

海岸堤防への波のうちあげ高

— 海底勾配 1/20 —

豊 島 修*・首 藤 伸 夫**・橋 本 宏**

1. はじめに

海岸堤防への波のうちあげ高については種々の海底勾配および堤防のり勾配について模型実験が行なわれているが、ここでは昨年に引き続き海底勾配 1/20 の上に堤防のり勾配が直立、5分、1割、2割、3割の堤防を設置した場合の波のうちあげ高について行なった模型実験の結果について報告する。

海岸堤防への波のうちあげ高は入射波の特性、堤防の位置および形状などによって変化するものである。このうちあげ高が堤防前面における波の状態によってどのように変化するかについて調べた結果を述べ、これらの資料を用いて現地の堤防高を決定する際に考慮すべき事項について考察を行なった。またうちあげ高に関する模型実験の縮尺効果についても実験を行なって検討した。

2. 実験方法

模型実験は土木研究所赤羽分室内の大型水路の一端に 1/20 の海底を設けて行なった。水路延長 112 m、幅 1.5 m、高さ 2.5 m のコンクリート製で一部ガラス張りである。また縮尺効果について調べるため延長 17 m、幅 60 cm、高さ 75 cm のガラス張り小型水路においても同様の実験を行なった。

波高および周期の測定は電気抵抗式波高計で測定し、ペンオシロおよび電磁オシロに記録させた。またうちあげ高は目測によって求めた。測定値は波が定常になった後の 11 波目から 20 波までの 10 波の平均である。実験条件は表-1 のとおりである。

表-1

	波 高	周 期	波形勾配	水路水深
大 型 水 路	5~60 cm	1.4~2.8 sec	0.006~0.06	1.3~1.7 m
小 型 水 路	2~7 cm	0.7~1.0 sec	0.01~0.04	20 cm

3. 実験結果

大型水路における実験の結果を図-1~図-6 に示す。この図は堤脚水深 h と深海波波長 L_0 の比 h/L_0 をパラメーターとしてうちあげ高 R と深海波高 H_0 の比

R/H_0 と波形勾配 H_0/L_0 の関係を示したものである。これらの結果はさきに報告した海底勾配 1/30 のときのうちあげ高と同じ傾向を示している。

波のうちあげ高がどのような値をとるか、またこれはどのような水理量によって支配されているかについて検

図-1 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配直立)

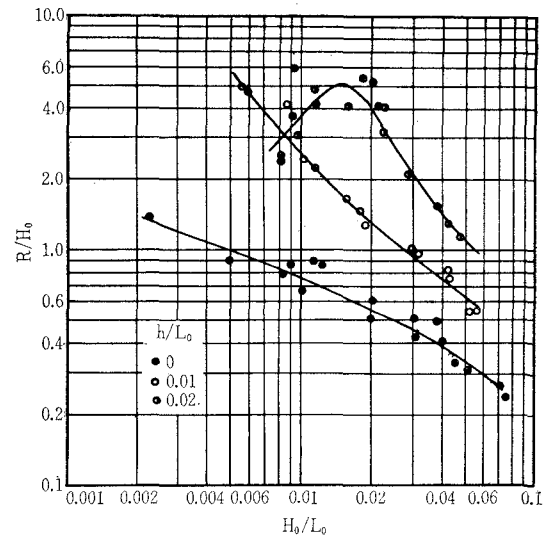
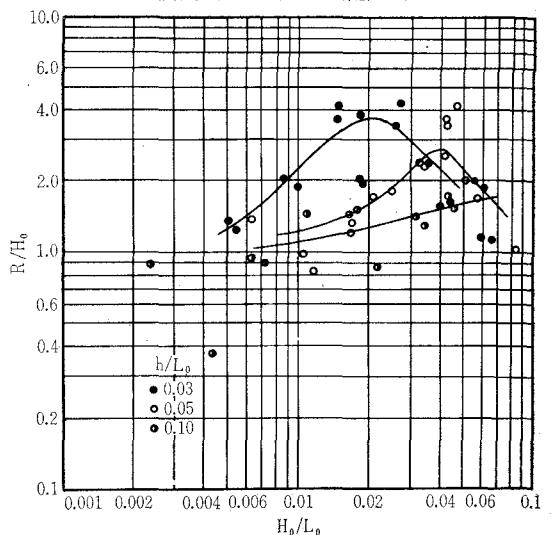


図-2 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配直立)



* 正会員 建設省河川局海岸課 (前土木研究所海岸研究室室長)

**正会員 建設省土木研究所海岸研究室

図-3 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 5 分)

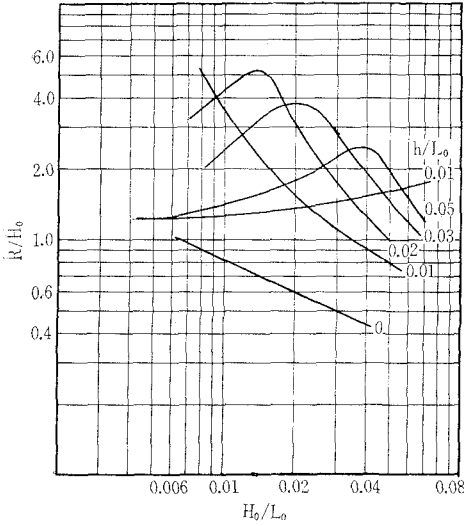


図-4 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 2 割)

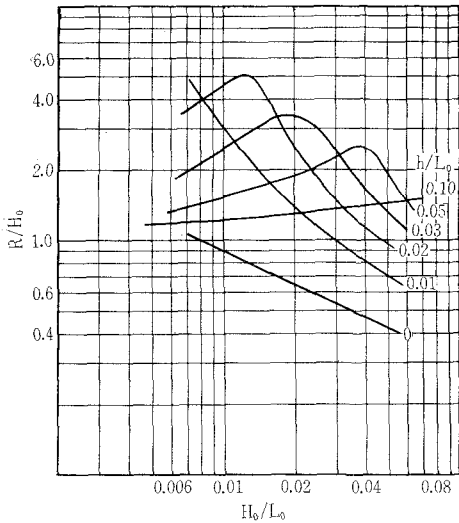


図-5 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 1 割)

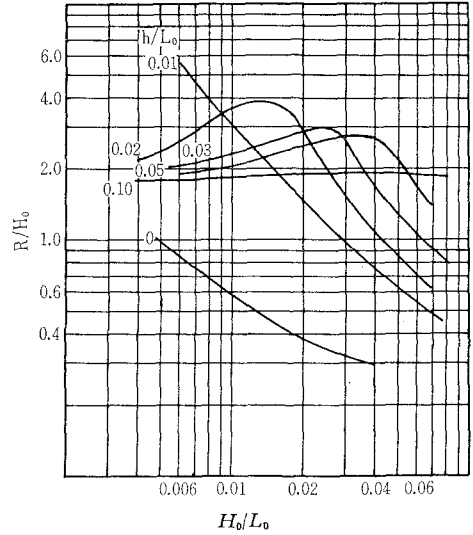
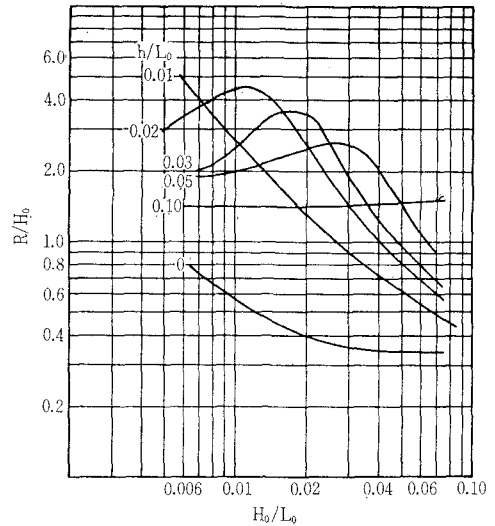


図-6 うちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 3 割)



討を行なった。波が堤防にうちあがる際に生じる現象を調べることによってその現象を支配している法則を見出すことができれば堤防高を定量的に推定することが可能である。また水量とうちあげ高の関係がわかればどのような位置に海岸堤防をつくればよいかの指針とすることができる。このような考えのもとにうちあげ高と堤防前面の波の状態を調べ考察を行なった。

堤防にうちあげる波は大きく分けると二種類に分けられるということはいちあげ高についての模型実験ですでに指摘されていることである^{1), 2), 3)}。すなわち堤防の前面水深が深い場合には波は砕けずに重複波となる。このような場合にはうちあげ高は主に堤防前面での波高によって決定されると考えられる。一方堤防前面の水深が浅

くなると波は堤防に到達する以前に砕けるようになり、砕波した後の空気を含んだ水塊が堤防にうちあたる。このような場合には波高はそこに存在できる最大波高を越えることなく、これは堤防前面の水深によって決定されるために波のうちあげ高は堤防前面の水深によってほぼ決まる。この場合には bore が直立壁にうちあたり、反射するとして求めた値と大きな差異はないという結果⁴⁾が得られている。

しかしこのような重複波の場合には波高により、また砕波する場合には水深によってうちあげ高が決定されるとはいえ実験値を細かく調べると他の水量も影響もっていることが見られる。これについてどのような要素がうちあげ高に影響をおよぼしており、その占める割合

はどの程度かについて波高、波長、堤脚水深とうちあげ高の関係を調べることによって検討した。

(1) 波高とうちあげ高

波高とうちあげ高の関係を調べるために h/L_0 をパラメーターとして R/h と H_0/h の関係を 1/20 の海底勾配上に 5 分ののり勾配をもった堤防について示したものが図-7 である。これによればうちあげ高は波高とともに増加しある値で極大となり、さらに減少し極小となつてつぎに増加している。これらの現象はすでに Saville の実験値をもとにして岩垣・島・井上⁴⁾ が考察している結果と同じ傾向を生じている。この極大を生ずるのは $H_0/h=1.0$ 近くでありこれより H_0/h が小さいときにはうちあげ高の波高の増加にともなう増大は波高の 1.0~

図-7 波高とうちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 5 分)

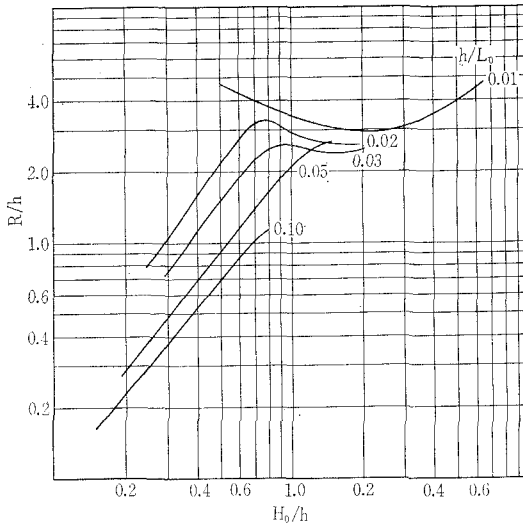
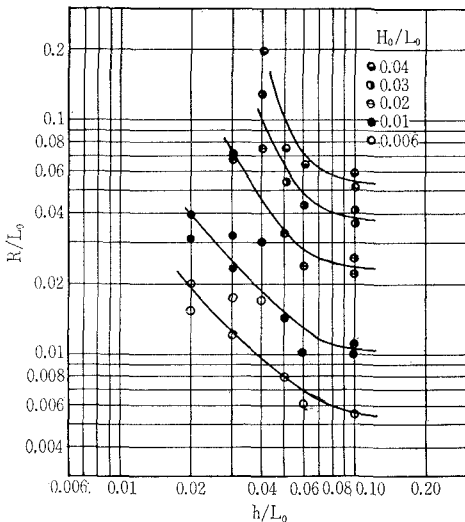


図-8
(のり勾配 5 分)



1.5 乗に比例している。 H_0/h が 1 より大きくなればその増加率は小さくなり一定値に近い値をとる。この波高の増加にともないうちあげ高が増加する現象は重複波となった際の前面の波の静水面からの峰の高さとうちあげ高が等しくなるためと考えられる。この関係を調べるために 1/30 と 1/20 の海底勾配上に設置された 5 分ののり勾配をもつ堤防について R/L_0 と h/L_0 を H_0/L_0 をパラメーターとして示したものが図-8 である。これは R/h が極大となる値までを示してある。これによると H_0/L_0 が小さく (0.006~0.01) h/L_0 が 0.10 のときにはうちあげ高は入射波峰高の約 2 倍と考えてもよいことを示しているが H_0/L_0 が大きくなるとこの関係は成り立たなくなっている。この程度の h/L_0 の値では進行波としての H/H_0 の変化はあまり大きくないにもかかわらず差が表われている。このことは単なる二つの波の重ね合わせではなく波形に変化が生じており波高と波峰高 (静水面上) の関係、部分碎波などの現象が関係していると思われる。一方堤防からの反射率を 1/20 の海底勾配上の 5 分堤防について調べたのが図-9 である。この図によると反射率は最大で 80% 程度であり、また R/h の極大の生じるときの反射率は大体 50~40% である。また重複波となる場合においても部分碎波を生じておりこのときの反射率は 70% 程度である。これらの現象をさらに調べなければうちあげ高を推定することは困難である。

波高が増加するにしたがつてうちあげ高は増加するがある値で極大となる。この後に波高が増加するにもかかわらずうちあげ高は減少している。これは波が碎ける際に急激に空気を含んで落下するために碎波点より少し岸側でのエネルギー損失が大きいためと考えられる。さらに波高が増加するとうちあげ高も増加している。堤防前面での波高が水深によってのみ決定されるのであれば一定値をとるはずであり、この場合には他の要素が影響をおよぼしていると考えられる。ここで考えられる現象としては波形が変化すること、平均水面が上昇することなどがあげられる。碎波した後では運動量を保存するため

図-9 反射率
(海底勾配 1/20, のり勾配 5 分)

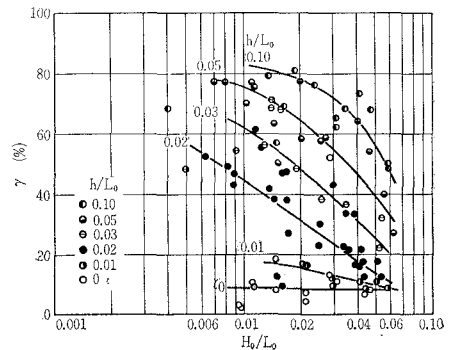
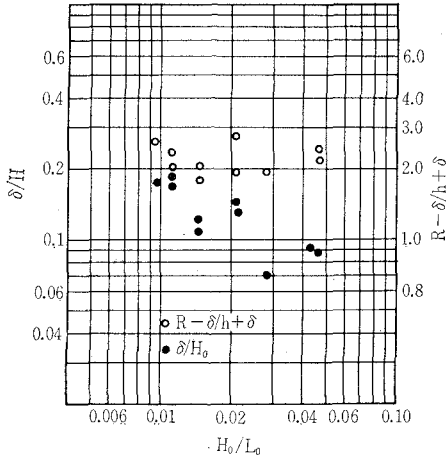


図-10

(海底勾配 1/20, のり勾配 5分)



波高の水深による減少にともなって平均水面は上昇することがいわれている⁵⁾。この平均水面の上昇量がどの程度影響するかについて $h/L_0=0$ の場合について示したのが 図-10 である。これは平均水面の上昇量を δ とするとき $(R-\delta/h+\delta)$ と δ/H_0 の値を H_0/L_0 に対して示したものである。

これによればうちあげ高と水深の比はほぼ 2 で H_0/L_0 によって変化していない。この水位上昇量はうちあげ高の 30% 程度をしめており堤脚水深の浅い場合にはこの影響を無視できないと考えられる。しかし $h/L_0=0.01$ の場合について調べた結果ではこの上昇量はほとんど影響していない。前面の水深が深くなれば波形や流速分布などが影響してくると考えられこれらについてはさらに検討する必要がある。

(2) うちあげ高と波長

波がうちあげる際の波長の影響を調べるために R/H_0 と L_0/H_0 の関係を h/H_0 をパラメーターとして示したのが 図-11 である。これによると波長の増加にともなってうちあげ高は増加しており重複波においても碎波に

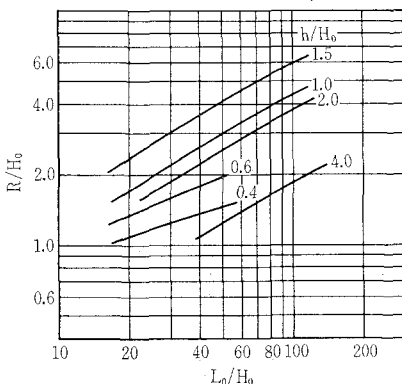
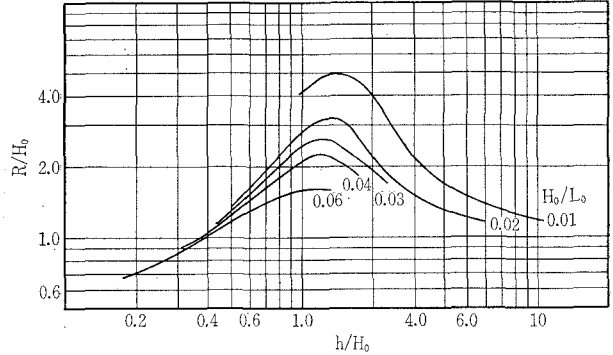
図-11 波長とうちあげ高
(海底勾配 1/20, のり勾配 5分)

図-12 堤脚水深とうちあげ高

(海底勾配 1/20, のり勾配 1割)



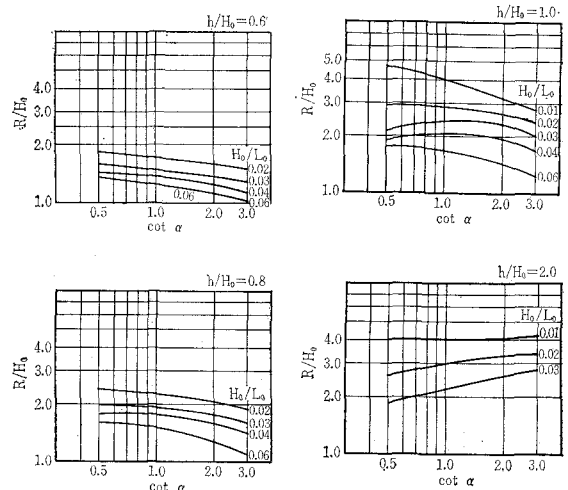
おいても同じ傾向を示している。このように波長が影響するのは碎波後の波にあっては流速分布が一様になること、エネルギーの損失が小さくなることなどによるものと考えられる。

(3) うちあげ高と堤脚水深

波のうちあげ高と堤脚水深との関係を調べるために R/H_0 と h/H_0 を H_0/L_0 をパラメーターとして描いたものが 図-12 である。これによると水深の増加とともにうちあげ高は増加するがある値で最大値をとりそれ以後は減少している。これは当然前面での波高の変化に対応している。

(4) 堤防のり勾配とうちあげ高

堤防のり勾配によってうちあげ高がどのように変化するかを示したものが 図-13 である。これは R/H_0 の値を H_0/L_0 をパラメーターとして示したものである。 h/H_0 がより小さい場合にはのり勾配が緩くなるにしたがって減少しているが $h/H_0=2.0$ の場合には緩くなると増加している。堤防前面での波が碎波した後の場合にはのり勾配のゆるいほどエネルギーの損失は大きくなるた

図-13 のり勾配とうちあげ高
(海底勾配 1/20)

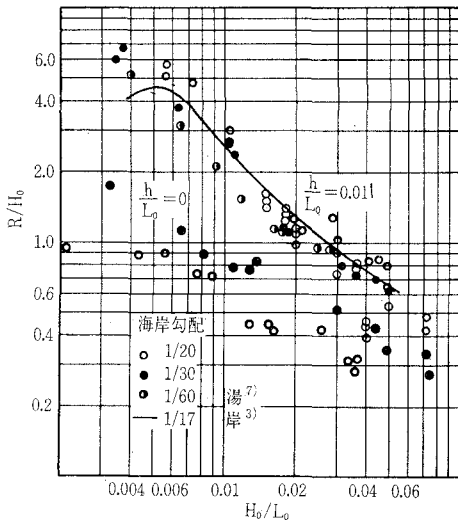
めうちあげ高は小さい。一方重複波に近くなればのり面に
にそってはい上るためにゆるくなれば高くなっている。
直立と5分の堤防ではほぼ等しい値をとっている。碎波
後のうちあげ高についてのり勾配によってどの程度減少
するかを5分堤防に比較して求めると1割では80~90
%, 2割では70%, 3割では60~70%である。

(5) 海底勾配とうちあげ高

うちあげ高が海底勾配によってどのように変化するか
について昨年の結果⁶⁾との比較を行なった。図-14には
堤防のり勾配が2割の場合に $h/L_0=0$ と $h/L_0=0.01$
についての値を示してある。これより示されるように海
底勾配が影響するのは堤脚水深がほとんど0に近い場合
であり、ある程度深くなればその影響は小さくなる。と
くに海底の勾配が急でなければその差はないことを示し
ている。

図-14には佐藤・岸³⁾による1/17の海底勾配につ
いての実験値および湯⁷⁾による1/60の海底勾配につ
いての値も合せて示したが海底勾配の影響は少ないこと
を示している。

図-14
(のり勾配2割)



波のうちあげ高が最大となる条件, すなわち波が衝撃
的に堤防にあたる際の条件は, うちあげの現象を調べる
際にもまた設計の際にも重要な要素となっている。 R/H_0
最大値とそのときの条件を1/20の海底勾配上の堤防に
ついて示したのが図-15と図-16である。 R/H_0 の最
大値は1/30の場合と同じようにほぼ碎波波高に相当し
たものになっている。のり勾配による違いはあまり大き
くなく直立堤ほど大きく, ゆるくなるにしたがって減少
している。

4. 縮尺効果

波のうちあげ高の模型実験について縮尺が異なるため

図-15 R/H_0 の最大値
(海底勾配 1/20)

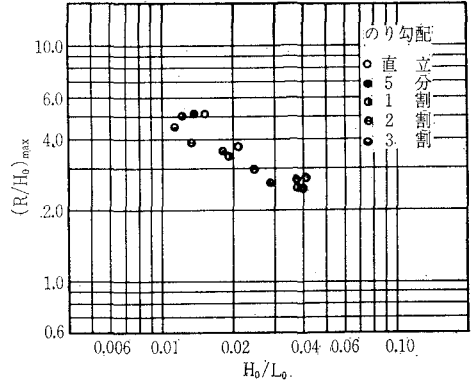
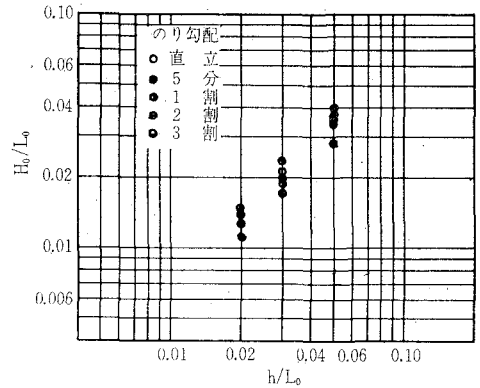
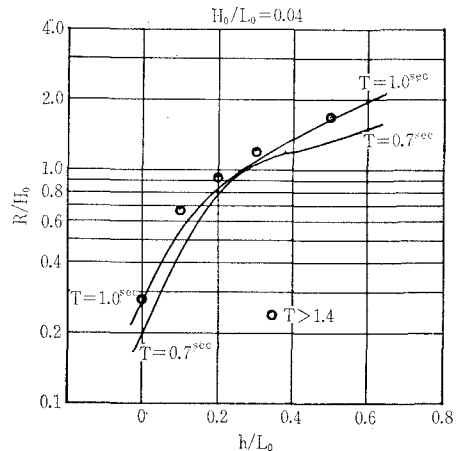


図-16 $(R/H_0)_{max}$ を生ずる条件
(海底勾配 1/20)



の影響がどの程度表われるかについて検討を行なった。
縮尺が小さくなれば粘性によるエネルギー損失, 表面張
力などの影響が表われるものと考えられる。これらにつ
いて検討するため1/30の海底勾配上に3割のり勾配
をもつ堤防を設置した場合について示したのが図-17
である。これは $H_0/L_0=0.04$ のときの値であり, 周期は

図-17 縮尺効果
(海底勾配 1/30, のり勾配 3割)



0.7, 0.8, 0.9, 1.0 sec について実験は行なったが 図-17 は 0.7 と 1.0 sec のものしか示していない。この間ではほぼ一様に変化している。また大型水路における値も合せて示した。これによると周期が短くなればうちあげ高が減少することを示している。これは測定の精度にも関係すると考えられるが単にそれだけとはいえない。これについてはさらに系統的に実験を行なう必要がある。少なくともうちあげ高について模型実験を行なう際には 1.0 sec 以上の周期で行なうべきことを示している。

5. 結 論

海底勾配 1/20 上にのり勾配が直立から 3 割までの堤防を設置した際のうちあげ高について 図-1~図-6 のような結果が得られた。実験の結果はさきに得られた海底勾配が 1/30 の場とほぼ同様であり堤脚水深が浅い場合にのみ海底勾配の違いによる差が表われている。堤防のり勾配による違いは砕波した後の波については直立・5 分の堤防に対するうちあげ高に比較すると 1 割は 80

~90%, 2 割は 70%, 3 割は 70~60% のうちあげ高を示している。縮尺の影響は周期が約 1.0 sec 以下で表われてくるという結果が得られた。

参 考 文 献

- 1) 佐藤清一・岸 力：海岸堤防に関する研究 (1)——海岸堤防に衝突する波の高さについて——，土木研究所報告第 88 号，pp. 69-101, 昭 29.9.
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・鈴木雄太：海岸堤防の設計，特にその有効高について，第 2 回海岸工学講演会講演集，pp. 57-70, 1955.
- 3) 佐藤清一・岸 力：海岸堤防の形状特性ならびに波の陸岸への遡上，第 3 回海岸工学講演会講演集，pp. 127-137, 1956.
- 4) 岩垣雄一・島 昭・井上雅夫：波高と潮位が越波と波のうちあげにおよぼす影響，第 11 回海岸工学講演会講演集，pp. 253-259, 1963.
- 5) Longuet-Higgins, M.S. and R.W. Stewart: A note on wave set-up, Jour. Marine Research, 1963.
- 6) 豊島 修・首藤伸夫・橋本 宏：海岸堤防への波のうちあげ高——海底勾配 1/30——，第 11 回海岸工学講演会講演集，pp. 260-265, 1964.
- 7) 湯 麟武：砕波後の波の遡上に関する研究，第 10 回海岸工学講演会講演集，pp. 121-126, 1963.