

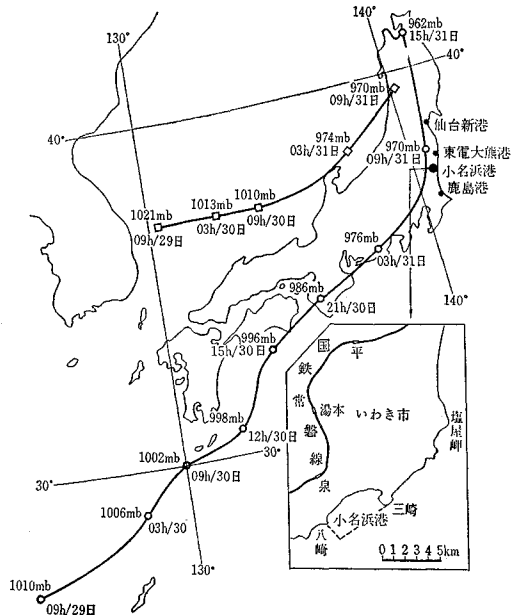
昭和45年1月低気圧による小名浜港防波堤の被災

赤塚雄三*

まえがき

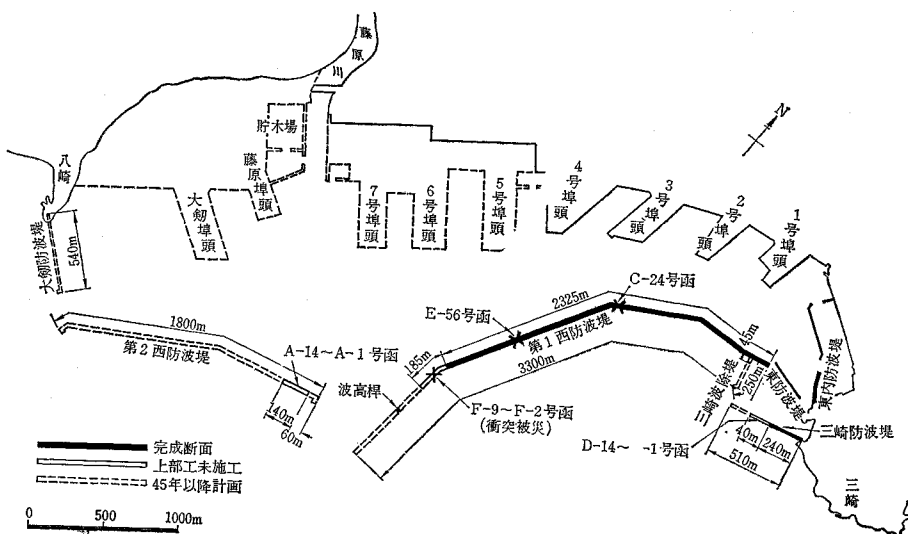
小名浜港は福島県南部のいわき市にあり、新産都市郡山・常磐地区を含む東北地方南部を背後圏として近年急速に発展している、同地方屈指の重要港湾である。しかし、その地形的な立地条件は良好とはいいがたく、起伏の乏しい海岸線からわずかに突出した岬（三崎と八崎）を利用し、海岸線にほぼ平行に長大な防波堤を築いて泊地と水際線をしゃへいする基本方針にそって防波堤建設が進められている（図-1、2参照）。本港のように外海に直面している港では、防波堤計画が未完成の段階では外海の波浪によって港の機能が阻害される機会が多いだけでなく、防波堤の施工自体が著しく制約される。このため、防波堤築造にあたっては入念な調査結果に基づいた波浪予測を導入して施工計画をたて、能率向上と災害防止をはかっているが、予測しにくい波浪によって被災することも、まれではない¹⁾。

春先に急激に発達する低気圧に伴う波浪はもっとも予測しにくいものの一つで、これによる被害は毎年跡を断



(昭和45年1月29日9時～同年1月31日15時)

図-1 低気圧経過図



(昭和45年1月現在)

図-2 小名浜港防波堤計画と被災ケーソン位置図

* 正会員 工博 運輸省第二港建小名浜港工事事務所長

たないのが実情である。本港においても、昭和45年1月31日未明に、いわゆる台湾坊主が、いわき市西方を通過した際に、本港の地理的条件、構造物の施工状態、船舶の漂流衝突などの諸条件と重なって、防波堤その他に多大な被害をこうむった。被害調査と設計条件の再検討ならびに復旧工事の実施結果によれば、正確な波浪予測はかなわぬまでも、施工計画によっては、被害の相当部分は防止できたものようである。本稿はこうした観点から、小名浜港防波堤の被災と復旧についてとりまとめ、参考資料として提出するものである。

1. 低気圧の発達状況と経路

低気圧は30日15時に四国沖に達したのち、早くも北上傾向を示し、20時頃発達しながら紀伊半島南部に上陸(21時の示度986mb)し、さらに、伊勢湾南部、遠州灘を経て31日2時頃、再び静岡県浜松付近に上陸して関東地方を縦断した。示度は北上に伴ってますます深まり、当港付近で970mbとなり、青森付近で962mbに達した。一方、日本海にあった低気圧も急速に発達し、31日3時頃佐渡付近に達し、31日9時には秋田付近で970mbとなり、ここで停滞発達して15時に964mbに達した。

低気圧が当港の西側を通過したため、右半円の強風域に終始さらされ、また、低気圧前面の強い高気圧により温度の南北対比が強まり、南南東の強風がかなり強く、この強風に伴って生じた風浪が急速に高まった。当港は前述のような地形と防波堤計画の進捗状況から南の方向に開放された形となっており、とくに強大な波浪が襲来する結果となった。図-1に低気圧の経路を示す。

2. 小名浜港の海象状況

小名浜港では第一西防波堤先端部沖側に波高桿を建て込み、これに直読式波高計と発信装置を取り付け、これからの発信電波を工事事務所で受信記録する方式で波高観測を実施していた。31日3時頃までは正常な記録が得られたが以後は雑音が入って記録の信頼性も低下し、5時頃波高桿が倒れ記録も中断した。したがって、波の

表-1 波高記録

日 時	項 目	有 義 波		最 大 波	
		$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (sec)	H_{max} (m)	T_{max} (sec)
30日	17.00時	2.1	8.5	3.4	7.3
	19.00	2.0	8.3	3.8	6.3
	21.00	4.7	7.7	6.1	9.7
31日	23.00	4.8	7.8	6.1	10.0
	1.00	4.7	7.8	7.2	10.2
	3.00	5.0	8.1	8.7	14.0

最盛時の正確な記録はないが、小名浜測候所の風の観測資料、隣接諸港の波高記録(鹿島港、東電大熊港、仙台新港)をもとにして推定すると、31日5時頃に最盛となり、 $H_{1/3}=5.5$ m、 $H_{max}=9.5$ m、 $T_{1/3}=8$ sec程度に達したものと思われる。表-1に波高記録を示す。

3. 防波堤築造工事の概要

小名浜港の主要外郭施設は図-2に示したように、三崎防波堤と同波除堤、第一および第二西防波堤、大剣防波堤をもって完了する計画となっている。このうち、第一西防波堤は計画延長3300mのうち2325mまでが完成断面となり、隣接した区間185mが上部工未施工の状態にあった。三崎防波堤については、計画延長510mのうち240mまでが完成断面で、次の140m区間が上部工未施工であった。三崎波防堤と第二西防波堤はいずれも昭和44年度に着工したもので、被災時にはそれぞれ45mと140mの区間が上部工を除いてほぼ完了の状態にあった。表-2に昭和44年度防波堤工事の概要を示す。

表-2 昭和44年度防波堤工事概要

工 種	施 設	三 崎 防 波 堤	三 崎 波 除 堤	第 一 西 防 波 堤	第 二 西 防 波 堤
		基礎捨石	延長(m) 捨石量(m ³)	50 4983	41 3876
被覆石	延長(m) 捨石量(m ³)	100 2600	31 2287	146 10866	170 16477
根固方塊	すえ付け(個)	80	11	220	177
函 塊	すえ付け(個)	5	3	11	14
	延長(m)	50	45	110	140
函塊中詰	容 積(m ³)	3210	2393	11143	15064
	上部コンクリート	延長(m) 容 積(m ³)	— —	— —	91 3227

4. 被災状況と復旧方法

今回の防波堤の被害は漂流した船舶が波に押し流されて防波堤に激突して生じたものと、波浪の直接的影響によるものとに大別できる。いずれの場合も、被災箇所の大部分は上部工未施工の区間にあった点に留意したい。これは、砂質地盤上の混成防波堤では基礎捨石の圧密やめり込み、砂の吸出しなどによって相当量の沈下の避けがたいところから、ケーソンのすえ付け後1~2年間上部工未施工の状態で放置して沈下の終了を待って完成断面とする方針が長い間踏襲されてきたことによる。船舶衝突による被害は偶発的なものであって、上部工の有無にかかわらず生じたと思われる。しかし、波浪の直接的な影響によるものについては、完成断面にしないまで

も、上部工を一部でも施工しておれば、ほとんど避け得たものと推定され、上述の長年の経験的施工方案のマイナスの面が現われたものといえよう。

(1) 船舶衝突による被害と復旧

これは小名浜港に入港のため、第一西防波堤沖に停泊中の汽船空光丸(11463総トン)が突風を伴う波浪で錨鎖切断して漂流し、第一西防波堤に激突して生じたものである。空光丸の遭難は近い将来海難審判によってその原因究明が行なわれることであろうが、15名の人命と船体を失っただけでなく、積荷の木材が港内を漂流して

停泊中の船舶や繫船施設に二次、三次災害を誘発した異常な事件であった。

最初の衝突箇所は先端部のF-9~7号函付近と推定され、続いて防波堤沿いに随所で接触衝突を繰り返しながら、C-24号函付近で座礁沈没したもののようである。結果として、F-9, 8, 7, 3, 2およびE-56号函の6函が側壁を大破して中詰が流失し、また、C-24号函は上部工が0.5m程度堤内側に滑動した。被災状況を図-3~4、写真-1に示す。

側壁の破損したケーソンは時間の経過とともに中詰の流出が続き、それに応じて破損部がさらに増破し、その

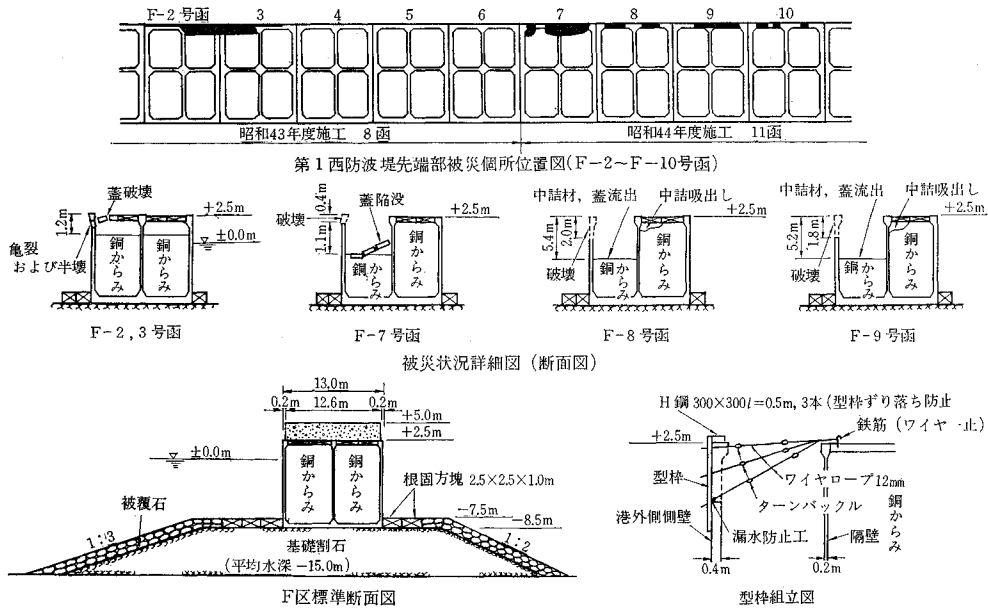
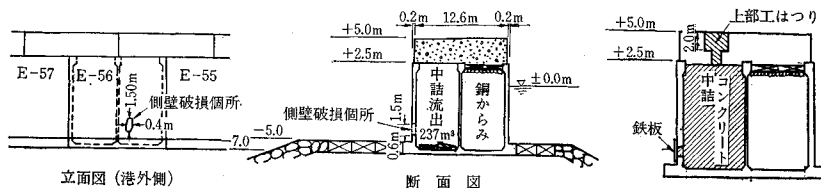
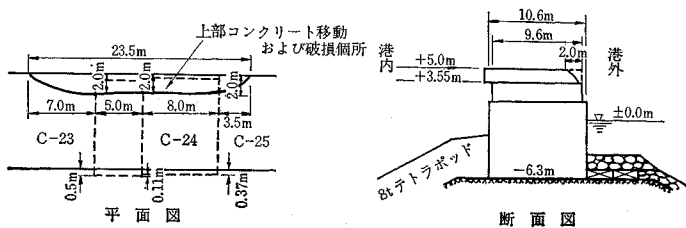


図-3 第一西防波堤 F 区被災状況と復旧方法



E-56号函の被災状況と復旧方法



C-24号函被災状況と復旧方法

図-4 第一西防波堤 C-24号函およびE-56号函の被災状況と復旧方法

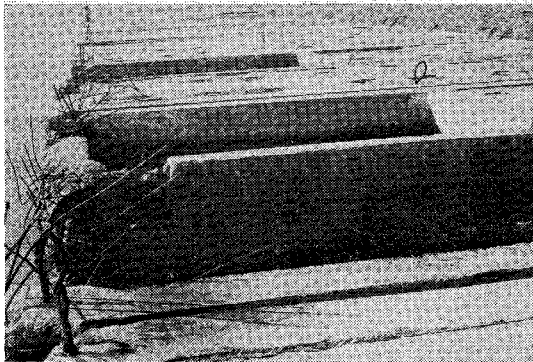


写真-1 衝突によるケーソンの被災状況

影響が隣接隔室にまで及ぶ気配を示したため、その復旧はとくに緊急を要した。破損箇所の付近には亀裂が縦横に走り、鉄筋の腐食による亀裂の増幅とかコンクリートのはく落が懸念されたので、側壁の破損したケーソンについては亀裂の及んでいる深さまで残留中詰を撤去し、かわりにコンクリートを充てんする方法で応急の復旧工事とした。F区のケーソンについては図-3の要領で型枠を建込み、隔室内をポンプ排水したのちコンクリートを打ち込んだが、E-56号函については排水不能であったので、上部コンクリートに削孔し、この孔を通してトレミーを用いてコンクリートを打ち込んで充てんした。

上部コンクリートのみが滑動したC-24号函については、欠損部に補強筋を差し込んでコンクリートを腹付けするにとどめた。

(2) 蓋の陥没したケーソンの復旧

波浪の直接的影響によるものとして、波に叩かれている間に、プレキャストコンクリート蓋の目地がゆるんで隙間ができ、ここから中詰材が流出して蓋が陥没したケーソンが相当数にのぼった。表-3にその被害状況を示す。

表-3 蓋の陥没したケーソン

項目 施設	被災函数	被災隔室数	蓋の沈下量 (cm)		中詰材の 流失量 (m ³)
			範囲	平均	
三崎防波堤	6	14	60~387	310	389
第一西防波堤	10	16	20~492	157	393
第二西防波堤	8	31	5~310	123	491

これらのケーソンについては、蓋の沈下量が30cm程度までの場合には、その上にコンクリートを打ち込んで充てんし、沈下量がさらに大きい場合には蓋を引揚げ、中詰銅からみを所定の高さまで補充し、引揚げた蓋を再びすえ付け、目地にモルタルを充てんすることによって復旧した。

(3) 側壁に亀裂の生じたケーソンの復旧

第二西防波堤A-12号函の場合は、中詰材が大量に流

失した結果、ほとんど全部の隔室の側壁と隔壁の隅角部に相当の亀裂が生じたので、コンクリートを充てんして復旧した。しかし、短時間に大量のコンクリートを打ち込むことにはかなりの制約があり、亀裂の生じた側壁を補強するとともに、打込み量を節約する方法を考えた。すなわち、鉄網を用いて円筒形のかごをつくり、これに帆布を張って被災した隔室内に沈設し、かご内には銅からみを充てんし、その外側と側壁の間にはコンクリートを打ち込んだ。

(4) 基礎捨石と被覆石の被害

被災時まで根固め方塊、被覆石および防災方塊の施工が完了していた第一西防波堤と三崎防波堤については基礎工の被害はなかったが、当時基礎工を施工中の第二西防波堤と三崎防波堤については、表-4のような被害が認められた。被害の状況は港内外で若干異なり、港外側では被覆石(1個あたり1000kg程度)の流失と、のり尻の洗掘が認められたのに対し、港内側では一部ののり面が洗掘され、その捨石が隣接のり面に堆積して防波堤背面で複雑な渦流があったことを示している。これらの洗掘箇所には、被覆石に相当する割石をもって充てんした。

表-4 防波堤基礎工の被害

施設	工種	基礎割石 (m ³)	被覆石 (m ³)	被覆ならし (m ²)	根固め方塊 すえ直し (個)
第二西防波堤		510	2774	2844	22
三崎防波堤		844	0	771	0

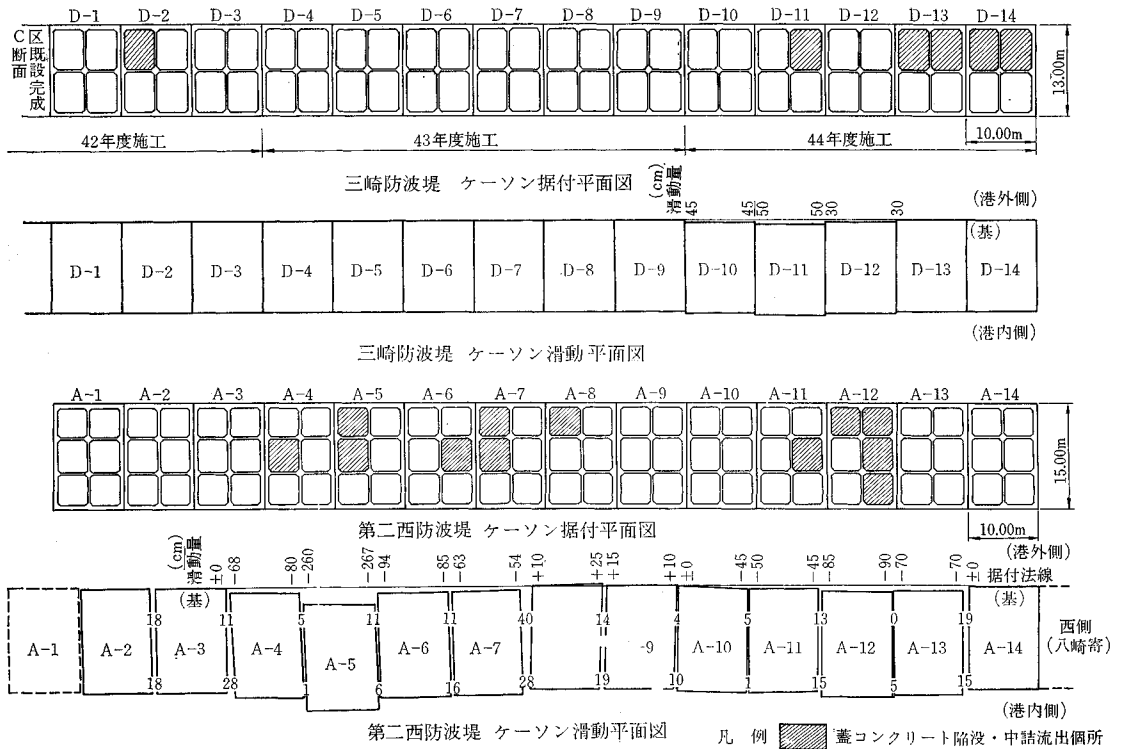
(5) 滑動したケーソンのすえ直し

今回の防波堤の被災は、船舶衝突によるものを除くと上部工が未施工であった区間に限られるが、とくにすえ付け後の経過時間の短い昭和44年度施工のケーソンの多くが滑動したことは注目に値する。図-5に第二西防波堤と三崎防波堤のケーソンの滑動状況を示す。第一西防波堤の先端11函も昭和44年度施工であったが、滑動しなかったのは、基礎捨石が前年度施工のもので十分に落ち着いた状態にあったことと、波の方向が防波堤法線にそっていたことによるものであろう。

これらの滑動したケーソンのうち、第二西防波堤のA-5号函と三崎防波堤のD-11, 12号函については、凹部を形成して波が集中する傾向が顕著であり、その後の小規模な低気圧(3月16日)の通過に際しても、わずかながら再び滑動したので、昭和44年度に中詰を撤去して浮上させたのち、正規の位置にすえ直した。

5. 設計波の発生確率的検討

図-6は、昭和34~36年の波浪観測結果から未超過



(A-1 号函は、昭和 44 年 10 月 8 日、汽船北栄丸の衝突によりすでに大破し、今回の低気圧により海面下に没した)

図-5 三崎防波堤、第二西防波堤ケーソン滑動状況

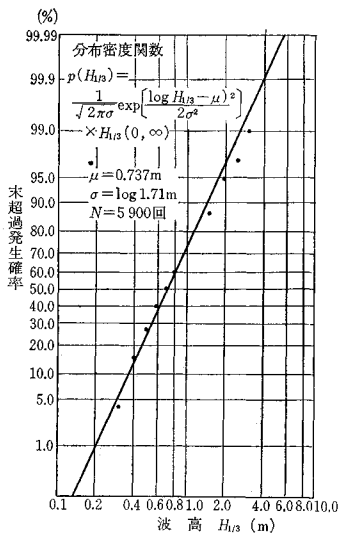


図-6 有義波未超過発生確率

発生確率が対数正規分布するものと仮定して Thomas プロットしたものである²⁾。これによれば、設計波高 6.1 m に対する未超過発生確率は 99.99% 以上で、逆に超過発生確率は 0.01% 以下となる。かりに超過発生確率を 0.01% とすると観測は 12 回/日であるから、継続時間を 10 時間程度とすると、約 11.5 年に 1 日発生

することになる。この計算に用いた記録は 2 年間の観測資料に基づいており、この間の観測最大値は 3.0 m であった。したがって、さらに長期間の観測記録を用いて推定すれば、超過発生確率は、かなり低下すると考えてよいであろう。

そこで、小名浜港と同様に外海に面し、類似した海象条件をもつ鹿島港¹⁾の設計波高を例示すると $H_{1/3}=6.0$ m であり、その再現期間は約 55 年とされている³⁾。これは、対象とすべき設計波が台風によるものである点から、1926~1963 年の 38 年間の波を台風の資料から推算し、 $H_{1/3}=3.0$ m 以上の波について超過発生確率を求め、その再現期間をもとにし 設計波高として上記の値を定めたものである。

小名浜港における従来の波高観測記録、両港の海象条件の類似性などを考慮すれば、小名浜港における有義波 $H_{1/3}=6$ m の再現期間を 30~50 年と考えても大きな誤りをおかす危険は少ない。したがって、現行の設計波 $H_{1/3}=6.1$ m は、とくに変更する必要はないと判断してよいであろう。

6. 設計条件の検討

小名浜港の防波堤建設はすでに 40 年以上の歴史をも

つが、この間ケーソン滑動の記録は皆無に等しい。したがって、今回三崎防波堤と第二西防波堤のケーソンが多数滑動し、とくに第二西防波堤の場合は、ほとんど全箇滑動したことは、きわめて大きな衝撃であった。そこで、被災原因を追及し、今後の施工方針をたてるため、設計条件を再検討した。

(1) 設計波と安定計算結果

設計波は沖波 ($H_0=6.0\text{ m}$, $T_0=14.0\text{ sec}$, 波向 N 180°) に対して屈折と浅水度の影響を考慮して定めたもので、 $H=6.1\text{ m}$, $T=14.0\text{ sec}$, 入射角 $\beta=0^\circ$, H.W.L. $=+1.4\text{ m}$, L.W.L. $=+0.1\text{ m}$ である。

安定計算はこの波を対象として、砕波が生ずるものとして広井公式を適用して波圧強度を計算し、この波圧強度が静水面上 $1.25H$ または堤頂のいずれか低いほうの高さ以下に一樣に作用するものと仮定して波圧を求め、これに対する滑動抵抗の比を計算することによって行なう。表-5 はその計算結果であって、安全率はいずれも 1 以上であり、計算上は一応満足すべきものといえる。

表-5 設計波高に対する滑動安全率と期待滑動量

項目	滑動安全率		期待滑動量 (m)	
	第二西防波堤	三崎防波堤	第二西防波堤	三崎防波堤
上部工未施工時	1.167	1.03	0.60	0.40
上部工 1m 施工時	1.168	1.04	0.16	0
完成 (上部工 2.5m) 時	1.169	1.05	0.03	0

(2) 期待滑動量の検討

上述のように、在来の設計法による安定計算結果では $S.F. > 1$ であって、実際の現象とは矛盾した値を示している。実際の現象は不規則波によって生ずるもので、かりにこの値が 1 以下の場合でも波高や波の継続時間によって滑動量も異なることが経験されている。このような現象について伊藤ら⁴⁾ は次のような期待滑動量なる概念を導入して説明を試みている。すなわち、不規則波の作用を受ける堤体は波高がある限界を越えると滑動を開始するが、個々の波による滑動距離は波力によって異なり、波力が大きければ 1 回の滑動距離も長い、その出現頻度は小さい。一方、滑動限界波高付近の波による滑動距離は短い、その出現頻度は大きい。滑動限界波高を越える波が、ある一定時間継続するものとして、その間における堤体の滑動量は上述のような個々の波による滑動距離の合計であり、個々の波高の出現頻度がわかれば総滑動量を求めることができる。伊藤らは、こうした考えに基づいて、この出現頻度が Rayleigh 分布に従うものとして総滑動量を求める式を導き、これを期待滑動量と定義したのである。そこで、今回のケーソンの滑動について、この期待滑動量を検討すると以下のとおりで

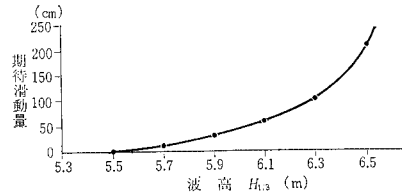


図-7 第二西防波堤上部工未施工時の期待滑動量

ある。

波の継続時間を 30 日 22 時から 31 日 6 時までの 8 時間とし、潮位 $+1.4\text{ m}$, $T=8.0\text{ sec}$ として第二西防波堤の上部工未施工時について検討した結果は、図-7 のとおりである。第二西防波堤の平均滑動量は 0.55 m であるから、本図をもとにして来襲波高を推定すると、設計波高に相当する $H=6.1\text{ m}$ が得られる。また、滑動の顕著な 5 および 12 号函については、後述の回折の影響も大きいところから、これを除いた平均滑動量は 0.33 m であり、これに対する波高は 5.9 m となって、実際の来襲波高とほぼ一致する。

次に、設計波高 6.1 m に対して、各施工状態ごとの期待滑動量を求めると表-5 に示したとおりであって、上部工が未施工の状態では滑動量は相当の値になるが、 1 m でも上部コンクリートを打設すれば著しく減少し、完成断面にすれば実用上無視しうる値となる。以上の計算では、設計波高に相当する波が 8 時間継続することを想定したものであるが、このように長時間継続することはきわめて異常な状態であって、上部工未施工の状態でも長期間放置することがなければ、滑動の危険はほとんどないといってよいであろう。

(3) 滑動の不均一性の検討

図-5 に示したように、ケーソンの滑動は不均一であって、とくに A-5 号函とか D-11 号函のように滑動量が著しく大きい箇所が認められる。このような直線状混成堤の滑動に関して、その滑動量が不均一な現象を半無限堤のまわりの回折現象から説明することが J. Darras によって行なわれ、伊藤はこれを再計算し、実際の現象に一致するように修正係数を提案している⁴⁾。そこで、この伊藤の値を用いて今回の第二西防波堤の滑動の場合を検討すると次のようである。

$$T=8.0\text{ sec}$$

$$h=17.4\text{ m (水深 } -16.0\text{ m, 水位 } +1.4\text{ m)}$$

これより、

$$L=85.4\text{ m}$$

$$0.38L=32.4\text{ m}$$

$$1.38L=117.8\text{ m}$$

すなわち、堤端から 32 m および 118 m 付近の波あたりがもっとも強いことになり、これは A-5 号函および

A-13号函付近に相当し、実際の現象とほぼ一致する。三崎防波堤の滑動ケーソンについても同様のことがいえる。この付近のケーソンがとくに大きく滑動したのは回折波の影響がかなり大きいと判断してよい。こうした凹所では、波高が局部的に増大することも考えられる。そこで、上部工未施工時の滑動限界波高 ($H_{1/3}=5.5\text{ m}$) に対するその影響を検討すると、次のようである。すなわち、波高が20%だけ増大するものとすれば、ケーソンは $1.2H=6.6\text{ m}$ 相当の波を受けることになり、滑動量は図-6から2.5mとなつて、実際の滑動量とほぼ一致する。逆に、この箇所では $H_{1/3}=5.5\div 1.2=4.6\text{ m}$ の波でも滑動が生じることになり、その後の3月16日の低気圧通過の際の波(推定波高 $H_{1/3}=4\text{ m}$ 程度)によって若干滑動したことが理解できる。

7. あとがき

5, 6の各章で検討したところから、現在の設計条件はほぼ妥当なものであり、設計波高に対して十分な滑動安全率がある場合でも、継続時間が長時間にわたるときには施工状態によっては、ある程度の滑動は避けられないことが判明した。とくに上部工を未施工状態にしておくことは、単に滑動の点で危険なだけでなく、跳波によつ

て蓋コンクリートが叩かれてゆるみ、中詰材が流出しケーソンが破損する可能性も大きい。

小名浜港では、従来、中詰終了後少なくとも1年程度は上部工未施工で放置し、基礎捨石の沈下を待って上部工を施工して完成断面とする施工方針が踏襲されてきた。しかし、今回の被災経験はこの方針がかなり危険であつて、早期に完成断面とすることが防災上非常に効果的なことが改めて認識された。また、滑動量に関して伊藤の提案する方法によって検討した結果、実際の値ときわめてよい一致を示し、設計の時点でこの種の検討が必要で、かつ有益なことを示唆している。

なお、設計条件などの検討については、運輸省第二港湾建設局横浜調査設計事務所の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 西田俊策・赤塚雄三・和智昭市：“外海におけるケーソン防波堤施工方法の研究”土木学会論文報告集，第171号，1969年11月，p. 43~63.
- 2) 運輸省横浜調査設計事務所・福島県：小名浜港遮蔽実験報告書，1966年3月.
- 3) 運輸省第二港湾建設局・港湾技術研究所・茨城県：鹿島工業港の自然条件について(総取纏め編)，1966年6月.
- 4) 伊藤喜行・藤島 睦・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11号，1966年6月.

(1970.10.26 受付)

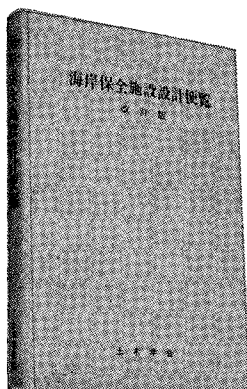
海岸保全施設設計便覧

土木学会海岸保全施設設計便覧改訂小委員会編

改訂版

昭和32年以来、丸12年ぶりに全面改訂された決定版、36名におよぶ執筆者が、それぞれ得意な分野を手分けして執筆。とくに現場に直接役立つよう設計施工面に重点をおいて記述した。

B5・304 ページ 2300円 (税別 2000円・千100円)



〈主要目次〉 第1章 海岸における水理現象 1. 概論 2. 波の概説 3. 深海波 4. 浅海波 5. 波力 6. 潮位 7. 津波 8. 流れ 9. 漂砂 10. 飛砂
 第2章 海岸調査 1. 気象観測 2. 波の観測 3. 漂砂の調査 4. 土質調査 5. 流れの観測
 第3章 1. 概論 2. 材料 3. 消波工 4. 堤防と護岸 5. 突堤と離岸堤 6. 導流堤 7. 養浜 8. 防潮水門 9. 特殊海岸工事
 付表・索引

東京都新宿区四谷1丁目
 電話 03-351-4131番

発行：社団法人 土木学会
 振替(東京) 16828番