

波高と潮位が越波と波のうちあげにおよぼす影響

岩垣 雄一*・島

昭**・井上 雅夫***

1. 緒 言

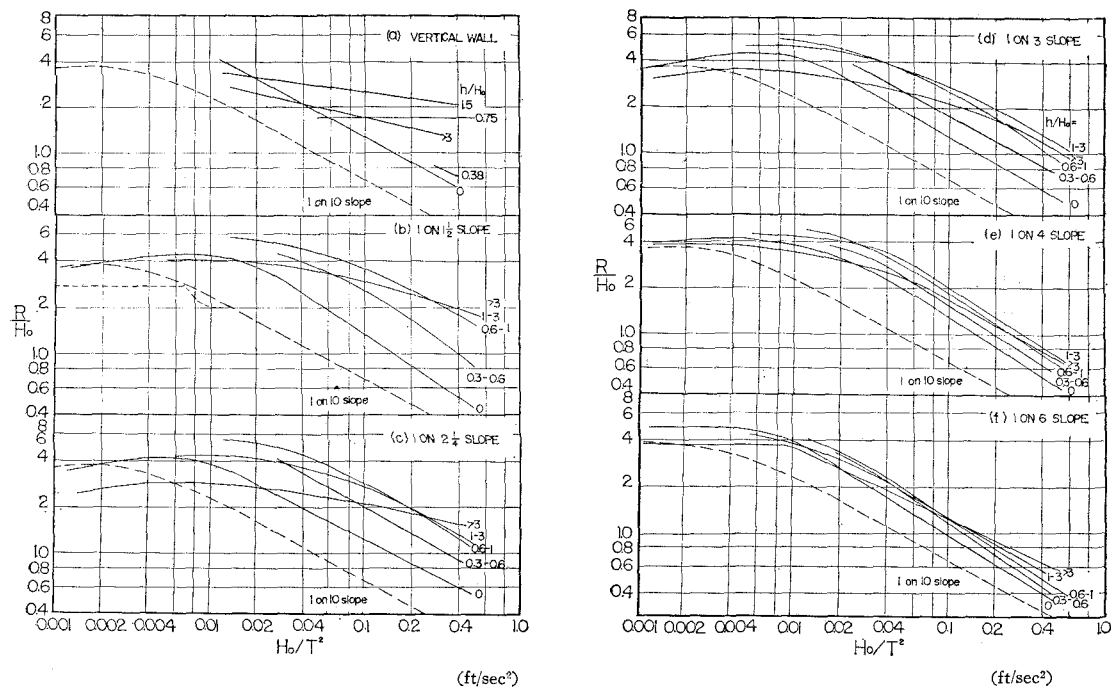
海岸堤防や護岸の設計に際して、天端高の決定は重要な問題であるにもかかわらず、実際の設計に当たっては計画高潮位に計画波高から求められる波のうちあげ高を加え、さらに若干の余裕高をプラスするという簡単な方法が採られているのが現状のようである^{1),2)}。しかしながら、海岸堤防の機能を阻害する越波の現象を考察してみると、計画高潮位あるいは計画波高のときに必ずしも、越波量が最大になるとは限らない場合がある。こうしたことから、従来の方法によると、危険な設計でありながら安全であると考えたり、逆に過大の設計をしてしまう場合が起こることになり、合理的な天端高の決定法とはいえないことになる。この論文は、波高と潮位が波のうちあげ高や鉛直堤の越波量におよぼす影響を、従来の実験結果を用いて明らかにし、画一的に天端高を決定しようとする従来の方法では十分でない場合のあることをのべるとともに、実際の海岸堤防を対象とした模型実

験による実例をも示して、その裏づけを与え、合理的な堤防天端高決定法の確立に寄与しようとしたものである。

2. 波のうちあげにおよぼす波高と潮位の影響

ここでは海岸堤防の天端高を決定する際に、重要な要素として考えられている波のうちあげ高におよぼす、波高と潮位の影響について考察する。この場合、基準となる実験結果が必要であるが、ここでは 1/10 斜面上におかれた一様勾配ののり面勾配をもつ堤防への波のうちあげ高を調べた Saville の実験結果³⁾を用い、鉛直堤の場合については、石原・岩垣・鈴木が波そのものも飛沫も越えない限界の高さとして実験的に定めた結果⁴⁾を使用することにした。ここに用いる記号は H_0 および L_0 をそれぞれ沖波波高および沖波波長、 h を堤防ののり先水深、 R を静水面上の波のうちあげ高、 $\tan \alpha$ を堤防ののり面勾配とする。図-1 は前述した Saville の結果である。この図はのり面勾配別に h/H_0 をパラメーターとし、 R/H_0 と H_0/T^2 (ft-sec 単位) との関係を示したもので

図-1 のり面勾配別に h/H_0 をパラメーターとして表わした R/H_0 と H_0/T^2 との関係 (Saville³⁾ より)



* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所

** 大阪府企業局臨海開発部

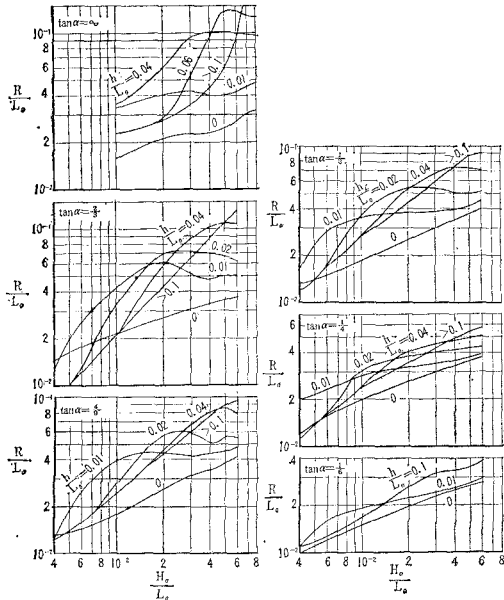
*** 正会員 京都大学助手 防災研究所

図中の曲線はかなり散乱している実験値のほぼ平均を表わすように描いたもので、この図には実験値は省略してある。

(1) 波のうちあげにおよぼす波高の影響

図-2 は縦軸に波長を用いた波のうちあげ高の無次元量、横軸に波形勾配をとり、波のうちあげ高におよぼす沖波波高の影響を示したものである。この場合、図-1 からわかるように h/H_0 が 0 および >3 以外は範囲で表わしてあって、連続的ではないため、 h/H_0 を乗じて無次元量を変換した結果も連続的でなくなるので、それぞれの平均値 0.45, 0.8 および 2.0 を用いた。図-2 によると、のり面勾配が小さい $\tan \alpha < 1/4$ の場合には、波高の増大とともにうちあげ高も増加するが、 $\tan \alpha > 1/3$ となると、かならずしもそうではなく、ある波高のところでうちあげ高が極大あるいは最大となるような波高が存在するようになる。そのときの h/H_0 の値を調べてみると、ほぼ 1 程度の値のときに対応しており、このことは、のり先水深付近でちょうど波が砕けるような条件と一致する。このことは、潮位の影響のところでいえることで、とくに興味深いことである。

図-2 波のうちあげ高におよぼす沖波波高の影響



(2) 波のうちあげにおよぼす潮位の影響

波のうちあげ高を問題とする場合には、潮位の影響は換言すればのり先水深の影響である。ここではまずのり先水深の影響についてのべ、ついで海底から測った波のうちあげ高におよぼす潮位の影響について考察する。図-3 は縦軸にうちあげ高と波高との比 R/H_0 を、横軸にのり先水深と波高との比 h/H_0 をとり、波のうちあげ高におよぼすのり先水深の影響を示したものである。これによると、のり面勾配が小さく、また波形勾配が大き

図-3 波のうちあげ高におよぼすのり先水深の影響

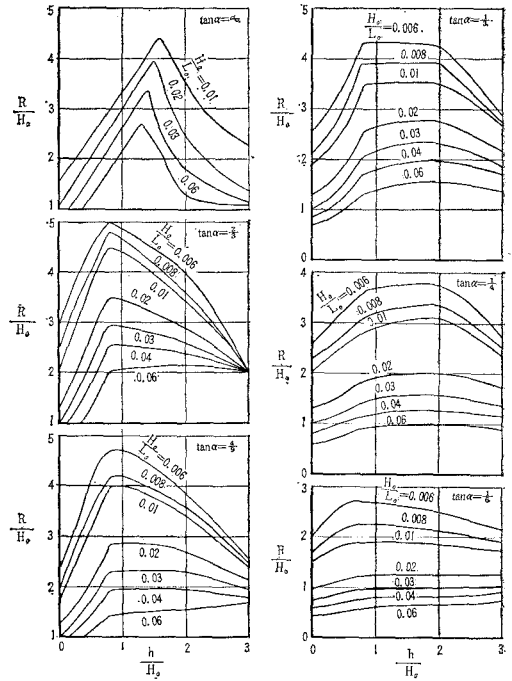


図-4 海底から測った波のうちあげ高におよぼす潮位の影響

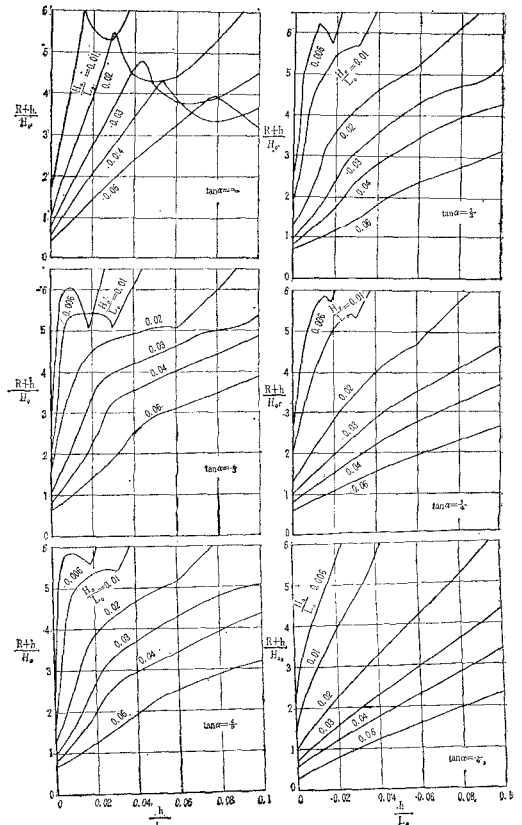
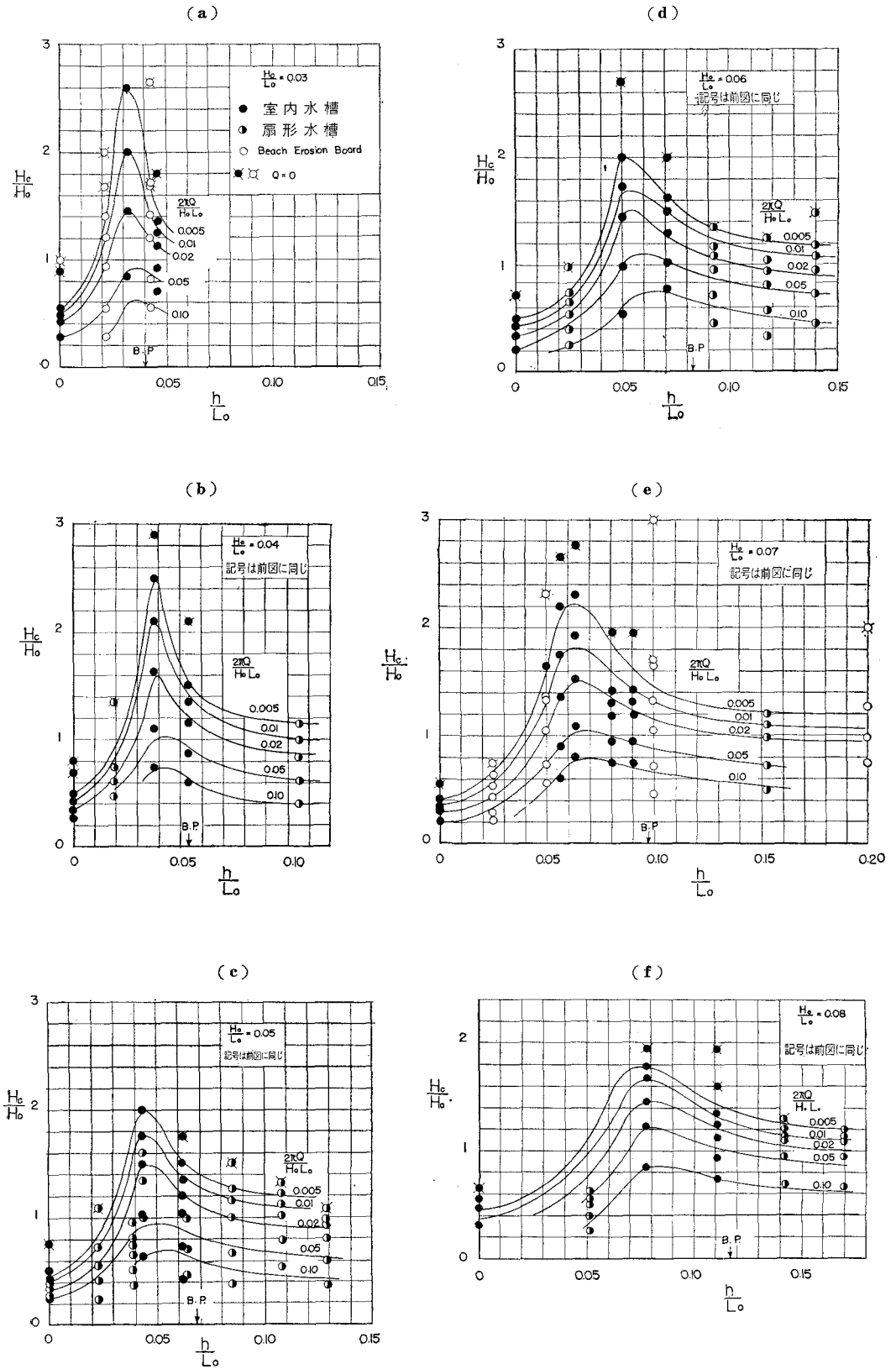


図-5 波形勾配別に $2\pi\theta/H_0L_0$ をパラメーターとした H_c/H_0 と h/L_0 との関係 (三井¹³⁾より)

いときには、波のうちあげ高におよぼすのり先水深の影響はあまり顕著ではない。しかし、のり面勾配が大きくなるとのり先水深の影響がだんだんと顕著となり、 h/H_0 の値が1~2において、 R/H_0 の値が最大となるような変化の仕方をする。とくにこの傾向は波形勾配が小さくなるといじめる。さらに、図-4は縦軸に海底から測ったうちあげ高さ h と波高との比 $(R+h)/H_0$ を、横軸にのり先水深と波長との比 h/L_0 をとり、海底から測った波のうちあげ高におよぼす潮位あるいはのり先水深の影響を示したものである。これによると、潮位の上昇とともに海底から測った波のうちあげ高が増大していくものと、ある潮位でうちあげ高が極大値を示し、その後ふたたび増大していくものの2つの異なる傾向がある。いま、後者の場合の極大値を示す h/H_0 の値を調べてみると1~1.5であり、堤防前面で砕けるような波は非常に高くまでうちあがることになる。ある潮位でうちあげ高の極大や極小があらわれるのは、堤防の傾斜角が大きく、波形勾配が小さい場合である。このような場合に、この極小値に対応する水位を計画高潮位として採用すれば、それより潮位が低い場合に極大値があらわれるので、波のうちあげ高がこの計画高潮位において最高になるとはかぎらないわけであって、実際の設計に当たっては計画潮位の決定について慎重に考慮しなければならない。

3. 鉛直堤の越波量におよぼす波高と潮位の影響

海岸堤防の越波に関しては、これまでにかなり多くの研究が行なわれているが^{9)~13)}、ここでは、石原・岩垣・三井による1/10勾配の斜面上に設置した鉛直堤の実験結果¹³⁾を用い、越波量におよぼす波高と潮位の影響を考察することにする。図-5(a)(b)(c)(d)(e)および(f)は以下の考察に使用した図である¹³⁾。なお、ここで用いる記号は、前出のほか、 H_c を堤防の静水面上の高さ、 Q を1周期単位幅当たりの越波量とし、 $H_0 L_0 / 2\pi$ は沖波1周期、単位幅当たりの岸側に輸送される水量である。

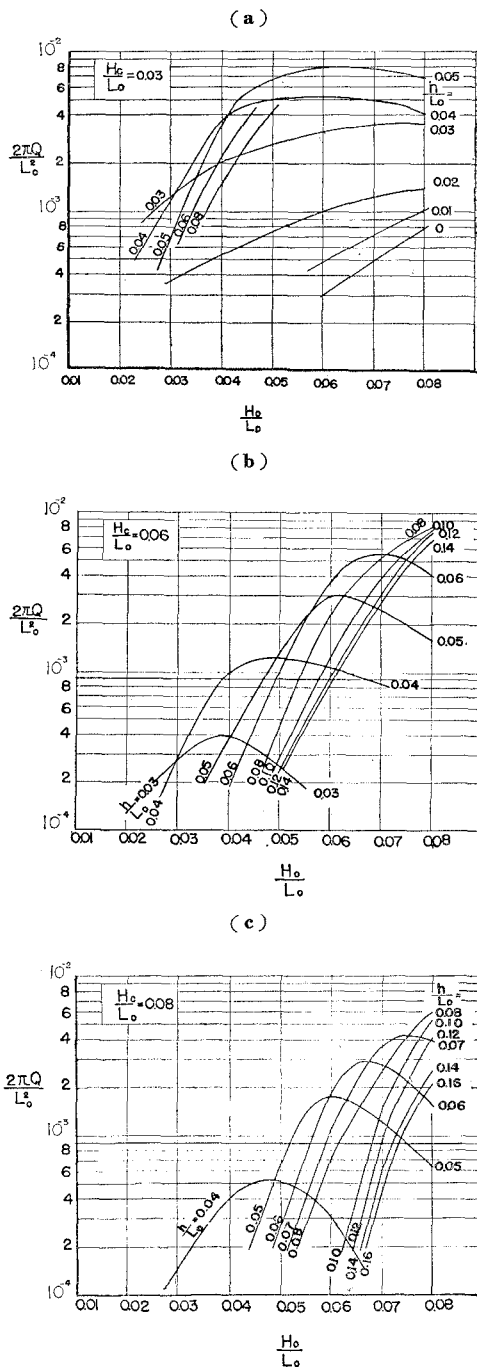
(1) 越波量におよぼす沖波波高の影響

沖波波高が越波量に大きな影響をおよぼすことは常識的にも当然考えられるが沖波波高が大きいと越波量もそれに応じてかならず増大すると考えやすい。図-6(a)(b)および(c)は $H_c/L_0=0.03, 0.06$ および0.08の3例をとり出し、縦軸に沖波波長を用いた越波量の無次元量、横軸に沖波の波形勾配をとり、のり先水深・波長比をパラメーターとして図-5をプロットしなおし、越波量におよぼす波高の影響を示したものである。これらの図からわかるように、波高の影響については2つの異なる傾向がある。すなわち、ある波高で最大の越波量を示し、それ以上の波高では越波量はかえって減少するものと、もう一つは波高の増大とともに越波量も増加し

ていくもの、とである。さらに図中の曲線からのり先水深が大きくなると、最大越波量を示す波高も大きくなり、それと同時に越波量の最大値も大きくなることわかる。

いま、これらの図から h/L_0 を一定として、越波量が最大となる波形勾配 H_0/L_0 の値を調べてみると、ほとんどの場合、 H_0/L_0 と h/L_0 との比が1.1~1.5程度に

図-6 越波量におよぼす沖波波高の影響



なっている。このことから、越波量が最大となるのは堤防前面より少し沖側に砕けるような波の場合であることがわかる。このように大きい波高のときを対象としたから、その堤防が越波に対して安全であるとは限らないわけであって、このことは海岸堤防の設計に際して、計画波高を沖波波高の大小だけで決めないで、堤防を設置しようとする水深とあわせ考え、計画波高の決定に当たらなければならないことを示している。

(2) 越波量におよぼす潮位の影響

ここでは海底からの堤防高を変えないで、潮位を変えた場合、あるいは潮位はそのままで、堤防設置位置を変えた場合について考察する。図-7 は縦軸に越波量の無次元量、横軸にのり先水深・波長比をとり、越波量におよぼす潮位の影響を示したものである。これによると波形勾配の値によって若干異なるが、 $(H_c+h)/H_0$ の値がある特定の範囲 ($H_0/L_0=0.05$ の場合には $2.4\sim 2.8$) の場合には、潮位の上昇とともに越波量があまり変わらないか、あるいは若干減少したのち、徐々に増大していく傾向をもっている。このように潮位の高低だけで越波量の大小が決定されない場合がある。とくにこの傾向は波形勾配の小さい波に対して顕著であり、堤防設計上注意を要する。さらに、この事実は、とくに埋立護岸の設置位置を決めるような場合に参考となる。たとえば許容の越波量が同じであれば、当然沖側の水深の深い所に護岸

を設け、背後地をできるだけ広く利用することができるわけである。

4. 模型実験による二、三の実例

ここでは大阪府堺港の埋立護岸¹⁴⁾、泉南海岸堤防¹⁵⁾および静岡県比海岸¹⁶⁾の越波に関する模型実験による実例をあげ、前述した越波量におよぼす波高と潮位の影響についてのべる。なお、実験設備およびその方法については割愛する。

(1) 堺港の埋立護岸の模型実験

図-8 は堺港の埋立護岸の概略図であり、実験は Froude の相似則にしたがい、模型縮尺 1/15 で行なった。計画波浪は沖波波高 $2\sim 3$ m, 周期 6.5 sec, 計画潮位は O.P.+4.30 m, そのときの護岸ののり先水深は 13.30 m であり、来襲波高にくらべのり先水深が非常に深い場合である。図-9 はこの場合の越波量におよぼす波高の影響を示したもので、波高の増大とともに量も増加し、この傾向は 図-6 にも見つけることができる。

(2) 泉南海岸堤防の模型実験

図-10 は泉南海岸堤防の標準断面図であり、実験は模型縮尺 1/20 で行なった。計画波浪は沖波波高 $2\sim 3$ m, 周期 6.5 sec, 計画潮位は O.P.+4.0 m, そのときののり先水深は 2.50 m とした。なお、ここで対象とした実験結果は前面の消波工がない場合のものである。図-11 はこの場合の越波量におよぼす波高の影響を示したものであり、 h/L_0 の値が 0.0382 の場合には、波高の増大とともに越波量

も増加するが、それ以外の場合には、かならずしもそうでなく、ある波高の

図-7 越波量におよぼす潮位の影響

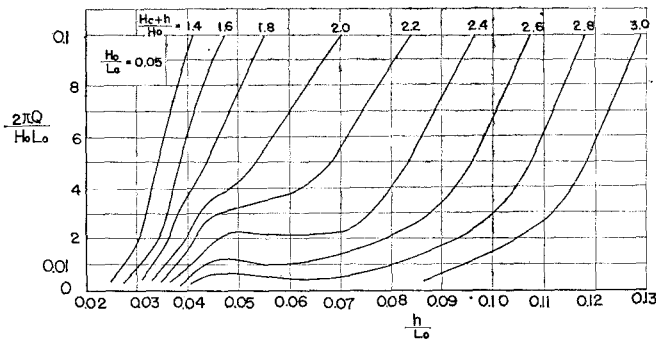


図-8 堺港埋立護岸断面図

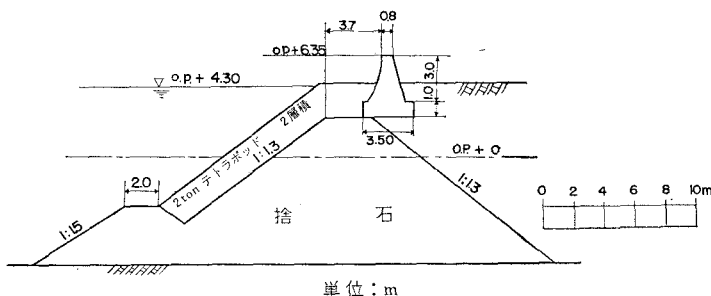
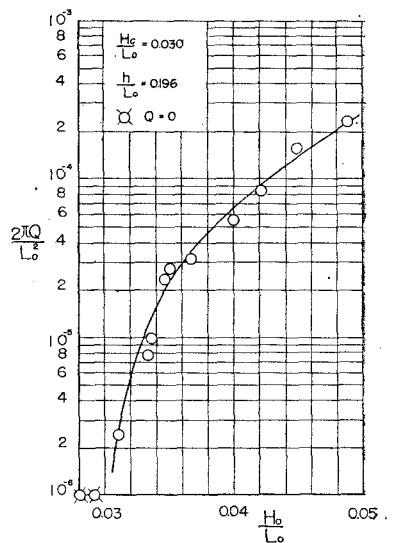
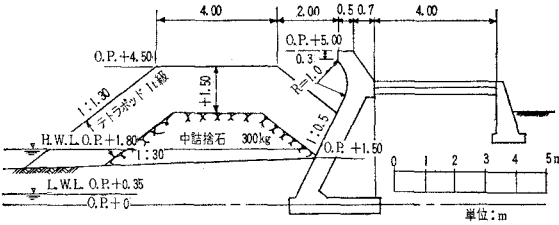


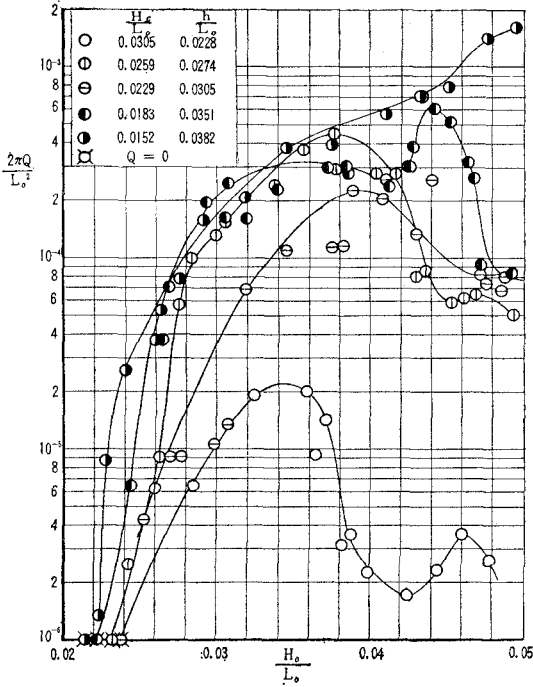
図-9 堺港護岸に対する越波量におよぼす沖波波高の影響



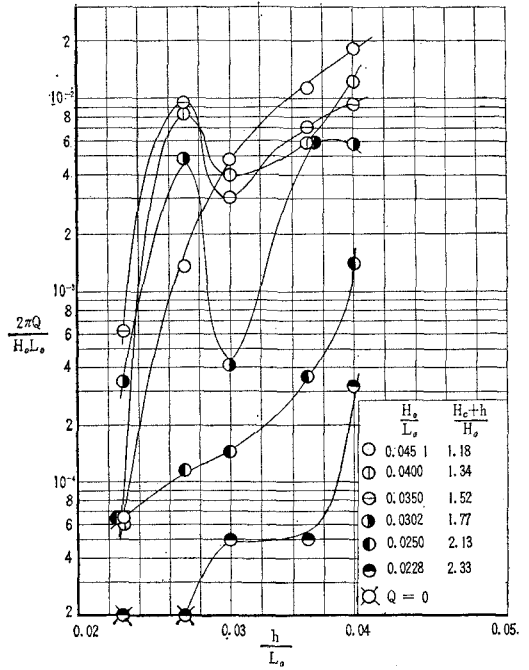
図—10 泉南海岸堤防標準断面図



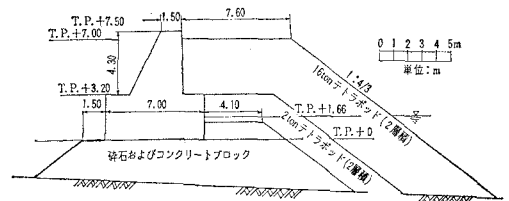
図—11 泉南海岸堤防に対する越波量におよぼす沖波波高の影響



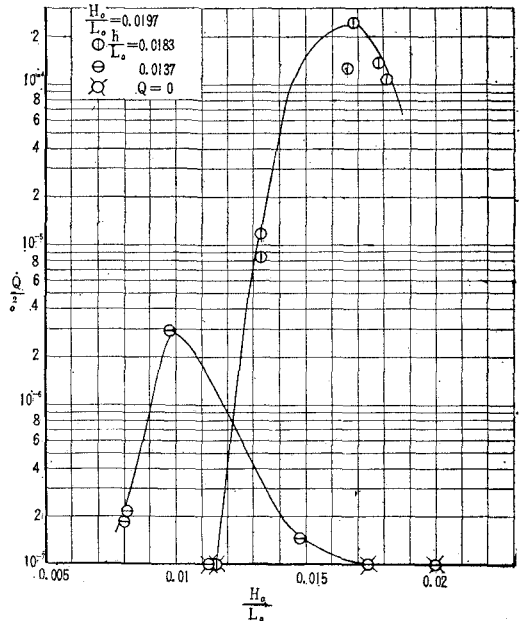
図—12 泉南海岸堤防に対する越波量におよぼす潮位の影響



図—13 由比海岸堤防断面図



図—14 由比海岸堤防に対する越波量におよぼす沖波波高の影響



ところで越波量が最大となることがわかる。この傾向は図—6 の場合にも見られ、のり先水深によっては、計画波高よりもかなり小さい波高で最大の越波量があらわれ、波高の大小だけで天端高を決定することが危険であることを示す好例である。

図—12 は越波量におよぼす潮位の影響を示したものであるが、 H_o/L_o の値によってかなり変動し、とくに、 H_o/L_o の値が 0.0350~0.0250 の場合には潮位の上昇とともに越波量はやや急激に減少し、ふたたび増加する傾向がある。このように潮位の高低によっても越波量が変動し、潮位が低くても越波量が多い場合があることは注意を要する。

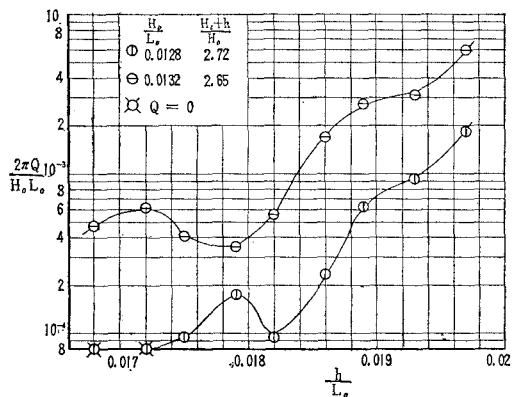
(3) 由比海岸堤防の模型実験

図—13 は潮位の影響を考察した場合に対象とした計画堤防概略図であり、計画波浪は沖波波高 5.12m、周期 18sec、計画潮位は T.P.+1.66m で、そのときの堤防ののり先水深を 6.4m とし、模型縮尺 1/25 で実験を行なった。波高の影響については、この断面と異なった

初期の計画断面を用い、その場合の計画波浪は沖波波高 7.0 m, 周期 15 sec, 計画潮位は T.P.+1.60 m で、そのときののり先水深としては 6.4 m, 4.8 m, 3.3 m の 3 種類を選んだ。図-14 は波高の越波量におよぼす影響について示したものである。この場合ののり先水深にくらべて来襲波高が大きいことから、泉南海岸堤防の場合と同様に、ある波高のところで最大越波量を示し、それ以上の波高では越波量が減少するような変化の仕方をしており、この傾向は鉛直堤の場合とまったく同じである。

図-15 は図-7 と同じように越波量におよぼす潮位の影響を示したものである。この図では H_0/L_0 の数が少ないので的確な結論は得られないが、ある潮位までは、越波量はあまり変わらないか、あるいはかえって減少するが、その潮位を越えると、急激に越波量が増加していく傾向がある。

図-15 由比海岸堤防に対する越波量におよぼす潮位の影響



このような実例による傾向は鉛直堤の場合にも同じように見出され、越波防止の立場から考えれば、計画波高あるいは計画高潮位の場合を考えたからといって必ずしも安全であるとはいえないことを裏づけるものといえよう。

5. 結 語

以上、著者らは、堤防への波のうねあげ高や鉛直堤の越波量におよぼす波高と潮位の影響を従来の実験結果を用い、系統的に検討して、計画高潮位や計画波高の場合に越波量や波のうねあげ高がかならずしも最大になるとは限らないことを明らかにし、現在の海岸堤防の天端高

を決定する簡単な方法では十分でないことをのべ、その問題点を指摘したが、この論文が今後こうした問題にたずさわる人々の参考になれば幸である。

最後に、本研究に際し、資料整理や図面作製に大いに助力していただいた京大大学院学生大堀晃一君に感謝するとともに、この研究は文部省特定研究費による研究の一部であることを明記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 日本港湾協会：港湾工事設計要覧，pp. 42～43，昭 34.6.
- 2) 日本港湾協会他：海岸保全施設築造基準解説，pp. 62～72，昭 35.1.
- 3) Saville, T. Jr. : Wave Run-up on Shore Structures, Trans. ASCE, Vol. 123, pp. 139～150, 1958.
- 4) 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，海岸工学講演会講演集，pp. 57～70，昭 30.11.
- 5) Saville, T. Jr. and J.M. Caldwell : Experimental Study of Wave Overtopping on Shore Structures, Proc. of Minnesota Intern. Hydraulics Convention, pp. 261～269, 1953.
- 6) Saville, T. Jr. : Laboratory Data on Wave Run-up and Overtopping on Shore Structures, B.E.B. Tech. Memo. No. 64, pp. 1～32, 1955.
- 7) Sibul, O.J. : Flow over Reefs and Structures by Wave Action, Trans. AGU, Vol. 36, No. 1, pp. 61～71, 1955.
- 8) Sibul, O.J. and E.G. Tickner : Model Study of Overtopping of Wind Generated Waves on Levees with Slopes of 1 : 3 and 1 : 6, B.E.B. Tech. Memo. No. 80, pp. 1～27, 1956.
- 9) Hudson, R.Y., R.A. Jackson and R.E. Cuckler : Wave Run-up and Overtopping, Levee Sections, Lake Okeechobee, Florida, Hydraulic Model Investigations, W.E.S. Tech. Rep. No. 2-449, pp. 1～29, 1957.
- 10) Paape, A. : Experimental Data on the Overtopping of Seawalls by Waves, Proc. of 7th Conf. on Coastal Engineering, Vol. 2, pp. 674～681, 1961.
- 11) 石原藤次郎・岩垣雄一・三井 宏：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，昭 32. 11.
- 12) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫：風洞水槽を用いた海岸堤防の越波に関する研究 (1)，第 9 回海岸工学講演会講演集，pp. 153～158，昭 37.10.
- 13) 三井 宏：海岸堤防の越波防止効果に関する研究，京大大学院工学研究科修士論文，昭 32.3.
- 14) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫：風洞水槽による埋立護岸の越波に関する模型実験 (第 3 報)，財団法人防災研究協会，pp. 1～14，昭 38.9.
- 15) 岩垣雄一・島 昭・井上雅夫：泉南海岸堤防の越波に関する模型実験，財団法人防災研究協会，pp. 1～12，昭 39.3.
- 16) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫：由比海岸堤防の越波に関する模型実験，第 10 回海岸工学講演会講演集，pp. 132～137，昭 38.10.