

離岸堤の高さについて

豊 島 修*

1. はじめに

新潟市西海岸の金衛町海岸では、昭和 41 年度から海岸侵食対策事業として離岸堤工法が採用され、昭和 43 年度までに 4 基、延長合計 1 025 m が完成している。これらの離岸堤の設置後間もなくトンボロが発生し、その後汀線は前進、後退をくりかえして現在に至っている。

ここでは、これらの離岸堤のうち、昭和 41、42 年度に設置された A、B 両離岸堤について、その堤高の変化（沈下とかさ上げ）と、潮位および波浪の調査結果をとりまとめ、これらと汀線変化の関係について考察した結果について報告する。

なお、使用した資料はつぎのとおりである。

潮汐記録……昭和 41 年 5 月～昭和 44 年 7 月

波浪記録……昭和 41 年 10 月～昭和 44 年 6 月

途中 42 年 7 月と 8 月は計器故障のため欠測

深浅測量……昭和 41 年 5 月～昭和 44 年 7 月

第 1 回 (6) 昭和 41 年 5 月 離岸堤着工前

第 2 回 (1) 昭和 41 年 8 月 A 離岸堤施工中

第 3 回 (2) 昭和 42 年 5 月 B 離岸堤着工前

第 4 回 (3) 昭和 42 年 9 月 B 離岸堤着工後

第 5 回 (4) 昭和 43 年 3 月

第 6 回 (5) 昭和 43 年 5 月 A 離岸堤嵩上り前

第 7 回 (6) 昭和 43 年 10 月 A 離岸堤嵩上り後

第 8 回 (7) 昭和 44 年 3 月

第 9 回 (8) 昭和 44 年 7 月

汀線測量……昭和 41 年 5 月から昭和 44 年 7 月までに

延べ 22 回実施

2. 離岸堤の概要

昭和 41 年度から 43 年度にかけて設置された離岸堤の内訳はつぎのとおりである（図—1 参照）。

昭和 41 年度 新 設 1 基 397 m (A 離岸堤)

昭和 42 年度 新 設 1 基 320 m (B 離岸堤)

昭和 43 年度 { 新 設 2 基 { 102 m (C 離岸堤)
かさ上げ 1 基 397 m (A 離岸堤)

合 計 { 新 設 4 基 1 025 m
かさ上げ 1 基 397 m

A および B 離岸堤の設置位置は、平均水深が 2～2.5 m となる距岸 130 m 付近とし、その長さはトンボロ発生効果を考慮しておおむね 400 m 以下とした。

開口部幅は、その正面汀線がとくに侵食されることを避けるため 50 m とし、開口部の海底洗掘を防止するためにフトン箆を沈設した。

C および D 堤は、A および B 堤に比較してやや浅い位置に延長を短くして配置した。この場合の開口部幅は、背後の汀線付近がいずれも護岸および根固工が完成していることから、それぞれ 60 m および 90 m とし、必要あれば後年度においてさらに開口幅を狭めることにした。また、開口部海底の洗掘については、離岸堤延長が短いために比較的少ないものと判断し、開口部全体にフトン箆を沈設することはとりやめた。

A、B および C 堤については、離岸堤設置後間もなくトンボロが発生し、前進後退をくりかえしつつも現在までトンボロは存在しているが、D 堤については設置後 1 年を経過するもトンボロは発生していない。この理由は目下のところ定かではないが、既設の突堤があるいは影

響を与えているのではないかと考えられる。

離岸堤の構造は、六脚ブロック (5.5 t 型) の 4×3 の 2 層積とし、基礎には含銅鉄線フトン箆を用いた。A、B 離岸堤では、離岸堤の前後の海底が洗掘されて、フトン箆が匍行、傾斜することが予想さ

図—1 新潟金衛町海岸離岸堤位置図

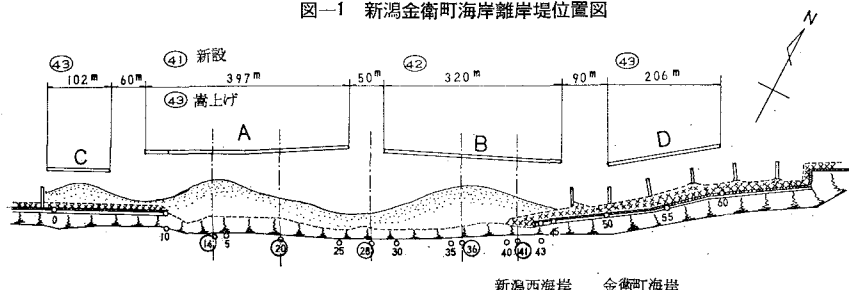
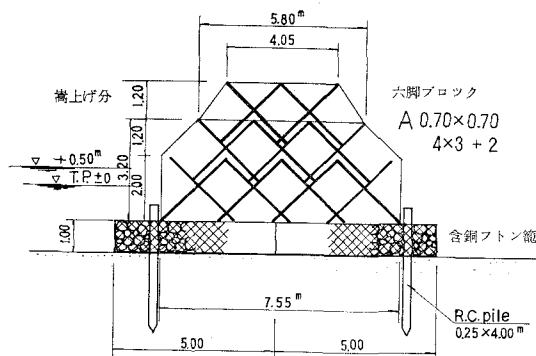


図-2 離岸堤構造図



れたので、4mのR.C.パイルを用いたが、その後の調査から、その可能性は比較的小さいと判断し、昭和43年度に設置したC、D堤では杭は用いていない。

なお、図-2の最上段のブロック2個は、昭和43年度に実施したA堤のかさ上げ分に相当するものである。

3. 潮位と波浪

潮位と波浪の記録を整理し、横軸に年月をとってとりまとめたものを図-3に示してある。

離岸堤の機能に最も大きな影響を与えるものは、離岸堤の水面上の高さであるとの想定のもとに、満潮位について整理し、これを月平均満潮位として表示してみた。

対応して比較考察すべき汀線変化の記録が2〜3カ月

ごとしか得られていないので、つぎの調査までの期間の外力の累計が汀線変化量の累計として現われてくるという考え方から、汀線変化に影響を与えるであろうと思われるある期間の平均満潮位をとることにしたが、表示方法との関連から月平均満潮位で表示することとした。なお参考のために5日ごとの満潮位もプロットして同時に図示してある。

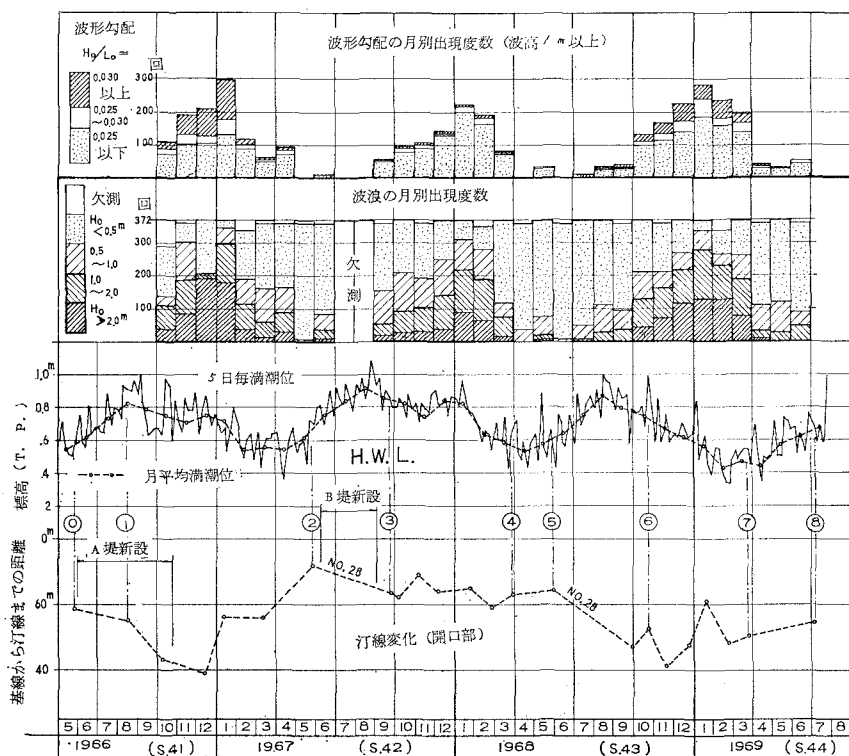
波浪の記録は、2時間ごとに10分間の観測が行なわれているが、42年の7、8月の計器故障による欠測を除けば、1日12回、月平均360回前後の観測値が、ほとんど100%に近い観測率で得られており、波高計による観測率としてはきわめて高いものと考えられる。

この波浪記録の整理については、潮位と同様の主旨から月ごとにまとめることとし、図に示すように、波高を4段階に分けた出現度数と、波高1m以上の波についての波形勾配別出現度数とを表示してみた。

波高が2mをこえるものは、離岸堤前面の水深の関係から沖側で砕波するものと考え、2m以上の分類はとりやめることとした。また波形勾配別表示については、波高1m以上の波を対象とした。波高1m未満の波の波形勾配は、すべて0.025以下であると考えてよい。

さて、以上のような形でとりまとめられた外力条件について考察してみよう。まず月平均満潮位の変化についてみると、毎年7〜10月がかなり高く、2〜4月が比較的低い。

図-3 月平均満潮位および波浪の月別出現度数と開口部汀線変化との関係



しかし、高低があるといってもわが国でも最も干満の差が小さい地域の1つであるから、月平均満潮位からみればその高低の差は高高40cm程度である。しかしながら、5日ごと満潮位にも見られるように夏季にはしばしば1m近い潮位に達することがある。

波浪については、当然のことながら11月〜2月の冬季間に大きな波が集中している。とくに、1月は1m以上の波が観測波数の大半を占め、ほぼ300回に近く、冬季風浪のはげしさを物語っている。

波高1m以上の波

の波形勾配を調べたところ、図のようにその大部分は 0.03 以下であり、0.03 より大きい例は比較的少ない。

もっとも、このことは予想されなかったわけではなく、新潟県の調査²⁾によっても、

$$H_{1/3} < 1.0 \text{ m} \quad \text{で} \quad T = 6 \sim 7 \text{ sec}$$

$$H_{1/3} = 1.0 \sim 2.0 \text{ m} \quad \text{で} \quad T = 7 \sim 8 \text{ sec}$$

$$H_{1/3} = 2.0 \sim 3.0 \text{ m} \quad \text{で} \quad T = 8 \sim 9 \text{ sec}$$

$H_{1/3} = 3.0 \text{ m}$ 以上では波高 1 m に対して $T = 1 \text{ sec}$ の割で対応し、波高の増大にともなって周期も長くなると報告されている。

4. 開口部の汀線変化

汀線変化に対する潮位および波浪の影響を見るために、A, B 両堤の開口部正面位置（測点 No. 28）における汀線変化を調べ、図-3 に同時に示してみた。これによれば、汀線は 41 年 5 月から 12 月まで徐々に後退している。これは A 堤新設による回折波の影響か、あるいは 8~10 月の高い潮位によるものと考えられる。

つぎに 12 月から 3 月そして 5 月までは一方的に前進している。この期間は、今回の調査期間の中でも最も波浪が大きく、かつ波形勾配の大きい波の来襲が最も多い期間であるにもかかわらず、汀線は前進している。

この原因は、これだけではよくわからないが、平均潮位は比較的低い期間である。

42 年 6 月から汀線は徐々に後退を始めるが、この期間は夏季の高潮位の期間であるとともに、B 堤が新設された直後であり、A, B 両離岸堤の影響で開口部正面の汀線が後退することはある程度予想されることである。

しかし、その後 42 年冬期から 43 年 5 月頃までは、汀線は比較的安定している。とくに、42 年 12 月から 43 年 2 月にかけての高い潮位、大きな波浪に対し、汀線がほとんど後退していない理由はよくわからない。

43 年 5 月から 9 月にかけて、汀線はかなり大幅な後退を示している。この期間の波浪は非常に小さいが、潮位はかなり高い期間である。

43 年 9 月以降は、再び徐々に汀線は前進している。この期間は前と同様に、冬季風浪が非常に大きい期間であるが、潮位は比較的低い期間である。

以上、汀線変化と潮位、波浪の関係をみてみたが、A, B 両離岸堤の開口部正面位置であることから両離岸堤の影響の大きいことはもちろんであるが、この図からみれば、波浪が汀線後退の原因になったケースはなく、むしろ前進の原因とさえ思われ、汀線が後退するのは月平均満潮位が高い期間であるといえることができる。

5. A 離岸堤と汀線変化

図-4 は、A 離岸堤の高さと背後の汀線の変化を、測点 No. 14 および No. 20 を代表測点として表示したものであり、No. 14 は図-1 に見られるように、おおむねトンボロの頂点の位置に相当する測点である。

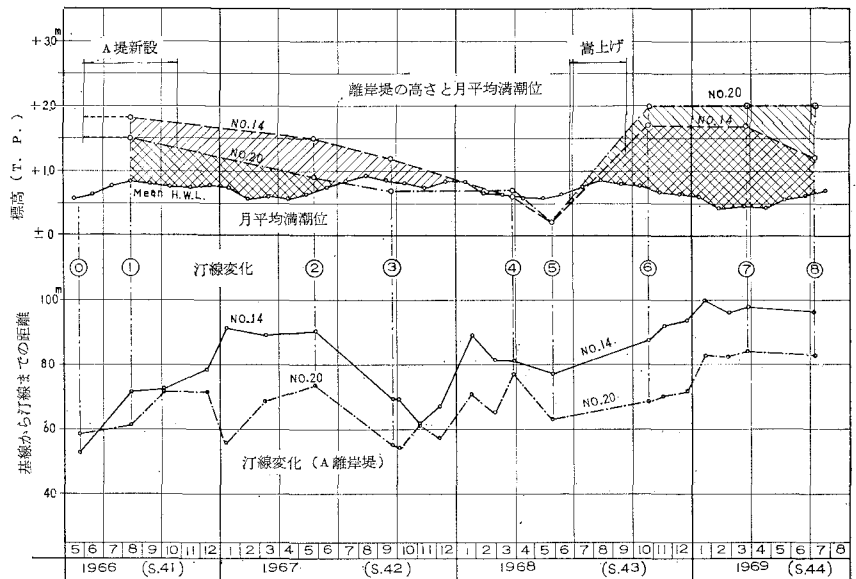
昭和 41 年 6 月から 10 月にかけて A 離岸堤が施工されたが、図のように 8 月中旬頃にはすでに汀線が前進を始め、引きつづき 12 月から 1 月まで汀線は前進している。ただし、No. 20 では 1 月に一度後退したが、3 月から 6 月にかけて再び前進している。

図の上部に斜線で示してある部分は、離岸堤の天端高と月平均満潮位との差であり、離岸堤の水面上の高さの平均値に相当する。離岸堤の天端高は、設置時の海底地盤高の関係から 0.5 m 程度の高低差が始めからあった。

離岸堤設置後初めての深浅測量（② 昭和 42 年 5 月）で両測点とも多少の離岸堤沈下が認められたが、同年 9 月（③）の測量ではさらに沈下が進み、No. 20 ではほとんど満潮面下に没した形となった。

一方汀線は、② まで順調に前進をつづけていたものが② から③に至る 4 カ月間に両測点ともかなり大幅に後退した。ここに至るまでの汀線の変化と潮位、波浪との関係をみると、斜線の部分すなわち離岸堤の満潮面上の高さがかなり高い時には汀線は前進しているが、この

図-4 A 離岸堤と汀線変化



高さが離岸堤の沈下または満潮位の上昇によって小さくなり、ある高さ以下になると汀線は後退しているように思われる。このことは、No. 20 の汀線が、42年1月頃、月平均満潮位が高くなった時に後退し、2月から5月にかけて満潮位が低くなってきた時に再び前進していることからうかがわれる。

ただし、ここで斜線で示した離岸堤の水面上の高さは、①から②、さらには③へと深浅測量のたびに発見された離岸堤の沈下量が徐々に均等に直線的に沈下したと仮定した時の高さであり、この沈下はこのように平均的に生じたものか、あるいはある時機に急激に短時日の間に沈下したものかについては明らかでないで、一概にこの斜線部分の水面上の高さのみで汀線前進に必要な高さを推定することは早計であると考えられる。

42年5月(②)から同年9月(③)さらに11月にかけては、両測点とも後退の一步をたどっているが、これについては上にも述べたように、離岸堤が沈下し、逆に平均満潮位はかなり高くなり、離岸堤の水面上の高さが大幅に小さくなり No. 20 では平均満潮位に対しては水面下に没する形となったことが汀線大幅後退の原因であると考えられる。

しかしながら、この間における土砂移動の原動力ともいうべき波浪については、残念ながら7、8月が欠測のため明らかではないが、例年7~8月頃は大きな波はないのが通例であり、波力よりもむしろ潮位の高さが汀線変化を支配しているように見受けられる。

一方、42年の年末から翌43年3月にかけては、潮位はわずかに低くなった程度であり、冬季風浪の最中にもかかわらず、汀線は両測点ともかなり前進している。

この期間は、離岸堤の沈下もかなり進み、図のように No. 14 ではほぼ平均満潮位と同程度の高さ、No. 20 では水面下に完全に没した状態でありながらも汀線が前進している。

その後④から⑤にかけては、両測点とも離岸堤は平均満潮面以下に没し去っているが、その割には汀線後退は比較的小さいように思われる。もっとも、図-3 から見ると、この期間は大きな波浪は来襲していない。

⑤から⑥にかけて、A離岸堤のかさ上げが実施され、離岸堤は再び平

均満潮位上かなりの高さを保つことになり汀線もこれに応じて⑥から⑦へと再び前進した。

6. B 離岸堤と汀線変化

図-5 は、前と同様にB離岸堤について、離岸堤の高さと背後の汀線変化を、測点 No. 36 および No. 41 について表示したもので、このうち No. 36 は、B 離岸堤によるトンボロの頂点付近に相当する測点である。

B 離岸堤は昭和42年の夏季(6月~9月)に新設されたが、それまでも汀線はやや前進気味に見える。この点は、図-3 の開口部の No. 28 とやや似た傾向であり、平均満潮位が高い期間は汀線が後退し、低くなるにつれて汀線が前進する傾向を見せている。

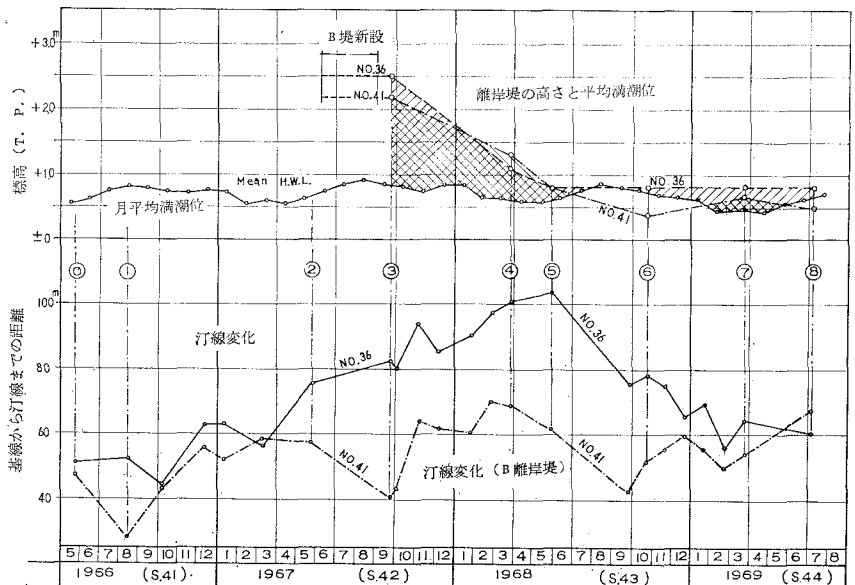
離岸堤の新設期間を含む②から③の期間は、No. 36 はやや前進しているが No. 41 は大きく後退している。この期間は図-3 の No. 28 も、図-4 の両測点とも後退を示しており、波浪記録は欠測で不明であるが潮位は調査期間中のほぼ最高を示すほど高い期間である。

離岸堤が完成した③から④にかけては、一時42年の11~12月にかけてやや汀線は後退したものの、43年の3月までおおむね前進の様相を示している。

しかしながら④および⑤から以降は急激に汀線が後退を始める。離岸堤の高さが完成後半年間に大幅に沈下したことがこの原因と考えられる。⑤から⑥にかけては離岸堤の沈下は比較的小さいが、平均満潮位が高くなるため、汀線は後退するが、43年の10月から12月にかけて No. 41 はかなり汀線が前進した。離岸堤の No. 36 付近は局部的に沈下が著しかったので、⑥から⑦の間に局部的に小規模なかさ上げが行なわれた。

No. 36 が43年の10月~12月に後退しているのに

図-5 B 離岸堤と汀線変化



対して、No. 41 が前進しているのは、あるいはこの離岸堤のかさ上げの影響かとも考えられるが、図でも明らかのように、かさ上げしたとはいえ No. 36 よりもまだ低く、かさ上げだけが理由ではないようである。

昭和 44 年 2 月以降は、平均満潮位が多少低下したためか、汀線はいずれも再び前進を始めているが、潮位の上昇に伴って再び後退の兆候が見られるようである。

7. 汀線変化に関する考察

以上、開口部および A、B 両離岸堤背後の汀線の変化についてそれぞれ述べてきたが、ここでこれらを取りまとめ、考察してみよう。

まず潮位についてみると

- ① 月平均満潮位が高くなる 7 月～10 月にかけては、汀線が後退する例が多い。

潮位は、月平均満潮位を考えてみると、夏季の高い時でおおむね T.P. +70 cm から 90 cm ぐらいであり、2 月から 4 月にかけての低い時期の潮位が約 50 cm ぐらいである。したがって月平均満潮位が高いといってもその差はたかだか 20 cm ないし 40 cm ぐらいであり、月平均満潮位から見れば、汀線の変化に決定的な影響を与えるような潮位差ではないように考えられる。

しかしながら、図—3 の 5 日ごと満潮位の曲線にも見られるように、夏季の満潮位はしばしば 1 m に近い値を示しているのに対し、春の低い時は高くても 60 cm 程度であるから、この差がやはり大きな影響を与えようと考えざるを得ないと思われる。事実、7 月～10 月の間で汀線が前進した例は、41 年の A 離岸堤、42 年の No. 36 (B 離岸堤) および 43 年の A 離岸堤のみであり、これらはいずれも離岸堤が新設中か、かさ上げ中であり、離岸堤の高さが最も高い時に相当する。

- ② 月平均満潮位が低い時には、汀線は前進する傾向が強い。

① とは逆に、平均満潮位が低い時期は、おおむね汀線は前進している。このことは、離岸堤の有無、あるいはその天端高の高低にいろいろ影響されながらも、平均満潮位が低い時期には汀線が前進する例が圧倒的に多いということである。① でも述べたように、平均満潮位の高低差は 40 cm 程度しかないが、この差が汀線変化に微妙に影響すると考えざるを得ない。

もっとも、ここでは水面上の離岸堤の有効最少高を想定しているため、満潮位のみを見つめ、干潮位については検討の対象としていない。満潮位の低い時期は干潮位もそれだけ低いはずであるから、この低い干潮位が大きく影響を与えているとも考えられる。

つぎに波浪の影響についてみると、

- ③ 1 m 以上の波浪の大部分は 10 月～3 月に集中しているが、冬季風浪とはいえ、その波形勾配が 0.03

をこえる例は比較的少ない。

この調査期間中でも、41 年の 10 月から 42 年の 1 月にかけて、かなり波形勾配の大きい波が来襲しているが、他の場合は比較的少ない。

この波形勾配の比較的大きかった 41 年 10 月～42 年 1 月における汀線変化を見ると、A 離岸堤の No. 20 を除けば他はおおむね前進しており、波形勾配の大きさと汀線の後退とは特に相関は認められないようである。

- ④ 冬季風浪で汀線が後退した例は少ない。

③ と同趣旨のことではあるが、冬季風浪の期間中に汀線が後退した例は非常に少ない。このことは、風浪のみの問題ではなく、離岸堤の有無や潮位の高低に大いに関係があることではあるが、汀線は冬季風浪により後退するよりむしろ前進している例が大部分である。

- ⑤ 夏季の波浪の侵食性が大きい？

① でも述べたように、夏季の潮位が高い時期に汀線が後退している例が非常に多い。図—3 の波浪の月別出現度数からみても、これらの夏季 3～4 カ月間の来襲波浪は年間で最も小さくかつ少ない時期でありながら、汀線は大幅に後退している。

したがって、これから見るかぎり、夏季の波浪はその来襲頻度は非常に小さく、波形勾配も比較的小さいが、汀線の変化には大きな影響を与えており、冬季風浪よりむしろ侵食の傾向が強いと考えられる。

つぎに離岸堤の高さについてみると、

- ⑥ 離岸堤の水面上の高さが高い時は汀線は前進する。

これは当然予想される所であり、離岸堤新設直後、あるいはかさ上げ後は汀線が大幅に前進するが、離岸堤が沈下して、水面上の高さが小さくなると、汀線は後退する例が多い。汀線の後退を防ぐために必要な水面上の最小高さは、潮位、波浪との関係で一概にはいえないが、今回の調査から見れば、平均満潮位上少なくとも 50～60 cm は必要であると考えられる。

もっとも、前にも述べたように、離岸堤の天端高が、図—3～4 のように一律に直線的に沈下したものかどうかは不明であるが、直線的に沈下したと仮定した時には水面上 50～60 cm の高さが汀線を維持するために必要な高さということができそうである。

- ⑦ 離岸堤が低くても、潮位が低い時には汀線の後退は比較的少ない。

このことは、潮位が低い時は水深が小さくなり、波は沖側で砕波し、それだけ離岸堤の効率が大きくなると考えられる。図—4 の ③ から ④ に至る期間、あるいは図—5 の ⑥ から ⑦ に至る期間などいずれも離岸堤は平均満潮位またはそれ以下であり、冬季風浪のさ中でありながら、汀線はむしろ前進する傾向すら見せている。

以上のような考察の結果

⑧ 離岸堤が有効に作用するために必要な高さは、その水面上の高さの絶対値のみならず、その設置位置にお

ける水深と来襲する波の特性に大きく関係する。ということができよう。

図-6 海底断面変化 (A 離岸堤)

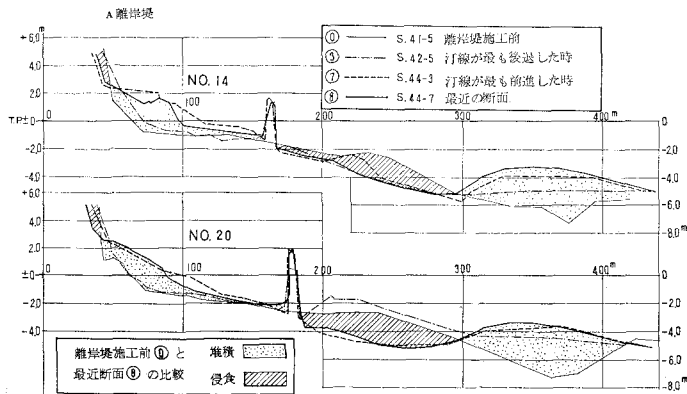


図-7 海底断面変化 (B 離岸堤)

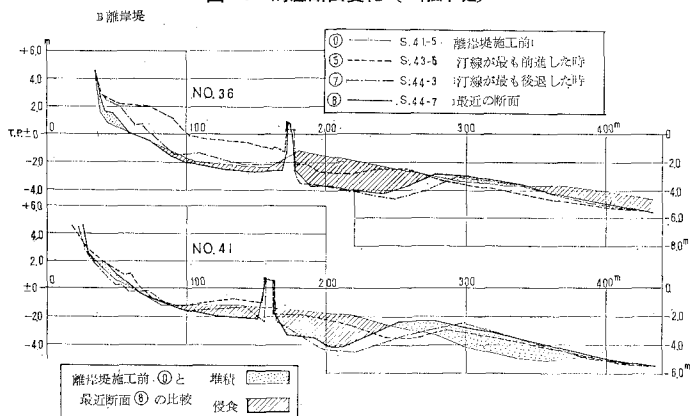
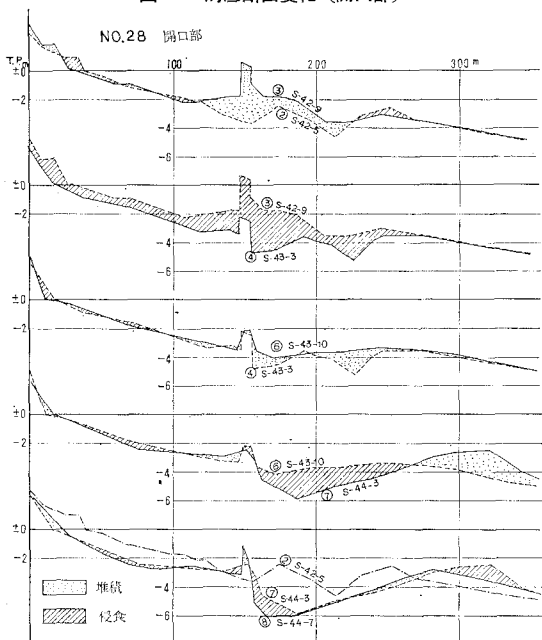


図-8 海底断面変化 (開口部)



8. 海底断面の変化

図-6~8 は、それぞれ A, B 離岸堤および開口部における海底変化を示したものである。

まず、図-6 の A 離岸堤では、両測点とも離岸堤前面が洗掘されてバーが消失し、その一部は堤内側へ運び込まれるとともに、沖合のトラフが埋められて大きなバーに発達し、バーが沖側へ移動した形となっている。また両断面とも侵食量にくらべて堆積量が多くなっており、かなりの土砂が補給された形になっている。

図-7 の B 離岸堤では、堤内側の最近の断面は当初断面とほぼ同じ状況を示しているが、離岸堤前面は A と同様大きく洗掘されている。なお No. 36 の汀線が最も前進した ⑤ の断面ではかなりの土砂が堤内側に運び込まれた様子を呈している。

図-8 は、開口部における変化を示したものであるが、② から ③ にかけて洗掘防止工として設置したフトン籠が、④ の翌年春までに全体が大きく沈下した様子がうかがわれる。

9. おわりに

離岸堤の水面上の高さがトンボロの汀線変化を支配する大きな要素であるという想定のもとに、潮位、波浪の外力条件を整理し検討してみたが、結果は、離岸堤が有効に作用するために必要な高さは、その水面上の高さの絶対値のみならず、その設置位置における水深と来襲する波の特性が大きく関係するという常識的な結果となったようである。

調査はひきつづき続けられる予定であるので、今後はさらに設置水深と波浪特性にも注目しつつ検討をすすめてゆきたいと考えている。

なお、資料については、新潟県土木部河川課および新潟港湾事務所の方々のご協力を頂いた。ここに厚くお礼を申し上げる次第である。

参考文献

- 1) 豊島 修：離岸堤工法について、第 15 回 海岸工学講演集、1968。
- 2) 新潟県土木部：新潟海岸の欠損について (第二輯)、昭和 39 年 3 月。