

台風7617, 7916, 7920号による高知海岸の災害について

上森千秋*・玉井佐一**・土屋義人・安田孝志***

DISASTERS OF SEAWALLS CAUSED BY TYPHOONS 7617, 7916 AND 7920 AT KOCHI COAST

By *Chiaki* AGEMORI, *Saichi* TAMAI, *Yoshito* TSUCHIYA
and *Takashi* YASUDA

Synopsis

Beach erosion is a matter of great concern in Kochi coast where the shoreline has receded more than 50m during the past thirty years. Especially, near the river mouth, the beach erosion is caused by remarkable decrease of sediment supply from rivers into the coast and is accelerated after the construction of dams.

This paper presents the results of investigation on the disasters of seawalls occurred by Typhoons 7617, 7916 and 7920 at Kochi coast. It is concluded that the chief cause of break-down of sea walls is beach erosion. From the recent situation of beach erosion, it is pointed out that such coastal disasters will so often occur in Japanese coasts and that necessary countermeasures have to be carried out from the view point of long-term shore protection.

1. ま え が き

台風常襲地である高知県は、河川および海岸災害など水災害が全国的にも多いところである。さらに、近年砂浜海岸の侵食に伴って海岸構造物、なかでも海岸堤防の被災が顕著になってきている。このような傾向は、高知海岸のみならず、全国的な傾向ともいえるようであり、海岸防災および海岸保全の上から大いに憂慮される問題であろう。

本研究は、高知県に襲った台風7617, 7916および7920号による海岸災害に着目し、その主因となる海浜の動向、海象を考察し、災害発生の機構を解析して、今後類似の海岸災害の予測および防災、保全対策について考究するものである。

2. 高知海岸における海浜地形変動の現況

土佐湾中央部には、仁淀川、物部川、安芸川および伊尾木川が主にもたらす流送土砂によって Fig. 1 に示す高知海岸が形成されている。このうち、手結～新尾間約 30 km の Fig. 2 に示す各測点での 1948年(昭和23年)より1979年(昭和54年)までの汀線変動を示すと Fig. 3 のようである¹⁾。図は1948年を基準に約31年間の汀線の累加移動量の沿岸方向分布を示し、負の値は汀線の後退を、また正の値は前進を表わしている。沿岸方向の測定間隔は種崎地区(測点 K~1~6)は400m間隔で、仁淀川河口域(測点 N~1~25)は100m間隔であるが、他の地区は200m間隔にとり、測定値は移動平均して図示した。図によれば、高知海岸では全般的に汀線の後退がみられ、約31年間に大きいところでは50mに及ぶ汀線の後退が認められる。それも物部川河口に近い久枝地区、吉川地区、浦戸湾口の仁井田地区および仁淀川河口に近い戸原～甲

* 高知大学教授 農学部

** 高知大学助教授 農学部

*** 岐阜大学助教授 工学部(非常勤講師)

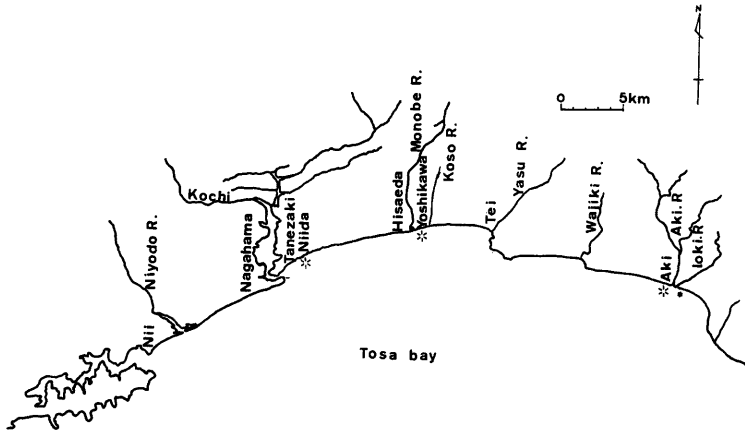


Fig.1 Kochi coast and rivers running into.

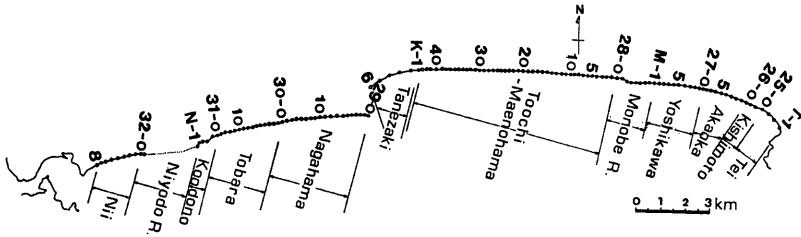
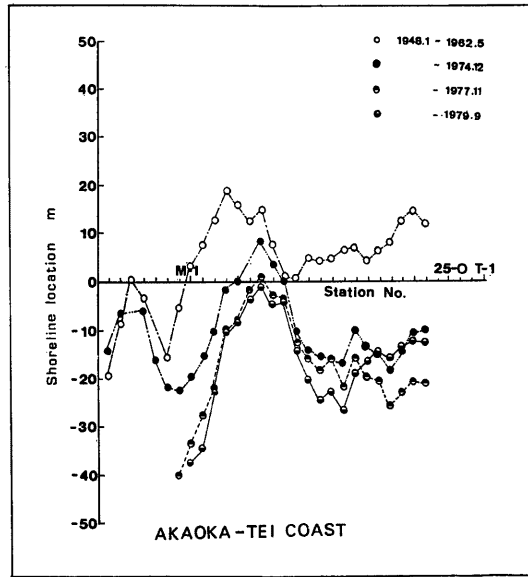


Fig.2 Station numbers at Kochi coast.

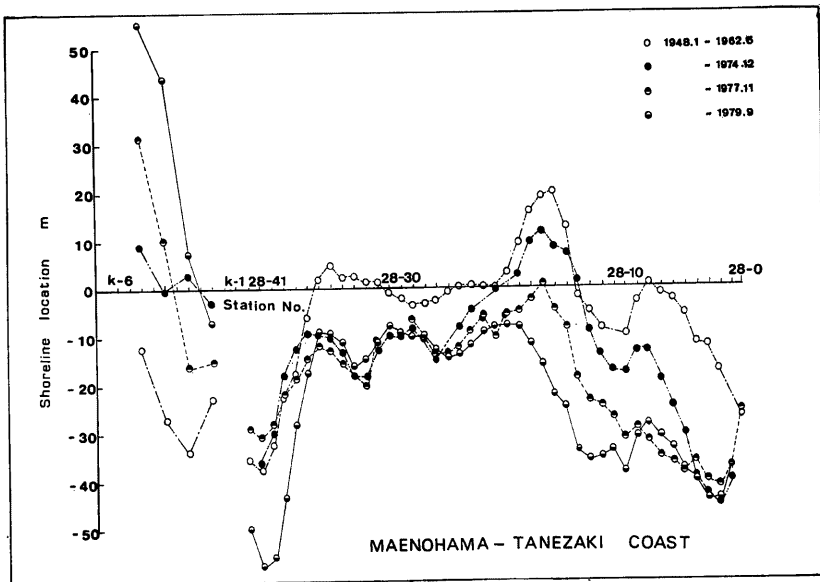
殿地区と新居地区が顕著であり、河口隣接地区で侵食がはげしいことがわかる。したがって、これらの地区には侵食防止対策がとられている。すなわち、物部川河口右岸寄りの久枝地区、測点28-3以西に1973年より離岸堤が設置され、1980年3月までに14基が完工している。一方、種崎地区、K-2～5 においても養浜と同時に1974年よりT型突堤が施工され、1980年には4基が完工している。したがって、これらの地区は図にみられるように、構造物の設置効果によって汀線が回復しつつあることが認められる。しかし、漂砂の下手側にあたる場所、すなわち、久枝地区では測点 No. 28-10～20 付近まで、また種崎地区の東寄り仁井田地区の測点 No. 28-37～41では急激な汀線の後退が生じていることがわかる。したがって、これらの地区は後述するように、台風来襲によって海岸堤防が倒壊するなど被害を蒙っている。

以上のように、高知海岸は大規模な汀線の変動地域としてあげられ、全般的に汀線が後退の傾向にあるが、また一方ではこれらの地域に対する対策工によって部分的には汀線の回復が認められる。しかし、前述のように、このような海岸構造物の設置によって沿岸漂砂が阻止され、その下手側の汀線の後退が助長されるようになっている。

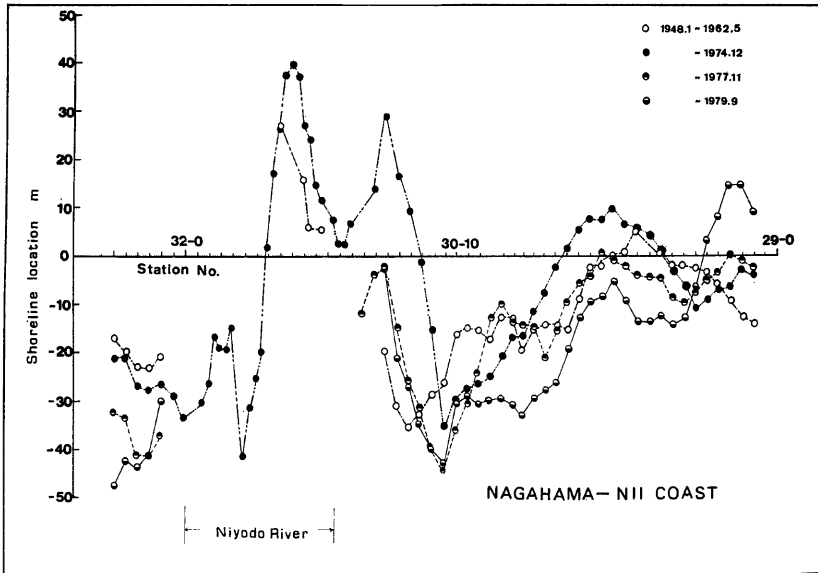
さて、近年のわが国における海岸侵食の第一原因として、河川流域の開発による流送土砂量の減少や海岸および河川砂の採取による漂砂源の変化をあげることができる。



(a) Stations between Tei and Monobe river.



(b) Stations between Monobe river and Tanezaki.



(c) Stations between Katurahama and Nii.
Fig. 3 Longshore distribution of yearly variation of shoreline.

高知海岸に流入または近接する主要河川は7河川であり、このうち Fig. 1 に示した仁淀川、物部川、伊尾木川および奈半利川の4河川に8ダムが建設されている。これらのダムのうち5ダムは1953年より1961年までに、他のダムも1970年までに築造されており、築造時より1976年までの各ダム別のダム内堆砂量を示したものが Fig. 4 である。これらのダムの堆砂量は浚せつ土砂量を除いて $22,074 \times 10^3 \text{m}^3$ に達している。また、河川および海岸における砂または砂利の採取許可量は1966年より1973年まで約 $2,800 \times 10^3 \text{m}^3$ とされているが、実際の採取量はこの2~3倍に達することが考えられよう。

以上のように、高知海岸では相当量の漂砂の減少が推察され、前述のように汀線の後退が生じており、高波浪の来襲時には海岸堤防の被災が顕著になってきたといえよう。土屋²⁾は漂砂源の変化など海岸土砂収支の不均衡は必ず地形変動として現われ、それが大きな災害の要因となる場合が少なくないことを指摘したが、前述の海岸構造物の汀線変動への影響とも併せて海岸保全の上から十分留意する必要がある。

次に、Fig. 5 は1966年8月、Fig. 6 は1973年10月の高知海岸における海浜勾配の沿岸方向の変化を示したものである。図には、それらを後浜、前浜および沖浜部分に分けて示した。当然ながら沖浜部の勾配はゆるやかになっており、高知海岸では距岸 200m~300m 以深 600m までの海底勾配は東部の手続~赤岡および西部の新居地区ではほぼ 1/100 程度の勾配を示すが、中央部の長浜地区では 1/50~1/70 程度でやや急になっている。特に、後浜から前浜部における勾配を1966年と1973年について比較すると、この期間内で侵食が進行した測点 M-1~2 付近、測点 No. 28-0~28-5 および測点 No. 28-40~28-41 で海浜勾配が急になっていることがわかる。

一方、Fig. 7 は1966年8月の海岸堤防前面の地盤高を基準にし、1973年10月までの変化量の沿岸方向分布を示したものである。これによれば、物部川および仁淀川河口部での変動が大きく、これらの地を除けば

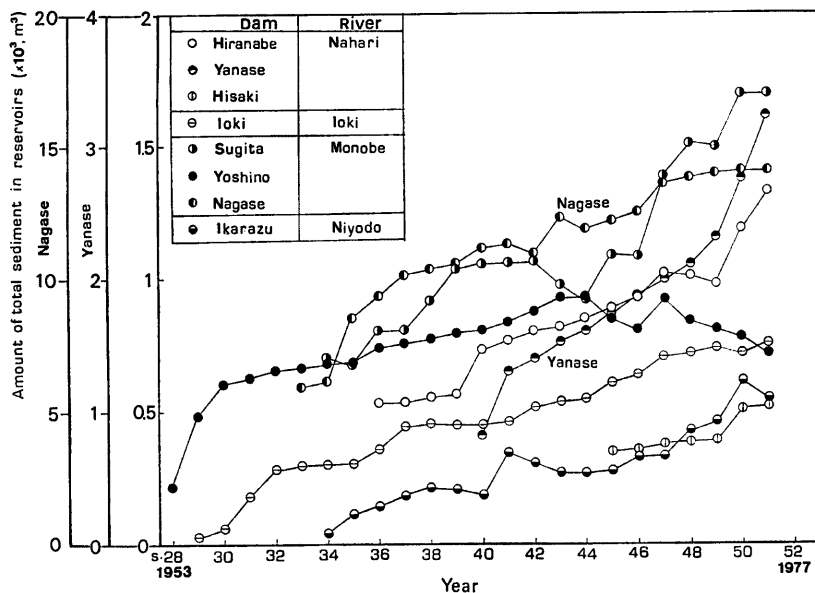
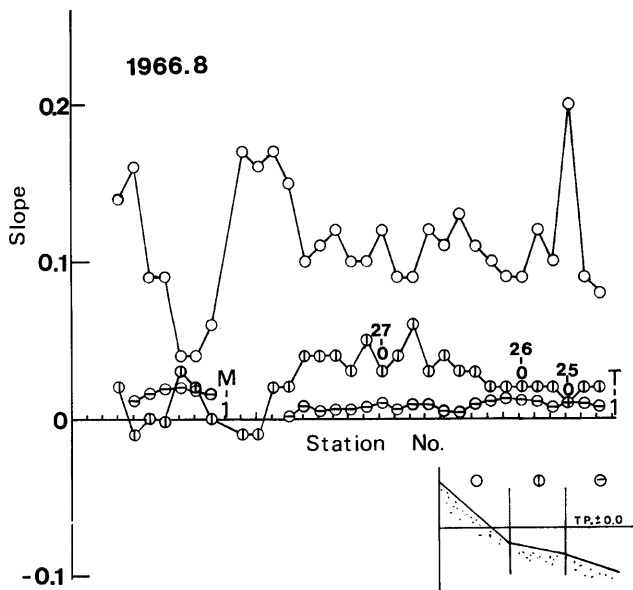
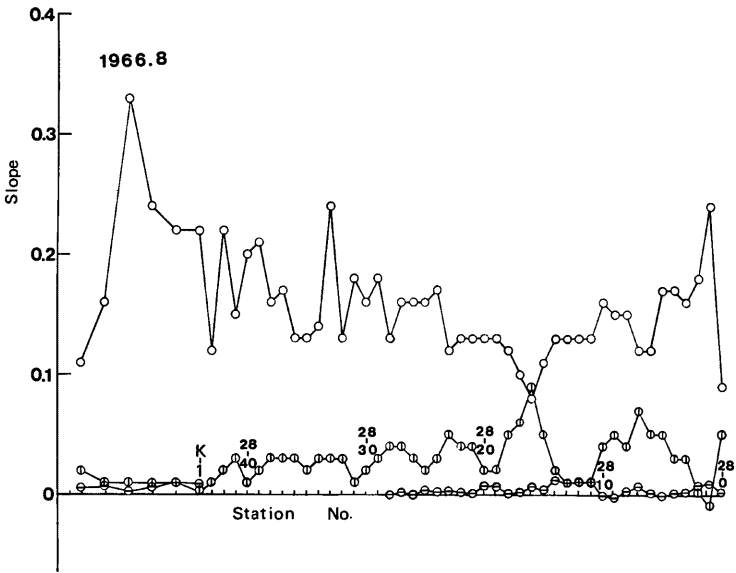


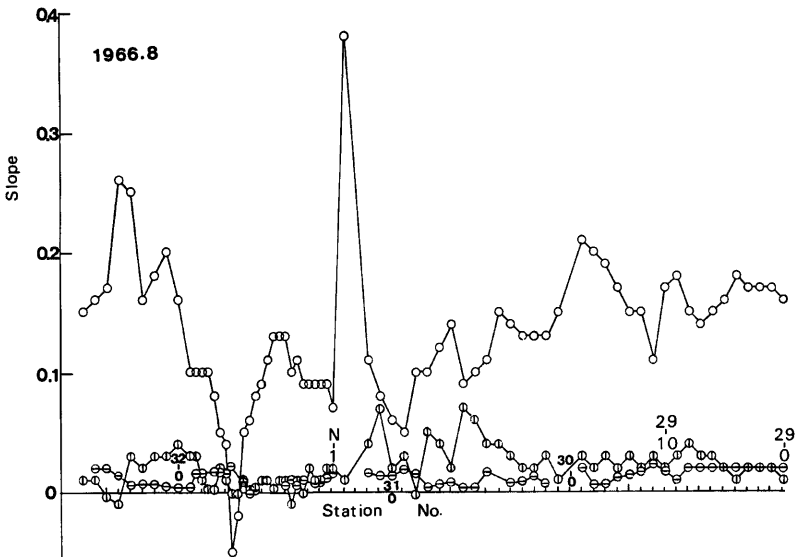
Fig. 4 Total amount of sediment in reservoirs.



(a) Stations between Tei and monobe river.



(b) Stations between Monobe river and Tanezaki.



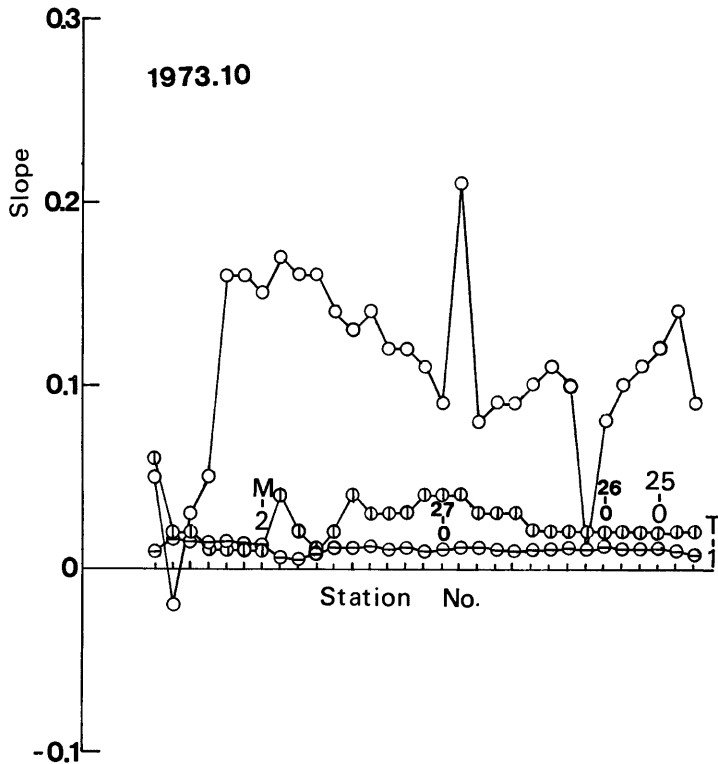
(c) Stations between Katurahama and Nii.

Fig.5 Longshore distribution of beach slopes.

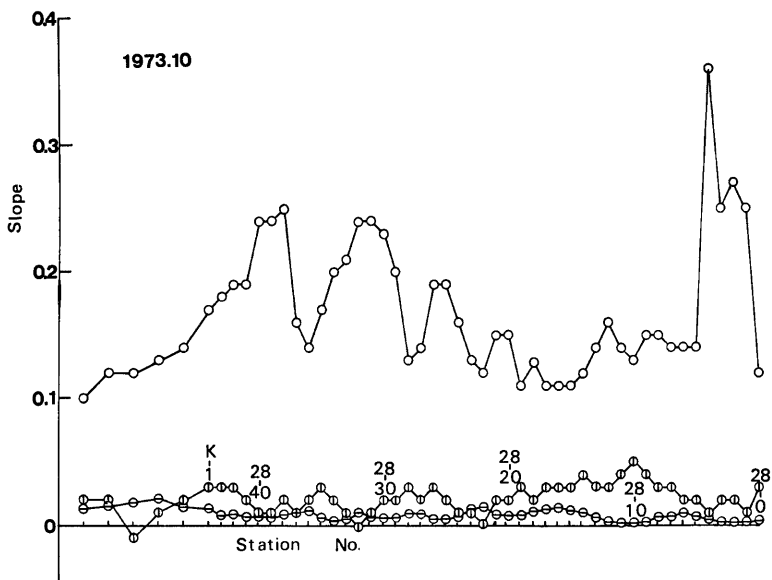
1966年より1973年の間には地盤高が高くなっている。地盤高の変化と海岸侵食との関係については、さらに最近の海岸堤防前面の地形変動について調査し、比較考察することが必要であろう。

3. 台風7617号の来襲

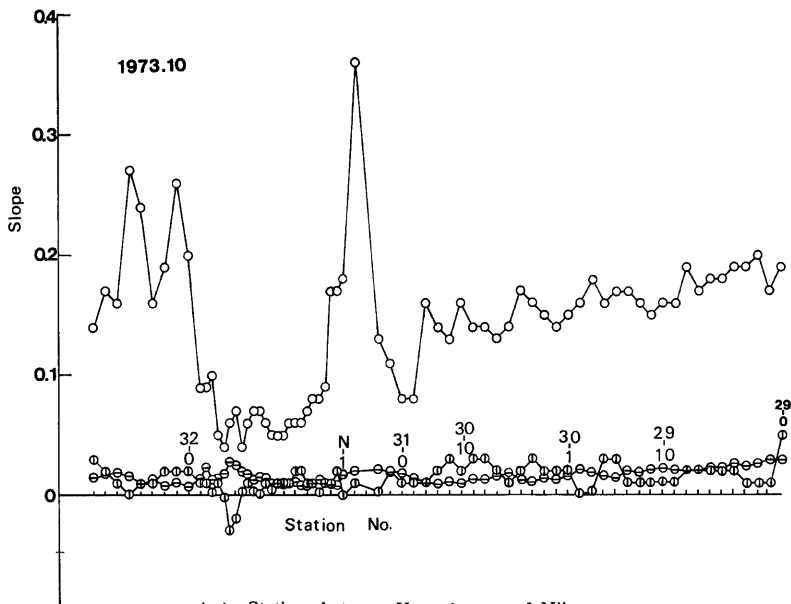
1976年8月10日朝奄美大島を通過した台風7617号はその後速度を遅くし、12日朝まで鹿児島島の南西海上でほとんど停滞した。このことから大雨の継続時間が長くなった。台風はその後北に動き、12日午後から北北東に向きを変え、13日13時40分長崎市付近に上陸した。上陸時の中心気圧 900mb, 中心付近の最大風速 35m/sec で、風速 25m/sec の暴風域の半径は 100km で大型であったが、勢力は並であり、兩台風といわれた。しかし、鹿児島南西海上での停滞が長時間であったことから、高知県の海岸域ではうねり性の波を長時間うけた。特に、波向の目視観測では9日～12日はほとんどS方向であり、したがって、高知海岸では波が海岸堤防にはほぼ直角に入射するようになり、吉川海岸堤防の倒壊および安芸漁港西海岸堤防法面の陥没などの被害も発生した。



(a) Stations between Tei and Monobe river.

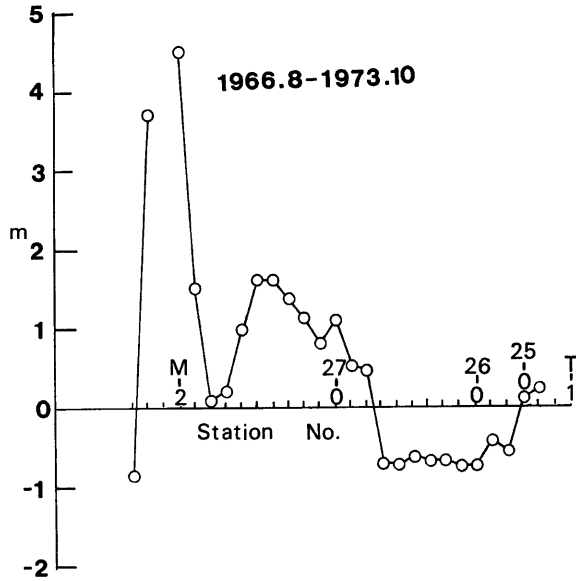


(b) Stations between Monobe river and Tanezaki.

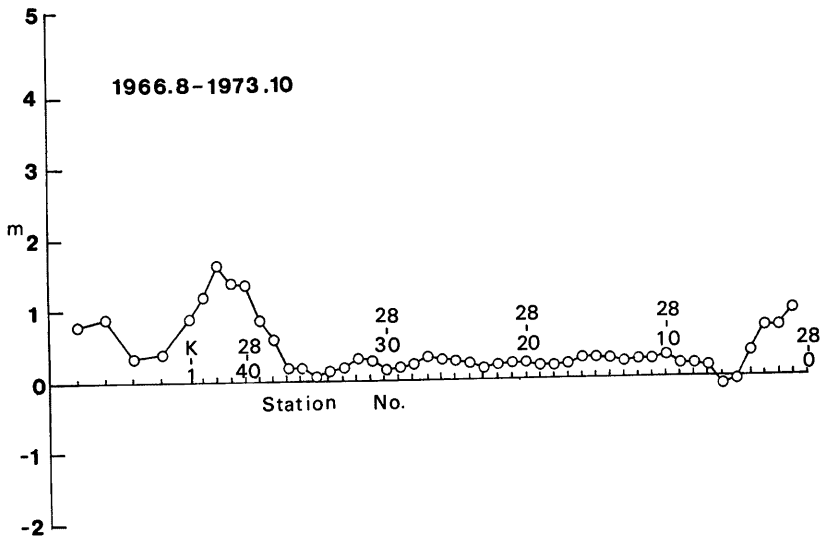


(c) Stations between Katurahama and Nii.

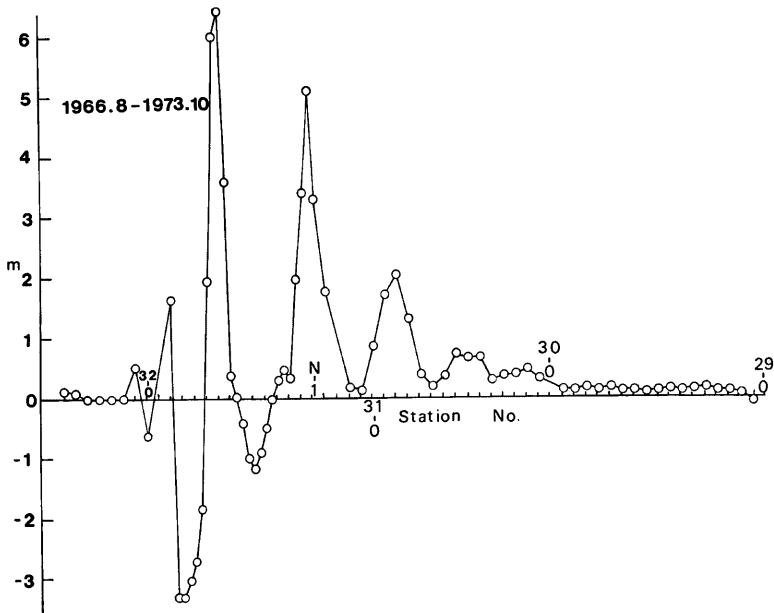
Fig.6 Longshore distribution of beach slopes.



(a) Stations between Tei and Monobe river.



(b) Stations between Monobe river and Tanizaki.



(c) Stations between Katurahama and Nii.

Fig. 7 Longshore distribution of variation of ground level in front of seawalls.

4. 台風7617号による海象

前述のように、台風7617号は兩台風で代表され、高知では比較的風も弱く、9月11日～12日の種崎海岸地上8mの位置での風の毎時観測結果によれば、平均風速の最大は12日21時に15.4m/secを記録し、風向はESEであった。また、高知气象台（高知市内）および高知空港（南国市、海岸より約1kmの地点）での最大風速およびその風向はそれぞれ10.7m/sec、ESEおよび18.3m/sec、ESEで、ともに13日朝に記録されている。

潮位については、桂浜検潮所における9月9日～13日毎時の潮位変化によれば、最大潮位は13日8時D.L. +2.20mで最大偏差は37cmであった。

一方、波については、土佐湾内では桂浜沖（運輸省）および住吉沖（建設省）に波高計が設置されていたが、ともに故障のため測定ができなかった。また、波の推算については台風北上中の海上風の測定結果がなく、陸上風についても前述のように、その風速が小さく、風速資料から台風に伴う波の詳細な推算を行うことができなかった。しかし、7617号台風時の9日～10日における久枝海岸または桂浜沖における波の目視観測では周期 $T=10\text{sec}\sim 13\text{sec}$ 、波高 $H=4\text{m}\sim 6\text{m}$ 程度であった。また、赤岡海岸における9日～12日の9時および15時の波向の目視観測によればS方向であった。

5. 台風7617号による海岸災害

5.1 吉川海岸の堤防の欠損

吉川海岸は Fig. 1 にみられるように、物部川河口左岸より香宗川河口までの約2.9kmの砂浜海岸である。

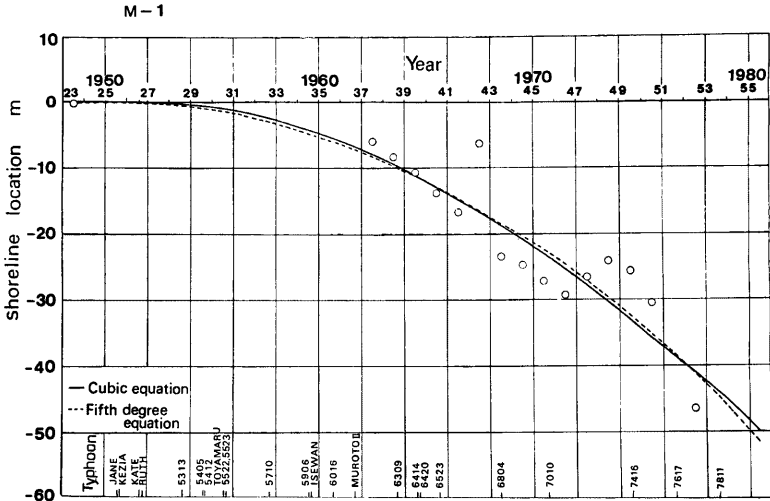
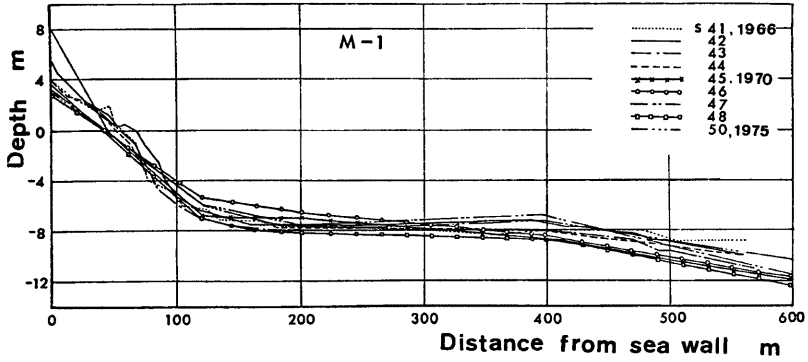


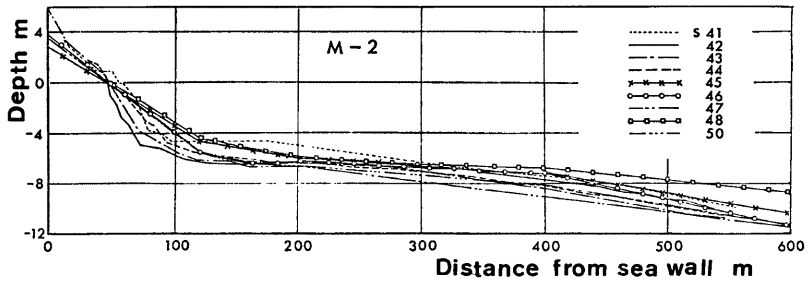
Fig. 8 Yearly variation of shoreline at Station M-1.

物部川河口口砂州の発達状況によれば、この付近での漂砂の方向は東向きと考えられる。海岸堤防の被災箇所は物部川河口より約550mの位置から延長230mの未改修の旧堤部分である。

以下、堤防欠潰の原因について考察する。Fig. 8は物部川河口左岸の測点M-1について、1948年を基準として経年的な汀線の累加変化量を示したものであり、この点は河口左岸より約720mの位置で、堤防欠潰箇所に対応するものである。図中の実線および点線は毎年6月の汀線変動量の実測値および推算値に対して最小自乗法によって三次および五次曲線をあてはめたものである。なお、図の下方に来襲した著名な台風名を記入した。これによれば、各年度による若干の変動はあるが、約30年間に50mに及ぶ汀線の後退がみられる。特に、1963年頃から汀線の後退が目立ち始めたようであり、このことは前述の Fig. 4 に示した物部川上流の杉田、吉野および永瀬ダムの堆砂量、また河川および海岸砂の採取量が増大したことも対応しているといえよう。すなわち、前述したように、これらのダムは1953年より1959年までに築造され、1961年以降急激に堆砂量が増大しており、さらに河川砂および海岸砂の採取も加えてその影響が2～3年遅れて海岸地形の変化として現われてきたものと考えられる。このように、吉川海岸における汀線後退の主要因としては物部川の流送土砂量の減少が考えられるが、さらに汀線の後退とそれに伴う縦断形状との関係についてはFig. 9より明らかとなる。すなわち、Fig. 9は1966年以降の測点M-1およびM-2における海滨の縦断形状を示したものである。これから汀線の後退に伴って前浜勾配は必ずしも急峻にはなっていないが、外浜まで含めて考えると、浜が深く掘られて全体にやせて行く傾向にあり、海岸侵食されつつあることがわかる。したがって、この海岸では物部川からの流出土砂量の減少に伴って土砂収支の不均衡が顕著に現われ始め、侵食が進んできたものと思われる。そのような状況が進行すると、波は堤脚まで達し、反射波が卓越し始めると、沖方向漂砂によって、さらに侵食が助長されることになり、堤脚部の洗掘および裏込めの吸出しによって、堤防欠潰の危険性が高まっていたといえよう。事実、被災した旧堤防断面図を Fig. 10 に示すが、これによれば、1976年5月において海岸堤防のケーソン部が洗掘され、根入れ長さはわずか40cm～50cmになっていたことが理解されよう。



(a) Station M-1.



(b) Station M-2.

Fig.9 Profile in bottom topography at Yoshikawa coast.

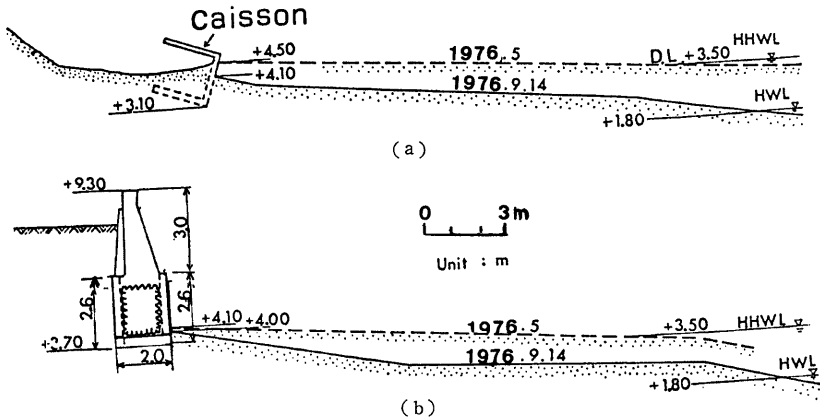


Fig.10 Breakdown of seawall caused by Typhoon 7617.

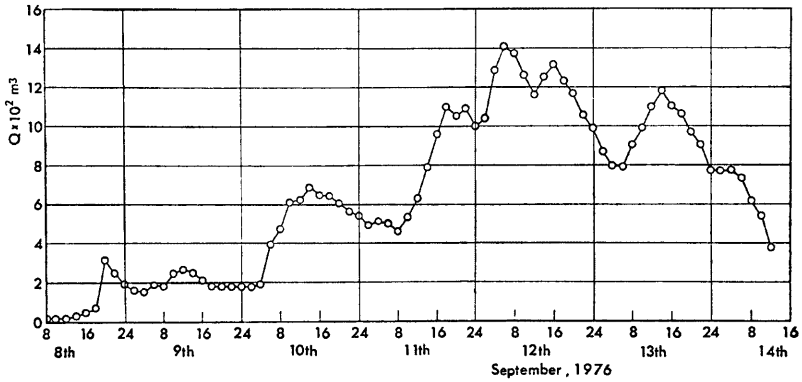


Fig. 11 Time variation of discharge of Monobe river at Fukabuchi station.

さて、吉川海岸の海岸堤防の欠潰は9月11日午前7時～7時30分の間であった。このときの平均風速は約6m/sec、風向はSE方向で、来襲波浪の周期は $T_{1/3}=10\text{sec}\sim 13\text{sec}$ および波高は $H_{1/3}=4\text{m}\sim 6\text{m}$ 程度であったといわれるが、このことから、沿岸漂砂の主方向は東向きであったと推定されている。また、Fig. 11に示す河口より3,500m上流にある物部川河洲水位観測所における流量変化から明らかなように、被災時の11日7時までは流量もまだあまり多くなく、したがって河口への流出土砂量も比較的少なく、上手側からの漂砂の供給はほとんど期待できない状態であったため、河口左岸側から汀線の後退が始まり、次第に堤脚が波で洗われ、洗掘および裏込め土砂の吸出しによって破壊したものと考えられる。このことは、被災個所の漂砂上手側の新堤においても根入れ部の矢板が9月11日午前7時頃には約1.8mも露出したことから推定されよう。

このような河口付近の海岸侵食の進行にともなって、砂浜が著しく減少していたことが堤防欠潰の要因と考えられるが、これに加えて、この旧堤の老朽化も要因としてあげられよう。

5.2 安芸漁港の西海岸堤防の法面陥没

台風7617号によって、この地域はさほど大きな被害はなかったが、安芸漁港の西海岸堤防前法面が陥没したので、その原因について考察する。

安芸海岸における風向は一般に台風時にはSE、季節風時にはSW方向となり、漂砂の方向もこれと対応している。しかし、通年的に考えると、西向きの沿岸漂砂が卓越している。Fig. 12は安芸漁港の平面図であって、西向きの波浪と沿岸漂砂に対応して、改修が進められてきた。図中に防波堤の延長年次を示した。また、Fig. 13は安芸漁港東および西海岸における汀線の位置の経年変化を1967年(昭和42年)を基準として示したものである。ただし、この図は主として過去の写真や二、三の実測図に基づいて推定したものであって、その精度は十分とはいえない。しかし、各年度による汀線の変動とともに、防波堤の延長に伴って1967年以降では、東海岸では堆積、西海岸では侵食が著しく進んでいることがわかる。このことは、防波堤の延長に伴って西向きの沿岸漂砂を遮断したため、漂砂の上手側の東海岸で堆積し、下手側の西海岸では侵食に伴う汀線の後退が進んでいる。

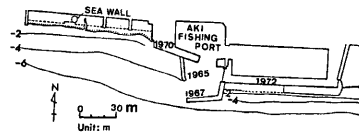


Fig. 12 History of repairment of Aki fishery harbour.

田中・小笹³⁾も1947年10月と1967年2月の安芸漁港周辺の航空写真によって、上記と同様安芸漁港東海岸で汀線の前進を、また西海岸で後退していることを明かにしている。

一方、被災した海岸堤防は Fig. 14 に示すような断面を持ち、堤体による波の反射をできるだけ減少させるよう前法勾配を1:2とゆるやかにしたにもかかわらず、防波堤の延長による沿岸漂砂の遮断によって生ずる侵食を防ぐことができず、堤脚部の洗掘により、裏込め土砂の吸出しによって堤体内に空洞部が生じて、法面が陥没したものと考えられる。

以上のように、この法面の陥没の原因は、安芸漁港の防波堤の築造による沿岸漂砂の遮断によって侵食が助長されたことが、大きな要因となっている。したがって、できれば沿岸漂砂の by passing をはかる方法などの検討が必要と考えられる。また、この種の災害がわが国の多くの海岸において発生しており、その対策が急がれるところである。

6. 台風7916号および7920号の来襲

前述の台風7617号の来襲以来、その後数年とくに大きな台風の来襲もなく、海岸災害のなかった高知県も、まず1979年8月21日～27日台風が沖縄の南西海上から東支那海を通過し、このため高知海岸には21日頃より高波 ($H_{1/3}=3.5\text{m}$) が来襲し、数個所の漁港、海岸構造物に被害をもたらした。さらに、9月4日台風7912号が北上、4日0時頃宮崎付近を通過して東寄りとなり、日向灘を北東進して4日6時宇和島市に上陸した。この台風は勢力は極く強いものであったが4日0時頃から高知海岸では風波が強まり、 $H_{1/3}=5.0\text{m}$ にも達した。その20日後の9月23日ヤップ島の北西海上に発生した台風7916号はゆっくり北上し、29日奄美大島の東海上に達した後、加速して北進し、30日夕四国沖を通過した。このため、高知県の各海岸では台風の接近に伴って風が強まり、台風域で発生した風波は28日から土佐湾に対して西寄りのうねりが長時間作用した。特に、台風が土佐湾に入り、30日18時過ぎ室戸に上陸するまで、土佐湾沿岸は西～東の広範囲の成分の波浦によって、海岸、漁港諸施設がふたたび多くの被害をうけた。また、この台風7916号に続いてカロリン諸島付近に発生した台風7920号は18日9時沖縄の南海上に達した。その後、進路を北北東に、また速度を少しづつはやめ、19日2時には種子島南東100kmの海上を北東に40km/hで進み、土佐湾を通り、19日8時には室戸岬の南東約30kmの海上に達した。土佐沖を通過する頃からの台風は速度を50km/hから65km/hとはやめ、19日9時40分頃には和歌山県白浜町に上陸し、さらに加速して高知県から遠去った。この台風の風速15m/sec以上の強風域が1,000kmという大型であったため、千数百軒のはるか南海上にあった14日頃から高知海岸にはうねりによる高波が打ち寄せた。また、高知県が暴風域に入った頃から土佐湾の波はさらに急速に高まり、台風通過後の19日夕方まで大時化となっていた。このことから、陸上の観測では極端な強風は記録されていないが(後述)、南海上では台風の周辺部で相当な強風が吹いていたことが推察され、これによる高波が来襲した。このように、台

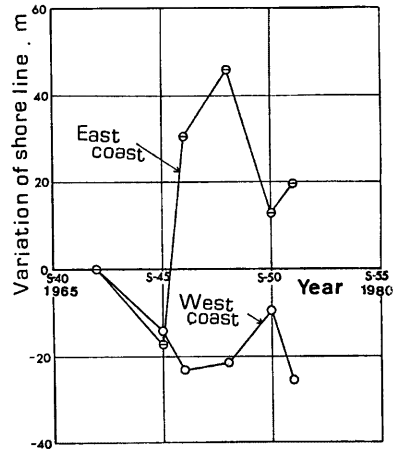


Fig. 13 Yearly variation of shoreline near Aki fishery harbour.

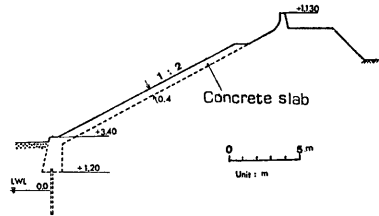


Fig. 14 Cross section of seawall at Aki coast.

は、この台風7916号に続いてカロリン諸島付近に発生した台風7920号は18日9時沖縄の南海上に達した。その後、進路を北北東に、また速度を少しづつはやめ、19日2時には種子島南東100kmの海上を北東に40km/hで進み、土佐湾を通り、19日8時には室戸岬の南東約30kmの海上に達した。土佐沖を通過する頃からの台風は速度を50km/hから65km/hとはやめ、19日9時40分頃には和歌山県白浜町に上陸し、さらに加速して高知県から遠去った。この台風の風速15m/sec以上の強風域が1,000kmという大型であったため、千数百軒のはるか南海上にあった14日頃から高知海岸にはうねりによる高波が打ち寄せた。また、高知県が暴風域に入った頃から土佐湾の波はさらに急速に高まり、台風通過後の19日夕方まで大時化となっていた。このことから、陸上の観測では極端な強風は記録されていないが(後述)、南海上では台風の周辺部で相当な強風が吹いていたことが推察され、これによる高波が来襲した。このように、台

風7920号は7916号とはほぼ同じコースを通過して、さらに災害が拡大した。すなわち、台風7911号では4漁港（漁港を含む）の5施設および海岸堤防が、また台風7916号では22漁港、35箇所および海岸堤防3箇所、さらに台風7920号ではこれらの応急処置箇所を含んで30漁港、57箇所の多くの施設が被災している。これらの中には河川流送浮遊物（稲わら、雑草、流木など）の港内への大量侵入による漁港の機能障害、また漂砂の港内侵入による航路埋没など種々の被害があったが、この他多くが激浪による構造物基礎の洗掘に伴う堤体の沈下崩壊など、いずれも砂移動に起因する諸災害が顕著であった。なかでも、高知海岸に井田地区、物部川左岸の吉川漁港に隣接する吉川海岸および安芸漁港西方の西浜海岸の堤高 T. P. +9m および +11.0m の海岸堤防が波浪の直接作用によって倒壊した。また、伊屋木川の東に連なる伊屋木海岸では侵食に伴い激浪が海岸堤防および堤防前面の根回土に激突し、その越波の水衝圧によって背後の住宅および農地の多大の被害をもたらした。特に、これらの災害は前述の台風7617号による被害原因において示したように、その多くが海岸侵食に起因しており、また、台風7916号および7920号による海岸堤防の被災箇所が前述の台風7617号による被災箇所とほとんど同じ地点に生じている。したがって、ここでは特にこれらの災害を主体にその状況と原因についてさらに詳細に調査し、今後の対策について考究するものである。

7. 台風7916号および7920号の海象

7.1 台風7916号の海象特性

台風が強い勢力のまま土佐湾沿いに北東進したことによって、非常に強い突風を伴う強風となったようであり、このような風によって、沿岸に高波が発生している。なお、高知における最大風速は9月30日17時40分 13.3m/sec、風向は N であり、また高知空港では30日20時20分、22.3m/sec、風向 NW を記録している。

潮位変化については桂浜検潮所において観測され、最大潮位は9月30日14時15分 D. L. +193cm で、最大偏差は40cmであった。

次に、土佐湾における波の観測は運輸省第三港湾建設局高知工事事務所による桂浜高知灯台より 196°、SSW の 27km 沖 (N33° 15' 24", E 133° 30' 06") の水深 120m 地点と大方町上川口港灯台より南1.25km、水深25mの位置、また建設省高知工事事務所による高知住吉沖、水深14m地点と、さらに高知気象台による室戸市佐喜浜沖、水深20m地点の計4地点において行われた。これらの地点における測定値について台風来襲時の9月30日から10月1日までの有義波高 $H_{1/3}$ 、最大波高 H_{max} および周期 $T_{1/3}$ を示すと、Fig. 15 の

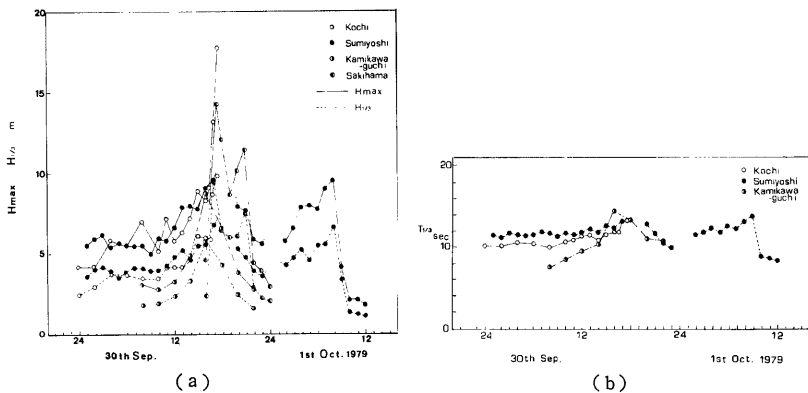


Fig. 15 Characteristics of waves by Typhoon 7916.

ようである。これによれば、高知沖において最大波高 $H_{max}=17.8\text{m}$ 、有義波高 $H_{1/3}=9.8\text{m}$ 、周期 $T=13.4\text{sec}$ を記録しており、強大な波高が高知海岸に襲ったことがわかる。なお、記録によれば、高知沖と佐喜浜での最大波高の発生時がほぼ一致しているが、上川口はこれらよりはやく現われ、台風の進行にともなって最大波高の起時が異なっている。

7.2 台風7920号の海象特性

台風7920号は土佐湾を通過中も大型で強い台風であったが、中心付近の風速が割合に弱く、暴風圏に入った高知での最大風速は18日22時30分、ESE方向の 12.2m/sec 、高知空港でも同一起時に ESE、 16.5m/sec で比較弱かったが、波は高く10月15日には台風7916号の被災箇所をおそい、高波が堤防を越えていた。

台風7920号による波の観測結果を Fig. 16 に示す。これによれば、最大波高は高知沖で19日9時に $H_{max}=11.7\text{m}$ 、有義波高 $H_{1/3}=7.4\text{m}$ 、周期 $T_{1/3}=15.6\text{sec}$ を記録し、台風7916号に次ぐ大きな波であった。また、 $H_{1/3}=3\text{m}\sim 4\text{m}$ の波が24時間以上続いていることがわかる。

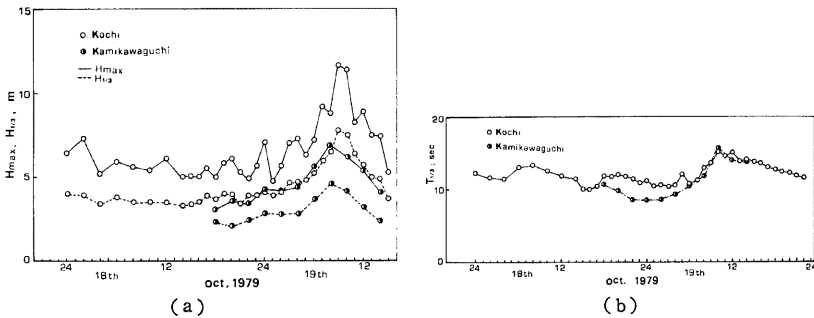


Fig. 16 Characteristics of waves by Typhoon 7920.

8. 台風7916号および7920号による海岸災害

前述のように、台風7916号が高知県に襲撃し、海岸堤防の倒壊などの被害を蒙ったが、その後には台風7920号が襲撃し、海岸堤防被災箇所を高波が襲い、さらに被害が拡大した。以下、これら二つの台風の災害状況と原因についてまとめて考察する。

8.1 仁井田海岸の堤防欠潰

仁井田海岸は Fig. 1 に示したように、浦戸湾口にあり、桂浜防波堤の遮蔽域である種崎海岸の東に連なっている。種崎地区では侵食防止対策としてT型突堤が設置され、最近急速に汀線が前進してきている。この漂砂は主として桂浜防波堤の回折波の影響によって、仁井田海岸の遮蔽域外から遮蔽域内の種崎海岸に向う流れ、すなわち東から西へ向う沿岸流れによって運ばれていることが考えられる。このことはこの地区の侵食防止対策に関する実験結果⁴⁾、また現地における蛍光砂の投入による追跡によっても明らかにされている。

被災した海岸堤防は Fig. 17 のように、漁港区域境界線の東、測点No. 28—39—41間であり、図のように、堤防前面には根固とブロックが設置されていない箇所である。また一方、この地区では桂浜防波堤の延長に伴って回折波の収束地点が東方へ移り、侵食地点もこれとともに東方へ移ることが考えられよう。さらに Fig. 17 のように、T型突堤 No. 5 の横堤が被災地点より西方約200m地点に1979年度に施工されている。このような条件下に8月の台風7911号による波の集中によって、測点No. 8—41以東の堤防前面が侵食されている。Fig. 18 は台風7911号通過前後の堤防前面の海浜断面である⁵⁾。これによれば、台風7911号によって、約5m前浜が侵食によって減少していることがわかる。また、Fig. 19 はこの地区における最近の汀線変化

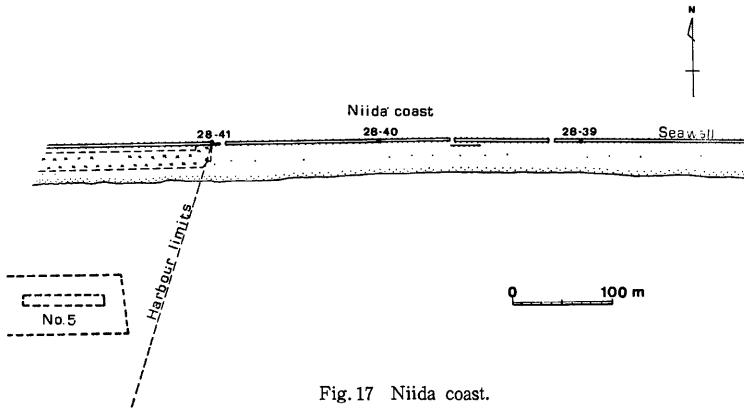


Fig.17 Niida coast.

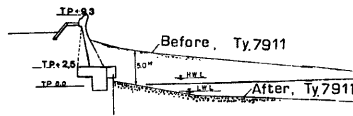


Fig.18 Variation of beach profile caused by Typhoon 7911.

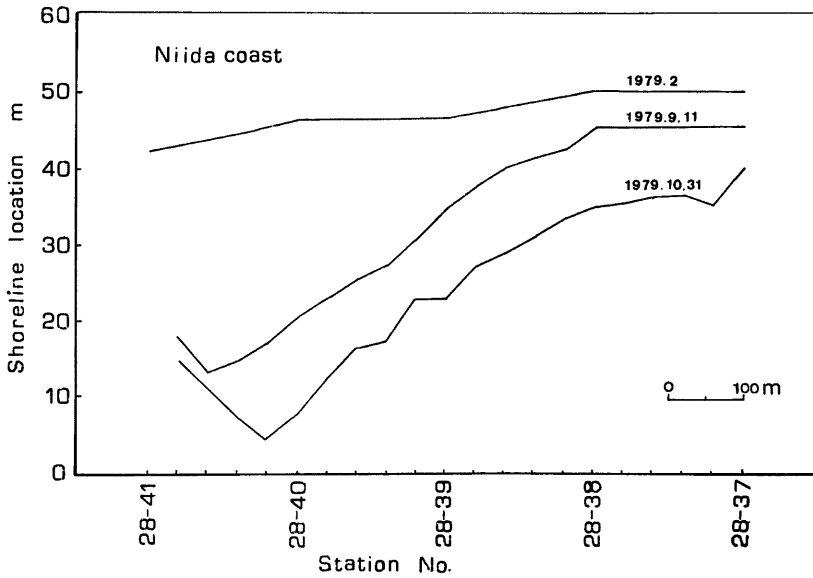


Fig.19 Variation of shoreline at Niiba coast.

を示したものであり、台風7916号の来襲時には波が堤防へ直接激突する状態にあったことが推察できる。

Photo. 1 にみられるように、前日より海岸堤防には波が衝突し、特に侵入波は堤防よりの反射波により砕波高が大きくなっている。このような波によって、海岸堤防の基礎の洗掘およびこれに伴う裏込め土砂の吸出しによって測点No. 28-41以東の堤防 219mが崩壊した。その後、10月19日には、台風7920号が来襲し、さらにこれ以東の200mが倒壊した。この被災後の10月31日の汀線位置を **Fig. 19** に併示してある。これによれば、台風通過後のこの付近の汀線は全般的に10m程度後退しており、早急な対策が望まれる。



Photo.1 Wave overtopping by Typhoon 7916 at Niida coast.

以上のように、仁井田海岸堤防の被災の原因は漂砂量の変化に伴う汀線の経年変化に加えて、さらに桂浜の防波堤の延長による回折波の取東域の東方への移行と種崎地区へのT型突堤の建設による波の取東や沿岸漂砂の東から西への移動、卓越などによって砂浜の急激な減退に起因していることが推察されよう。

8.2 吉川海岸の堤防欠損

吉川海岸は物部川河口左岸に連なった砂浜海岸であり、この地区の漂砂の方向は東向きである。前述したように、この地点は1963年より汀線の後退が目立ち始め、**Fig. 3 (a)** にみられるように、1947年頃には侵食がさらに著しくなってきた所であり、前述の1976年9月の台風7916号によって未改修の海岸堤防が倒壊し、その後復旧した地点である。この時の被災の状況およびその原因は前述の通りであるが、この地点のその後の汀線変化を示したものが **Fig. 20** である。これによれば、1979年3月頃まではこの付近の海浜幅は40m以上であったが、9月にはすでに堤防前面には砂浜はなく、約6ヶ月の間に急激な侵食による汀線の後退が生じている。この原因は物部川よりの流送土砂量の減少および海岸土砂採取の他、隣接する吉川漁港の改修に伴い、**Fig. 21** にみられるように、被災地点より物部川河口寄りに100mと300mの位置に突堤150mが施工され、これが河口から東に向う漂砂を止めたためであろう。

すでに、著者の一人土屋⁹⁾は最近のわが国の砂浜海岸の侵食防止対策について詳述する中で、特に吉川海岸のように、河口部に隣接している海岸において、異常波浪時に波が堤防に衝突して反射波を生ずるような場合には、沖方向漂砂によって、侵食が進み破堤するようになることを指摘している。

なお、吉川海岸のこの地区は堤防前面に根固めブロックが設置されていたが、前面の洗掘とともに、こりらブロックも沈下し、洗掘防止効果は少なかったようである。

8.3 安芸西浜海岸の堤防欠損

西浜海岸は安芸漁港より西方に連なる砂浜海岸である。被災箇所は漁港西防波堤より約1,200mの地点であり、この地点より東方1,000mの漁港寄りの海岸は前述したように、1976年9月の台風7617号の来襲時に堤防前法面が前面の洗掘に伴い裏込め土砂の吸出しによって陥没している。これは、安芸漁港の改修による防波堤の延長に伴って、漁港東方約2kmの安芸川および河口が隣接する伊尾木川からの西向きの沿岸漂砂を遮断したためであった。台風7916号および7920号によって、この箇所は被災しなかったが、これに隣接する西浜海岸の堤防が約100mにわたって倒壊した。**Photo. 2** は台風7920号による越波の状況であり、海岸堤防の崩壊の状況が **Photo. 3** である。この災害の原因は前述の仁井田および吉川海岸と同様、侵食に伴う堤防前面の洗掘によって倒壊したものである。すなわち、最近のこの地区の汀線変化のうち、1977年3月、1979年3月および10月について示すと **Fig. 22** のようであり、年間数10mの後退がみられる。また、海浜断面形を **Fig. 23** に示す。これによると、汀線の後退とともに、年間数10cmにわたり全般的に侵食され、海浜土砂

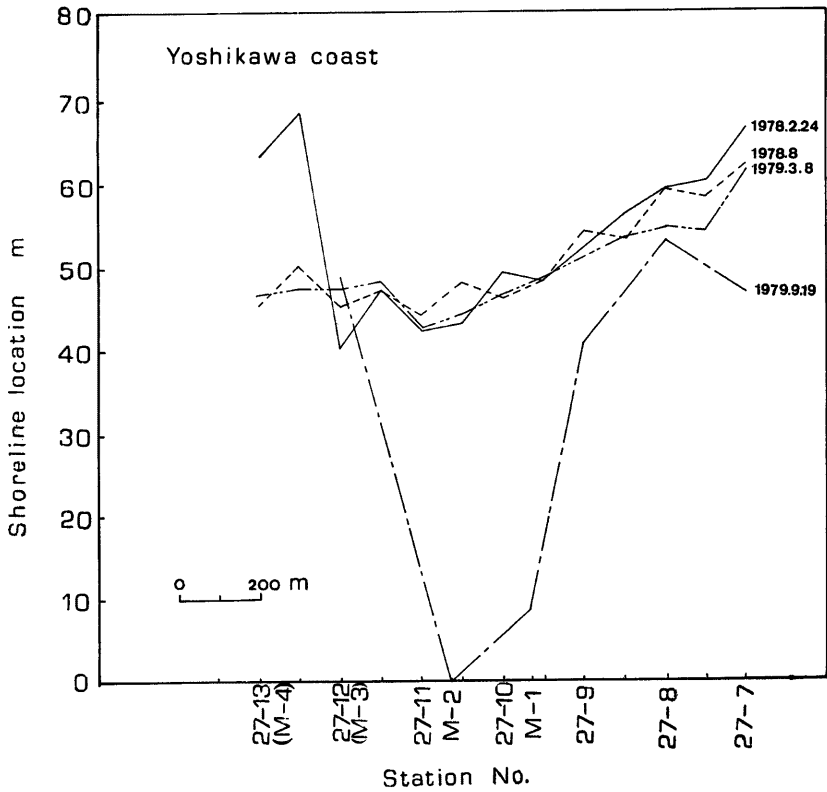


Fig. 20 Variation of shoreline at Yoshikawa coast.

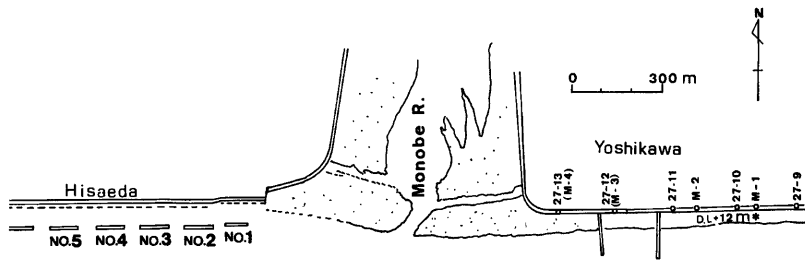


Fig. 21 Yoshikawa coast and Monobe river mouth.



Photo.2 Wave overtopping by Typhoon 7920 at Nishihama coast.



Photo.3 Breakdown of seawalls caused by Typhoons 7916 and 7920 at Aki Nishihama coast.

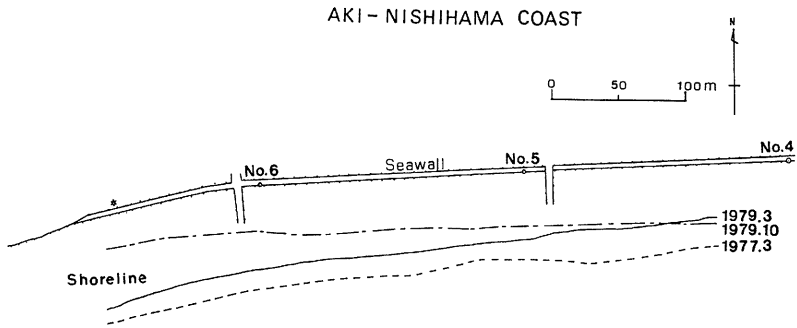


Fig.22 Variation of shoreline at Nishihama coast.

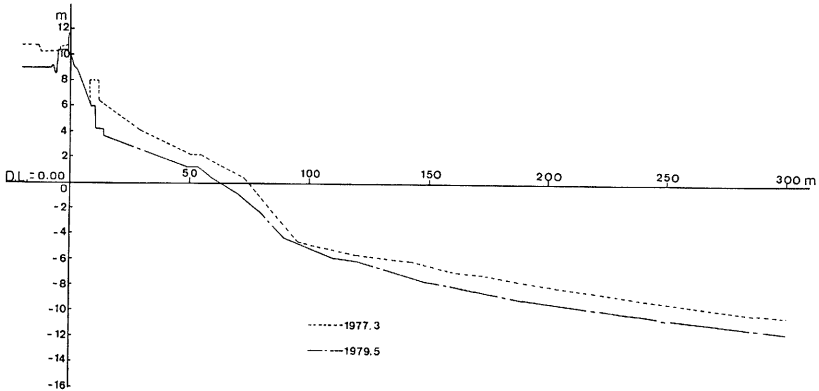


Fig.23 Beach profile at Aki Nishihama coast.

が減少している。一方、Photo. 4 は堤防の倒壊はみられないが、堤防基礎根入れ部の状況であり、洗掘による根入れの減少とともに、下部の基礎鋼管杭前面のコンクリートが摩耗脱落して、杭が露出しており、被災後の調査によれば、洗掘深は2.5m~3.0m程度と推定された。

8.4 伊尾木海岸における堤防越波による災害

安芸川および伊尾木川河口より東方へ約1kmの伊尾木海岸において、Fig. 24 に示すように海岸侵食が顕著である。したがって、堤防前面に方塊ブロックを設置した（1975年当時設置と推定）。しかし、台風7916号および7920号による波がこの方塊または堤前面の斜路に激突して越波を助長し、堤内の民家を破壊、また農地などに多くの被害をもたらした。最近、この地区においても海岸侵食が進みそれに伴う災害が発生している。また、これに伴って、堤前面の方塊の設置、斜路などの配置についても十分注意し計画することが必要であろう。



Photo. 4 Measurement of scouring depth in front of seawalls at Aki Nishihama coast.

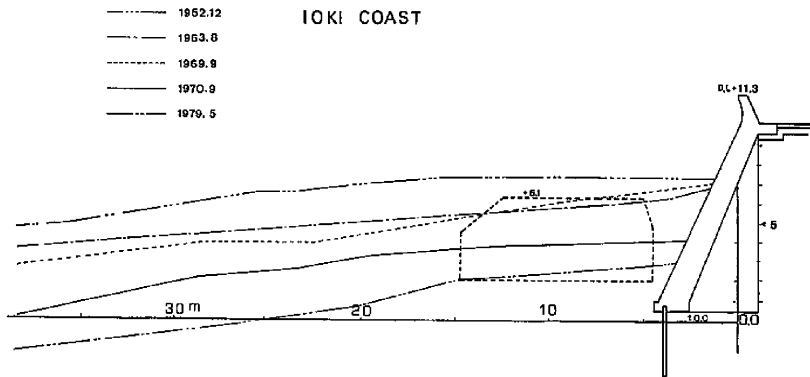


Fig. 24 Yearly variation of beach profile at Ioki coast.

9. 海岸堤防前面の洗掘深

前述の海岸堤防の被災状況にみられるように、堤防前面が洗掘され、倒壊に至っている。

海岸堤防前面の洗掘については、従来から実験的な考察が行われてきた。しかし、入射波の特性、海岸堤防の構造形式および堤前面の海浜形状など多くの要因が関連して複雑であり、洗掘深について明確な結論がえられていないのが現状といえよう。例えば、佐藤ら⁷⁾は堤防前面の法勾配および海浜形状を種々変えて実験的に検討し、正常海浜では洗掘深 h_B と沖波波高 H_o との比 $h_B/H_o=1.5\sim 2.3$ 、暴風海浜では $h_B/H_o=0.5\sim 1.5$ の値を示すようである。また、榎木⁸⁾の実験結果によれば、 $h_B/H_o<1.0$ であり、さらに上森⁹⁾らは多くの場合、 $h_B/H_o=1.0\sim 1.5$ を示すと述べている。

さて、前述の仁井田海岸堤防の台風7911号による洗掘深は Fig. 18 にみられるように、 $h_B=5.0$ m である。このときの有義波高は $H_{1/3}=3.5$ であり、 $h_B/H_{1/3}=1.4$ となって、上森らの実験結果に近い。さらに、台

風7916号および7920号通過後の西浜海岸の堤防前面の洗掘深は被災後の調査から $h_B=2.5\text{m}\sim 3.0\text{m}$ と推定された (Photo. 4)。この洗掘深と堤防倒壊前の平均波高 $H=4.0\text{m}$ との関係を見ると, $h_B/H=0.6\sim 0.8$ となり, 樫木の実験結果に近似した値となるようである。いずれにしても洗掘深については, さらに詳細な実験などによって検討する必要がある。

10. 海岸侵食に伴う波浪災害と保全を考慮した高知海岸の海浜幅

以上のように, 高知海岸における海岸堤防の欠損は, 最近の海岸侵食に伴い発生したもので, ダム堆砂や砂利採取などによる河川からの流出土砂の変化が海岸過程への影響として顕著になってきたといえよう。特に, その被災箇所が河口付近に現われ, また海岸諸施設の築造に伴う沿岸漂砂の遮断による下手側海浜の侵食が進行し, 荒天時の波浪の集中によって, さらに沖方向漂砂が卓越し, 堤防洗掘による堤体の倒壊が発生している。

また, 前述のように, 台風7617号による被災箇所とその3年後の被災箇所とがまったく同一場所, またはそのごく近くにおいて同様の災害が発生している。台風7617号による海岸調査を通じてその被災原因について考察した。そして, 漂砂源の変化に伴い, まず河口付近を中心として海岸侵食が進み, これが次第に漂砂の下手側に波及し, 汀線が後退するとともに, 自然の消波工としての砂浜が減少して, 海岸堤防が倒壊に至ることを指摘し, この種の災害が今後随所で発生する可能性があるとして警告した。しかし, その後の台風7916号および7920号によって同様の災害を蒙った。これは海岸侵食に伴う災害の実例として大いに反省すべきであろう。

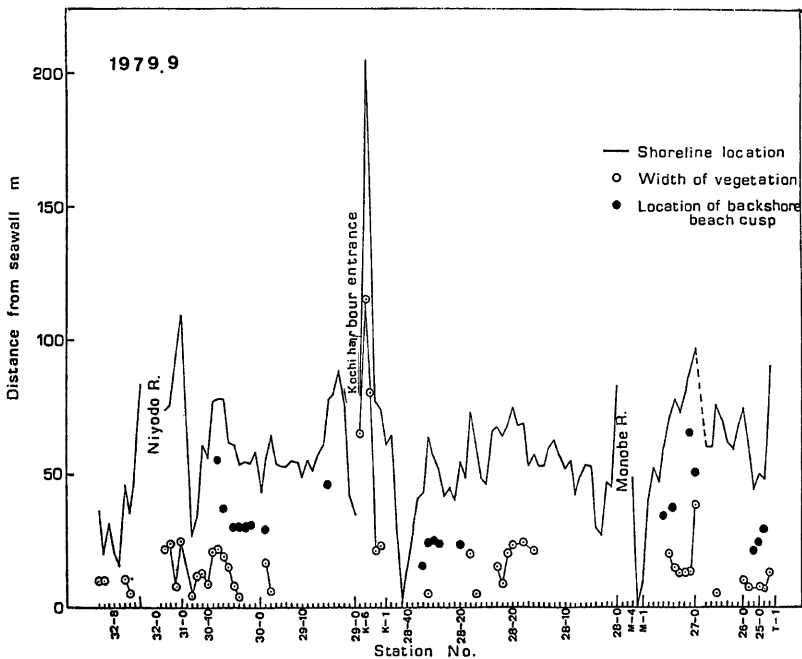


Fig. 25 Longshore distributions of beach width, locations of beach cusp and vegetation.

さて、最近 Purpura¹⁰⁾ は海岸保全にあたって海浜における set-back line の考えを提案している。土屋¹¹⁾ はこのような set-back line は、汀線の変動を考慮した自然海浜の機能から、その背後地を守り海岸侵食を防止するものであって、海浜断面や汀線の変動する海浜領域はその保全のために確保しなければならず、海岸利用の対象外とすべきであるものと理解されると述べ、そして汀線の変動の統計解析によって背後地の経済評価と併せて再現期間を考慮して推定されるべきであろうと述べた。

いま、高知海岸における1979年9月の海岸堤防から汀線までの距離、すなわち海浜幅、海岸堤防前面の植生幅および backshore beach cusp の形成位置について示すと Fig. 25 のようである。これよりわかるように、仁淀川河口部を除けば海浜幅が50mより狭い場所では植生はみられず、また backshore beach cusp もこれらの個所にはほとんど形成されていない。海岸堤防前面に植生がみられないことは、これ以上にそ上波が達しないことが考えられる。また、植生がみられる地点における植生の海側縁と汀線までの距離は約50m程度である。したがって、そ上波はほぼこの程度まで達することが考えられよう。一方、後浜に形成される beach cusp は荒天時に後浜までそ上した波によって形成されるものである。図によれば、海浜幅が50mより狭い地点には backshore beach cusp は形成されていない。以上から、高知海岸では海岸保全上、少くとも50m以上の海浜幅が必要であることが推論できよう。

11. あとがき

以上、主に海岸堤防に関する災害状況とその原因について述べたが、勿論この他台風7916号および7920号によっては、岸壁および物揚場エプロンの陥没、防波堤基礎ブロックの流出によるケーソンの沈下などの災害が発生している。特に、1979年は8月から10月にかけて、台風7911号、7912号、7916号および7920号と続いて来襲し、被害が拡大したことも考えられる。そして、その多くが、河川流送土砂量の減少、さらには海岸構造物築造による沿岸漂砂の阻止など、漂砂の不連続部において、いずれも海岸侵食に伴って発生した典型的な災害であり、このような地点に繰返し発生し、海岸堤防の災害ポテンシャルが高まってきており、この傾向は高知県のみでなく、全国的傾向であることに認識をもつ必要があろう。

最後に、この調査にあたり熱心にご協力および資料の提供をいただいた建設省、運輸省の各高知工事事務所、高知県および吉川村役場の関係諸官に心から謝意を表する。また、このような災害の発生の原因究明などにおいて、過去の調査資料および台風前後の資料が貴重であることを痛感した次第である。なお、本研究は文部省科学研究費自然災害特研別研究（研究代表者：中島暢太郎）による研究成果の一部であることを付記する。

参 考 文 献

- 1) 玉井佐一：高知海岸における海浜変形特性，土木学会第26回海岸工学講演会論文集，1979，pp. 243～247.
- 2) 土屋義人：土砂の流送・運搬に伴う自然環境変化に関する研究，自然災害特別研究成果報告（代表者：石原藤次郎），1975，p. 30.
- 3) 田中則男・小笹博昭：海浜変形資料（第2報），航空写真による汀線変化の解析，運輸省港湾技研資料，No. 192，1974，pp. 1～106.
- 4) 玉井佐一・上森千秋：高知港口の漂砂に関する実験的研究，仁井田海岸の侵食防止について，高知大学学術研究報告，自然科学，第23巻，第12号，1974，pp. 71～89.
- 5) 三浦敏弘：高知海岸における災害事例について，建設省第23回四国地方建設局管内技術研究会論文集，1980 pp. 20-1～22.
- 6) 土屋義人：海岸線を守る技術とその考え方，主として海岸侵食対策について，土木学会誌，Vol. 65，1980，pp. 2～8.
- 7) 佐藤昭二・田中則男・入江 功：海岸構造物の堤脚洗掘に関する研究（1），運輸省港湾技術研究所報告，Vol. 5，No. 11，1966，pp. 1～33.

- 8) 榎木 亨：海岸堤防基部の洗掘機構に関する研究，土木学会第14回海岸工学講演会論文集，1967，p. 329～335.
- 9) 上森千秋・今尾昭夫・河井田将人：海岸堤の保全に関する研究(Ⅱ)，農業土木学会大会講演要旨，1964，pp. 210～211.
- 10) Purpura J. A. : Establishment of coastal setback line in Florida, Proc. 13th Coastal Eng. Conf., ASCE, 1972, pp. 1599～1615.
- 11) 土屋義人：海岸侵食について，京都大学防災研究所年報，第21号A，1978，pp. 25～42.