

竹野海岸における離岸堤の設置に伴う海浜変形について

井 上 雅 夫*・島 田 広 昭**

1. ま え が き

近年、海岸侵食対策として、全国各地にかなりの数の離岸堤が設置されるようになり、そのため、離岸堤に関する実験的研究や現地における施工後の追跡調査が行われ、それらの成果も数多く報告されている。

著者らが、ここでとりあげた竹野海岸は、図-1 に示すように、日本海に面した兵庫県北部の延長が約 600m の海岸であり、山陰海岸国立公園に属するとともに、近くには城崎温泉などの観光地もあり、風光明媚な海水浴場として古くから多くの人々に親しまれてきたところである。この海岸の土砂の供給源は明らかではないが、竹野川からの流送土砂によるものと考えられる。すなわち、竹野川は屈曲が多く、洪水のたびに川筋が移動していたようであり、特に流量が大きくなると、河口部が著しく狭窄しているために、猫崎と竹野海岸とを結ぶ砂州が破られ、多量の土砂が海岸に運搬され、そこに堆積してきたようである。大正 7 年 9 月 14 日の洪水では、その砂州が破られ、当時浜辺にあった民家や舟小屋までが流失してしまったことが記録にはっきりと残されている¹⁾。このように、竹野海岸は竹野川からの流送土砂によって形成されてきたものと考えられるが、竹野川の河川敷の拡張や護岸工事などの改修工事が進むとともに、河川からの流送土砂量は減少してきたようである。さらに、昭和 20 年までには、前述の砂州が矢板で締切られ、竹野川からの土砂の供給はまったく断たれ、著しい海岸侵食がはじまったようである。その反面、竹野川の河口

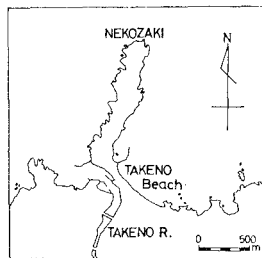


図-1 竹野海岸位置図

にある竹野港では、その航路や泊地の埋没が激しく、その対策にかなり苦慮してきたようである²⁾。そして昭和 34 年の災害を契機として、この海岸には護岸が設けられたが、冬期風浪などによって、護岸前面の砂浜が消

失するような状態を呈してきた。このため、兵庫県ではいずれも 6.3 トンのテトラポッドを乱積みにした離岸堤を 5 基設置して、その背後を海水浴場として利用しているのが現状である。

この論文では、こうした離岸堤の設置に伴う海浜変形について、主として昭和 45 年から毎年実施されてきた深淺測量の結果に基づいて考察し、竹野海岸における離岸堤の堆砂効果を明らかにしようとするものである。

2. 資料の解析とその考察

深淺測量は、兵庫県土木部港湾課が、離岸堤設置前の昭和 26 年 8 月、42 年 8 月、45 年 2 月および 6 月、設置期間中の 47 年 3 月、48 年 3 月、設置後の 49 年 3 月、50 年 3 月、51 年 6 月の合計 9 回にわたって、水深が主として 4~6m までの海岸全域について実施している。ここでは、45 年 2 月以降のものを対象として、汀線変化、堆積侵食領域および移動砂量などについて検討した。

図-2 (a) および (b) は、離岸堤設置直前の 45 年 2 月と設置後約 3 年を経過した 51 年 6 月の深淺図であり、等深線の形状は、(a) の場合には一部を除いては、ほぼ汀線に平行であるのに対し、(b) の場合には離岸堤の影響でかなり屈曲している模様がよく示されている。なお、(a) の破線で示した離岸堤は計画中のものである。

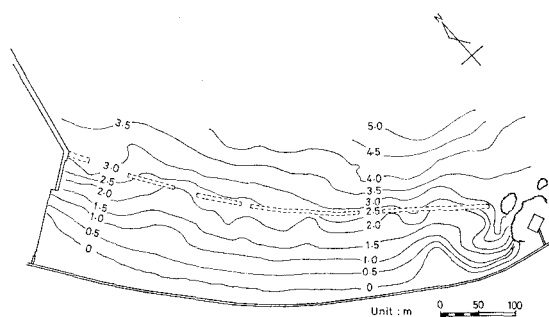
(1) 汀線および海底断面変化

図-3 は、昭和 45 年 2 月から 51 年 6 月までの深淺図から、その汀線変化を示したものである。なお、以後の説明で、測点番号は図-3 に示したように、海岸の西端を基準として、東側に向かって 10m 間隔にとったものであり、離岸堤の記号も、西から東に順次 A, B, C, D および E 堤とよぶことにする。

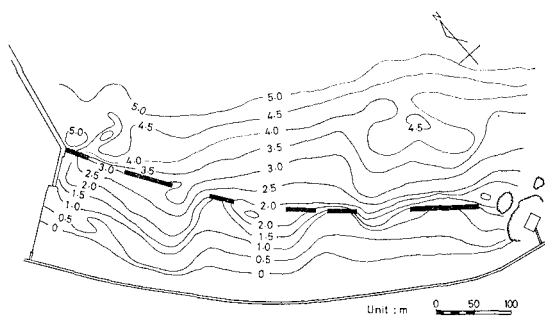
図-3 によれば、離岸堤がまったく設置されていなかった 45 年 2 月の汀線に比べ、A, B および E 堤が完成した 47 年 3 月の汀線は、測点 50~60 にかけての約 50m の部分で約 20m 後退しているほかは、海岸西端の防波堤のごく近傍でわずかに後退するだけで、ほとんどのところで 10m 程度の前進がみられる。汀線の形状は、護岸法線に対してほぼ平行であり、トンボロの発生はみ

* 正会員 工博 関西大学助教授 工学部土木工学科

** 正会員 関西大学助手 工学部土木工学科



(a) 昭和 45 年 2 月



(b) 昭和 51 年 6 月

図-2 深浅測量図 (兵庫県実施)

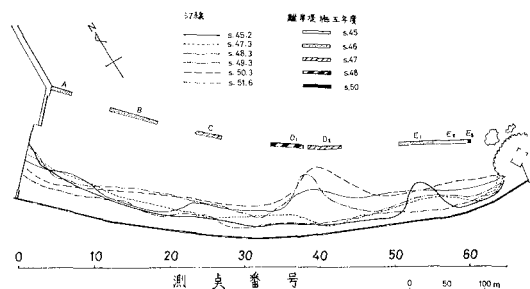


図-3 汀線変化

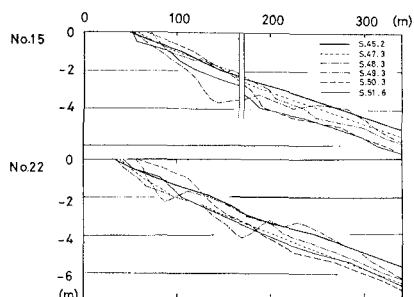
られない。

CおよびD堤の東側の部分が完成した後の48年3月の汀線は、47年3月に比べ、いたるところで大幅に後退し、42年2月の汀線とほとんど変化しないばかりか、45年から47年にかけて汀線が後退したところでは、離岸堤設置前に比べて、30m程度も後退し、トンボロの発生も当然みられない。さらにD堤の西側の部分が設置され、ほぼ5基の離岸堤が完成した49年3月の汀線は、海岸の全域で大幅に前進し、特にD堤背後には明確なトンボロの発生がみられる。50年3月の汀線は、49年3月に比べ、C堤背後から西側でやや後退しているが、東側では前進し、D堤背後のトンボロの頂部は約20m東側に移動するとともに20m前進している。そのため、D堤設置時には約100mであった離岸距離は20mまで

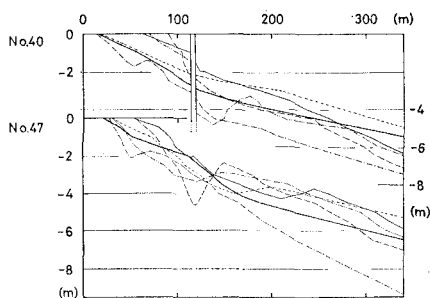
に減少し、これは調査期間中でもっとも前進した時期である。最後に、51年6月の汀線は、D堤背後のトンボロの規模が小さくなり、その部分で汀線が後退している。

以上のように、45年と51年の汀線とを比較してみると、海岸の西端およびE堤の背後の一部で、最大約20mの後退がみられるが、それ以外では前進し、特にD堤背後の前進量は実に約50mにも達していることが判明した。

竹野海岸の海底勾配は、離岸堤を設置する直前には、水深が約3mまでの前浜付近では、約1/30~1/50であった。図-4(a)および(b)は海底断面の変化を示したものであり、(a)の測点15および22は、それぞれB堤背後およびB堤とC堤の開口部に相当し、(b)の測点40および47は、それぞれD堤背後およびD堤とE堤の開口部に相当したものである。これらによると、測点15の離岸堤の岸側では、47年から48年にかけての侵食が著しく、海底勾配も急になっているが、それ以外では海底勾配の急激な変化はみられない。また、測点22は離岸堤の開口部に相当するため、汀線から水深約1mまでのところでは、45年と51年の断面形状はまったく同じであり、水深の大きいところでは年々侵食されているが、測点15と同様に海底勾配の著しい変化はみられない。測点40は、D堤背後のトンボロの発生箇所である。離岸堤の岸側では、47年から48年までの1年間を除けば、着実に堆積していく状況がよくみられる。



(a)



(b)

図-4 海底断面変化

また、離岸堤の沖側でも激しい土砂移動があり、6年間に最大約2mの変動がみられ、海底勾配の変化も激しく、明確な傾向は見出せない。さらに、測点47においても、測点40ほどではないが、かなり著しい海底断面の変化がみられ、いずれの場合についても、海底勾配の経年変化や場所的变化はきわめて複雑である。

(2) 堆積侵食領域と移動砂量

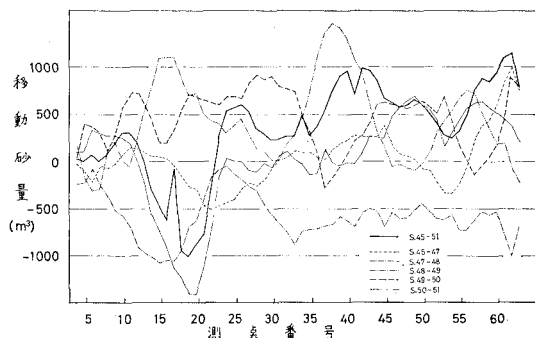
まず、各年の深淺図を重ね合わせ、堆積侵食領域図を描き、その経年変化を調べた結果について簡単に述べよう。

昭和45年から47年にかけては、A、BおよびE堤が設置されたために、汀線付近の水深の小さいところでは一様に堆積し、未設置のD堤の岸側や沖側でも著しい堆積がみられる。一方、B堤から未設置のC堤付近の特に岸側で著しい侵食領域がみられる。47年から48年にかけては、D堤の西側の部分を除いて、ほぼ5基の離岸堤が完成したにもかかわらず、ほとんどの領域で侵食され、D堤やE堤の沖側では、2.5mも侵食された領域がみられる。もちろん、この期間は前述したように、汀線もいたるところで大幅に後退している。しかし、48年から49年にかけては、D堤の西側の部分が設置されただけであるが、離岸堤から岸側ではほとんどの領域で堆積している。特に、D堤の背後では2m、D堤からE堤にかけての沖側では3m程度の堆積領域がみられる。一方、A堤からC堤にかけての沖側、A堤の岸側、C堤とD堤およびD堤とE堤のそれぞれの開口部付近は侵食されている。49年から50年にかけても、離岸堤の岸側はほとんどが堆積領域であるが、A堤からC堤の沖側では、1m程度のかかなり広い範囲の侵食領域がみられる。50年から51年にかけては、離岸堤の岸側でも侵食され、特にB堤からC堤にかけての岸側で約2mの侵食領域がわずかではあるがみられる。

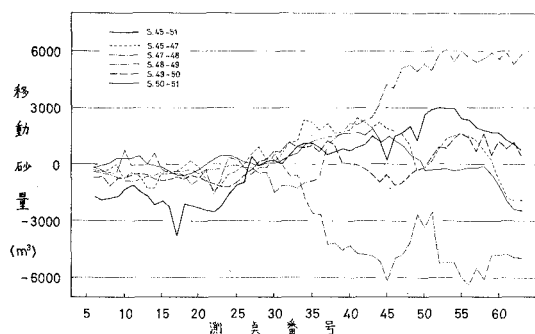
以上のような過程で、45年から51年までの6年間に経過したが、それを図示したものが図-5である。これによると、竹野海岸では離岸堤を設置しても、一般に考えられているように、その岸側では堆積し、沖側では侵

食されるといった傾向は、必ずしもみられない。特に、B堤については、その沖側はもちろん岸側でもかなりの侵食領域があることは注目すべきであろう。また、竹野海岸から約10km離れた津居山漁港での風速が10m/sec以上の風向はNあるいはNNWが卓越しており、こうしたことなどから推察すると、AおよびB堤の沖側の砂が離岸堤に沿って、西から東に向かって移動しているものと考えられる。

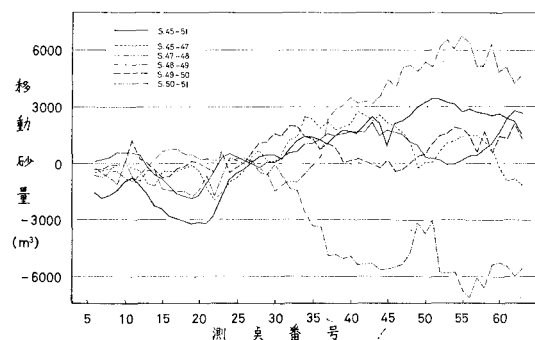
図-6(a)、(b)および(c)は、それぞれ離岸堤より岸側、沖側および全領域について、その移動砂量の分布を示したものであり、横軸の測点番号は、図-3に示したものと同一である。離岸堤より岸側については、各年



(a) 離岸堤より岸側



(b) 離岸堤より沖側



(c) 全領域

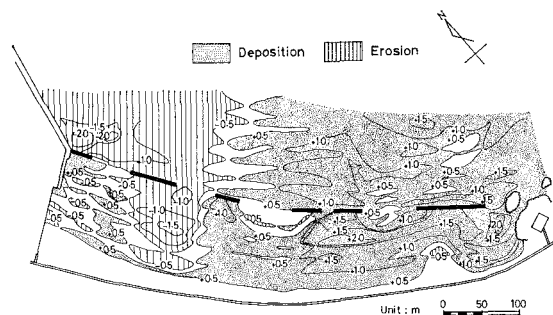


図-5 堆積侵食領域図(昭和45~51年)

図-6 移動砂量の分布

間の経年変化は複雑であるが、45年から51年までの6年間では、図-5に示したように、B堤背後からB堤とC堤の開口部までの領域で侵食されている。一方、C堤の東側の領域では堆積し、特に、DおよびE堤の東端部での堆積量は多い。離岸堤より沖側については、岸側ほどの複雑な経年変化はみられないが、海岸東部での47年から48年にかけての侵食と、48年から49年にかけての堆積とが著しかったことがよく示されている。また、45年から51年までの変化については、岸側ではB堤付近が侵食されるのに対し、沖側ではC堤の西側のすべての領域で侵食されている。さらに、全領域についても、沖側とはほぼ同様な傾向がみられる。

以上の図から、各年間ごとの三つの領域についての移動砂量を計算したものが表-1であり、表中の負号は侵食を表わしている。なお、表-1の最下段の値は45年と51年の深浅図を直接重ね合わせて6年間の移動砂量を求めたものであり、これは各年間の移動砂量の合計と当然一致しなければならない。しかし、両者の差は表-1に示すようにあまり大きくなく、これらの結果は十分信頼できるものと考えられる。なお、45年までに4,200 m³、46年に900 m³の砂が人工的に投入されているが、これは計算に入れていない。表-1によると、各年間の移動砂量の変化は大きく、特に、47年から48年にか

ては、いずれの領域でも侵食され、1年間に離岸堤岸側で35,000 m³、全領域では実に170,000 m³の侵食量に達している。また、45年から51年までの6年間については、離岸堤岸側で20,000 m³、沖側で15,000 m³、全領域では35,000 m³が堆積したことになる。いま、離岸堤岸側の面積を50,000 m²とすれば、その平均堆積高さは約0.4 mであり、離岸堤の効果は認められるが、図-5に示したように、離岸堤の岸側であっても侵食領域があり、こうした面の対策が今後の課題であろう。

(3) 移動砂量と波浪状況との関係

竹野海岸はもちろん、その近くにも定期的な波浪観測を実施しているところはない。このため、野田⁹⁾と同様に、豊岡測候所において、昭和45年から51年までの兵庫県北部に発令された波浪注意および警報の延時間を調べた。表-2はその結果であり、図-7は、月別平均の波浪注意および警報の発令延時間を示したものである。これによると、11月から1月にかけて大きな極大値、また8月に小さな極大値があり、こうした傾向は日本海沿岸の月別平均波高の傾向ときわめてよく一致している。図-8は、移動砂量と発令延時間との関係を示したものであり、47年から48年にかけての侵食が著しい期間では、発令延時間も約1,250時間でもっとも長い。さらに、47年8月および9月の発令延時間は、表-2に示したように、平均値の約2倍の100時間を越えている。以上のことから、波浪注意および警報の発令延時間の長短は、移動砂量とかなり関係深く、特に年間の発令延時間のほかに、夏から秋に

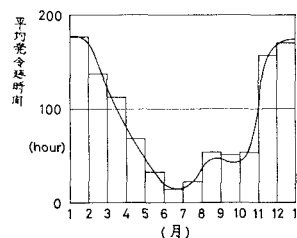


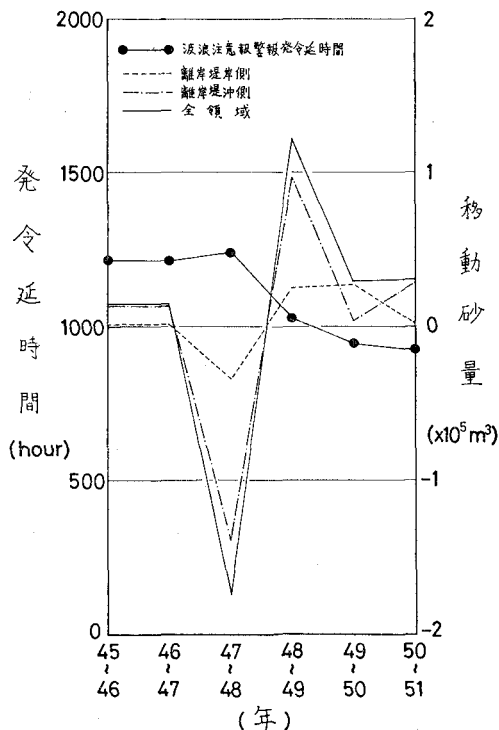
図-7 月別平均波浪注意および警報の発令延時間

表-1 移動砂量 (単位: m³)

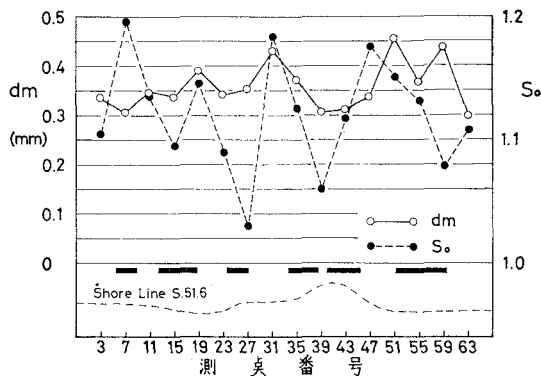
年	離岸堤岸側	離岸堤沖側	全領域
45~47	1,200	26,400	27,600
47~48	-35,300	-138,700	-174,000
48~49	25,300	96,600	121,900
49~50	27,300	1,800	29,100
50~51	1,500	29,100	30,600
計	20,000	15,200	35,200
45~51	19,600	15,300	34,900

表-2 波浪注意および警報の発令延時間 (単位: 時間)

年 月	45	46	47	48	49	50	51	平均
1	150.8	215.3	190.0	132.2	97.3	148.0	315.3	178.4
2	137.5	143.6	105.7	115.5	150.5	247.9	67.8	138.4
3	135.8	222.8	56.8	111.1	96.5	76.3	92.3	113.1
4	22.1	31.3	98.0	65.8	173.1	62.0	31.8	69.2
5	32.3	53.7	33.6	62.8	42.0	0	6.5	33.0
6	0	0	39.7	20.3	23.9	20.5	0	14.9
7	46.7	26.0	43.5	11.3	20.5	15.3	0	23.3
8	83.6	87.2	103.3	39.5	0	73.7	0	55.3
9	40.8	79.1	131.4	26.4	15.8	0	70.5	52.0
10	42.8	55.4	45.0	41.5	18.0	30.7	146.3	54.2
11	163.0	83.6	179.0	204.7	157.7	70.8	244.3	157.6
12	194.7	175.3	208.9	212.6	22.5	138.4	244.3	171.0
合計	1 050.1	1 173.7	1 234.9	1 043.7	817.8	883.6	1 219.1	1 060.4



図—8 移動砂量と波浪注意および警報発令延時間との関係



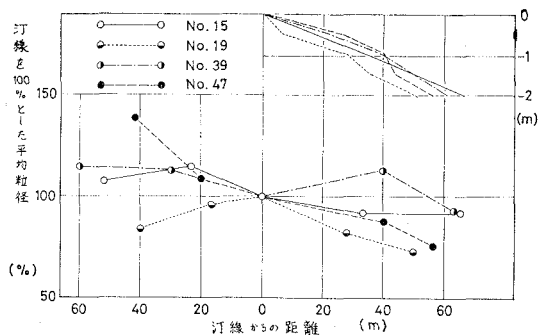
図—9 平均粒径とふるい分け係数の分布(汀線方向)

かけての発令延時間によっても、移動砂量がかなり変化する傾向がみられることは興味深い。

(4) 底質の粒径分布

著者らは、トンボロと底質の特性との関係などを調べる目的で、昭和51年8月27日～28日に、底質調査を行った。

図—9は、汀線に沿う底質の平均粒径 d_m とふるい分け係数 S_o との分布であり、図の下部には離岸堤の位置と51年6月の汀線の形状を参考のために記入した。これによると、汀線の底質の平均粒径は $0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$ であり、ふるい分け係数も $1.0 \sim 1.2$ の範囲で小さい。



図—10 平均粒径の分布(汀線に直角方向)

したがって、竹野海岸の汀線の底質は、比較的粒径の細かい均一な砂があまり変化なく分布しているといえる。しかし、平均粒径が 0.4 mm 以上の地点は、離岸堤の開口部の背後であり、逆に離岸堤背後のトンボロによって汀線が前進しているところでの底質の平均粒径は小さい。

図—10は、Bascomと同様に、縦軸に汀線の底質の平均粒径を100%としたときの平均粒径、横軸に汀線に直角方向の距離(右側が沖)をとり、海浜断面に沿う平均粒径の分布を示した。なお、図中には海浜断面を右上部に参考のために示した。これによると、陸上部では汀線に比べ粒径が大きく、海底部では小さい場合が多いようである。また、粒径の変化は離岸堤背後より開口部背後の方がやや大きいようであるが、採集資料が少ないために、その傾向は明らかでない。

3. 結 語

以上、著者らは竹野海岸における離岸堤の設置に伴う昭和45年から51年までの海浜変形について考察した結果、竹野海岸全体としては、堆積傾向にあるが、経年的には47年から48年にかけていたところで侵食されるとともに、場所的にも、B堤の背後のように離岸堤の岸側でも侵食領域になることがわかった。また、移動砂量は、年間の波浪注意や警報の発令時間ばかりでなく、夏のそれらとも若干の関係があるような傾向が見出された。最後に、本研究に貴重な資料を提供していただいた兵庫県土木部港湾課、豊岡測候所の関係各位に深謝するとともに、資料整理に大いに助力した当時関西大学学生徳原克彦、中島俊彰の両君にも謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 大浜正道：竹野の語り伝えと竹野浜の文学，竹野郷土研究会，pp. 24～25，1976。
- 2) 兵庫県土木部港湾課：竹野港模型実験報告書，pp. 1～28，1968。
- 3) 野田英明：皆生海岸における海浜過程について，第21回海講演文集，pp. 121～125，1974。