

昭和45年冬期異常気象による海象と構造物の被害について

西田 俊 策*・田 中 則 男**

1. はしがき

昭和45年冬期(44年11月から45年3月をいう)は、45年1月低気圧など異常低気圧多発の年であった。そのため、北陸東北地方の日本海側沿岸は、十数年来にない激浪に見舞われ、新潟県西部海岸における海岸護岸の倒壊を始めとして、海岸、港湾施設はじんな被害を蒙り、その被害額は運輸省所管海岸のみで20数億円の多きに達した。

本報告は、秋田県から福井県にわたる運輸省第一港湾建設局管内における45年冬期異常気象による海象と施設の被害について、その概要を述べたものである。

2. 波浪について

図-1は、管内波浪観測施設の配置を示すものである。図中4欄には45年冬期の最大有義波高が示されているが、すべての地点で5欄に示した44年冬期以前に観測された最大の有義波高を越えており、45年冬期気象の異常さがうかがえる。

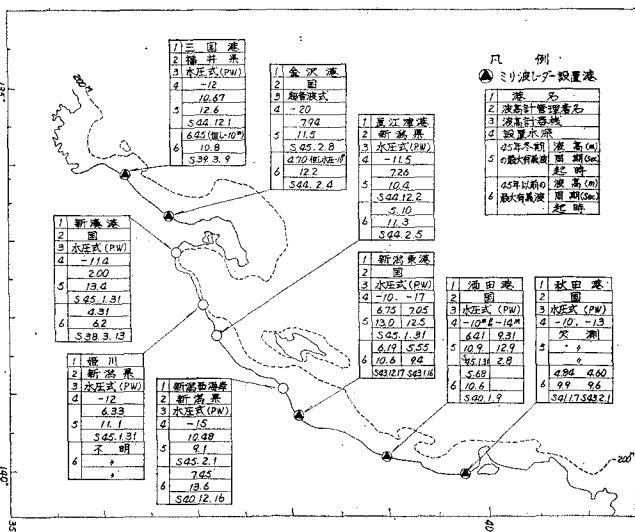


図-1 管内波浪観測施設の配置

(1) 波高分布とその問題点

表-1は、45年冬期の顕著な荒天時における最大の有義波高の分布を示している。これを見て行くと、管内の構造物を設計する立場から、多くの疑問点を指摘することができる。その代表的なものをあげると、

イ. 金沢にくらべて三国の波、新潟東港に比べて西海岸の波が極端に大きく、それぞれ2.4~1.7倍にも達することがあるのはなぜか。

ロ. 酒田港において、水深-10mと-14mの波が2.5m近くも異なることがあるのはなぜか。

ハ. 直江津にくらべて姫川の波は一般に小さく、5~7割程度にすぎないが、45年1月低気圧の場合に限って姫川の波の方が大きいのはなぜか。

などの諸問題である。

ア) 三国港と新潟西海岸の波

この両地点の波が近接地点より大きくなる理由については、まだ明確にすることができず、今後の課題として調査を進めている。

日本海の冬期の場合、気象条件および吹送距離の相違は100km程度の近接点ではあまり問題にならない。

図-2は、三国および金沢港における屈折図を示したものである。金沢港前面が単純な海底地形をなすにくらべて、三国港前面には沖に張り出す浅瀬があり、波向によっては20~30%近く三国の波が大きくなる可能性があるが、今後さらに調査を進め、波向について正しい資料を得るまでは、決定的なことはいえない。ただ、三国と金沢の波を比較すると、周期の大きい波ほど、三国港の波が金沢港に比べて大きくなるという事実は、屈折現象に見られる傾向に一致している。

また、新潟についても、東港が単調な、海に向かって凹な地形に位置するのに対して、新潟西海岸沖は信濃川の堆積のために凸形に沖に張り出した場所に当

ている。水圧式波高計の特性として補正係数 n 値の問題があり、二、三の研究成果がある。これらの成果によると、 n の値は、周波数が高いほど n 値が小さく^{1),2)}、比

* 正会員 前運輸省第一港湾建設局長

** 正会員 運輸省第一港湾建設局新潟調査設計事務所次長

表-1 45年冬期異常気象による波

年月日	港名 設置水深	酒田	新	湯	東	港	西	海	津	直	江	津	姫	川	新	津	金	沢	三	国
		-10	-14	-11	-17		-15	-11.5	-12.0	-11.5	-20	-12								
昭和44年 11月24日~26日			6.42	4.87	4.10		6.42	6.04	3.50	0.83	* 4.26	9.03								
			⑩ 10.1	⑨ 10.3	⑩ 10.6		⑩ 10.1	⑩ 8.4				⑩ 10.8								
昭和44年 12月1日~4日			③ 8.51	② 5.30	② 4.39		5.69	① 7.26	③ 3.74	0.68	* 5.26	① 10.67								
			⑩ 10.8	⑨ 13.6	⑩ 13.8		⑩ 13.1	⑩ 10.4	⑩ 13.7	7.7	11.4	⑩ 12.6								
昭和44年 12月25日~27日		5.35		4.67	③ 4.11		5.48	② 6.49	② 4.00	0.89	4.27	6.35								
		9.7		9.4			⑩ 9.3	① 10.3	9.0	10.0	⑨ 11.3	⑩ 10.6								
昭和45年 1月16日~17日		4.64	4.42	③ 5.04	3.62		6.03	5.72	3.72	1.78	⑤ 5.95	6.89								
		⑦ 9.9	10.0	8.4	9.9		⑩ 10.5	⑨ 9.1	9.5	10.4	⑩ 10.2	① 9.9								
昭和45年 1月29日~2月3日		6.41	② 8.82	① 6.75	① 7.05		① 10.48	③ 6.15	① 6.33	2.00	② 7.17	9.47								
		10.9	⑩ 11.7	⑩ 13.0	⑩ 12.5		① 12.0	⑩ 13.5	⑩ 11.1	13.4	⑩ 11.4	⑩ 12.9								
昭和45年 2月8日~10日			① 9.31				② 6.65	5.36			① 7.94									
			① 2.9				⑩ 12.9	12.7			⑩ 11.5									

注: 上段 $H_{1/3}$ (m), 下段 T_s (Sec)
①, ②, ③ は各港における順位, ①~⑦ は各荒天毎の順位
* は水深-10mにはる。

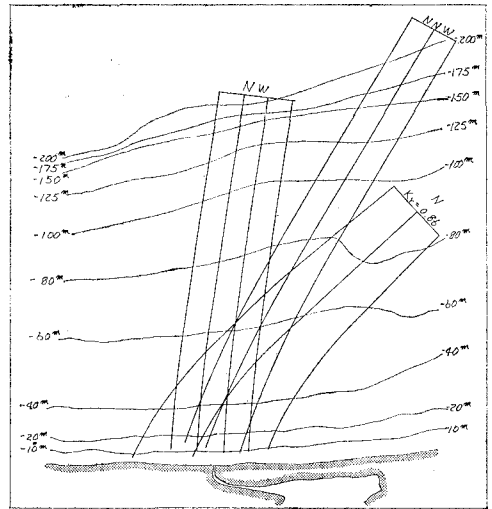
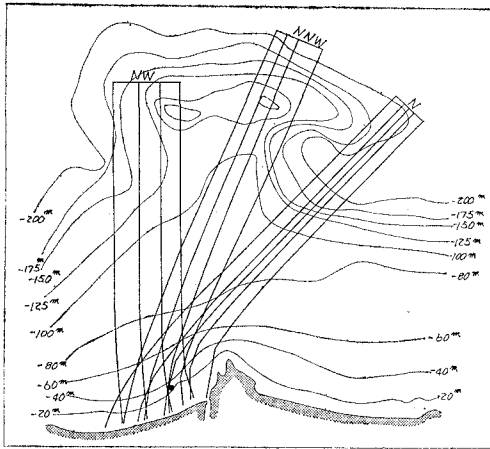


図-2 三国港, 金沢港の屈折図の比較

水深が大きいほど n 値が小さく, また比水深 0.1 程度を限度として比水深がそれ以上の所では, 波形勾配が大きいほど n 値が小さくなる²⁾ という傾向が示されている。したがって n 値を一定値 1.30 として求められた波高は, 周期が小さいほど過大な値を示すことが多い。いま大胆な仮定ではあるが, 三国の波と金沢の波がひとしいものとして, 三国の波と金沢の波の相関を波の周期ごとにもとめ, これから三国の n 値を逆算して整理すると, 波形勾配に関する傾向以外は, 一般的 n 値の傾向とはまったく異なったものとなる。前述したように, 屈折などの影響があり, これをもって n 値の問題なしとするものではないが, 少なくとも三国の波について n 値が主要な問題であるとは単純にはいえないようである。

b) 酒田港における波

図-3 は酒田港における $H_{1/3}$ と H_{max} の関係を示すものである。これによると, 波高が小さい部分では -10m, -13m の値とともにレーリー分布に近い線上に分布するが $H_{1/3}=3m$ を越えると, レーリー分布の関係

$H_{max}=1.5 H_{1/3}$ からはずれて行く。また水深-13m 地点で $H_{1/3}=8m$ 以上の波が観測されているにもかかわらず

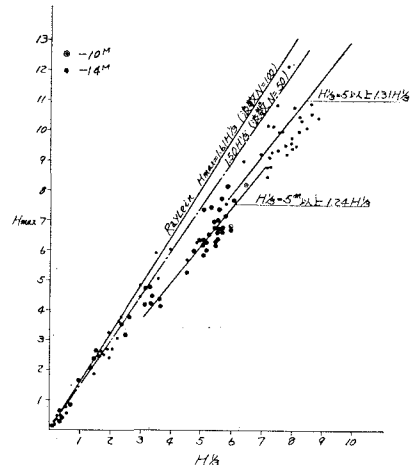


図-3 酒田港における H_{max} と $H_{1/3}$ の比較

らず、水深-10m 地点では $H_{1/3}=6\text{ m}$ 以上の波はほとんど生じないこともこの図から明瞭である。

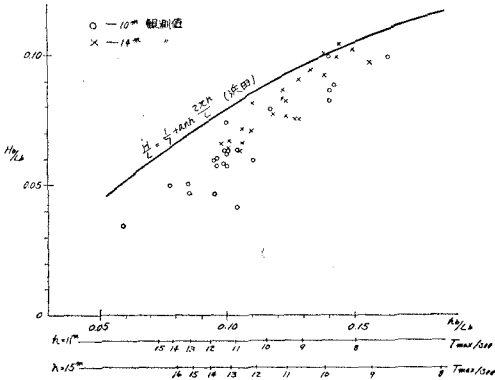


図-4 $H_{\max}$ に対する h/L と H/L の関係

図-4 は $H_{\max}$ の値について h/L と H/L の関係を示すもので、図中の実線は浜田の砕波限界の関係である。これによると水深-10m、-13mともに波高が波高計設置点の水深に制約され、砕波寸前あるいは砕波後の波を測っている可能性のあることが明らかであり、水深-14m と -10m における波高の差はこのような事実起因する可能性が強い。

c) 姫川港と直江津港の波

直江津港にくらべて、姫川港の波が一般に小さいのは、能登半島の遮蔽効果によるものであり、事実45年1月低気圧の場合を除いて、姫川の波が直江津より常に小さくなっている。

45年1月低気圧の場合、姫川について気象条件がとくに厳しいか、あるいは波が能登の遮蔽を受けない北よりの方向から来たと言う根拠は、天気図、風の資料、波向の資料からは見出し得ない。

図-5 は10分間観測中の波高分布を示すものである。これによると、姫川と直江津とでは波高分布の形状が異なり、直江津では波高分布帯の幅がせまいことがわか

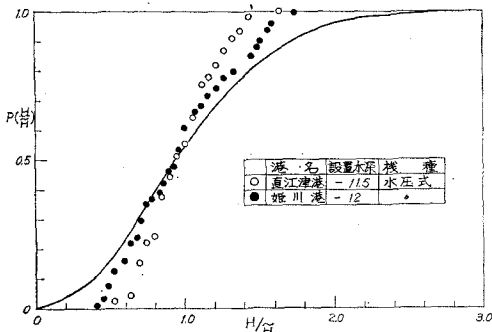


図-5 10分間観測時間中の波高分布

る。この間の両者の波形分布を比べると、姫川に比べて直江津の波は、谷の部分が平坦である。これらの結果は姫川に比べて直江津では、砕波後の波を多く測っていることを示唆しているように思われる。事実、姫川の波高計設置点前面には、いわゆる「アイガメ」と呼ばれる深みがあり、1/7~1/10の勾配で水深50m以上に達するのに対して直江津は1/100~1/130程度の海底勾配である。

(2) 45年1月低気圧による波のパワースペクトル

45年1月低気圧の場合の各港のスペクトル分析を行った。その代表的事例を示そう。

a) 発達期におけるパワースペクトル

図-6 は金沢港の水深-20m地点において超音波式波高計によって測られた波の発達過程における計算結果を示す。スペクトル計算は $N=600$, $\text{lag}=50$ で行なわれ、自由度は約24である。各周波数に対する飽和エネルギーは、ほぼ f^{-5} に比例し、第一ピークの高周波数側の勾配はそれよりやや急で f^{-6} 程度となっている。

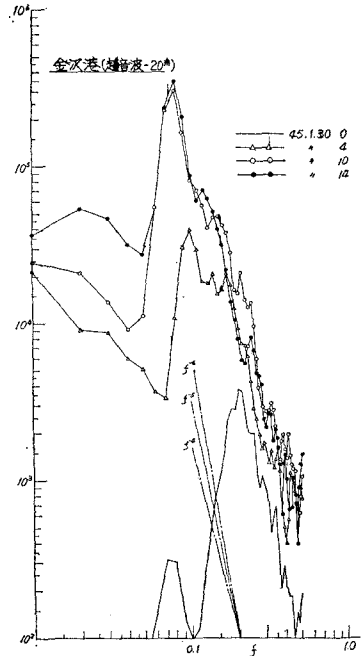


図-6 金沢港における発達期における波浪スペクトル

b) 同一海岸における異水深でのスペクトル

図-7 は酒田港の-13m および -10m 地点におけるほぼ発達しきった波の水圧波形のスペクトルの形状を示すものである。計算条件は金沢の場合と同様である。1月31日18時における両地点のスペクトルの形状は、ピークエネルギーが多少異なるほかは、きわめてよく似ている。水深-13m地点で波が発達しきってピークエネルギーが最大値を示すとき、水深-10m地点では $f=0.07 \sim 0.1$ の部分でエネルギーが減少し、第2のピークが明

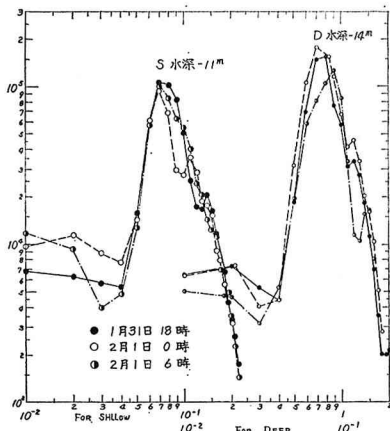


図-7 酒田港水深-10m, -13m 地点におけるスペクトルの比較

瞭になる。波がピークを過ぎる2月1日6時には-14m地点ではピークエネルギーが減少し、減衰の傾向を示すが-10m地点では、第2ピークが不明瞭となり、高周波部分のエネルギーも回復している。

3. 構造物の被災について

45年1月低気圧を中心とする45年冬期異常気象による運輸省所管海岸の被害は表-2に示すとおりである。

(1) 天然海岸および海岸護岸の被害

海岸構造物の被害は、新潟県西部とくに直江津、姫川海岸に集中している。天然海岸の欠壊は新潟県西部海岸、直江津、姫川などにおいて起こっているが、とくに直江津東海岸においては、延長約1.3kmにわたって海岸が欠壊し、汀線の最大後退量は、44年11月に比べて30m、欠壊線の後退量は70mにおよび、海岸ならぶ油槽所の油送管の切断などの被害を生じた(写真-1参照)。

海岸堤防、護岸の被害は新潟東海岸、姫川海岸などで生じ、とくに姫川海岸、田海、須沢海岸においては、延長約900mにわたって海岸堤防が倒壊した。須沢地区海

表-2 45年冬の港湾および海岸構造物の被害

県名	港名	施設名	状況
秋山形	秋田港	南防波堤	基礎石沈下, 散乱 23.5m
		海岸護岸突堤	護岸 198m 突堤 3 基倒壊欠壊
		加茂港	根固め 54m
		北防波堤	本体ブロック 21.1m
	胤ヶ岡港	西防波堤	基礎石 33.1m
		東防波堤	5 基欠壊
	新潟港	突堤	20m基礎コンクリート
		船揚場	基礎石 1032m
		東港, 西防波堤	" 71.75m
		東防波堤	欠壊 207m
		松浜町天然海岸	土砂流失沈下 205.3m
		平和町堤防	" 48m
新潟	直江津港	臨海町 "	背面欠壊, 土砂流失 78m
		船江町 "	吸出し 11m
		二葉町 "	欠壊 104.2m
		防波堤(西)	基礎石, ケーソン沈下 70m
		(東)	基礎石 342m
		天然海岸	欠壊 1280m
	姫川港	西埠頭防舷材	脱落
		中央埠頭 "	テトラ沈下散乱 70m
		護岸	埋没 118 060m ³
		航路泊地	基礎, ケーソン滑動, 元付欠壊
富山	両津港	西防波堤	元付欠壊 20m
		東町護岸	欠壊 120m
		田海 "	倒壊 244.7m
		須沢 "	" 631m
	柏崎港	天然海岸(須沢)	欠壊 222m
		(寺島)	" 407.2m
	河崎港	護岸臨港道路	背面吸出し 22m
		泊地	埋没 30,110m ³
	伏木富山港	河崎護岸	倒壊 136m
		突堤	4 基沈下散乱
石川	金沢港	国分東防波堤	消波工散乱
		大野西防波堤	基礎 285m
		護岸	基礎 70m
		府中物揚場	桟橋床板 12m
	飯田港	護岸	基礎 54m
		第8防波堤	上部工 6.1m
	補浦港	泊地	埋没 6 000m ³
		突堤	沈下 6 基
	和田港	天然海岸	欠壊 70m

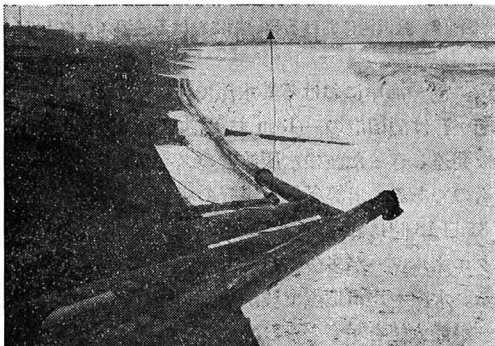


写真-1 直江津海岸(天然)の被災状況

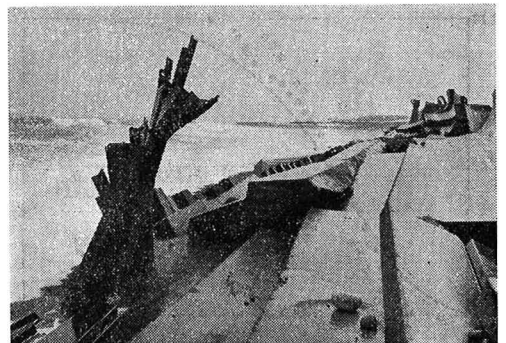
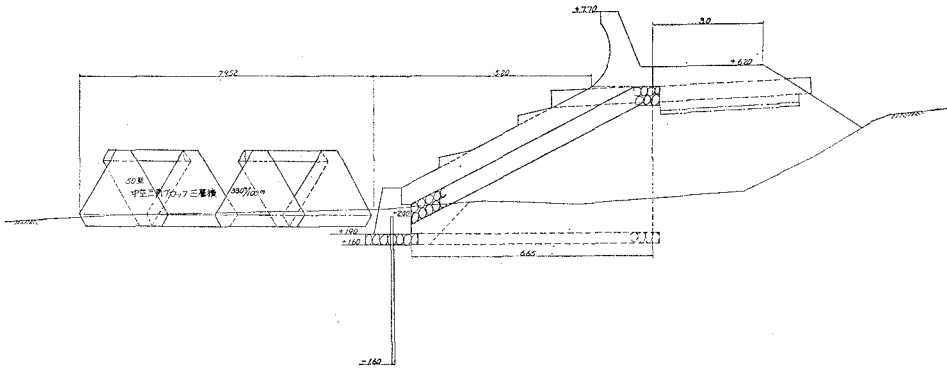


写真-2 姫川海岸須沢地区被災状況



図—8 姫川須沢地区の海岸護岸の標準断面（被災例）

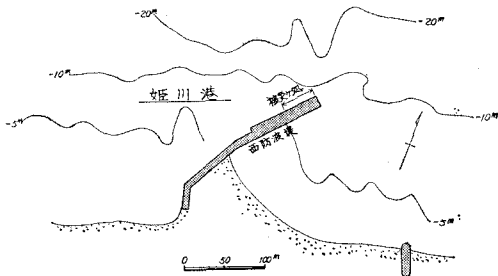
に引き抜かれ、海岸に散在している。被災箇所状況を見ると局部的に前面洗掘の強い箇所背後の土砂の流出を生じ、その箇所が破堤するとそれを中心に被害が周辺におよんで行ったようである。

姫川地区以外の地域でも、中詰土砂の流出の被害が多く、海岸護岸設計のポイントが土砂の吸い出し、あるいは前面洗掘に対する対策にあることを物語っている。

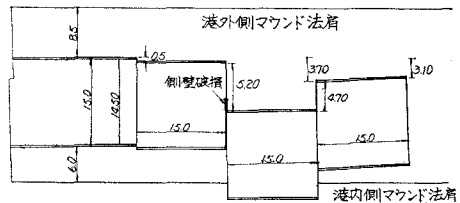
(2) 防波堤堤体の被害

防波堤堤体の被害は、山形鼠ケ関港西防波堤、直江津港西防波堤、姫川港西防波堤、石川県浦港第8防波堤などにおいて見られるが、姫川港を除いては上部工の部分的な破損程度の被災に止まっている。

図—9、10および11は姫川港平面図、防波堤断面図および滑動状況を示すものである。先端の3箇のケーソンが滑動し、もっとも滑動の大きいケーソンの滑動量は8.5m程度にも達した。この防波堤は波向が防波堤に直、



図—9 姫川港平面図



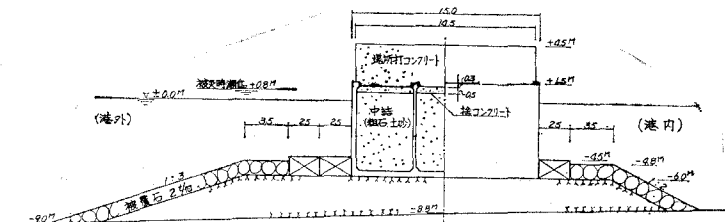
図—11 姫川港被災状況

$H_{1/3}=5.5\text{m}$, $T=13\text{ sec}$ の設計条件で設計されているが、被災時の波は $H_{1/3}=6.33\text{m}$, $T=9\sim 11\text{ sec}$ であろうと推定される。このような条件で、堤体前面の最大波高が限界波高であるものとして、伊藤⁵⁾による期待滑動量を求めると7.5mとなり、大体よい一致を示している。

(3) 防波堤マウンドの被害

防波堤マウンドの被害としては、新潟東港西防波堤、直江津港西防波堤、金沢港西防波堤などにおけるものが著しい。箇所図—12 (a), (b), (c)にこれら各港の平面図と被災箇所を、図—13、図—14に金沢港および直江津港における代表的被災断面をおのおの示した。新潟港の断面については文献⁴⁾を参照されたい。図からも明らかなごとく、直江津の被災の主因はマウンド下面の砂が吸い出されることによるマウンドの沈下であり、金沢港、新潟東港の場合は著しいのり先の洗掘と被覆石重量の不足と判断される。

直江津港の防波堤は、他港に比べてマウンド厚が厚いのが特徴で、そのかわりマウンド下面には、帆布など



図—10 姫川港西防波堤断面図（被災断面）

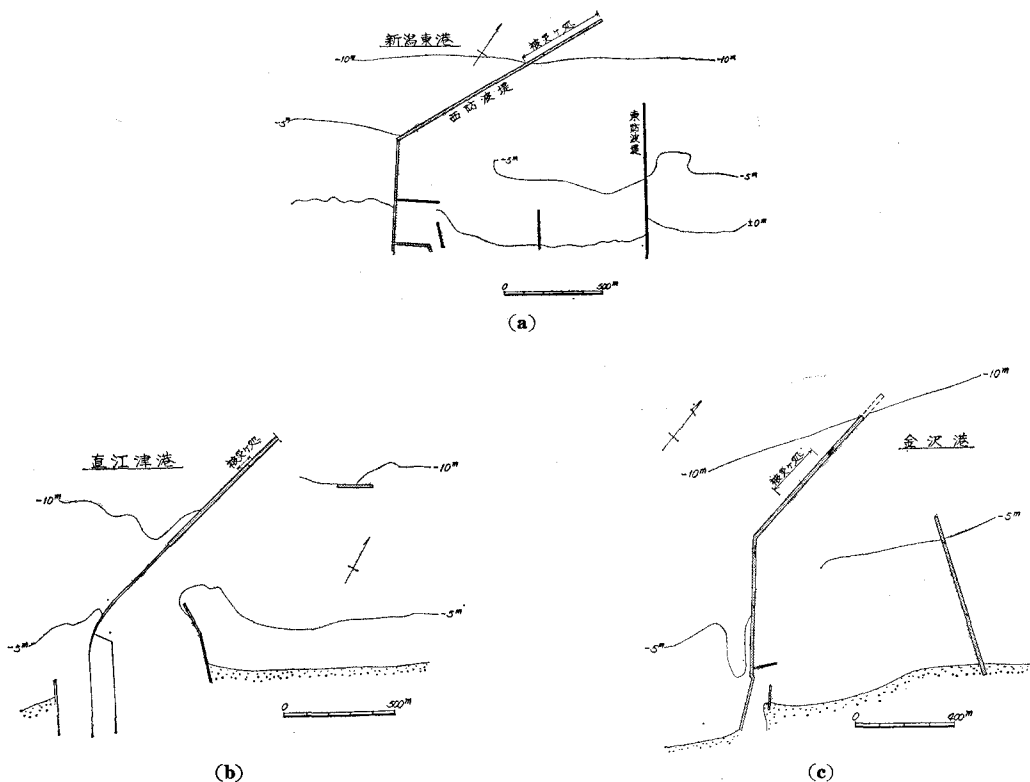


図-12 新潟東港, 直江津港, および金沢港の平面図

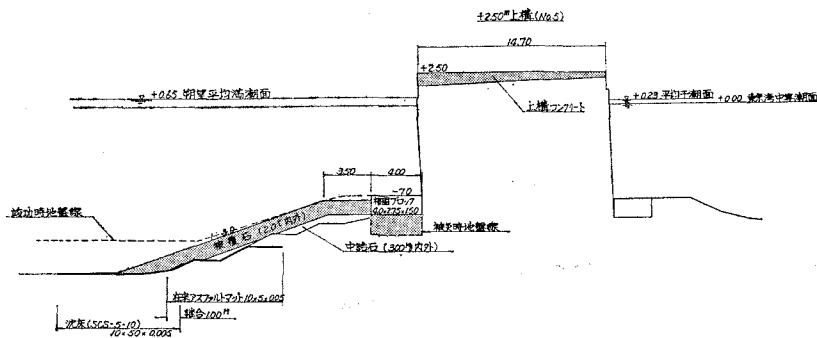


図-13 直江津港の被災箇所平面図

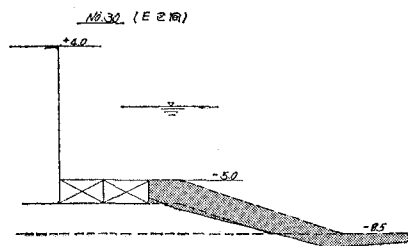
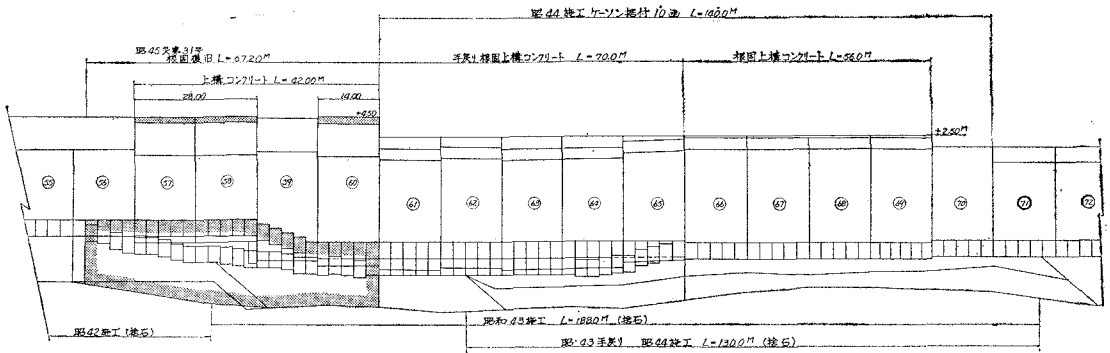


図-14 金沢港被災箇所断面図

の吸い出し防止材が用いられていない。そのため43年度に先行マウンドが図-15に示すように沈下し、手戻りを受けた。また45年冬の災害発生区域は断面の変化点に当たり、この付近においてマウンド天端高は-5mから-7mに変化している。他港の被災例を見てもマウンド天端高に1~1.5m以上の段をつけると、その箇所が被災する場合が多い。また200~500kgの割石で中詰した場合、吸出し防止のためのそだ、帆布などを用いていないと、マウンド厚さが3~4m程度あっても吸い出しが十分起こり得るようである。



図—15 直江津港被災箇所側面図

新潟東港、金沢港の場合はマウンドのり先の洗掘によって、被覆石のカミ合せの低下、あるいはマウンドの崩壊が起こり、これがさらに被覆石の波による飛散をうながしたものと思われる。のり先洗掘対策としてはこの数年アスファルトマットを用いて来たが、被災箇所におけるマットの調査によると引きちぎられたと思われる場合が多く、強度上の問題があるように見える。また被覆石重量についても近年の施工速度の上昇、作業の省力化などを考慮した設計がなされるべきであろう。

〔追 記〕

三国港の波高については、本稿提出後に波高計の再点検を行なったところ、ケーブル抵抗値の変化の影響によって記録が過大に読みとられていたことが判明した。実際の波高は、既報告値の約66%と推定される。したがって、三国港の波高が金沢港よりも大きくなっていた問題は、ほぼ解消された。また新潟西港の波高について

も、三国港とほぼ同程度に過大な値として記録されていたことが判明した。なお、他の諸港の波高記録については、この種の問題はない。

参 考 文 献

- 1) 高橋智晴・鈴木禧実・佐々木弘：鹿島港における波浪観測について，第13回海岸工学講演会講演集，昭和41年12月。
- 2) 本間仁・堀川清司・小森修蔵：水圧変動波形と水面波形の相関性，第12回海岸工学講演会講演集，昭和40年11月。
- 3) 光易恒・広本文泰：波による水中圧力の変動について，第13回海岸工学講演会講演集，昭和41年12月。
- 4) 和田善吉・西村一夫・楡井康裕：防波堤周辺の洗掘および海岸の欠壊について，第17回海岸工学講演会講演集，昭和45年11月。
- 5) 伊藤喜行・藤島 陸・北谷高雄：防波堤の安定性に関する研究，港湾技術研究所報告，第5巻14号，昭和42年。