

鹿島港建設に伴う周辺海底地形の変化について

佐藤 昭二*・田中 則男**・佐々木克博***

1. まえがき

鹿島港建設工事は、昭和37年度試験突堤工事から着手されて以来、図-1に示す20万トン級船舶の入港を対象とした、港湾計画（昭和43年度改訂）に基づいて着々と進められている。着工以来、昭和47年度末に至る間の主要工事の進捗状況は、図-2に示すとおりであった。

鹿島港に関しては、その着工以前から第二港湾建設局および茨城県によって、各種の調査が継続されている。著者らも、調査計画の指導、調査および模型実験の実施、

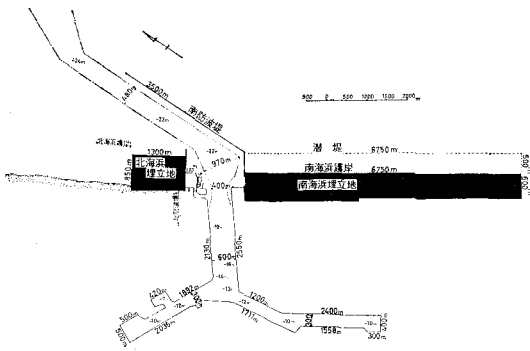


図-1 鹿島港計画平面図

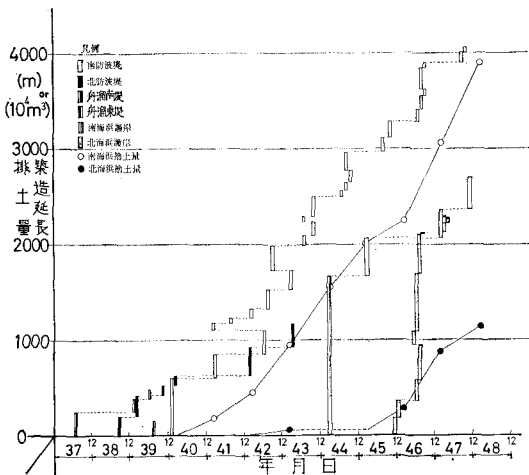


図-2 鹿島港建設工事の進捗状況

資料の解析などの形でこれに関与してきた。これら調査成果は、各種の機会に報告している^{1)~4)}。

鹿島港建設に伴う海底地形の変化に関しては、昭和42年度までの状況を第15回海岸工学講演会⁵⁾で報告している。したがって、本報告では、昭和43年度以降に生じた主要な事項についてのみ報告する。なお、本報告は文献6)に示す資料から抜粋したものである。

2. 南海岸における地形変化

図-3(a), (b)に南海岸における深浅図比較図を示す。(a)は昭和43年6月と45年6月、(b)は昭和45年6月と48年3月の比較図であり、図中斜線部分が洗掘を、斑点部分が堆積を示す。また、防波堤の黒塗りの部分は、比較の前期に施工済の部分であり、白抜の部分は後期までに施工された部分である。

図-2に示したように、昭和40年度から南海岸への土砂投棄が行われている。そのため、昭和45年の時点では、南防波堤の外側の水深-10~-20m付近を除いては、一面に堆積が生じている。特に堆積は汀線から水深-10mまでの間で著しい。また南防波堤に沿って舌状に等深線が張り出し、水深-18m以深の部分にまで堆積がおよんでいる。

ところが、昭和45年から48年にかけては、防波堤および南海岸護岸の前面で著しい洗掘が生じた。他方、水深-15m以深では激しい堆積が起り、沖合での堆積厚は1.5~2.0mにもおよんでいる。

(1) 南海岸への土砂投棄と海浜変化

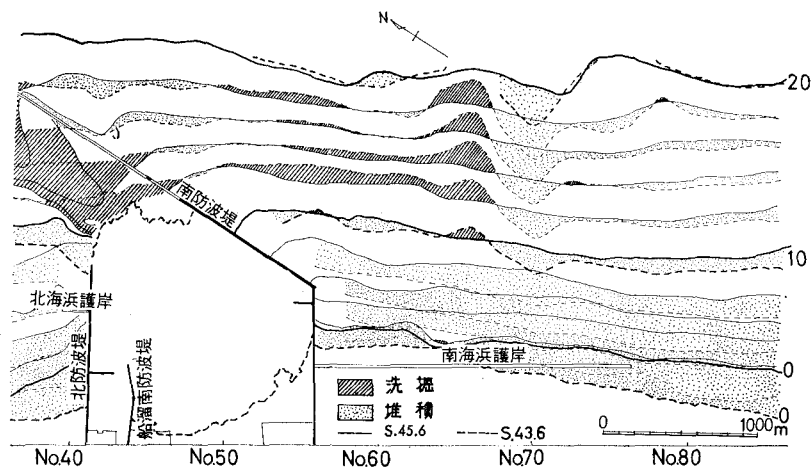
昭和40年度以来、航路浚渫土砂の一部は南海岸上に投棄され続けてきた。その投棄量は年間200~700万 m^3 であり、昭和47年度末の時点で累計3440万 m^3 にのぼっている。この土砂投棄によって南海岸が拡張した後、基線（南北防波堤の基部を結ぶ線）から沖500mの線上に護岸が設けられた。なおこの土砂投棄に先立ち、南防波堤の屈曲部から海岸線に平行に天端高-5m（原地盤は-7~-8m）の潜堤が設けられた。

図-4は、南海岸における汀線の変化を示すものである。図の左端に示した縦の軸は測量年月日であり、これから斜め上方に伸びる細い実線は測量基線を意味する。この測量基線上に示された数字は測線No.であり、No.56測線が南防波堤に当る。測量基線上の各点から水平

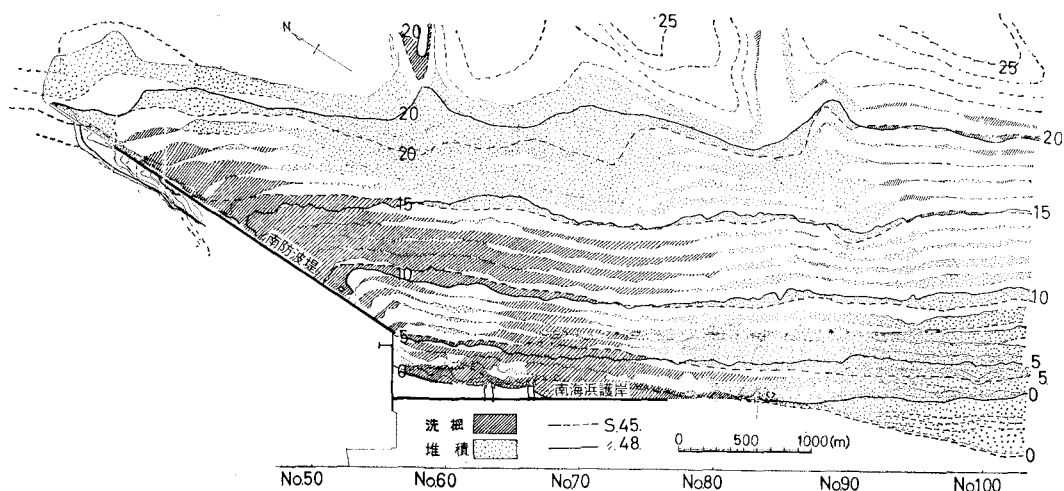
* 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部部長

** 正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部漂砂研究室長

*** 日本テトラポッド(株)土浦技術センター



(a) 昭和43年6月と45年6月の比較



(b) 昭和45年6月と48年3月の比較

図—3 鹿島港南海岸における深浅比較図

右側へ、基線から汀線までの距離がプロットされている。したがって、図中の太い実線は汀線形状を、太い鎖線が一測線上の汀線位置の時間変化を示している。

土砂投棄開始直後(図で昭和40年6月)から、南防波堤付近の汀線の前進が著しくなり、以後昭和45年秋までの期間、砂浜は沖へ、また南へと拡大を続ける。この間、汀線の形状はほぼ相似形であり(図中の太い実線が互にほぼ平行)、その汀線と基線との交角は、全域平均して9度程度、南端部分では約18度程度を保っている。昭和46年度にはいると、南防波堤に近い部分から急激な汀線後退が生じ始め、この後退地域は徐々に南に広がっていく傾向を示す。しかしこの後退地域の南側ではいまだ汀線の前進が進行している。

土砂投棄に伴う海底断面の変化を図—5に示す。この図から明らかなように、汀線が前進すると水深—2m

付近から水深—8～—10m 付近までの間の勾配が急になっていき、逆に汀線の後退が生ずる場合にはこの範囲の勾配が減少している。したがって、No. 66 測線に例をとれば、決壊して後退した昭和47年4月の断面は、水深—10m 程度の深い地点まで、43年6月の断面に酷似している。

水深2m 間隔でその間の平均勾配を求め、この値と汀線変化量との関係を示したのが図—6である。図にはデータのばらつきの下限包絡線(最急勾配)が太線、上限包絡線が細線で示されている。これによると、水深—10m 以浅においては、汀線の前進とともに勾配が急になることがわかる。しかしその変化率は漸減して、勾配はある一定値に落着く傾向がある。一方、水深—10～—12m 付近においては、これと逆に汀線の前進量が600m 程度に達して以降、勾配が減少する傾向がある。これは汀線

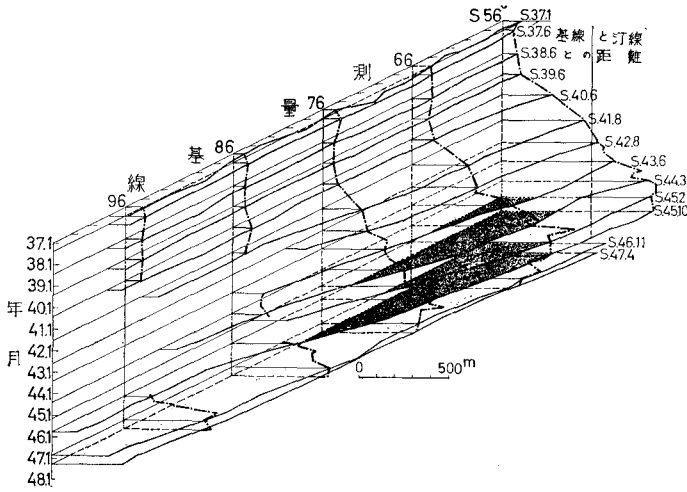


図-4 鹿島港南海岸における汀線変化

の前進量が少ない間は、ほぼ -10m より浅い所での海底勾配が急になりながら汀線が前進していくのに反して、汀線前進量が大きくなると、海底断面が平行移動しつつ汀線が前進するようになることを示している。

図-7 は、南海岸における累計土量の変化を示すものである。土量算定区域は凡例に示すように5つの zone に区分されている。zone-1 は南海浜護岸の陸側、zone-2

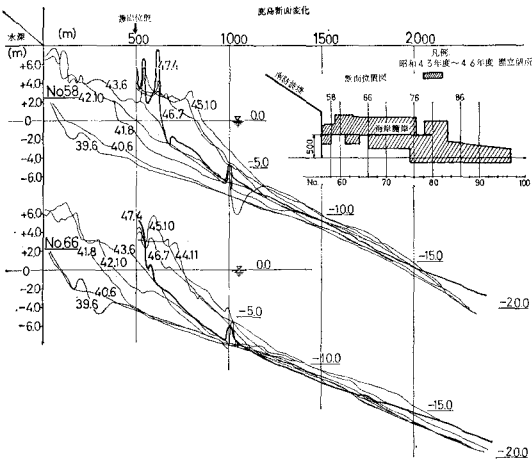


図-5 鹿島港南海岸における海底断面の変化

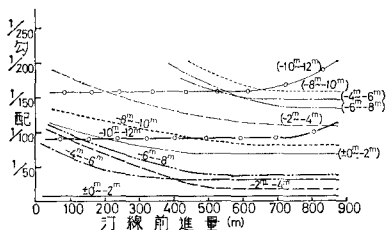


図-6 鹿島港南海岸における汀線前進量と海底勾配との関係

は護岸と離岸潜堤の間の地域に相当する。これら全区域の Total 土量, zone-1 と zone-2 の小計土量が図中の太い実線および破線で示され、さらに南海岸への投棄土砂量も示されている。港湾工事の進捗につれて深浅測量の範囲が順次拡大されており、全期間にわたって全区域が測量されているわけではない。したがって、南海岸全体の土砂の収支がこの資料によって完全に把握し得ているとは言い難い。この図によって次の諸事項が指摘できる。すなわち、

i) 全域の土量増分は、投棄土砂量の 50~80% であり、測量地域が拡大されるにつれてこの率は増大している

ように見える。

ii) zone-1 と zone-2 の合計土量の増分は、投棄土砂量のほぼ 50% で保たれている。

iii) zone-1 の土砂量は、昭和 50 年度以降急増する。これは、土砂投棄方法が変わったためであろう。すなわち、45年以前は、ポンプによる海岸への直接排出が主体であったが、以後はストックヤードに一度入れた後ベルトコンベヤー等で陸送し、ブルドーザなどで陸側から海へ押出すように投棄されている。

iv) zone-1 の土量の急増に伴って、zone-2 の土量増加が止り、昭和 46 年になると土量減少が起こるが、47 年以降再び回復する。zone-2 の土量増加が止った 45 年 3 月以降、再び土量が回復に転ずる 47 年 3 月の間の 2 カ年について見ると、その間の投棄土砂量は約 1 000 万 m^3 であり、zone-1 の土量増加量は約 78 万 m^3 にも達する。一方、zone-2 の土量が回復する 47 年度については、投

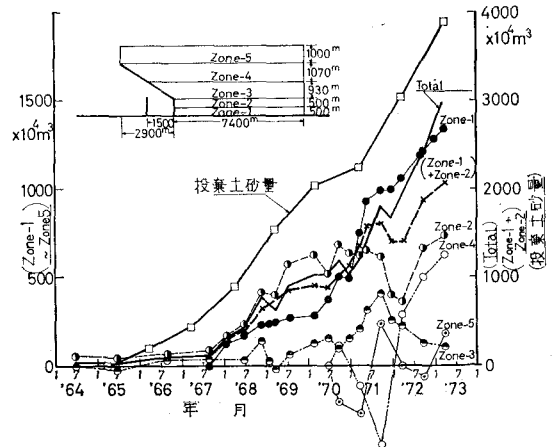


図-7 鹿島港南海岸における土量変化

棄土砂量は 850 万 m^3 , zone-1 の増加量 280 万 m^3 にすぎない。結局 zone-2 を中心に決壊の生じた時期には、投棄土砂の大半が陸上に止まり、浜の維持に寄与していなかったことになる。

v) zone-3 では zone-2 の堆積が停滞した後も、土量増加が続くが、zone-2 が決壊に転ずると同じく決壊を始める。一方、zone-4 は zone-3 とまったく相反的な土量変化を示す。すなわち、zone-2, 3 が堆積傾向を持つ間は決壊傾向を示すが、zone-2, 3 が決壊を始めると急速に堆積する。

(2) 南防波堤沖合の地形変化

図-3 に示したように、南海岸への土砂投棄の進捗によって、南防波堤の沖合も著しく堆積され、等深線は防波堤に沿って舌状に沖に張り出した。しかし、昭和45年度以降は、南海岸の汀線後退に伴ってこの堆積部分にも洗掘が生じている。

図-8 は、南防波堤沿いに設定した固定区域の水深の時間変化を示すものである。図は各区域の沖端、中央および岸側端の水深を示しており、棒グラフ状の黒塗り部

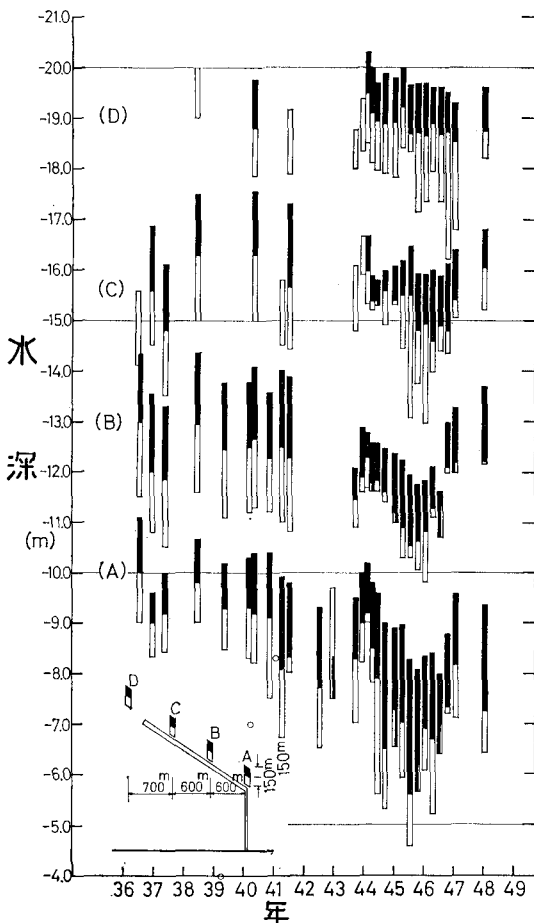


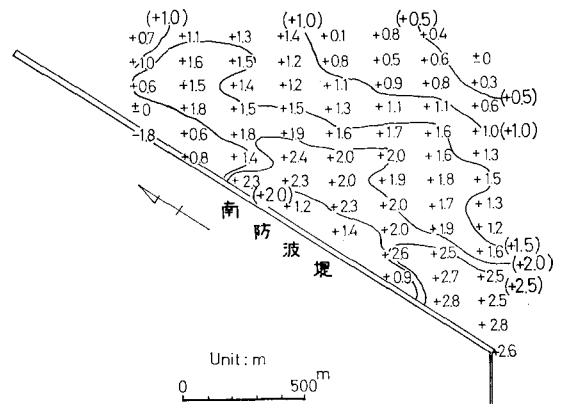
図-8 南防波堤沖の固定区域内の水深変化

分の上端が区域の沖端の水深を、白抜き部分の下端が区域の岸側端の水深を示している。したがって、棒の長さは海底の沖方向への勾配に比例することになる。

各区域とも、当初しだいに水深が減少しているが、45~46年頃から再び水深の増加に転ずる傾向を示している。しかし、水深が最も浅くなる時期は、各区域によってわずかずずれており、A区で45年7月、B区で45年11月、C区で46年1月、さらにD区では47年1月となり、水深が深いほど遅れていく傾向を持つ。

A区に急激な堆積の起こり始めるのは、昭和44年3月以降である。図-4によると、この時点で南海岸の防波堤わきの汀線は、南防波堤の折れ部から200mの位置にまで達し、折れ部の水深は -6m にまで減少している。その後この汀線はほとんど前進していない。この時点が、防波堤の投棄土砂の北側への流失を阻止する能力の、飽和状態が達成された時期なのであろう。

図-9 は、南防波堤前面の堆積期および洗掘期における水深変化量の分布を示している。図-9 (a) は堆積期



である昭和40年4月と45年8月を比較したものであり、**図-9(b)**は洗掘期の昭和45年8月と47年3月を比較したものである。図中正の値は堆積を、負の値は洗掘を意味する。

これによると、堆積期には防波堤から200m程度離れた防波堤に平行な線を軸に、帯状に堆積が伸びている。このため、等変化線は防波堤に平行に走っている。堆積量は防波堤折れ点に近いほど大きく、港口に向かって減少する。また防波堤に接する地域では、堆積量が少ない。

一方、洗掘期には、防波堤わきの決壊が大きく、等変化線は、海岸線に平行に走る傾向をもっている。また、洗掘部の周辺は堆積しており、沖合には1m以上の堆積を示す地域が存在する。

3. 北海浜における地形変化

図-10に北海浜における昭和45年と48年の深浅比較図を示す。北海岸へは昭和45年度から土砂投棄が行われている。土砂の投棄方法は、南海岸の場合と異なり、ケーソンタイプの護岸を先行させ、その背後地に土砂を投棄する方法が採られている。北海岸の海浜変形は、北防波堤に近い地域の著しい堆積と、北側に生ずる汀線の後退によって特徴づけられる。

(1) 北海岸における海浜変形

北防波堤の北側へ600m間隔で測線を選び、おのこの測線上の汀線位置の変化を示すと**図-11**のとおりである。昭和38年時点の汀線位置を基準として、この傾向を模式的に表わすと図中の小図の曲線ようになる。すなわち、当初汀線は徐々に前進する。その前進速度は防

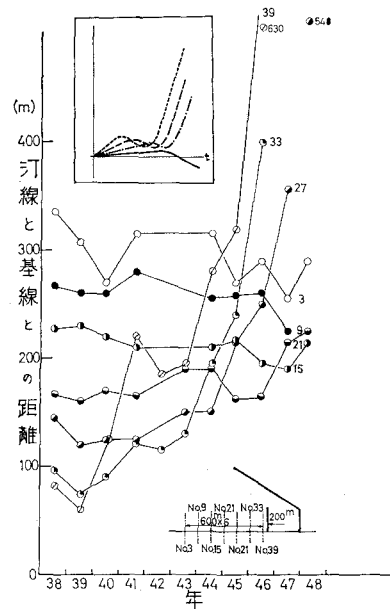


図-11 鹿島港北海岸における特定測線の汀線変化

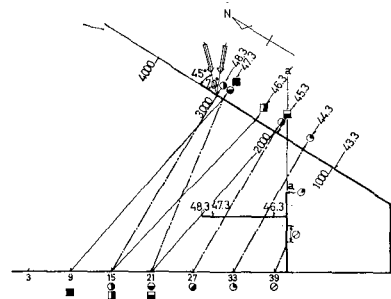


図-12 汀線の変化と防波堤々頭位置との関係

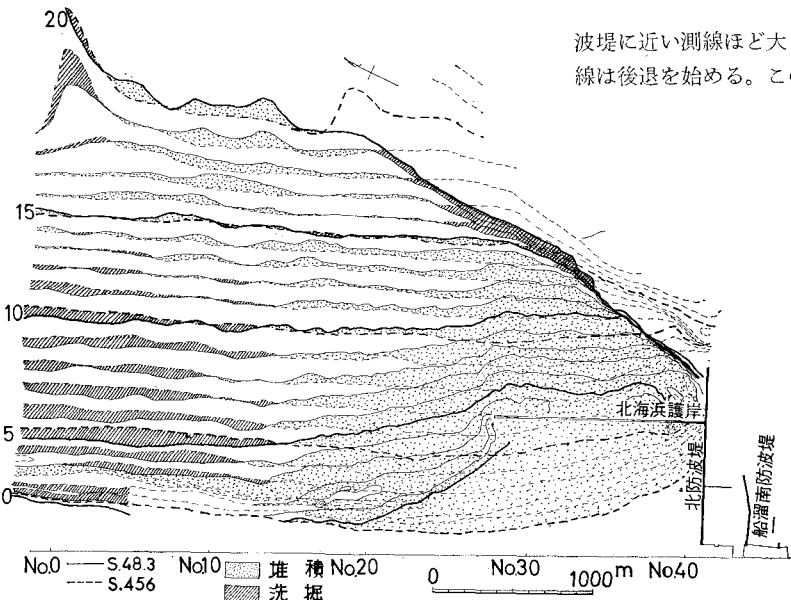


図-10 鹿島港北海岸における深浅比較図、昭和45年6月と48年3月の比較

波堤に近い測線ほど大きい。その後ある時期に至ると汀線は後退を始める。この汀線の後退は、防波堤に近い測線では一時的なもので、その後回復するが、防波堤から離れた測線では回復することがない。汀線後退が回復した測線では、汀線は急激に前進し始める。

このような汀線の変化は、南北防波堤の伸長と密接に関係している。**図-12**は各測線の汀線が後退を始めた時期と回復し始めた時期における南防波堤の堤頭部の位置を示すものである。発生時点との対応は□印と実線で、堆積に転ずる時点の対応は○印と鎖線で示されている。すなわち、

No. 21 測線に決壊が起こり始めるのは、昭和 45 年 3 月であり、そのときの南防波堤堤頭は■印の位置にあることがわかる。

図によると、汀線後退発生箇所とその時点の南防波堤堤頭部を結ぶ実線は、ほぼ平行であり、また汀線前進が起こる時期についても、鎖線で示すようにほぼ平行である。これら平行線と基線（ほぼ原海岸線に平行）とのなす角度は、それぞれ 60 度および 45 度である。すなわち、鹿島港においては海岸に立って、基線と 45 度の角度をなす方向に南防波堤堤頭部が見える地点では汀線が後退し、60 度以上の地点では汀線が前進する。

この種の汀線の変化は、防波堤によって生ずる波の遮蔽域の境界付近に起こる典型的なものであり、汀線後退が生ずる範囲は局所的である。

(2) 北海岸、防波堤周辺での地形変化

図-13 は、北防波堤周辺における水深変化の一例であり、45 年 3 月と 48 年 3 月を比較したものである。これによると、堆積は南防波堤の陰の部分に集中して起こり、北防波堤に近いほど、また、海岸に近いほど堆積量が多いことがわかる。この時期、北護岸の陸側に土砂投棄が行われており、北護岸の北側端から沖に向かって土砂が流出している形跡がある。図中には、前述した 45 度および 60 度線が描かれているが、この線付近を境として北側には堆積は生じていない。この地域への土砂の堆積は、港口部埋没の原因となっているものと考えられるが、この時点では、いまだ航路浚渫作業が継続中であり、詳細な検討は行っていない。

図-14 は、北海岸の埋没の激しい地域における土量変化を示すものである。土量計算区域は図中凡例に示すとおりである。図によると、全土量は昭和 41 年頃から、明らかに増加速度を増している。この時点では、南防波堤の延長はいまだ短く、北海岸に影響を与える長さに達していない。図-12 に示したように、南防波堤の影響が現われるのは昭和 44 年以降である。昭和 41 年から昭和

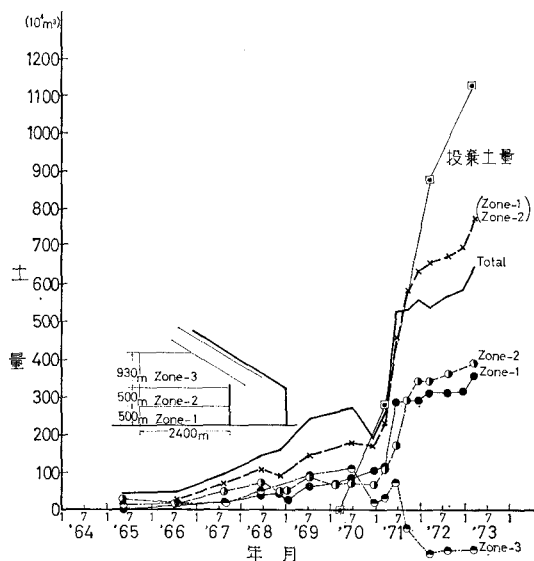


図-14 鹿島港北海岸の土量変化

44 年の間の土量増加量は、年間平均 55 万 m^3 程度であり、zone-1 および zone-2 と沿岸地域と、沖合の zone-3 の土量増加はほぼ同程度である。昭和 41 年以降堆積土量が増加する原因としては、第 1 にこの期間に昭和 40 年度以来中止されていた、北防波堤伸長が再開され（図-2 参照）たことが考えられる。また、41 年より開始された南海岸への土砂投棄が強く影響したものと思われる。

昭和 45 年以降、北海岸への土砂投棄が始まると、zone-1 および zone-2 では急激に土量が増加する。しかし zone-3 においては、港口航路の浚渫が開始され、その効果のために図中の土量は減少している（浚渫土量は把握しがたい）。zone-1, 2 の土量増加の合計は表面上投棄土砂量の 70% 以上に達する。しかし、土砂投棄前の増加分および、土砂投棄前からの土量増加傾向が継続すると考えて、その効果を差引いて考えると、昭和 46 年度は 90% に近い残留率を示すが、47 年度に至ると 50% 程度に低下して、南海岸の場合と大差がなくなる。これは昭和 46 年度中に護岸背後が埋めつくされてしまい、護岸の土砂流失阻止能力が低下するためであろう。

算定区域をより細分した計算によると、図-14 に示した区域の北側では、土量はむしろ減少傾向にあり、投棄土砂が寄与しているとは考えられない。したがって、投棄土砂量と堆積土量の差の土砂は、zone-3 あるいは、それ以深に広く分布したものと考えざるを得ない。現在の段階では、港口航路の埋没状況は把握されておらず、今後この点に留意する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・佐藤昭二・田中則男：鹿島海岸の漂砂について、第 11 回海岸工学講演会講演集，pp. 175～180，1964 年 11 月。

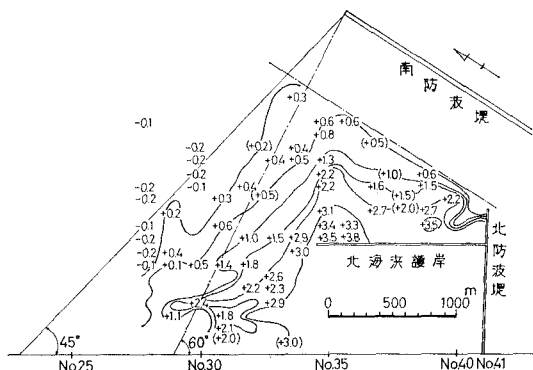


図-13 北防波堤周辺における水深変化の分布、昭和 45 年 3 月と 48 年 3 月の比較

- 2) Sato, S. and N. Tanaka: Field investigations on sand drift at Kashima facing the Pacific Ocean, 10th Conf. on Coastal Eng., 1966.
 - 3) 佐藤昭二・田中則男・入江 功・平原淳次: 港湾埋没に関する移動床模型の再現性
 - 4) Sato, S.: Variation of topography of sea-bed caused by the construction of breakwater, Coastal Eng. in Japan, Vol. 11, JSCE, Dec. 1970.
 - 5) 佐藤昭二・田中則男・入江 功: 鹿島港防波堤延長工事に伴う海底地形の変化について, 第15回海岸工学講演会講演集, pp. 163~168, 1968年12月.
 - 6) 佐藤昭二・田中則男・佐々木克博: 港湾建設に伴う海底地形変化に関する事例研究(その1)―鹿島港の場合, 港湾技研資料, 1974年9月刊行予定.
 - 7) 田中則男・沢本正樹: 砂浜港湾周辺における海浜変形―航空写真による現状把握と海浜変形形態類型化の試み, 港湾技研資料, No. 180, 1974年3月.
-