

急勾配前浜海岸における遡上波の現地観測

久保田 進*・水口 優**・堀田新太郎***・竹沢 三雄****

1. まえがき

不規則波の遡上に関しては、swash zoneでの前後の波の干渉や重複波的構造を持つ長周期変動の存在などにより、遡上高さやその周期分布を予測するといった場合などに十分精度の良い方法が確立されていないのが現状である。一方、前浜での反射については既往の研究は波の周波数空間での反射率に関するものが多いが、現地自然海岸で見られる不規則波の反射現象は個々の波の反射である。以上より本研究では現地海岸の前浜における遡上波データとその沖側砕波帯内外での水位・流速データを長時間取得し、波別解析法等により解析することによって、遡上波の波高分布や個々の波の反射率等を調べることを目的とした。

2. 現地観測の概要

現地観測は昭和62年7月29日に茨城県大洗町成田地区海岸において行われた。この海岸は大洗から鹿島に至る延長約49kmの砂質海岸の北部に位置しており、太平洋に面している。

図-1に観測地点の地形と計測装置の配置を示す。観測地点の前浜勾配は約1/7であり、その沖側にはトラフとバーが存在していた。遡上波の観測にはswash zone内に間隔50cm毎に設置されたポールを16mmメモーションカメラで撮影することによる方法と、岸沖方向に這わせた容量式遡上計による方法の2種類を用いた。後述の解析においては前者によるデータを用いたが、2種類の方法によるデータの比較については竹沢ら(1988)¹⁾を参照されたい。また、入射波と反射波の測定のために遡上域のすぐ沖

側と砕波帯内のトラフ位置に容量式波高計と電磁流速計を組合わせた装置を2式設置した。この2点では容量式波高計の支柱を利用して16mmメモーションカメラによる撮影も行っており、本報においては水位変動データとして16mmメモーションカメラによるものを用いた。さらに沖合いのバーの外側には3本のポールアレーを設置し、16mmメモーションカメラで撮影することにより砕波帯への入射波の測定を行った。

電磁流速計、容量式波高計、容量式遡上計のデータは陸上のデータレコーダにサンプリング間隔0.2sで同時入力され、16mmメモーションカメラによる0.2s毎の撮影とは手動により同期がとられた。解析の結果この手動によるずれは0.4sであった。

観測時間は16時10分～17時50分の100分間であり、この間に潮位が約20cm上昇した。目視によれば、観測開始時においては、砕波点は沖側から2本目～3本目の

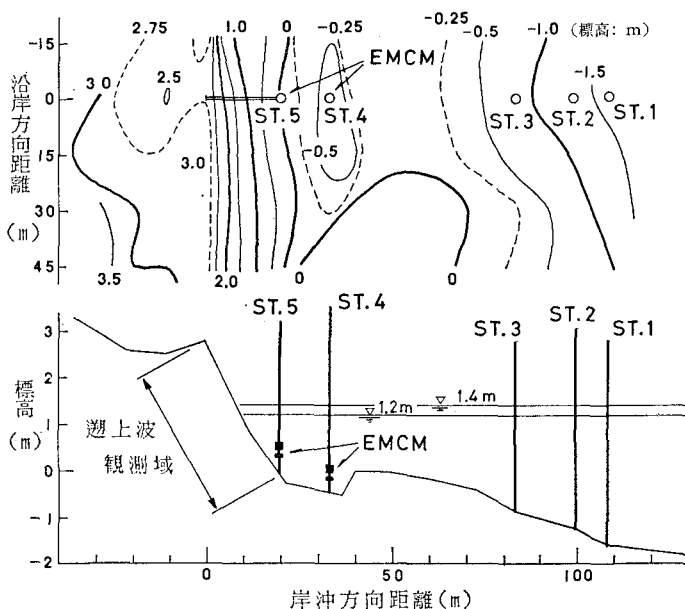


図-1 観測時の地形と計器の配置

* 正会員 日本大学助手 理工学部土木工学科
 ** 正会員 工博 中央大学助教授 理工学部土木工学科
 *** 正会員 工博 日本大学助教授 理工学部土木工学科
 **** 正会員 工博 日本大学教授 理工学部土木工学科

ポールの間にあり、碎波波高は約 1 m、周期は 12.6 s のうねりであって、碎波形式は巻き波型であった。また波向は汀線に対してほぼ直角であった。

なお、観測地点前浜上の岸沖 4 点で表層の底質を採取し、粒度分析を行ったところ、中央粒径 0.43~0.52 mm、ふるい分け係数 1.20~1.32、偏り度 0.92~1.11 で、良く淘汰された細砂であった。

3. データ解析方法

本報においては水位変動データとして全て 16 mm メモーションカメラによるものを用いたが、この 16 mm メモーションカメラによる遡上波データと沖側 5 点の水位データにおいて、潮位変化分を差し引いたデータも作成した。潮位変化の補正については、放物線近似されたトレンドを除去することにより行った。以上の 2 種類のデータについて、ゼロダウクロス法とゼロアップクロス法による波別解析を行った。

また、swash zone に対する入射波と反射波の解析に当たっては、Guza et al. (1984)²⁾ に倣って線形長波理論に基づく次式を用いて入・反射波を分離した。

$$\eta_{IN}(t) = (\eta + \alpha(h/g)^{1/2}u)/2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta_{OUT}(t) = (\eta - \alpha(h/g)^{1/2}u)/2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 $\eta_{IN}(t)$ 、 $\eta_{OUT}(t)$ はそれぞれ入射波と反射波の水位変動であり、 η と u は観測された同一地点での水位変動と岸沖方向流速変動であり、 h は水深、 g は重力加速度である。また、比例定数 α は本来 1 であるが設置水深の測定の精度と流速計の較正值に問題があったために η と u のクロススペクトル解析結果より入・反射波の分離が最もスムーズにいく値を選んだ。

4. 観測結果

図-2 に生データの例を示す。上段から下段に向かって沖側測点より岸側に至る各測点 (ST. 1~ST. 5 および遡上波) での水位変動が並べてあり、時間帯は後述の入・反射波の分離の例と同じである。遡上波の波形はこれまでの観測例と同様に波の谷が欠けた形状を示している。また、遡上波の先端の動きを個々の波の放物型運動と見なすのが良いのもわかる。碎波帯内の ST. 4 および ST. 5 では細かい波が多く、距離の遠い事と途中で碎波を生じる事があいまって碎波帯外の ST. 1 における波と対応しない波が見られる。

各地点の水位変動のデータを波別解析した結果を表-1 に示す。ここではトレンド除去後のデータに対してゼロダウクロス法により求めた値を示した。ゼロダウクロス法においては 0 点幅を ± 3 cm として読み取り誤差及び小さな波は無視した。碎波点沖側 (ST. 1) での波の数に較べて碎波後の波の数はトラフ位置 (ST. 4, 5) で 3~5 割増加しているが swash zone では逆に 1~2 割減少している。

代表地点における水位変動のパワースペクトルを図-3 に示す。ST. 1 から ST. 5 に向かうに従って、主要なエネルギーのある $0.03 \text{ Hz} < f < 0.2 \text{ Hz}$ の範囲ではパワーが大幅に減少し、高周波側では約 5 倍程度増えている。これは碎波による特徴的な変化である。ST. 5 から run-up に至ると、逆に高周波側が入射波のレベルにまで戻り、 $f \leq 0.2 \text{ Hz}$ ではかなりの増大を見せている。高周波成分が吸収され、低周波成分は汀線を腹とする重複波構造をなしている事がわかる。また ST. 5 において極大極小値が交互に現れるのに対して遡上波ではそれが無い事も重複波の特徴である。

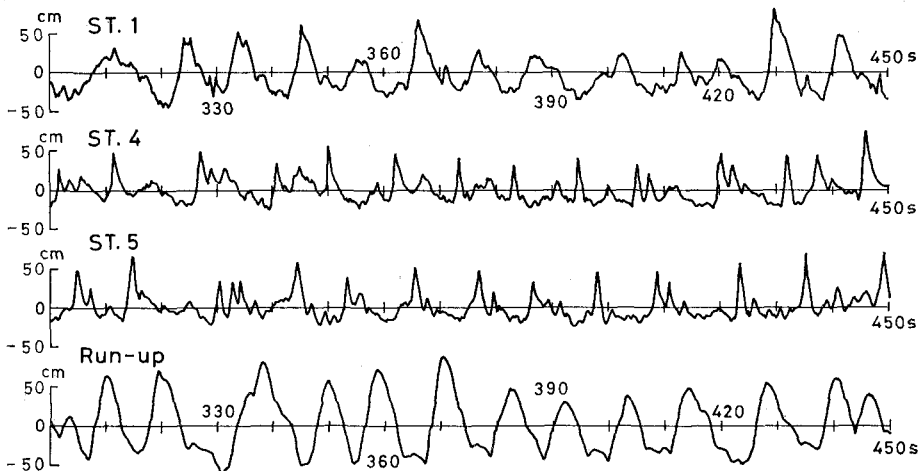


図-2 水位変動の生データの例

表-1 波の統計諸量

測点	水深 h (cm)	波の 数	波高					周期			
			H_{rms} (cm)	H_{mean} (cm)	H_{max} (cm)	$H_{1/10}$ (cm)	$H_{1/3}$ (cm)	T_{mean} (s)	T_{max} (s)	$T_{1/10}$ (s)	$T_{1/3}$ (s)
ST. 1	292	686	61	53	190	116	86	8.7	10.7	11.5	11.1
ST. 2	256	695	65	56	206	125	92	8.6	11.1	11.2	10.8
ST. 3	220	702	68	58	192	141	99	8.5	10.0	10.8	10.8
ST. 4	175	912	54	47	130	95	79	6.6	7.4	9.9	9.2
ST. 5	139	1050	52	46	152	93	75	5.7	10.1	9.2	8.4
Run-up	0	560	107	103	180	152	134	10.7	17.4	11.9	11.5

なお、高周波側の飽和領域のスペクトル形は碎波帯外では f^{-3} に従い、swash zone では f^{-4} に従う形状を示しており、水口ら(1983)³⁾やMase・Iwagaki(1984)⁴⁾の報告と一致した。

図-4 は、生データと潮位変化除去データ(トレンド)の2種のデータについてゼロダウンクロス法とゼロアップクロス法により波別解析した結果で、波高と周期の結合分布である。トレンドの除去の有無による変化は顕著ではないが、波の定義法による違いは碎波帯内の波および遡上波の結合分布によく表れている。しかし、その現れ方は正反対で、結合分布の形状を見ても、ST. 5のゼロダウンクロス法による結果と遡上波のゼロアップクロス法が似ており、その逆もそうである。これは平均水位付近での小さな波が大きな波の後ろに現れ易いのが碎波帯内で(堀田ら, 1980)²⁾、前に来る傾向が強いのが遡上波の特徴であるためと考えられる。

さらに図-5に波高のひん度分布を示す。碎波帯沖側のST. 1においては、波高分布はレーリー分布にはほぼ一致しているが、碎波帯内では波高の小さい波が増えるためレーリー分布からはずれようになり、swash zone ではむしろ正規分布に近い分布を示している。

次に前浜での波の反射現象を調べるために、碎波帯内のST. 4とST. 5における水位変動 η と岸沖流速変動 u のデータを用いて、先の式(1),(2)により入射波と反射波の分離を行った。用いたデータは、初めから5000コマである。それ以後は流速計データにノイズが発生したために分離不可能であった。図-6は、ST. 4でのその時間帯の水位と流速のコヒーレンスと位相差である。主要なパワーを有する周波数域で相関が非常に良い。

入射波と反射波の分離の結果の水位変

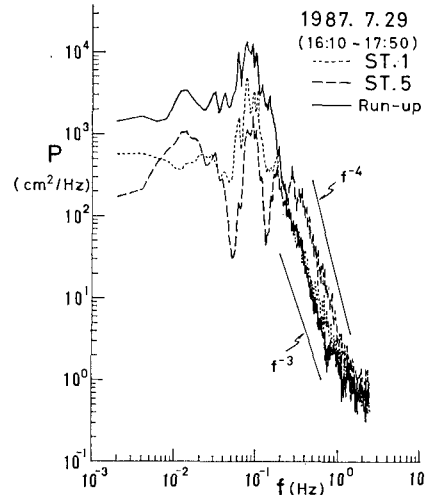


図-3 代表地点での水位変動のパワースペクトル

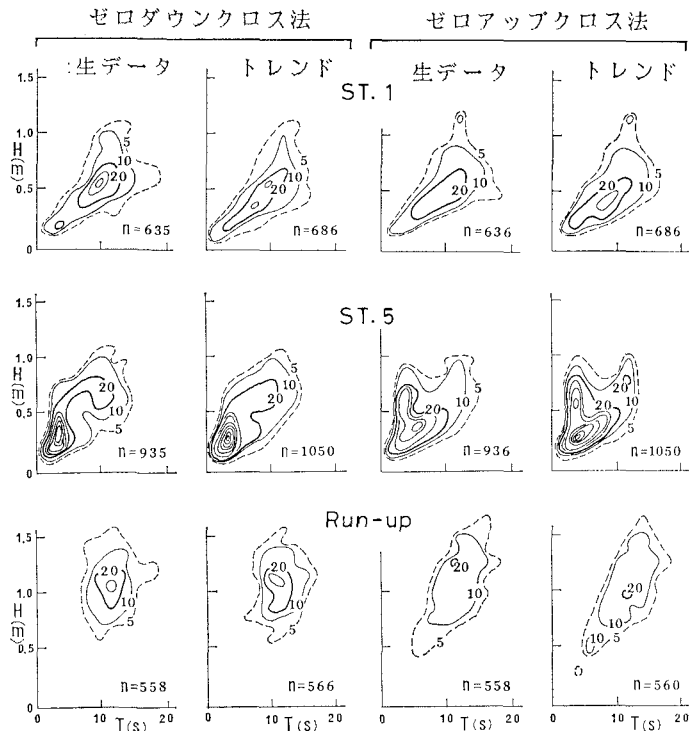


図-4 波高と周期の結合分布(図中の数字は波の数でnは波の総数である)

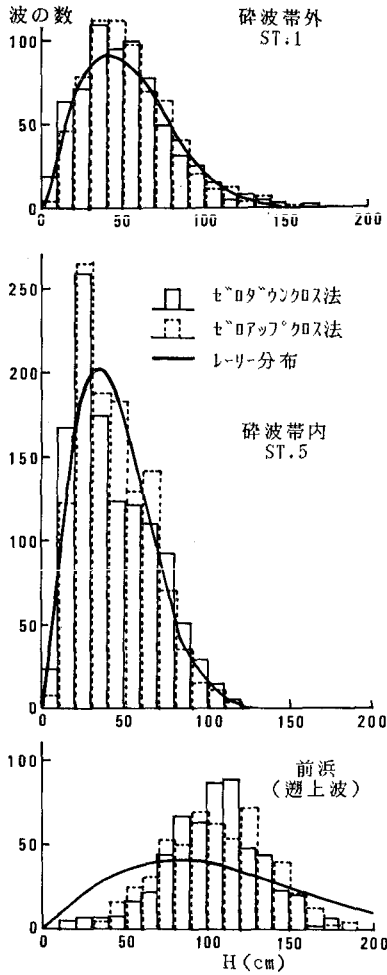


図-5 波高のひん度分布

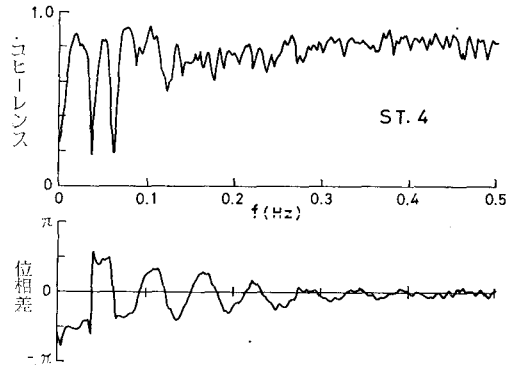


図-6 水位変動と流速のコヒーレンス, 位相差

動は図-7に示す通りである。図中には、反射面である前浜での遡上波データを入射波と反射波の中間に示した。破線は波の伝播経路を示す。入射波と反射波は各地点間をほぼ一定の時間差で進行しており、この時間差は図-8に示すように、ST.4における入・反射波で16.4s, ST.5における入・反射波で10.2sとなっている。これから求まるST.4とST.5の間の伝播速度は水深から求まる微小振幅長波の波速と一致した。また、数波連続して入射する波が一波の反射波として戻り場合も見られ、現地海浜での現象をよくとらえている。

最後に、個々の波の反射率について検討した。対応関係の良好な入・反射波を選定して、反射波の側から波を定めてその波高比(H_{OUT}/H_{IN} , ここで H_{OUT} と H_{IN} は反射波と入射波の波高)で定義される反射率を求め、 H_{IN}/L_{OUT} (L_{OUT} は反射波の波長)に対してプロットして図-9を得た。個々の波の反射率は全般的にST.4の方が

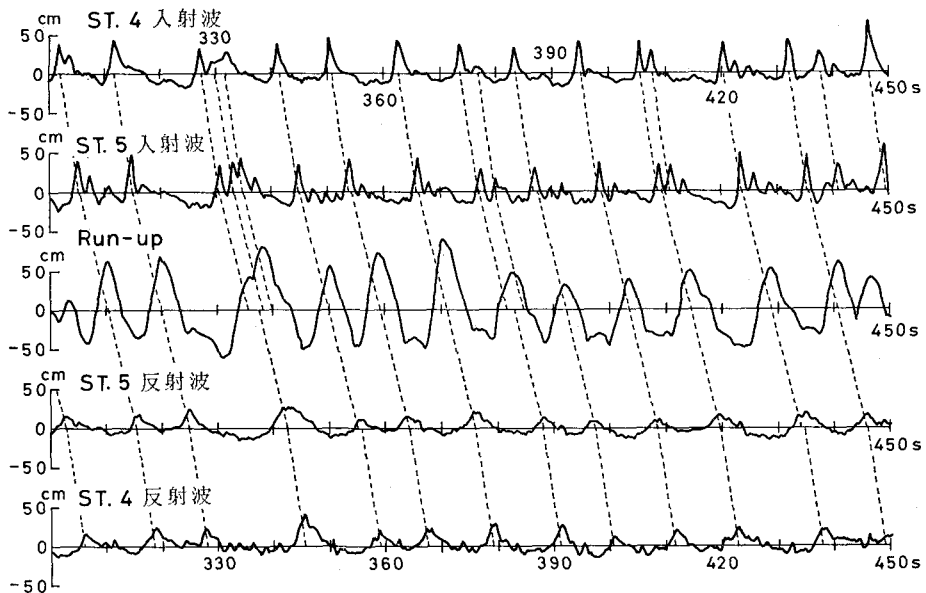


図-7 分離された入射波と反射波の水位変動

ST.5よりも大きい値を示している。物理的には岸側の地点での反射率の方が高いのが妥当であり、個々の波の反射率がST.5で小さいのは(入射波の)波形のとがりが著しいためと考えられる。なお、平均的な反射率とも言える入射波の自乗平均値の比で求めた反射率はST.5で0.93, ST.4で0.67であった。また、反射率と入射波の波形勾配との関係性は、傾きとしては規則波と一致するものの絶対値は今回の観測の方がかなり大きくなっている。理由は Battjes の実験式における波高と周期の測定地点が不明で、今回のように入射波の観測地点が汀線に非常に近いとこうなると考えられる。

図-10は横軸に沖波波形勾配をとってみたものであるが、反射率の大きさとしては個々の波はほぼ対応する規則波と同じような値を示しているが、データのばらつきが大きくて一定の傾向を読み取るには無理がある。一因として沖波への換算時の周期の決め方に無理があるようである。

5. おわりに

本研究の主要な結論は以下の通りである。

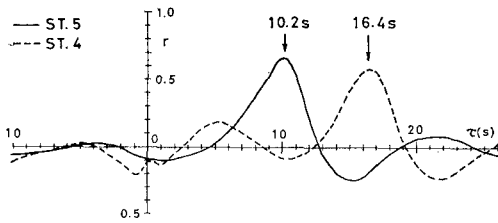


図-8 入・反射波の相互相関係数

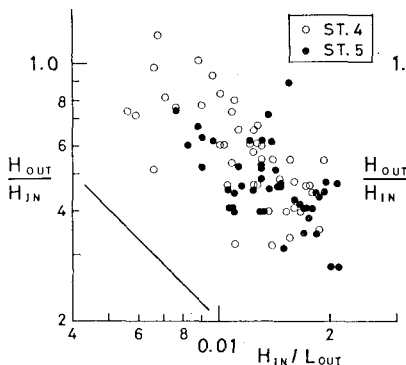


図-9 局所的な波形勾配と反射率
(図中の実線は Battjes⁶⁾ による。
ただし $\tan \beta = 1/7$ である.)

(1) 急勾配前浜における遡上波の波高の頻度分布は、砕波点沖側のレーリー分布とは異なり、正規分布に近い分布を示した。

(2) 前浜沖側の砕波帯内で同時計測された水位変動と流速変動のデータを用いて線形長波理論に基づき入射波と反射波の分離を行ったところ、分離の状況は良好であった。

(3) 分離後の時系列を用いて、個々の波の前浜での反射率を算出した。得られた反射率は、遡上直前での入射波の波形勾配に反比例した。

謝 辞: 現地観測の実施に当たっては、中央大学、日本大学の学生諸君の多大なる協力を受けた。ここに深甚の謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 竹沢三雄・久保田進・水口 優: 容量線式遡上計と16mmカメラによる現地遡上波の観測, 土木学会第43回年次学術講演会講演概要集, II, pp. 584~585, 1988.
- 2) Guza, R. T., E. B. Thornton, and R. A. Holman: Swash on steep and shallow beaches, Proc. 19th Conf. Coastal Eng., pp. 708~723, 1984.
- 3) 水口 優・刈部好伸・堀田新太郎: 現地海浜における遡上波について, 第30回海岸工学講演会論文集, pp. 109~113, 1983.
- 4) Mase, H. and Y. Iwagaki: Run-up of random waves on gentle slopes, Proc. 19th Coastal Eng., pp. 593~609, 1984.
- 5) 堀田新太郎・水口 優・磯部雅彦: 砕波帯内の波の平面分布特性について, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 129~133, 1980.
- 6) Battjes, J. A.: Surf similarity, Proc. 14th Coastal Eng., pp. 466~480, 1974.
- 7) 例えば堀川清司: 海岸工学, 東大出版会, 317 p., 1973.

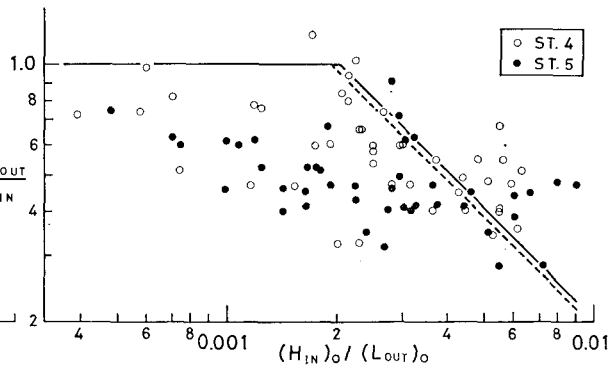


図-10 沖波波形勾配と反射率
(図中の実線は Battjes⁶⁾, 破線は Miche⁷⁾ による。ただし Battjes の実験式においては何の換算もしていない.)