

防波堤周辺の洗掘および海岸の欠壊について

和田 善吉*・西村 一男**・榆井 康裕***

1. はしがき

砂浜上に防波堤を建設する場合、設計および施工者がもっとも頭を悩ます問題の1つは、防波堤マウンドの洗掘による破損および防波堤周辺海岸の欠壊の現象である。とくに冬季節風による激浪に見舞われる日本海北部沿岸の諸港において、これらの問題は深刻であり、過去数年の港湾災害あるいは手戻りは、ほとんどこれらの現象に起因しているといつて過言ではない。

近年、洗掘に関する模型実験や現地用洗掘計の開発など洗掘現象解明のための研究も、その緒についた感があるが、いまだ構造物の設計施工上の指標を与え得る成果は少なく、設計者はそれらの問題に対して経験的に対処し、最良の対策を模索している現状である。

本報告は、運輸省第一港湾建設局管内の諸港および鹿島港の深浅図を基に、防波堤周辺の洗掘および欠壊の問題について整理検討を試みたものであるが、静穏時の深浅測量の結果に基づいている以上、その定量的解析には自ずから限界がある。したがって本報告が、現地の洗掘などの大略的な特性とそれに対処する現実的な方法を設計者に示唆し、また、今後の研究上の何らかの手がかりを与え得るものとなれば幸である。

なお、本報告は第一港湾建設局報告書¹⁾に新たな資料を一部加え、とりまとめたものである。なお、新潟東港、金沢港、直江津港の平面図は参考文献²⁾に示されている。

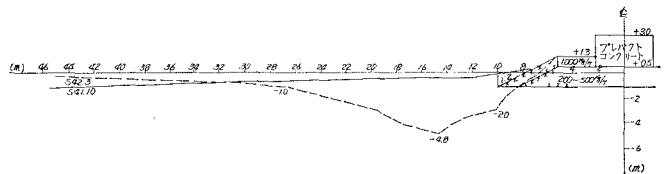
2. 防波堤周辺の洗掘

(1) 顕著な洗掘の事例

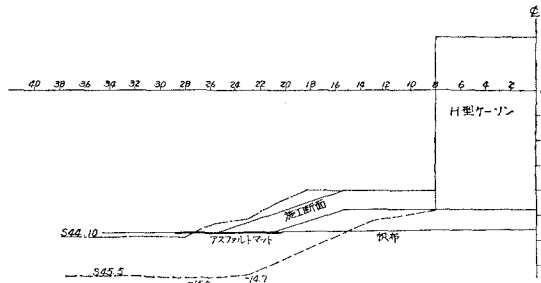
図一1は新潟東港および金沢港における顕著な洗掘災害の事例を示すものであ

る。図一1(a)は新潟東港東防波堤基部より135.4mの箇所の港内側断面を示している。昭和41年12月12日朝鮮半島付近に発生し、新潟上空を通過した後、三陸沖で急激に発達して、14日9時中心気圧952mbを示した低気圧による最大有義波高5.69mの波に見舞われた直後、目視によって被災が確認されている。(a)図中破線は、それから一冬経過した42年3月の測量結果であるが、洗掘孔の最大水深は-4.8m(41年10月にくらべると4.3m洗掘されている)に達し、マウンドののり部が崩壊している。

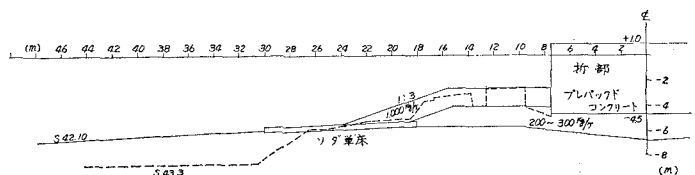
図一1(b)は昭和45年1月末、いわゆる45年1月低気圧来襲その他、45年冬期の異常気象²⁾による新潟東港西防波堤の洗掘状況で、図に示す断面は折点より1152m地点(44年度施工の沖側端より24m)の港外側である。図に示すようにこの地点は設計水深-11.0mにおよんでおり、施工直後構造物調査の一環として行なった測量によれば、十分なマウンド断面を有しているが、施工後



(a) 新潟東港東防波堤港内側(防波堤基点より134m地点)



(b) 新潟東港西防波堤曲部港外側(折点より1152m地点)



(c) 金沢港西防波堤折点付近(折点より6.4m地点)

図一1 顕著な洗掘の事例

* 正会員 運輸省第一港湾建設局 技術次長
 ** 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟調査設計事務所々長
 *** 正会員 運輸省第一港湾建設局 秋田港工事事務所工事専門官

一冬経過した45年5月の測量では、延長約200 mにわたってマウンドのり先が大きいところで3m 前後洗掘されており、マウンドは大きく崩れ、根固ブロックも移動している。

図-1(c)は金沢港西防波堤折点付近港外側の断面を示している。この堤体は41年度に施工を完了したが、42年冬期(42年12月~43年1月末まで)に波高4 mを再三にわたって越える風浪に見舞われ、前面の洗掘に加え被覆石重量の不足があいまって、著しいマウンドの崩壊をきたした³⁾。

(2) 著しい洗掘の発生箇所とその特徴

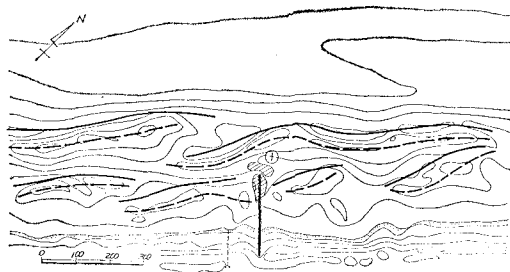
主として新潟東港、金沢港、鹿島港など現在建設中の港の施工過程と周辺の地形変化の状況を見て行くと、顕著な洗掘の発生箇所について共通したものを見出すことができる。これをその発生箇所と構造物との関連において分類すると表-1 のとおりであり、新潟東港西防波堤を例にそれを示すと図-2 のとおりである。表-1 の分類と図-2 の実例の対応は丸中の数字で示している。先行マウンド周辺の洗掘は、直部(汀線にはほぼ直角に延びた部分)においても曲部(直部から屈折し、泊地を覆う部分)においても見られるが、曲部においては港内側が一般に港外側より規模が大きく、とくに先行マウンドと堤体施工部の境界付近に起こる洗掘は大規模である。

堤体が施工された後の洗掘は当然港外側に起こりやすく、とくに直部から曲部へ移る折点付近、海岸にはほぼ平

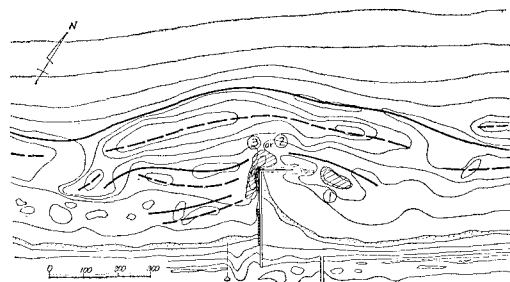
防波堤周辺の 局所洗掘	先行マウンド 周辺の洗掘	直部の港内側	⑤
		直部の港外側	⑥
		曲部の港内側	⑦
		曲部の港外側	⑧
	堤体施工後の 洗掘	直部港外側	②
		直部港内側	④
		折部港外側	③
		曲部港外側	⑨
		曲部港内側	⑩
		堤体先端部	①

行な波除堤の先端には、必ず固定された(位置の変動しない)洗掘孔が見られる。また、図-2 にも見られるように、堤体施工後の直部の洗掘の発生は、防波堤周辺の沿岸砂洲の消長と密接に関係している。すなわち、防波堤が延長されると漂砂の上手側の沿岸砂洲の防波堤に近い部分が徐々に沖側に張り出すが、防波堤がその砂洲を突破してさらに延長されると、防波堤と砂洲が交わる地点付近に顕著な洗掘が起こる。図-2 に示す新潟港の場合、直部港外側に見られる洗掘孔は、第一列目の砂洲との交点付近に、折部の洗掘孔は第二列目の砂洲との交点付近に相当し、洗掘孔は砂洲のトラフと連なっている。

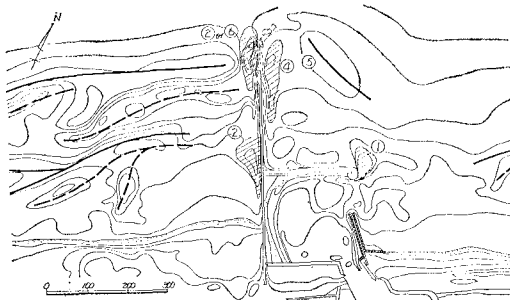
防波堤施工後、防波堤曲部の港外側に生ずる洗掘は周辺の水深が深くなるにもかかわらず、相当規模におよび過去の大きい災害もむしろこの部分に起こっている。深浅図に現われた結果によれば、曲部の洗掘は防波堤に沿った幅の狭い溝状に起こる場合と、図-3 に新潟港の例を示したように防波堤法線に鋭角に交わっていた防波堤



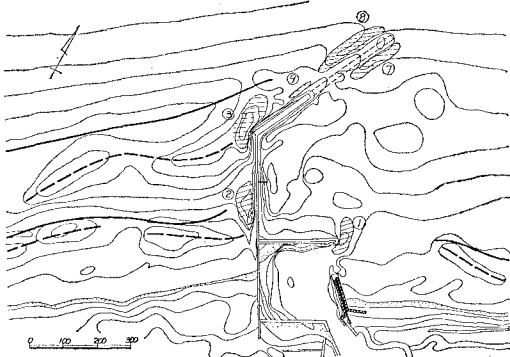
(a) 昭和38年3月



(b) 昭和39年3月



(c) 昭和40年3月



(d) 昭和40年10月

図-2 新潟東港の建設の進捗に伴う防波堤周辺の洗掘の変化

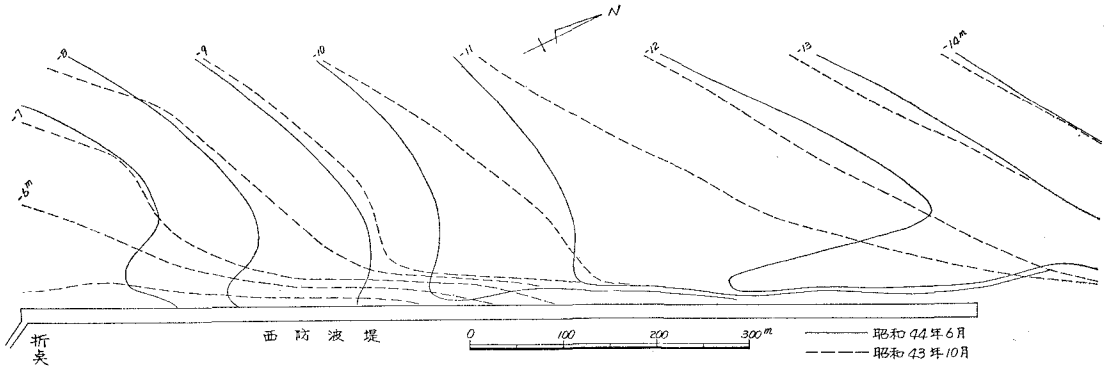


図-3 新潟東港西防波堤曲部近傍における海底変化

の近くの等深線が、直角に近い角度で交わるように変化した結果として起こる場合がある。後者の場合は、深浅図上に著しい洗掘孔は現われないが、洗掘規模はむしろ前者より大きく、昭和44年度冬期の新潟、金沢における大規模な洗掘災害は後者に属している。このような深浅図の傾向から判断すれば、曲部の洗掘については、防波堤によって反射され防波堤に沿って走る波に対して等深線が平行になろうとする過程が洗掘の重要な原因をなすものと思われる。

図-4は防波堤直部における顕著な洗掘の位置と防波堤頭部位置との関係を示すもので、縦軸は洗掘孔周囲の水深(洗掘されていない部分)、横軸は堤頭部の水深(防波堤が屈曲している場合は折点の水深)を示している。これによると、点は $h=0.8\sim 0.45 D_0$ の範囲に分布していることがわかる。

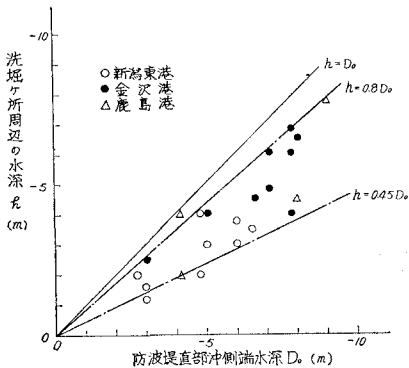


図-4 防波堤直部先端水深と局部洗掘箇所周辺水深

(3) 洗掘の規模

a) 直部港外側における洗掘

図-5は直部港外側の洗掘深(洗掘孔の最大水深と洗掘孔周辺水深の差)と、洗掘孔周辺の水深との関係を示すものである。図中の鹿島港の資料は、港湾技術研究所、佐藤らの報告⁴⁾の一部を引用した。これによると洗掘深と水深の関係は佐藤らの報告結果とよい一致を示し、水深2~4m付近でもっとも洗掘が激しく、3.5m程度に

および、それ以浅では急激に、以深では徐々に洗掘規模が小さくなることを示している。

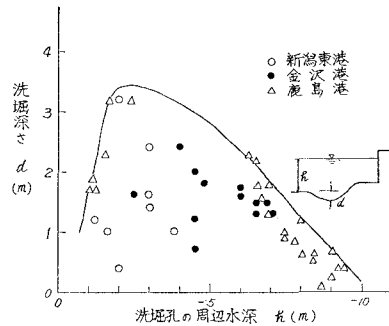


図-5 防波堤直部における洗掘深さと周辺水深の関係

b) 防波堤堤頭部における洗掘

図-6は防波堤堤頭部における水深と洗掘深の関係を示すものである。これによると直部の洗掘と同様に水深3m前後において洗掘はもっとも激しく、それ以浅、以深に向って洗掘規模は急激に減ずる傾向を示している。前述した佐藤らの報告によると堤頭部洗掘深は、沖波波高を越えないことが示されており、その結果とあわせ考えると堤頭部が水深2~4mにある場合には、沖波波高程度の洗掘が起こり得、水深がそれ以浅あるいは以深に

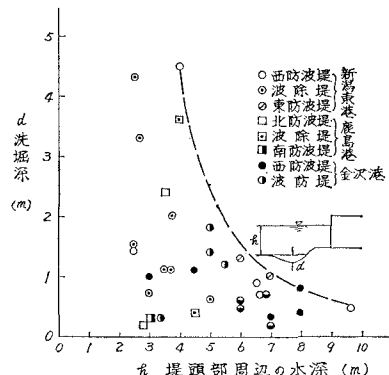


図-6 防波堤堤頭部における洗掘深と周辺水深の関係

なると、洗掘深は沖波波高よりかなり小さいものと考えてよいであろう。

c) 防波堤折点付近における洗掘

図-7 に新潟東港および金沢港の折部における洗掘孔の最大水深と周辺水深の時間変化を示した。新潟東港において昭和41年秋から42年春にかけて、洗掘水深が著しく減少したのは西防西側海岸へのしゅんせつ土砂の投棄の結果によるものである。これを見ると折部における洗掘は折部の施工直後に起こり、その後はその位置とともに、洗掘規模はほぼ一定で、定常的な状態に達することがわかる。新潟港と金沢港の洗掘の規模の差は海象特性の差とともに防波堤の屈曲の角度(新潟港が大きい)、屈曲点と沿岸砂洲の位置の関係(前述したように、折点が防波堤と沿岸砂洲の交点付近に来るほど、洗掘が著しい)によるものであろう。

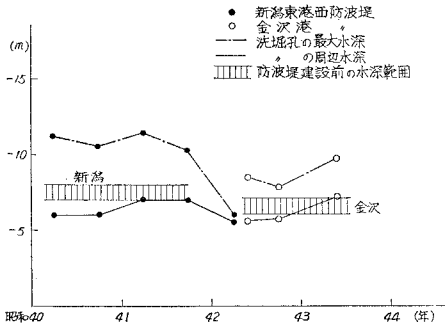


図-7 防波堤折部水深の時間変化(新潟東港, 金沢港の場合)

d) 防波堤曲部における洗掘

防波堤曲部における洗掘に関しては、資料が不十分で十分な解析を行ない得ない。したがって新潟東港における事例を示すに止めたい。図-8(a)は昭和42年から45年5月までの深浅図をもとに、防波堤港外側壁面から25m(標準断面に対してマウンドのり尻から6~7mの距離になる(線上で取った冬期における水深の変化量

を、防波堤折点からの距離に対して示したものである。図中に示した黒丸と二重丸はおおのの年における越冬堤体先端と先行マウンドの先端位置を示している。図によれば、堤体の越冬先端から100~250m付近および500~600mの点を中心に著しい洗掘が見られ、一冬の間の最大水深変化は3mにおよぶことがあるが、その中間位置に洗掘が多少少ない箇所が存在するように思われる。とはいえ、昭和43年度冬期のごとく洗掘が曲部のほぼ全域にほぼ同程度でおよぶことがあり、とくに著しい洗掘の発生箇所を限定することはむずかしい。

図-8(b)は経年的に見た海底変化の特性を示すもので、実線は昭和42年4月~45年5月までの期間における各地点の最大水深と昭和39年4月、まだ防波堤が折部に達せず、海底が防波堤の影響を受けていないと考えられる状態との差を示している。また一点鎖線は42年春から45年春までの各地点における海底変動の幅を示している(水深は図-7の場合と同一線上でとった)。一般に天然海岸では-6m以深における水深変化は少なく ± 0.5 m程度の場合が多いが^{5),6)}、防波堤の建設が始まると海底変動は著しくなり、図-8(b)に示すように変動量が5m程度におよぶことがある。また、曲部全体に防波堤マウンド法線付近では天然状態より2~3m深掘れされるものと考えることができそうである。図-8(b)において一点鎖線で示した防波堤工事着手後の変動量が、実線で示した天然状態からの深掘れ量を上まわるとは、防波堤工事の過程で一時的に水深が浅くなることを示している。図-8(a)によってもうかがえるように、堤体施工完了箇所では洗掘が起こると、堤体先端から先行マウンドの先端に向って水深が浅くなることが多く、床掘を行わない場合、防波堤は常に水深の浅くなった箇所に施工されることになる。

3. 防波堤周辺に起こる局所的海岸欠壊

海浜に大防波堤を建設することによって、その海岸の

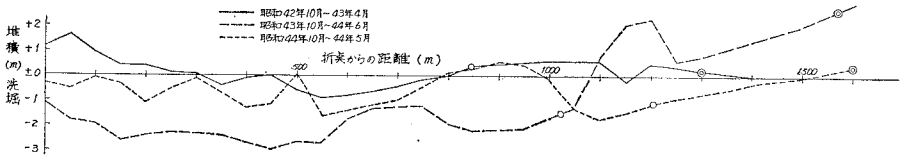


図-8(a) 防波堤曲部マウンドのり先における冬期の海底変動(新潟東港西防波堤の場合)

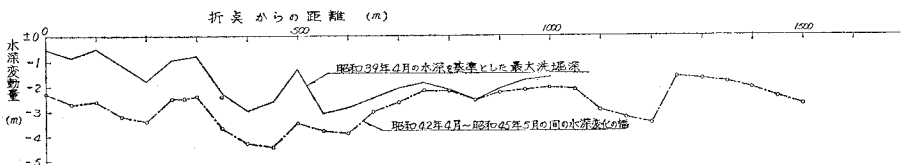
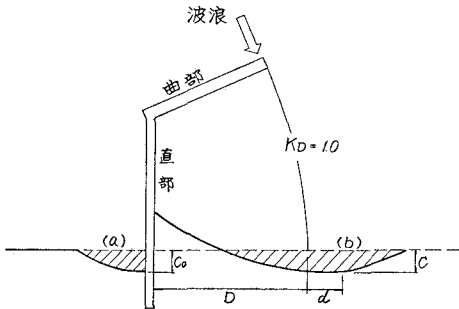


図-8(b) 防波堤マウンドのり先の海底変動量(新潟東港西防波堤の場合)

平衡状態が破壊され、海岸欠壊の問題が生じる場合が多いことは周知のとおりである。このような海岸欠壊は、広範囲のしかも長期的な現象として論ぜられる場合が多いが、防波堤の設計施工者にとって、防波堤のきわめて近傍で急速に起こる欠壊が、防波堤建設工事遂行上問題となる場合が多く、本報告ではこのような局所的な海岸欠壊の問題について述べたい。

深浅図の示すところによれば 図—9 に示すようなこのような局所的な欠壊発生箇所は、



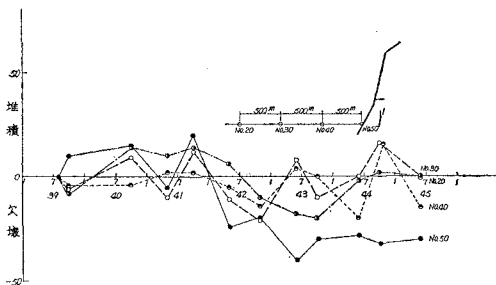
図—9 防波堤周辺における局所欠壊

- (a) 汀線は直角に沖に伸びる防波堤の元付で卓越する波に対して上手側（いわゆる漂砂の上手側）
 (b) 卓越した波に対して防波堤のしゃへい域の境界付近（下手側の局所欠壊）

の汀線に生ずるのが一般的であり、いわゆる構造物による漂砂供給の遮断に起因するというよりも、波の局所的な集中あるいは局所的な流れの発生に起因する場合が多い。

(1) 防波堤元付付近の局所欠壊

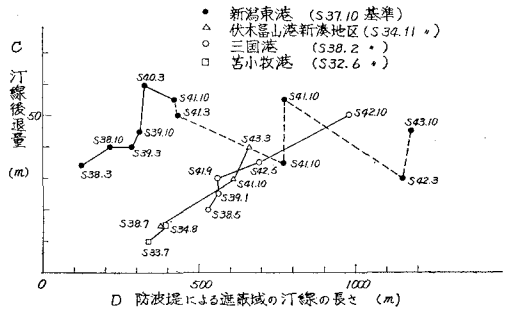
図—10 は金沢港西防波堤港外側の 4 地点における汀線の出入りを示すものである。防波堤のきわの黒丸で示した No. 50 点については 40 年頃から夏期に堆積，冬期に欠壊をくり返しつつ年間 10 m 程度の速度で欠壊が進み，海岸護岸を作った 43 年夏以降は欠壊が止まっている。一方，防波堤から 500m, 1000m および 1500m 離れた No. 40, No. 30 および 20 の点では 39 年と 45 年をくらべてほとんど欠壊が見られず，また，防波堤から離れるにつれて汀線の出入りの幅も小さくなる傾向がある。



図—10 金沢港西防波堤元付の欠壊

(2) 防波堤下手側の局所欠壊

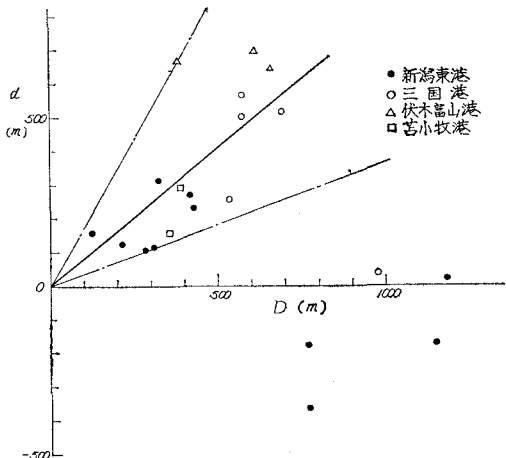
図—11 は各港における各時期の卓越した波（3 日に 1 度程度発生する波を取った）に対する回折図を描き，その回折係数が $K_D=1.0$ 以下となる部分の汀線の距離に対して，汀線の後退量（図—9 参照）をプロットしたものである。図中点線は主防波堤の下手に副防波堤が建設され始めた後の資料であることを示している。



図—11 防波堤下手側における局所欠壊量と防波堤によるしゃへい海岸線の長さの関係

この結果はしゃへい領域が広いほど（無ししゃへい区域との相対的静穏度が高いほど）欠壊量が大きくなることを示しており，新潟東港の例でも明らかなように，下手に副堤を設け，砂の下手への流出を防ぐと欠壊の進行が止ることがわかる。また実線で示された部分について見ると，欠壊量の絶対値については，新潟東港が著しく大きい， D の増加に対する欠壊量の増加の比は各港ほぼ同様で， D が 100m 増加すると欠壊量が 6~7m 増す傾向を示している。

図—12 は欠壊のもっとも激しい位置が， D の増加とともに防波堤から下手に移ることを示しており，図—11 と考え合えると， D の増加に伴って，欠壊量 C とともにその汀線方向への広がり（欠壊を受ける範囲）も徐々に大きくなるものと推定することができる。なお図中で d が



図—12 防波堤下手側における局所欠壊の位置

0 から負の値に分散している新潟東港の資料は、図—11 に示した点線の部分に相当し、下手に副堤を建設した後の結果である。

参 考 文 献

- 1) 第一港湾建設局：防波堤の施工例とその問題点——砂浜海岸における防波堤工事の実施と問題点，昭和 43 年 11 月
- 2) 西田俊策・田中則男他：昭和 44 年度冬期の異常気象とそれに伴う被災について，第 17 回海岸工学講演会講演集，昭和 45 年 11 月
- 3) 第一港湾建設局：金沢港西防波堤工事における災害について，昭和 43 年 11 月
- 4) Shoji Sato, Norio Tanaka and Isao Irie: Study on Scouring at the Foot of Coastal Structures, 11 th Conf on Coastal Eng., Sept. 1968
- 5) 井島武士・佐藤昭二・田中則男：鹿島港海岸の標砂について，第 11 回海岸工学講演会講演集，昭和 39 年 11 月
- 6) 佐藤昭二・庄司忠夫・田中則男・入江 功：仙台海岸の漂砂について，第 13 回海岸工学講演会講演集，昭和 41 年 12 月