

砕波帯付近の波浪特性に関する現地観測

佐藤道郎*・中村和夫**・田村孝義***

1. 緒 言

海浜変形の問題に関連して底質移動の最も活発な砕波帯およびその近傍での現地観測が盛んに行われてきている。外力としての波浪の計測は現地観測で最も基本的な項目の一つであるが、計測にあたっては、水圧式波高計では波の非線型性のため波形が正確に得られない¹⁾こともあって、ボール群と16ミリシネカメラ^{2)~6)}、あるいはステレオカメラ^{7)~9)}を用いた写真による方法や容量式波高計^{10)~16)}などによる電気的な方法が主として用いられている。それぞれ得られる情報に違いがあり、観測からデータ処理に至る作業の面でも一長一短があるが、電気的な方法はデータ処理に要する労力は写真法よりはるかに少なく済むと思われる。特に容量式波高計は原理的に塩分や水温の変化に安定で直線性もよく、10年以上も前から既に現地観測用に用いる試みがなされ成果も報告されてきている^{17)~23)}。だが砕波帯を中心とした観測例となると必ずしも多いわけではなく、Thornton et al.¹⁰⁾や橋本¹¹⁾らは容量式波高計による観測で経験した問題点をいくつか挙げており、実験室で用いるような具合にはいかないようである。

筆者らは三年程前から砕波帯付近で容量式波高計による波浪観測を試みつつ、短期間の観測に使い勝手のよい波高計の試作を行ってきた。当初は失敗の連続であったが試行錯誤の結果どうにか確実に記録が得られるようになってきた。従来の観測成果を見るに失敗は筆者らの不手際にすぎないと思っていたが、一方においては容量式波高計による現地観測はうまくいかないという声も聞き、乏しい経験ではあるが筆者らが直面し何とかしのいできた問題について述べることは意味のないことでもないと思われた。そこで、本報告では筆者らの行ってきた容量式波高計による波浪観測ならびに観測結果の一端について述べることにした。

2. 観測方法

用いた波高計は図-1に示すような構成になっており、海側で検出された信号のみが陸側に送られ増幅されるようになっている。これは現地の作業で多芯のケーブルを引き回すのが厄介かつ不経済と考えたからでもあるが、発信回路を海側に置いたことにより従来問題にされたケーブルの長さの制約については実用上解消されている。海側に電源を持たせるため消費電力が少なくなるよう、また温度変化に対しより安定にし、精度を向上すべく回路上も若干の工夫がなされている。ケーブルはロープに沿わせて張力をロープに持たせ、海底もしくは空中を吊って陸へもってきている。支柱は足場用の単管を用い、先にネジを付けて1.5m程砂中にネジ込んで立てた。受感部の電極には同軸ケーブル(5C2V)の芯線を用いた。0.8mmの銅線をポリエチレンで被覆したものの径は5mmである。

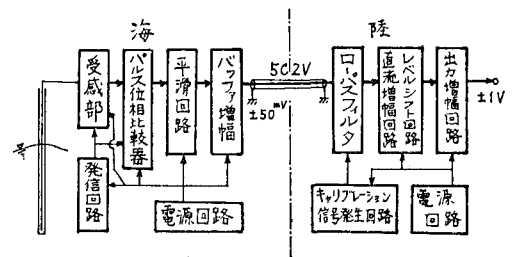


図-1 波高計の構成

測定中の出力低下や異常波形によってうまく測れるものという考えは始めから打砕かれ、その後も悩まされた。原因は電極の濡れによるものであった。海面が生活污水や油膜の浮いているところでは設置後わずかな時間で出力異常が現われ、汚れの少ないと思われる海岸でも一回満潮を経ると怪しくなることが多かった。電極についた汚れや塩分等が表面を濡れやすい状態にしてしまうものと考えられるが、波高の大きいときには巻き上げた砂によるものと思われる細かい傷が被覆表面についており、さらに濡れやすい状態にしていると思われることもあった。濡れに対しては、はじめは計測前に線を拭いてから

* 正会員 工博 鹿児島大学助教授 工学部海洋土木開発工学科
 ** 正会員 鹿児島大学技官 工学部海洋土木開発工学科
 *** 正会員 長崎県庁

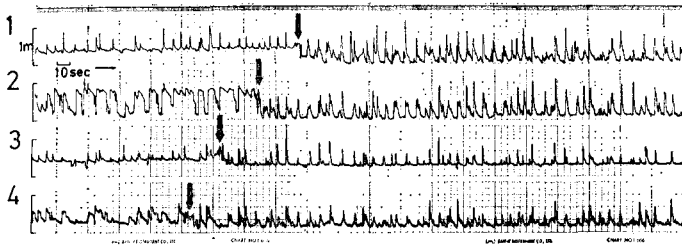


図-2 異常波形の例

測ることを試みた。しかし、計測中に異常になってくることもあった。異常波形の一例を図-2に示すが、これは設置後三日目のもので記録開始十数分後からの波形である。はじめはまともな波形であったものが5分後あたりから出力低下が目立ち始め10分位で図の矢印の左側に示されるような波形になっている。濡れやすさの程度に応じて波形の異常の程度もさまざまである。2. はかなり水切れが悪く異常であることが明白であるが1. のような場合にはもっともらしい波形をしているので異常に気付かない可能性もある。試しに矢印のところで軍手にシリコングリスをつけて拭いて水切れを良くした結果3. を除いて復帰し、その後は記録時間中出力低下は生じなかった。シリコングリスを塗り撥水性を増すと有効なことが分ったが、それでも記録の前に拭く必要があり、この作業は波が小さい場合に可能であっても大きいときには危険を伴う。そこで窮余の一策として、シリコングリスを薄く塗るとともに、さらに電極に付いた水滴を飛ばすべく図-3に示すような小道具をつけてみた。その結果はかなり良好で、このワイパーをつけてからは三日程度の観測ではほぼ確実にデータが取得できるようになった。長期の使用経験はないが一週間程度は有効なこともあったし、三日程で濡れの影響の出ることもあった。ただ、シリコングリスを塗るのは筆者らの用いたような被覆の厚いものに薄く塗る程度であれば影響は小さいが、たとえばテフロン線のような太い導体を薄く被覆したようなものにシリコングリスを塗る場合にはシリコングリス膜の厚さが被覆厚に対して無視できないため、容量への影響を検討しておく必要がある。

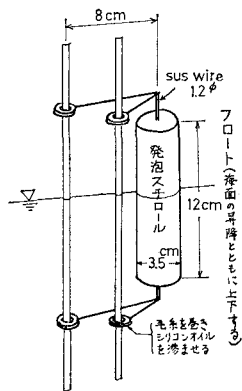


図-3 ワイパー

2~3m の潮差を利用して、干潮時に波高計の設置、撤収、地形測量を行い、満潮時に波の測定を行った。地形測量はスタッフ、レベルとともにビーチプロファイラ²⁴⁾および水中ソリを用いて行った。

本報告では紙数の都合上、薩摩半島南端の開聞岳西側に8km程続く砂浜の一部である物袋(もって)浜で1979年12月18~19日に計測したデーターの一部について述べる。観測地点の概略と断面図および波高計の配置を図-4に示した。Ball²⁵⁾は海底地形を

$$h = h_0(1 - e^{-\alpha x}) \quad (1)$$

で与えてエッジ波の計算を行っている。

h は水深、 x は汀線から沖方向への距離である。図-4の地形を(1)式で近似したとき、 $\alpha = 3.87 \times 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ 、 $h_0 = 3.5 \text{ m}$ であった。

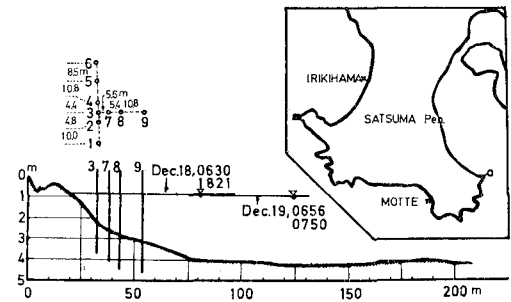


図-4 物袋浜の断面と波高計の配置

この浜では18m程の間隔のビーチカスプが形成されており、ほぼ2スパンにわたるように汀線と平行に6本、岸沖方向には3本の計9本の波高計を設置した。だが、2の波高計はデーターレコーダー(TEAC. R81)のスイッチの入れ忘れから1回分を除いて記録をとり損ねている。観測時は2~3m/secの南々東(岸に平行)の風があった。

3. 観測結果

得られた波形記録の一例を図-5に示した。データーレコーダーの記録は0.5秒間隔で2048個ずつサンプリングして計算処理を行った。

図-6は岸沖方向1.5m、沿岸方向2mの間隔で波高計より陸側の地形を測量したものであるが、-0.8mの等高線から分かるように、約18m間隔のビーチカスプが形成されていた。同図には4回の観測時における有義波高、周期を示したが、波高は35~40cm程度、周期は7秒前後の波形勾配の小さな波であった。波は波高計の3~4m岸側で砕波していた。砕波の型式はGalvin²⁶⁾の分類によるCollapsingもしくはSurgingであった。Guza & Inman²⁷⁾はパラメーター γ

$$\gamma = a_i \omega_i^2 / g \tan^2 \beta \quad (2)$$

が2より小さいか大きいかに応じて反射系と逸散系に分けているが観測の γ は約1.4程度であり、反射系の海浜である。 a_i は入射波振幅、 ω_i は角周波数である。

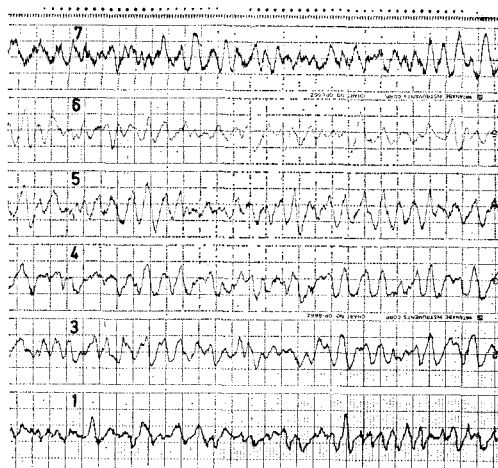


図-5 観測された波形記録

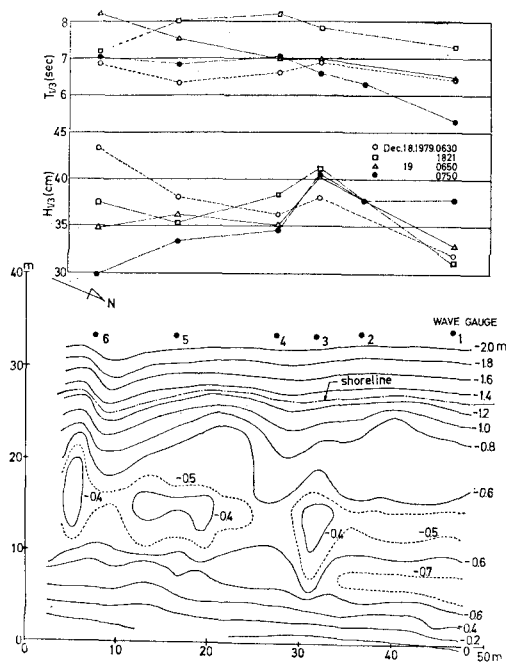


図-6 浜の地形と観測時の波高・周期

Bowen, Inman^{28)~30)}らは、離岸流、ビーチカスプ、三日月パー、等の不規則な波浪条件下で比較的規則性をもつ現象について、エッジ波の存在により説明しようと試みてきた。Guza & Davis³¹⁾はエッジ波の発生機構を検討し、モード数 $n=0$ で、入射波の半分の周波数 (sub-harmonics) のエッジ波が最も容易に励起されることを示し、Hunley & Bowen^{32)~34)}は電磁流速計を用いた現地観測で、 $n=0$ のサブハーモニックエッジ波を見出している。

物袋海岸における観測で得られたデータについてFFT法でスペクトルを計算してみたのが図-7である。

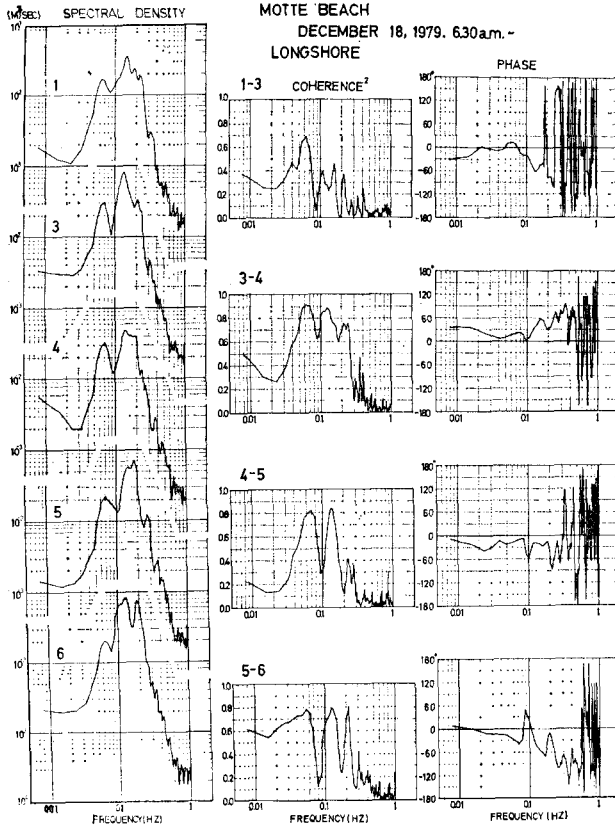
沿岸方向に配置した波高計の結果を見ると、入射波周期の約7秒のところのピークの左側に、ほぼ2倍の周期である約14~15秒のところに、かなりのエネルギーをもつピークが見られる。前述のようなエッジ波説との関連でこの結果を見ると興味深く考えられ、エッジ波との関連性を検討してみた。(1)式で表わされるような海岸地形に関するBallのエッジ波の理論より、 $n=0\sim5$ の場合について分散関係を図-8に示した。各モードにおけるcut-offの周期も図中に示した。最も励起されやすいとされている $n=0$ の場合の波長は約40mで、ビーチカスプの間隔が半波長に対応するとすれば、既述のように18mであったから話がうまく合いそうである。ところで、この点をさらに詳細に見るために、各波高計間のコヒーレンスと位相を計算してみた(図-7)。沿岸方向に配置した波高計間のものについてみると、いずれも位相差は小さく同位相とみなしてよい。また岸沖方向を見ると、波高計7で小さくなっており、8,9と沖方向に大きくなっていることから、 $n=0$ のモードの波ではあり得ず、この周期でtrapされる可能性のあるのは他に $n=1$ のモードだけである。さらに、Suhayda³⁵⁾が示したような岸沖方向の普通の重複波でもあり得る。この点については岸沖方向の波高計の設置の範囲では理論上 $n=1$ モードの重複エッジ波と入射波が岸で反射してできた重複波の振幅の岸沖方向の振幅変化はよく似ており、それから判断することはできない。だが 0.065 ± 0.01 Hzの成分波の波形を沿岸方向について求めた結果である図-9を見るに $n=1$ のモードのエッジ波とは考えられず、結局、入射波が反射して形成された重複波と思われた。

4. 結 語

容量式波高計が砕波帯付近の波浪観測に望ましいタイプの一つとは思われるが、適したものかどうかについては問題である。電極の濡れについては回路をいじってもどうなるものとも思えず、ワイパーの利用などは現実的な対策の一つであろう。紙数の都合で一部のデータを一面的に見るにとどまったが、タイプの異なった海岸の砕波帯の波のデータ、速度場のデータも得ており、波別解析法に基づく統計的な性質の検討も行っているので別途報告するつもりである。

波浪観測ができるようになるまでに、元助手の松永洋文(鹿児島県庁)、学生であった前橋康裕(群馬県庁)、銀賀一博(岡崎工業)、松尾景治(建設技術研究所)の諸氏をはじめ、夏や冬の海岸で寝食をともにした当時の学生諸氏に謝意を表する次第である。

また、本研究の一部に昭和54年度科学研究費 総合(A)「砕波帯付近のダイナミクスに関する研究」(研究代表者 東京大学 堀川清司教授)の補助を受けた。



(a)

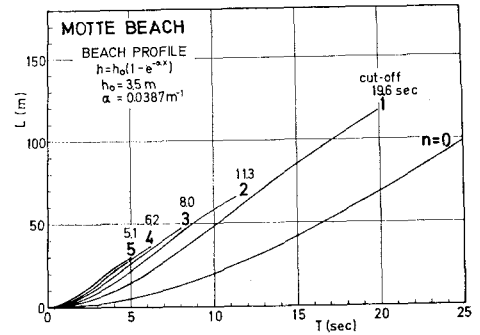


図-8 エッジ波の分散関係

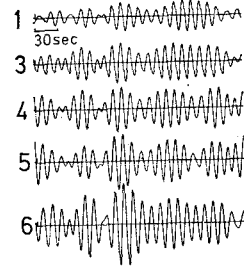
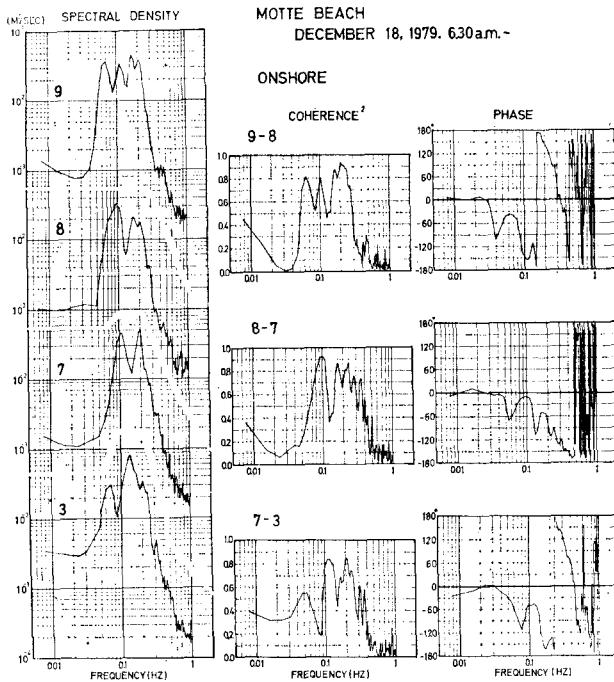


図-9 $0.065 \pm 0.01 \text{ Hz}$ 成分波の波形



(b)

図-7 スペクトル, コヒーレンス, フェイズ

参 考 文 献

- 1) Van Dorn, W. G.: Breaking Invariants in Shoaling Waves, *J. Geophys. Res.*, 83, 2981~2988, 1978.
- 2) Suhayda, J. N. and N. R. Pettigrew: Observation of Wave Height and Wave Celerity in the Surf Zone, *J. Geophys. Res.*, 82, 1419~1424, 1977.
- 3) Weisher, L. L. and R. J. Byrne: Field Study of Breaking Wave Characteristics, *Proc. 16th Conf. Coastal Eng.*, Chap. 27, 487~506, 1978.
- 4) 堀田新太郎・水口 優: 砕波後の波についての現地観測, 第 25 回海岸工学講演会論文集, 151~154, 1978.
- 5) 堀田新太郎・水口 優: 砕波帯内の波の現地観測, 第 26 回海岸工学講演会論文集, 152~156, 1979.
- 6) 佐々木民雄・堀川清司・久保田 進: 海浜流に関する研究 (第 5 報) —海浜流の長周期変動一, 第 24 回海岸工学講演会論文集, 586~590, 1977.
- 7) 井島武士・松尾隆彦: 砕波帯の波の研究 (1), 第 15 回海岸工学講演会論文集, 36~40, 1968.
- 8) 井島武士・松尾隆彦: 砕波帯の波の研究 (2), 第 16 回海岸工学講演会論文集, 41~45, 1969.
- 9) 服部昌太郎・佐藤敏夫: 地上ステレオ・カメラによる砕波帯内の波の観測, 第 26 回海岸工学講演会論文集, 148~151, 1979.
- 10) Thornton, E. B., J. J. Galvin, F. L. Bub and D. P. Richardson: Kinematics of Breaking Waves, *Proc. 15th Conf. Coastal Eng.*, Chap. 26, 461~476, 1976.
- 11) 橋本 宏・山口 修・宇田高明・高木守夫: 平塚海岸における長周期波の現地観測, 第 24 回海岸工学講演会論文集, 127~131, 1977.
- 12) 橋本 宏・山口 修: 砕波帯付近における長周期波について, 土木学会第 33 回年次学術講演会講演概要集, II-402, 776~777, 1978.
- 13) 橋本 宏・宇田高明: 海浜流と摩擦係数の現地観測, 第 25 回海岸工学講演会論文集, 435~439, 1978.
- 14) Theodore T. Lee and K. P. Black: The Energy Spectra of Surf Waves on a Coral Reef, *Proc. 16th Conf. Coastal Eng.*, Chap. 33, 588~608, 1978.
- 15) 橋本 宏・宇田高明: 砕波帯における波浪・海浜流・潮汐・地形の相互関連について, 第 26 回海岸工学講演会論文集, 157~161, 1979.
- 16) 田中則男・小笹博昭・加藤一正・柳島慎一・小笠原 昭・小山内英雄: 砕波帯内諸現象の総合観測システムと観測例, 港湾技術研究所報告, 第 17 巻, 第 1 号, 57~87, 1978.
- 17) 川上善久・広本文泰・阿部淑輝・須田 茂: 名古屋港における波浪観測—容量型波高計の現地への適用—, 港湾技術資料, No. 32, 55~80, 1967.
- 18) 合田良実・永井康平: 名古屋港における波浪観測 第 2 報—港内発生表面風波の観測解析結果—, 港湾技術資料, No. 61, 1~64, 1968.
- 19) 合田良実・永井康平・伊藤正彦: 名古屋港における波浪観測 第 3 報—現地波浪の回析現象ならびに統計的性質について—, 港湾技術資料, No. 120, 1~24, 1971.
- 20) 光易 恒: 博多湾の風と波—低風速時の一例—, 第 15 回海岸工学講演会論文集, 58~64, 1968.
- 21) 土屋義人・山口正隆・芹沢重厚: 長大橋橋を利用した容量型波高計群による波浪観測について, 第 20 回海岸工学講演会論文集, 531~534, 1973.
- 22) 岩垣雄一・土屋義人・酒井哲郎・山口正隆・芝野照夫・木村 晃・安田孝志・芹沢重厚: 琵琶湖における波浪観測について, 京大防災研究所年報 第 19 号 B, 361~379, 1976.
- 23) 稲田 亘・渡部 勲: 容量型波高計について, 国立防災科学技術センター研究報告, 第 2 号, 57~68, 1969.
- 24) Hoyt, J. H.: Field Guide to Beaches, Houghton Mifflin Company · Boston, 1971.
- 25) Ball, F. K.: Edge Waves in an Ocean of Finite Depth, *Deep Sea Research*, Vol. 14, 79~88, 1967.
- 26) Galvin, C. J.: Wave Breaking in Shallow Water, Waves on Beaches and Resulting Sediment Transport, Academic Press, 413~456, 1972.
- 27) Guza, R. T. and D. L. Inman: Edge Waves and Beach Cusps, *J. Geophys. Res.*, Vol. 80, No. 31, 2997~3012, 1975.
- 28) Bowen, A. J. and D. L. Inman: Rip Currents 2. Laboratory and Field Observations, *J. Geophys. Res.*, Vol. 74, No. 23, 5479~5490, 1969.
- 29) Bowen, A. J. and D. L. Inman: Edge Waves and Crescentic Bars, *J. Geophys. Res.*, Vol. 76, No. 36, 8662~8671, 1971.
- 30) Bowen, A. J.: Edge Waves and Littoral Environment, *Proc. 13th Conf. Coastal Eng.*, Chap. 71, 1313~1320, 1972.
- 31) Guza, R. T. and R. E. Davis: Excitation of Edge Waves by Waves Incident on a Beach, *J. Geophys. Res.*, Vol. 79, No. 9, 1285~1290, 1974.
- 32) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field Observations of Edge Waves, *Nature*, Vol. 243, 160~162, 1973.
- 33) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Comparison of the Hydrodynamics of Steep and Shallow Beaches, Nearshore Sediment Dynamics and Sedimentation, Edited by John Hails and Alan Carr, John Wiley and Sons, 69~109, 1975.
- 34) Huntley, D. A. and A. J. Bowen: Field Observations of Edge Waves and Their Effect on Beach Material, *J. Geol. Soc. Lond.*, Vol. 131, 69~81, 1975.
- 35) Suhayda, J. N.: Experimental Study of the Shoaling Transformation of Waves on a Sloping Bottom, Ph.D. dissertation, Univ. California, 1972.