

遠州灘海岸における長期的海浜変形予測と養浜の効果検討

宇多高明¹・石井 隆²・内田光一³・甲賀 肇⁴
影山安秀⁵・古池 鋼⁶・石川仁憲⁷

遠州灘海岸を対象に天竜川からの流出土砂量の激減に伴う侵食とその対策について等深線変化モデルを用いて検討した。現状放置では侵食がさらに進み、最大汀線後退量は 40 m 以上に達する。計画汀線を満足するには、維持養浜だけで $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ 以上の養浜量が必要であり、それに要する経費を考えるとこの案を採り続けることは不可能である。同様に構造物のみでは侵食を防ぐことはできず、不連続な汀線形状を造るのみである。このことから、養浜と離岸堤との併用案について検討し、離岸堤 3 基を等間隔 500 m で配置すれば、離岸堤の砂捕捉効果により維持養浜量が抑えられ、 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の維持養浜で十分な効果が出ることが分かった。

1. はじめに

天竜川からの大量の流出土砂によって広大な河口デルタとして発達してきた遠州灘海岸では、主に天竜川上流でのダム群の建設により河川流出土砂量が激減し、河口両翼の海岸線が急速に後退しつつある。長島ら (2005) は、天竜川から湖西海岸まで約 30 km の海岸線を対象として深淺データおよび空中写真をもとに長期的地形変化を分析し、天竜川からの流出土砂量の減少に起因して河口沖テラスが縮小しつつあること、これとあわせて離岸堤 6 基と 14 基の消波堤群が設置されている浜松五島海岸では、離岸堤群沖で侵食が進みつつあり、また離岸堤群位置をピークとして東西両方向に沿岸漂砂が流出していることを明らかにした。さらに中田島海岸では 1962 年から 2004 年までの最大汀線後退量が 210 m に達し、とくに中田島砂丘前面では浜崖侵食が急速に進みつつあることを明らかにした。このような急速な侵食に対し養浜も行われてきているが、侵食はなお激しく続いており養浜の顕著な効果は見られていない。したがってその継続的实施のためには、その効果を定量的に明らかにすること、また養浜土砂が急速に失われることを防止する補助的施設を建設した場合の効果などについても明らかにする必要性に迫られている。この場合、既に長島らが実態論として明らかにしたように、砂捕捉のための補助施設として、例えば離岸堤などの施設を設置すれば 3 次元海浜変形が起こることは間違いなく、このため養浜砂の移動予測においては当然その種の砂移動の定量的予測が求められる。そこで本研究では、芹沢ら (2002) による等深線変化モデルを用い、3 次元のかつ長期的海浜変

形予測を行い、様々な対策案について比較検討した。

2. 侵食対策の基本的考え方

最初に侵食対策手法の検討を行った。まず、予測期間として天竜川にあっては現在国土交通省によりダム再編事業が行われていることから、少なくとも 10 年後には天竜川から土砂供給が可能と仮定する。それまでの間、侵食をできる限り抑制する手法を考える。遠州灘海岸にあっては沿岸漂砂量が大きいことから多くの養浜量を必要とし、その事業費が莫大となるだけでなく、必要な養浜砂の入手が困難であることから、漂砂制御施設との併用についても検討する。

漂砂制御施設を考えた場合、西向きの沿岸漂砂が卓越する当海岸にあっては、施設を設置すれば必ず西側が侵食される。とくに施設が 1 基のみの場合その影響が大きく出ると考えられる。したがってある間隔をもって複数の漂砂制御施設を設置する案を考えた。漂砂制御施設は、下手側の侵食を助長しないためにも完全に漂砂を阻止するのではなく、ほどよい効果を期待し、遠州灘海岸にあって多くの実績を有する離岸堤を考えた。漂砂制御施設には突堤や人工リーフもあるが、突堤はそのすぐ下手側で著しい侵食が生じること、また細砂からなる遠州灘海岸にあっては離岸流が発生するため突堤の効果が十分発揮されないと考えて除外した。また人工リーフでは堆砂効果が離岸堤と比較して劣ることからこれも除外した。この結果漂砂制御施設としては離岸堤が選定された。離岸堤は、中田島砂丘から現在十分な浜幅が残されている 10 km 地点付近 (浜幅 180 m 程度) までの区域を対象として、施設設置による下手側の汀線後退と浜幅の関係から最適箇所に設置することとした。これにあわせて馬込川右岸で養浜を行うのが侵食対策の基本案である。

3. 予測計算の諸条件と計算ケース

計算対象は、図-1 に示すように天竜川河口から今切口までの延長 18 km の海岸線とし、予測期間は 10 年と

1 正会員 工博 (財) 土木研究センター理事なごさ総合研究室長
2 (財) 静岡県総合管理公社 建設技術部長
3 静岡県浜松土木事務所 工事第 1 課 主幹
4 静岡県浜松土木事務所 企画検査課 主任
5 (財) 静岡県総合管理公社 建設技術部 主査
6 海岸研究室(有)
7 工修 (財) 土木研究センターなごさ総合研究室

する。初期地形としては図-1, 2 に示す測線 No.160 の縦断形変化を参照し、直線平行等深線地形(海底勾配 $1/50$)を考えた。主な海岸構造物には6基の離岸堤群、14基の消波堤群、および馬込川導流堤がある。これらに加えて対策施設としての離岸堤も条件に応じて設置した。数値計算では、宇多ら(1998)による展開座標を用いて緩やかに曲がった海岸線形状を直線平行等深線地形にモデル化し、供給土砂量と沿岸漂砂が完全にバランスした動的平衡海浜を再現した。

入射波としてはエネルギー平均波を与え、 $H=1.6\text{ m}$ 、 $T=7\text{ s}$ の波浪を卓越波向Sから入射させた。潮位条件は $\text{M.S.L.}=\text{T.P.}+0.0\text{ m}$ である。次に図-2を参照して、波による地形変化の限界水深 h_c を 10 m 、バーム高 h_R を 3 m とした。沿岸・岸沖漂砂の水深方向分布には宇多・河野(1996)の3次式を与えた。さらに平衡勾配については $\tan \beta_c = 1/50$ とした。この勾配は図-2のように汀線付近の実測値と対応している。

計算領域は沿岸方向に $\Delta X=20\text{ m}$ で、鉛直方向に $\Delta Z=1\text{ m}$ で分割した。計算時間間隔は $\Delta t=1\text{ hr}$ であり、境界条件として左端(天竜川河口)では土砂供給なし、右端(今切口)では漂砂通過境界(等深線固定)とした。さらに波高伝達率は離岸堤の場合 $K_t=0.4$ 、消波堤の場合 $K_t=0.6$ とした。

最初に動的安定海浜の再現を行った後、1962年から2005年までの汀線変化の再現を行った。次に海岸をそのまま10年間放置した場合の予測計算を行った。その上で10年間にわたって $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の維持養浜を継続的に実施した場合の予測計算を行った結果、これらでは侵食が最も著しい場所が必要砂浜幅が確保されないことから、次に砂捕捉施設としての離岸堤を設置した場合と、離岸堤群と養浜との複合案についても検討した。離岸堤諸元としては、竜洋海岸における既設離岸堤の実例をもとに設置水深を 3 m 、堤長を 100 m とした。離岸堤については1基のみの場合と3基を群として配置、しかも間隔を変化させた場合についても様々

検討したが、最終的に合理的な案として選ばれたのが 500 m の等間隔で設置する案であった。

動的平衡海浜を造り出すために最も難しいのは境界条件としての流入漂砂量の設定である。芝野ら(1988)は、扇状地の堆積土砂量から天竜川からの供給土砂量を $50 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定した。また佐藤ら(2004)は、竜洋海岸～中田島海岸の1984年から2003年までの総侵食量が $(50 \sim 60) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ 、さらには天竜川の流出土砂量が $(50 \sim 83.3) \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ であるとした。これらより、自然状態での浜松側への天竜川から土砂供給量は $Q=30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と設定した。この漂砂が定常的に流れていたが、ダムによる土砂流下阻止により供給が途絶えたとして予測計算を行った。

各対策手法は、浜堤、土堤、既設護岸などの管理境界と汀線の関係に基づいて評価した。これらを考慮した計画汀線を満足するかが評価基準となる。馬込川河口右岸では廃棄物の埋立地があることから、そこから 6 km 地点までは浜幅 30 m を確保することを目標とした。中田島砂丘前面($X=6 \sim 6.8\text{ km}$)では常時波浪が砂丘に到達しない程度の浜幅 45 m に短期的汀線変動量 30 m を加えた 75 m の確保を目標とした。

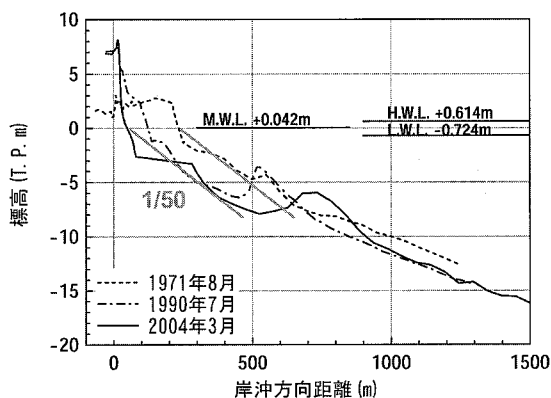


図-2 測線 No.160の縦断形変化

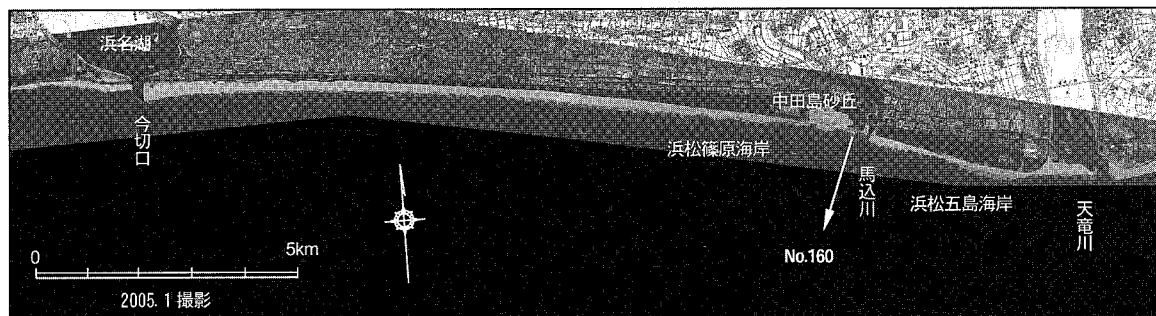


図-1 計算対象

4. 再現計算と予測計算の結果

(1) 動的安定状態の再現

図-3は1962年から2005年まで43年間の等深線変化の計算結果である。ここに、Y軸は、海底地形を1/50の一樣勾配海岸で近似した1992年の等深線からの変化量である。この間に天竜川河口からの土砂供給が激減した結果、海岸侵食が著しく進んだ。同時に対策として離岸堤や消波堤の設置も行われた。天竜川からの土砂供給は完全に絶たれたとしている。この結果、天竜川河口を中心に等深線全体が後退し、供給土砂の枯渇により侵食が進んだ状況がよく再現された。また対象範囲である、馬込川導流堤下手から中田島砂丘西端までの激しい侵食状況も再現された。この区域では200m以上の汀線後退が生じている。また浜松五島海岸の離岸堤・消波堤沖に張り出した汀線も再現された。

(2) 現状のまま放置

図-4は現状のまま10年間放置した場合の計算結果(等深線形状と浜幅の変化)である。現状のまま放置す

ると、天竜川河口から馬込川河口導流堤の間では施設によって防護されているため汀線の後退量は大きくないが、馬込川河口導流堤の西側で最大40mに達する新たな汀線の後退が生じる。この結果、計画汀線を満足するための目標浜幅を大きく割り込み、目標の達成が全く困難となる。そして現状で放置すれば、中田島砂丘まで深く侵食が進むことが分かる。

(3) 継続的な維持養浜案

現況をそのまま放置したとき、馬込川河口導流堤の西側地区では侵食が著しく進むことが明らかになったが、その対策としてサンドバイパスまたはサンドリサイクルにより継続的に砂を投入し続ける方法が考えられる。昨今のように公共事業費が減少している場合、このような維持に要するコストが大いに問題ではあるが、科学的には一案となる。毎年 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂投入を続けた場合の計算結果を図-5に示す。この場合、等深線変化で見ても汀線変化で見ても $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂投入を行うことができれば放置案と比較して侵食は大きく抑制できることが明らかである。この海岸にあつては初期には $30 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の沿岸漂砂が流れることによって動的平衡状態にあつたことを考慮すれば、この程度の量の砂投入によりかなり高い効果が出ることは注目に値する。その理由は、馬込川河口導流堤の西側地区では侵食とともに汀線と波の入射方向とのなす角が小さくなり、沿岸漂砂量自体も減少してきていることがあげられる。しかしこの土砂投入を行っても現況汀線を維持するのがやっとである。

図-6は砂の投入量を倍増し、 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ とした場合の計算結果である。このような養浜が行うことができれば、計画汀線の確保にあと一歩まで汀線の前進を図る

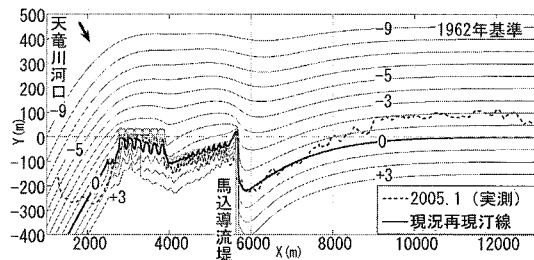


図-3 動的安定状態の再現

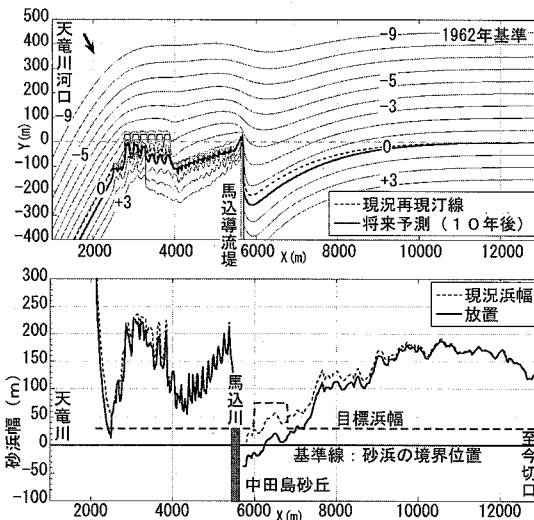


図-4 現状のまま放置 (10年後)

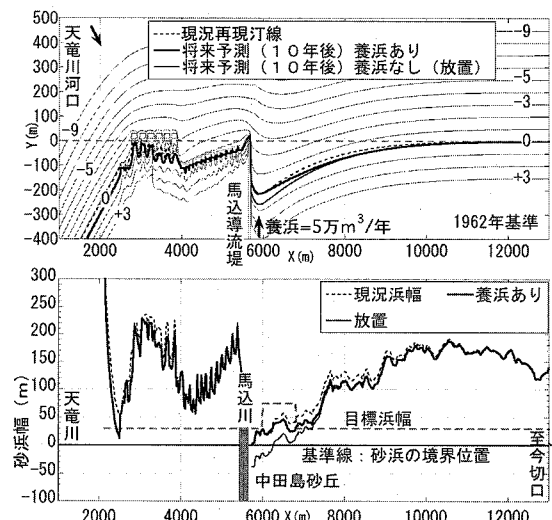


図-5 維持養浜 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ (10年後)

ことが可能となる。またいずれの養浜の場合とも、砂投入点の下手側で不連続な汀線形状ではなく、必ず滑らかな汀線となるのが特徴である。しかし養浜砂の確保が問題となる可能性が高い。

(4) 3基の離岸堤群の建設 $+5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂投入

中田島砂丘の西側区域の侵食を防ぐには養浜が有効であるが、養浜の場合毎年投入土砂が必ず下手方向へ流出し、しかも馬込川河口導流堤の隣接部では砂浜が狭いまで脆弱箇所を抱えるという問題点がある。そこで離岸堤群を建設した上で養浜を行う案についても検討した。

最初に3基の離岸堤群を間隔500mで設置した場合の海浜変形予測結果を図-7に示す。離岸堤を設置した

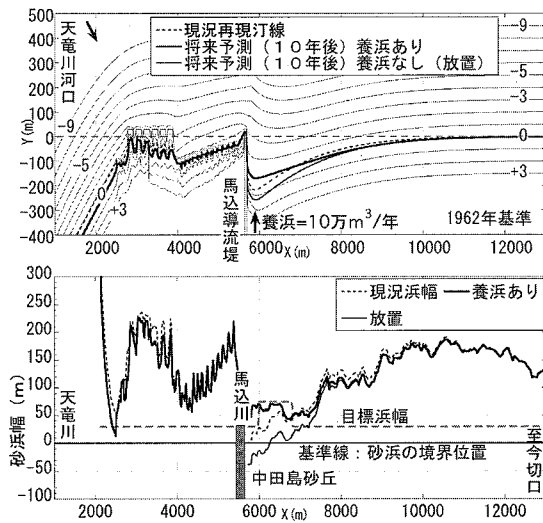


図-6 維持養浜 $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ (10年後)

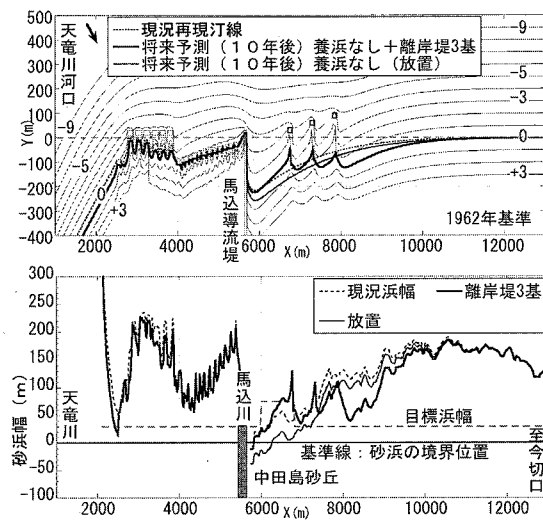


図-7 離岸堤3基 (10年後)

計算では、西向きの沿岸漂砂が離岸堤により阻止されるために、離岸堤の上手側の汀線の後退は防げる。しかし同時に最も下手端に位置する離岸堤の西側では集中的な侵食が起き、汀線は最大75mも後退する。しかし下手側地区ではもともと浜幅が広いことから許容限度内に収めることができる。養浜を行っても馬込川導流堤のすぐ下手では前浜が狭いまである。このことから、離岸堤のみによる対策では問題の解決は難しい。

そこで離岸堤群と養浜を合わせて実施する場合について検討した。この場合の養浜量については、ある程度の汀線の前進効果が見られるものの計画汀線までは満足しない $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の砂投入とした。図-8はこの場合の計算結果である。離岸堤の上手下手でこの種の変化が起こるが、養浜を行うことにより沿岸漂砂量が減少するため、馬込川河口西側隣接部での浜幅を大きく広げることが可能になった。

5. 結 論

遠州灘海岸を対象として天竜川からの流出土砂量の激減に伴う河口西部の海岸の海浜変形とその対策について等深線変化モデルを用いて検討した。この結果、現状のまま放置すると侵食がさらに進み、侵食域が下手側へと広がることが明らかとなり、最大汀線後退量は40m以上となり、砂浜が消失するのみでなく背後地まで削られた。この場合、計画汀線を満足するためには、維持養浜だけで $10 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ 以上の養浜量が必要となり、それにかかる経費を考えればこのような案を採り続けることは不可能である。同様にして構造物のみでは侵食を防ぐことはできず、不連続な汀線形状を造るのみである。このことから、養浜と離岸堤を併用する案について検討し

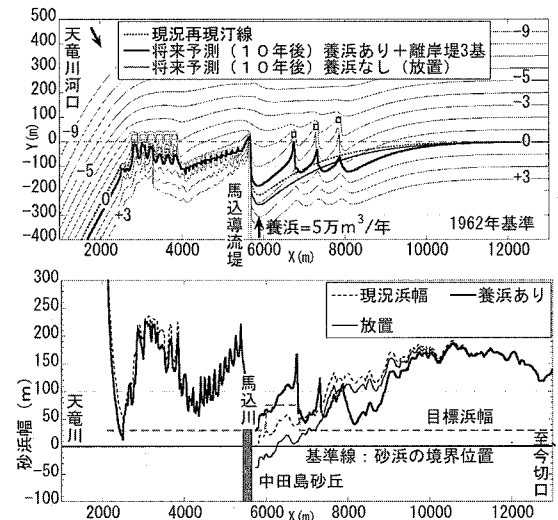


図-8 維持養浜 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ + 離岸堤3基 (10年後)

たところ、離岸堤3基を等間隔500mで配置すれば、離岸堤の砂捕捉効果により維持養浜量が抑えられ、 $5 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ の維持養浜で十分な効果が出ることが分かった。このように等深線変化モデルを用いれば複雑な構造物・境界条件下でも実用レベルで海浜変形予測が可能である。

参 考 文 献

- 宇多高明・河野茂樹(1996): 海浜変形予測のための等深線変化モデルの開発, 土木学会論文集, No.539/II-35, pp. 121-139.
- 宇多高明・住谷勉夫・矢澤 肇・大谷靖郎・厚坂祐次(1998): 展開座標を用いた汀線変化モデルによる親沢鼻砂嘴の地形変形予測, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 541-545.
- 佐藤慎司・宇多高明・岡安徹也・芹沢真澄(2004): 天竜川-遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討, 海岸工学論文集, 第51巻, pp. 571-575.
- 芝野照夫・土屋義人・富谷 雄・山本武司(1988): 天竜川扇状地と遠州灘海岸の形成, 京都大学防災研究所年報, 第31号B-2, pp. 775-791.
- 芹沢真澄・宇多高明・三波俊郎・古池 鋼・熊田貴之(2002): 海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル, 海岸工学論文集, 第49巻, pp. 496-500.
- 長島郁夫・岩崎伸昭・宇多高明・有村盾一(2005): 遠州灘海岸の天竜川河口以西の侵食実態, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 596-600.