

地中探査レーダーによる三保半島の地形発達過程

吉河秀郎¹・村上文敏²・根元謙次³

静岡県三保半島は日本を代表する複合砂嘴であり、また、海岸侵食の典型的な例ともされる。砂嘴地形、特にその海浜域の形成過程や汀線変動の要因を理解する事は、将来的な海岸地形保全のために重要と考える。本研究では、三保半島海浜域の地形発達過程と侵食・堆積現象による汀線変動の検討を目的に、地中探査レーダー (Ground Penetrating Radar : GPR) による地下構造の調査を実施し、地質学的な解釈を行った。海浜堆積物と砂丘堆積物の地下構造断面は異なる反射特徴を示し、前者は海側傾斜、後者は陸側傾斜の反射が主体である。さらに、海浜堆積物の反射形態は、北の連続した地層の形成域と、南の侵食・堆積をくり返した海浜との堆積構造の違いを反映している。また、南の海浜堆積物中の 1988 年当時の汀線位置に、砂丘間堆積物の剥離面が認められた。

1. はじめに

海岸侵食の典型的な例である静岡県三保半島は日本を代表する複合砂嘴である (図-1)。砂嘴の形成過程については、地質学的観点 (例えば土, 1967 ; 根元ら, 1989 ; 依田ら, 2000) と土木工学的知見 (例えば宇多・山本 (1991, 1992)) から検討が行われている。また、過去数十年間の汀線や海浜地形の変動から、侵食域の移動速度や沿岸漂砂量などが推定されている (例えば宇多ほか (1991, 1993))。

砂嘴地形、特にその海浜域の形成過程や汀線の変動を理解する事は、海浜地形変化の予測を可能にし、将来的な海岸地形保全のために重要である。砂州や海岸平野では、村上ら (2005)、田村ら (2005) は地中探査レーダー (Ground Penetrating Radar : GPR) を用い、地下構造のイメージングや海浜地形発達についての解釈を試みている。その結果、海浜域の地下構造の連続断面が前浜と外浜堆積物では固有の特徴を持つ事、また数十年オーダーでの海岸線の停滞、及び前進が認められる事を明らかにした。本研究では、三保半島海浜域の地形発達過程と侵食・堆積現象による汀線変動の検討を目的に、GPR による地下構造の調査を実施した。

2. GPR 調査

2005 年 12 月に静岡県三保半島で GPR による地下構造調査を実施した。GPR は電波により地下の地質構造や埋設物等を調査する装置である。地表の送信アンテナから送信された電波は、地中を伝搬し電気物性の異なる境界で反射し、受信アンテナで受信される (図-2)。この探査手法は堆積物の密度、粒度鉱物などの変化を反映

するため海浜堆積物の堆積構造の可視化に有効とされる (田村ほか, 2005)。GPR 装置は産業技術総合研究所地質情報研究部門所有の Pulse Ekko 100 (Sensors & Software 社製 : カナダ) を用いた (写真-1)。送受信アンテナは周波数 100 MHz である。探査測線は半島の駿河湾側と先端部で、海岸線と平行に 10 本、それと斜交する測線が 9 本、総測線長は約 1,400 m である (図-1)。堆積物の電波速度を求めるためにワイドアングル法調査を地域ごとに実施した (図-2)。探査地点の位置と標高は、スタティック GPS とトータルステーションによる測量で求めた。GPR 時間断面に深度変換・標高補正処理を行い、得られた深度断面により地質学的解釈を行った。

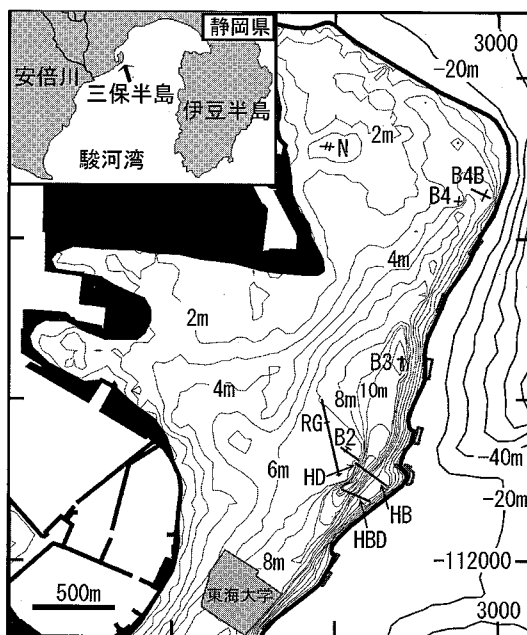


図-1 三保半島と探査測線位置

1 学生会員 修(理) 東海大学連合大学院理工学研究科
2 理 博 (独法) 産業技術総合研究所
3 理 博 東海大学教授 海洋学部海洋資源学科

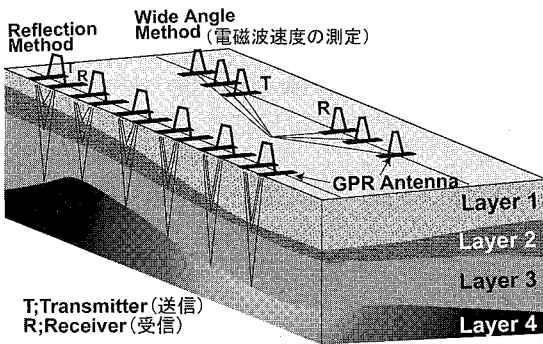


図-2 GPR 調査概念図

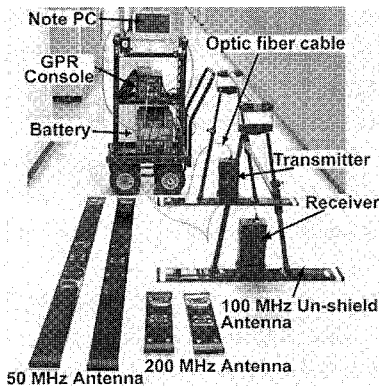


写真-1 GPR 装置

3. 汀線の変化

静岡県静岡土木事務所による 1970・1989・1997・2006 年の航空写真 (図-3) と、1979・1988・1997・2006 年の深浅図から読み取った (数値化) 汀線位置とその変動を、羽衣の松周辺 (図-4)、及びその北 (図-5) での GPR 調査測線と合わせて示す。

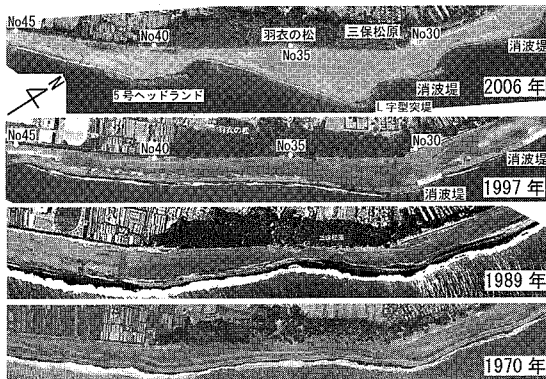


図-3 航空写真による羽衣の松周辺の汀線変動
海岸沿いの番号は静岡県静岡土木事務所による工事基準点

調査域では 96 年末～97 年に No. 31 の北側に消波堤が設置され、羽衣の松の北東側の L 字突堤型ヘッドランドは 1998～2000 年に、羽衣の松の南側の 5 号ヘッドランドは 1999～2000 年に設置された。

調査域南部 (図-3, 4) では、70～89 年にかけて羽衣の松 (No. 35) 前の海岸が一部侵食となるが、その他は堆積傾向である。88～97 年は、No. 35 より北側で顕著に堆積傾向となり汀線は海側へ前進するが、No. 40 以南では侵食傾向である。97～06 年は汀線の変化が著しく、L 字突堤型ヘッドランドの設置により、最大約 90 m の汀線の前進がみられるが、その北側 (No. 32 以北) と南側 (No. 36 以南) の侵食も大きく、No. 38 の前面では汀線が最大約 100 m 後退する。GPR 断面 1 (HB・HD) の海側約 30 m、及び断面 2 (HBD) の海側約 10 m は、汀線が海岸構造物の設置に関与せず前進している 88～97 年の時期に位置する (図-4)。

調査域北部 (図-5) は 79～97 年までは堆積傾向であり、No. 13 付近で汀線が最大約 70 m 前進した。一方、97～06 年では No. 13～No. 18 が侵食傾向となる。これは、調査域南部と同様に海岸構造物による漂砂の制御効果のためと思われる。また、No. 12 以北では 97 年までと同様に堆積傾向である。GPR 断面 3 (B4B) は 79 年以降の汀線変動に関与しない。

全体的に調査域の汀線は、南部・北部ともに 97 年までは単調な変化をみせるが、97 年以降海岸構造物の設置にともない漂砂の上手側で前進 (堆積)、下手側で後退 (侵食) し、複雑な変化を示す。

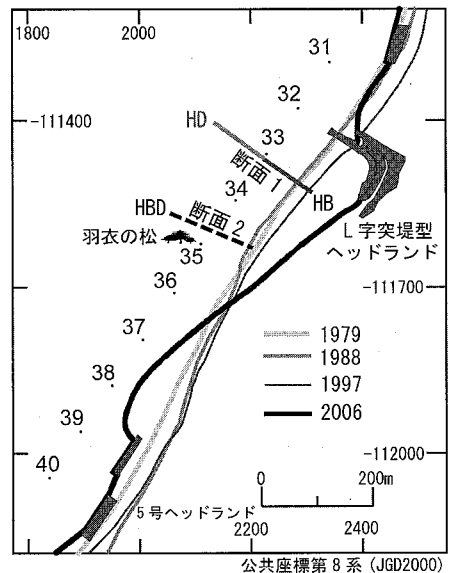


図-4 羽衣の松周辺の汀線変動
海岸沿いの番号は静岡県静岡土木事務所による工事基準点

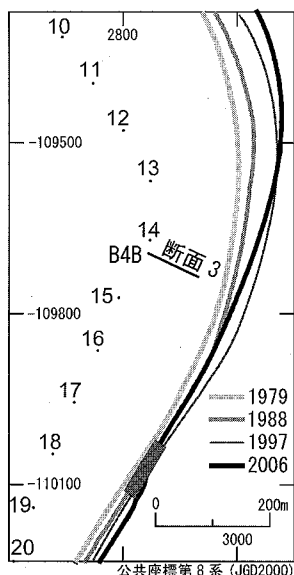


図-5 調査域北部の汀線変動
海岸沿いの番号は静岡県静岡土木事務所による工事基準点

4. GPR 断面の解析結果と考察

本論では汀線の変動に関連する GPR 断面として、測線 HB・HD, HBD, 及び B4B の記録を解釈する。

(1) 断面1 (HB・HD)

断面1の90~100m付近を境に、砂丘(北西)側と海(南東側)側の地下構造の違いは明瞭である(図-6)。

海側では勾配(見かけ上)2~15°の海側傾斜の反射であるが、砂丘側では勾配1~15°の陸側(北西側)傾斜となる。その陸側傾斜の構造は、標高7m付近の砂丘の陸側から海側まで水平に連続した反射より上位の地層でみられる。砂丘と海側の反射形態の違いは堆積環境の違いを反映しており、断面1の90~100m付近より陸側が砂丘堆積物、海側が海浜堆積物に対比できる。

断面1の海浜堆積物中において、145~175mを境界に明瞭な構造の違いが認められる。その境界より砂丘側では勾配2~10°の海側傾斜の反射が卓越する。一方、海側では勾配2~15°の海側傾斜の反射が卓越し勾配がより大きい傾向を示す。この境界は、砂丘側の海浜堆積物の剥離と、その後の南東側の海浜堆積物の付加により形成されたと考えられる。88~06年の18年間にNo.36より南の海岸(図-4)は、侵食により汀線が最大で約100m後退したが、断面1が位置しているNo.36からL字突堤型ヘッドランドまでの汀線は堆積による前進傾向にある。88年と97年の深浅図によると、旧汀線的位置は88年が断面1の175m付近に、97年が断面1の205m付近に位置し、9年間で汀線は約30m前進した(図-6)。

断面1の地下構造から、以下のような海浜発達が考えられる。1:砂丘前面の海浜堆積物が剥離され勾配約10°の斜面が形成された。2:駿河湾側への前進構造を持つ堆積物の付加により、88~97年まで汀線が徐々に前進した。また、L字突堤型ヘッドランド設置から06

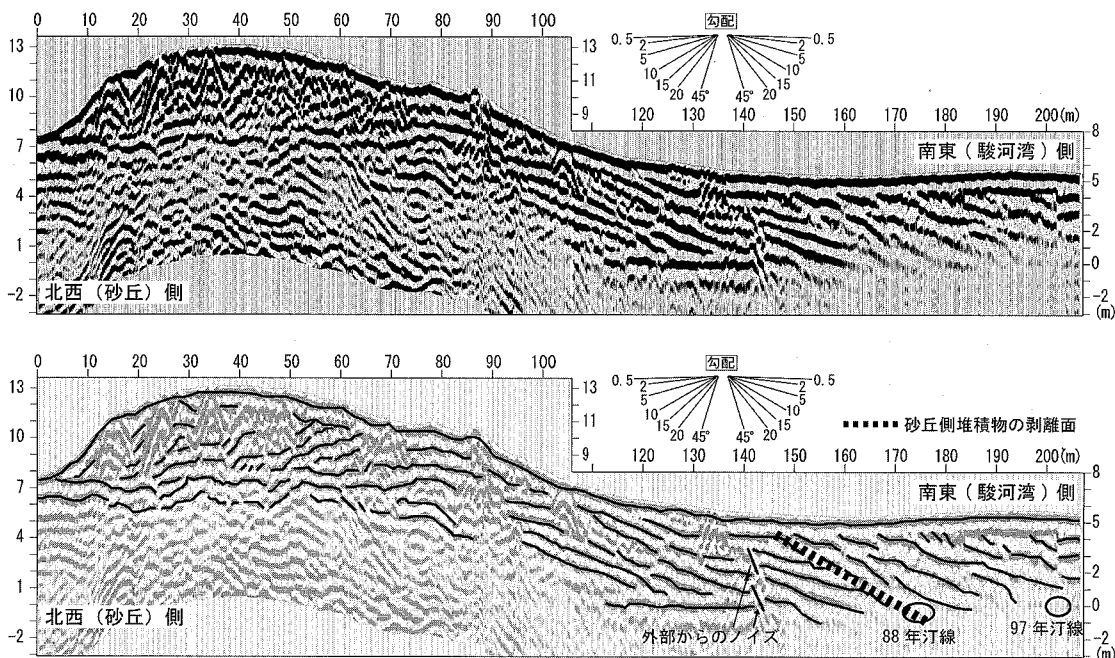


図-6 断面1 (HB・HD) 上: GPR 断面記録 下: 解釈結果

年にかけて汀線が急激に前進し、現在の海浜が形成された。

(2) 断面2 (HBD)

羽衣の松付近の断面2 (HBD) の60 mより東南東側(海側)では、勾配0.5~15°の海側傾斜の反射が卓越するが、断面2の0~60 mの砂丘域では勾配2~10°の陸側(西北西側)傾斜の反射が主である(図-7)。また、断面2の125~135 m付近に海側傾斜の反射の不連続面がみられる。79~06年の何れの汀線も断面2の145 m付近より海側に位置するため(図-4)、79年より前に形

成された地層と考えられる。

(3) 断面3 (B4B)

断面3は全体的に勾配の小さい反射が特徴的であり、反射の連続性が良く、前に述べた断面との反射形態の違いは明らかである(図-8)。断面3の陸側ではほぼ水平な反射、海側では勾配2~5°以下に傾斜した反射が主体であり、反射形態から、その多くは海浜堆積物と解釈できる。また、断面3の70 m付近、標高2~4 mの地層中に、比高1~2 m程度、幅約10 mの高まりが見られる。これは前に述べた断面(図-6, 7)で確認できる地

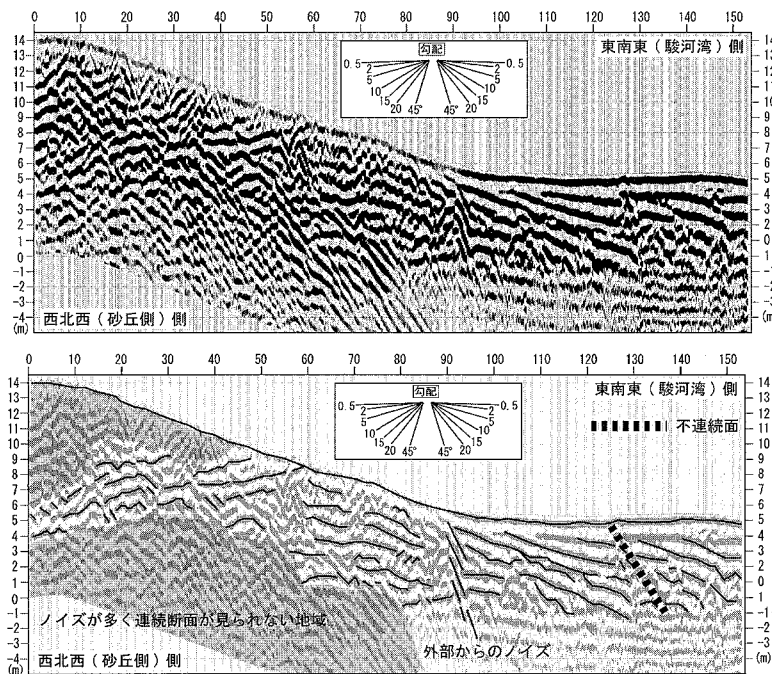


図-7 断面2 (HBD) 上：GPR 断面記録 下：解釈結果

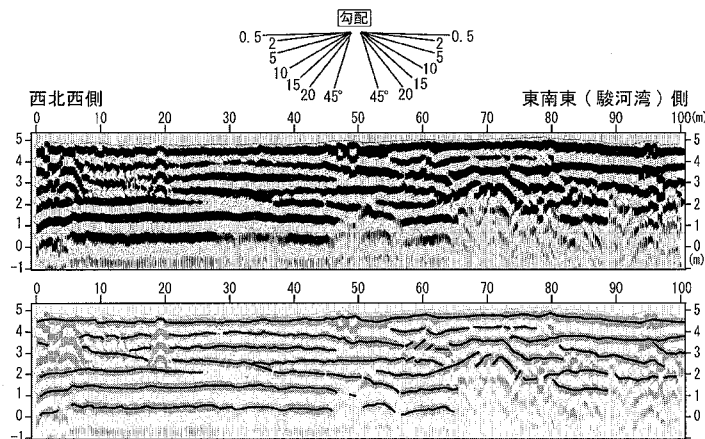


図-8 断面3 (B4B) 上：GPR 断面記録 下：解釈結果

表面付近の障害物によるノイズと形態が異なり、地層中の埋設物もしくは、過去の沿岸砂州が地層中に残存したものと考えられる。

断面3は過去約30年間の汀線変動に関与しない地域であり、その海側では海岸構造物が97年に設置されるまで、汀線はほぼ連続して前進する(図-5)。断面3(図-8)が断面1と2の海側傾斜の構造(図-6, 7)と異なる形態をもつ原因として、堆積環境の違い、地層形成期の違いがあげられ、特に、連続した地層の形成域と、侵食・堆積をくり返した海浜域との地質構造の違いを反映したものと考えられる。

5. ま と め

海浜域の形成過程や地層中に残存する汀線の変動を理解する事は、今後の海岸地形保全のために重要と考え、地中探査レーダー (Ground Penetrating Radar : GPR) による地下構造の調査を静岡県三保半島で実施した。得られた地下構造の連続断面について地質学的解釈を行った結果、GPR 地下構造断面は各堆積環境で異なる反射の特徴を示し、また、旧汀線位置を GPR 断面から読み取れる事が判明した。

調査域南部の羽衣の松周辺の GPR 断面では、砂丘堆積物と海浜堆積物の識別が可能であり、前者では反射が陸側(北西側)傾斜、後者は海側(南東側)傾斜の反射が主体である。また、海浜堆積物中の1988年当時の汀線の位置に、砂丘側堆積物の剥離面が認められた。

過去約30年間の汀線変動に関与しない北部と、南部の GPR 断面の違いは明確である。北部は連続した海浜堆積物により構成され、一方、南部では砂丘堆積物と、その海側の海浜堆積物で構成される。また、北部と南部の海浜堆積物の反射形態が異なる原因として、堆積環境や地層形成期の違いがあげられ、特に、連続した地層の

形成域と、侵食・堆積をくり返した海浜との地質構造の違いを反映したものと考えられる。

なお、削剥が生じた原因と堆積物の付加機構については、柱状試料等に基づく地質学的検討が必要であり、今後の課題である。また、海浜域で多くの GPR 断面を得ることにより、過去の漂砂量(堆積物の付加量)の推定が可能と考える。

謝辞：東海大学海洋学部海洋資源学科の佐藤武教授には、本研究を進めるにあたり、三保半島の海岸について色々ご討論頂いた。調査時には東海大学大学院生、東海大学海洋学部学生に協力を受けた。以上の方々に対して感謝する。

参 考 文 献

- 宇多高明・山本幸次(1991)：複合砂嘴の形成過程に関する実験的研究, 地形, 12, 4, pp. 357-365.
- 宇多高明・山本幸次(1992)：砂嘴形成海域の海底地形と砂嘴形態の関係について, 地形, 13, 2, pp. 141-157.
- 宇多高明・鈴木忠彦・山本幸次・板橋直樹(1993)：三保松原の危機的海岸侵食状況, 海岸工学論文集, 40, 土木学会, pp. 441-445.
- 田村亨・七山太・村上文敏・渡辺和明・斉藤文紀(2005)：九十九里浜平野完新世海浜堆積物の地中レーダー探査, 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, p. 250.
- 土隆一(1967)：静岡・清水地域の地質, 静岡商工会議所, pp. 11-14.
- 根元謙次・伊津信之介・土方聡・藤井真二・難波丈介・滝野義幸(1989)：羽衣沖海底谷一堆积物の流動現象についての地質学的考察, 東海大学紀要海洋学部, 29, pp. 1-21.
- 村上文敏・井上卓彦・徳岡隆夫・吹田歩・渡辺和明・田村亨・七山太(2005)：弓ヶ浜半島における地中探査レーダー調査結果(概報), 日本地質学会第112年学術大会講演要旨, p. 229.
- 依田美行・黒石修・根元謙次(2000)：堆積シーケンスからみた三保半島及び半島沖大陸棚の形成, 海洋調査技術, 12 (2), pp. 31-47.