

海岸堤防の越波防止に関する二、三の問題

岩垣 雄一・土屋 義人・井上 雅夫

SOME PROBLEMS ON PREVENTION OF WAVE OVERTOPPING ON SEAWALLS AND SEADIKES

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

Synopsis

In designing seawalls and seadikes, it is very important to estimate the quantity of water overtopping on them as exactly as possible. In this paper, the effects of incident wave characteristics, water depth at the toe of a seawall, the wall height from still water level and wind on the quantity of overtopping water are discussed based on the results of experiments for vertical seawalls made by the authors and others. In addition, these effects for vertical walls are compared with the results of model tests for actual seawalls.

The main results are summarized as follows.

(1) The rate of wave overtopping does not always increase with increases in the deep-water wave height and the water depth at the toe of a seawall. Therefore, the design wave and the location of a seawall should be decided carefully from view point of disaster prevention.

(2) Increasing the wall height from still water level to decrease the quantity of overtopping water is not so effective when incident waves break just in front of the seawall as for the case of no breaking or after breaking of waves.

(3) With respect to the effect of wind on the quantity of overtopping water, there is a definite difference between the cases when incident waves break before they reach the seawall and they do not break. In the former case, there exists the maximum quantity of overtopping water at a certain wind velocity. On the other hand, in the latter case, the quantity of overtopping water becomes large with increase in the wind velocity.

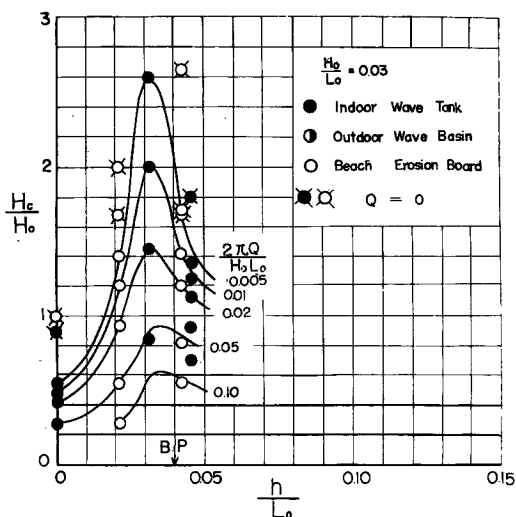
1. 緒 言

最近、海岸保全事業や臨海工業地帯の造成に伴い、全国各地に海岸堤防や埋立護岸が建設されているが、その天端高の決定方法には不明確な点が多く、そのため運輸省などでは独自の規定を作る試みをしている¹⁾。海岸堤防を合理的に、安全にまた経済的に設計するためには、越波量を適確に推定することが重要であるが、この問題についての理論的な解析がこれまで行なわれていないということは、越波の現象が複雑であり、その量的な推定がいかにむずかしいかを物語るものといえよう。しかし、従来越波に関する研究は、室内実験に依存しながらも、多くの研究者によってかなりの成果をあげてきた^{2)~6)}。なかでも石原・岩垣らの研究⁶⁾は風のない場合について系統的な実験を行ない、新たな越波量の無次元表示法を提案するとともに、この無次元越波量と波の特性、静水面上の堤防の高さ、堤防の法先水深との関係を明らかにし、こうした問題の解決に一指針を与えたといつてよい。この論文は、この実験結果にもとづき、見方をかえて、鉛直堤の越波量

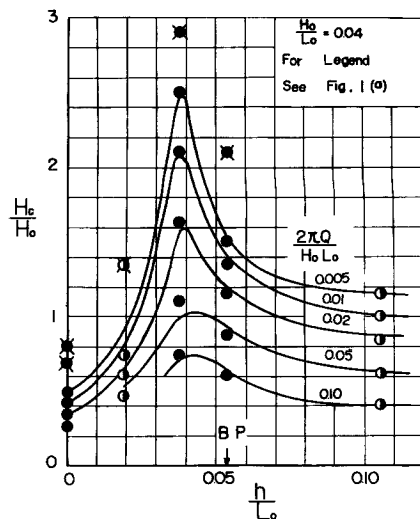
に及ぼす波の特性, 堤防の法先水深, および堤防の静水面上からの高さの効果を分離し, それぞれ個々に検討するとともに, さらに著者らの行った越波量に及ぼす風の影響に関する実験結果を加え, 最後に, 実際の海岸堤防や埋立護岸を対象とした模型実験の結果と鉛直堤の場合の結果とをこうした効果について比較し, 海岸堤防の設計に際して重要な越波量に及ぼす諸要素の効果をより明確にしようとしたものである。

2. 鉛直堤の越波量に及ぼす風以外の諸要素の影響

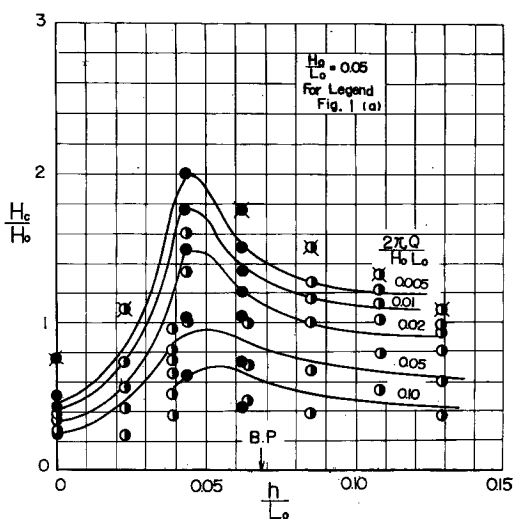
海岸堤防への波の遡上や越波の現象は, 前述したように多くの要素に支配され, その現象を理論的に取り扱うことは困難である。ここでは前述した石原・岩垣らの 1/10 こう配の斜面上に設置された鉛直堤に対する実験の結果を用い, 越波量に影響を及ぼすと考えられる波高, 周期, 堤防の法先水深, 堤防の静水面からの



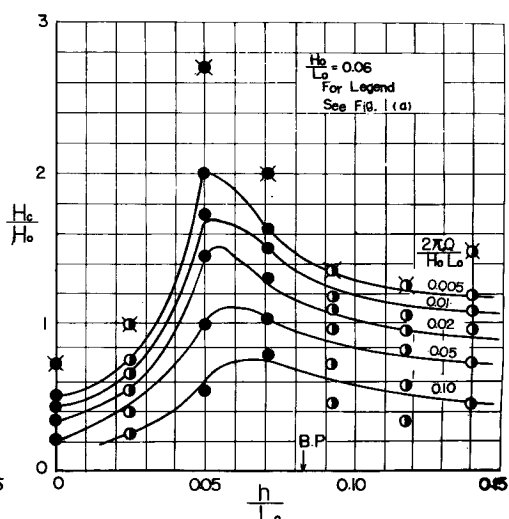
(a)



(b)



(c)



(d)

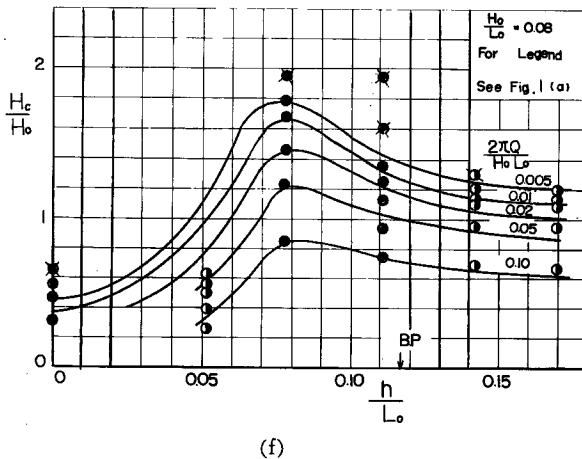
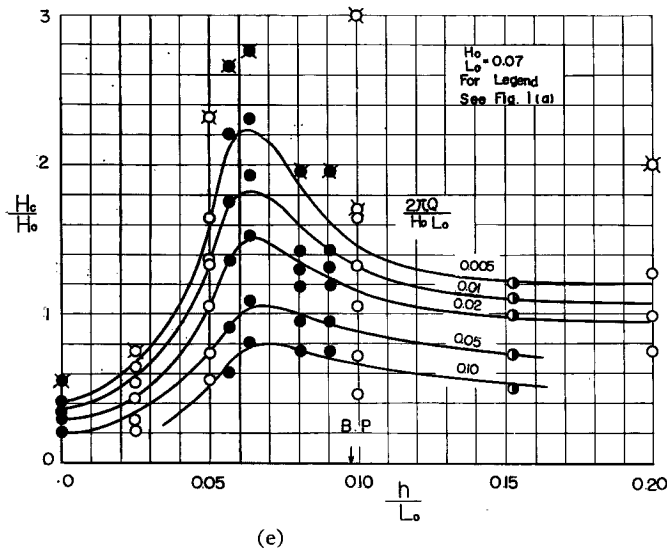


Fig. 1 Relation between H_c/H_0 and h/L_0 with a parameter of $2\pi Q/H_0 L_0$ (after Mitsui⁷⁾).

高さ、および海底からの全体の高さの風以外の五つの要素を取り上げ、これらが越波量に及ぼす効果を明確にする。**Fig. 1** (a), (b), (c), (d), (e) および (f) は、以下の考察に使用した基礎となる図であり、石原・岩垣の指導のもとに行なわれた三井の研究結果⁷⁾ にもとづいている。なお、ここで用いる記号を一括して説明すると、 H_0 および L_0 はそれぞれ沖波波高および沖波波長、 h は堤防の法先水深、 H_c は堤防の静水面からの高さ、 Q は 1 周期単位幅当りの越波量、 $H_0 L_0 / 2\pi$ は沖波 1 周期、単位幅当りの岸側に輸送される水量である。

(1) 越波量に及ぼす波の特性の影響

(i) 沖波波高の影響： 沖波波高が越波量に大きな影響を及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みならず増大すると思えやすい。**Fig. 2** (a), (b) および (c) は $H_0/L_0 = 0.03, 0.06$ 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、横軸に沖波の波形こう配をとり、法先水深・波長比をパラメーターとして **Fig. 1** をプロットしなおし、越波量に及

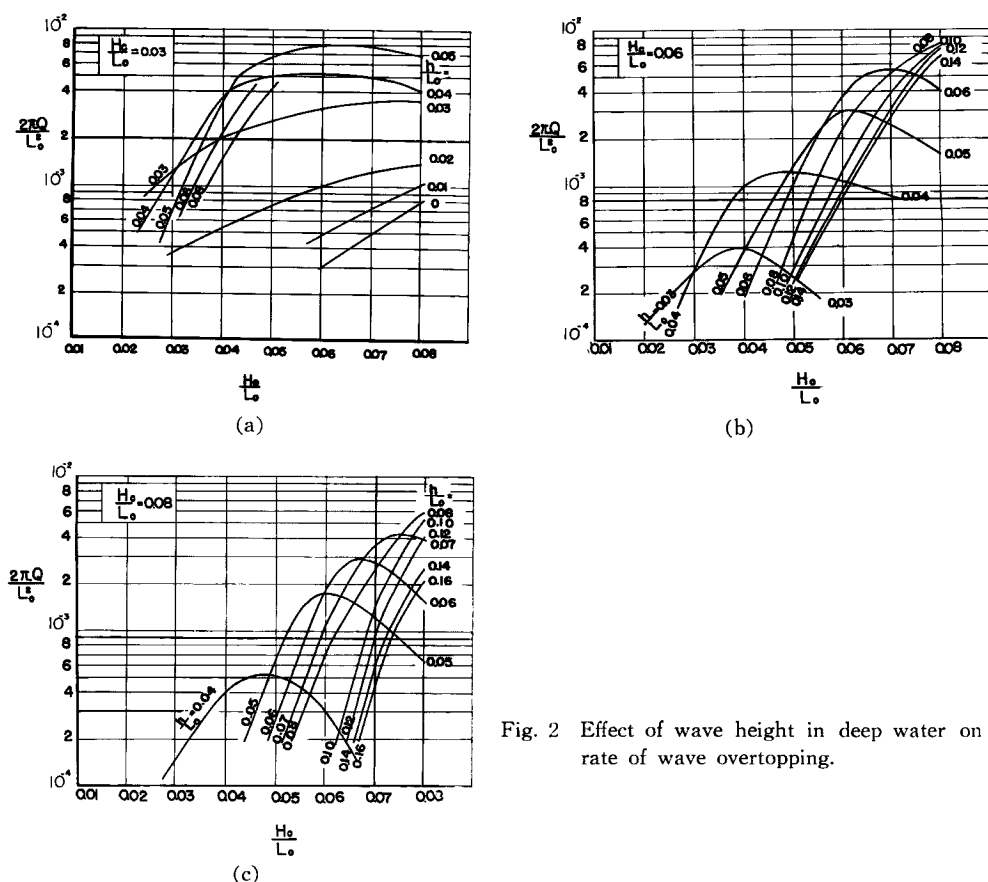


Fig. 2 Effect of wave height in deep water on rate of wave overtopping.

ばす波高の効果を示したものである。これらの図からわかるように、波高の効果については二つの異なった傾向がある。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、いま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法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がわかる。

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こう配 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 の比が 1.1~1.5 程度になっている。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で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合わせ考え、計画波高の決定にあたらなければならないことを示している。

(ii) 周期(波長)の影響： 従来、波の周期が越波量に及ぼす影響を調べたものはないようである。**Fig. 3** (a) および (b) は、縦軸に波高のみを用いてあらわした越波量の無次元量、横軸に沖波の波形こう配をとり、法先水深・波高比をパラメーターとして、周期あるいは波長の影響を示したものである。これらの図によると、堤防の高さに関係なく、来襲波の周期が短くなる、すなわち波長が短くなると越波量は変動しながら減少することがわかる。そしてこの傾向は法先水深が浅いほど顕著である。

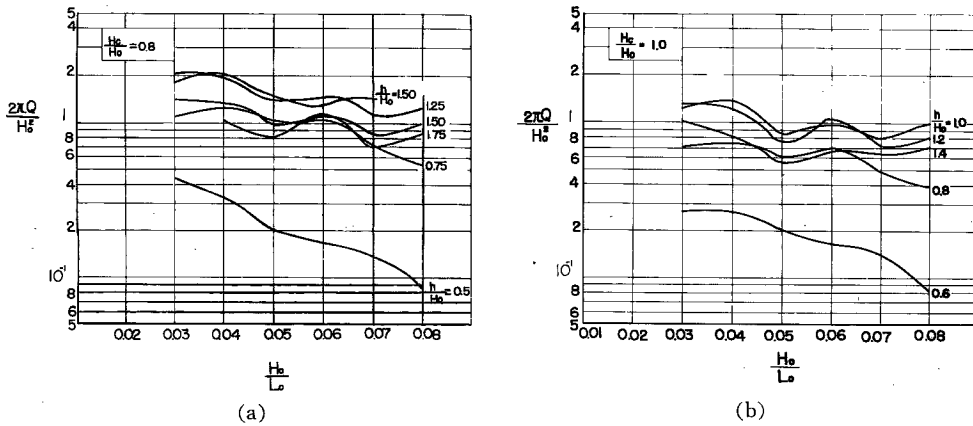


Fig. 3 Effect of wave period or wave length in deep water on rate of wave overtopping.

(2) 越波量に及ぼす法先水深の影響

一般に常識的には、波高と同様に法先水深が大きいほど越波量が多いと考えがちである。しかし、かならずしもそうではない。ここでは、静水面からの堤防の高さ H_0 は常に一定として、堤防の法先水深だけが変化した場合に越波量がどのように変わるかを検討する。Fig. 4 (a), (b) および (c) は縦軸に越波量の無次

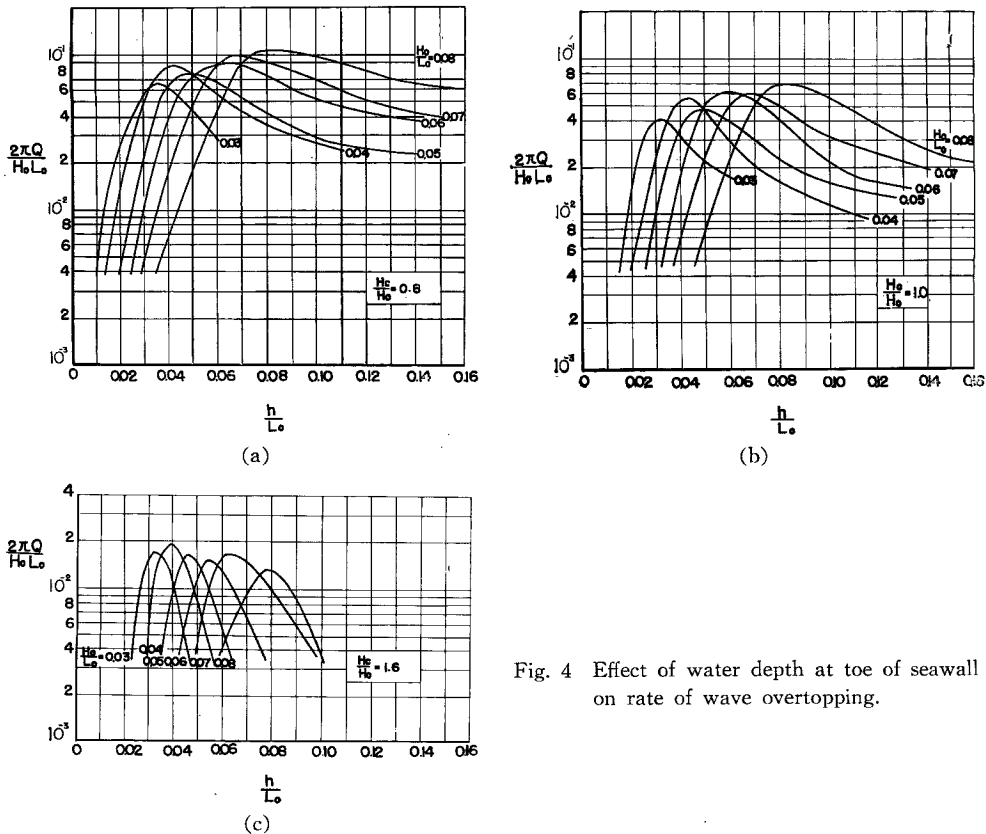


Fig. 4 Effect of water depth at toe of seawall on rate of wave overtopping.

元量、横軸に法先水深の無次元量を取り、波形こう配をパラメーターとして、水深の影響を示したものである。これによると、いずれの波形こう配の場合でも、ある水深で越波量が最大となり、それ以上水深が大きくなると、越波量が減少することがわかる。これは前節ですでに述べたように、堤防前面より少し沖測で碎けるような波の場合に越波量が最大となるという事実起因しており、換言すれば碎波点より少し岸側の位置に堤防を設置したとき越波量が最大となることを示している。このように波の特性ごとに波高によっては深いところに堤防を設置した方が越波量が少ない場合がおこり得る。以上、堤防の法先水深が越波量に及ぼす影響について述べたが、波高の場合と同じように水深についても、堤防設置位置中の最も深い法先水深を対象として設計したから、どんな波に対しても、その堤防が越波に対して安全である、と簡単に考えることは誤りであって、海岸堤防や護岸の設計に際しては、波の特性と法先水深とを切り離して考えることはできない。

(3) 越波量に及ぼす堤防の高さの影響

ここでは堤防の静水面からの高さの影響と、海底からの堤防高の両方について考察をすすめる。**Fig. 5** (a) および (b) は沖波の波形こう配を一定として、縦軸に越波量の無次元量、横軸に相対堤防高 H_a/H_0 をとり、法先水深・波長比をパラメーターとして、静水面からの堤防の高さの影響を示したものである。堤防の高さをあげると当然越波量が減少するが、法先水深が浅く、波が堤防前面よりずっと沖の方ですでに碎け、エネルギーを消費しながら進行して堤防にあたるような場合、また逆に、法先水深が深く、堤防前面でほとんど碎けないうで重複波が発生するような場合には、堤防のかさ上げが越波量の減少に及ぼす効果は顕著である。しかし、堤防前面の少し沖側で碎けるような来襲波に対しては、**Fig. 5** (a) の $h/L_0=0.0378$ および (b) の $h/L_0=0.0436$ の場合のように、堤防かさ上げの効果は前の場合ほど顕著ではない。これは堤防前面の近くで碎波すると、飛沫を非常に高くまで打上げるためと考えられる。こうした傾向は波形こう配が実験範囲内の $0.03\sim 0.08$ では同じであり、堤防前面で激しい碎波現象がおこるような場合が予想されるときには、越波防止策として天端高をあげる方法はあまり効果的でないといえる。

Fig. 6 は **Fig. 5** と同じように、沖波の波形こう配を一定とし、縦軸に越波量の無次元量、横軸に法先水深・波長比をとり、海底からの堤防高 H_0+h を一定として、法先水深を変えた場合の越波量の変化を示したものである。海底からの堤防高が一定という条件で、堤防設置場所を沖測に移して行けば、当然越波量も

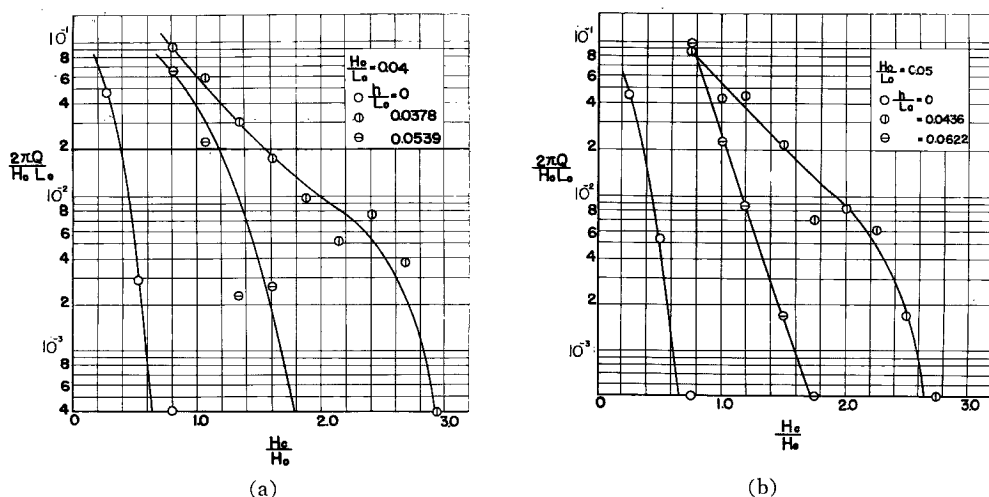


Fig. 5 Effect of crest height of seawall from still water level on rate of wave overtopping (after Mitsui⁷⁾).

増大するわけであるが、Fig. 6 にも見られるように、波形こう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 2.4~2.8) の場合には、法先水深の増大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ご利用すれば役立つもので、例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。

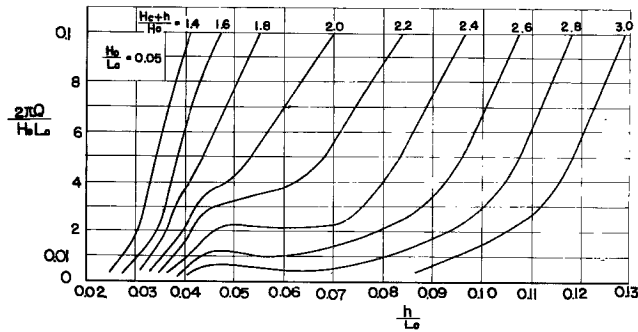


Fig. 6 Effect of height of seawall from sea-bottom on rate of wave overtopping.

3. 鉛直堤の越波量に及ぼす風の影響

海岸堤防の越波量が問題となるのは、ほとんどが台風時であって、越波量の推定に際して風の影響を見のがすことはできない。しかしながら、従来の越波に関する研究は、ほとんど風を考慮していないし、また風波を対象とした実験は二、三あるが³⁾⁴⁾⁵⁾、それらの研究でも越波量に及ぼす風だけの効果を分離して評価するまでにはいたっていない。こうしたことから、著者らは昭和35年度に本研究所に建設された高速風洞水槽を用い、海岸堤防の越波量に及ぼす風の効果について研究を行なっている。ここでは鉛直堤を対象とした場合について述べる。

(1) 実験設備および実験方法

鉛直堤の模型は高さ 60 cm の鋼板製で、これをこう配 1/15 の模型海浜上に設置した。来襲波の特性は、周期が 1.7 sec および 2.5 sec、無風時の沖波波高が 6~14 cm であって、各周期ごとに 3 種類の波高について、模型前面での風速が 0~20 m/sec の風を 5~6 段階にわけて吹かせ、越波量およびその分布を測定した。入射波の測定は、模型をすべてとり除き、越波量を測定したときと造波機および送風機の条件をまったく同じにして、堤防前面に相当した位置で行なったが⁸⁾、これについての考察はここでは省略する。

(2) 越波量に及ぼす風の影響

越波量の無次元表示として、1 周期単位幅当りの越波量 Q と沖波 1 周期単位幅当りの岸側に輸送される水量 $H_0 L_0 / 2\pi$ との比 $2\pi Q / H_0 L_0$ を用い、風波による越波現象について次元解析を行なうと次式のような形で表わされる。

$$\frac{2\pi Q}{H_0 L_0} = f_1 \left\{ \frac{H_0}{L_0}, \frac{H_c}{H_0}, \frac{h}{L_0}, \frac{V}{\sqrt{g H_0}}, \frac{V H_0}{\nu}, \frac{k}{H_0} \right\}$$

ここに、 V : 風速、 g : 重力の加速度、 ν : 動粘性係数、 k : 堤防壁面の粗度を表わす代表的な大きさである。さらに、上式において、いまの場合、堤防壁面の粗度は滑面であるから省略し、さらに風波の遡上に関する著者らの結果⁹⁾を参考にして、Reynolds 数の効果をも省略すれば、簡単に次式のように表わされる。

$$\frac{2\pi Q}{H_0 L_0} = f_2 \left\{ \frac{H_0}{L_0}, \frac{H_c}{H_0}, \frac{h}{L_0}, \frac{V}{\sqrt{g H_0}} \right\}$$

上式にもとづいて、風の越波量に及ぼす効果を検討するわけであるが、前述した実験方法によると、風速を大きくすると波高も大きくなり、風の越波量に及ぼす直接的な効果を見出すことはできない。そこで、ここではあらかじめ波高と風速、および風速と越波量との関係を求めておき、この二つの図から波の特性を一

定として風速が異なる場合の越波量を読みとり、風の効果を検討することにした。

Fig. 7 (a) および (b) は以上の操作によって実験結果を整理したものである。

Fig. 7 から明らかなように、鉛直堤の越波量に及ぼす風の影響は風速に関する Froude 数 $V/\sqrt{gH_0}$ によって表わされ、無次元越波量 $2\pi Q/H_0 L_0$ はこの Froude 数の増加とともに増大することが見出される。そして、その増加の傾向は h/L_0 の値によって相違し、例として載せた **Fig. 7** の場合には、あまり明確ではないが大体 $V/\sqrt{gH_0}$ のある値を境として $V/\sqrt{gH_0}$ が大きくなると急増し、ついで $2\pi Q/H_0 L_0$ の値は一定値に近づくか若干減少するような傾向を示しているように考えられる。この傾向は同一の h/L_0 に対しても、波形こう配あるいは相対堤高によって相違するようであるが、その詳細は明瞭ではない。ただ波形こう配が大きく、したがってこの場合、相対堤高が小さくなると、無次元越波量の値が急増する限界の Froude 数や一定値に近づく限界の値も小さくなるように考えられる。

このようにある風速のところで越波量がほぼ一定に近づくことは、与えられた風波に対して越波可能な水量が存在し、それ以上の水量は風速が大きくなっても越波しないためと考えられる。しかしながら、ここに示した例は波が堤防前面で砕けないような場合についてであって、無風時に堤防前面付近で砕けるような波に対する風の影響の仕方は、後述するように、ある風速のところで越波量が急激に増減し、最大の越波量を示すような変化をする。このように無風時に堤防前面付近で砕ける波と砕けない波とでは越波量におよぼす風の影響が非常に異なることは注目すべきことであり、今後は鉛直堤を対象として系統的な実験を行ない、こうした効果をさらに明確にしたい。

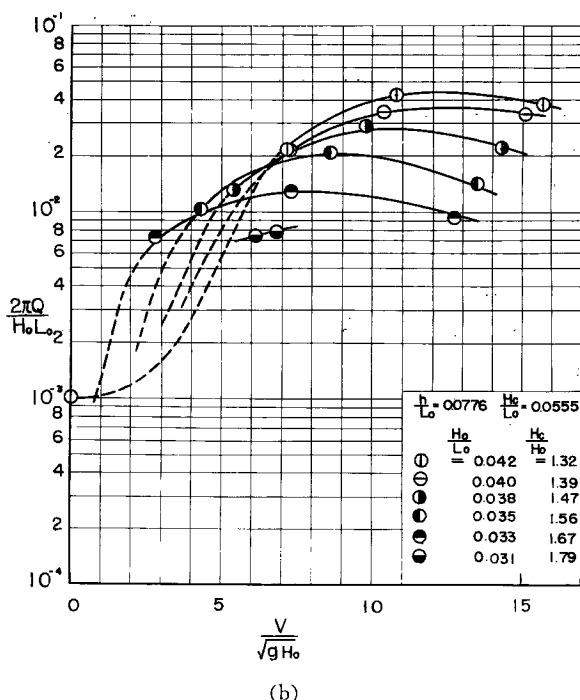
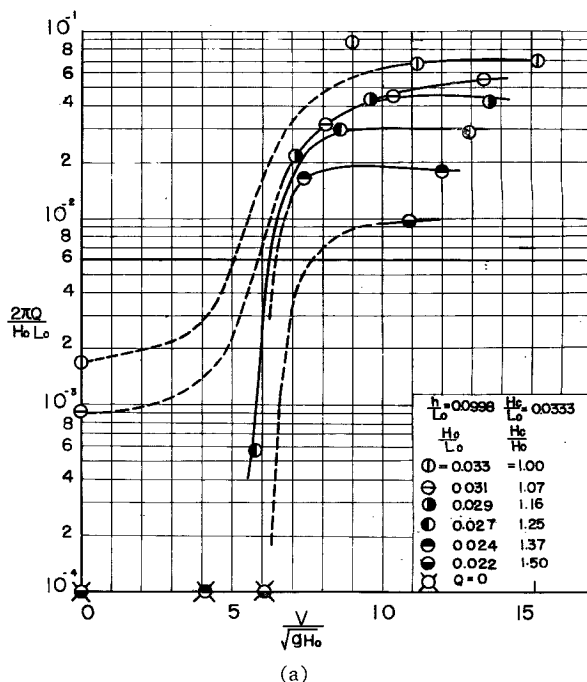


Fig. 7 Effect of wind on rate of wave overtopping for vertical seawalls.

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と静岡県由比海岸堤防の越波に関する模型実験による実例をあげ、前述した越波量に及ぼす諸要素の影響について述べる。なお、実験設備およびその方法については割愛する¹⁰⁾¹¹⁾。

(1) 堺港の埋立護岸の模型実験

Fig. 8 は堺港の埋立護岸の概略図であり、実験は Froude の 相似則に従い、模型縮尺1/15で行なった。計画波浪は沖波波高 2~3 m, 周期 6.5 sec, 計画潮位は O. P. +4.30 m, そのときの護岸の法先水深は 13.30 m であり、来襲波高に比べ、法先水深が非常に深い場合である。

Fig. 9 はこの場合の越波量に及ぼす波高の効果を示したものである。この場合 H_0/L_0 は 0.030 であるが、**Fig. 8** のように護岸前面に消波工があることなどから、これをそのまま鉛直堤の場合の H_0/L_0 の 0.030 の図に対応させるのは妥当でなく、鉛直堤では

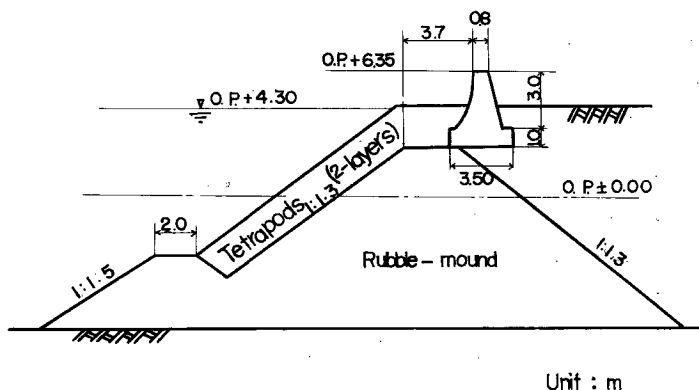


Fig. 8 Cross section of seawall at Sakai Harbor.

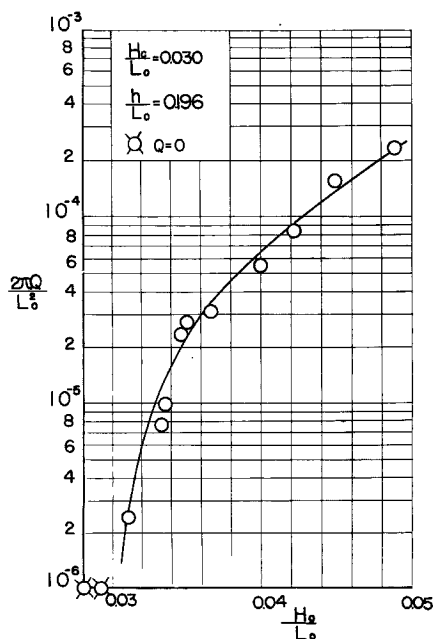


Fig. 9 Effect of wave height in deep water on rate of wave overtopping for seawall at Sakai Harbor.

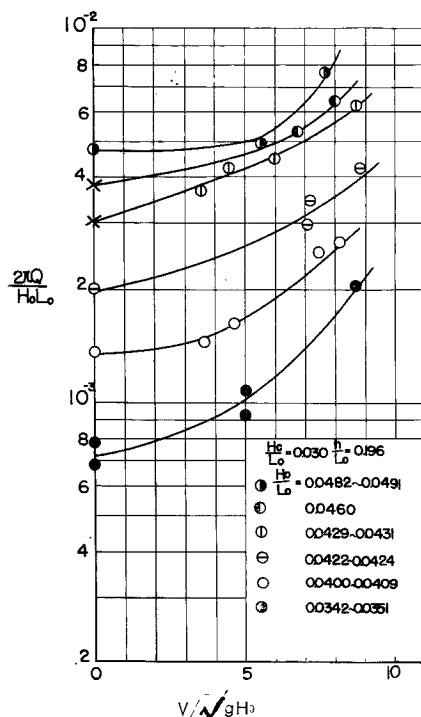


Fig. 10 Effect of wind on rate of wave overtopping for seawall at Sakai Harbor.

もっと大きい H_0/L_0 の値の場合に相当するものと思われる。すなわち、消波工をおいたことは、越波量を減少させるという点で、鉛直堤の場合に堤防高をさらにあげたことと同じ効果をもっていると考えられるからである。いまの場合、**Fig. 9** でわかるように波形こう配の範囲がせまく、かつ鉛直堤で h/L_0 が大きい場合の結果がないので、**Fig. 9** に対応する鉛直堤の場合の H_0/L_0 の適確な値を見つけ、消波工の効果を見出すことはできないが、 H_0/L_0 が 0.06~0.07 の場合にほぼ相当するのではないかと考えられる。**Fig. 9** の傾向は波高の増大とともに越波量も増加する場合であって、この傾向は **Fig. 2** においても見つけることができる。

Fig. 10 は越波量に及ぼす風の効果を示したもので、**Fig. 7** (a) および (b) に対応するものである。堤防断面の差異や消波工の存在のために、鉛直堤の場合の対応する H_0/L_0 の値の換算ができないし、また h/L_0 の値が鉛直堤の場合より大きいことから量的な検討を加えることはできない。

しかし、**Fig. 10** に示されている H_0/L_0 が 0.034~0.049 の範囲については、大体 $V/\sqrt{gH_0}$ が 5 付近までは風速の増加とともに越波量は徐々に増加するが、その後は急に増大している。この傾向は鉛直堤の場合とまったく同じであって、法先水深が深く堤防前面付近で砕けない波に風が作用した場合の越波量の変化の仕方を示しているわけである。

(2) 由比海岸堤防の模型実験

Fig. 11 は由比海岸堤防の初期の計画堤防概断面図であり、風の影響以外の諸要素の効果についてはこの断

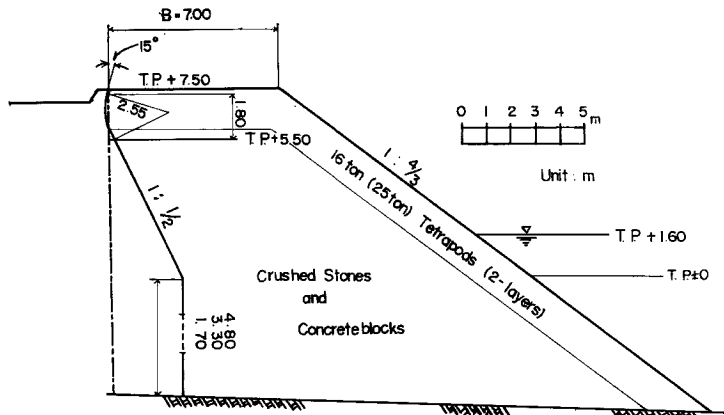


Fig. 11 Cross section of seawall at Yui Coast (1).

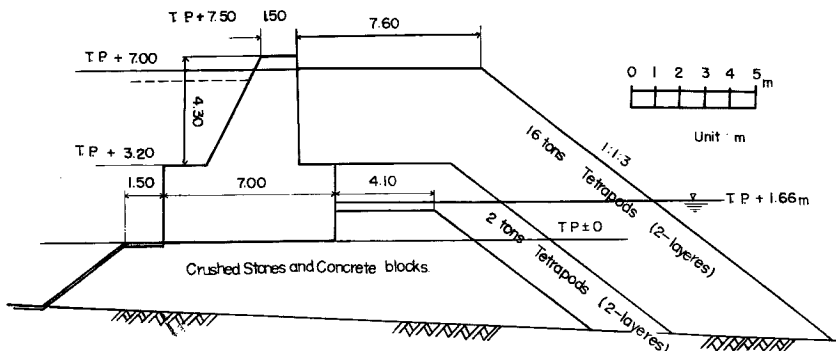


Fig. 12 Cross section of seawall at Yui Coast (2).

面を対象として調べた。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, そのときの堤防の法先水深としては, 6.4 m, 4.8 m, 3.3 m の 3 種類を選んだ。**Fig. 12** は風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 5.12 m, 周期 18 sec, 計画潮位は T.P.+1.60 m で, そのときの堤防の法先水深は 6.4 m とした。**Fig. 13** は波高の越波量に及ぼす影響について **Fig. 2** と同じように図示したものである。この場合も堺港の埋立護岸のときと同様, 鉛直堤の結果と直接対応させることはむずかしいが, **Fig. 2** の種々の H_0/L_0 の図から推察すると, H_0/L_0 が 0.06~0.07 の場合に相当しているように思われる。しかし, **Fig. 2** では波形こう配が 0.03 より小さい場合についての実験結果がなく, また堺港の埋立護岸の場合と同様, 断面が傾斜壁の傾向をもっているので越波量についての適確な議論を進めることはできない。由比海岸堤防の場合は, 堤防の法先水深にくらべて来襲波高が大きいことから, 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する。この傾向は, 鉛直堤の場合とまったく同じである。**Fig. 14** は **Fig. 5** と同じように, 堤防の天端高さの越波量に及ぼす効果を表わしたものである。これによると堤防前面ですでに砕けている波, すなわち H_0/L_0 の値が 0.0113 および 0.0172 の場合には堤防をかさ上げする効果は非常に大きい, **Fig. 13** で越波量が最大となる波形こう配 0.01 付近, およびそれより小さい波形こう配の波に対しては, その効果があまり顕著でないことがわかり, こうした海岸堤防の場合でも, 鉛直堤の場合とまったく同じ傾向を示している。さらに **Fig. 15** は **Fig. 7** と同じよう

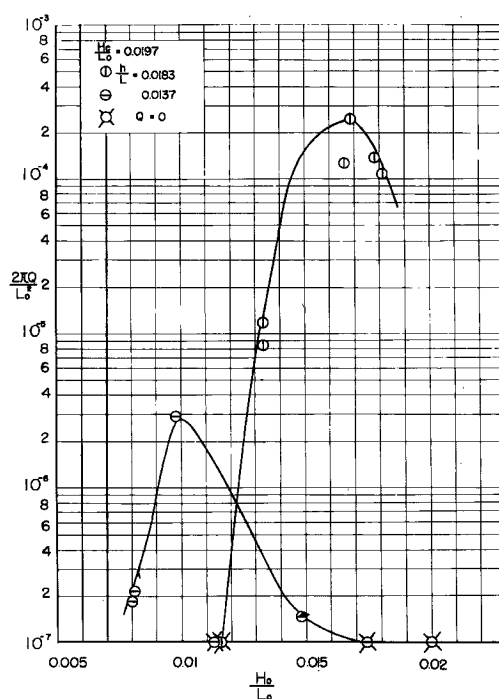


Fig. 13 Effect of wave height on rate of wave overtopping for seawall at Yui Coast.

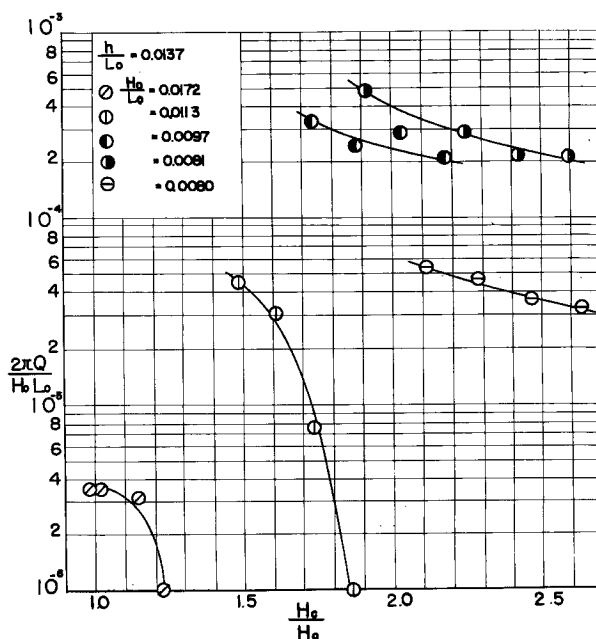


Fig. 14 Effect of wall height from still water level on rate of wave overtopping for seawall at Yui Coast.

に、波の特性を一定として、越波量に及ぼす風の影響を示したものである。これによると波が砕波してのち堤防に到達する場合と砕波しない場合とでは、風の影響の仕方が異なることがわかる。すなわち、 $H_0/L_0 = 0.012$ 程度の砕けていない波では、先の堺港の埋立護岸の場合のように、風速の増加とともに越波量もふえるが、 $H_0/L_0 = 0.014$ 程度以上の砕けた波はある風速のところで最大の越波量が現われるような変化の仕方を示す。このように波の特性で越波量に及ぼす風の影響が違ってくることは、とくに興味深いことである。

5. 結 語

以上、著者らは合理的に安全な海岸堤防を設計するには、越波量を適確に推定することが重要であることを述べ、鉛直堤についての実験結果を用いて越波量に及ぼす諸要素の影響を明らかにするとともに、そのうちの二、三については具体的に模型実験による実例をあげて説明した。この論文における主要な結果を要約すると、

(1) 一般に波高が大きくなると越波量も増大するが、波が堤防前面より沖の方で砕けるような大きな波のときには、沖波の波高が大きくなっても、かえって越波量は減少する。このことから、計画波高を決定するときには堤防設置位置での水深も合わせて考えなければならない。

(2) 波の周期が長いほど越波量も大きくなり、この傾向は法先水深が浅い場合に顕著である。

(3) どのような波の場合でも、法先水深を変化させるとある水深のところで越波量が最大となる。したがって、最高水位を考えたからといって、その堤防がどんな波に対しても安全であるとはいえず、海岸堤防の設計に際して波の特性と水深の両者を切り離して考えることはできない。

(4) 越波量を減少させるために天端高をあげる方法は、堤防前面より沖の方で砕波するような波や砕波しないで堤防まで進行するような波に対しては有効であるが、堤防前面付近で砕けるような波を考えなければならない場合にはあまりその効果を期待することはできない。

(5) 越波量に及ぼす風の影響は、堤防に到達するまでに砕けない波と、すでに砕けた波が堤防に衝突する場合とでは非常に異なる。前者の場合には、風速の増加とともに越波量も増加し、やがては一定値に近づく傾向をもつが、後者の場合にある風速のところで最大の越波量を示すような変化の仕方を示す。

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学部学生大堀晃一君に感謝の意を表するとともに、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付記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・川上善久：日本沿岸の海岸保全のための自然条件と海岸堤防の天端高算定について、第9回海岸工学講演会講演集，昭37.10，pp. 138～142。
- 2) Saville, Thorndike, Jr.: Laboratory Data on Wave Run-up and Overtopping on Shore Struc-

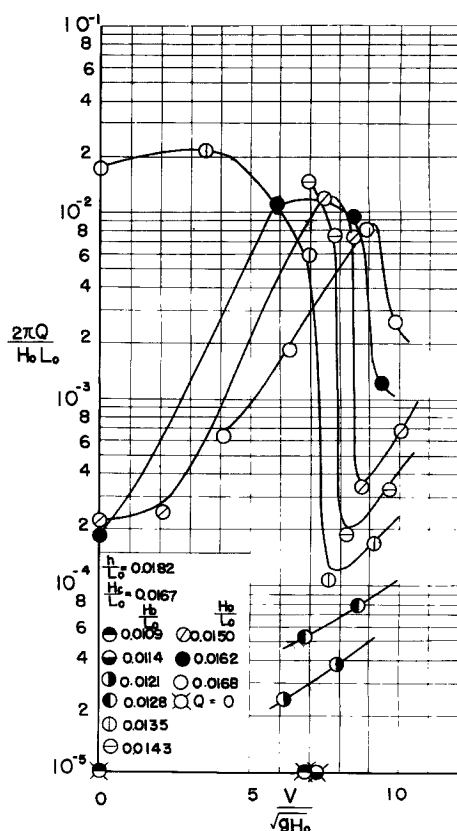


Fig. 15 Effect of wind on rate of wave overtopping for seawall at Yui Coast.

- tures, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 64, 1955, pp. 1~32.
- 3) 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, Beach Erosion Board, Tech. Memo. No. 80, 1956, pp. 1~27.
 - 4) 永井莊七郎・上田伸三：風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究，第7回海岸工学講演会講演集，昭35.11，pp. 245~273.
 - 5) Paape, A.: Experimental Data 'on the Overtopping of Seawalls by Waves, Proc. 7th Conf. on Coastal Engineering, 1961, Vol. 2, pp. 674~681.
 - 6) 石原藤次郎・岩垣雄一・三井宏：海岸堤防の越し波防止効果について，第4回海岸工学講演会講演集，昭32.11，pp. 99~109.
 - 7) 三井宏：海岸堤防の越し波防止効果に関する研究，京都大学工学研究科修士論文，昭32.3.
 - 8) 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，第9回海岸工学講演会講演集，昭37.10，pp. 153~158.
 - 9) 岩垣雄一・土屋義人・井上雅夫・亀井敏雄：波の遡上に及ぼす風の影響について，昭和36年度土木学会関西支部年次講演会講演概要，昭36.11，pp. 144~146.
 - 10) 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，昭和38年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要，昭38.11，pp. 67~68.
 - 11) 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，昭38.10，pp. 132~137.