

砂嘴地形の安定化工法に関する実験的検討

——駿河海岸の和田鼻砂嘴を例として——

宇多高明*・山本幸次**・佐口光明***・片岡賢一****

1. まえがき

駿河湾西岸に位置する駿河海岸の北端には和田鼻砂嘴があり、当海岸に沿って北上してきた沿岸漂砂の大部分はこの砂嘴の先端付近にある海底谷を経由して深海へと流出している(宇多・小俣, 1989)。駿河海岸は最近においても侵食が著しいが、侵食対策上、このような土砂流出の防止が大きな問題となり、根本的対策が求められている(村田ほか, 1991)。ところでこの砂嘴付近では海岸線の方向が約 90° 曲がり、またその沖合には急峻な海底谷が迫っている。したがって、このような海岸での対策案の検討には、緩勾配近似が成立しない以上、数値計算による検討はかなり難しく、水理模型実験に頼らざるを得ないのが現状である。しかも、地形のスケールが大きく、また場所的变化が非常に大きいから、単純な幾何学的模型を造っても、現況地形の再現が確保される保証は何もない。そこで、本研究ではいくつかの仮定のもとで、問題の単純化を図り、それにより現況の砂嘴地形特性の再現を行い、その上で対策工の検討を行う新しい実験方法を開発した。以下ではこの方法について報告する。

2. 駿河海岸の地形特性

駿河海岸は、大井川河口を中心として南北に広がる延長約 18 km の砂礫海岸である(図-1)。駿河湾は南に開いているため、この海岸では SE 方向からの波の入射が卓越する。大井川港沖の1969年～1974年の波浪観測データによると、有義波高のエネルギー平均値は $H=0.94$ m, 周期は $T=9.4$ s である(宇多ほか, 1986)。このような波の入射に対し、海岸線の方向が傾いているため、駿河海岸においては北向きに沿岸漂砂が卓越し、その量は当海岸の測線 No. 20 において $Q \approx 8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定されている(宇多ほか, 1991)。

図-1 に示す大井川河口の北側の No. 44～No. 14 の

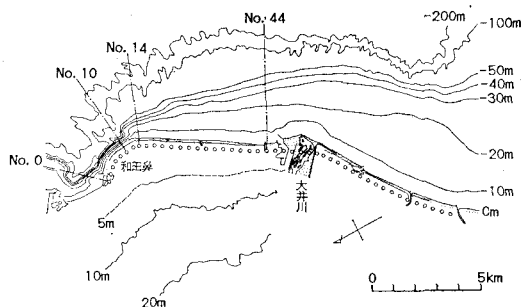


図-1 駿河海岸の地形

区間では、海面下の -30 、 -40 、 -50 m の等深線は各々平行で、その間隔はほぼ等しい。また、これらの等深線と陸上部の 5 、 10 、 20 m の等高線もほぼ平行である。しかし、汀線と -10 m の等深線は、 5 m 以上の等高線および -30 m 以深の等深線の方に対して斜交しており、汀線と -30 m の等深線間隔は No. 44 で広く、No. 14 に向かい徐々に狭くなる。逆に汀線と 5 m の等高線間隔は No. 44 で狭く、No. 14 に向かい広くなる。こうした等高線・等深線の特徴は、No. 44 付近では汀線から -10 m の間の等深線が後退し、No. 14 付近で突出したことを表わしている。一方、和田鼻の先端部に位置する No. 10～No. 0 の区間では、汀線から -50 m の等深線間隔が No. 44 付近のそれと比較して非常に狭く、急勾配であるのに対し、陸上部には平坦面が広がっている。以上の地形特性は、砂嘴周辺で見られる普遍的な特性(宇多・山本, 1988)と良い一致を示しており、和田鼻が明らかに砂嘴地形として形成されてきたことを表わしている。

3. 砂嘴周辺の海浜変形実験

ここでは、まず和田鼻砂嘴の形成に関する再現実験を行う。次に、海底谷への土砂流出防止構造物として、人工岬を設置した場合の和田鼻砂嘴の海浜変形とその対策について検討する。

3.1 実験条件

海浜変形の実験は次の考え方のもとで実施した。

① 模型縮尺: $1/50$ に想定し、海浜変形の時間スケール

* 正会員 工博 建設省土木研究所海岸研究室長
 ** 正会員 建設省土木研究所海岸研究室研究員
 *** 正会員 建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所長
 **** 正会員 建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所

以外はフルード相似則にしたがうとする。これにより、波の屈折・回折等の現象の相似性は保たれる。

②実験砂：実験の制約上、中央粒径 0.28 mm の実験砂を用いる。これはフルード相似により現地換算すると、中央粒径 $d_{50}=14\text{ mm}$ の底質となる。駿河海岸 (No. 14~No. 42 区間) の底質粒径は、汀線付近で $d_{50}=15\sim 1\text{ mm}$ 、 $-2\sim -10\text{ m}$ で $d_{50}=0.5\sim 0.2\text{ mm}$ である (宇多ほか, 1986)。すなわち実験砂は、汀線付近ではほぼ相似であるが、地形変化の限界水深付近では数十倍 (30~70倍) の粒径を持った底質に相当する。したがって、波浪条件に歪がない場合、底質は非常に動きにくい状態となる。

③模型海浜の平面形状：沿岸漂砂が卓越するよう、入射波の波峰線に対し傾いた海岸線を有する海浜模型を整形する。駿河海岸の侵食域 (No. 44~No. 14) において、過去の海岸線と平行であったと考えられる $-30\sim -50\text{ m}$ の等深線は、現在の汀線に対し反時計回りに約 20° 傾いている (図-1 参照)。そこで、実験では汀線への法線と波の入射方向とが反時計回りに 20° となるように初期海浜模型を整形する。この場合、碎波波向は約 10° となる。

④海底勾配：駿河海岸が扇状地の一部であることから、侵食域、堆積域の初期海底勾配は一定とする。当海岸の汀線付近の勾配は約 $1/7$ と急であってバー・トラフが存在しないことから、実験では海底勾配は $1/5$ と急にする。

⑤海岸線の変曲点：和田鼻は円弧状砂嘴として突出した堆積地形の一部をなしている。本実験はその中央部での海浜変形を扱うものであるから、円弧状砂嘴を再現させねばならない。そこで、円弧状砂嘴を形成させる条件として、侵食域と堆積域の境に海岸線の変曲点 (汀線の方が極端に変化する点) を設ける。

⑥地形変化の限界水深：実験と現地海岸における地形変化の限界水深を条件①のもとで相似にする。駿河海岸の地形変化の限界水深は約 -6 m と求められているから、実験でのそれは -12 cm とする。

⑦波浪条件：条件②、⑥の関係から波浪条件を決める。地形変化の限界水深付近の底質粒径は、実験の方が現地条件と比較して大きい (30~70倍)。このため、駿河海岸の地形変化を決めるエネルギー平均波 (宇多ほか, 1986) を $1/50$ に縮小した波を作用させても地形変化の限界水深を相似にすることはできず、この波を作用させても底質は非常に動きにくくなる。そこで、中央粒径 0.28 mm の実験砂を用いた既存の実験結果 (宇多ほか, 1988) をもとに、限界水深が 12 cm となるよう $H_0'=4.6\text{ cm}$ 、 $T=1.27\text{ s}$ の実験波を選定する。これは現地換算で $H_0'=2.3\text{ m}$ 、 $T=9.0\text{ s}$ の波浪となる。

以上の実験条件のもとで、長さ 26 m 、幅 26 m 、高さ 60 cm の平面水槽を導波板により 図-2 のように仕切

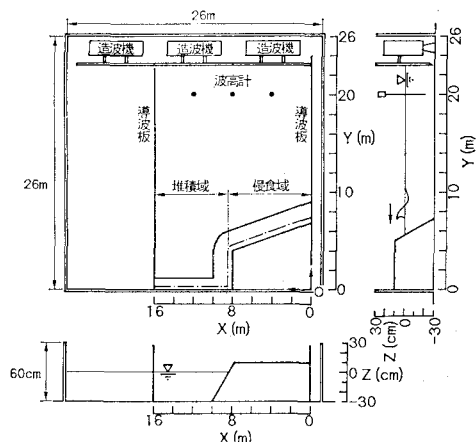


図-2 水槽諸元と座標系

り、幅 16 m の区間で実験を行った。右側の導波板と水槽側壁の交点に原点 (O) を取り、波の入射方向に Y 軸、Y 軸と直交方向に X 軸を取った。実験中の水位は平面水槽底面から 30 cm に保ち、静水面を高さ方向 (Z 軸) の基準とした。

模型海浜の勾配は $1/5$ とし、 $Z=10\text{ cm}$ には平坦面を造った。 $X=0\sim 8\text{ m}$ 区間の $1/5$ 勾配斜面は X 軸 (造波板) に対して 20° 傾いており、 $X=8\text{ m}$ 上に海岸線の変曲点を設け、 $X=8\sim 10\text{ m}$ 区間は Y 軸と平行な $1/5$ 勾配斜面とした。 $X=10\sim 16\text{ m}$ 区間には消波を目的として X 軸方向に一樣な $1/3$ 勾配斜面を整形した。

実験は 2 ケース行った。ケース①では海底谷への土砂流出を阻止するために、人工岬を設置した場合の海浜変形を、また、ケース③では予想される人工岬下手側の侵食対策としてヘッドランド群を設置した場合の海浜変形を調べた。なお、沿岸漂砂を下手側へ流出させずに、大井川河口から構造物までの区間を 1 つの閉じた漂砂系にするという意味から、ここでは海底谷への土砂流出防止構造物を人工岬と呼ぶ。また、人工岬の下手側は、比較的小規模な突堤状の構造物により静的に安定な海浜を形成させることから、この構造物群をヘッドランド群 (土屋, 1984) と呼ぶ。

3.2 和田鼻砂嘴周辺地形の再現

まず、整形された模型海浜に波 ($H_0'=4.6\text{ cm}$ 、 $T=1.27\text{ s}$) を 8 時間作用させ、駿河海岸の No. 44~No. 0 区間の地形特性を再現した。一例としてケース②の地形を 図-3 に示す。侵食域 ($X=0\sim 8\text{ m}$) では、 $Z=-12\text{ cm}$ 以深の各等深線は各々平行で、その間隔はほぼ等しい。初期地形と比較すると、侵食域の $Z=-12\text{ cm}$ 以深の等深線は原形を保っている。これに対し、 $Z=-12\sim -4\text{ cm}$ の等深線間隔は約 60 cm と、初期の 20 cm よりずっと広がり、また、 $Z=0\sim 8\text{ cm}$ の各等深線間隔は狭まった。以上より、 $X=0\sim 8\text{ m}$ 区間は沿岸漂砂によ

って侵食され、 $Z=-4\sim-12\text{ cm}$ の範囲には侵食緩斜面、 $Z=0\sim 8\text{ cm}$ の範囲には浜崖が形成されたことが分かる。この場合の地形変化の限界水深は $Z=-12\text{ cm}$ である。

一方、 $X=8\sim 10.5\text{ m}$ の区間では等深線の間隔が非常に狭く、 $Z=-8\text{ cm}$ 以深の海底勾配は約 $1/2$ と急であるのに対し、陸上部の等高線間隔は広い。以上の点は、沿岸漂砂によって運ばれた砂が堆積して陸上部に平坦面が、海面下には急勾配斜面が形成されたことを示している。

ところで図-3の等深線形状は、図-1に示した駿河海岸の地形特性とかなり良い対応を示す。 $X=0\sim 8\text{ m}$ 区間の $Z=-12\text{ cm}$ 以深に初期地形が残された点は、駿河海岸の No. 44~No. 14 区間の $Z=-30\sim -50\text{ m}$ に扇状地形が残された点と対応し、また、 $X=0\sim 8\text{ m}$ 区間における $Z=0\sim -12\text{ cm}$ の侵食地形は、駿河海岸の No. 44~No. 14 区間における汀線から $Z=-20\text{ m}$ の侵食地形と良く対応する。No. 0~No. 10 区間で陸上部に平坦面があり、海底勾配が急である点は、実験では $X=8.5\sim 10.5\text{ m}$ 区間で $Z=4\text{ cm}$ が平坦面であること、海面下が約 $1/2$ と急勾配の海底となったことで再現された、このことより、図-3の地形は現在の駿河海岸の地形特性を十分再現していると言えよう。

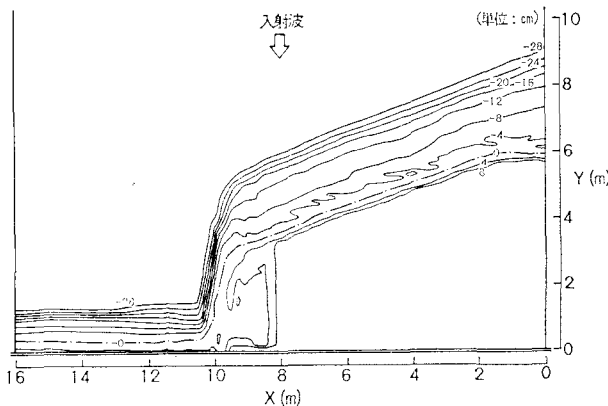


図-3 造波後8時間の地形(ケース②)

3.3 人工岬を設置した場合の海浜変形

人工岬の設置位置は、駿河海岸の No. 14 付近と同じ地形特性を示す $X=8\text{ m}$ の汀線付近とし、 $Z=8\text{ cm}$ の等高線と $X=8\text{ m}$ 測線とが交差する位置から、波の入射方向に対し反時計回りに 20° 傾けて設置した。人工岬は不透過構造で、越波させない天端高とした。先端水深は $Z=-14\text{ cm}$ として、地形変化の限界水深である $Z=-12\text{ cm}$ より深くした。以上の諸元を有するため、人工岬は左向きの沿岸漂砂を完全に阻止することになる。

汀線形状の経時変化を図-4に示す。左向きの沿岸漂砂により、 $X=0\sim 4\text{ m}$ 区間では汀線が後退し、 $X=5\sim$

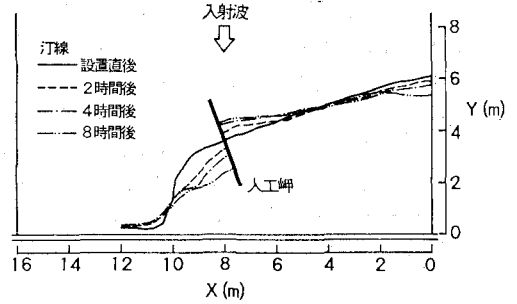


図-4 人工岬設置直後からの汀線の経時変化

8 m 区間では汀線が前進した。この区間では人工岬設置直後から4時間までは汀線が前進したが、4時間から8時間においては汀線はほぼ安定状態に近づいた。一方、人工岬の下手側では漂砂の移動が急激に阻止されたため、汀線が急速に後退した。

人工岬設置後4時間の地形を図-5に示す。 $Z=-16\text{ cm}$ 以深の等深線形状は図-3とはほぼ同じで変化していない。人工岬に隣接する $X=4\sim 8\text{ m}$ 区間では土砂の堆積によって人工岬に近いほど広い前浜が形成され、 $X=0\sim 4\text{ m}$ 区間では $Z=-12\sim -4\text{ cm}$ の等深線間隔が人工岬設置直後に比べて広がった。左向きの沿岸漂砂の発達により $X=0\sim 4\text{ m}$ 区間は侵食されて広い侵食緩斜面が形成され、 $X=4\sim 8\text{ m}$ 区間では土砂が堆積して陸上部に平坦面が、海面下には急勾配の斜面が形成されつつあることが分かる。一方、人工岬の下手側 ($X=8\sim 11\text{ m}$) は著しく侵食された結果、 $Z=8\sim -12\text{ cm}$ の等深線が人工岬を境に不連続となり、そこに広い侵食緩斜面が形成された。

人工岬の上手側隣接部 (A-A' 測線) の断面形状を図-6(a)に示す。 $Z=-12\text{ cm}$ 以深では断面形状の変化はほとんど見られないが、 $Z=8\sim -12\text{ cm}$ には砂が堆積し、鉛直方向に凹形から凸形の断面形へと変化した。人工岬のすぐ下手側の B-B' 測線 (図-6(b)) では $Z=8\sim 4\text{ cm}$ はほとんど変化がないが、 $Z=4\text{ cm}$ の平坦面は侵食されて消失し、全体的に鉛直上方に凹形の侵食断面となった。設置前には一度堆積した断面形状であったが、設置後4時間でそれは侵食された。また、侵食される場合の地形変化の限界水深は $Z=-12\text{ cm}$ にある。人工岬から約 2 m 離れた C-C' 測線 (図-6(c)) においても著しく侵食され、 $Z=4\text{ cm}$ の平坦面は幅 155 cm から幅 60 cm へと狭くなった。地形変化の限界水深は $Z=-10\text{ cm}$ にある。人工岬から約 3 m 離れた D-D' 測線 (図-6(d)) でも量は小さいが侵食された。また、地形変化の限界水深は $Z=-8\text{ cm}$ と浅くなった。

結局、先端水深が地形変化の限界水深以深の人工岬を設置すれば海底谷への土砂流出を防止でき、また、人工

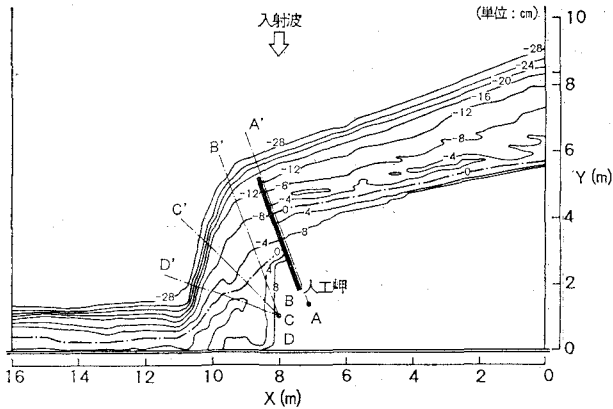


図-5 人工岬設置後4時間の地形

は安定状態に達した。ヘッドランド②の下手側でもヘッドランド①、②の区間の汀線変化と同様の傾向を示す。また、これらの区間では汀線の前進が見られないことから、侵食された土砂は深海に流出したと考えられる。

図-8には人工岬およびヘッドランド①、②の設置後4時間の地形を示す。人工岬の上手側と下手側では等深線の位置に段差がついている。これは上手側に砂が堆積して等深線が前進し、下手側では後退したためである。また、ヘッドランド②の先端において等深線の間隔が非常に密になった点は、砂が深海へ流出したことを示す。

各構造物間の断面形状に関しては、人工岬とヘ

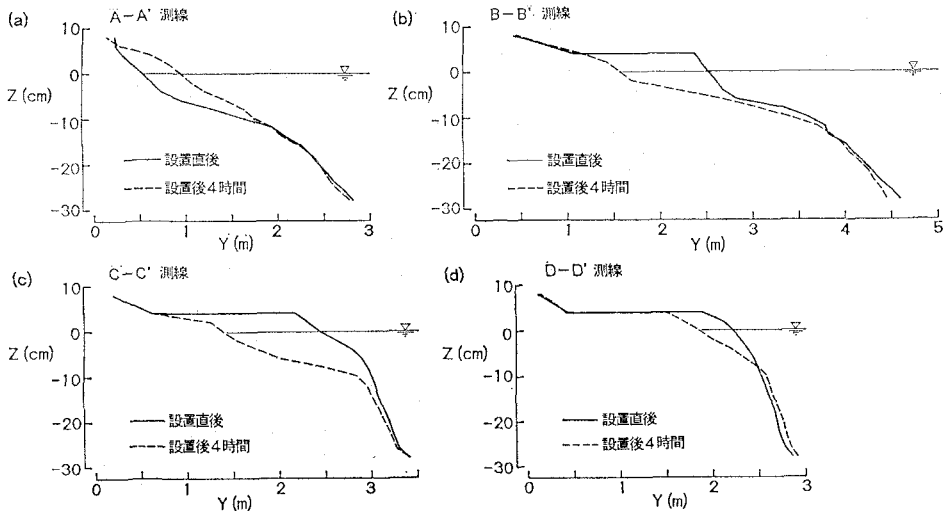


図-6 海浜断面形状 ((a): A-A' 測線, (b): B-B' 測線, (c): C-C' 測線, (d): D-D' 測線)

岬の上手側を静的に安定な海浜とすることができるが、下手側の海浜は著しく侵食されることが明らかである。このことは下手側での対策に十分注意すべきことを示している。

3.4 侵食対策工の検討

人工岬の設置と同時に、2基のヘッドランドを設置した。人工岬の設置位置・方向、先端水深はケース①と同じである。ヘッドランドの先端水深は $Z = -10$ cm とした。人工岬から汀線に沿って約 1.5 m 離れた位置にヘッドランド①を、それよりさらに約 1.5 m 離れた位置にヘッドランド②を設置した。設置方向は設置位置上手側の汀線と直角方向とした。

汀線形状の変化を図-7に示す。人工岬上手側の汀線変化は、ケース①と同様である。人工岬とヘッドランド①の区間においては、汀線はほとんど変化していない。ヘッドランド①、②の区間では、ヘッドランド設置直後から2時間までに著しく汀線が後退したが、2時間で

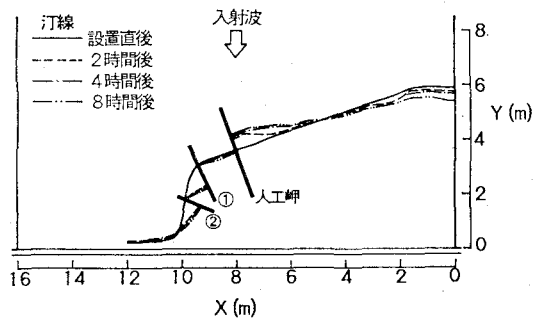


図-7 人工岬・ヘッドランド群設置直後からの汀線の経時変化

ヘッドランド①の区間では図-7に示したように汀線変化は見られないが、ここでは断面形状の変化もなかった。ヘッドランド①と②の間の C-C' 測線 (図-9(a)) では侵食が生じたが、 $Z = 4$ cm の平坦面の約 1/2 は残された。 $Z = 4$ cm の平坦面はケース①ではほとんど消失し

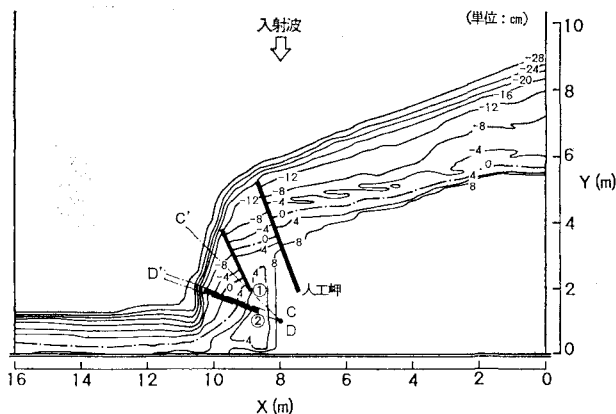


図-8 人工岬・ヘッドランド群設置後4時間の地形

たことを考慮すると、ヘッドランド②によりある程度の侵食防止が可能であると言える。ヘッドランド②の上手側と下手側を通る D-D' 測線(図-9(b))では、上手側の侵食量はケース①と比較して小さくなったが、下手側ではほぼ同程度となった。また、 $Z = -6$ cm 以深に著しい堆積が見られる。

以上のことから、人工岬の下手側の海浜はヘッドランド群により静的な安定海浜とすることができることが分かった。しかし、ヘッドランドの設置直後には侵食が生じ、その砂は深海へと流出することが断面形状の変化から指摘される。

4. 結 論

実験結果は以下の点に要約される。

- ①本研究で行った移動床模型実験によれば、駿河海岸の変化過程と現在の地形特性、および地形変化の限界水深など、海浜変形に関する基本的な現象が良く再現された。
- ②設置水深が地形変化の限界水深(現地海岸で約 -6 m)より深い人工岬を設置すれば、海底谷への土砂流出は阻止できる。そして、人工岬の上手側には静的に安定な海浜が形成される。
- ③人工岬のみを設置すると、沿岸漂砂下手側の海浜は著しく侵食されるが、その下手側にヘッドランド群を設置すれば、最終的には静的な安定海浜とすることができ

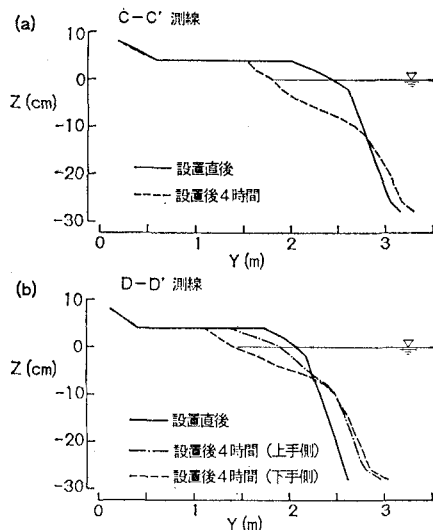


図-9 海浜断面形状 ((a) C-C' 測線, (b): D-D' 測線)

る。

なお、本研究の詳細な点や、駿河海岸の海岸保全手法については土木研究所資料(宇多・山本, 1991)を参照されたい。

参 考 文 献

- 宇多高明・小俣 篤・山本幸次 (1986): 駿河海岸安定化手法調査報告書, 土木研究所資料, 第2285号, 67 p.
- 宇多高明・山本幸次 (1988): 砂嘴地形の形成過程——現地観測と模型実験——, 地形, Vol. 9, pp. 295-307.
- 宇多高明・小俣 篤・横山揚久 (1988): 離岸堤による人工岬の形成手法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 422-426.
- 宇多高明・小俣 篤 (1989): 海岸から深海への土砂損失機構調査報告書, 土木研究所資料, 第2730号, 80 p.
- 宇多高明・山本幸次・河野茂樹 (1991): 砂嘴地形周りの海浜変形——三保松原を例として——, 地形, Vol. 12, pp. 117-134.
- 宇多高明・山本幸次 (1991): 駿河海岸の侵食実態と海底谷への土砂流出対策工に関する調査報告書, 土木研究所資料, 第3032号, 62 p.
- 土屋義人 (1984): 海岸侵食制御試論, 海岸, No. 24, pp. 100-109.
- 村田 守・宇多高明・片岡賢一・大石英男・山本幸次 (1991): 駿河海岸の海浜変形と土砂収支, 海岸工学論文集, 第38巻, pp. 281-285.