

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

豊 島 修*

1. まえがき

海岸堤防は、計画高潮位と波浪に対して、十分なる高さや強度を要求されるが、また反面、工事費、用地、その他経済面、利用面など種々の理由から、できるだけ低い堤防が望ましいことは論をまたない。

海岸堤防の天ば高は、

(計画高潮位)+(波のうちあげ高)+(余裕高)

の高さを計画天ば高とするが、このうち「計画高潮位」は、伊勢湾高潮防波堤の例はあるが、これを工法的に下げることは容易なことではない。

したがって、与えられた条件に対して海岸堤防の天ば高をできるだけ低くするためには「波のうちあげ高」が小さくなるような堤防断面ないし工法を検討せねばならない。

波のうちあげ高は、海底勾配、堤脚水深、波の周期および波高のほか、堤防の断面形状、表のり勾配および構造によっても大きく変化する。

うちあげ高を小さくするには、堤防前面を浅くし、堤脚水深を小さくすることが最も効果的であると考えられる

が、人工的に養浜することは、工事費その他種々の理由で、わが国の現状ではなかなか実施が困難である。

またこれと同じ目的で、堤防法線を汙線から大きく後退させることも、わが国の国土の現状から考えて、その実現はかなり困難であると考えられる。

むしろ逆に遠浅地域では、積極的に干拓、埋立が行なわれ、海岸堤防は前へ前へと前進している状況である。

このような地域は、潮位差が大きく、かつ高潮が発生しやすい地域に該当することが多

く、台風時その他異常高潮時には、来襲する波も大きくなって、かなり高い堤防が必要となることが多い。

土木研究所では、最近、東京都奥部の荒川河口部および千葉県浦安町地先の浦安埋立計画の堤防について、それぞれ関東地方建設局ならびに千葉県の委託により、二次元水理模型実験を行ない、主として波のうちあげ高お

図-1

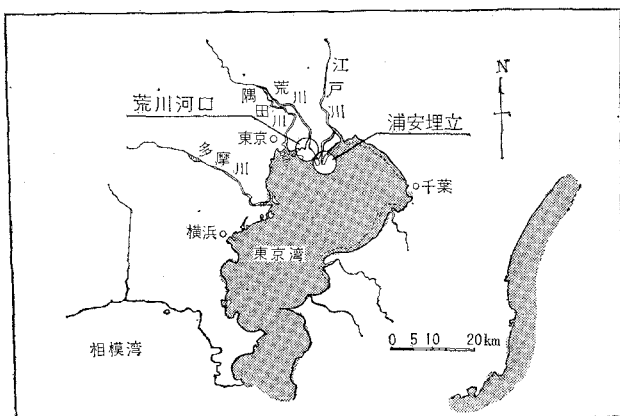


図-2 荒川河口部標準横断面図 (その1)

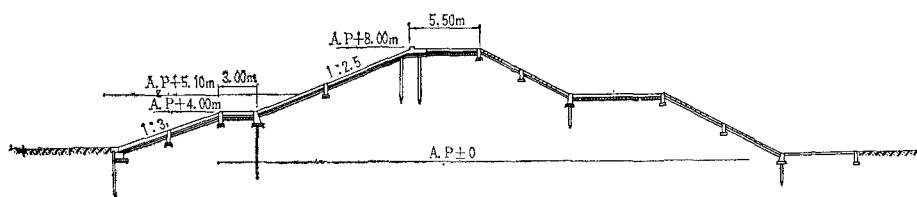


図-3 荒川河口部標準横断面図 (その2)

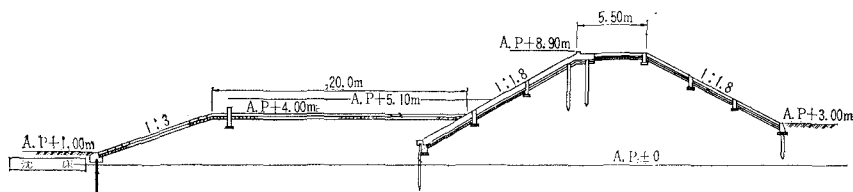
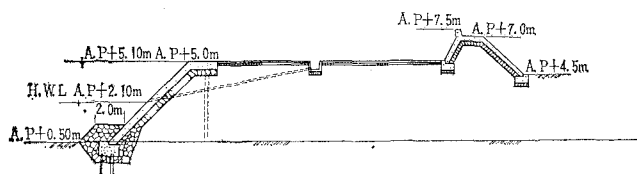


図-4 浦安埋立護岸断面図 (案)



* 正会員建設省土木研究所河川部海岸研究室

よび消波工による消波効果について検討を行なった。

これらの堤防はいずれも表小段を持つ複断面形式の堤防であって、単断面にくらべて波のうちあげ高がかなり小さくなることが認められた。

実験目的および方法がそれぞれ異なるため、全面的な比較検討はできないが、いずれも東京湾奥部に位置し、地形的、海象的条件がほぼ等しいので、これらの実験結果をならべて報告し、その一部について比較検討し、表小段の持つ意義ならびに、同時に行なった消波工の消波効果について報告する。

2. 堤防の種類

実験を行なった堤防は三種類で、それぞれつぎのとおりである。

① 荒川河口部 その1 (荒川Ⅰ堤防) : 荒川河口部右岸1km付近の河川堤防で、断面を図-2に示す。

② 荒川河口部 その2 (荒川Ⅱ堤防) : 荒川河口部右岸 -0.6km 付近の河川堤防で、断面を図-3に示す。

③ 浦安埋立護岸 (浦安堤防) : 千葉県が千葉県浦安町地先の江戸川河口東側に計画中の埋立護岸で、計画断面 (案) を図-4に示す。

3. 実験条件

(1) 潮位

潮位は、A.P.+5.10m, +4.00m の二通りとした。

このうち A.P.+5.10m は、

朔望平均満潮位 A.P.+2.10m

計画潮位偏差 3.00m

計 A.P.+5.10m

となっており、計画潮位偏差は、伊勢湾台風の規模によるモデル台風を用いて計算されたものである。

(2) 波

波は伊勢湾台風の規模によるモデル台風を用い、フェッチを SSE, S, S 15°W の三方向にとり、風向、風速の変化を考慮した S. M. B 法によって計算した。これによれば、

周期 6.3 ~ 7.7 秒

波高 2.19 ~ 3.65m

実験には都合により、それぞれつぎのような波を用いた。

堤防	周期 T'	波高 H_0
荒川Ⅰ堤防	7秒, 5秒	1.0~2.5m
荒川Ⅱ堤防	8秒, 7秒, 6秒	1.0~4.5m
浦安堤防	7秒	2.5~4.0m

(3) 風

浦安堤防の実験は、風を与えて行なった。風速は、30

m/sec を用いた。

(4) 模型縮尺

堤防模型の縮尺は、それぞれつぎのとおりとし、Froude の相似則を適用して換算した。

堤防	模型縮尺
荒川Ⅰ堤防	1/20
荒川Ⅱ堤防	1/25
浦安堤防	1/15

(5) 堤防模型断面

a) 荒川堤防 図-5 に示す断面に、消波工として、図-6 に示すようなり面粗度を 14 種類組合わせて用いた。

粗度は木製の棧を用い、それぞれつぎのような符号で表示した。

A, B, …… 棧の高さ、幅による形を示す。

a, b, c, …… 棧の中心間隔を示す。

図-5 荒川Ⅰ堤防模型断面図

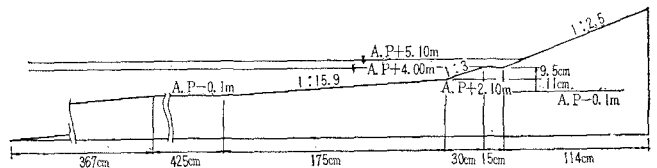
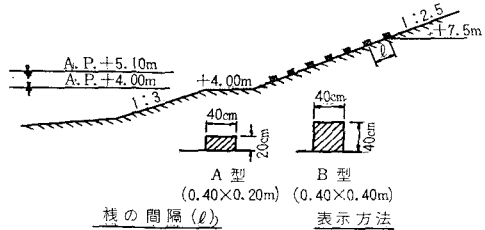


図-6



例) A・b・3
A型の棧を1.5m間隔に
3本配置させるもの

棧の本数

3本, 5本, 7本の三種

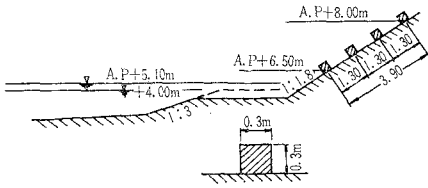


図-7 荒川Ⅱ堤防模型断面図

3, 5, 7, …… 棧の本数を示す。

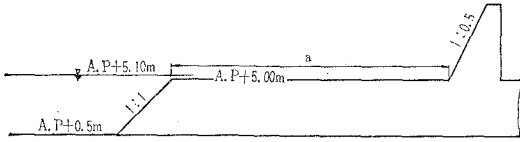
b) 荒川Ⅱ堤防 図-7 に示すように、小段高さを A.P.+3.0m と +4.0m の二種類とし、これに図-8 に示すような棧による粗度を設け、さらに消波ブロックとして、テトラポッド、および中空三角ブロックを種々タイプを変えて用いた。

図-8



c) 浦安堤防 断面を図-9に示す。小段高はA.P.+5.00mとし、小段幅 a は、23m, 39m, 50mの三通りに変化させて実験を行なった。

図-9 浦安堤防模型断面図



4. 実験装置および方法

a) 実験水槽 実験は各堤防とも、同じ水槽で行なった。使用した水槽は、土木研究所赤羽分室内の、長さ35m, 高さ2.0m, 幅0.6m, 観測部は両面ガラス張りの鋼鉄製水槽で、造波機および風洞をそなえた屋内水槽である。

b) 堤防模型 模型はすべて木材でつくり、海底も木材による固定床とした。

c) 測定 波高測定には抵抗線式波高計を用い、無現像電磁オシログラフにより記録した。

波のうちあげ高は目測およびシネカメラを用い、浦安堤防の場合の風速の測定は、微圧ピトー管を使用し、堤防前面の海面上10mの点で30m/secになるよう調整した。実験は同一条件で3回行なった。採用した値は、測定値が定常状態になった以後の約10波についての平均値である。

5. 実験結果とその考察

(1) 波のうちあげ高と小段の効果

a) 荒川I堤防 図-10に実験結果を、横軸に波高、縦軸にうちあげ高(標高にて表示)をとり、 h/L_0 をパラメーターとして示してある。また、のり勾配3割の単断面(小段なし)の場合のうちあげ高を、土木研究所の実験結果²⁾により、推算して同時に記入してある。

これによれば、潮位4.0mの場合は推算値のほうがうちあげ高が一般に大きく、多少小段の効果が現われていると考えられるが、潮位5.10mの場合には、ほとんど差はないようである。ただし、推算値と実験値の h/L_0 の値が多少異なり、かつ、単断面のほうは3割勾配で計算しているので、厳密な意味での比較にはならないが、小段幅3mぐらいでは、あまり効果はないようである。

図-10 荒川I堤防

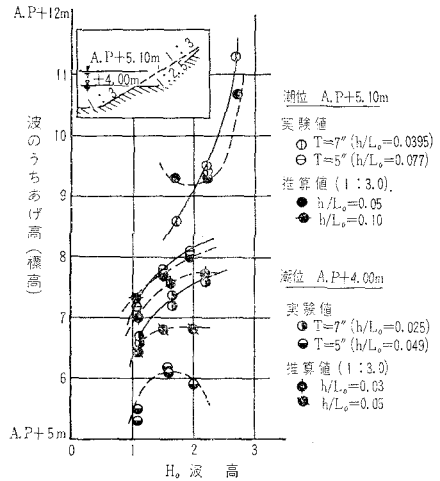


図-11は、 R/H_0 についての実験値と推算値との比較を示したもので、潮位4mの場合は、多少効果があると思われる。

b) 荒川II堤防 図-12に実験結果を示す。(a)は

図-11

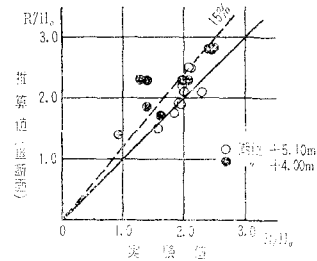
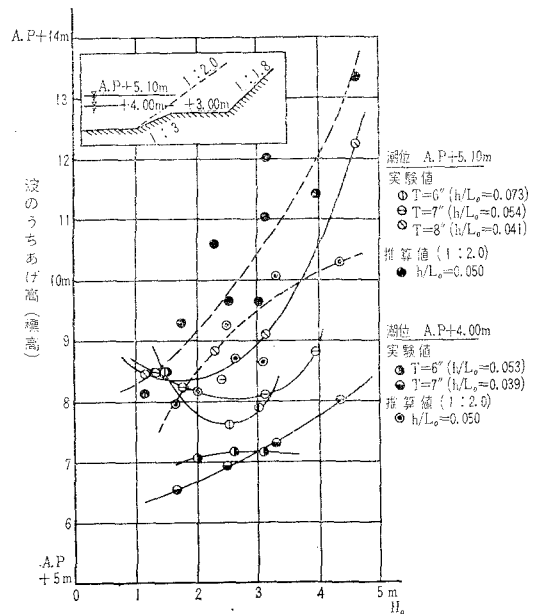
図-12 (a) 荒川II堤防
(小段高 A.P.+3.00m)

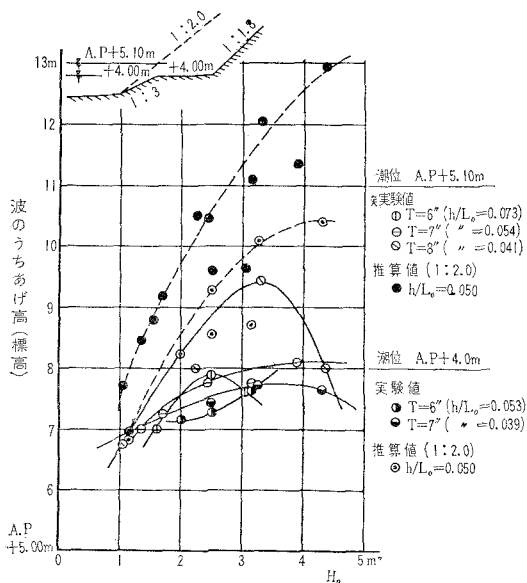
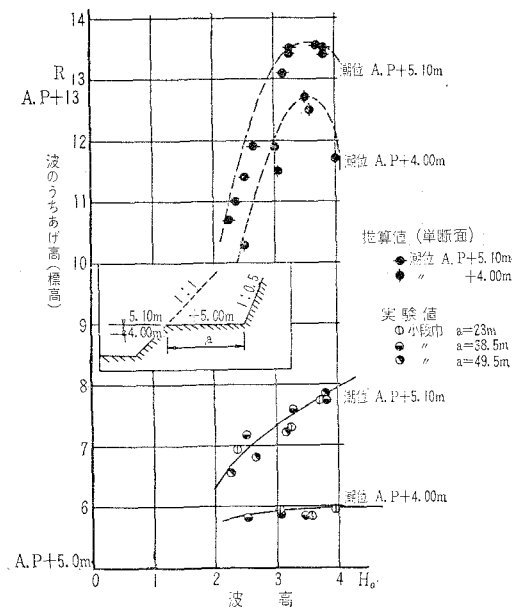
図-12 (b) 荒川II堤防
(小段高 A.P.+4.00 m)

図-14 浦安堤防



小段高が A.P.+3.00 m の場合、(b) は 4.00 m の場合の結果を示す。

いずれも、のり勾配 2 割の単断面の場合の推算値も前と同様に記入してある。

のり勾配も、 h/L_0 の値もそれぞれ異なっているので、厳密な意味での比較にはならないが、小段の効果は、かなり明かである。

また、図-13 は、 R/H_0 の値を比較したものであるが、小段高が A.P.+3.00 m の場合は 50% 程度、+4.00 m の場合は、40~80% うちあげ高が小さくなっており小段による効果はきわめて大きいことがわかる。

図-13 荒川II

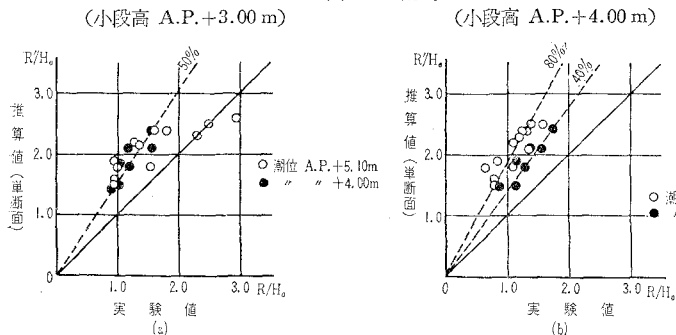


図-15

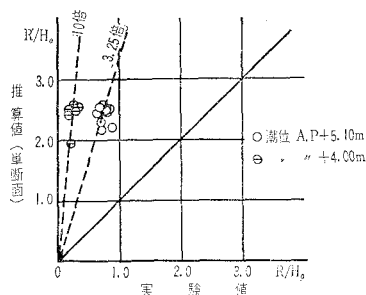
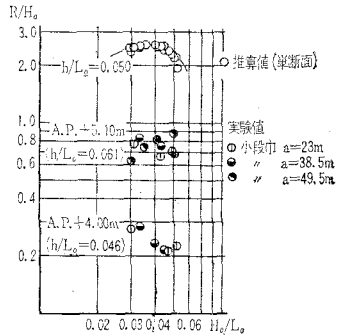


図-16



c) 浦安堤防 図-14 に、前と同様な表示方法により、実験値と推算値とが示してある。

ただし実験は海底勾配 0、推算値は 1/30 の勾配によるものであり、かつ実験は風速 30 m の風を与えてあるのに対し、推算値は無風の場合の値である。

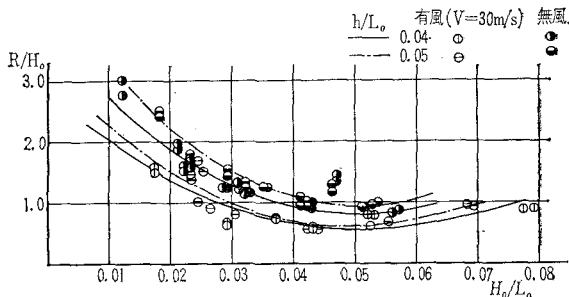
これによれば、小段の効果はきわめて大きく、うちあげ高に 5~6 m の差を生じている。

図-15 は、 R/H_0 の実験値と推算値との比較であって実に 3~10 倍の値を示しており、浦安堤防の場合、小段の効果がいかに大きいかがわかる。

また、図-16 は、 H_0/L_0 を横軸に、 R/H_0 を縦軸にとり表示したもので、 R/H_0 の値は、0.8~0.3 程度の値を示している。

ただし、この実験は先にのべたように、30 m/sec の風

図-17 波のうちあげ高と風の影響(荒川II堤防)



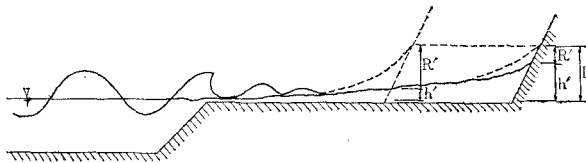
を与えて実験したもので、無風の場合の実験は都合により行なわなかった。風の影響については、現在同水槽で実験中であって、いまだ全般的な結論を得るに至っていないが、荒川II堤防と同じ断面で実験を行なったところでは、図-17に示すように、風速 30 m/sec の場合は無風時のうちあげ高より約3割程度小さくなるようである。

この結果を、ただちに浦安堤防に適用することは、かなり問題はあるが、浦安堤防の場合、有風の実験値を無風の推算値と比較しているので、無風の実験値は多少大きく目に出ることが予想され、したがって小段の効果も多少割引いて考える必要があると思われる。

つぎに、浦安堤防では小段の幅 a を、23 m, 39 m, 50 m に変化させて実験を行なったが、この範囲では、うちあげ高にほとんど差が認められなかった。

これは風の影響もあると思われるが、小段部に堆積する水位に大きく影響されることが考えられる。すなわち、図-18に示すように、風と波によって運ばれた水は、小段部にある勾配で堆積し、本堤前面の水深 h' (図参照)

図-18



は、小段幅が大きくなればある程度大きくなる。

一方、小段上を進行する波は、小段上を伝播する間にある程度エネルギーを失ない、小段幅が大きくなると、本堤部でのうちあげ高 R' は、しだいに小さくなる。この h' の増加率と、 R' の減少率のいかんによって、うちあげ高 R がきまるわけであり、実験の範囲では、この R の値はあまり変化がなかった。

なお、 $a=12$ m の場合についても実験を行なって検討したが、やはりうちあげ高 R には小段幅 a の影響は認められなかった。

以上、3堤防について、波のうちあげ高と小段との関係、実験結果ならびに、ほぼ同条件と考えられる場合の単断面(小段なし)での推算値とを比較しながらのべてきた。これら3堤防について一括した小段特性を示す

ことは、小段の高さ、幅、勾配などそれぞれ異なり、かつ実験条件が異なるので、困難であるが、おおむねつぎのような共通点をもつと考えられる。

a) 小段の幅 小段幅はあまり小さいと効果は少ない。この実験結果では、周期 7~8 秒、波高 3~4 m 程度の波に対しては 10 m 程度以上あれば、かなり有効に働くと考えられる。

また浦安の結果では、12~50 m までは、うちあげ高に大差はなく、荒川II堤防が幅 20 m であることから考えても、小段幅は上の程度の波に対しては、10~20 m あれば、かなり有効であると思われる。ただし、小段の高さは、静水面にかなり近い高さをもつことが必要である。

b) 小段の高さ 小段は、その高さが静水面にくらべて高いほど、うちあげ高は小さくなり、有効に働らくと考えられる。

すなわち、静水面と同程度またはそれ以上の高さをもつときは、もちろん幅との関連もあるが、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。

これらの関係については、小段上の水位変動(堆積水深の変化)とともに今後さらに検討をすすめてゆくつもりである。

(2) 堤防のり面の粗度による消波効果

荒川I堤防荒川II堤防について、本堤部のり面に棧による粗度を設けて、うちあげ高を測定し、粗度による消波効果を調べた。

a) 荒川I堤防 荒川I堤防には、図-6に示したように 14 種の組み合わせについて実験を行なった。実験条件は、潮位 A.P.+5.10 m, 周期 7 sec, 波高 1.60~2.60 m とした。実験結果を 図-19に示す。図-19は、横軸に $H₀/L₀$ 、縦軸にうちあげ高を、粗度のある場合とない場合の比で示している。これによれば、

① 棧の形は、高さ 20 cm のA型より 40 cm のB型のほうが効果が大きい。

② 棧の間隔は、 a (1.00 m) にくらべて、 b (1.50 m) および c (2.00 m) がより効果が大きい。 b と c とではそれほど大きな差はない。

③ 本数は、3本より5本のほうが有利であるが、5本と7本ではそれほど差はない。

④ 一般に1割ないし3割程度うちあげ高を減らすことができるが、Aaの場合は効果は小さく、BC5の場合は、ほとんど5割程度まで減らしうる。

なお、周期 5 sec の場合や、潮位 +4.00 m の場合も実験を行なったが、うちあげ高そのものが小さく、粗度の効果が明確でないので省略した。

b) 荒川II堤防 荒川II堤防には、図-8に示した

図-19 荒川Ⅰ堤防粗度による効果
潮位 A.P.+5.10 m (周期7" $h/L_0=0.0395$)

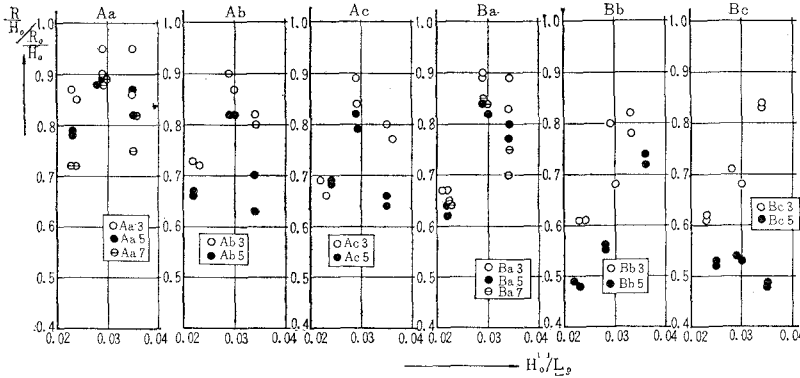
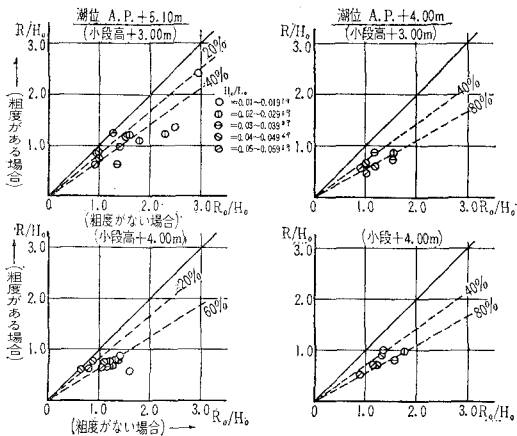


図-20 荒川Ⅱ堤防の粗度による効果



ような粗度を用い、潮位は A.P.+5.10 m と +4.00 m、小段の高さが +4.00 m と +3.00m の 4 ケースについて実験した。

R/H_0 の値を粗度のある場合とない場合とについて比較すると図-20 のようになる。

これによれば、

- ① 潮位 4.00 m の場合は、40~80% うちあげ高が減少し、きわめて有効である。
- ② 潮位 5.10 m の場合も、一部 H_0/L_0 の大きい部分を除けば、だいたい 20% 程度の効果はある。
- ③ H_0/L_0 の小さいほうが、比較的に効果があるようである。

以上、のり面粗度による消波効果について要約すれば、のり面粗度としての棧が有効に働くのは、うちあがる水脈の比較的上部の薄い部分に対してである。したがって、本堤のり尻部の堆積水深の深い所や、水脈の厚い場所における粗度はあまり有効ではない。したがって、このような粗度は、ゆるい傾斜の堤防か、あるいはまた、この実験におけるように、小段をもった堤防などで、波がのり面をはい上がる場合にのみ有効であり、急傾斜の単断面堤防には、あまり効果は期待できないと考

えられる。

(3) 消波ブロックによる消波効果

荒川Ⅱ堤防について、テトラポッドおよび中空三角ブロックを用いて、消波効果を調べた。

実験の都合上、潮位は A.P.+5.1 m、小段の高さは +3.00 m、波の周期 8 秒、波高 4.60 m について、消波工の形をいろいろ変えて比較を行った。

実験結果を図-21 に示す。

図-21 消波ブロックによる消波効果
(荒川Ⅱ堤防、潮位 A.P.+5.10 m、小段高 A.P.+3.00 m)
(波の周期 8 sec、波高 4.60 m、使用消波ブロック重量 4 t)

No.	消波工	ブロック配列	R/H_0	うちあげ高 R_m	うちあげ高 (標高) A.P. + m									
					7	8	9	10	11	12	13			
①	1:2.0 +3.00m	単断面 推算値	1.8	8.30							13.40			
②	+3.00m		1.56	7.15							12.25			
③		のり面 粗度	1.19	5.47							10.57			
④		2層3列	1.13	5.09							10.19			
⑤	テトラ 4t	2層3列	0.90	4.14							9.24			
⑥		1層5列	0.74	3.40							8.50			
⑦		1層4列	0.92	4.23							9.30			
⑧		1層3列	1.16	5.34							10.44			
⑨		1層3列	0.85	3.91							9.01			
⑩		1層4列	0.64	2.94							8.04			
⑪		1層4列	0.56	2.58							7.68			
⑫	中空三角 4t	1層5列	0.67	3.08							8.18			
⑬		1層4列	0.75	3.45							8.55			
⑭		1層3列	1.14	5.25							10.35			
⑮		1層4列	0.56	2.58							7.68			
⑯		1層3列	0.63	2.90							8.00			
⑰		1層2列	0.91	4.20							9.30			
⑱		1層2列	1.00	4.60							9.70			

No. ① は単断面の場合のうちあげ高推算値を参考に示した。標高で示すと、A.P.+13.40 m である。荒川Ⅱ堤防が②で +12.25 m となる。これに対し、のり面粗

度、テトラポッド、および中空三角ブロックによる消波工のいろいろの組み合わせによる結果が③から⑭まで示してある。

これによると、粗度はかなりの効果を示し、消波ブロックと組み合わせるとさらに効果があるようである。はいあがる波の水脈が薄いため消波ブロックは一層で十分で二層積のものより、同じ個数を一層積にしたほうがより効果が大きい。粗度およびブロックを組み合わせることによって、うちあげ高を $A.P. + 7.70\text{ m}$ 程度に下げることが可能であり、ブロックによる消波効果の差はほとんど認められない。

6. 結 論

以上 3 堤防についての、小段、粗度および消波工の実験結果とその効果についてのべた。

普通の単断面堤防であれば、 $A.P. + 13\text{ m}$ 以上の高さが必要な場合でも、表小段、さらには粗度および消波工の組み合わせによって、 8 m 以下に高さを下げることが認められた。

この複断面型堤防の利点を要約すると、つぎのとおりである。

- (1) 堤防全体の高さを低くすることができる。
- (2) 堤防が低く、前小段を広くとるため、デルタな

どの不良地盤に対して有利である。

(3) 計画高潮位が高く、偏差の大きい所では、その発生ひん度から考えて、普通の場合は小段面を道路や物あげ場として十分利用できる。

(4) 本堤ののり面に消波工を設ければ、波は小段上を伝播し減衰した状態で本堤に衝突するため、堤防前面に設ける普通の消波工に比し、はるかに小規模で良く、かつ効果的であり、発生する飛沫も少ない。

しかしながら、これらは二次元水理模型実験結果から得られた結論であり、現地の計画に当たっては、経済面、利用面、さらには工法的にも十分検討さるべきであろう。

7. あとがき

模型実験および資料整理は、海岸研究室、伊藤生哲、及川直也、奥山寿徳、堀内靖章の四君によって行なわれたことを記し、ここに謝意を表するとともに、これらの実験が、関東地方建設局および千葉県委託により行なわれたことを付記する。

参 考 文 献

- 1) 豊島・首藤・橋本：海岸堤防への波のうちあげ高——海底勾配 1/30 ——，第 11 回海岸工学講演会講演集，1964.