

由比海岸堤防の模型実験について

岩 垣 雄 一・土 屋 義 人・井 上 雅 夫

MODEL EXPERIMENTS ON THE SEAWALL AT YUI COAST

by Dr. Eng. Yuichi IWAGAKI, Yoshito TSUCHIYA
and Masao INOUE

Synopsis

The purpose of this model experiment is to obtain some fundamental data for designing the seawall at Yui Coast facing to Suruga Bay.

As the first report on the model experiment, this paper deals with the wave overtopping on the seawall. In order to decide an effective arrangement of wave absorbing works and an effective height of the seawall, some experiments have been carried out by using the model of the seawall to horizontal and vertical scales of 1/25 based on the Froude similitude.

The main results of the experiment are summerized as follows:

1. The rate of wave overtopping on the seawall changes with the wave height of incident waves having a constant period, and in this case, a maximum rate of wave overtopping generally exists.
2. The maximum rate of wave overtopping decreases rapidly with decrease in the water depth in front of the seawall.
3. In such a model experiment, it is necessary to disclose the influence of irregularity of incident waves on the wave overtopping on a seawall.
4. In order to decrease the rate of wave overtopping, it will be the most effective procedure to make shallow the water depth in front of the seawall.

1. 緒 言

由比海岸は静岡市の東部約 30 km の駿河湾に面し、背後の山との狭長な所に国鉄東海道線、一級国道および高速道路などの幹線交通路線が通っており、新設路線は着々と工事が進められている。昭和36年3月、この背後の山腹に大規模な地這りが発生し、この地這り土の処理と高速道路の建設地造成をかねて、約 5.5 km の区間にわたり、現在の海岸堤防から 60~120 m 沖側に新らしく海岸堤防を建設することになった。この海岸堤防は背後が重要な交通路線となるため、とくに越波量を適確に推定することが重要である。この模型実験では海岸堤防の越波を防止するための消波工の規模や堤防の天端高さを決めるための基礎資料を得るのが目的である。なお、本実験は建設省の委託研究であることから、実験計画はその指示に従った。

2. 由比海岸の概要と計画堤防

(1) 由比海岸の概要

由比海岸は Fig. 1 に示すように駿河湾の西北部にあり、その海底形状は計画区域の全域について、現在

の汀線から沖側へ 600~700 m まではほぼ一様であり、約 1/30 の勾配である。

(2) 計画波および計画潮位

由比海岸堤防の計画波としては、日本建設コンサルタント KK が推定した値²⁾を参考にし、沖波波高 7.0 m および周期 15.0 sec のものを対象とした。また計画潮位は異常高潮位を考慮した T.P.+1.60 m である。

(3) 計 画 堤 防

Fig. 2 は計画堤防の概略図であり、堤防前面の消波工としては、テトラポッドを採用した。テトラポッドは、その移動限界を考慮して、25, 16, および 8 ton のいずれかを用い、それを 2 層積にし、またその下積として 200~300 kg の碎石や四面体のコンクリートブロックを用いるよう計画された。

3. 実験設備および実験方法

(1) 実験設備

実験水槽は巾1 m、深さ1.5 m、長さ約80 mの一部ガラス張りのコンクリート水槽であり、その一端には気圧式造波機と multi-purpose 型造波機の二つが設けられている。

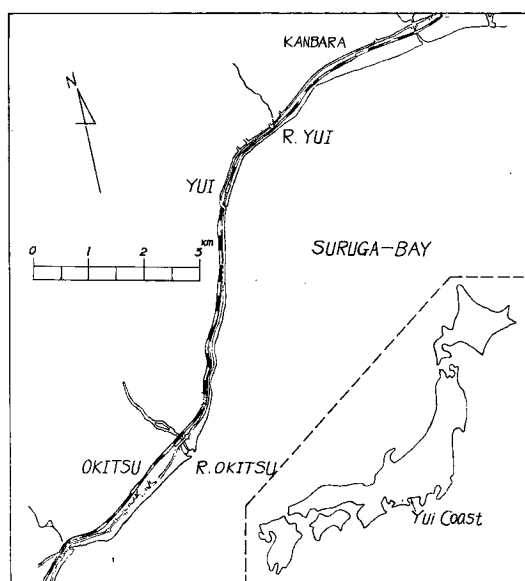


Fig. 1 Location of Yui Coast

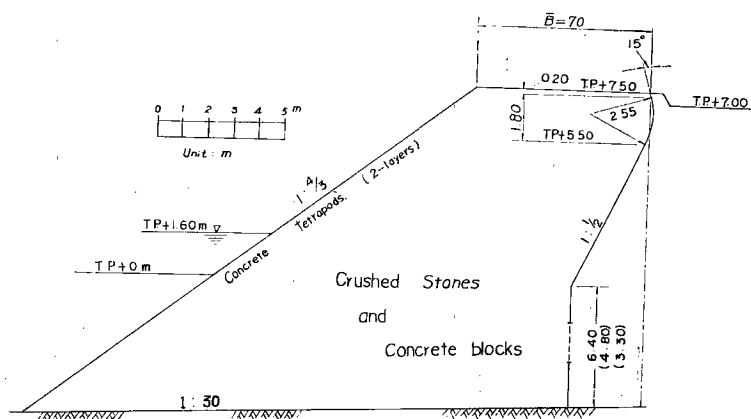


Fig. 2 Cross section of seawall

が、今回の実験には後者を用いた。また他端には勾配 1/30 のコンクリートの模型海浜を設けた。模型堤防は Fig. 2 に従って縮尺 1/25 のものを作り、堤防を設置する場合の代表的な法先水深として、6.4、4.8、および 3.3 m の 3 点を選んだ。テトラポッドの模型はモルタルで製作した。また下積の碎石には粒径 2~3 cm の礫を用い、コンクリートブロックの代りに 8 ton のテトラポッドを使用した。

波高、消波工前面および堤防前面の水位変動は、電気抵抗線式水位計を用いて測定した。越波量は、堤防の背面に小さな水槽を設けて直接測定した。越波量の分布は金網を張つたわくにロト状の容器をとりつけ、これに入る水を測定した。

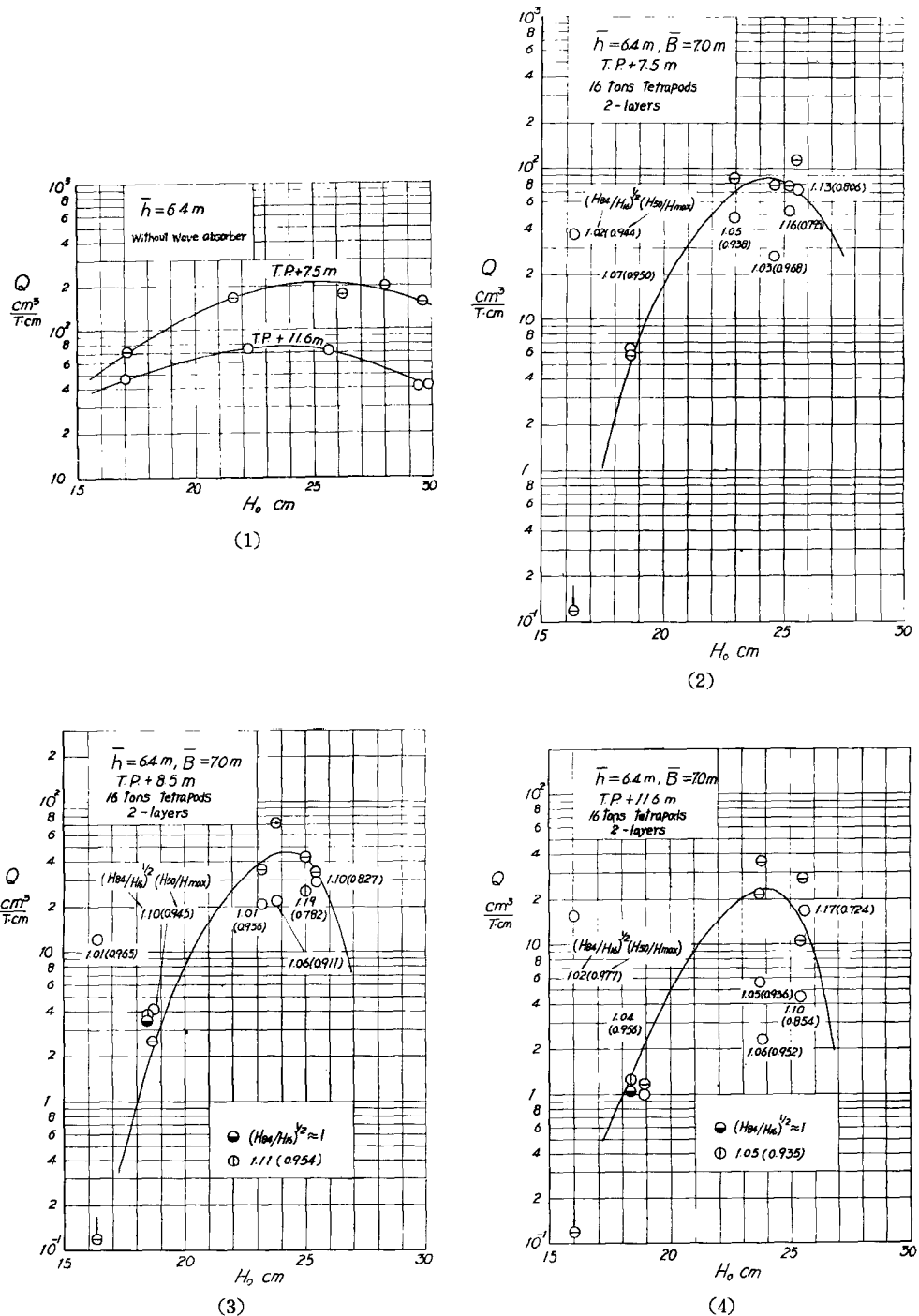


Fig. 3 Relations between rate of wave overtopping and deep-water wave height for case of 16 tons tetrapods ($\bar{h}=6.4m$)

(2) 実験方法

こうした模型実験では、とくに相似律に関する検討が必要であるが、ここでは Froude の相似則が成りたつものとして実験波を決定した。すなわち、前述したように縮尺 1/25 とすれば、計画波の沖波波高は 28 cm、周期は 3.0 sec である。しかし、後述するように越波量が最大となる波高はこの計画波高よりも小さいことから、実験は周期を一定として、波高を数種変えて行なつた。なお、実験は主として一様な波を対象として行なつたので、造波機始動後の 2～3 波を除いた次の 5 波の波高の平均値をその入射波高とし、その波に対応した越波量や最終砕波点を測定した。また造波機で起こした波に堤防からの反射波が加わり、入射波が不規則になると、現象もかなり異なるので、波の不規則性が越波量に及ぼす影響を検討するため、波がかなり不規則になった場合に対しても同様な測定を行なつた。

4. 実験結果とその考察

(1) 法先水深 $\bar{h}$ が 6.4 m の場合の実験結果

Fig. 3 は法先水深が 6.4 m で、消波工を設置しない場合と、消波工として 16 ton のテトラポッドを用いた場合の、沖波波高と越波量との関係を示したものである。消波工を設置しない場合については、堤防の天端高さ T.P.+7.5 m、および T.P.+11.6 m について実験を行なつたが、越波量は原型に換算すると堤防単位幅当たり、1 周期に、6.3～12.5 m³ となる。しかし消波工を設置すると、越波量は 1/2～1/3 に減少する。また、Fig. 3 からわかるように、いずれの場合においても、沖波波高 24 cm 程度で越波量が最大となる。このことは、波高の増大とともに越波量は増加するが、さらに波高が大きくなると、波は堤防の法先よりかなり沖側で砕波するために、越波量はかえつて減少するものと考えられる。こうした傾向は、消波工を設置した場合の方が一層顕著である。さらに Fig. 3 には、不規則な波について、その不規則性を表わすために、それぞれの実験値に対して $(H_{84}/H_{16})^{1/2}$ および (H_{50}/H_{max}) の値を記入しておいた。これは堤防からの反射波によつて波が不規則になつてからの一連の波高記録から、Fig. 4 に示すような波高の頻度分布曲線を描き、累加百分率が 84%、50% および 16% に相当する波高をそれぞれ H_{84} 、 H_{50} および H_{16} とし、さらに最大波高を H_{max} として求めた値である。これらの結果によると、不規則な波を対象とした場合は、実験値が非常にばらつき、前述した規則波の場合のように一つの曲線であらわされる結果は得られない。しかし、こうした二つのパラメーターのうち、たとえば $(H_{84}/H_{16})^{1/2}$ の値が大きく (H_{50}/H_{max}) の値が小さくなると、越波量が増加するようである。

Fig. 5 は、消波工に 25 ton テトラポッドを用いた場合の実験結果を示したものである。

この場合の消波効果は、16 ton テトラポッドの場合と較べて若干劣るようである。Fig. 6 は Fig. 5 に対応した護岸前面における静水面からはかつた最高水位と、沖波波高との関係であつて、水位が最高となる波高のとき、越波量も当然最大となつている。

Fig. 7 は越波量の堤防からの水平方向の距離的な分布について測定した結果の 1 例であるが、総越波量の 95% が落下する距離は沖波波高によつてあまり変化せず、大体堤防前面から 40～50 cm 以内である。しかしながら、こうした問題は越波に及ぼす風の効果を考慮しなければ、適確な結論は得られないので、現

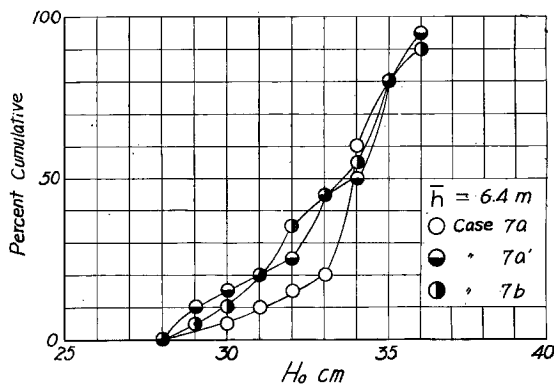


Fig. 4 Cumulative frequency diagram of deep-water wave height

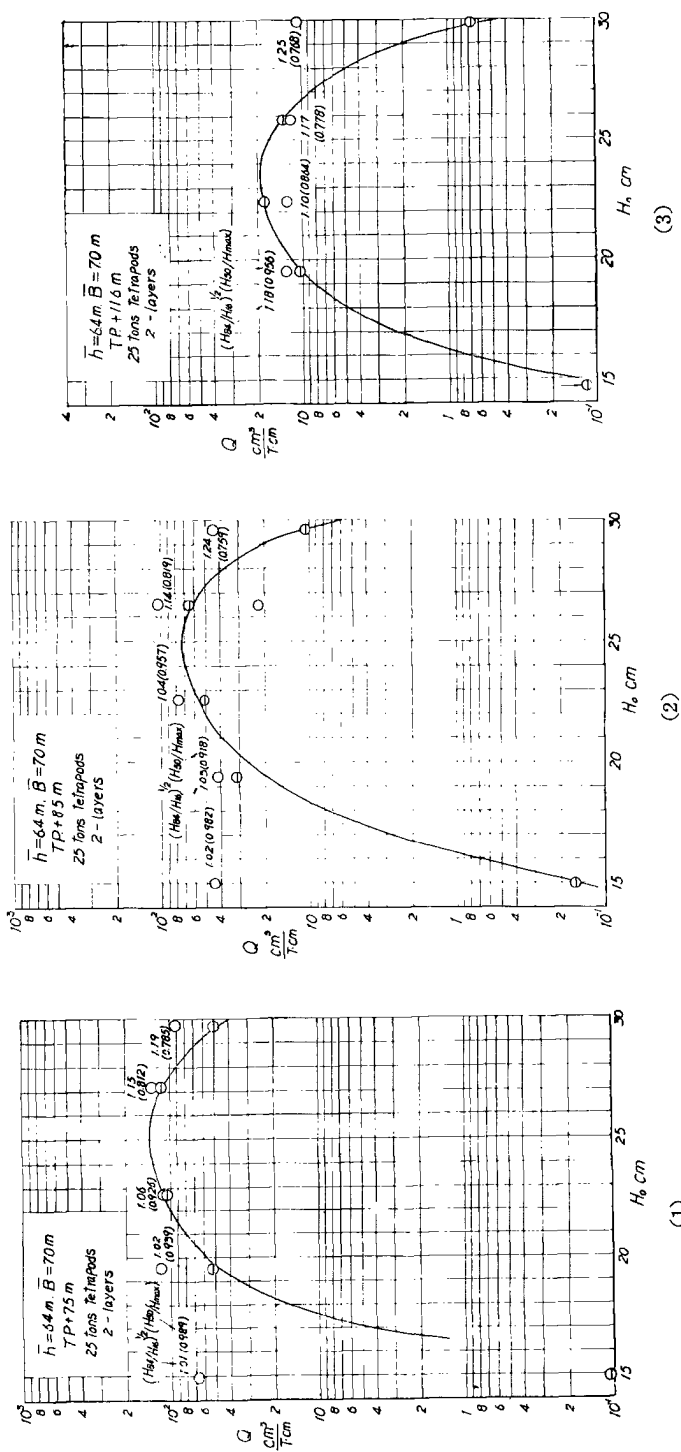


Fig. 5 Relations between rate of wave overtopping and deep-water wave height for case of 25 tons tetrapods ($h=6.4\text{m}$)

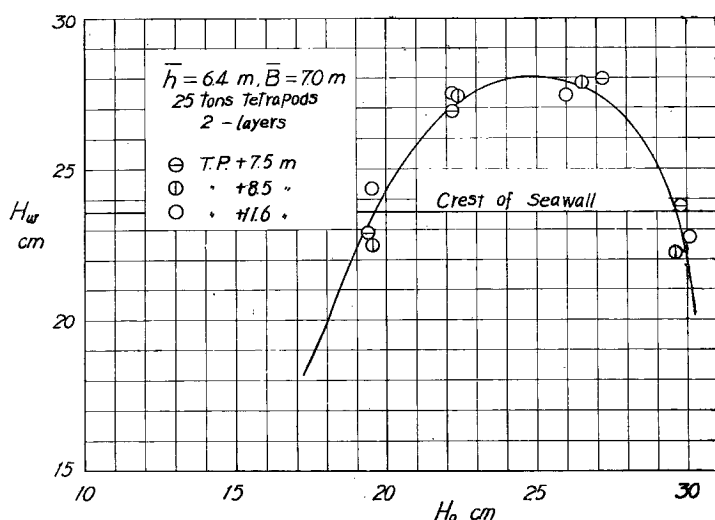


Fig. 6 Relation between water surface elevation in front of seawall and deep-water wave height for case of 25 tons tetrapods ($\bar{h}=6.4$ m)

在高速風洞水槽による模型実験を進めている。なお実験中テトラポッドの安定について観察したところ、16 ton のテトラポッドは長時間経過するとややくずれるが、25 ton のテトラポッドは一応安定であることがわかった。

(2) 法先水深 $\bar{h}$ が 4.8 m の場合の実験結果

Fig. 8 は、消波工に 16 ton テトラポッドを用いた場合の沖波波高と越波量との関係である。この結果によると、法先水深が 6.4 m の場合と較べて、最大越波量が非常に小さくなっており、また波高変化にともなう越波量の変化が急激である。越波量は沖波波高が 13 cm のとき最大となり、波高がそれよりも大きくても、また小さくても、越波量は急激に減少する。図中には、Fig. 3 と同じように、不規則な波に対する実験結果が図示してあるが、これからつぎのことがわかる。最大越波量を生ずる波高よりも小さい波高では、波の不規則性は越波量にあまり影響しないようであるが、波高がかなり大きくなり、最大越波量を与える波高よりも大きい場合には、一般に波が不規則であるほど越波量は著しく

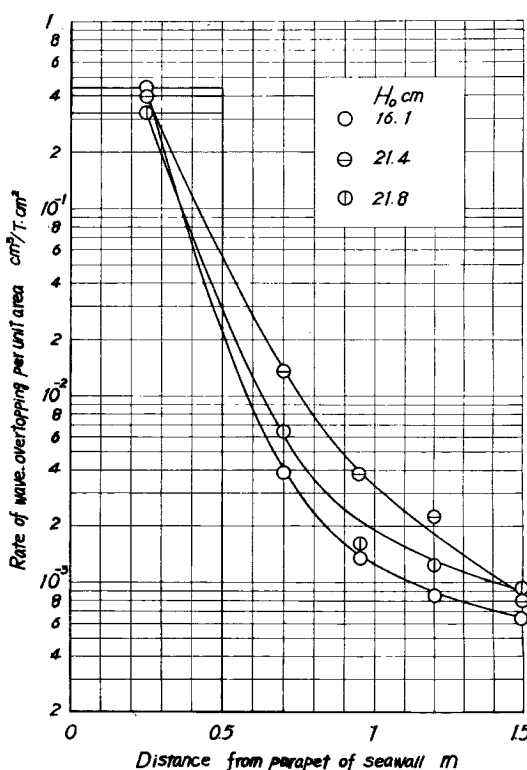


Fig. 7 Horizontal distribution of rate of wave overtopping ($\bar{h}=6.4$ m)

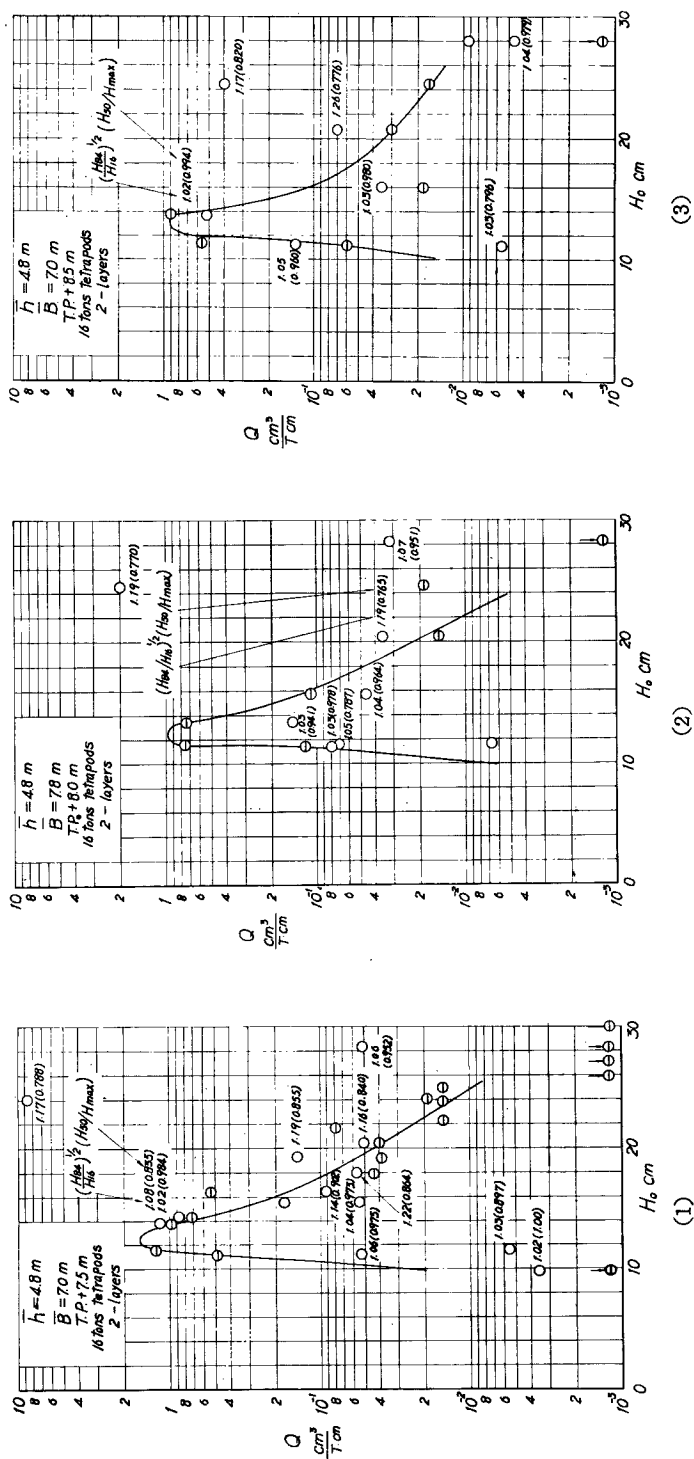


Fig. 8 Relations between rate of wave overtopping and deep-water wave height for case of 16 tons tetrapods ($\bar{h} = 4.8$ m)

増大する。このことは Fig. 9 に示すように、最終砕波点の位置がおおのの波についてかなり変動し、波高の大きな波でも沖側で砕波せずに、法先付近で砕波する場合があるためと考えられる。

なお、この場合には 16 ton のテトラポッドはときどき動く程度であつて、一応安定であることがわかつた。

(3) 法先水深 $\bar{h}$ が 3.3 m の場合の実験結果

この場合には計画断面で沖波波高 10 cm のとき、わずかに越波する程度である。消波工を設置しない場合や、消波工の規模を小さくすると、かなり越波する。また 16 ton のテトラポッドはいかなる場合の波の作用に対しても安定であつた。

(4) 越波防止に関する考察

以上、(1)、(2)および(3)においては、堤防の法先水深ごとに沖波波高と越波量との関係について述べたが、法先水深が 6.4 m および 4.8 m の場合には、かなり越波することがわかつたので、なんらかの有効な越波防止法を考えねばならない。Fig. 10 は、Fig. 5 から法先水深が 6.4 m の場合の堤防天端高さと越波量との関係を示したものである。これによると、沖波波高によつてかなりの相違はあるが、堤防の天端高さ T.P.+7.5 m の場合の越波量を半減させるためには、

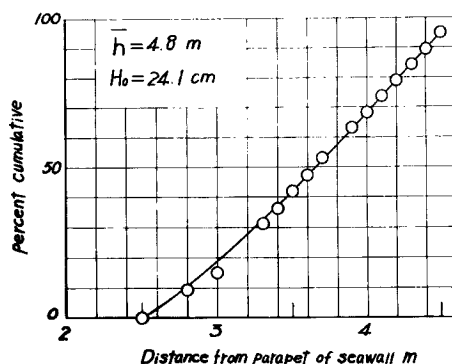


Fig. 9 An example of cumulative frequency diagrams of plunging points of waves

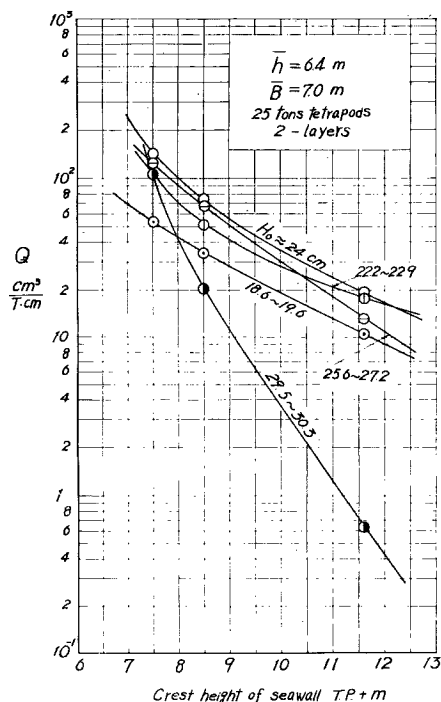


Fig. 10 Relations between rate of wave overtopping and crest height of seawall for case of 25 tons tetrapods ($\bar{h}=6.4$ m)

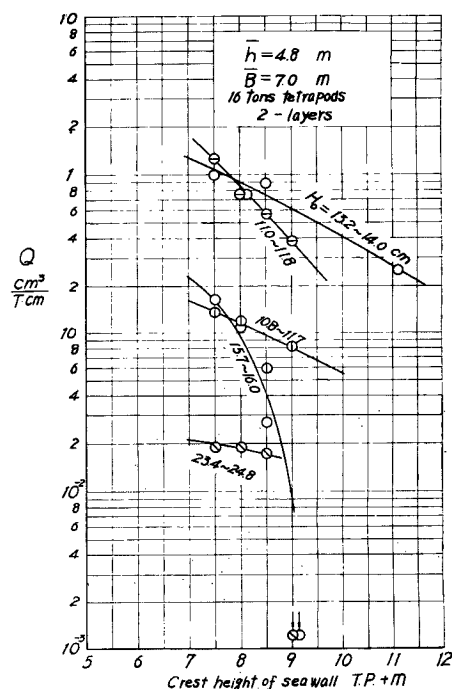


Fig. 11 Relations between rate of wave overtopping and crest height of seawall for case of 16 tons tetrapods ($\bar{h}=4.8$ m)

天端高さを1～2 m高くする必要がある。このことは、Fig. 11 に示すように、法先水深が 4.8 m の場合についても同じ傾向である。

一方、Fig. 12 は、Fig. 3 および Fig. 5 から得られる堤防の法先水深と越波量との関係を、堤防の天端高さをパラメーターとして表わしたものである。この結果によると、越波量に及ぼす堤防の法先水深の影響は極めて大きく、たとえば法先水深 $\bar{h}$ が 5 m から 6 m にかわつたとすると、越波量は 10 倍以上増加することがわかる。また消波工を設置しない場合に較べて、消波工を設けた場合の方が法先水深の効果が非常に大きくあらわれているのは、模型実験において対象とした消波工の一つの特性であると考えられる。こうした事実を考えると、越波量を減少させるための一つの方法として、堤防の天端高さをあげるよりも、養浜などによつて堤防法先水深を浅くする方が、少なくとも水理学的にはより効果的であると思われる。Fig. 13 に示した結果は、Fig. 12 に対応した最大越波量を示す沖波波高と

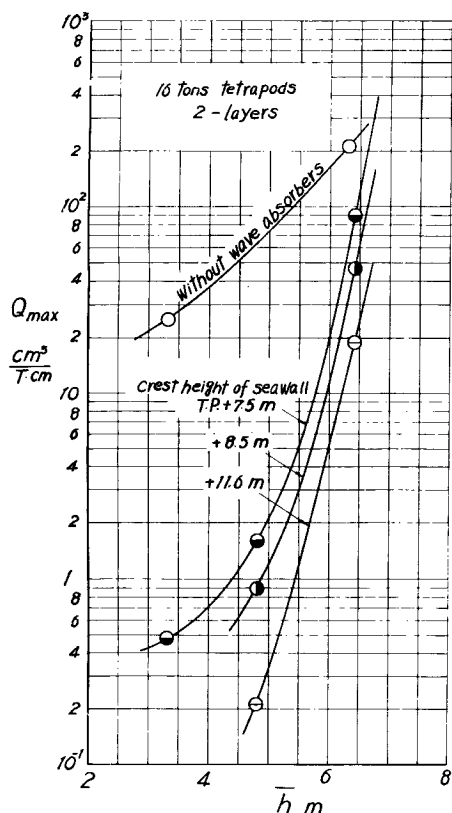


Fig. 12 Relations between maximum rate of wave overtopping and water depth in front of seawall for case of 16 tons tetrapods

に大きくあらわれているのは、模型実験において対象とした消波工の一つの特性であると考えられる。こうした事実を考えると、越波量を減少させるための一つの方法として、堤防の天端高さをあげるよりも、養浜などによつて堤防法先水深を浅くする方が、少なくとも水理学的にはより効果的であると思われる。Fig. 13 に示した結果は、Fig. 12 に対応した最大越波量を示す沖波波高と

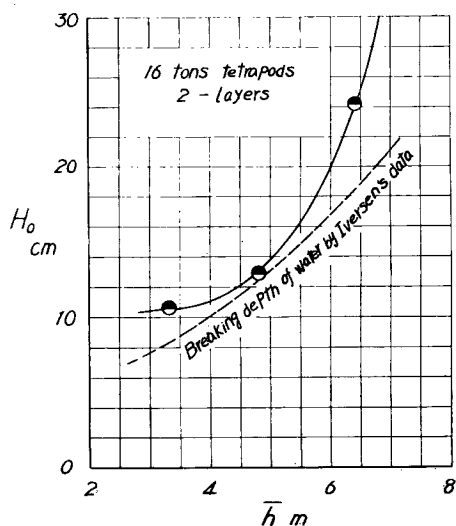


Fig. 13 Relation between deep-water wave height for maximum rate of wave overtopping and water depth in front of seawall

堤防法先水深との関係を示したものであり、図中の計算曲線は Iversen の実験結果³⁾から、砕波高と水深との関係を求めたものである。実験曲線がこうした計算曲線と同じ傾向を示さないのは、堤防の法先水深によつて、消波工による消波機構が相違するためと考えられる。

5. 結 語

以上、著者らは由比海岸堤防の模型実験を行ない、この堤防を設計するための基礎的な資料を得るとともに、2, 3 の興味ある結果を得た。まず第1に、海岸堤防の天端高さの決定に際しては、従来その多くが計画潮位に計画波高を加え、さらに若干の余裕高を加えるという方法がとられてきたようであるが、この模型実験においては、越波量が最大となる波は計画波よりも、堤防前面で砕波するような波であることから、従

来の単純な考え方で堤防の天端高さを決定することには、多くの問題があることを実験結果に基づいて指摘した。そして、このような海岸においては一般に越波量は堤防法先水深によつて著しく相違し、法先水深が小さくなれば急激に越波量は減少することがわかつた。

第2に、波の不規則性が越波量にかなり影響することがあり、今後不規則な波を対象とするこうした研究が極めて重要であることを見出した。

以上の模型実験の結果を総合して、この海岸堤防における越波量を軽減させるためには、堤防の天端高さをあげるよりも、堤防の法先水深を浅くする方がより効果的であることを述べた。

最後に本模型実験は、建設省中部地方建設局の委託によつて行なわれたものであることを明記して謝意を表するとともに、実験を行なうに当つて、熱心に協力していただいた大学院学生坂井順行および井保武寿の両君に感謝する次第である。

参 考 文 献

- 1) 桑原治太郎：由比の地すべりに伴う総合対策について，防災講義集，全国防災協会および全国海岸協会，昭37.7. pp. 35-45.
- 2) 日本建設コンサルタント株式会社：由比海岸における波浪の計算，昭37.2.
- 3) Iversen, H. W. : Waves and Breakers in Shoaling Water, Proc. of 3rd Conf. on Coastal Eng., 1952, pp. 1-12.