

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 736 June. 1992

新しい護岸構造による
越波流量低減効果

高 山 知 司
池 田 直 太
立 石 義 博

運輸省港湾技術研究所



新しい護岸構造による越波流量低減効果

目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 新防護護岸の考案	5
2.1 越波を低減させる要因	5
2.2 菱形階段護岸	5
2.3 多段パラベット護岸	6
2.4 水平スリット護岸	6
2.5 パラベット水平階段護岸	6
2.6 サイドステップ護岸	8
2.7 うずまき護岸	8
2.8 複断面護岸	9
3. 実験条件	9
3.1 実験諸元及び実験ケース	9
3.2 実験施設	14
3.3 実験方法	18
4. 実験結果	20
4.1 菱形階段護岸の越波流量低減効果	21
4.2 多段パラベット護岸の越波流量低減効果	24
4.3 水平スリット護岸の越波流量低減効果	26
4.4 パラベット水平階段護岸の越波流量低減効果	28
4.5 サイドステップ護岸の越波流量低減効果	30
4.6 うずまき護岸の越波流量低減効果	32
4.7 複断面護岸の越波流量低減効果	33
5. 考 察	41
5.1 護岸前面におけるサーフビートについて	41
5.2 越波流量低減効果に対する護岸の法面に設けた凹凸の効果	42
5.3 越波流量低減効果に対する護岸遊水部の効果	43
5.4 各護岸形式の比較	43
6. あとがき	44
参考文献	46
主要記号表	47
付録A：各護岸の越波流量データ及び換算天端高係数	48
付録B：遊水部を有する形式の護岸の遊水部の容積と換算天端高係数の関係	67
付録C：各護岸模型の詳細図および寸法	76

Model Test on New Type of Seawall for the Reduction of Wave Over Topping Rate

Tomotsuka TAKAYAMA*

Naota IKEDA**

Yoshihiro TATEISHI***

Synopsis

Seven types of seawalls, which are supposed to be effective to reduce wave over topping even with their lower crown heights, are newly developed. The hydraulic characteristics of each seawall are investigated by the model tests. The main results are as follows; (1) In the case of large wave steepness, the seawalls which have roughness on its front face are effective. (2) The seawalls which have the bigger chamber behind slits on the front face are the more effective. (3) As to the seawall which have wide plane area between front and rear steps, the heights of plane area should be from 20% to 40% of deep water wave heights. (4) Among the seawalls which are studied in this report, "Side-Step seawall" and "Lateral-Slit Seawall" are most effective.

Key words: Wave over topping, Accessible seawall, Crown height

* Director of Hydraulic Engineering Division

** Research Engineer of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division

*** Former Member of Wave Laboratory, Hydraulic Engineering Division (Shimonoseki Research and Design office, 4th Port Construction Bureau)

新しい護岸構造による越波流量低減効果

高山知司*
池田直太**
立石義博***

要 旨

海岸堤防や護岸を計画、設計するときにもっとも重要な諸元は、天端高である。一般的にはこの天端高が高ければ高いほど越波を防止する機能が高まるので安全であり、また、低ければそれだけ安全性が低下する。本報告では、まず、護岸の天端高を下げる意義が大きな事例を整理した上で越波流量が低減するような新しい護岸の構造を考案し、その水理的特性について検討した。また、それらの護岸の構造的な特徴が越波の低減にどの程度の効果を発揮するかについても、各護岸の越波流量低減効果を考察することによって検討した。得られた主要な結論は、以下ようになる。(1)沖波の波形勾配が大きい場合、傾斜護岸の法面に凹凸をつけることによって越波流量を低減できる。そして、沖波波高に対する護岸の階段の段高や法面に設けた凸部の突起の高さの比が大きくなるほど、越波流量が低下する。(2)護岸に遊水部を設けて越波流量を低減させる場合、遊水部の大きさが大きいほど越波流量を低減できる。(3)階段護岸の前面に広い水平な部分を設けて越波流量を低減させる場合、水平な部分の高さを沖波波高の2割から4割程度にするのがよい。また、水平な部分の天端幅と沖波波長の比は、波形勾配が0.012の場合には0.05、波形勾配が0.036の場合には0.1程度にするのがよい。(4)今回考案した護岸形式の中ではサイドステップ護岸がもっとも天端高を下げることができる。また、護岸前面に砂浜がある場合には水平スリット護岸が適している。沖波の波長が大きい場合には、菱形階段護岸でも直立護岸よりも天端高を下げるができる。

キーワード：越波，親水性護岸，天端高

* 水工部長
** 水工部波浪研究室
*** 水工部波浪研究室（現第四港湾建設局下関調査設計事務所）

1. まえがき

海岸堤防や護岸を計画、設計するときにもっとも重要な諸元は、天端高である。一般的にはこの天端高が高ければ高いほど越波を防止する機能が高まるので安全であり、また、低ければそれだけ安全性が低下する。これに対して、海岸で憩う人々の利便や海岸線の景観を良くするという観点に立てば、護岸の天端は低いほうがよい。以前は、護岸や海岸堤防などの防護施設が整備されていない海岸が多く、早急に防災対策を施す必要があったため、建設費用が安い直立護岸や天端高の高い傾斜護岸及び階段護岸が建設されてきた。しかし、現在のわが国は、国民総生産で世界一になり、生活者の視点から国民一人一人が「豊かさ」を実感できる「国造り」が、重要になりつつある。したがって、今後の海岸事業においては、いかにして安全性を保ちつつ護岸の天端高を下げるかということが、課題になってくると思われる。

護岸の天端高を下げる意義が特に大きい場合を考えてみると、図-1(a)~(d)に示すような場合であろうかと思われる。一つは、図-1(a)に示すような養浜した海岸である。この場合は、汀線付近に人工海浜をつかって人々

に憩いの場を提供するのであるから、人が人工海浜に入りやすいように、護岸の天端高は低いほどよいと考えられる。このように養浜した海岸に護岸を築く場合には、後浜の後方に護岸を配置する。したがって、この場合には、護岸の許容越波流量は小さく設定され、護岸前踵が平均水面よりも上になることが想定される。また、多くの人々の往来がしやすいこと、たとえ護岸前面まで波が到達しても、前面の砂浜に大きな影響を及ぼさないような護岸型式が望まれる。

図-1(b)は、打ち寄せる波が大きく、汀線付近が磯になっていて、かつ、風景の美しい海岸である。このような海岸では、護岸の天端が高いと海岸沿いの道路や民家から美しい風景が見えなくなるため、護岸の天端を下げる意義は大きいと考えられる。この場合は、護岸前面の水深は0~2m程度で、来襲する波が大きいことが想定される。また、前面が磯であるため、護岸が前面の地形に及ぼす影響は考えなくてよい。

図-1(c)は、高潮の恐れのある海岸である。通常、人工海浜の設計は、高潮位を基準として行われる。これに対して護岸の設計潮位はこれよりも高く、既往最大潮位や高潮計算によって推算された潮位が設計潮位として採

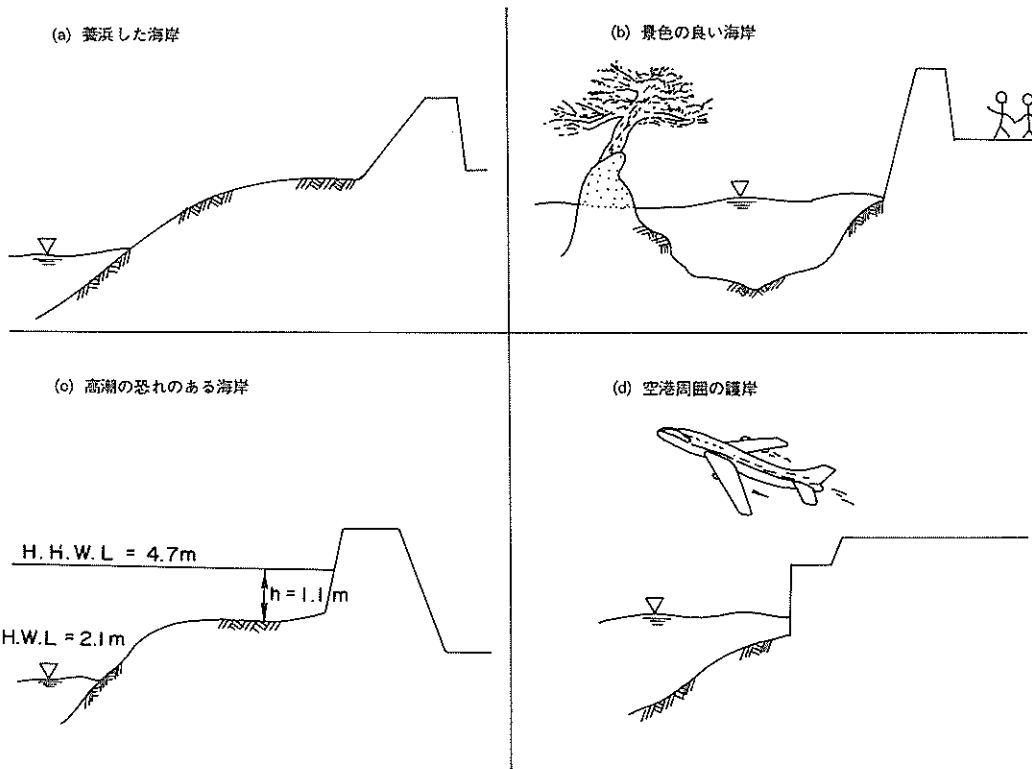


図-1 護岸天端高を下げる意義の大きな事例

用される。図一(c)に示した数字は、愛知県のある海岸を例にとったものである。このように、高潮の恐れのある海岸では、護岸の設計潮位が後浜の高さを上回ってしまうことがある。したがって、設計上、護岸前踵は平均水面よりも下になり、護岸の所要天端高は高くなるのが想定される。しかし、このように潮位が高くなる頻度は何十年に1回程度と考えられ、通常の状態では潮位は低く、この海岸に入る人は高い天端の護岸を越えていかなければならない。したがって、このような高潮の潮位の高いところでは、通常の護岸よりも天端を低くできる護岸をつくる意義が大きいと考えられる。

図一(d)は、空港周囲の護岸である。近年、ジェット機の大型化に対応するための滑走路の延伸を埋立によって実施することがある。この場合、滑走路周囲に設置される照明設備などを守るために、埋立護岸の越波流量を小さくすることが必要である。しかし、飛行機の離発着の安全を図るために滑走路周囲の構造物の高さは厳しく制限されており、越波流量を小さくするために天端高を単純に高くすることはできず、場合によっては護岸の沖側に防波堤を築く必要がある。このため、越波流量低減効果の大きな護岸の開発が望まれる。

過去にも低天端護岸の開発についての研究例は、いくつかある(例えば、合田・岸良(1976)、山口ら(1979)、高山ら(1982)、山本・西(1984)、間辺ら(1986))。しかしながら、図一に示したような汀線近くの護岸について、天端高低減効果の大きな護岸は、まだ開発されていない。そこで、本研究では、天端を下げることで、かつ、人が海へ往来しやすような新しい護岸構造を考案し、それらの越波特性を実験的に検討した。

2. 新防護護岸の考案

2.1 越波を低減させる要因

護岸の構造と越波、あるいは、波のはい上がり高さの関係については、過去にいくつかの研究結果がある。石原ら(1957)は、直立護岸及び傾斜護岸の越波特性を明らかにするために規則波を用いた実験を系統的に行うとともに、アメリカ合衆国のビーチエロージョンボードで行われた実験結果(Saville(1955)、Sibul(1956))を整理して、傾斜護岸の法面形状や、法面の粗度が越波量に及ぼす影響について述べている。これによると、護岸法面の頂部に沖側にせりだすパラベットをとりつけると越波量が著しく減少したり、法面の粗度によって越波量が減少すると述べている。そして、波高が大きいほど、天端高が高いほど粗度の効果が現れるとしている。高田(1967)は、護岸頂部にパラベットをとりつけた場合や、

傾斜護岸の法面の下部を空洞にするともに法面に空隙を設けて透過斜面とした場合の越波量について、規則波を用いた実験によって検討している。これによると、直立護岸と比較してパラベットを有する傾斜護岸は、10~30%程度越波量が減少すると言われている。また、法面の下部を遊水部にすると、通常の傾斜護岸の10~20%程度に越波量を低減できるとしている。また、遊水部の大きさを大きくするほど越波量減少効果が大きくなるとしている。郭・李(1970)は、一様勾配斜面上の波の打ち上げ高に及ぼす斜面の粗度の影響について規則波を用いた実験によって検討している。これによると、斜面に粗度をつけた場合の波の打ち上げ高さは粗度をつけない場合よりも減少し、斜面の勾配が緩いほど、また沖波波形勾配が大きいほど、沖波波高が高いほど、粗度の効果が大きくなるとしている。服部・佐藤(1973)は、護岸と汀線の間に幅の広い遊歩道を設けた断面形状に関して越波実験を行っている。これによると、幅の広い遊歩道を設けることによって越波流量を低減できること、遊歩道の海側にパラベットをつけないほうがよいことが明らかになっている。

以上のような既往の研究によれば、越波流量を低減するためには、大まかに分けて次の3通りの方法が考えられる。一つは、傾斜護岸の法面に凹凸をつける方法である。一つは、護岸に遊水部を設ける方法である。そして一つは、護岸の前面に水平な部分を設けて、打ち寄せる波を水平方向に走らせてから越波させるようにする方法である。

本研究においては、以上のような既往の研究を参考にして、7種類の形式を考案した。本章では、これらの護岸の開発の狙いと形状及び実験パラメーターについて説明する。なお、実験に用いた護岸模型の詳細な諸元については、巻末に付録として示す。

2.2 菱形階段護岸

図一2と写真一1は、菱形階段護岸の構造を示したものである。法面に設けた菱形の水平板は、波が遡上するときに波が「く」の字形に曲がって蛇行しながら遡上して、菱形の板の上でぶつかりあうことによって遡上する波のエネルギーを減殺させることを意図したものである。すなわち、菱形階段護岸は、傾斜護岸の法面に凹凸を設けることによって、打ち寄せる波の流れを乱すことによって波が越波するまでのエネルギー損失を大きくし、越波流量を低減することをねらったものである。

通常の階段護岸では、人間は海の方に向まっすぐに降りてゆくが、菱形階段護岸では、菱形の水平板の上を斜

め、あるいはジグザクに降りてゆくことになる。人の通行の便から菱形階段護岸の構造について考えると、菱形の階段部分を降りるときに菱型の角から角に降りると一度に2段分の高さを降りることになる。階段上には手すりが無いので、菱形の角から角に過って降りてしまう人がいることも予想される。したがって階段1段の高さを高くしたり、菱形階段の水平部分の面積を小さくすると危険であり、また、通行する人間に恐怖感を与えることになる。以上のことを総合的に判断して、階段1段の高さを25cm、水平部分の菱形の1辺の長さを約1mとした。

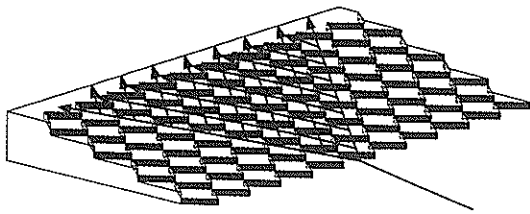


図-2 菱形階段護岸

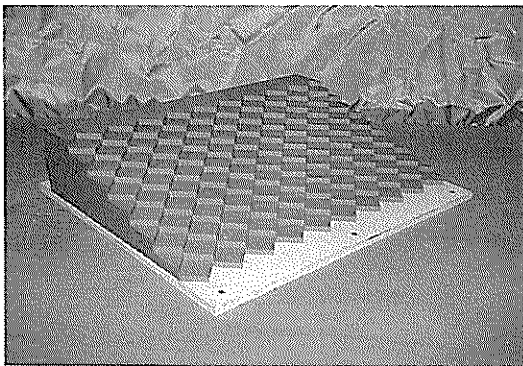


写真-1 菱形階段護岸

2.3 多段パラペット護岸

この護岸は、図-3及び写真-2に示すように斜面の法面上に鉛直なパラペットを設け、パラペットの天端と天端を階段で結んだものである。パラペットとパラペットとの間に水がたまるのを防ぐために、図-3に示すように排水口を設けてある。この護岸は、パラペットによって傾斜護岸の法面に凹凸をつけたような構造になっており、これによって打ち寄せる波の流れを乱し、波が越波するまでのエネルギー損失を大きくして、越波流量を低減することをねらったものである。

法面上のパラペットの高さについては、高くしたほうが遡上する波を大きく乱すので越波流量低減効果が大きくなることが期待できる。しかし、人の利用の観点からパラペットの高さを考えると、パラペットが高いと危険となるので、この高さを1.0mとした。階段部分については、階段の1段の高さを25cmとした。また、階段の幅は、利用上からも、越波流量低減効果の上からも重要なパラメーターになることが予想されるが、本研究ではこれを一定にして実験した。

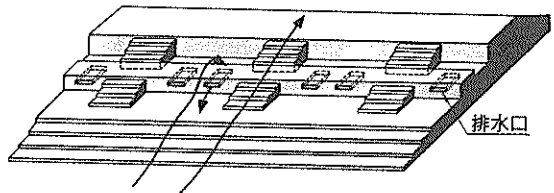


図-3 多段パラペット護岸

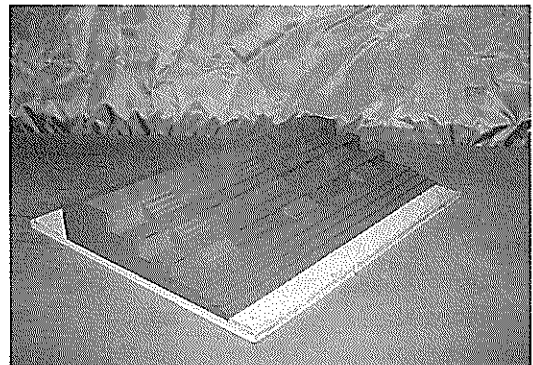


写真-2 多段パラペット護岸

2.4 水平スリット護岸

この護岸は、図-4及び写真-3に示すように、階段護岸の階段の下を中空の遊水部としたものである。階段部分は、遊水部の中に設けられた控え壁によって踏板が支持されるような構造になっており、踏板と踏板の隙間から水が遊水部に流出入できる。そして、波が遊水部に流出入するときに生じる渦によって波のエネルギーを減殺して越波流量を低減させることを意図している。

階段部分の諸元はおもに耐久性と人間の通行のしやすさから決まると考えられる。耐久性からは、階段の踏板的厚さが、20cm以上必要と考えられる。また、階段1段の高さは、人間が困難を感じなくてすむ範囲に抑えるべきで、それは25cm以下であろうと思われる。踏板と踏板的隙間の大きさについては、あまり大きいと幼児が転落したり足を引っかけたりする恐れがあるので、10cm以下が妥当と思われる。本研究では、これらを総合的に判断して、階段の厚さを20cm、階段1段の高さを25cm、スリットの隙間の厚さを5cmとした。また、スリット状の階段の勾配は、急勾配にすると通行する人間に恐怖感を与えるため、現行の階段護岸でもっともよく採用されている1/3とし(柴田ら(1981))、階段の水平部分の幅は75cmとした。

また、控え壁が踏板的を支持する箇所は、踏板的を固定するためにコンクリートを打つことを考えて斜面にしてある。実験中の観察によると、この斜面部分を水がはい上がり、越波する現象がみられたため、この部分の頂部には図-4に示すようにパラベットを設けてある。この護岸は、内部に水が入る構造になっているため、護岸内部における水の挙動が観察できるように、写真-3に示すように模型を透明なアクリル板で製作した。

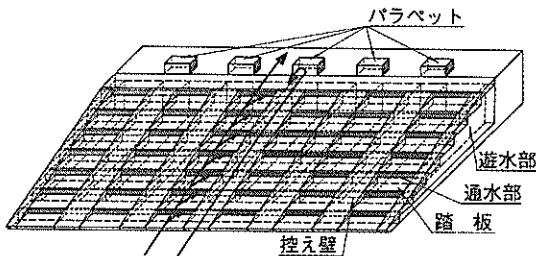


図-4 水平スリット護岸

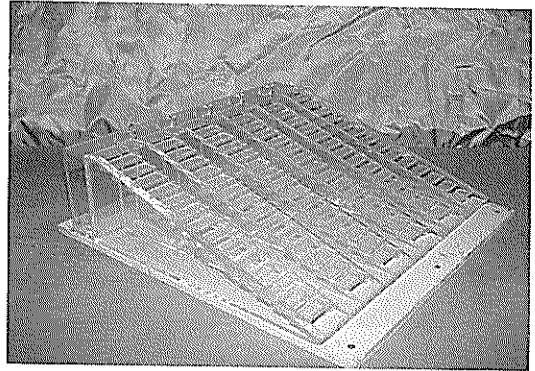


写真-3 水平スリット護岸

2.5 パラベット水平階段護岸

この護岸は、図-5及び写真-4に示すように階段と斜面を組み合わせた版を傾斜護岸の上に1ブロックずつ段々に積み重ねた構造をしている。この版は傾斜護岸の斜面上のところどころに設けた支持台によって支えられるため、版の下は空洞となっており、遡上する波の一部が流出入する遊水部となっている。この護岸は、水平スリット護岸と同様に水が遊水部に流出入するときのエネルギー損失によって越波流量の低減をねらっている。但し、通水部の大きさや遊水部の体積は、水平スリット護岸よりも小さくなっている。

この護岸の構造諸元については、水平スリット護岸と同様に人の通行の便と耐久性を考えて、版と版の重なる部分の隙間の大きさを5cmとし、この隙間にかぶさる版の厚さを25cmとした。

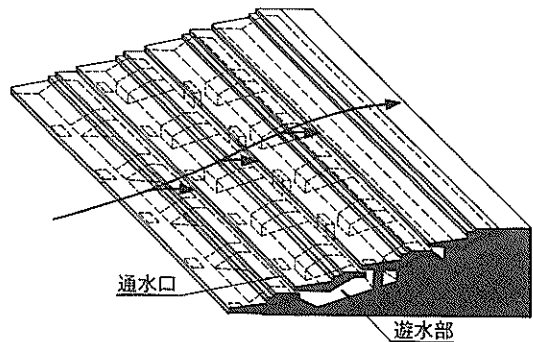


図-5 パラベット水平階段護岸

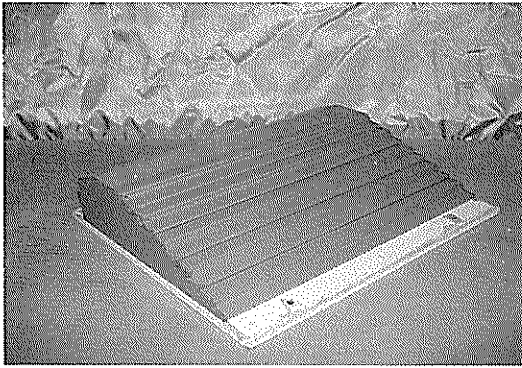


写真-4 パラペット水平階段護岸

2.6 サイドステップ護岸

図-6と写真-5はサイドステップ護岸の構造を示したものである。現在建設されることの多い階段護岸では、人が海へ降りてゆく方向と波が遡上してくる方向が同一直線上にあるために、人が通行し易くなる反面、波も遡上し易くなる。このため、許容越波流量に対する階段護岸の所要天端高は、直立護岸よりも高くなる。そこで、サイドステップ護岸は、人が海に降りてゆく方向と波が遡上する方向が異なるように、海を横に見ながら人が階段を降りてゆくような構造にした。また、階段の海側には鉛直壁を設け、波の一部をこの鉛直壁で反射させるようにしてある。以後、便宜上この鉛直壁を「前壁」と呼ぶ。また、前壁によって階段部分が遊水部のようになり、波が陸上に越波するには一度この遊水部に入ってから越波することになる。したがって、波が遊水部に入るときの渦によるエネルギー損失によって越波流量を低減することが期待できる。

前壁は強大な波力を受けることが予想される。そこで前壁の厚さは十分な強度が得られるように1mとした。また、階段部分の諸元は人間の通行のしやすさを考えて、1段の高さを20cm、1段の幅を30cmとした。この他、階段部分の幅や、前壁と前壁の隙間の幅は、人間の利用上からも、護岸の水理特性からも重要なパラメーターとなることが予想される。しかし、本研究ではこれらを一定として天端高と、階段の段数だけを変えて実験を行った。

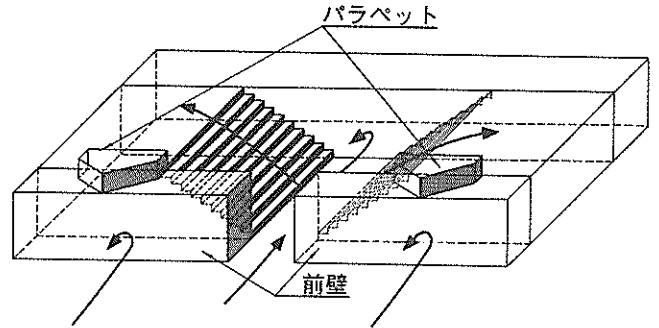


図-6 サイドステップ護岸

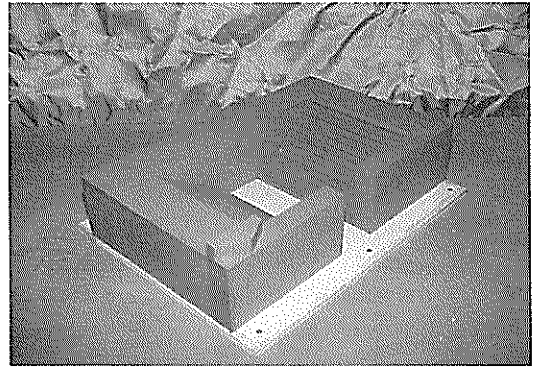


写真-5 サイドステップ護岸

2.7 うずまき護岸

この護岸は、サイドステップ護岸と同様に人が海に降りてゆく方向と波が遡上する方向が異なるように、護岸天端から海のほうへ降りる階段をらせん状に曲げたもので、図-7及び写真-6に示すような構造をしている。この図に示すように、護岸前面の階段の出口に当たるところ以外は鉛直壁にして、波の一部をこの鉛直壁で反射させるようにしている。階段部分がらせん状になっているのは、この部分に進入した波を沖側に反転させ、海側の鉛直壁を越波する波にぶつかりあうようにして、越波しようとする波のエネルギーを減殺することを意図したものである。また、波がらせん階段を遡上するときは、遠心力によって外側の水位が高くなることが予想されるため、らせん階段の外周側の壁の上部にパラペットを取り付けた。階段から海への出口の部分には、5角形の柱を設けて波が階段部分に進入するときの入り口を絞り、波がこの狭い部分を通り抜けるときにエネルギーを損失するようにしている。

この護岸の諸元、すなわち、らせん階段部分の曲線の形や曲率半径、階段の勾配などについては、いろいろと変えることが可能である。しかしながら、本研究では、

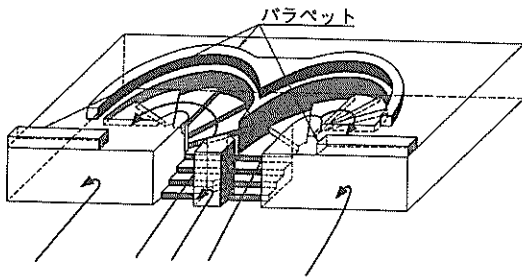


図-7 うずまき護岸

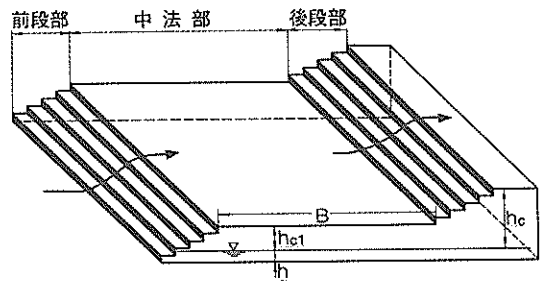


図-8 複断面

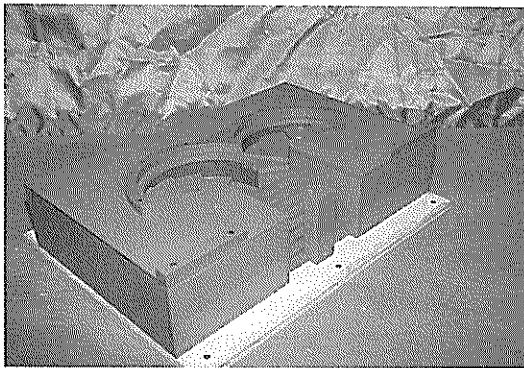


写真-6 うずまき護岸

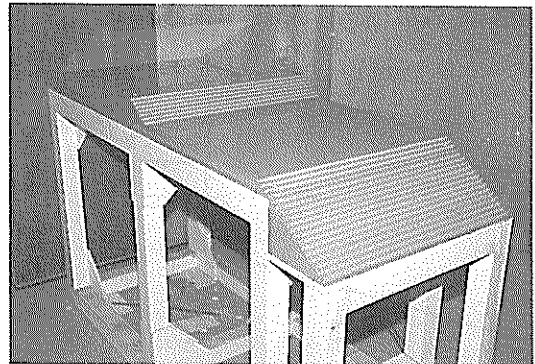


写真-7 複断面

天端高だけを変えて実験した。なお、天端高を変えるときには、直線状の階段部分の長さや護岸の天端幅だけを変えることによって天端高を調整した。

2.8 複断面護岸

この護岸は、図-8及び写真-7に示すように階段護岸の階段の途中に広い水平な踊り場を設けたような構造をしている。広い水平な部分には、公園やボートハウス、レストラン、パレーコート、テニスコートなどを整備することによって、護岸そのものを多目的に利用することができる。以後、便宜上、沖側の階段部分を「前段部」、岸側の階段部分を「後段部」、前段部と後段部の間の広い水平部分を「中法部」と呼ぶことにする。

この護岸の諸元の中では、中法部の天端幅 B が越波量に大きな影響を及ぼすことが予想される。また、前段部の高さ、すなわち中法部の天端高 h_{c1} も越波流量に影響するものと予想される。そこで、本研究では、これら2つのパラメーターを変化させて実験した。

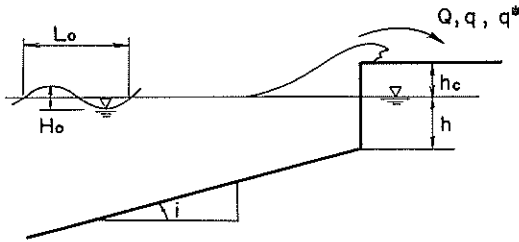
3. 実験条件

3.1 実験諸元及び実験ケース

合田ら(1975)によると、直立護岸の越波流量 q に影響を及ぼすパラメーターには、図-9に示すように、沖波有義波高 H_0' 、沖波有義波長 L_0 、護岸前面の海底勾配 i 、護岸前面水深 h 、護岸天端高 h_c などがある。また、このほかに越波流量に及ぼす風の影響についてもいくつかの報告があるが(たとえば、富永・佐久間(1968))、護岸の計画や設計において風の影響を考慮できるほどの研究成果はまだ得られていない。そこで、本研究では、風の影響については考慮しないことにした。実験における沖波の条件としては、風浪とうねり性の波の両方を対象とする事を考え、波形勾配 H_0'/L_0 を0.012と0.036の2種類の不規則波を設定した。波の周波数スペクトルとしては、合田(1987)が次式のように提案している修正 Bretschneider-光易型のスペクトルを採用した。

$$S(f) = 0.205 H_0'^2 T_{1/3}^{-4} f^{-5} \exp[-0.75(T_{1/3} f)^{-4}] \quad (1)$$

ここに、 $H_{1/3}$ 、 $T_{1/3}$ は、それぞれ有義波高、有義波周期を表す。また、護岸前面水深 h については、実験の対象とした護岸が汀線付近に設置することを想定して考案されていることから、水深沖波波高比 h/H_0' を -0.2 と 0 の2通りに設定した。また、実際の護岸の設計では、許容越波流量 q_s を $10^{-3} \sim 10^{-2} (m^3/m \text{ s})$ 程度にとることが多い。沖波有義波高 H_0' を $5m$ および $10m$ として、無次元許容越波流量 $q_s^* = q_s / \sqrt{2gH_0'^3}$ を計算すると、それぞれ $2 \times 10^{-5} \sim 10^{-4}$ および $7 \times 10^{-6} \sim 10^{-5}$ 程度になる。ここに g は重力加速度である。そこで、実践護岸の天端高 hc は、合田ら(1975)の直立護岸の越波流量図を用いて無次元越波流量が $10^{-6} \sim 10^{-3}$ と算定される範囲に設定した。なお、実験期間の制約から、水底勾配 i については $1/30$ についてのみ実験した。



図一 越波流量のパラメーター

実験は、Part1とPart2の2回に分けて実施した。1回目の実験(Part 1)では、模型縮尺を $1/50$ 、造波装置前面における水深を $55cm$ 、沖波有義波高を現地換算で $5m$ 、 $7.5m$ 、 $10m$ とし、菱形階段護岸と多段パラベット護岸、水平スリット護岸、パラベット水平階段護岸、複断面護岸について実験した。2回目の実験(Part 2)は、模型縮尺を $1/25$ 、造波装置前面における水深を $70cm$ 、沖波有義波高を現地換算で $5m$ として実施した。Part2の実験で対象としたのは、菱形階段護岸と水平スリット護岸、サイドステップ護岸、うずまき護岸、複断面護岸である。Part1の実験において目標とした実験波の諸元を表一に示し、そのときの実験ケースを表二に示す。また、Part2の実験において目標とした実験波の諸元を表三に示し、そのときの実験ケースを表四に示す。不規則波を用いて実験を行ったときの統計的変動性を低減させるため、表一及び表三に示すように同一の波浪条件に対して波連の異なる2つの波を造波して実験を行った。

このように模型縮尺を変えて実験する場合、模型縮尺

表一 実験波諸元 (実験 Part 1)

Wave	H_0'/L_0	H_0' (cm)	T_0 (sec)	L_0 (m)	K_s ($h=55$)	h_b (cm)	$H_{1/3}$ (cm)
1	0.012	10	2.31	8.33	0.979	26	9.8
2	0.036	15	1.69	4.17	0.920	34	13.8
3	0.012	15	2.83	12.5	1.050	40	15.75
1	0.036	20	1.89	5.56	0.930	45	18.6

の違いが実験結果に及ぼす影響について考慮しておく必要がある。越波実験における模型縮尺の違いが実験結果に及ぼす影響については、過去に岩垣ら(1968)が検討している。これによると、模型縮尺の影響は、実験波の周期によって整理できることが報告されている。すなわち、大きな模型縮尺を採用して実験波の周期を $1.0s$ よりも大きくした場合に比較して、小縮尺を採用して実験波の周期が $1.0s$ よりも短い場合には、模型縮尺の影響が顕著に現れ、越波量が急激に増えるとしている。そして模型縮尺が大きくなって実験波の周期が $2.0s$ 以上になると、模型縮尺が越波実験に及ぼす影響はほとんど見られなくなると述べられている。したがって本研究の場合、表一および表三に示すように、波形勾配 H_0'/L_0 が 0.012 の実験波の周期は $2.0s$ 以上であり、模型縮尺が実験結果に及ぼす影響はないと考えられる。また、波形勾配 H_0'/L_0 が 0.036 の実験波の場合には、Part 1とPart 2の実験における周期がそれぞれ $1.69s$ と $1.89s$ と周期の差が比較的小さい。したがって、両者の実験結果を同等に扱うことに関しては、大きな問題はないと考えられる。

表-2 実験ケース (実験 Part 1)

No	護岸型式	模型高 (cm)	h (cm)	hc (cm)	備考
1	水平スリット	6	0	6	
2			0.2	4,3,3,2	
3			0	8	
4			0.2	6,5,5,4	
5			0	10	
6			0.2	8,7,7,6	
7	菱形階段	6	0	6	
8			0.2	4,3,3,2	
9			0	8	
10			0.2	6,5,5,4	
11			0	10	
12			0.2	8,7,7,6	
13	複断面	6	0	6	
14			0.2	4,3,3,2	
15			0	8	
16			0.2	6,5,5,4	
17			0	10	
18			0.2	8,7,7,6	
19	バラベット	6	0	6	
20			0.2	4,3,3,2	
21			0	8	
22			0.2	6,5,5,4	
23			0	10	
24			0.2	8,7,7,6	
25	広天端幅 (B = 20cm)	6	0	6	
26			0.2	4,3,3,2	
27			0	8	
28			0.2	6,5,5,4	
29			0	10	
30			0.2	8,7,7,6	
31	(B = 30cm)	6	0	6	
32			0.2	4,3,3,2	
33			0	8	
34			0.2	6,5,5,4	
35			0	10	
36			0.2	8,7,7,6	
37	(B = 50cm)	6	0	6	
38			0.2	4,3,3,2	
39			0	8	
40			0.2	6,5,5,4	
41			0	10	
42			0.2	8,7,7,6	
43					
44					
45					

表-3 実験波諸元 (実験 Part 2)

Wave	Ho'/Lo	Ho' (cm)	To (sec)	Lo (m)	Ks (h=55)	hb (cm)	H1/3 (cm)
5	0.036	20	1.89	5.6	0.920	30	18.4
6	0.012	20	3.27	16.7	1.055	30	21.1

表-4 実験ケース (実験 Part 1)

No	護岸型式	模型高 (cm)	h (cm)	hc (cm)	備考
1	水平スリット	8	-4	12	
2	パラベット付		0	8	
3			4	4	
4		12	-4	16	
5			0	12	
6			4	8	
7		16	-4	20	
8			0	16	
9			4	12	
10		20	-4	24	
11			0	20	
12			4	16	
13	菱形階段	8	-4	12	
14			0	8	
15			4	4	
16		12	-4	16	
17			0	12	
18			4	8	
19		16	-4	20	
20			0	16	
21			4	12	
22		20	-4	24	
23			0	20	
24			4	16	
25	うずまき	8	-4	12	
26	パラベット付		0	8	
27			4	4	
28		12	-4	16	
29			0	12	
30			4	8	
31		16	-4	20	
32			0	16	
33			4	12	
34		20	-4	24	
35			0	20	
36			4	16	
37	サイドステップ	8	-4	12	
38			0	8	
39			4	4	
40		12	-4	16	
41			0	12	
42			4	8	
43		15.2	-4	19.2	
44			0	15.2	
45			4	11.2	

表-4 実験ケース (実験 Part 2)

No	護岸型式	模型高 (cm)	h (cm)	hc (cm)	備考
1	広天端幅 (B = 50cm)	14.4	-4	18.4	
2			0	14.4	
3			4	10.4	
4		17.6	-4	21.6	
5			0	17.6	
6			4	13.6	
7		20.0	-4	24.0	
8			0	20.0	
9			4	16.0	
10		22.4	-4	26.4	
11			0	22.4	
12			4	18.4	
13	(B = 100cm)	14.4	-4	18.4	
14			0	14.4	
15			4	10.4	
16		17.6	-4	21.6	
17			0	17.6	
18			4	13.6	
19		20.0	-4	24.0	
20			0	20.0	
21			4	16.0	
22		22.4	-4	26.4	
23			0	22.4	
24			4	18.4	
25	(B = 50cm)	17.6	-4	21.6	
26			0	17.6	
27			4	13.6	
28		20.8	-4	24.8	
29			0	20.8	
30			4	16.8	
31		23.2	-4	27.2	
32			0	23.2	
33			4	19.2	
34		25.6	-4	29.6	
35			0	25.6	
36			4	21.6	
37	(B = 100cm)	17.6	-4	21.6	
38			0	17.6	
39			4	13.6	
40		20.8	-4	24.8	
41			0	20.8	
42			4	16.8	
43		23.2	-4	27.2	
44			0	23.2	
45			4	19.2	
46		25.6	-4	29.6	
47			0	25.6	
48			4	21.6	

3.2 実験施設

(1) 実験水路

実験に用いた水路は、運輸省港湾技術研究所の大型水工実験場内にある長さ40mの水路である。この水路には、図-10(a)に示すように両端に消波工があり、また、片端には造波装置が据え付けられている。水路の幅は、造波装置の前面で2m、水路の途中から1.5mとなっている。本研究では、図-10(a)に示すように、この水路を仕切壁で幅60cmと90cmの2つに仕切り、幅60cmのほうに斜面模型、護岸模型、集水枡を設置して測定を行った。また、仕切壁は集水枡と消波工の間で途切れており、ここから幅90cmの水路を進行した波が集水枡のほうに回り込んでくるのを防ぐために、コンクリートブロックによって壁を設けた。

図-10(b)は、実験水路の断面図を示している。この図に示すように、造波装置前面から12m離れた地点から1/10勾配の長さ3.5mの斜面模型と1/30勾配の長さ10.5mの斜面模型を設置してある。1/10勾配の斜面を用いたのは、1/30勾配の斜面模型だけを用いて護岸前面の水底勾配を造ると造波装置前面の水深が浅くなり、目標とする実験波高が得られないおそれがあるためである。これらの斜面模型は木製で、底部に重錘をいれて水路内に固定されている。また、斜面模型と水路の側壁および仕切壁との隙間には、ここから水が漏るのを防ぐため、シリコン材を用いて目地止めした。造波装置から11m離れた地点には、40cmの間隔をおいて2本の容量式波高計を設置し、これらによって得られた水面波形を合田ら(1976)の提案している方法によって解析して、入射波と反射波の分離計算を行った。また、護岸前面の斜面上における波の変形を調べるために、図-10(b)に示すように、斜面上にも容量式波高計を設置して水面波形を測定した。

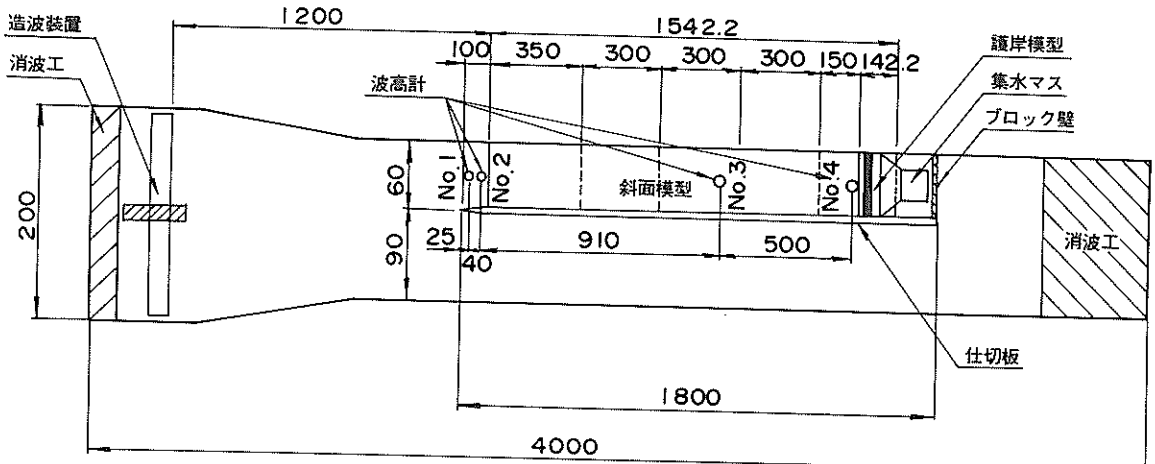
(2) 造波装置

図-11は、本研究で用いた造波装置の構造を示したものである。これは、昭和63年に製作したもので、設計水深1.0m、最大ストローク±60cm、最大発生波高35cm(規則波造波時)のピストン型の不規則波造波装置である。この造波装置の特徴は、水路内に設置した模型から反射されて返ってくる波が造波板で再反射しないように造波制御できることである。

従来の造波装置では、水路内に設置した護岸の模型で反射された波が、造波板で再反射され、本来の入射波に重なって護岸や防波堤の模型に作用する事が避けられなかった。従って、従来の造波装置で越波実験を行う場合、造波装置に送る信号を一定にしても、護岸の天端高

が高くなると護岸の反射率が大きくなり、入射波が大きくなるために、実験の精度が低下することがあった。本研究で用いた造波装置では、このようなことがないため、従来の装置よりも精度よく実験することが期待できる。なお、この低反射型造波装置の制御方法の理論および適用性については、すでに平口ら(1988)によって明らかにされているので、本文でこれを述べることは省略する。

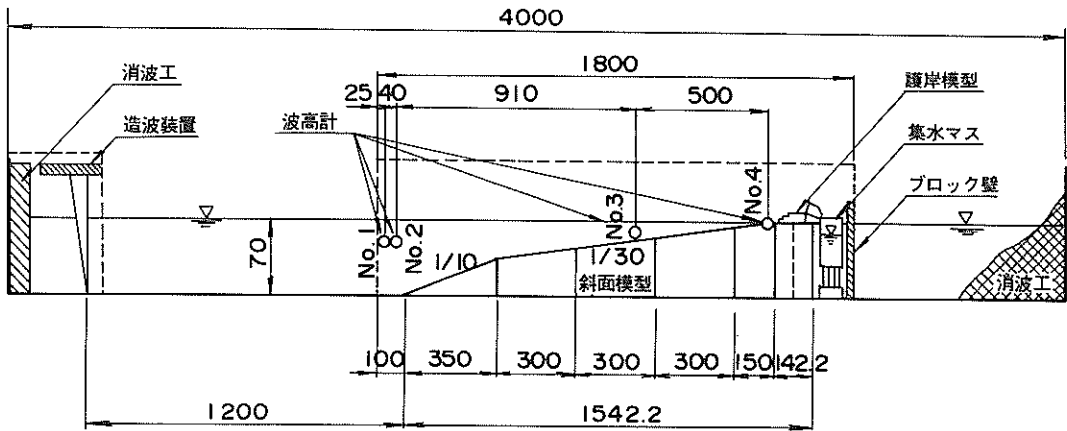
図-12は、この造波装置の制御システムを示したものである。この図に示すように造波信号の作成や計測データの収集をパーソナルコンピューターが受け持ち、造波板の低反射制御や運転準備のON/OFF、造波装置のSTART/STOPを演算装置が受け持っている。また、図中の制御盤は、造波装置の電源のON/OFFや異常信号の検出を受け持っている。なお、造波信号の作成用のプログラムは、パーソナルコンピューターのハードディスクに保存されており、造波したい波の波高や周期を対話形式でコンピュータに入力することによって、造波信号を簡単に作成することができる。また、作成した造波信号や計測したデータは、フロッピーディスクに保存することができる。



$$S = \frac{1}{50}, \frac{1}{200}$$

(UNIT : cm)

(a) 平面図



$$S = \frac{1}{50}, \frac{1}{200}$$

(UNIT : cm)

(b) 断面図

図-10 実験水路

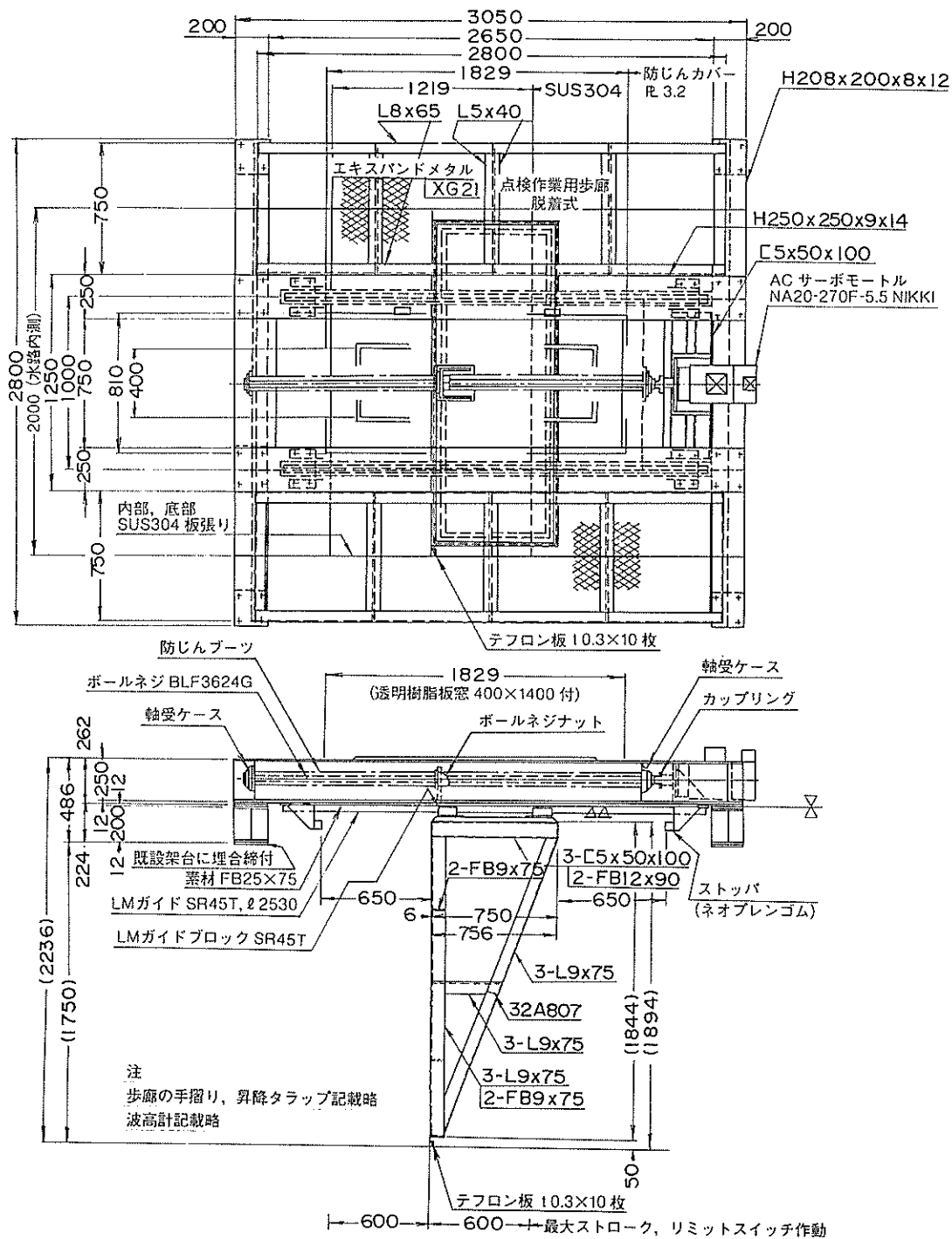


図-11 造波装置

表一5 (a) 実験造波信号入力値 (実験 Part 1)

Wave	H 1/3	T 1/3	分割数	乱数初期値
1 - 1	10.0	2.31	100	1
1 - 2				51
2 - 1	14.8	1.69	100	1
2 - 2				51
3 - 1	14.85	2.83	100	1
3 - 2				51
4 - 1	19.3	1.89	100	1
4 - 2				51

表一5 (b) 実験造波信号入力値 (実験 Part 2)

Wave	H 1/3	T 1/3	分割数	乱数初期値
5 - 1	16.53	1.89	100	1
5 - 2				51
6 - 1	19.35	3.27	100	1
6 - 2				51

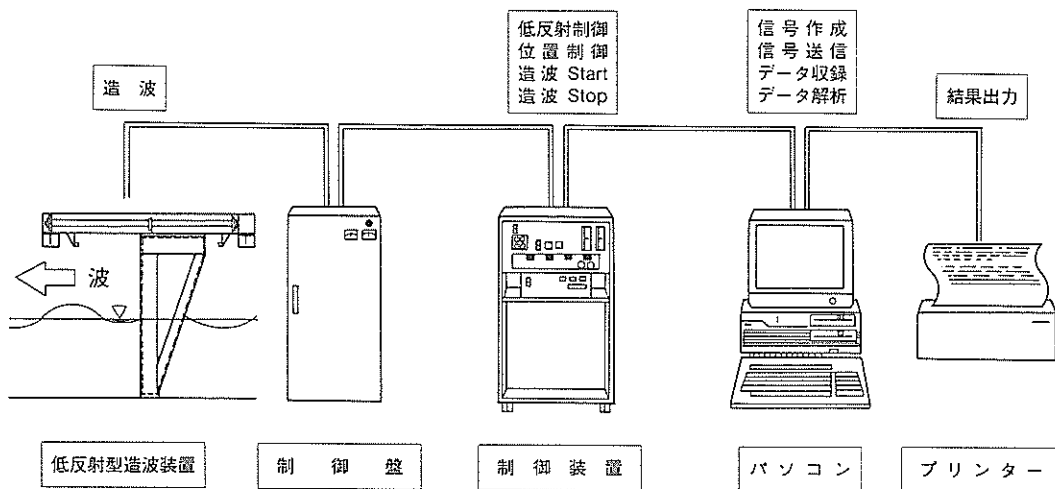


図-12 造波システム図

3.3 実験方法

(1) 実験波の検定

本研究で用いた造波装置は、前述したようにパーソナルコンピュータに造波したい波の諸元を入力すれば、ほぼその波高、周期を持つ波を造波できるように設定されている。しかし、若干の誤差も考えられるため、目標波高の前後の波高をコンピュータに入力し、造波した波を実際に計測することによって検定を行った。本節では、便宜上、コンピュータに入力した波高の値を「入力波高」、これによって造波信号を作成して造波した波を実際に計測して得られた波高を「実測波高」と呼ぶことにする。図-13は、検定によって得られた入力波高と実測波高の関係の一例を示したものである。この図に示すように実測波高と入力波高はほぼ一致し、線形な関係にある。しかし、1cm程度ずれる場合もあるため、各目標波ごとに最小自乗法を用いて入力波高と実測波高の関係を求め、目標波高を得るのに適した入力波高の値をもとめた。表-5(a), (b)は、このようにして求められた入力波高の値を示している。そして、表-5に示した入力波高を再びコンピュータに入力して造波した波を測定したところ、実測した入射波高は目標波高の $\pm 0.4\text{cm}$ 以内におさまることが確認された。

図-14は、実験波のスペクトルの一例を示したもので、実線が実測スペクトル、点線が目標としたBretschneider-光易型のスペクトルを示す。この図から、実験波のスペクトルは目標としたスペクトルにほぼ一致していることが確認できた。

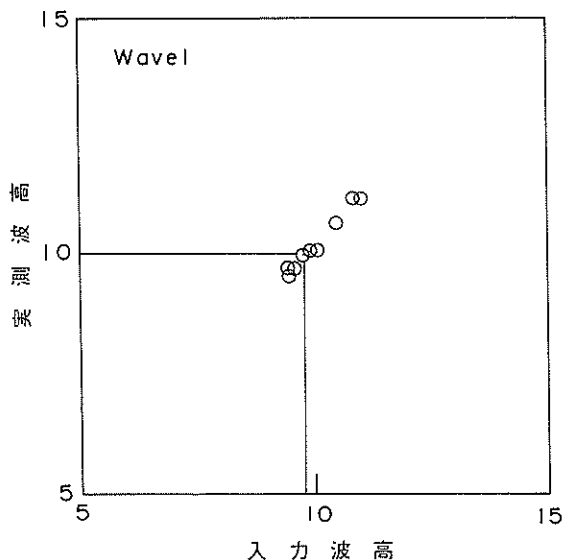


図-13 コンピューターに入力した波高と実測入射波高の関係

(2) 水面波形の測定

水面波形を測定するために、図-10(b)に示した4本の容量式波高計の出力をパーソナルコンピュータに接続してA/D変換し、フロッピーディスクにデータを収録した。データの収録は、造波開始1分後からサンプリング周波数5 Hzで7分間行った。フロッピーディスクに収録したデータは、パーソナルコンピュータを用いてゼロアップクロス法による波別解析を行い、有義波高と

有義波周期を求めた。また、造波装置に近い2本の波高計で測定した2048個のデータを用いて入射波分離計算を行い、各実験ケースごとに入射波高を求めた。

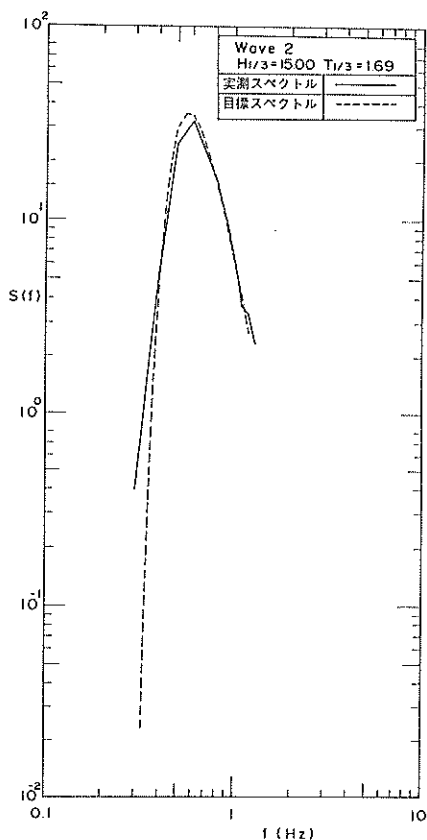


図-14 入射波スペクトル

(3) 越波流量測定法

図-15は、越波流量の測定方法を示したものである。この図に示すように、シュートと護岸模型の接合部はヒンジになっており、シュートを上げ下げできるようになっている。最初はシュートを上げておき、造波開始1分後から7分間だけシュートを降ろして、越波した水を集水枡に導き、集水枡の水面の上昇量を計ることによって越波した水の体積を求めた。また、越波量が非常に少ないときには、集水枡にたまった水をメスシリンダーに移し替えて越波した水の体積を測定した。そして越波した水の体積をを420sで除すことによって越波流量を求めた。一般に、越波量は護岸や波の条件によって大きく変動する。そこで、集水枡としては、大きさの異なる3種類を用意して、合田ら(1975)の提案している直立護岸の越波流量図をもとに算定される越波量に応じて集水枡の大きさを使い分けた。但し、最も大きな集水枡を用いても、越波量の多いときは7分経過する前に集水枡がいっぱいになった。そのような場合には、集水枡がいっぱいになるまでの時間を測定し、集水枡の体積をその時間で除すことによって越波流量を求めた。

また、護岸の天端が高い場合、7分間シュートを降ろしていても越波を生じないことがあった。このような場合には、その実験波の有義波周期と同じ周期で波高が25cm, 30cm, 35cmの規則波をそれぞれ護岸に40s間作用させて越波量の測定を試みた。しかし、本研究の範囲では、不規則波で越波を生じない場合には、大きな波高の規則波を作用させても越波を生じなかった。

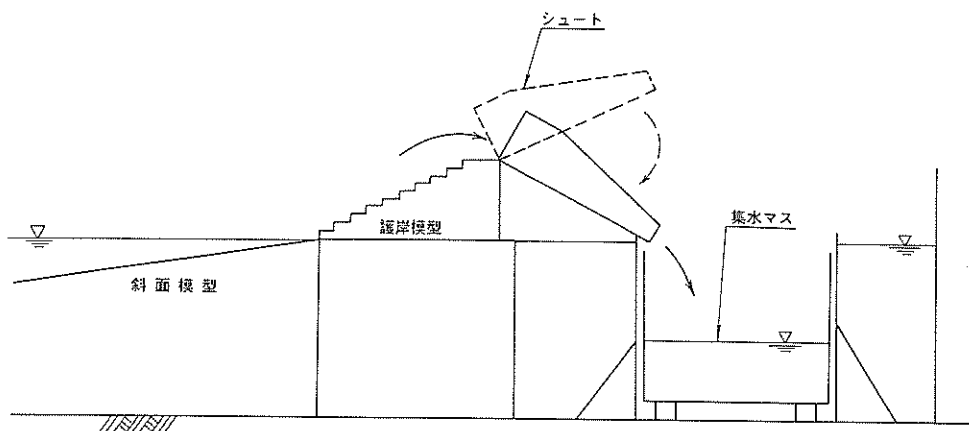


図-15 越波流量測定法

4. 実験結果

実験で得られた越波量は単位幅越波流量 q に換算され、さらに合田(1970)の方法に従って、 q を $\sqrt{2gH_0'^{2.5}}$ で除すことによって無次元越波流量 $q^*(=q/\sqrt{2gH_0'^{2.5}})$ の形に無次元化された。ここに、 g は重力加速度を表し、 H_0' は沖波の有義波高を示す。そして、各波形勾配ごとに図-16に例示するように無次元越波流量 q^* を相対天端高 h_c/H_0' に対してプロットした。ここに、 h_c は護岸の天端高を表す。図中の実線は、著者の一人が提案している越波流量算定法(高山ら, 1982)によって求めた直立護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係を示している。この越波流量算定法は、合田ら(1975)の提案している越波流量図を参照して、任意の条件における直立護岸の越波流量を計算機で算定できるように工夫したものである。この実線よりも左下に実験値がプロットされれば、実験した護岸の越波流量は直立護岸の場合よりも小さいことになる。また、この実線よりも右上に実験値がプロットされれば、実験した護岸の越波流量は直立護岸の場合よりも大きいことになる。

実験データを用いて護岸の越波流量低減効果あるいは天端高低減効果を比較するためには、これらの効果を定量的に表す必要がある。これについて、合田(1976)や著者の一人(高山ら, 1982)は次のような方法を用いている。まず、実験データを図-16に例示したように無次元越波流量と相対天端高の関係に整理する。そして、合田(1975)あるいは著者の一人(高山ら, 1982)が提案している方法によって求めた直立護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係を実験データに重ねて図に示す。次に、図-16に例示するように、実験した護岸と同一無次元越波流量を与える直立護岸の相対天端高をその図から読みとる。合田や著者の一人は、このようにして求めた直立護岸の相対天端高に対する実験した護岸の相対天端高の比を計算し、この比を護岸の越波流量低減効果あるいは天端高低減効果の指標として用いている。すなわち、この比が1よりも大きいということは、同一越波流量に対して実験した護岸の天端高が直立護岸よりも高くなることを示す。反対にこの比が1よりも小さいということは、同一越波流量に対して実験した護岸の天端高が直立護岸よりも低くなることを示す。著者の一人(高山ら, 1982)は、この比を換算天端高係数 β と定義している。本研究においても、新しく考案した護岸の越波流量低減効果あるいは天端高低減効果を定量的に示す指標として、換算天端高係数 β を用いた。また、図-17に示すように護岸の天端高を変えても目標とした入射波高が得られること

が確認できたので、データ整理における H_0' としては、目標とした入射波高をそのまま用いた。

合田(1975)によると、2次元水路で越波実験を行うと、斜面上のサーフビートの振幅が現地海岸において生ずると推測されるものよりも過大になることが報告されている。この影響を考慮するために、合田(1975)は、護岸前面の水深として実際的水深にある補正量を加え、護岸の天端高として実際の天端高からこの補正量を減じる補正を行っている。この補正量は、沖波の波形勾配や水底勾配、護岸設置水深によって異なるが、水底勾配が1/30の場合には、沖波波高の10%とされている。しかしながら、後で5章において詳しく述べるように、本研究で護岸前面のサーフビートを調べたところ、護岸の形式によってサーフビートの強さに差があることがわかった。

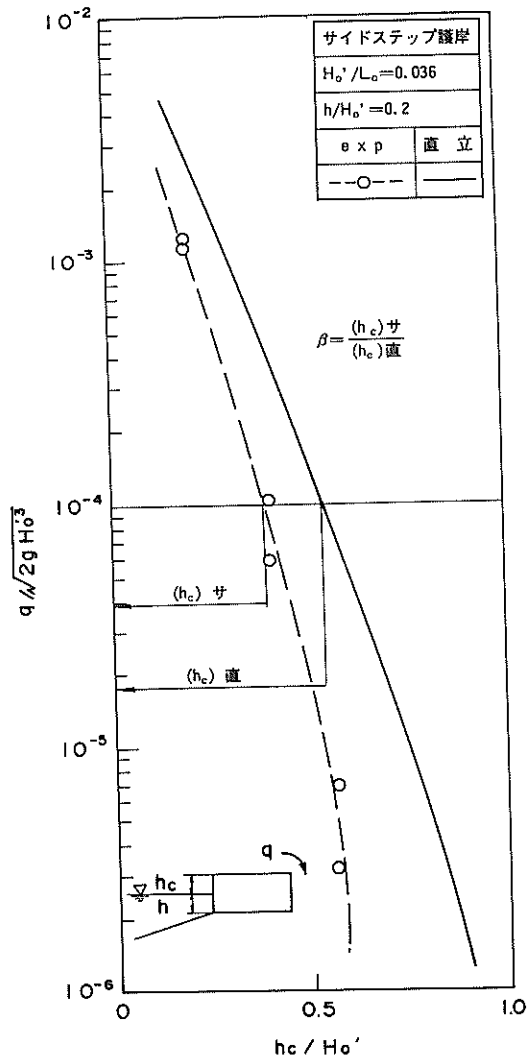


図-16 換算天端高係数

示した無次元越波流量の実測値とそれぞれの図中に示した直立護岸の無次元越波流量との比較によって判断される。まず図-18(a)によると、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合には、護岸前面の相対水深 h/H_0' が0.2の条件における q^* の実測値は、直立護岸の無次元越波流量を表す実線よりも上にプロットされている。したがって、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0.2$ の条件においては、菱形階段護岸は越波流量低減効果がないといえる。これに対して、 $h/H_0'=0$ の場合の菱形階段護岸の q^* は、 $h_c/H_0'<0.5$ となる領域では直立護岸の場合の q^* とほぼ一致し、 $h_c/H_0'>0.5$ となる領域では、直立護岸の場合よりも小さくなる。すなわち、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0$ の条件では、菱形階段護岸は越波流量低減効果があり、それは天端高が高くなるほど、大きくなることわかれる。

このように、天端高が高くなるのにもなって越波流量低減効果が大きくなるのは、次のように考えられる。菱形階段護岸の越波流量低減効果は、菱形の板によって作られる法面上の凹凸によって、遡上する波のエネルギーが減殺されるためと考えられる。しかし、護岸の天端高が低いと法面の長さが短くなるため、法面を遡上する波がエネルギーをほとんど減殺されずに越波してしまうことになる。したがって、菱形階段護岸の越波流量は、護岸の天端高が相対的に低い場合には、傾斜護岸や階段護岸の越波流量と同程度になるものと考えられる。また、天端高が相対的に高い場合ほど、菱形階段護岸の越波流量低減効果は大きくなるものと考えられる。

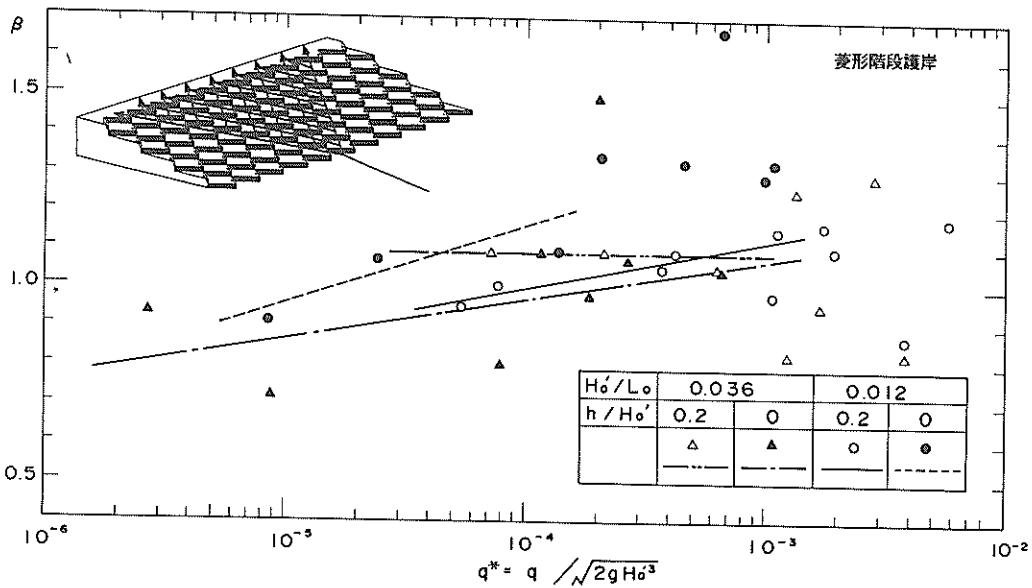
$H_0'/L_0=0.012$ 、 $h/H_0'=0.2$ の場合における菱形階段護岸の q^* は、図-18(b)によると直立護岸の場合にほぼ一致している。これは、菱形階段護岸を建設する場合、直立護岸とほぼ同じ高さの天端高が必要となることを意味している。一般に、傾斜護岸や階段護岸を建設する場合、天端高を直立護岸の1.1倍から1.2倍にとらなければならないことが言われている(高山ら、(1982))。したがって、 $H_0'/L_0=0.012$ 、 $h/H_0'=0.2$ の条件においては、菱形階段護岸の天端高は、傾斜護岸や階段護岸を建設した場合よりも天端高を低くすることが可能であることがわかる。次に、 $h/H_0'=0$ の場合の菱形階段護岸の無次元越波流量についてみると、本実験の範囲では、全体的に直立護岸の無次元越波流量よりも大きくなっている。但し、図-18(b)を仔細にみると、 $h_c/H_0'=0.8$ では実験で得られた菱形階段護岸の q^* は直立護岸の場合とほぼ一致している。これは、先に述べたように、菱形階段護岸の越波流量低減効果は、天端高が高くなるほど増大するためと考えられる。

菱形階段護岸の越波流量低減効果を定量的に表すため

に、図-18に示したそれぞれの実験結果について換算天端高係数 β を計算した。図-18について考察したように、菱形階段護岸の越波流量低減効果は、護岸の天端高の影響を受ける。したがって、 β の値は H_0'/L_0 や h/H_0' が同一であっても、 h_c/H_0' あるいは q^* によって変化する。一般に護岸の天端高を決定する場合、まず、許容越波流量 q_0 と換算沖波波高 H_0' から許容無次元越波流量 $q_0^*=q_0/\sqrt{2gH_0'^3}$ を計算する。そして、合田ら(1975)の越波流量図を用いることなどによって、護岸の天端高や沖波の諸元から q^* を計算し、この q^* が q_0^* を下回るように護岸の天端高を決定する。このため、換算天端高係数 β の示しかたとしては、 h_c/H_0' と β の関係で示すよりも q^* と β の関係で示したほうが実用的と考えられる。

そこで、図-18に示した菱形階段護岸の実験結果から求めた換算天端高係数 β と無次元越波流量 q^* の関係を求めたところ、図-19に示すようになった。図中に示した直線は、沖波波形勾配 H_0'/L_0 や護岸前面における相対水深 h/H_0' をパラメーターとして、 β と q^* の平均的な関係を求めたものである。但し、この直線を決定するにあたっては、次のようなことを考慮した。すなわち、図-19に示した実験結果の中には、 $q^*>10^{-3}$ あるいは $\beta>1.2$ の領域の実験結果が、それ以外の実験結果と傾向が異なっている。実際の護岸の設計条件を考えると、多くの場合では、 $q^*<10^{-3}$ となる。また、傾斜護岸の β が1.2であることを考えると、 $\beta>1.2$ となる場合には、菱形階段護岸を建設する意義がない。そこで、図-19に示した直線を引くときには、 $q^*>10^{-3}$ あるいは $\beta>1.2$ の領域の実験結果のうち全体の傾向とは異なる実験結果を除外して最小自乗法の計算を行うことによって、 β と q^* の平均的な関係を求めた。

図-19によると、菱形階段護岸がもっとも越波流量低減効果を発揮するのは、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0$ 、 $q^*<10^{-4}$ の場合である。この条件においては、 β は1よりも小さくなるため、菱形階段護岸を建設する場合の天端高は、直立護岸を建設する場合よりも低くできる。特に、許容無次元越波流量 q_0^* が 10^{-5} よりも小さく設定される場合には、直立護岸よりも10%以上天端高を下げる事が可能である。これに対して、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0.2$ の場合には、 β は1.1となるため、菱形階段護岸を建設しても、従来の階段護岸や傾斜護岸と同程度の天端高にする必要がある。また、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合についてみると、 $h/H_0'=0.2$ でも $h/H_0'=0$ の場合でも、 q^* が小さくなると β は減少する傾向がある。 $H_0'/L_0=0.012$ における菱形階段護岸の β が、従来の階段護岸や傾斜護岸に適用されている1.1よりも小さく



図一十九 菱形階段護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係

なる q^* について検討すると、 $h/H_0'=0.2$ の場合には、 $q^* < 6 \times 10^{-4}$ となり、 $h/H_0'=0$ の場合には $q^* < 5 \times 10^{-5}$ となる。また、 $h/H_0'=0.2$ 、 $q^* < 10^{-4}$ の場合、あるいは $h/H_0'=0$ 、 $q^* < 10^{-5}$ の場合においては、 $\beta < 1$ となるので菱形階段護岸は、直立護岸よりも天端高を低くすることができる。

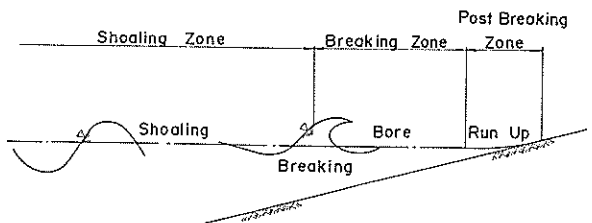
郭と李(1970)が行った砕波後の波の打ち上げ高に関する検討によると、波形勾配の大きな波ほど斜面に粗度をつけることによって打ち上げ高が減少することが報告されている。この場合、打ち上げ高の減少は、遡上する波のエネルギーが斜面上の粗度によって失われるためと考えられる。したがって、波形勾配の大きな波ほど、護岸上の斜面で失われるエネルギーが大きいといえる。図一十九に示した $h/H_0'=0$ の場合の菱形階段護岸の β についてみると、沖波の波形勾配 H_0'/L_0 が 0.036 の場合のほうが 0.012 の場合よりも小さくなっている。これは、郭と李の実験と同様に、波形勾配の大きな波ほど菱形階段護岸の斜面上の凹凸によるエネルギー損失が大きいためと考えられる。

しかし、図一十九に示した $h/H_0'=0.2$ の条件において、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合の β と 0.012 の場合における β を比較すると、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合の β が小さくなる。これは、 $h/H_0'=0$ の場合と逆の傾向になる。この理由については明かではないが、次のようなことが考えられる。著者の一人(高山ら, 1982)によると、護岸の越波流量の推定について、護岸の位置を図一二十に示

すように3つの領域に分類することが有効であることが示されている。図一二十においてBreaking領域と Post-Breaking領域の境界の水深は、Hunt(1959)が提案している次式によって計算される斜面上の波の遡上高と等しい水深であるとされている。

$$R/H_0' = i / (H_0'/L_0)^{1/2} \dots\dots\dots(2)$$

ここに、 R は斜面上の波の遡上高を表す。上式を用いて $i=1/30$ 、 $H_0'/L_0=0.012$ 及び 0.036 の場合について R/H_0' を計算してみると、それぞれ 0.30 と 0.18 となる。したがって、 $H_0'/L_0=0.012$ 、 $h/H_0'=0$ ならびに $h/H_0'=0.2$ の場合と、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0$ の場合の護岸は、図一二十に示した Post-Breaking 領域に位置することになる。また、 $H_0'/L_0=0.036$ 、 $h/H_0'=0.2$ の場合の護岸は、図一二十に示した Breaking



図一二十 波の変形における領域区分 (高山・永井・西田, 1982)

領域に位置することになる。したがって、 $H_0'/L_0 = 0.036$, $h/H_0' = 0.2$ の場合は、波が碎波しているところに護岸が位置するのに対して、それ以外の場合は、波が碎波して流れのようになっているところに護岸が位置すると考えられる。波が流れのようになっている Post-Breaking 領域においては、斜面上の凹凸の影響が波の進行にともなって水面方向に及んでいくものと考えられる。これに対して、Breaking 領域においては、波がまだ波としての性質を残しているため、斜面上の凹凸が水粒子の運動に及ぼす影響が、水底付近にとどまって、水面付近には及ばないと考えられる。このため、 $h/H_0' = 0.2$ の条件では、護岸が Post-Breaking 領域にある $H_0'/L_0 = 0.012$ の場合のほうが、護岸が Breaking 領域に位置すると考えられる $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合よりもエネルギー損失が大きくなると考えられる。このような理由によって、図-19に示した $h/H_0' = 0.2$ の条件における β は、 $H_0'/L_0 = 0.012$ の場合よりも $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合のほうが大きくなるものと思われる。

4.2 多段バラベツ護岸の越波流量低減効果

多段バラベツ護岸は、菱形階段護岸と同様に傾斜護岸の法面に設けた凹凸による越波流量の低減を意図したものである。波形勾配 H_0'/L_0 が 0.036 の場合の多段バラベツ護岸についての実験結果から、無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係を求めたものが図-21(a) である。この図によると、護岸前面の相対水深 h/H_0' が 0.2 の場合の多段バラベツ護岸の無次元越波流量 q^* は、図中に示した直立護岸の場合の q^* にほぼ一致している。このため、多段バラベツ護岸の場合には、通常の傾斜護岸よりも同一天端高における越波流量が少なくなることがわかる。 $h/H_0' = 0$ の場合の多段バラベツ護岸の無次元越波流量は、 $h_c/H_0' < 0.5$ においては直立護岸とほぼ一致しているが、 $h_c/H_0' > 0.5$ においては、直立護岸よりも小さくなる。このように多段バラベツ護岸の越波流量低減効果が天端高によって変化するの、菱形階段護岸の場合と同様に、天端高が低いと法面の長さが短くなって、遡上する波が法面上に設けた凹凸によって失うエネルギーが小さくなるためと考えられる。また、 h/H_0' が 0 の場合と 0.2 の場合の多段バ

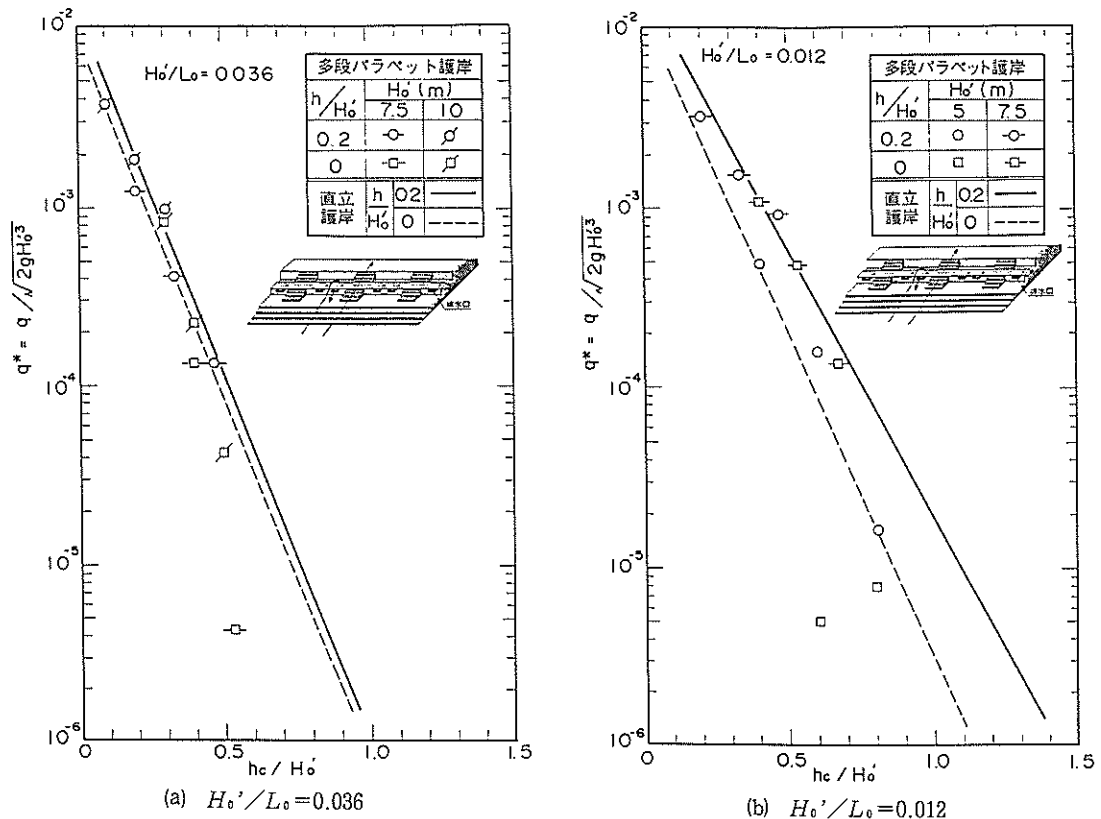


図-21 多段バラベツ護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

ラベット護岸の越波流量低減効果を比較すると、 $h/H_0' = 0$ の場合のほうが大きい。この理由は明らかではないが、菱形階段護岸の越波流量低減効果について考察したように、護岸の位置が $h/H_0' = 0$ の場合には Post-Breaking 領域になり、 $h/H_0' = 0.2$ の場合には Breaking 領域になることが考えられる。すなわち Post-Breaking 領域に護岸が位置する場合、来襲する波は流れのようになっている。この場合には法面上の凹凸によって生じる流速の乱れが波の進行にともなって水面付近にまで伝わるため、乱れによるエネルギー損失が比較的大きくなるものと予想される。これに対して Breaking 領域に護岸が位置する場合、来襲する波はまだ波としての性質を残している。このため、法面上の凹凸によって生じる流速の乱れが水面付近に到達する前に、流速の方向が反転してしまい、乱れの影響が水底付近にとどまって水面付近に及ばないと考えられる。したがって、法面上の凹凸によるエネルギー損失は比較的小さいものと考えられる。

波形勾配 H_0'/L_0 が 0.012 の場合の多段パラベット護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係は、図-21(b)に示すようになる。この図によると、 $h/H_0' = 0.2$ の場合の多段パラベット護岸の q^* は、 $h_c/H_0' < 0.5$ においては図中に示した直立護岸の q^* とほぼ一致しているが、 $h_c/H_0' > 0.5$ においては、直立護岸よりも小さくなる。また、 $h/H_0' = 0$ の条件における多段パラベット護岸の q^* は、 $h_c/H_0' < 0.7$ の場合には直立護岸の場合の q^* よりも大きく、 $h_c/H_0' > 0.8$ の場合には直

立護岸の場合の q^* よりも小さくなる。以上のように、波形勾配が 0.012 の条件においても、多段パラベット護岸の越波流量低減効果は、相対天端高 h_c/H_0' とともに大きくなる。

多段パラベット護岸の越波流量低減効果を定量的に把握するために、図-21(a), (b)に示したそれぞれの実験結果について換算天端高係数 β を求めた。図-22は、多段パラベット護岸の換算天端高係数 β と無次元越波流量 q^* の関係を示したものである。この図によると、実験結果の中には $q^* > 10^{-3}$ あるいは $\beta > 1.2$ となる領域にプロットされているものがあり、それ以外の実験結果とは異なる傾向を示しているように見える。これらは、実験した護岸の天端高が比較的低いために、越波流量低減効果が現れなかったものと考えられる。実際の護岸の設計条件では $q^* < 10^{-3}$ となることが多い。また、 β が 1.2 よりも大きいと傾斜護岸よりも天端高を高くしなければならないため、多段パラベット護岸を建設する意義がなくなる。そこで、図-22に示した実験データから $q^* < 10^{-3}$ あるいは $\beta < 1.2$ とあるものを除外した上で最小乗法を用いることによって、 q^* と β の平均的な関係を求め、図の中に直線で示した。図-22によると、全体的な傾向として左下がりになっており、無次元越波流量 q^* が小さいときのほうが換算天端高係数 β は小さくなる。例えば図-22に示した直線によると、 $H_0'/L_0 = 0.036$ の条件においては、 $h/H_0' = 0.2$ の場合には $q^* < 5 \times 10^{-4}$ において $\beta < 1$ となり、 $h/H_0' = 0$ の場合には $q^* < 2$

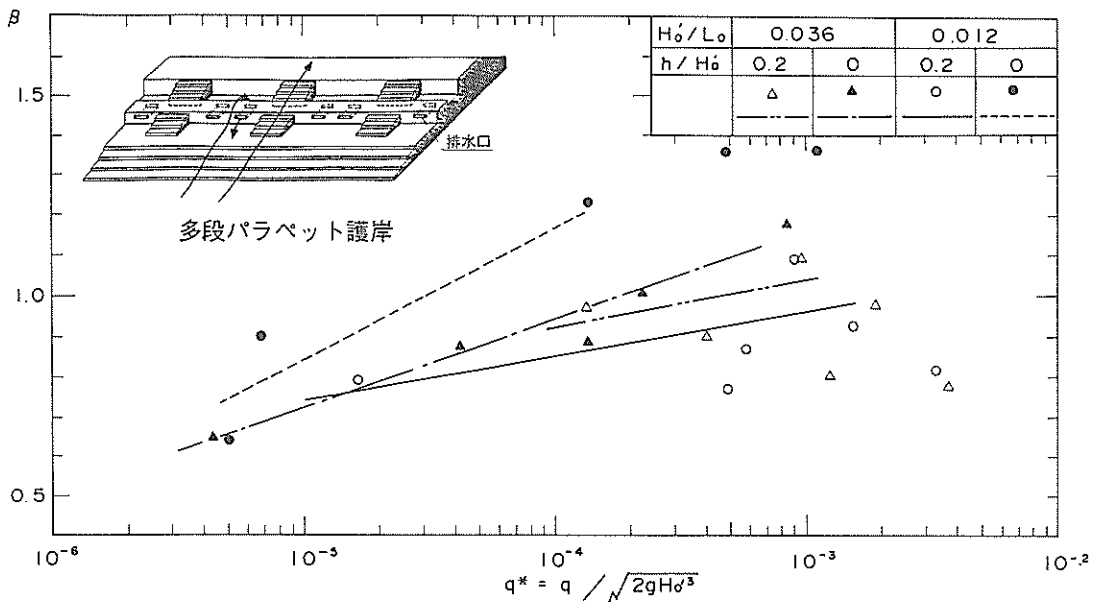


図-22 多段パラベット護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係

$\times 10^{-4}$ において $\beta < 1$ となる。また、 $H_0'/L_0 = 0.012$ の条件においては、 $h/H_0' = 0.2$ の場合に $q^* < 2 \times 10^{-3}$ において $\beta < 1$ となり、 $h/H_0' = 0$ の場合には $q^* < 3 \times 10^{-5}$ において $\beta < 1$ となる。したがって、無次元許容越波流量 (q^*) が小さく設定される場合には、多段パラベット護岸は直立護岸よりも天端高を低くすることができる。ただし、 $h/H_0' = 0$ 、 $H_0'/L_0 = 0.012$ の条件では多段パラベット護岸の越波流量低減効果は比較的小さく、 $(q^*)_0 = 10^{-5}$ のときに直立護岸よりも15% 天端高を低くできるにすぎない。これに対して、 $h/H_0' = 0$ 、 $H_0'/L_0 = 0.012$ の条件では、多段パラベット護岸の天端高は、直率護岸よりも30% も下げることができる。

4.3 水平スリット護岸の越波流量低減効果

水平スリット護岸は、護岸に遊水部を設けた形式の一つである。この護岸の模型は、透明なアクリル板で製作したために、内部に設けた遊水部における水の挙動をよく観察することができた。実験中の観察によると、水平スリット護岸に襲襲した波は、まず階段部分に設けた通水部を透過して遊水部に入り込む。このとき波の勢いは、

通水部を通り抜けることによって弱まるように見えた。そして波は遊水部の中を進行し、遊水部の中の鉛直壁に当たって反射されて沖側に進行し、再び通水部を透過して遊水部から外に出てゆく。このように反射波が再び通水部を透過するときにも、波の勢いは弱まるように見えた。遊水部が水で満たされない間は越波せず、遊水部が水で満たされてから越波が始まった。また、階段部分を遡上する波は、階段部分の凹凸によって流れを乱されるように観察された。そして遡上した波が天端付近に達すると、遊水部内の鉛直壁で反射された波が天端付近の通水部から沖側に勢いよく吹き出し、遡上してきた波と互いにぶつかりあった。このように、遊水部が波を越波しにくくする効果は、波が通水部を透過するときエネルギーを損失すること、遊水部内の鉛直壁で反射された波が階段を遡上してくる波と干渉し合うことによって生じるように観察された。従って遊水部が水で満たされてしまうと、越流時の水の流れ方は階段護岸の場合と同じようになり、遊水部が波のエネルギーの減殺に機能しなくなって、越波流量の低減に効果を発揮しなくなるように見えた。

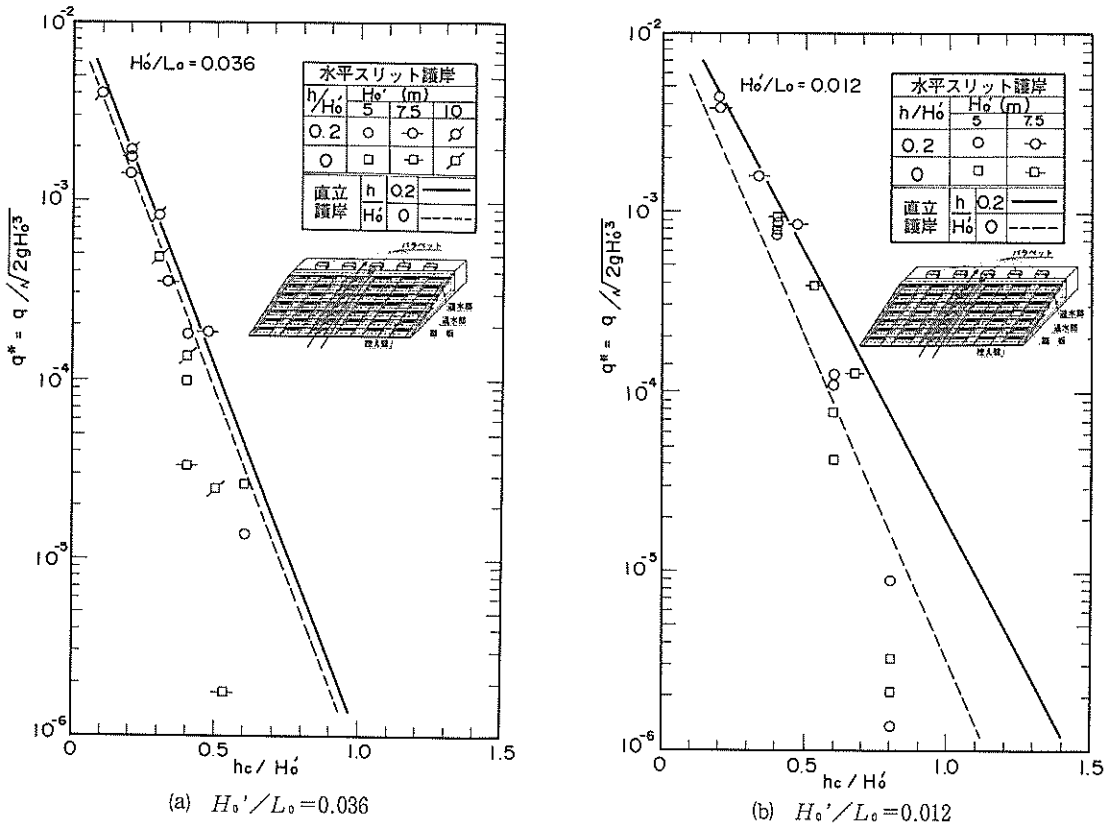


図-23 水平スリット護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

沖波波形勾配 H_0'/L_0 が0.036における水平スリット護岸の実験によって得られた無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係は、図-23(a)に示すようになった。この図によると、護岸前面の相対水深 h/H_0' が0.2の条件でも0の条件でも、 h_c/H_0' が0.5よりも小さい場合には、水平スリット護岸の q^* は直立護岸の q^* とほぼ一致する。これに対して、 h_c/H_0' が0.5よりも大きい場合には、水平スリット護岸の q^* は直立護岸の場合よりも小さくなる。これは、天端高の低い場合には、遊水部がすぐに水で満たされてしまい、遊水部の越波流量低減効果が発揮されないためと考えられる。

波形勾配 H_0'/L_0 が0.012の場合の水平スリット護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係は、図-23(b)に示すようになった。この図においても図-23(a)と同様に、 h_c/H_0' が比較的小さい場合には、水平スリット護岸の q^* は、直立護岸の場合とほぼ一致し、 h_c/H_0' が比較的大きくなると、直立護岸の場合よりも小さくなる。例えば、 $h/H_0'=0.2$ の条件では、水平スリット護岸の q^* は $h_c/H_0'<0.5$ において直立護岸とほぼ一致し、 $h_c/H_0'>0.5$ において直立護岸よりも小さくなる。また、 $h/H_0'=0$ の条件における水平スリット護岸の q^* は、 $h_c/H_0'<0.7$ においては直立護岸の場合とほぼ一致し、 $h_c/H_0'>0.7$ においては直立護岸の場合よりも小さくなる。

図-23(a), (b)に示したそれぞれの実験結果について換算天端高係数 β を求めて、水平スリット護岸の β と無次元

元越波流量 q^* の関係を示すと図-24に示すようになる。実際の護岸の設計条件では $(q^*)_0 < 10^{-3}$ となることが多いことや $\beta < 1.2$ では水平スリット護岸を建設する意図がないことを考慮して、 $q^* < 10^{-3}$ 、 $\beta < 1.2$ の範囲内において最小自乗法を用いて求めた q^* と β の平均的な関係をこの関係を図-24に直線で示した。これらの直線は、全て左下がりになっており、無次元越波流量 q^* が小さいときのほうが β は小さくなるのがわかる。これは、水平スリット護岸の天端高が高いほど遊水部の容積が大きくなり、また、階段の長さが長くなるので越波流量低減効果が大きくなるためと考えられる。

沖波の波形勾配が0.036の条件では、護岸前面の水深波高比が0~0.2の間で変化しても、水平スリット護岸の換算天端高係数 β はほとんど変化しない。そして、無次元越波流量 $q^*=10^{-4}$ のときに $\beta=0.9$ となり、また $q^*=10^{-5}$ のときに $\beta=0.8$ となる。したがって、沖波の波形勾配が0.036、無次元許容越波流量が $10^{-4} \sim 10^{-5}$ の条件では、水平スリット護岸は直立護岸よりも1割から2割程度天端高を下げるができる。

沖波の波形勾配が0.012の条件における水平スリット護岸の換算天端高係数 β は、護岸前面の水深波高比が0.2の場合のほうが0の場合よりも0.2ほど小さくなる。護岸前面の水深波高比が0.2の場合には、無次元越波流量 $q^*=10^{-4}$ のときに $\beta=0.8$ となり、また $q^*=10^{-5}$ のときに $\beta=0.7$ となる。したがって、沖波の波形勾配が0.012、護岸前面の水深波高比が0.2、無次元許容越波流量が1

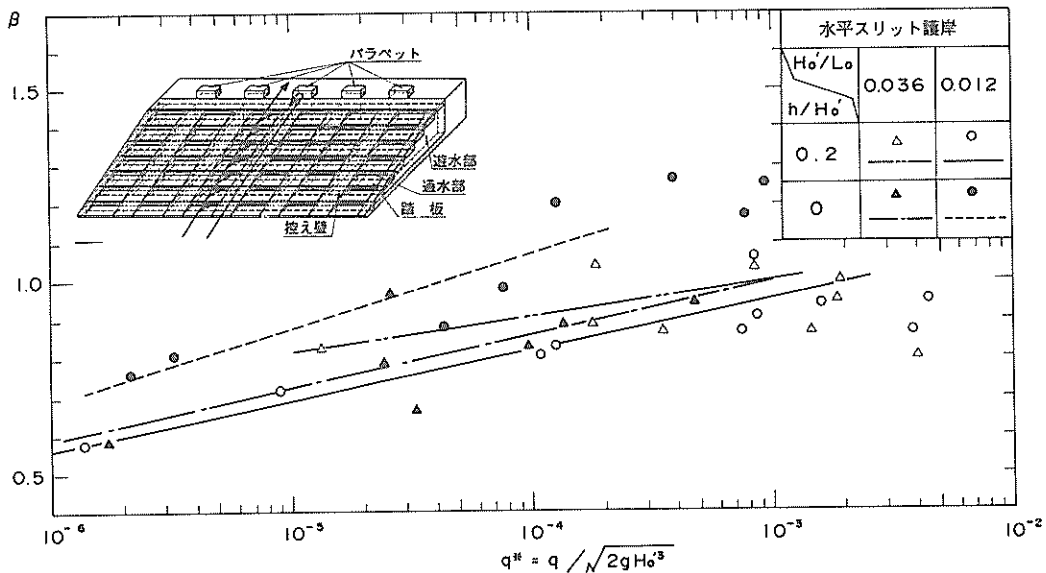


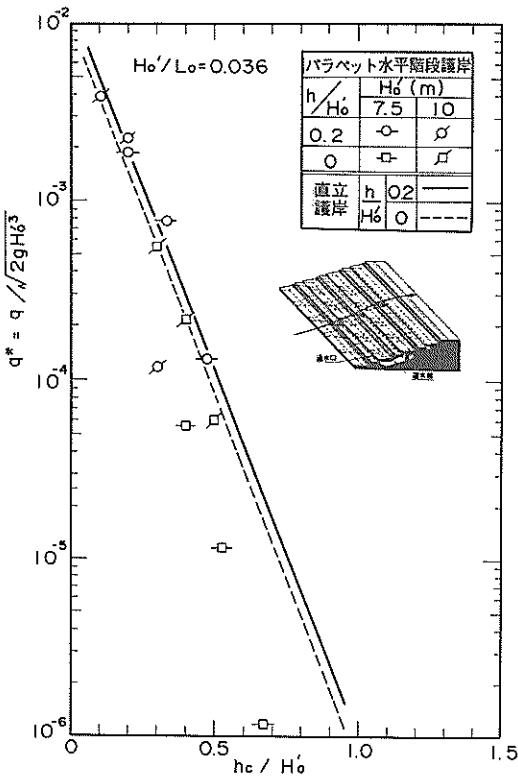
図-24 水平スリット護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係

$10^{-4} \sim 10^{-5}$ の条件では、水平スリット護岸は、直立護岸よりも2割～3割程度天端高を下げる事ができる。護岸前面の水深波高比が0の場合には、 q^* が 5×10^{-5} よりも小さくならないと、水平スリット護岸の換算天端高係数 β は1よりも小さくならない。また、 $q^* = 10^{-4}$ のときに $\beta = 1.1$ となり、 $q^* = 10^{-5}$ のときに $\beta = 0.9$ となる。したがって、沖波の波形勾配が0.012、護岸前面の水深波高比が0、無次元許容越波流量が 10^{-4} よりも大きな条件では、所用天端高が通常の階段護岸と同じになるため、水平スリット護岸の天端高低減効果はない。また、無次元許容越波流量が 10^{-5} のときには、直立護岸よりも1割程度天端高を下げる事ができる。このように、沖波の波形勾配が0.012、護岸前面の水深波高比が0の条件における越波流量低減効果は、他の条件における場合よりも小さい。この原因については明かにできなかった。しかし、この条件においては、護岸前面の平均水位の上昇量やサーフビートの強さが他の条件よりも大きくなるため、これらの影響によって越波流量低減効果が低下すると思われる。

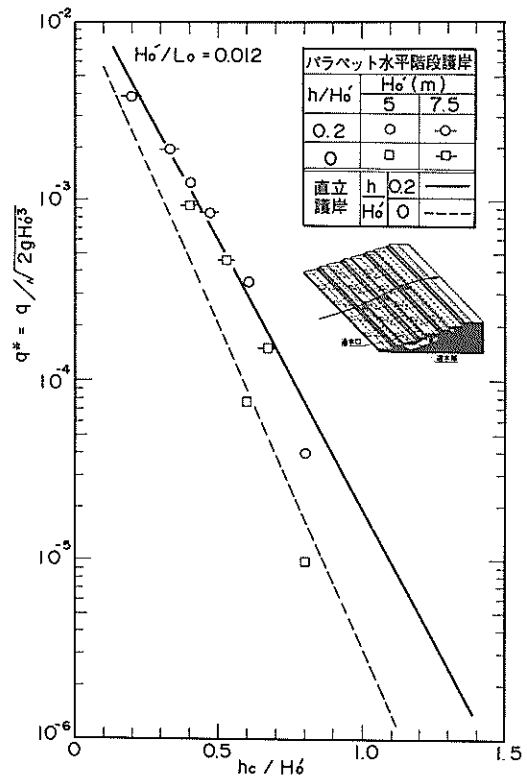
4.4 パラベット水平階段護岸の越波流量低減効果

パラベット水平階段護岸は護岸に遊水部を設けた形式の一つである。実験時の観察によると、遡上した波が天端付近に近づくとき、遊水部にたまった水が天端付近の通水部から沖側に噴き出し、遡上してきた波と干渉し合った。このことから、水平スリット護岸と同様に、遊水部が水で満たされるまでは越波が生じず、遊水部が満水になってから越波が開始されるものと考えられる。このように、パラベット水平階段護岸を波が越流するときの流れの状況は、水平スリット護岸によく似ている。ただしこの護岸の模型は、塩化ビニールで製作したので遊水部内の水の挙動を観察することはできなかった。

沖波波形勾配 $H_0'/L_0 = 0.036$ の波がパラベット水平階段護岸に作用した場合における無次元越波流量 q^* と相対天端高 hc/H_0' の関係は、図-25(a)に示すようになった。この図によると、水深波高比 $h/H_0' = 0.2$ の場合、パラベット水平階段護岸の無次元越波流量は、直立護岸にはほぼ一致していることがわかる。したがって、 H_0'/L_0



(a) $H_0'/L_0 = 0.036$



(b) $H_0'/L_0 = 0.012$

図-25 パラベット水平階段護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

$L_0=0.036$, $h/H_0'=0.2$ の条件において傾斜護岸や階段護岸と比較すれば、パラベット水平階段護岸は天端高を1割程度低減できるといえる。

次に、水深波高比 $h/H_0'=0$ の場合について検討する。図-25(a)によると、 h_c/H_0' が0.5よりも小さく q^* が比較的大きい場合には、パラベット水平階段護岸の無次元越波流量は直立護岸の場合とほぼ一致する。これに対して、 h_c/H_0' が0.5よりも大きく q^* が比較的小さい場合には、パラベット水平階段護岸の無次元越波流量は直立護岸の場合よりも小さくなる。これは、前節の水平スリット護岸について検討したのと同様に、天端高が低いと遊水部が水で満たされやすくなり、遊水部の越波流量低減効果が発揮されないためと考えられる。

波形勾配 H_0'/L_0 が0.012の沖波を作用させた場合のパラベット水平階段護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係は、図-25(b)に示すようになる。この図によると、 $h/H_0'=0.2$ の場合には、 $h_c/H_0'<0.6$ におけるパラベット水平階段護岸の q^* は直立護岸とほぼ一致する。従って $H_0'/L_0=0.012$, $h/H_0'=0.2$, $h_c/H_0'<0.6$ の条件においては、パラベット水平階段護岸の天端高は、傾斜護岸や階段護岸よりも1割程度低くすることが可能である。 $h_c/H_0'=0.8$ の場合には、パラベット水平階段護岸の越波流量低減効果は大きくなり、無次元越波流量が直立護岸の50%になる。

次に、 $h/H_0'=0$ の場合のパラベット水平階段護岸の q^* について検討すると、 $H_0'=7.5\text{m}$ の場合の q^* のほうが、 $H_0'=5\text{m}$ の場合よりも大きくなる傾向が認められる。すなわち $H_0'=7.5\text{m}$ の場合の q^* は、図-25(b)に示した $h/H_0'=0$ における直立護岸の無次元越波流量を示す線よりも上にプロットされるのに対して、 $H_0'=5\text{m}$ の場合の q^* は、この線に重なるようにプロットされる。このように $H_0'=7.5\text{m}$ の条件では、パラベット水平階段護岸の無次元越波流量は直立護岸の場合よりも大きくなり、越波流量低減効果はみられない。しかし $H_0'=5\text{m}$ の条件では、パラベット水平階段護岸の無次元越波流量は直立護岸にほぼ一致するので、傾斜護岸や階段護岸と比較すれば、パラベット水平階段護岸は1割程度天端高を下げるができる。また、図には示していないが、 $H_0'=5\text{m}$, $h_c/H_0'=1.0$ のケースの実験では越波を生じなかった。このことから $H_0'=5\text{m}$ の条件では、相対天端高 h_c/H_0' が大きくなるほど、パラベット水平階段護岸の越波流量低減効果は大きくなるといえる。

また、図-25(a)に示した沖波波形勾配が0.036、護岸前面の水深が0の条件における。沖波波高 H_0' が q^* に与

える影響について検討すると、 H_0' が大きくなるほど q^* が大きくなる傾向が認められる。例えば、 $h_c/H_0'=0.4$ の条件において、 $H_0'=7.5\text{m}$ の場合と $H_0'=10\text{m}$ の場合を比較すると、 $H_0'=10\text{m}$ の場合の q^* は $H_0'=7.5\text{m}$ の場合の4倍程度の大きさになる。以上のように、護岸前面の水深が0の条件においては、沖波波形勾配が0.036の場合でも0.012の場合でも、沖波波高が大きいほど越波流量低減効果は低下する傾向が認められる。この原因については明らかにすることができなかったが、選上する波のエネルギーに対して、波が遊水部や階段で損失するエネルギーの割合が、沖波波高の増大によって低下するためと思われる。すなわち、通水部や階段部分の大きさが一定で、沖波波高が大きくなると、来襲する波の大きさに対する通水部や階段部分の相対的な大きさが低下して、越波流量低減効果も低下すると考えられる。しかしながら、階段の高さや通水部の大きさは、人間の利用上の利便や安全性、材料の耐久性から決まる諸元であるため、沖波波高に対応して大きくすることはできない。このため、パラベット水平階段護岸は、沖波波高が5mよりも大きな地点に設置しても大きな越波流量低減効果を期待できず、沖波波高が5mよりも小さな地点に設置するほうがよいと思われる。

パラベット水平階段護岸の越波流量低減効果を定量的に調べるために、図-25(a), (b)に示したそれぞれの実験結果について換算天端高係数 β を求めた。そして、パラベット水平階段護岸の β と無次元越波流量 q^* の関係を示すと図-26のようになる。この図に示した直線は、 $q^*<10^{-3}$, $\beta<1.2$ の範囲内において最小自乗法を用いて求めた q^* と β の平均的な関係を示している。これらの直線が全て左下がりになっていることから、無次元越波流量 q^* が小さいほど β は小さくなるのがわかる。これは、天端高が高いほうが遊水部の容積が大きくなり、また、階段の長さが長くなるので越波流量低減効果が大きくなるためと考えられる。

図-26に示す範囲において、沖波の波形勾配が0.036、護岸前面の水深波高比が0.2の条件では、 β はほぼ1に等しくなり、天端高低減効果が比較的小さい。これに対して、沖波の波形勾配が0.036で、護岸前面の水深が0になると、天端高低減効果は大きくなる。この場合、 $q^*<10^{-3}$ で $\beta<1$ となるので、通常的设计条件では、パラベット水平階段護岸の天端高は、直立護岸よりも小さくすることができる。そして、無次元越波流量 $q^*=10^{-4}$ のときに $\beta=0.9$ となり、また $q^*=10^{-5}$ のときに $\beta=0.8$ となる。したがって、沖波の波形勾配が0.036、護岸前面の水深が0、無次元許容越波流量が $10^{-4}\sim 10^{-5}$

の条件では、パラベット水平階段護岸は直立護岸よりも1割から2割程度天端高を下げるができる。

沖波の波形勾配が0.012、護岸前面の水深波高比が0.2の条件におけるパラベット水平階段護岸の β は、 $q^* < 10^{-3}$ で $\beta < 1.1$ となる。したがって、パラベット水平階段護岸の天端高は、階段護岸よりも低くすることができる。ただし、 $q^* = 10^{-1}$ においても $\beta = 0.95$ と、あまり大きな天端高低減効果を期待することはできない。また、護岸前面の水深が0の条件になると、さらに天端高低減効果は低下する。この場合には、 $q^* > 10^{-1}$ では $\beta > 1.1$ となるため、通常の傾斜護岸と同程度の天端高が必要となる。このように、沖波の波形勾配が0.012、護岸前面の水深が0の条件における天端高低減効果が、他の条件における場合よりも低下することの原因は明かにできなかった。しかし、この条件においては、護岸前面の平均水位の上昇量やサーフビートの強さが他の条件よりも大きくなり、これらの影響によって越波流量低減効果が低下すると思われる。

4.5 サイドステップ護岸の越波流量低減効果

サイドステップ護岸も遊水部を設けた形式の護岸の一つである。水平スリット護岸やパラベット水平階段護岸は、階段護岸の階段の下を空洞にして遊水部としたのに対して、サイドステップ護岸は、直立護岸の前面に鉛直壁（前壁）を設けて、その間の空間を遊水部としている。実験における観察によると、サイドステップ護岸に來襲

した波が前壁に到達すると、波の反射が生じると同時に前壁と前壁の間から波が遊水部に流入した。來襲する波が比較的小さい場合には、遊水部が水で満たされる前に波が引き波に転じて、越波が生じなかった。來襲する波が比較的大きい場合には、遊水部が水で満たされてから越波が始まった。遊水部に水が流入する場合には、前壁と前壁の間から流入した水によって、遊水部の中に渦が生じていた。また、來襲する波が大きくなると、波は前壁と前壁の間からだけではなく、前壁を乗り越えて遊水部に流入した。水平スリット護岸やパラベット水平階段護岸に比較すると、護岸からの波の反射は強いように見えた。

波形勾配 $H_0'/L_0 = 0.036$ の波を作用させた場合のサイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係は、図-27(a)に示すようになる。この護岸は、Part 1の実験後に考案されたため、この図に示されている実験データは、全てPart 2の実験で測定されたものである。したがって、これまで検討してきた他の護岸に比較するとデータの個数が少ない。この図によると、サイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* は、全て直立護岸の場合よりも小さくなっている。例えば、 $h_c/H_0' = 0.2$ 、 $h_c/H_0' = 0.2$ の条件において、サイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* は、直立護岸の60%程度になる。前節までにおいて検討してきた菱形階段護岸や多段パラベット護岸、水平スリット護岸、パラベット水平階段護岸では、 $h_c/H_0' < 0.4$ と天端高の低い条件にお

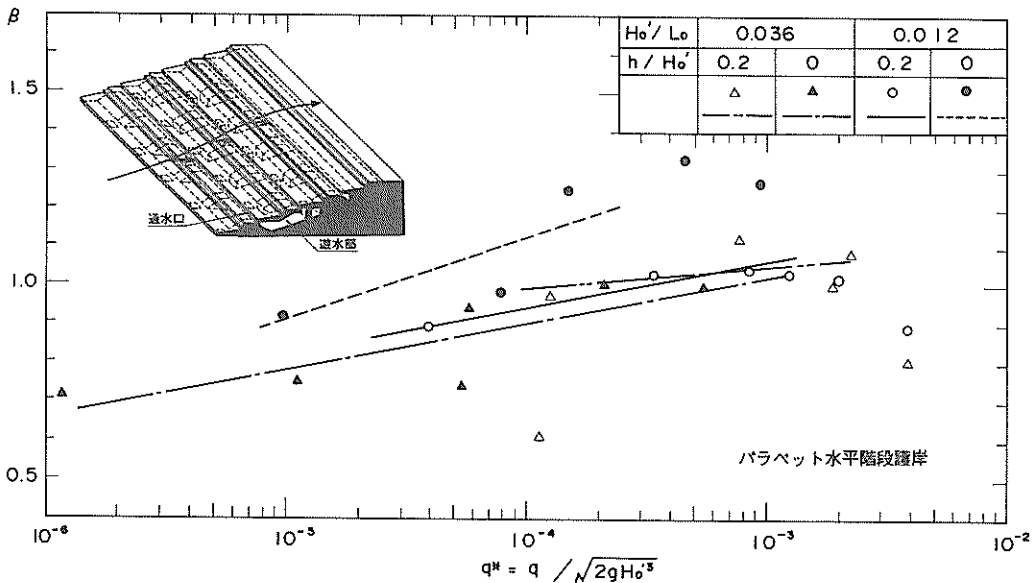


図-26 パラベット水平階段護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係

ける無次元越波流量 q^* は、直立護岸とほぼ同程度かそれ以上であった。しかしながら、サイドステップ護岸では、図-27(a)に示されるように、比較的天端高の低い条件でも直立護岸よりも無次元越波流量が小さくなる。そして、天端高が $h_c/H_0'=0.4, 0.56$ と高くなると、サイドステップ護岸の無次元越波流量は直立護岸よりもさらに小さくなる。また、図-27(a)には示していないが、 $h/H_0'=0, h_c/H_0'=0.76$ の場合には、越波が生じなかった。このように、サイドステップ護岸の越波流量低減効果は、天端高が高くなるほど増大する。これは、天端高が高くなるほど遊水部の容積が増大するためと考えられる。

次に、波形勾配 $H_0'/L_0=0.012$ の波を作用させた場合のサイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c/H_0' の関係を図-27(b)に示す。この図によると $h/H_0'=0.2$ の条件においては、サイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* は、全て直立護岸の場合よりも小さくなる。例えば、 $h_c/H_0'=0.2$ のときにサイドステップ護岸の無次元越波流量 q^* は、直立護岸の60%程度になる。また、 $h_c/H_0'=0.56$ と天端高が高くなると、

サイドステップ護岸の q^* は、直立護岸の1/9程度になる。このように、 $H_0'/L_0=0.012, h/H_0'=0.2$ の条件におけるサイドステップ護岸の越波流量低減効果は、天端高が $h_c/H_0'=0.2$ と比較的低いときから現れ、天端高がさらに高くなるにつれて大きくなる。

図-27(b)に示した護岸前面の水深が0の条件におけるサイドステップ護岸の q^* について調べると、 $h_c/H_0'=0.4$ においては直立護岸の q^* に一致している。また、 $h_c/H_0'=0.6$ においてはサイドステップ護岸の q^* は、直立護岸の q^* の1/4程度になる。この他に、図には示していないが $h_c/H_0'=0.76$ のときは、越波が生じなかった。このように、 $H_0'/L_0=0.012, h/H_0'=0$ の条件におけるサイドステップ護岸の越波流量低減効果は、天端高が $h_c/H_0' \leq 0.4$ と比較的低い場合には現れないが、 $h_c/H_0' > 0.5$ においては、天端高が高くなるのにもなって大きくなる。

図-27(a), (b)に示した実験結果について換算天端高係数 β を求めて、サイドステップ護岸の β と無次元越波流量の関係を示すと図-28のようになる。図中の直線は、沖波波形勾配、護岸前面の水深波高比ごとに、 β と q^*

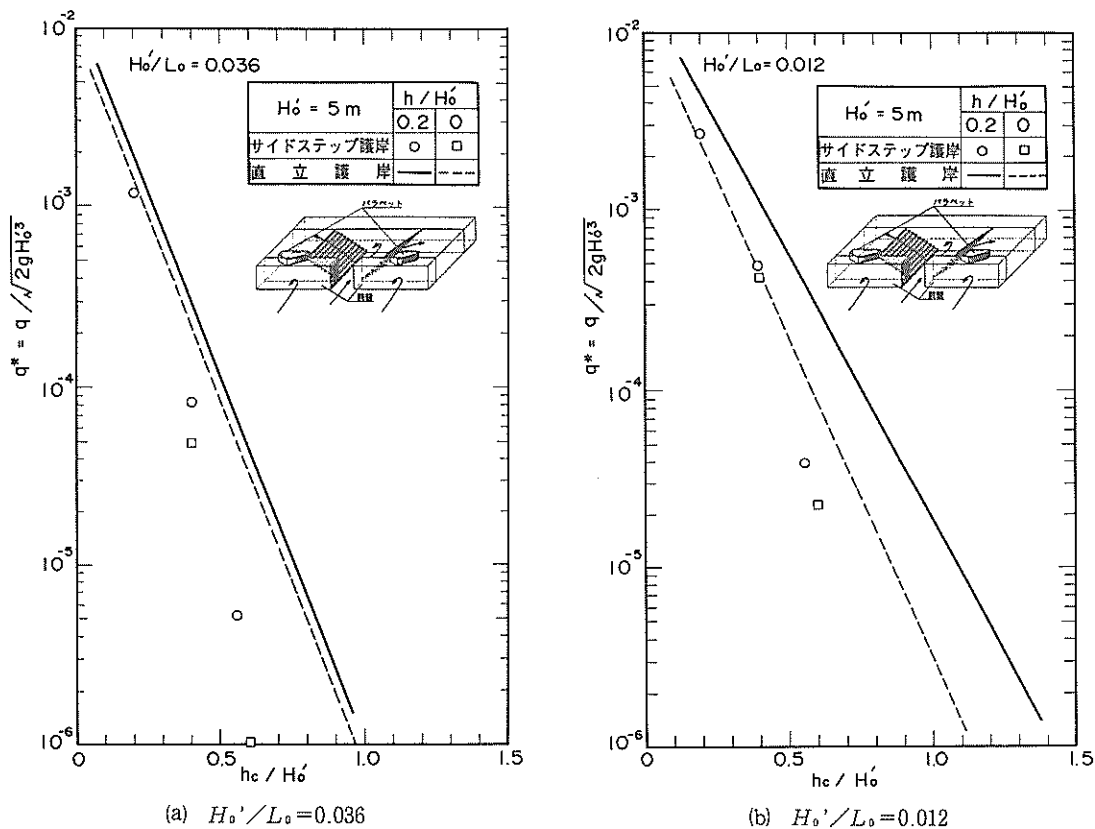


図-27 サイドステップ護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

の関係を示したものである。但し、沖波波形勾配が0.036の条件においては、 β と q^* の関係が、 $h/H_0'=0.2$ の場合と $h/H_0'=0$ の場合とではほぼ一致したので、両者の関係を1本の一点鎖線にまとめて示してある。この図によると、全体の傾向として左下がりになっており、無次元越波流量が小さいほどサイドステップ護岸の天端高低減効果が大きくなるのがわかる。これは、天端高が高くなるほど遊水部の容積が大きくなり、越波流量低減効果が増大するためと考えられる。沖波波形勾配 H_0'/L_0 が0.036の条件においては、 $q^*=10^{-3}$ のときに $\beta=0.8$ 、 $q^*=10^{-5}$ のときに $\beta=0.7$ となることがわかる。このことから、サイドステップ護岸は、波形勾配が0.036の条件においては、直立護岸の場合よりも2割から3割程度天端高を下げるができることといえる。また、沖波波形勾配 $H_0'/L_0=0.012$ 、護岸前面の水深波高比 $h/H_0'=0.2$ の条件においては、 $q^*=10^{-3}$ ~ 10^{-4} のときに $\beta=0.7$ であり、サイドステップ護岸は直立護岸よりも3割程度天端高を下げるができることがわかる。これに対して、沖波の波形勾配 H_0'/L_0 が同じく0.012で、護岸前面の水深が0の条件においては、 $q^*=10^{-4}$ で $\beta=0.9$ 、 $q^*=10^{-5}$ で $\beta=0.8$ となる。すなわちこの条件においては、サイドステップ護岸は、直立護岸よりも1割から2割程度天端高を下げるができる。

以上のように沖波の波形勾配が0.012の場合、水深が浅いほど換算天端高係数は大きくなり、越波流量低減効果は低下する。この理由については次のようなことが考

えられる。合田ら(1975)によると、不規則波を用いた越波実験における護岸前面のサーフビートが現地の自然海岸におけるものよりも大きくなるのが報告されている。合田らはこの影響を考慮するために、護岸の水深がある補正量だけ実際よりも大きくするとともに護岸の天端高をその補正量だけ実際よりも低くして実験結果を整理している。この補正量は、水底勾配が1/30の場合には沖波有義波高の10%とされている。本研究ではこのような補正を行っていないが、もし合田らの方法にならって補正を行うと、次のようになる。まず、護岸の天端高が、沖波有義波高の10%だけ低く補正されることから、図-27(b)に示した実験結果は、0.7だけ左側にプロットされる。そして、護岸前面の水深が深くなることから換算天端高係数 β を産出するときに必要となる実験と同一越波流量となる直立護岸の天端高は、大きくなるように補正される。したがって、合田らの補正にならって補正すると、換算天端高係数は小さくなる。そして補正による換算天端高係数の変化は、護岸前面の水深が浅いほど大きいと考えられる。図-28に示した $H_0'/L_0=0.012$ の場合の β が水深が浅いほど大きくなったのは、このような理由によると考えられる。

4.6 うずまき護岸の越波流量低減効果

うずまき護岸は、サイドステップ護岸のように直立護岸の前面に鉛直壁を設けることによって、その鉛直壁と直立護岸の間に遊水部を造った護岸である。このためサ

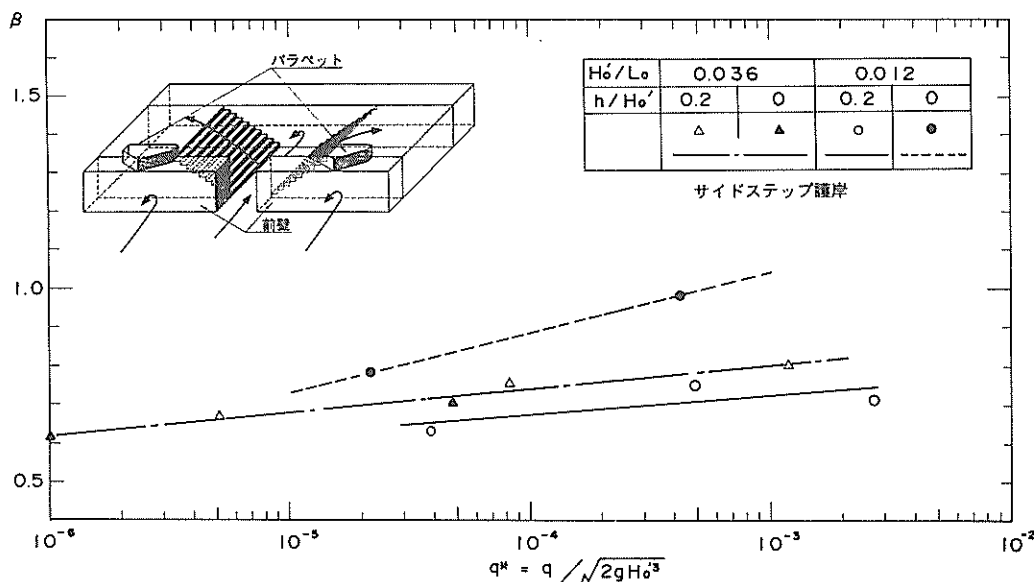
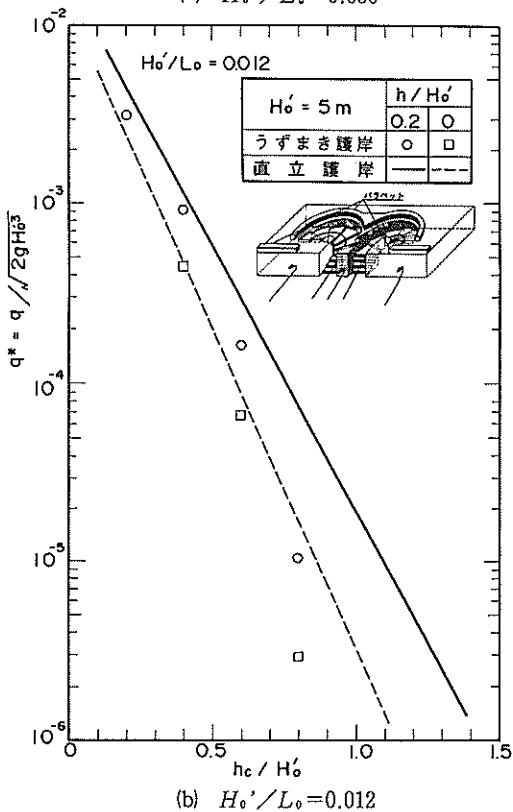
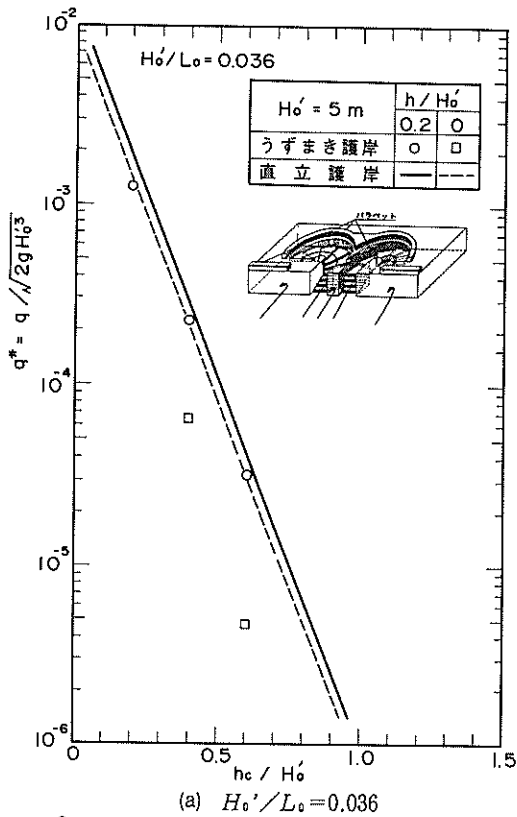


図-28 サイドステップ護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係



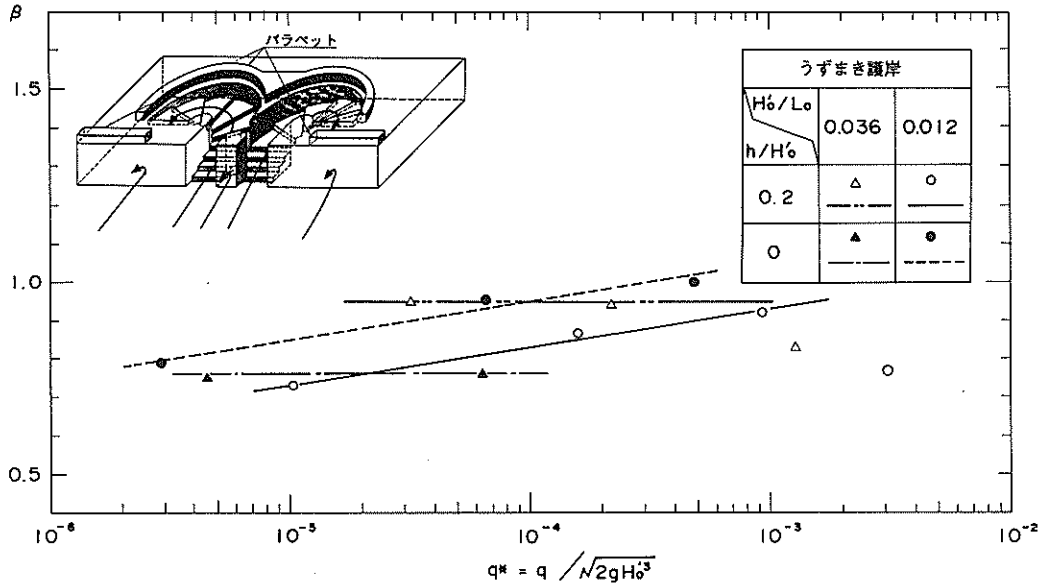
図一 29 うずまき護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

イドステップ護岸と同様に、前壁に到達した波の一部は前壁によって反射されるように観察された。また、波の一部は遊水部に進入してらせん階段を廻すことによって進行方向を沖側に反転させた。そして、進行方向を沖側に反転させた水塊は、前壁を越えて陸側に進入してくる水塊とぶつかって、互いにエネルギーを減殺し合うように見えた。サイドステップ護岸の場合、前壁と前壁の間から遊水部に進入した水によって、遊水部の中に渦が生じていたが、うずまき護岸では遊水部の中に渦は生じなかった。

沖波の波形勾配 $H_o' / L_o = 0.036$ の波を作用させた場合のうずまき護岸の無次元越波流量 q^* と相対天端高 h_c / H_o' の関係は、図一 29(a) に示すようになった。この図によると、 $h / H_o' = 0.2$ 、 $h_c / H_o' = 0.2 \sim 0.6$ の条件では、うずまき護岸の越波流量は、直立護岸の越波流量よりも 30% 程度少なくなることがわかる。また、 $h / H_o' = 0$ の条件におけるうずまき護岸の越波流量は、 $h_c / H_o' = 0.4 \sim 0.6$ において直立護岸の場合と比べて 70% 少なくなる。図には示していないが、 $h_c / H_o' = 0.8$ のときには越波が生じなかった。このように、沖波の波形勾配 H_o' / L_o が 0.036 の場合、うずまき護岸には越波流量を直立護岸よりも低減する効果がある。また、護岸前面の水深と沖波波高の比 h / H_o' が 0 のときと 0.2 のときには、 $h / H_o' = 0$ のときのほうが越波流量低減効果が大きい。

次に、沖波波形勾配 $H_o' / L_o = 0.012$ の場合の実験結果を図一 29(b) に示す。この図から、 $h / H_o' = 0.2$ の条件におけるうずまき護岸の無次元越波流量は、 $h_c / H_o' = 0.2$ のときに、直立護岸の場合よりも 30% 程度低下することがわかる。さらに天端高が $h_c / H_o' = 0.4, 0.6, 0.8$ と高くなると、うずまき護岸の越波流量は、直立護岸の場合と比べてそれぞれ 20%, 40%, 80% 程度低下する。また、 $h / H_o' = 0$ の条件におけるうずまき護岸の無次元越波流量は、 $h_c / H_o' = 0.4$ では直立護岸の無次元越波流量に一致し、天端高が $h_c / H_o' = 0.6, 0.8$ と高くなるにしたがって直立護岸の場合よりも 30%, 80% 程度小さな無次元越波流量になる。図には示していないが、 $h_c / H_o' = 1.0$ では越波が生じなかった。このように沖波波形勾配 $H_o' / L_o = 0.012$ の条件におけるうずまき護岸の越波流量低減効果は、天端高が高くなるのにしたがって大きくなる。

水平スリット護岸やパラベット水平階段護岸の場合には、天端高 h_c が沖波有義波高 H_o' の 50% よりも小さな条件では、越波流量が直立護岸と同程度となって越波流量低減効果は小さかった。これに対してうずまき護岸の



図—30 うずまき護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係

場合には、図—29(a)および(b)に示すように h_c/H_0' が 0.2~0.4 と比較的小さな条件でも越波流量低減効果が認められる。

図—29(a), (b)に示した実験結果から換算天端高係数 β を求めて、 β と無次元越波流量の関係に整理したものが図—30である。図中の直線は、沖波波形勾配、護岸前面の水深波高比ごとに、 β と q^* の関係を示したものである。この図によると、沖波の波形勾配 $H_0'/L_0 = 0.036$ の場合には、 β は q^* によらずほぼ一定の値となっており、 $h/H_0' = 0.2$ で $\beta = 0.95$ 、 $h/H_0' = 0$ で $\beta = 0.75$ となる。これに対して沖波の波形勾配 $H_0'/L_0 = 0.012$ の場合には、 q^* が小さくなるほど β は小さくなる。これは、図—29(b)に示すように天端高が高くなるほど、うずまき護岸の越波流量低減効果が大きくなるためである。また、 $h/H_0' = 0$ の場合と $h/H_0' = 0.2$ の場合では、 $h/H_0' = 0.2$ における β のほうが小さく、越波流量低減効果が大きいことがわかる。

4.7 複断面護岸の越波流量低減効果

実験中の観察によると、複断面護岸の越波の様子は、図—31に示すようになった。複断面護岸に來襲した波は、この図の I に示すように前段部を遡上して、図の II に示すように中法部に乗り上げる。このとき、波の一部は前段部の斜面で沖側に反射される。中法部に乗り上げた波

は、図—31の III に示すように段波状になって進行して後段部に到達する。そして図—31の IV に示すように後段部を遡上して越波した。このとき図—31の V に示すように波の一部は後段部で反射された。以上のような越波の状況から考えて、複断面護岸が越波流量を低減する理由として、次の3つが考えられる。第一は、図—31の I の過程で波が前段部に乗り上げる時に水塊の内部に渦が生じて波の運動エネルギーが失われることである。

第二は、図—31の II に示すように前段部によって複断面護岸に來襲する波の一部が反射され、後段部に到達しないことである。そして第三は、図—31の III に示すように波が段波状になって中法部を進行するときに水塊内部の渦によって波の運動エネルギーが失われることである。

実験によって得られた複断面護岸の天端高 h_c/H_0' と無次元越波流量 q^* の関係を図—32(a)~(d)に示す。複断面護岸の諸元のうち越波流量低減効果に影響を及ぼすものとしては、中法部の幅 B と沖波有義波長 L_0 の比 B/L_0 及び、中法部の高さ h_{c1} と沖波有義波高 H_0' の比 h_{c1}/H_0' が予想される。そこで、図—32ではそれらをパラメーターとして実験結果を示している。また、図中に示した実線は、著者の一人が提案した越波流量算定法(高山ら, 1982)を用いて求めた直立護岸の h_c/H_0' と q^* の関係を示したものである。

図—32(a)~(b)によると、実験結果は全体的に実線より

も下にプロットされており、複断面護岸は越波流量低減効果があることがわかる。さらに子細に見ると、沖波波高に対する護岸天端高の比 h_{c1}/H_0' が同一でも中法部の幅 B と沖波波長の比 B/L_0 が増大するのにもなって q^* が減少する傾向が認められる。このようになるのは、中法部の幅 B が大きくなると、図-31に示したⅢの過程における波のエネルギー損失が大きくなるためと考えられる。

次に h_{c1}/H_0' が q^* に及ぼす影響について調べると次のようなことがわかる。図-32(a)において $h_c/H_0'=0.5$ における $h_{c1}/H_0'=0.03$, $B/L_0=0.12$ の場合の q^* と $h_{c1}/H_0'=0.4$, $B/L_0=0.18$ の場合の q^* とを比較すると、後者の条件のほうが B/L_0 が大きいかにかかわらず、 q^* が大きくなる。また、この図の $h_c/H_0'=0.2$ において、 $h_{c1}/H_0'=-0.03$, $B/L_0=0.09$ の場合の q^*

と $h_{c1}/H_0'=0.03$, $B/L_0=0.072$ の場合の q^* とを比較すると、後者の条件のほうが B/L_0 が小さいにもかかわらず q^* が小さくなる。したがって図-31(a)に示した範囲では、 $h_{c1}/H_0'=0.03$ のときに越波流量が最も小さく、 h_{c1}/H_0' がそれよりも大きいても小さくても越波流量は大きくなる。これと似たような傾向は、図-32(b)~(d)についても認めることができる。

このようになる理由としては、次のようなことが考えられる。中法部の高さ h_{c1} が低い場合、図-31のⅠに示すように波が中法部に乗り上げる過程において失うエネルギーは相対的に小さく考えられる。また、図-31のⅡに示すように前段部で反射される波のエネルギーも相対的に小さく考えられる。その結果、後段部に到達した波のエネルギーは相対的に大きくなって、越波流量も相対的に大きくなるものと考えられる。これに

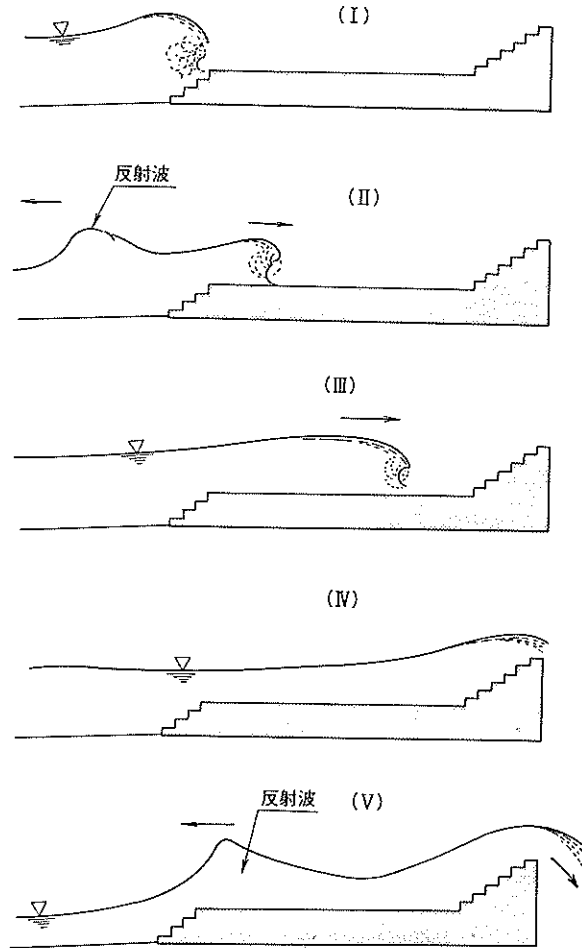
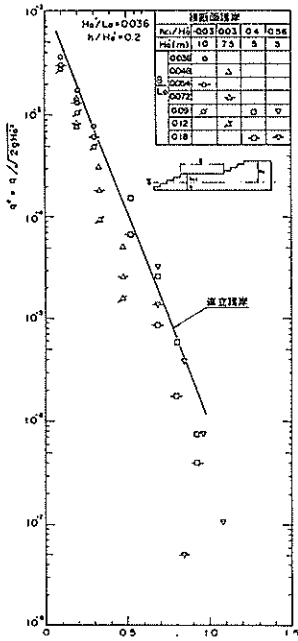
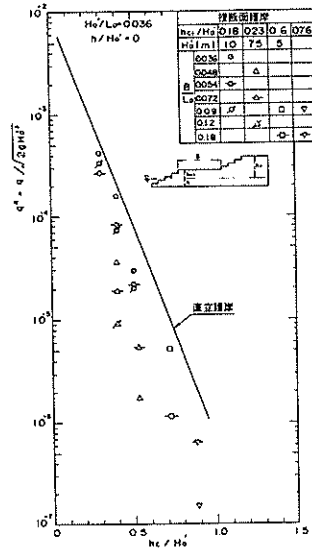


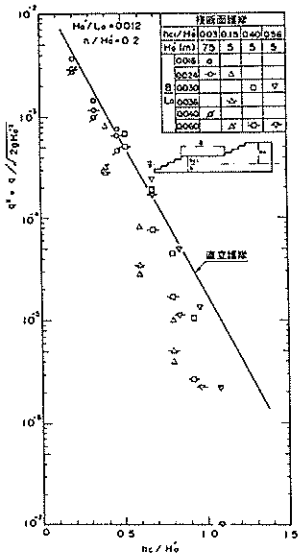
図-31 複断面護岸の越波の状況



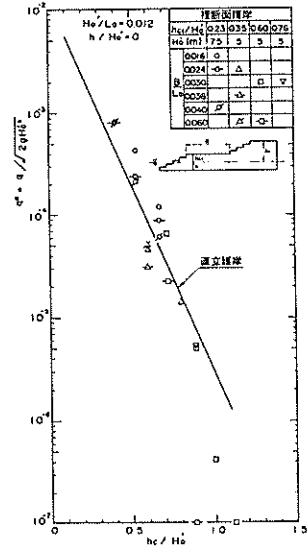
(a) $H_0'/L_0=0.036, h/H_0'=0.2$



(b) $H_0'/L_0=0.036, h/H_0'=0$



(c) $H_0'/L_0=0.012, h/H_0'=0.2$



(d) $H_0'/L_0=0.012, h/H_0'=0$

図-32 複断面護岸の無次元越波流量と相対天端高の関係

対して中法部の高さ h_{c1} を相対的に大きくすると、先に述べた波が中法部に乗り上げることによるエネルギー損失は相対的に大きくなるものと考えられる。また、前段部で反射される波のエネルギーも相対的に大きくなるものが予想される。この結果、後段部に到達する波のエネルギーは相対的に小さくなるものと考えられる。しかしながら、中法部の高さを相対的に高くすると、後段部の高さはそれだけ低くなる。このため、後段部に到達する波のエネルギーは小さくても、波は後段部を越波しやすくなり、越波流量は相対的に増大するものと考えられる。以上のような理由によって、中法部の高さは低すぎても高すぎても越波流量が増大し、中法部の高さを適当に設定することによって越波流量が最も小さくなるものと考えられる。

護岸全体の天端高 h_c/H_0' によっても複断面護岸の越波流量低減効果は変化するようである。たとえば、図-32(c)に四角形で示した $h_{c1}/H_0'=0.4$ 、 $B/L_0=0.03$ の条件における実験結果は、 $h_c/H_0'=0.52$ および 0.68 の時には直立護岸とほぼ同程度の越波流量となるのに対して、 $h_c/H_0'=0.8$ 及び 0.92 の時には、直立護岸の約 $1/2$ 程度の越波流量となる。

そこで、それぞれの条件における越波流量低減効果を定量的に表すために、各実験データについて換算天端高係数 β を算定した。ただし、合田ら(1975)が示した越波流量算定図では、 $q^* < 10^{-6}$ の範囲について示されていないため、 $q^* < 10^{-6}$ の場合の直立護岸の所用天端高を求めることができなかった。このため $q^* < 10^{-6}$ の範囲の実験結果については β を求めることができなかった。図-33(a)~(b)は、 $q^* \geq 10^{-6}$ の範囲における q^* と β の関係を示したもので、図中の直線はそれぞれの条件について q^* と β の関係を線形とみなして最小自乗法を用いて求めたものである。

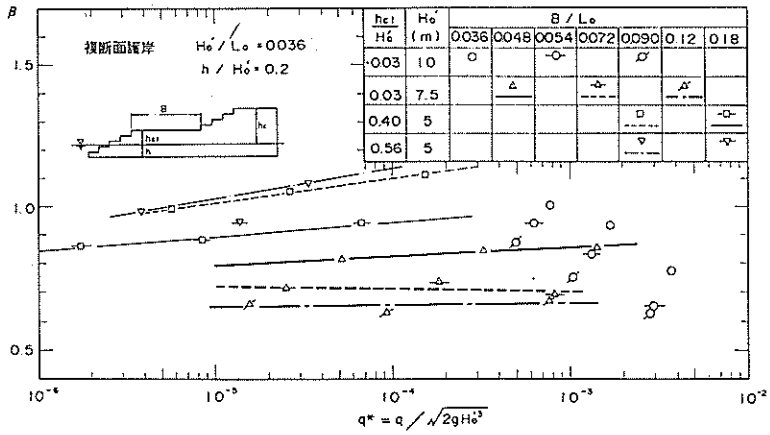
これらの図において q^* と β の関係を調べると、全体的な傾向としては、 B/L_0 や h_{c1}/H_0' の条件が同一であれば、 q^* が小さいほど β は小さくなるのがわかる。 B/L_0 による β の変化について調べると、 B/L_0 が大きくなるほど β が低下しており、先に図-32で検討したように B/L_0 が大きいほど複断面護岸の越波流量低減効果が増大する。また、 h_{c1}/H_0' による β の変化に着目すると、図-33(a)~(d)のいずれの図においても、上向きの三角形で示された β が、他のマークで示したものよりも小さくなる。このことから、いずれの図においても h_{c1}/H_0' が2番目に小さな条件で β が最小になることがわかる。このように、 h_{c1}/H_0' に関して、最小の β を与える値が存在することがわかる。

複断面護岸を現地に適用していくことを考えると、以上に述べたような B/L_0 及び h_{c1}/H_0' と β の定量的な関係が必要になると考えられる。そこで、まず、次のような方法によって、 B/L_0 と β の関係を求めた。 q^* と β の関係について、図-33に示した直線関係が成り立つと考えて、 B/L_0 や h_{c1}/H_0' に関するそれぞれの条件について $q^*=10^{-4}$ 及び $q^*=10^{-5}$ における β の値を図から読みとる。このようにして $q^*=10^{-4}$ 及び $q^*=10^{-5}$ における β と B/L_0 の関係をそれぞれ求めたところ、図-34(a)~(d)に示すようになった。ここで、 q^* の条件として 10^{-4} と 10^{-5} を用いたのは、実際の護岸の設置条件として許容越波流量 $q_s=0.005\sim 0.02 \text{ m}^3/\text{m}\cdot\text{s}$ 、沖波波高 $H_0'=5\sim 8 \text{ m}$ となる場合が多いことから、無次元越波流量 $q^*=5\times 10^{-4}\sim 5\times 10^{-5}$ の範囲について実験結果をまとめることが、実用上重要と考えたためである。

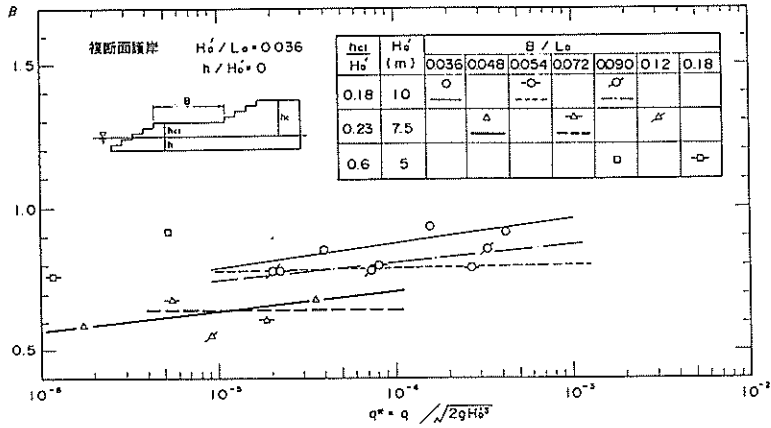
図-34(a)~(d)によると、全体的にデータは右下がりにプロットされており、中法部の天端幅が広くなると複断面護岸の越波流量低減効果が大きくなるのがわかる。但し、 h_{c1}/H_0' や H_0'/L_0 によって、 β と B/L_0 の関係はそれぞれ異なる傾向を示している。特に、 $H_0'/L_0=0.036$ の条件においては、 B/L_0 が同一でも h_{c1}/H_0' が異なると β が 0.2 以上変化する。また、 $H_0'/L_0=0.012$ の条件では、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合よりも h_{c1}/H_0' による β の変化は小さいが、実験した範囲の中で同一 B/L_0 に対して h_{c1}/H_0' によって 0.1 程度 β が変化する。

このように、複断面護岸の β については、 B/L_0 以外に h_{c1}/H_0' パラメーターが重要であると考えられる。また、中法部の天端幅 B は、護岸を建設する現地の条件によって、設計上の制約が強いことが予想される。そこで、大まかにいって、どの程度の中法部の幅があれば、複断面護岸の β が 1.1 よりも小さくなり、通常の階段護岸よりも天端高を下げられるかどうかについて検討した。これについて、図-34(a)~(d)によると、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合には、 B/L_0 を 0.1 以上、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合には、 B/L_0 を 0.05 以上にすれば、複断面護岸の越波流量低減効果を期待できると判断される。

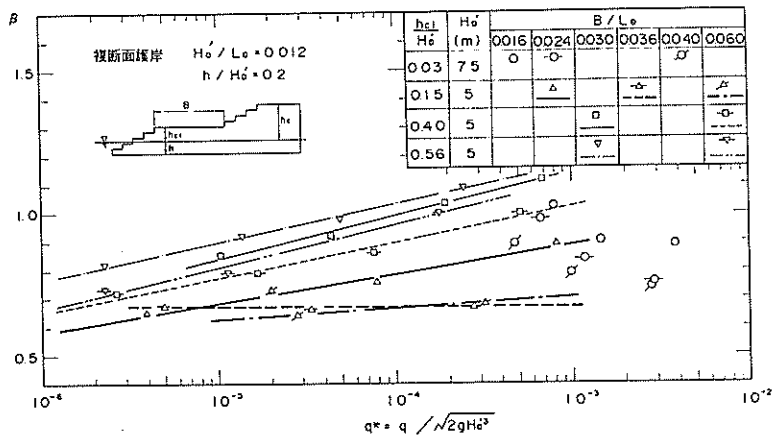
中法部の天端幅 B と比べると、前段部の高さ h_{c1} は、設計上の自由度が高いと思われる。そこで、同一の B/L_0 の条件において、 h_{c1}/H_0' によって β がどのように変化するか検討した。これを行うために、まず、図-34(a)~(d)に示した B/L_0 と、 β の関係から、 $H_0'/L_0=0.036$ の場合には、 $B/L_0=0.1$ 、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合には、 $B/L_0=0.05$ における β の値を内挿あるいは外挿によって求める。そして、この β と h_{c1}/H_0' の関係を示したのが、図-1(a)、(b)である。



(a) $H_0'/L_0 = 0.036$, $h/H_0' = 0.2$

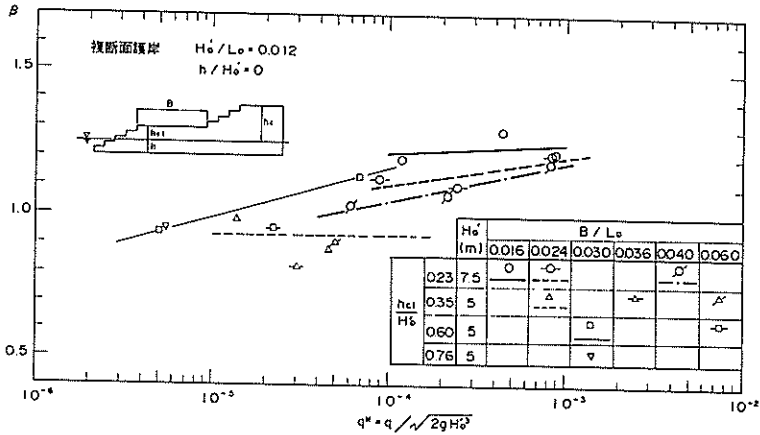


(b) $H_0'/L_0 = 0.036$, $h/H_0' = 0$



(c) $H_0'/L_0 = 0.012$, $h/H_0' = 0.2$

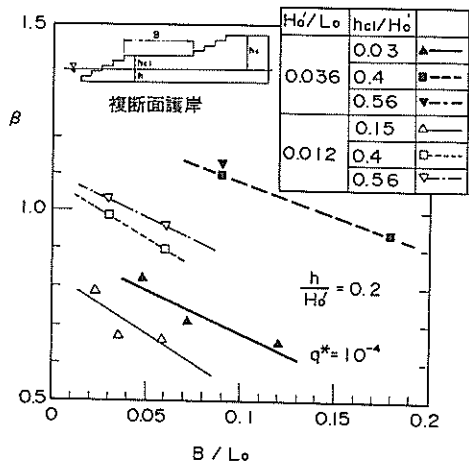
図一33 複断面護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係(その1)



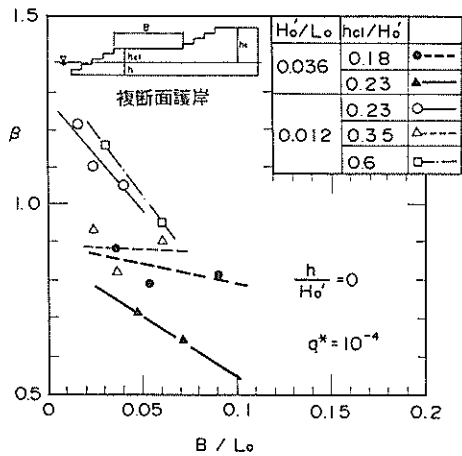
(d) $H_0'/L_0=0.012$, $h/H_0'=0$

図-33 複断面護岸の換算天端高係数と無次元越波流量の関係(その2)

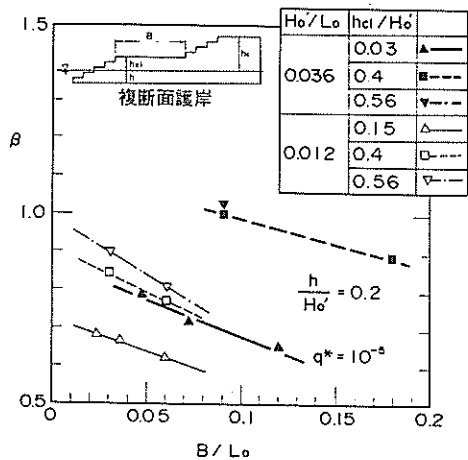
図-35(a)によると β は、 h_{c1}/H_0' が0.2~0.4の領域で最小になっており、これ以上 h_{c1}/H_0' が大きくなると、 β は増大する傾向が認められる。また、図-35(b)によると、 β は h_{c1}/H_0' によって増大する傾向が認められる。このようになる理由としては、次のようなことが考えられる。すなわち、 h_{c1} が小さい場合には、図-31に示した越波の過程のうち、IIの過程で失われる波のエネルギーが小さくなって、護岸の構造を複断面にしたことの効果低下するものと思われる。また、 h_{c1} を大きくすると、図-31に示したIIの過程で失われる波のエネルギーは大きくなるが、後段部の天端高が相対的に小さくなり、図-31に示したIVの過程で失われる波のエネルギーが小さくなって、複断面護岸の効果低下すると考えられる。したがって複断面護岸では、 h_{c1} の設定が重要となると考えられ、ある最適な値が存在するようである本実験の範囲で最適な h_{c1} を推定するのは難しいと思われるが、図-35によれば、概ね $h_{c1}/H_0'=0.2\sim0.4$ にすればよいと推察される。



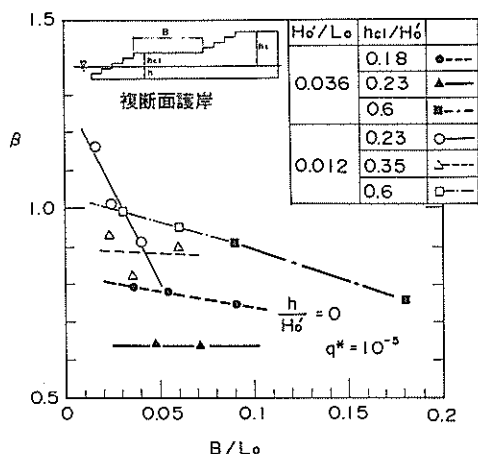
(a) $h/H_0' = 0.2, q^* = 10^{-4}$



(b) $h/H_0' = 0.2, q^* = 10^{-4}$

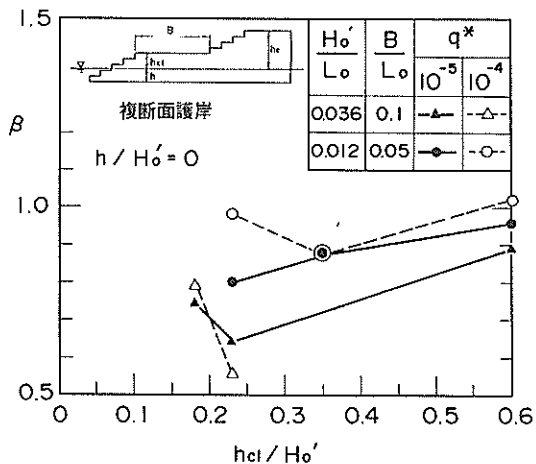


(c) $h/H_0' = 0, q^* = 10^{-5}$

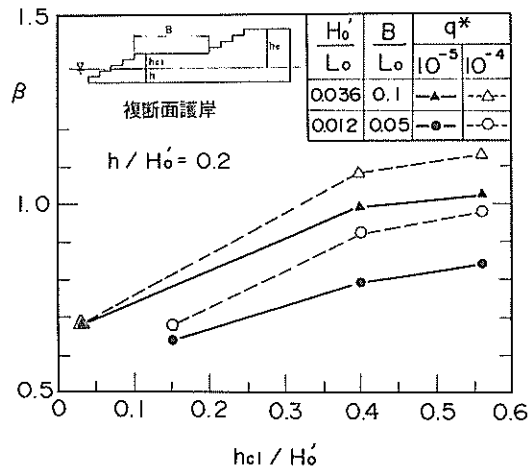


(d) $h/H_0' = 0, q^* = 10^{-5}$

図一34 複断面護岸の換算天端高係数と中法部幅の関係



(a) $h/H_0' = 0$



(b) $h/H_0' = 0.2$

図一35 複断面護岸の換算天端高係数と前段部高さの関係

5. 考 察

5.1 護岸前面におけるサーフビートについて

先に1章の図-1に関して述べたように、護岸の天端を下げる意義のある場合として、対象とする護岸前面に砂浜があり、この砂浜を多くの市民が利用することが想定される。そのような場合には、護岸が前面の砂浜に悪い影響を及ぼさないように工夫する必要がある。一般には、護岸を建設すると護岸で反射される波によって前面の砂浜の侵食が促進されることが言われている。このため、人工海浜を計画するときには、年間最大波が来襲しても、護岸には波が到達しないように後浜の高さを決定している。しかし、図-1(c)に示したような高潮潮位の高い地点では、高潮が来襲したときには後浜の上まで水位が上昇するため、護岸に直接波が作用することが考えられる。

そこで、護岸からの反射率についての検討を行った。まず、入反射分離計算によって、護岸の反射率を求めた。しかし、造波板で造波された波は、斜面を進行する途中で、そのエネルギーの殆んどを失うため、各護岸に関して反射率に大きな差が生じなかった。合田ら(1975)によ

ると、反射のために護岸前面におけるサーフビートの強さは、護岸を設けない場合より強くなることがいわれている。そこで、各護岸前面のサーフビートの強さを調べた。

図-36(a), (b)は、水平スリット護岸、菱形階段護岸、サイドステップ護岸、うずまき護岸の前面の波高計によって測定された水面波形から求めたサーフビートの強さを示している。ここで、サーフビートの強さとしては、合田らの提案しているように沖波のエネルギーに対する、護岸前面における0.3Hz以下の波動成分のエネルギーの比を用いた。図中の一点直線は合田によって提案された自然海浜における海底勾配、水深、波形勾配と、サーフビートの強さの関係を示したものである。これによると、護岸の天端高が $h_c/H_o' = 0.2$ から0.4に高くなると全体的にサーフビートの強さが大きくなる。また、護岸の前面が斜面になっている水平スリット護岸や菱形階段護岸の方が、前面が直立壁であるサイドステップ護岸やうずまき護岸の場合よりもサーフビートの強さが小さくなっている。また、水平スリット護岸と菱形階段護岸を比較すると、前者を設置したときのサーフビートの強さの方が小さい。

実験中の観察によれば、水平スリット護岸を設置した

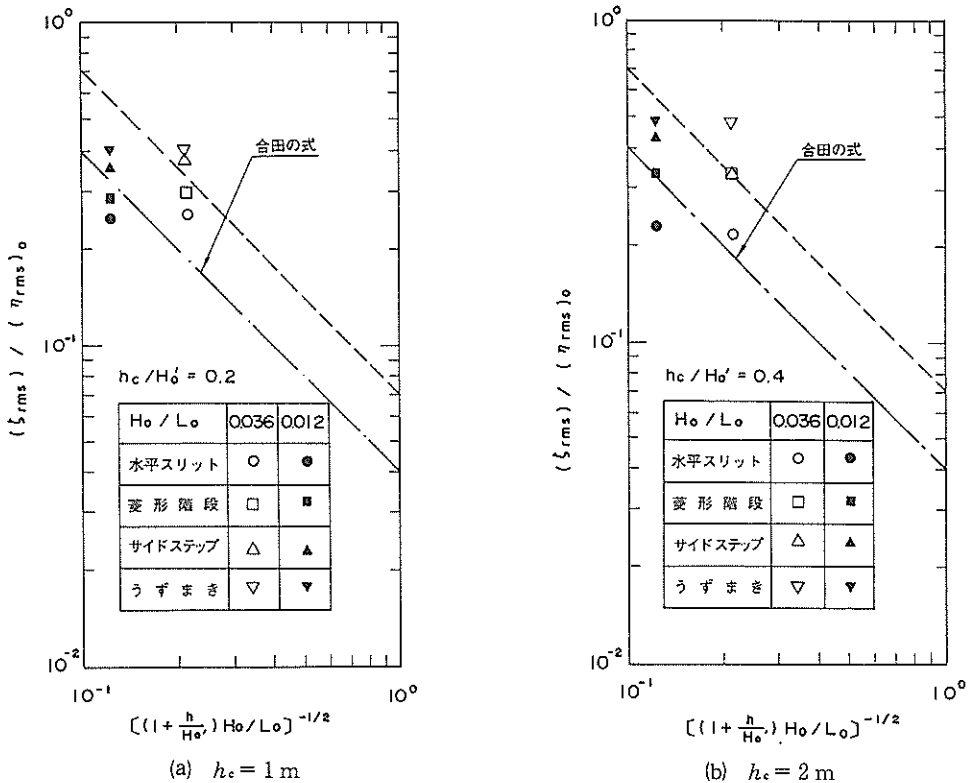


図-36 護岸前面におけるサーフビートの強さ

場合、護岸内部の遊水部で波のエネルギーが消費されるため、護岸からの反射波の強さは比較的弱いように見えた。これに対して、サイドステップ護岸やうずまき護岸を設置した場合には、護岸からの反射波の強さは比較的強いように見えた。以上のことから考えて、図-36に認められる護岸形式によるサーフビートの強さの相違は、護岸からの反射波の強さによると思われる。

以上のように、護岸前面のサーフビートの強さは護岸の形式によって異なり、サイドステップ護岸やうずまき護岸では、護岸を設けない一様勾配斜面上で発生するものよりも強いサーフビートが生じ、強い反射波が生じているようである。これに対して、水平スリット護岸を設置した場合のサーフビートの強さは、一様勾配斜面上で生ずるものとはほぼ同程度であり、護岸からの反射波は比較的弱いものと考えられる。したがって、護岸前面に砂浜があり、それを保全する必要がある場合には、水平スリット護岸を採用するほうがよいと考えられる。

5.2 越波流量低減効果に対する護岸の法面に設けた凹凸の効果

菱形階段護岸も多段バラベット護岸も傾斜護岸に凹凸

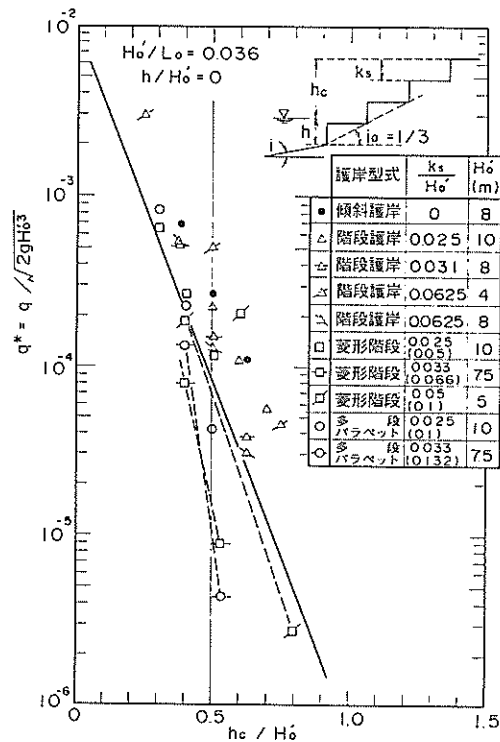


図-37 法面に凹凸をつけたタイプの護岸の越波流量の比較

をつけることを意図して考察したが、凹凸の大きさと越波流量の関係については、これまであまり検討されていない。そこで本研究では、合田・岸良(1976)や石原ら(1957)の研究を参考にして、階段護岸の段高あるいは凹凸の突起の高さ k_s と H_0' の比を凹凸の大きさと定義することにした。図-37、38は、このように定義した凹凸の大きさ k_s/H_0' と越波流量 q^* 、換算天端高係数 β の関係を示したものである。図中には、著者の一人(高山ら, 1982)によって紹介されている運輸省第一港湾建設局による階段護岸の越波実験の結果もプロットした。この図によると、護岸の天端高が同一であっても法面の凹凸の大きさが增大することによって越波流量と換算天端高係数が低減していることがわかる。また、護岸の構造が階段護岸、菱形階段護岸、多段バラベット護岸のいずれの場合においても、凹凸の大きさと越波流量、換算天端高係数の関係はほぼ1本の曲線上にプロットされる。このことは、凹凸の大きさを k_s/H_0' で定義することに一般性があることを示唆している。但し、図-37、38に示した k_s/H_0' と β の関係は、護岸前面の海底勾配 i や波形勾配 H_0'/L_0 、護岸の法面の勾配 i_0 、護岸の相対天端高 h_c/H_0' などの影響を受けることが予想される。しかし、

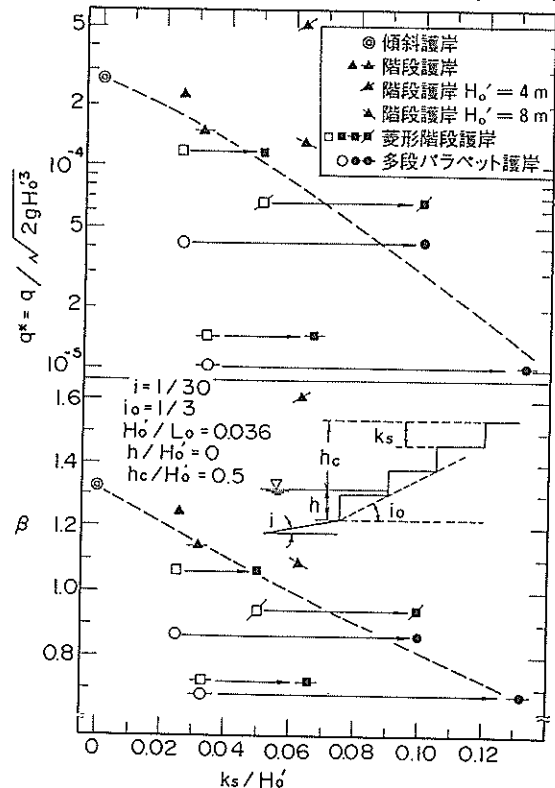


図-38 法面の凸部の高さによる越波流量の低減効果

おおよその目安としては、傾斜護岸に凹凸をつけて越波流量の低減を図るには h_0/H_0' を0.06以上にするのがよいと考えられる。

5.3 越波流量低減効果に対する護岸遊水部の効果

遊水部を有する各護岸形式に関して、越波流量低減効果に相違が生じる原因として、遊水部の容積が異なることが考えられる。そこで、遊水部の容積と越波流量低減効果の関係について検討した。越波流量低減効果のパラメーターとしては、 β （換算天端高係数）を用いた。また、遊水部の容積については、次のようにして無次元化した。まず、汀線上に天端高0の護岸をおいたと仮定したときの越波流量を著者の一人が提案した越波流量算定式(高山ら, 1982)によって計算し、この越波流量と有義波周期の積 Q_0 を求めた。すなわち Q_0 は、汀線にうち上がる波の一波あたりの平均的な体積と考えることができる。次に、護岸の単位幅当たりの遊水部容積 V_v' を求め、これと Q_0 との比 V_v'/Q_0 を無次元化した護岸遊水部の容積と定義した。図-39(a)~(b)は、実験結果から求めた換算天端高係数 β と無次元化した護岸遊水部容積 V_v'/Q_0 の関係を示している。この図によると、全体的

な傾向としては右下がりになっており、無次元化した護岸遊水部の容積が増えるにしたがって換算天端高係数が低下し、越波流量低減効果が大きくなるのがわかる。また、図-39の中で $H_0'/L_0=0.012$ のときの点は、 $H_0'/L_0=0.036$ のときの点よりも上に分布しており、遊水部を有するタイプの護岸においても波形勾配が大きいときのほうが越波流量低減効果が大きいことがわかる。図の中でサイドステップ護岸やうずまき護岸を示す点はばらつきが小さく、両者に共通する β と V_v'/Q_0 の関係を見いだすことができそうである。しかし、図の中で水平スリット護岸やパラベット水平階段護岸を示す点はばらつきが大きく、一般的な β と V_v'/Q_0 の関係を見いだすことは難しい。これは、遊水部を設けたことによって生ずる波のエネルギー損失が、単に遊水部の容積だけではなく、遊水部の中の構造や水が遊水部に流入する部分の大きさなどによっても異なるためと思われる。以上のように遊水部の容積と越波流量低減効果の関係について検討したが、定量的な関係を見いだすことはできなかった。ただし定性的には遊水部の容積が増すことによって越波流量低減効果も増大しており、図-39から $V_v'/Q_0 > 1$ であれば $\beta < 1$ となって直立護岸よりも越波流量を低減できるようである。

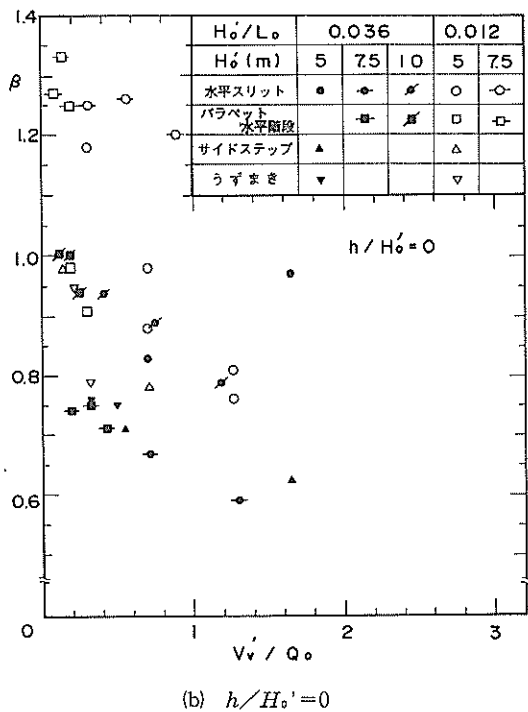
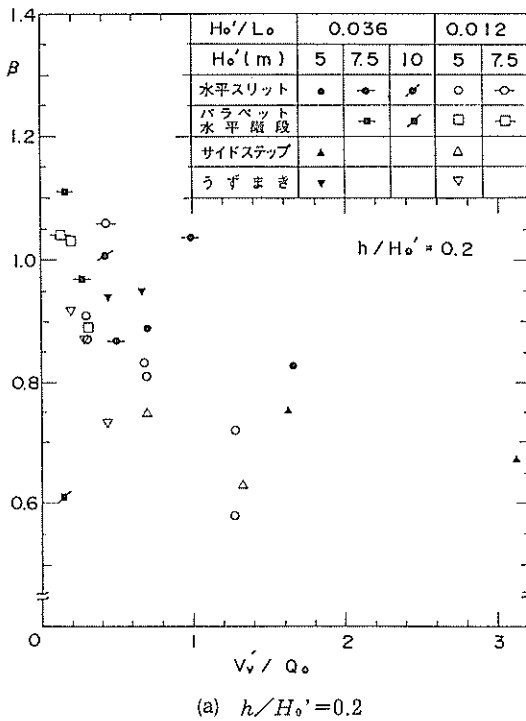


図-39 遊水部を設けたタイプの護岸の換算天端高係数と遊水部の体積の関係

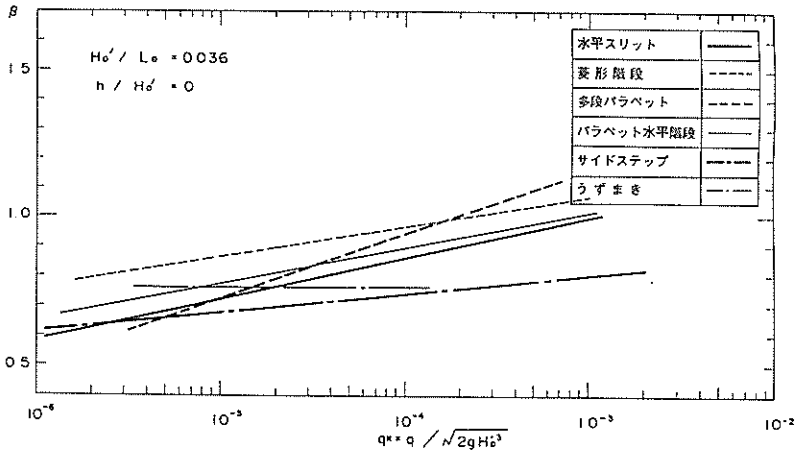
5.4 各護岸形式の比較

本研究で考案した複断面護岸以外の護岸形式の越波流量低減効果を比較するために、それぞれについて換算天端高係数 β と無次元越波流量 q^* の関係求めた。図-40(a)~(d)は、各護岸の β と q^* の関係を重ね合わせたものである。これによると、もっとも天端高低減効果が大きいのはサイドステップ護岸である。特に、 $H_0'/L_0=0.012$ の場合には、他の形式よりも β が0.2ほど小さくなる。したがってサイドステップ護岸は、図-1(b), (d)に示したような護岸の天端を下げて景観を良くしたい場合や、空港周囲の護岸のように護岸の天端を極力下げたい場合に適していると考えられる。また、先に述べたように、護岸前面におけるサーフビートの強さについては、水平スリット護岸の場合がもっとも小さかった。砂浜の安定性に関して、護岸前面におけるサーフビートの強さが弱く、護岸からの反射波が弱いほうがよいと考えられ

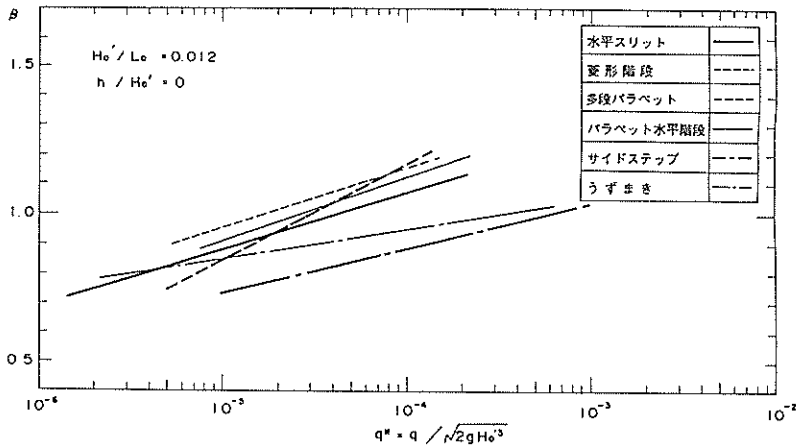
る。図-40によると、水平スリット護岸はサイドステップ護岸に次いで越波流量低減効果がある。したがって、水平スリット護岸は、図-1(a), (c)に示したように前面に砂浜がある場合に適していると考えられる。菱形階段護岸や多段バラベット護岸は、構造が簡単であるので建設費用が他の形式よりも安くなると思われる。図-40(a)に示すように $H_0'/L_0=0.036$ の場合には、これらの護岸の天端高は直立護岸よりも低くすることができる。したがって、菱形階段護岸や多段バラベット護岸は、日本海側の海岸のように来襲する波の波形勾配が大きな地点に適していると考えられる。

6. あとがき

本報告では、まず、護岸の天端高を下げる意義が大きな事例を整理した上で、越波流量が低減するような新しい護岸の構造を考案し、その水理的特性について検討し

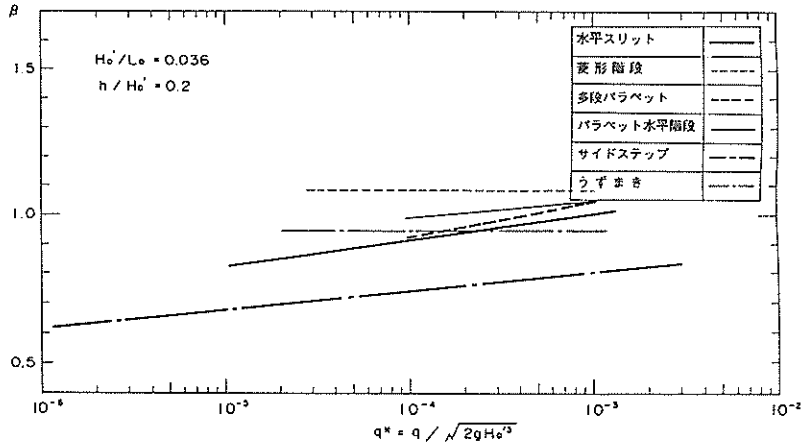


(a) $H_0'/L_0=0.036$, $h/H_0'=0$

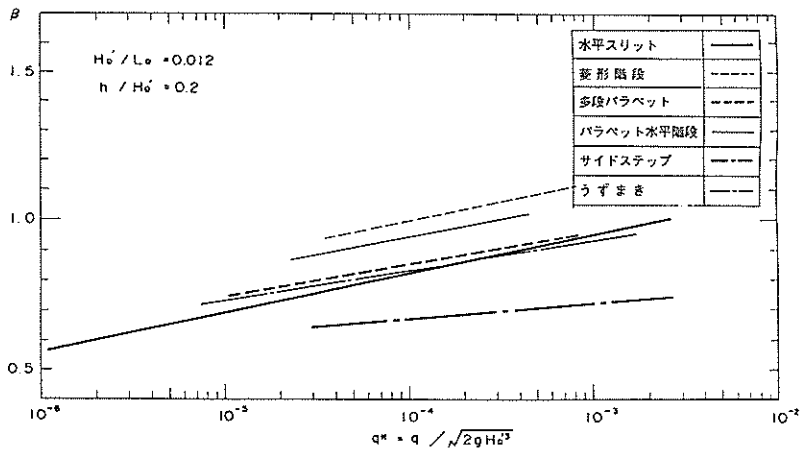


(b) $H_0'/L_0=0.012$, $h/H_0'=0$

図-40 各護岸形式による越波流量低減効果の比較



(c) $H_0'/L_0=0.036$, $h/H_0'=0.2$



(d) $H_0'/L_0=0.012$, $h/H_0'=0.2$

た。また、それらの護岸の構造的な特徴が、越波の低減にどの程度の効果を発揮するかについて、各護岸の越波流量低減効果を考察することによって検討した。得られた結論をまとめると以下ようになる。

- (1) 沖波の波形勾配が大きい場合、傾斜護岸の法面に粗度凹凸をつけることによって越波流量を低減できる。そして、護岸前面に設けた階段の段高あるいは突起の高さと沖波波高の比が大きくなるほど越波流量が低下する。
- (2) 護岸に遊水部を設けて越波流量を低減させる場合、遊水部の大きさが大きいほど越波流量を低減できる。
- (3) 階段護岸の前面に広い水平な部分を設けて越波流量を低減させる場合、水平な部分の高さを沖波波高の2割から4割程度にするのがよい。また、水平な部分の天端幅と沖波波長の比は、波形勾配が0.01

2の場合には0.05、波形勾配が0.036の場合には0.1程度にするのがよい。

- (4) 今回考案した護岸形式の中ではサイドステップ護岸がもっとも天端高を下げるができる。また、護岸前面に砂浜がある場合には水平スリット護岸が適している。沖波の波長が大きい場合には、菱形階段護岸でも直立護岸よりも天端高を下げるができる。

従来は、一つの海岸線に同じ断面をもつ構造物を連続して建設することが多かった。しかし現在、海岸空間の利用を促進するために、各地で低天端型護岸の建設が望まれている。また、海岸空間を人が快適に利用するために、景観についての検討も広く行われているようである。今後は、一つの海岸線の中にもいくつかの護岸形式を組み合わせることによって景観に変化をつけたり、可

能な限り護岸の天端を下げることは、大きな意義のあることと思われる。その際に、本研究で考案したような護岸の形式を海岸線の一部に取り入れれば、それほど費用をかけずに効果をあげることができると思われる。

今後本研究の成果を現地に適用してゆくためには、構造の強度や、耐久性、施工性、経済性などについても検討する必要があると思われる。また、景観や人の通行のしやすさ等については、護岸の構造を考案する際に考慮したが、さらに検討を重ねる必要もあると思われる。

なお、本研究で製作した護岸模型は、運輸省防災課からいただいた予算によって製作した。護岸構造の考案及び、報告書のとりまとめの過程では、鈴木康正波浪研究室長ならびに平石主任研究官、計画設計基準部齊藤潮主任研究官から貴重なご意見をいただいた。また、模型の設計及び発注に当たっては、元波浪研究室員小杉直史技官にご協力いただいた。このほか図面の作成及び実験の作業には、波浪研究室藤井久技官、富田康大技官にご協力いただいた。以上の方々には深く感謝する次第である。

本報告は、高山の全般的な指導のもとに模型の製作及び実験を立石が担当し、池田が解析及びとりまとめを行ったものである。

参 考 文 献

- 1) I.A.(1959):Design of Seawalls and Breakwaters, Proceedings,ASCE, Vol.85,No.WW3, pp.132~152
- 2) Saville,T.Jr.(1955):Laboratory data on wave run-up and overtopping on shore structures, U.S.Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No.64, 32pp.
- 3) Sibul,O.J.(1955):Flow over reefs and structures, by wave action Trans. Amer. Geophys. Union, vol.36
- 4) 石原藤次郎・岩垣 雄一・三井 宏(1957); 海岸堤防の越波防止効果について, 第4回海岸工学講演会講演集, pp.99~109
- 5) 岩垣雄一・井上雅夫・金田孝之(1968); 海岸堤防の越波実験における縮尺効果について, 第15回海岸工学講演会講演集, pp.282~287
- 6) 郭 金棟・李 永寿(1970); 砕波後の波の打ち上げ高について, 第17回海岸工学講演会論文集, pp.107~112
- 7) 加藤一正(1990); 漂砂と海浜変化に及ぼす長周期波の影響に関する研究, 東京工業大学工学部土木工科学学位論文, pp.85~109
- 8) 合田良実(1970); 防波護岸の越波流量に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第9巻, 第4号, pp.3~42
- 9) 合田良実・岸良安治・神山豊(1975); 不規則波による防波護岸の越波流量に関する実験的研究, 港湾技術研究所報告, 第14巻, 第4号, pp.3~44
- 10) 合田良実・岸良安治(1976); 不規則波による低天端型護岸の越波特性実験, 港湾技研資料, No.242
- 11) 合田良実・鈴木康正・岸良安治・菊池治(1976); 不規則波実験における入・反射波の分離推定法, 港湾技研資料, No.248
- 12) 合田良実(1987); 数値シミュレーションによる波浪の標準スペクトルと統計的性質, 第34回海岸工学講演会講演集, pp.131~135
- 13) 柴田綱三・柳生忠彦・村田利治(1981); 階段式護岸の設計について, 港湾技研資料, No.380
- 14) 高田 彰(1967); 不透過壁面の線形および透過斜面の空げきが越波量におよぼす影響について, 第14回海岸工学講演会講演集, pp.129~138
- 15) 高田 彰・吉田吉治・藤川浩生(1979); 海岸堤防・護岸の断面形状と越波量との関係, 第26回海岸工学講演会論文集, pp.285~289
- 16) 高山知司・永井紀彦・西田一彦(1982); 各種消波工による越波流量の減少効果, 港湾技術研究所報告, 第21巻, 第2号, pp.151~205
- 17) 高山知司・古川正美・立石義博(1987); 複断面海岸における護岸越波流量に関する模型実験, 港湾技研資料, No.592
- 18) 富永正照・佐久間豊(1968); 海岸堤防の越波について, 第15回海岸工学講演会講演集, pp.277~281
- 19) 服部典節・佐藤昭二(1973); 前面に遊歩道をもつ海浜護岸について—越波特性からの断面形の検討—, 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第3号, pp.71~98
- 20) 平口博丸・鹿島遼一・川口 隆(1988); 水面波形制御方式による無反射造波機の不規則波実験への適用性, 第35回海岸工学講演会論文集, pp.30~34
- 21) 間辺本文・山本正照・中山哲巖(1986); 遊水部を有する消波工付護岸の越波に関する不規則波実験, 第33回海岸工学講演会論文集, pp.392~396
- 22) 柳生忠彦・白石修章・八尋明彦・波山春夫・谷島義孝(1989); 消波式階段護岸の水理特性に関する実験的研究, 海岸工学論文集, 第36巻, pp.604~607
- 23) 山口晶敬・外山進一・鶴谷広一・岸良安治(1979); 縦型スリットケソンの越波および反射特性について, 第26回海岸工学講演会論文集, pp.281~284
- 24) 山本正照・西 裕司(1984); 越波の少ない低天端堤の開発, 第31回海岸工学講演会論文集, pp.537~541

主要記号表

$S(f)$:周波数スペクトルのエネルギー密度
H_0'	:沖波有義波高
T_0	:沖波有義周期
H_0'/L_0	:沖波波形勾配
h	:護岸前面水深
h_c	:護岸天端高
$H_{1/3}$:有義波高
$T_{1/3}$:有義波周期
q	:越波流量
q^*	:無次元越波流量
$H_{1/3}/H_0'$:波高比
η	:平均水位
q_a	:許容越波流量
q_a^*	:無次元許容越波流量
R	:一様勾配斜面における波の打ち上げ高
i	:海底勾配

付表一A 1(1) 菱形階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h / Ho'	Ho'	q^*	hc	hc_0	β
0.036	0.2	15	1.69×10^{-3}	0.20	0.21	0.95
			6.35×10^{-4}	0.33	0.315	1.05
			2.15×10^{-4}	0.47	0.43	1.09
		20	3.84×10^{-3}	0.10	0.12	0.83
			1.25×10^{-3}	0.20	0.245	0.82
			1.33×10^{-3}	0.30	0.24	1.25
	0.0	15	7.92×10^{-5}	0.40	0.50	0.80
			8.80×10^{-6}	0.53	0.735	0.72
		20	6.52×10^{-4}	0.30	0.285	1.05
			2.66×10^{-4}	0.40	0.375	1.07
			1.17×10^{-4}	0.50	0.46	1.09

付表—A 1(2) 菱形階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β
0.012	0.2	10	1.07×10^{-3}	0.40	0.41	0.98
			3.70×10^{-4}	0.60	0.57	1.05
			7.71×10^{-5}	0.80	0.80	1.00
		15	3.81×10^{-3}	0.20	0.23	0.87
			1.94×10^{-3}	0.33	0.30	1.10
			1.11×10^{-3}	0.47	0.41	1.15
	0.0	10	1.39×10^{-4}	0.60	0.55	1.09
			8.45×10^{-6}	0.80	0.88	0.91
		15	9.92×10^{-4}	0.40	0.31	1.29
			4.55×10^{-4}	0.53	0.40	1.33
			2.07×10^{-4}	0.67	0.50	1.34

付表一A 1(3) 菱形階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho' /Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β
0.036	0.2	20	2.85×10^{-3}	0.20	0.155	1.29
			4.95×10^{-3}	0.40	0.10	4.00
			7.15×10^{-5}	0.60	0.55	1.09
			3.40×10^{-5}	0.80	0.63	1.27
	0.0	20	1.85×10^{-4}	0.40	0.41	0.98
			2.03×10^{-4}	0.60	0.40	1.50
			2.70×10^{-6}	0.80	0.86	0.93

付表一A 1(4) 菱形階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho' /Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β
0.012	0.2	20	5.80×10^{-3}	0.20	0.17	1.18
			1.73×10^{-3}	0.40	0.345	1.16
			4.20×10^{-4}	0.60	0.55	1.09
			5.50×10^{-5}	0.80	0.845	0.95
	0.0	20	1.08×10^{-3}	0.40	0.30	1.33
			6.60×10^{-4}	0.60	0.36	1.67
			2.40×10^{-5}	0.80	0.75	1.07

付表-A 2(1) 多段パラベット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

Ho' / Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	
0.012	0.2	10	4.89×10^{-4}	0.40	0.52	0.77	
		15	3.26×10^{-3}	0.20	0.245	0.82	
		10	1.58×10^{-4}	0.60	0.69	0.87	
		15	1.55×10^{-3}	0.33	0.355	0.93	
		10	1.65×10^{-5}	0.80	1.015	0.79	
		15	9.24×10^{-4}	0.47	0.43	1.09	
	0.0	0.0	10	5.00×10^{-6}	0.60	0.94	0.64
			15	1.10×10^{-3}	0.40	0.295	1.36
			10	6.79×10^{-6}	0.80	0.885	0.90
			15	4.75×10^{-4}	0.53	0.39	1.36
			10				
			15	1.37×10^{-4}	0.67	0.545	1.23

付表-A 2(2) 多段パラベット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

H_o' / L_o	h / H_o'	H_o'	q^*	hc	hc_0	β
0.036	0.2	15	1.24×10^{-3}	0.20	0.25	0.80
		20	3.70×10^{-3}	0.10	0.13	0.77
		15	4.07×10^{-4}	0.33	0.365	0.90
		20	1.89×10^{-3}	0.20	0.205	0.98
		15	1.31×10^{-4}	0.47	0.485	0.97
		20	9.73×10^{-4}	0.30	0.275	1.09
	0.0	15	1.35×10^{-4}	0.40	0.45	0.89
		20	8.33×10^{-4}	0.30	0.255	1.18
		15	4.28×10^{-6}	0.53	0.81	0.65
		20	2.26×10^{-4}	0.40	0.395	1.01
		15				
		20	4.21×10^{-5}	0.50	0.57	0.88

付表-A 3(1) 水平スリット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

H_o' / L_o	h / H_o'	H_o'	q^*	hc	hc_B	β
0.036	0.2	15	1.45×10^{-3}	0.20	0.23	0.87
			3.50×10^{-4}	0.33	0.38	0.87
			1.85×10^{-4}	0.47	0.45	1.04
		20	4.00×10^{-3}	0.10	0.125	0.80
			1.90×10^{-3}	0.20	0.20	1.00
			8.30×10^{-4}	0.30	0.29	1.03
	0.0	15	3.30×10^{-5}	0.40	0.60	0.67
			1.75×10^{-6}	0.53	0.90	0.59
		20	4.70×10^{-4}	0.30	0.32	0.94
			1.35×10^{-4}	0.40	0.45	0.89
			2.45×10^{-5}	0.50	0.63	0.79

付表-A 3(2) 水平スリット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h / Ho'	Ho'	q^*	hc	hc_0	β
0.012	0.2	10	8.70×10^{-4}	0.40	0.44	0.91
			1.25×10^{-4}	0.60	0.72	0.83
			8.90×10^{-6}	0.80	1.11	0.72
		15	3.80×10^{-3}	0.20	0.23	0.87
			1.60×10^{-3}	0.33	0.35	0.94
			8.40×10^{-4}	0.47	0.445	1.06
	0.0	10	4.20×10^{-5}	0.60	0.685	0.88
			3.20×10^{-6}	0.80	0.99	0.81
		15	9.20×10^{-4}	0.40	0.32	1.25
			3.85×10^{-4}	0.53	0.42	1.26
			1.28×10^{-4}	0.67	0.56	1.20

付表-A 3(3) 水平スリット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho' /Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β
0.036	0.2	20	1.83×10^{-3}	0.20	0.21	0.95
			1.80×10^{-4}	0.40	0.45	0.89
			1.36×10^{-5}	0.60	0.725	0.83
	0.0	20	9.80×10^{-5}	0.40	0.48	0.83
			2.60×10^{-5}	0.60	0.62	0.97

付表-A 3(4) 水平スリット護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho' /Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β
0.012	0.2	20	4.40×10^{-3}	0.20	0.21	0.95
			7.40×10^{-4}	0.40	0.462	0.87
			1.09×10^{-4}	0.60	0.745	0.81
			1.35×10^{-6}	0.80	1.38	0.58
	0.0	20	7.70×10^{-4}	0.40	0.34	1.18
			7.55×10^{-5}	0.60	0.615	0.98
			2.10×10^{-6}	0.80	1.05	0.76

付表-A 4(1) パラベット水平階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

H_o' / L_o	h / H_o'	H_o'	q^*	hc	hc_B	β
0.012	0.2	10	1.24×10^{-3}	0.40	0.39	1.03
		15	3.84×10^{-3}	0.20	0.255	0.89
		10	3.44×10^{-4}	0.60	0.58	1.03
		15	1.97×10^{-3}	0.33	0.325	1.02
		10	3.89×10^{-5}	0.80	0.90	0.89
		15	8.43×10^{-4}	0.47	0.45	1.04
	0.0	10	7.67×10^{-5}	0.60	0.615	0.98
		15	9.32×10^{-4}	0.40	0.315	1.27
		10	9.66×10^{-6}	0.80	0.865	0.92
		15	4.52×10^{-4}	0.53	0.40	1.33
		10				
		15	1.50×10^{-4}	0.67	0.535	1.25

付表-A 4(2) パラペット水平階段護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

Ho' /Lo	h/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	
0.036	0.2	15	1.89×10^{-3}	0.20	0.20	1.00	
		20	3.90×10^{-3}	0.10	0.125	0.80	
		15	7.72×10^{-4}	0.33	0.295	1.12	
		20	2.26×10^{-3}	0.20	0.185	1.08	
		15	1.29×10^{-4}	0.47	0.485	0.97	
		20	1.18×10^{-4}	0.30	0.495	0.61	
	0.0	0.0	15	5.46×10^{-5}	0.40	0.54	0.74
			20	5.47×10^{-4}	0.30	0.30	1.00
			15	1.13×10^{-5}	0.53	0.71	0.75
			20	2.16×10^{-4}	0.40	0.40	1.00
			15	1.17×10^{-6}	0.67	0.95	0.71
			20	5.97×10^{-5}	0.50	0.53	0.94

付表-A 5(1) サイドステップ護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

Ho' / Lo	h / Ho'	q^*	hc	hc_{θ}	β
0.012	0.2	2.72×10^{-3}	0.20	0.28	0.71
		4.89×10^{-4}	0.40	0.53	0.75
		3.91×10^{-5}	0.56	0.89	0.63
	0.0	4.24×10^{-4}	0.40	0.41	0.98
		2.23×10^{-5}	0.60	0.77	0.78

付表-A 5(2) サイドステップ護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

Ho' / Lo	h / Ho'	q^*	hc	hc_{θ}	β
0.036	0.2	1.20×10^{-3}	0.20	0.25	0.80
		8.26×10^{-5}	0.40	0.53	0.75
		5.10×10^{-6}	0.56	0.83	0.67
	0.0	4.85×10^{-5}	0.40	0.56	0.71
		1.00×10^{-6}	0.60	0.97	0.62

付表-A 6(1) うずまき護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

H_o' / L_o	h / H_o'	q^*	hc	hc_B	β
0.012	0.2	3.11×10^{-3}	0.20	0.26	0.77
		9.20×10^{-4}	0.40	0.435	0.92
		1.63×10^{-4}	0.60	0.69	0.87
		1.02×10^{-5}	0.80	1.09	0.73
	0.0	4.48×10^{-4}	0.40	0.40	1.00
		6.60×10^{-5}	0.60	0.63	0.95
		2.91×10^{-6}	0.80	1.01	0.79

付表-A 6(2) うずまき護岸の越波流量データ及び換算天端高係数

H_o' / L_o	h / H_o'	q^*	hc	hc_B	β
0.036	0.2	1.29×10^{-3}	0.20	0.24	0.83
		2.22×10^{-4}	0.40	0.425	0.94
		3.17×10^{-5}	0.60	0.63	0.95
		2.51×10^{-7}	0.80		
	0.0	6.40×10^{-5}	0.40	0.525	0.76
		4.66×10^{-6}	0.60	0.80	0.75

付表-A7(1) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L
0.036	0.2	50	0.03	15	7.67×10^{-4}	0.20	0.30	0.67	0.12
			-0.03	20	2.78×10^{-3}	0.10	0.16	0.63	0.09
			0.03	15	9.26×10^{-5}	0.33	0.52	0.63	0.12
			-0.03	20	1.04×10^{-3}	0.20	0.265	0.75	0.09
			0.03	15	1.58×10^{-5}	0.47	0.71	0.66	0.12
			-0.03	20	4.92×10^{-4}	0.30	0.345	0.87	0.09
		30	0.03	15	8.30×10^{-4}	0.20	0.29	0.69	0.072
			-0.03	20	3.00×10^{-3}	0.10	0.155	0.65	0.054
			0.03	15	1.86×10^{-4}	0.33	0.45	0.73	0.072
			-0.03	20	1.32×10^{-3}	0.20	0.24	0.83	0.054
			0.03	15	2.55×10^{-5}	0.47	0.66	0.71	0.072
			-0.03	20	6.26×10^{-4}	0.30	0.32	0.94	0.054
		20	0.03	15	1.42×10^{-3}	0.20	0.235	0.85	0.048
			-0.03	20	3.64×10^{-3}	0.10	0.13	0.77	0.036
			0.03	15	3.31×10^{-4}	0.33	0.395	0.84	0.048
			-0.03	20	1.71×10^{-3}	0.20	0.215	0.93	0.036
			0.03	15	5.10×10^{-5}	0.47	0.58	0.81	0.048
			-0.03	20	7.83×10^{-4}	0.30	0.30	1.00	0.036

付表-A7(2) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L	
0.036	0.0	50	0.23	15	9.14×10^{-6}	0.40	0.73	0.55	0.12	
			0.18	20	3.31×10^{-4}	0.30	0.355	0.85	0.09	
			0.23	15						
			0.18	20	7.30×10^{-5}	0.40	0.51	0.78	0.09	
			0.23	15						
			0.18	20	2.04×10^{-5}	0.50	0.645	0.78	0.09	
		30	0.23	15	1.89×10^{-5}	0.40	0.655	0.61	0.072	
			0.18	20	2.63×10^{-4}	0.30	0.38	0.79	0.054	
			0.23	15	5.45×10^{-6}	0.53	0.785	0.68	0.072	
			0.18	20	8.03×10^{-5}	0.40	0.50	0.80	0.054	
			0.23	15						
			0.18	20	2.18×10^{-5}	0.50	0.64	0.78	0.054	
		20	0.23	15	3.52×10^{-5}	0.40	0.59	0.68	0.048	
			0.18	20	4.18×10^{-4}	0.30	0.33	0.91	0.036	
			0.23	15	1.75×10^{-6}	0.53	0.90	0.59	0.048	
			0.18	20	1.58×10^{-4}	0.40	0.43	0.93	0.036	
			0.23	15						
			0.18	20	2.99×10^{-5}	0.50	0.61	0.82	0.036	

付表-A 7(3) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' /Lo	h/Ho'	B	hcl/Ho'	Ho'	q *	hc	hc _B	β	B/L
0.012	0.2	50	0.15	10	3.18×10^{-4}	0.40	0.585	0.68	0.06
			0.03	15	2.78×10^{-3}	0.20	0.27	0.74	0.04
			0.15	10	2.79×10^{-5}	0.60	0.94	0.64	0.06
			0.03	15	9.92×10^{-4}	0.33	0.42	0.79	0.04
			0.15	10	1.00×10^{-5}	0.80	1.09	0.73	0.06
			0.03	15	4.73×10^{-4}	0.47	0.53	0.89	0.04
		30	0.15	10	2.83×10^{-4}	0.40	0.60	0.67	0.036
			0.03	15	2.84×10^{-3}	0.20	0.265	0.75	0.024
			0.15	10	3.40×10^{-5}	0.60	0.91	0.66	0.036
			0.03	15	1.18×10^{-3}	0.33	0.395	0.84	0.024
			0.15	10	5.00×10^{-6}	0.80	1.19	0.67	0.036
			0.03	15	6.63×10^{-4}	0.47	0.48	0.98	0.024
		20	0.15	10	8.09×10^{-4}	0.40	0.45	0.89	0.024
			0.03	15	3.75×10^{-3}	0.20	0.225	0.89	0.016
			0.15	10	8.02×10^{-5}	0.60	0.79	0.76	0.024
			0.03	15	1.43×10^{-3}	0.33	0.365	0.90	0.16
			0.15	10	3.96×10^{-6}	0.80	1.225	0.65	0.024
			0.03	15	7.76×10^{-4}	0.47	0.46	1.02	0.16

付表一A 7(4) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 1)

Ho' / Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L	
0.012	0.0	50	0.35	10	5.07×10^{-5}	0.60	0.67	0.90	0.06	
			0.23	15	8.11×10^{-4}	0.40	0.34	1.18	0.04	
			0.35	10						
			0.23	15	2.15×10^{-4}	0.53	0.495	1.07	0.04	
			0.35	10						
			0.23	15	6.13×10^{-5}	0.67	0.65	1.03	0.04	
		30	0.35	10	3.07×10^{-5}	0.60	0.73	0.82	0.036	
			0.23	15	8.41×10^{-4}	0.40	0.33	1.21	0.024	
			0.35	10						
			0.23	15	2.41×10^{-4}	0.53	0.48	1.10	0.024	
			0.35	10						
			0.23	15	8.85×10^{-5}	0.67	0.60	1.12	0.024	
		20	0.35	10	4.57×10^{-5}	0.60	0.68	0.88	0.024	
			0.23	15	8.53×10^{-4}	0.40	0.33	1.21	0.016	
			0.35	10	1.39×10^{-5}	0.80	0.82	0.98	0.024	
			0.23	15	4.36×10^{-4}	0.53	0.41	1.29	0.016	
			0.35	10						
			0.23	15	1.20×10^{-4}	0.67	0.565	1.19	0.016	

付表-A 7(5) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho'/Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L
0.036	0.2	50	0.40	20	1.52×10^{-4}	0.52	0.47	1.11	0.09
			0.40	20	2.61×10^{-5}	0.68	0.65	1.05	0.09
			0.40	20	5.81×10^{-6}	0.80	0.81	0.99	0.09
			0.40	20	7.51×10^{-7}	0.92			0.09
	0.0	50	0.60	20	5.15×10^{-6}	0.72	0.79	0.91	0.09
0.012	0.2	50	0.40	20	6.85×10^{-4}	0.52	0.47	1.11	0.03
			0.40	20	1.92×10^{-4}	0.68	0.66	1.03	0.03
			0.40	20	4.44×10^{-5}	0.80	0.87	0.92	0.03
			0.40	20	1.02×10^{-5}	0.92	1.085	0.85	0.03
	0.0	50	0.60	20	6.48×10^{-5}	0.72	0.64	1.13	0.03
			0.60	20	5.01×10^{-6}	0.88	0.94	0.94	0.03
			0.60	20	4.26×10^{-7}	1.00			0.03
			0.60	20	1.00×10^{-7}	1.12			0.03

付表-A7(6) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho'/Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q*	hc	hc ₀	β	B/L
0.036	0.2	100	0.40	20	6.70×10^{-5}	0.52	0.555	0.94	0.18
			0.40	20	8.61×10^{-6}	0.68	0.77	0.88	0.18
			0.40	20	1.77×10^{-6}	0.80	0.935	0.86	0.18
			0.40	20	4.01×10^{-7}	0.92			0.18
	0.0	100	0.60	20	1.15×10^{-6}	0.72	0.945	0.76	0.18
0.012	0.2	100	0.40	20	5.03×10^{-4}	0.52	0.52	1.00	0.06
			0.40	20	7.61×10^{-5}	0.68	0.795	0.86	0.06
			0.40	20	1.68×10^{-5}	0.80	1.015	0.79	0.06
			0.40	20	2.65×10^{-6}	0.92	1.28	0.72	0.06
	0.0	100	0.60	20	2.25×10^{-5}	0.72	0.76	0.95	0.06
			0.60	20	1.00×10^{-7}	0.88			0.06

付表一A7(7) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho'/Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L
0.036	0.2	50	0.56	20	3.28×10^{-5}	0.68	0.63	1.08	0.09
			0.56	20	3.83×10^{-6}	0.84	0.855	0.98	0.09
			0.56	20	7.50×10^{-7}	0.96			0.09
			0.56	20	1.76×10^{-7}	1.08			0.09
	0.0	50	0.76	20	1.50×10^{-7}	0.88			0.09
0.012	0.2	50	0.56	20	2.41×10^{-4}	0.68	0.625	1.09	0.03
			0.56	20	4.89×10^{-5}	0.84	0.86	0.98	0.03
			0.56	20	1.35×10^{-5}	0.96	1.045	0.92	0.03
			0.56	20	2.21×10^{-6}	1.08	1.31	0.82	0.03
	0.0	50	0.76	20	5.36×10^{-6}	0.88	0.93	0.95	0.03

付表一A7(8) 複断面幅護岸の越波流量データ及び換算天端高係数 (Part 2)

Ho'/Lo	h/Ho'	B	hc1/Ho'	Ho'	q *	hc	hc ₀	β	B/L
0.036	0.2	100	0.56	20	1.38×10^{-5}	0.68	0.72	0.94	0.18
			0.56	20	5.00×10^{-8}	0.84			0.18
	0.0	100	0.76	20	6.50×10^{-7}	0.88			0.18
0.012	0.2	100	0.56	20	1.71×10^{-4}	0.68	0.68	1.00	0.06
			0.56	20	1.11×10^{-5}	0.84	1.07	0.79	0.06
			0.56	20	2.21×10^{-6}	0.96	1.31	0.73	0.06
			0.56	20	1.00×10^{-7}	1.08			

付表-B1(1) 水平スリット護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	3024	2	47.25	0.53	3.15	0.70	0.83	9.80E-05
12	7128	3	111.38	0.55	7.43	1.65	0.97	2.60E-05
16	12960	4	202.50	0.56	13.50	3.00		
20	20520	5	320.63	0.57	21.38	4.75		

付表-B1(2) 水平スリット護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	3024	2	47.25	0.53	3.15	0.30	1.18	7.70E-04
12	7128	3	111.38	0.55	7.43	0.70	0.98	7.55E-05
16	12960	4	202.50	0.56	13.50	1.27	0.76	2.10E-06
20	20520	5	320.63	0.57	21.38	2.02		

付表-B 1(3) 水平スリット護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	1782	3	222.75	0.55	7.43	0.71	0.67	3.30E-05
8	3240	4	405.00	0.56	13.50	1.30	0.59	1.75E-06
10	5130	5	641.25	0.67	21.38	2.06		

付表-B 1(4) 水平スリット護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	1782	3	222.75	0.55	7.43	0.70	0.88	4.20E-05
8	3240	4	405.00	0.56	13.50	1.27	0.81	3.20E-06
10	5130	5	641.25	0.57	21.38	2.02		

付表-B 1(5) 水平スリット護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=10\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	1782	3	222.75	0.55	7.43	0.41	0.94	4.70E-04
8	3240	4	405.00	0.56	13.50	0.75	0.89	1.35E-04
10	5130	5	641.25	0.57	21.38	1.19	0.79	2.45E-05

付表-B 1(6) 水平スリット護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	1782	3	222.75	0.55	7.43	0.31	1.25	9.20E-04
8	3240	4	405.00	0.56	13.50	0.57	1.26	3.85E-04
10	5130	5	641.25	0.57	21.38	0.90	1.20	1.28E-04

付表-B 2(1) パラベット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	504	3	63.04	0.16	2.10	0.20	0.74	5.46E-05
8	797	4	99.64	0.14	3.32	0.32	0.75	1.13E-05
10	1089	5	136.10	0.12	4.54	0.44	0.71	1.17E-06

付表-B 2(2) パラベット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	504	3	63.04	0.16	2.10	0.20	0.98	7.67E-05
8	797	4	99.64	0.14	3.32	0.31	0.92	9.66E-06
10	1089	5	136.10	0.12	4.54	0.43		

付表-B 2(3) パラベット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=10\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	504	3	63.04	0.16	2.10	0.12	1.00	5.47E-04
8	794	4	99.64	0.14	3.32	0.18	1.00	2.16E-04
10	1089	5	136.10	0.12	4.54	0.25	0.94	5.97E-05

付表-B 2(4) パラベット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
6	504	3	63.04	0.16	2.10	0.09	1.27	9.32E-04
8	794	4	99.64	0.14	3.32	0.14	1.33	4.52E-04
10	1089	5	136.10	0.12	4.54	0.19	1.25	1.50E-04

付表-B 3(1) サイドステップ護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	2406	2	37.60	0.21	2.51	0.56	0.71	4.85E-05
12	7142	3	111.60	0.28	7.44	1.65	0.62	1.00E-06
15.2	13678	3.8	213.71	0.33	14.25	3.17		

付表-B 3(2) サイドステップ護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	2406	2	37.60	0.21	2.51	0.24	0.98	4.24E-04
12	7142	3	111.60	0.28	7.44	0.70	0.78	2.23E-05
15.2	13678	3.8	213.71	0.33	14.25	1.34		

付表-B 4(1) うずまき護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	1435	2	22.42	0.12	1.49	0.33	0.76	6.40E-05
12	2145	3	33.51	0.08	2.23	0.50	0.75	4.66E-06
16	3067	4	47.92	0.07	3.19	0.71		
20	4651	5	72.67	0.06	4.84	1.08		

付表-B 4(2) うずまき護岸 (Part 2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q ₀	β	q *
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
8	1435	2	22.42	0.12	1.49	0.14	1.00	4.48E-04
12	2145	3	33.51	0.08	2.23	0.21	0.95	6.60E-05
16	3067	4	47.92	0.07	3.19	0.30	0.79	2.91E-06
20	4651	5	72.67	0.06	4.84	0.46		

付表-B5(1) 水平スリット護岸 (Part2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
4	648	1	10.13	0.45	0.68	0.15	0.95	1.83E-03
8	3024	2	47.25	0.53	3.15	0.70	0.89	1.80E-04
12	7128	3	111.38	0.55	7.43	1.65	0.83	1.36E-05
16	12960	4	202.50	0.56	13.50	3.00		

付表-B5(2) 水平スリット護岸 (Part2) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5m$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
4	648	1	10.13	0.45	0.68	0.06	0.95	4.40E-03
8	3024	2	47.25	0.53	3.15	0.30	0.87	7.40E-04
12	7128	3	111.38	0.55	7.43	0.70	0.81	1.09E-04
16	12960	4	202.50	0.56	13.50	1.27	0.58	1.35E-06

付表-B5(3) 水平スリット護岸 (Part1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地			空隙率	$Vv' \text{ (m}^3/\text{m)}$	Vv' / Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv \text{ (cm}^3)$	hc (m)	$Vv \text{ (m}^3)$						
3	425	1.5	53.16	0.53	1.77	0.17	0.87	1.45E-03	
5	1238	2.5	154.69	0.55	5.16	0.50	0.87	3.50E-04	
7	2481	3.5	310.08	0.56	10.34	0.99	1.04	1.85E-04	

付表-B5(4) 水平スリット護岸 (Part1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地			空隙率	$Vv' \text{ (m}^3/\text{m)}$	Vv' / Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv \text{ (cm}^3)$	hc (m)	$Vv \text{ (m}^3)$						
4	756	2	94.50	0.53	3.15	0.30	0.91	8.70E-04	
6	1782	3	222.75	0.55	7.43	0.70	0.83	1.25E-04	
8	3240	4	405.00	0.56	13.50	1.27	0.72	8.90E-06	

付表-B5(5) 水平スリット護岸 (Part1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=10\text{m}$

模 型		現 地			空隙率	$Vv' \text{ (m}^3/\text{m)}$	Vv' / Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv \text{ (cm}^3)$	hc (m)	$Vv \text{ (m}^3)$						
2	189	1	23.63	0.53	0.79	0.04	0.80	4.00E-03	
4	792	2	99.00	0.55	3.30	0.18	1.00	1.90E-03	
6	1823	3	227.81	0.56	7.59	0.42	1.03	8.30E-04	

付表-B5(6) 水平スリット護岸 (Part1) $h/H_0'=0$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地			空隙率	$Vv' \text{ (m}^3/\text{m)}$	Vv' / Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv \text{ (cm}^3)$	hc (m)	$Vv \text{ (m}^3)$						
3	425	1.5	53.16	0.53	1.77	0.07	0.87	3.80E-03	
5	1238	2.5	154.69	0.55	5.16	0.22	0.94	1.60E-03	
7	2481	3.5	310.08	0.56	10.34	0.43	1.06	8.40E-04	

付表-B 6(1) パラペット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
3	98	1.5	12.28	0.12	0.41	0.04	1.00	1.89E-03
5	391	2.5	48.88	0.17	1.63	0.16	1.12	7.72E-04
7	683	3.5	85.34	0.15	2.84	0.27	0.97	1.29E-04

付表-B 6(2) パラペット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
4	216	2	27.05	0.15	0.90	0.09	1.03	1.24E-03
6	509	3	63.65	0.16	2.12	0.20	1.03	3.44E-04
8	801	4	100.11	0.14	3.34	0.31	0.89	3.89E-05

付表-B 6(3) パラペット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=10\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
2	0	1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	3.90E-03
4	293	2	36.60	0.20	1.22	0.07	1.08	2.26E-03
6	585	3	73.06	0.18	2.44	0.14	0.61	1.18E-04

付表-B 6(4) パラペット水平階段護岸 (Part 1) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=7.5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	Vv' (m ³ /m)	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	Vv (cm ³)	hc (m)	Vv (m ³)					
3	98	1.5	12.28	0.12	0.41	0.02	0.89	3.84E-03
5	391	2.5	48.88	0.17	1.63	0.07	1.02	1.97E-03
7	683	3.5	85.34	0.15	2.84	0.12	1.04	8.43E-04

付表-B7(1) サイドステップ護岸 (Part 2) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5\text{m}$

模 型		現 地		空隙率	$Vv' (m^3/m)$	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv (cm^3)$	hc (m)	$Vv (m^3)$					
4	2298	1	35.90	0.40	2.39	0.53	0.80	1.20E-03
8	6979	2	109.05	0.40	7.27	1.62	0.75	8.26E-05
11.2	13471	2.8	210.48	0.44	14.03	3.12	0.67	5.10E-06

付表-B7(2) サイドステップ護岸 (Part 2) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

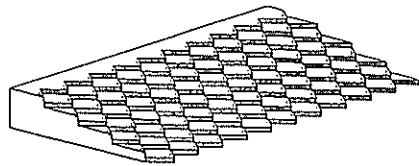
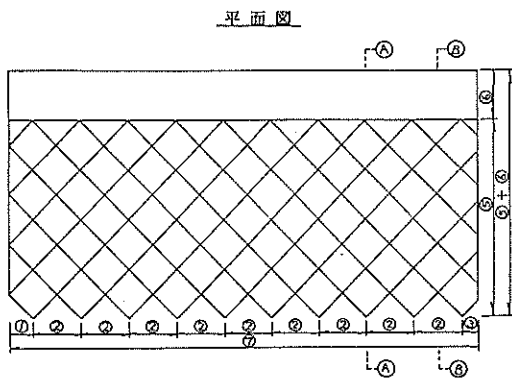
模 型		現 地		空隙率	$Vv' (m^3/m)$	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv (cm^3)$	hc (m)	$Vv (m^3)$					
4	2298	1	35.90	0.40	2.39	0.23	0.71	2.72E-03
8	6979	2	109.05	0.40	7.27	0.69	0.75	4.89E-04
11.2	13471	2.8	210.48	0.44	14.03	1.32	0.63	3.91E-05

付表-B8(1) うずまき護岸 (Part 2) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.036$, $H_0'=5\text{m}$

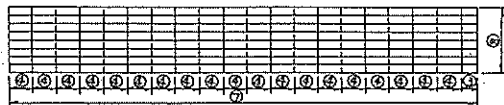
模 型		現 地		空隙率	$Vv' (m^3/m)$	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv (cm^3)$	hc (m)	$Vv (m^3)$					
4	1160	1	18.12	0.20	1.21	0.27	0.83	1.29E-03
8	1910	2	29.84	0.11	1.99	0.44	0.94	2.22E-04
12	2832	3	44.25	0.08	2.95	0.66	0.95	3.17E-05
16	4416	4	69.00	0.08	4.60	1.02		

付表-B8(2) うずまき護岸 (Part 2) $h/H_0'=0.2$, $H_0'/L_0=0.012$, $H_0'=5\text{m}$

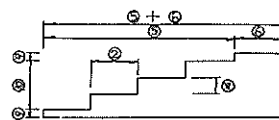
模 型		現 地		空隙率	$Vv' (m^3/m)$	Vv'/Q_0	β	q^*
hc (cm)	$Vv (cm^3)$	hc (m)	$Vv (m^3)$					
4	1160	1	18.12	0.20	1.21	0.11	0.77	3.11E-03
8	1910	2	29.84	0.11	1.99	0.19	0.92	9.20E-04
12	2832	3	44.25	0.08	2.95	0.28	0.87	1.63E-04
16	4416	4	69.00	0.08	4.60	0.43	0.73	1.02E-05



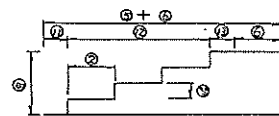
正面圖



A-A 断面圖



B-B 断面圖

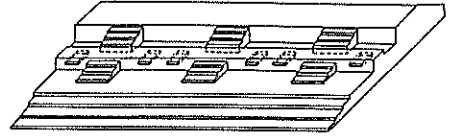
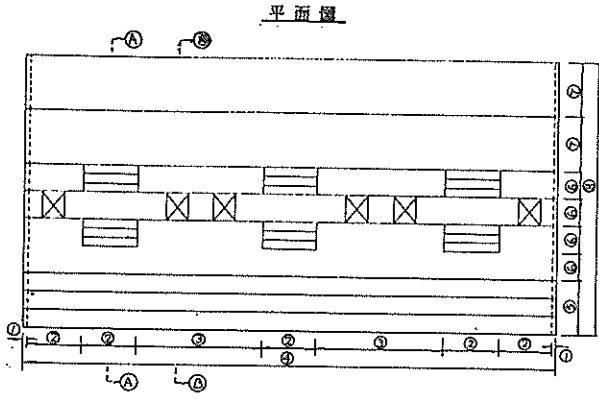


付圖—C 1 菱形階段護岸詳細圖

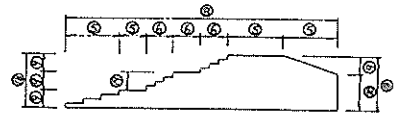
付表-C1 菱形階段護岸の各部寸法一覧表

(単位：m)

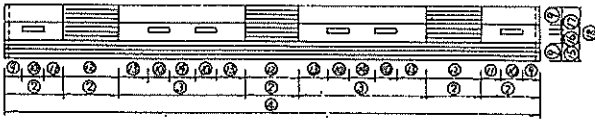
hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
2	①	0.75	3	①	0.75	4	①	0.75	5	①	0.75
	②	1.50		②	1.50		②	1.50		②	1.50
	③	0.50		③	0.50		③	0.50		③	0.50
	④	0.75		④	0.75		④	0.75		④	0.75
	⑤	6.00		⑤	9.00		⑤	12.00		⑤	15.00
	⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	1.50
	⑦	14.75		⑦	14.70		⑦	14.75		⑦	14.75
	⑧	2.00		⑧	3.00		⑧	4.00		⑧	5.00
	⑨	0.25		⑨	0.25		⑨	0.25		⑨	0.25
	⑩	1.50		⑩	2.50		⑩	3.50		⑩	4.50
	⑪	0.75		⑪	0.75		⑪	0.75		⑪	0.75
	⑫	4.50		⑫	7.50		⑫	10.50		⑫	13.50
	⑬	0.75		⑬	0.75		⑬	0.75		⑬	0.75
	⑭	0.50		⑭	0.50		⑭	0.50		⑭	0.50
	⑮			⑮			⑮			⑮	
	⑯			⑯			⑯			⑯	
	⑰			⑰			⑰			⑰	
	⑱			⑱			⑱			⑱	



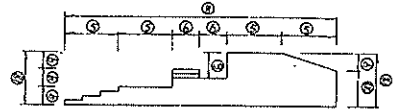
A-A 断面图



正面图



B-B 断面图



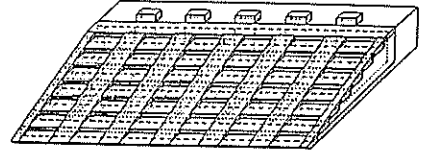
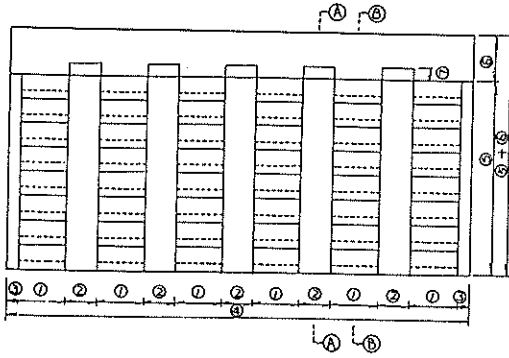
付图—C2 複断面護岸詳細图

付表-C2 多段パラペット護岸の各部寸法一覧表

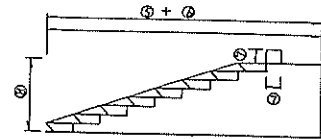
(単位：m)

hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
3	①	0.25	4	①	0.25	5	①	0.25		①	
	②	3.00		②	3.00		②	3.00		②	
	③	7.00		③	7.00		③	7.00		③	
	④	29.50		④	29.50		④	29.50		④	
	⑤	3.00		⑤	3.00		⑤	3.00		⑤	
	⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	
	⑦	3.00		⑦	3.00		⑦	3.00		⑦	
	⑧	15.00		⑧	18.00		⑧	21.00		⑧	
	⑨	1.00		⑨	1.00		⑨	1.00		⑨	
	⑩	1.20		⑩	1.20		⑩	1.20		⑩	
	⑪	1.05		⑪	1.05		⑪	1.05		⑪	
	⑫	3.00		⑫	3.00		⑫	3.00		⑫	
	⑬	1.60		⑬	1.60		⑬	1.60		⑬	
	⑭	1.40		⑭	1.40		⑭	1.40		⑭	
	⑮	0.50		⑮	0.50		⑮	0.50		⑮	
	⑯	0.25		⑯	0.25		⑯	0.25		⑯	
	⑰	0.25		⑰	0.25		⑰	0.25		⑰	
	⑱	3.00		⑱	4.00		⑱	5.00		⑱	
	⑲	1.00		⑲	1.00		⑲	1.00		⑲	
	⑳	2.00		⑳	3.00		⑳	4.00		⑳	

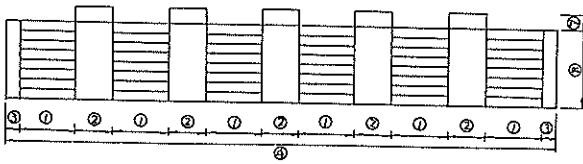
平面図



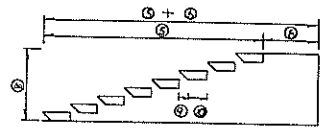
A-A 断面図



正面図



B-B 断面図



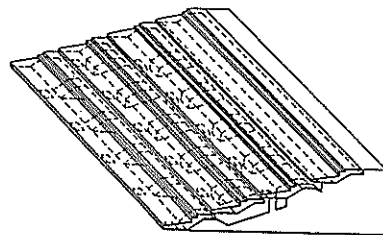
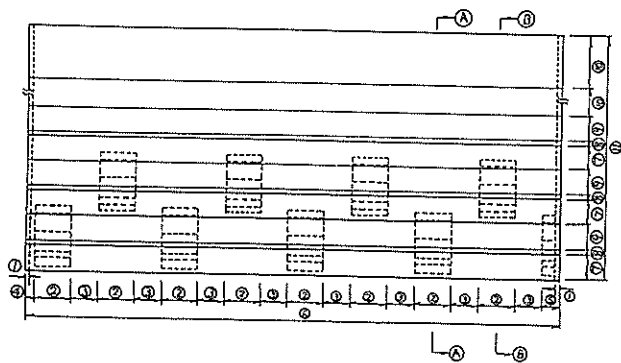
付図-C3 水平スリット護岸詳細図

付表-C3 水平スリット護岸の各部寸法一覧表

(単位：m)

hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
2	①	1.50	3	①	1.50	4	①	1.50	5	①	1.50
	②	1.00		②	1.00		②	1.00		②	1.00
	③	0.375		③	0.375		③	0.375		③	0.375
	④	14.75		④	14.75		④	14.75		④	14.75
	⑤	6.00		⑤	9.00		⑤	12.00		⑤	15.00
	⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	1.50		⑥	1.50
	⑦	0.40		⑦	0.40		⑦	0.40		⑦	0.40
	⑧	2.00		⑧	3.00		⑧	4.00		⑧	5.00
	⑨	0.25		⑨	0.25		⑨	0.25		⑨	0.25
	⑩	0.50		⑩	0.50		⑩	0.50		⑩	0.50
	⑪			⑪			⑪			⑪	
	⑫			⑫			⑫			⑫	
	⑬			⑬			⑬			⑬	
	⑭			⑭			⑭			⑭	
	⑮			⑮			⑮			⑮	
	⑯			⑯			⑯			⑯	
	⑰			⑰			⑰			⑰	
	⑱			⑱			⑱			⑱	

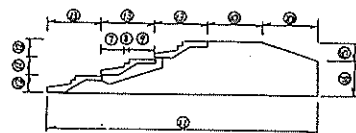
平面図



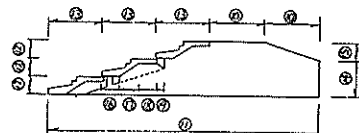
正面図



A-A 断面図



B-B 断面図



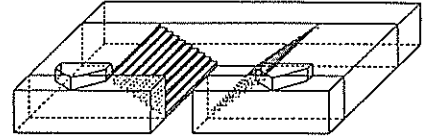
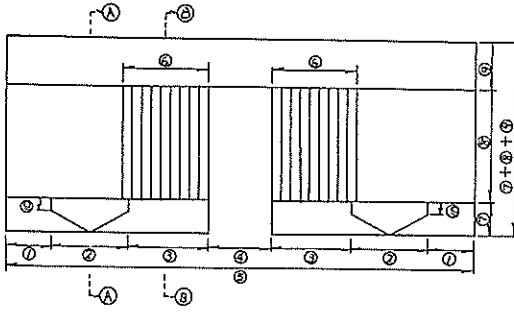
付図-C4 パラペット水平階段護岸詳細図

付表-C4 パラペット水平階段護岸の各部寸法一覧表

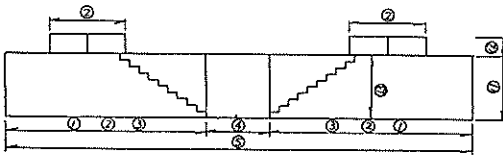
(単位：m)

hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
3	①	0.25	4	①	0.25	5	①	0.25		①	
	②	2.00		②	3.00		②	3.00		②	
	③	1.50		③	7.00		③	7.00		③	
	④	0.50		④	0.50		④	0.50		④	
	⑤	1.00		⑤	1.00		⑤	1.00		⑤	
	⑥	29.50		⑥	29.50		⑥	29.50		⑥	
	⑦	1.35		⑦	1.35		⑦	1.35		⑦	
	⑧	0.25		⑧	0.25		⑧	0.25		⑧	
	⑨	1.40		⑨	1.40		⑨	1.40		⑨	
	⑩	3.00		⑩	3.00		⑩	3.00		⑩	
	⑪	15.00		⑪	18.00		⑪	21.00		⑪	
	⑫	3.00		⑫	4.00		⑫	5.00		⑫	
	⑬	3.00		⑬	3.00		⑬	3.00		⑬	
	⑭	2.00		⑭	3.00		⑭	4.00		⑭	
	⑮	1.00		⑮	1.00		⑮	1.00		⑮	
	⑯	1.00		⑯	1.00		⑯	1.00		⑯	
	⑰	1.10		⑰	1.10		⑰	1.10		⑰	
	⑱	1.00		⑱	1.00		⑱	1.00		⑱	
	⑲	0.40		⑲	0.40		⑲	0.40		⑲	
	⑳			⑳			⑳			⑳	

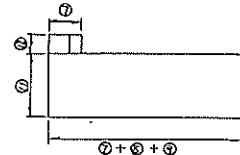
平面図



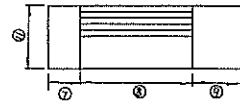
正面図



A-A 断面図



B-B 断面図

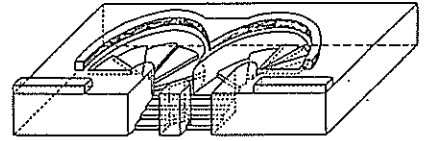
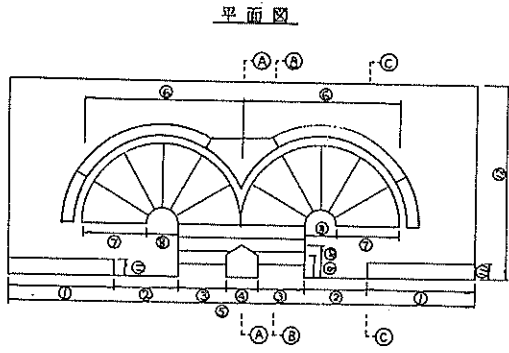


付図-C5 サイドステップ護岸詳細図

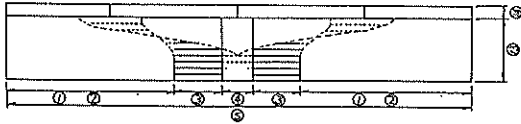
付表一C5 サイドステップ護岸の各部寸法一覧表

(単位：m)

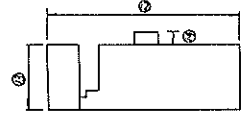
hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
2	①	1.45	3	①		3.8	①			①	
	②	2.40		②	2.350		②	1.20		②	
	③	2.525		③	4.025		③	5.225		③	
	④	2.00		④	2.00		④	2.00		④	
	⑤	14.75		⑤	14.75		⑤	14.75		⑤	
	⑥	2.70		⑥	4.20		⑥	5.40		⑥	
	⑦	1.00		⑦	1.00		⑦	1.00		⑦	
	⑧	4.00		⑧	6.00		⑧	7.60		⑧	
	⑨	1.00		⑨	2.00		⑨	3.40		⑨	
	⑩	0.375		⑩	0.375		⑩	0.375		⑩	
	⑪	2.00		⑪	3.00		⑪	3.80		⑪	
	⑫	0.60		⑫	0.60		⑫	0.60		⑫	
	⑬			⑬			⑬			⑬	
	⑭			⑭			⑭			⑭	
	⑮			⑮			⑮			⑮	
	⑯			⑯			⑯			⑯	



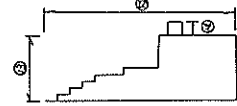
正面図



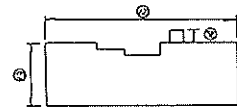
A-A 断面図



B-B 断面図



C-C 断面図



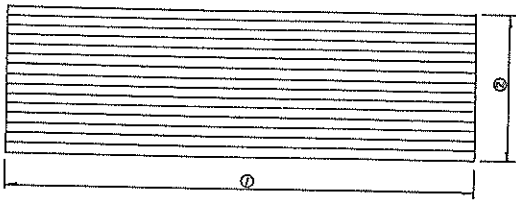
付図-C6 うずまき護岸詳細図

付表一C6 うずまき護岸の各部寸法一覧表

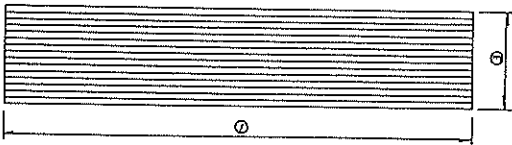
(単位：m)

hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
2	①	3.375	3	①	3.375	4	①	3.375	5	①	3.375
	②	2.00		②	2.00		②	2.00		②	2.00
	③	1.50		③	1.50		③	1.50		③	1.50
	④	1.00		④	1.00		④	1.00		④	1.00
	⑤	14.75		⑤	14.75		⑤	14.75		⑤	14.75
	⑥	5.00		⑥	5.00		⑥	5.00		⑥	5.00
	⑦	2.00		⑦	2.00		⑦	2.00		⑦	2.00
	⑧	1.00		⑧	1.00		⑧	1.00		⑧	1.00
	⑨	0.70		⑨	0.70		⑨	0.70		⑨	0.70
	⑩	1.00		⑩	1.00		⑩	1.00		⑩	1.00
	⑪	0.50		⑪	0.50		⑪	0.50		⑪	0.50
	⑫	6.00		⑫	9.00		⑫	12.00		⑫	15.00
	⑬	2.00		⑬	3.00		⑬	4.00		⑬	5.00
	⑭	0.40		⑭	0.40		⑭	0.40		⑭	0.40
	⑮			⑮			⑮			⑮	
	⑯			⑯			⑯			⑯	
	⑰			⑰			⑰			⑰	
	⑱			⑱			⑱			⑱	

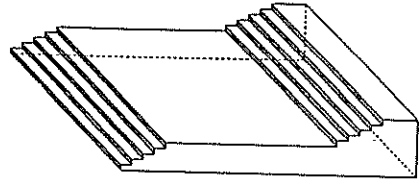
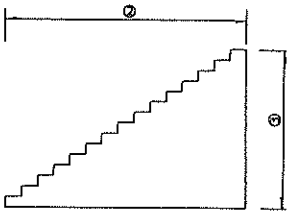
前段部平面図



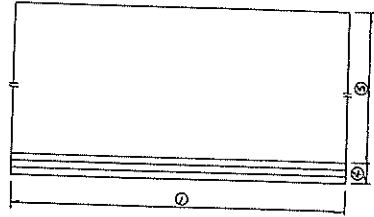
前段部正面図



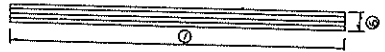
前段部断面図



溢上部平面図



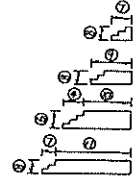
溢上部正面図



溢上部断面図



後段部断面図



付図-C7 広天端幅護岸詳細図

付表-C7 複断面幅護岸の各部寸法一覧表

(単位：m)

名称	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法	hc	番号	寸法
前段部	①	14.75		①			①			①	
	②	4.50		②			②			②	
	③	3.00		③			③			③	
嵩上部	④	0.90		④			④			④	
	⑤	28.90		⑤			⑤			⑤	
	⑥	0.80		⑥			⑥			⑥	
後段部	⑦	0.90		⑦			⑦			⑦	
	⑧	0.60		⑧			⑧			⑧	
	⑨	1.80		⑨			⑨			⑨	
	⑩	2.10		⑩			⑩			⑩	
	⑪	3.30		⑪			⑪			⑪	
	⑫			⑫			⑫			⑫	
	⑬			⑬			⑬			⑬	
	⑭			⑭			⑭			⑭	
	⑮			⑮			⑮			⑮	
	⑯			⑯			⑯			⑯	
	⑰			⑰			⑰			⑰	
	⑱			⑱			⑱			⑱	
	⑲			⑲			⑲			⑲	
	⑳			⑳			⑳			⑳	

港湾技研資料 No.736

1992・6

監 修 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号

印 刷 所 株式会社 東京プリント

Published by the Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan.

Copyright © (1992) by P.H.R.I

Allright reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitt
-ed, nor translated into a machine language without the written permission of the Director
General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は
一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。