

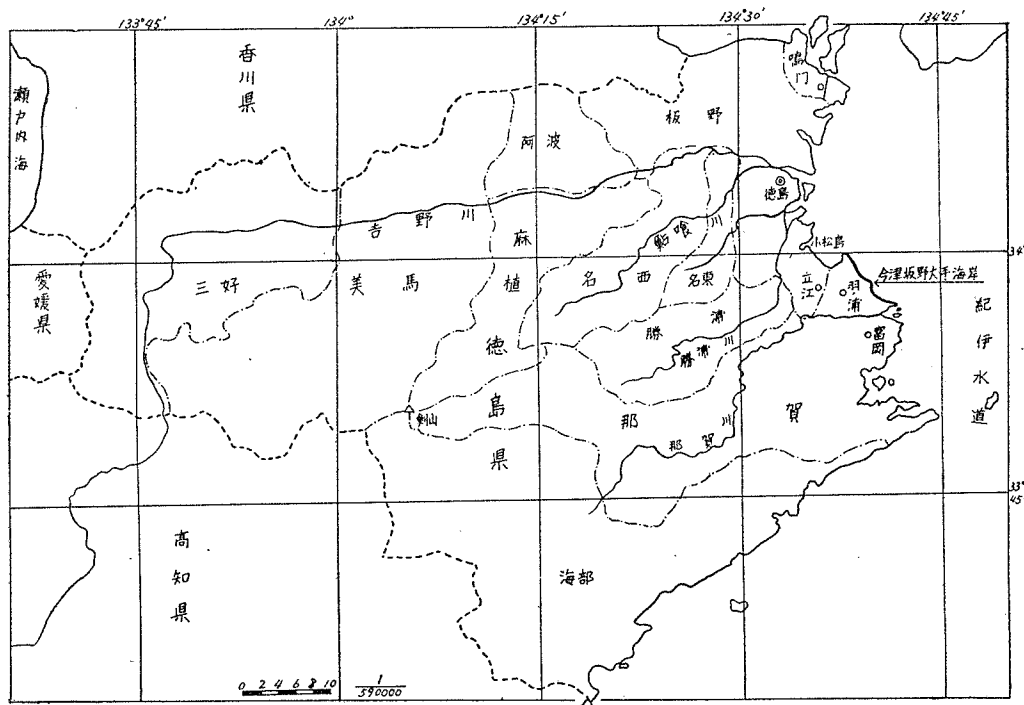
今津坂野海岸の浸食とその対策

技研興業(株)取締役 社長 岩 佐 信 幸
徳島大学教授 工学博士 久 宝 保

1. 概 説

今津坂野海岸は(図-1と2)徳島市南々東約15km,小松島市和田島町より那賀郡那賀川町大字出島那賀川河口にいたる延長約12kmの北々西にゆるい孤状をなして延びている。東は紀伊水道をまたにして和歌山県に対し,北東は紀淡海峡を隔てて大阪湾に連り,南東は紀伊水道入口に面し太平洋に直結している。海岸線の後方は47.7km²におよぶ那賀平野をひかえ耕地面積29000町歩,戸数約7000戸,人口35000人をようし,県下の有力な穀倉であり,木材,産業の中心地で,この海岸線はいわばこれら一市四カ町村の生命線といえる。流入する河川は流域延長1.05kmの那賀川が西から東に注ぎ,この河川流域には年間を通じて雨量が非常に多く(年雨量2800~3000mm),そのため流量もかなり大きく(8500m³/sec),土砂の流出量も少なくないが,他方海岸における波浪エネルギーによる移動土砂量との差引きにおいて,今津坂野海岸は毎年後退してきた。この海岸浸食を防止するために昭和29年9月の12号台風を契機に,延長約7.8kmにわたり災害助成工事を施工し,工事の進捗にともないほぼ所期の目的を達しつつあるので,ここに,その計画と成果に関する概要を報告することにする。

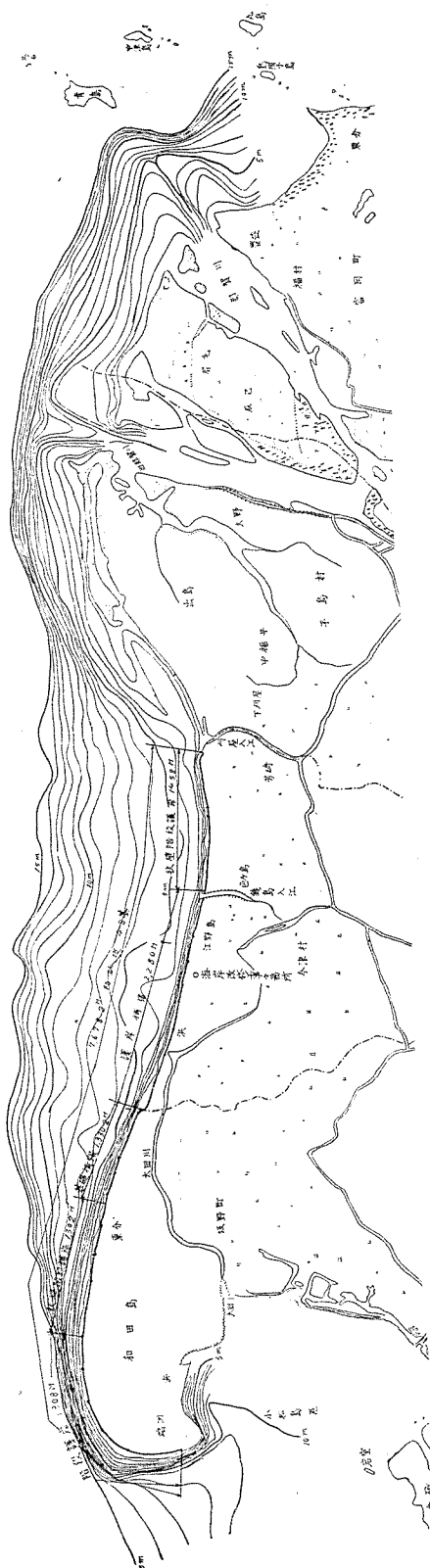
図-1 今津坂野海岸の位置



2. 近年における海岸線の変化

近年今津坂野海岸は浸食がはなはだしく,海岸線の後退が顕著で,これが本海岸の災害発生の直接的原因であることは明らかである。古来那賀川からの流出土砂によつて形成された沖積平原はデルタとして発達し,和田岬のスピットを形成し,明治初年頃において海岸線是那賀川町江野島付近で現在堤防線を距る約250m沖合にあり松樹蔭として人家約60戸が点在する天然の平和郷であつた。古くは北方の和田島においてスピットの先端,(現在和田島)付近より南約500mの地点において現在の汀線より陸の方約150mの点に旧護岸のあとが存在している。また幕末の頃南の那賀川河口,平島村出島付近においては米の積出港として千石船が出入りしていたと

図-2 今津坂野海岸平面図



いわれている。その後明治 17~18 年頃に今津村江野島海浜に簡単な海岸制水工事を施工したあとがあるが、これは本海岸における汀線変化によつたものと思われる。さらに明治 25 年 7 月 25 日に大暴風があり、これに津波をともし寄洲松林を崩壊し大惨害をうけたので初めて国庫補助をうけて石積築堤を施工した。しかしその後汀線の後退は一層急激となつたので地本民の不斷の努力にもかかわらず堤防線固定は困難となり次第に引堤をくり返し、現在の位置まで約 300 m 後退したものと見るべである。すなわち表-1 がそれを示している。

表-1 今津海岸引堤年表

引堤年月	引堤延長	引堤場所	原因
明治38年	434 間	今津村江野島	明治37年9月17日の台風
〃 40年	505 間	今津村今津浦芳崎	明治40年6月27日の台風
〃 45年	237 間	〃 江野島	明治43年9月28日の台風
大正2年	158 間	〃 色ヶ島	
〃 4年	918 間	〃 江野島	昭和4年8月5日の台風
昭和4年		県営移管	
〃 9年	現在堤防	今津村芳崎より坂野町和田島	昭和9年9月21日の台風

最近さらに近く昭和 21 年 12 月 21 日南海地震およびその後の地盤沈下により水面の上昇とそれによる汀線後退はいちじるしく、浸食速度はかなり大になり、寄洲の消滅、堤防護岸根部の深掘れを生じ、本堤の波浪越流、欠壊等すてはおけない事態に立ちいたつた。

ここに汀線の変化速度は明治 20 年より現在にいたる約60年の間に、那賀川河口においては約 400 m 沖合へ前進し、中央部今津村江野島付近においては約 250 m 後退し、坂野町和田島付近においては約 150 m 前進したことになる。その区間の汀線の長さは、和田岬先端より約 500 m (前進) 那賀川河口左岸より北へ約 2.0 km (前進) 他の地域約 10 km の間は後退して、これが浸食地域であるといえる。ここに前述の南海地震による地盤沈下により約 70 cm の水位上昇をきたし、海岸線全体が約 10~15 m の汀線が後退し、さらに水深の増大による波力の増大が本海岸の浸食をさらに進めたことは明白である。

3. 近年における災害の発生状況

今津坂野海岸が県下における有数の災害カ所として有名になつてすでに 40 年を経るが、この間海岸の浸食機構が明らかにされず、しかも海岸浸食予想外にいちじるしく、護岸前面の海底勾配が急に変化し、このまま放置することはできなくなつた。とくに昭和 25 年 9 月のジェーンとキシアの両台風により、昭和 9 年の室戸台風により大きい災害をうけ、本海岸の構造物はほとんどすべてがその機能を失なつた。昭和 27 年 12 月現在の調べによると、堤防護岸延長 5.4 km、防砂堤 46 基のうち砂防堤としているものは 8 基しかなく、その後昭和 29 年 9 月の 12 号台風の際に大きな災害発生にいたつた誘因といえよう。いま昭和 20 年より昭和 29 年にいたる 10 年間の災害復旧費を示すと次の表-2 のようである。

表-2 災害復旧費（昭和 20 年～29 年）

年 度	今 津 大 手 海 岸		坂 野 大 手 海 岸		計	
	カ 所	金 額	カ 所	金 額	カ 所	金 額
昭和20年	6	27 410 000	2	12 690 000	8	40 100 000
21年	16	20 625 000	2	15 210 000	18	35 835 000
22年	8	13 550 000	4	6 805 000	12	20 355 000
23年	28	106 187 000	22	140 130 000	50	246 317 000
24年	9	11 940 000	4	8 257 000	13	20 197 000
25年	19	112 355 000	15	410 065 000	34	522 400 000
26年	9	29 721 000	3	44 172 000	12	73 893 000
27年	1	2 622 000	—	—	1	2 622 000
28年	6	99 049 000	5	19 605 000	11	118 654 000
29年	9	28 359 000	8	70 243 000	17	148 602 000
計	111	501 798 000	65	727 127 000	176	1 228 975 000

註：（1）カ所および金額は建設省査定額である。

（2）23年度には地盤沈下対策費をふくむ。

（3）金額は昭和 26 年以降を 1.0 としそれ以前は下記の指数によるすなわち、20=78.73、21年=21.6、22年=4.86
23年=2.04、24年=1.37、25年=1.37

4. 今津坂野海岸の風、波

（1）風

本海岸の風に関する既往の長期間記録がないので、本海岸にもつとも近く地形的によく似た 徳島气象台における観測記録を用い、これを本海岸の風の記録とすることにした。また有義的な風として、かりに風速 7 m/sec 以上のものを整理すると昭和 7 年～昭和 26 年までの月別方向別頻度および平均風速グラフ（図-3）と、強風の方
向別頻度および平均風速グラフ（図-4）のとおりである。その図より明らかに年間を通じ最多風向は SSE であ
り、これについて W の風が卓越している。またこれを季節的にわけてみると夏季においては SSE を中心とする
SE 方向の風が卓越し、冬季においては WNW を中心とする NE 方向の風が卓越している。さらに海岸線方位お
よび対岸距離の関係では NW 方向の風は、すべて陸風であり、ここでは海岸線に対しては安全側のものとした。
SE より SSE にいたる間は太平洋に面し、対岸距離は無限大に近く、海岸線に対しても 45° の角度をもち、台風
の進路からまず第一の危険風向といえよう。これについて NE 方向の風は対岸距離は 105 km、海岸線に対して約
70° に吹きつけるもので、これが第二の危険風向と考えられる。

その他対岸距離の大きいものが、海岸におよぼす作用も大きいとすれば N 方向の風がこれについているよう
である。

図-4 徳島における強風の方角別頻度図およびその平均図

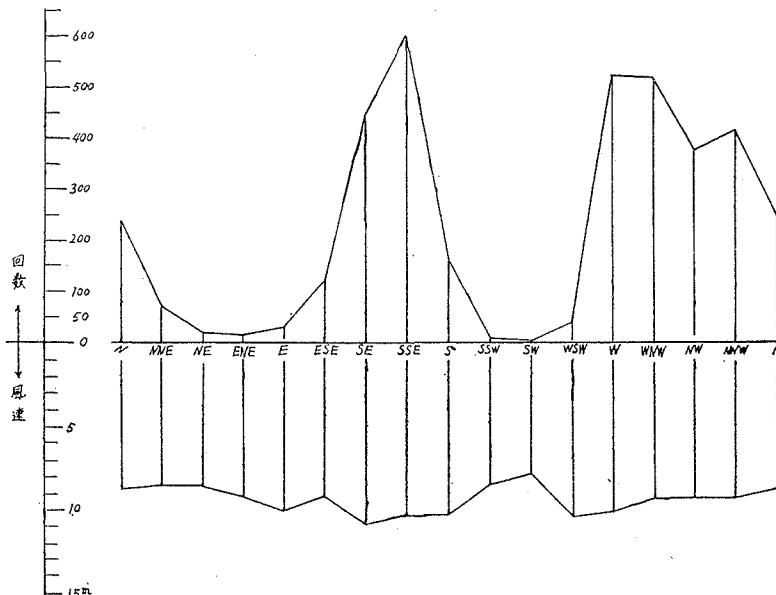
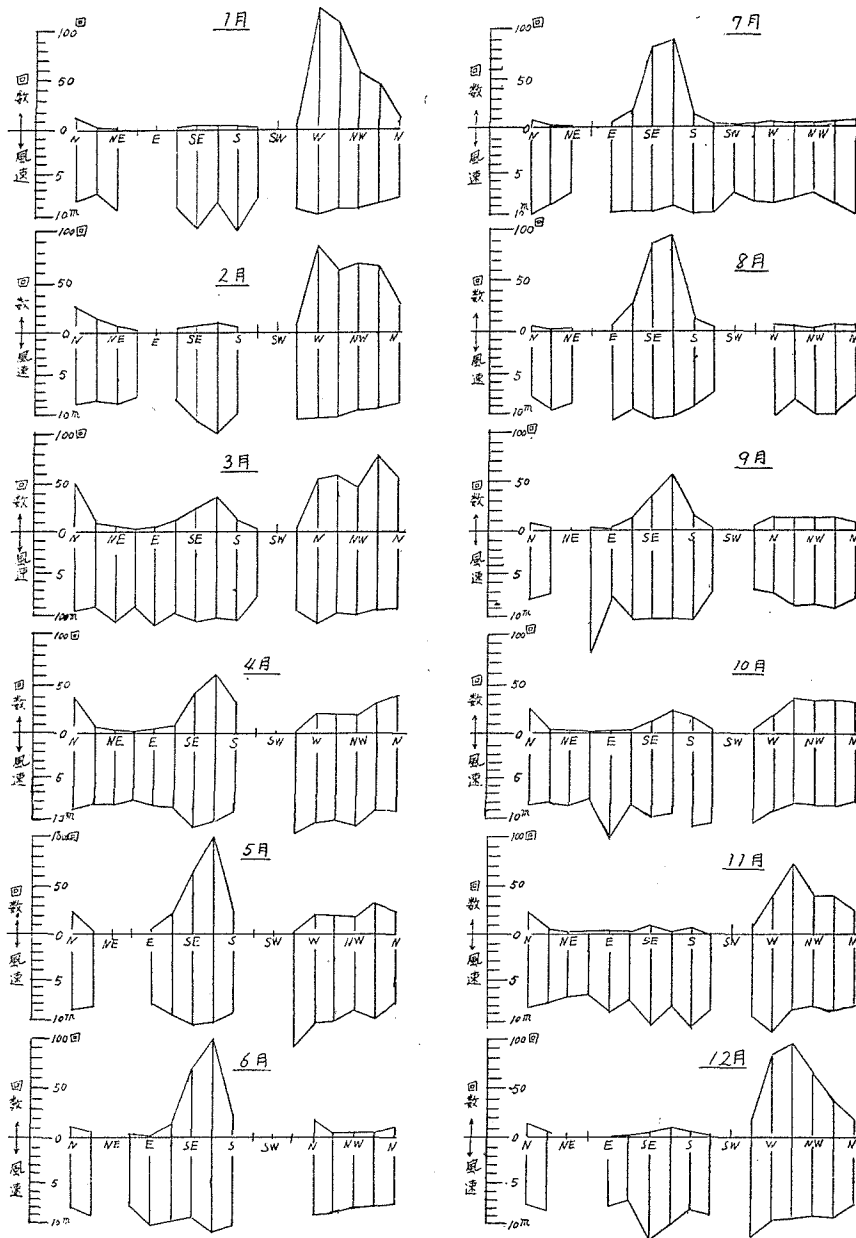


図-3 徳島における強風の平均風速図



(2) 潮位

本海岸には既往の資料がとぼしいので、徳島気象台の小松島港における潮位観測記録を用いることにした。なおその観測期間は1951年より1953年に至る3カ年である。高さの基準は東京湾中等潮位によつたものでその結果はつぎのとおりである。

朔望平均満潮位	+0.817 m	最高潮位	+1.432 m
朔望平均干潮位	-0.972 m	最低潮位	-1.498 m
平均潮位	+0.035 m	大潮差	1.789 m

最高潮位は昭和29年9月26日5時40分の15号台風による水面上昇高さ0.6mを用い、最高潮位を算出すると最高潮位=0.817+0.6=1.417mとなり、これは既往最高潮位1.432mによく合っている。

(3) 波

本海岸における波の現地観測の資料としてはほとんど信頼できるものがないので、本海岸の波として気象およ

図-5 今津坂野海岸波浪回折図 (周期 4 S. 風向 NE)

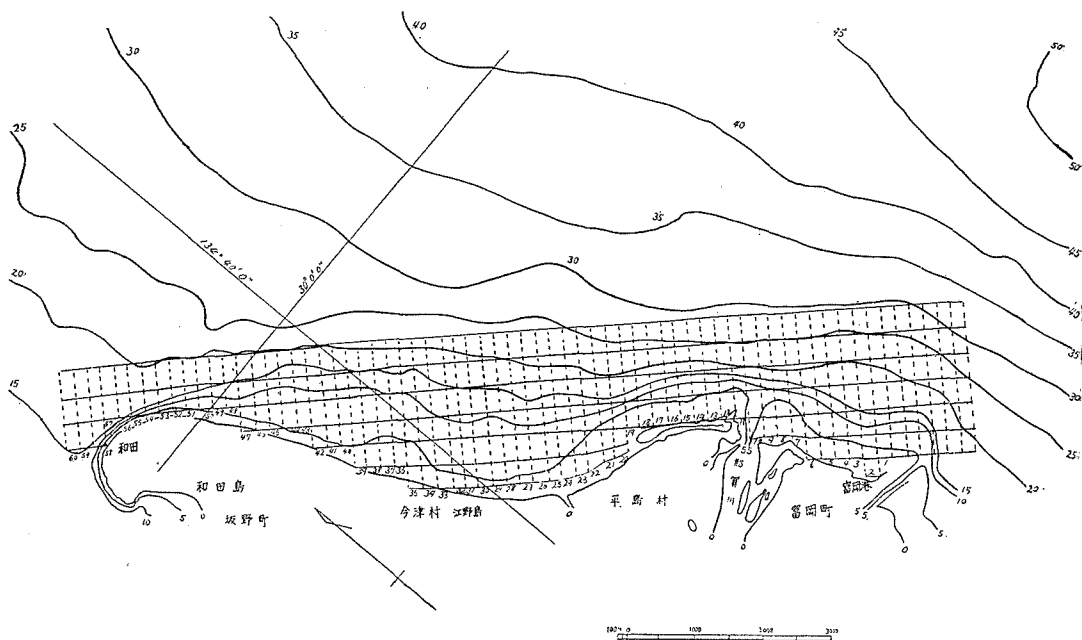
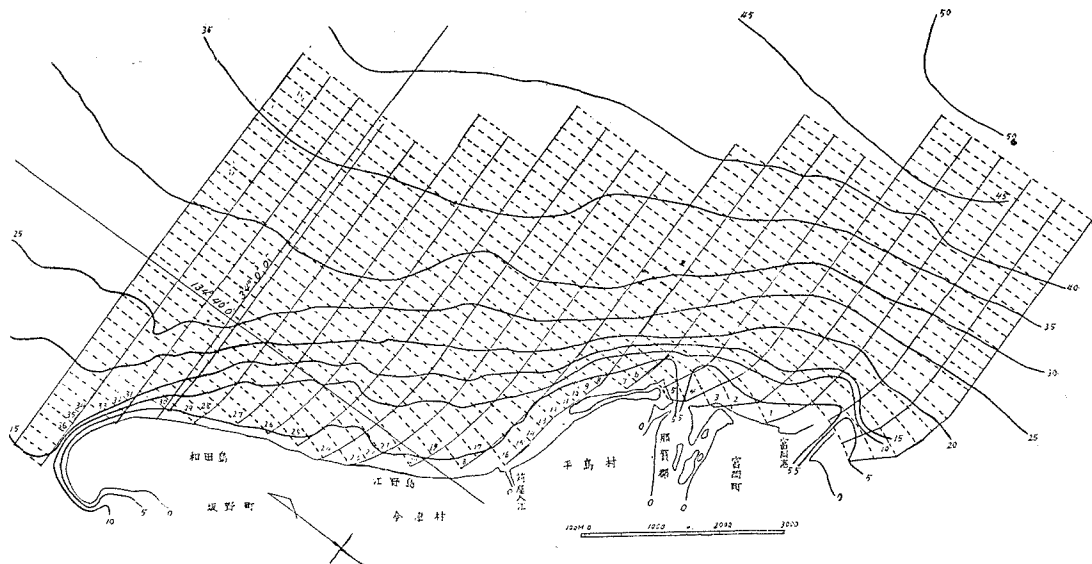


図-6 今津坂野海岸波浪回折図 (周期 6 S. 風向 N)



び深浅測量による海底地形の実測図により、波の回折理論により、性格を解明することにした。

その回折図は図-5, 6 に示すとおりである。これから海岸ぞいの波高分布を求めると図-7 のようになり、現地における観測状況とかなりよく合っている。

5. 海岸災害助成工事

(1) 昭和 29 年 9 月の 12 号台風の状況

先に記したように暴風時浸食性を示す本海岸では、災害の発生は毎年累加の傾向を示し、とくに昭和 25 年のジエーンおよびキシアの両台風、昭和 29 年の 12 号台風に際して、波浪の越流、護岸根部の深掘れにより海岸堤防の崩壊、欠壊により海岸線が寸断せられるにいたつた。ここにおいて従来のような原形復旧にとられた。災害を繰り返すばかりであり、海岸浸食に対する根本的対策とならないことが明白となり、種々なる調査の結果改良計

図-7 波向別の海岸沿いの波高分布図

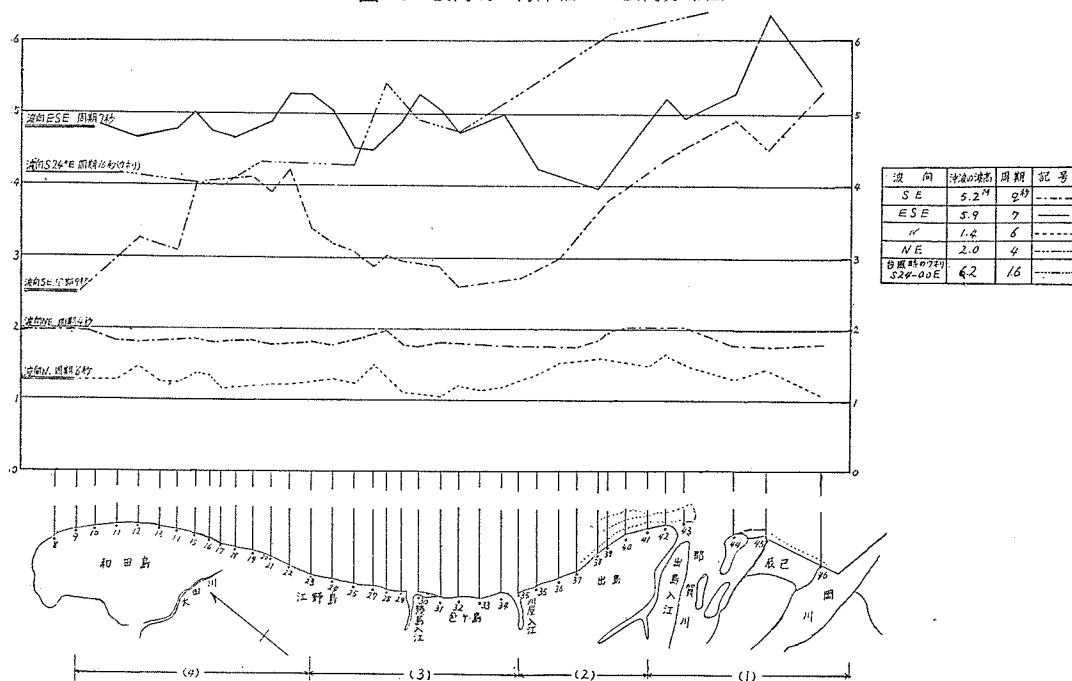
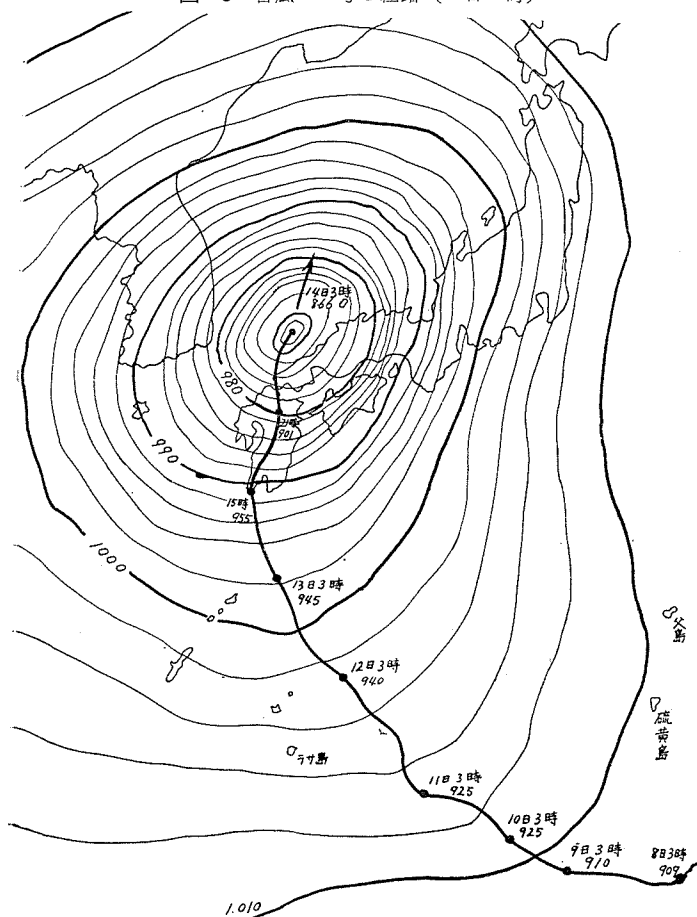


図-8 台風 12 号の経路 (14日 3時)



画を確立し災害助成工事として昭和30年度より本格的工事の着手にいたった。このように災害助成工事の計画とその実施の動機となつたのは昭和29年の12号台風であるのでいまその概略を示してみよう。

1) 気象概況(図-8) 台風12号は29年9月4日南鳥島南方約600 km マリアナ郡島東方洋上に発生し次第に発達しながら西に進み、8日には中心示度910 mb, 中心最大風速60 m/sec 半径400 km 以内は25 m 以上の台風になつた。

その後進路を大体西北西にとり、10日朝には硫黄島の南西約600 km 海上に達し中心示度925 mb となつたが、25 m/sec 以上の暴風雨は半径500 km となり進路を北西に変え、12日午前3時には南大東島東方約200 km の海上に進出した。これより進路を北西ないし、北々西に変え、13日11時頃屋久島付近を通過北上を続け、13日16時頃鹿児島湾より九州南部に上陸し、九州を縦断、中国西部を経て14日3時に島根県浜田市北西沖の日本海に出た。本県では台風12号の中心が硫黄島の南

西 600 km の海上にあつた 9 日頃より県下の沿岸は全般にうねりが高くなり大波が打上げはじめたが、とくに 10 日頃よりいちじるしく高くなり、これがため本海岸では今津村江野島、坂野町和田島地区で堤防が欠壊し、今津村では水防団の非常呼集を行なつて水防作業を行なつた。さらに午前 2 時には最大風速 32.2 m/sec、瞬間最大風速が午前 1 時 54 分において南東 44.5 m/sec に達した。

これらの最大風速はいずれも昭和 16 年 8 月 15 日の台風以来の最大風速で昭和 25 年シェーン台風時の最大風速をはるかにしのぐものであつた。

この 12 号台風の特徴としては

- 暴風圏が前例のないほどきわめて大きかつたこと。
- 9 月の台風としては進行速度がおそく、暴風雨の継続時間が長かつたこと。
- 台風の中心域が非常に大きく、中心より 100~200 km の外域に風の最大域があつたこと。
- 台風の到着以前よりウネリがきわめて大きく、時間も長く、大波による被害がいちじるしく大きかつたことなどである。

2) 海岸堤防の被害状況 前述のように 12 号台風の風速 13 m/sec 以上の風の継続時間が 28 時間におよび、また台風の到着以前よりウネリが非常に大きかつたために海岸線は暴風海岸として浸食をうけやすい条件にあつたといえる。しかも他方 25 年以來の既往の被害カ所が大半未復旧であつたので、当然これらのカ所がさらに大きく破損し、災害のあとがさらに災害を生んだ状況になつた。こうして台風の継続時間が長かつたので、大破した堤防のゆすぶりが大きく、わずかのすき間から土砂が吸出され護岸内部に空洞ができ、さらに波の衝撃力により欠壊したカ所が非常に多かつた。

12 号台風による本海岸の被害状況は次の表—3 とおりである。

表—3 昭和29年12号台風による被害状況

今津海岸	堤防欠壊 防砂堤流失 復旧工費	6カ所 5基	614 m 135 127 000円
坂野海岸	堤防欠壊 防砂堤流失 復旧工費	4カ所 5基	583 m 154 910 000円
	堤防欠壊 防砂堤流失 復旧工費	10カ所 10基	290 037 000円

表—4 未復旧工事費

年災別	カ所数	工 種	延 長	復旧査定額	摘 要
25年災	13	護岸工 突堤工	1 390 m 18基	171 833 000	他に 28.29 災へ 93 563 000
26年災	8	護岸工 突堤工	940 m 7基	55 436 000	他に 29 災へ 8 398 000
27年災	0				29 災へ 2 622 000
28年災	5	護岸工 突堤工	550 m 4基	56 475 000	他に 29 災へ 42 792 000
29年災	17	護岸工 突堤工	1 197 m 22基	290 037 000	
計	43	護岸工 突堤工	4 077 m 51基	573 781 000	

復旧工費は建設省査定額によつたものであるが、29 000 万円におよぶ災害復旧費のうち約 14 000 万円は過年度災害の未復旧費であるから、それがいかに大きな災害を生むかもはかられず、復旧工費の速やかな施工が痛感される。いま台風当時において過年度災害個所の未復旧状況について調べてみると表—4 のとおりである。

以上の表に示すように 25 年災害より 29 年の 12 号台風までの残事業量は護岸において約 4 000 m 復旧工費においては実に 57 千万円以上の多額に上つている。

(2) 海岸堤防災害の原因

昭和 29 年の 12 号台風による海岸堤防災害の原因についてさらに施工面より考慮してみるとつぎのとおりである。すなわち、

(a) コンクリート護岸においては施工目地、伸縮目地共に突き合せ目地となつているためこのすき間から内部土砂が吸出されコンクリート護岸に空洞できていたこと。

(b) 石積護岸においては練石積ではあるがわずかの積石の狂いが吸出しの原因を作つていたこと。

(c) 井筒基礎を有する護岸では井筒の間のコンクリートに狂いを生じ、これより土砂が脱出したこと。

(d) 護岸法面が 11 m 以上の長さを有ししかもノリ面が平滑であるため、護岸法面の途中で波力を分散せしめることができず、波が堤防天端まではい上るとともに、さらに引波と寄せ波による重複波を大きなものとし法腹に対する衝撃波力を増大せしめたのみならず、根部の深掘れを大きくしたこと。

(e) 過年度の災害によつて防砂堤のほとんどが流失、または崩壊し防砂堤としての機能を発揮しえなかつたこと。

(f) 防砂堤は長さが短かすぎて、先端水深が浅く、さらにその上、先端の天端高が高く、横断勾配も急で、反射波による深掘れ、波力の増大をきたし防砂堤自身の破壊が早かつたこと。

(g) 先の南海大地震により地盤沈下を起し、堤体が弱体化していたこと。

(h) 護岸工事に平行して防砂堤を施工すべきであるのに予算の関係上、護岸のみが先に進み突堤の施工が遅れたために根部に深掘れを生じ災害をうけたカ所があつたこと。

(i) カ所により堤防天端が低いために、越流により堤裏より崩壊を生じたところもある。

(3) 計画断面の概要

以上のような災害に対する工事として、種々なる考察の結果、つぎのような計画を樹立することになった。

(a) 堤防の標準断面 建設省防災課および土木研究所の協力をえて図-9, 10, 11 のような3種の堤防標準断面を決定した。

図-9 中段波返護岸標準断面図

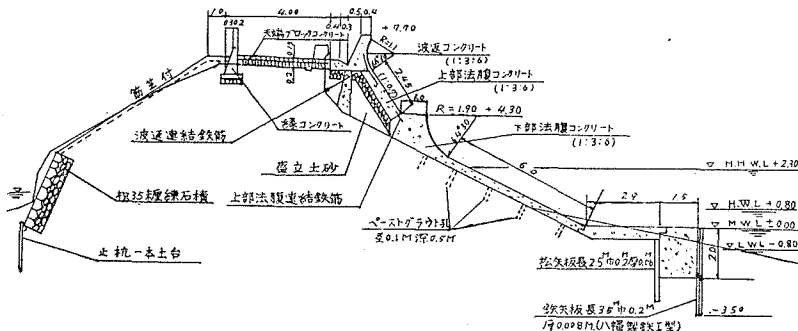


図-10 普通階段護岸標準断面図

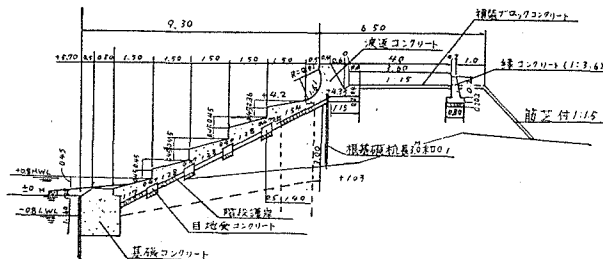
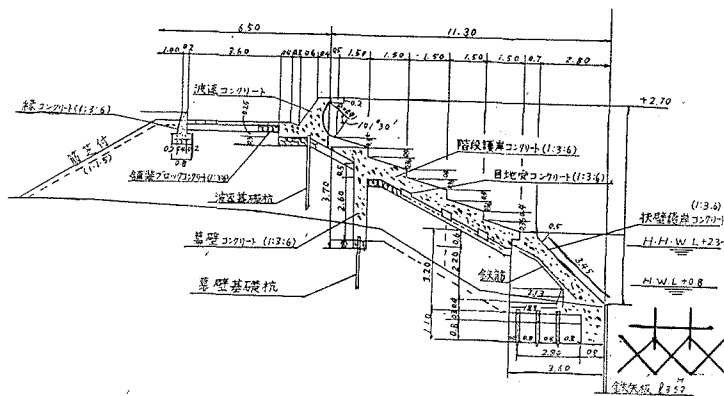


図-11 扶壁階段護岸標準断面図



以下各断面につき簡単に述べてみると、

扶壁階段護岸 (図-11) : 波による基礎部からの土砂の吸出を防止するとともに水中コンクリート量を減ずるため長さ 3.5 m の鉄矢板打ちおよび、径 45 cm の mixed-in-pressed pile を施工した。

堤防断面を3つの部分すなわち扶壁護岸部、階段護岸部、天端工部にかけて扶壁護岸部は前法勾配を1割の鉄筋コンクリートとし、5 m ごとに扶壁を設け、最悪の場合内部土砂が脱出しても自立できるようにした。+2.80 m より上は波のはいり上りを防ぎ波力の分散をはかる目的で1.5×0.4 m の階段5段設計と、1段目の下には堤防の縦断方向に厚さ 50 cm の幕壁を設け天端工部との縁切りをした。

目地から堤体土砂の脱けるのを防ぐためと階段の滑動を防ぐ目的で階段護岸の下には幅 40 cm、厚 30 cm の目

地受コンクリートを方格枠状に施工するようにした。天端は幅 4.0 cm とし 1/40 勾配で裏側を高くするとともに、天端より 30 cm 高く裏よう壁を設け越波が堤裏へ乗り越えないようにした。最悪の状態で堤防が破堤した場合に完全欠壊を生じないように、横断方向には護岸を 3 つの部分にわけるとともに、縦断方向の増破を防ぐために 15 m ごとに隔壁を施工するようにした。

中段波返護岸(図-9)：これは既設コンクリート護岸のかさ上げ、補強を目的とする断面で、まず護岸裏の空洞に対し、セメント 20%，フライ アッシュ 80% のペーストグラウトを施工するようにした。護岸法面の中間、高さ 4.3 m の点に幅 1.0 m の中段波返しを設け引波と寄せ波による重複波ができるだけ護岸基礎の上で起きるようにした。

普通階段護岸(図-10)：この断面は和田島町の小松島湾に向う比較的波高が小さく、浸食性の少ない場所に用い、基礎は松矢板とした。

防砂堤の配置構造(図-12)：防砂堤については護岸工と関連施工し、現在非常に速い速度で進行している浸食を防止し、護岸の安全をはかるため長さや配置並びに工法を検討した結果つぎのような計画を立てた。

現在の防砂堤は長さが約 35 m で、先端の高さが満潮位上 1.0 ～1.5 m に達し不透過構造で、十分な養浜効果を発揮せず、欠壊の原因となっていたので、先端高を中等潮位まで低くするとともに、六脚ブロックを使用した透過構造とした。また防砂堤の長さについては海底縦断図および波浪回折図より求めた第 3 回目の碎波点を防砂堤の先端位置とし、水深 2.6～3.0 m まで堤を護岸線に直角に出すようにした。防砂堤の間隔は波浪回折図より碎波角を求め、平均最大波高によって決まる汀線勾配との関係から佐藤博士の理論より計算して 100 m とした。

その形は縦堤にそう離岸流をなくするため縦堤の先端において護岸線に平行に長さ 60 m の横潜堤を設け T 型とした。

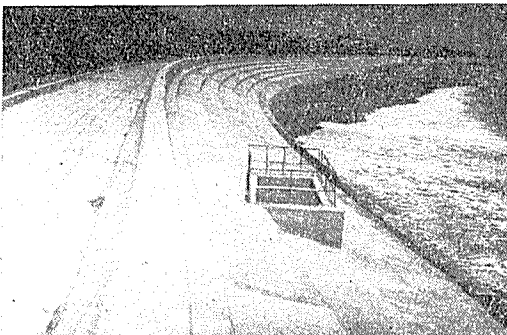
(4) 全体計画

前記のようないろいろの検討を加えた結果全体計画を作成し、昭和 30 年 12 月 26 日付で海岸災害助成工事として建設省の認可をえて本格的に工事に着手することになった。その計画堤防延長は 7 682.2 m，防砂堤 48 基，総事業費 96 000 万円になっておりその内訳はつぎのようである。

総事業費	960 000 000 円	助成費	386 219 000 円
施工内要の概要をあげると			
扶壁階段護岸施行	2 760 m	天端高	7.7 m
中段波返護岸施行	2 280 m	1 m かさ上げて	7.7 m
普通階段護岸施行	1 308 m	天端高	5.7 m
グラウトのみ施行	1 330 m	天端高は	7.7 m
計	7 678 m		
T 型防砂堤	48 基	各長	60 m

(5) 工事施工の状況

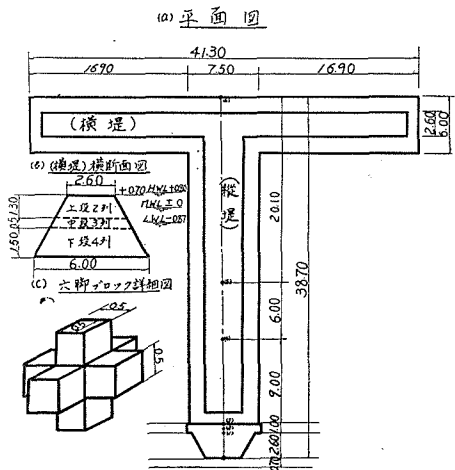
写真—1 扶壁階段護岸



写真—2 中段波返護岸



図-12 六脚ブロックによる防砂堤の配置構造図



前節の全体計画に従つて工事を進め、昭和 33 年 3 月末現在で約 65% の進捗を見た。堤防護岸については計画延長 7700 m のうち約 6700 m が写真—1~2 のように竣工したが、浸食防止の基本工事である防砂堤については 19 基を施工した。現在までにそれらの護岸および防砂堤は、もちろん破損せず有効に働いている。

防砂堤および根固め工事は、全部六脚ブロックを組み合わせた透溝構造としたが、ここにとくにその六脚ブロックについて述べてみよう。

使用した六脚ブロックは一辺 $a=0.5$ m、一脚の長さ $l=0.5$ m、または 0.65 m とし、組み合わせの方法は図—12 のように三脚が下向きのものとし、一脚が下向きのものを 2 段に組合せた 2 段積みの場合と、下の段が三脚下向き、中段が一脚が下向き、上段が三脚下向きの 3 段積みの場合の 2 種類とした。

T 型防砂堤 1 基に要するブロックの数は縦堤長 32.5 横堤長 41.3 m、3 段積みのもので 523 コである。

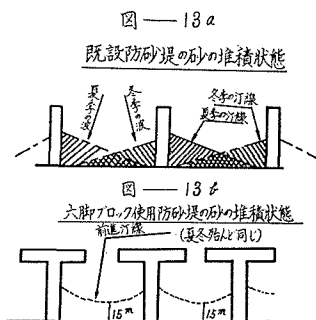
この場合の空ゲキ率は

1 段目 (下部) 67.9% 2 段目 (中部) 56.0% 3 段目 (上部) 59.7%

コンクリートは 1:3:6 の配合とし、脚と中央体との継ぎ鉄筋として径 12 mm、および 9 mm の鉄筋を入れたブロックは現場で製作し、トロ台車に乗せて防砂堤施行位置まで運搬し、水深 1.5 m までは仮棧橋を組み木製デレッキで据付けた。段取りによつては 1 日平均 30~40 コの据付けが可能であつた。水深が深くなると船に「二また」を設置し潜水夫を入れて据付けると能率が上つた。

なおブロックの型ワクは木製のものを用いたが、ブロックのでき上りの状態およびバイブレーター使用によつては、鉄製型ワクを用いるべきであらう。

図—13 防砂堤における砂の堆移状態比較図



写真—3 T 型六脚ブロック防砂堤



これらのブロック使用により、1.5 m³ の玉石コンクリートブロック積みと同じ断面の防砂堤に比較して工費で約 3 割節約できた。また六脚ブロックの空ゲキと表面粗度によるエネルギーの吸収は予想以上に効果的で台風時における反射波はほとんど見られなかつた。なお施工中または施工直後にブロックは縦堤先端部、および横溝堤部では 0.5~0.8 m 程度沈下したが、組み合わせの状態には変化はなかつた。さらに堤の空ゲキが 56~68% であるので、波とか沿岸流が堤体内を通過するとき、漂砂もともに移動するので、突堤の風下側に深掘れを生じることがなく、砂が海岸線に平均に堆積されて汀線は平均して約 15 m 沖に前進した。いま以前の防砂堤と六脚ブロックによるものとの漂砂の堆積状況を比較すると、図—13 a~b のとおりである。最後に六脚ブロックによる防砂堤を写真—3~4 に示しておく。

写真—4 防砂堤による養浜状況 (先端は水面下)

