

土木研究所資料

九十九里海岸侵食対策調査報告書

昭和63年3月

建設省土木研究所
河川部海岸研究室

「Copyright © (1988) by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.W.R.I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複製は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行ってはならない。」

九十九里海岸侵食対策調査報告書

海岸研究室 室長 宇多高明

研究員 小俣 篤

要旨

千葉県の北九十九里に位置する飯岡海岸の侵食実態を空中写真，地形図などをもとに明らかにした。また，近年における離岸堤の建設後の地形変化について深淺測量データを用いて分析し，離岸堤背後での土砂堆積が上手側に位置する飯岡漁港でのサンドバイパス土砂によることを明らかにした。

次に，波の力を利用した土砂輸送の可能性を調べるために，飯岡海岸沖に約 5,000 m³の土砂を投入し，その移動状況を深淺測量や蛍光砂調査により追跡した。この結果，沖合の水深約 4 m 付近に投入された土砂は波の作用の下で岸向きに移動し，離岸堤背後へと運ばれ，さらにその後沿岸方向下手側へと移動することが見出された。これにより波の力を利用した土砂輸送の可能性が明らかになった。

最後に，飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷を過去の資料をもとに整理し，各工法の評価を行った。

キーワード：飯岡海岸，屏風ヶ浦，海岸侵食，サンドバイパス，土砂投入，蛍光砂調査，
侵食の歴史，工法の変遷

はじめに

本調査は千葉県土木部河川課の委託によってなされたものである。本報告書は、北九十九里海岸に位置する飯岡海岸周辺を調査の対象として解析した結果を述べたものである。

目 次

1. まえがき	1
2. 調査の目的	2
3. 飯岡海岸の侵食実態	3
3.1 まえがき	3
3.2 飯岡海岸の侵食実態	3
3.3 離岸堤群による堆砂効果	8
3.4 対策への提言	13
3.5 結論	14
参考文献	15
4. 波の力を利用した土砂輸送の現地実験	16
4.1 まえがき	16
4.2 観測方法	16
4.3 観測期間中の波浪特性	19
4.4 土砂投入による地形変化	22
4.5 蛍光砂による投入土砂の移動状況に関する追跡調査	27
4.6 結論	31
参考文献	32
5. 飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷	33
5.1 まえがき	33
5.2 飯岡海岸の侵食	33
5.3 対策工の変遷	36
5.4 各工法の評価	61
5.5 地域住民による水防活動	73
5.6 まとめ	74
参考文献	75
6. あとがき	76

1 ま え が き

現在、海岸侵食は各地で問題となり、その原因の究明、対策の検討が行われている。これらの検討にあたっては過去の地形変化や被災事例の解析が不可欠である。調査は、県及び各土木事務所、市町村によって行われているが、各機関ごとの調査の系統的な整理が円滑に行われているとは言い難い。本調査は千葉県九十九里海岸の北に位置する飯岡海岸を重点対象として、県、土木事務所、飯岡町役場等に保管されている資料を系統的に整理して、海岸侵食の実態及びその変遷を明らかにしたものである。さらに、侵食対策の一つとして利用されているサンドバイパス工法の合理化手法について千葉県が現地実験により検討した結果を解析し報告する。

2 調査の目的

調査の目的は大きく3テーマに分類される。第1には飯岡海岸の侵食実態と、近年侵食対策として建設された離岸堤の堆砂効果を実測データをもとに明らかにすることである。飯岡海岸の侵食問題には、上手側にある屏風ヶ浦の侵食と保全、飯岡漁港の土砂堆積とサンドバイパス、飯岡海岸下手側に位置する海岸での侵食問題などが密接に関係している。そこでそれら相互の関係を明らかにすることに重点を置いて分析を進め、将来の海岸保全のあり方を検討するための基礎資料とする。

第2のテーマは、飯岡漁港で行われているサンドバイパスの合理化に関する問題である。従来から行われているサンドバイパスではかなり長い距離の間、パイプやトラックによって土砂が運ばれる例が多い。そこで、千葉県では土砂輸送コストの低下を図るために、波の作用自体によって下手側海岸へと土砂輸送を行う方法に関する現地実験を行っており、ここではその結果を解析しその有効性を検討する。

第3のテーマは、飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷を過去の資料をもとに整理し、各工法の評価を行うことである。

3 飯岡海岸の侵食実態

3.1 まえがき

崖侵食で有名な千葉県の手賀ケ浦では、近年侵食防止のために消波堤が崖の下部に沿って設置され、崖侵食の防止が図られている。しかし、崖侵食の防止は逆に侵食土砂を主要な供給源としていた下手海岸への漂砂供給を減らすことになった。また、この手賀ケ浦の下手、九十九里海岸との接点にある飯岡海岸では古くから侵食に悩まされてきた。これに対し近年離岸堤群が設置され、これによって前浜が復活し効果をあげている。この堆積土砂の多くは上手側に位置する飯岡漁港での浚渫土砂の投入（サンドバイパス）によるものである。一方、離岸堤群の下手に位置する北九十九里海岸では上手からの漂砂供給の不足により侵食が進んでいる。以上のように、侵食問題を考える際には、一つの対策工事が下手側での侵食の原因にもなり得る可能性があることに注意が必要である。勿論個々の事業については従来より種々の技術的検討や影響予測が行われている訳であるが、局所的な地先海岸のみの現象に目を奪われていると、海浜全体のバランスで考えたとき問題が生ずることがある。このような問題は現在全国的にかなり多く見られる。本研究はこの種の問題を千葉県の飯岡海岸を例として検討するものである。以下では、手賀ケ浦の崖侵食、飯岡海岸と北九十九里海岸の地形変化、飯岡漁港でのサンドバイパス等の実態を明らかにし、それらを通じて内在する重要な問題、すなわち海浜全体の安定化に関して議論する。

3.2 飯岡海岸の侵食実態

飯岡海岸は手賀ケ浦のある上永井地先、現在の飯岡漁港が位置する下永井地先と、その西側の平松、横根、萩園、三川の各地先から成る（図-3.1）。上永井地先より東側には高さ約10～60mの海崖が発達している。この崖は刑部岬においてその方向がほぼ直角に変化し、内陸側へ緩く湾曲して延びている。この崖より海側には波の作用によって形成された広い堆積平坦面が広がっている。飯岡漁港は刑部岬と竜王崎の間に位置する。

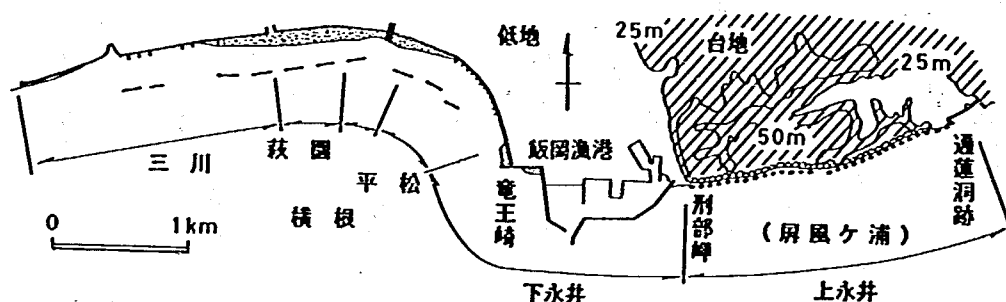


図-3.1 飯岡海岸の位置図

飯岡海岸は古来より海岸侵食が激しく、各地先において侵食防止を目的として保全対策施設が設置されてきた。これらの施設はしばしば被災を受け、そのたびに補修、復旧等の工事が行われてきた。明治から大正にかけては主に下永井地先の波戸崎付近において保全工事が行われていたが、昭和初期には平松地先に侵食が及び、その後侵食区域はさらに西側へ広がった。

飯岡海岸下永井地先の海岸線は、鎌倉時代には現在の下永井堤防よりもかなり海側に位置し、海岸付近には永井七浦と称される七つの村が存在したと言われている¹⁾。

海上部後草高梨家に伝わる古文書（天和3年、西暦1617年）によると、高梨家の祖が建久3年（1192年）に永井の江戸崎から他の六軒とともに移住したとされており、永井七浦の存在を裏付けている²⁾。

飯岡海岸が古来より侵食海岸であったことは、図-3.2に示す下永井村想絵図からも推察す

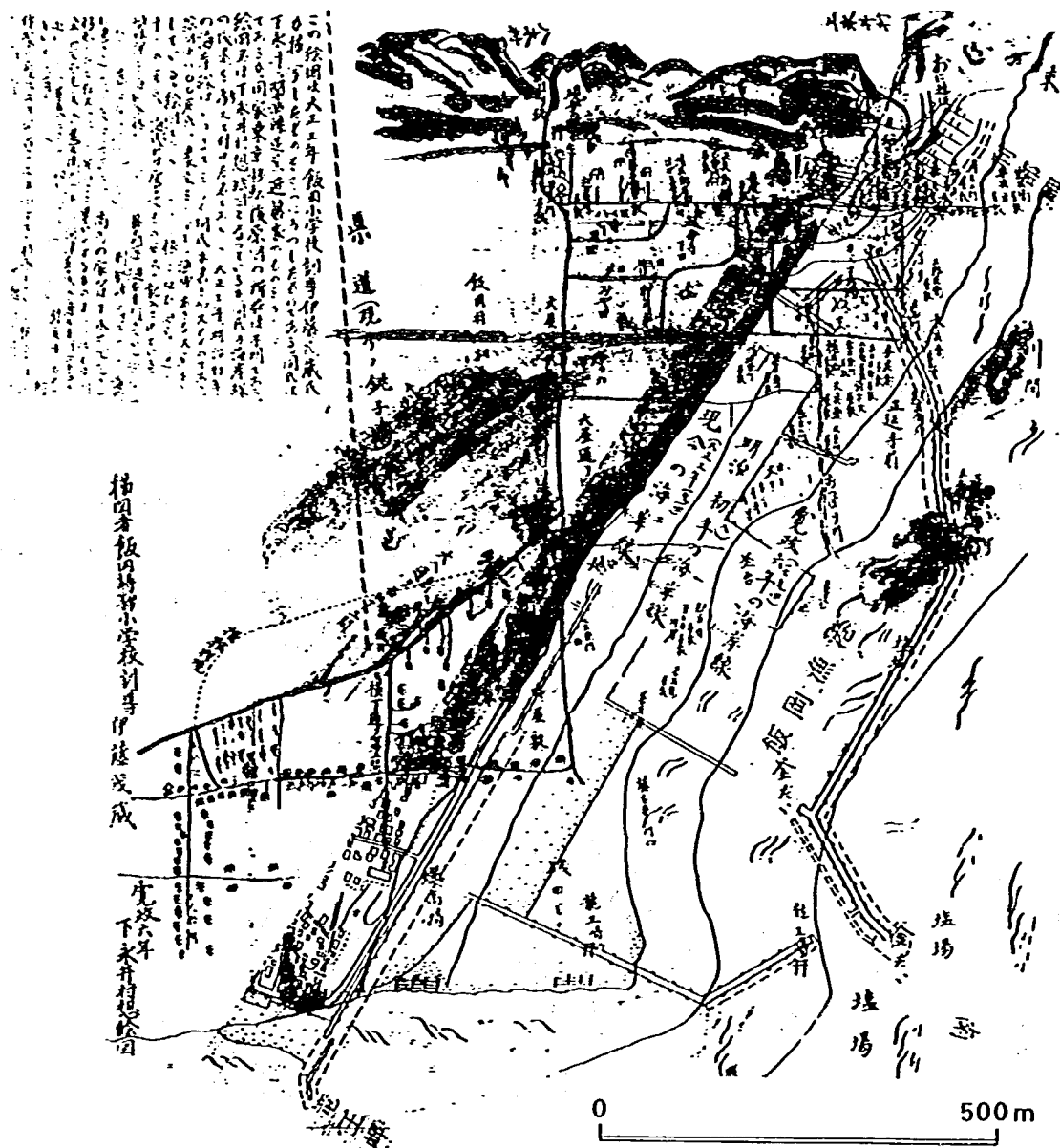


図-3.2 下永井村想絵図と現況の比較

ることができる。この絵図は寛政6年(1794年)に描かれた原図を大正3年に当時飯岡小学校の伊藤茂蔵氏が写したものとされており、図中には、寛政6年、昭和初年、大正3年の三つの海岸線が時代とともに陸側へ移動したことが示されている。また、図-3.2には現在の海岸状況も併せて示したが、昔は現在の飯岡漁港の防波堤先端付近に海岸線が位置していたことがわかる。同様に、図-3.3は昭和5年3月頃の状況を示す絵図に現在の海岸線を記入したものである。昭和5年当時平松地先に敷かれていた海軍の電話線付近まで海岸線が後退した。

図-3.4は、4枚の地形図から作成した汀線変化を示す。まず、上永井地先や屏風ヶ浦では1903年～1930年の26年間には顕著な変化は見られなかったが、1930年～1967年の37年間には大幅な崖後退が生じている。これは、この期間に大きな台風が数多く来襲したことと対応するものと考えられる。次に、下永井地先の海岸線は経年的に後退しており、また平松地先では1884年～1903年に海岸線が前進し、その後後退している。さらに、横根地先以西(矢指川～目那川)においては、1930年までは大きな汀線変化は見られないが、1930年～1967年の間では大幅な汀

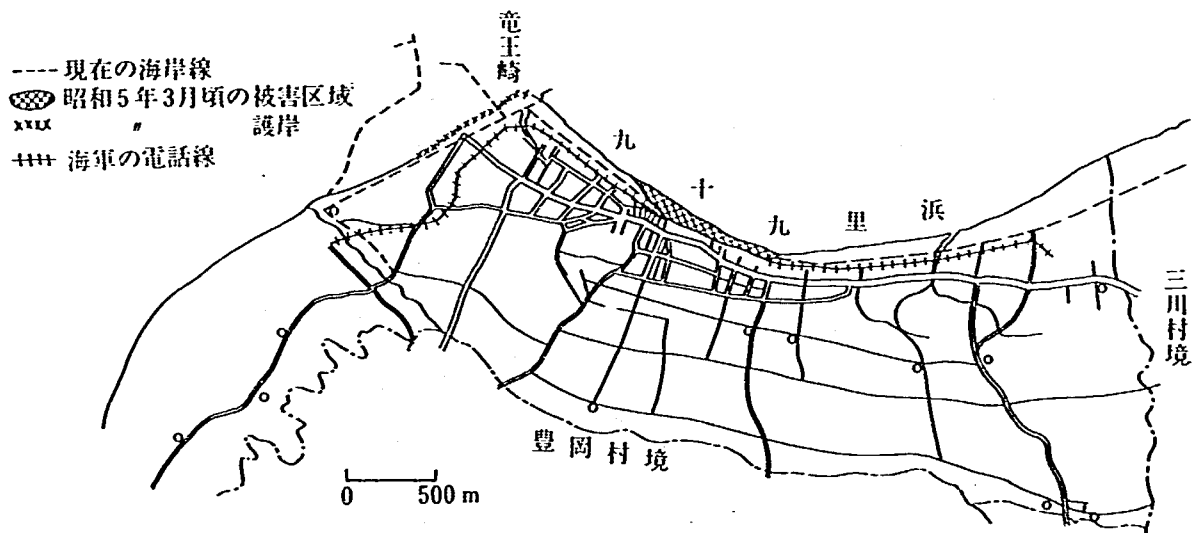


図-3.3 昭和5年3月頃の飯岡海岸絵図と現在の海岸線

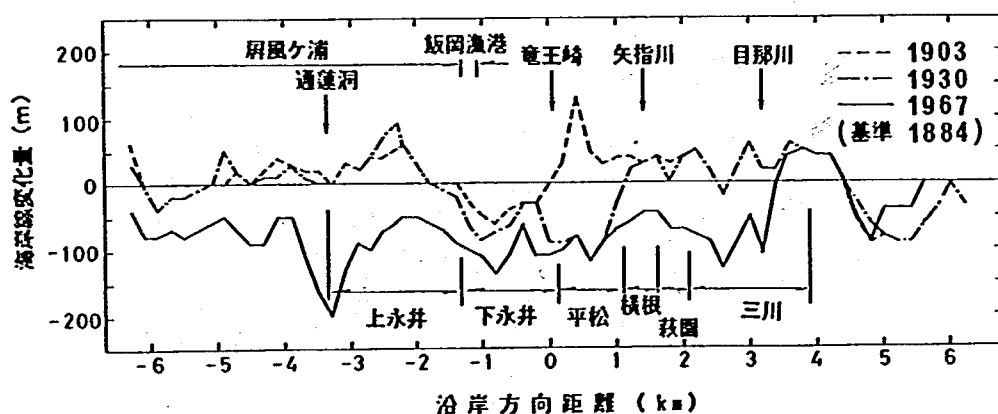


図-3.4 地形図による飯岡海岸の汀線変化比較

線後退が生じた。汀線後退量は平均約 100mで、このほとんどは1964年災害によるものと考えられる。

堀川・砂村^{3),4)}は、地形図と航空写真を用いて屏風ヶ浦の崖の後退量を検討している。それによると、崖の後退速度は期間によってばらつきは見られるものの、長期的には約0.7m/yrで与えられる。このような崖侵食の状況として上永井地先（屏風ヶ浦）の通蓮洞付近（位置：図-3.1、3.4参照）の状況を図-3.5、3.6に示す。図-3.5は1950年代の通蓮洞跡の状況を、図-3.6は同一地区の1986年2月の状況である。海上に存在した2つの岩は侵食によって消失したことがわかる。

ところで、堀川・砂村の後退速度に基づいて、1903年を基準として1967年まで64年間の崖後退量を計算すると、59mの後退となる。一方、図-3.4によると後退量の下限値は40m、上限値は 200m、また平均値は82mとなる。この平均値は飯岡漁港より東側5,200m区間を200mピッチで求めた結果であり、1万分の1の図より求めた。したがって読み取り時の誤差を考えると、本研究で求めた後退量と堀川らの値とはほぼ対応していると考えられる。また、後退量は沿

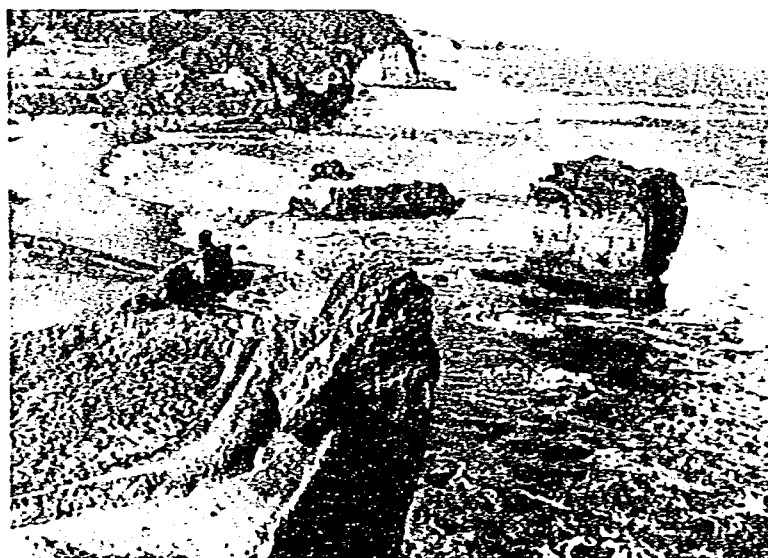


図-3.5 屏風ヶ浦 通蓮洞跡（1950年代）



図-3.6 屏風ヶ浦 通蓮洞跡（1986年2月）

岸方向にかなり大きな変動を有しているが、この理由は主として岩質が一定ではないことが原因と考えられている。

次に、飯岡海岸の波浪条件について考える。飯岡漁港での目視波浪観測によると、飯岡海岸の波高は、S, S Eの2方向が卓越し、特に夏期にはS方向、冬期にはS E方向が高頻度となる（図-3.7）。平松地先の地形変化は夏期に堆積、冬期に侵食といった季節変化を示すことが報告されている。そこで、これらの季節の代表波として飯岡の東10kmに位置する名洗港での1958年1月～1962年12月までの波浪観測データをもとにS, S E方向からの代表波を入射させて碎波点でのエネルギーフラックスの沿岸分布を求めた（図-3.8）。ただし、代表波は観測期間中の静穏条件を除いた各観測波のエネルギーフラックスよりその平均を求め、その平均エネルギーフラックスを有す波として定めた。いずれの入射方向の場合も平松地先では西向きエネルギーフラックスが卓越する。平松地先では海岸線方向が著しく変化しているが、2方向の卓越波の作用下ではいずれも西向きの漂砂が卓越し、漂砂の方向が逆転することはない。しかしながら、単にエネルギーフラックスの分布だけでは平松地先の地形の季節変化の理由は説明できない。この点については今後さらに検討を必要としている。

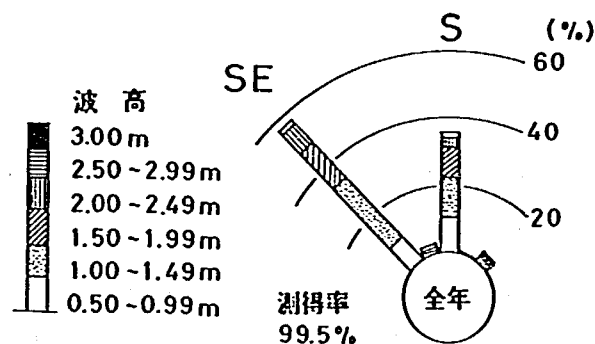


図-3.7 飯岡漁港における波向別波高出現率（1982年）

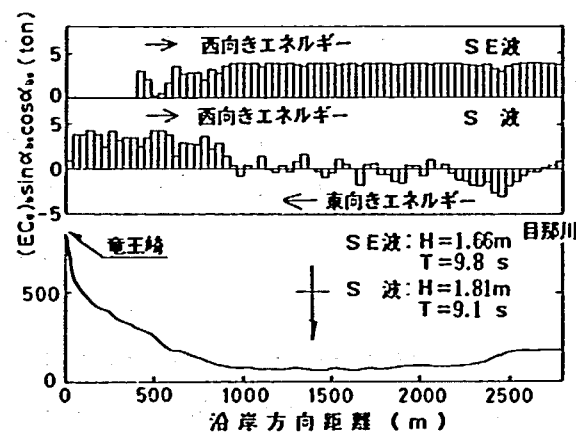


図-3.8 波浪エネルギーフラックスの沿岸方向分布

3.3 離岸堤群による堆砂効果

飯岡海岸では、全体で10基の離岸堤が建設されている。離岸堤は1975年12月に平松～三川地先のほぼ中央部に設置され、その後左右に増設が繰り返され、1986年現在10基が設置されている（図-3.9）。離岸堤の諸元としては、堤長が150～160m、海岸護岸からの離岸距離が250m、開口幅が60～195mである。開口幅はかなり変化が大きい、主として80～100mのものが多。離岸堤の配置は図-3.9に示すとおりであって、竜王崎に近い部分では海岸線の方の大きな変化に合わせて、ほぼ初期汀線と平行に設置されている。

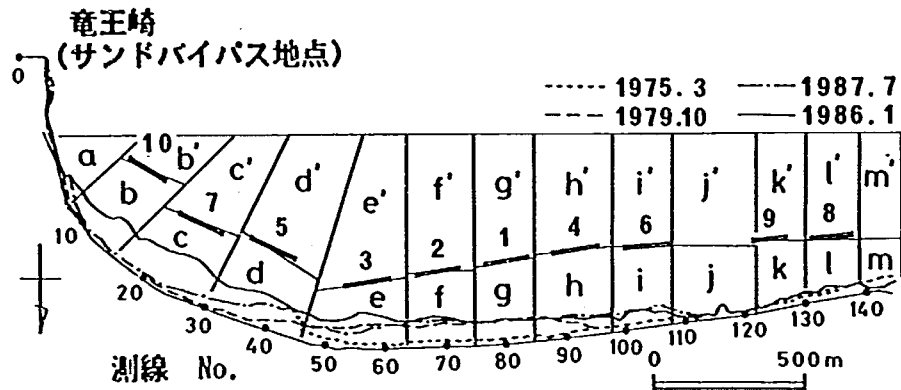


図-3.9 離岸堤群周辺の汀線変化と土量計算のための区域分割

離岸堤設置後、堤背後の汀線は次第に前進したが、個々の離岸堤背後にトンボロが形成されるのではなく、離岸堤群の背後で全体的に汀線が前進した（図-3.9参照）。すなわち群としての効果が表われている。また汀線位置の経年変化傾向を調べると、まず西部で汀線が前進し、次第に東部へと汀線の前進区域が広がっている。これは沿岸漂砂の上手側に位置する飯岡漁港の浚渫土砂が、竜王崎先端の汀線付近より供給されたため生じた変化である。次に汀線変化に対応した沖合部を含む広い区域の地形変化について調べることとし、図-3.9に示すように、離岸堤岸側と沖側を各々13、12個の小区域に分割し、この区域内の土量変化を調べた。ただし、各区域の面積はどれも異なるために、単なる土量変化の比較では相互の比較は不十分である。そこで各区域の面積で土量を割ることにより地盤高の変化量の平均値を求めた（図-3.10）。図-3.10(A)は離岸堤岸側の、(B)は沖側の各小区域の平均地盤高の変化を表わす。まず離岸堤背後に注目する。平均地盤高は最初e～hの間で増加し、その後離岸堤の建設が進むにつれ地盤高の増加区域が左（東）側へと移動した。また、特に1986年1月の測量によると、C地区のように著しく大きい堆積も見られた。これと対照的に同一時期、下手側のh～j区間では著しい堆積は見られない。

離岸堤背後ではいずれの地区でもほぼ地盤高の変化は正、すなわち堆積が生じた。これに対し離岸堤沖では地盤高の低下が見られる。とくに1986年になると西側ほど地盤高の低下が著しい。結局、離岸堤沖では侵食が起きたことがわかる。また、離岸堤沖の地盤高の低下量の分布

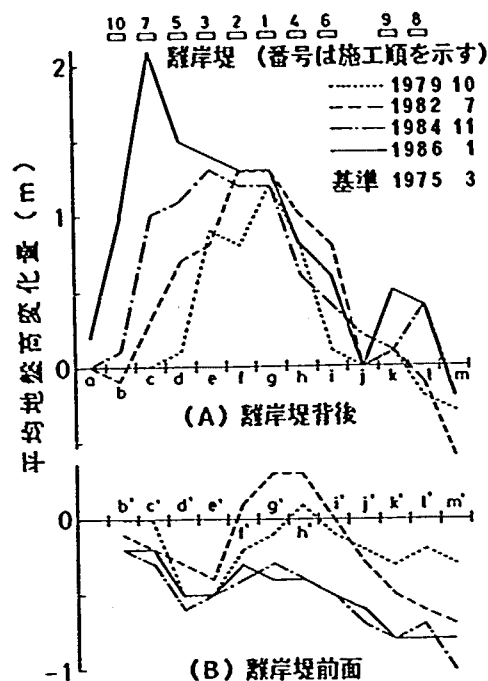


図-3.10 離岸堤周辺の平均地盤高の変化

と、岸側の増加量の分布とは基本的に異なっており、前者では西側ほど絶対値が大きいのに対し、後者では区間 a～b を除けば東側ほど絶対値が大きい。このことから、沖合部の侵食は単に岸向き漂砂によって離岸堤内へ運び込まれたものではないと考えられる。

離岸堤背後の汀線変化は図-3.9に、また平均地盤高の変化量は図-3.10に示した。これら両者を比較すると、両者はかなり良い対応を示し、汀線が大きく前進している場所では離岸堤より岸側の区域での平均地盤高の増加量も大きい。このことは、離岸堤背後部での土量変化特性を表わす意味で汀線位置が良い指標になることを表わしている。そこで両者の関係を調べた(図-3.11)。図の横軸は1975年3月の汀線位置を基準とし、図-3.9に示した各小区域ごとに前進した汀線によって囲まれた部分の面積(汀線面積変化量： ΔS)をとっている。また縦軸は離岸堤より岸側の各区域の変化土量(ΔV)である。 ΔV と ΔS の間には相関係数 $R: 0.977$ において次式が成立する。

$$\Delta V = 4.3 \Delta S + 1.05 \times 10^5 \quad (3.1)$$

ここに ΔV 、 ΔS の単位は各々 m^3 と m^2 である。式(3.1)と良く似た形の式は従来から得られており、その関係より漂砂の移動高が経験的に定められる。しかし、その場合の関係式は、海浜の断面内での変化に着目したものであり、海浜断面積の変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)の間で、 $\Delta A = h \Delta y$ なる関係を調べるものであった。しかしこの式の両辺に沿岸方向の代表距離を乗すれば結局式(3.1)と等値な関係が得られる。したがって式(3.1)より漂砂の移動高は4.3mとなる。

そこでこの理由を調べるために、代表的に離岸堤群のほぼ中央に位置する2号堤の中央を通る測線No70の断面形状を図-3.12に示す。図には1975年から1986年まで約11年間の断面変化が

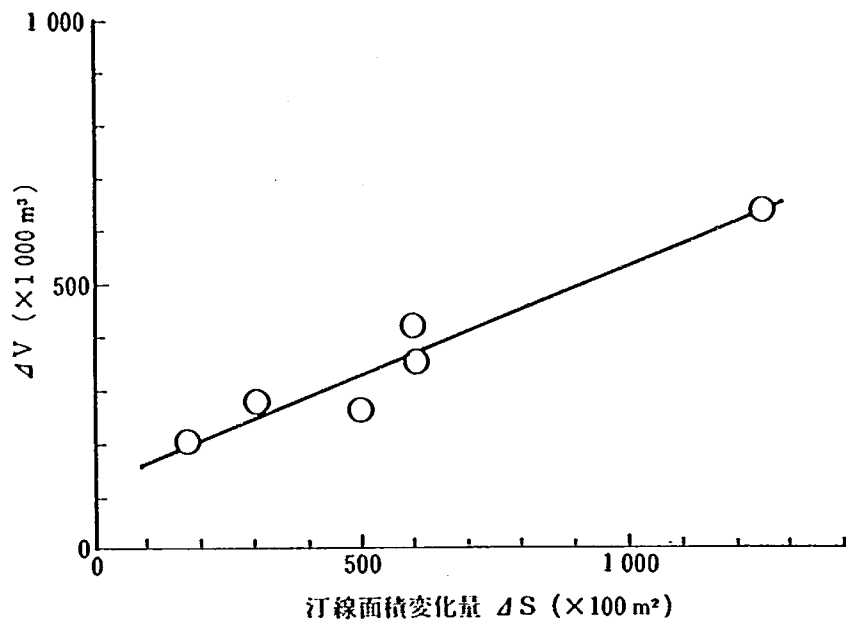


図-3.11 汀線変化量 (ΔS) と土量変化量 (ΔV) の関係

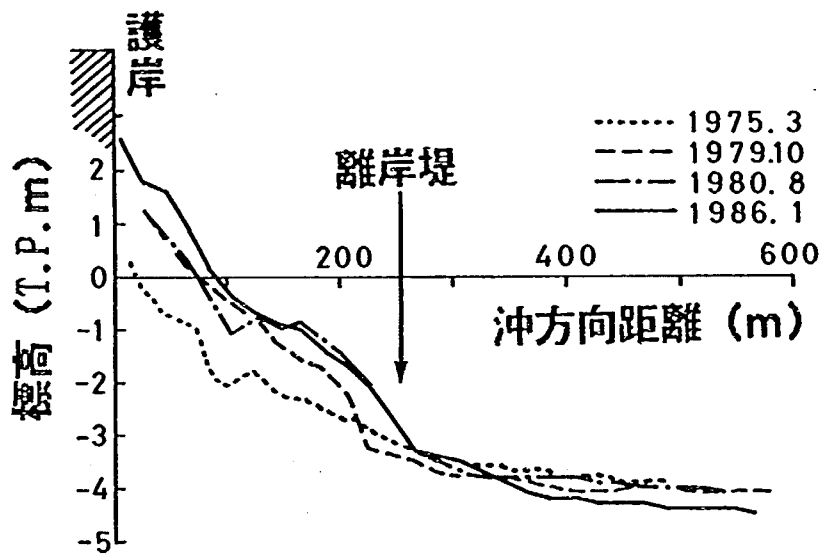


図-3.12 測線No.70における海浜断面形の変化

示されている。離岸堤より岸側では大きく汀線が前進し、それとともに海浜断面が全体に沖方向にはば平行移動している。このためこの区域の土量変化と汀線変化とは良い相関を示したのである。一方、約1/400と非常に緩い勾配を有する離岸堤の沖合では、時間の経過とともに全体的に地盤高が減少していることが明らかである。

海浜断面形の変化は図-3.12に示した通りであって、離岸堤の背後では著しい断面変形が生じている。そこで従来の方と同様に海浜断面積の変化量 (ΔA) と汀線変化量 (Δy) の関係を調べ、図-3.13に示した。両者の間には相関係数 $R=0.948$ で次式が成立する。

$$\Delta A = 3.7 \Delta y + 12.8 \quad (3.2)$$

ここに、 ΔA と Δy の単位は m^2 と m である。式 (3.2) より漂砂の移動高は3.7 mとなる。こ

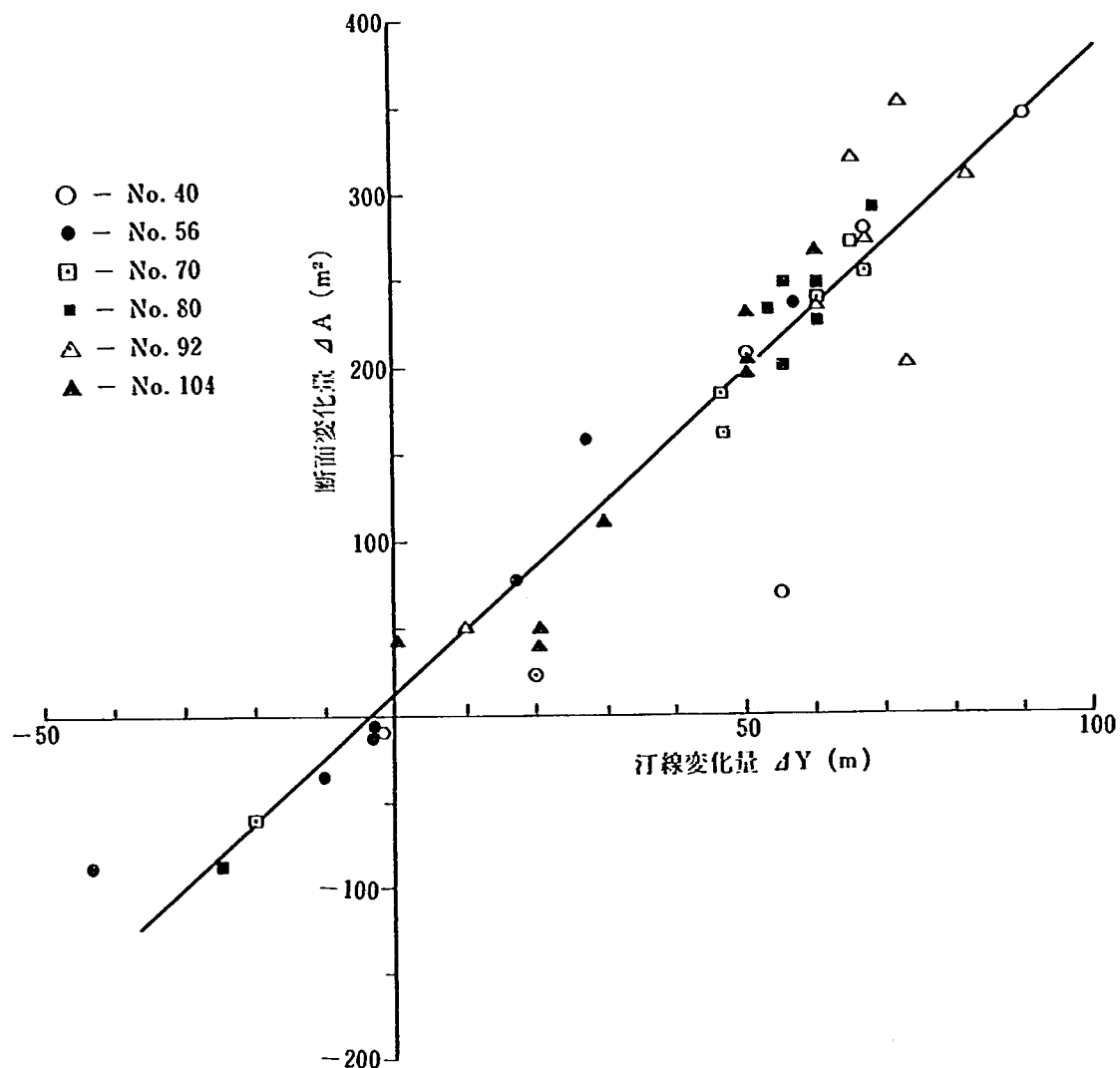


図-3.13 汀線変化量 (Δy) と断面積変化量 (ΔA) の関係

の値は式 (3.1) で求めた4.3 mとほぼ一致している。外洋に面した他の海岸での調査によると、移動高は10mのオーダーである⁵⁾。これと比較すると、ここで求められた値はかなり小さい。これは主な地形変化が離岸堤より岸側に限られていたためと考えられる。事実、富山県の下新川海岸の離岸堤背後においてもこれとほぼ一致する4.0 mなる値が得られている⁶⁾。離岸堤背後では消波効果により波高は低く、このため移動高も小さくなったと考えられる。

次に、離岸堤の沖合部で侵食が生じた原因について考える。まず、屏風ヶ浦は延長約9 kmの長さを有するが、1985年現在消波堤が全長の53%の区間において造られている。そこで、崖侵食による海浜への土砂供給量が過去と比較して減少し、結局飯岡海岸への上手からの供給量は減ったと考えられる。また、飯岡海岸のすぐ上手には飯岡漁港が存在する。この漁港では防波堤の建設とともに東側、および港内に土砂が堆積し港の維持上困難をきたした。これは同時に漂砂の連続性の阻害要因となった。そこで人為的な方法、すなわちサンドバイパスにより漂砂は隣接する竜王崎の先端の汀線付近より流されている。したがって平松地先の汀線付近では相当量の漂砂供給があることになり、供給砂は次第に下手方向に流れ、離岸堤群によって大部分

は群の岸側領域に捕捉される。離岸堤があるため沖への流出は少ないと考えられ、この結果、従来どおりの漂砂の存在する離岸堤の沖側では供給量が減少したため次第に侵食が進んだと推定される。

次に、飯岡漁港下手での投入土砂と離岸堤群背後の堆積土砂量の経年変化を図-3.14に示す。近年、例えば1979年以降で両者の勾配を比較すると両者はほぼ一致しており、約 $8 \text{ 万 m}^3/\text{yr}$ の割合で増加している。結局、投入土砂の大部分は下手側の離岸堤群の背後に堆積したと考えられる。逆に、両者がほぼ均衡していることから、離岸堤背後の堆積土砂はサンドバイパスによって供給されたものであって、離岸堤群の沖から運ばれたものとは相違すると考えられる。

最後に、飯岡海岸の西側の地域の地形変化について調べる。飯岡海岸下手側に位置する北九十九里海岸においては、飯岡海岸の離岸堤群が設置され始めた1970年代になって侵食が生ずるようになった。図-3.15、3.16は1977年9月と1980年6月の同一地点での海浜の状況を示す。この期間に堤防前面の砂浜が大幅に失われたことがわかる。また、飯岡漁港の西側約9 kmの範囲の海岸における1970年より1984年まで約15年間の汀線変化を図-3.17に示す。1977年までに、飯岡漁港から西側約6.5 kmの範囲で汀線が後退した。その後時間の経過とともに侵食区域は西側へと広がっている。このような汀線後退は、その特性から見て東から西へ向かう沿岸漂砂の均衡が失われたため生じたものと考えられる。

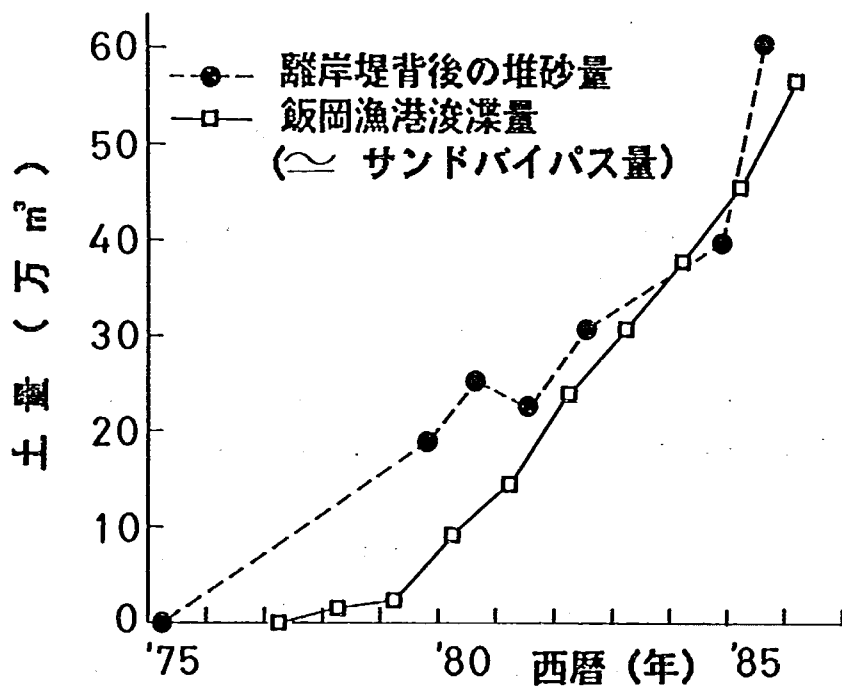
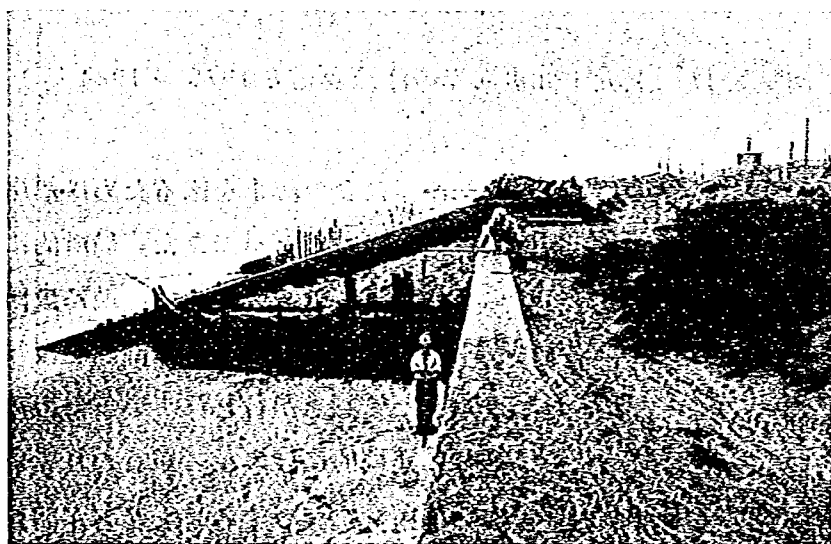


図-3.14 離岸堤背後の総堆砂量と飯岡漁港の浚渫量の経年変化



図－ 3. 15 北九十九里海岸 椎名内浜の侵食状況（1977 年 9 月）



図－ 3. 16 北九十九里海岸 椎名内浜の侵食状況（1980 年 6 月 6 日）

3. 4 対策への提言

九十九里海岸の北部での漂砂の方向は西向きであって、海岸への主要な漂砂供給源は屏風ヶ浦の海崖である。過去に約 $0.7\text{m}/\text{yr}$ の割合で崖侵食が進んできたことは事実である。海崖の上部の内陸は種々の国土利用がなされており、生命・財産を保護するためには崖侵食を防止することが必要である。よって重要性の高い箇所より消波堤が設置され、崖侵食を防止している。消波堤の設置延長は1985年現在で屏風ヶ浦の総延長約9 kmの53%を占めるに至った。これによって屏風ヶ浦の侵食はかなり防止されることになったが、九十九里海岸から見れば主要な漂砂源の減少が起きたことになる。漂砂供給量が減少すれば西向きの沿岸漂砂により北九十九里海岸は侵食傾向に転じざるを得ない。

飯岡海岸は屏風ヶ浦と九十九里海岸の接点に位置する。この海岸も古くから侵食を受けてきていることは既に明らかにした。また、この海岸近傍には飯岡町があり、人口密度はかなり大

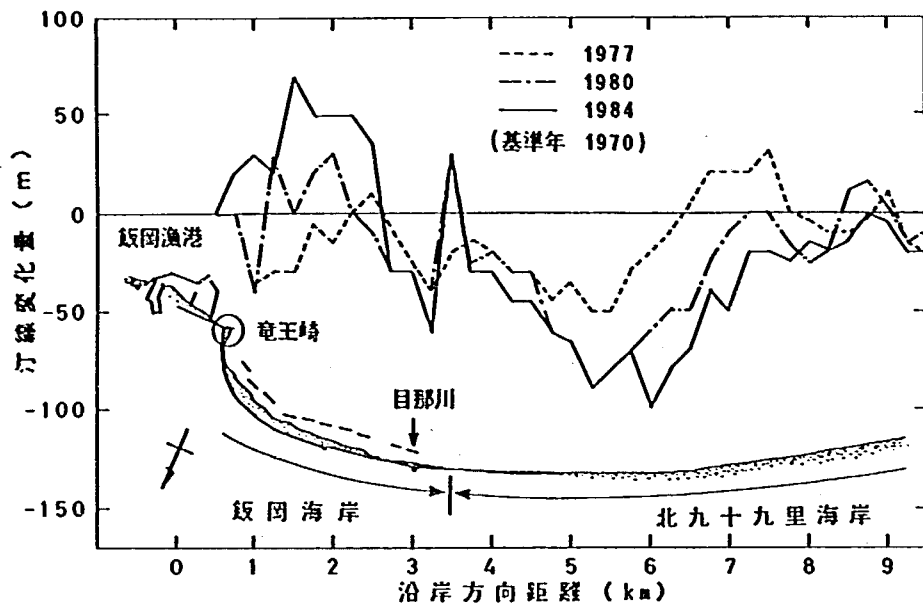


図 - 3.17 北九十九里海岸の汀線変化 (1970 ~ 1984 年)

きい。したがって国土保全上重要であり、海岸侵食の防止を図るために離岸堤群が設置され、その背後には堆砂効果により広い砂浜を回復させることができた。局所的に見れば海岸工事の効果は高いものがある。しかし構造物の堆砂効果が著しいために、逆に飯岡海岸の下手（西）側への漂砂供給はやや不足しているのが現状である。しかも更に問題を複雑化させるのは飯岡漁港の存在である。幸なことに、現在サンドバイパスが行われているために、総漂砂量自体の減少を見ることはないが、天然状態と同様に連続的に砂の投入が行われている訳ではなく、また投入位置が汀線付近であるため沖浜への供給量が減少することなどが問題となる。しかし少なくともこのサンドバイパスが行われたからこそ飯岡海岸の離岸堤背後では堆砂が見られたのであり、その意味よりサンドバイパスの実施が積極的意味を持つことは明らかである。

個々に実施している事業自体は上述のようにかなりの成果をあげている。しかし、上述の議論では屏風ヶ浦から九十九里海岸全体の土砂収支の見地からの検討がやや不足していることが問題である。勿論、沿岸漂砂量の定量的評価を基にした議論でなければならないから検討に際して多くの困難を伴うことは事実である。結局のところ、地先海岸の自然、社会的条件を考慮した上で、なおかつ全体的視野から検討を進め、最終的に海岸全体をどう安定化させるかの議論を十分尽くす必要がある。

3.5 結 論

本研究によって得られた主要な結果を以下にとりまとめる。

- (1) 千葉県飯岡海岸は古くから海岸侵食に悩まされてきた。近年においても侵食は著しい。そこで侵食対策として10基の離岸堤が建設された。これにより離岸堤群の背後には著しい堆砂が生じたが、その土砂の供給源は飯岡漁港の波漂土砂の投入によると考えられる。また、

離岸堤背後の堆砂においては、個々の離岸堤背後にトンボロが形成されるのではなく、離岸堤群の背後に全体として堆積したところに特徴がある。

- (2) 飯岡海岸の深浅測量データをもとに、海浜断面積と汀線の変化量を求め、両者の相関より漂砂の移動高 (h) を求めたところ、 $h = 4 \text{ m}$ となった。この値は他の外洋に面した海岸で得られた 10 m 程度と比較すると小さい。その理由として、海浜変形が離岸堤の岸側区域に限られており、そこでは離岸堤の消波効果によって作用波高が低かったことが考えられる。
- (3) 本研究では屏風ヶ浦、飯岡海岸、北九十九里海岸の侵食実態や飯岡漁港のサンドバイパスと下手側での土砂堆積の関係について調べた。本論で述べたように、個々の海岸のみを念頭に置いて対策工事を進めると、土砂収支の面から相互の海岸は関連しているため、上手側での対策工事の進捗が下手海岸の侵食原因の一つになる可能性があることから、全体としては必ずしも良好な結果をもたらさない。飯岡海岸の侵食もそのような事例の一つである。今後の侵食対策計画の立案に際しては、海岸全体の安定性を見地からの議論を十分尽くし、より良い方向性を見出す必要がある。

参考文献

- 1) 堀川清司：海岸工学，東京大学出版会，p.317，1973.
- 2) 飯岡町：長く続く怒濤との戦い，飯岡町史符篇，pp. 1～35，1981.
- 3) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について—航空写真による海食崖の後退に関する研究・第2報—，第16回海講論文集，pp.137～145，1969.
- 4) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について—航空写真による海食崖の後退に関する研究・第3報—，第17回海講論文集，pp.289～296，1970.
- 5) 宇多高明：明石海峡周辺海岸の海浜地形変化，土木技術資料，Vol.28，No.9，pp.9～14，1986.
- 6) 須山 洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和：副離岸堤周辺の波、流れ、地形変化の観測，第32回海講論文集，pp.405～409，1985.

4 波の力を利用した土砂輸送の現地実験

4.1 まえがき

一般に、沿岸漂砂の卓越する海岸に漂砂を阻止する構造物が造られると、構造物の漂砂上手側では土砂が堆積し、下手側海岸では侵食が生ずる。このような原因で生じた海浜変形は全国各地で見られる。例えば新潟県にある市振海岸における侵食などが実例としてあげられる¹⁾。最近では、こうした原因で侵食と堆砂が生ずる場合、サンドバイパスが試みられるようになってきた^{2),3)}。

周知のように、サンドバイパスには種々の方法がある。例えば土砂をトラックで運搬したり、パイプラインで運ぶ方法などが用いられている。これらはいずれも土砂輸送を人為的に行うものであるため、長期的に実施するにはかなり多くの維持経費を必要とする。特に、土砂の運搬距離が長い場合コストが高くなる。サンドバイパスは、もともと自然の営力で漂砂が流れていた海岸で、人工的に構造物が造られ、漂砂移動が止められたために、人為的に土砂を輸送しようとするものであるから、漂砂阻止構造物の近傍を除けば、対象海岸では依然として漂砂を生じさせる営力は存在しているはずである。したがって、構造物の上手側や港内などに堆積した土砂をできるだけ短い距離のみ運び、あとの移動は波の作用にまかせることが自然環境へ及ぼす影響をできるだけ少なくし、また経費を節減する意味からも望ましいと考えられる。

この方法を用いる場合には、例えば港湾への堆積土砂を投入するとしたとき、投入土砂が再び港湾へ戻らない保証を得ることが必要である。また、投入に際しては、投入土砂が下手海岸の養浜に確実に役立つことが明確でなければならない。維持コストは安価であるにもかかわらず、こうした問題点があるために、サンドバイパスにおける土砂輸送の外力に波を用いる方法については十分検討されていなかったのが現状である。

本研究はこの点に着目し、沖合部に投入された土砂が漂砂の下手方向へ移動しつつ浅海部に運ばれ、したがって構造物の下手海岸の養浜を行う上で大いに役立つことを千葉県が行った飯岡海岸での現地実験の結果より明らかにする。

4.2 観測方法

現地観測は千葉県の北九十九里に位置する飯岡海岸で1987年の5月～12月の間に千葉県が実施した。飯岡海岸は屏風ヶ浦と九十九里海岸との接点に位置する。海岸の東側にある屏風ヶ浦は崖海岸として有名であり、そこで削られた土砂は九十九里海岸方向へと流れている⁴⁾。また、飯岡海岸は過去に激しい侵食を受けたために、侵食対策として10基の離岸堤が設置されている⁴⁾。

主な調査項目としては、深浅測量、蛍光砂観測、流向流速観測などである。それらの調査日程をまとめると表-4.1のようである。

土砂投入は、竜王崎沖の1辺が約70mの正方形領域（図-4.1）において、1987年6月12日から7月8日までの27日間に8回に分けて実施した。投入砂は、飯岡の東約10kmに位置する名

表-4.1 調査日程

項目 \ 月日	5 27	6	7 9 28	8 11 26	9 24	10 14	11	12
深 浅 測 量	△		△ △	△ △		○		
螢 光 砂			● ○	○ ○	○	○		○
砂 層 変 動			○	○ ○	○	○		
流 速 ・ 流 向								
土 砂 投 入		—	—					

△：土砂投入に係わる測量成果

●：螢光砂の投入

○：本調査の測量・採取・測定

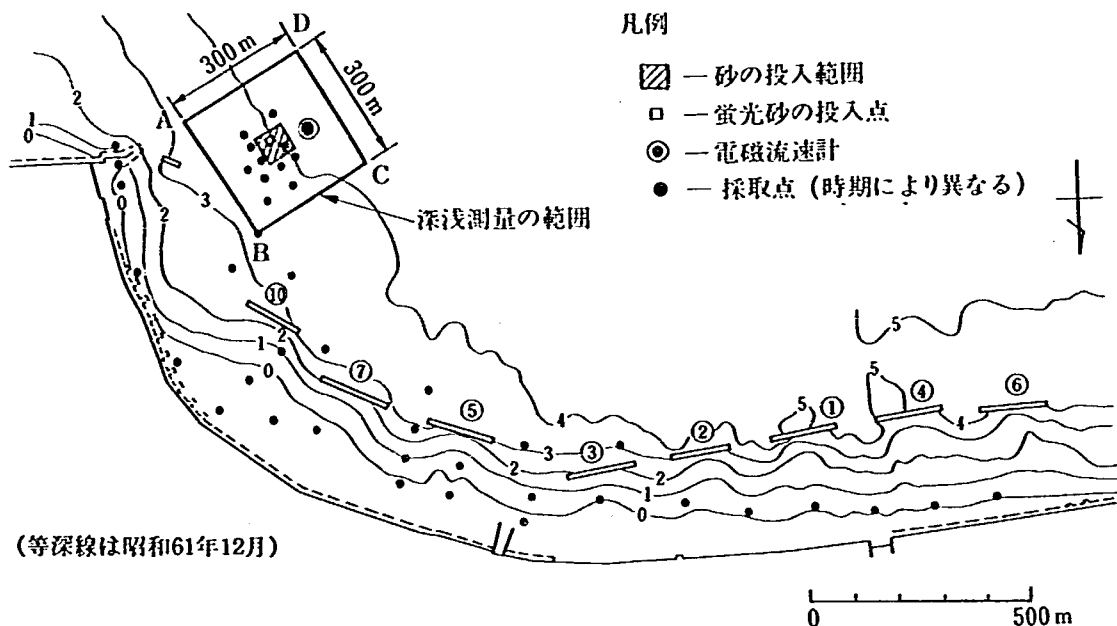


図-4.1 土砂投入地点、深浅測量の範囲および螢光砂の採取点

洗港港内の汀線砂（中央粒径 0.21mm ）であって、 5127m^3 をガット船により海上から投入した。投入実績は図-4.2に示すようであり、1回の投入量は第1回～第6回においては約 500m^3 、第7, 8回においては約 1000m^3 とした。土砂投入にはほぼ1ヶ月近くを要したために、後に明らかにするように土砂投入期間中に何回か高波浪の作用を受け、土砂はかなり移動した。また投入砂の中央粒径 $d_{50}=0.21\text{mm}$ は、実験地の下永井海岸の汀線砂の中央粒径 $d_{50}=0.25\text{mm}$ と比較すると16%小さい。

深浅測量は土砂投入によって形成された海底面のマウンドが波、流れによって変形し、移動する過程を捉えることを目的として実施した。その測量範囲は1辺が300mの正方形領域である（図-4.1参照）。測線は竜王崎に近接する辺AB上に10m間隔で設置し、各測点の間隔は測線間隔と同様に10mとした。全体の測線数は32本である。測量時期は土砂投入前、投入後、

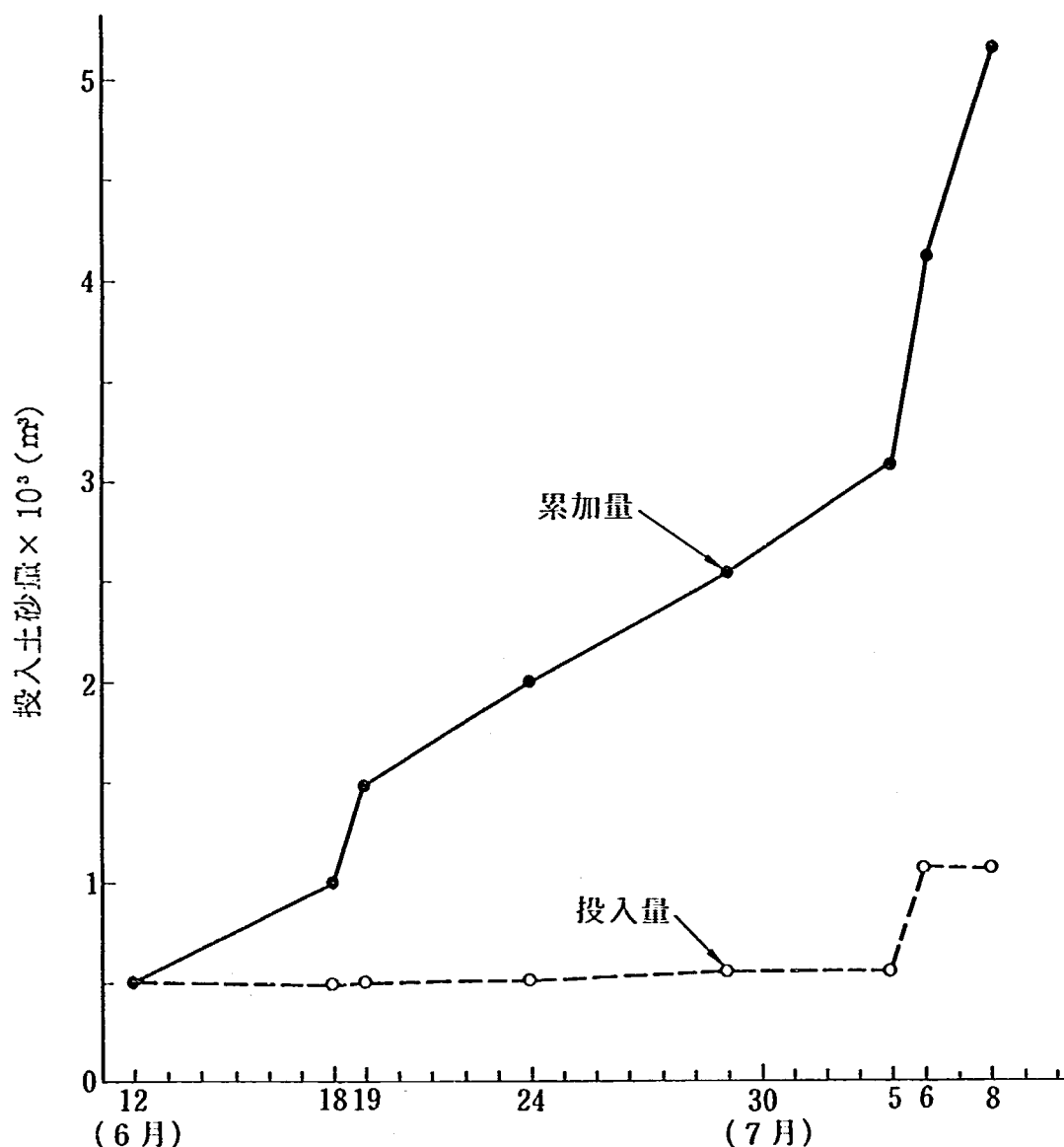


図-4.2 土砂投入の実績

3, 5, 7, 14 週間後の6回とした。深浅測量では、微小な地形変化を捉える必要から、距離の測定は光波測距儀、測深は浅海用の精密音響測深器を使用した。また、測量前のパッチェック、測量中の潮位実況の測定は飯岡漁港で行った。

蛍光砂調査では、投入砂と同一粒径の海浜砂で蛍光砂を作製し、投入砂上に敷均してその移動状況と分布を測定した。これにより投入砂の広い範囲における移動状況を把握することを目的としている。蛍光砂の量は約1 m³とし、その投入位置は土砂投入によって形成されたマウンド上とした(図-4.1)。蛍光砂の投入においては、蛍光砂を1袋25kg程度に分割し、ロープに沿わせて海中に投入し、ダイバーにより海底で袋を切開し敷均した。蛍光砂の採取位置は投入点の岸側および離岸堤周辺に重点を置いて定めた(図-4.1参照)。蛍光砂のサンプリングは、投入後3, 5, 7, 11, 14 週間後に実施した。採取方法として汀線付近は調査員が、沖合はダイバーが採取器を用いて直接採取した。一般に、蛍光砂の追跡は多数の採取点を平面的に配

置し、しかもそれらを時間的に繰り返して行う。しかしこの場合、現地観測に多大な労力を必要とし、しかも得られた結果は必ずしも蛍光砂の拡がりをも十分説明できないことが多い。そこで本研究では次の2つの視点より採取点をできるだけ限定的に選んだ。

- ① 前章によると、竜王崎先端に投入された土砂は南方向へ流れ、離岸堤群の背後に堆積した。今回の土砂投入点も竜王崎に近いので、投入土砂は沿岸方向に移動しつつ必ず離岸堤背後に到達すると推定した。
- ② 毎回の観測値をもとに次の測定点を選択すれば、明らかに蛍光砂が検出されないような測定点を配置しなくて済む。

以上の視点のもとで、千葉県により観測が行われた。したがって、図-4.1に示した蛍光砂の採取点で毎回測定が行われた訳ではなく、その範囲は測定回数の増加とともに次第に西側へと広げられた。

4.3 観測期間中の波浪特性

土砂投入を行った1987年6月～10月の間の海象データについて、既設の観測点である銚子漁港、片貝の波浪観測データ、および当観測と同時期に千葉県水産課により実施された飯岡地点での波浪観測データを収集した。各地点の波高観測の諸元をまとめると表-4.2のようである。これらの波高データのうち1日1波（銚子と片貝は12時、飯岡は11時）を代表波として各地点の有義波高（ $H_{1/3}$ ）、周期（ $T_{1/3}$ ）をまとめると図-4.3となる。銚子は犬吠崎の北端にあり、北東の風によって発達した波を直接受けるために、飯岡や片貝地点と比較すると明らかに波高が高い。飯岡と片貝は九十九里浜に面しているために、波高は同程度であるが、詳細に見ると飯岡の方がやや高い。

土砂投入の実施期間である6月12日から7月8日までの期間は飯岡での波浪観測は行われていないので、銚子のデータを参照すると、6月21日には有義波高で3 m以上の波浪が来襲している。また、深浅測量や蛍光砂による追跡調査が行われた7月9日以降10月末までの期間では、飯岡の波高値で9月17日に $H_{1/3}=4.78\text{m}$ （ $T_{1/3}=11.3\text{sec}$ ）なる高波が生起している。これは紀伊半島に上陸し、我が国本土を縦断した台風13号による波浪である。

表-4.2 波高観測の諸元

地 点	銚 子	片 貝	飯 岡
波高計の設置水深 (m)	10.8	10.0	15.0
波 高 計 の 機 種	超 音 波	水 圧 式	水圧式と超音波
波 向 の 測 定	目 視		流 速 計
観 測 時 間	3 時 間 毎		2 時 間 毎 奇 数 時

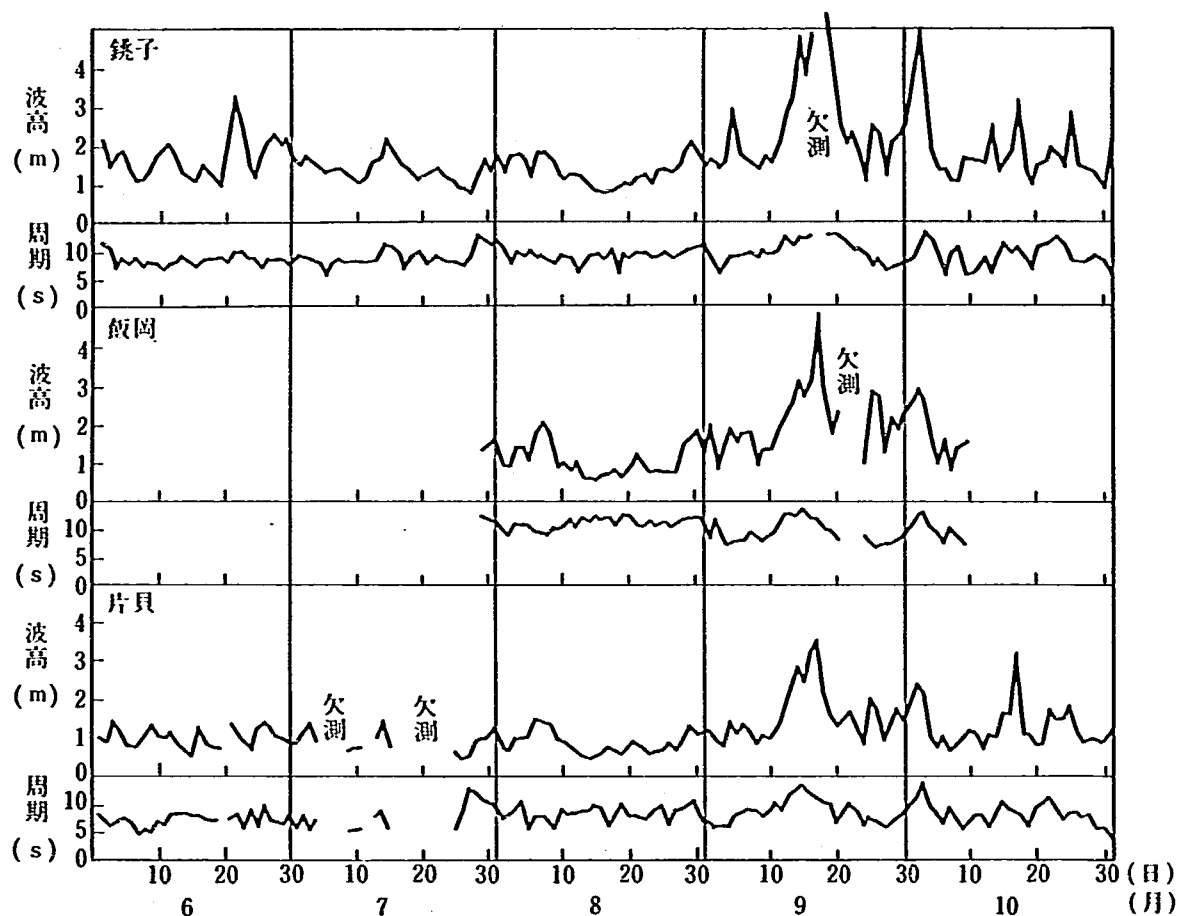


図-4.3 調査期間中の波高、周期の経時変化

飯岡での1987年7月28日より10月9日までの2時間毎の波浪観測データをもとに、有義波高、周期の出現頻度をまとめると図-4.4となる。有義波高は1~1.5mの値が最多頻度である。有義周期は8~9秒が卓越している。

更に、有義波の波高と波向の複合頻度分布をまとめた(図-4.5)。波向観測は、千葉県水産課により飯岡漁港の沖合6km地点に電磁流速計を設置して行われている。波向の出現頻度の高いのは、SEおよびESE方向である。飯岡海岸の波向について論じた前報⁴⁾の観測データによると、卓越波向はSEとSであった。SE方向については今回の値と一致するが、Sについては大きく異なる。この理由として、前回のデータは目視観測であって測定精度が低かったためと考えられる。図-4.1の海岸形状図を参照したとき、SE、ESE方向から波が入射すると、西向きエネルギーフラックスが卓越することは明らかである。このエネルギーフラックスのために、投入砂は次第に西方向へ移動した。

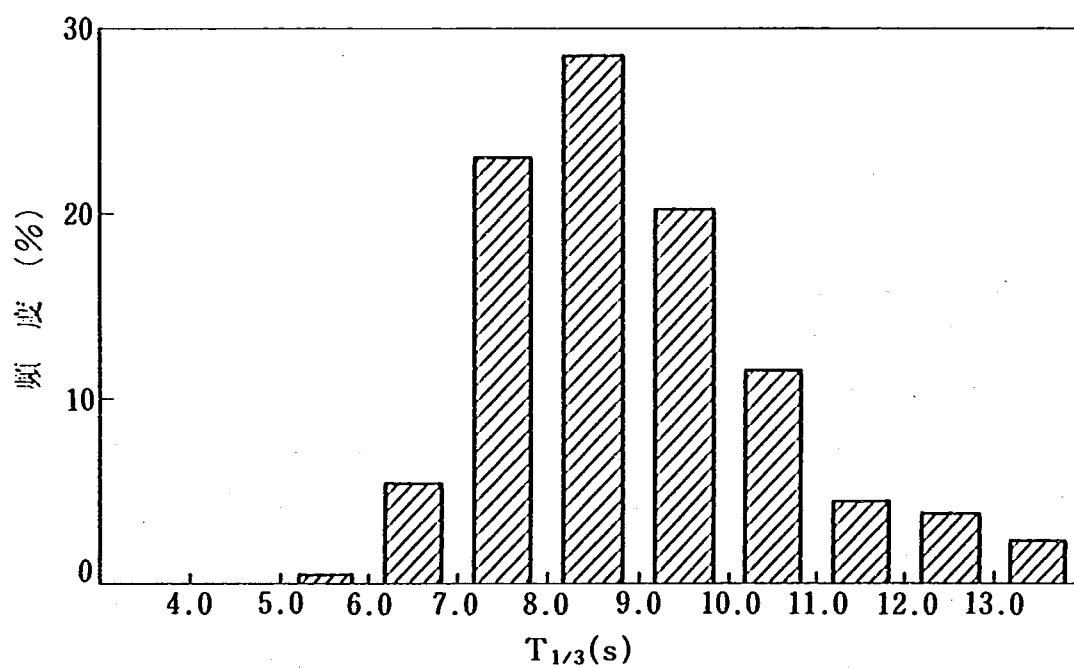
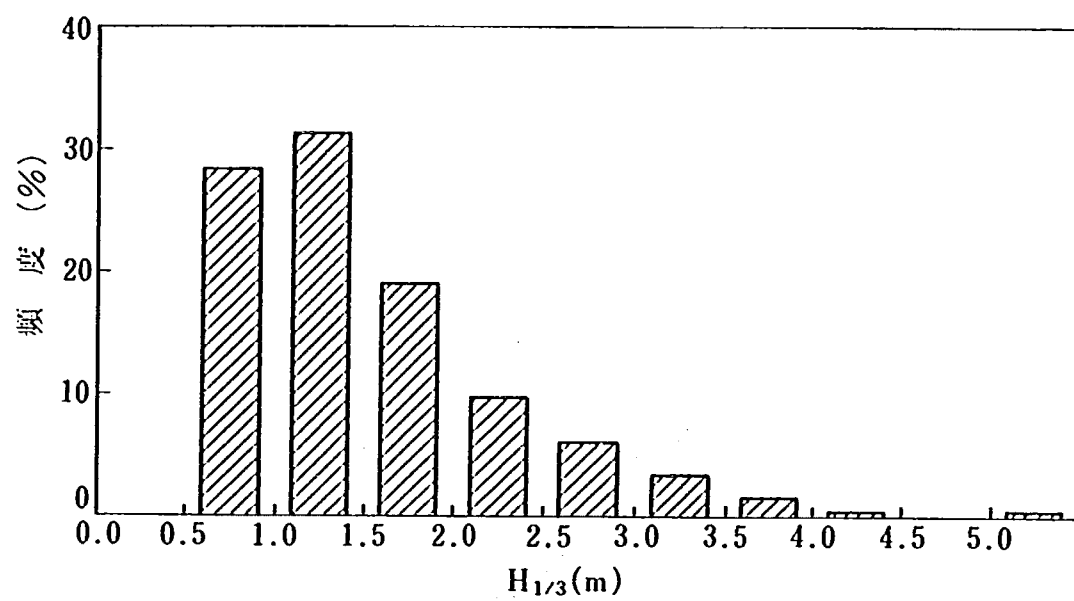


図-4.4 有義波高、周期の出現頻度分布 (1987年7月28日～10月9日)

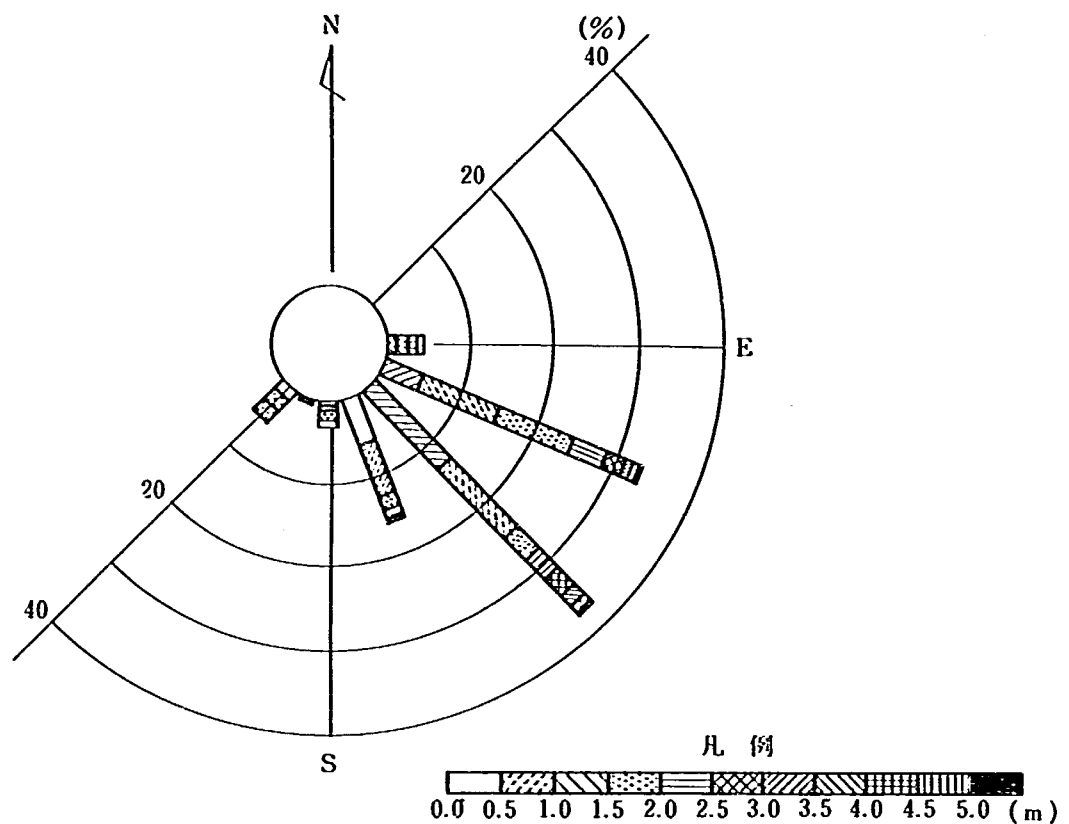


図-4.5 有義波高と波向の複合頻度分布

4.4 土砂投入による地形変化

最初に、土砂投入に伴う海底面形状の変化について論ずる。図-4.6に土砂投入開始前の5月27日と、投入完了直後の7月9日の2回の深浅測量によって得られた断面形状を示す。ここに、測線は図-4.1の線分ABを2分する中心線より南北に10m間隔に配置されており、測線のS、またはNは中心から南または北側に位置することを示す。数字は中心からの距離(m単位)である。土砂投入前の海底はかなり平坦であり、例えばS5測線では約1/270の緩勾配となっている。土砂投入によりS35~N25の範囲でマウンド状に土砂が堆積している。この2回の測量では測量精度はかなり高く、土砂投入域より約100m離れた位置の各断面形はほぼ一致している。

次に、投入点周辺の深浅図を示す(図-4.7参照)。実線は土砂投入完了後の7月9日の等深線を、破線はそれから約1ヶ月が経過した8月11日の等深線を表わす。土砂投入直後では、T.P.-3.5mの等深線が舌状に大きく突き出ている。これは土砂投入により海底面がマウンド状に盛り上がったことを表わしている。その後8月11日になると、T.P.-3.5mのコンターに明らかなように、沖向きの突出形状は消滅し、沿岸方向になだらかな等深線形となった。これは投入土砂がかなり急速に運び去られたことを意味している。

各測線ごとに水深変化量を求め、その平面的な分布をまとめると図-4.8となる。比較時期は土砂投入前の5月27日と投入直後の7月9日とした。図中、N25~S25測線、および岸沖方

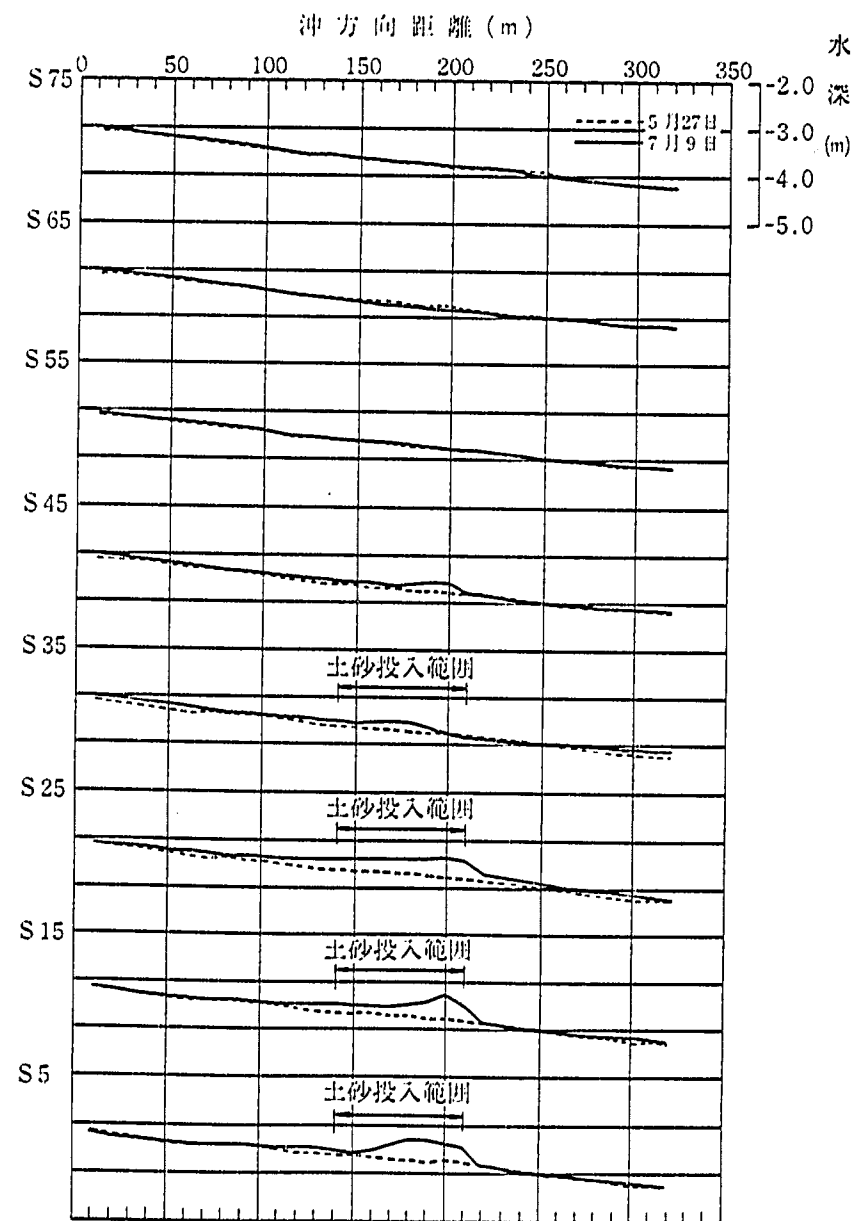
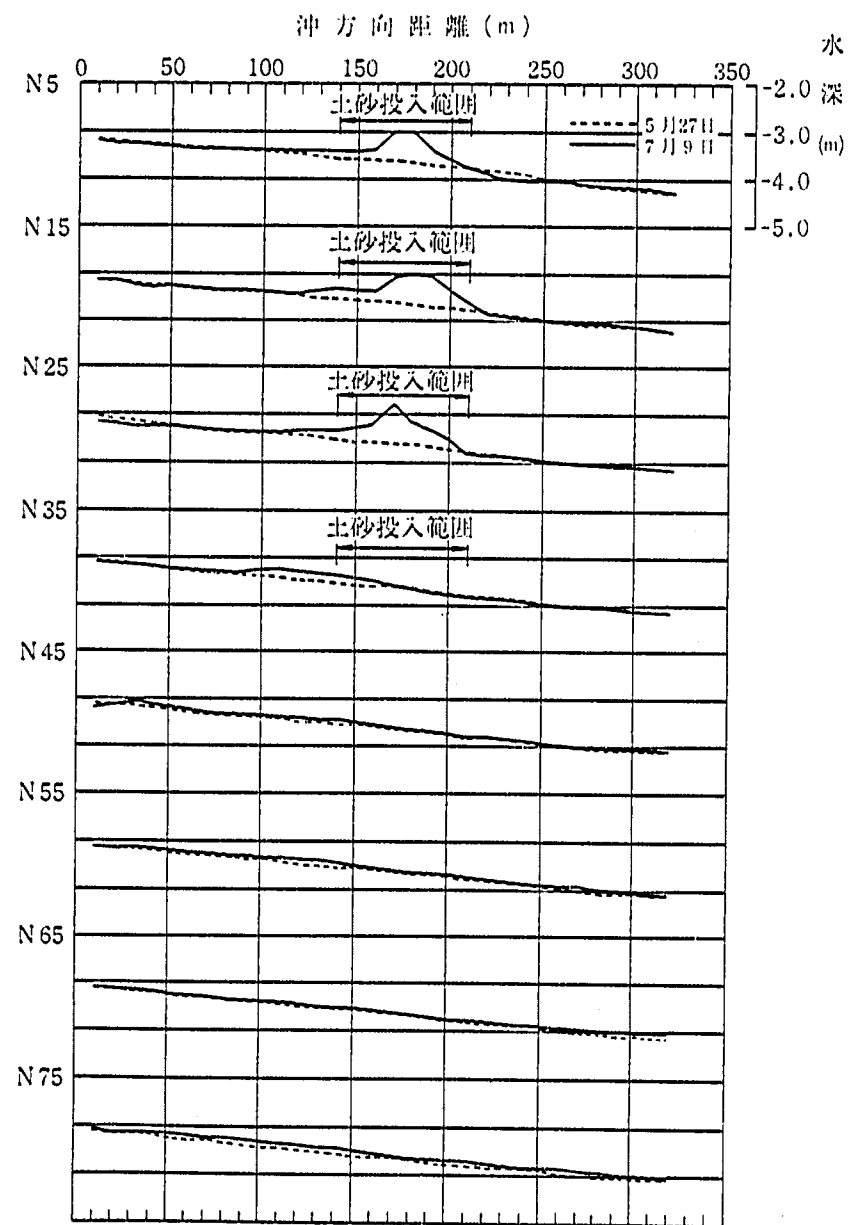


図 - 4. 6 土砂投入前後の断面形状の比較

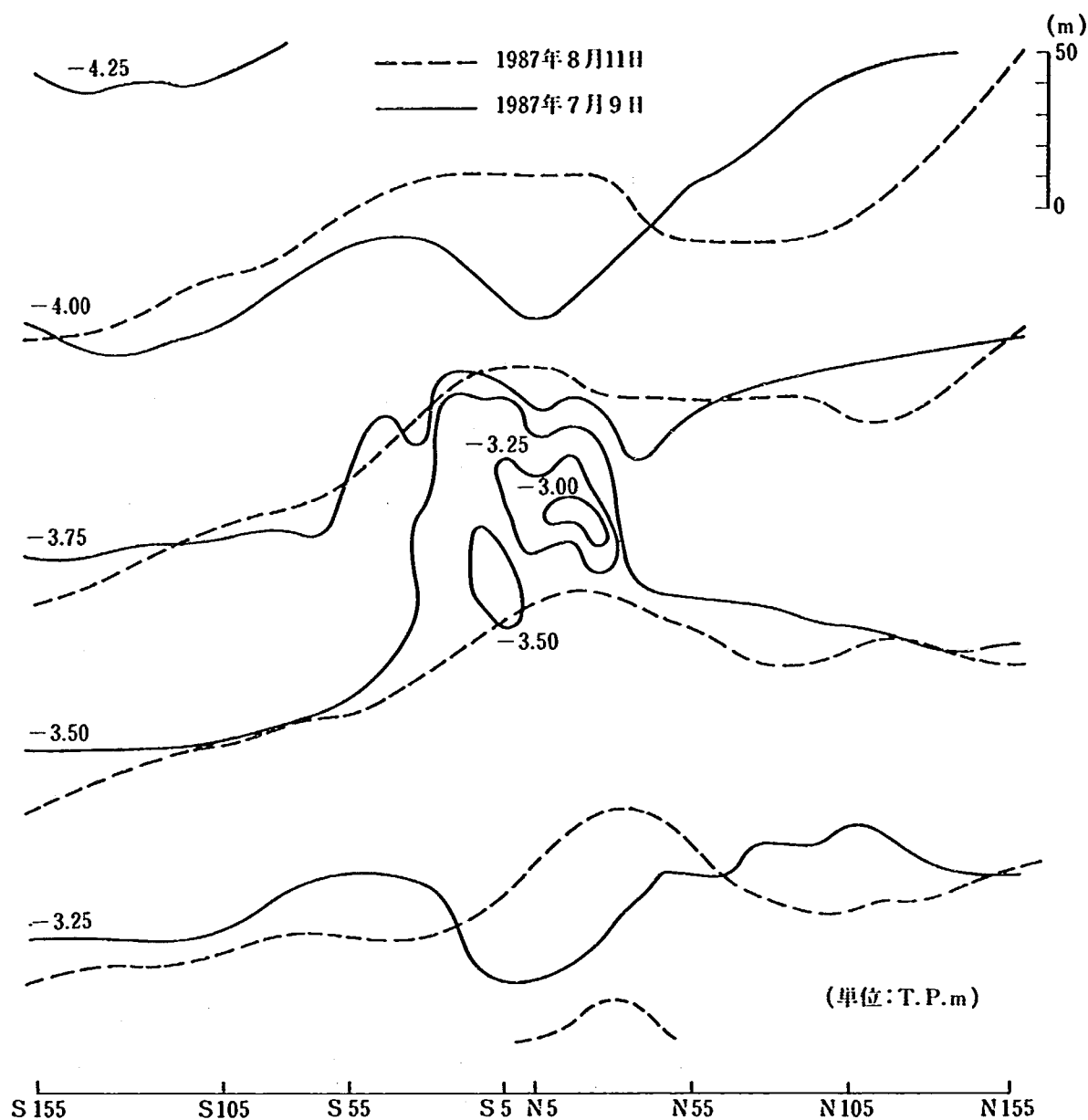


図-4.7 土砂投入域の深浅図(第2回:7月9日と第4回:8月11日の比較)

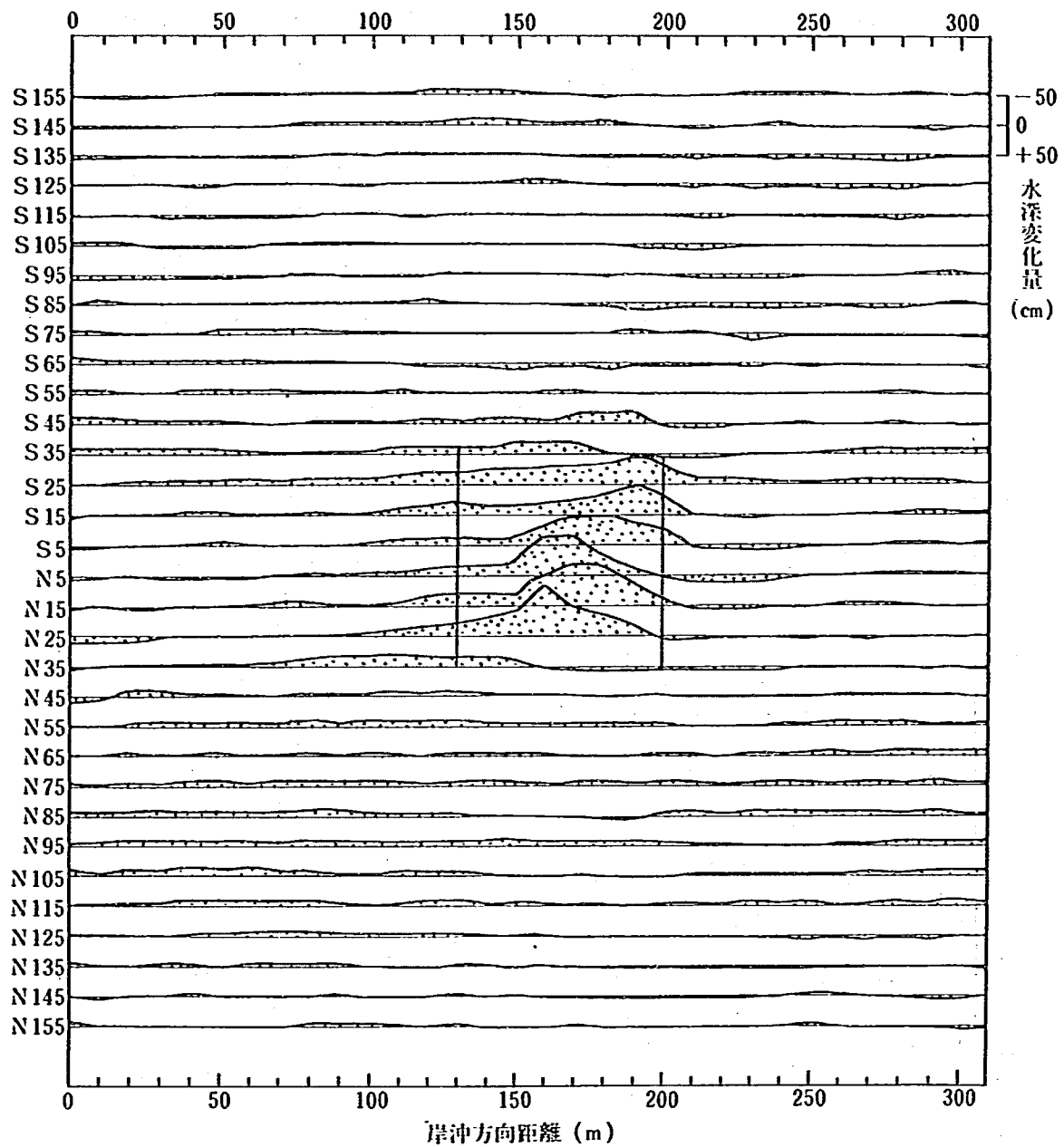


図-4.8 水深変化量の平面分布(第1回:5月27日と第2回:7月9日の比較)

向距離 $125\text{m} \leq X \leq 200\text{m}$ の間の正方形領域が土砂投入域である。水深変化図によると、土砂投入域では海底地盤高が最大で84cm上昇している。土砂投入はできるだけ一様になるように行われたが、投入期間が6月12日より7月8日と約1ヶ月を要したため、この間の波浪の作用により既にかかなりの土砂が岸向きに移動している。土砂投入期間、飯岡では波浪観測は開始されていないので、銚子と片貝の観測データを参照すると、最も高い波高として銚子では6月21日に

$H_{1/3}=3.22\text{m}$ ($T_{1/3}=9.7\text{sec}$) の波が、また片貝では $H_{1/3}=1.33\text{m}$ ($T_{1/3}=7.4\text{sec}$) の波が出現している。結局、これらの波の作用の下で底質がかなり移動したために、土砂投入域の岸側でもかなりの地形変化が見られたと考えられる。

同様な方法により5月27日と7月28日(第3回測量)のデータをもとに水深変化量の比較を行った(図-4.9)。土砂投入域に存在した小高いマウンドは平坦化され、その周辺では地盤高が上昇した。とくに土砂投入域の岸側や北側の広い区域で地盤高の上昇が見られる。これらの特徴より、投入土砂は波の作用で拡散されつつ、全体として岸方向に移動したことがわかる。

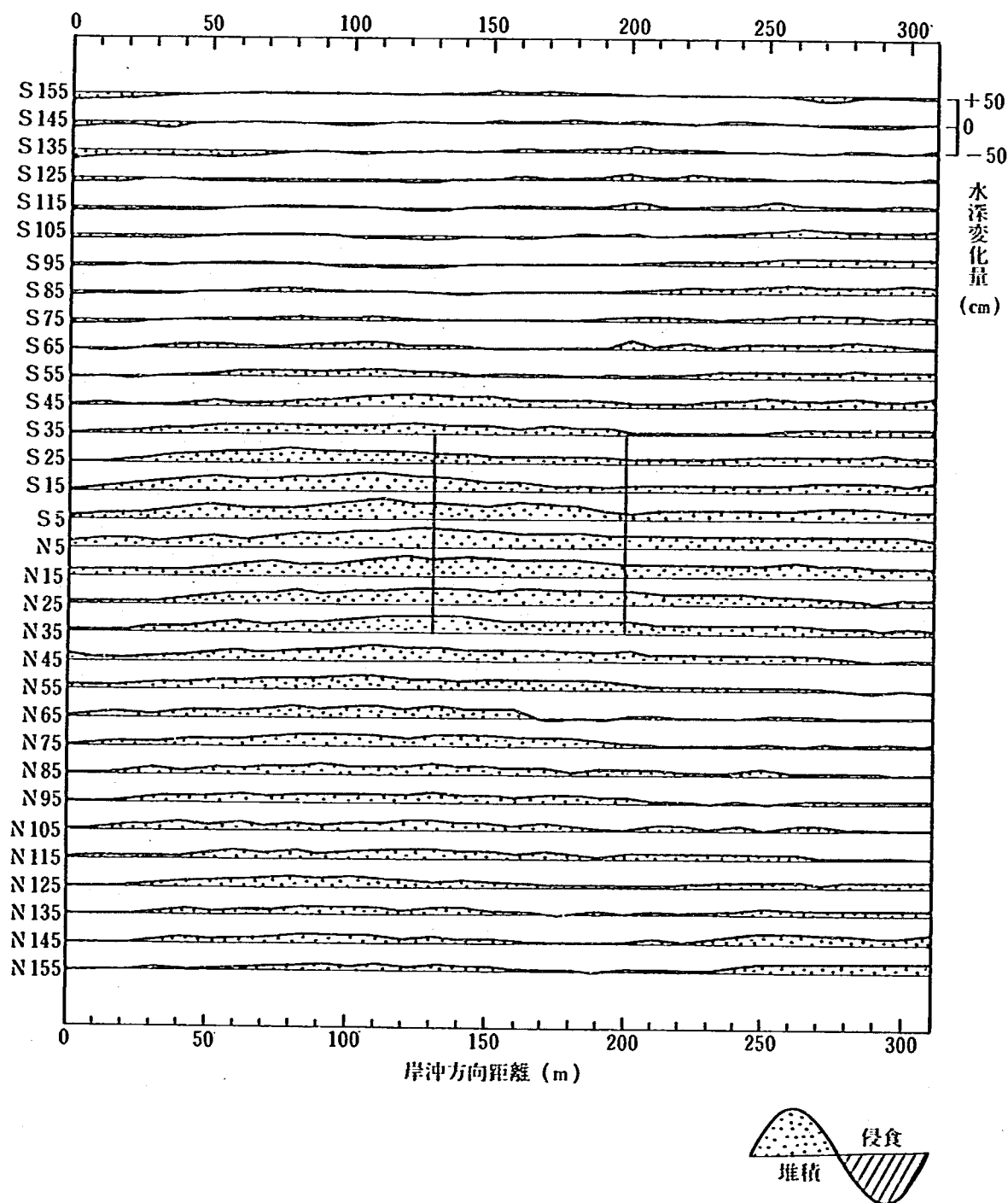


図-4.9 水深変化量の平面分布(第1回:5月27日と第3回:7月28日の比較)

4.5 蛍光砂による投入土砂の移動状況に関する追跡調査

投入土砂の移動状況は深浅測量データの比較によって明らかにされた。しかし、この方法は、地形変化量が小さくなり、深浅測量自体の精度と同等になった場合、有効な結論を見い出すことはできない。事実、前節で述べた深浅測量結果のうち第3回目の測量以降では顕著な特性を見つけることは困難であった。そこで本研究では土砂投入時に蛍光砂をトレーサとして投入し、その移動状況を追跡した。

蛍光砂の投入は7月22日に行われた。投入6日後の7月28日の蛍光砂の広がり状況を図-4.10に示す。白ヌキの丸は蛍光砂が採取されなかった点を、また黒丸は蛍光砂が見い出された地点であつて、併せて資料100 g 当りの検出個数も示した。発見された蛍光砂数は少ないが、蛍光砂は投入点より北方向、10号離岸堤方向へとほぼ直線的に移動している。この時期、飯岡では波浪観測はまだ開始されていないので、銚子の観測データを参照すると、有義波高は0.73~1.39mと比較的静穏であった（図-4.2参照）。移動が活発でないのは来襲波浪が比較的静穏であったためと考えられる。投入点の中心より最も遠い地点で見出された蛍光砂は、投入地点より北約140mの地点であった。

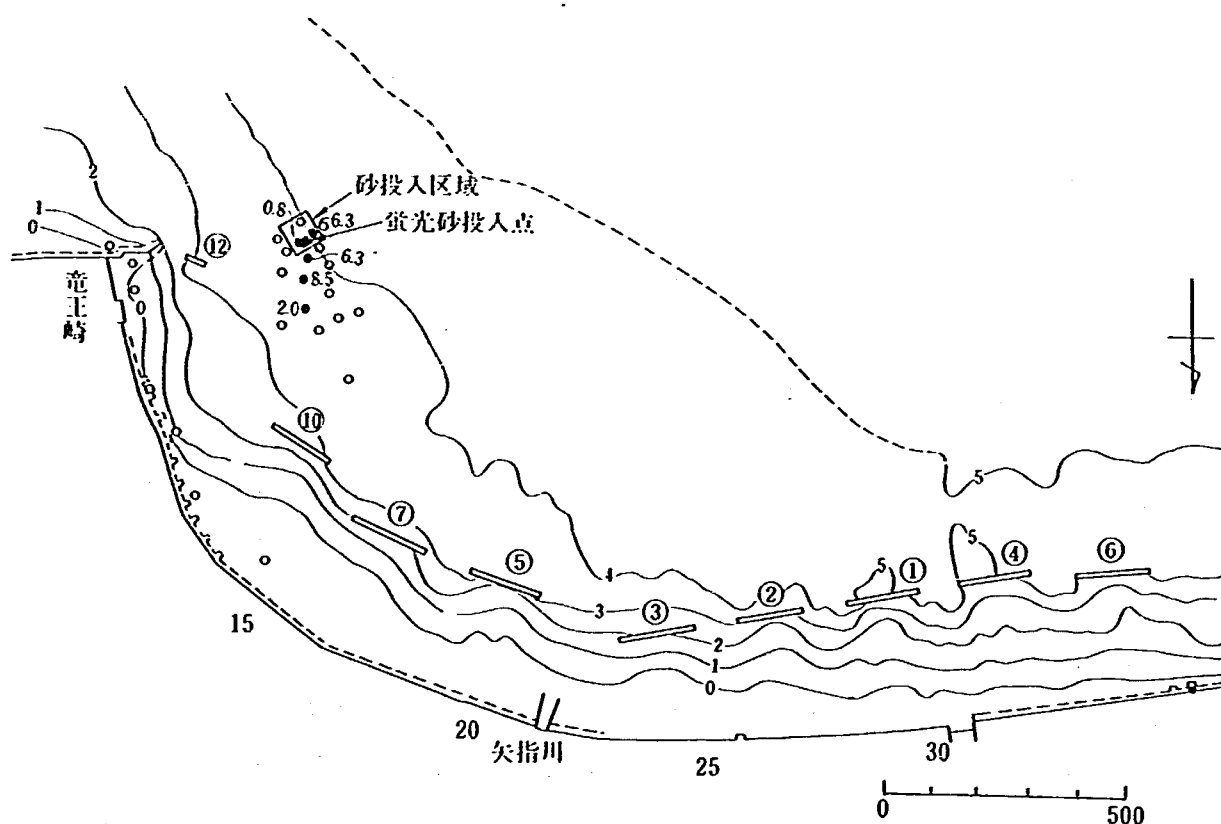


図-4.10 蛍光砂の分布（7月28日採取，投入6日後）

投入後20日が経過した8月11日の蛍光砂の拡がり状況を図-4.11に示す。6日後の分布（図-4.10）と比較すると、蛍光砂の発見個数が大変多く、最高は100 g 当り3840個も見出されている。また投入点から北に約310m離れた地点においても100 g 当り1700個も見出された地点が

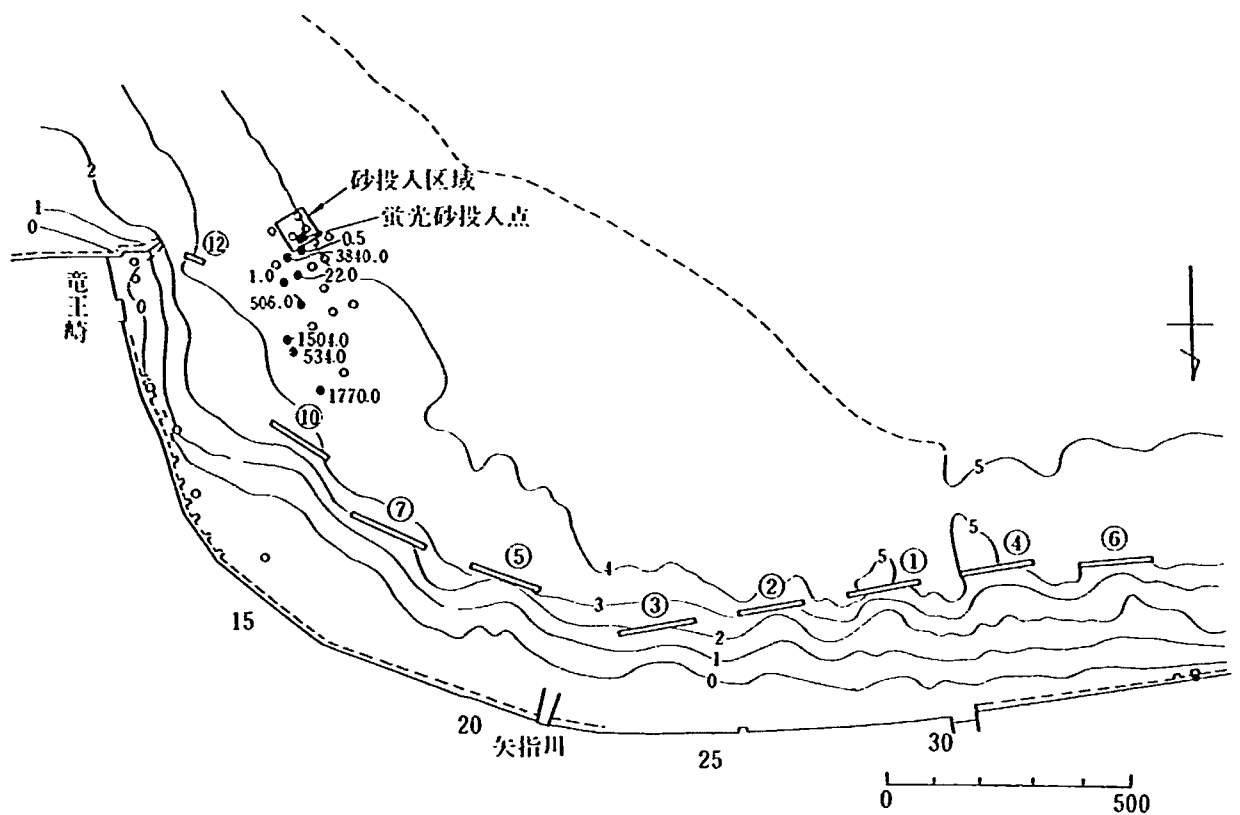


図-4.11 螢光砂の分布（8月11日採取，投入20日後）

ある。図-4.10の場合と同様に、螢光砂は南方向、すなわち海岸線から遠ざかる方向には移動せず、ほぼ一定して北方向へと移動している。第2回観測で螢光砂が見い出された地点のうち投入点より最も離れている地点は北に約310m離れた地点であつた。ただし図-4.11に明らかなように、螢光砂の見つかった地点の外側には螢光砂の未検出点は存在しないことから、移動距離はやや過少評価されている可能性はある。しかし離岸堤の岸側の測点で螢光砂は検出されていないので、離岸堤の岸側にはまだ到達していないようである。観測期間の波浪条件として、飯岡の観測データによると、8月7日には $H_{1/3}=1.98\text{m}$ 、 $T_{1/3}=8.9\text{sec}$ の波が出現している。すなわち、この期間は第1回観測に比較して波高が高かったために螢光砂が急速に移動したと考えられる。

投入後35日が経過した8月26日の螢光砂の拡がり状況を図-4.12に示す。投入20日後の観測においては採取点の配置区域が狭かったとの反省から、測点数を多くするとともに、その配置区域を西側に拡大した。螢光砂は投入点近傍では見い出されず、第10、7、5、3号離岸堤の背後域の多くの地点で発見された。離岸堤背後では10号堤の背後における100g当り42個が最多で、それより西方向に距離が離れると発見個数は少なくなった。また、興味あることに、10号堤と7号堤、および7号堤と5号堤の開口部沖では螢光砂は検出されておらず、離岸堤内の発見個数が多いことと良い対照をなしている。投入点より10号堤を通り、その後離岸堤背後を結ぶ線に沿って測ると、螢光砂の全移動距離は約1.3kmとなる。8月11日より8月26日の波浪条件は、飯岡の観測値によると、 $H_{1/3}$ の最大値が8月21日の1.13m（ $T_{1/3}=10.3\text{sec}$ ）と静穏な条

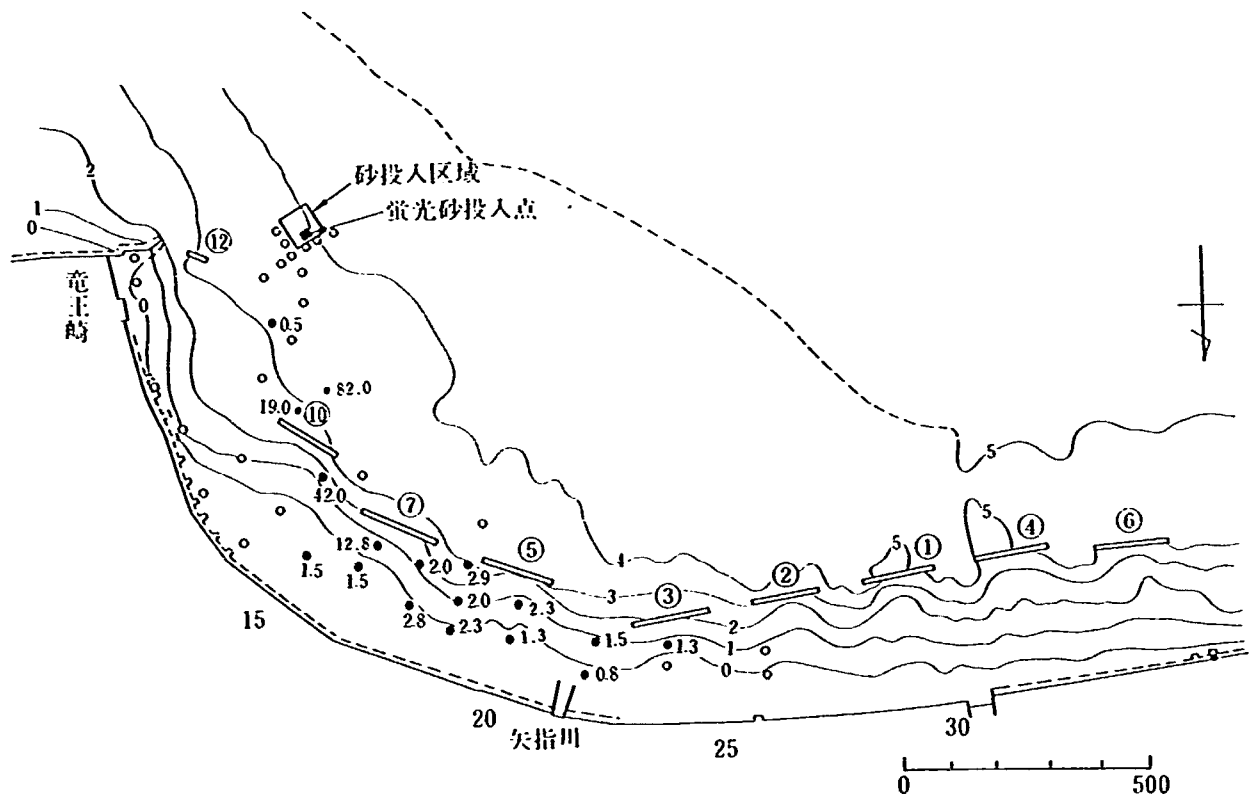


図-4.12 螢光砂の分布(8月26日採取, 投入35日後)

件であった。

投入後64日が経過した9月24日の螢光砂の拡がり状況を図-4.13に示す。図-4.12の場合よりも螢光砂はさらに西側に移動すると考えられたので、採取点の範囲を西側へ広げた。螢光砂は離岸堤の背後に沿って移動し、4, 5号堤の開口部背後まで移動した。全移動距離は投入後約2.2 kmに達する。離岸堤背後で最も多くの螢光砂が検出された箇所は、7号堤の背後である。前回の観測において最も多くの螢光砂が見出された地点は10号堤の背後であったから、重心の移動から見ても明らかに螢光砂は離岸堤背後を西方向へと移動していることがわかる。8月26日～9月24日の間では飯岡の波浪データとして、9月17日に、台風13号の影響により $H_{1/3}=4.78\text{m}$ ($T_{1/3}=1.13\text{ sec}$)と高波浪が来襲している。しかしながら螢光砂の移動パターンは前回観測時と良く似ている。

投入後84日が経過した10月14日の螢光砂の拡がり状況を図-4.14に示す。これが最後の観測である。螢光砂は6号堤の西に配置された測点より東側のほぼ全域で発見された。それも離岸堤の岸側に限られており、離岸堤の沖に配置された測点ではほとんど見い出されていないことが明らかである。螢光砂の投入点からの全移動距離は約2.4kmに達している。

以上のように、竜王崎沖に投入された螢光砂は岸向きに移動し、離岸堤背後に堆積した後、離岸堤背後域を西方向へ移動した。しかも離岸堤の沖にはほとんど流出しないことがわかった。この状況は螢光砂分布の重心点の移動を表わす図-4.15により更に明らかとなる。投入20日後

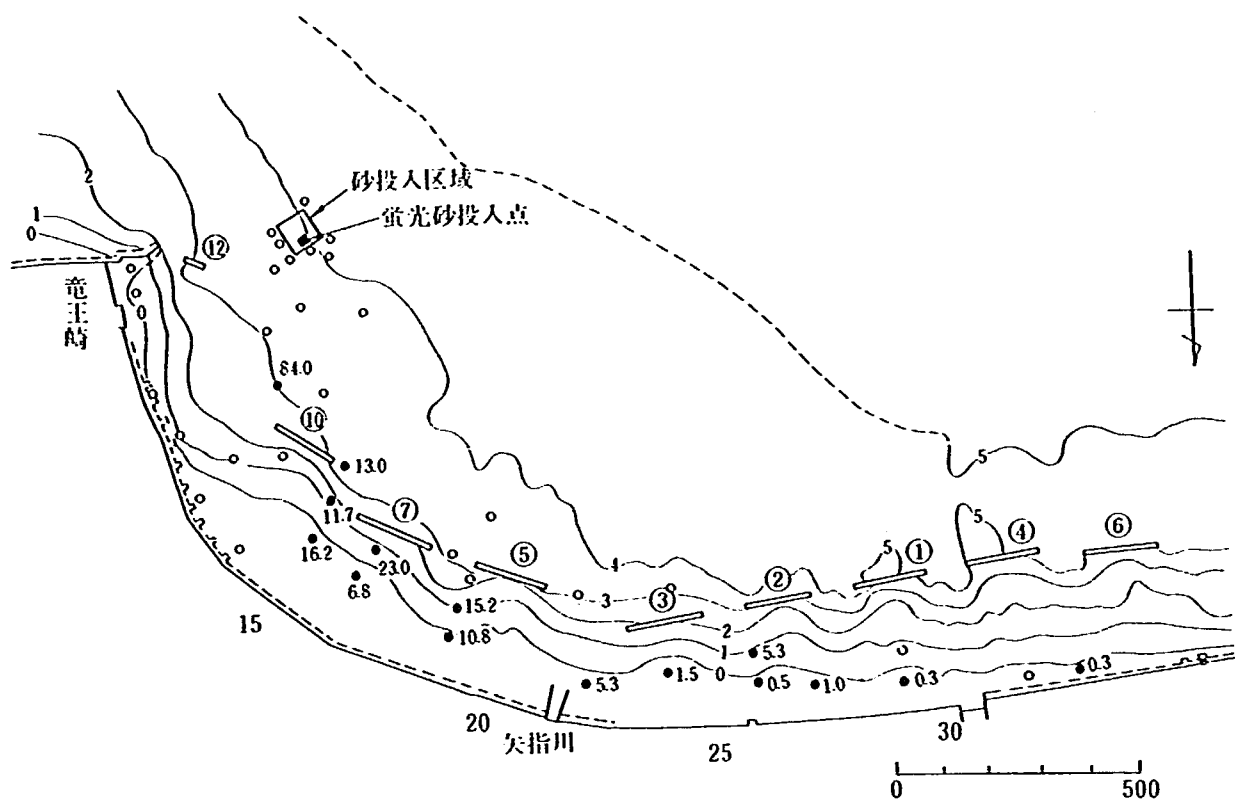


図-4.13 蛍光砂の分布（9月24日採取，投入64日後）

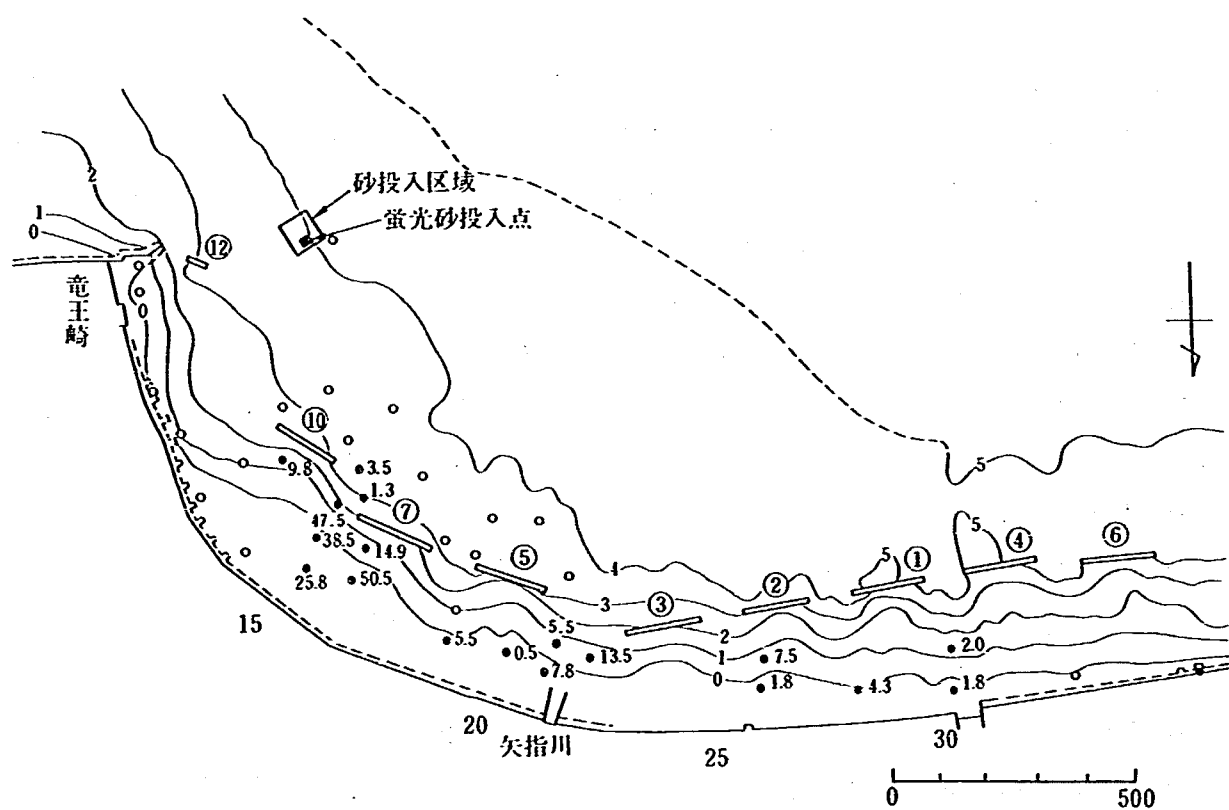


図-4.14 蛍光砂の分布（10月14日採取，投入84日後）

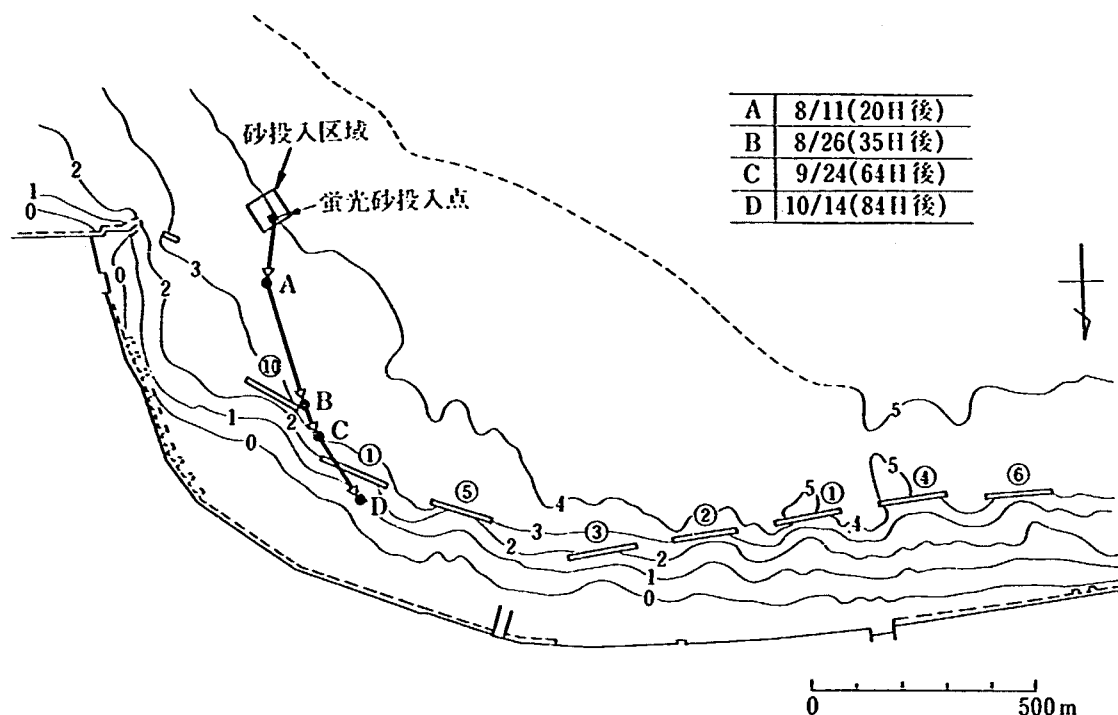


図-4.15 蛍光砂分布の重心点の移動

では重心点は投入点の北約140mに位置していた。35日後には10号離岸堤の西側端部へと移動し、その後84日目までに重心点は7号離岸堤の背後へと移った。

前章では飯岡海岸の深浅測量データを解析することにより、離岸堤背後の堆積土砂の大部分は、竜王崎付近で投入された飯岡漁港の浚渫土砂が下手方向に流下して堆積したものであることを明らかにしたが、本研究で明らかになった投入砂や蛍光砂の移動状況は、前報の結果と良い一致を示す。

結局、このような漂砂の移動が存在すると、竜王崎沖に投入された土砂はやがて離岸堤の背後へと到達するから、離岸堤の背後の砂浜を広げる意味では大いに役に立つと考えられる。しかも土砂移動は自然の波の作用の下で行われるから、土砂輸送に要する費用は必要とせず、また人工的な土砂投入と異なり周辺海岸の環境へもたらす影響は小さいという特徴を有している。

4.6 結 論

本研究では飯岡海岸で行われた土砂投入の現地実験結果を解析した。得られた結果をまとめると次のようである。

- ① 投入土砂は海底面にマウンド状に堆積し、その後急激に拡散されつつ岸方向へと移動した。この漂砂の方向は、前章において深浅測量データの解析より得られた漂砂方向と良く一致した。
- ② 土砂投入と同時に行われた蛍光砂調査によると、海岸沖のT.P.約-4mに投入された蛍光砂は波の作用の下で岸向きに移動し、やがて投入点の下手側に位置する離岸堤群の背後に堆

積した。さらに、離岸堤背後の蛍光砂は緩い速度で漂砂の下手方向へ移動した。このことは、投入土砂が波の作用で運ばれ、その結果下手海岸に対して養浜効果を持つことを意味する。

- ③ 従来、サンドバイパスにおいては土砂をかなり長い距離の間、人為的に運搬するのが一般的であった。本研究では、この土砂輸送を波の力を利用して行うことができること、またその場合、投入砂が沖向きに拡散することなく、下手海岸を養うために有効であることが明らかになった。

参考文献

- 1) 宇多高明・小林正一・種岡虎男：新潟県市振海岸における海岸構造物設置に伴う海浜変形，地形，Vol. 9，No.1，1988.
- 2) 滝澤俊二・宇多高明・堤 博志・中山 修：駿河海岸におけるサンドバイパスの現地実験，第33回海岸工学講演会論文集，pp.302～306，1986.
- 3) 須山 洋・宇多高明・吉村敏明・若田茂和・中山 修：離岸堤背後への土砂投入による海浜変形，第33回海岸工学講演会論文集，pp.307～311，1986.
- 4) 宇多高明・桜本弘・久保田進：千葉県飯岡海岸の海岸侵食について，第34回海岸工学講演会論文集，pp.342～346，1987.

5 飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷

5.1 まえがき

飯岡海岸の侵食の歴史は古く、そこでは海と住民との激しい戦いが行われてきた。海岸侵食に対する対策は、記録に残るだけでも江戸末期までさかのぼる。ここでは、江戸末期からの侵食や激浪に対する対策工の変遷をたどり、飯岡海岸における人々と海との攻防の一端を示す。また、経験的に培われてきた工法の利点、欠点を調べ、その結果より過去に行われた対策の考え方について考察する。

以下に示す対策工の変遷は、地域住民と海岸防災の係わりの一端を表わすと考えられ、したがってこのような地域防災活動の例について考察することは、今後の海岸防災対策を考えていく上での良い参考となるであろう。また侵食対策工法の変遷を知ることは、今後の新しい工法の開発に際しても有益と考えられる。

5.2 飯岡海岸の侵食

飯岡海岸の下永井地先の海岸線は、鎌倉時代には現在の下永井堤防よりもかなり海側に位置し、海岸付近には永井七浦と称される七つの村が存在したと言われている。海上郡後草高梨家に伝わる古文書（天和3年、西暦1617年）によると、高梨家の祖が建久3年（西暦1192年）に永井の波戸崎から他の六軒と共に移住したとされており、永井七浦の存在を裏付けている¹⁾。

飯岡海岸が古来より侵食海岸であったことは、図-5.1に示す下永井村想絵図からも推察することができる。この絵図は、寛政6年（西暦1794年）に描かれた原図を大正3年に当時飯岡小学校の伊藤茂蔵氏が写したものとされており、図中には寛政6年、明治初年、大正3年の3時期の海岸線が時代と共に陸側に移動したことが示されている。この他、飯岡町史¹⁾には、海岸侵食の激しさを窺わせる古文書がいくつか紹介されている。しかし残念ながらいずれも定量的な海岸線後退量は示されていない。

国土地理院による沿岸海域調査の結果得られた地形図を図-5.2に示す²⁾。飯岡より九十九里海岸に沿って西へ広がる平地は沖積平野であるが、飯岡地区、特に竜王崎付近は海に突き出た地形となっている。飯岡の東側の海岸は屏風ヶ浦の崖海岸であり、なぜ竜王崎付近の沖積平地だけが西側の海岸に比べ突出しているかの問題は、飯岡海岸の侵食の歴史を理解する上で重要なポイントである。竜王崎より真南へ向かって直線を引くと、その西と東では地形特性が異なる（図-5.2参照）。国土地理院の調査²⁾によると、その線の西側は表面を砂泥で覆われた堆積地形であるのに対し、東側は崖侵食によって形成された侵食平坦面であり、ほぼ洪積層より成っている。図-5.1に示した屏風ヶ浦の後退^{3),4)}がそれほど進行していない時期には、竜王崎は現在よりかなり沖に位置していたが、屏風ヶ浦の侵食とともに徐々に後退したと考えられる。古来は侵食による海岸線の後退は人々の生活にはほとんど無関係であったと思われる。しかし、近年においては、土地利用が高度に進むようになったため、飯岡海岸の侵食を許す訳には行か

寛政六年甲寅九月改
下永井村想絵図

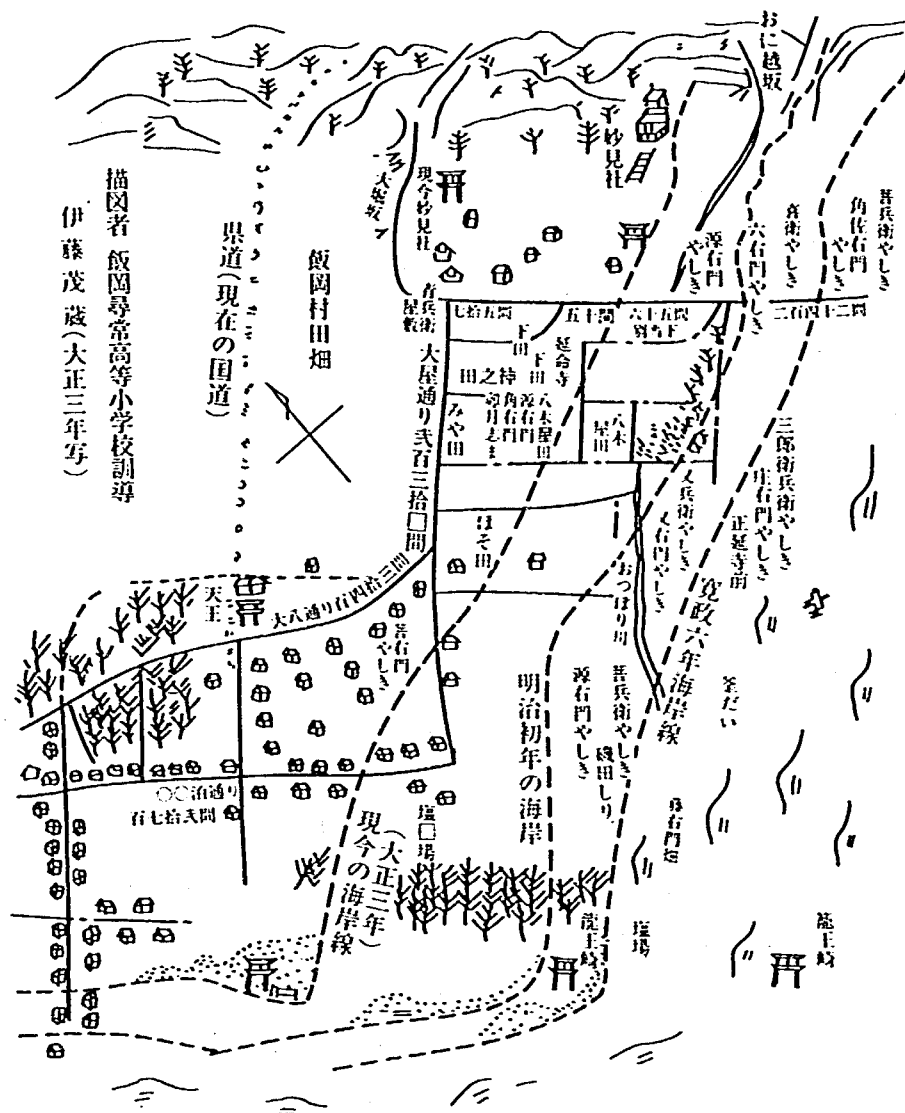


図- 5.1 寛政6年(1794年)の下永井村想絵図(飯岡町(1981))¹⁾

なくなった。そして、繰り返して種々の海岸保全対策がとられることになった。屏風ヶ浦の海岸は後退を続けたが、竜王崎付近の海岸では種々の対策がとられたことによって汀線の後退速度が低下したと推定される。ここ百数十年間に行われた防災工事も竜王崎が地形的に突出することに対して影響した可能性がある。

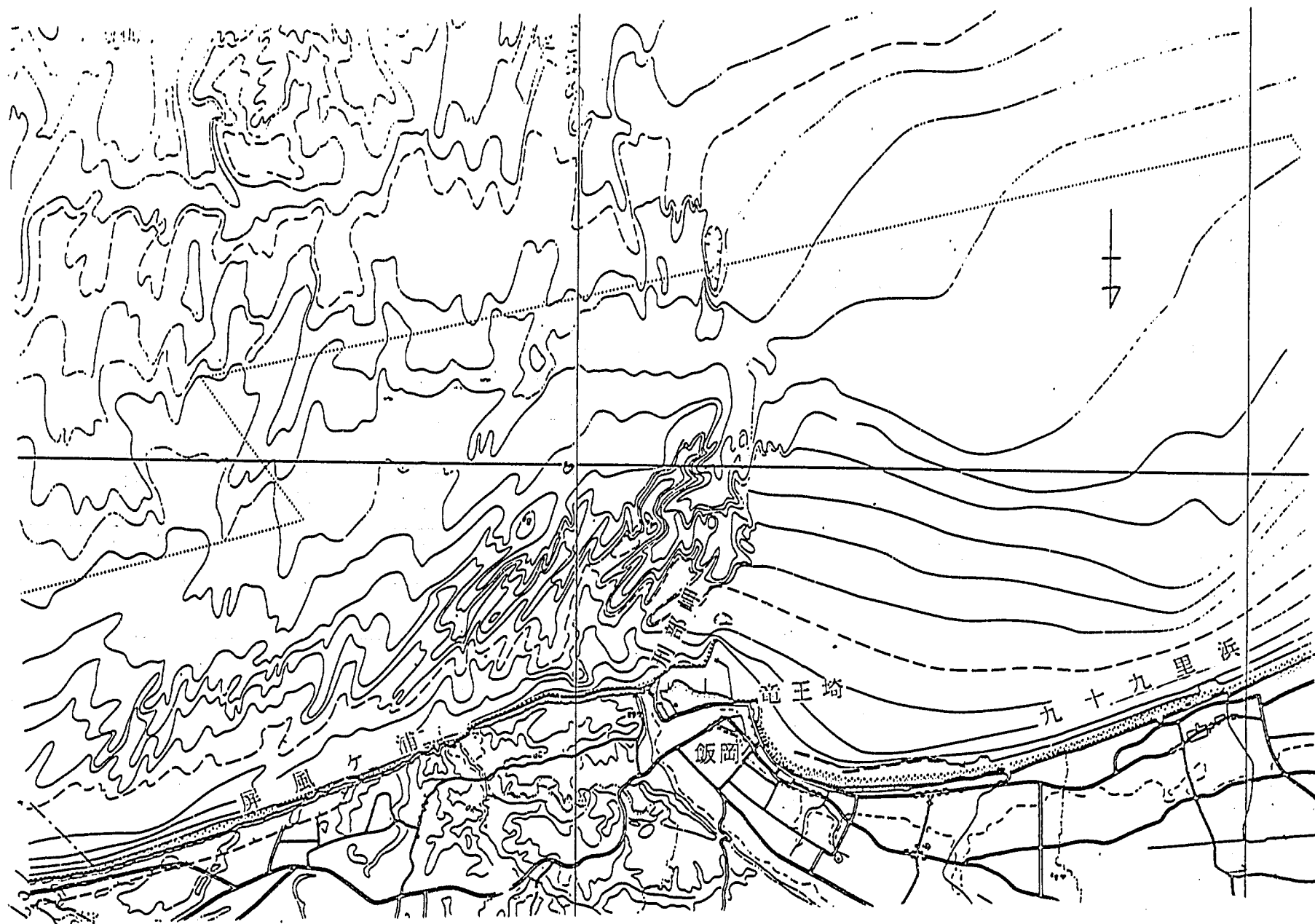


図 - 5.2 飯岡海岸周辺の海底地形（国土地理院海底地形図より引用）

5.3 対策工の変遷

飯岡海岸は古来より海岸侵食が激しく、各地先において海岸保全施設が設置されてきた。しかし、これらの施設はしばしば被災し、その度に補修、復旧等の工事が行われてきた。飯岡海岸における被災規模及び時期は地先ごとに異なる。図-5.3に地先位置を示す。飯岡海岸の各地先ごとの海岸災害と保全対策の歴史を、明治以後について図-5.4にまとめた。図中の各工法の具体的な被災内容は後に詳細に述べる。

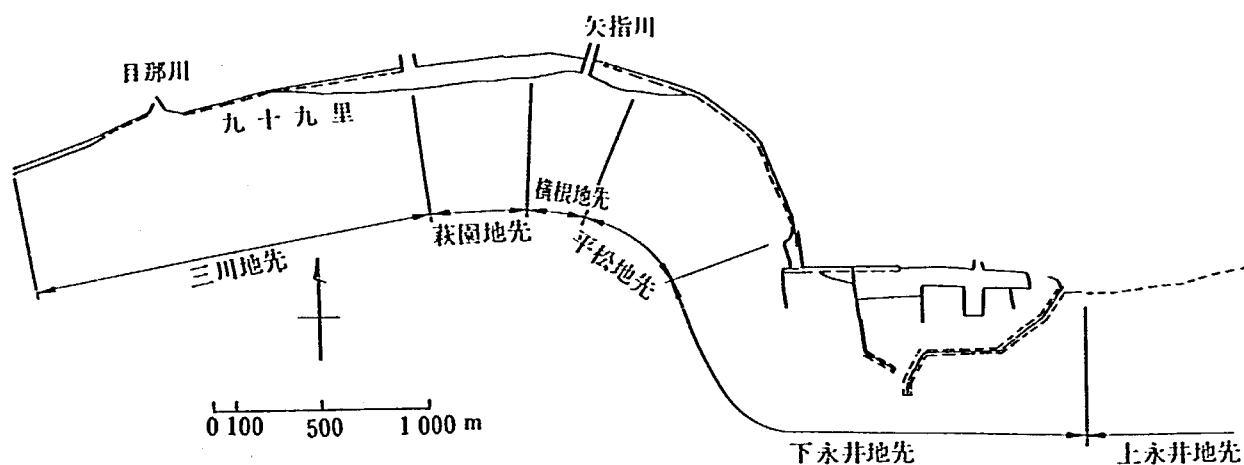


図-5.3 飯岡海岸の地先名による海岸区分

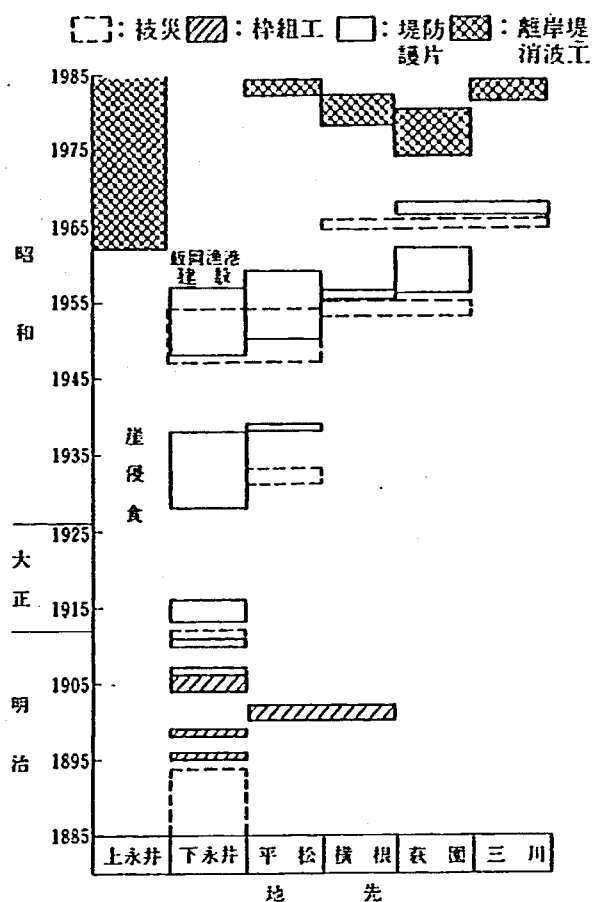


図-5.4 地先別被害と対策工の変遷

明治から大正にかけては、主に下永井地先の竜王崎付近において保全対策が行われていたが、昭和初期には平松地先に侵食が及び、その後侵食が西側に広がった様子が窺われる。以下には、各年代に各地先で生じた海岸災害の状況とそれに対して行われた保全対策の概要を述べる。

(1) 明治以前

飯岡町は古くから漁業の盛んな町であり、漁業基地としての波止場を激浪から守る対策も昔から行われてきたようである。天保時代の対策工は石詰枠工（図-5.5）である。当時、竜王崎は海にかなり突出し、舟運の発着地となっていた。そのため、波浪の影響が強く、被災することが多かったようである。石詰枠工はその基部の補修が常に行われ、併せてその周辺の海岸線維持のためにこの工法が施工されたようである。天保時代、波止場工事と唱えて下永井、平松地先に延長約90m施工されたと伝えられている⁵⁾。天保の俠客、飯岡の助五郎もまた私財を投じ、この枠工を施工して住民に尽くしてきたといわれている。

明治時代に入ると刑部岬と竜王崎の欠壊に伴って下永井地先の侵食が著しくなった。当時、海砂利を採取する者が多く、役場ではこれが海岸侵食の一因をなしていると考え、砂利採取禁止を県に申請し、明治27年にその制令が施行された。

明治中期～後期には、蛇籠工、片法三角枠工、両法三角枠工、石詰続枠工が施工されたが、いずれも波浪に対しての耐久力に乏しく、数年を経ずに破損するに至っている。これらの各工法を図-5.6に示す。

(2) 明治末～大正

明治39年以降、コンクリート構造物による工法が初めて採用されるに至った。これは、コンクリート枠の内部に玉石詰を行った直立の重力式護岸であつた（図-5.7参照）。この護岸は当時の汀線に約1.5m埋め込んで築造された。当初はコンクリート材料に石炭を併用しており、セメントの量が少なかったが、徐々にセメントのみに変わったようである。また、

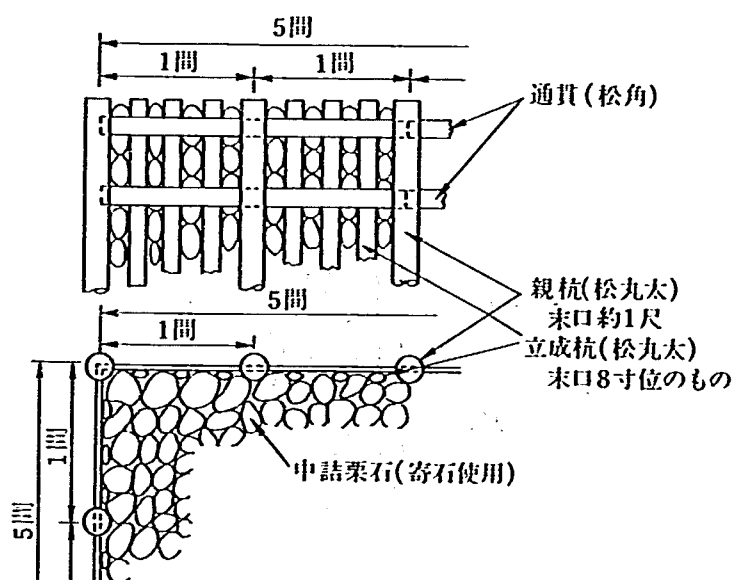
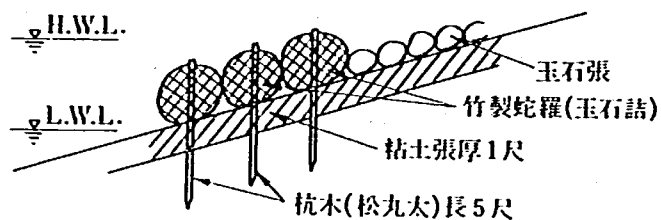
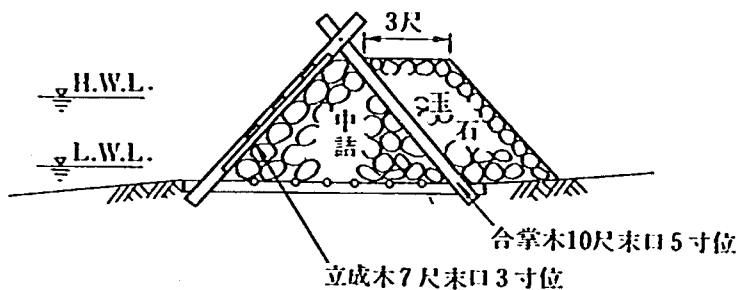


図-5.5 続枠工（天保年間）

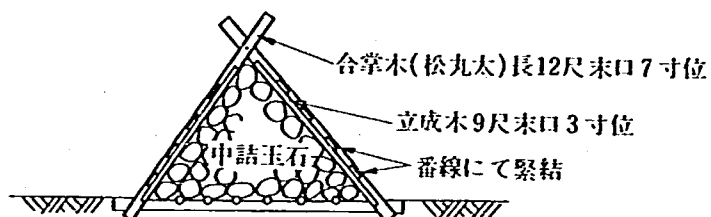
(a) 蛇籠工 (明治中期)
明治30年：下永井地先



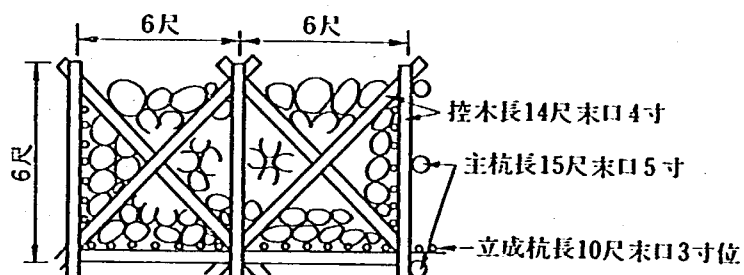
(b) 片法三角棒工 (明治後期)
明治30年：下永井地先



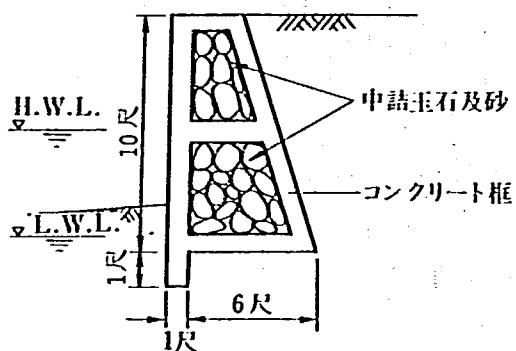
(c) 両法三角棒工 (明治後期)
明治32年～34年：平松地先



(d) 石詰繞棒工 (明治後期)
明治37年，38年：波戸崎先端



図－5.6 明治以前における保全対策工法 (千葉県 (1956)⁵⁾)



図－5.7 重力式コンクリート棒護岸、明治30年：
竜王崎付近 (千葉県 (1956)⁵⁾)

この当時小型コンクリート方塊を積んだ方塊積護岸も築造された（図-5.8参照）。コンクリート護岸は主に竜王崎先端を囲みさらに西側の海岸に、方塊積護岸は下永井地先に施工された。護岸法線は昭和30年時点の護岸より海側に40～50mの位置にあったが、共に破損崩落し海中に没した。これらの工法は、この型式で明治末年より大正時代へと引き継がれた。

大正時代に入り、袋詰コンクリートの基礎をもつコンクリート枠工法（図-5.9）による護岸が施工された。大正年間の竜王崎付近の状況を図-5.10、5.11に示す。石積堤防の前面に三角枠工や方塊積護岸が見られる（図-5.10参照）。この時期でも、三角枠工が用いられていた（図-5.11参照）。なお、大正13年頃、県道用に砂利採取が行われたようであり、役場から砂利採取を止めてほしい旨の要望が県に提出されている。

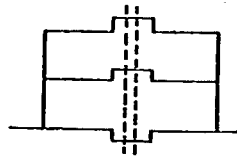


図-5.8 方塊積護岸、明治43年：
下永井地先（千葉県（1956）⁵⁾）

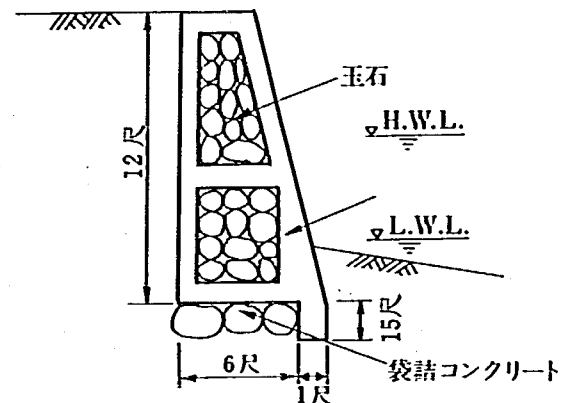
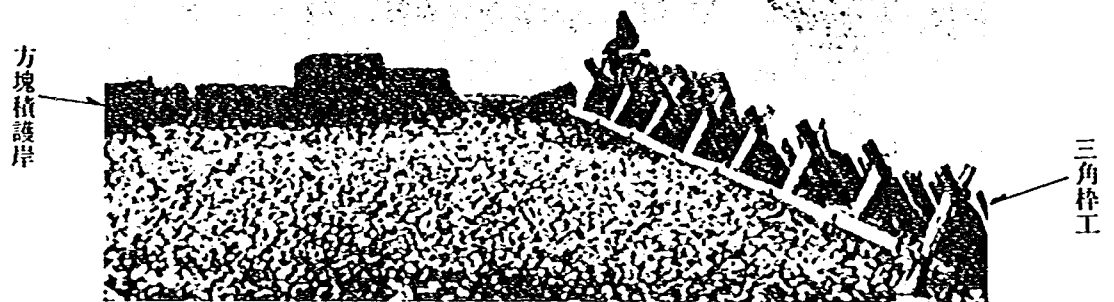


図-5.9 重力式コンクリート護岸、大正初期：
竜王崎付近（千葉県（1956）⁵⁾）



図-5.10 大正年間の竜王崎付近の状況（千葉県（1956）⁵⁾）



図－5.11 大正年間の竜王崎付近の状況（千葉県（1956）⁵⁾）

(3) 昭和初期

役場文書によれば、昭和5年1月～2月に平松地先で約100mに及ぶ汀線後退があり、また同年8月にも竜王崎周辺で延長100mにわたって約10mの汀線後退があったと記されている。また、飯岡町史¹⁾によれば、同年12月10日に異常潮位のため数10戸が床下浸水したことが記録されている。このような状況の下で、昭和3年～12年に下永井地先の延長約1,100mにわたってセルラブロックおよびコンクリートの堤防が、旧護岸線から数10m後退した位置に設置された。図－5.12にそれらの構造図を示す。基礎は土丹（シルト岩、泥岩などより成る軟岩層）面まで掘削された。西側の波戸崎寄りの堤防は、旧護岸線から約50m後退した位置に設置された。この堤防の完成状況を図－5.13(a)、(b)に示す。(a)を見ると、堤防は東側から施工されたことがわかる。

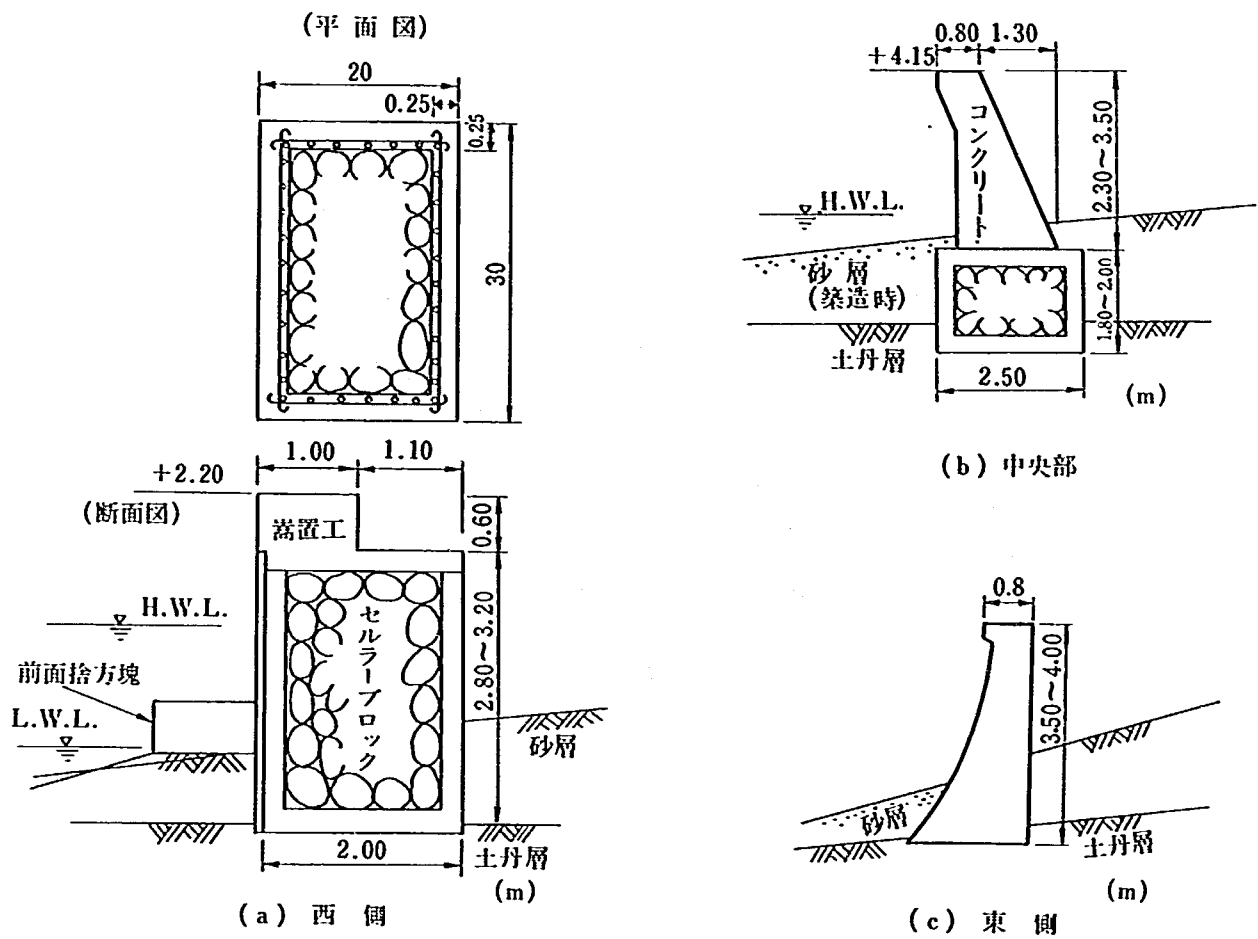
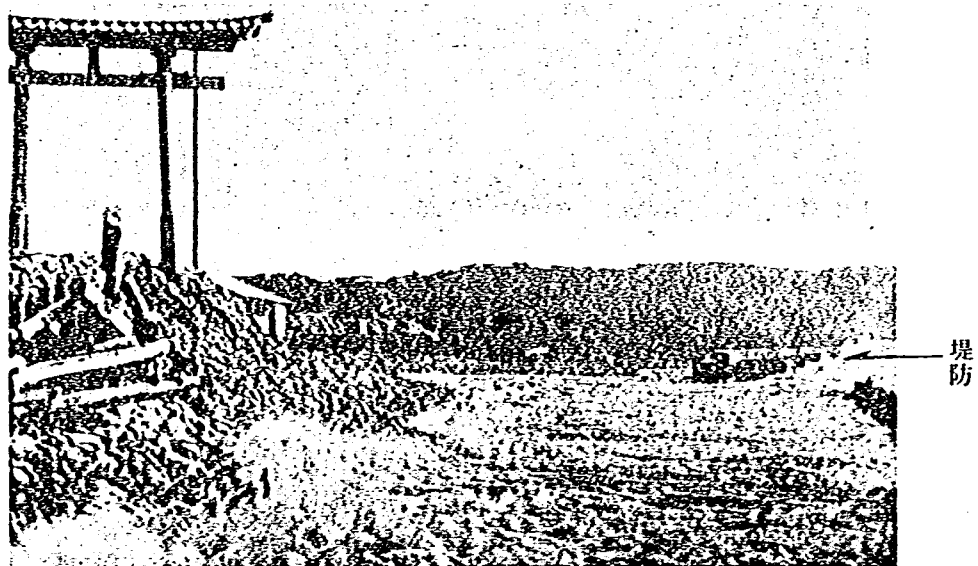


図-5.12 昭和3～12年に下永井地先に設置されたコンクリート堤防(千葉県(1956)⁵⁾)



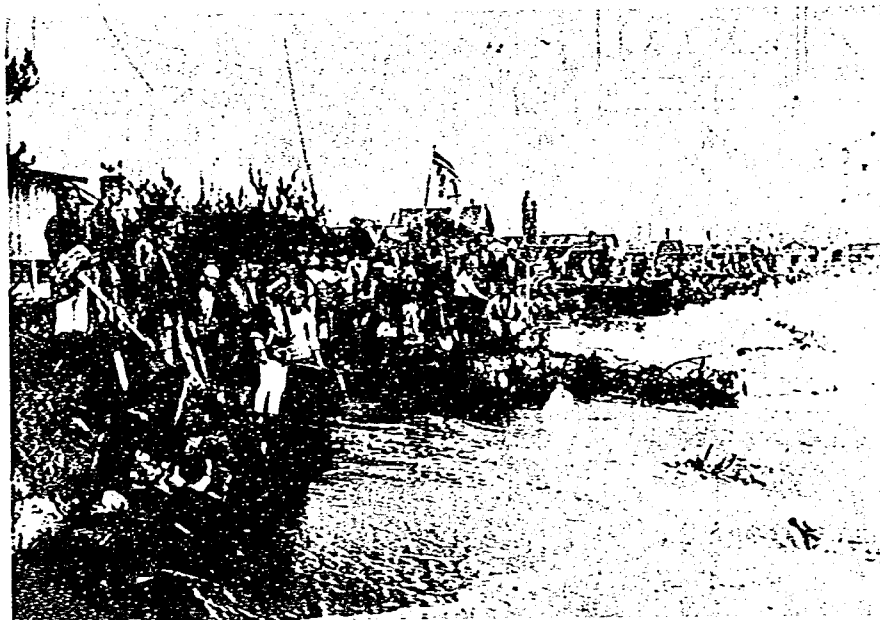
(a) 昭和初期(千葉県(1956)⁵⁾)

図-5.13 昭和初期の下永井地先の状況



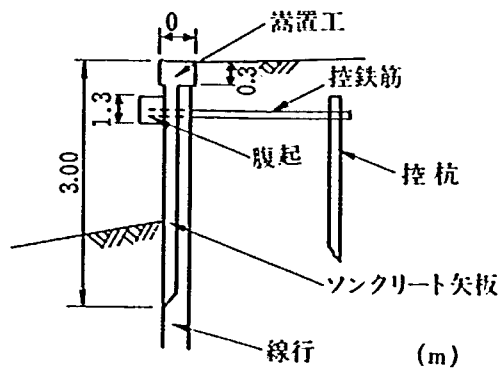
(b) 昭和 12 年（飯岡町所有写真）

図－ 5. 13 昭和初期の下永井地先の状況

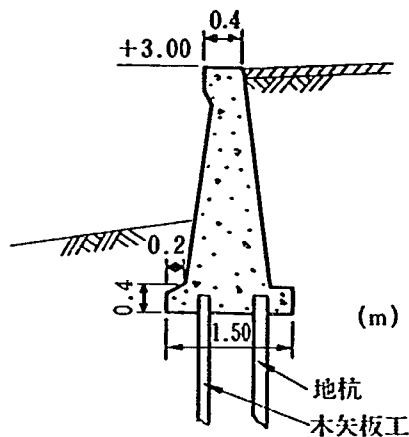


図－ 5. 14 昭和 7 年頃の平松地先（旧役場付近）の決壊状況
（千葉県（1956）⁵⁾）

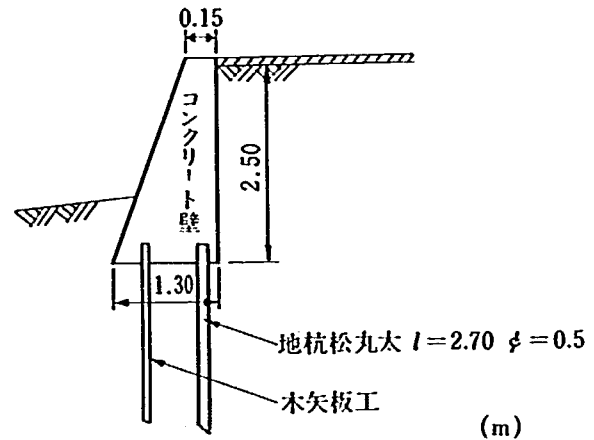
一方、平松地先では、昭和初期には、図－5.14に示すような欠壊を生じた。そのため、コンクリート護岸及びコンクリート矢板護岸が数箇所設置された。それらの構造図を図－5.15に示す。従来の重力式護岸では被災が激しかったため、杭と矢板が用いられるようになったようである。



(a) コンクリート矢板護岸
(昭和13, 14年: 平松地先西部)



(b) 重力式コンクリート護岸
(昭和15年: 平松地先西部)



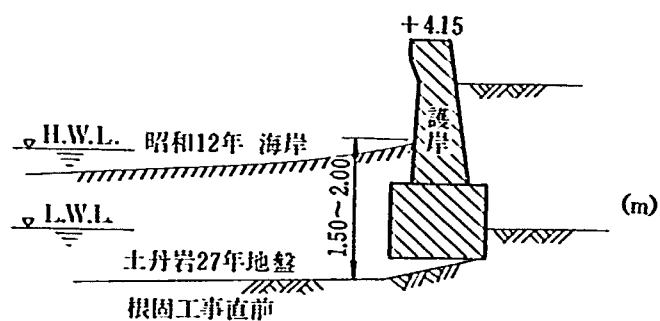
(c) コンクリート護岸
(昭和14年: 平松海岸中央部)

図-5.15 昭和初期に平松地先に設置された護岸(千葉県(1956)⁵⁾)

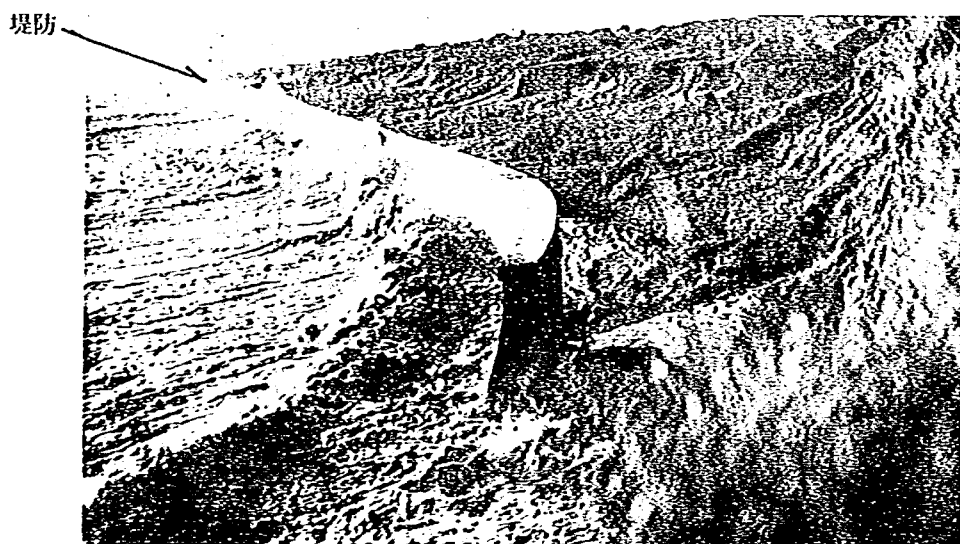
(4) 昭和20年代～30年代

① 下永井地先

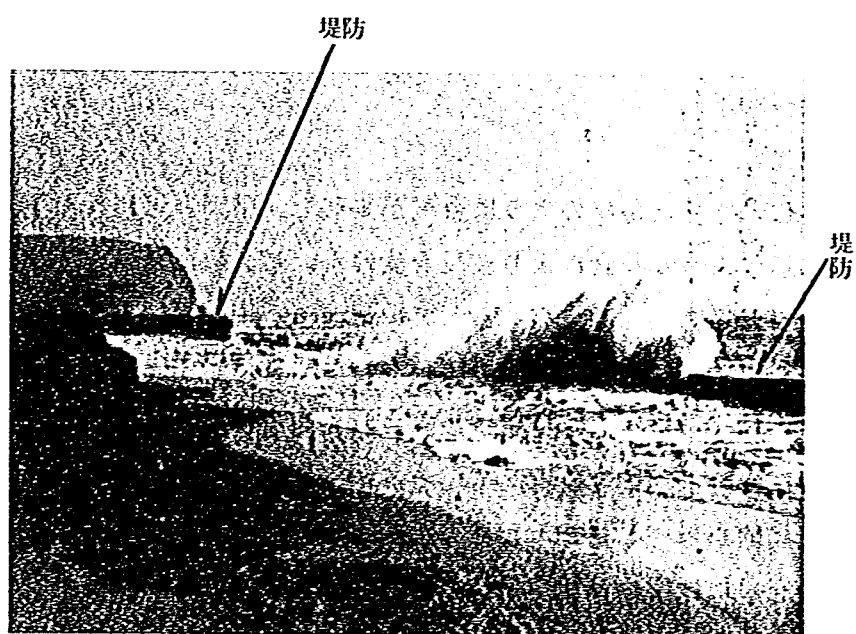
昭和20年代になると毎年のように台風が来襲し、堅固と思われた下永井地先の堤防は、図-5.16に示すような侵食により被災を受けた。被災状況を図-5.17(a)、(b)に示す。この災害に対し災害土木助成事業として、消波工、根固工、嵩上げ工及び突堤の設置等が昭和28年～33年に行われた。事業の概要を図-5.18に示す。竜王崎寄りの堤防は旧護岸線よりもさらに約10m後退した位置に設置された。その後、飯岡漁港の建設が行われ、この護岸線は現在漁港泊地内に位置している。図-5.18によると、これまでの侵食、吸い出しによる被災経験を考慮したとみられ、根固工が取入れられたことが大きな特徴である。また、東側の海岸には突堤が採用されており、沿岸方向の砂の動きを止めるという意識が表われている。堤防の完成状況を図-5.19(a)、(b)に示す。昭和初期に比べかなり強固な堤防になったことがわかる。また、災害土木助成工事前後の下永井地先の写真を図-5.20に示す。この工事により、海岸線が完全にコンクリート堤で守られるようになった。



図－5.16 堤防前面の侵食（千葉県（1956）⁵⁾）



(a) 東側、昭和26年頃（千葉県広報協会（1964）⁸⁾）



(b) 西側、昭和27年頃（飯岡町所有写真）

図－5.17 下永井地先の被災状況

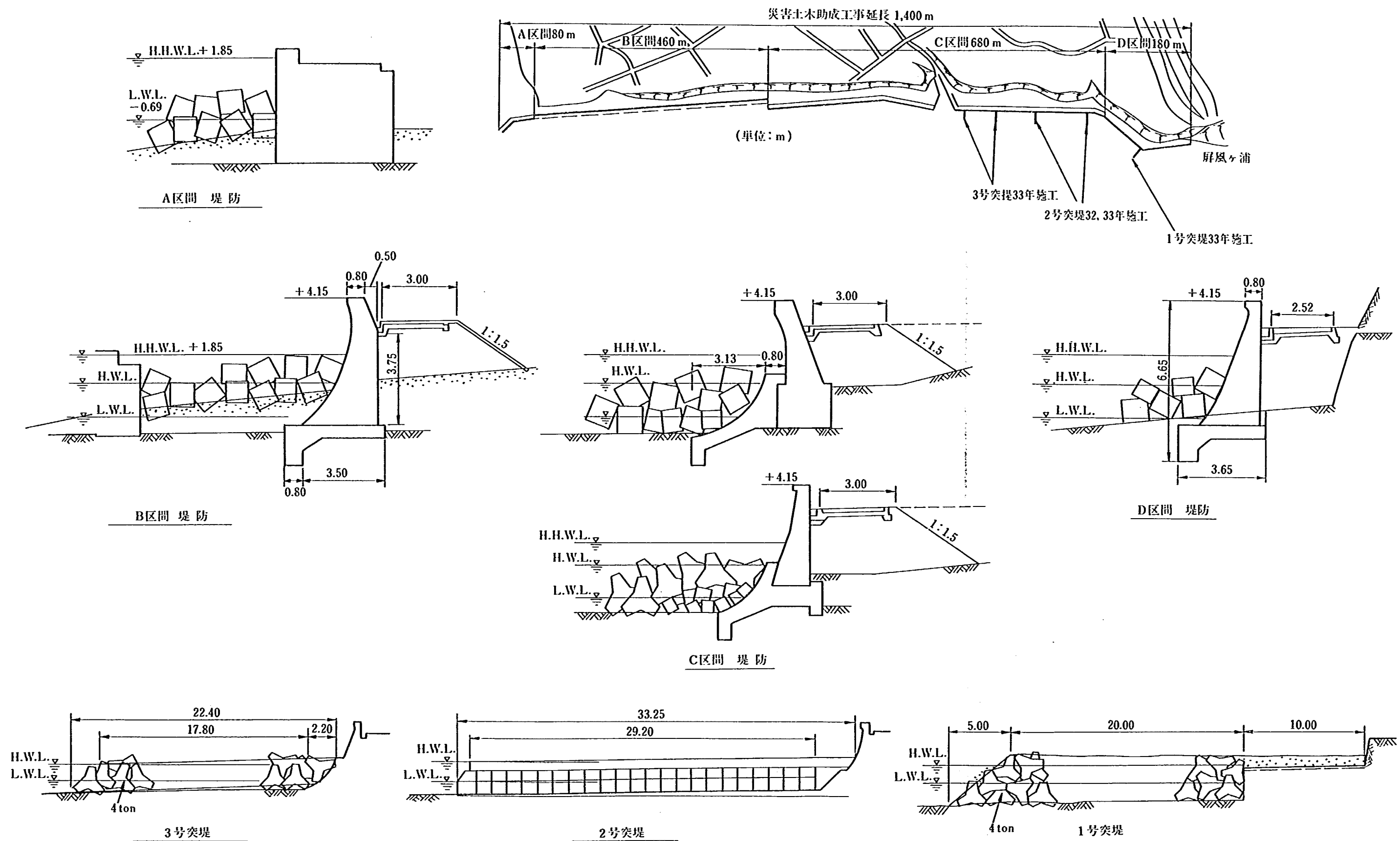
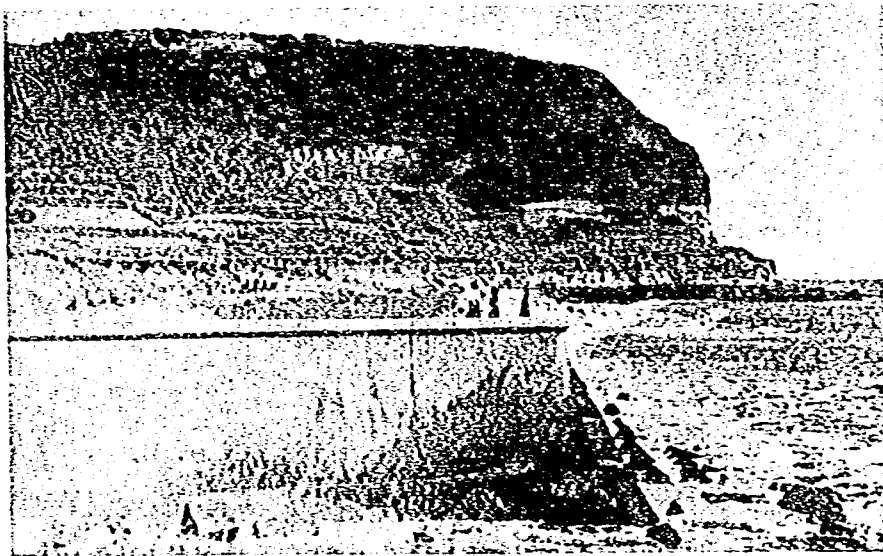
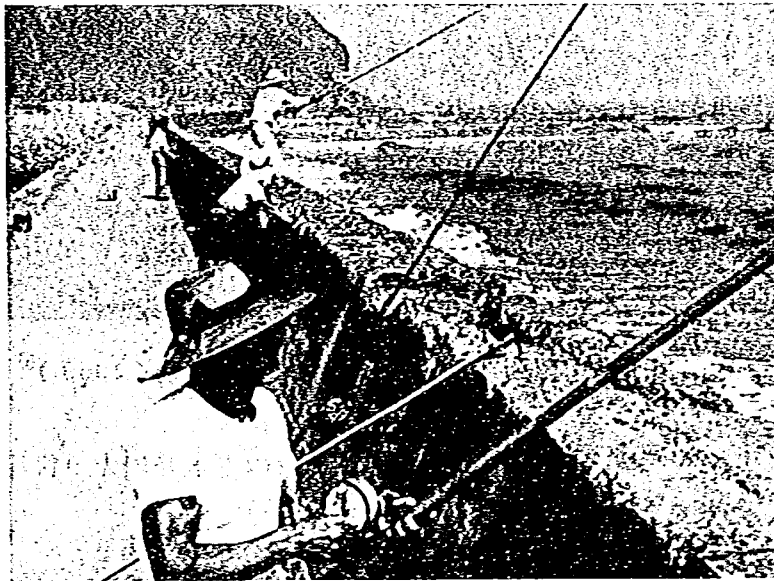


図 - 5. 18 昭和 28 年 ~ 33 年の下永井地先における災害土木助成事業 (千葉県 (1959)⁸⁾)

堤防

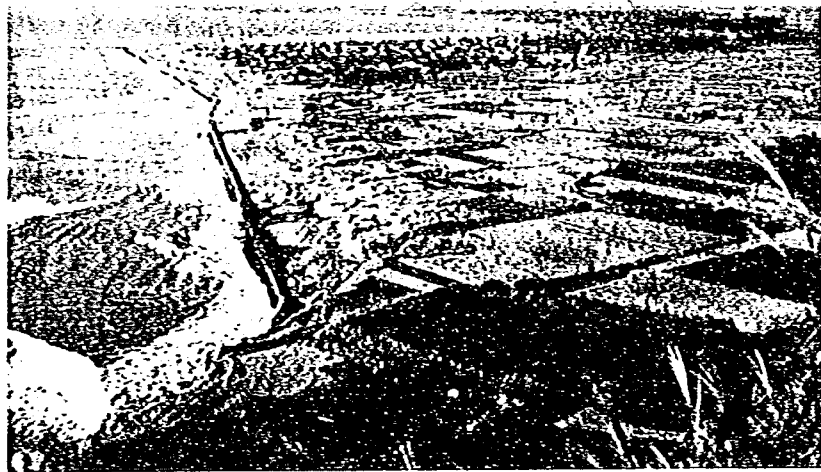


(a) 昭和 26 年～ 32 年の事業中（飯岡町所有写真）

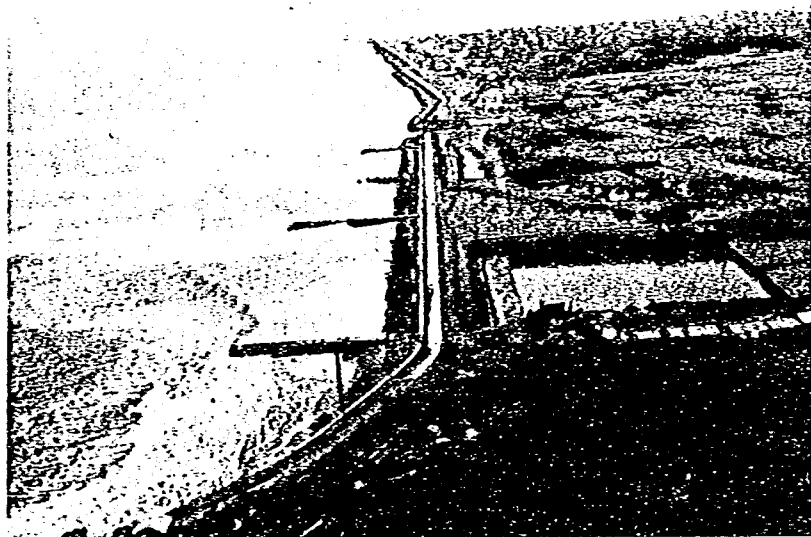


(b) 昭和 32 年頃（飯岡町所有写真）

図－ 5. 19 災害土木助成事業により完成した堤防：下永井地先



(a) 工事前（昭和20年代）の状況（千葉県（1959）⁸⁾）



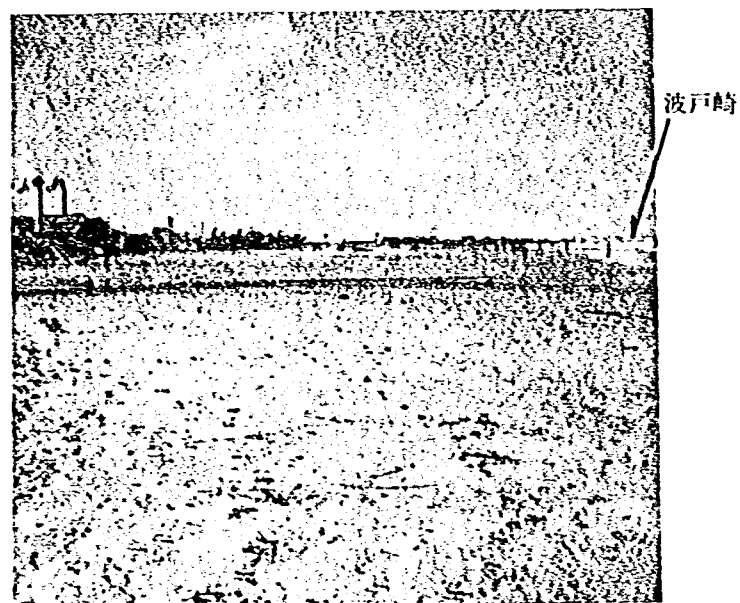
(b) 完成後（昭和34年頃）の状況（千葉県（1959）⁸⁾）

図－5.20 災害土木助成工事完成前後の下永井地先の状況

② 平松地先以西

昭和20年代の平松地先以西の海岸は、図－5.21(a)、(b)に見られるように夏季は堆積、冬季は侵食といった季節変化を繰り返しながら徐々に侵食が進んだようである。昭和26～28年の平松地先東部における侵食状況を図－5.22(a)、(b)に示す。海浜は高さ1m程度削りとられ、波が民家に迫っている様子がわかる。ほぼ同時期の平松地先西部の侵食状況を図－5.23に示す。(a)は被災前の前浜の状況である。(b)では土砂の吸い出しが生じており、昭和29年の(c)では堤防が決壊した。平松地先のさらに西側の無晃地区である萩園地先では、昭和29年に防風林の決壊が生じ（図－5.24）、侵食域が西へと広がった。

以上のような海岸侵食に対して、図－5.25に示す対策が行われた。すなわち、矢指川以

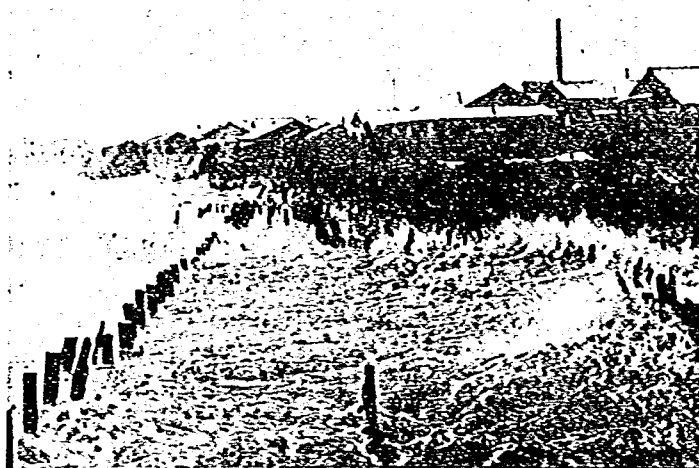


(a) 夏期の堆積、昭和 26 年頃 (千葉県 (1956) ⁵⁾)



(b) 冬期の侵食、昭和 26 年頃 (千葉県 (1956) ⁵⁾)

図 - 5. 21 平松地先の海浜の季節変化

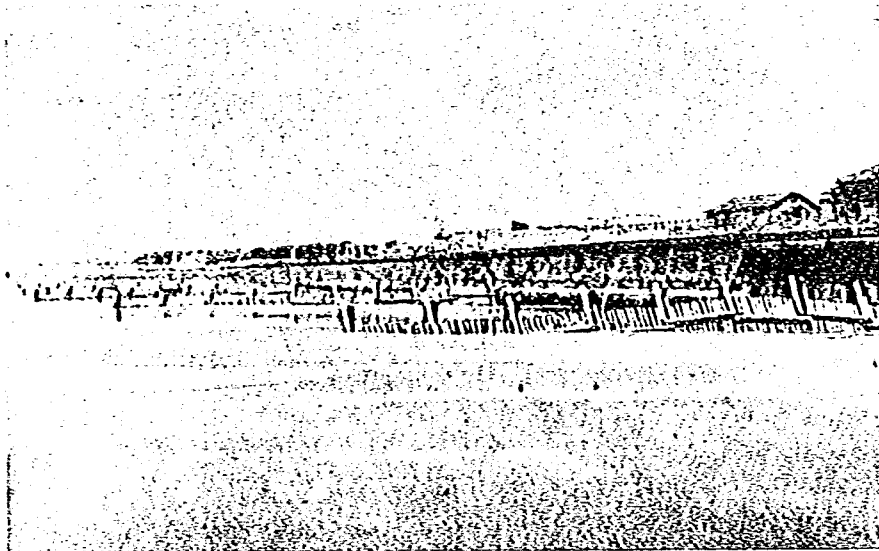


(a) (千葉県(1956)⁵⁾)

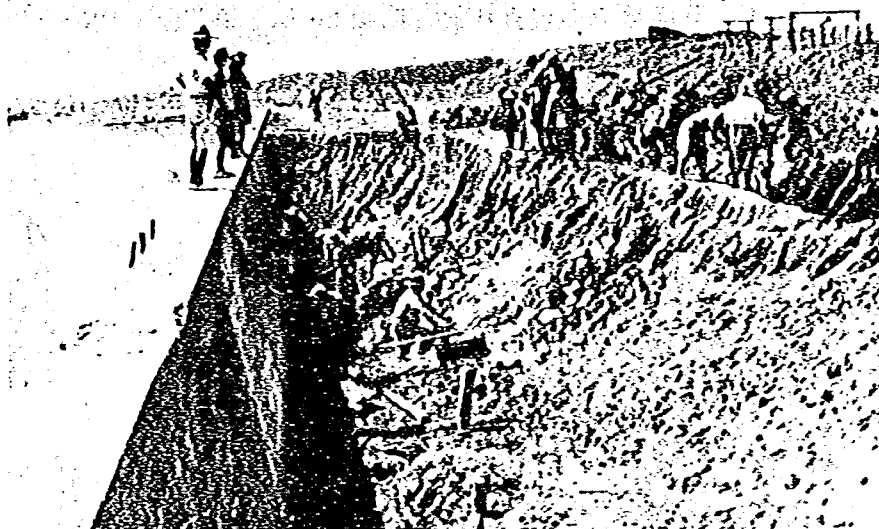


(b) (飯岡町所有写真)

図-5.22 平松地先東部の侵食状況、昭和26年～28年



(a) 昭和 25 年 (千葉県 (1956)⁵⁾)

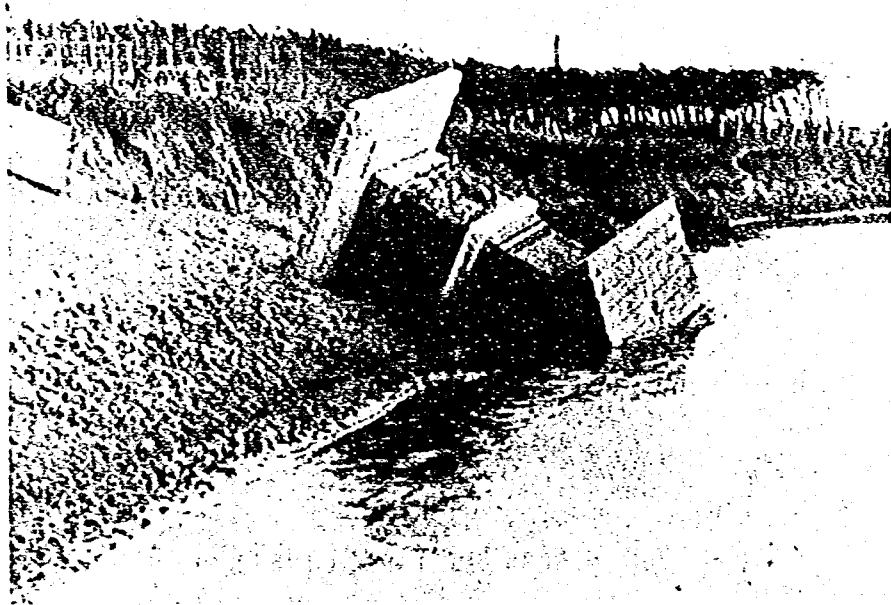


(b) 昭和 25 ~ 26 年 (千葉県 (1956)⁵⁾)

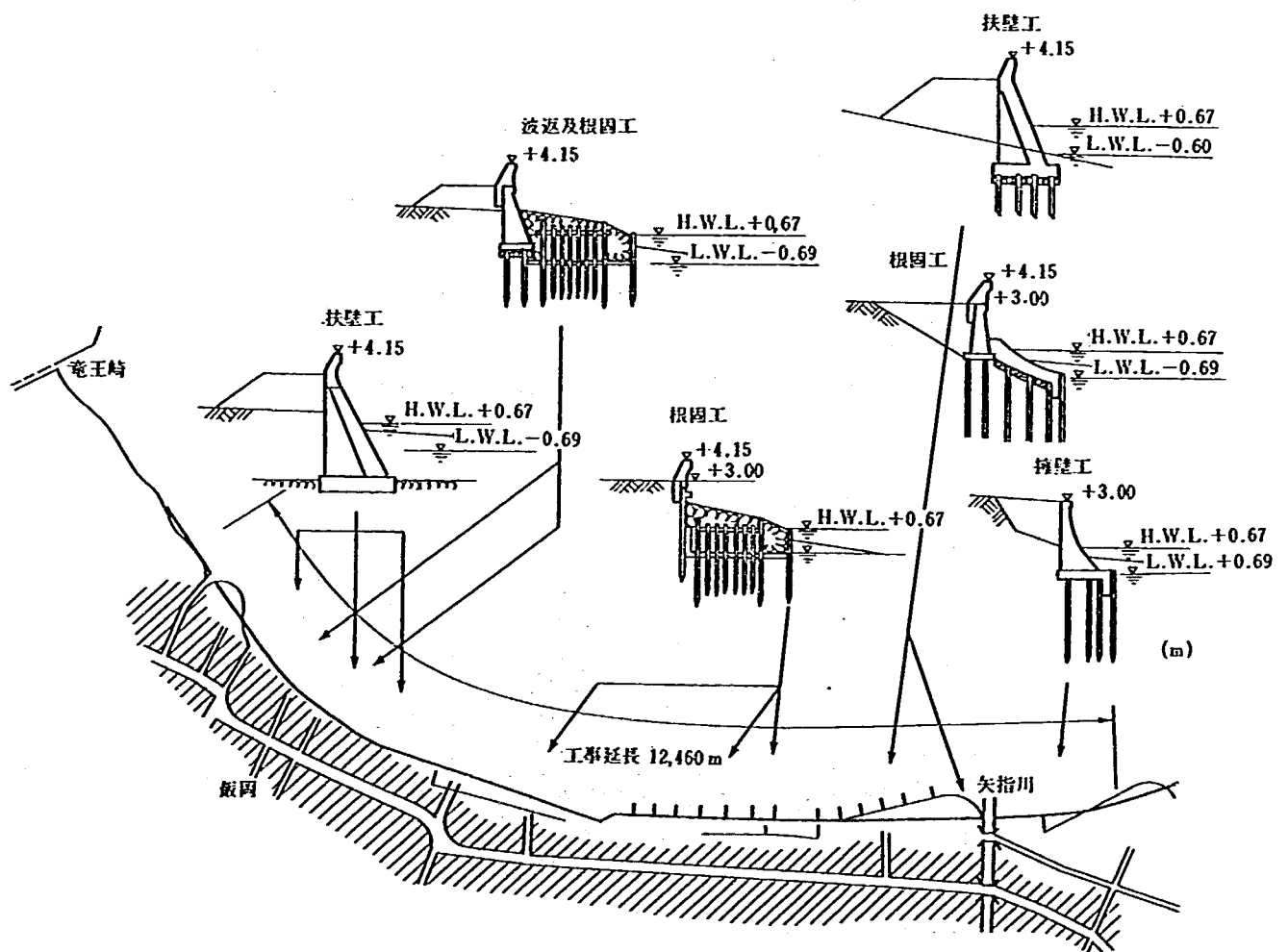


(c) 昭和 29 年 (千葉県 (1956)⁵⁾)

図 - 5. 23 平松地先西部の侵食状況



図－5.24 萩園地先の侵食状況、昭和29年（千葉県（1956）⁵⁾）



図－5.25 昭和30年頃の平松地先以西に設置された保全対策工（千葉県（1956）⁵⁾）

東の地区では、杭打根固工と波返し工が主に行われ、天端高も下永井地先と同様に平均潮位+4.15mとされた。一方、矢指川以西は無堤地区であったため、図中に示すような天端高平均潮位+3.00mの護岸が設置された。ここでも下永井地先と同様に強固な根固工が施工された。さらにコンクリート堤体そのものも大型になった。図-5.26に平松地先東部の堤防完成状況を示す。

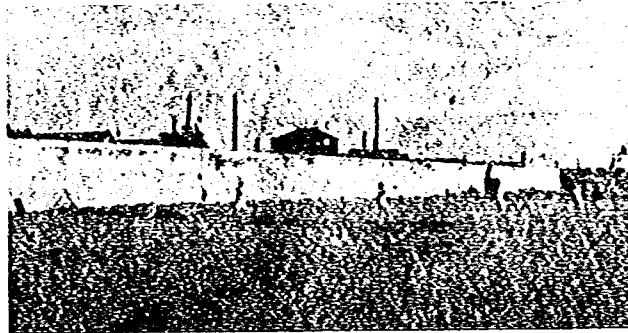


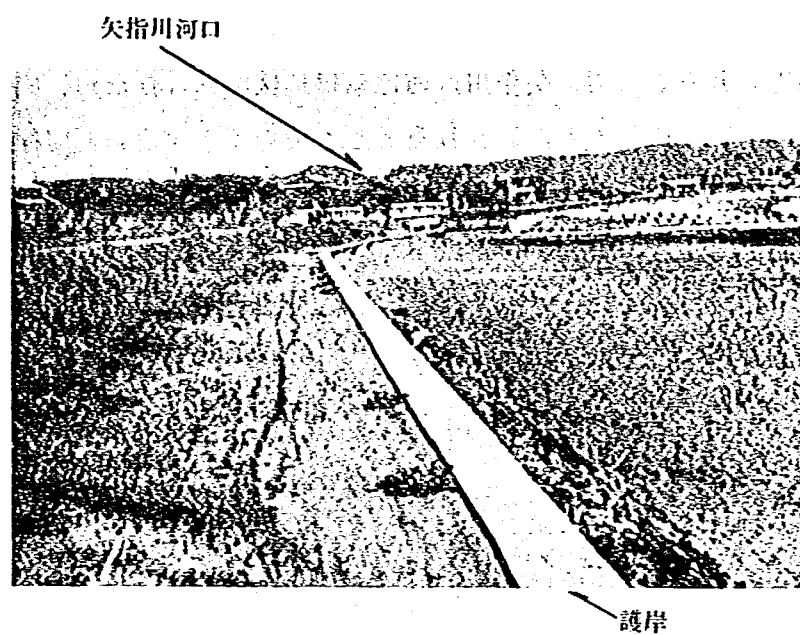
図-5.26 平松地先東部の堤防完成状況、
昭和30年頃(千葉県(1956)⁵⁾)

(5) 昭和40年代

昭和34年3月には平松地先の堤防補修が、昭和31年～36年には萩園地先に堤防が完成し、砂浜が安定したかに見えた。横根地先には図-5.27(a)に見られるように豊かな砂浜があり、夏季には海水浴に利用されていた。しかし、昭和39年11月にまず横根地先、萩園地先が急激な侵食を受けた。横根地先では、図-5.27(b)に見られるように波が堤防まで達し、吸い出しを受けた。萩園地先では図-5.28(a)～(c)に示す海浜の変化に見られるように、8月には護岸の天端付近まであった砂浜が高さにして約2m削られ(図-5.28(b))、波が直接護岸に当たるようになった(図-5.28(c))。さらに、12月中旬になると、34号台風に伴う前線が房総半島沖を通過し高波浪が来襲したため、12月29日には萩園地先の護岸が延長約300mにわたって土砂の吸い出しを受け堤防の背面が沈下した(図-5.29(a)、(b))。1月1日になると護岸に亀裂が生じ、倒壊が始まった(図-5.30(a)、(b))。この間、図-5.31に示すように海防事務所、消防団、地元住民等により土俵投入が行われたが、1月2日に至り萩園地先の一部では、護岸が完全に倒壊した(図-5.32)。

一方、無堤地区の三川地先では、昭和39年12月中旬に延長約200mにわたって汀線が約20m後退し、12月末にはさらに5～6m後退した。侵食状況を図-5.33に示す。また、1月3日に激浪が来襲し、その応急工事も一段落したが、1月7日に再び高波浪が来襲したため萩園地先の護岸延長150mに亀裂が入った。この波浪は、1月9日に治まり、応急工事も完了した。

以上の災害の後、昭和40年代に矢指川以西の横根、萩園、三川地先において、図-5.34に示す保全施設が計画施工された。ここに示した堤防は杭基礎を有し、強固な根固め工または消波工が設置されている。また、沿岸方向の砂の移動を止める意図をもった突堤が施工された。

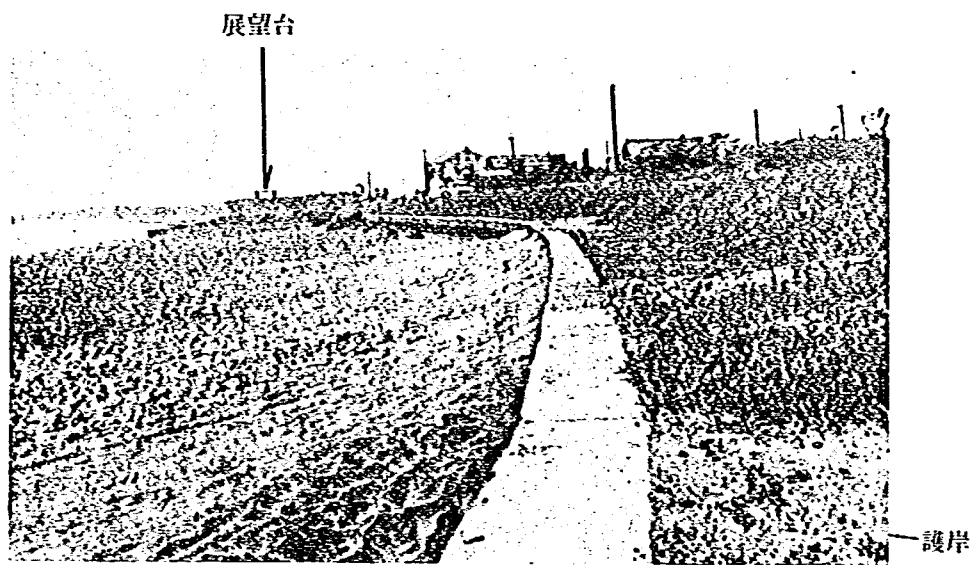


(a) 昭和 39 年 8 月 (飯岡町所有写真)

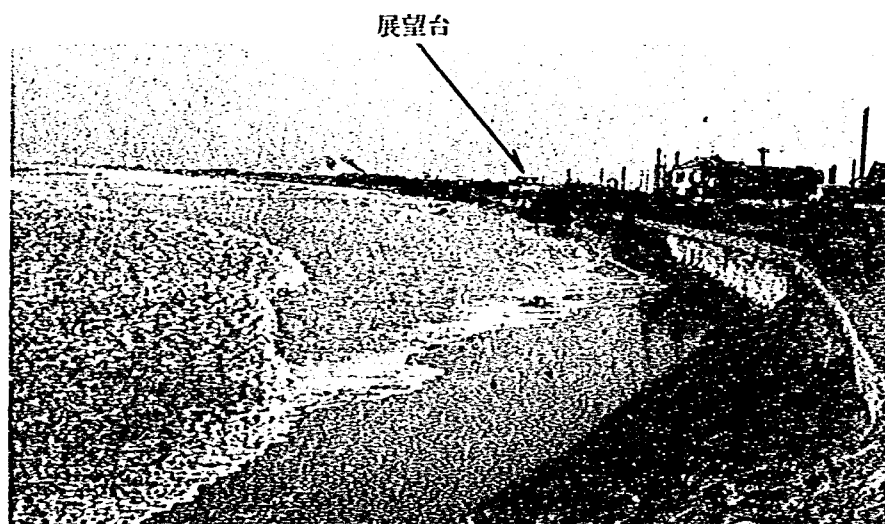


(b) 昭和 39 年 12 月 (千葉県広報協会 (1965)⁷⁾)

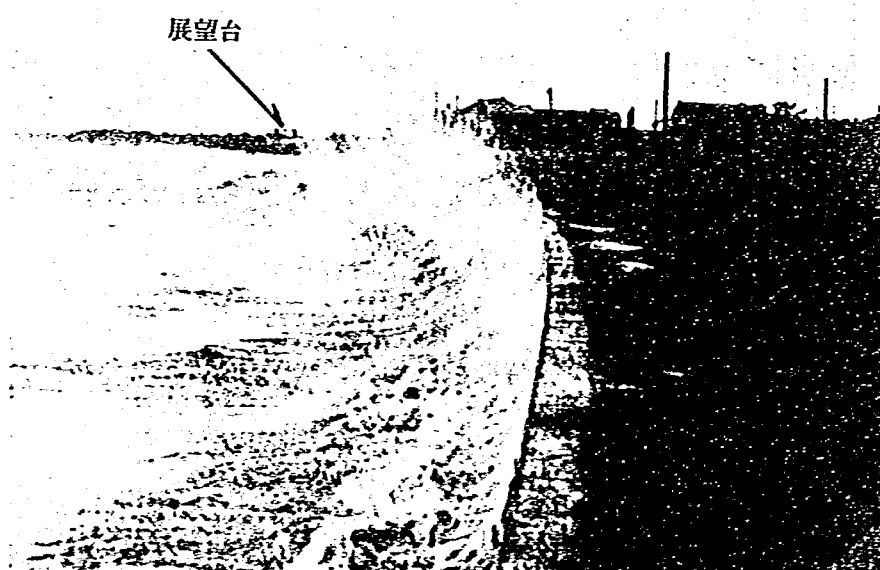
図 - 5.27 昭和 39 年災害後の横根地先の状況



(a) 昭和 39 年 8 月 (飯岡町所有写真)

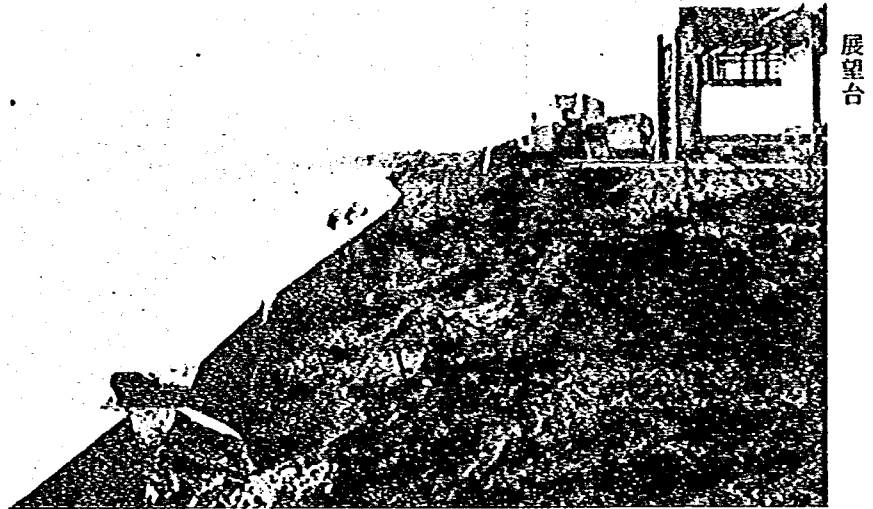


(b) 昭和 39 年 11 月上旬 (飯岡町所有写真)

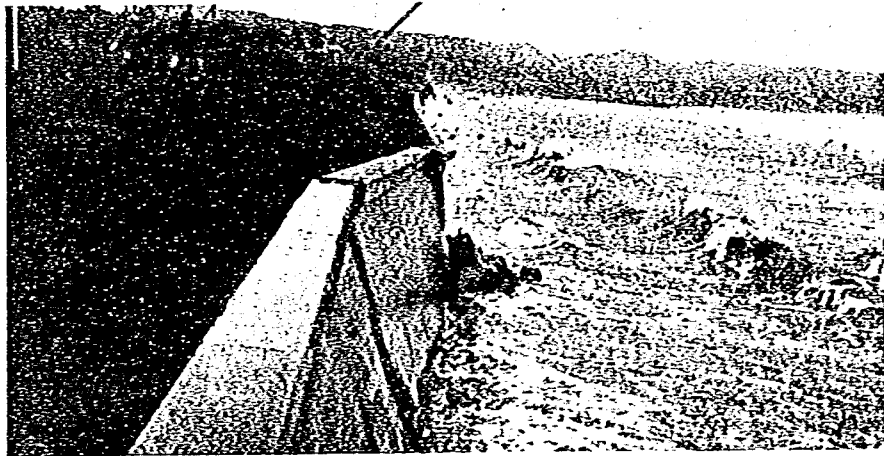


(c) 昭和 39 年 11 月中旬 (飯岡町所有写真)

図 - 5. 28 昭和 39 年の萩園地先の状況



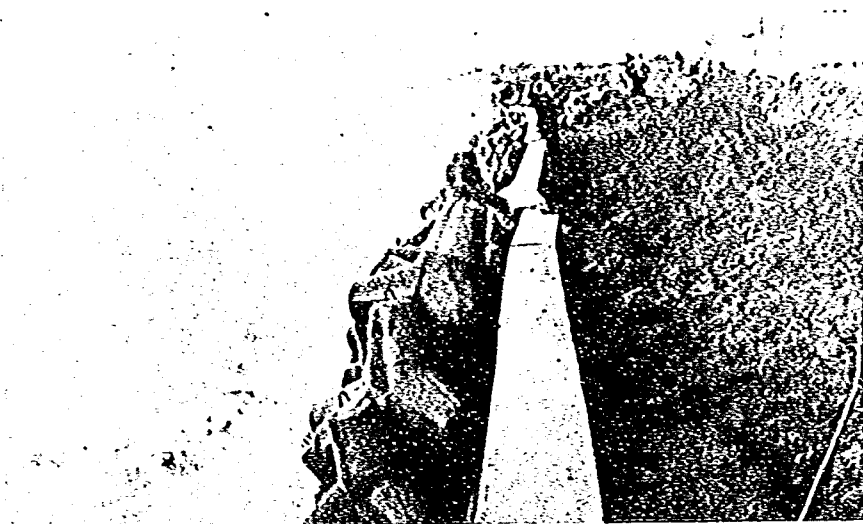
(a) 西側（飯岡町所有写真）



(b) 東側（飯岡町所有写真）

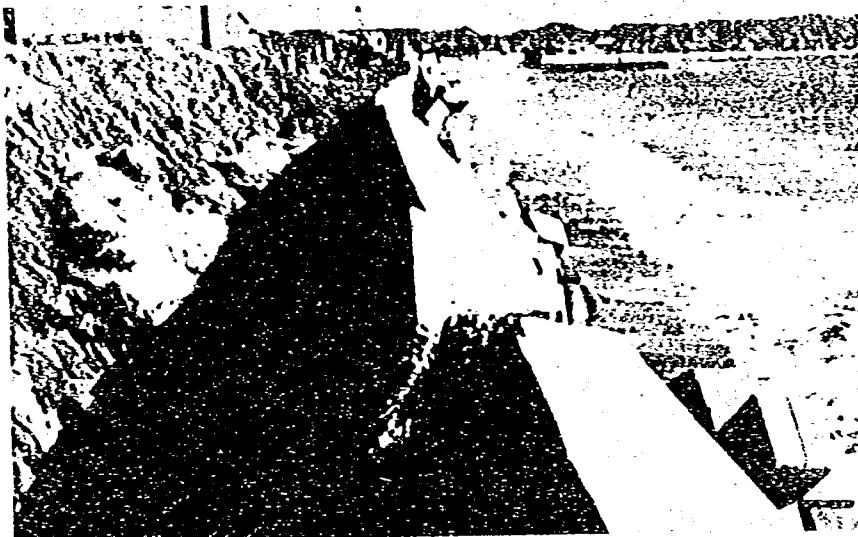
図－5.29 昭和39年災害時の萩園地先の状況、昭和39年12月31日頃

展望台



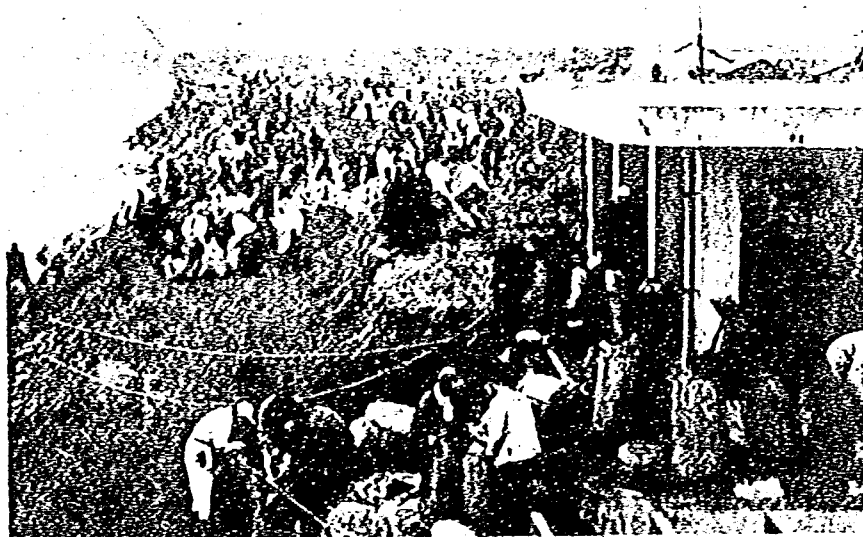
(a) 西側（飯岡町所有写真）

展望台



(b) 東側（千葉県広報協会（1965）⁷⁾）

図－5.30 昭和39年災害時の萩園地先の状況、昭和40年1月2日頃

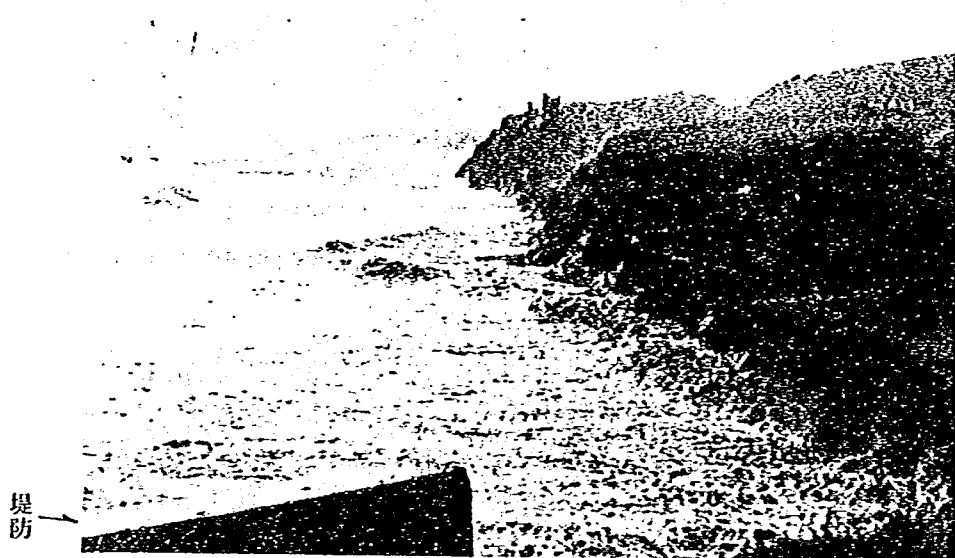


展望台

図－5.31 土俵投入状況、昭和40年1月2日頃：萩園地先
（千葉県広報協会（1965）⁷⁾）



図－5.32 護岸の倒壊、昭和40年1月7日頃：萩園地先
(千葉県広報協会(1965)⁷⁾)



図－5.33 昭和39年災害時の三川地先の状況、昭和30年12月25日
(飯岡町所有写真)

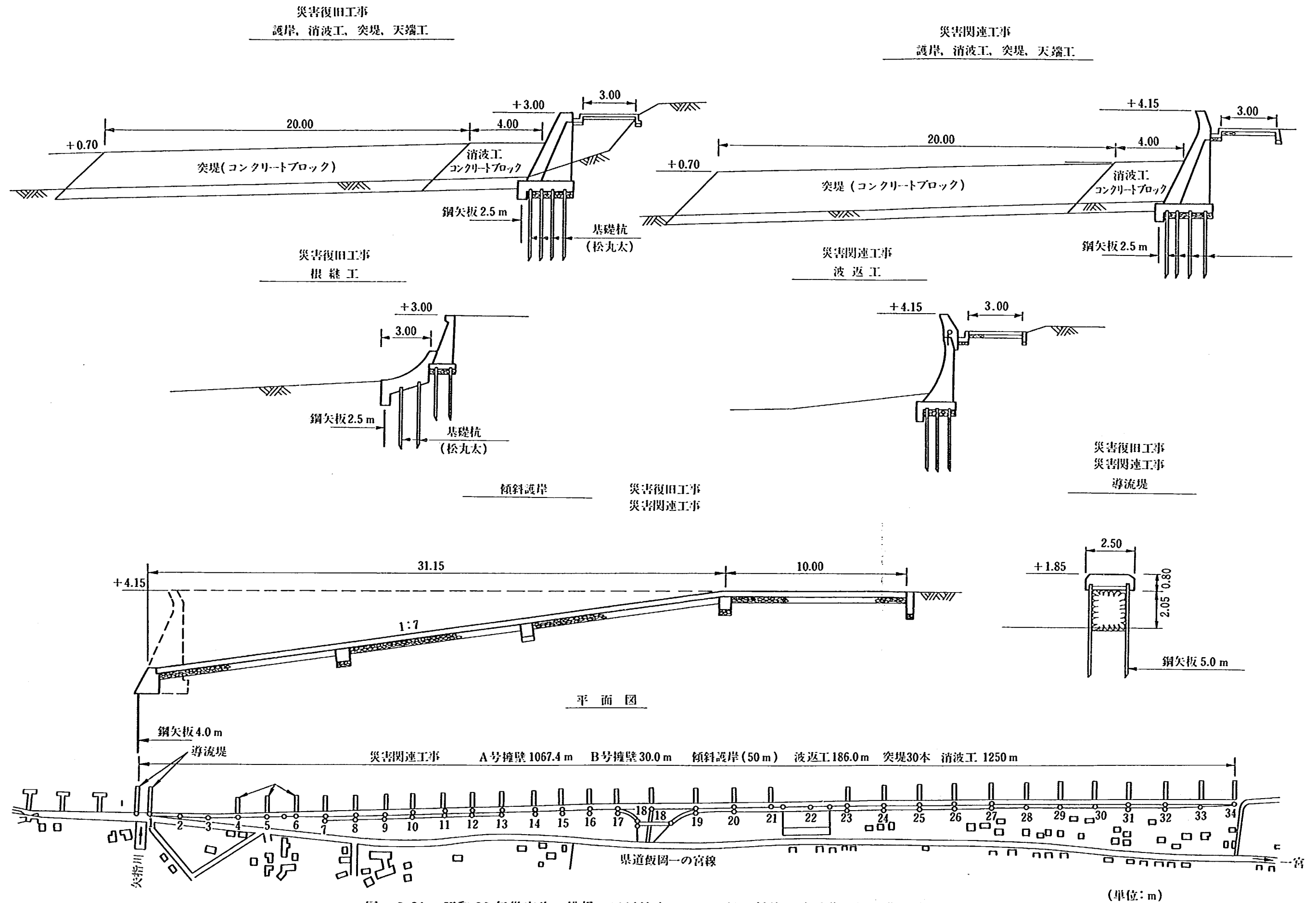


図-5.34 昭和39年災害後の横根～三川地先における保全対策工(千葉県河口港課(1964))

(単位:m)

(6) 昭和50年代

昭和50年代に入ると、平松～三川地先で砂浜の拡大を目的として離岸堤の設置が行われるようになり、離岸堤群の背後にはトンボロ状に堆砂が進行している。しかしながら、これらの離岸堤の下手側（西側）では昭和54年頃から侵食が生じ始めている。

5.4 各工法の評価

飯岡海岸で江戸末期より用いられてきた工法の一覧を表-5.1(a)～(e)に示す。表には各工法が施工に至った背景、効果及び利点、被災状況と被災原因を述べた。

明治以前には木材と玉石による杵工が主であった（表-5.1(a)）。これらは、材料の入手が容易であることや、当時の施工は人手に頼らざるを得なかったことより、採用されたと考えられる。当時は侵食機構に対する知識も乏しく、とにかく汀線の後退を防ぐという考えに立って、蛇籠工や三角杵工が汀線際に設置されたと考えられる。これらの機能は現在使われている消波堤と同じものである。材料に木材を使っていたため耐久性に乏しかったが、規模の小さい消波堤としての汀線維持効果を持っていたと考えられる。その効果は、長い間の経験により学びとられたのであろう。消波堤が根本的な侵食対策にはならないこと、部材の強度が乏しかったこと等が破壊の原因と考えられる。それにもかかわらず、人力による応急工法としては十分機能したことが推定され、現在の海岸防災手法にとっても無視できない工法と考えられる。

明治末期から昭和初期には重力式といえるコンクリート護岸・堤防が施工されるようになった（表-5.1(b)、(c)）。まず、重力式コンクリート杵護岸が築造されたが、基本的には砂の上に置いただけの構造のため、洗掘により破壊したと考えられる。方塊積護岸はコンクリートブロック消波堤と位置づけた方が良いと考えられる。ただし、現在の消波堤のように波を堤体で減殺するという機能は持たされておらず、その意味では護岸である。この工法の被災原因も重力式コンクリート杵護岸と同じであり、前面洗掘により深掘れし、波力が増大して破損した。大正に入ると袋詰コンクリートによる基礎を有する重力式コンクリート杵護岸が築造された。この場合でも、侵食量に対して基礎が十分ではなく、被災に至ったと考えられる。昭和初期に入ると、基礎部を土丹層（シルト岩・泥岩などから成る軟岩層）まで掘削して構造物を設置するようになった。しかし、この場合でも侵食に対して十分な対処ではなく、護岸による反射がむしろ侵食を助長したことも考えられ、前面の砂がなくなり滑動等を生じて破損している。また、当時使われたコンクリートの材質が良好でなかったことや、施工技術が未熟であったことなども被災助長要因となったと考えられる。

以上の被災に願みて、昭和10年代には木製の杭と矢板を用いた護岸、次いでコンクリート矢板を用いた護岸が施工された（表-5.1(c)）。これらの構造物はしばらく安定していたが、侵食の進行により矢板のすき間などから吸い出しを生じ、高波浪時に被災した。

ここまでの経験をふまえ、現在飯岡海岸に設置されている多くの堤防・護岸が昭和20年代～30年代に施工された（表-5.1(d)）。これらの堤防・護岸の大きな特徴は強固な根固工を有

することである。杭を有する根固工と波返工の組み合わせは、構造諸元からすると緩傾斜の石積護岸とすることができる。根固工を持たないコンクリート護岸は倒壊した。この時期、ブロック式の透過突堤が施工されたが、効果的ではなかった。この理由としては長さが短かったことや透過式であったことなどが考えられる。

昭和40年代には根固工の代わりに消波工を有する護岸が施工された（表-5.1(e)）。以上に述べた護岸・堤防の変遷をまとめて図-5.35に示す。図に明らかなように、被災に対する対処工法は、直接堤体を支える方法から、倒壊の原因となる洗掘を防ぐ方法へと移っていった。この傾向を引き継ぐように、侵食そのものを防ぐための離岸堤工法が昭和50年以後採用された（表-5.1(e)）。

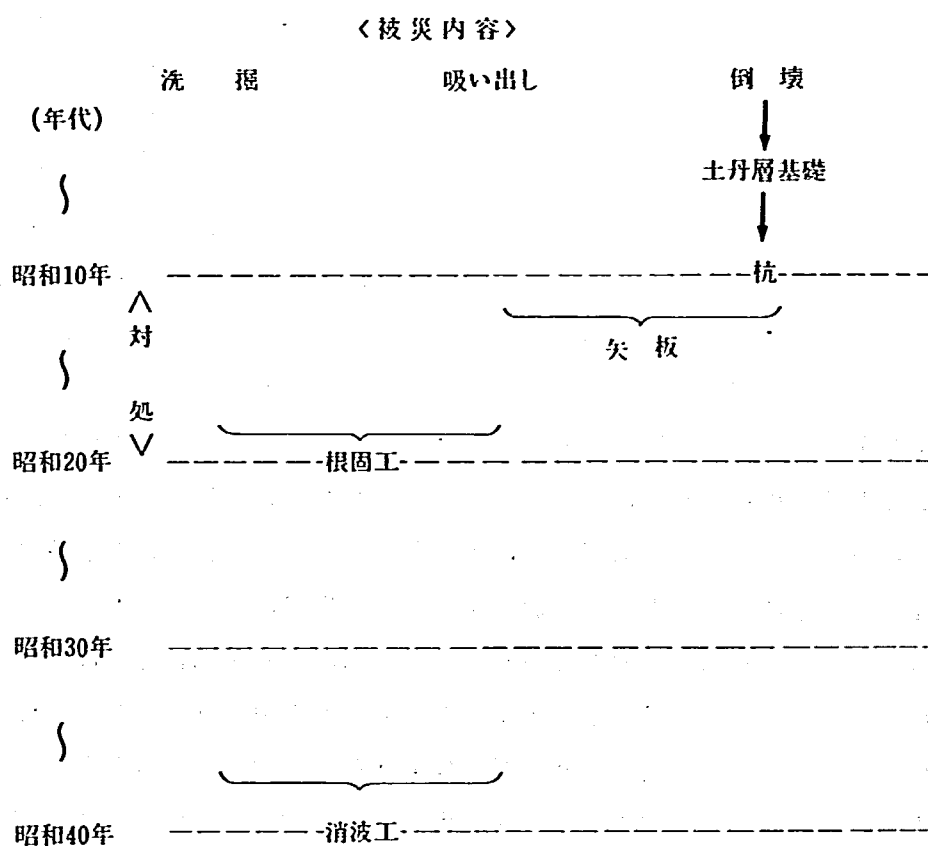


図- 5. 35 堤防の被災に対する対処法の変遷

表-5.1(a) 飯岡海岸の各種工法の移りかわり(その1)

時代	工 法 名	構 造 形 式	施工に至った背景	効果, 利点等	被災状況と原因	
明治 以後	石詰枠工		船運の発着地であった波戸崎とその周辺の海岸線保全のため、天保年間に施工された。	○材料が現場で容易に調達できた。		沈床がなく、根入れが浅い、差込式の簡単な枠の結合構造のため、玉石の不等沈下および波力による玉石の散乱、移動等により枠の破損を来し、破壊したと考えられる。
	蛇籠工		明治中期、刑部岬と波戸崎の欠崩に伴って下永井一帯の侵食が著しくなったため施工された。	○材料が容易に入手できた。		前面が洗掘、沈下し、一年足らずで倒壊流失した。
	片法三角枠工		従来の工法に効果がなかったため、明治30年～34年に主に下永井地先において施工された。	○材料が廉価で容易に入手できた。 ○透水性に富み、波の力を吸収し得るため、消波堤として相当程度効果が認められた。		洗掘により沈下を起こし、前面に激突する波によって玉石の移動および越波による玉石の散乱等により枠の破損を早めた。
	両法三角枠工		片法三角枠の改良工法であり、明治30年頃から昭和30年頃まで、下永井、平松地先において施工された。			木材およびボルトの腐食による破壊、あるいは沈下等から侵食に対し得なかった。
	続枠工		波戸崎の保全のため、明治37年、38年に施工された。	○材料が廉価で容易に入手できた。		波浪に対する耐久力少く、数年を経ずに破損した。

表- 5.1 (b) 飯岡海岸の各種工法の移りかわり (その 2)

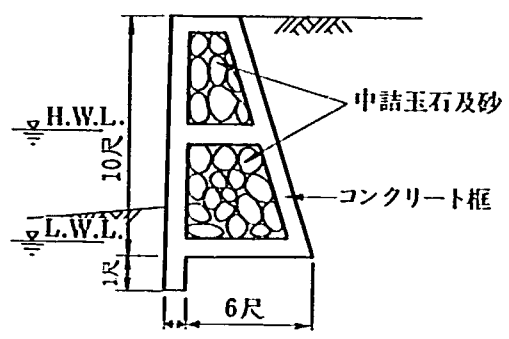
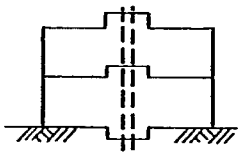
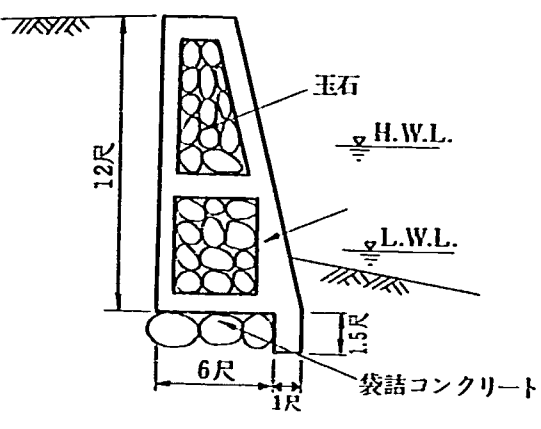
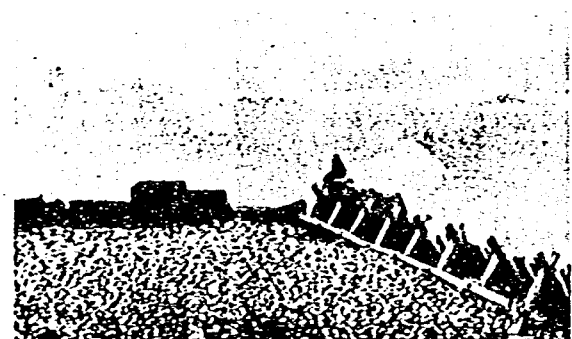
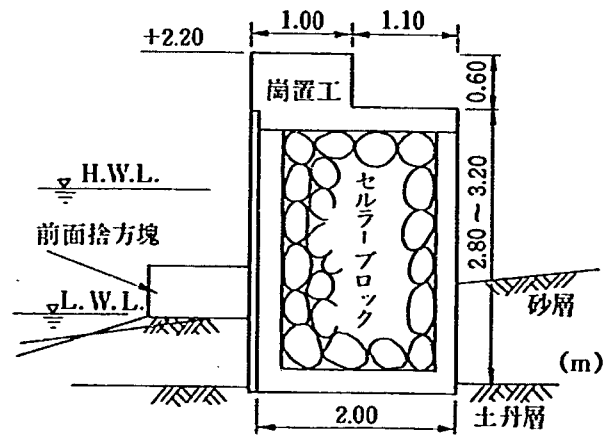
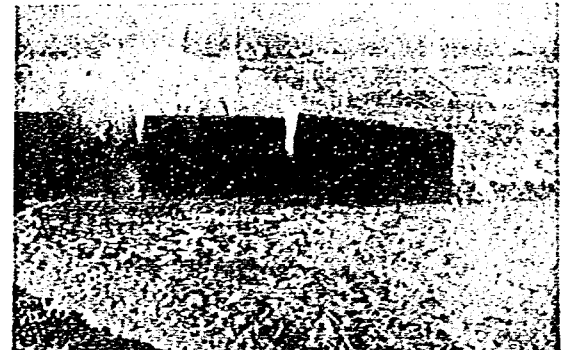
時代	工 法 名	構 造 形 式	施工に至った背景	効 果 , 利 点 等	被 災 状 況 と 原 因	
明治末期	重力式コンクリート 框 護 岸		従来の保全構造物の破損状況を考慮して明治39年に波戸崎付近にコンクリート製の直立護岸が設置された。	玉石をつめることによりコンクリート量の節約が計られた。		前面洗掘により深掘れし、波力が増大して破損した。
	方塊積護岸		上記コンクリート護岸と同時期に、下永井地先の昭和30年代の護岸線前方40～50m地点に設置された。	設置が容易であり、地形変化に追従するため破壊しない。		同 上
	重力式コンクリート 框 護 岸		大正初期に竜王崎周辺の改修補強を目的として設置された。	明治末の重力式コンクリート護岸に比べて、構造が大きく、コンクリートの配合比も高くされた。		同 上
昭和初期	セルラーブロック 堤 防		竜王崎より東側の下永井地先の海岸侵食は、昭和初期に入りますます激しくなった。そのため従来の簡単な構造物では防護できなくなったので昭和3年～12年に延長1,100mに達するセルラーブロック堤防が設置された。	基礎を土丹岩面まで掘削し、堤体の安定を計った。		○沿岸漂砂、反射波等により、前面洗掘、基礎土丹の流失が生じ、滑動を起こし破損した。 ○セルラーブロックの隅角部の施工不良のため、鉄筋が腐蝕し、基礎侵食を受けた後、この鉄筋が切断し、側壁が転倒した。

表-5.1(c) 飯岡海岸の各種工法の移りかわり(その3)

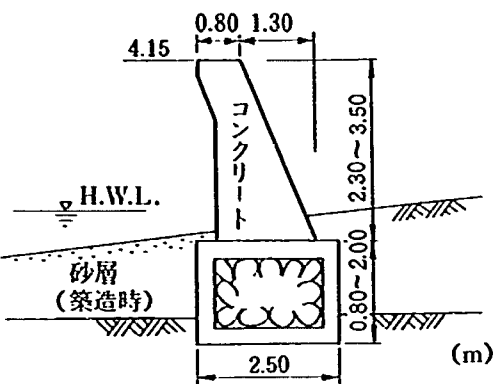
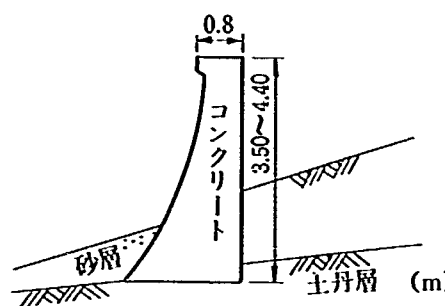
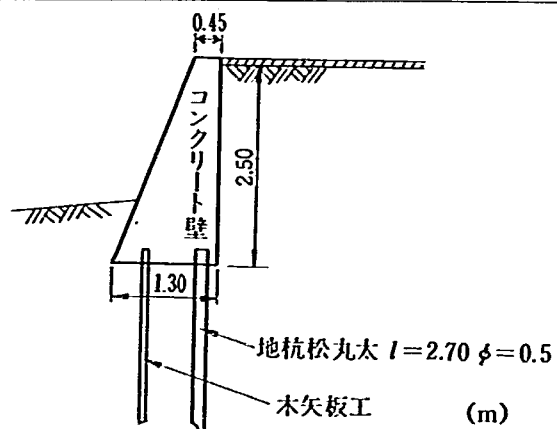
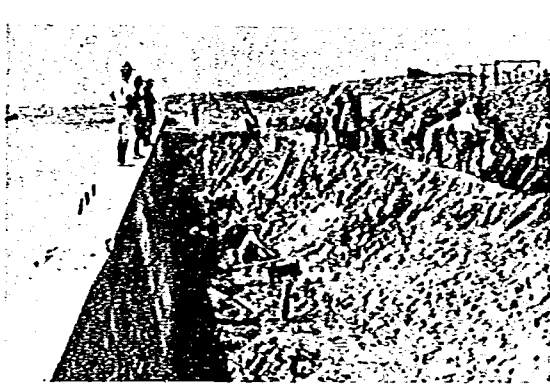
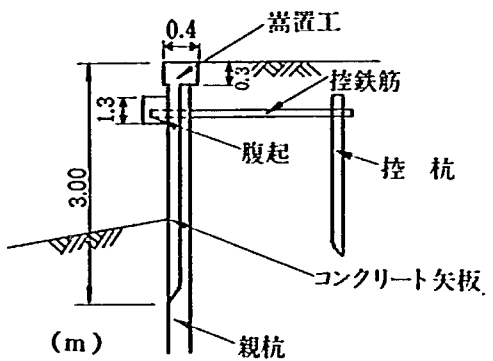
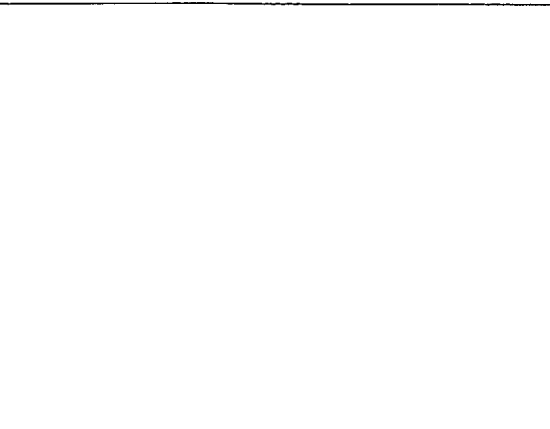
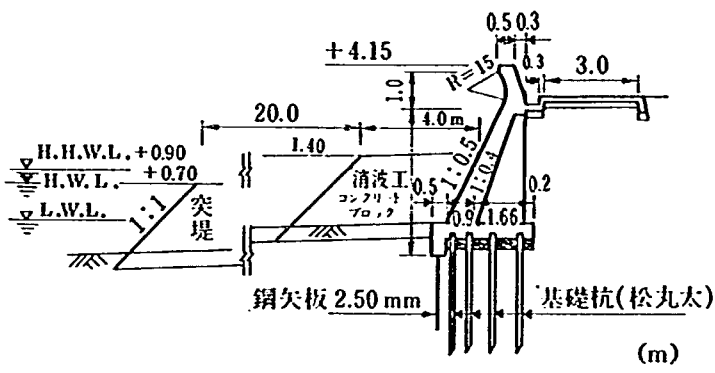
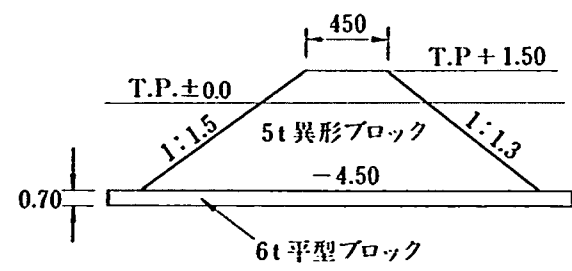
時代	工 法 名	構 造 形 式	施工に至った背景	効果, 利点等	被災状況と原因	
昭和初期	セルラーブロック堤防		セルラーブロック堤防に同じ。	セルラーブロック堤防に同じ。		下永井西方の堤防は天端が低く、越波により背後土砂が流出し、堤防の破損を早めた。
	コンクリート堤防		同 上	同 上		同 上
	コンクリート護岸		昭和10年代に平松地先において、越波を防ぎ不時の高潮に備えるためにコンクリート護岸や矢板工が施工された。	平松地先のように季節的に侵食、堆積を繰り返す場所では、基礎矢板は吸出しによる背面土砂の流失を防ぎ、効果的であった。		木矢板工は、下部が玉石混り砂のため施工が困難であり、充分緊密に施工していない所が多かった。そのため、災害時前面洗掘と共に空隙部より背面土砂が流失し大きな被害が生じた。
	コンクリート矢板護岸		同 上	同 上		同 上

表-5.1(d) 飯岡海岸の各種工法の移りかわり(その4)

時代	工 法 名	構 造 形 式	施工に至った背景	効果, 利点等	被 災 状 況 と 原 因	
昭和 20 年 代	消 波 工		昭和22年～27年にわたる累時の災害に下永井地先の堤防が倒壊したため、昭和28年より堤防の補強、再建が行われた。	消波工により、基礎の侵食がおさえられ、堤体は安定した。		現在は飯岡漁港が設置されており、港内となっている。
	突 堤		同 上	砂止効果はあまりなかったようである。		同 上
	根 固 工 波 返 工		昭和20年代に入って、平松地先において、三角枠の破損、沈下が生じてその効果が減少した。その結果護岸基礎部の侵食、洗掘により背面土砂流失、護岸転倒の災害が生じたため、根固工が必要とされた。	現在に至るまで、洗掘等による構造物への被害は生じていない。		
	コンクリート護岸		昭和20年代の災害により横根地先にコンクリート護岸が設置された。			昭和39年末から翌年にかけて、前面土砂が厚さ約2m削られ、背後土砂が吸い出されて護岸が倒壊した。

表－ 5. 1 (e) 飯岡海岸の各種工法の移りかわり（その 5）

時代	工 法 名	構 造 形 式	施工に至った背景	効 果 , 利 点 等	被 災 状 況 と 原 因	
昭和 40 年 代	消 波 工 堤		昭和39年災により，横根萩園，三川地先が被災した。	突堤による堆砂効果は生じなかった。		
昭和 50 年 代	離 岸 堤		平松～三川間の前浜を回復させるために昭和50年以後，離岸堤の設置が行われるようになった。	離岸堤の背後域に顕著な堆砂が生じている。		離岸堤群により西側海岸への沿岸漂砂が減少し，北九十九里海岸で侵食が生じている。

5.5 地域住民による水防活動

飯岡海岸では海辺に人家が多く建てられ、海岸の侵食は直接人々の生活を脅かすものであった。そのため、災害時には地元住民が総出で水防活動にあたったようである。昭和7年の状況を示す図-5.14(a)、昭和30年の状況を示す図-5.31には、水防活動の状況がよく表われている。

人家の軒先まで侵食による被害が及んだ例を図-5.36に示す。これは昭和26~28年頃の平松地先での災害であるが、懸命な水防が行われた。このように、飯岡海岸では、海岸での災害が直接人々の生活と密着しており、水防活動も熱心に行われてきたと考えられる。図-5.37は昭和39年末から40年初頭にかけての、萩園地先における災害時の水防活動の状況を示している。婦人を含めての土俵作り、護岸吸い出し部の補強等が行われた。

海岸の構造物はその安定性を十分に考慮し設計されるのであるが、不測の事態にあたっては、やはり地元住民の防災活動が最も機動性の高い方法となる。このような水防活動は、海岸事業



(a)



(b)

図-5.36 軒先まで迫った侵食と水防活動、昭和26~28年：平松地先



(a) 昭和 39 年 12 月～昭和 40 年 1 月



(b) 昭和 39 年 12 月 29 日

図－ 5. 37 水防活動：萩園地先

の難しさ、重要性を地元住民に理解してもらうのにも良い機会である。そのためには、日頃より海岸事業の意味、方法について地元住民へのアピールを行うことが何よりも重要である。最近海洋レクリエーションの意識が高まり、海との親しみの面が強調されているが、海の持つもう一方の側面、暴浪や侵食という点についても広くアピールしていく必要があると思われる。

5.6 ま と め

飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷について述べた。その中で、土木材料の進歩による構造物自体の強化がなされる過程と、被災原因の理解とともにより根本的な対策がとられるようになっていく過程とが明らかになった。また、地元住民による長年の水防活動が、海岸地域防災を進める上で重要な役割を担ってきた事実を明らかにした。このような官民一体の海岸防災が、海に突出した竜王崎有する飯岡海岸を守ってきたと考えられる。

参考文献

- 1) 飯岡町：長く続く怒濤との戦い，飯岡町史符篇，pp.1-35,1981.
- 2) 建設省国土地理院：沿岸海域基礎調査報告書（九十九里浜東部地区），45p., 1976.
- 3) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について－航空写真による海食崖の後退に関する研究・第2報－，第16回海岸工学講演会講演集，pp.137-145,1969.
- 4) 堀川清司・砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵食について－航空写真による海食崖の後退に関する研究・第3報－，第17回海岸工学講演会論文集，pp.289-296,1970.
- 5) 千葉県土木部：飯岡海岸誌，60p., 1956.
- 6) 千葉県広報協会：失われゆく国土，千葉ニューライフ，第20号，pp.4-9, 1964.
- 7) 千葉県広報協会：波と砂の戦い，千葉ニューライフ，第24号，pp.4-9, 1965.
- 8) 千葉県：千葉県飯岡海岸海上郡飯岡町下永井地先災害土木助成工事概要，1959.

6 あとがき

千葉県飯岡海岸の侵食実態と、この海岸で過去から行われてきた種々の対策工の変遷についてとりまとめた。さらに、新しい侵食対策工法であるサンドバイパス工法において、千葉県が行った土砂輸送を波の作用で行う新しい手法の現地実験結果を解析した。本調査の結果、飯岡海岸の侵食実態を明らかにしたほか、資料の系統的な整理の重要性を示すことができた。ただし、九十九里海岸全体の侵食実態についてのとりまとめと、今後の対策法については今回報告できなかった。これらは現在検討中であるため、機会があれば別に報告したい。

本調査にあたっては千葉県土木部河川課、飯岡町役場建設課の方々に資料提供や現地調査の面で多大な協力をしていただいた。また、資料の収集・整理は(株)I N A新土木研究所が行った。ここに記して感謝の意を表します。

九十九里海岸侵食対策
調査報告書

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第 2569号
昭和 63 年 3 月(1988 年)
海岸研究室 宇多高明
小俣 篤

キーワード 飯岡海岸, 屏風ヶ浦, 海岸侵食, サンドバイパス, 土砂投入,
蛍光砂調査, 侵食の歴史, 工法の変遷

要 旨 千葉県北九十九里に位置する飯岡海岸の侵食実態を空中写真, 地形図などをもとに明らかにした。また, 近年における離岸堤の建設後の地形変化について深淺測量データを用いて分析し, 離岸堤背後での土砂堆積が上手側に位置する飯岡漁港でのサンドバイパス土砂によることを明らかにした。
次に, 波の力を利用した土砂輸送の可能性を調べるために, 飯岡海岸沖に約 5000 m³の土砂を投入し, その移動状況を深淺測量や蛍光砂調査により追跡した。この結果, 沖合の水深約 4 m 付近に投入された土砂は波の作用の下で岸向きに移動し, 離岸堤背後へと運ばれ, さらにその後沿岸方向下手側へと移動することが見出された。これにより波の力を利用した土砂輸送の可能性が明らかになった。
最後に, 飯岡海岸の侵食の歴史と対策工の変遷を過去の資料をもとに整理し, 各工法の評価を行った。

郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

3 0 5 - □ □

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所
海岸研究室 御中

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所

土木研究所資料第2569号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印