

沼津牛臥海岸における養浜工と安定汀線の検討

Study on beach nourishment and stable shoreline on Numazu-Ushibuse coast in Shizuoka Prefecture

宇多高明*・戸塚昌久**・柿市勝重***

Uda Takaaki, Masahisa Totsuka and Katsushige Kaki-ichi

A design method of optimum arrangement of headlands is shown using calculation method of stable shoreline given by Hsu・Evans(1989) through a case study on Numazu-Ushibuse coast. On this coast a headland was constructed to create stable shoreline as well as the beach nourishment. Further nourishment is planned to widen foreshore by installing additional small scale headlands. This procedure is shown in view of least sand loss and least influence to the surrounding coast.

Key words: beach nourishment, stable shoreline, headland

1. まえがき

養浜工の計画においては、投入土砂の損失を防ぐために養浜時の安定汀線について予め十分検討しておくことが必要とされる。また、わが国では一般に養浜に際して土砂の急速な流出を防止するために、突堤などの補助施設が造られることが多いが、これらの施設が砂の流出防止を図る上で必要かつ十分な諸元を有することは勿論、その施設自体が周辺海岸へ及ぼすマイナス効果についての検討も必要とされる。このような検討において、従来汀線変化モデルが用いられてきているが、最近では、Hsu・Evans(1989)の安定汀線の計算法も適用されつつある。これら両方式を比較すると、汀線変化モデルと比較して後者の方法は海浜地形の時間的変化は予測できないが、最終汀線形状の計算が極めて容易という利点がある。多くの場合、現場において最も必要とされるのは養浜したあと到達する最終形状であって、平衡状態に至るまでの経時変化過程については必ずしも必須の情報ではない。このことから考えると、Hsu・Evansの方法はかなり有効と言える。ただし、この方法は全体的海岸線方向に対して波の入射方向がかなり傾いており、したがって海岸線がフック状となる場合にのみ適用可能であり、直線状海岸の場合には適用が不可能である。また、波の入射方向が季節的に大きく変動する場合も適用が不可能である。このような適用条件を考えると、Hsu・Evansの式は、内湾などにおいて波の入射方向がほぼ一定している場合への適用が適している。一方、Hsu・Evansの式は単に海岸線形状を与えるのみであって、養浜に伴って必要となる施設の諸元まで与える方法は示されていない。このことから、ここでは駿河湾湾奥に位置する沼津牛臥海岸を実例として、この方式の現地海岸への適用上の問題点について考察するものである。

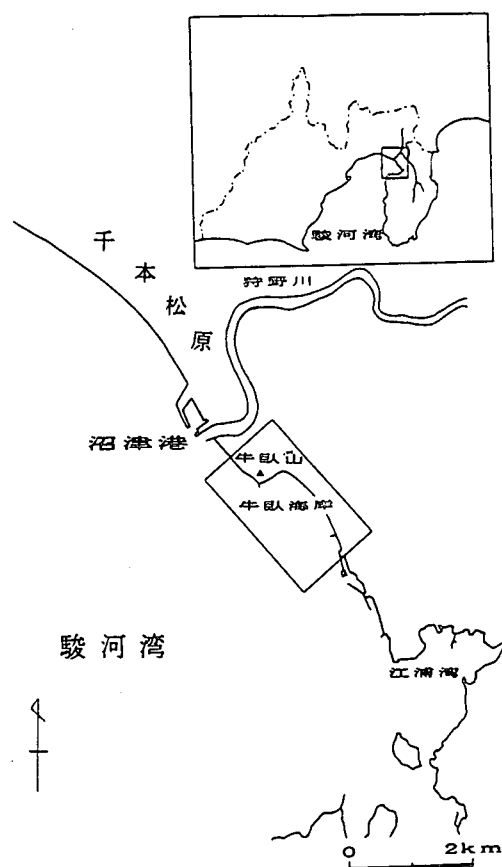


図-1 駿河湾湾奥における沼津牛臥海岸の地形

2. 沼津牛臥海岸の概況と地質

沼津牛臥海岸は、図-1に示すように駿河湾の最奥部、狩野川河口の左岸側に位置する延長約1.6kmの砂浜海岸

* 建設省土木研究所河川管理総括研究官、工博

** 静岡県土木部河川課

***三井共同建設コンサルタント(株)

である。この海岸は南側を伊豆半島により遮蔽されているため、駿河湾からの侵入波は直接的には作用せず、回折波が作用する。海岸の名はこの海岸の北端にある牛臥山にちなんでいる。図-2には1994年10月の測量によって得られた深浅図を示す。

宇多(1994)にも述べたように、この海岸沖の約7m以深では海底勾配が約1/5と非常に急であるが、水深5m以浅では非常に緩い勾配となる。そしてこの緩い棚状の海底面の幅は北西端で広く南東側で狭い。沼津牛臥海岸の北西端には標高50.5mの牛臥山とその基部に突堤が伸びて

いる。海岸線はこの突堤付近で大きく湾入している。凹状汀線の底の部分には御用邸記念公園とヘッドランドが位置する。汀線形状で注目されるのは、その北東端に岩礁が突出しているため牛臥山前面の狭い砂浜がフック状となっているが、その形状が塚田川の河口より南東側に広がる沼津牛臥海岸の砂浜形状とほぼ相似形なことである。このようにフック状海岸が何段も続くことこそが、Hsu・Evansの安定汀線の計算法の適用可能性を示している。

次に、ヘッドランド周辺の拡大深浅図である図-3によると、ほぼ-1m~-1mの間の等深線はヘッドランドの両側とも汀線と平行に伸びている。このことは、この海岸で漂砂の活発な範囲がほぼ-1m~-1m区間であることを示す。この海岸における潮位条件としては、朔望平均満潮位がT.P. 0.73mに、平均干潮位がT.P. -0.94mに、さらに平均海面はT.P. 0.02mにある。

1995年7月初旬、記念公園の海岸堤防上(その位置は図-3参照)よりボーリング調査を行った。図-4にはボーリングの結果を示す。これによると、0.4mより-1.7mの間には径10-30mmの円礫を主体として中-粗粒砂が入り交じっており、しかも砂岩、チャート、火山礫が多く含まれる。この層は図-3において沿岸漂砂による活発な土砂移動の見られる範囲とほぼ対応していることから、もともと波の作用により堆積した砂礫と考えられる。また、この層の下部は細~中粒の火山砂であり、しかも下部には貝殻片も混入している。この限界を定める深さは、ほぼ6.5m~7.8mにある。この限界深さは、図-2の深浅図において、沖合の海底地形が緩勾配から急勾配へ急変する位置の水深とほぼ対応し、しかもこの層の下部ではN値が大きくまた貝殻片を含まないことから、沼津牛臥海岸沖の非常に緩い海底面と同じ起源を有すると考えられる。

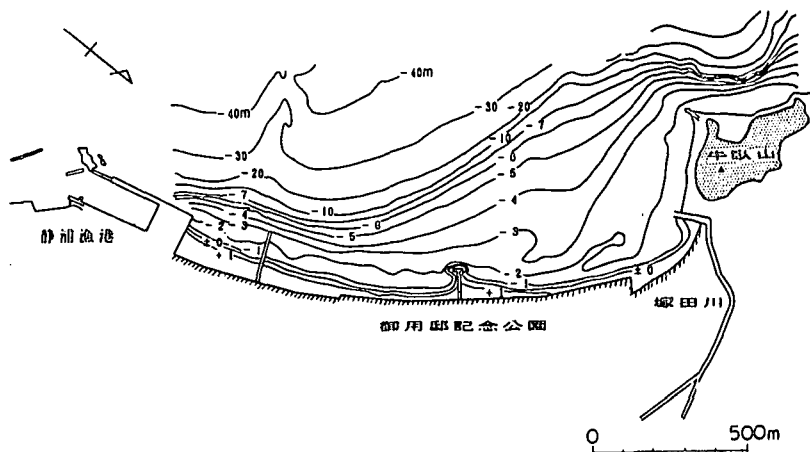


図-2 沼津牛臥海岸の深浅図(1994年10月測量)

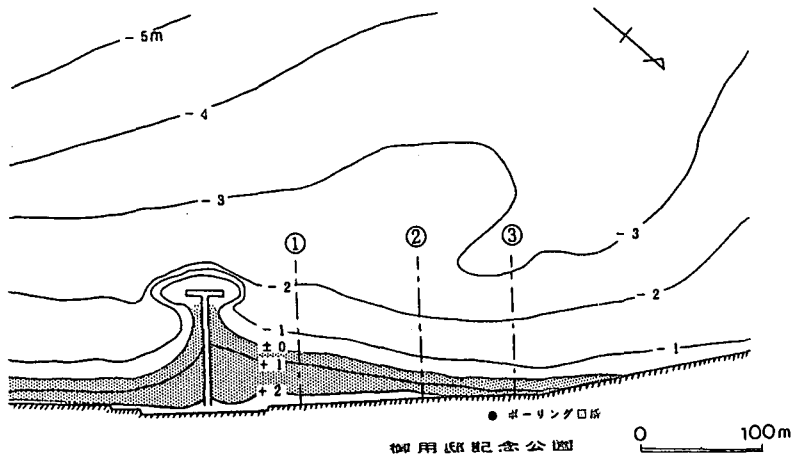


図-3 沼津牛臥海岸の拡大深浅図と測線配置

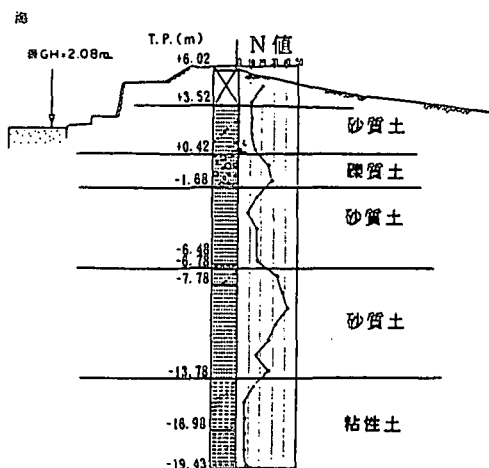


図-4 沼津御用邸記念公園内でのボーリング資料

3. 空中写真による海岸状況の変遷調査

沼津牛臥海岸で撮影された空中写真より、海岸状況の変化について調べてみる。写真-1はヘッドランドの建設以前の1992年3月22日の空中写真である。対角線状に伸びる海岸線の右上端には静岡漁港の防波堤があり、沿岸漂砂の移動はここで止まっている。その左側(実距離で295m)には栈橋があるが、これは透過性のため沿岸漂砂は自由に通過できる。また、写真下部に白く見える護岸は沼津御用邸記念公園の護岸であるが、この護岸線は全

体として海側に突出している。このため、静浦漁港の防波堤の付け根より北側にかなり広く前浜が広がるが、前浜幅は次第に狭くなり、護岸が「く」の字型に曲がる付近での前浜幅は非常に狭い。これでは汀線背後の海岸が公園として整備されても海岸と分離され、親水性が絶たれる恐れがある。このため沿岸漂砂の下手側の静浦漁港側にヘッドランドの計画が立てられ（宇多、1994）、計画は近年実施された。写真-2はヘッドランドが施工されるとともに、その漂砂上手側で $17,870\text{m}^3$ の養浜（養浜材の中央粒径は 0.2mm ）が行われたあとの、1995年2月17日の海岸状況である。ヘッドランドと養浜とによって前浜が広がった。例えば、写真-1では海岸護岸が記念公園の前面で「く」の字型に曲がる部分では前浜がほとんどなかったが、写真-2ではそこまで砂浜が広がっている。また写真は干潮時に撮影されたために白く写されている汀線の沖には緩い勾配の干潟状部分が見えるが、その部分は汀線と平行にさらに上手側まで伸びている。一方、ヘッドランドの漂砂下手側、すなわち静浦漁港側ではヘッドランドによる漂砂の阻止とヘッドランド自身による波の遮蔽効果のため建設以前より汀線は後退しているが、背後の海岸護岸との間に約20mの前浜を残している。これらのことから、現況のヘッドランドは計画どおりの効果を上げているといえる。ただし、写真-2で左下に見える記念公園の前面では砂浜幅が狭いのでさらなる工夫が必要である。この点に関して、宇多・戸塚（1995）はいくつかの解決法を示したが、それらの中で最も実現性が高いのは、写真-2において既設のヘッドランドの北側、海岸護岸の法線が「く」の字型に曲がる付近に小規模な突堤を造り、その北側に養浜を行うことであることを示した。なぜなら、写真-2で既設のヘッドランドの上手側に安定な汀線が形成されている点は、養浜さえ行えばその上手側にも三角形の前浜を形成できることを示しているからである。

本研究ではHsu・Evansの式の沼津牛臥海岸への適用を図るが、その場合コントロールポイントと卓越波の入射方向の設定が問題となる。そこでコントロールポイントP点を設置することになる牛臥山前面の突堤付近の海岸状況を写真-3に示す。写真左側より突堤の先端までほぼ直線的に汀線が伸び、突堤の先端を境に海岸線の方向は約 90° 急変している。この海岸の北側には狩野川があることから、そこからの供給土砂がこの突堤の先端を通過して沼津牛臥海岸へと流入していることにな



写真-1 沼津牛臥海岸の全景（1992年3月22日撮影）

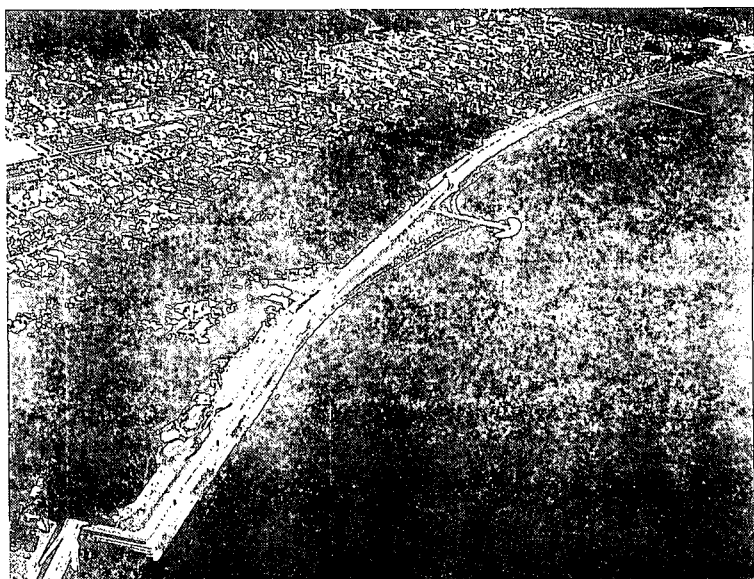


写真-2 沼津牛臥海岸の全景（1995年2月17日撮影）

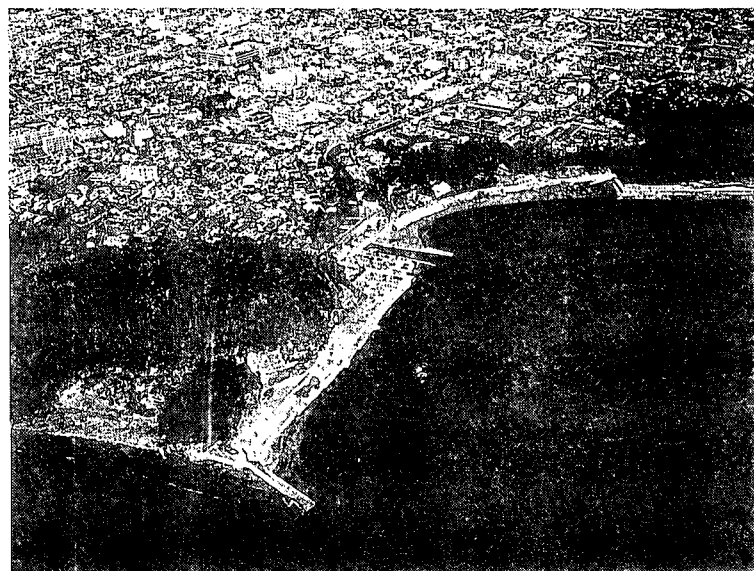


写真-3 牛臥山前面の突堤周辺の海岸状況（1995年2月17日撮影）

る。そしてこの突堤の左（北）側の汀線が安定していることから、この海岸への卓越波の入射方向は写真-3の突堤上手側の汀線にほぼ直角方向からと考えられる。

4. 海浜縦断面形の比較

図-3の深浅図に示したように、ヘッドランドの北側では砂が堆積して汀線が三角形状となっている。そこでヘッドランド北側の測線①、②、③で養浜前後の縦断面形の比較を行った（図-5）。これによると、海浜地形変化は陸上部の約2m～-2mの範囲で生じている。さらに各測線で初期からの海浜断面積の変化量（ ΔA ）と汀線変化量（ Δy ）を求め、 $\Delta A/\Delta y$ を算定し、全平均を求めると、 $\Delta A/\Delta y=2.9\text{m}$ となる。この値は近似的に漂砂の移動高を与える。したがって今後の養浜において、投入土砂量をこの値で割れば概略の前浜増加面積が計算される。

図-3に示したように、ヘッドランドの北側の海浜は1994年の養浜によって広げられた。いま、図-5の海浜縦断面図より断面積の変化量を算出するとともに、それぞれの代表区間長125, 80, 50mを乗じて土砂量を求めると、15,901 m^3 となる。この値はこのときまでの養浜量17870 m^3 とかなりよく一致する。したがって既存のヘッドランドはほぼ完全に漂砂を阻止しており、ヘッドランドの北側の汀線は安定状態に達していることが分かる。

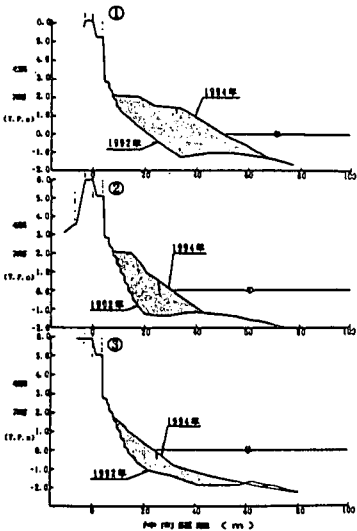


図-5 既設ヘッドランド周辺の海浜縦断面形の比較

5. 安定汀線の計算

Hsu・Evans（1989）は、ポケットビーチの安定汀線の計算法を示した。図-6の座標系を定めた時、一方向からの入射波が卓越する条件下での安定汀線形は、極座標を用いたとき式（1）で与えられる。

$$r/r_0=C_0+C_1(\beta/\theta)+C_2(\beta/\theta)^2 \tag{1}$$

ここに、 $r_0=PQ$ 、 β =角RPQであり、係数 C_0, C_1, C_2 は β に依存する係数である。ここではこの方法の適用を図る。計算においては、図-7に示すように沼津牛臥海岸に計算範囲を定め、牛臥山の付け根の突堤の先に点P、下手側の静浦漁港の近傍にQ点を定めた。波の入射方向は

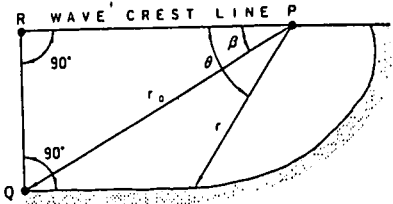


図-6 コントロールポイントの配置

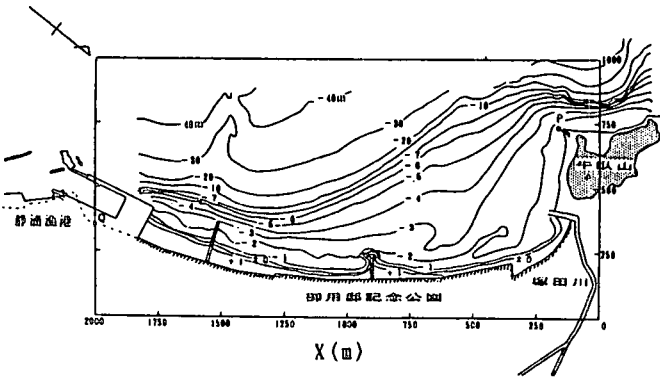
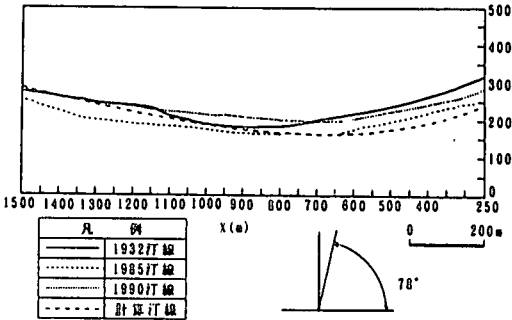


図-7 沼津牛臥海岸におけるコントロールポイントの配置



（ヘッドランド建設前）
図-8 実測汀線と計算汀線の比較

牛臥山前面の平均海岸線方向とQ点付近の海岸線を考慮し、それらとほぼ直角方向のN120° φ とした。この条件のもとで、安定汀線形状を計算し、実測の1932年、1985年および1990年の汀線と比較したのが図-8である。測定年により汀線形状にはばらつきはあることを考慮すれば、P点より図-8のy軸に対して12°時計回りの方向より波が入射する場合、計算値は実測値とほぼ対応を示す。

次に、既存のヘッドランドの北側区域の安定汀線の計算を行った。結果を図-9に示す。この区域では養浜が行われた結果ヘッドランドを境に北側の汀線が階段状に突出している。計算結果は実測値とほぼ一致するが、 $x=600\text{m}$ 以北では計算汀線は海岸護岸より陸側となる。これは、海岸護岸が安定汀線より海側へ突出して造られたからにほかならず、そのことが護岸の前面に砂浜の存在しない理由を与えている。

図-10は既存のヘッドランドの上手側に小突堤を配置し、そこで養浜を行った場合の安定汀線の計算結果である。突堤長に応じて三角形に前浜を広げられるが、突堤はもともと海浜を分断する性格を持つためその長さはできるだけ短くしたいこと、一方では護岸からの越波防止のため前浜をできるだけ広げたいとの考えより、最終的に突堤位置での汀線前進量が35mのものを選んだ。このように小突堤を配置しても、当海岸の海岸線は大きく湾曲しているため、一基の小突堤のみでは、その規模をよほど大きくしない限り海岸護岸の全域に前浜を復元することはできない。そこで小突堤aの北側150mにもう一基の小突堤bを配置し、同様な計算を行った。結果を図-11に示す。計算結果のうち突堤基部での汀線前進量が20mの場合を選択すると、結局小突堤a, bの基部での汀線前進量はそれぞれ35, 20mとなる。

Hsu・Evansの方法により安定汀線の形状は定められたが、実際の小突堤の設計では図-11に示した前浜を創出するには、小突堤の長さは図-11に示した海岸護岸と予測汀線までの長さより伸ばす必要がある。なぜなら、漂砂は地形変化の沖側の限界水深と汀線の間で最も活発であるから、突堤の先端と安定汀線が一致する条件では沿岸漂砂はほとんど阻止されることなく漂砂の下手方向へ流出してしまうからである。このため本研究では図-5に代表例を示した海浜縦断面面形をもとに、汀線と限界水深との水平沖向き距離を読み取り、この値を安定汀線からの必要長さとした。ヘッドランドの北側の3測線でこの距離を読み取ると、測線①、②、③の順にそれぞれ約16m、11m、35mとなる。ただし、図-3に示されるように測線③の沖合には局所的な深みがあり、その効果を計算に取り入れることは疑問と考えられるので、測線①、②の平均を求めると約14mとなる。小突堤の建設後の養浜材は現況ヘッドランドの上手側で用いられたものと同一なので、前浜勾配はほぼ同一となる。したがって安定汀線からの小突堤の突出長は約14mとすればよいと言える。

6. 考察

本研究ではHsu・Evansの方式を用いて安定汀線を求めた。その方法においては、まず、過去のヘッドランド建設前の実測汀線に対して計算の適用を図り、その後諸定数は一定に保ったままでヘッドランド+養浜時の汀線形状に関して実測値と計算値の比較を行った。そしてこの段階でも計算汀線が実測汀線と適合することを確認し、その上で新たに2基の小突堤を造って養浜を行う場合の汀線形状の予測計算を行った。したがって2段階での実測データに基づいて予測計算が行われたことになり、しかもヘッドランド+養浜はまさにその現場で行われたことから、汀線予測の精度はかなり高く、十分実用に足ると考えられる。

7. 結論

本研究では、駿河湾湾奥に位置する沼津牛臥海岸での養浜工の検討にHsu・Evansの安定海浜形状の計算方法を適用し、補助施設としての小突堤の諸元の決定にこの方式が有効利用できることを明らかにした。この方式では汀線形状のみの予測が可能であるが、現地での測量データと組み合わせればかなり高い精度で安定汀線形状の予測が可能である。なお、今後現地で養浜工を実施するに際しては、今までと同様深浅測量を中心とする追跡調査を実施することが望ましい。

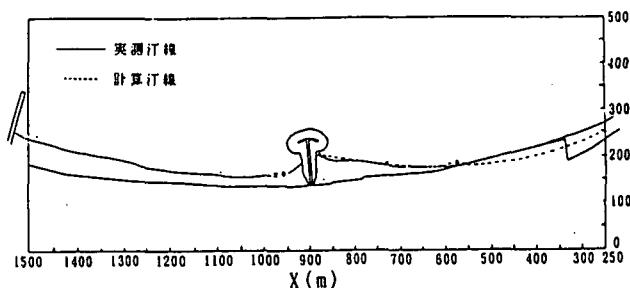


図-9 実測汀線と計算汀線の比較（ヘッドランド建設後）

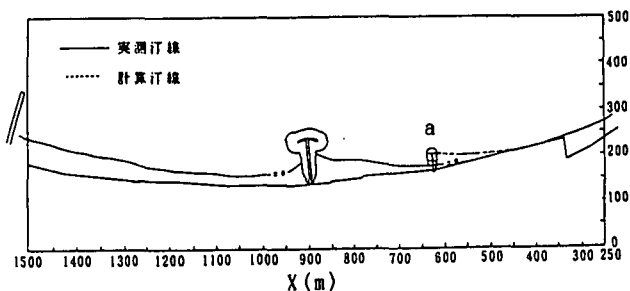


図-10 小突堤aの上手側の安定汀線

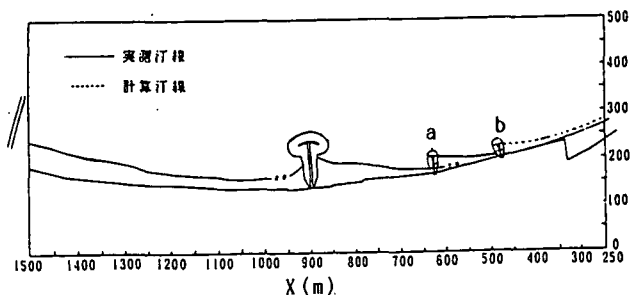


図-11 小突堤bの上手側の安定汀線

参考文献

- 宇多高明・戸塚昌久(1995) : 空中写真による沼津牛臥海岸のヘッドランド周辺の海岸調査、海洋開発論文集、Vol. 11, pp. 85-90.
- 宇多高明(1994) : 現場のための海岸Q&A選集、(社)全国海岸協会、p. 236.
- Hsu, J. R. C. and C. Evans (1989) : Parabolic bay shapes and applications, Proc. Intn. Civ. Engrs., Part 2, 87, pp. 557-570.