

摺ヶ浜の砂流失に関する現地観測

佐藤 道郎*・ 鋦賀 一博**・ 口ノ町 誠***
福島 博文****・ 森 芸*****

1. ま え が き

摺ヶ浜は指宿市の東辺をなす海岸線の一部で、海岸の砂を掘りその中に横になって温泉による暖砂で身体を覆い暖める天然砂浴場（砂むし）で古くから知られており、指宿市の重要な観光資源となっている。この摺ヶ浜を含む指宿海岸は昭和 26 年のルース台風で被災してから侵食が問題となり、種々の侵食対策がなされてきたが特に摺ヶ浜地区では必ずしも十分な成果が得られずに今日に至っている。

本文では指宿海岸の砂流失の概要について述べ、その砂流失のカラクリを明らかにするための一つの試みとして砂浜地下水位や砂移動について現地観測で調べた結果のあらましを述べる。

2. 指宿海岸の概要

(1) 摺ヶ浜の海岸保全の経緯

指宿海岸は図-1に示すように北は田良浜から南の大山崎に至る約 6 km におよぶなだらかに湾曲した砂浜海岸である。海岸のほぼ中央部から南へ二反田川、逆瀬川、

丹波川、橋牟礼川、三王川の小河川が流出している。砂浜は現状では市営の砂浴場がある摺ヶ浜近辺で最も痩せており、北へ行くほど幅広くなっている。古くは摺ヶ浜あたり約 1 km にわたる砂浜で同時に一千余名の砂浴も可能とされていたとのことである。ところが昭和 26 年 10 月 14 日に九州を横断し満潮と高潮が重なって鹿児島県下に大きな被害をもたらしたルース台風は指宿海岸の

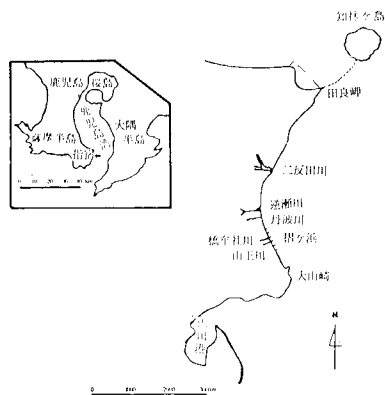


図-1 指宿海岸

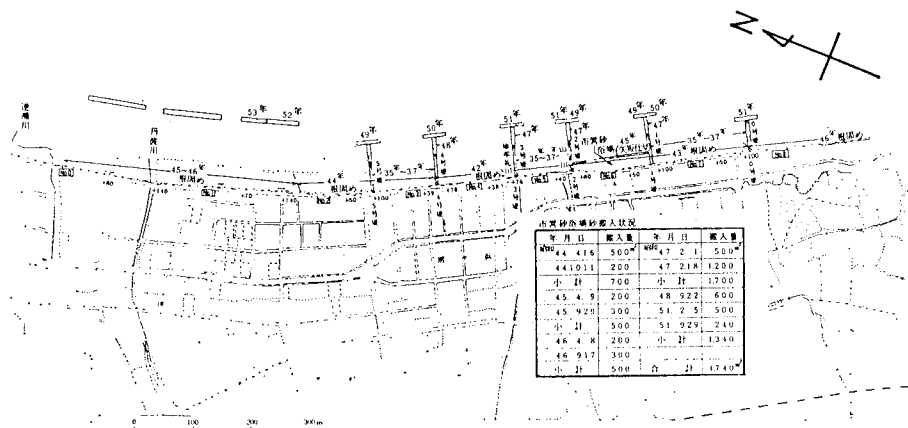


図-2 摺ヶ浜の海岸保全

* 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

** 学生員 鹿児島大学大学院 工学研究科

*** 日本テトラポッド(株)

**** 建設技術研究所(株)

***** 中央競馬会

砂浜をかなり流失させ、鉄筋の日覆いをもち東洋一を誇っていた市の砂浴場も破壊された¹⁾。その後昭和 30 年代前半にかけて指宿海岸一帯に海岸護岸が築かれたが、砂浴場付近の砂流失は止まず昭和 35~37 年に摺ヶ浜地

区に 100~140 m の間隔で長さ 50 m の突堤が 6 本築かれた。それでも十分でなく 40 年代中頃から突堤を延長し、市営砂浴場前面に砂流失防止の矢板仕切をし、さらに異型ブロックによる根固めや T 型突堤にするなどの種々の保全工が施工されるとともに、市営砂浴場へは 44 年より砂の搬入によって維持をはかるなど保全のための努力が続けられてきた。そして現在施工中の離岸堤を加えると海岸侵食対策工法の主なものが一通り試みられたと言ってよいであろう。その結果“澄みきった南国の空気と光を浴びて寝ながらにして白砂青松の田良・知林、そして錦江の波をへだてて大隅の連山を望む風光を満喫できる”¹⁾砂浴も今やコンクリートの壁と異型ブロックに囲まれてせざるを得なくなった。

(2) 海底地形と底質特性

指宿海岸の海底地形と底質の粒度特性が早坂ら²⁾によって調べられている(図-3)。それによれば知林島から南へほぼ直線状に延びる急斜面を境にして、東側は水深 40~50 m 以深の緩斜面が鹿児島湾口部の中央に向かって広がり、急斜面の西側は 20 m 以浅のほぼ平坦な地形が発達している。底質について南端の大山崎沖合海域で粒径が大きく北に向かって小さくなるような分布をしている。また昭和 52 年には県によって海岸域の底質調査が行われているが、その結果によれば沖合約 1 km の範囲では中央粒径が 0.15~0.99 mm の間で、摺ヶ浜前面では粒径は小さくなっている。このような資料をもとに海底を想像すると

摺ヶ浜前面の海底が 1 mm もない砂で覆われているように思いこんでしまうが、昭和 53 年 11 月の波浪観測の際に潜って見た海底の様子は全く異ったもので、突堤先端より沖では人の頭の大きさ以上の巨礫が多く、その間に小礫や砂があるという状況であった。

砂の供給源としては流出する小河川が考えられるが多量の土砂量は期待できない。また、底質が粒径、礫の含有

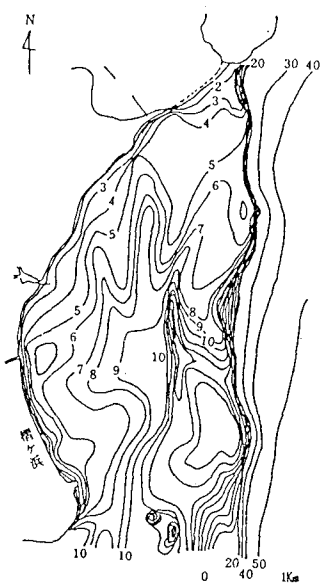


図-3 指宿海岸の海底地形(昭和47年, 早坂・他による)

率等が北側ほど小さな値を示すこと、波浪の推算結果によると波エネルギー流束の沿岸成分が北向きであることなどを考慮すると沿岸漂砂方向は北向きと考えられている。

(3) 波浪特性

指宿海岸での長期間の実測波浪データはなく、昭和46年から50年の5ケ年間の風波と、昭和47, 48年の2ケ年間のうねりについての推算が行われている³⁾。その結果によると、風波の75%が $H_{1/3} < 0.25$ m, 90%が $H_{1/3} < 0.5$ m, 1 m 以上の波高の出現頻度は1%程度、うねりについては約6割が0.5 m未満という比較的穏やかな海岸である。波向きは風波ではE方向が最も卓越し、うねりは屈折により摺ヶ浜ではE~ESEとなっている。

著者らも昭和53年11月前半の16日程容量式波高計による波浪測定を行ったが、8割は $H_{1/3} \leq 0.2$ mであっ

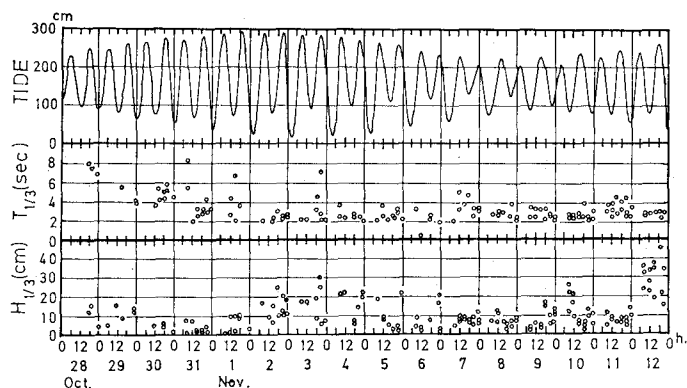


図-4 波浪観測結果

た。また、周期は2.0~4.0が8割程であった(図-4)。

(4) 海岸侵食の状況

早坂らは昭和47年に行った測深結果に基づく海底地形と昭和13年測量の海図に基づいて34年間の地形変化を調べ、指宿海岸のほとんど全域で侵食が進んでおり、汀線の後退が単に海岸部だけの現象ではなく、図-3に示された海域全体にわたる大規模な変化の傾向の一端としてとらえるべきとしている²⁾。一方、昭和22年, 40年, 47年に撮影された航空写真から指宿海岸の汀線変化が調べられており、それによれば昭和22年から47年までの25年間に逆瀬川より北側で汀線は前進、南側で後退となっている。さらに昭和45年, 47年, 49年, 51年の各3月の深浅測量結果に基づいて調べられた等深線変化によっても橋牟礼川より北側で堆積、南で侵食の傾向を示すことが指摘されている³⁾。これらの結果を考慮すると指宿海岸の侵食は海域全域での傾向であるにせよ、汀線の後退として現われており問題なのは摺ヶ浜の砂浴場を中心とした局所的なものであると考えられる。

堀川・砂村・近藤・岡田⁴⁾は

$$\frac{H_0}{L_0} \geq 18(\tan \bar{\beta})^{-0.27}(d/L_0)^{0.67}$$

の条件を満たす場合に汀線は後退することを示している。 H_0 , L_0 は沖波の波高および波長。 d は粒径, $\tan \bar{\beta}$ は汀線より水深 20 m のところまでの平均勾配とされている。これより例えば周期 4 秒の風波では H_0 が 1.2 m 以上で後退ということになり, そのような波の出現は 1% 程度と推定される。このような点を考えるとこの海岸は砂の補給があればどちらかと言えば堆積性の海岸と考えられそうなところである。そのような海岸線のなかでこの砂むしの近くだけの砂が流失することから, その部分の条件の特殊性を考えてみると砂むしのあたりでは砂浜の内部を温泉が流れており, 汀線付近では素足で入るとやけどしそうになっているということがまず考えられる。またこのあたりでは大潮で 3 m 近い潮差があり, そのような条件がこの摺ケ浜の砂流失を考える上での手掛りを与えてくれるのではなかろうかと考えられた。そこで砂浜内部の地下水位や砂移動の状況を調べ, 砂流失の機構に関する手掛りを得るべく以下のような現地観測を行った。

3. 現地観測

昭和 56 年 12 月 8 日から 13 日にかけて砂浴場のある 1 号堤と 2 号堤の間で次のような観測を行った。

(1) 摺ケ浜の砂浜地下水位の平面分布と潮汐に伴う時間変化の 1 時間毎の測定。(2) 容量式波高計による 3 時間毎の波の測定。(3) 地下水温の平面分布と時間変化の 3 時間毎の測定。(4) 螢光砂による前浜の砂移動の観

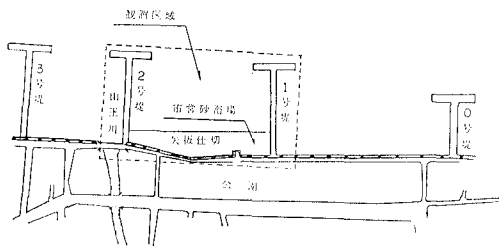


図-5 観測区域

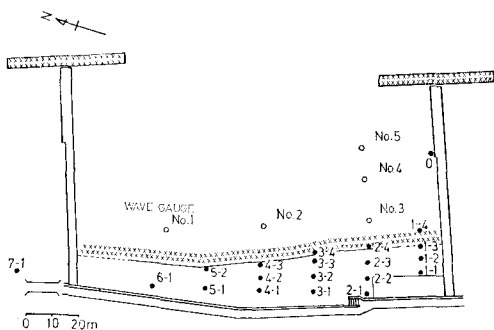


図-6 地下水位計 (●), 波高計 (○) の配置

測。(5) 現場透水試験, 海浜地形測量, 風向・風速測定など。

地下水位の測定は内径 40 mm, 長さ 3 m の塩ビパイプを砂中に埋め込みフロートの上下を測った。

観測期間中はほとんど風向 WNW~NW, 風速 1 m/sec で波は周期 4 秒程度, 波高数 cm と穏やかであった。

図-5 は観測区域, 図-6 は地下水位計, 波高計の配置を示す。

4. 観測結果

図-7 に 1 例を示すような地下水位の時系列が 19ヶ所の測点について得られた。この一例からも干潮時には地下水面と海面の間にかんりの水位差が生じることが分る。なお, 水位は最干潮時の平均水位を基準にして表してある。水位差の大きい干潮時の地下水位の分布を図-8 に示した。砂浜の地下水位は観測区間の両側にある 1 号堤および 2 号堤寄りの部分で高くなっており, 中央部への流れが推定される。これは矢板仕切中央付近に水抜孔があることによるものと思われる。砂浜の平均地下水位についても突堤の間の至るところで平均的に海面より高くなっていることがわかった。両突堤の内側と外側を対比するために両突堤の外側に各 1 本ずつ水位計を設置したが, 1 号堤の外側に設置したものはホテルからの排

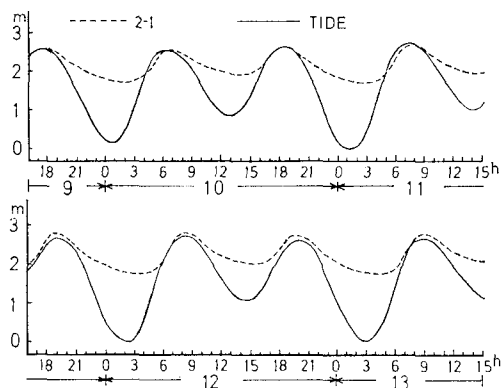


図-7 水位の観測例 (破線: 測点 2-1, 実線: 潮位)

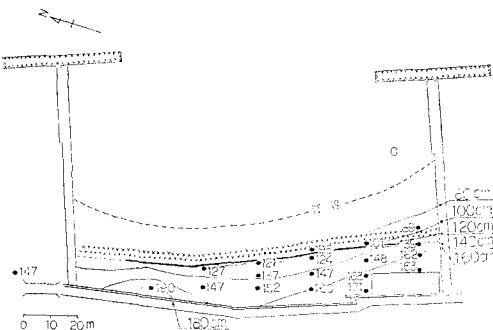
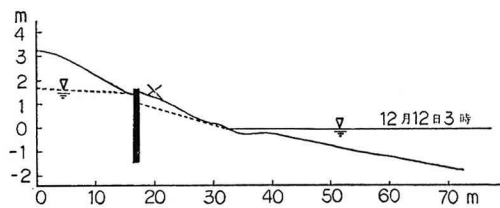


図-8 干潮時の地下水位分布 (海面を基準としている)

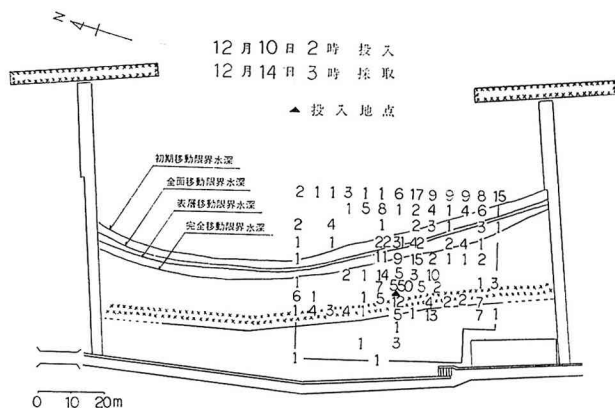


図—9 測線2における地下水面

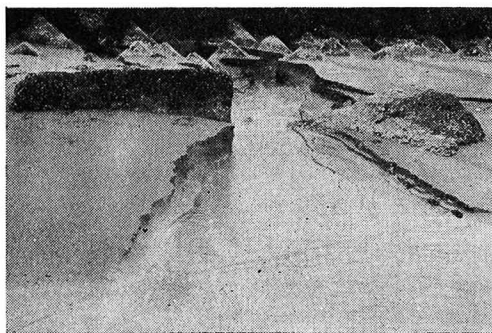
水の影響で測定不能になった。2号堤の外側の水位計によるとその平均水位は観測区域中央部の平均水位程度となっていた。これは温泉によるものか山王川 の存在によるものか明らかでない。図—9 には測線2の断面での干潮の地下水面を示した。矢板仕切の存在によって仕切内では地下水位の変動が抑制されているため仕切の海側より平均的に高くなっている。

地下水温は潮位によって 40℃ から 80℃ の間で変化していたが、このように温度が高いため粘性係数は小さく透水係数は常温の倍以上にもなっており、地下水自体も通常の条件下よりも流れやすくなっていると考えられる。水温の平面分布は水位分布とほぼ対応しており、1号堤すなわち右側突堤よりの部分で高くなっており、左側の地下水位の高いところでもいくぶん水温が高くなっていた。

砂の移動状況を見るために螢光砂を矢板仕切の内側と外側に置いたが、内側に置いた分は砂浴のため掘り返されたりして人為的に散乱させられたため、外側のものについて投入後4日目に採取した結果を図-10に示した。この期間中は前述のようにほとんど波がないと言ってよいような状況であったにもかかわらず螢光砂は砂の移動限界水深を越えて流され散っていた。矢板仕切の海側の砂は写真-1に示すように矢板排水孔から流出する温水に流されている部分があったが、さらに最干潮時には前浜斜面上に滲出した地下水が前浜の砂を流し多くの条痕を形成していた(写真-2,3)。このようにして海側に流された砂が移動限界水深を越えたところへどうして流さ



図一10 螢光砂の移動状況



写真—1 矢板仕切排水孔より流出する温泉で砂が流される

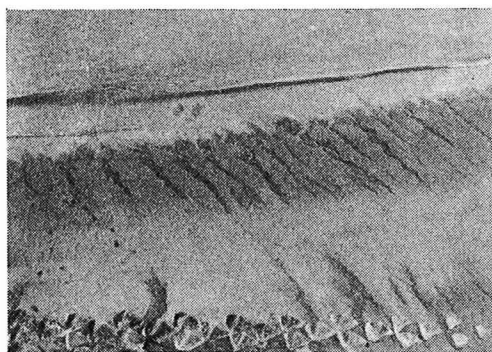
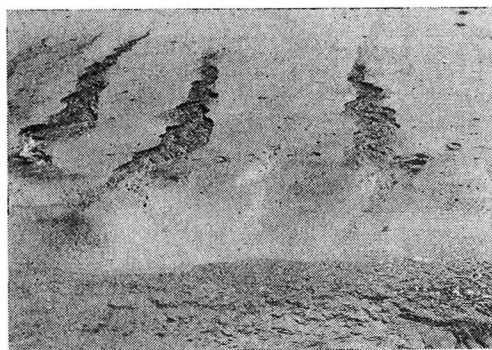


写真-2 砂浜表面より温泉が滲出して砂を流してできた条痕



写真—3 写真—2 の条痕を近くからとったもの

れたかという疑問が残る。この点については実験的に砂浜地下水位に勾配を与えて波を作用させてみたところ、地下水の滲出部の地下水位の勾配が砂浜斜面勾配に近くなると砂は流れ出すのでそのようなことと関係するものと考えられる。

以上のような結果から、摺ヶ浜の砂流失の原因の一つとして砂浴場付近で地下水位が高くなっており干潮時にはかなり地下水位の勾配が生じ、その結果浸透水圧によってパイピングやボイリングと類似の現象として砂が流されたり流されやすい条件下にあることが考えられた。

このように考えた場合になぜルース台風による
欠陥以後に砂流失が問題になってきたかというこ

とも理解できそうである。つまり砂浜が幅広かった頃は地下水位の勾配が小さく滲出速度が小さかったものが欠壊後は砂浜が痩せたために地下水位勾配が大きくなって砂が押し流されやすくなり回復できなかったと考えられそうである。

5. あとがき

指宿の摺ヶ浜海岸の砂流失の概要を紹介し、その可能な原因として砂蒸し温泉の影響を考えてみた。さらに詰めていくためには地下水位に勾配があるときの砂の移動の力学的な事柄を検討していく必要があると思われる。

謝辞： 観測の準備，器材の製作・設置等の指導は本

学中村和夫技官に負うところが大きい。観測作業は研究室の院生，四年生（当時）の応援を得た。実施にあたり鹿児島県指宿事務所および指宿市にはお世話になった。ここに心から感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 指宿市：指宿市誌，1958.
- 2) 早坂祥三・大塚裕之・大木公彦・東川勢二：鹿児島県指宿沿岸海域の海底地形と底質の粒度分布について，鹿児島大学理学部紀要（地学・生物学），第7号，pp. 23～36, 1974.
- 3) 鹿児島県指宿土木事務所・日本テトラポッド株式会社：指宿港（摺ヶ浜地区）海岸保全事業計画調査報告書，1979.
- 4) 堀川清司・砂村継夫・近藤浩右・岡田 滋：波による二次元汀線変化に関する一考察，第22回海講演文集，pp. 329～334, 1975.