

ち、より経済的に、より安定性の高いように設計施工するために、東京大学教授 本間 仁博士の助言を受けて、海岸工学的な見地から種々検討を加えつつ実施している。以下その概要について述べる。

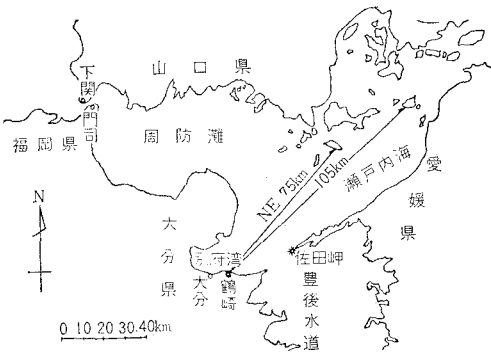
2. 自然条件

(1) 地 勢

別府湾は国東半島および佐賀関半島によって形成され、ほぼ東方に湾口が開けて四国と相対し、湾内は一般に急深である。別府湾の南岸に位置する大分臨海工業地帯は大野川および大分川の河口にあって広く砂洲が発達し、砂洲の前縁は急深で1/15~1/25の海底勾配を有し、水深が20mをこえている。

国東半島から佐賀関半島にかけての湾周辺は、標高300~1500mの山で囲まれN~W~S方向の風をさえぎっているが、埋立造成地先海岸にはNNE~NE~ENE方向の風に対してなんらしゃへいするものがなく、対岸距離の最大は105kmにおよんでいる(図-2)。

図-2 平 面 図



(2) 気 象

風の資料は大分气象台と佐田岬灯台の記録を採用した。図-3、図-4は風速10m/sec以上の強風の月別ならびに方向別発生頻度を示したものである。

つぎに大分地区に来襲した既往の台風について見ると表-1に示すとおりで、これから風向別頻度を調べると表-2のようになる。

さらにN~WとN~E方向の台風について調べると図-5のようになる。

これらの資料から、佐田岬の風速は大分よりはるかに大きいこと、大分ではN~W方向の風速はN~E方向

図-3 10 m/sec 以上の月別頻度 (昭和 26~35 年)

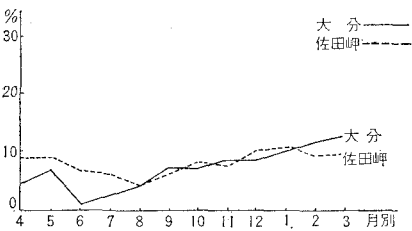


図-4 10 m/sec 以上の方向別頻度 (昭和 26~35 年)

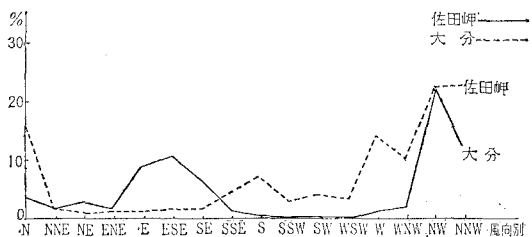


表-1 鶴崎地区に影響のあった台風 (昭和 16~34 年)

発 生 年 月 日	台 風 の 番 号 お よ び 名 称	大 分			佐 田 岬		
		最 大 風 速 (m/sec)	風 向	最 低 気 圧 (mb)	最 大 風 速 (m/sec)	風 向	最 低 気 圧 (mb)
昭和16.10.1	4125	16.0	NE	972.9	34.0	ESE	
17. 8.27	4210	18.2	SSE	978.2	50.9	SE	
18. 7.24	4309	5.5	NNE	999.9	19.9	NNW	
18. 9.20	4315	19.0	NW	987.0	44.4	NW	
19. 9.17	4416	17.3	W	976.0	50.0	NW	
20. 9.17	4510	25.0	WNW	947.8	58.8	ESE	
20.10.10	4513	11.0	SSE	985.6	15.0	SE	
24. 6.21	4902	21.4	SE	980.0	47.5	SE	
24. 8.15	4908	18.7	E	992.4	43.1	ESE	
25. 7.20	5008	17.1	SSE	995.0	37.5	ESE	
25. 8.13	5017	18.0	NE	993.1	28.9	E	
25. 9.13	5029 キジア台風	19.2	SE	981.2	47.7	SE	
26. 7. 1	5106	12.9	NW	996.6	28.6	NNW	
26.10.14	5115 ルース台風	21.4	SE	957.1	67.1	SE	943.1
29. 8.17	5405 台風 14 号	17.9	E	972.4	21.7	ESE	973.6
29. 9.13	5412	33.9	ESE	964.7	40.2	ESE	966.8
30. 9.30	5522 台風 22 号	22.5	ESE	977.6	54.3	ESE	985.7
32. 8.19	5707	17.3	ESE	980.0	29.2	ESE	994.4
32. 9. 7	5710	19.9	NE	985.7	25.2	NNW	987.4
34. 8. 8	5906	16.1	NE	977.8	25.0	N	977.3

表-2 台風の風向別頻度 (昭和 16~34 年)

観測地点・頻度 風 向	大 分		佐 田 岬	
	回 数	頻 度	回 数	頻 度
N~W範囲 (NW 含む)	4	20.0	6	30.0
N~E " (E含む)	7	35.0	1	5.0
S~E " (S含む)	9	45.0	13	65.0
S~W "	0	0	0	0.0
合 計	20	100.0	0	100.0

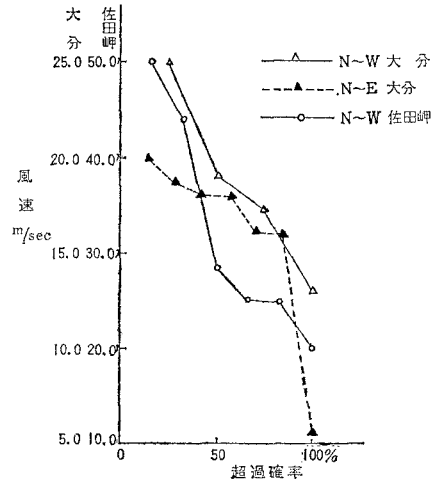
より大きいこと、佐田岬では N~E 方向の風はほとんど無いことがわかる。

以上のことから台風時大分地区の海岸に最も大きな影響を与える波浪は N~W と N~E 方向の風によって起こされるものであるが、N~W 方向は N~E 方向にくらべて対岸距離がきわめて短い。したがって当地区の波浪を発生する風の主方向は N~E であるといえる。

(3) 波 浪

台風時大分地区の海岸に最も大きな影響を与えるのは N~E 方向より来襲する波浪である。大分気象台の N~E 方向の風について昭和 30 年から 34 年までの 5 カ年について調べると、32 年 9 月 6~7 日に来襲したもの(台風番号 5710)が最も大きく、その観測資料は表-3 に示すとおりである。

図-5 台風の風向別風速頻度 (N~W, N~E のみ) (昭和 16~34 年)



この表から本地区に來襲する波浪を S.M.B. 法で推算すると表-4 のようになる。

この表から設計沖波を波向 NE、波高 2.8 m、周期 7 sec とした。この値から図-6 の屈折図により屈折係数を求め、相当沖波高を算出して設計波とすれば表-5 の

表-3 気圧風向風速記録表 (大分気象台)

昭和 32 年 9 月 6 日					昭和 32 年 9 月 7 日				
時	現地気圧 (mb)	海面気圧 (mb)	風 向	風 速 (m/sec)	時	現地気圧 (mb)	海面気圧 (mb)	風 向	風 速 (m/sec)
1					1	989.7	990.4	NE	17.7
2					2	987.4	988.0	NE	19.9
3	1002.4	1003.0	SSE	0.9	3	986.9	987.5	NE	18.0
4	1001.8	1002.5	—	0.0	4	986.2	986.9	ENE	14.9
5	1001.6	1002.2	—	0.0	5	985.6	986.2	NE	15.8
6	1001.6	1002.2	SE	0.9	6	985.8	986.5	NNE	16.0
7	1001.6	1002.2	E	1.7	7	986.9	987.5	NNE	15.0
8	1001.7	1002.4	ESE	1.1	8	988.6	989.3	NNE	13.9
9	1001.4	1002.1	ESE	3.8	9	990.9	991.5	NW	9.3
10	1001.3	1002.0	E	6.1	10	992.7	993.4	NW	9.8
11	1000.7	1001.4	ESE	5.9	11	994.4	995.0	NW	10.0
12	1000.2	1000.8	E	6.1	12	995.8	996.4	NW	9.4
13	999.3	999.9	E	5.0	13	997.1	997.8	NW	4.6
14	998.1	999.7	E	7.6	14	997.8	998.5	NW	8.2
15	997.3	998.0	E	5.2	15	999.3	999.9	NW	8.7
16	997.0	997.7	ENE	8.4	16	1000.8	1001.6	WNW	4.2
17	996.0	996.7	ENE	9.8	17	1002.2	1002.9	NW	7.6
18	996.0	996.7	ENE	7.8	18	1003.5	1004.2	WNW	5.0
19	995.5	996.2	ENE	6.9	19				
20	995.5	996.2	ENE	10.8	20				
21	994.2	994.9	WE	13.7	21	1007.5	1008.2	NW	6.5
22	993.3	994.0	NE	14.2	22				
23	992.3	993.0	NE	14.0	23				
24	991.1	991.8	NE	16.5	24	1009.6	1010.6	NW	4.6

表-4 大分気象台の記録による

日 時	風 向	平均風速 (m/sec)	継続時間 (hr)	対岸距離 (km)	周 期 (sec)	波 高 (m)	摘 要
昭 32. 9. 7	NE	15	11	75	6.8	2.8	4.0 m, 8.5 sec ㊟ 2.8 m, 6.8 sec ㊥

(注) ㊟: 吹送時間より定めた場合 ㊥: 吹送距離より定めた場合

図-6 NE 波 屈折 図
(周期 = 7 秒)

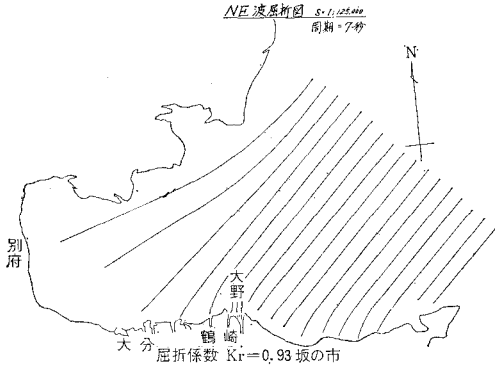


表-5 設 計 波

沖 波		設 計 波		周 期
波 向	波 高 H_0	波 向	波 高 H_0	
NE	2.8 m	NNE	2.5 m	7 sec

ようになる。

(4) 潮 位

大分港における潮位はつぎのとおりである。

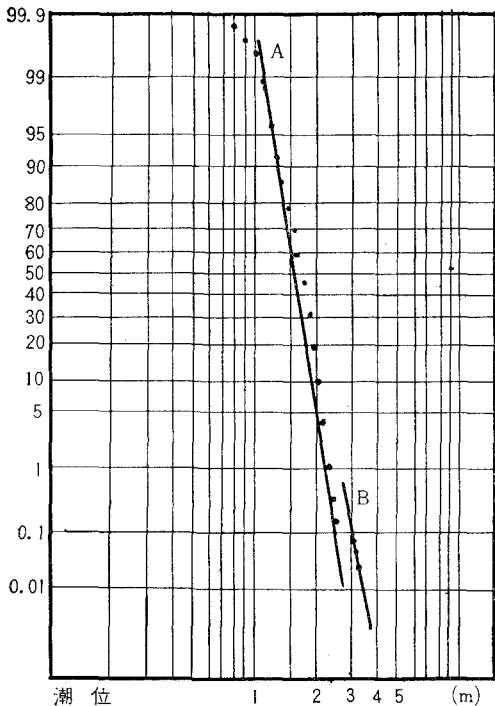
朔望平均満潮位 (H.W.L.) +2.0 m (D.L. 上)

平 均 潮 位 (M.W.L.) +1.1 m (")

朔望平均干潮位 (L.W.L.) +0.5 m (")

昭和 30 年から 35 年までの日潮位より、日高潮位の

図-7 最高潮位発生確率図



出現頻度を求めると 図-7 のとおりとなる。これによ
るとA線、B線のような全く異なった超過確率線が引け
るようである。

A線は天体潮による潮位の影響がほとんどであると思
えられ、一方B線は異常潮位によるものであると考えら
れるので、この確率線Bによって異常潮位発生確率を計
算すると表-6 のようになる。

表-6 異常高潮位発生確率

異 常 高 潮 位	発 生 確 率
+3.10 m (海図基準面)	1/3.5 年
+3.20 (")	1/5.5 年
+3.30 (")	1/11 年
+3.40 (")	1/18 年

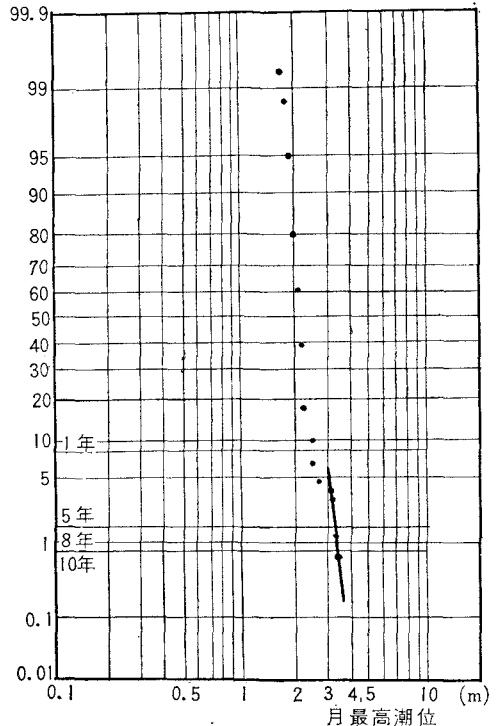
また既往の潮位記録から月最高潮位出現頻度 (昭和 18
年~34 年) を調べてみると図-8 に示すようになる。こ
の場合も前述の確率図と同様にA線、B線のような 2 本
の超過確率線が引けるようである。このB線から異常潮
位の発生確率を求めると表-7 のようになる。

以上より設計潮位を発生確率 11 年~18 年の +3.4 m
(D.L. 上) とした。

表-7 異常高潮位発生確率

異 常 高 潮 位	発 生 確 率
+3.10 m (海図基準面)	1/2.1 年
+3.20 (")	1/4.1 年
+3.30 (")	1/6.5 年
+3.40 (")	1/11.1 年
+3.70 (")	1/100 年

図-8 異常潮位出現確率図



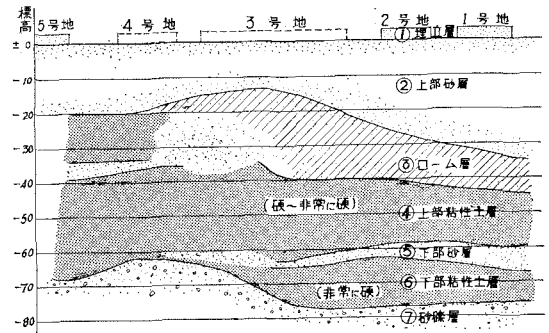
(5) 地 質

当埋立地域の地質は図-9に示すとおり、シルト分の少ない砂礫層で構成されており、しゅんせつ埋立がきわめて容易で、かつ N -値もほとんど 30 をこえ、一部の超重量構造物をのぞき大部分の構造物基礎は上部砂層で支持できるきわめて良好な地盤である。

(6) 漂砂および沿岸潮流

本地域は大野川(計画洪水量 $7500 \text{ m}^3/\text{sec}$) および大分川(計画洪水量 $3700 \text{ m}^3/\text{sec}$) の二大河川の河口に位置しており、特に大野川はかなりの土砂を流下しているが、さきにも述べたとおり埋立地前面が急に深くなり水

図-9 地質概要図



土 層 名	標 準	N 値	砂	粒 土
① 埋 立 層	+3.5m から 0〜4m まで	4〜8	緩	—
② 上 部 砂 層	± 0〜4m " -10〜-30m "	$\begin{cases} 10\sim20 \\ >30 \end{cases}$	中 密 間	—
③ ロ ー ム 層	-10〜-30m " -15〜-40m "	10〜30	中 間	—
④ 上 部 粘 性 土 層	-15〜-40m " -30〜-60m "	10〜20	—	硬〜非常に硬
⑤ 下 部 砂 層	-30〜-60m " -40〜-70m "	>40	密〜非常に密	—
⑥ 下 部 粘 性 土 層	-40〜-70m " -60〜-80m "	20〜30	—	非 常 に 硬
⑦ 砂 礫 層	-60〜-80m 以上	>50	非 常 に 密	—

深 -20m をこえているので、漂砂現象はほとんど見られない。

また沿岸潮流は最大 0.5 ノット程度である。

3. 埋立地の消波護岸の設計

(1) 消波護岸の天端高と断面の決定

当埋立地の前面護岸はN方向で、沖波 NE 波が約 45 度の角度で入射し、いわゆる沿い波が走る現象を起こす。したがって直立堤の護岸では前面に三角波が立ち断続的な越波となることが考えられる。

直立型式の護岸にした場合その天端高は

$$3.4 \text{ m (設計潮位)} + 2.5 \text{ m (設計波高)} \\ \times 1.25 \text{ (衝突波高係数)} = 6.52 \text{ m} \dots\dots\dots (1)$$

となる。

これに対して護岸の前面をテトラポッドのような、斜面で粗度の大きい、かつ消波効果の大きいブロックで保護する構造にした場合その天端高は

$$3.4 \text{ m (設計潮位)} + 2.5 \text{ m (設計波高)} \\ \times 0.7 \text{ (衝突波高係数)} = 5.15 \text{ m} \dots\dots\dots (2)$$

となる。

つぎに海岸構造物の安定性で一番問題になるのは、のり先の洗掘である。すなわちのり先が洗掘されることによって構造物背後の土砂が吸い出されたり、構造物自体が倒壊したりして、破壊の原因となる。

以上のことから、護岸の根固めと護岸前面の被覆にブロックを用いる構造とし、軽量で安定性が高く、かつ消

図-10 1号地 前面護岸標準断面図

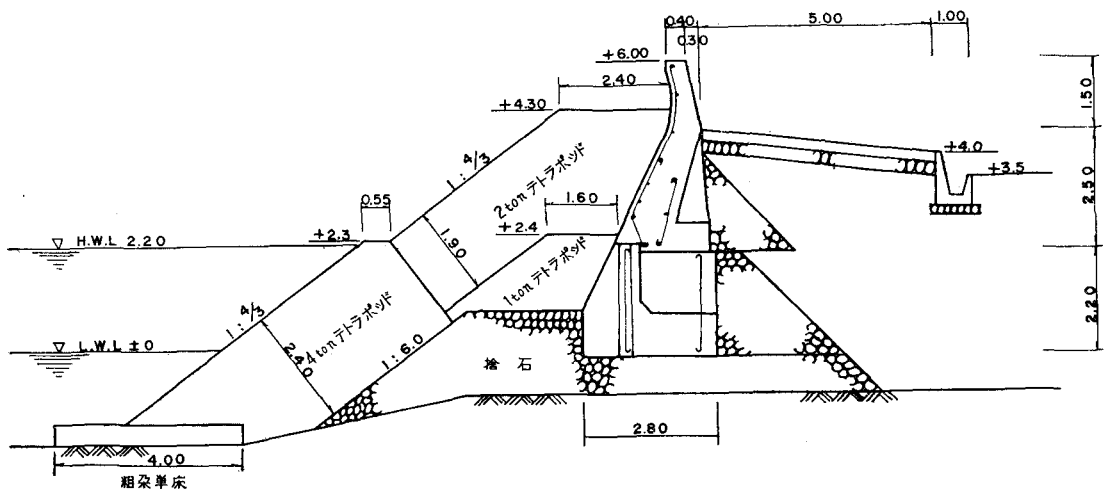
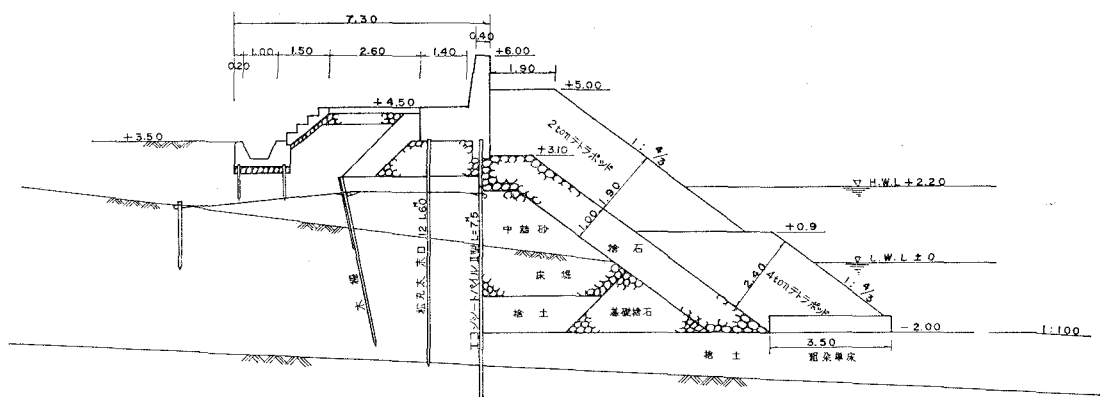


図-11 2号地前面護岸標準断面図

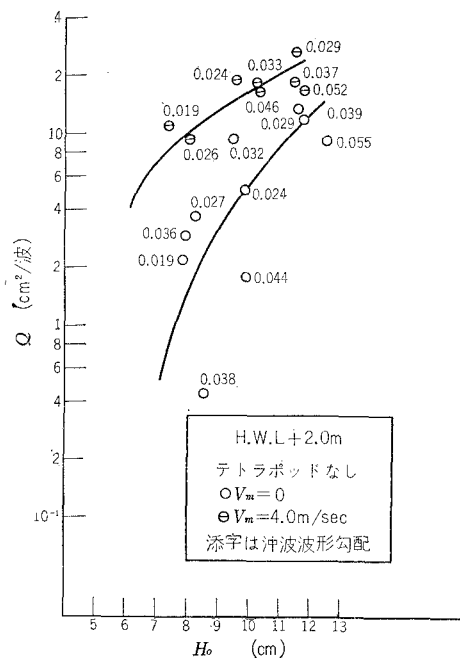


波効果の大きいテトラポッドを使用することにした。したがって護岸の天端高も式(2)によって算出した5.15mに余裕高0.85mを加えて+6.0m(D.L.上)とした。

この基本的堤体構造について、波圧、土圧、地質、施工の難易、工費およびその他の設計条件を検討して図-10(1号地護岸)、図-11(2号地および5号地護岸)に示すような断面を決定した。

1号地護岸(図-10)は工期の都合もあってこのような構造としたが、特に台風時基礎捨石の空げきから埋立土砂が前面海中に吸い出されエプロンの下部に空洞が生じてエプロンが破壊するおそれがあるので、2号地および5号地では図-11に示すような止水矢板壁工法を採った。なお図-10の1tテトラポッドは冬期季節風時において海中からの捨石作業が困難であったので、捨石の代りにもっとも小さいテトラポッドを陸上から施工したものである。またテトラポッドの大きさは波高など設計条件から算定して2tとしたが、基礎の安定性を考慮して基部には4tを採用した。

図-12 テトラポッドのない場合の越波量と相当沖波高との関係



4. 水理模型実験による検討結果

この護岸構造について、東京大学工学部土木工学科港湾研究室(本間 仁教授、堀川清司助教授)に依頼して水理模型実験により海岸工学的見地より検討を願った。

(1) 越波量

a) H.W.L. (D.L.上+2.0m) の場合

① テトラポッドの無い場合の越波量(護岸の天端高はD.L.上+6.0mに設計施工したが、沈下を考慮して、実験では+5.5mを用いた): 図-12は根固捨石のみの場合の越波量と波高の関係を示したものである。 $V_m=4.0$ m/sec (実速 20.0 m/sec) の風を加えた場合には、風のない場合に比較してかなり越波量が増大し、最大越波量は $Q_{\max}=27$ cm³/cm/波 にもおよび、これは現地に変換すると $\bar{Q}_{\max}=1.69$ m³/m/波 となる。

② テトラポッドのある場合の越波量(同上): 図-13

は消波工としてテトラポッドをD.L.上+4.5mの高さまでおいた場合(設計高)の越波量と相当沖波高との関係を示したものである。風のない場合も、風のある場合もともに越波量はテトラポッドの無い場合に比較して1/10以下に減少し、その越波量は 1×10^{-1} cm³/cm/波から1 cm³/cm/波程度である。特に風のある場合の越波量の減少はいちじるしい。 $V_m=4.0$ m/secの風を加えた場合の最大越波量は $Q_{\max}=1.1$ cm³/cm/波となり、これはテトラポッドの無い場合に比較すると1/20~1/25である。

b) Max. W.L. (D.L.上+3.4m) の場合

① テトラポッドの無い場合の越波量(同上): この場合は図-12のH.W.L.+2.0mの場合に比較して越波量は2~5倍に増加している。特に風のない場合の増

図-13 テトラポッドのある場合の越波量と相当沖波波高との関係

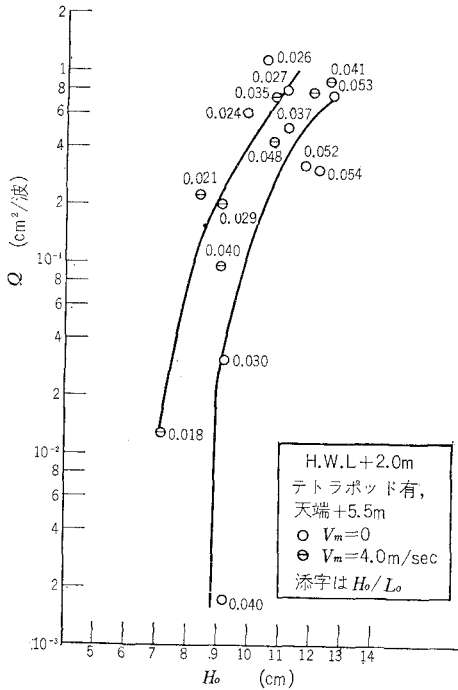
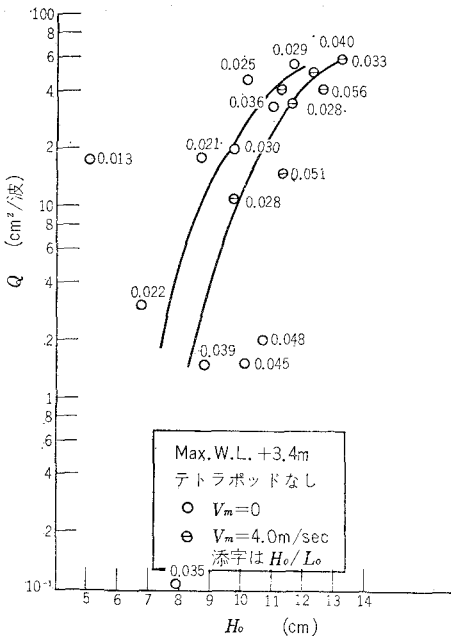


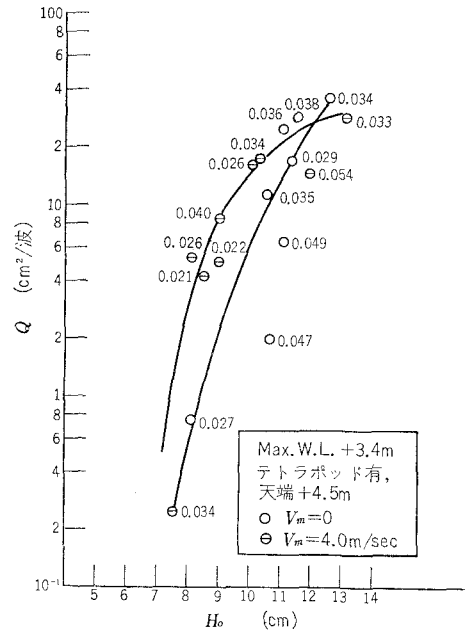
図-14 テトラポッドのない場合の越波量と相当沖波波高との関係



加量がいちじるしく、風のある場合とない場合とでは越波量はほとんど変わらない。これは護岸天端高 +5.5m に対して潮位が +3.4m になるとほとんど越流の状態 で越波するため、風の影響はあまり入らないためと考えられる(図-14)。

② テトラポッドのある場合の越波量(同上): この

図-15 テトラポッドのある場合の越波量と相当沖波波高との関係



場合は波高の増大による越波量の増加はいちじるしく、とくに風のある場合は明瞭である。H.W.L.+2.0m の場合と比較すると最大越波量は約 30 倍にもなっている。波高が大きい場合には越波は越流の状態 で越波するため風の影響は明瞭でない。この条件下で最大越波量 $Q_{max}=2.1 \text{ m}^3/\text{m}/\text{波}$ となる(図-15)。

(2) 越波量の無次元表示について

越波量の無次元表示は沖波の 1 周期当りの岸側への水の移動量に対する堤防の越し波量の比をもって表示されている。

堤防単位長の 1 周期当りの越し波量 Q は次式のように無次元表示することができる。

$$Q/Q_0 = 2\pi Q/H_0 L_0$$

Q : 単位幅、1 波当りの越波量

$$Q_0: H_0 L_0 / 2\pi$$

H_0 : 沖波の波高

L_0 : 沖波の波長

(3) 実験結果

a) 安定性 図-10 および図-11 の 1 号地および

2.5 号地護岸のテトラポッド(天端高+4.5m)は、設計潮位 +3.4m の場合に、波高 2.5m、周期 7sec の波浪条件では十分安定である。波高 3.0m では若干天端付近の 2t テトラポッドが前後に動く。これは波高 3.0m ぐらいになるとテトラポット堤の天端高が十分でないため波が天端を越えるためであると考えられる(Max.W.L.+3.4m で沖波波高 $H_0=3.0 \text{ m}$ とすると天端高 +4.5m は水面上 $0.36 H_0$)。

テトラポッドの天端高を +5.5 m にかき上げた場合には、Max. W.L.+3.4 m、波高 3.0 m でも十分安定であると判断される。

b) 越波量と天端高 実験観察その他から判断して、しぶきが堤内に飛び込む程度、または、わずかに越流する状態を越波の許容限界とすれば、その時の越波量を無次元表示するとわれわれが現在対象としている波の条件下では、 $Q/Q_0 \approx 1 \times 10^{-3}$ から 1×10^{-4} のオーダーであるといえる。

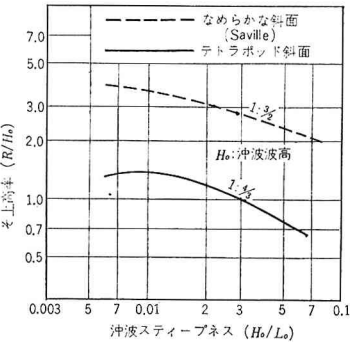
越波の許容限界を上記のようにとれば必要な天端高は表一8 のようになる。

表一8

	h_c/H_0	潮位 +3.4 m
テトラポッド無し	1.6~1.8	+7.4~7.9 m
テトラの天端高 4.5 m	1.2~1.4	+6.4~6.9 m
テトラの天端高 5.5 m	1.1~1.2	+6.0~6.4 m

h_c : 静水面上の天端高

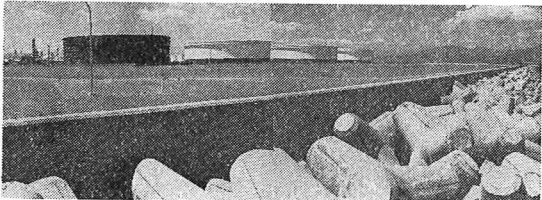
図一16 テトラポッド斜面への波のそ上高



写真一1 1号地前面消護岸およびテトラポッド



写真一2

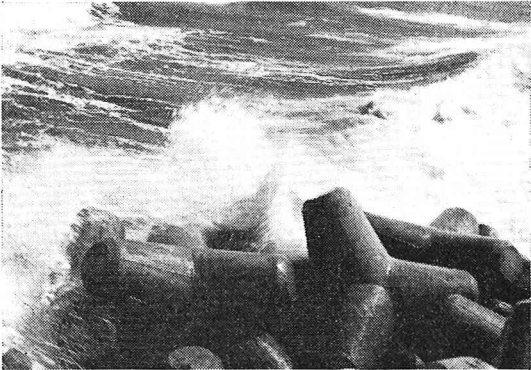


護岸天端高 +5.5 m、テトラポッドの天端高 +4.5 m の場合に、波高 2.5 m、潮位 +3.4 m では Q/Q_0 は 3×10^{-2} のオーダーである。また護岸天端高 +6.0 m、テトラポッドの天端高 +5.5 m の場合に、波高 2.5 m、潮位 +3.4 m では Q/Q_0 は 1×10^{-3} のオーダーである。

c) その他 パラペットの波返しは、風のない場合にはかなり効果があるが、風のある場合にはほとんど効果がない。

波のそ上高 R はテトラポッド堤がある場合、その天端高が十分あれば、 $R/H_0 \div 1$ に減少する (図一16)。

写真一3 テトラポッドによる消波状況 (昭和 38 年 8 月台風 9 号)



5. む す び

以上大分臨海工業地帯における埋立地の消波護岸の設計についてその概要を述べた。しかし設計にもっとも重要な気象、海象条件とくに設計潮位、設計波高の算出根拠は必ずしも十分であるといえない。

潮位については継続して観測をつづけており、また波浪についてはケーブル式波高計 2 台を設置して観測を行っている。なお昭和 38 年 8 月に来襲した台風 9 号による波浪実測値が得られたので、この資料を解析しつつ設計波の検討を行なっている。

また越波量の実験結果では、設計潮位 +3.4 m、設計波高 2.5 m、護岸天端高 +6.0 m、テトラポッド天端高 +5.5 m の場合に Q/Q_0 が 1×10^{-3} のオーダーとなり飛沫が飛び込む程度で十分な断面といえるが、現状は一部沈下によって護岸の天端高が +5.5 m となっている箇所もあり、また工費の関係上テトラポッドの天端高を +4.5 m に施工しているので多少の越波はまぬがれない。

今後なお海岸工学的見地より資料の整備と研究を進める所存である。

参 考 文 献

- 1) 大分県臨海工業地帯建設局 (現: 大分県新産業都市建設局)・東京大学工学部土木工学科港湾研究室: 大分鶴崎臨海工業地帯水理模型実験報告書 (1), 昭和 35 年 5 月 1 日。