

平塚海岸における長周期波の現地観測

橋本 宏*・山口 修**・宇多高明**・高木守夫**

1. まえがき

砕波帯付近に発達する長周期波の発生機構およびその挙動に関しては、海浜地形、海浜流の発生等に関連して、近年盛んに研究が進められている¹⁾が、これらの長周期波は海洋の代表的波動である風波と潮汐の中間に存在する水面変動であり、しかも両者に比べてその波高がかなり小さいこともあって、これまで注目されることが少なく、その実態には不明な点が多い。また、砕波帯付近における長周期波の発生機構に関する理論的検討は Munk²⁾を始めとしていくつか行なわれているが、そのメカニズムは一義的ではなく、したがって一口に長周期波といってもその発生要因には種々のものが考えられ、その挙動についても様々であると推定される。したがって、これらの現象を解明するためには、現地海岸における長周期波の存在の確認と、その形態、挙動に関する十分な精度をもった観測資料が必要となる。

とういう観点から、外海に面した相模湾の平塚海岸を
 試験海域に選び、昭和 51 年より 4 回にわたって、波浪
 観測、海浜地形調査を行ってきたので、その観測手法
 と解析結果について報告する。

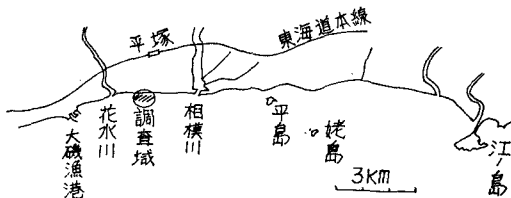
2. 調査方法

観測地点は 図-1 に示す神奈川県平塚海岸である。観測調査はこれまで 1976 年 3 月（第 1 回）、1976 年 11 月（第 2 回）、1976 年 12 月（第 3 回）、1977 年 3 月（第 4 回）の計 4 回実施しており、観測項目は、現地用の携帯式波高計を使用した長周期波観測と海浜地形測量である。長周期波観測においては、汀線と直角および平行方

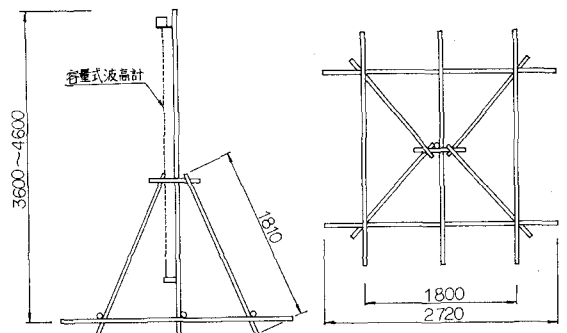
向に、50～100m 間隔であわせて約9台の波高計を設置して、長周期水面変動の平面的な分布特性、沖合方向の波高分布、波浪条件との対応等を観測するものであり、海浜地形測量においては、長周期波との関連を把握することをその目的としている。

2.1 観測方法

砕波帯内における波浪観測法としては、実体写真機を用いる方法³⁾、海中に標尺を立て、それをメモ・モーションカメラに写し込む方法⁴⁾などがあるが、砕波帯という厳しい環境条件のもとで、長時間にわたって精度のよい観測を行なう方法は未だ確立していないと考えられる。今回の現地観測において採用した方法は、昭和49年度より試験的に実施し、順次改良を重ねているものであり、容量式波高計(測定範囲 0~2.4m)を取り付けた架台を、数人のダイバーによって海中に設置し、観測を行なうものである。波高計架台は足場用パイプを現地で組立てるもので、総重量は約 80 kg であり、安定性は非常によい。図-2 に現地用波高計を示す。この方法には、1) 波高計の設置と回収に人手と費用がかさむこと、2) 海中に設置した容量式波高計群の干渉、3) 波高計の耐海水性、容量線への漂着物の処置、4) 設置直後に生じる波高計のレベル変化、5) 接続コードの延長限界(現在のところ 300m が限界である)、耐久性、強度などの問題があり、その中でも特に 2) の干渉の問題、5) の接続コードの耐久性、強度の問題は重要である。第3回観測時においては、全ての波高計が干渉しており、解析には使用不能であった。その原因は検討中であるが、対策とし



圖—1 觀測地點



圖一2 現地用波高計

单位mm

* 正會員 建設省土木研究所海岸研究室長

正會員 建設省土木研究所海岸研究室

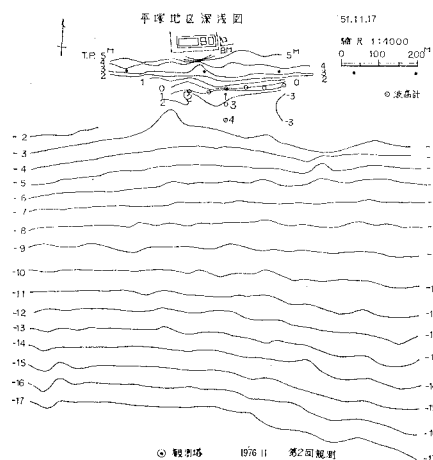


図-3 平面図

では各波高計の先端をそれぞれ単線コードで連結する方法をとっている。この場合には、干渉は生じないが、その作業は面倒であり、また単線コードが切断した場合の処置に問題が残る。また、前述のように、観測では約9台の波高計を設置しているが、観測中に故障するものが多く、通常良好な観測記録がとれるものは4~5台である。この原因は、主として接続コードの耐久性、強度にあると考えられるので、作業性を損なわない範囲で径の大きなものを用いることを検討中である。

このように解決すべき問題点はいくつか残されているが、比較的長時間にわたって精度のよい記録がとれることから、砕波帯内における観測手法として一応有効なものと考えられる。現地における波高計の検定は、設置直前と回収後に行ない、異常の有無を確認している。波高計からの出力信号は7チャンネル(TEAC-R 255S)と4チャンネル(SONY-DFM-45)のデータ・レコーダに記録した。また電源としては現地海岸に100V電源がないため、主としてバッテリーを用いている。

2.2 海浜地形測量

波高計設置地点付近の海浜状況を把握し、長周期波と海浜地形との関連を調べるために、ダイバーによる海浜地形測量を実施した。第2回観測時には沿岸方向1km、沖合方向0.8kmにわたって音響測深機を用いた広範囲の深浅測量も実施した。図-3、4に第2回観測時の波高計設置付近の平面図、波高計設置位置の縦断面、図-5に第4回観測時の平面図を示す、

3. 解析方法

第1回観測時は1.5時間、第2回、第4回観測時は10時間以上の観測記録を得ることができた。観測データはテープスピード15/8(一部分15/16)で記録しており、約3時間の連続観測でテープ1巻が終了する。これらの連続記録を2倍速あるいは4倍速のテープスピードで多

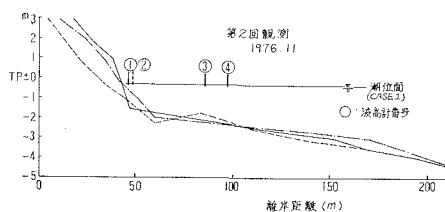


図-4 縦断面図

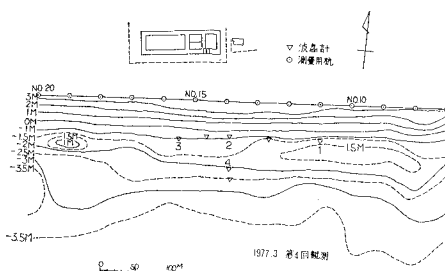


図-5 平面図

チャンネルの準同時A-D変換を行った。データの個数は2048個、サンプリング・タイムは1秒、したがってデータ長は約35分である。スペクトル解析にはFFT法を用いており、フィルターは三角フィルターを使用した(二次スペクトルの描出間隔は8、フィルターの片幅は16である)⁵⁾。自由度は48である。また、解析の際にはドリフト、潮位変動をそれぞれ一次式、二次式で近似してその影響を取り除いたものを解析データとして使用した。

4. 解析結果

観測データの解析は主として第2回、第4回を中心に行ない、それぞれの代表的な観測例をCASE 1, CASE 2とした。観測時の気象・海象条件は表-1に示す通りである。以下にCASE 1とCASE 2の解析結果について述べる。

CASE 1: 当初、8台の波高計を設置したが、計測不能になるものが多く、解析に使用できた記録は4台のみである。スペクトル解析結果を図-6に示す。図-6には観測地点より1km沖合にある科学技術庁防災センタ

表-1 観測日の気象・海象条件

CASE	1	2
観測日	76.11.19	77.03.26
第2回	1976.11.19	1977.3.26
天候	晴	晴
風向	北	南
風速	2.0 m/sec	5.9 m/sec
波の形態	うねり・風波	うねり・風波
観測方式	潮位計	潮位計
1ch	60	69
2ch	85	69
3ch	78	69
4ch	57	89
観測	平均潮位	平均潮位

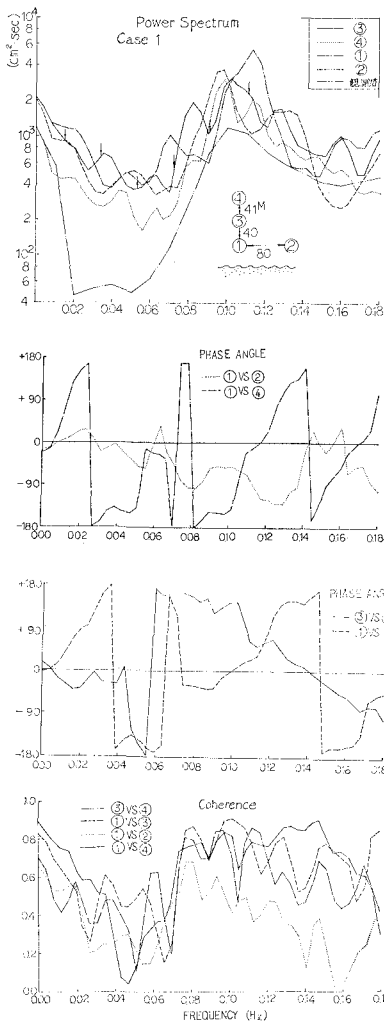


図-6 スペクトル解析結果 (CASE 1)

一の観測塔(図-3 参照)で、ほぼ同時刻に観測されたスペクトルも載せている。観測塔記録のスペクトル解析は Blackman-Tukey 法によるもので、データ数は3000、サンプリングタイム0.5秒、最大ラグ数100、ウィンドーは赤池のウィンドーである。パワースペクトル図からわかるように、通常の波浪の周波数帯とは別に、低周波数帯にいくつかのエネルギーピークがみられる。汀線近くのスペクトルと観測塔のスペクトルを比較すると、前者に比べて後者は相対的にかなり低く、ピークも明瞭ではない。以下にもっとも明瞭なピークを示す周波数 $f=0.045$ Hz 付近の長周期波について、その特性を述べる。エネルギー密度は①、②、④の順に減少しており、沖側と汀線付近の中間にある③にはピークがみられない。汀線と直角方向の位相差に着目すれば $0.3\sim 0.5$ Hz の間で通常の進行波の位相差とは異なっており、③ vs. ④を除いてこの付近の位相差はすべて $\pm\pi$ に近い。ただ

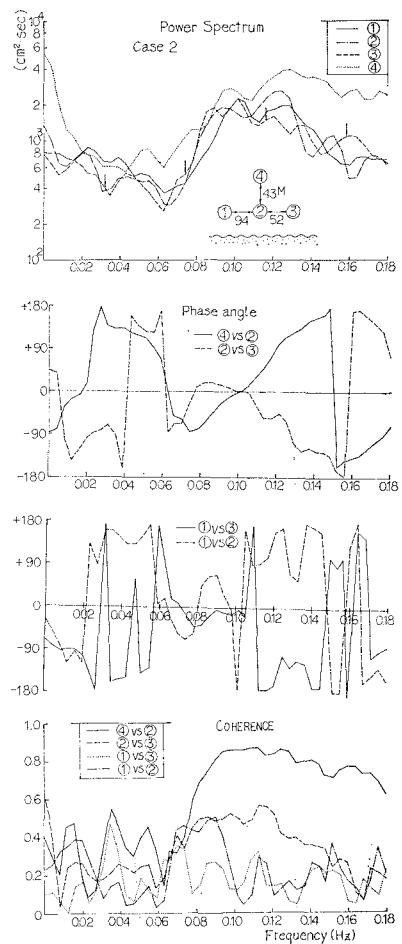


図-7 スペクトル解析結果 (CASE 2)

し、③ vs. ④のみ0に近い値である。汀線と平行方向の位相差も0に近い。コヒーレンスについては、汀線方向の① vs. ②にはピークがみられるが、直角方向の組合せにはピークがみられない。特に③ vs. ④では急激な落込みがみられ、線型応答性が低いことがわかる。

CASE 2: 第4回観測時においては、9台の波高計を設置したが、解析に利用できた記録は第2回観測時と同じく4台である。観測時には表-1に示したように南西の方向から6m/sec程度の強風が吹いており、沿岸流が卓越していた。スペクトル解析結果を図-7に示す。CASE 1と同様な波浪条件であったため、エネルギー密度のピーク周波数は同程度 ($f=0.02\sim 0.05$ Hz) にみられる。エネルギー密度の相対関係からそれぞれの周波数の長周期波についてその特性を記すと以下のようである。 $f=0.02$ Hz 付近の長周期波については、沖側の波高計④にピークがみられず、エネルギー密度は①、②、③の順に減少しており、ピークの位置も多少のズレがみられる。 $f=0.04$ Hz 付近の長周期波は $f=0.02$ Hzと同様に④にはピークがみられず、エネルギー密度は

①, ②, ③の順に減少している。 $f=0.05$ Hz 付近の長周期波については、そのエネルギー密度は④, ①, ③, ②の順に減少しており、ピークの位置にも多少のズレがみられる。次に位相関係に着目すると、まず汀線と平行方向については、いずれの周波数においても $0.02 \sim 0.06$ Hz の間で南西の風によって発達したと考えられる汀線に沿って進行する波の位相差とはズレがみられる。この付近の位相差は $\pm\pi/2 \sim \pm\pi$ の間である。直角方向の位相差においても、 $0.02 \sim 0.06$ Hz の間で進行波の位相のズレと合致しない。コヒーレンスに関しては、いずれの周波数においてもピークがみられる。

5. 観測結果の検討

5.1 一様斜面に形成される定常長波による検討

観測された長周期振動について、Eckart⁶⁾の edge wave 理論と Suhayda⁷⁾の反射定常波の理論によって検討を行った。なお、この場合には海底勾配が重要なパラメータとなるが図-4 からわかるように、観測地点の海底勾配は汀線付近 1/10, 沖側 1/40 程度であり、平均勾配は $1/40 \sim 1/30$ である。この傾向は多少の変動はみられるが、4回にわたる深浅測量においても同様である。

CASE 1: $f=0.045$ Hz 付近の長周期波については、パワースペクトルの大小関係およびコヒーレンスから③に node が存在し、 $n=1$ or 2 の edge wave の可能性があるが、① vs. ④ の位相差を考えると観測結果と矛盾する。また、反射定常波の node の位置になることによって、スペクトルのピークが落ち込む周波数を計算した結果では、観測結果との対応はあまりよくない。③の場合の計算結果(海底勾配が 1/40 の場合)を矢印で図-6 に示している。

CASE 2: $f=0.02$ Hz 付近の長周期波は沖側にある④にはピークがみられないので、edge wave を想定した

場合には edge wave の沖方向分布を考慮すればこの点付近に node をもつ $n>2$ の edge wave が考えられるが、位相・コヒーレンスの観測結果をうまく説明できない。 $f=0.05$ Hz 付近の長周期波はスペクトルの相対関係から edge wave ではないと考えられる。また反射定常波の計算を行なった結果では④を除いて比較的一致する傾向を示した。③の場合の計算結果(海底勾配が 1/30 の場合)を図-7 に矢印で示している。

上記の CASE 1, CASE 2 の場合はいずれも波高が比較的大きい場合の解析結果であり、反射定常波の node の位置もあまり明確ではなかったが、波高が小さい場合(有義波高で 4 cm 程度)の観測例とその場合の反射波の node の位置を計算した結果(海底勾配 1/14)を図-8 に示す。図-8 よりわかるようにスペクトルにはいくつかの明瞭な落ち込みがみられ、しかも反射定常波の node の位置によく一致する。この傾向は Suhayda の観測例⁹⁾とも一致する。即ち、波高が小さいと反射率が大きく、スペクトルにも反射定常波の node の位置に対応した落ち込みが観測されるが、波高が大きくなるにつれて、反射率が低下し、スペクトルの落ち込みも目立たなくなるものと考えられる。

5.2 海浜地形と長周期波との関係

海浜地形と長周期波との関係は明らかではないが、図-5 からわかるように、沿岸方向にバーやトラフが交互に並ぶ傾向がみられるようであり、その間隔は $150 \sim 250$ m 程度である。これらと長周期波との関連も今後検討したい。

5.3 スペクトルの経時変化

第2回観測時における①, ②および観測塔の波高計によって観測された8時間にわたるスペクトルの経時変化を図-9 に示す。入射波の波高およびスペクトルは大きな変化を示していないが、岸側のスペクトルは周波数 0.1 Hz 付近の値が19日の20時頃減少し、20日の1時には増加の傾向を示している。これは潮位変化に伴って波高計の位置の水深が減少し、そこで存在できる波の波高が小さくなったためである。周波数が 0.08 Hz 以下の長周期波については、エネルギーレベルとしては周波数 0.1 Hz の波に対応し変化しているが、減少の程度は小さくなく、潮位の最も低くなった21時には両者の差が小さくなっている。入射波のほぼ半分の周波数にエネルギーのピークが見られ、その周波数は少し変動しているがかなり安定しており、ここで観測された長周期波は定常性を有していると考えられる。

6. あとがき

平塚海岸において、砕波帯に発達する長周期波の観測を行ない、その特性について検討した。その結果、入射

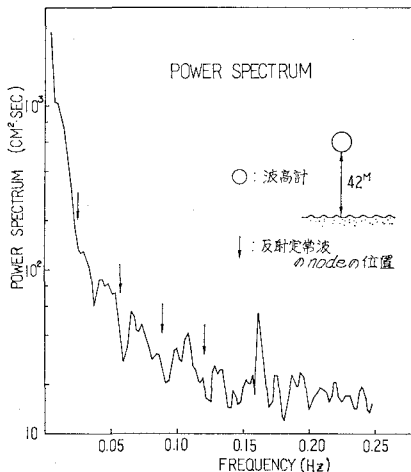


図-8 スペクトル解析結果(第1回観測)

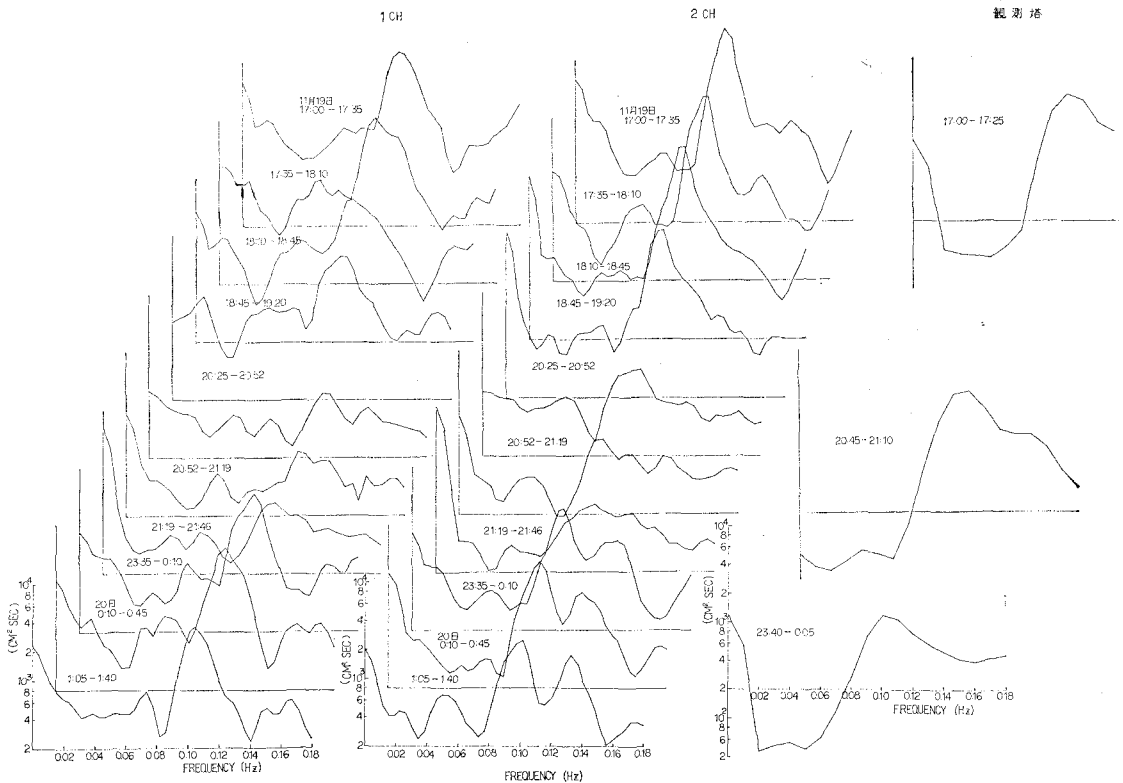


図-9 スペクトルの経時変化

波および長周期波のエネルギーが小さい場合には、傾斜面で反射する定常波が形成されやすく、波のエネルギースペクトルは入射波と反射波の重なる周波数でピークを持つ。一方、波エネルギーが増加するとこの傾向は明瞭ではないが、周波数が0.10 Hz以上の波は進行波の特性を有しているのに反し、それ以下の周波数の波は定常波の特性を有し、海岸に直角方向にもまた沿岸方向にも位相が反転している状況が観測された。これが edge wave として説明出来るかどうかについて検討を行なったが、位相関係等が矛盾せずに適用できるものはなかった。これは海底地形が単純でないためにより詳細な検討の必要性を示していると考えられる。

今後の課題としては、現地観測を継続し、種々の波浪条件下における観測資料の集積をはかるとともに、解析結果をさらに詳細に検討し観測した長周期波の形態を明確にする必要がある。特に長周期波の発生機構については残された大きな問題である。また、海浜地形と長周期波との関連は、これまでの観測では明らかではないので、今後カスプの波長などを詳しく測量するとともに、汀線方向にもう少し広い範囲を測量する必要がある。観測手法に関しては問題点が明らかとなったので、改善策を検討中である。

おわりに貴重な観測資料を提供して頂いた防災センター沿岸防災第一研究室藤縄室長、波高計の設置および海

浜地形測量に協力して頂いた機関組海洋開発室の方々、また、図面の整理を担当してくれた当研究室藤枝技官に感謝致します。

参考文献

- 1) 建設省土木研究所：波浪・海浜流に関する現地観測調査(その4)，土木研究所資料(第1230号)，1977。
- 2) Munk, W. H.: Surf beats, Trans. Amer. Geophys. Un., 30 (6), 649-654, 1949.
- 3) 井島武士・松尾隆彦：砕波帯の波の研究(1)，第15回海岸工学講演会講演集 36-40, 1968。
- 4) 前出1)。
- 5) 力石国男・光易 恒：スペクトル計算法と有限フーリエ係数，九大応用力学研究所報，第39号，77~104, 1973。
- 6) Eckart, C.: Surface waves in water of variable depth, Scripps Inst. Oceanogr., Wave Rep. 100, SIO, Ref. 51-12, 1951.
- 7) Suhayda, J.: Experimental study of the shoaling transformation of waves on a sloping beach, Ph. D. dissertation, Univ. California, 106p, 1972.
- 8) Suhayda, J.: Determining nearshore infragravity wave spectra, Ocean Wave Measurement and Analysis, Vol. 1, 1974.