

新潟海岸の離岸堤の効果

片山 猛雄*・入江 功**・川上 俊雄***

1. まえがき

新潟海岸は明治中期以来、海岸欠壊がひどく、その対策に多くの努力が払われてきたことで有名である。そしてこの欠壊対策の努力の末に行きついた海岸防護の姿が現在みられるような、離岸堤を中心とした突堤群（締切堤、縦堤ともいう）、護岸などの一連の構造物といえよう。ここにおける離岸堤は最近多くの建設が見られる離岸堤と多少異なり、延長数 km の連続式離岸堤で、天端高 1~3m、海岸線から約 150m とかなり離れた所に設置されているものである。

現在この離岸堤を中心とした海岸防護構造物により、海岸欠壊は一応くい止められている。この離岸堤の欠壊防止機能については、今までも多くの調査・研究がなされているが^{1)~6)}、われわれは、今回特に、最近の離岸堤の挙動に焦点をあて、この離岸堤の果たしている欠壊防止機能と、そこで生じている種々の現象の現地観測の結果を報告するものである。

2. 新潟海岸の最近の欠壊について

(1) 欠壊の経緯

新潟海岸は元来、冬季は日本海特有の厳しい波浪により相当な海岸欠壊を生じていた。それを信濃川から供給されるばく大な量の土砂により補い、あるいは補い余りある状態で他の季節にてい線を前進させて、バランスを保ってきたものである。海岸欠壊は、このような自然のバランスが明治中期以降の河道の改修、大正時代の大河津分水工事などによる流出土砂の激減、さらに新潟港西突堤築造による流出土砂の沖への流送などにより、大きくくずれたために生じたものである。

また戦後は、これに加えて、地下水および水溶性ガスの大量採取に伴う地盤沈下がこのバランスを大きくくずわせた新たな原因としてあげられる。

(2) 最近の海岸欠壊の状況

図-1 は昭和 39 年から 46 年までの毎年の深浅測量の

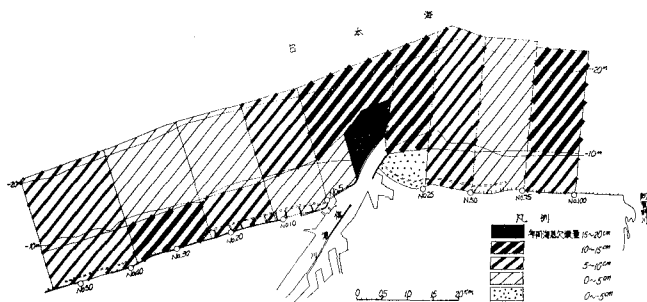


図-1 新潟海岸の海底土砂の欠壊状況

結果をもとに新潟海岸の各区域の欠壊状況を示したものである。これによると、① 新潟海岸は沖合も含めて全般に欠壊性である。② 河口付近を中心に欠壊が広がっている。③ 西防波堤元付付近では欠壊量が比較的少ないが、これは新潟港港内のしゅんせつ土砂（30~40 万 m^3 /年）が養浜用として捨土されており、その効果が現われているものである。このように新潟海岸は土砂欠乏と地盤沈下というバランスのくずれから、新たなバランスを求めて、欠壊が現在も進行していることがわかる。

3. 離岸堤内の平均水深の変化について

(1) 離岸堤建設の経過

前述のように、離岸堤は試行のすえに行きついたもので、西海岸では、昭和 25 年、従来からの防護構造物（T 形突堤）を基にして潜堤（天端高 ±0m）として施工され、その後昭和 36 年ごろ天端高 +0.5m、さらに 40 年ごろ天端高 +1.1m にかさ上げ補強されている。

東海岸では、昭和 42 年より施工が始まり、当初天端高 +1.1m、その後昭和 45 年より天端高 +3.0m にかさ上げ補強されている。

(2) 堤内平均水深の変化

離岸堤の欠壊防止効果について、離岸堤内の土砂の堆積状況を堤内の平均水深の変化と周辺地盤高の変化の関係よりみる。図-2 は、この調査範囲、西海岸・東海岸の約 4km の A~H までの各区域を示したものである。

図-3 は A~H までの各区域の昭和 30 年から現在までの離岸堤内の平均水深、沖合水深 -10m（昭和 31 年 4 月時点）地点の水深変化および背後水準点の地盤沈下による地盤高の変化の関係を示したものである。これに

* 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所長

** 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所調査課長

*** 運輸省第一港湾建設局新潟港工事事務所建設専門官

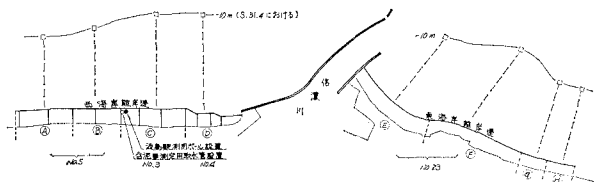


図-2 新潟海岸調査対象区域

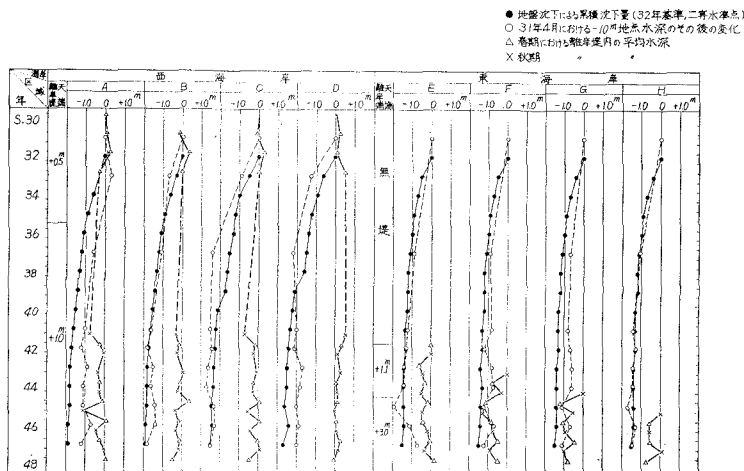


図-3 離岸堤内の平均水深の変化と地盤沈下

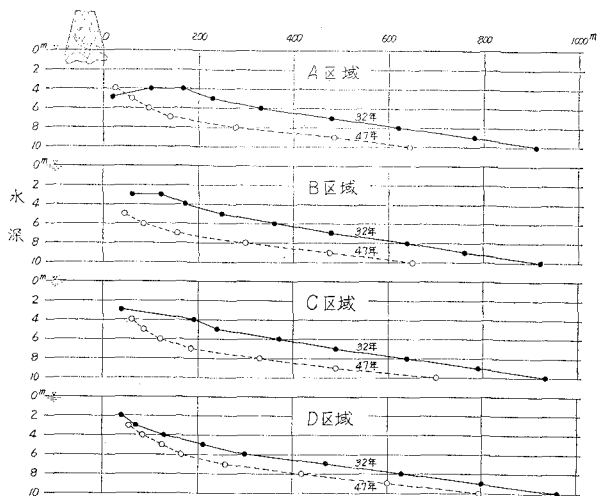


図-4 西海岸の海底断面の変化

よると、①背後水準点の沈下と -10m 地点の沈下傾向が一致していることから、海底低下には地盤沈下も大きく影響している。② それにもかかわらず、西海岸離岸堤内の平均水深はほとんど変化しておらず、この地盤沈下量との差は堤体を通して沖から土砂が補給されたことがわかる。③ 東海岸については離岸堤は昭和 42 年から施工されてきたが、施工直後に堤内洗掘が大きく生じている。④ また東海岸離岸堤内は全般に大きく洗掘を受けている。これは東西両海岸の海岸性状の違いと、さらに東海岸の場合は昭和46年まで締切堤（縦堤）が十分に

施工されておらず、このため堤内に堤体に沿う流れを生じ、大きく洗掘を受けたものと考えられる。

(3) 西海岸における海底断面の変化

図-4 は昭和32年4月と47年10月の離岸堤沖合約 1km までの海底断面を示したものである。これによると、①全般的に一樣に海底低下をきたしている。②また同一水深地点で見つかる場合は海底こう配は次第に急になっており、養浜海岸のような海底断面に変わっていることがわかる。

4. 離岸堤の沈下について

離岸堤の沈下防止は、離岸堤の機能維持上きわめて重要であり、そのためには離岸堤沈下の現象を把握し、沈下対策を十分に施す必要がある。以下では昭和 42 年より施工の始まった東海岸離岸堤の沈下について述べる。

(1) 東海岸離岸堤の施工とその後の沈下状況

東海岸離岸堤の施工は昭和 42 年より始まり 45 年度までに延長 $2,540\text{m}$ が建設された。建設は東突堤元付の沖合約 130m 地点から、異形ブロック捨込堤として建設が始められ、東海岸に平行に徐々に東へと進められた。この間の天端高の変化、沈下状況は次のとおりである。①当初天端高は $+1.1\text{m}$ で施工されたが沈下がひどく42年度施工箇所では約 1 年にして最大 1.9m の沈下がみられた。②その後 44 年度まで天端高 $+1.1\text{m}$ で施工されたが全般に沈下がひどく、44年度施工箇所では約 1 年で最大 3m の沈下がみられた。③ 45 年度より天端高は $+3\text{m}$ で施工されることになった。また、これまで $+1.1\text{m}$ で施工された43・44年度施工箇所についても天端高 $+3\text{m}$ にかさ上げされることになった。④ 46年度は今まで施工された箇所全般について沈下がひどいため天端補強がなされた。⑤ 46・47年度は堤体の離岸堤に沿う流れを断ち切るため締切堤（縦堤）の施工が東端約 400m の範囲でなされた。

(2) 離岸堤ののり先部の最大洗掘深さ

図-5 は前述のような沈下のもとでの離岸堤のり先部の洗掘を洗掘環の沈下による最大洗掘および一冬のしけによる海底断面の低下量で示したものである。これによると、① 離岸堤沖側約 100m 付近で最大洗掘約 20cm で、これが堤体に近づくにしたがってさらに洗掘され、のり先付近での最大洗掘は約 2m である。② 堤体が大きく

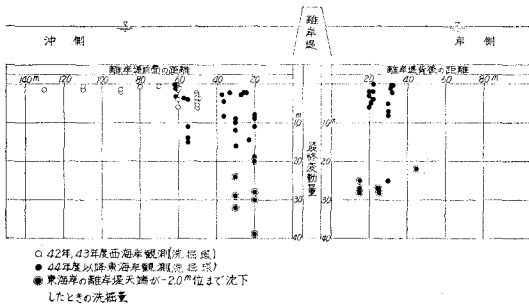


図-5 離岸堤前面の海底変動

沈下して天端高約 -2m の潜堤と化したときは、のり先部で約 4m の海底低下を生じていた、ことがわかる。

(3) 連続離岸堤先端部の天端の沈下状況

図-6 は連続離岸堤の先端部の天端の沈下状況を離岸堤先端からの距離をパラメーターとして示したものである。これによると、① 連続離岸堤先端部では、天端高 $+1.1\text{m}$ 、 $+3\text{m}$ の両方とも先端より $100\sim 200\text{m}$ の位置で沈下量が最大となる。② 天端の高い $+3\text{m}$ の場合、越波の堤内への流入と、締切堤がないために生ずる堤内の堤体に沿う流れが弱いこととによるものと考えられる。

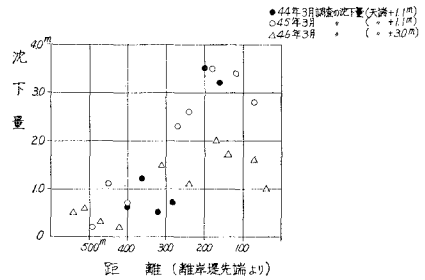


図-6 連続離岸堤先端からの距離と堤体沈下の関係

5. 天端高の離岸堤の効果におよぼす影響について

東海岸離岸堤の例から天端高は $+3\text{m}$ の高い場合のほうが堤体の沈下が少ないことがわかった。ここでは模型実験により西海岸離岸堤断面(図-9)について天端高と離岸堤の機能の関性の定性的把握を試みた。実験は縮尺 $1/100$ の2次元模型水槽によった。

図-7 は離岸堤の堤内、堤外における水位上昇量を示したものである。図-8 は離岸堤の堤外、堤内間での水位差を示したものである。これによると離岸堤天端高 $+3\text{m}$ の場合は無堤時の場合の水位差とほぼ等しく、天端高 $+1\text{m}$ の場合と比較して水位差が小さく約半分である。こ

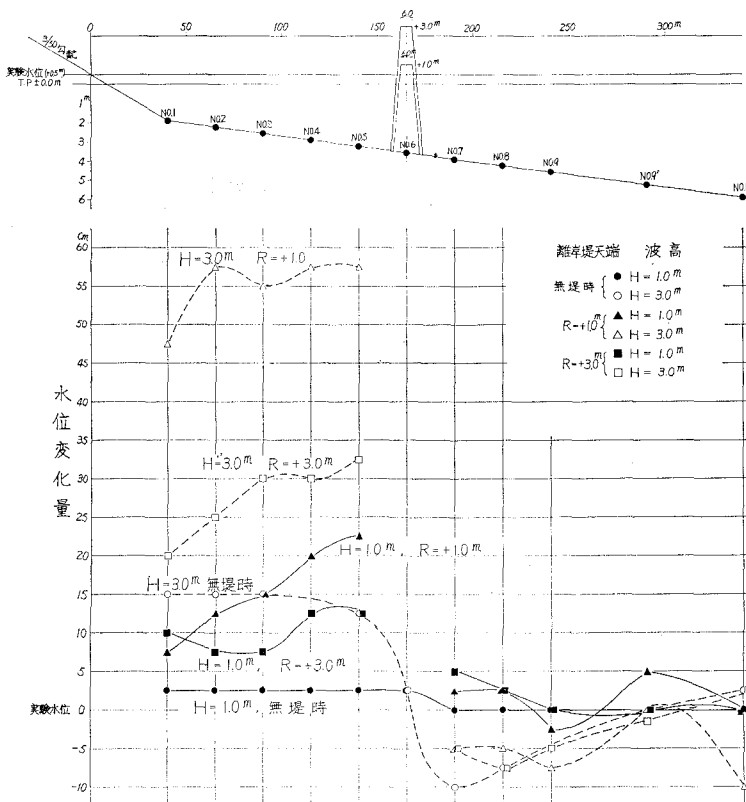


図-7 離岸堤前後の平均水位 (実験による)

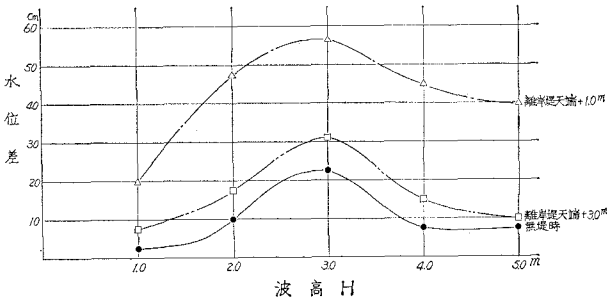


図-8 離岸堤前後の平均水位差 (実験による)

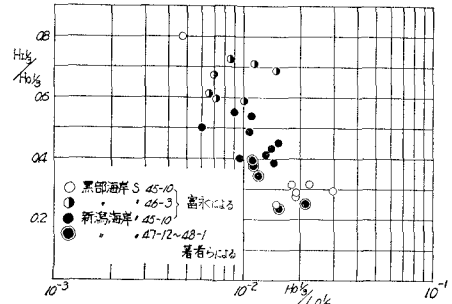


図-10 離岸堤の波浪減殺効果

のことから天端高+3mの場合、天端高+1mの場合と比較して堤内水位の上昇にともなう生ずる堤体を通しての沖向きの流れおよび堤内の堤体に沿う流れが小さく、砂の洗掘・流出する量が少なくなり、洗掘・天端維持の面から天端高は+3mの場合のほうが効果が大きいといえる。実際、現在東海岸では、離岸堤(天端高+3m)、縮切堤が施工されている。

6. 離岸堤の波浪減殺効果等に関する現地観測結果について

東海岸の離岸堤について、天端高は+3mにするほうが堤内水位上昇に伴う洗掘沈下面から判断して効果が大きいことは前述した通りである。一方西海岸においては天端高約+1.1mで侵食防止機能を十分発揮し、堤内に土砂をよびこんでいる。そこでこの西海岸の離岸堤について表-1に示すような現地観測を行ない欠壊防止効果が十分発揮されている時の波浪減殺効果、浮遊砂の鉛直分布、堤内水位上昇量を調べた。ここで観測調査方法として、波高は沖測では水深-10m地点の超音波式波高計、堤内では波高かんの読みを8mmカメラにおさめる方法によった。浮遊砂については図-2に示すような位置で-0.5m、-1.5m、-2.5m、-3.5m水深に採水ノズルを

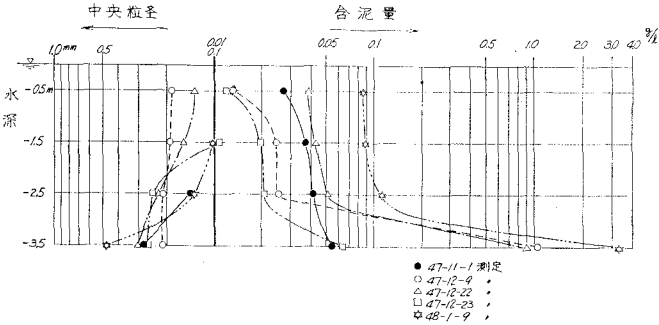


図-11 離岸堤内の浮遊砂の鉛直分布

出し、ポンプで採水する方法によった。また堤内水位については、波高かんの10分間の水位読み取り値を平均する方法によった。図-9は西海岸離岸堤の標準断面を示したものであるが、現在の東海岸同様、設置当初の沈下につぐ沈下を経て、やっと安定傾向にあるものである。

(1) 離岸堤の波浪減殺効果

図-10は昭和47年11月から48年1月の期間の、波浪減殺効果等の観測を行なった時の波の沖波波形こう配と波浪減殺率の関係を示したものである。同図には富永による現地観測結果⁷⁾も示した。これによると今回のわれわれの観測は富永の場合より波高が大きく離岸堤断面も多少異なる場合のものであるが、波浪減殺率は傾向はだいたい一致して多少大きめのものが得られている。これには連続堤、不連続堤の違いの影響も大きく現われているものと考えられる。表-1は、この観測時の堤内・堤外の波浪等を示したものである。

(2) 離岸堤内の浮遊砂の鉛直分布

図-11は、この時の離岸堤内の浮遊砂の鉛直分布を示

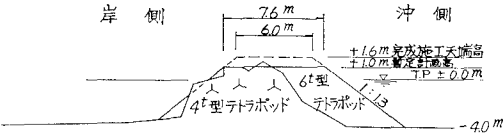


図-9 離岸堤の断面

表-1 観測時の波浪等一覧

観測年月日	堤外波高		堤内波高		浮遊砂量				離岸堤内 水位上昇量
	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	$H_{1/3}$	$T_{1/3}$	-0.5m	-1.5m	-2.5m	-3.5m	
① 47年11月1日	1.33	8.5	0.46	6.4	0.0279	0.0370	0.0414	0.0539	0.15
② 47年12月9日	1.16	7.8	0.45	8.4	0.0134	0.0250	0.0256	1.0293	0.10
③ 47年12月22日	1.75	7.3	0.44	8.4	0.0394	0.0428	0.0503	0.8992	0.17
④ 47年12月23日	0.96	7.2	0.36	8.1	0.0125	0.0199	0.0205	0.0626	0.04
⑤ 48年1月9日	2.03	7.1	0.48	8.8	0.0861	0.0890	0.1180	3.4267	0.19

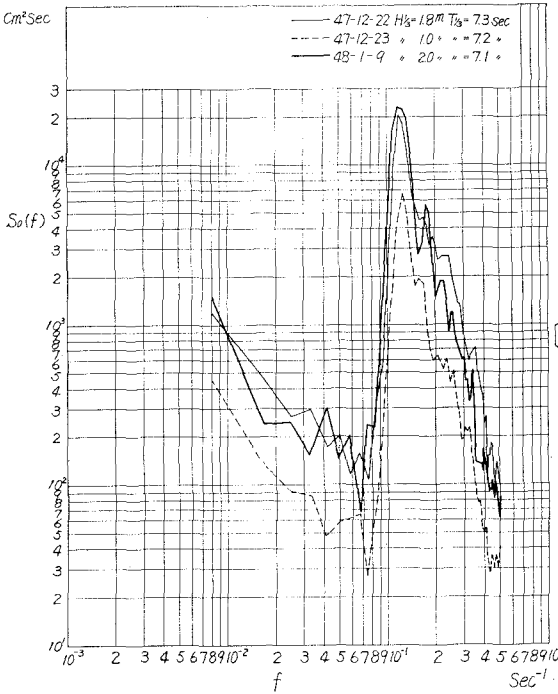


図-12(1) 堤外波浪スペクトル

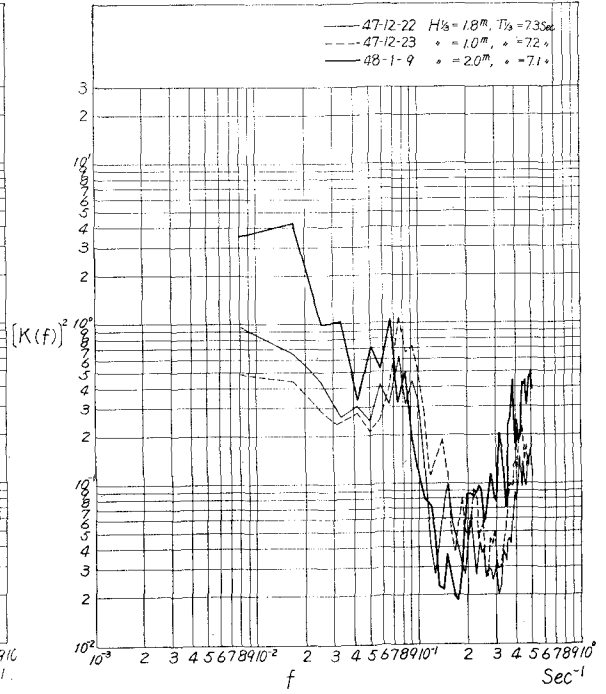


図-12(3) 伝達関数

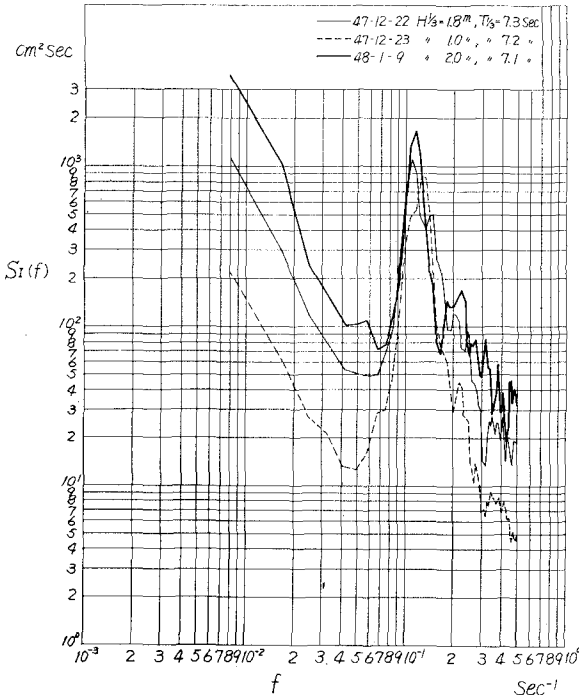


図-12(2) 堤内波浪スペクトル

の合でい率が非常に高いことがわかる。このことから堤内海底地形の変動は堤内底層流の挙動に大きく依存すると考えられる。したがって離岸堤の天端を低くして越波をゆるした場合、岸向きの強い表層流が生ずるとともに、底層では堤体を通して沖向きの流れが生じ、堤内砂の流失を増大することが容易に考えられる。

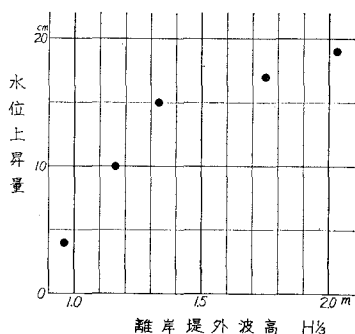
(3) 離岸堤外・堤内の波浪スペクトル

図-12(1)~(3)は、この観測時の堤外波浪スペクトル ($S_0(f)$)、堤内波浪スペクトル ($S_I(f)$) および伝達関数 ($|K(f)|^2 = S_I(f)/S_0(f)$) を示したものである。特に $|K(f)|^2$ は離岸堤の波浪減殺特性を表わす良い指標となる。これによると、① どのケースにおいても低周波数の波の成分ほど透過率が良くなっているが、これは多くの既往の実験結果⁸⁾とも一致している。② 卓越波の周波数領域では入射波高(堤外波高)が大きいほど透過率が低くなっている。これも既往の実験結果とよく一致している。③ $f = 6 \times 10^{-2} \text{sec}^{-1}$ 以上の長周期成分に対しては逆に堤外波高が大きいほど透過率が良い。ここでスペクトル解析は、10分間のデータ、1秒ごとのサンプリング周期、60のラグタイムによる。

(4) 堤内の水位上昇量

図-13は同じく、この観測時の堤内の水位上昇量を示したものである。これによると、堤内水位は堤外波高2mに対して約20cmになっていて、観測時はほとんど越波がみられなかったので無堤時の場合に近い。しかし図-7に示したように波高が増大して越波するようになれ

したものである。これによると、① 堤内有義波高には大差がないにもかかわらず浮遊砂量が大きく違っており、堤内の砂の浮遊が有義波高のみでは説明できないことを示している。② 水深 -2.5m~-3.5m の底部で



図—13 堤内水位上昇量

ば水位上昇量は、はるかに大きくなるものと考えられる。

7. ま と め

以上、新潟海岸離岸堤について、海岸欠陥防止効果とそこに生じている種々の現象について一側面ずつ個々に考察をしたが、これを総合的にみて要約すれば次のとおりである。

(1) 海底地盤の低下が陸上地盤沈下とほぼ等しい動きを示している。

(2) それにもかかわらず、西海岸においては、離岸堤内の水深があまり変化していない。

(3) これより、西海岸においては、離岸堤の沖から堤体を通して砂が補給されていることが考えられる。

(4) 東海岸においては、天端高 +1.1m で沈下量が多く、+3m で沈下量が少なくみられた。また沈下特性として離岸堤先端から 100~200m 区間で沈下量が多くみられた。

(5) これより、連続堤の欠陥防止機能を増大するには、天端高を高くし、堤内に締切堤を入れることが重要であることがわかった。

(6) 長期的にみて欠陥防止効果が確認された西海岸離岸堤について、波浪減殺効果、浮遊砂の分布、水位上昇量に関する現地観測結果が得られ、これをもとに離岸

堤の機能に関するいくつかの定性的事実を明らかにすることができた。

今回、新潟海岸の離岸堤によって生じている現象を観測事実として述べたが、その現象の理論的考察は十分でなく、今後は、これらの面も加え、応用のきく検討を行ない、より有効な離岸堤、さらにはより有効な海岸欠陥防護策の検討へと進めたい。

この新潟海岸の問題は、過去、幾多の先人によって調査研究がなされ、続けられてきたもので、ここにこれら先人に深く敬意を表する。

また今調査の資料のとりまとめ、現地観測等の実施に当っては、新潟県港湾課の協力および運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所斎藤清司技官、長島文博技官の協力に負うところが多かった。ここに記して感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 新潟港技術調査委員会：新潟海岸の欠陥について、昭和 26 年。
- 2) 新潟県土木部：新潟海岸の欠陥について（第 1、第 2 報）、昭和 35 年、昭和 39 年。
- 3) 第一港湾建設局新潟調査設計事務所：新潟海岸調査成果報告書（第 4~第 11 報）、昭和 41 年~昭和 48 年。
- 4) 第一港湾建設局新潟調査設計事務所：新潟海岸の離岸堤について、昭和 48 年。
- 5) 山田正平：新潟海岸の欠陥について、第 2 回海岸工学講演会講演集，pp. 175~186，昭和 30 年。
- 6) 白石直文ほか：潜堤の効果について、第 5 回海岸工学講演会講演集，pp. 189~195，昭和 33 年。
- 7) 富永正照ほか：離岸堤による波浪減殺効果の現地観測，第 18 回海岸工学講演会論文集，pp. 149~154，昭和 46 年。
- 8) 岩崎敏夫ほか：透過性防波堤の波高伝達率に関する実験的研究，第 16 回海岸工学講演会講演集，pp. 329~333，昭和 44 年。
- 9) 豊島修ほか：離岸堤の沈下について，第 19 回海岸工学講演会論文集，pp. 71~76，昭和 47 年。