

2.9 検討項目 No.17 について

主な具体的検討項目	検討内容
護岸形状の改善、人工海浜、干潟（干出域）等、水際へのアクセス性の改善方法を検討する。	水際へのアクセス性向上の視点から、護岸形状や留意点を整理した。

三番瀬を取り囲む護岸のうち浦安市北側および塩浜前面の護岸をモデルとし、水際へのアクセス性の改善という観点から、直立護岸の形状改善を検討するにあたっての現状調査、必要な防護機能について整理した。

現況の塩浜護岸は、前面海域の埋め立てを前提とした暫定護岸であり、現天端高が計画高潮位（A.P.+5.1m）以下である。また、老朽化しており、必要に応じて補修は行っているものの、今後本格的な整備が必要である。そこで、現護岸を改修する場合に考えられる護岸形状や留意点について整理した。

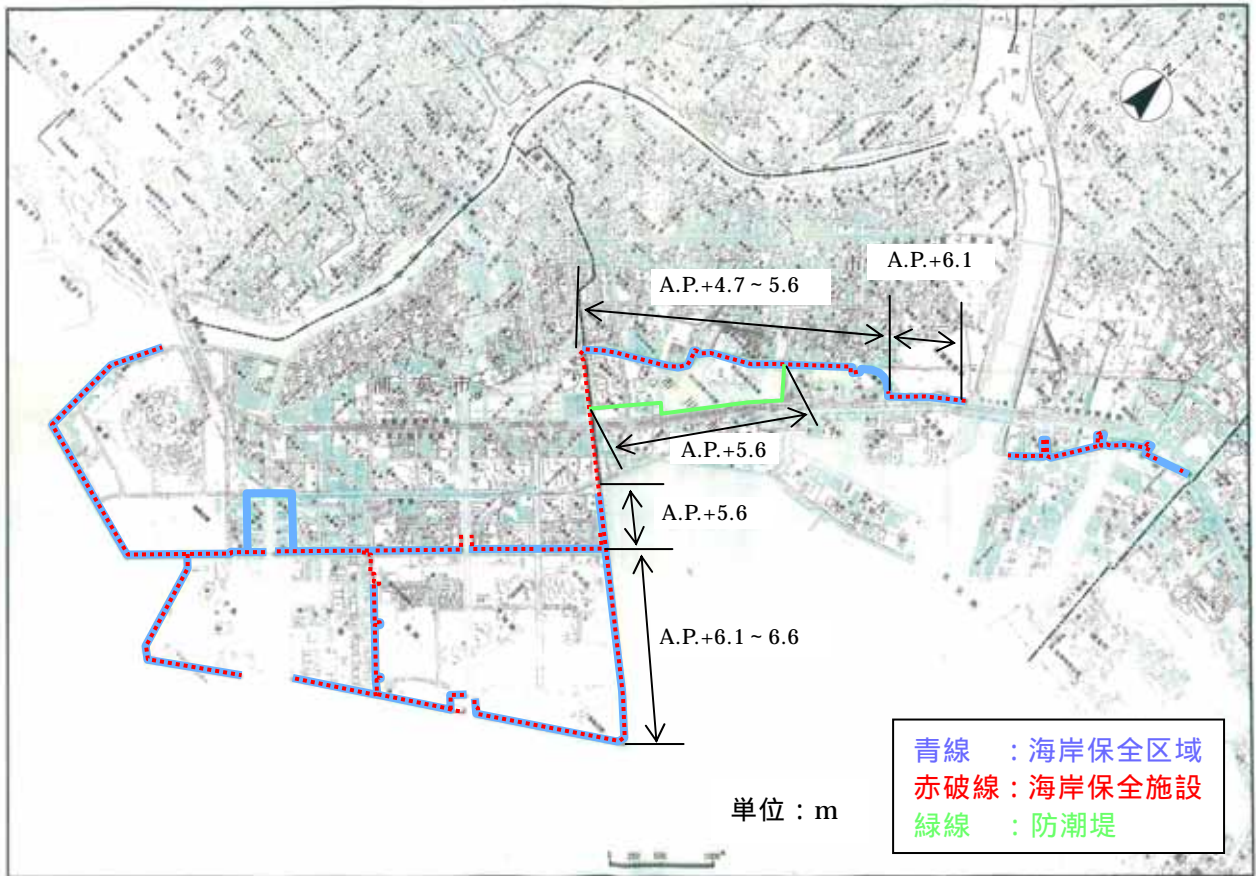
2.9.1 検討内容

1) 現状の把握

(1) 防護機能面

a. 海岸保全施設の現状

現行の海岸保全施設の天端高は図 2.9.1-1 に示すとおりである。



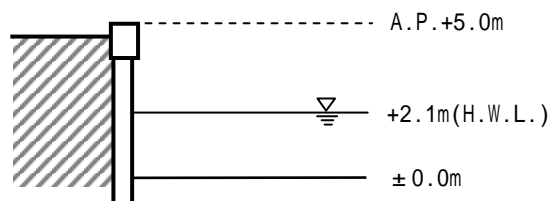
出典) 千葉県資料

図 2.9.1-1 現行の海岸保全施設の天端高

b. 市川市塩浜地先護岸の現状

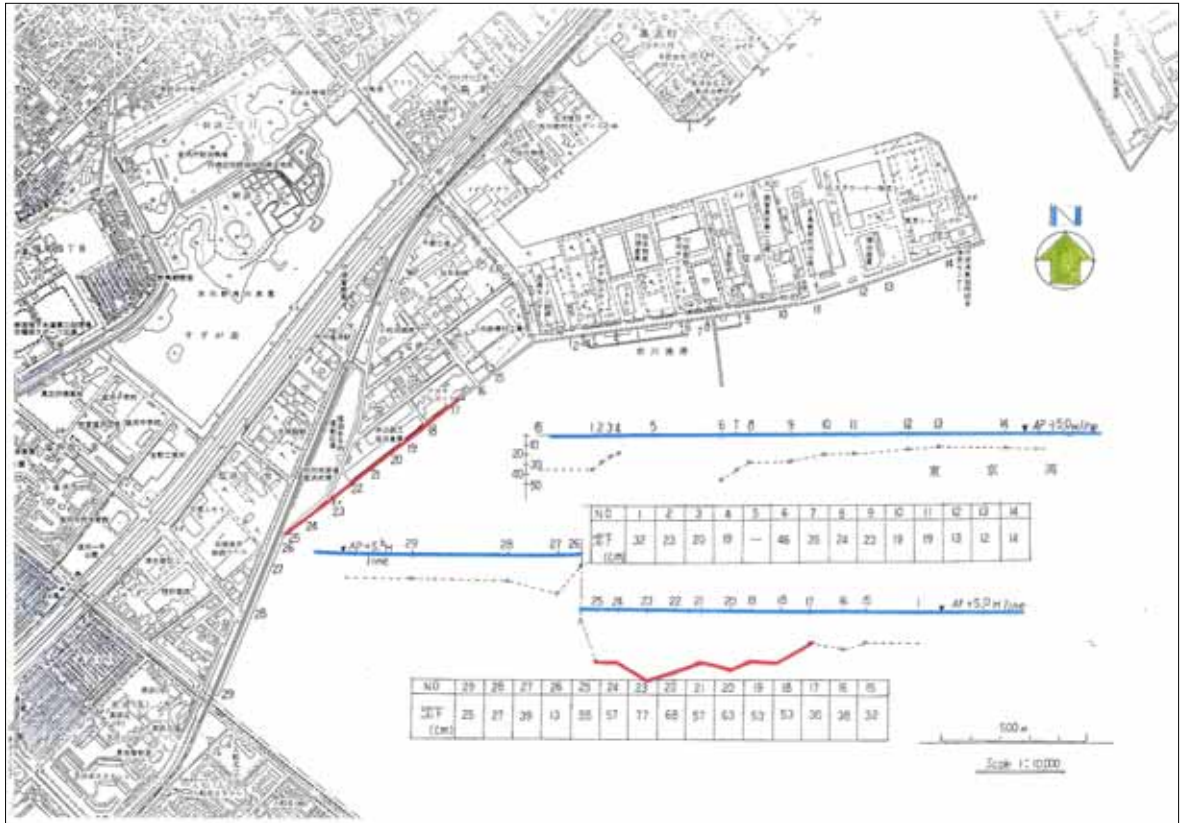
塩浜地先護岸の断面の模式図を図 2.9.1-2 に、護岸の沈下状況を図 2.9.1-3 に示す。

市川市塩浜地先の護岸は、市川二期地区の埋立てを前提とした暫定的な護岸であり、現天端高（設計値 A.P.+5.0m）は計画高潮位（A.P.+5.1m）を満たしていない。また、護岸の老朽化（写真 2.9.1-1）による路盤の陥没などが生じており、補修を実施している。さらに、沈下により、護岸の天端高が設計高 A.P.+5.0m より 12~77cm 低くなっている。



出典) 市川市資料

図 2.9.1-2 塩浜地先の護岸断面



出典) 市川市資料

図 2.9.1-3 塩浜地先護岸の沈下状況



写真 2.9.1-1 老朽化した護岸の状況 (塩浜地先)

c. 護岸の防護機能の検討

市川市塩浜地先護岸において、現況護岸構造（直立堤）を対象に、背後地の防護に必要な天端高を検討した。

護岸の天端高設定の基準

（護岸の天端高）

$$= (\text{計画高潮位 H.H.W.L.}) + (\text{計画波浪に対する必要高}) + (\text{余裕高})$$

検討条件

検討条件は次に示すとおりである。

計画高潮位（千葉県資料）

（計画高潮位 H.H.W.L. = A.P.+5.10m）

$$= (\text{朔望平均満潮位 H.W.L. = A.P.+2.10m}) + (\text{推定最大偏差} + 3.00\text{m})$$

* H.W.L. : 観測値から求めた平均値

* 推定最大偏差：高潮による潮位の上昇分であり、大正6年の台風コースを伊勢湾台風級の台風が通過した際に東京湾に生じる気象潮位（3.02m）とした。

計画波浪

- ・ 沖波波高： $H_o = 3.71\text{m}$ （千葉県資料、浦安海岸舞浜地区の計画波浪に準じる）
- ・ 沖波周期： $T_o = 6.28$ 秒（同上）
- ・ 沖波向 : SSW

【沖波向SSWの設定根拠】

東京湾湾奥の地形特性から、三番瀬前面海域に高波が来襲する時の波向はSWからSであると想定できる。それら3方位の吹送距離は表2.9.1-1に示すとおりであり、SSWの吹送距離が最も長く、同じ風速条件では風向がSSWの時に最も沖波波高が高くなる。従って、今回の検討ではSSWを設定した。なお、波向は風向と同じSSWとなる。

表 2.9.1-1 三番瀬前面海域に対する吹送距離

方位	S	SSW	SW
吹送距離	20km	39km	35km

出典)千葉県土木部・千葉県企業庁(1999)

一方、護岸での越波量や波のうちあげ高の算定に用いる堤前波高(換算沖波波高)は、屈折や回折等の影響を受けた波高であり、これらの影響を考慮して堤前波高が最も高くなる沖波条件を設定する必要がある。「沖波波高が最も高くなる波向SSW」と「屈折と回折の影響が最も小さい波向S」の各波浪条件における堤前波高(換算沖波波高)の試算結果を表2.9.1-2に示す。堤前波高についても、波向SSWの波浪条件の方が高くなることから、計画波浪は沖波向SSW、沖波波高3.71m、沖波周期6.28秒で良いこととなる。

表 2.9.1-2 堤前波高(換算沖波波高)の試算結果

沖波向	沖波波高	沖波周期	屈折・回折係数 ^{注1)}	堤前波高 ^{注2)} (沖波波高×屈折・回折係数)
SSW	計画波浪		0.46	3.71×0.46=1.71m
	3.71m	6.28秒		
S	波浪推算結果から推定 ^{注3)}		0.57	2.78×0.57=1.58m
	3.71×0.75=2.78m	6.28×0.83=5.21秒		

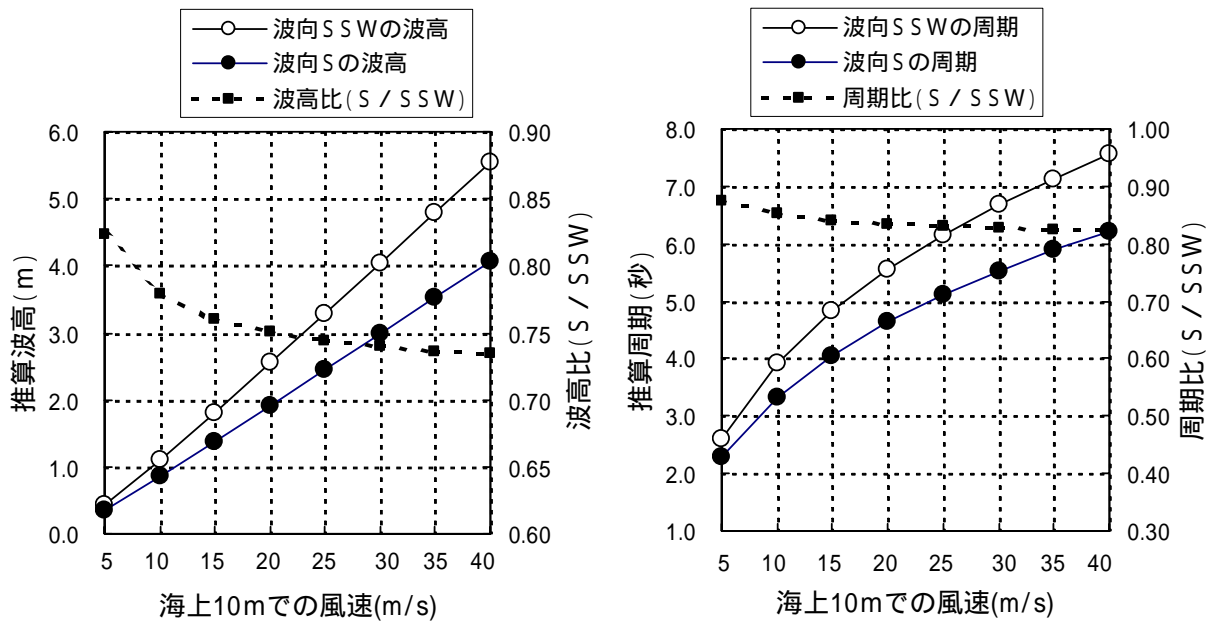
注)1. 屈折・回折係数はエネルギー平衡方程式により算定し(図2.9.1-5)、堤前波高の算定地点は市川市塩浜地区西側(塩浜2丁目地先)地点とした。

2. 現地では、「屈折と回折」の他に、「砕波」や「海底摩擦による波のエネルギー減衰」の影響を受けるため、堤前波高はさらに低くなる。

3. 沖波向Sの沖波波高と沖波周期は、同じ風速条件における「沖波向Sに対する沖波向SSWの波高比と周期比」を波浪推算結果(SMB法)から推定し(図2.9.1-4)次式により求めた。

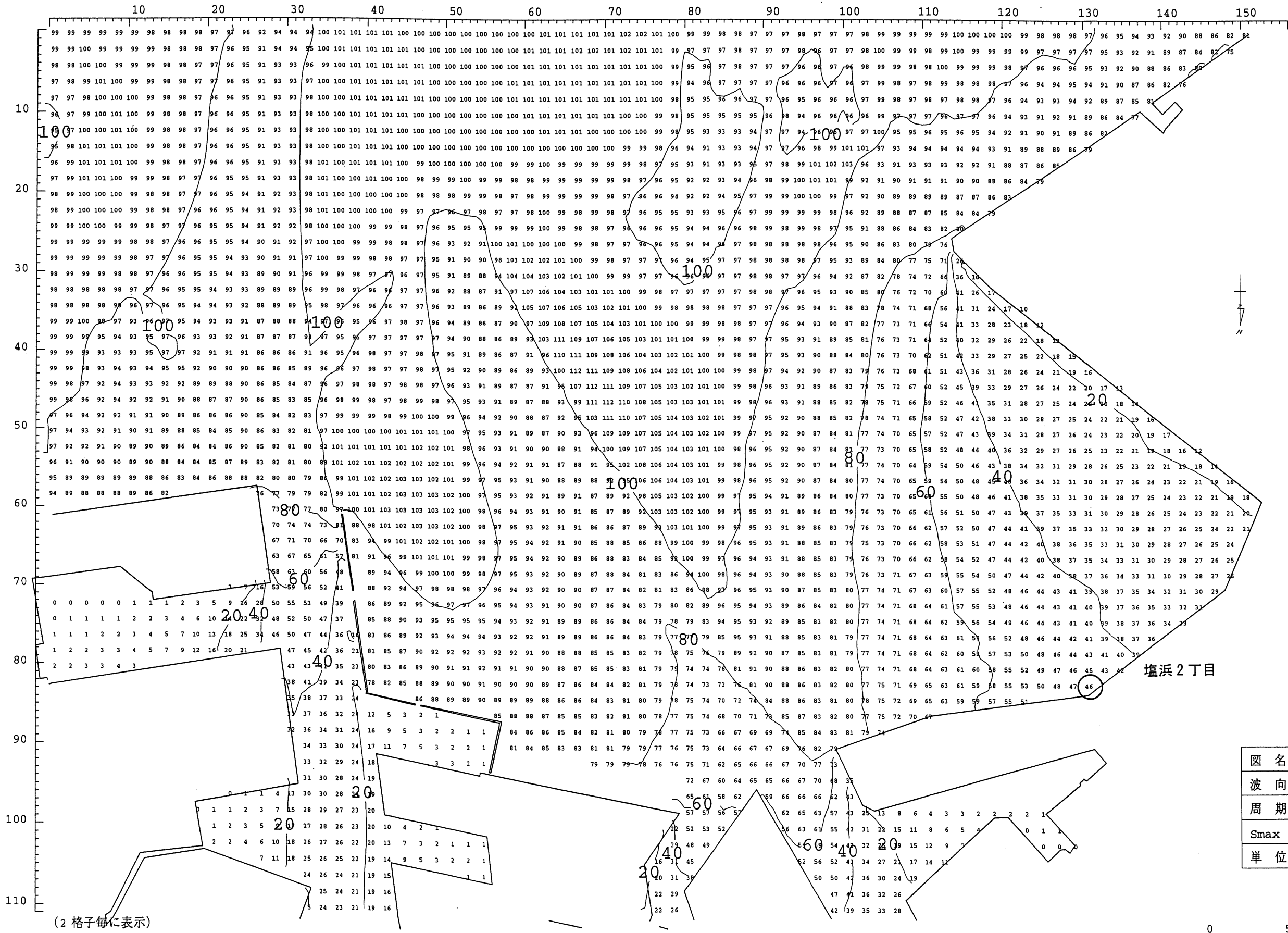
$$(Sの沖波波高) = (SSWの沖波波高 : 3.71m) \times (波高比 : 0.75) = 2.78m$$

$$(Sの沖波周期) = (SSWの沖波周期 : 6.28秒) \times (周期比 : 0.83) = 5.21秒$$



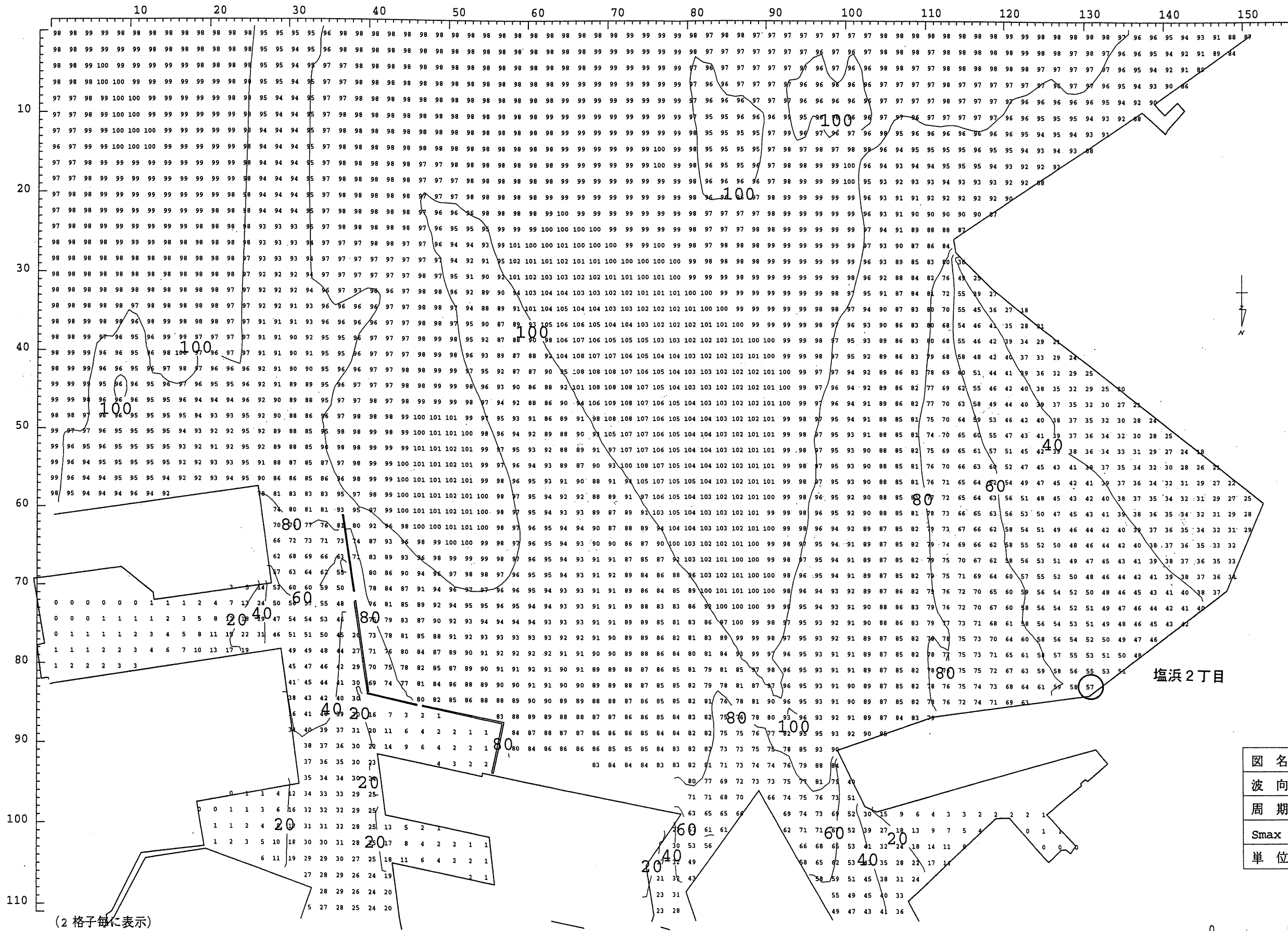
注) 波浪推算は、SMB法を用いた(吹送距離:SSWは39km、Sは20km)。

図 2.9.1-4 波高比と周期比(沖波向S/沖波向SSW)の算定結果(波浪推算による)



図名	屈折係数分布図
波向	SSW
周期	6.3 秒
Smax	10
単位	%

図 2.9.1-5(1) 屈折・回折計数分布図 (Ho=3.71m, To=6.28 秒, 波向:SSW, 潮位:H. H. W. L.=A. P. +5.10m)



(2 格子毎に表示)

図名	屈折係数分布図
波向	S
周期	5.2 秒
Smax	10
単位	%

0 500m

図 2.9.1-5(2) 屈折・回折計数分布図 (Ho=2.78m, To=5.21 秒, 波向:S, 潮位 H. H. W. L. =A. P. +5. 10m)

堤前波高（換算沖波波高）の考え方

通常海浜における換算沖波波高

沖波 H_o は水深の影響を受けない波であり、越波量やうちあげ高等を算定する基準となるものである。越波量やうちあげ高等の算定にあたっては波の「屈折」や「回折」等の影響を補正した仮想的な波高が用いられている。この波は換算沖波波高 H_o' と呼ばれ、通常海浜の H_o' は、屈折と回折のみを考慮し次式で求められる。

$$H_o' = K_r \cdot K_d \cdot H_o \quad (3.1)$$

ここに、 K_r は屈折係数、 K_d は回折係数である。

参考として、実際の堤前波高 H は屈折と回折の他に浅水変形の効果を受け次式で表される。

$$H = K_r \cdot K_d \cdot K_s \cdot H_o = H_o' \cdot K_s \quad (3.2)$$

ここに、 K_s は堤脚水深での浅水係数である。

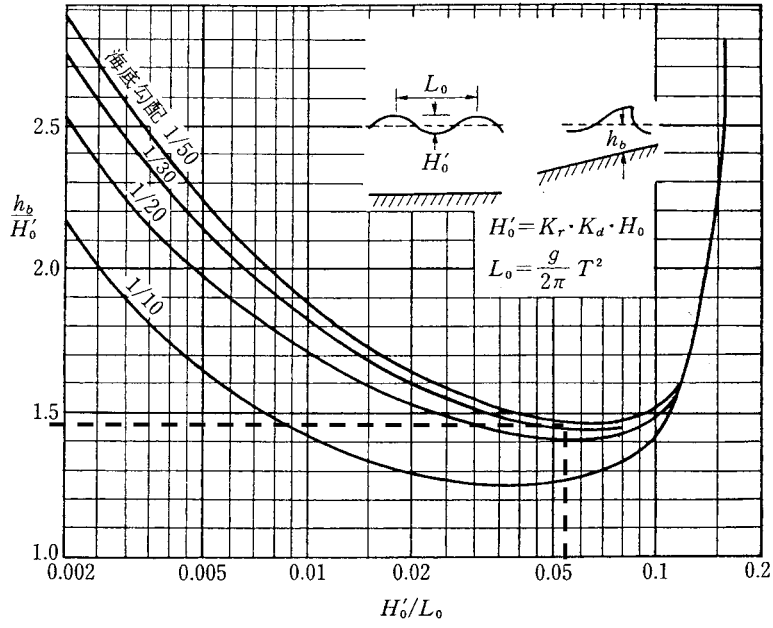
砕波及び海底摩擦の考慮

三番瀬干潟域においては、その水深分布の特性から「屈折と回折」の他に「干潟縁辺部での砕波」及び「海底摩擦による波のエネルギー減衰」の影響を考慮する必要がある。このとき、越波量やうちあげ高等の算定に用いる仮想的な波高、すなわち換算沖波波高 H_o' を次式に示すように再定義する。

$$H_o' = K_r \cdot K_d \cdot K_b \cdot K_f \cdot H_o \quad (3.3)$$

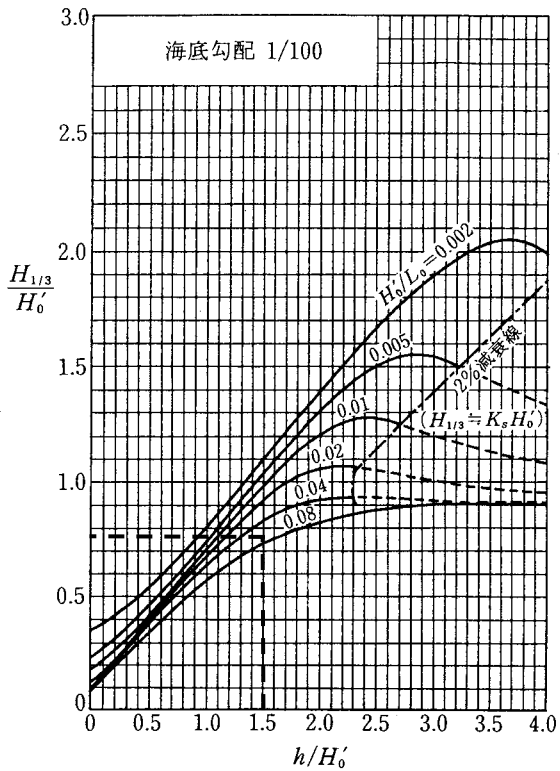
ここに、 K_r は屈折係数、 K_d は回折係数、 K_b は干潟縁辺部での砕波係数及び K_f は海底摩擦による波高減衰係数である。

計画高潮位（H.H.W.L. = A.P. + 5.10m）のとき、干潟縁辺部まで屈折変形および回折変形を受けないと仮定すると、沖波（波高3.71m、周期6.28秒）の砕波水深 h_b は図2.9.1-6より約5.5m（A.P. - 0.4m）、砕波波高 $H_{1/3}$ は図2.9.1-7より2.89mとなり、沖合から護岸前面までの波浪変形は図2.9.1-8に示すように仮定できる。



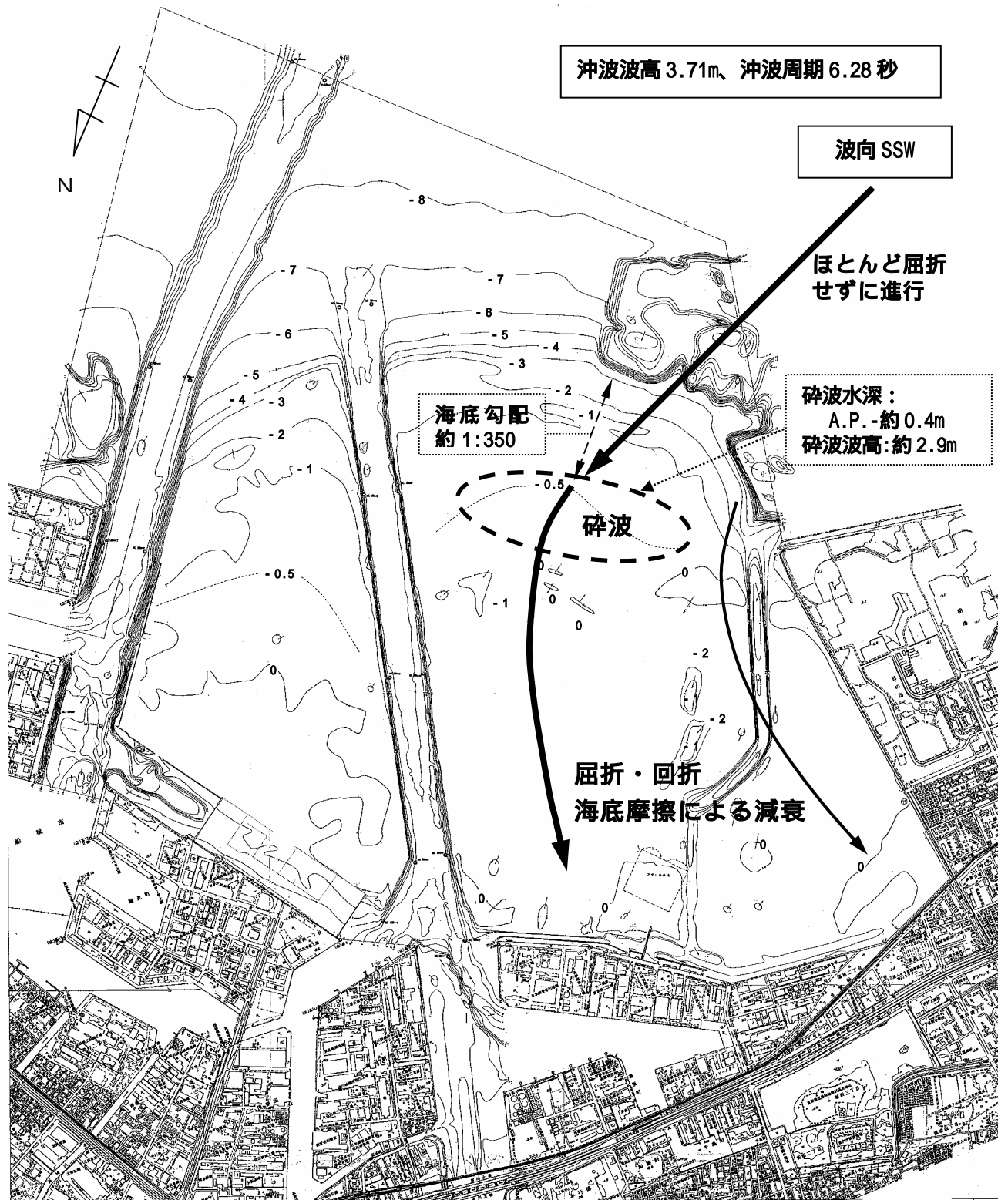
$H_0 / L_0 = 3.71 / 61.5 = 0.060$
 $H_b / H_0 = 1.47$ (海底勾配 1/50 を使用)
 $H_b = 1.47 \cdot H_0 = 1.47 \cdot 3.71 = 5.45\text{m}$
 H.H.W.L. = A.P. + 5.10m のとき、
 碎波水深 h_b は A.P. + 5.10 - 5.45 = A.P. - 0.35 A.P. - 0.4m

図 2.9.1-6 波形勾配と碎波水深との関係



$H_0 / L_0 = 3.71 / 61.5 = 0.060$
 $H = h_b = 5.5\text{m}$
 $H / H_0 = 5.5 / 3.71 = 1.48$
 $H_{1/3} / H_0 = 0.78$
 $H_{1/3} = 0.78 \cdot H_0 = 0.78 \cdot 3.71 = 2.89$

図 2.9.1-7 不規則波の碎波帯内の波高変化



水深コンターの単位：m、基準面：A.P. ±0.0m



図 2.9.1-8 波浪変形概念図（計画高潮位 H.H.W.L.=A.P.+5.10m）

堤前波高（換算沖波波高）の算定方法及び算定条件

算定方法

屈折変形、回折変形及び海底摩擦による減衰は、次式に示す波のエネルギー平衡方程式により不規則波の方向スペクトル $S(f, \theta)$ の伝播を計算して算定する。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial x}(SC_g \cos \theta) + \frac{\partial}{\partial y}(SC_g \sin \theta) \\ & + \frac{\partial}{\partial \theta} \left[S \left(\frac{C_g}{C} \right) \left\{ \sin \theta \left(\frac{\partial C}{\partial x} \right) - \cos \theta \left(\frac{\partial C}{\partial y} \right) \right\} \right] = -D_d S \end{aligned} \quad (3.4)$$

ここに、 S は波の方向スペクトル、 f は成分波の周波数、 θ は成分波の方向角、 C_g は波の群速度、 C は波速、 D_d は海底摩擦によるエネルギー逸散率である。

(3.4)式の左辺第1項と第2項は浅水変形による波高変化を表し、第3項は屈折変形による波高変化を表している。また、右辺は海底摩擦による減衰を表している。理論的にエネルギー平衡方程式には回折変形の項が入っていないが、構造物によるエネルギーの遮蔽に伴う擬似的な回折効果が計算できる。

海底摩擦によるエネルギー逸散率は、波高、周期、水深及び底質条件で異なる。底質条件は海底摩擦係数として与える。

干潟縁辺部での砕波変形は、合田（1975）の砕波波高略算式をエネルギー平衡方程式プログラムに組み込むことにより、沖から岸に向けての波浪伝播の過程において評価する。

【プログラムの検証結果】

既往調査（千葉県葛南港湾事務所，2000）で示されている観測波高値と本プログラムの計算波高値の比較を図 2.9.1-10 に示す。

計算波高値は観測波高値のばらつきの範囲にある。

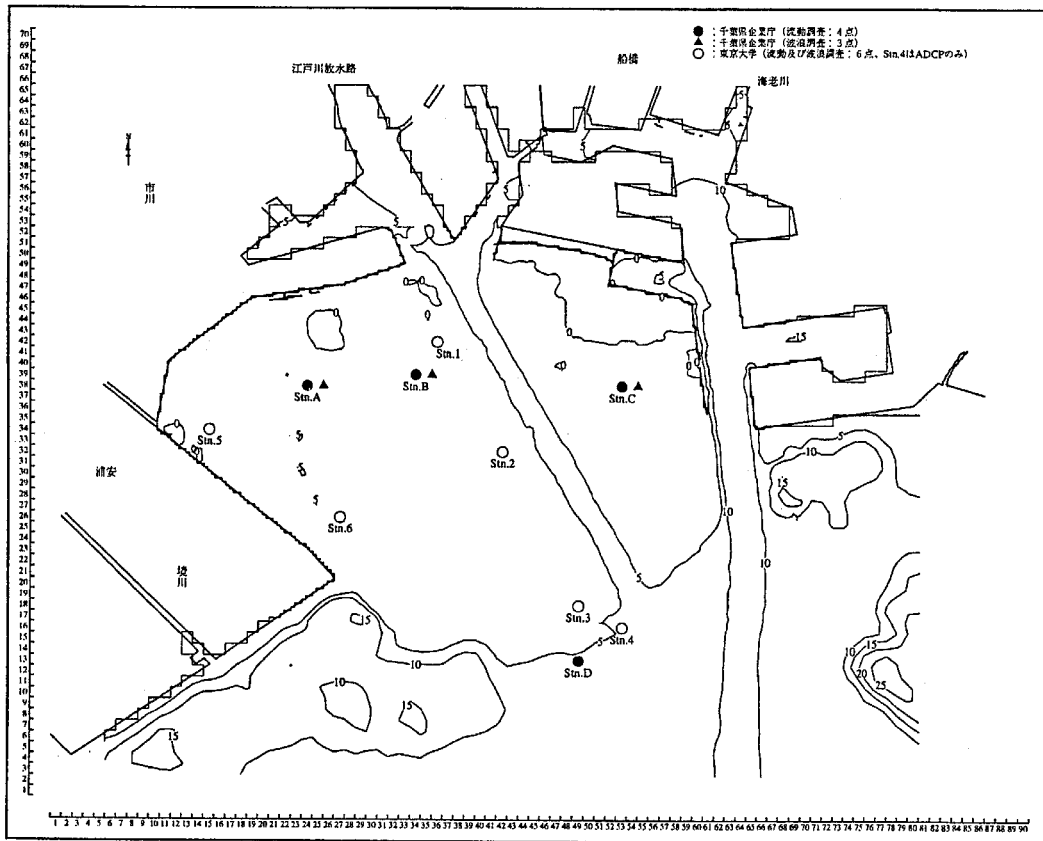


図 2.9.1-9 波浪観測地点

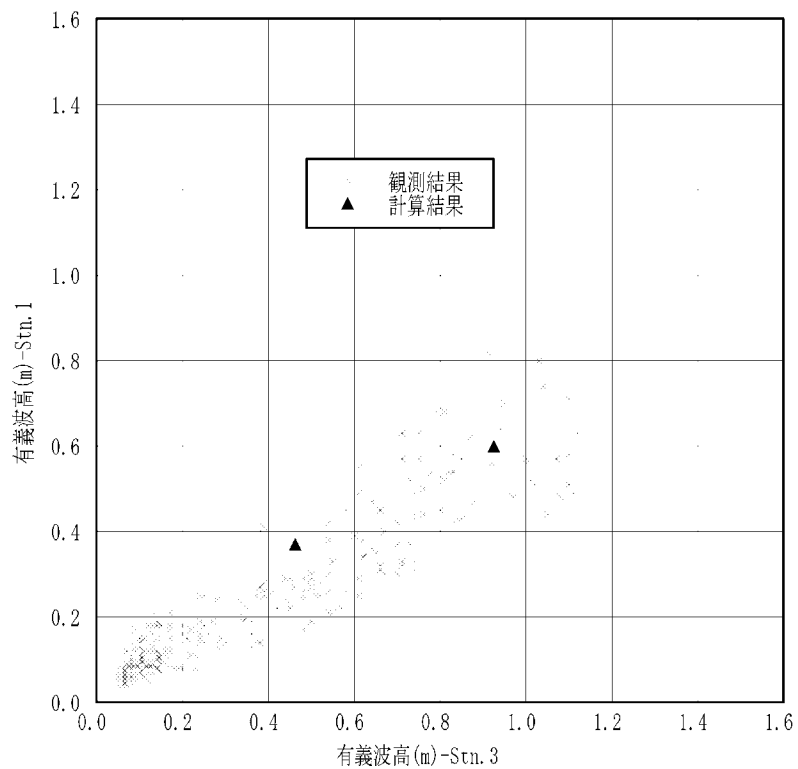


図 2.9.1-10 計算波高値と観測波高値の比較（波浪観測地点は図 2.9.1-9 に示す）

算定条件

算定条件は表 2.9.1-3 に示すとおりである。

表 2.9.1-3 エネルギー平衡方程式による波浪計算条件

項 目		計 算 条 件
格子間隔		50m(結果の表示は 100m)
計算潮位		H.H.W.L. = A.P. + 5.10m
計算水深		臨海北部地区深淺図 (平成 12 年 11 月,千葉県企業庁)より
沖波条件	沖波波高	3.71m
	沖波周期	6.28sec
	沖波波向	SSW
	方向集中度パラメータ	Smax = 10
方向分割数 (波向の不規則性)		36(5° 刻み、 - 90° 90°) は波向 (SSW) である
周波数分割数 (周期の不規則性)		5
海底摩擦係数		0.01

注) 方向集中度パラメータは、波向を中心としたエネルギーの集中度合いを表すパラメータであり、波高と周期から設定する。

堤前波高（換算沖波波高）の算定結果

エネルギー平衡方程式による計算結果を以下のとおり示す。

波高分布図 ----- 図 2.9.1-12

* 図中の想定砕波水深域の砕波波高は 2.9m 前後であり、図 2.9.1-8 により求めた砕波波高（2.89m）とほぼ一致していることが確認できる。

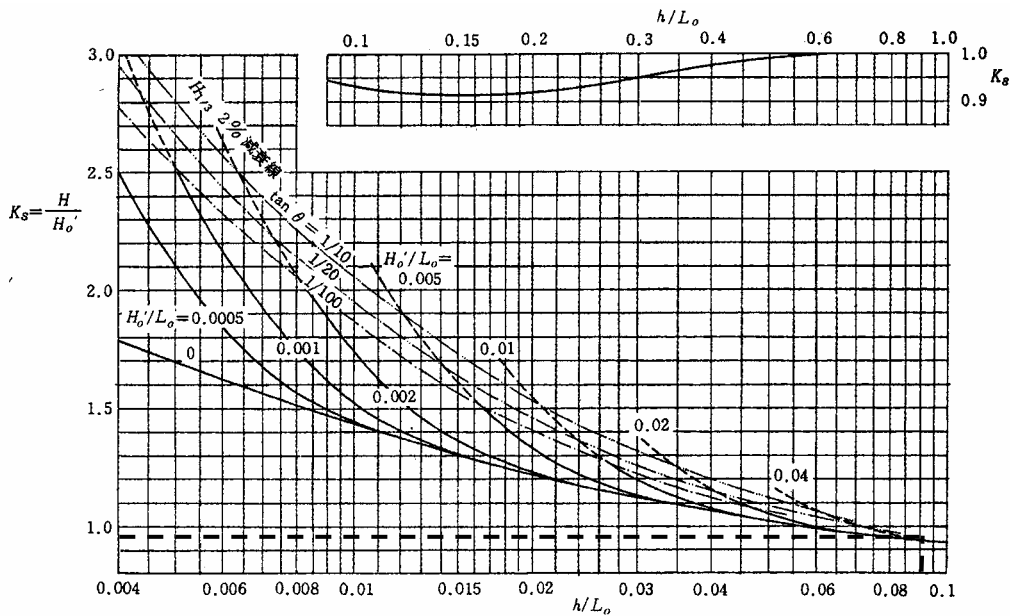
波向分布図 ----- 図 2.9.1-13

図 2.9.1-12 から市川市塩浜地区西側（塩浜 2 丁目地先）における堤前波高 H の最大値は 1.24m である。なお、エネルギー平衡方程式による計算波高値 H は(3.4)式に示したように浅水変形の効果も入っている。一方、越波量やうちあげ高等の算定に用いる換算沖波波高は、浅水変形（浅水係数）を考慮しない波高である。堤前波高 H 、換算沖波波高 H_o' 及び浅水係数 K_s の関係は次式に示される。

$$H = H_o' \cdot K_s \tag{3.5}$$

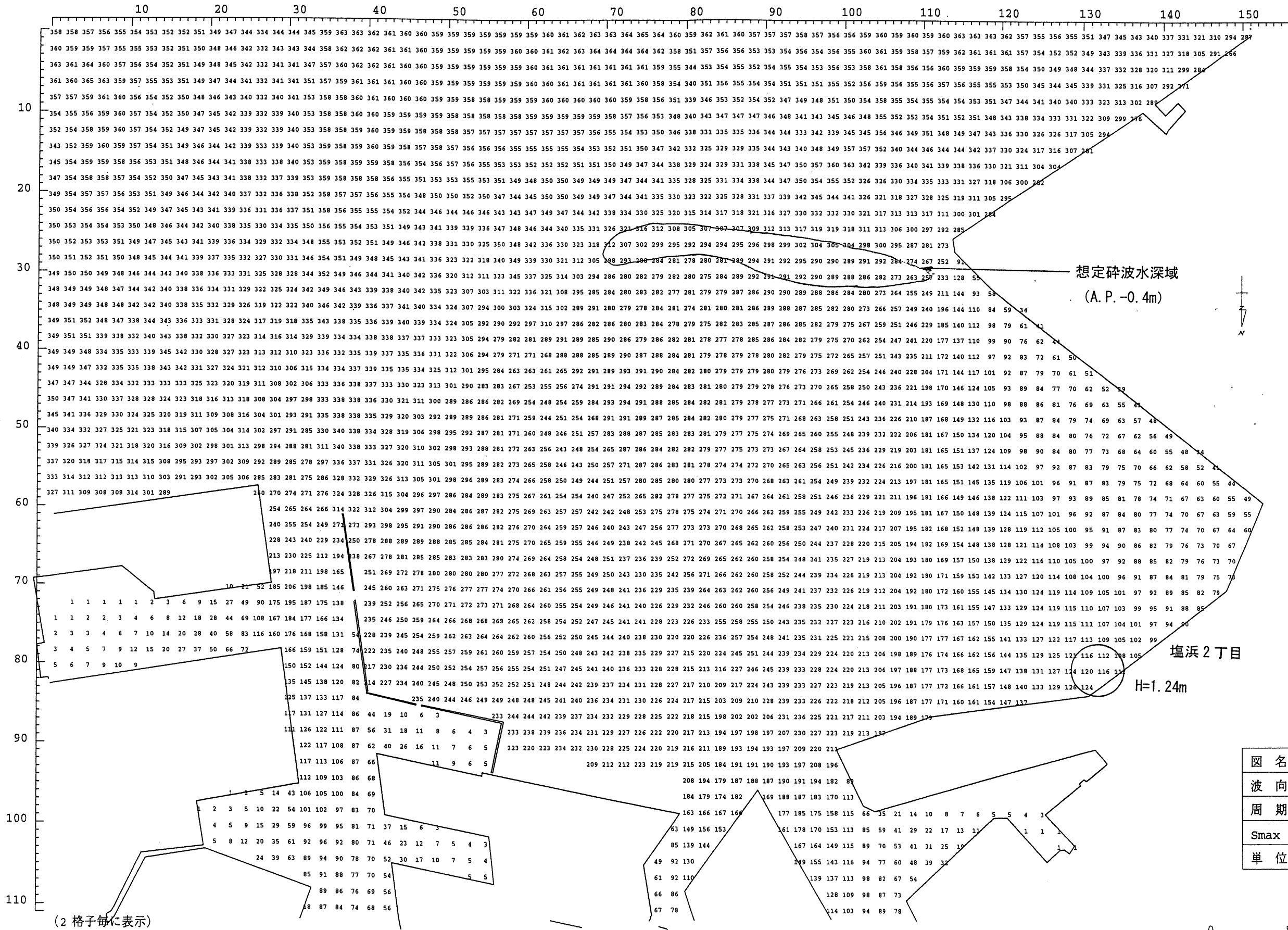
ここに、 K_s は堤脚水深での浅水係数である。

堤脚水深を 5.6m（海底面 A.P. - 0.50m、潮位 A.P.+5.10m）とすると、図 2.9.1-11 より浅水係数は 0.97 となる。よって、市川市塩浜地区西側（塩浜 2 丁目地先）の越波量やうちあげ高等の算定に用いる換算沖波波高は、(3.5)式より 1.28m (= 1.24/0.97)となる。



$$h=5.6 \quad h/Lo = 5.6/61.5 = 0.091$$

図 2.9.1-11 浅水係数の算定図



図名	波高分布図
波向	SSW
周期	6.3 秒
Smax	10
単位	cm

図 2.9.1-12 波高分布図 (H₀=3.71m, T₀=6.28 秒, 波向:SSW, 潮位 H. H. W. L. =A. P. +5.10m)

dir

/home/kis/tmp157/chiba97/wave/case1/rco.sai-design/out/ou-050gg-ssw-1

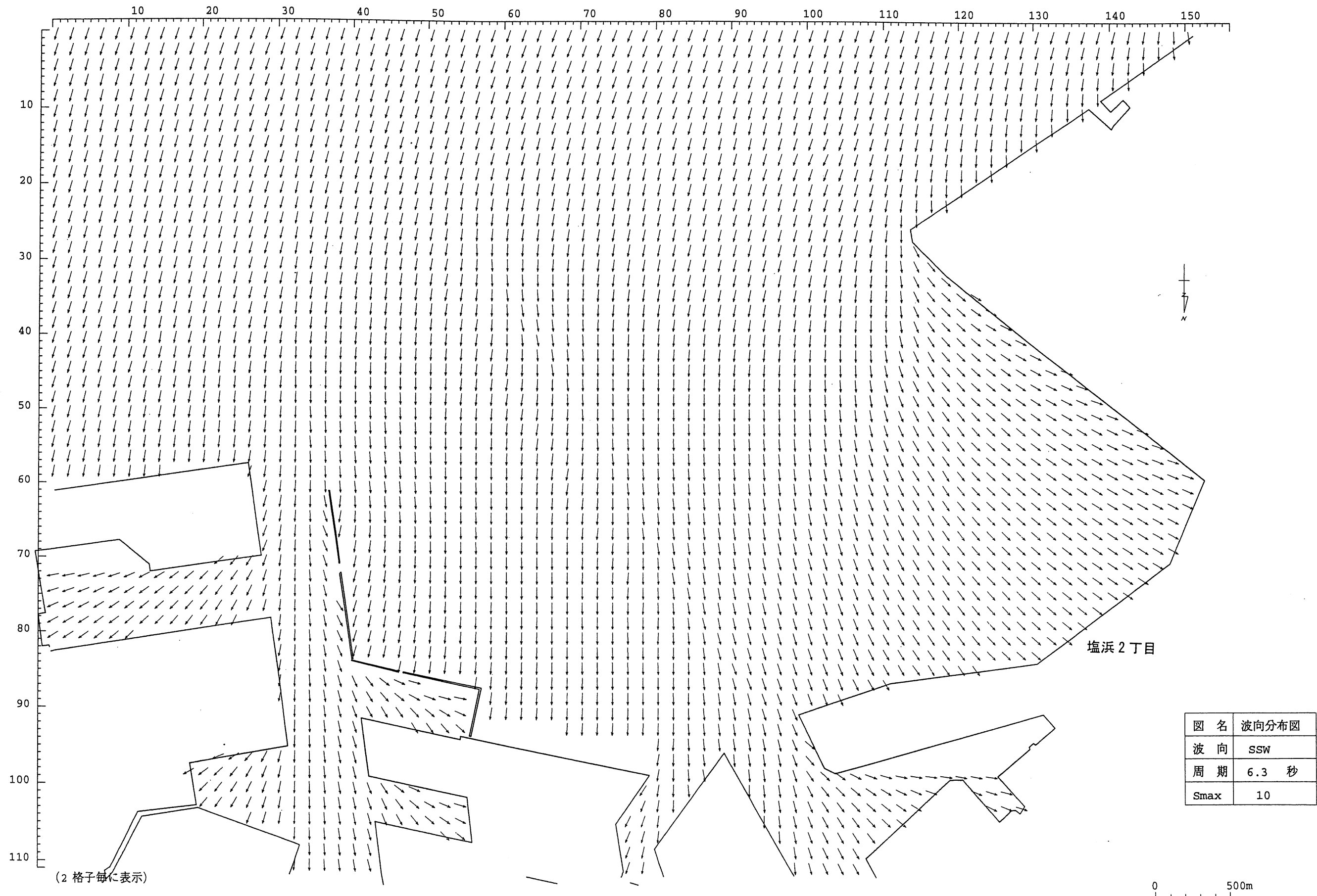


図 2.9.1-13 波向分布図 (Ho=3.71m, To=6.28 秒, 波向:SSW, 潮位 H. H. W. L. =A. P. +5.10m)

現況護岸構造（直立堤）の場合における必要天端高

必要天端高の検討条件は表 2.9.1-4 に、算定結果は表 2.9.1-5 と表 2.9.1-6 に示すとおりであり、背後地の防護面、護岸自体の被災面ともに現況天端高(A.P. + 5.00m、設計値)は天端高が不足している。

表 2.9.1-4 検討条件一覧表

項目	検討条件
検討対象域	市川市塩浜地区西側（塩浜2丁目）
換算沖波波高 (H_o')	1.28m
沖波周期 (T_o)	6.28 秒
沖波波長 (L_o)	61.5m
潮位	H.H.W.L. = A.P. + 5.10m
堤脚水深 (h)	5.6m (海底面 A.P. - 0.50m)
水深波長比 (h/L_o)	0.091
波形勾配 (H_o'/L_o)	0.021
水深波高比 (h/H_o')	4.38

表 2.9.1-5 必要天端高（直立堤）の算定結果

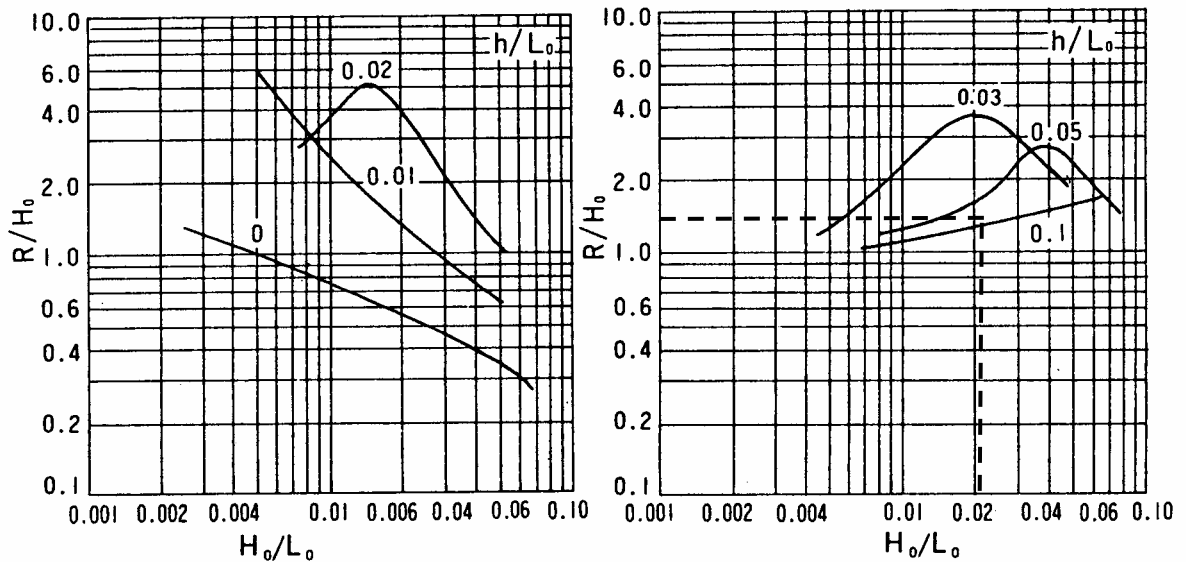
算定方法	必要天端高	波のうちあげ高等			
		設計高潮位	うちあげ高	余裕高	計
波のうちあげ高	A.P. + 7.3m	A.P. + 5.10m	1.66m (図 2.9.1-14 の海底勾配 1/20 の算定図より)	0.50m	7.26m
算定方法	必要天端高	越波量	許容越波量		
許容越波量	A.P. + 5.2m	0.19m ³ /m/s (図 2.9.1-15 の海底勾配 1/30 の算定図より)	護岸被災限界（背後舗装済み） 0.20m ³ /m/s		
	A.P. + 8.0m	6.4 × 10 ⁻⁵ m ³ /m/s (同上)	背後地利用：直背後の家屋（50%安全度） 7 × 10 ⁻⁵ m ³ /m/s		

【余裕高】改訂新版 建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編 [] では最大で 1.0m とされており、ここでは半分の 0.5m を採用した。なお、千葉県によるうちあげ高の算定においても、余裕高=0.5m で検討されている。

【許容越波量】1) 護岸被災限界：改訂新版 建設省河川砂防技術基準（案）同解説 設計編 []

2) 背後地利用：港湾の施設の技術上の基準・同解説（港湾局）

* 50%安全度とは 50%の人が安全と判断するという意味である。



直立堤 海底勾配 1/20 (豊島・首藤・橋本)

図 2.9.1-14 波のうちあげ高

表 2.9.1-6 越波量 (直立堤) の算定結果

(海底勾配 1/30、 $H_0 / L_0 = 0.017$)

天端高 (A.P.、m)	hc / H_0	越波量 ($m^3/m/s$)
8.0	2.27	6.4×10^{-5}
7.5	1.88	1.6×10^{-4}
7.0	1.48	7.1×10^{-4}
6.5	1.09	0.0035
6.0	0.70	0.0135
5.5	0.31	0.0513
5.2	0.08	0.1923

注) hc は水面から護岸天端までの高さである (図 2.9.1-15)。

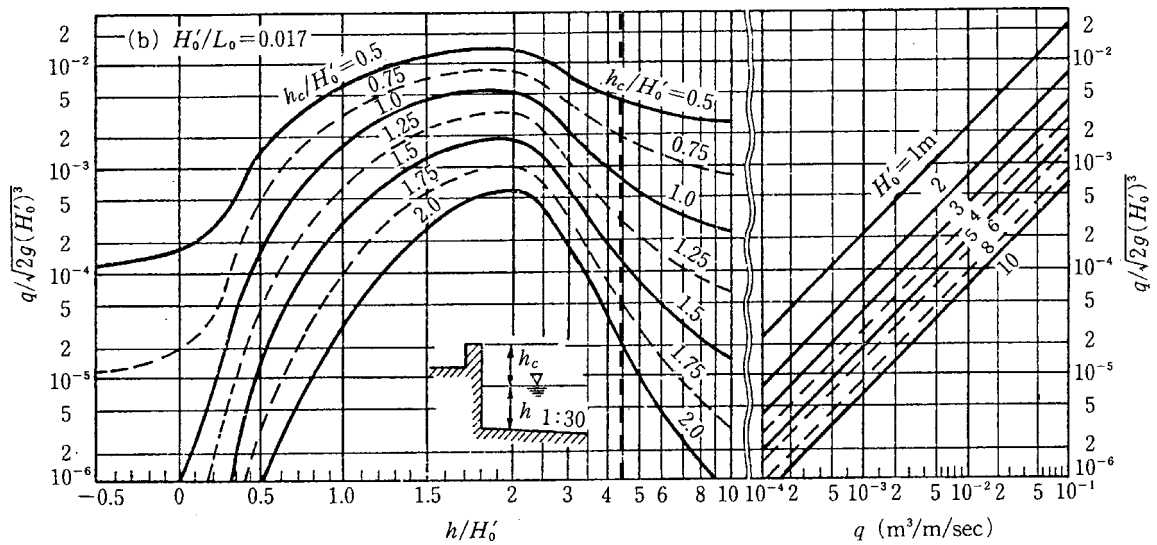


図 2.9.1-15 直立護岸の越波量推定図

(2) 親水機能面

市川側の水際はほぼ全域が直立護岸になっており、親水性が低くなっている（図 2.9.1-16）



図 2.9.1-16 市川側護岸の状況

(3) 土地利用面



出典) 千葉県都市部計画課 (1996)

図 2.9.1-17 背後地の土地利用の状況 (都市計画図)

(4) 干潟の生態系

p.20～65 を参照。

2) 評価視点の整理

護岸を改修する場合に考えられる留意点を整理し、以下に示す。

(1) 河口干潟への影響

護岸改修が河口干潟や浅海域の環境におよぼす影響について。(ここでは改変面積)

(2) 背後地の土地利用への影響

基本的には、今後の土地利用計画によって異なるが、ここでは、護岸法線を陸側に引く場合を想定し、その引き幅の中に存在する工場と家屋数及び道路延長により、背後の土地利用にどのような影響をおよぼすか。

(3) 利用面

護岸構造による景観やアクセス性、親水性について。

(4) 土砂収支

養浜を行う場合は、養浜材調達が容易でないことから、養浜材量。セットバックする場合は、切り土の残土処理が必要であることから、切り土量。

(5) その他

施工方法等によっても、環境、コスト等に影響をおよぼすことから、詳細な検討を行う必要がある。(ここでは未検討)

3) 海岸保全区域の設定の考え方（防護面等）

基本的には、現状の海岸保全区域を考慮し、今後の土地利用計画によって海岸管理者である千葉県が定めるものである。

4) その他留意すべき事項

外力条件および計算手法について検討が必要である。

現在の護岸前面には、漁港や人工湾が存在するため、その利用形態等を十分に把握する必要がある。

養浜を実施する場合の土質（粒径等）、形状、施工方法、養浜後の安定性について検討が必要である。

市川航路への養浜材の落ち込みの可能性について検討が必要である。

5) ケース設定と比較分析

設定した護岸形状の検討ケースは表 2.9.1-7 のとおりであり、まず波のうちあげ高及び許容越波量から必要天端高を算定するため、基本ケース（ケース 〇、一、二）を設定した。次に、景観や水際へのアクセス性向上の観点から、大人が立って海を見渡せる天端高の上限を地盤高+1.0m（A.P.+6.10m）^{注）}とし、これを満たす養浜形状（養浜天端高及び養浜勾配）の検討ケースを設定した（ケース 三、四、五）。また、基本ケースで必要天端高を地盤高+1.0m 以下に抑えられる結果が得られたもの（ケース 六、七）については、アクセス性向上の観点から小段の高さを低くするケースもあわせて設定した（ケース 八、九）。

注）地盤高を計画高潮位の H.H.W.L（A.P.+5.10m）にすると、直立堤の地上の高さは 1.0m となる。なお、護岸の必要天端高を地盤高+1.0m 以下に抑えるためには、余裕高（0.5m）を考慮するとうちあげ高 R は 0.5m 以下に抑える必要がある。

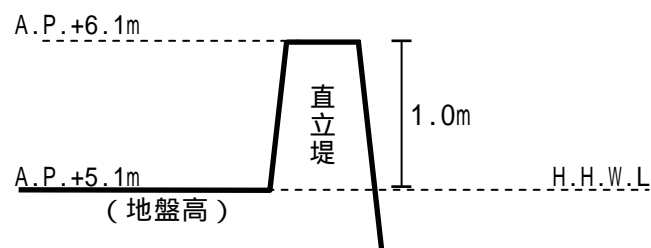


表 2.9.1-7 護岸形状の検討ケースの設定

ケース	天端高	小段		養浜形状
		高さ	幅	
直立消波堤	直立消波堤	-	-	-
	直立消波堤 + 養浜	A.P. + 6.1m (地盤高 + 1.0m)	-	-
直立堤 + 小段 + 直立堤	直立堤 + 小段 + 直立堤	A.P. + 5.1m	10m	-
	〃	A.P. + 6.1m (地盤高 + 1.0m)		-
	直立堤 + 小段 + 直立堤 + 養浜	A.P. + 6.1m (地盤高 + 1.0m)		
直立堤 + 小段 + 緩傾斜護岸	直立堤 + 小段 + 緩傾斜護岸	A.P. + 5.1m	10m	-
	直立堤 + 小段 + 緩傾斜護岸 + 養浜	A.P. + 6.1m (地盤高 + 1.0m)		
緩傾斜堤	緩傾斜堤	-	-	-
	緩傾斜堤 + 養浜	A.P. + 6.1m (地盤高 + 1.0m)	-	-

- 注) 1. 太枠は基本ケースを示す。
 2. はケース設定においては計算条件を定めていないものを示す。
 3. 記入した値は景観やアクセス性向上の観点からの値である。

上記検討ケースについて、波のうちあげ高及び許容越波量から必要天端高を検討した。

検討条件を表 2.9.1-8、検討結果を表 2.9.1-9 に示す。

表 2.9.1-8 必要天端高の検討条件一覧表

項目	検討条件
検討対象域	市川市塩浜地区西側(塩浜2丁目)
換算沖波波高 (H_o')	1.28m
沖波周期 (T_o)	6.28 秒
沖波波長 (L_o)	61.5m
潮位	H.H.W.L. = A.P. + 5.10m
堤脚水深 (h)	5.6m (海底面 A.P. - 0.50m)

波のうちあげ高の検討は次のように行った。

【直立消波堤の波のうちあげ高：ケース 、 】

久宝ら（1967）の実験結果（図 2.9.1-18）を用いた。なお、図中の H_{max} は沖波の $H_{1/10}$ （ $= 1.27H_0 = 1.27 \times 1.28\text{m} = 1.63\text{m}$ 、1.27 は $H_{1/3}$ と $H_{1/10}$ の波高間係数）、 L は沖波波長 L_0 を用いる（久宝、1967）。

養浜を実施し（ケース ）堤脚水深 h を小さくすることにより、うちあげ高をさらに小さくすることはできるが、図 2.9.1-19 のうちあげ高比 R/H の最小値は 0.50（うちあげ高の最小値は $1.28\text{m} \times 0.50 = 0.64\text{m}$ ）であり、うちあげ高を 0.50m 以下（必要天端高を A.P.+6.10m 以下）に抑えることは、この実験結果からは判断できない。

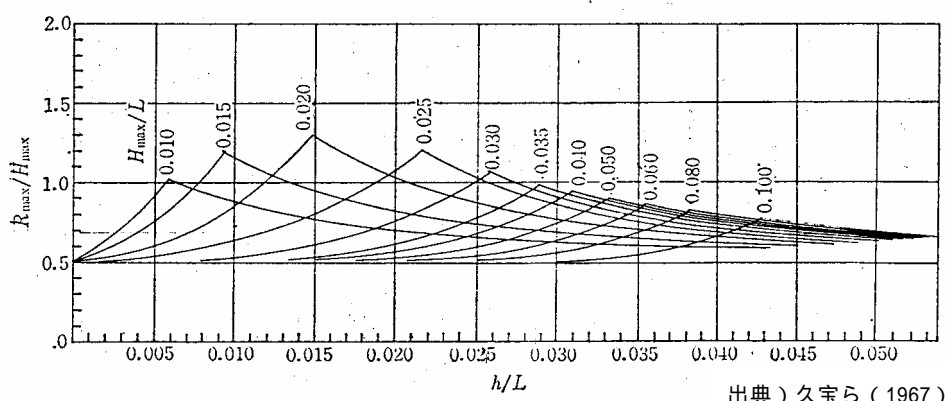


図 2.9.1-18 ブロック面（1：0.3）の波のうちあげ高

【小段を有する複断面の波のうちあげ高（養浜なし）：ケース 、 、 】

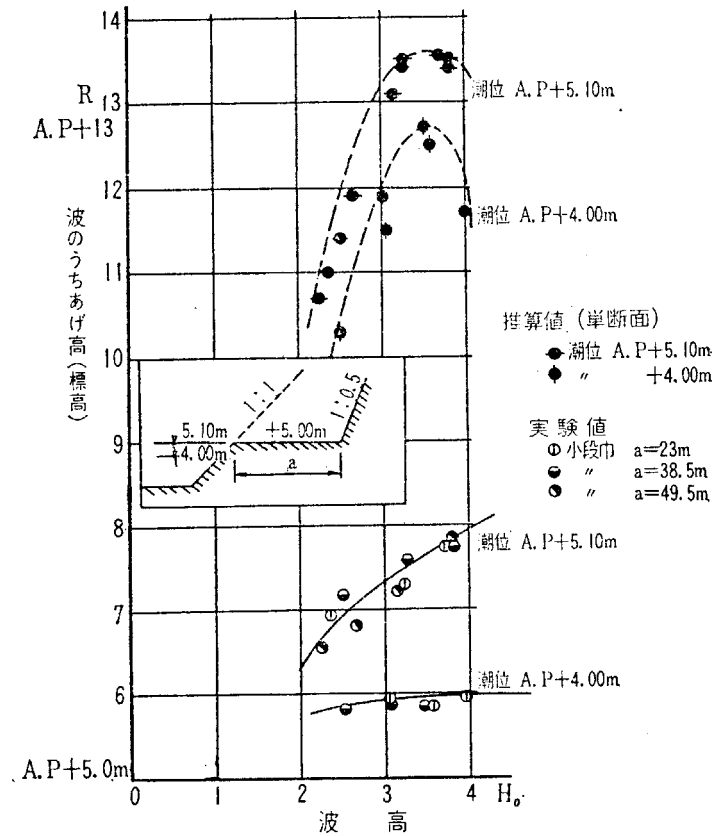
小段を有する複断面に関するうちあげ高については、十分な知見が得られていないが、豊島（1964）の実験結果（図 2.9.1-19～図 2.9.1-21）からは次のことが言える。

小段高が静水面と同程度またはそれ以上の高さをもつ時は、もちろん小段幅との関係もあるが、かなり効果がある。一方、静水面より低くなって、小段が水面下に深く沈むとその効果は急速に減少すると思われる。（豊島、1964）

小段高が静水面付近（A.P.+5.00m）の場合（潮位は A.P.+5.10m）図 2.9.1-19 より沖波換算波高が 1.28m の時には、小段幅を 10m 以上とすれば、必要天端高を A.P.+6.10m 以下^注）にすることができると判断される（ケース 、 ）。

注）図 2.9.1-19 の結果を低波高側に外挿したうちあげ高 A.P.+5.50m + 余裕高 0.50m

小段高が静水面下 1.0m および小段幅が 20m の場合(図 2.9.1-20 の潮位 A.P. + 4.00m のケース、図 2.9.1-21 の潮位 A.P. + 5.10m のケース) 必要天端高を A.P. + 6.10m 以下にはできない。必要天端高を A.P. + 6.10m 以下にするためには、小段幅を広くする必要があるが、豊島 (1964) の実験結果からは推定できない (ケース) 。



豊島 (1964) は、小段幅 $a=12m$ の場合についても実験を行っており、うちあげ高 R には小段幅 a の影響は認められない ($a=23m$ 等と同じ) としている。

また、この実験結果は風速 30m/s の風を与えており、無風時のうちあげ高より約 3 割程度小さくなる。

出典) 豊島(1964)

図 2.9.1-19 波のうちあげ高 (小段高 A.P.+5.00m、小段幅 12m ~ 49.5m)

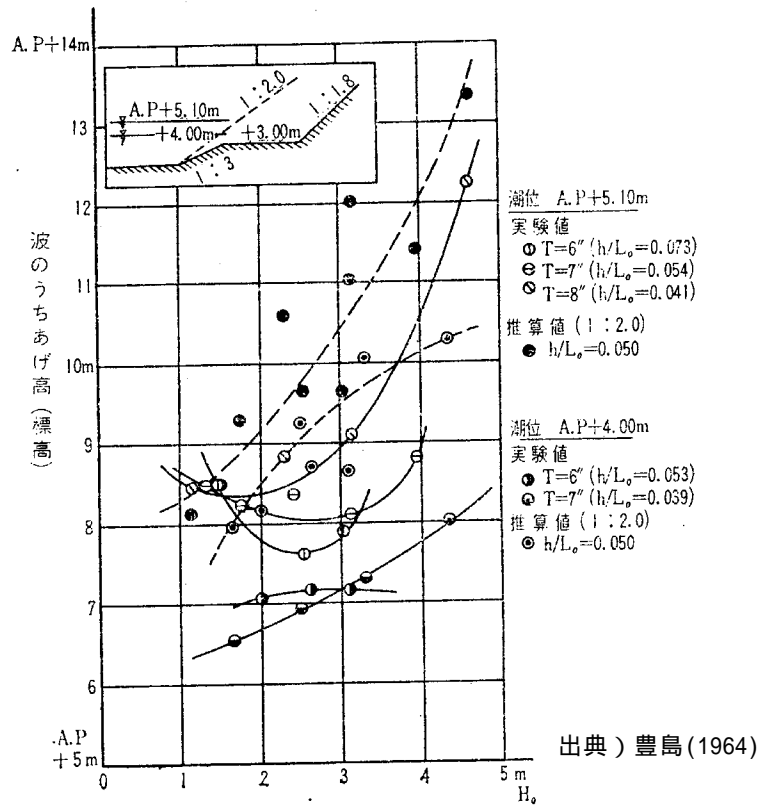


図 2.9.1-20 波のうちあげ高 (小段高 A.P.+3.00m、小段幅 20m)

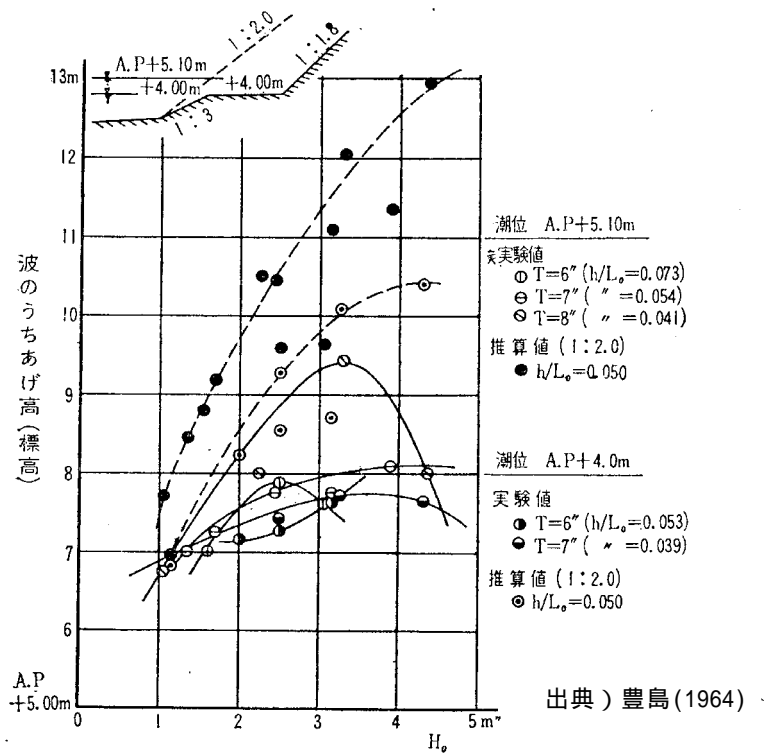


図 2.9.1-21 波のうちあげ高 (小段高 A.P.+4.00m、小段幅 20m)

【緩傾斜護岸及び養浜した場合の複断面における波のうちあげ高：ケース 、 、 、 】

改良仮想勾配法を用いた。改良仮想勾配法は、砕波水深 h_b 以上の断面積 A から仮想勾配 $\cot \alpha$ を算定して、波のうちあげ高を求める手法である(図 2.9.1-22、図 2.9.1-23)。砕波水深は、緩傾斜護岸または養浜上で砕波するとし、先に示した図 2.9.1-6 により算定した。

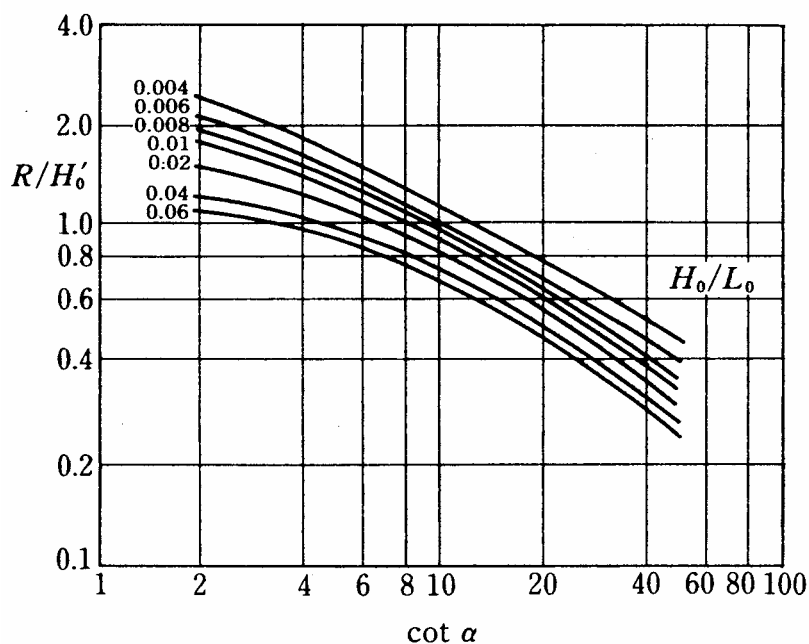


図 2.9.1-22 改良仮想勾配法による波のうちあげ高曲線

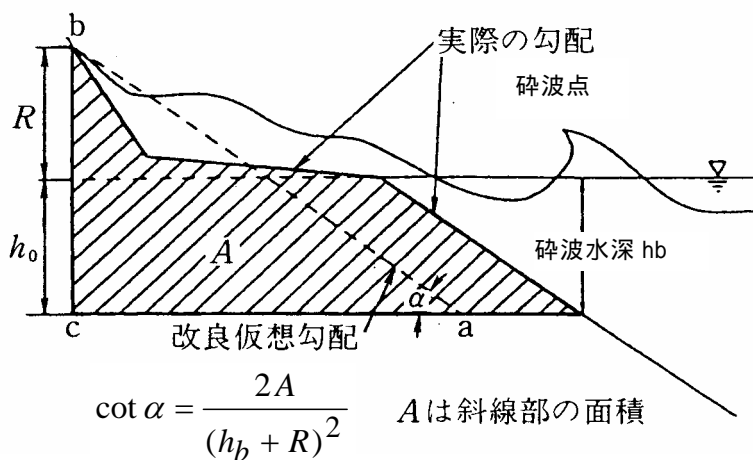


図 2.9.1-23 改良仮想勾配法による仮想勾配

表 2.9.1-9 護岸形状別の必要天端高

護岸形状 (表 2.9.1-10 参照)	波のうちあげ高による 必要天端高	許容越波量		算定の方法及び仮定	
		護岸被災限界(背後舗装ずみ) 0.20m ³ /m/s	背後地利用: 直背後の家屋(50%安全度) 70 × 10 ⁻⁵ m ³ /m/s	波のうちあげ高	許容越波量
直立堤(現況)	A.P. + 7.3m	A.P. + 5.2m	A.P. + 8.0m	海底勾配 1/20 堤脚水深 h=5.6m	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=5.6m
直立消波堤	A.P. + 6.8m	-	-	久宝ら(1967)の実験結果(図 2.9.1-18)を外挿	算定図なし
直立消波堤 + 養浜	-	-	-	久宝ら(1967)の実験結果(図 2.9.1-18)	算定図なし
直立堤 + 小段 10m + 直立護岸 * 小段天端高: H.H.W.L.	約 A.P. + 6.1m	約 A.P. + 5.2m	約 A.P. + 8.0m	豊島(1964)の実験結果(図 2.9.1-19)を外挿	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=5.6m
直立堤 + 小段(140m + Lm) + 直立護岸 * 小段天端高: H.H.W.L. - 1.5m	約 A.P. + 6.1m	A.P. + 5.2m	A.P. + 8.3m	豊島(1964)の実験結果(図 2.9.1-20 ~ 図 2.9.1-21)及び養浜した場合の値から推定	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=1.5m
直立堤 + 小段 140m + 直立護岸 + 養浜(1/100) * 小段天端高: H.H.W.L. - 1.5m	A.P. + 6.1m	A.P. + 5.2m	A.P. + 8.3m	改良仮想勾配法 (養浜上で 2 次碎波、碎波水深は海底勾配 1/50 で算定)	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=1.5m
直立堤 + 小段 10m + 緩傾斜護岸(1/5) * 小段天端高: H.H.W.L.	約 A.P. + 6.1m	約 A.P. + 5.2m	約 A.P. + 7.9m	豊島(1964)の実験結果(図 2.9.1-19)を外挿	海底勾配 1/10 堤脚水深 h=5.6m
直立堤 + 小段 140m + 緩傾斜護岸(1/5) + 養浜(1/100) * 小段天端高: H.H.W.L. - 1.5m	A.P. + 6.1m	A.P. + 5.2m	A.P. + 8.3m	改良仮想勾配法 (養浜上で 2 次碎波、碎波水深は海底勾配 1/50 で算定)	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=1.5m
緩傾斜堤(1/5)	A.P. + 7.4m	A.P. + 5.2m	A.P. + 7.2m	改良仮想勾配法 (緩傾斜堤上で 2 次碎波)	海底勾配 1/10 堤脚水深 h=0m
緩傾斜堤(1/5) + 養浜(1/80) * 養浜天端高: H.H.W.L. - 0.5m	A.P. + 6.1m	A.P. + 5.2m	A.P. + 6.9m	改良仮想勾配法 (養浜上で 2 次碎波、碎波水深は海底勾配 1/50 で算定)	海底勾配 1/30 堤脚水深 h=0.5m

注) 1. 太枠は基本ケースを示し、その他(現況を除く)は景観や水際へのアクセス性向上の観点から検討したケースである。
2. 波のうちあげ高による必要天端高の()内は計算値(計画高潮位 + うちあげ高 + 余裕高 0.5m)である。

なお、必要な天端高の設定については、模型実験等によるより詳細な検討が必要である。

また、護岸天端高は周辺の護岸設計の考え方にあわせて、波のうちあげ高による必要天端高を採用した。

次頁表 2.9.1-10 に、ケース設定した各護岸形状についての比較分析イメージを示す。

表 2.9.1-10 護岸形状のケース別比較分析

	河口干潟への影響	背後地の土地利用への影響	利用面			土砂収支	
			景観 (陸から海の景観眺望)	アクセス性 (水際への近づきやすさ)	親水性 (干潟・浅海域とのふれあい)		
直立消波堤		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.7m	水際(H.W.L.)までの高低差: 4.7m	護岸前面の海底形状: -	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット 変更面積は小さい	影響を受ける施設は少ない	-	-	-	-	
	デメリット -	-	海が見えない	水際に近づくことは困難	干潟・浅海域に直接ふれあうことは困難	-	-
養浜有り		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	水際(H.W.L.)までの高低差: m	護岸前面の海底形状: 養浜	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット -	-	大人の視点では海が見える	-	人の利用に適した養浜材の利用によって干潟・浅海域にふれあえる	-	
	デメリット 変更面積は大きい	影響を受ける施設は多い	-	水際に近づくことは困難	-	-	-
直立堤 + 小段 + 直立護岸		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から小段までの高低差: 1.0m 小段から水際(H.W.L.)までの高低差: 3.0m	護岸前面の海底形状: -	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット 変更面積は比較的小さい	影響を受ける施設は比較的小さい	大人の視点では海が見える	ある程度まで水際に近づくことが可能	-	-	
	デメリット -	-	-	-	干潟・浅海域に直接ふれあうことは困難	-	-
直立堤 + 小段 + 直立護岸		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から小段までの高低差: 2.5m 小段から水際(H.W.L.)までの高低差: 1.5m	護岸前面の海底形状: -	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット -	-	大人の視点では海が見える	-	-	-	
	デメリット 変更面積は大きい	影響を受ける施設は多い	-	水際に近づくことは困難	干潟・浅海域に直接ふれあうことは困難	-	-
養浜有り		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から小段までの高低差: 2.5m 小段から水際(H.W.L.)までの高低差: 0m	護岸前面の形状: 養浜	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット -	-	大人の視点では海が見える	-	人の利用に適した養浜材を用いることによって干潟・浅海域にふれあえる	-	
	デメリット 変更面積は大きい	影響を受ける施設は多い	-	水際に近づくことは困難	-	-	-
直立堤 + 小段 + 緩傾斜護岸		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から小段までの高低差: 1.0m 小段から水際(H.W.L.)までの高低差: 0m	護岸の形状: 緩傾斜護岸	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット 変更面積は比較的小さい	影響を受ける施設は比較的小さい	大人の視点では海が見える	水際に近づくことが可能	緩傾斜護岸の形状を配慮することによって親水性を高めることが可能	-	
	デメリット -	-	-	-	-	-	-
養浜有り		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から小段までの高低差: 2.5m 小段から水際(H.W.L.)までの高低差: 0m	護岸の形状: 養浜	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット -	-	大人の視点では海が見える	-	人の利用に適した養浜材を用いることによって干潟・浅海域にふれあえる	-	
	デメリット 変更面積は大きい	影響を受ける施設は多い	-	水際に近づくことは困難	-	-	-
緩傾斜堤		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 2.3m	天端から緩傾斜面までの高低差: 2.3m	護岸前面の形状: 緩傾斜護岸	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット 変更面積は比較的小さい	影響を受ける施設は比較的小さい	-	-	緩傾斜護岸の形状を配慮することによって親水性を高めることが可能	-	
	デメリット -	-	海が見えない	水際に近づくことは困難	-	-	-
養浜有り		評価値 変更面積: m ²	工場: 棟 家屋: 棟 道路: km	現地盤からの高さ: 1.0m	天端から緩傾斜面までの高低差: 1.0m	護岸前面の形状: 養浜	必要土量: m ³ 残土量: m ³
	メリット -	-	大人の視点では海が見える	水際に近づくことが可能	人の利用に適した養浜材を用いることによって干潟・浅海域にふれあえる	-	
	デメリット 変更面積は大きい	影響を受ける施設は多い	-	-	-	-	-

2.9.2 養浜の地形変化の検討

干潟生物の生息場の保全・再生や水際へのアクセス性向上に向けた考え方の一つとして、水際部の改善のため、砂浜地形を形成することが考えられる。その場合は、

現在生息する生物への影響を極力低減すること

外力（波浪等）に適合した地形とすること

が重要であることから、砂を供給し波浪等の自然の作用により、時間をかけて少しずつ地形を形成していくことが望ましい。

そこで、長期的な地形形成手法の検討資料とするため、三番瀬で過去に造成した船橋人工海浜の干潟地形の経年変化を整理した。

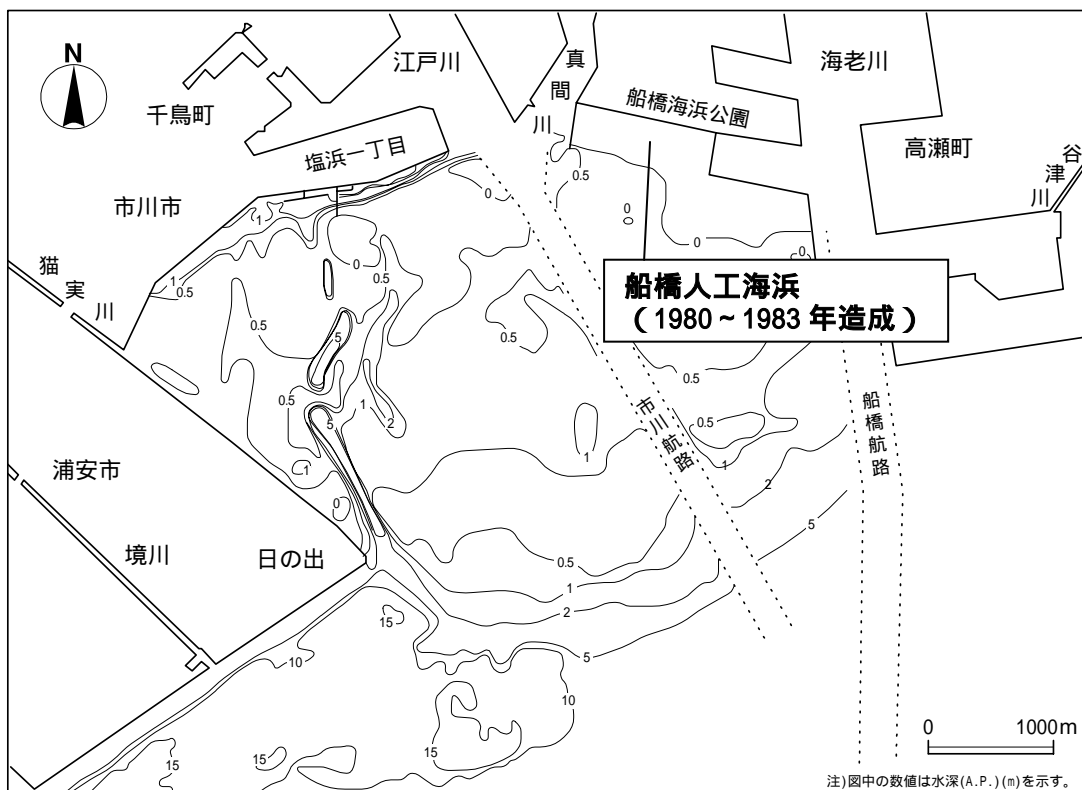
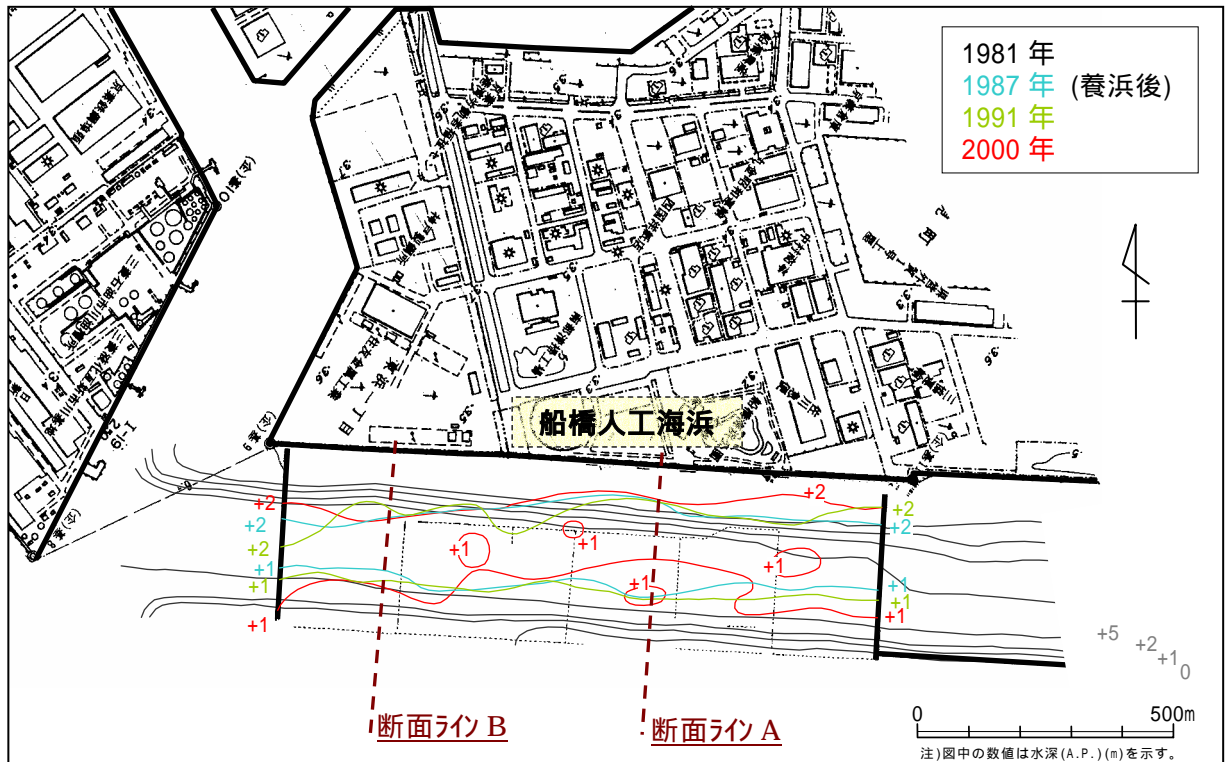


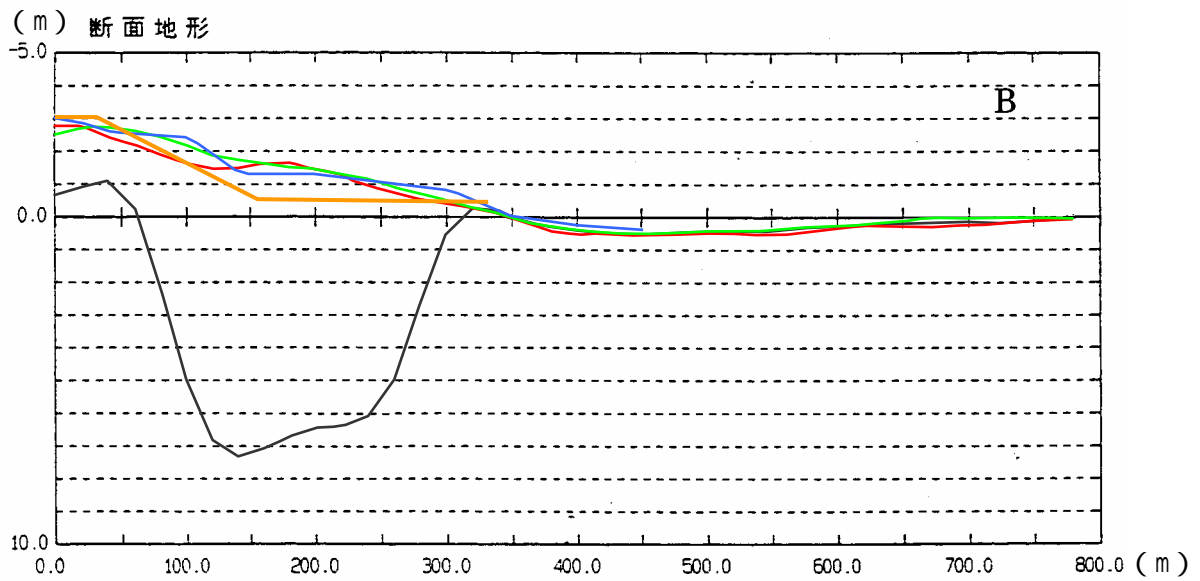
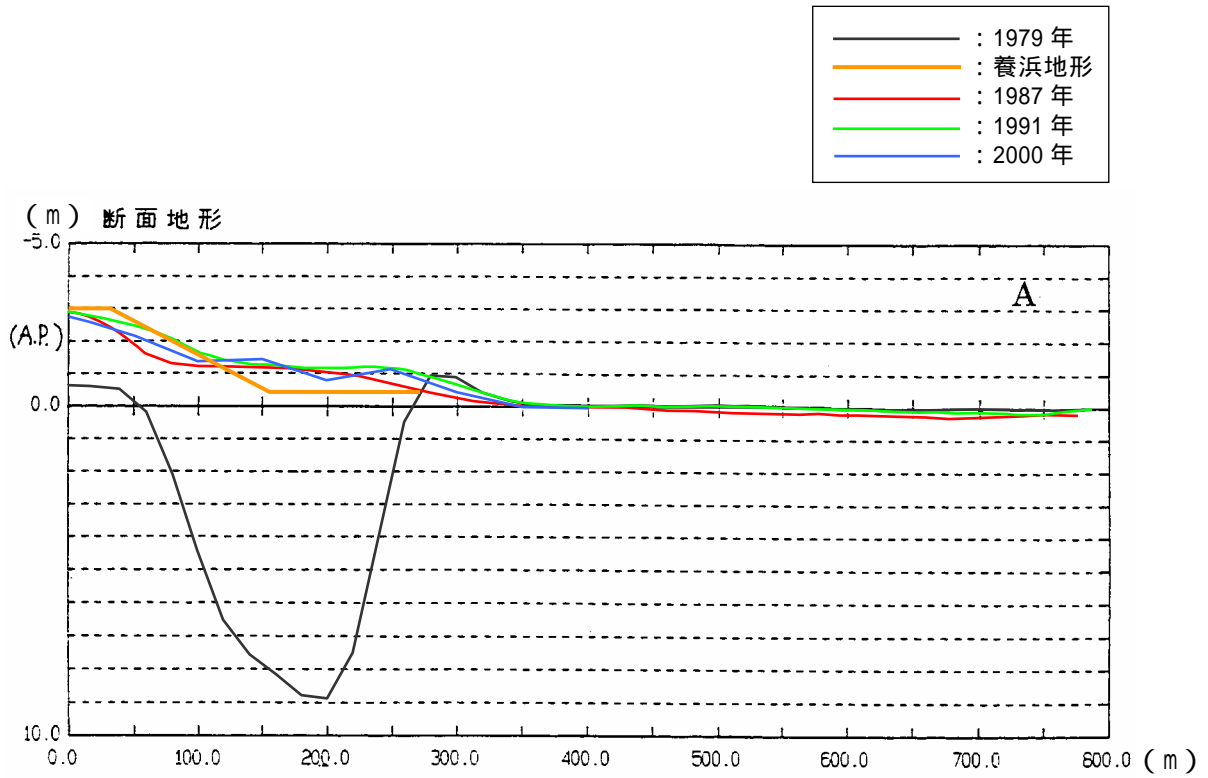
図 2.9.2-1 三番瀬で過去に造成した干潟

船橋人工海浜（1980～1983年造成）



出典) 千葉県土木部 (1981)、千葉県企業庁 (1987, 1991, 2000) より作成

図 2.9.2-2 船橋人工海浜の平面形状の変化



出典) 千葉県企業庁・(財) 港湾空間高度化センター (2000)

図 2.9.2-3 船橋人工海浜の断面形状の変化

引用文献

- ・合田良実(1975)：浅海域における波浪の碎波変形計算,港湾技術研究所報告,Vol.14 No.3.
- ・久宝雅史・多賀一允・遠藤茂勝・大橋一彦(1967)：消波のりおおいブロックに関する実験的考察,第14回海岸工学講演会講演集,pp.193-199.
- ・千葉県葛南港湾事務所(2000)：平成11年度 県単港湾調査委託 流動・波浪解析報告書(平成12年3月)
- ・千葉県企業庁(1987,1991,2000)：臨海北部地区深淺図
- ・千葉県企業庁・(財)港湾空間高度化センター(2000)：市川二期・京葉港二期地区人工海浜・干潟検討業務委託報告書
- ・千葉県都市部計画課(1996)：千葉県都市計画図
- ・千葉県土木部(1981)：千葉港深淺図
- ・千葉県土木部・千葉県企業庁(1999)：市川二期地区・京葉港二期地区計画に係る補足調査結果報告書 現況編 (海生生物)
- ・豊島修(1964)：表小段を持つ複断面型堤防への波のうちあげ高について,第11回海岸工学講演会講演集,pp.266-272.