

山口県光市室積海岸における海浜変形

BEACH CHANGES OF MUROZUMI COAST IN HIKARI CITY, YAMAGUCHI PREFECTURE

三宅健一¹・松原雄平²・中山哲巖³・羽田野袈裟義⁴・宇多高明⁵・岡田新市⁶
Ken-ichi MIYAKE, Yuhei MATSUBARA, Akiyoshi NAKAYAMA, Kesayoshi HATANO
Takaaki UDA and Shin-ichi OKADA

¹(財)漁港漁場漁村技術研究所 (〒101-0047 東京都千代田区内神田1-14-10内神田ビル)

²正会員 工博 鳥取大学工学部教授 (〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101工学部土木工学科)

³正会員 工博 (独)水産総合研究センター水産土木工学部水産基盤グループリーダー
(〒314-0408 茨城県神栖市波崎7620-7)

⁴正会員 工博 山口大学大学院理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

⁵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 (〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4)

⁶山口県光市経済部水産林業課水産林業課長 (〒743-8501 山口県光市中央6-1-1)

When a wave sheltering structure is constructed near the corner of a pocket beach, wave field changes, inducing longshore sand transport from outside to inside of the wave shelter zone. This often causes erosion outside the wave shelter zone as well as sedimentation inside the wave shelter zone. In this study, artificial nourishment is considered to solve this problem, taking the Murozumi coast as an example. The shoreline changes were investigated by comparison of aerial photographs (1948-2004). The changes in bottom slope were also measured by the bathymetric survey in 2007. The cause of the long-term beach changes is found to be due to the land reclamation and the extension of offshore breakwater.

Key Words : Longshore sand transport, erosion, beach nourishment, pocket beach, Murozumi coast

1. はじめに

ポケットビーチの一端に防波堤や離岸堤のような波の遮蔽構造物が造られると、波の場が変化し、波の遮蔽域外から遮蔽域内へと向かう沿岸漂砂が誘起され、遮蔽域外では侵食が、遮蔽域内では堆積が起る。わが国では、各地でこの種の工事が行われたため、同種の現象が全国各地で見られる¹⁾。瀬戸内海のように波浪が静穏な海域にあるポケットビーチもこのような問題と無縁ではない。瀬戸内海にあるポケットビーチの多くは過去に埋め立ての対象となって消失したが、わずかに残されたポケットビーチは海水浴場や散策の場として貴重な空間となっている。とくにマサ土からなる白い砂浜と、背後地にある松林(保安林)とがセットとなって風光明媚な海岸景観を形作っている。これらのポケットビーチでも、上記現象がしばしば起るが、景観保護の観点から海岸保全に人工構造物を用いない方法として養浜が採用され、しばしば実施に移されてきた。しかし、上記遮蔽域問題が起きた場合、その根本原因が除去されない限り、養浜策では砂の投入後直ちに砂が流出し、再度の養浜が必要となって維持が困難

という事態に陥る。本研究は、このような問題の実例として、瀬戸内海国立公園の一部にも指定されている山口県の室積海岸を例として問題の解決法について考察する。

2. 室積海岸の概況

室積海岸は、図-1に示すように、北端を光漁港戸仲地区により、南端を光漁港西ノ浜地区により挟まれた延長約2.7kmのポケットビーチであり、瀬戸内海国立公園の一部をなす。海岸線はほぼ南北方向に伸びており、西側で周防灘に面している。海岸南端には峨嵋山があり、海浜はそれに続く陸繋島の一部をなしている。海岸の土砂供給源は西側に位置する島田川であり、そこから流入した中国山地特有の風化花崗岩(マサ土)で構成されている。

土屋ら²⁾によれば、室積海岸では、唯一の漂砂源である島田川の河口左岸の埋め立てと、港湾泊地の整備に伴って侵食が助長され、近年とみに顕在化するに至ったとし、また、島田川河口デルタは、1939年に海軍の手によって海軍工廠として開発され、その後新日本製鉄の光製鉄所になったことが明らかに

されている。さらに、島田川のデルタは海軍工廠の建設に伴う埋め立て、あるいは小水無瀬島と大水無瀬島を結ぶ防波堤の築造以前において、冬季季節風時には西方向からの波浪が河口デルタと小水無瀬島間の水道を通して来襲し、それに伴って島田川から流出した土砂は室積海岸へ漂砂として移動していたが、埋め立てと防波堤の築造によってそれがなくなったとした。

以上のように室積海岸では海岸侵食が顕著になってきたため、1991年から養浜を行うとともに、離岸堤3基の整備が行われた。しかし室積海岸南部の約800m区間では現在も侵食が著しい。徳山における潮位観測によれば、1999年9月24日に襲来した台風18号（最高潮位CDL+4.18m）、2004年9月7日の台風18号（最高潮位CDL+3.94m）、さらには2005年9月6日の台風14号（最高潮位CDL+4.06m）では、侵食のみならず越波被害も生じた。室積海岸の気象条件として、下松における風配図を図-2に示すが、冬季にW方向の強風が卓越しており土屋ら²⁾の指摘と一致する。

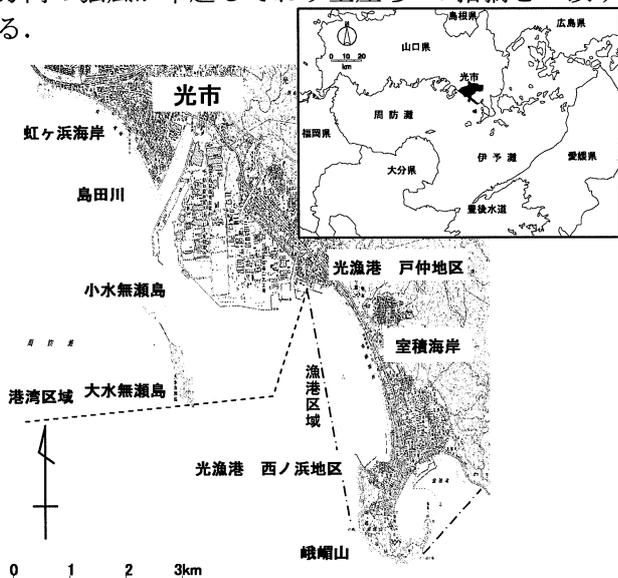


図-1 室積海岸位置図

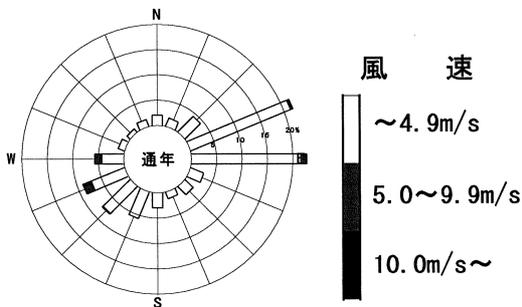


図-2 風配図(下松：1997年1月～2006年12月)

3. 空中写真比較による広域の海岸線変化

図-3(a), (b)は1948年と2004年の空中写真の比較である。図には1894(明治27)年発行の二万分の一

地形図「島田」から読み取った海岸線も示す。図-3(a)によれば、既に1948年までに島田川河口と室積海岸の間の大・小水無瀬島の背後域では、旧海軍工廠の建設に伴ってかなり大きな地形改変が行われていた。しかしこの区域の西側に延びる虹ヶ浜海岸と、東側の室積海岸には弓なりの砂浜海岸が伸びていた。とくに室積海岸に注目すれば、1948年当時平均50m幅の砂浜の背後には松林があった。2004年になると、島田川河口と室積海岸の間での開発が進み、埋め立て地が広がると同時に、大小の水無瀬島を結んで防波堤が伸ばされた。一方、室積海岸の東端には3基の離岸堤が造られた。この間、室積海岸においては、西ノ浜地区に隣接する区域では汀線が後退し、反対側の戸仲地区周辺では汀線の前進が生じた。なお、3基の離岸堤は、北端の1号堤が1992-1993年、中央の2号堤が1990-1991年、南端の3号堤が1993-1994年に建設された。

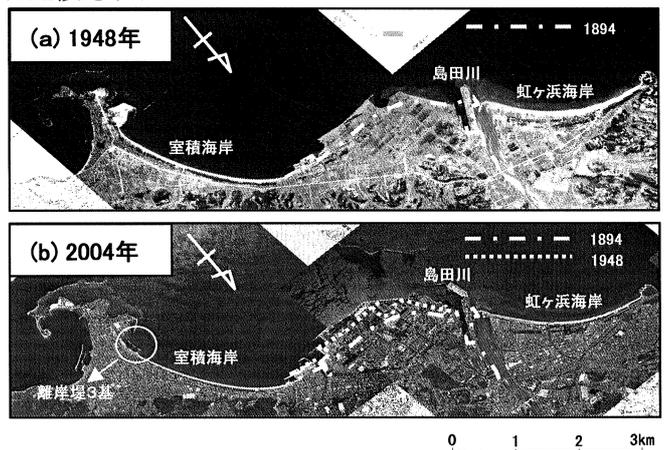


図-3 空中写真(室積海岸～虹ヶ浜海岸)

図-4は1894, 1948, 2004年の海岸線を重ねて示す。大小水無瀬島は1962年から1970年の間の工事による防波堤で繋がり、また陸側の旧海軍工廠跡地でも護岸工事が進められた。一方、両者の間にある水道部では、図-5の海図(徳山下松港光参照)に示すように、海岸線近傍は別として水深は13-17mであり、1963年発行の海図と変化が見られない。このことから、掘削などによる水道の水深変化は起きておらず、波の場の変化をもたらした主因は防波堤建設と護岸の前進にあると考えられる。

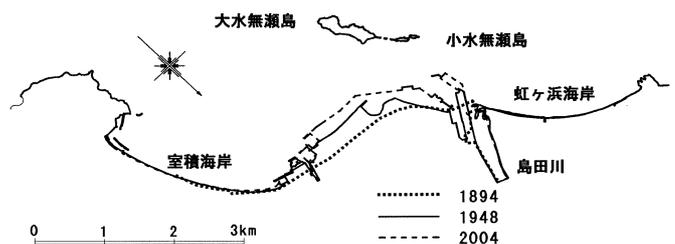


図-4 空中写真による地形変化(室積海岸～虹ヶ浜海岸)

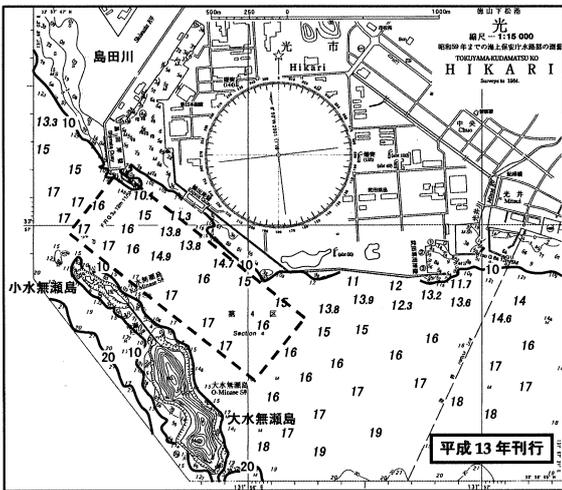


図-5 海図 (No.W126:平成 13 年刊行)

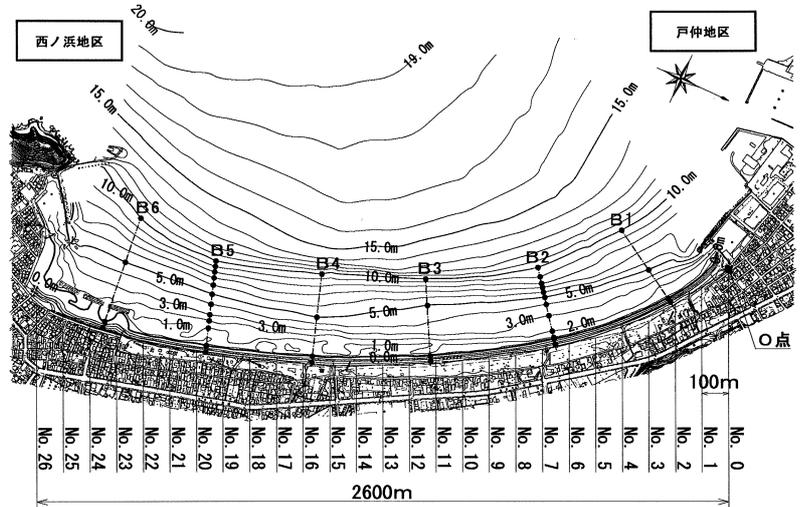


図-6 等深浅図及び土質調査地点 (2007 年 9 月)

4. 深浅図の判読

図-6は2007年9月測定の詳細図である。室積海岸は全体的に凹状の海岸線を有するが、解析の便を考え、ポケットビーチの汀線に沿った曲線の座標軸を定め、これと直交する方向の測線がほぼ北端の戸仲地区を通る位置に座標原点を定める。その上で、原点を通る測線をNo. 0とし、以下南側に100m間隔で2.6km区間に測線No. 26までを定めた。深浅測量はこれらの測線に沿って行った。

図-6の深浅図において、上記測線と海岸線との交点を「測点No. X」として地点の区別を付けたとき、ポケットビーチ北端部の戸仲地区に隣接する測点No. 1~No. 7では汀線付近の勾配が急で、水深1.5m付近までの等深線が密に並んでいる。しかしNo. 7付近から海底勾配が変わり汀線沖に平坦面が発達する。この平坦面はNo. 7付近から南向きに発達するために、平坦面は楔状をなしている。ポケットビーチ南端には西ノ浜地区が立地し、漁港の隣には3基の離岸堤が設置されているが、その北側隣接部では平坦面幅が広い。平坦面の地形を詳細に調べると、平坦面上には沿岸砂州が発達しており、トラフのある部分では沖合の水深2m付近の等深線が突出している。トラフ沖での等深線の突出は、No. 11, No. 15, No. 18, No. 20, No. 22に見られ、それらの沿岸方向の間隔は、北から順に350m, 380m, 150m, 200mであって、平均では270mとなる。等深線の突出が見られる限界の水深はほぼ3mであるが、このように砕波帯内の等深線と連動した動きが見られる等深線の沖側の限界がほぼ3m付近にあることは、室積海岸における波による地形変化の限界水深 h_c がほぼ3m付近にあることを意味する。これを考慮して再度図-6を参照すると、測点No. 13沖の水深9mと十分沖合には海底急斜面があるが、この水深は h_c より十分深いので、これは現海面での波の作用によって形成された海底地形ではないと判断できる。

5. 底質中央粒径の分布

2007年10月15~16日、図-6に示す6測線(B₁~B₆)に沿って底質サンプリングを行った。6測線のうちB₂とB₅においては水深方向に密な測定を行い、残りの4測線では+3, ±0, -5, -10mの4点でのみ測定を行った。図-7は、密な測定を行った測線B₂とB₅におけるd₅₀の水深方向分布を示す。戸仲地区近傍のB₂では前浜のd₅₀は2-3mmと粗いが、水深方向に急減し、水深3mではほぼ0.6mmとなって、水深9m付近の急勾配部分での粗い粒径を除けばほぼ一定値を示す。これに対して西ノ浜地区に近いB₅では、B₂と比較して全体的に粒径が小さく、±0mでの最大値1.6mmもB₂の3.3mmのほぼ1/2である。また、B₅では多少のばらつきはあるものの、相対的に粒径の大きな砂は水深ほぼ1m以浅に堆積している。これらの測線のうちB₂は急勾配、B₅は緩勾配の縦断形を有することから、戸仲地区側は礫を中心とした粗な砂が堆積し、西ノ浜地区側にあつては相対的に粒径の細かな砂が堆積していることになる。一般に、粒径は水深方向に減少し、 h_c 付近ではほぼ一定値に漸近することが知られており、粒径変化の限界水深がほぼ h_c に等しくなる¹⁾。これを考慮し、B₂での測定結果を参照すれば、室積海岸における h_c はほぼ3m付近にある。

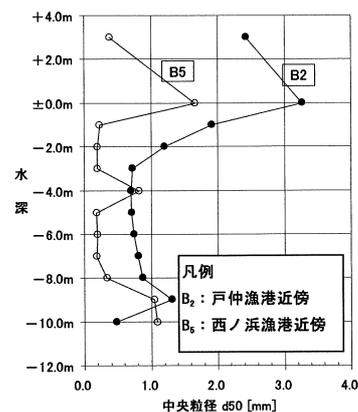


図-7 底質中央粒径の水深方向分布

図-8は同一標高(+3, ±0, -5m)における d_{50} の沿岸分布を示す。前浜上の+3mでは戸仲地区近傍で2-3mmの礫が出現しているが、南向きに大きく減少し、西ノ浜地区の隣接地区では0.5mmまで減少する。±0mの d_{50} も+3mの粒径と同じ傾向を示し戸仲地区近傍で大きい。これらに対し-5mでの粒径は、ポケットビーチ中央部(測点No. 11)で最大となり、南北両方向に緩やかに減少する。

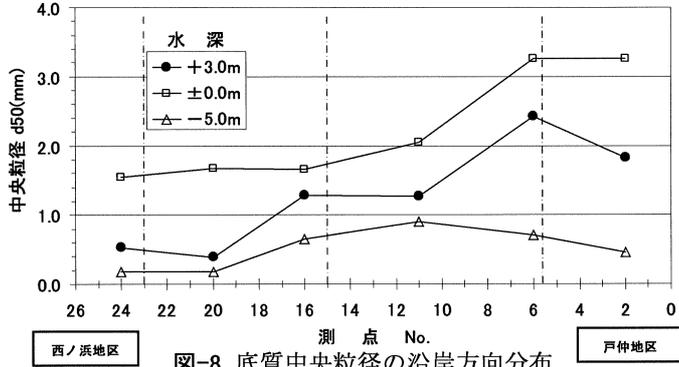


図-8 底質中央粒径の沿岸方向分布

6. 汀線と縦断形の変化

図-6には2007年の深淺図を示したが、室積海岸の深淺測量はこれ以外にも1980年と1995年に行われている。そこで、西ノ浜地区の離岸堤の北端(測点No. 24)から戸仲地区(測点No. 1)までの区域について、1980年の汀線位置を基準として1995年と2007年までの汀線変化を算出した。汀線変化は、1980年当時の汀線と直角方向の変位として測定した。図-9には1995年と2007年までの汀線変化量の沿岸方向分布を示す。

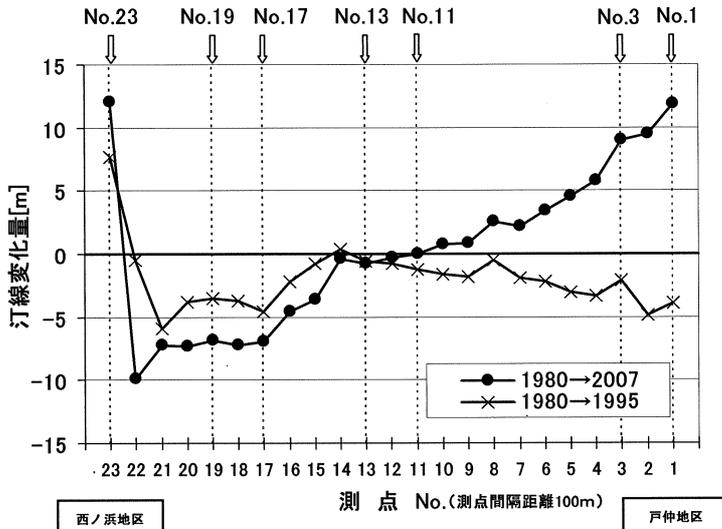


図-9 測点別の汀線変化量

(1980年を基準とした1995年, 2007年までの変化量)

1980年から2007年において、汀線は西ノ浜地区(No. 23)側で最大10m後退し、戸仲地区(No. 0)では最大12mの前進、中央部では変化なしと、単調でほぼ線形的な変化が生じている。このような汀線変化

は、その変化特性から考えて南部から北部へ向かう沿岸漂砂によって生じたものであり、地形変化を起こした沿岸漂砂は、室積海岸北部が波の遮蔽域に入ることにより発生したものと推定される。そこで図-10には図-9に矢印で示す代表6断面の縦断形状の変化を示す。ここに測線No. 1, 3は堆積域の、No. 11, 13は汀線変化が少なく沿岸漂砂が通過したのみと考えられる付近から選んでいる。同様にNo. 17, 19は侵食域の代表として選定した。さらに離岸堤を横切る測線としてNo. 23も選んだ。なお侵食・中立・堆積域の代表測線の選定には深淺測量の誤差をできるだけ除くために、各区域とも隣接する2測線を代表として選んでいる。

戸仲地区近傍の堆積域にあるNo. 1では堆積のみが起きており、0m以浅で顕著な堆積が見られる。同様にNo. 3でも大量の砂が堆積しているが、堆積域の沖合限界はほぼ-2mにある。一方、侵食・堆積域の境界付近に位置するNo. 11とNo. 13では、汀線は大きく変化していないが、沖合の広い区域で堆積が見られる。No. 13では縦断形が平行移動していることから精度がやや疑問としてもNo. 11で見られるように-3m付近まで砂の堆積が生じ、バーの比高が増大している。侵食域に位置するNo. 17とNo. 19では汀線付近で集中的に侵食が起きているが、海面下では砂が堆積してバーの規模が増大している。過去に侵食域では養浜が行われたが、養浜材料に平衡勾配の小さい細砂も用いられている。このような細砂が波の作用で汀線付近から運び取られる際、粗粒分は沿岸漂砂によって運ばれ、戸仲地区方面と運び去られたが、細粒分は平衡勾配が小さいため、局所勾配と平衡勾配との比較において主として沖向き漂砂が運ばれた結果上記の結果が得られたと推定される。また測線No. 23は離岸堤を横切る断面例である。ここでは離岸堤背後には大量の砂が堆積している。

図-3, 4に示したように室積海岸は1894年当時島田川からの流出土砂が南向きに運ばれ堆積する環境にあった。しかしその後河口左岸において埋め立てが行われ、護岸が前出しされるなどして南向きの沿岸漂砂が阻止された。一般に、河川からの流出土砂は細粒分ほど移動しやすいため河口から離れた場所には細粒分が堆積する。この特性を考えれば、もともと西ノ浜地区には細砂が集積し、結果として緩勾配になっており、これに対して戸仲地区では上手側からの沿岸漂砂の供給が阻止されたことにより、粗粒の土砂が残され海底勾配も急になっていたと推定される。その後水無瀬島の防波堤や、更なる埋め立てにより波浪場が変化して沿岸漂砂の方向が反転することになった。この結果、西ノ浜地区側から北向きの沿岸漂砂によって土砂が運ばれるが、そのうちの細粒分は海底勾配が急なことから安定性を失い、沖向きに移動したため戸仲地区には礫分のみが多く集積したと考えられる。

7. 波浪場の変化に起因する汀線変化の再現

室積海岸は1948年当時既に両端を岬や埋め立て地などによって区切られたポケットビーチとなっていた。そして1970年初頭までは安定した海浜であり、その後海浜変形問題が起きた。一般に、ポケットビーチは長年月の波の作用のもと、変動はあるとしてもほぼ安定する。それにもかかわらず1970年代初頭以降顕著な地形変化が生じるようになった原因は、必ず人為的改変にあると言ってよい。なぜなら侵食は長い年月にわたって単調に進んできており、また侵食対策として養浜を行っても短時間でもとの海浜に復元するという事実は、そのような海浜変形を生じさせる要因が、ある時期に発生し、その後も継続的に続いていると見なければならぬからである。

侵食の主因は2つ考えられる。第1は、大・小水無瀬島を結ぶ防波堤の建設であり、第2は、埋立地の前進に伴ってその背後に波の遮蔽域が形成されたことである。これらの施設ができると、それらによる波の遮蔽域の外側（すなわち室積海岸東部）から内側（戸仲地区近傍）へと沿岸漂砂が誘起され、東部から西部へと砂が運ばれるはずである。

室積海岸で上記地形変化をもたらした波は、冬季季節風時の西寄りの波と推定されるが、正確な入射方向は未知である。そこで過去の海底地形図と、波浪場の計算に基づいて卓越波向の推定を行った。まず、室積海岸周辺での土地改変は、図-4に示したように1894年以来長い年月を経て行われてきている。1948年までには現戸仲地区の西側で埋め立て地が造られたが、その突出量は小さかった。その後埋め立て地は拡大していき、また1970年には大・小水無瀬島間に防波堤が伸ばされ、水道部が完全に締め切られた。一方、室積海岸周辺の海底地形は1980年に初めて測定されており、それ以前の海底地形は不明である。1980年は土地改変後であり、土地改変の影響が含まれているが、土地改変の影響が出始めてからの経過時間が短いこと、また室積海岸の波浪条件から沿岸漂砂量も小さいと考えられることから、1980年の深淺図において水無瀬島を結ぶ防波堤がないという条件を設定して過去の地形条件を再現した。その際、戸仲地区の西側隣接部の埋立地については埋め立て前の地形が不明なため、この部分については実測地形をそのまま与えた。

1980年には水無瀬島の防波堤がなく、2007年には防波堤ありという条件で、2時期の海底地形を用いて、Wから左回りに1°刻みで波の入射方向を変えてエネルギー平衡方程式法により海岸線近傍での入射角を求めた。その際、冬季風浪で比較的高波浪の条件として、室積海岸沖での波浪実況解析結果をもとに波高0.52m、周期6sとした。潮位は平均潮位(DL+1.8m)とし、波向は碎波水深を考慮して-3.5m地点で評価した。波浪解析では沿岸方向に14km、岸

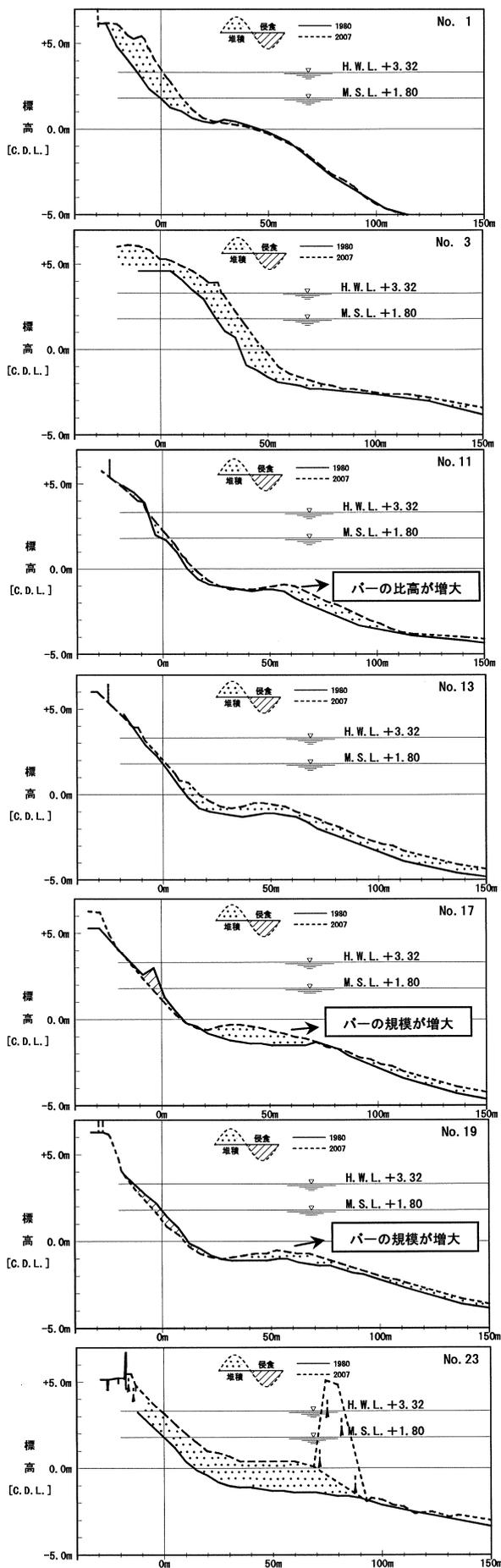


図-10 測点別縦断形状の比較

沖方向に4.5kmの区域について20mピッチで分割した。方向集中度は10, 方向分割数は36, 周波数分割数は5とした。

次に, 測点1から22までの全地点で1980年と2007年の深淺図をもとに汀線への法線の方向角を求め, 全地点における実測方向角と計算値とのずれの二乗平均値を算出した。図-11は, 入射方向とこの誤差の関係を示すが, 2時期とも誤差はN100° Wの場合最小値を取る。このことから, 室積海岸の海岸地形を定める主な波の方向はN100° Wと推定できる。

1980年と2007年における実測汀線形状に対する法線の方向角を読み取るとともに, 左回りを正として両者の差を読み取ったのが図-12である。同様にして数値計算によって求めた値を図-12に示す。計算は実測の傾向をよく再現していることが分かる。この結果をもとに汀線変化モデルにより1980年から2007年までの汀線変化を計算し, 実測値と比較したのが図-13である。両者はほぼ一致を示す。

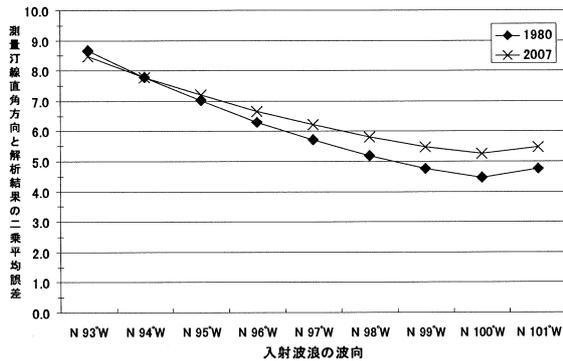


図-11 入射波向別の測量汀線直角方向と解析波向との二乗平均誤差

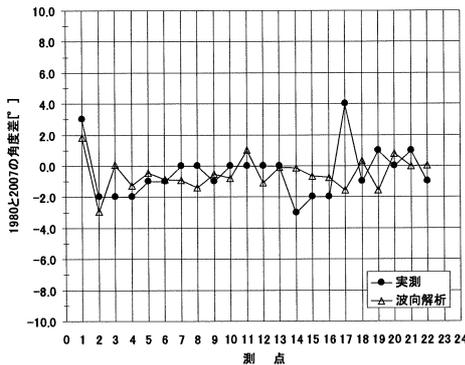


図-12 測点別の測量実測と屈折計算結果

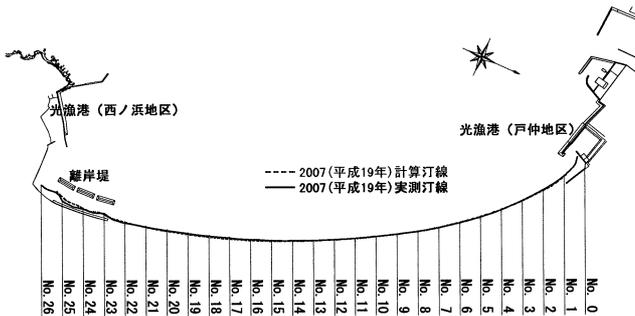


図-13 2007年の計算汀線と実測汀線の比較

8. 問題の解決法についての考察

本研究では, 山口県室積海岸南部の侵食が著しい約800m区間を例として, その要因分析と今後の海岸保全計画を立案する上での解決法の考察を行った。

この結果, 侵食の要因は, 大・小水無瀬島を結ぶ防波堤の建設と埋立地の前進に伴ってその背後に波の遮蔽域が形成されたことにあると推定された。

これらの施設による波の遮蔽域の外側(すなわち室積海岸東部)から内側(戸仲地区近傍)へと沿岸漂砂が誘起され, 東部から西部へと砂が運ばれたことが汀線変化の原因である。

このような原因による海浜変形は今後も続くので, 戸仲地区への漂砂の逆流を防止するための防砂突堤の建設と, 現地海岸に見合った比較的粒径の大きな砂による養浜が有効と考えられる。図-14に戸仲地区に防砂突堤を建設した場合の30年後の汀線の将来予測結果を示す。図-14より戸仲地区に防砂突堤を建設することで, 戸仲地区への漂砂の逆流を防ぐことが可能である。

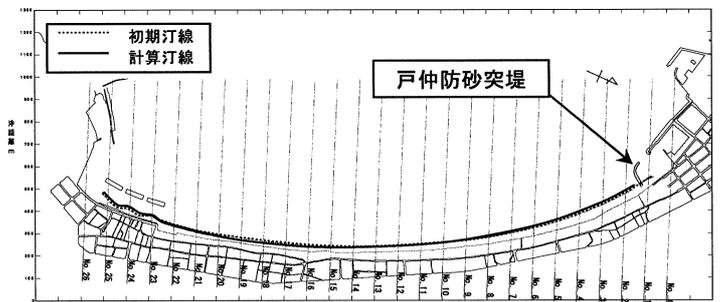


図-14 現況地形及び戸仲防砂突堤による汀線の将来予測結果(30年後)

併せて行う養浜の場所, 養浜の粒径については, 今後検討をしていきたい。

謝辞: 最後に, 本研究の実施に当り絶大なるご協力をいただいた光市前末岡市長, 現市川市長に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 宇多高明: 海岸侵食の実態と解決策, 山海堂, p. 304, 2004.
- 2) 土屋義人, 河田恵昭, 中村重久, 芝野照夫, 山下隆男, 山口正隆: 室積海岸の将来予測とその対策, (財) 防災研究協会, p. 93, 1979.