

サンドレコーダーによる砕波帯内の微地形観測

五味久昭*・福田雅明**・佐藤峰雄***
深瀬恒康***・小梨昭一郎****

I. はじめに

砕波帯内の漂砂による地形変化は、平均的に発生するものではなく、暴浪時において大規模に発生することがいくつかの研究によって明らかになっている^{1),2)}。このことから年間を通して平均的に数 cm から 20~30 cm 程度の小さい変化を示している海底においても、短かい期間にこれよりはるかに大きな変化を示していることが予想される。

例えば、暴浪時において、従来、螢光砂の潜り込み深度から言われてきたように³⁾、数 cm から 10 数 cm の掃流状態の移動層が形成され、暴浪がおさまると再び以前とあまり変わらない地形に戻るというような現象が考えられる。

このような短かい期間に発生する現象を把握するためには、連続的にしかも自動的に海底の変化を記録するような装置の開発が必要である。そこで筆者らは海底面を検出し、これを長期間に渡って連続的に測定可能な装置（以後この装置をサンドレコーダーと言う）を開発した。さらに、このサンドレコーダーを使用して砕波帯内での現地調査を行った結果、砕波帯内の地形変化と外的営力（潮位・波浪等）との関係について若干の成果を得たのでここに報告する。

2. 観測装置・実験概要

(1) サンドレコーダーの原理

海水中には塩類が多量に溶けているので、海水の電気伝導度はかなり大きな値をとる。海水中に図-1 のような極板を設置し、電流（交流）を通すと、

$$i = V / (R_1 + R_2)$$

の電流が流れる。この極板が砂で覆われた場合、両極板の間は電流を通さない砂によってかなりの海水が排除され、海水中の抵抗 R_2 の値が大きくなる。その結果電流の値が変わり、 R_1 に生じる電圧が小さくなる。

海中に電極を鉛直方向に沢山並べて設置し、一方向か

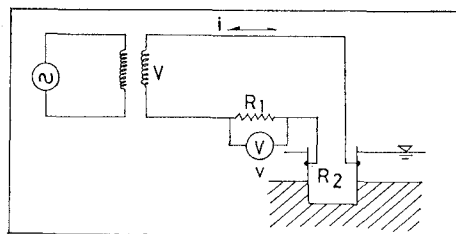


図-1 サンドレコーダーの原理

ら順次 R_1 の電圧を測定していくと砂が堆積している面から電圧が急変する。この位置を測定することにより、長期間に渡って海底面の変化を測定することができる。

サンドレコーダーは図-2に示すとおり長さ 1.5 m のセンター部と、データを記録するロガー部とからなり、センター部は中空のステンレス製管を芯としてこれをシリコン樹脂でモールドし、外側を塩化ビニール製の外管で覆いここに電極を取り付けてある。電極は炭素製であり、管の左右に 1 個ずつ取り付け、これを 1 対として 1 本のセンサーに合計 23 対取り付けられている。この電極はモールドの中に通してある電線でロガー部と結ばれている。現在、電極の間隔が 2 cm と 5 cm の 2 種類のセンサーを製作しているが、10 cm~15 cm の間隔を持つセンサーの製作も可能である。

ロガー部は各電極にかかる電圧の時間制御と取得したデータを磁気テープに保存する機能を持っている。測定の時間間隔は 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 時間のうちから任意に選ぶことができる。また、測定できる期間は表-1に示すとおりである。

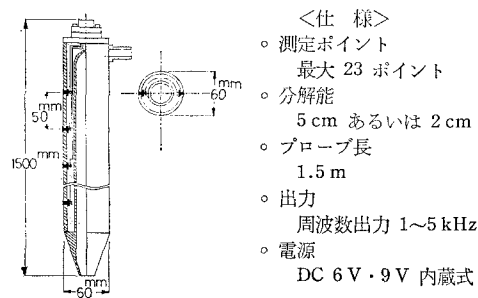


図-2 センサー部

* 正会員 三洋水路測量(株) 海象部
** 理博 三洋水路測量(株) 生産管理本部
*** 三洋水路測量(株) 海象部
**** (株)ユニオンエンジニアリング

表-1 サンドレコーダーの測定期間

測定 間 隔	0.5 h	1.0 h	2.0 h	3.0 h
測定 期 間	25 日	50 日	100 日	150 日

(2) 実験・観測の概要

サンドレコーダーは昭和 58 年 4 月に試作品を製作してから以下のような基礎的実験を福島海域において繰り返した。

- 昭和 58 年 4 月 4 日～5 日
実験室内において記録の測定実験を実施。
- 昭和 58 年 4 月 14 日～18 日
現地において測定実験を実施。
- 昭和 58 年 5 月 6 日～12 日
装置の設置方法に関する種々の実験を実施。
- 昭和 58 年 5 月 18 日～6 月 23 日および 7 月 21 日～30 日
装置の自沈等測定結果に支障をきたす現象に関し、その防止方法の実験を実施。
- 昭和 58 年 8 月 5 日～17 日
確立された設置方法で現地測定の実験を実施。

以上の基礎的な実験によってサンドレコーダーの測定方法が確立できたので総合的な現地観測を行った。

観測は、昭和 59 年 8 月 22 日から 26 日にかけて図-3 に示す茨城県波崎町の須田浜海岸に建設中の観測浅橋(運輸省所管)から南側約 200 m 地点に位置する砕波帯内で行った。なお、本観測はサンドレコーダーから取得される海底面変化が適切な値を示しているかを検討するための資料を得ることを目的とした。

観測の方法はサンドレコーダーを設置した測線上を水準測量によって断面観測し、サンドレコーダーの記録と対比する方法をとった。

サンドレコーダーを設置した測線の断面(図-3 の A～B に相当)を図-4 に示す。この断面はサンドレコーダーの設置前に行った断面観測の結果であり、この結果と潮汐表の値でサンドレコーダーの設置位置を決定し

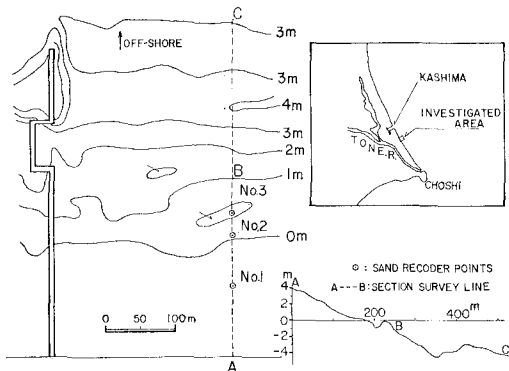


図-3 観測位置図

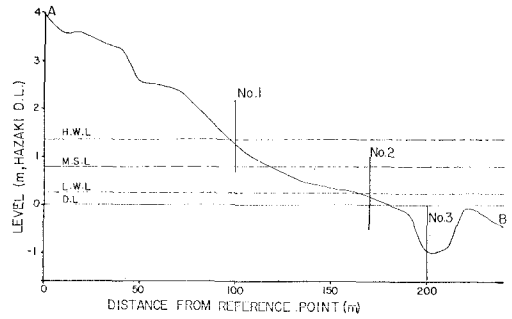


図-4 観測線断面図

た。

サンドレコーダーの設置位置は図-3, 4 で示すように、高潮面付近 (No. 1)、低潮面付近 (No. 2)、最終砕波点近くのトラフ最深部 (No. 3) である。また、サンドレコーダーのデータ取得期間は以下のとおりである。

- No. 1: 8 月 22 日 15 時 30 分～8 月 26 日 9 時まで。
- No. 2: 8 月 23 日 11 時 30 分～8 月 26 日 9 時 30 分まで。
- No. 3: 8 月 23 日 10 時 30 分～8 月 26 日 10 時 30 分まで。

なお、いずれの測点も測定間隔を 30 分に設定した。

3. 観測結果

本観測の目的であった断面観測結果とサンドレコーダー記録との対比については、図-5 および図-7 に示すとおり、非常に良い対応が認められた(図中○印が断面観測結果)。さらに、本観測では潮汐・台風通過・降雨等の自然現象に恵まれ、種々の成果を得ることができた。観測結果を項目別に分けて以下に述べる。

(1) 海底面変化と潮位の関係

観測期間中の潮位を銚子漁港事務所から入手し、波崎の工事基準面に改正した後で海底面変化と対比した。

図-5 に No. 1, No. 2 の海底面変化と潮位変化を経時的に表わした。なお、図-5 の縦軸は波崎 D.L. からの水準値を、また、横軸は日時をそれぞれ表わしてい

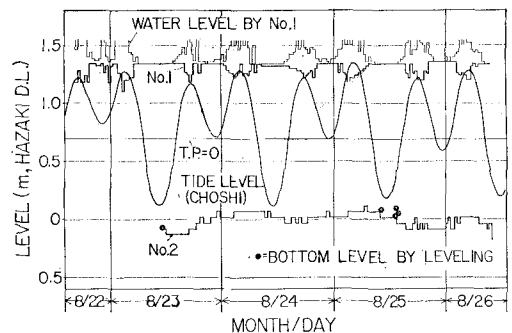


図-5 海底面変化と潮位の経時変化 (No. 1・No. 2 センサー)

る。

No. 1 (高潮面付近) のセンサーは D.L. : 約 1.36 m に設置した。この地点における海底面 (本稿においては一時陸上に干出する砂表面も海底面という用語で統一して表現する。) は、一定の周期をもって変化していた。この変化は侵食と堆積が一つの連続した現象として表われている変動期と、ほとんど変化のない停滞期とからなっている。また、海底面の変動は最大 24 cm であるが、調査開始から終了までの変化量はわずか 2 cm 程度であった。

No. 2 (低潮面付近) のセンサーは D.L. 上約 0.1 m に設置した。この地点における海底面は No. 1 よりも長い周期で変化していた。この変化は No. 1 に比べ停滞期が極めて短かく、連続的に海底面変化が行われているようにも見える。また、No. 2 の海底面変化は最大約 20 cm であり、調査開始から終了までの変化量は約 10 cm であった。

調査期間中の潮差は最大で約 1.2 m あり、最低潮時の水位が D.L. 上 0.1 m 程度、最高潮時の水位が D.L. 上約 1.34 m であった。したがって、この潮位変化は No. 1 センサーと No. 2 センサーの間で行なわれていたことになる。また、調査期間中の潮位変化は低潮に差のある日潮不等の形状を示していた。

以上に述べた個々の変化をまとめると、No. 1 の海底面変化は潮位変化と非常に良く対応しており、上げ時の後半で侵食作用が生じ、満潮時を過ぎると侵食作用から堆積作用へ移り換わる。そして下げ潮の前半には海底面が元の水準に達して海底面変化の停滞期へと移り換わるサイクルを繰り返している。これは、潮汐に作用された半日周期の変化である。また、No. 2 における海底面変化は、潮位が低低潮から低い高潮へ達する間に侵食作用が生じ、低い高潮から高高潮の間に堆積作用が生じるというサイクルを繰り返している。この変化は日潮不等の影響を受けた日周期の変化といえる。

海底面変化と潮位変化の関係をさらに詳しく見るために相互相関を求めた。この計算に使用した海底面の値は 1 時間ごとの D.L. 値であり、潮位については、No. 1 と No. 2 の D.L. 値 (センサー設置時の値) と潮位の D.L. 値との差を 1 時間毎に求めて使用した。図-6 に相互相関図を示す。この中で縦軸は相互相関の値を示し、横軸は時間を示す。

この結果を見ると、No. 1 では海底面変化 (S.R-1) と潮位変化 (TIDE) の相互相関が 0.6 と良い値を示し、周期の位相差も -30 分と短かいことがわかる。これは海底面の変化に潮位の昇降が大きくかかわっていることを示している。No. 2 については No. 1 に比べてあまり良い相関を示していないが、周期の位相差が -3 時間付近と +6 時間付近にそれぞれ 0.4 と 0.3 程度の相関が

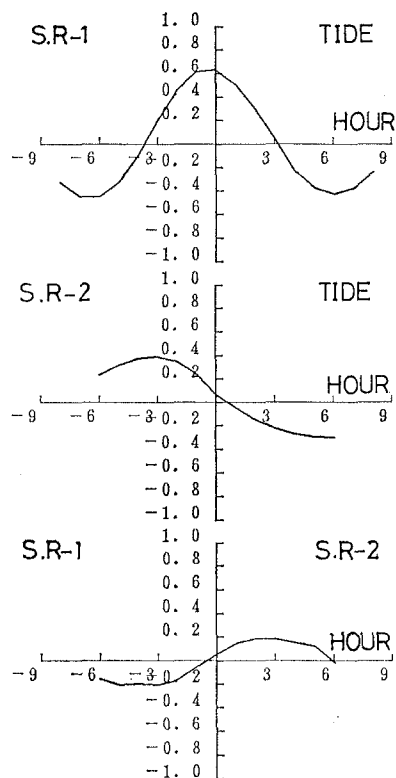


図-6 海底面変化と潮位変化の相互相関

認められる。-3 時間の位相差は、低低潮時から 3 時間後に海底面の侵食がピークに達する傾向を示しており、+6 時間の位相差は海底面の堆積がピークを向かってから 6 時間後に低低潮になる傾向を示している。また、No. 1 (S.R-1) と No. 2 (S.R-2) との相互相関は最大 0.2 程度で相関がほとんど認められなかった。

以上のように、No. 1, No. 2 の個々の海底面変化は潮位変化との対応を示したが、No. 1, No. 2 相互の関係については対応がつかめなかった。

(2) 海底面変化と波高の関係

図-3 (断面 A-C) および 図-4 からわかるように本観測地域の高潮は 1 つの Bar を有する砂州型高潮である。Bar 周辺の海底面変化を把握するために、岸側の小規模な Bar の前面に位置するトラフ内 (No. 3) にサンデレコーダーを設置した。

No. 3 から得た海底面変化と調査期間内の波高 ($H_{1/3}$)・周期 ($T_{1/3}$) の経時変化を 図-7 に示す。

図-7 は縦軸に水深 (波崎 D.L.)・波高・周期を、横軸に日時を表したものである。ここに使用した波のデータは銚子漁港事務所から入手した銚子の沖波であり、実測値をプロットしてその傾向を破線で示した。

No. 3 の海底面変化は、観測期間中に一方的な堆積傾向を示した。8 月 23 日の調査開始から 8 月 25 日の正午までに約 15 cm 堆積し、25 日の正午から夕方 17 時頃まで

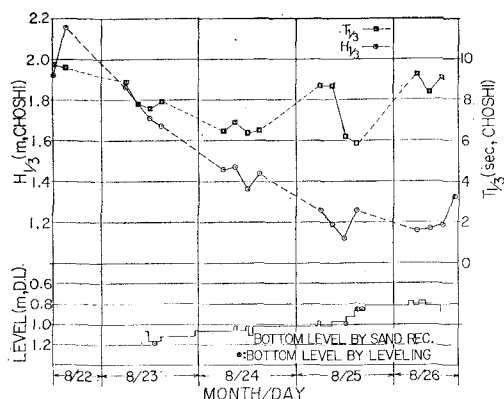


図-7 海底面変化 (No. 3) と波高・周期の経時変化

の間に約 20 cm の急な堆積があった。その後から 26 日の調査終了までの間は若干の堆積が認められる程度であった。

波高の変化を見ると、観測開始から終了にかけて波高が減衰する傾向が認められた。8 月 22 日の波高は約 2.0 m であり、日毎に徐々に減衰して 25 日には約 1.2 m になっていた。また、25 日以降は調査終了まで約 1.2 m の一定な値を示した。

周期について見ると、8 月 22 日が 10 秒前後の値で最も長い周期であり、8 月 25 日の午後が 6 秒前後の値で最も短かった。また、これ以外の日においては 7~9 秒の間でばらついた値を示した。

以上のように本観測では、波の減衰に伴って砂の堆積量が増す傾向が認められた。これはすでに茂木⁴⁾・田中⁵⁾が分類しているように本観測区域の周辺海浜が 1 段砂州型海浜であり、岸側に位置する最終砕波点付近の小規模な Bar が常に発生・消滅を繰り返していると仮定するならば、調査開始の 1 週間前に通過した台風の影響 (通過時の $H_{1/3}=4\sim5$ m) で小規模な Bar が発生し、波浪の減衰に伴って断面の平衡化が行われ、Bar 頂部の砂が徐々にトラフ内部へ堆積している過程を捕えたものと考えられる。

(3) 砂中への海水浸透

サンドレコーダーの観測期間中であった 8 月 23 日の未明 (3 時頃) に 100 mm 程度の降雨があり、海域がやや低塩分化した。この低塩分化現象の過程をサンドレコーダーの記録が捕えており、海水の砂中への浸透作用を記録することができた。

図-8 は No. 3 で取得した各電極の電気伝導度を電圧に変換して経時的に示したものである。この図において 1.8 V から 2.1 V の範囲にある値は海水中にある電極の値を示し、1.1 V から 1.7 V の範囲にある値は砂中に位置する電極の値を示す。また、砂中の値については海底面から深度 40 cm までを 5 cm 毎に区切って深度別

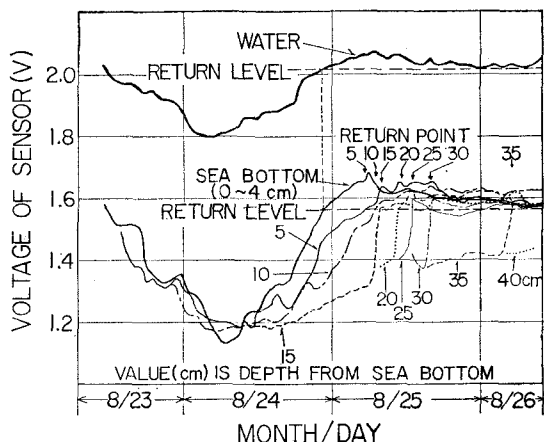


図-8 No. 3 における出力 (電気伝導度に相当) 経時変化

に値を示した。

海水中に位置している電極は、23 日の調査開始時から 24 日の 3 時頃まで電気伝導度の低下を示し、それ以後徐々に元の電気伝導度 (約 2 V) に回復する傾向を示した。さらに、24 日の 22 時頃には完全に回復した。

この海水中の電気伝導度の変化に対し、砂中に位置する電極から得られた電気伝導度の変化は、初期の低下傾向が海水中の変化と同傾向を示しているものの、左下のピーク (約 1.1 V) は海水中よりも約 3~4 時間遅い 24 日の 6~7 時頃に認められる。さらに、もとの電気伝導度 (約 1.6 V) への回復に至っては、砂中の電極が位置する深度によって回復時間が異っており、深度が増すにつれて回復時間が遅くなっていた。

4. おわりに

今回の観測によってサンドレコーダーで取得した海底面変化の記録は、水準測量による断面観測結果と非常に良く対応していることがわかった。また、4 日間の観測からサンドレコーダーの特色である海底面の経時的な変化を示す記録が、他の外力との対応において、非常に役立つことも確認できた。今後は、観測期間の長期化や測点の増加、あるいは他の観測装置との併用によって、海底面変化と外力をより一層把握できるような観測システムの考察に尽力を尽したいと考える。

また、サンドレコーダーは砂質の海底における微地形変化を捕えることを当面の目的として開発したが、シルト質の海底においても使えることが、現在実施中の実験で明らかになりつつある。この実験の結果は追って報告する予定である。

謝 辞： 本観測の実施に際して、運輸省港湾技術研究所海洋水理部長田中則男氏・同漂砂研究室室長入江功氏並びに同水工部高潮津波研究室室長加藤一正氏には観測の機会と報文作成への助言を載いた。ここに深く謝意

を表します。

また、基礎実験に際して、当社福島支店大沢勝吉支店長を始めとする同支店のスタッフの方々並びに(株)ナポレオンエンタープライズ社長佐藤進氏を始めとする同社スタッフの方々に大変御世話になった。ここに感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) Johnson, J. W.: Scale effects in hydraulic model involving wave motion, Trans. A.G.U., Vol. 30, pp. 517~525, 1949.
 - 2) 橋本 宏・宇多高明: 阿字が浦における海浜過程(第1報), 第23回海岸工学講演会論文集, pp. 245~249, 1979.
 - 3) Kraus, N. C., R. S. Farinato・堀川清司: 沿岸漂砂量に関する現地観測——岸沖方向分布および時間変動について——, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 245~249, 1980.
 - 4) 茂木昭夫: 日本の海浜型について, 地理学評論, Vol. 36, pp. 245~266, 1963.
 - 5) 田中則男: 日本沿岸の漂砂特性と沿岸構造築造に伴う地形変化に関する研究, 港湾技研資料, No. 453, 148 p., 1983.
-