

熊本県天草町白鶴浜の海浜変形について

ON THE SHORELINE CHANGES AT SHIROTURU-HAMA BEACH AMAKUSA
KUMAMOTO PREF.

高瀬和博¹・小島治幸²・原喜則³

Kazuhiro TAKASE, Haruyuki KOJIM, and Yosinori HARA

¹正会員 工修 ㈱三洋コンサルタント九州支店 (〒802-8534 北九州市小倉北区京町3-14-17五十鈴ビル新館)

²正会員 工博 九州共立大学 教授 工学部 土木工学科 (〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

³学生会員 工修 九州共立大学大学院 環境・都市システム工学専攻 (〒807-8585 北九州市八幡西区自由ヶ丘1-8)

Beach changes of the Shiroturu-hama beach in western part of Amakusa Peninsula were investigated through field observation, analysis of aerial photographs and numerical evaluation using the bottom sounding. The results of this analysis are as follows; severe beach erosion occurred on the northern part of the coast, the breakwater of Takahama port forming shadow zone of the wave generated littoral current, and this current which eroded the sand of the northern beach and piled up in the south was a main cause of the beach erosion. From these results, as a countermeasure, construction of groin and beach nourishment plan was selected and executed. A monitoring study has been carried out to evaluate validity of the countermeasure.

Key Words: Field observation , aerial photographs, littoral current , beach erosion, groin , beach nourishment

1. まえがき

熊本県天草地方の中部に位置する白鶴浜はポケットビーチ状の海岸で、アカウミガメの産卵地として貴重な自然が残る天草半島西側海岸で唯一の砂浜海岸である。この海岸を形成する岬の一方には高浜港があり、防波堤の整備が進むにつれ北側海浜で深刻な侵食災害が報告されていた。このため、海岸汀線が安定的に維持でき、高潮による背後地への越波被害を防止するため、環境・利用面も考慮した防護対策として、“ポケットビーチの中央部に十分長い突堤を延ばし海浜を分断し同時に侵食の進んだ北側海浜に養浜を実施する策”を採用し2004年7月に竣工した。対策工の施工完了後、台風(T-0415, T-0416, T-0418)が連続して来襲し養浜海浜汀線は北端部で最大48m後退するような変化をした。

本文は、調査海岸で生じている海浜変形の実態を明らかにするとともに、白鶴浜海岸で実施した侵食・高潮対策の手法を取りまとめ、今後の整備計画に資するものとするものである。

なお、当該地区は緩傾斜護岸建設中の2000年12月に宇多¹⁾らにより調査されており、これをとりまとめた論文

で報告されている“ポケットビーチの中央部に十分長い突堤を延ばし海浜を分断する策”は、当海岸において実施した工法に合致したものである。

2. 調査地域の概要と調査内容

(1) 調査地域の概要

熊本県の白鶴浜は、熊本県西部の天草諸島下島西端の東シナ海に位置し(図-1)、北側の岬(上大瀬)と南側の岬(下大瀬)に挟まれた延長約900mのポケットビーチである。南側の汀線背後には高浜川が大きく蛇行して流れ、南側の海岸に沿って高浜港口部へと流れており、河口部には導流堤が建設されている。海底勾配は湾の中央で約1/50である。潮位差は約3m(HWL+3.0m, LWL+0.1m)あり、波浪は主に西～南西方向から入射し、波高は1.5m以下が95%以上を占めるが、天草南部に位置するため強い外海波浪を受ける。

南の岬に位置する高浜港では1980年から沖側部防波堤が順次建設され、1995年計画どおり完成した。しかし、この防波堤の完成によって湾口幅は、当初防波堤がな

かった時に比べて約300m（33％）狭くなった。この沖防波堤の建設中から、北側汀線の侵食が認められ、同時に南側汀線の前進が生じるようになった。この結果、北側汀線の後退による波の打ち上げ、越波および護岸基部の露出などの災害が起こった。

(2) 調査内容

a) 波浪統計解析

白鶴浜海岸に來襲する沖波のデータは、調査対象地の北約10kmに位置する九州電力姶努北発電所管理の波高計記録を入手し、1992～1996年の5年間を統計解析した。

b) 空中写真の比較

白鶴浜の汀線変化の状況を把握するため、1947年～1999年の52年間のうち撮影されている8回分の空中写真を用いて汀線変化を調べた。汀線は平均潮位時の水際線とし、空中写真から読み取った水際線位置データは、写真撮影時の潮位と既存の現地横断測量による平均的な前浜勾配を用いて補正した。

c) 深淺測量解析

1998年時点で白鶴浜では5回の深淺測量が行われていた。深淺測量の実施年月は、1980年3月、1988年7月、1992年8月、1995年4月、1997年3月である。この資料から、湾全体の土量変化、横断面変化を解析した。

d) 養浜計画

養浜計画の既存設計基準²⁾ 及び技術資料³⁾ を参考に養浜計画を行い、後浜天端高及び前浜勾配を計算し、さらに設計波浪を対象として後浜幅を算出し標準横断面を決定した。

e) 数値計算による計画の検証

養浜計画を数値的に裏付けるため、数値計算による湾内の波浪分布の計算に基づいて現状地形での海浜流の分布状況を確認し、one-lineモデルにより養浜海浜の汀線変化を予測した。

f) 供用開始後の養浜の検証

2004年7月の供用開始後台風（T-0415、T-0416、T-0418）が連続して來襲し対策工実施後3ヵ月後の海浜汀線は大きく変化をした。このため深淺測量・汀線測量を行い変動を記録し、養浜汀線の変化を考察した。

3. 計画の概要

(1) 海岸保全に関する問題点

白鶴浜海岸において顕在化していた問題は、北部海浜の侵食と越波、南部海浜への沿岸漂砂の堆積による河口閉塞、海浜の人為的改修によるウミガメ上陸の減少などであった。これらの問題点をまとめて表-1に示す。

(2) 調査解析

a) 空中写真解析

図-2に全8回の空中写真から、代表的な汀線の変化について3回分を示す。南側の海浜では防波堤によって來襲

波の遮蔽域となるため汀線の前進が見られ、北側の汀線は後退を続けている。図-3は汀線変化の少ない中央部の測線No. 800を境に南北に二分し、年ごとの汀線変化量の平均値を算出しそれを累積して示したものである。南側は堆積が進んでおり1999年時点では平均43mの前進、北部では平均13mの後退が起こった。そして南側での堆積が進んだ結果、高浜川河口部では堆積した海浜砂が波浪や風により導流堤を超えて河川に堆積するため、河口閉塞・航路埋没を生じた。北側の海浜では更に侵食が続き、1999年時点では測線No. 1100で1947年当時の汀線に比べて約25m後退し、冬季に越波による被害が増大した。

b) 深淺測量解析

湾内の海底断面を南北と中央の3カ所を対象とし1980年と1995年を比較し結果を図-4に示す。1995年には南部では汀線付近で約100m～150mのフラットな地形が現れる一方、北側では侵食が進行し海浜断面が低下している様子が現れている。また、湾全体の海底土砂の経年変化量を把握するため -15m以浅の土量について平均断面法に

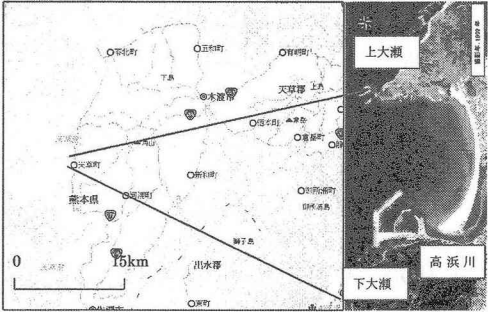


図-1 位置図

表-1 問題点の一覧表

問題点	影響
北部海浜の侵食	背後地への越波・飛沫の飛散
南部海浜の堆積	浜幅の増大、河口閉塞、航路埋没
既設突堤の効果減少	沿岸漂差阻止できず南部へ流出
ウミガメ上陸の減少	北部海岸海浜減少で産卵できず

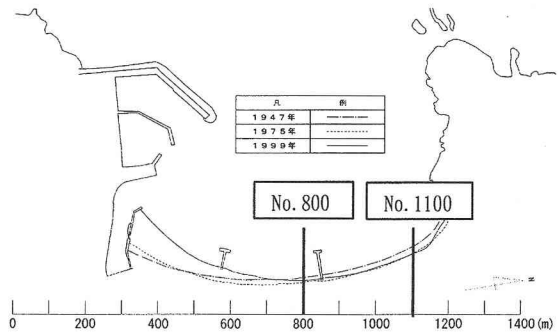


図-2 空中写真解析

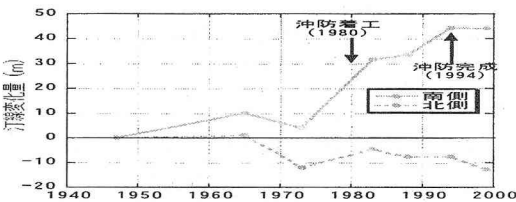


図-3 汀線累積変化図

よる解析を行った。この結果も侵食・堆積域に関して空中写真汀線変化の結果とよく対応している。次に、湾全体の海底土砂の経年変化量を把握するため -15m以浅の土量比較の範囲を図-5に示す。土量の算出は深淺図をもとに平均断面法によった。図-6はその結果である。1980年と1997年の比較では侵食区域は湾中央部のNo. ⑤と北側のNo. ⑦・⑧で合計約45,000 m³であり、堆積区域は南側のNo. ①・②で合計約86,000m³と空中写真汀線変化の結果と対応している。また、湾口部のNo. ⑥・⑨でも堆積を示している。なお、流入河川の高浜川の流域面積は約25km²と小さく、土砂流出量は1985年に建設された高浜

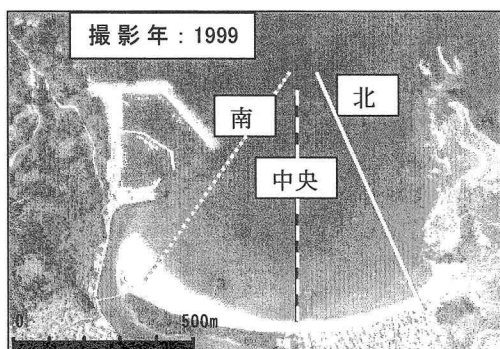


写真-1 横断面評価位置

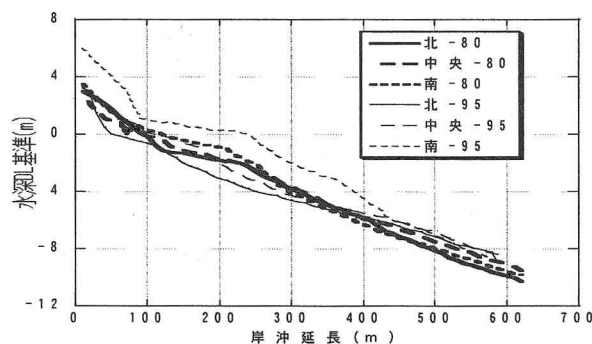


図-4 海浜断面変化図

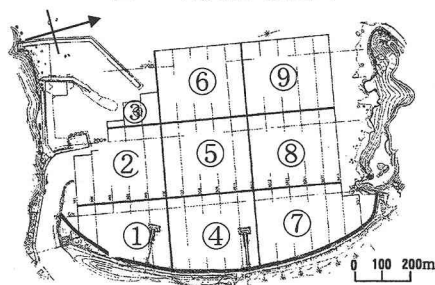


図-5 土量算出対象範囲平面図

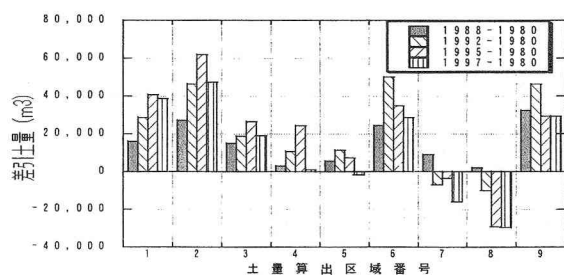


図-6 土量変化図

ダムによりさらに減少していると思われる。

c) 既存突堤の効果について

南側への沿岸漂砂の堆積が進んでいることが明らかになった昭和55年から昭和63年にかけて既設突堤は完成している。しかし、突堤建設後も南への堆積は続き、突堤はその効果を十分発揮していない状況が続いていた。その原因として次のことが考えられる。

- ・南北両突堤の天端高はH_{WL}と同じ+3.0mであり一般的なものに比べて低く計画されていること。

- ・突堤先端部付近の水深は平成9年3月の等深線では+0.1mとプラス地盤になっているので干潮時における沿岸漂砂の補足はほとんど期待できない状態であること。

- ・海浜変形が最も顕著になる条件は、満潮時に高波浪が入射する場合であると考えられるがこのような場合、砕波による水位上昇量も大きく、突堤は水没状態となるため沿岸漂砂の補足効果はかなり低下していること。

4. 侵食原因の把握と対策方法の検討：

白鶴浜の海浜変形は、高浜港沖防波堤の延長と共にその背後に遮蔽域ができ、この遮蔽域へと北部から海浜流と共に砂が運ばれてきたことに原因がある。このような現象はすでに宇多⁴⁾らが報告している特徴と一致する。

この対策として次の工法を検討した。高浜港沖防波堤の撤去：高浜港沖防波堤を撤去することによって当初の湾形状に戻すことによって汀線形状を安定させる。湾口部

(北側岬)における対策：高浜港沖防波堤の完全撤去は難しいので、北側の岬に高浜港沖防波堤と同規模の防波堤または、人工リーフを計画し湾内の波浪分布を整えることによって汀線を安定させる。砂のリサイクル：これまでと同様、南側に堆積した海浜砂を定期的に北側海浜に運搬し投入する。北部既設護岸及び前面海域における対策：北部既設護岸をかさ上げすることによって越波・飛沫を抑制する、あるいは前面海域に離岸堤などの構造物を設置して汀線を維持する。白鶴浜中央部に突堤を設置し海浜を分断：湾内の波浪分布は、沖防波堤背後の南部静穏域と、波浪が直接侵入する北部海域に分けられる。このため、突堤により中央で海岸を二分し汀線を安定させる。

この中から対策工法として、越波や漂砂問題を解消し同時に、ウミガメに対しては海浜への進入を阻害せず、貴重な自然海浜を極力保全する案として中央突堤と養浜工を選定し、地元協議会で合意を得たのち実施した。

(1) 中央突堤計画

中央突堤の長さは、北から南へ移動する沿岸漂砂の動きを阻止するため、エネルギー平均波の砕波水深の位置まで延長することとした。計算の結果、砕波水深は約2mとなり、LWL時においても、突堤を-2mまで延長していれば、沿岸漂砂を捕捉し得ることとなり、この結果を現地にあてはめると突堤の延長は既設護岸の天端法線から約

200mとなった。なお、突堤の天端高は既設突堤の効果を考慮して、技術基準にしたがって先端部でHWL上1mを確保した。

(2) 養浜計画

北部海滨の養浜計画は、南側の既存海滨の横断形状から海滨断面を形成している波浪を推算して行った。これは、南側海滨は北側海滨に比べて浚渫等の人為的影響を受けていないので、その海滨横断形状は代表波浪により形成されていると考えることができる。そこで、南側海滨が受けている代表波浪が逆算できれば、この波浪を用いて北部海滨に作用している対象波浪を推定することができると考えた。これより、表-2に示す式を用いて沖波を推算し北側海滨の養浜砂の断面形状を決定した。また、沖波の推算に関しては、南側海滨の受けている波浪は高浜港外防波堤によって減衰した波であり、そのまま北側海滨の養浜砂勾配の算定に用いることはできないため、高浜港外防波堤による波高減衰率を考慮して本来の沖波を算定した。

表-2 海滨の断面設定の諸推定式一覧表

提案者 断面 形状の諸元	Rectorの提案	Swartの提案	砂村の提案
後浜高 Yg	$Y_g/L_0=0.18(H/L_0)^{0.5}$ [$H/L_0<0.018$ の場合] ≈ 0.024 [$H/L_0\geq 0.018$ の場合]	$Y_s/Md0=7644-7706expA$ $A = \left(-0.000145 \frac{H^{0.489}p^{0.03}}{M_{d0}^{0.789}} \right)$	$Y_s=1.1H_s$
前浜勾配 Ys/Xs	$Y_s/X_s=0.3(H/L_0)^{0.5}$ $\times (M_w/L_0)^{0.2}$ $Y_s/X_s=0.07(H/L_0)^{0.5}$ $\times (M_w/L_0)^{0.2}$		$\tan\beta=0.45(M_w/H_s)^{0.5}$ $\times (H/L_0)^{0.5}$

a) 後浜天端高の算定

対象となる海滨断面推定公式（Rector, Swart, 砂村）の内RectorとSwart公式は解がなく、砂村と次の港湾技術研究所式⁵⁾ から波高値を逆算し沖波に換算した。その後この2式から後浜天端高を算出し、両者を満足する後浜天端高として+5.50mを決定した。

$$(R/H_m) = [(0.102 \xi_0^{0.829}) / ((4.84 \xi_0^{1.80}) + 0.0234)] + 2.50 \xi$$

ここに、 $\xi_0 = \tan\beta / (\sqrt{(H_m/L_0)})$ ($\tan\beta$: 沖の海底勾配)=0.0843

$\xi = \tan\beta / (\sqrt{(H_m/L_0)})$ ($\tan\beta$: 汀線付近の海底勾配)=0.4755

b) 前浜勾配の算定

対象となる海滨断面推定公式（Rector, 砂村）から波高値を逆算し沖波に換算したが、砂村式は苓北発電所の波高解析から算出したエネルギー平均波高（1.2m）に比べて約50%以下と小さいため採用せず、Rector公式により前浜勾配を算出し1/12の結果を得た。

c) 後浜天端幅の設定

加藤⁶⁾によれば、波浪による汀線変動（前浜勾配の変化）は、LWL～HWL間で前後に変化することが報告されている。これは、後浜幅をこの変動範囲以上確保すれば侵食によって一時的に後浜幅が狭くなっても回復可能であることを示すものである。ここでは、既存の波浪データの最大波浪諸元および、設計波諸元に対して前浜勾配の

変化を計算し決定断面の検証を行って後浜幅を設定した。なお、汀線変動（前浜勾配の変化）の計算に当たっては、前浜勾配の計算ですでにRector公式を用いたのでここの評価も同公式によった。設計波諸元（沖波波高9.29m、沖波周期14.2sec）を用いた養浜前浜勾配は1/16.7となるため、天端高を+5.50m、変化原点MWL(+1.55m)に設定した場合、天端法線は18.6m後退する（図-7）ので、後浜幅は20m以上確保することとした。これまでに決定した養浜砂の計画断面の全ての諸元をとりまとめれば表-3のとおりである。

5. 汀線変化予測計算による対策計画の検証

このようにして決定した平面配置計画（中央突堤と養浜）の長期的な汀線の安定性を検証するため、汀線変化計算モデル⁷⁾（one-lineモデル）による検証を行った。計算に用いた外力は調査対象地の北約10kmに位置する九州電力苓北発電所管理の波高記録（1992～1996年の5年間）を統計解析し、そのエネルギー平均波（沖波波高1.2m、沖波周期1.2m、波向WSW）を用いた。

現況再現計算は1995年を初期汀線とし、1997年を再現した。その結果漂砂量係数をK1=0.385、K2=4.0のときが最も再現性が良好であったので、この値を用いて予測計算を実施した。予測計算に用いた地形は1997年の深浅図に養浜計画を挿入したものである。数値計算で検証した中央突堤形状は、まっすぐな形のままのI型と、先端部にヘッドがついたT型の2種類である。計算の結果、図-8～9に示す（点線が予測結果）ように、I型突堤のほうがT型に比べて突堤近傍での汀線変動が少なく、当初の実施形状としてI型突堤案を採用した。

6. 竣工後の汀線変化

対策工の竣工（2004年7月）後、台風（T-0415、T-0416、T-0418）が連続して来襲し図-10に示すように対策工実施3ヵ月後の2004年海滨汀線は最大48m後退するような変化をした。図-11～12は竣工直後の測量結果（2004年7月）と竣工後7ヶ月後の測量結果（2005年3月）であ

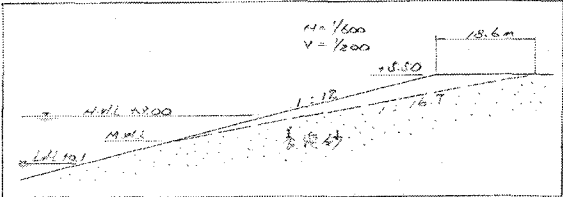


図-7 養浜標準断面図

表-3 養浜標準断面図諸元一覧表

項目	設定諸元
養浜天端幅（最小幅）	20m
養浜砂勾配	1/12
養浜砂天端高	+5.50
養浜砂径（最寄りの砂）	0.3mm

る。図-13は面的な侵食・堆積域を把握するために両深浅図の差分変化を示したものである。この図から中央突堤近傍で突堤に沿って侵食が進んでいることおよび護岸北側端の沖合に養浜砂と見られる堆積域が現れている。さらに、養浜箇所の横断面を図-14～17に示す。図-17（北側のN0.39）では計画養浜断面は崩れ、この養浜砂が沖方向に移動している様子が分かる。このほか、台風直後の深浅測量データを比較検討した結果次のことが分かった。

- ・養浜計画のほぼ中央のN033（測量基準線660m）を、汀線から湾口部に至る範囲で比較すると、海底面の変動はおおむね-5m以浅で生じている。このことは他の測線においても見られることから、水深変化は湾中央部から岸側で主に生じていること。

- ・当初計画した養浜断面形状（前浜勾配・後浜天端高・後浜幅）は崩れつつあること。

- ・養浜北部と中央突堤近傍では侵食の傾向を示しており、海浜の中央部ではその後の横断形状は安定していること。

- ・北部で侵食された養浜砂は南へは移動せず、平均潮位汀線から沖合約100m付近まで移動し堆積していること。

平成17年3月の測量結果との比較では、沖に移動した砂は南へは移動しておらず、前面の海底にとどまっているようすがうかがえる。このことから今後、波浪の穏やかな夏季には再び岸に向かって前進し堆積することが期待される。

7. あとがき

天草町白鶴浜の海浜変形の原因は、高浜港の沖防波堤が波の遮蔽域をつくることによって沿岸流が発生することであり、対策工法として沿岸流を阻止するための中央突堤と海浜を維持するための養浜工を実施した。

竣工後の測量結果の比較から次のことを明らかにした。

- 1)当初計画した養浜断面形状は徐々に崩れており、崩れた養浜砂の一部は前面の海底に堆積している様子が現れている。養浜砂の侵食が特に大きい箇所は、計画域の北側で測量N0.39（測量基準線780m）以降である。
- 2)N0.39付近の養浜砂は侵食されてすぐ沖側に堆積しているものの南側へは移動せず留まっている様子が伺える。このことから、沖へ移動した砂は岸沖方向の漂砂移動により再び岸側へ移動し前浜部分に堆積することが期待できる。
- 3)中央突堤は南へ向かう沿岸流を阻止する役目を果たしていると考えられるが、今後の測量結果を見極める必要がある。

本計画で実施した養浜の結果、背後地への飛砂が問題となると共に、来襲する高波浪が護岸天端まで遡上しやすくなったとの報告もある。また、本計画は、新海岸基本計画以前に計画されたものであり、面的防護の評価、緩傾斜護岸の設計手法、合意形成のあり方等もその後変わってきている。今後も引き続き海浜の変化を追跡し、防護・利用・環境面から計画の評価を続けていく必要がある。

ある。

謝辞：本報告をまとめるにあたり熊本県天草地域振興局担当者より学会発表の許可を、また台風（0418）直後の汀線測量およびデータ整理では九州共立大学小島研究室の学生の協力を頂いた。ここに感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 宇多高明，西隆一郎，菊池昭男，三波俊郎，熊田貴之：

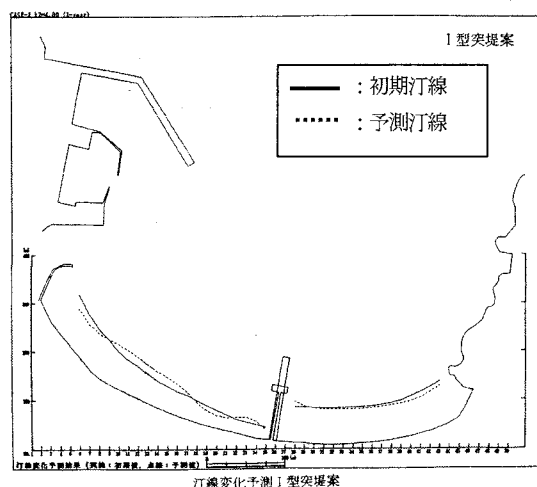


図-8 I型突堤汀線変化計算結果図

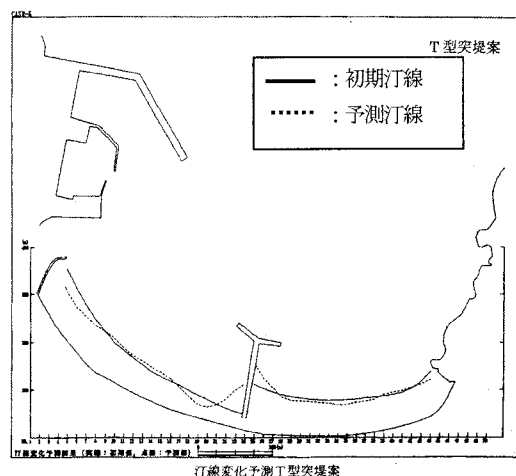


図-9 T型突堤汀線変化計算結果図

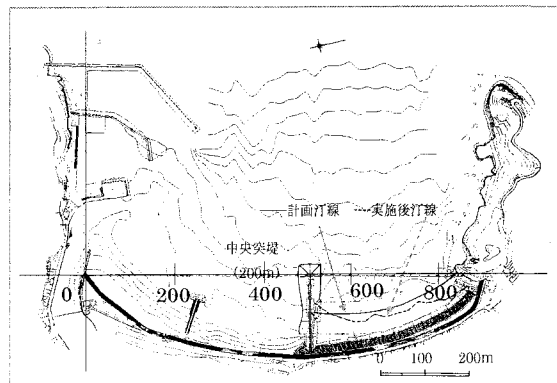


図-10 計画平面図（測量基準線含む）

防波堤建設に伴うポットビッチの変形と対策案の検討, 海岸工学論文集, 第48巻, pp.686~690, 2001

- 2) (社)日本マリナビッチ協会:ビッチ計画・設計マニュアル, pp.54~58 (公式中誤植については正しいものを使用した)
- 3) 海岸保全施設築造基準連絡協議会:改訂海岸保全築造基準解説, 1987
- 4) 宇多高明:海岸侵食の実態と解決策, 山海堂, 2003
- 5) 加藤一正:漂砂の基礎から現地適用へ(透水層埋設工法の開発), 土木学会誌, 1996
- 6) 加藤一正:汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み, 港湾技術研究所報告26-2, 1986
- 7) 小笹博明:護岸のある海浜汀線の変化数値計算, 港湾技術研究, VOL.18, 1979

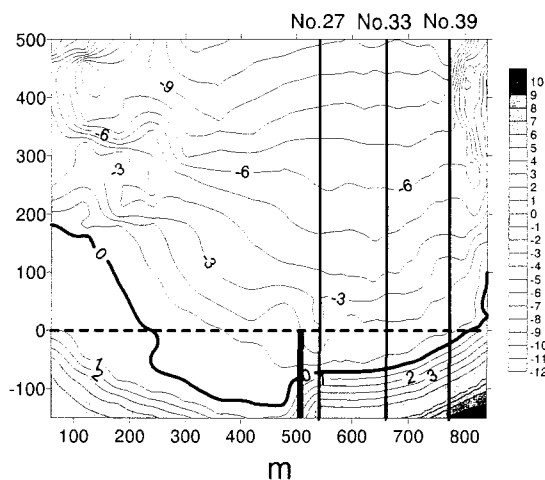


図-11 2004年7月測量結果(養浜後)図

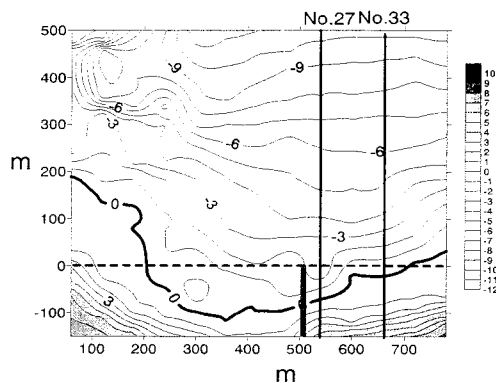


図-12 2005年3月測量結果図

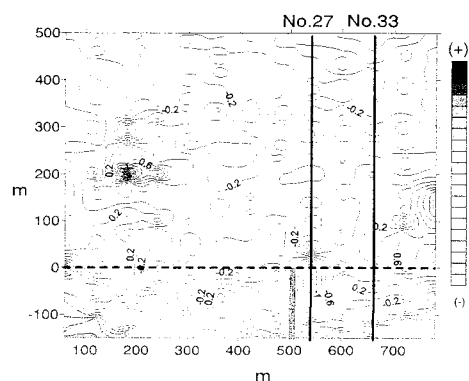


図-13 差分図 (2005年3月-2004年7月)

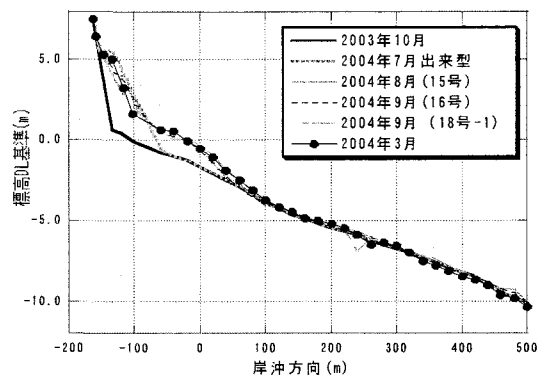


図-14 NO.33測線横断面図(全延長)

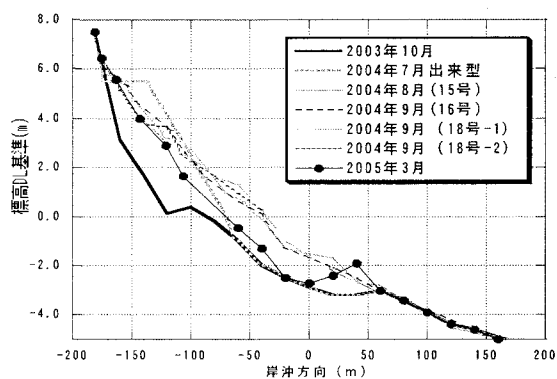


図-15 NO.27測線横断面図

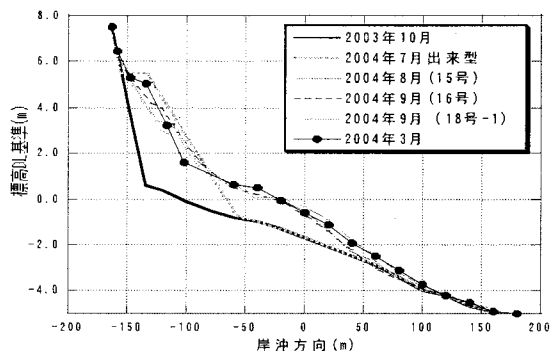


図-16 NO.33測線横断面図

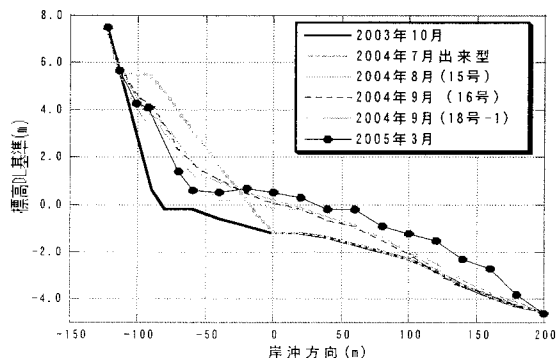


図-17 NO.39測線横断面図