

海岸制御工法の実例

A Case Example of Coastal Control Method

佐藤 正一
Shoichi SATO

1. はじめに

水都・新潟市は、流路延長367kmの信濃川の河口部に位置している。また、内陸部には信濃川沿いに広大な越後平野が広がり日本有数の穀倉地帯となっている。しかし、信濃川下流部は、江戸時代より水害常襲地帯で知られ、多くの人命、膨大な住民財産が失われてきた歴史を持っている。明治政府は明治初期から信濃川河身改修工事を進めてきたが、明治29年7月の集中豪雨により、信濃川が十数カ所において破堤し、約6万畝が浸水する大災害を受けた。これを契機に政府は明治42年から、大河津分水路（洪水対策）の開削工事、河口（閉塞対策）工事を始めとする大改修工事に着手した。大河津分水路は一応大正11年8月に通水したが、後の昭和2年6月自在堰が破壊される等の困難を乗り越え、昭和6年に完成した。その後も越後平野の住民の生命・財産を守るため、信濃川改修工事が継続的に進められ、昭和39～56年にかけては関屋分水路開削事業が実施され、昭和47年に通水し、現在の新潟市は洪水の危険から守られている。

一方、新潟市等の海岸部は、大正期までは信濃川からの莫大な流出土砂が河口部前面に放出されることによって発達形成されたものであり、前述の大河津分水路の通水を始めとする河川改修工事等により、流出土砂量が大幅に減少し、さらに天然ガス採取による地盤沈下の影響も加わり、漸次汀線の後退をみて明治以降現在までに最大約350mの汀線後退を生じた。その反面、大河津分水路の河口では、汀線が前進し、約300畝の土地が形成されている。

この海岸侵食対策のための防護工事は、昭和初期より開始されたが、現在辛うじて汀線の安定をみるに至ってはいるものの、波浪により沈下する離岸堤の維持、土砂の自然供給がほとんどない現状等の問題をふまえ、新たな海岸侵食防止対策の事業計画を立案するに至った。

本報告は、昭和61年度より運輸省直轄海岸として実施されてきた新潟西海岸侵食対策事業をケーススタディとして海岸制御工法の実例を紹介するものである。

なお、本報告の対象区間は、信濃川左岸河口部より関屋分水路までの約6km区間のうち、港湾区域内の約2km区間を対象としている。



現況 (平成7年7月)

写真-1 新潟西海岸全景

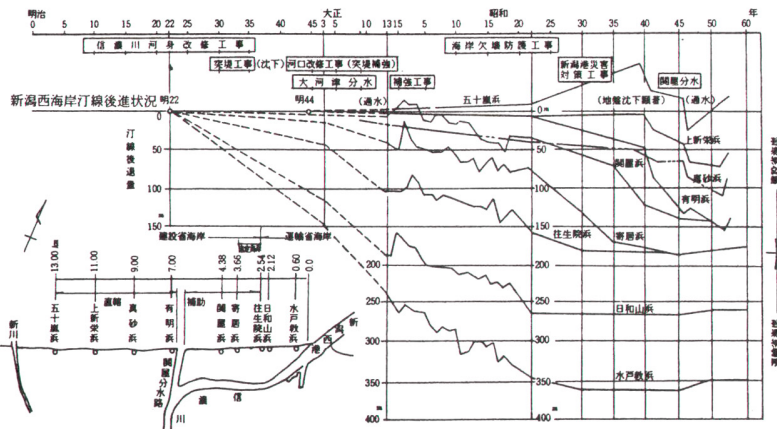


図-1 恒濃川改修と新潟海岸の汀線後退の関係



写真-2 S3年に水戸敷浜に建設された新潟県庁の水没状況 (S24年)

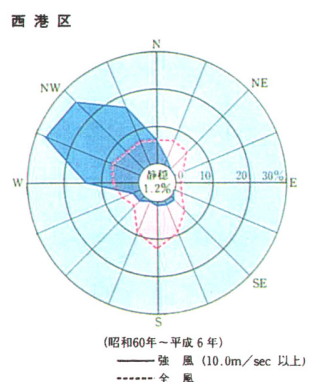


写真-3 大河津分水により生まれた土地
(点線は、分水工事前の海岸線)

2. 新潟西海岸侵食対策事業

(1) 新潟西海岸の自然条件

◆風況図



風
冬期における日本海特有の強い北西の季節風に代表される。
これは西高東低の冬期気圧配置から生じるもので吹送継続時間も長く、発生回数も多い。

◆潮汐 (昭和60年～平成6年)

西港区	
最高潮位 (H2.9.12)	75
設計高潮面	50
期望平均満潮位	47
平均潮位	25
期望平均干潮位	2
基本水準面	0
最低潮位 (S60.3.16)	-40
検測基準面	-95

◆波浪年間最大波一覧表 (昭和60年～平成6年)

年	有義波		最高波		観測時間 H1/3 ≥ 200 h	最高波 発生月日	備考
	H1/3 cm	T1/3 sec	Hmax cm	Tmax sec			
昭和60	495	9.7	715	9.0	76	1/14	西港-23m
61	461	9.4	912	8.2	34	11/26	"
62	473	9.6	946	8.8	38	2/4	"
63	505	10.5	948	9.0	104	10/30	"
平成元	475	8.8	886	7.9	64	4/28	"
2	563	11.8	879	9.9	90	3/13	マアゴ-35m
3	700	11.9	1102	13.9	88	2/17	"
4	521	10.5	812	10.6	50	12/12	"
5	632	11.2	1037	9.8	76	1/29	"
6	627	11.3	1019	12.7	88	2/23	"

波向は、NNW及びNが卓越しており、通年で75%、冬期では80%の割合を占める。

(2) 線的防護（現離岸堤）の問題点

1) 現離岸堤の沈下

図-2 は当初施工時の計画断面と維持嵩上げを繰り返した結果の現況断面を調べたものである。

現況において、海底下-10m近くまでブロックが埋没沈下している。このように多くのブロックが埋没沈下していることにより、現離岸堤の沈下量が少なくなってくる傾向となると考えられるが、堤体前面の水深が増大すれば現離岸堤が崩壊し、現保全施設の維持が困難になるものと考えられる。

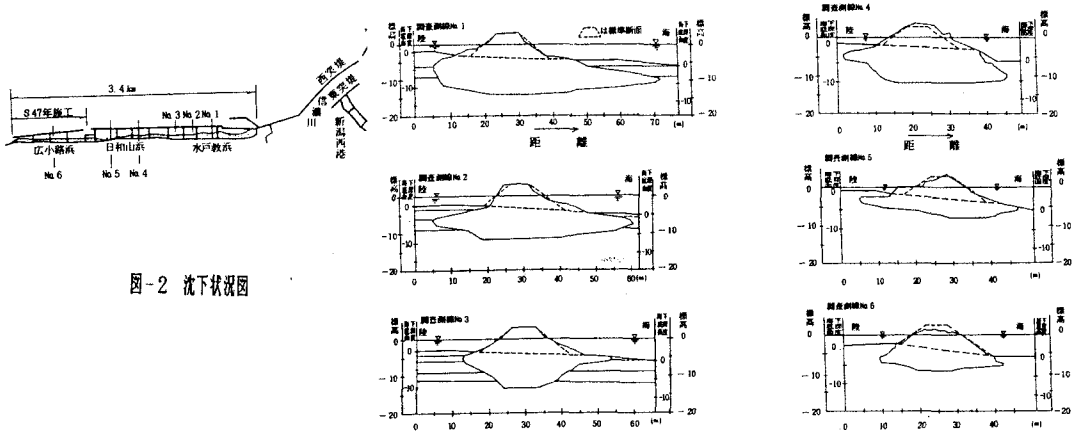


図-2 沈下状況図

2) 現離岸堤前面波高の増大

表-1 は、海底勾配 1/100 の海岸についての有義波高の算定図である。

新潟西海岸の現離岸堤の前面の海底勾配は、概ね 1/100 に相当するので、これを用いて現離岸堤前面水深の増大に伴う前面波高の変化を算定すると表-2 のとおりとなる。

この 50 年確率波を用いて標準的な離岸堤断面についてのブロックの所要重量を算定すると表-3 のとおりとなる。現在実際に用いられているのは、6 t 型のテトラポットであり、前面水深が増大すればブロック重量の不足による大規模な被災の確率が高くなる。

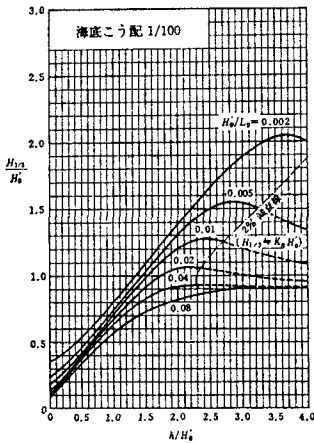
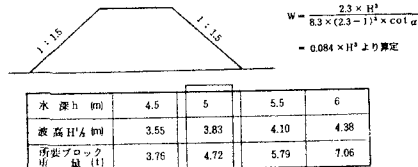


表-1 砕波帯内の有義波高の算定図

	H'0 (m)	T1/10 (sec)	前面波高 (m)			
			水深 4.5 m	5 m	5.5 m	6 m
代表波高	3.0	8	2.76	2.76	2.76	2.76
1 年確率波	5.76	10.7	3.32	3.59	3.86	4.13
5 年確率波	6.63	11.7	3.42	3.69	3.96	4.23
10 年確率波	7.07	12.2	3.47	3.74	4.02	4.29
30 年確率波	7.50	12.6	3.52	3.79	4.06	4.33
50 年確率波	7.83	13.0	3.55	3.83	4.10	4.38

※ 潮位は H. W. L. + 0.5 m とする。

表-2 現離岸堤前面波高の変化



現状

表-3 水深別所要ブロック重量

3) 海岸の利用、景観

現離岸堤の副次的問題としては、夏期の海水浴などの海浜利用における砂浜の確保が困難となることや水面より約 3 m 突出した離岸堤による景観の悪化などが考えられる。

(3) 新たな侵食対策事業の必要性

新潟西海岸における現況の問題点を整理すると、現離岸堤により、かろうじて汀線の安定は図られてはいるものの、それより沖側では毎年着実に侵食が進んでいる。このため、毎年維持管理を余儀なくされる他、堤体前面波高が増大し、現離岸堤の被災の確率が高くなってきている。

このようなことに対処するため、以下のような新たな侵食対策を行う必要がある。

1) 現離岸堤前面の侵食を防止する。

2) これに用いる防護施設については、極力海底地形が安定した地点に設置するとともに、周辺（特に沖合）海域に新たな侵食を生じさせないようにものとする。

8. 新潟西海岸における面的防護の考え方

現離岸堤前面に來襲する波浪を減衰させ、底質が沖合に流出することを防止する機能を持った新たな防護構造物の設置により、防護構造物背後の海域の侵食対策も行えと考えられるが、もし仮に新たな防護構造物前面の侵食が進めば構造物自身の安定性が損なわれ、十分に防護機能を発揮できなくなってしまうという現離岸堤と同様の問題を生じることとなる。このため、新たな防護構造物は海底地形変化への影響を極力少なくした低反射のものとするとともに、長期的にも短期的にも海底地形の変動が小さい位置に設置する必要がある。とりわけ、新潟西海岸のように侵食性の高い海岸では、一度侵食された海底地形の復元は極めて困難と考えられるので、新たな防護構造物を設置することによる海底地形への影響を少なくすることは極めて重要であると考えられる。よって、まず海底地形への影響を極力少なくするという観点から新たな防護構造物の形態を検討した。

従来ある通常の構造物の中では最も低反射とされている消波ブロック傾斜堤構造の現離岸堤でも前面侵食を生じていることから、新たな防護構造物には現離岸堤のような堤体構造は採用できないと考えられる。このため、新たな構造物として自然海岸に見られるバー（沿岸砂州）を模した消波ブロックタイプの幅広潜堤構造（以下「潜堤」という）を採用することとした。潜堤とすることによって環境や景観への影響も少なくできるという効果も期待できる。また、これに加えて、全体計画として、潜堤背後の水位上昇による沿岸方向の流れによる影響等を防止するため突堤を配置し、さらに砂浜の防護機能（護岸機能）と海浜利用を考慮した養浜工を実施する、いわゆる「面的防護工法」を採用することとした。

潜堤、突堤、砂浜の総合的な組み合わせにより、海岸を守る。

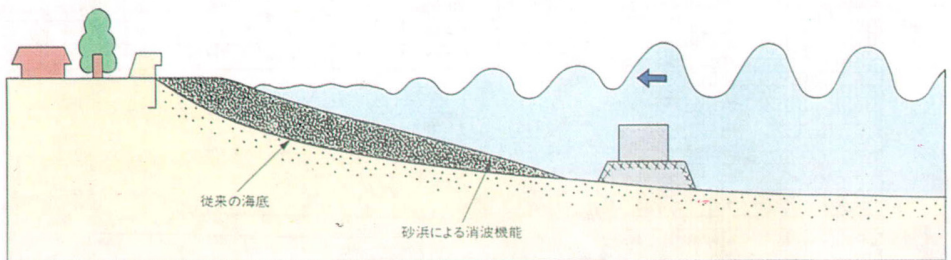


図-3 面的防護工法のイメージ

4. 新潟西海岸侵食対策事業への取り組み方針

大規模な面的防護工法の実験的な事業となるため、可能な限り数値シミュレーションや水理模型実験により事前の予測検討を行い、最適な構造及び施工手順で事業を進めることとした。また、パイロットスタディとして取り組んでいるため先例がなく、現地施工の計測結果により事前の予測を検討し、予測できない事柄にも遭遇する恐れがあることから、現地施工に伴う計測結果を十分に活用し課題の解決を図ることとした。

○ 現地施工の計測項目

潜堤及び第一、第二突堤周辺において観測を行う。

- | | |
|-----------------------|------------|
| ① 波浪観測 | ⑥ 汀線、深浅測量 |
| ② 底層流観測 | ⑦ 環境・生態系調査 |
| ③ 洗掘観測（砂面計による） | |
| ④ " （洗掘桿による） | |
| ⑤ 濁度観測 | |

5. 海岸侵食対策施設の配置

（1）海底地形変化からみた潜堤位置の検討

海底地形の長期的変動に着目して防護施設の位置を検討するため、深浅測量結果を整理して近年における海底地形変化状況を分析整理することとした。

長期的な傾向を最もよく表していると考えられる昭和51年～59年の変動をとり、その間の変化量分布を図-4に示す。これにより各測線毎の地形変化速度を求めると図-5のとおりとなる。

海底地形の長期的変動傾向は、現離岸堤からの距離が概ね300m～500mの付近が比較的安定していることが判明した。また、その地点よりも現離岸堤に近い所では、年間5～20cm程度の侵食を生じており、この区域を防護する必要があることが分かった。

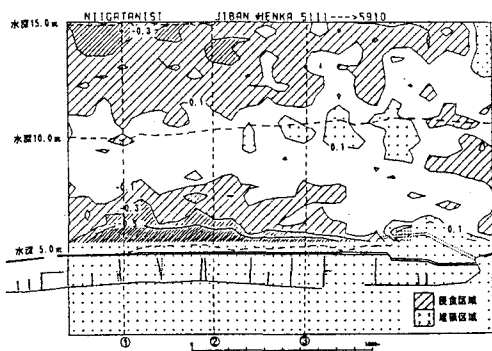


図-4 地形変化分布(S51.11~59.10:単位m)

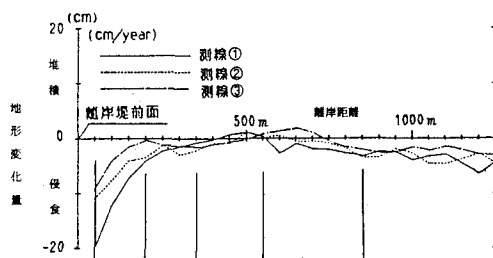


図-5 代表断面の離岸堤からの距離と地形変化速度(単位:cm)

（2）平面模型実験及び数値シミュレーションによる施設配置等の検討

施設配置等を検討するために平面水理模型実験及び数値シミュレーションを併せた手法による地形変化予測を行った。

- ① 潜堤のみの配置と潜堤と突堤を併用した場合の予測
予測結果を図-6～7に示す。

潜堤のみの場合は、潜堤背後の海底面はかなり安定するものの潜堤周辺に強い流れが発生し、周辺の現離岸堤前面地形への影響が生じるものと推定された。

一方、突堤との併用により現離岸堤前面の侵食量は、潜堤のみの場合などと比べて少なく、突堤によって流れを制御することにより、潜堤周辺への影響を少なくできることが確認された。

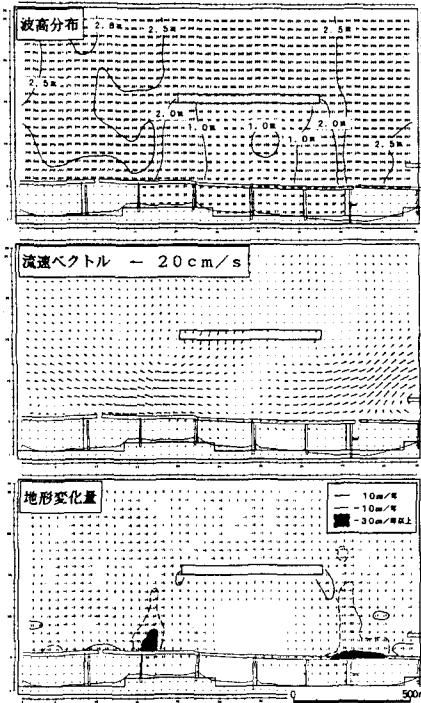


図-6予測(潜堤のみ)

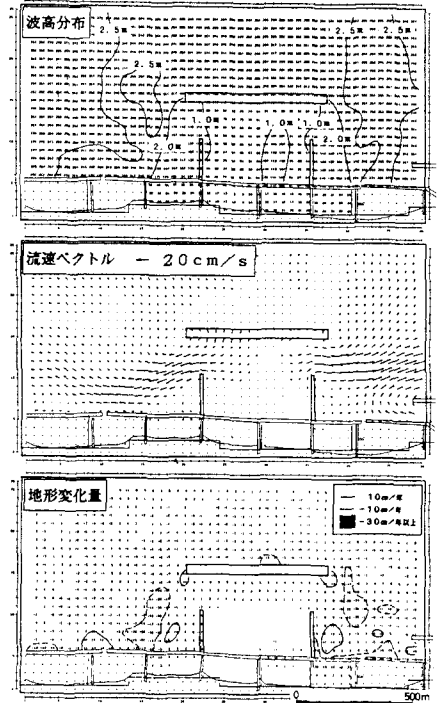
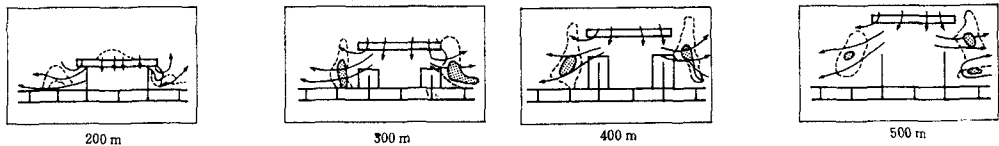


図-7予測(突堤併用)

② 潜堤位置の検討

潜堤位置については同一の天端幅、天端高さの潜堤を、現離岸堤沖合200m、300m、400m及び500mに設置した場合の予測を行い検討した。

表-4 潜堤位置の違いによる波高、流れ



位置	波高伝達率		静穏面積比		離岸堤前面平均流速(代表波)		
	代表波	異常波	代表波	異常波	潜堤背後	潜堤西側	潜堤東側
200 m	約 60 %						
300 m	38	36 %	37 %	86 %	7.7 cm/s	23.2 cm/s	26.5 cm/s
400	32	31	100	89	3.3	10.3	7.2
500	37	33	60	90	3.2	5.4	6.3

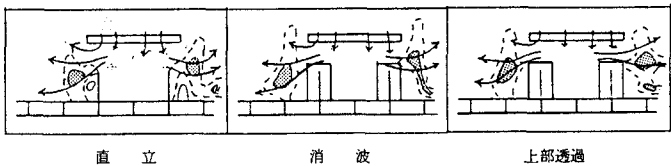
- 潜堤内静穏度：波高伝達率0.6程度となった潜堤位置（沖合）200mを除けば、目標である0.4（後述）を満足するが、沖合位置400mが最も良い結果を示した。
- 潜堤周辺の流れ：沖合位置400mと500mでは大きな違いはないが、沖合位置300m以下では潜堤内で約2倍、潜堤外で2～4倍の流速値を示した。
- 地形変化状況：沖合位置300m以下では現離岸堤前面での侵食量の増加がみられるが、沖合位置400m、500mでは大きな違いはみられなかった。

以上のことにより、潜堤位置を現離岸堤沖300m以下とした場合には防護効果や周辺への影響から妥当とはいえず、沖合500mとした場合には沖合400mの場合と比べて防護効果はほぼ同様であるが、潜堤を沖合に出すことによる改善点はみられない。したがって、沖合400mとすることが最も防護効果を適正に発揮し得る位置であることが判明した。

② 突堤構造の検討

突堤構造については、直立不透過、消波不透過及び消波上部不透過構造について比較検討した。突堤を直立構造とした場合と消波構造とした場合では、堤内の波高伝達率で約10%程度の違いであるが、突堤沖側周辺では消波構造の場合に波高が低減し、地形の変化も低減する傾向がみられる。これらのことから、突堤が潜堤より十分防護されない場合には突堤を消波構造にすることにより反射波や沿い波による突堤周辺の影響を少なくする必要があることが確認された。

また、突堤を上部透過構造とした場合と不透過構造とした場合とを比較した結果、波・流れ・地形変化とも有為な差違を見られず、消波不透過構造の場合とほぼ同等の効果が得られるものと考えられる。



構 造	波 高 伝 達 率		静 穏 面 積 比	
	代表波	異常波	代表波	異常波
直 立	44 %	38 %	11 %	69 %
消 波	32	31	100	89
透 過	37	34	75	89

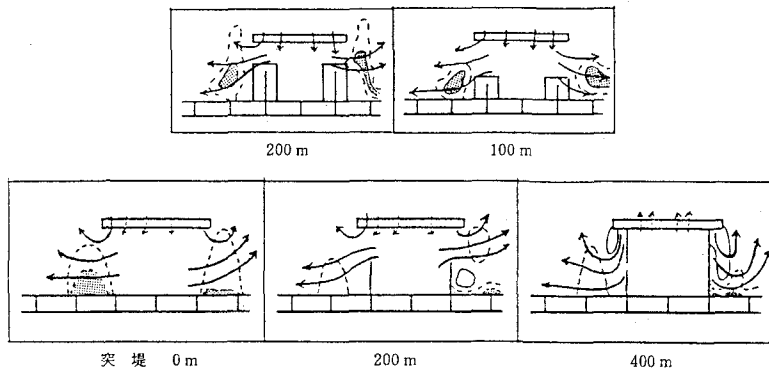
表-5 突堤構造の違いによる堤内波高

③ 突堤長の検討

突堤の長さについては、突堤無し、突堤100m、200m及び突堤を潜堤に接続（400m）した場合について比較検討した。突堤による効果としては潜堤からの伝達波に対する潜堤背後の静穏度の確保及び潜堤背後から汀線平行方向への流れを制御する効果であり、突堤の影響としては堤内の水位上昇及び反射波・沿い波が考えられる。

表-6 突堤長による波高、流れの比較

突堤長	波 高 伝 達 率		静 穏 面 積 比		離岸堤前面平均流速（代表波）			堤内水位上昇位	
	代表波	異常波	代表波	異常波	潜堤背後	潜堤西側	潜堤東側	岸 側	沖 側
200 m	32 %	31 %	100 %	89 %	3.3 cm/s	10.3 cm/s	7.2 cm/s	26 cm	24 cm
100	39	36	16	77	6.2	18.0	18.5	24	21



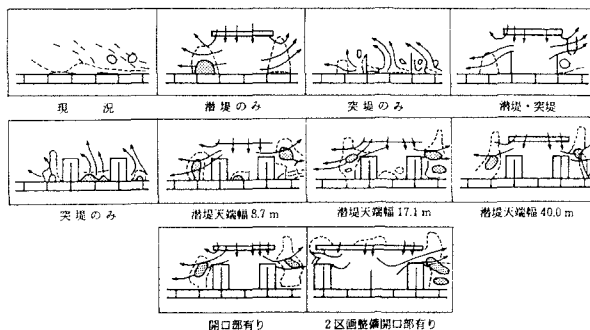
- 堤内波高：突堤長100mとした場合には200mと比べて現離岸堤前面での伝達波高比には大きな違いはみられないが、堤内全域の静穏面積は小さく、回折波の影響により静穏度が劣る。
- 流れ：突堤長100mでは潜堤背後からの流れが現離岸堤まで達しており、その流速も200mに比べて2倍程度に増大しており、現離岸堤前面への影響が大きいものと考えられる。また、突堤長400mとして完全に囲った場合は、潜堤上に冲向きの流れが発生し、悪影響を与えるものと考えられる。
- 水位上昇：突堤を長くすれば大きくなり、突堤長400mでは70cmにも達するが、突堤長100mと200mではその差は軽微であり、影響も小さいものと考えられる。

以上のことにより、突堤は潜堤の伝達波や流れの制御の面で不可欠であるが、有効に作用させるには突堤長100mでは不十分であり、潜堤内の水位上昇量も考慮すれば突堤長を200mとすることが最適とされた。

(3) 施工手順の検討

施工手順の検討のため、効果・影響の観点から潜堤と突堤のどちらを先に着手すべきか、また潜堤を暫定断面で整備した場合の効果及び将来計画区間以上の整備をした場合の影響について検討した。

表-7 潜堤幅の違いによる波高、流れ、地形変化



天端幅	波高伝達率		静穏面積比		離岸堤前面平均流速（代表波）			堤内地形変化量
	代表波	異常波	代表波	異常波	潜堤背後	潜堤西側	潜堤東側	
潜堤無	108 形	67 形	— 形	— 形	34.3 cm/s	15.6 cm/s	22.0 cm/s	— 14.1 cm
40.0 m	32	31	100	89	3.3	10.3	7.2	0.0
8.7	89	52	2	0	6.0	10.0	7.4	— 4.5
17.1	60	48	5	6	5.7	11.9	8.1	— 2.8

表-8 潜堤延長による波高、流れ、地形変化

天端幅	開口部	平均流速（代表波）			最大流速	堤内地形変化量	
		潜堤背後	潜堤東側	突堤潜堤間		岸 側	沖 側
600 m	無し	3.3 cm/s	7.2 cm/s	14.1 cm/s	56.8 cm/s	— 4.8 cm	— 6.5 cm
600	有り	3.1	7.3	15.8	59.0	— 5.3	— 8.9
1050	有り	6.8	9.9	16.0	86.1	— 8.4	— 13.1

結果としては、周辺への影響が少ないと考えられる突堤から整備することが適当であること、また、潜堤暫定断面でもある程度の効果が期待でき、特別の悪影響はみられないことが判明した。このことから潜堤延伸による効果を早期に発現するため、潜堤の暫定断面で先行施工することとした。

また、突堤についても地盤沈下の影響等を把握するため、消波構造の暫定断面で先行施工することとし、現場の状況を確認しながら最終断面に仕上げることにした。

また、将来計画区間を整備した場合は潜堤内に波浪により輸送される水量が多くなるため、潜堤背後に生じる沿岸方向の流れが最大で 8 0 cm / s を超え、この流れの影響で突堤外側の侵食量、侵食範囲が拡大していることが判明した。このことから、計画区間以上の整備をする段階では、この側方流れの影響に留意しなければならないことが分かった。

6. 潜堤

(1) 潜堤の機能・諸元

潜堤に求められる機能は以下のとおりである。

- ① 入射波浪を減衰し、現離岸堤前面などの侵食を防止すること。-----（波浪減衰機能）
 - ② 反射波等が小さく、潜堤前面に洗掘や新たな侵食が生じないこと。--（低反射機能）
- これらは、潜堤の水理特性に関するものであり、潜堤の諸元（天端幅及び天端高）とその水理特性は密接に関係しているので、求められる機能の観点から潜堤諸元を検討した。

1) 波浪条件

新潟西港における昭和 4 9 年～ 5 6 年の 8 年間（1 日 1 2 回観測）の波浪頻度統計をもとに、総エネルギー、エネルギーピークとエネルギー平均による代表波諸元を算出し、代表波を寒候期のエネルギーピーク波に相当する $H_o' = 3 \text{ m}$ 、 $T_o = 8 \text{ sec}$ とした。

2) 波浪減衰機能についての検討

潜堤に求められる波浪減衰機能を検討するため、波浪と海底地形変動に関する現地調査結果から、海底面変動の限界条件を求めた。

海底地形の変化が生じる限界条件は、基本的には底質の移動が生じなければ地形は変化しないことにより、底質の移動限界条件と密接に関係するものと考えられる。

そこで、ここでは従来の底質移動限界の表示式をもとに波浪と海底面変化の観測結果より地形の変形限界を求めるものとする。底質の移動限界式は次のとおりである。

$$H_o / L_o = a (d / L_o)^n (\sin 2 \pi h / L) (H_o / H) \text{ ----- ①}$$

ここに、 H_o 、 L_o は沖波の波高と波長、 H 、 L は水深 h での波高、波長であり、 d は底質粒径で

ある。nは、佐藤・田中によれば $1/3$ 、aは、初期移動限界として 1.35 、完全移動限界として、 2.4 であるとされている。

いま、代表的な時化時を対象に、砂面計の観測結果から海底面の変化を生じないものを+、侵食を●堆積を□で表し、代表観測点の結果を図-8に示した。波浪条件としては新潟西港沖（水深-23m）の波高計の観測結果を用いた。また、底質粒径は調査結果より平均的な粒径 $d = 0.135\text{ mm}$ とした。

この結果により、海底面の変動限界として図中に示したように、佐藤・田中の底質の表層移動限界に近い値として $a = 1.0$ が得られた。

①式をもとに $n = 1/3$ 、 $a = 1.0$ とした場合の海底面の変形限界となる波高を波の周期毎に水深との関係を示すと図-9となる。このことから、代表波に対し、潜堤背後水深（概ね8m）における海底面の変形限界波高1m程度とすることを、潜堤の波浪減衰機能の目標とする。

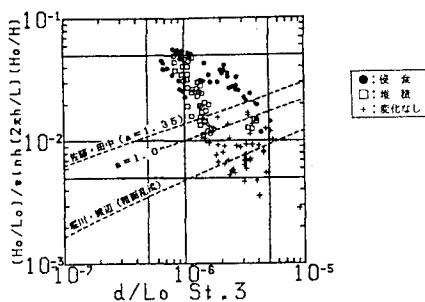


図-8 海底面の変形限界

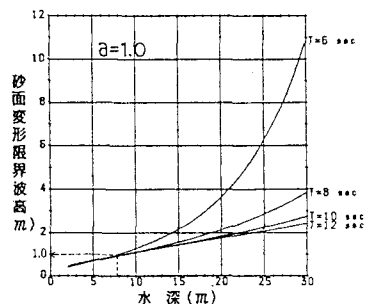


図-9 西海岸の海底面の変形限界波高

3) 反射率についての検討

図-10～11は2次元移動床実験結果から反射率と前面の洗掘量の関係を求めたものであり、反射率を0.2程度とすれば、堤体前面の洗掘をおさえることができることを示している。

新潟西海岸における現状の海底地形変化の状況は、現離岸堤前面の侵食量が最も大きくそこから沖合に向かって侵食量が小さくなる傾向にある。このような現象は現離岸堤の反射波によるものであり、潜堤の前面に同様な現象を発生させないためには、天然海浜の反射率が $0.05 \sim 0.2$ であることも併せ考慮し、潜堤の反射率を 0.2 とした。

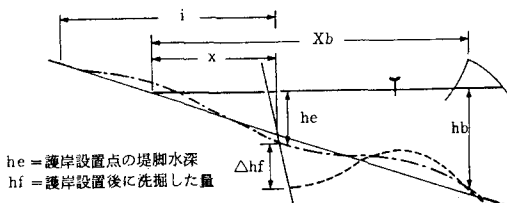


図-10 実験概要模式図

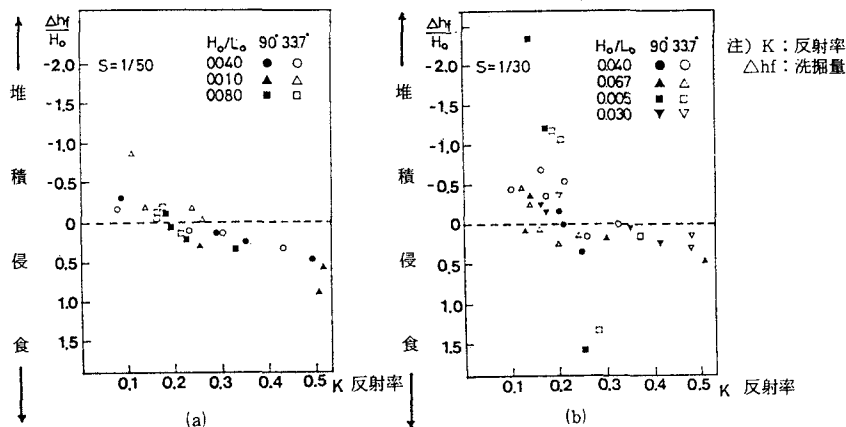


図-11 沖波波形勾配と海底変形

4) 2次元水理実験による潜堤諸元及び構造の検討

○模擬堤についての実験結果による検討

潜堤形状と機能との関係を把握するため、模擬堤についての実験結果を整理すると図-12~14のとおりとなる。この図より明らかになったことは、以下のとおり。

①伝達率は天端水深波高比 (d' / H_o') が小さくなるほど、また、天端幅波長比 (B / L_o) が大きくなるほど小さくなる。

②反射率は、主として天端水深波高比 (d' / H_o') に左右され、この値が0.5以下と0.5以上ではかなり異なる。

このため、反射率を小さくするためには天端水深波高比 (d' / H_o') を0.5以上確保する必要がある。

これらより、潜堤諸元の基本としては、潜堤天端をC.D.L-1.5m、天端幅は潮位(+0.5m)をふまえて、図-13より天端幅波長比 (B / L_o') が0.4となるよう天端幅を40mに決定した。

また、この諸元にて、使用する消波ブロックの重量について6.3t、8.0t、16.0tについて検討した。その結果、6.3tの被害率が0.44%、8tが0.08%、16tが0%となり、当然のことながらブロック重量が大きいほど安定度が増す結果となった。実際の使用ブロックは経済性から20tを採用した。

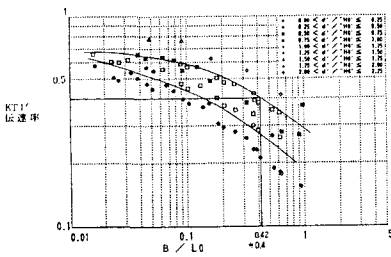


図-12 模擬堤の伝達率

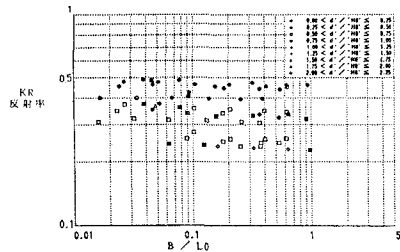


図-13 模擬堤の反射率

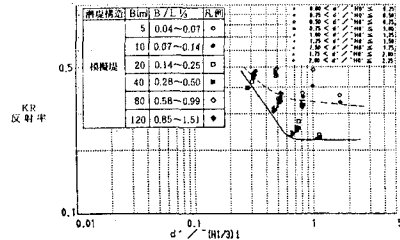


図-14 模擬堤の反射率

$$H_o' = 3.0\text{m} \cdots \cdots d' = H_o' \times 0.5 = 1.5\text{m}$$

$$L_o' = 99\text{m} \cdots \cdots B = L_o' \times 0.4 = 40\text{m}$$

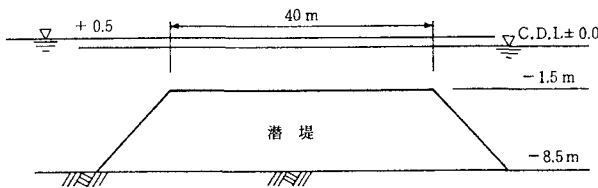


図-15 潜堤の模式図

○消波ブロック傾斜堤についての2次元水理模型実験による検討

4) において潜堤諸元を選定し、これを基本として考えられる消波ブロック傾斜堤についての2次元水理模型実験を行った。

表中の伝達率は1年確率波に対する値となっている。これらの比較から機能・経済性・施工性等を総合的に評価して断面2のタイプを採用した。

表-9 潜堤形状別の比較

断面番号	断面形状	伝達率 (反・射率)	水位上昇 (m)	安定性	経済性 (円/m)	施工性
①		$KT=0.41$ $KR=0.16$	$\eta=0.66$	検討中	5,620	・施工が容易で機能が比較的高い ・段間施工に対応 ・背後土砂の流出が起る
②		$KT=0.40$ $KR=0.14$	$\eta=0.65$	検討中	5,980	・背後土砂の流出を防ぐ ・段間施工に対応 ・透過堤断面に比べ施工日数が多く掛かり、不透
③		$KT=0.41$ $KR=0.19$	$\eta=0.78$	検討中	5,620	・背後土砂の流出を防ぐ ・段間施工に対応 ・施工日数が多く掛かり、不透
④		$KT=0.40$ $KR=0.23$	$\eta=0.70$	検討中	6,250	・背後土砂の流出を防ぐ ・段間施工に対応 ・施工日数が多く掛かり、不透

(2) 潜堤構造

以上の結果により潜堤構造を以下のように決定した。

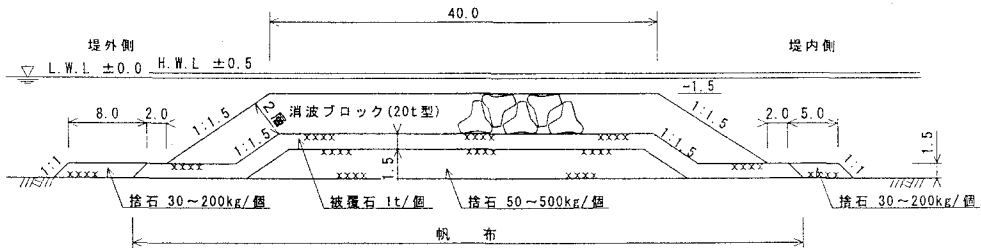


図-16 潜堤標準断面図

7. 突堤

突堤の機能、必要性については、前述したとおりである。以下は、海浜利用等を加味した基本形状等の検討について述べる。

(1) 突堤の基本形状の検討

実験の結果、養浜を施工した場合、突堤の先端部分が大幅に洗掘され、突堤基部付近の汀線に部分的な後退がみられた（結果は今回の報告から省略する）。このことから、その対策として突堤先端部の反射低減策の有効性が確認された。また、突堤基部の洗掘対策として突堤中間部に沿い波防止の波除堤を設置することとした。

なお、構造の決定にあたっては、利用・景観等にも配慮し、以下の形状に決定した。

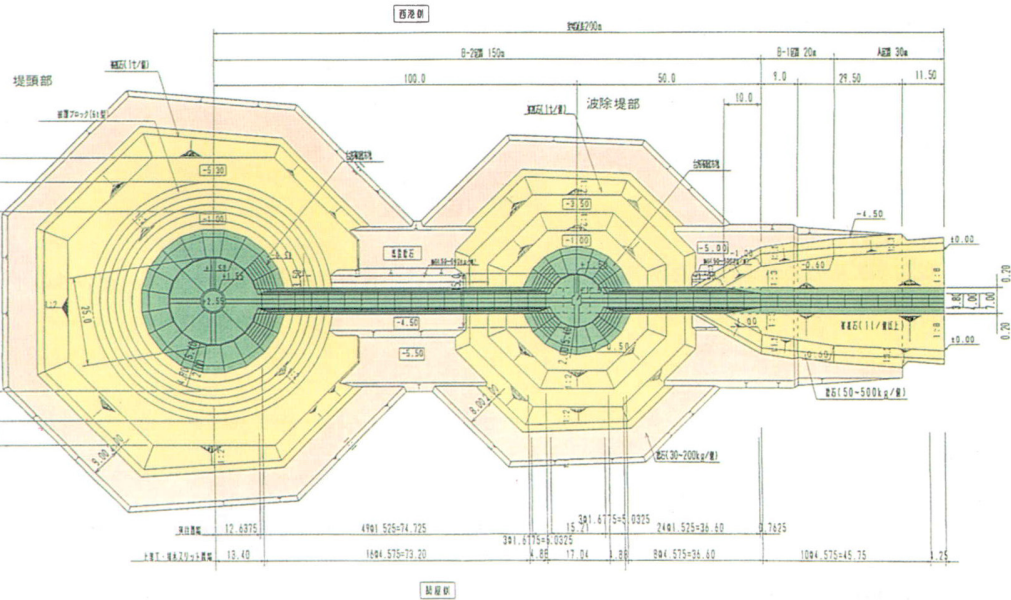


図-17 突堤全体平面図

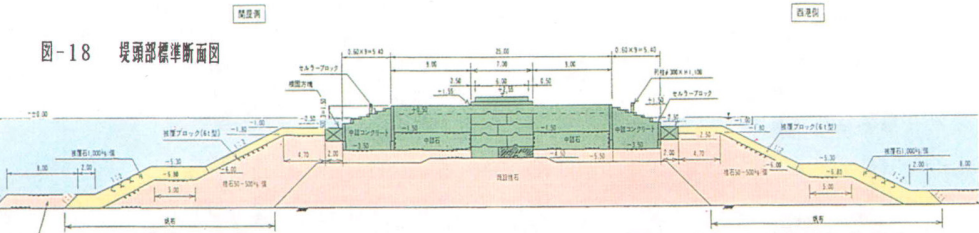


図-18 堤頭部標準断面図

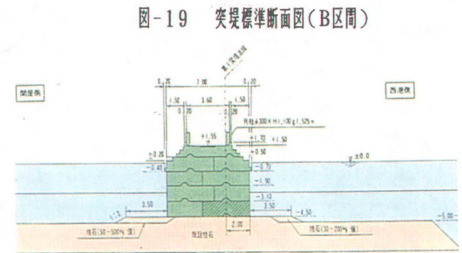


図-19 突堤標準断面図(B区間)

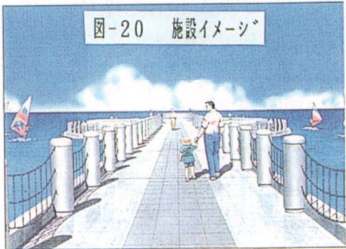


図-20 施設イメージ

8. 養浜工

砂浜の変形による波エネルギーの吸収効果で侵食対策上の護岸機能を持たせるとともに、海浜利用、環境・景観にも寄与することを目的に養浜工を実施することとした。

(1) 養浜計画

1) 波浪条件

1990年から観測している新潟沖（水深－3.5m）の観測結果よりエネルギーピーク波を設定した。

$$\text{波高: } H_0' = 4.0 \text{ m}$$

$$\text{周期: } T = 9.0 \text{ sec}$$

養浜工の長期的な安定の検討のための計画波は、上記のエネルギーピーク波を採用するが、高波浪時の状況（打ち上げ高、汀線後退量等）を検討するため、高波浪時（異常時）の波浪条件として、年間に1日程度出現する波浪条件をも新たに設定した。

$$\text{波高: } H_0' = 6.0 \text{ m}$$

$$\text{周期: } T = 11.0 \text{ sec}$$

2) 養浜砂の条件

現在施工中の新潟西港みなとトンネルから発生する砂を有効利用することとした。その砂の平均粒径は以下のとおりである。

$$d_{50} = 0.25 \text{ mm}$$

3) 養浜工の前面の水利条件

① 基本条件

- ・潮位: $HWL = 0.44 \text{ m}$
- ・潜堤天端の平均水深: -2.0 m （最も高い箇所でも -1.5 m を確保する）
- ・潜堤天端幅: 4.0 m

② 潜堤背後の伝達波高

高山ら（1988）の提案式と第一港湾建設局の実験式より設定した。

- ・計画波浪条件

$$H_0' = 4.0 \text{ m}, T = 9.0 \text{ sec} \rightarrow (\text{高山式}) H_{\tau}' = 2.4 \text{ m}$$

$$(\text{一建式}) H_{\tau}' = 1.9 \text{ m}$$

- ・異常波浪条件

$$H_0' = 6.0 \text{ m}, T = 11.0 \text{ sec} \rightarrow (\text{高山式}) H_{\tau}' = 3.4 \text{ m}$$

$$(\text{一建式}) H_{\tau}' = 2.5 \text{ m}$$

③ 潜堤背後の平均水位の上昇量

高山ら（1988）の提案式と第一港湾建設局の実験式より設定した。

- ・計画波浪条件

$$H_0' = 4.0 \text{ m}, T = 9.0 \text{ sec} \rightarrow (\text{高山式}) \eta_s = 0.20 \text{ m}$$

$$(\text{一建式}) \eta_s = 0.30 \text{ m}$$

- ・異常波浪条件

$$H_0' = 6.0 \text{ m}, T = 11.0 \text{ sec} \rightarrow (\text{高山式}) \eta_s = 0.34 \text{ m}$$

$$(\text{一建式}) \eta_s = 0.58 \text{ m}$$

前記①から③の結果より養浜工前面の水理条件を整理すると以下のとおりである。

なお、海浜の勾配に関しては、長期的な安定を検討する必要があることから計画波を用い、天端幅等については、高波浪時においても安全なように異常時波浪で設定した。

- ・計画波浪条件：（高山式） $H_T' = 2.4 \text{ m}$ 、 $T = 9.0 \text{ sec}$
（一建式） $H_T' = 1.9 \text{ m}$ 、 $T = 9.0 \text{ sec}$
- ・計画波浪時の堤内平均水位： $\eta_0 = \text{HWL} + \eta_s = 0.44 + 0.30 = 0.74 \text{ m}$
- ・異常波浪条件：（高山式） $H_T' = 3.4 \text{ m}$ 、 $T = 11.0 \text{ sec}$
（一建式） $H_T' = 2.5 \text{ m}$ 、 $T = 11.0 \text{ sec}$
- ・異常波浪時の堤内平均水位： $\eta_0 = \text{HWL} + \eta_s = 0.44 + 0.58 = 1.02 \text{ m}$

4) 養浜断面の検討

①海底勾配

Rectorによる前浜勾配の研究成果、服部らによる外浜勾配の研究成果に基づく提案式により設定した。

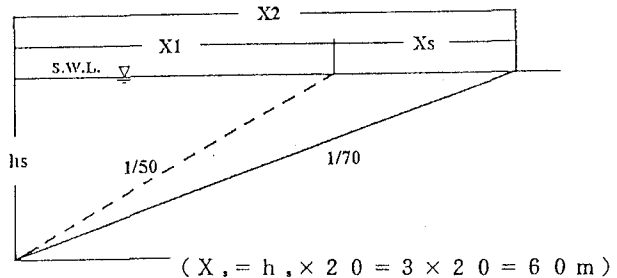
- ・計画波浪条件：前浜勾配 = $1/15$
外浜勾配 = $1/50$

②汀線後退距離

- ・異常波浪条件：前浜勾配 = $1/15$
外浜勾配 = $1/70$

模式図により汀線後退量は、 60 m となる。この距離を養浜断面の計画上は、後浜の天端幅として確保することとした。

図-21 模式図



③天端高

波浪条件は、背後への浸水を防ぐ意味からも異常波浪条件を対象に検討した。

- ・長周期波の遡上高： $R_L = 1.29 \text{ m}$
- ・波の遡上高： $R_{1/3} = 0.98 \text{ m}$
- ・その他の上昇分：既往最高潮位 - HWL
 $= 0.88 - 0.44 = 0.44 \text{ m}$
- ・ $\eta_0 + R_L + R_{1/3} + \eta' = 1.02 + 1.29 + 0.98 + 0.44 = 3.74 \text{ m}$

よって、計画波浪時における天端高を $+4.0 \text{ m}$ とする。

④養浜断面諸元

- ・前浜勾配 $1/15$ （ただし、 $+0.74 \text{ m}$ より陸側）
- ・外浜勾配 $1/50$ （ただし、 $+0.74 \text{ m}$ より海側）
- ・天端高さ： $+4.0 \text{ m}$
- ・汀線背後の養浜範囲：上記①より 48.9 m 、上記②より 37 m 、よって養浜範囲 146 m となる。

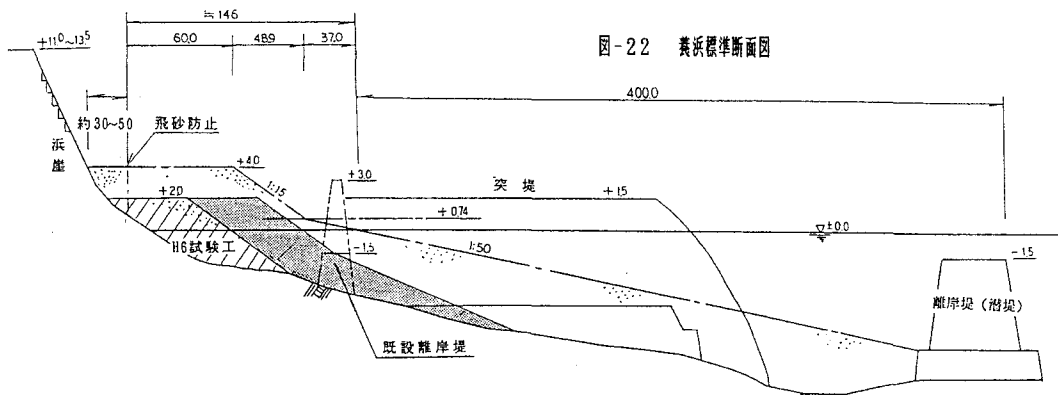


図-22 養浜標準断面図

(2) 養浜の施工と水理模型実験、数値シミュレーションによる汀線変化の予測

養浜工は、第一区画(突堤2基、潜堤約650m)が概成した平成7年2月より試験的に実施されている。養浜の施工に伴い現離岸堤は、段階的に撤去していくこととしているが、施工途中段階での汀線の変化を平面水理模型実験、及び数値シミュレーションで予測を行いながら実施した。

以下に現地の観測結果及び模型実験結果、シミュレーション結果を示すが、実験、シミュレーションとも良く現地を再現している。今後も予測結果をふまえて現地の施工を実施していくこととしている。

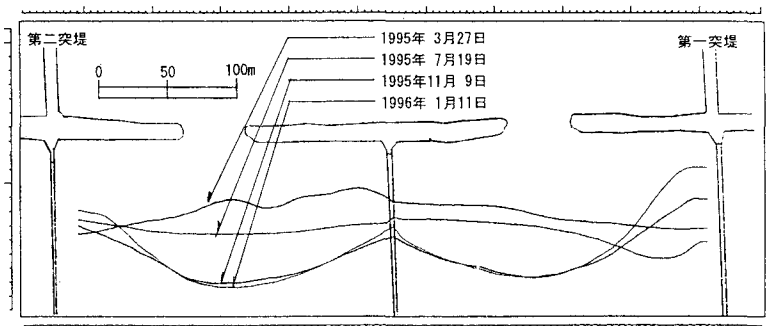


図-23 現地観測汀線

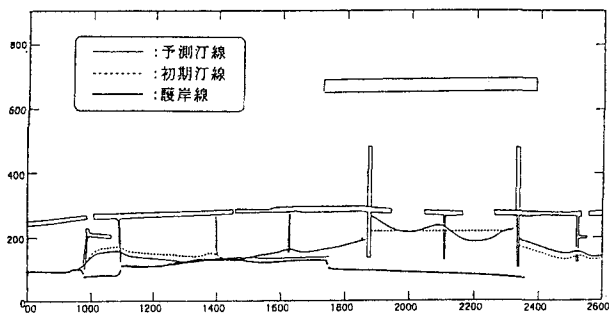


図-24 数値シミュレーションによる汀線予測

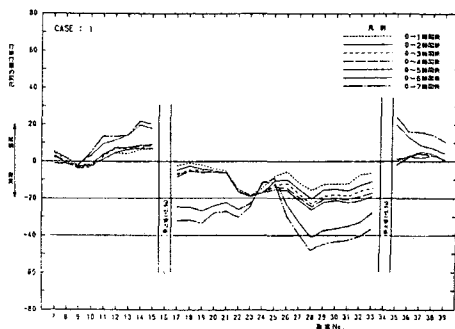


図-25 平面水理模型実験による予測汀線

9. 構造物の施工経過

(1) 突堤、潜堤の施工経過

新潟西海岸における突堤と潜堤の組み合わせによる面的な海浜防護の試みは、前述の種々の調査をふまえ、昭和63年度に第一、第二突堤に着手した。以下の図-26に施工過程を示す。

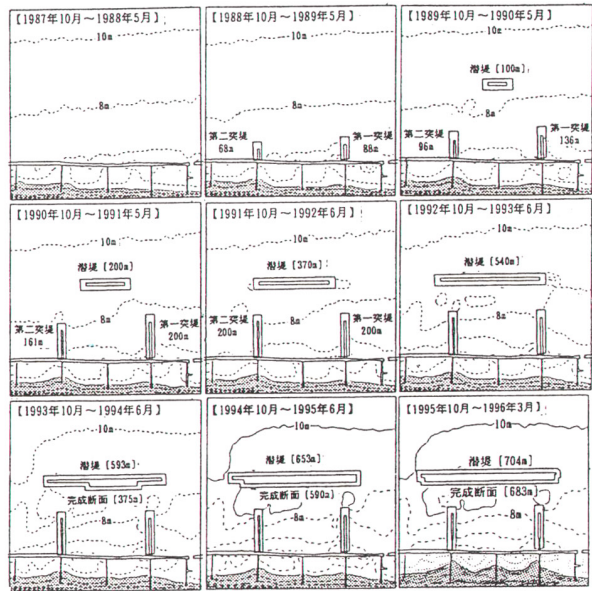


図-26 構造物の施工経過

(2) 潜堤周辺の地形変化

突堤、潜堤の施工に応じて、周辺海浜の地形にどのような影響（侵食及び堆積）が生じるかについて確認する目的で、継続的な深浅測量を実施してきているが、その結果を以下の図-27に示す。

図-27 構造物の施工経過と周辺地形変化



(3) 潜堤周辺の地形変化への対応

1) 水理模型実験及び再現シミュレーションによる検討

しかし、このような現象の事例は、恐らく全国的にもまれであると考えられ、その再現に苦慮しているところである。

Figure 10 is a contour plot showing the calculated magnetic field distribution in the x-y plane. The plot displays magnetic field lines (contours) around a central structure, with a color scale indicating field strength from 0 to 1000 Gauss. The axes are labeled x (cm) and y (cm).

「地形變化計算結果」

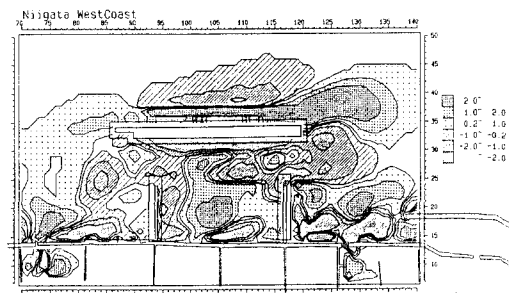


図-28 数値シミュレーションによる現地再現

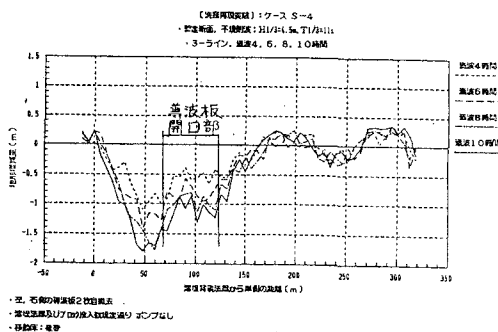


図-30 小水路平面実験による再現

潜堤背後における洗掘状況は再現できなかった。

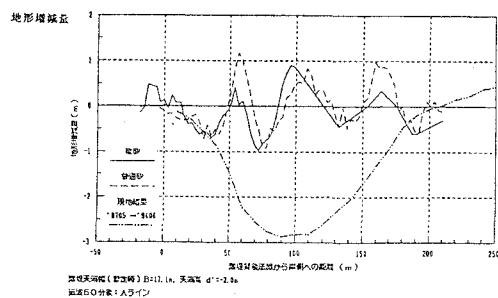


図-29 水理模型断面実験による再現

2) 対策工(案)

現在考えられる対策としては、以下のようなものが考えられる。

- ① グラベル敷設 ----- 養浜表面にグラベルを敷き、底質の移動を防止する。
- ② 砂止め壁設置 ----- 海中に汀線平行方向に砂止め工を設け、砂の沖合方向流出を防止する。
- ③ 潜突堤設置 ----- 潜堤方式で突堤を延長し、沖合潜堤に取り付け、砂の沿岸方向流出を防ぐ。

これらについて、今後水理模型実験、数値シミュレーションにて効果の確認を行い選定していく。

10. まとめ

- ・新潟西海岸の新たな侵食対策は、潜堤、突堤、養浜の組み合わせによる面的防護工法で事業をすすめている。
- ・潜堤は、天端水深を-1.5m、天端幅40m(暫定断面17.5m)にて昭和63年度より事業を進めてきており、現在まで全体計画1580mのうち、約700mが概成している。
今回紹介していないが、冬期における現地波浪観測では、潜堤沖合波高が潜堤直背後では4割～5割程度まで減衰されており、その効果が発揮されている。
- ・潜堤の施工に伴い、構造物周辺の洗掘現象がみられ、現在その機構解明と対策について検討中。
- ・突堤は、第一、二とも先行施工が概成しており、現在完成形での施工を実施中。
- ・養浜工は、平成7年2月より施工を開始し、併せて既設の離岸堤を一部撤去した。その結果汀線は、冬期風浪等により、前進、後退の状況が確認された。

11. 今後の取り組み

今後、第二区画へ施工が移行していく予定であるが、従来どおり、事前予測検討及び現地施工に伴う現地観測を行い、その結果を予測手法へフィードバックしていくこととしている。

また、技術的課題である潜堤背後の洗掘現象への対応及び養浜砂の安定確認についても引き続き検討していくこととしている。

新潟西海岸における、面的防護工法による海岸事業により、広大な砂浜と静穏な水域が創出されることとなり、親水空間等として多様なポテンシャルを有することとなる。

このため、市民等の要請も勘案しつつ、西海岸が秘める多様な可能性を最大限に活用した事業を進めていることとしている。

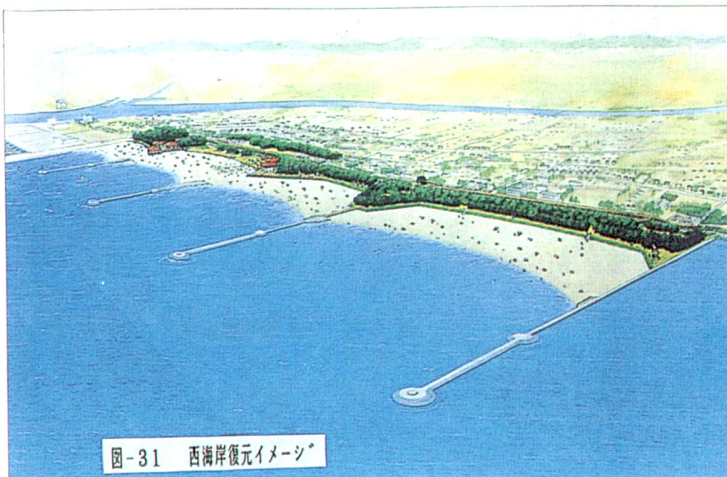


図-31 西海岸復元イメージ

参考文献

- 佐藤昭二（１９６６）：漂砂、水工学に関する夏期研修会講義集・Ｂ海岸・港湾、土木学会
- 佐藤昭二、田中則男（１９６２）：水平床における波による砂移動について、９回海岸工学講演会講演集
- 高山知司、池田直太（１９８８）：広天端幅潜堤による波浪変形と護岸越波量の低減効果、港湾技術研究所報告、第２７巻、第４号
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９７０）：防波堤周辺の洗掘及び護岸の決壊について
第１７回海岸工学講演論文集
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９７３）：新潟海岸の離岸堤の効果、第２０回海岸工学講演論文集
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９８７）：沖合に設置する潜堤周辺の波、流れ、地形変化の予測について、第３４回海岸工学講演論文集
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９９２）：潜堤周辺の地形変化に関する数値モデルと現地観測結果との比較
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９９１）：新潟西海岸施工技術調査、第８回土木学会新潟会研究調査発表論文集
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９９１）：面的防護工法における人工海浜の安定に関する模型実験、第８回土木学会新潟会研究調査発表論文集
- 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所（１９９４）：潜堤周辺の深浅変化特性（新潟西海岸における実測）、港湾建設に関わる水工的諸問題に関する国際会議