§2. 計測条件の設定

予備実験として Table 1 に示す入力条件の下で規則波を造波させ、目視による発生波の観察を行った。同時に造波機のストローク (S) を測定するとともに、Fig. 1 中の A 点において発生波を計測し、平均波高 (H_s) を求めた。なお、本研究で行ったすべての実験において水深 (h) は50cmとした。

Table 1 入力条件

入力電圧 (v)	0.5 ~ 3.0, 間隔0.5
入力周期 (s)	0.8 ~ 2.0, 間隔0.2

*技術研究所海洋技術課

**技術研究所海洋技術課係長

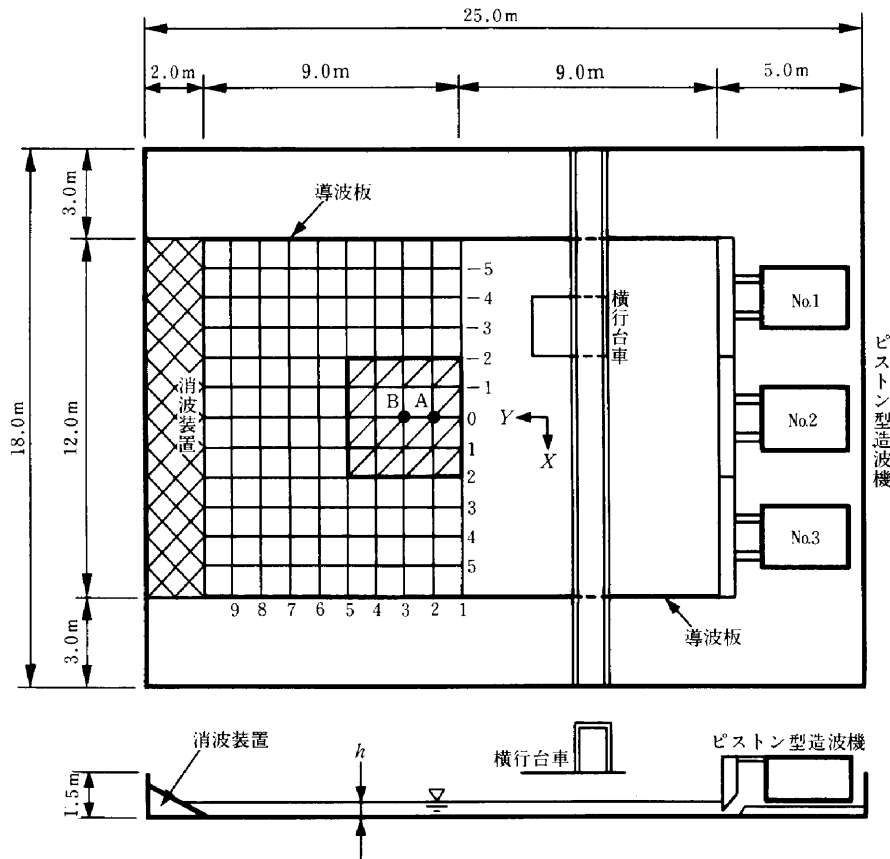


Fig.1 平面水槽の概略図

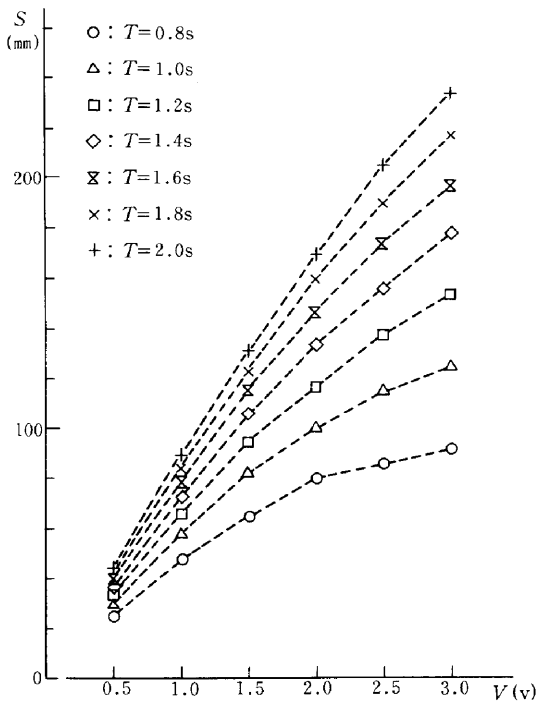


Fig.2 造波機ストロークと入力電圧の関係

2-1 入力電圧と造波機ストロークの関係

Fig.2は、造波機ストロークと入力電圧 (V) の関係を示したものである。ストロークと電圧との相関関係は、周期 (T) が大きくなるにつれて良好になり、比例関係が成立する領域も増大する傾向にある。

2-2 計測条件の設定

目視観測より、導波板から約3mまでの範囲では水槽中央部よりも波が遅く伝播することがわかった。また、消波装置付近では、反射の影響のため擾乱が起きることも確認された。さらに、計測地点によっては入力周期(波長)が大きくなると、計測中の発生波に消波装置からの反射波や造波機からの再反射波を含んでしまうことも明らかとなった。以上のようなことを考慮して、規則波の計測可能領域を Fig.1 中の斜線部分 (X=-2~2, Y=1~5, 以後計測領域と呼ぶ) に設定した。なお、入力周期が1.0s以下の場合あるいは入力電圧が2.5V以上の場合では、波が進行波となり得なかったり、砕波が発生する場合があることもわかった。さらに、入力周期が2.0s以上の場合には、非線形性の卓越した二次波が発生することも確認された。

Fig.3は、平均波高(Hs)と入力電圧の関係を示したものである。入力電圧が大きくなるに従って両者の相関は

悪化の傾向にある。特に、入力周期が0.8sあるいは2.0sの場合の相関関係は悪化し、目視観測より確認されたこととほぼ一致した結果が得られた。これらのことより、規則波の造波可能な入力条件(以後、造波条件と呼ぶ)が Table 2 のように再設定された。

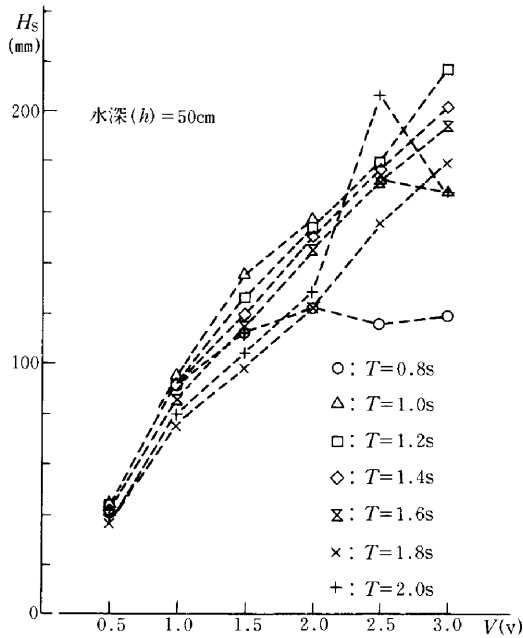


Fig.3 発生波高と入力電圧の関係 (H_s - V)

Table 2 造波条件

入力電圧 (v)	1.0 ~ 2.0, 間隔 0.5
入力周期 (s)	1.2 ~ 1.8, 間隔 0.2

§ 3 . 規則波に関する検討

3-1 入力電圧と発生波高の関係¹⁾

Table 2 に示す造波条件の下で計測領域内の平均波高 (H_a) を求め、これらと入力電圧との関係を示したものが Fig. 4 である。計測領域内の平均量を用いることではばらつきが相殺され、前出の Fig. 3 よりかなり相関関係がよくなっていることがわかる。したがって、Fig. 4 を用いることによって入力条件より発生波高が推定できる。

3-2 ビーセル理論との比較²⁾

一般に、ピストン型造波機における発生波高、ストロークおよび周波数の関係は次式に示すとおりである³⁾。

$$F(h, f) = \frac{H}{S} = \frac{4 \sinh^2 kh}{4 \pi h/L + \sinh 2 kh}$$

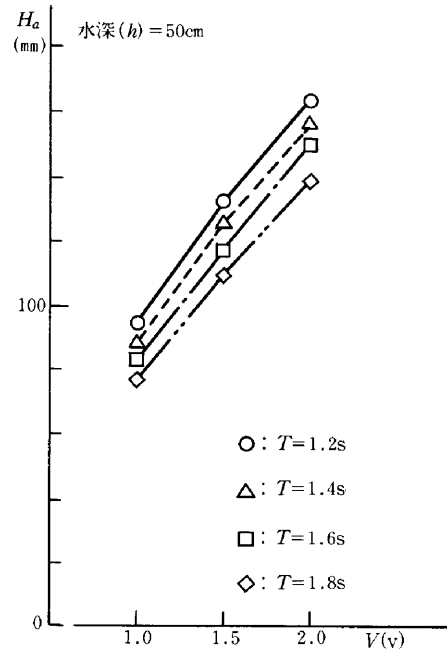


Fig.4 発生波高と入力電圧の関係 (H_a - V)

ここで、 $k (=2\pi/L)$: 波数、 H : 発生波高、 S : ストローク、 L : 波長、 h : 水深 (50cm)、また f は周波数で波長の中に間接的に含まれている。

Fig. 5 は、予備実験の際に得られた平均波高と造波機のストロークとの比 H_s/S をビーセル理論曲線と比較したものである。周波数が1.0Hzより大きい範囲(周期 $T \leq 1.0s$) では、実測値は理論曲線より下まわり、その

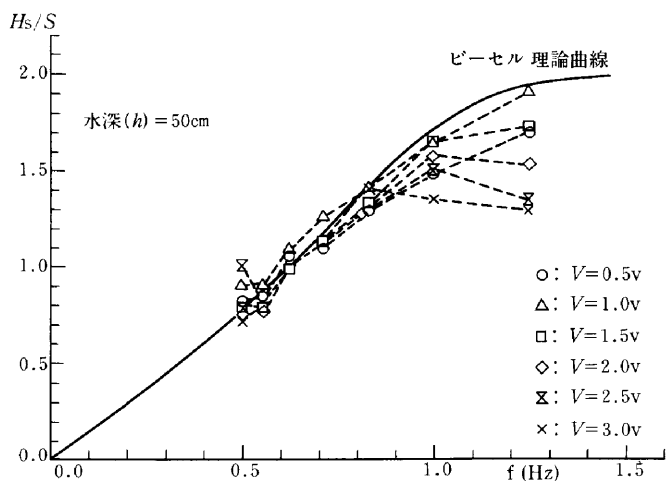


Fig.5 実測値 (H_s/S) と理論式 (H/S) との比較

ばらつきも大きくなっている。これは、造波機の動きに水粒子が追従できず、造波直後に碎波して擾乱が起き、発生波高が小さくなったものと考えられる。

次に、Table 2 に示された造波条件のもとで、計測領

域内の平均波高とストロークの比 H_a/S を理論値と比較したものが Fig. 6 である。ばらつきがほとんどなく、理論曲線とよく一致していることが認められる。

3-3 理論波形と発生波形についての考察⁴⁾

造波条件の下に計測された波は、すべて碎波限界内に含まれている。また、そのほとんどが有限振幅波の範囲である。さらに、水深波長比 (h/L) が $1/2$ 以下であるため、計測された波はすべて浅水波であると判断される⁵⁾。

そこで、入力電圧 $V=1.5\text{v}$ 、入力周期 $T=1.4\text{s}$ の造波条件の下で規則波を造波させ、Fig. 1 中の A 点において計測される波形を、微小振幅波である Airy 波、有

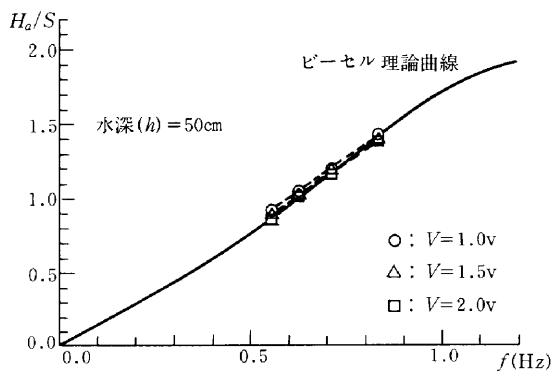


Fig.6 実測値 (H_a/S) と理論式 (H/S) との比較

限振幅波である Stokes 波および Cnoid 波の 3 種類の理論波と比較した。ここで用いた波形は、消波装置からの反射の影響が極めて少ないと思われる計測開始後から 3 波目の 1 周期分である。なお、Stokes 波としては第 3 近似解を、Cnoid 波としては第 2 近似解を採用した⁶⁾。

Fig. 7 (a)~(c) は各理論波と発生波を比較したものである。それぞれ実線は計測した発生波、破線は理論波を示している。適用限界から判断しても明らかではあるが、Fig. 7 (a) に見られるように発生波は Airy 波とは波形がほとんど一致していない。一方、Fig. 7 (b) および (c) から、発生波は Cnoid 波よりも Stokes 波とよく一致していることが確認される。なお、他の造波条件でも比較したところ、Fig. 7 と同様に Stokes 波と最もよく一致している。したがって、先の造波条件の下に計測された発生波はほとんどが Stokes 波に近い波であることが確認された。

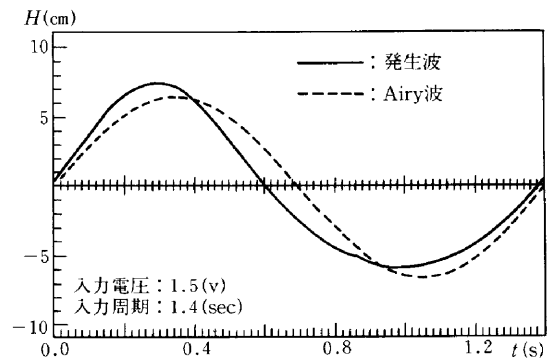
§ 4 . 不規則波に関する検討^{7), 8)}

4-1 目標スペクトルと発生スペクトルの比較

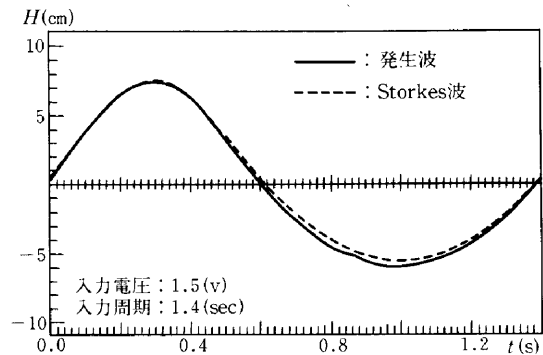
不規則波を発生させる際の目標スペクトルとしてプレットシュナイダー・光易型の周波数スペクトルを採用し、Table 3 に示す 2 ケースについて不規則波を造波させた。計測方法は波高計を Fig. 8 に示すように設置し、造波した波がほぼ安定したと思われる第 3 波目から計測を開始した。計測時間は約 40s (サンプリング間隔: 0.02s, データ数: 2048 個) とした。

Table 3 不規則波造波条件⁹⁾

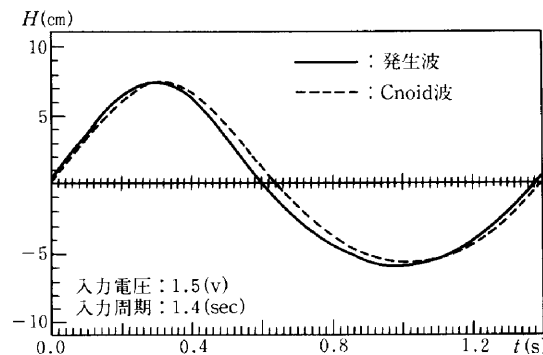
	有義波高 ($H_{1/3}$)	有義周期 ($T_{1/3}$)
case 1	8.0 cm	1.2 s
case 2	10.0 cm	1.4 s



(a) Airy波との比較



(b) Stokes波との比較



(c) Cnoid波との比較

Fig. 7 発生波と理論波との比較

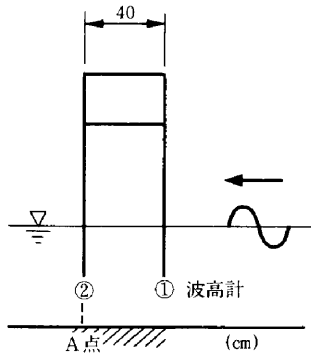


Fig.8 波高計設置状況

また、計測結果を入・反射波分離解析し、得られた入射波スペクトルを用いて、入力信号の補正計算を5回行った。なお、解析時の時間間隔は、目標波および発生波ともに0.1sとした。

作成した入力信号によって不規則波を造波させ、計測された不規則波の入射波、反射波スペクトルと目標スペクトルを比較したものが Fig. 9 である。両ケースとも有義周期に対応する周波数域で目標スペクトルを十分に再現していることが確認できる。また、消波装置からの反射率も比較的小さいことがわかった。

4-2 逆T型直立構造物設置についての考察

計測領域中央部 (Fig. 1 中の B 点) に逆 T 型直立構造物 (高さ100cm, 幅80cm, 厚さ5cm, 鋼製) を設置し、構造物からの反射波および回折の影響を把握するために実験を行った。なお、計測方法、計測時間および解析方法は4-1と同様とした。

Fig. 10 に構造物および波高計の設置状況を示す。得られた計測結果を入・反射波分離解析し、スペクトル解析した。また、構造物後方における波の伝播状況についても目視観測を行った。

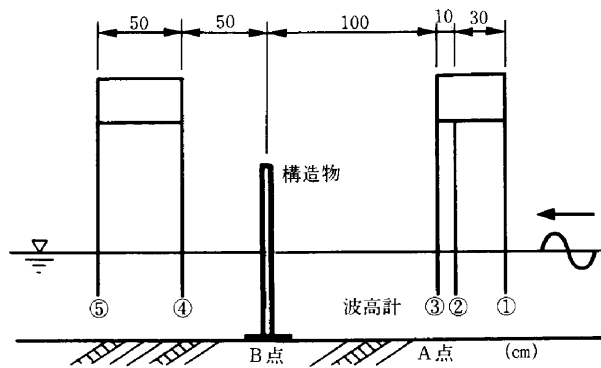
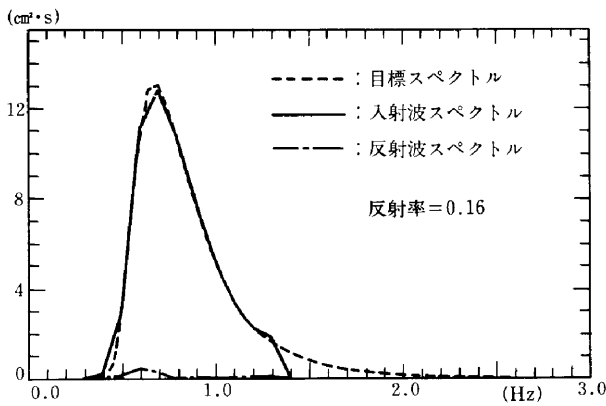
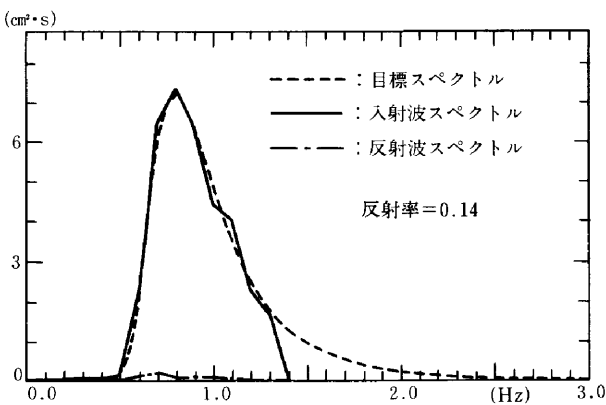


Fig. 10 構造物および波高計設置状況



(a) case 1 ($H_{1/4} = 8.0\text{cm}$, $T_{1/4} = 1.2\text{s}$)

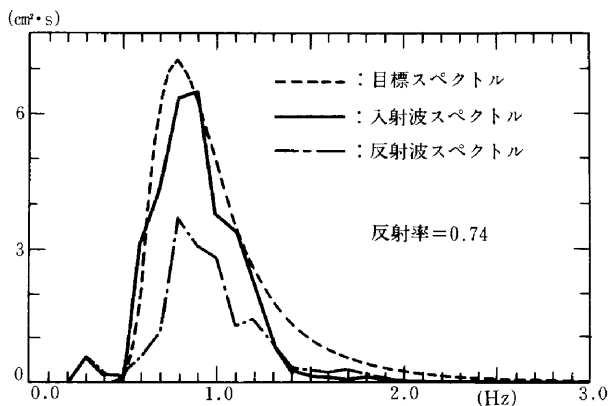


(b) case 2 ($H_{1/4} = 10.0\text{cm}$, $T_{1/4} = 1.4\text{s}$)

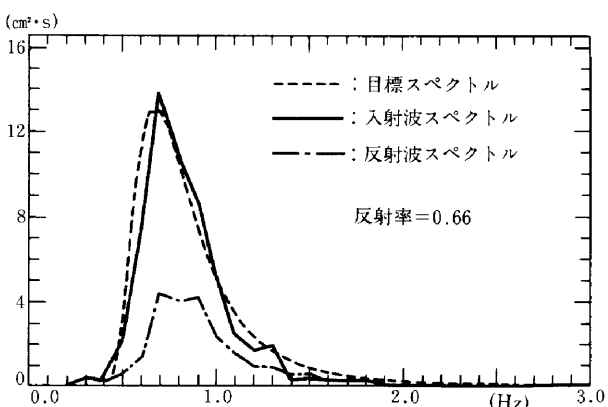
Fig.9 不規則波のスペクトル特性

Fig. 11 はこの時の入射波、反射波および目標スペクトルを示したものである。両ケースとも入射波スペクトルは目標スペクトルとほぼ一致している。しかし、反射波スペクトルは Fig. 9 と比較すると、有義波高の周波数域においてかなり大きくなり、反射率も増大した。また、統計解析の結果に基づけば、case 1 の場合、構造物前面 (波高計①) の有義波高に対して構造物背後 (波高計⑤) での値は約30%減少している。一方、case 2 の有義波高の減少率は約15%と小さく、波数も減少していることが確認された。なお、case 2 では構造物前後において計測された一波一波の波高および周期の分布特性にかなりの相違が認められた。

さらに、目視観測の結果によれば、構造物背後では構造物両端からの波の回折による擾乱が発生していた。特に、case 2 ではその影響が大きく、case 1 に比べ波高の減少率は小さいものの、波の乱れ方が著しいこともわかった。また、波数が減少していることから推測できるように、当初造波させようとした波とは全く異なる特性を有した波が生じているものと考えられる。



(a) case 1 ($H_{1/3}=8.0\text{cm}$, $T_{1/3}=1.2\text{s}$)



(b) case 2 ($H_{1/3}=10.0\text{cm}$, $T_{1/3}=1.4\text{s}$)

Fig. 11 不規則波のスペクトル特性 (構造物設置時)

§ 5 . 結論

本研究で得られた結果を規則波および不規則波についてまとめると以下のようになる。

(1) 規則波について

①入力電圧と造波機のストロークとの関係は、比例関係にあることがわかった。なお、その勾配は、入力周期によって変化すること、入力周期が大きくなるに従って比例関係の成立する範囲も増大することが明らかとなった。

②入力周期が1.0s以下の場合碎波することが、また入力周期が2.0s以上の場合には非線形性の卓越した二次波の発生が確認された。そのため、入力電圧と発生波高との相関関係は好ましくない結果となった。

なお、Table 2の造波条件下で求められた計測領域内の平均波高 (H_a) と入力電圧との相関は極めて良好な関係であることが明らかになった。

③計測領域内の平均波高 H_a と造波機ストローク S との比 H_a/S は、ビーセル理論曲線とよい一致を示し

た。したがって、ストローク S を媒介として発生波の波高についても予測が可能となった。

以上のことから、先に設定した造波条件および計測領域は妥当であったことが改めて明確になった。

④波形について発生波と3種類の理論波との比較を行った。その結果、発生波はStokes波に近い波であることが明らかとなった。

(2) 不規則波について

①入力信号の補正計算回数は多いものの、目標とする不規則波を十分に再現できる入力信号が得られた。

②構造物を設置した場合、反射波スペクトルが大きくなるとともに、反射率も大きくなった。また、回折などの影響のため構造物後方では波が乱れ、特に有義波高が大きい場合、その影響が顕著に現れることが確認できた。

参考文献

- 1) 平口博丸・鹿島遼一：水面波形制御方式による無反射型造波機の不規則性に対する適用性，電力中央研究所報告，U88013，p.47，1988。
- 2) 小森修蔵・田中寛好：外海波浪実験設備における造波特性，第30回年次学術講演会講演概要集，pp.16~17，1975。
- 3) 合田良實：港湾構造物の耐波設計，鹿島出版会，pp.144~153，1982。
- 4) 岩垣雄一・榎木 亨：海岸工学，共立出版，pp.18~130，1979。
- 5) 土木学会編：水理公式集，昭和60年版，pp.82~88，pp.510~512，1985。
- 6) 前出 5)。
- 7) 湊 康裕・水野 晋・金子範彦・多田彰秀・西平福宏：吸収式造波機の基本特性に関する実験，西松建設技報，VOL.13，pp.33~41，1990。
- 8) 前出 4)。
- 9) 前出 3)。