

風と波を考慮した海岸堤防の形状と構造に関する研究

大阪市立大学工学部教授 工学博士 永井 莊七郎
同 助手 上田 伸三

1. 緒 言

種々な水深にある海岸堤防法面における波のはいり高さ、反射波頂の高さ、越波の状況などについては建設省土木研究所、京都大学防災研究所、農林省九州農業試験場において優れた研究がなされ^{1) 2) 3)}、その結果は第1回(昭和29年、1954年)、第2回、第4回および第5回の海岸工学講演会において発表された。

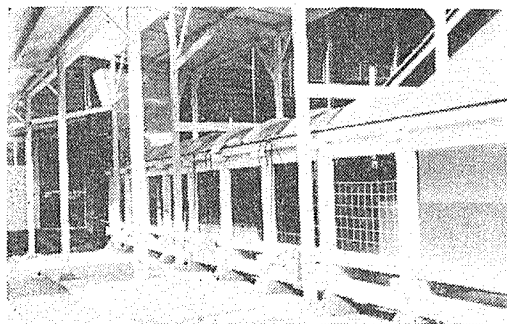
またアメリカ合衆国においても Beach Erosion Board などでも研究され⁴⁾、proc. of ASCE (1956年、1958年)に発表された。これらの研究結果は要約して水理公式集および海岸保全施設設計便覧(ともに昭和32年度版)に記載されている。しかしこれらの資料はすべて無風状態における実験によつて纏められたものであつて、実際の海岸におけるごとく強風と波浪とを同時に受ける海岸堤防の実験としては、重要な外力を除いた実験といわざるをえず、その結果をただちに実際に適用するにはなお疑問があつた。

それ故、当研究室においては伊勢湾台風の後、風洞つき波浪水槽を造り、強い風と波とを同時に起し、これを種々の条件のもとに海岸堤防に衝突させて、堤防法面における波のはいり高さ、しぶきの越す状況、越波の状況などを調べた。その結果、無風状態において求められた従来の実験結果とあまり変わらないものもあつたが、越波などのごとく風の影響を強く受ける現象においては非常に違つた結果を得た。このことについては理論的にも説明出来る。風洞実験は風、波、構造物とも実物の1/20の縮尺で、Froudeの相似律を用いて行つた。実験水槽の現象が完全に暴風時の現地の現象を再現しているとはいえないが、従来の無風状態で行われた実験より遙かに実際に近いといつてよいであろう。その1例として須磨一塩屋間の海岸堤防における暴風時の碎波状況、波のはいりおよび越波の状況について、実験と台風時の模様をそれぞれ16mm高速度映画と8mm映画に撮影したが、両者は非常によく類似していた(これらの映画の1部は講演のとき、示す積りである)。

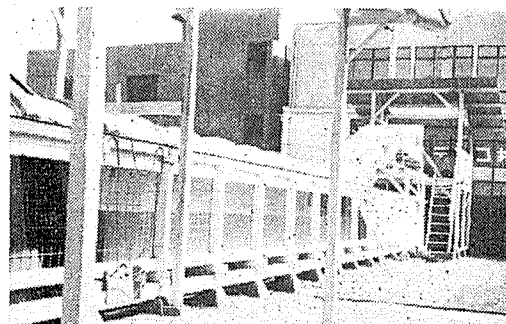
2. 実験設備および実験方法

巾1.0m、長さ23.2m、高さ1.0mの片面ガラス張り水槽の1端に周期1.0~2.5sec、最大波高25cmまでの波を越しうる造波装置を取付け、他端に海岸堤防の模型(実物のほぼ1/20)を設置した。水槽の上部は厚さ2.8mmのduralumin板の円弧で覆い、造波装置の上部にある送風機(15HPモーター)から最大ほぼ15m/sec(実物換算は67m/sec)の風を水面に平行に送るようにした。

図-1(a) 風洞付波浪水槽



(b) 風洞付波浪水槽



海岸堤防の模型およびその前面の海底はすべて木の板で造り、表面にペンキを塗つた。堤防表法の勾配は鉛直、1:0.4、1:0.6、1:1、1:2、1:3に変え、堤防法先より沖へ4.0mの区間の海底勾配は常に $\frac{1}{40}$ とした。堤防法先における水深 $h_1=0, 5, 10$ cm(水平底部における水深 $h_0=55, 60, 65$ cm)の場合に、周期 $T=1.2, 1.4$ および1.9sec(現地換算 $T_p=5.4\sim6.3$ および8.5sec)、波高 $H=6\sim16$ cm(現地換算 $H_p=1.2\sim3.2$ m)、

$H/L=0.015\sim0.080$ の波を起し、同時に風速 $V=0, 2.2, 4.5$ および 6.7 m/sec (現地換算 $V_p=0, 10, 20$ および 30 m/sec) の風を起して海岸堤防に衝突させた。波高は法先から沖へ 2.1 m と 5.5 m の地点で電気式波高計を用いて測定し、 5.5 m 地点の波高を堤防前面における砕波前の進入波の波高として H で表わし、これに対する深海波の波高を計算して H_0 で表わした。風速は予備実験において、波浪上部の鉛直分布および方向を堤防前面の $2\sim3$ 断面で測定したところ、堤防から 2 m 以上沖測では場所による変化はほとんどなく、また鉛直方向においても、波の山から 5 cm 以上離れると、ほぼ一様であつて、風向も静水面にほぼ平行であつたので、本実験においては堤防法先から沖へ 4.5 m の断面の中央で、法先の高さから 26 cm 上方の点にピトー管 (内径 6 mm) を固定し、その風速をもつて堤防沖合の風速とした (図-2 参照)。

図-2 実験水槽の縦断面図

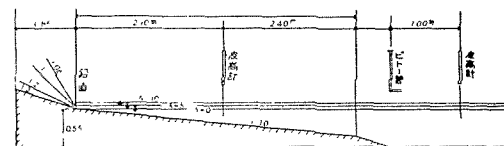
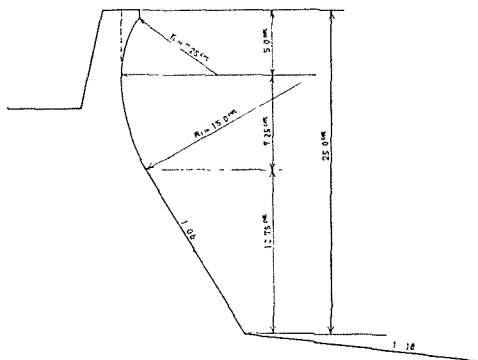


図-3 波返しの効果に関する実験に用いた海岸堤防の断面図



以上のような方法で、堤防法面における波のはいり高さ、越波状況、堤防前面における砕波状況および進入波と後退波との衝突の状況、堤防からの反射率などを測定した。また砕波後の水分子の進行速度、後退波の後退速度、法面上のはいり速度などは 1 秒 100 駒の 16 mm 高速度映画によつて測定した。法面におけるはいり高さの実験においては、堤防天端には直立壁あるいは曲線形の波返しは設けなかつた。

風および波を同時に起した場合における堤防天端の曲線形波返しの効果に関する実験は、図-3に示すごとき形状の表法勾配 $1:0.6$ の海岸堤防において、波返し部を半径 $r=7.25$ および 15.0 cm の 2 円弧をつないだ曲線にした場合、ならびに胸壁を直立壁とした場合について、風速 $V=0, 1.1, 2.2, 4.5$ および 6.7 m/sec ($V_p=0, 5, 10, 20$ および 30 m/sec) に変化して越波の状況を調べた。

3 実験結果

この実験は大別すると、Ⅰ. 堤防表法面における波のはいりおよび越波に関する実験、Ⅱ. 波返しの効果に関

する実験、Ⅲ. 堤防前面における消波効果に関する実験の3つである。

Ⅰ. 堤防表法面における波のはいりおよび越波に関する実験

図-2に示すごとく $1/60$ の斜面上に表法の勾配が鉛直、 $1:0.6, 1:1, 1:2$ および $1:3$ ($1:0.4$ も 1 部) なる海岸堤防の模型 (実物のほぼ $1/20$ の大きさ、頂部に波返しあるいは鉛直の胸壁部を設けず) を造り、法先における水深 $h_1=0, 5$ および 10 cm (水平底部の水深 $h_0=55, 60$ および 65 cm) の場合に、周期 $T=1.2, 1.4$ および 1.9 sec の波を起し、また風速を $V_m=0, 2.2, 4.4$ および 6.7 m/sec (現地における風速 $V_p=0, 10, 20$ および 30 m/sec) に変化して、各々の場合の法面における波のはいり高さ、しぶきの高さ、越波の状況を測定した。これらの結果を纏めると表-1, 2, 3, 4 および 5 の a, b, c のごとくである。各表の a は $h_1=0$, b は $h_1=5$ cm, c は $h_1=10$ cm の場合である。表-2の b に相当するものは表-9である。表の中で、 R_u は法面における静水面上の波のはいり高さ (鉛直の高さ)、 R_u/H は波高に対する相対的はいり高さ、 S_p は多量のしぶきが法面に沿うて飛び上つた高さ、 S_p/H は波高に対する相対的飛び上り高さを示す。衝突点 x_0 は堤防からの後退波と沖からの進行波とが衝突した点の堤防法先からの水平距離、砕波点 x_b は堤防法先から砕波点までの水平距離を表わす。

表-1~5の中で風速が零である場合における R_u/H_0 の値を従来発表された主な実験値と比較したところ、B. E. B. (U. S. A.) の結果とは良く一致し、土研の結果は比較できる資料はわずかであるが、大体において近い。しかし京大防災研の結果とは大部違つている。この実験に用いた水槽および波の規模は B. E. B. のものをほぼ同じであるから、両者の実験結果が良く一致するのは当然であり、土研の実験は海底勾配が $1/17$ であるので (堤防法勾配は $1:2$ の場合だけ比較)、実験値が多少違うのも当然であろう。京大の実験は、実験方法は変らないように思われるが、水槽および波の規模とも可なり小さいので、著者および B. E. B. の結果と相当違つた値が出たのではないかと考えられる。

風速 $V=0$ の場合における R_u/H の堤防表法勾配による変化を H/L および h_1/H を parameter にして示す

と図-4のごとくである。法面における波のはいり高さ R_u の値は、堤防前面における水深 h_1 によつて著しく変化することはよく知られたとおりであるが、 R_u/H (あるいは R_u/H_0 の値) は h_1/L (あるいは h_1/L_0) よりも h_1/H (あるいは h_1/H_0) によつて変化すると考えるのが妥当であると考えられるので、上記の実験値は h_1/H によつて分類した。

鉛直壁においては、 $H/L \approx 0.030$ くらいの緩やかな波では $h_1/H \geq 0.50$ になると波は壁に衝突して後、大部分の水が壁に沿うてはい上らず、壁から僅かに離れて飛び上り、跳波の現象を示すようになる (図-5 参照)。

このような場合には R_u を測ることは困難であるから、多量の跳波が飛び上る高さを測定し、その値を S_p で表わした。図-4によると R_u/H は堤防表法勾配が 1:1 の場合が最も大きく、1:0.6 の場合は鉛直の場合より小さくて最小である。1:0.4 の場合についても 1 部実験を行つたが、1:0.6 の場合とほぼ同じで、鉛直壁の場合より小さい。B. E. B. では 1:1 ~ 1:0.4 の実験は行っていないので 1:1 $\frac{1}{2}$ 勾配の場合が最大で、鉛直壁は 1:4 より急な勾配においては最も小さいと記しているが、著者が無風および風速 $V = 2.2 \sim 6.7 \text{ m/sec}$ ($V_p = 10 \sim 30 \text{ m/sec}$) の場合について多数の実験で確かめたところでは、1:0.6 ~ 1:0.4 の場合は鉛直壁より小さいかあるいはほぼ同じであつた。

風速 $V_m = 2.2 \text{ m/sec}$ ($V_p = 10 \text{ m/sec}$), 4.5 m/sec (20 m/sec) および 6.7 m/sec (30 m/sec) における R_u/H と法勾配との関係を示すと図-6, 7 および 8 のごとくである。

図-6 ~ 8 を図-4 と比較すると、 $V_p = 10 \text{ m/sec}$ のときは $V_p = 0$ のときとあまり変わらないが、 $V_p = 20$ および 30 m/sec になると、 R_u/H の値は全般的に $V_p = 0 \sim 10 \text{ m/sec}$ の場合よりやや減少する。その理由は表-1 ~ 5 に記した碎波状況より明らかなように、波の山が風圧に押されて無風のときより早く (すなわち沖側で)

図-4 相対的はいり高さ R_u/H と堤防表法勾配との関係 ($V=0$)

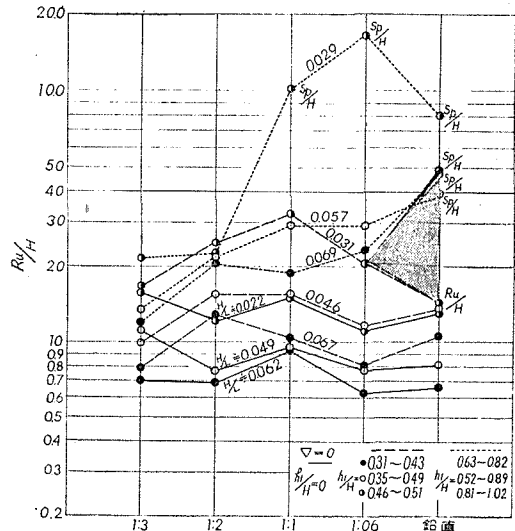


図-5 鉛直壁における跳波現象

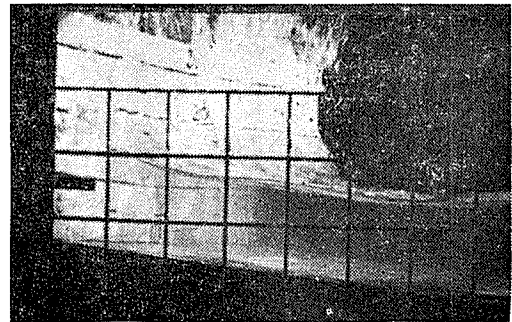


図-7 相対的はいり高さ R_u/H と堤防表法勾配との関係 ($V_p = 20 \text{ m/sec}$)

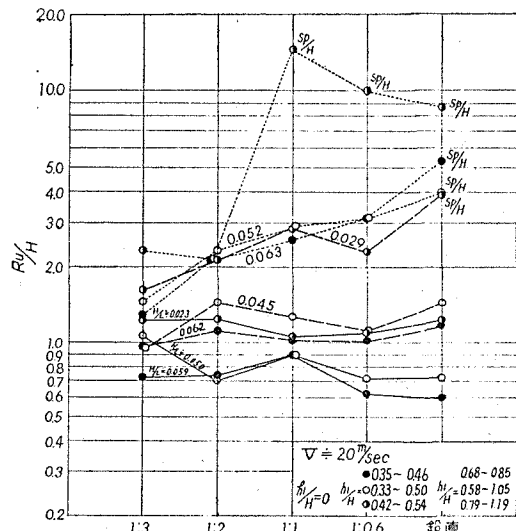


図-6 相対的はいり高さ R_u/H と堤防表法勾配との関係 ($V_p = 10 \text{ m/sec}$)

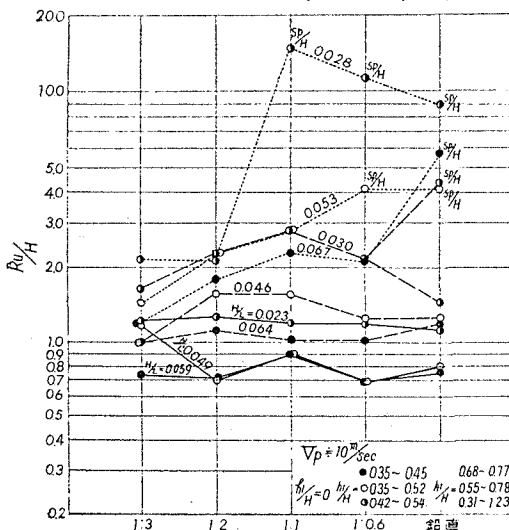
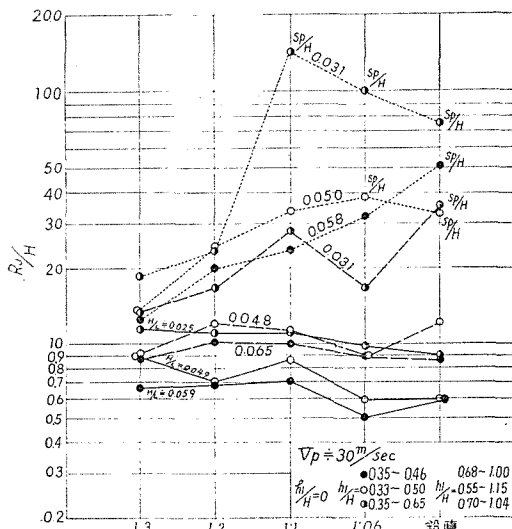


図-8 相対的はいり高さ R_u/H と堤防
法勾配との関係 ($V_p=30$ m/sec)



崩れるために、堤防に達したときの波のエネルギーが減少するからである。このように風が強い場合でも $1:0.6$ の勾配の場合が一般に R_u/H の値が最も小さい。

しかし法勾配が $1:2$ より急な場合には風速 $V_p > 10$ m/sec になると、堤防からの後退波のエネルギーが強くなるので、これが堤防法先から $x_0=45\sim 120$ cm ($x_0/L=0.20\sim 0.30$) の附近で進行波と強く衝突し、その跳波が風によつて堤防へ吹き付けられるので、堤防天端からの越波については、衝突点からの跳波の飛び込みをも考慮しなければならない。図-9 の a, b, c は法勾配 $1:1$ 、波の $T=1.4$ sec, $h_1=10$ cm で、 $V_p=10, 20, 30$ m/sec の場合における後退波と進行波の衝突点における跳波の状況を示す。 $V_p=20, 30$ m/sec になると跳波は風圧によつて堤防へ強く吹きつけられる。

図-10 の a, b, c, d は鉛直壁で、 $h_1=10$ cm, $T=1.9$ sec, $V_p=0, 10, 20, 30$ m/sec の場合における衝突点の跳波状況を示す。 $V_p=0$ のときは、跳波はほとんどなく、波頂の1部はむしろ沖側へ崩れる傾向があるが、 $V_p=10, 20, 30$ m/sec になると、跳波は次第に大

図-10(a) 堤防法勾配鉛直, $h_1=10$ cm, $T=1.9$ sec, $V_p=0$ m/sec, $H=11$ cm, $H_s=40$

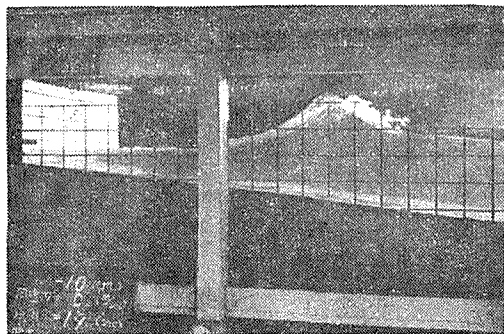
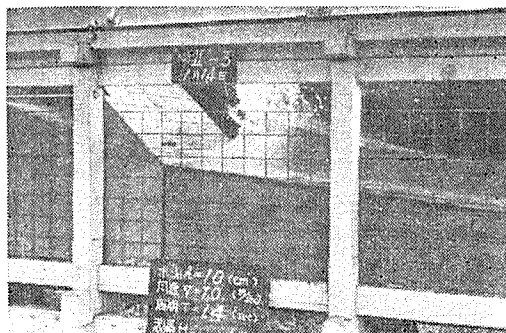
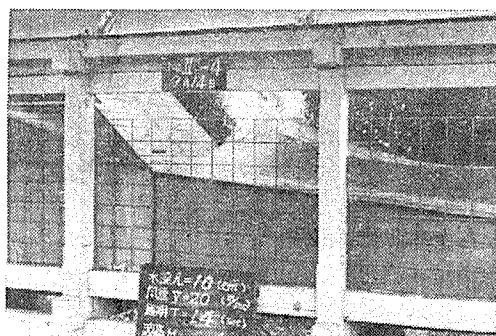


図-9(a) 堤防法勾配 $1:1$, $h_1=10$ cm, $T=1.4$ sec, $V_p=10$ m/sec, $H=10$ cm, 跳波の高さ 静水面上 $H_s=40$ cm



(b) 堤防法勾配 $1:1$, $h_1=10$ cm, $T=1.4$ sec, $V_p=20$ m/sec, $H=10$ cm, $H_s=45$ cm



(c) 堤防法勾配 $1:1$, $h_1=10$ cm, $T=1.4$ sec, $V_p=30$ m/sec, $H=9$ cm, $H_s=40$ cm

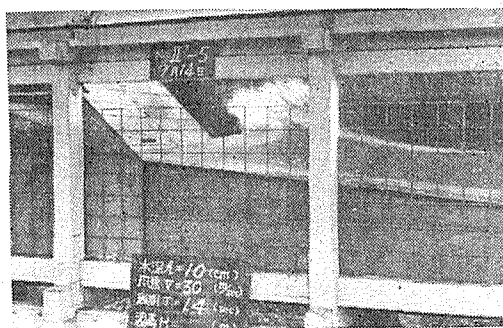
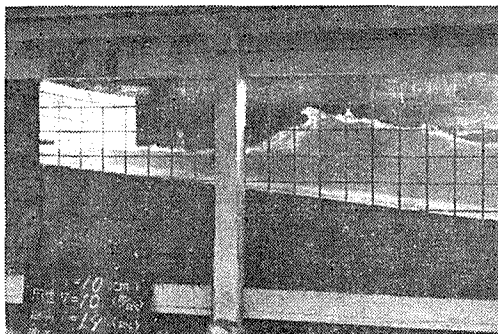
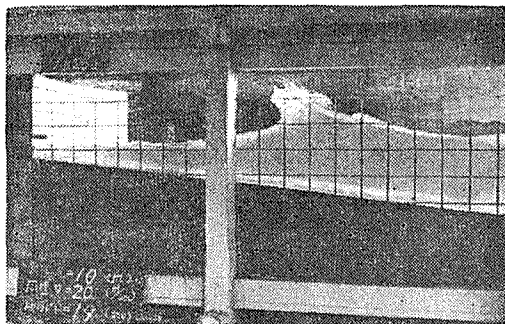


図-10(b) 堤防法勾配鉛直, $h_1=10$ cm, $T=1.9$ sec, $V_p=10$ m/sec, $H=9$ cm, $H_s=13$ cm



きくなり、 $V_p=20$ および 30 m/sec では堤防へ強く吹きつけられる。

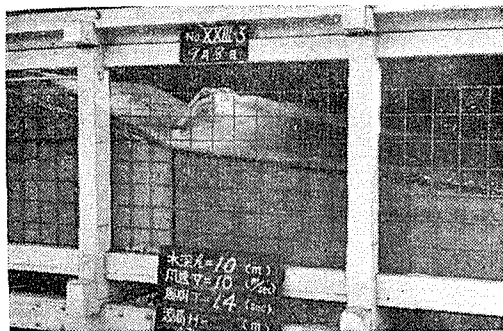
図-10(c) 堤防法勾配鉛直, $h_1=10 \text{ cm}$, $T=1.9 \text{ sec}$, $V_p=20 \text{ m/sec}$, $H=9 \text{ cm}$, $H_s=25 \text{ cm}$



(d) 堤防法勾配鉛直, $h_1=10 \text{ cm}$, $T=1.9 \text{ sec}$, $V_p=30 \text{ m/sec}$, $H=10 \text{ cm}$, $H_s=25 \text{ cm}$



図-11(a) 堤防法勾配 1:2, $h_1=10 \text{ cm}$, $T=1.4 \text{ sec}$, $V_p=10 \text{ m/sec}$, $H=12 \text{ cm}$



(b) $V_p=20 \text{ m/sec}$, $H=11 \text{ cm}$



(c) $V_p=30 \text{ m/sec}$, $H=11 \text{ cm}$



堤防法勾配が 1:2 およびそれより緩やかになると、後退波と進行波との衝突は非常に弱くなり、波は法先より $x_b=0\sim 15 \text{ cm}$ ($x_b/L=0\sim 0.06$) の附近で砕けて、法面をはい上る。図-11 の a, b, c は法勾配 1:2 で、 $h_1=10 \text{ cm}$, $T=1.4 \text{ sec}$, $V_p=10, 20$ および 30 m/sec の場合における堤防法先附近の砕波状況を示す。

次に R_w/H と H/L との関係を $V_p=0, 10, 20$ および 30 m/sec の場合について求めると 図-12, 13, 14 および 15 のごとくである。

図-12~15 によると、無風のときも強風のときも、 R_w/H の値は H/L が小さい波ほど大きくなっている。このことは無風時についての従来の実験においてすでに証明されたことであるが、強い風が吹いたときでもこの傾向は変わりなく、風速の大小に関係なく、 $H/L=0.020\sim 0.070$ ($H_0/L_0=0.015\sim 0.070$) の範囲の波においては、両者の間には近似的に次式の関係が成り立つことが明らかになった。その理由は H/L が小さい波は大きい波よりも砕波点 (x_b) の場所が堤防に近いために、堤防に達した波のエネルギーが大きいからであると考えられる (表-1~5 の x_b の値参照)。

$$\frac{R_w}{H} \propto \left(\frac{H}{L}\right)^{-1/2}$$

あるいは

$$\frac{R_w}{H_0} \propto \left(\frac{H_0}{L_0}\right)^{-1/2}$$

この関係は B. E. B. の実験においては、法勾配 1:1.5~1:6 および鉛直壁の場合にも近似的に成り立っている。

図-12~15 によると、 h_1/H が増すと R_w/H は急激に増大し、 $H/L < 0.040$ ($H_0/L_0 < 0.036$) の緩やかな波においては、法勾配が 1:2 より急な場合は、 $h_1/H \geq 0.50$ になると、はい上りよりも跳波が著しくなる。

堤防からの反射率

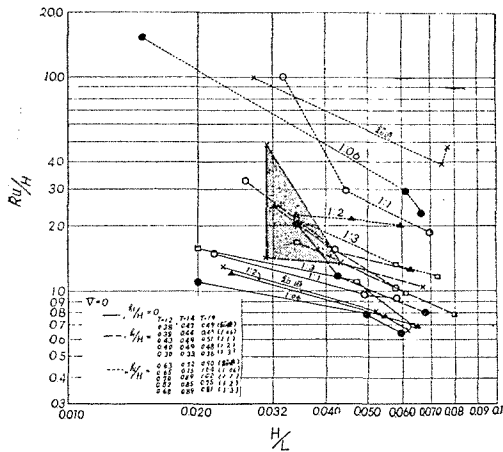
堤防への進行波の波高 H (堤防から 5.5 m 沖の点で Oscillograph で記録) に対して堤防からの反射波の波高 H_r (堤防から沖へ 3.0~3.5 m の点で目測) を測定し、反射率 $r=H_r/H$ を求めた結果は 表-1~5 の a, b, c に示すことである。この H_r は目測である上に、

測定が困難であるから、 r の値はごく大体の値にすぎず、他の実験値に比して精度はかなり低い。反射率 r と堤防前面の相対的水深 h_1/L_0 との関係を堤防法勾配によつて分類して図示すると図—16, 17, 18, 19 および 20 のごとくである。

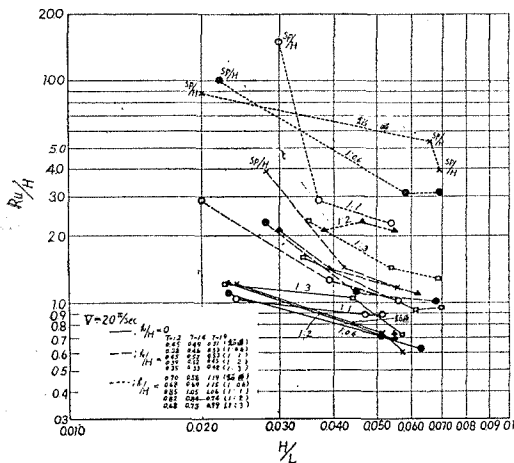
図—16~20 に京大防災研における実験値をも記入した。それらも目測による値であるから、当研究室における値とかなり違っている場合があるのは止むをえないと思われるが、大体の傾向は似ている。すなわち

(a) 堤防法勾配が 1:2 (水平に対する傾斜角 $\theta=30^\circ$) より急な場合には、反射率はあまり変化しない。鉛直壁

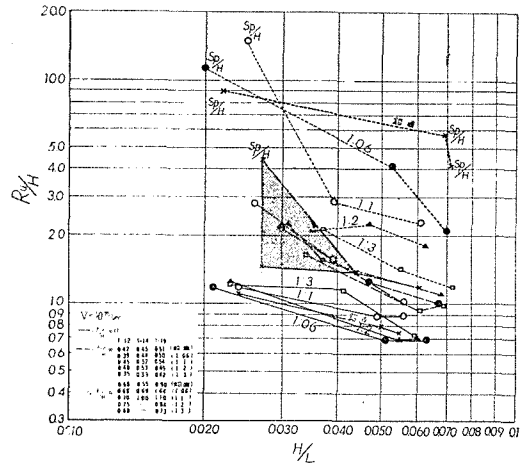
図—12 R_u/H と H/L との関係 ($V_p=0$)



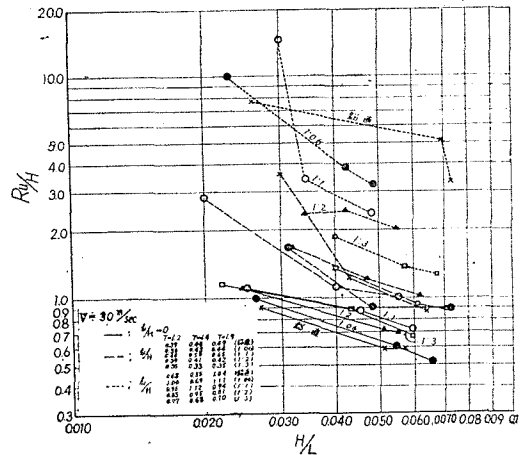
図—14 R_u/H と H/L との関係 ($V_p=20$ m/sec)



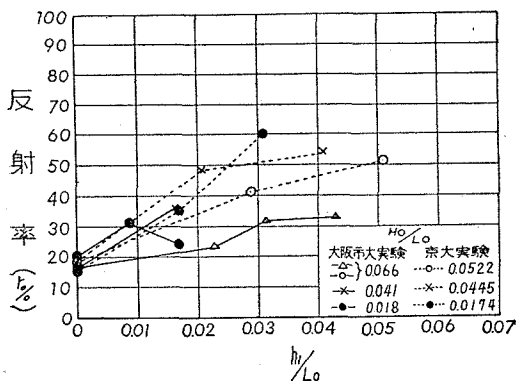
図—13 R_u/H と H/L との関係 ($V_p=10$ m/sec)



図—15 R_u/H と H/L との関係 ($V_p=30$ m/sec)



図—16 反射率と h_1/L_0 との関係, 堤防法勾配鉛直



図—17 反射率と h_1/L_0 との関係, 堤防法勾配 1:0.6

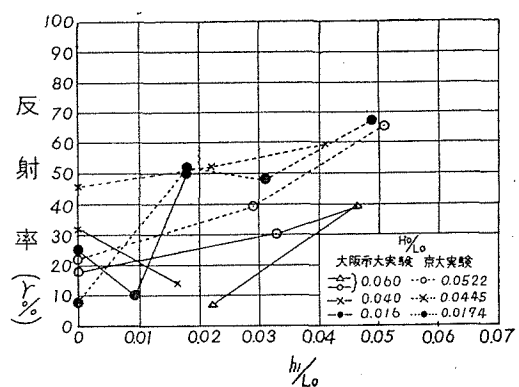
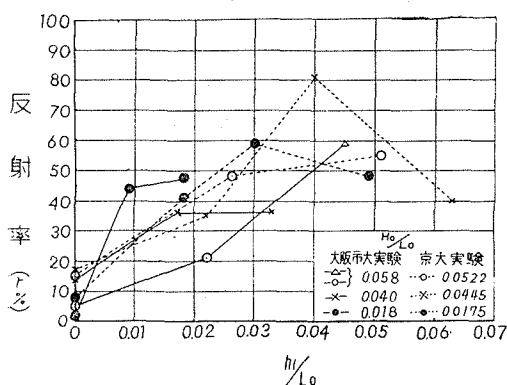


図-18 反射率と h_1/L_0 との関係, 堤防法勾配 1:1

が特に反射率が大いという傾向はない。

(b) 堤防法勾配が 1:3 ($\theta = 20^\circ$) になると反射率は急に減少する。

(c) 堤防前面の水深 h_1 が大きくなると, 反射率はそれに比例して増大するが, h_1 が碎波水深以上になると r は急に増大する。

(d) 風速による反射率の影響は必ずしも明瞭ではないが, $V_p = 10 \sim 30$ m/sec のときは反射率はいくらか減少するようである。

以上の (a), (b), (c) のことは Greslou および Mahe の実験⁹⁾によつても確められたことである。

II 波返しの効果に関する実験

(1) 理論的考察

いま図-21 のごとく曲線波返しの頂点 O を原点に, x 軸を水平に冲向きに, y 軸を鉛直上向きにとり, 質量 m なる水塊に働く風力 P , 重力の加速度を g で表すると運動方程式は次のようになる。

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -P \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = -mg \quad \dots\dots\dots (2)$$

水塊を半径 r なる球とすると, $m = \frac{4}{3} \pi r^3$, 風速を V で表わすと,

$$P = \zeta \cdot w_0 \cdot \pi r^2 \cdot \frac{V^2}{2g}$$

式中の w_0 = 水の単位体積の重量 $= \rho g$ であるから

$$P = \frac{1}{2} \cdot \zeta \cdot \rho \cdot \pi r^2 \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式を(1)式に代入すると,

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{3}{8} \cdot \frac{\zeta}{r} \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (4)$$

風速は波が堤防天端から飛び上り落下するまでの短い時間は一定であると考えてよいから, 時刻 $t=0$ において, $dx/dt = v_0 \cos \theta_0$ なる条件を入れると,

$$\frac{dx}{dt} = -\frac{3}{8} \cdot \frac{\zeta}{r} \cdot V^2 \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \cos \theta_0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$t=0$ においては $x=0$ であるから,

$$x = -\frac{3}{16} \cdot \frac{\zeta}{r} \cdot V^2 \cdot t^2 + v_0 \cdot t \cdot \cos \theta_0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

水塊が波返しの頂点を離れて後, 風圧に押されて再び頂点へ戻つて来るまでの時間を t_0 とすると, (6) 式より,

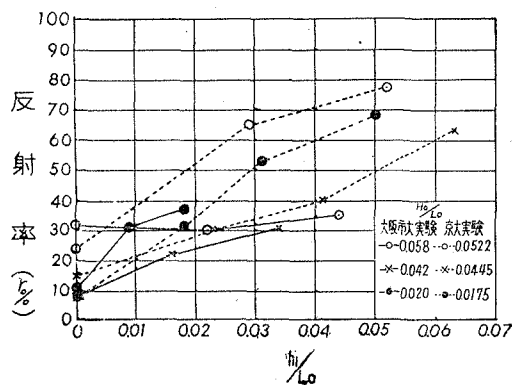
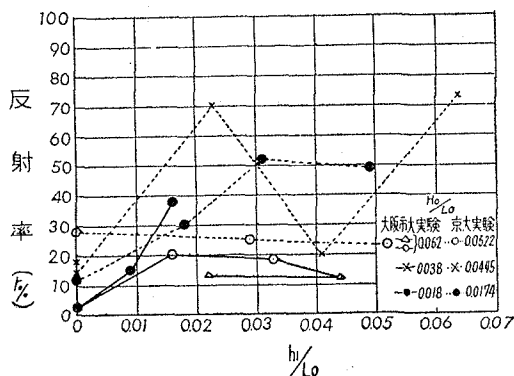
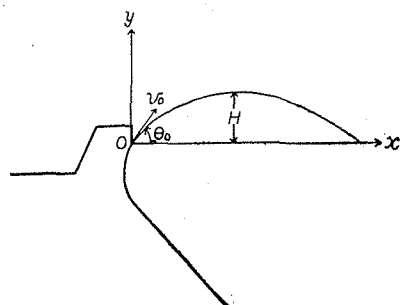
図-19 反射率と h_1/L_0 との関係, 堤防法勾配 1:2図-20 反射率と h_1/L_0 との関係, 堤防法勾配 1:3

図-21



$$t_0 = \frac{v_0 \cos \theta_0}{\frac{3}{16} \cdot \frac{V}{r} \cdot V^2} \dots \dots \dots (7)$$

$t > t_0$ の時刻においては $x < 0$ になる。すなわち水塊は海岸堤防の内側に飛び込む。

いま $V_p = 10$ および 20 m/sec, $v_0 = 4$ m/sec, $r = 5, 25, 50$ cm, $\theta_0 = 50^\circ$ および 60° の場合について t_0 および $t_0 \cdot v_0 \cdot \cos \theta_0$ の値を求めると表-6 のごとくである。

表-6 ($v_0 = 4$ m/sec = 一定)

V (m/sec)	θ_0	d = 5 cm		r = 25 cm		r = 50 cm	
		t_0 (sec)	$t_0 \cdot v_0 \cdot \cos \theta_0$ (m)	t_0 (sec)	$t_0 \cdot v_0 \cdot \cos \theta_0$ (m)	t_0 (sec)	$t_0 \cdot v_0 \cdot \cos \theta_0$ (m)
10	50°	0.027	0.07	0.136	0.35	0.272	0.70
	60°	0.021	0.04	0.107	0.21	0.214	0.43
20	50°	0.007	0.02	0.034	0.09	0.068	0.17
	60°	0.005	0.01	0.027	0.05	0.053	0.11

表-6 により明らかなように、風速 $V = 10$ m/sec では波返しの効果は僅かにあると考えられるが、 $V > 10$ m/sec では波返しの効果はほとんどないと考えられる。このことは次に示す実験結果によつて明瞭に証明されている。

(2) 式より水塊が上昇する最大の高さ y_{max} は次式で与えられる。

$$y_{max} = \frac{1}{2g} \cdot v_0^2 \cdot \sin \theta_0 \dots \dots \dots (8)$$

実験によると、しぶきは (8) 式の値より高く上るが、連続した水塊が上昇する高さは、ほぼ (8) 式に等しい。

(2) 実験結果

(a) 曲線形波返しを有する場合

図-3 に示すとき、堤防法面の上部に $r = 15.0$ cm および $r = 7.25$ cm の連続円弧の曲線形波返しを有する堤防において、堤防法先の水深 $h_1 = 10$ cm (水平底部の水深 $h_0 = 65$ cm) の場合に、周期 $T = 1.2$ および 1.4 sec の波を起し、風速 $V = 0, 2.2, 4.5$ および 6.7 m/sec ($V_p = 0, 10, 20$ および 30 m/sec) の風を送つて跳波および越波の状況を調べた。

$h_1 < 10$ cm の場合には法面における波 ($T = 1.2$ および 1.4 sec) のはい上り高さは静水面上 $10 \sim 11$ cm で越波がなく、また $h_1 > 15$ cm では越波が大き過ぎるため、ともにこの実験には不適当であつた。 $h_1 = 10$ cm で、表法面が $1:0.60$ の勾配の斜面においては、 $V = 0 \sim 6.7$ mm/sec における波 ($T = 1.2$ および 1.4 sec) のはい上り高さ (鉛直高) は静水面上は $R_u = 30 \sim 50$ cm であるが、図-3 のごとく斜面の上部に曲線波返しを設けた場合には跳波および越波の状況は 図-22 に示すようである。またこれらの実験結果を纏めたものが 表-7 である。 $T = 1.9$ sec の波についても実験を行つたが、越波量が多過ぎて波返しの効果を調べるには不適当であつたので、図-22 および表-7 から除外した。図-22 によると、堤防よりの後退波と沖からの進行波との衝突点が $T =$

図-22 曲線波返し堤における跳波および越波の状況

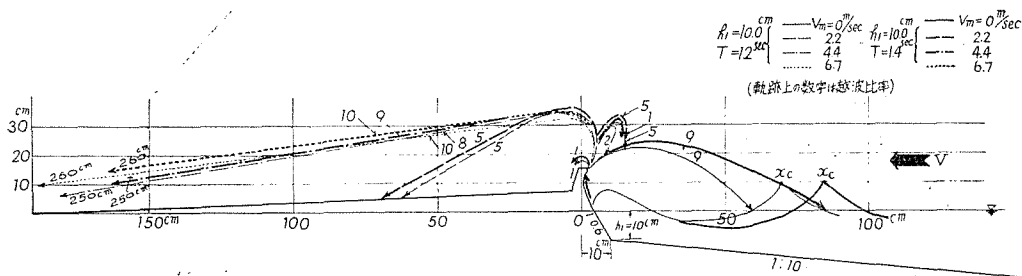
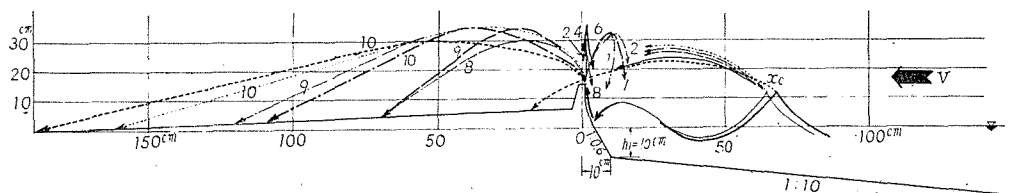


図-23 鉛直胸壁堤における跳波および越波の状況



1.4 sec の波の方が $T=1.2$ sec の波よりも沖合にあるから、堤防に衝突するときの水分子の速度は前者が僅かに大きいから（高速度映画によつて測定するとその速度は 1.90~2.20 m/sec くらいである）、跳波の高さ、越波および跳返り波の高さ、水平距離ともわずかに大きい、大体において両波はほとんど同一の傾向を示している。

すなわち無風状態のときは波返しの効果は非常に顕著で、ほぼ 90 % の跳波を海側に跳ね返しているが、 $V_p=10$ m/sec のときは越波量と跳ね返り波の水量とはほぼ同じで、 $V_p \geq 20$ m/sec のときは跳波の 80~100 % が越波して、波返しの効果はほとんどない。

(b) 鉛直胸壁を有する場合

曲線波返しの上部の円弧を鉛直にした場合（図-3 参照）における跳波および越波の状況を示すと図-23 のごとくで、その実験結果は表-8 である。

図-23 によると、鉛直胸壁堤では無風状態のときは、跳波は胸壁に沿って鉛直に上昇してはほぼ 20 % が堤内へ、ほぼ 80 % が堤外へ落下するが、 $V_p=10$ m/sec のときは跳波の 80 % が堤内へ越波する。 $V_p \geq 20$ m/sec になると、ほぼ 90~100 % が越波する。これを図-22 と比較すると、 $V_p \leq 10$ m/sec のときには曲線形波返しは越波を減少せしめるのに効果があるが、 $V_p \geq 20$ m/sec のときには跳波のほとんど全部が堤内地へ越波し、鉛直胸壁と何等変わりはないことがわかる。このことは理論的結果とよく一致している。ただ鉛直胸壁堤においては、 $V_p \leq 10$ m/sec のときに跳波のほぼ 80~20 % が堤の表法近くに落下するため、後退波の水量およびエネルギーが大きいので、進入波と激しく衝突し、そのしぶきの 1 部が堤防天端を越えて堤内へ入る。しかしこれは風速が比較的小さいときであるので越波量も僅かである。

従来、日本およびアメリカで行われた無風状態における実験結果から、海岸堤防には曲線形波返しが越波の減少に非常に効果があることが証明され、最近の海岸堤防はその大部分に曲線波返しが設けられているが、以上の理論的考察および実験結果より、波返しが効果のあるのは風速が 10 m/sec 以下の場合であつて、それ以上の強い風の場合には波返しの効果はほとんどないことが明らかになった。したがつて、今後は一般の海岸堤防の設計には天端附近は鉛直の胸壁を設けることが工費の上より有利であると考えられる。

III. 堤防前面における消波効果に関する実験

(1) 実験目的

伊勢湾台風以来、わが国の海岸堤防の設計方針は大きく変革した。すなわち大阪湾、伊勢湾、東京湾などは大平洋に面した重要な湾の沿岸に築造される海岸堤防においては、設計潮位は少くとも室戸台風あるいは伊勢湾台風時における最高潮位にとり、波浪は同台風時の最大有義波をとつて堤防天端を決定するという考え方になった。そのため海岸堤防の高さは従来のもより相当高くなり、その築造費は非常に大きくなった。

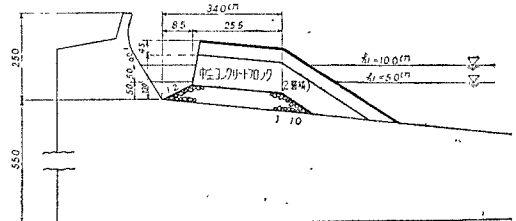
今までの海岸堤防設計の基本的考え方は、堤防を高くして越波を防ぐということであつたから、設計潮位および波高が高くなると、それにつれて堤防の天端高は高くなり、工費は著しく増大したのであるが、進入波を堤防表法面に直接あてないで、堤防より少し前面あるいは直前で碎波させてそのエネルギーを減殺するようにすれば、設計潮位に対して堤防天端をそれほど高くしなくとも十分に越波を防ぎ得るであろうと考えられたので、堤防前面における消波方法とその効果について実験を行つた。その結果、消波方法が宜しきをえれば、当初予期した以上の著しい消波効果が得られ、消波工作物のない場合に比して堤防天端を相当低くすることが出来るので、工費が安くなることが明らかになった。

(2) 基礎実験

図-24 に示すような図-3 と同一の形状の曲線形波返しを有する海岸堤防において、法先における水深 $h_1=5$ cm の場合に $T=1.2, 1.4$ および 1.9 sec の波を起し、法面における波のはいり高さ（鉛直高）を測定した結果は表-9 のごとくである。 $h_1=10$ cm の場合で $T=1.2$ および 1.4 sec の波における越波状況は図-22 および表-7 である。また $h_1=10$ cm で、曲線形波返しを設けない 1:0.6 勾配の斜面における $T=1.2, 1.4$ および 1.9 sec の波のはいり高さは表-2(c) のごとくである。

図-22 および表-7 から明らかなように、 $h_1=10$ cm の場合には、 $T=1.2$ および 1.4 sec の波においても大きな跳波を生じ、風速 $V_p > 10$ m/sec になると大部分の

図-24 消波堤を設置した海岸堤防



跳波が堤内へ飛びこむ。 $T=1.9 \text{ sec}$ の波になると、跳波および越波はさらに大きくなり、図—24 のとき高さの堤防では、 $V_p > 10 \text{ m/sec}$ のときは勿論、無風状態のときでも甚しい越波を生じ、堤防は防波の用をなさい。仮りに胸壁の高さを 2 倍の 15 cm (現地では 3 m) にしてもなお、相当量の越波を生ずるのである。

以上の図および表に示したような法面における波のはいりあるいは越波を減少するために、図—24 に示すごとく堤防前面に 1 個の重量 250 gr 、高さ 7.6 cm (実物では重量 2 t 、高さ 1.52 m) の中空三角錐ブロック (第 6 回海岸工学講演会講演集参照) を 2 層積みした平行堤を設置した。その天端は図—24 に示すように、 $h_1=5 \text{ cm}$ (現地では 1.0 m) のときは堤防法先より $11 \sim 13 \text{ cm}$ (現地では $2.20 \sim 2.60 \text{ m}$) の高さに、 $h_1=10 \text{ cm}$ (現地では 2.0 m) のときは法先より $15 \sim 17.5 \text{ cm}$ (現地では $3.00 \sim 3.50 \text{ m}$) の高さに造つた。このような消波平行堤を設置した堤防に、 $T=1.2, 1.4$ および 1.9 sec の波をあてて、法面における波のはいり高さ R_u および越波状況を測つた結果は表—10 および 11 のごとくである。

表—10 と 11 を比較すると、消波工作物のない場合には $R_u=10 \sim 21 \text{ cm}$ で、 $T=1.9 \text{ sec}$ の波の場合がはいりが最も大きく、この場合には、法面をはい上つた波および進入波と後退波とが衝突した点から相当量の越波を生じている。しかるに消波平行堤を設置した場合には、何れの波においても、また無風のときも強風のときも、波の大部分がブロックの中に吸収されて、波が法面に強くおつかることはほとんどない。したがつて $T=1.2$ および 1.4 sec の波の場合には、平行堤と法面との間の水面が $5 \sim 8 \text{ cm}$ 上昇するだけで、はいりとはほとんどない。また $T=1.9 \text{ sec}$ の波の場合には消波効果が最も著しく、ブロック堤内に波のほとんどが吸収されてしまつて、 $R_u=0$ である。ただ何れの波の場合にも、波が平行堤天端の外側におつかつたとき、しぶきが飛び、その 1 部分が堤防天端を越える。しかしその水量はわずかである。

表—7 (曲線波返し堤、 $1:0.6$ 法面におけるはいり高さ、 $h_1=10 \text{ cm}$) および図—22 と表—11 を比較すると、消波工作物のない場合には、 $T=1.2$ および 1.4 sec の波では、 $V_p > 10 \text{ m/sec}$ では越波が甚だしくてこの高さの堤防では到底防波できない。 $T=1.9 \text{ sec}$ の波では $V=0$ のときでも甚しい越波で、問題にならなかつた。しかるに表—11 で明かなように $T=1.2$ および 1.4 sec の波では $R_u=10 \sim 12 \text{ cm}$ で、波は堤防天端 (静水面上 15 cm) まではい上らず、ただブロック堤の天端におつかつた波のしぶきがわずかに堤防を越えて飛びこす程度である。また $T=1.4 \text{ sec}$ の波では、 $h_1=5 \text{ cm}$ の場合と同様、ブロック堤は波をもつともよく吸収し、ブロック堤と堤防表法との間の水面が $4 \sim 5 \text{ cm}$ 程度上昇するだけである。

以上の実験により明かなごとく、堤防前面に中空ブロックによる平行堤を設置すると、その消波効果は予想以上に大きく、特に周期が大きい、波形勾配が緩やかな波 (このような波は消波堤がない場合は波のはいりが大きい) に対して消波効果が著しいことは防波上非常に価値が大きいと考えられる。それ故、設計潮位が高く、設計波浪が大きい海岸堤防の計画には、堤防天端を高くして越波を防ぐよりも、このような消波用平行堤を堤防前面に設置することが、堤防の高さを低くすることが出来て、経済上非常に有利であると考えられる。ただブロック堤の天端は必ず設計潮位よりも現地において $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ 高く造る必要がある。

(3) 応 用 実 験

(a) ニケ崎港関西電力第三発電所の防潮堤に関する実験

ニケ崎港防潮堤の外にある関西電力 K K 第二火力発電所南側の海面 (水深大阪港 $D.L. -2.0 \sim \pm 0 \text{ m}$, $O.P. -2.4 \sim +0.40 \text{ m}$) を埋立てて第三火力発電所が建設されているが、その外廓の防潮堤の形状および構造について、風洞付き波浪水槽を使用して研究を行つた。

設計潮位および波浪は室戸台風時におけるものを対称にとることにしたが、潮位および港における風速ともに正確な実測資料がないので、次のようにして算出した。

i) 設計潮位の決定

室戸台風およびジェーン台風の記録によると、台風の中心が阪神地方を通過して後、風向は $S \sim SSW$ に変わり、それから $30 \sim 40$ 分後に最高潮位に達している。したがつて両台風とも $S \sim SSW$ 方向の強風による波浪は最高潮位時にはいまだ最大にはなつていないと考えられる。それ故、最高潮位を挟んだ 2 時間 (大阪湾の水深 20 m 以上の吹送距離 $F=35 \text{ km}$ 、風速 $V=30 \text{ m/sec}$ に対する最小吹送時間 $t_{min}=2.2 \text{ hr}$) の平均潮位を設計潮位にとるのが妥当であろうと考えた。

ジェーン台風時の大阪港の潮位曲線 (peak 時は欠測のため補足) によると、最高潮位を挟んで $S \sim SSW$ 方向の風が強かつた 2 時間の平均潮位はほぼ $D.L. +2.80 \text{ m}$ (当時の $O.P. +3.20 \text{ m}$ 、現在の $T.P. +2.00 \text{ m}$) である。この潮位は天保山における同台風時の最高潮位 $D.L. +3.45 \text{ m}$ (当時の $O.P. +3.85 \text{ m}$) に対してはほぼ 80% にあたるので、室戸台風のときもこの比率が成り立つと仮定すると、天保山における最高潮位痕跡 $D.L. +4.75 \text{ m}$

(当時の $O.P. + 5.15\text{ m}$) に対して最高 2 時間の平均潮位はほぼ $D.L. + 3.80\text{ m}$ (当時の $O.P. + 4.20\text{ m}$) になる。室戸台風時の最高潮位は正確な記録がないが、いくつかの場所の痕跡から推定すると大体において $O.P. + 4.20\text{ m}$ 前後であつたようであるから、最高 2 時間の平均潮位を $O.P. + 4.20\text{ m}$ にとることは、もし誤差があつても安全側であると考えられるので、この潮位を設計潮位にとつた。これを今の $T.P.$ で表わすと $+3.00\text{ m}$ である。

ii) 設計波浪の計算

室戸台風時に大阪湾の水深 $h \geq 20\text{ m}$ の海域に発生した波を近似的に深海波として、SMB 法により最大有義波を求めると、

風向	吹送距離 (km)	平均風速 (m/sec)	波高 $H_{1/3}(\text{m})$	周期 $T_{1/3}(\text{sec})$	吹送時間 $t_{min}(\text{hr})$
SSW	15	33	2.9	6.2	1.75
SW	35	26	3.6	7.2	2.5

である。海岸における屈折、海底における摩擦を考慮して尼ヶ崎港の関電発電所建設予定場所の有義波を求めると

風向	$H_{1/3}(\text{m})$	$T_{1/3}(\text{sec})$	$L(\text{m})$	H/L
SW	2.5	6.3	56	0.045
SSW	2.4	5.9	51	0.047

(波高および周期の計算は拙著「港湾工学 (増補版)」79~89 頁参照)

である。

iii) 防潮堤の形状および構造の決定

防潮堤築造予定場所の水深はほぼ $D.L. - 2.0\text{ m}$ で、その沖側約 40 m の海底勾配はほぼ $1/20$ である。防潮堤築造場所より沖へ数 10 m 離れた海底の土砂を現地盤より 3 m くらい浚渫して発電所建設予定場所へ埋立を行うので、その付近の水深は $D.L. - 8.0 \sim -10.0\text{ m}$ くらいになる予定である。またこの前面には防波堤はない。

防潮堤断面-I まず最初に実験を行つた防潮堤の断面形は図-25 である。この防潮堤の $1/20$ の模型を木で造り、風洞付き水槽の風下側の端に図-26 に示すように取付けた。

図-25 尼ヶ崎港関電防潮堤断面-I

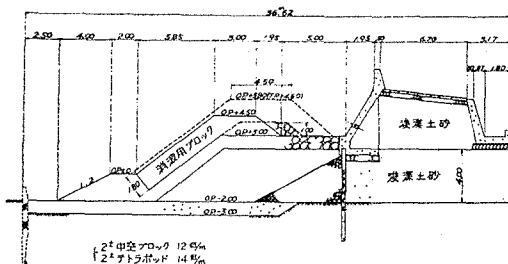
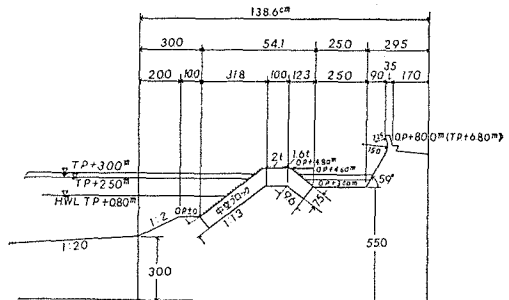


図-26 関電防潮堤断面-Iの 1/20 模型



潮位は設計潮位 $T.P. + 3.00\text{ m}$ とジェーン台風時の最高 2 時間潮位の平均潮位 $T.P. + 2.00\text{ m}$ との中間の $T.P. + 2.50\text{ m}$ の 2 つの場合について実験した。波浪は $H = 2.0 \sim 2.5\text{ m}$, $T = 6 \sim 7\text{ sec}$, 風速 $V_p = 0$ および 20 m/sec の場合について実験した。堤防前面の消波堤は 1.6 t の中空三角錐ブロックを 2 層積した場合について実験した。そのブロック堤の天端高は $T.P. + 3.40\text{ m}$ である。実験の結果を示すと表-12 のごとくである。

実験の結果によると、ブロック堤は相当の消波効果があるが、 $T.P. + 3.00\text{ m}$ の場合には、この断面形では無風時でも波が堤防天端以上に飛び上り、したがって $V_p = 20\text{ m/sec}$ になると相当多量の越波を生じて危険である。

防潮堤断面-II 図-27 のような断面で、堤防表法上に消波ブロック (2t の中空三角錐および 2t のテトラポッド) を置いて、潮位を $T.P. + 2.5\text{ m}$ および $+3.0\text{ m}$ の場合について実験を行つた。その結果は表-13 に示すとおりである。

表-13 により明らかなように、潮位が $T.P. + 2.50\text{ m}$ の場合は、 $V_p = 20\text{ m/sec}$ のときでも、波がブロックに衝突した点から僅かの跳波が堤内へ飛び込む程度であるが、 $T.P. + 3.00\text{ m}$ の場合には、 $V_p = 20\text{ m/sec}$ のときは、中空三角錐ブロック堤では、壁に沿うてのはいり上りによる越波はないが、波がブロックに衝突した点からやや多くのしぶきが飛びこむ。またテトラポッド堤では、壁に沿うてのはいり上りによる多量の越波があるとともに、波がブロックに衝突した点からも相当量のしぶきが飛びこむ。すなわち消波効果は中空ブロックの方が大きい。

防潮堤断面-Ⅲ ブロック堤の天端高は断面-Ⅱと同高にして、その位置を堤防法先より約 30 cm (現地では 6.0 m) 離して、2t の中空三角錐ブロックおよびテトラポッドで図-28 のような消波堤を築造すると、胸壁の天端高を断面-Ⅰ および Ⅱ と同高であつても、潮位が $T.P.+3.00$ m, $V_p=20$ m/sec のときでも、法面に沿うての波のはい上りはほとんどなく、跳波もほとんど飛びこまない。図-29 および 30 の (a), (b) は波がブロック堤に衝突したときの状況を示す。ブロック堤の消波効果が極めて顕著であるのがよくわかる。

図-27

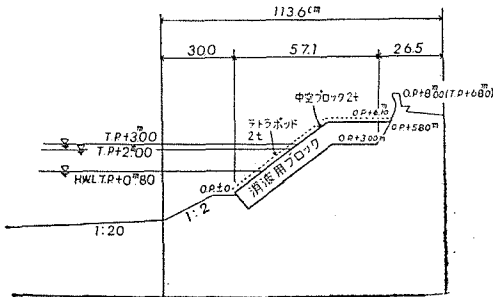
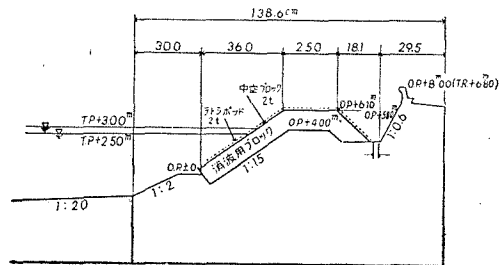
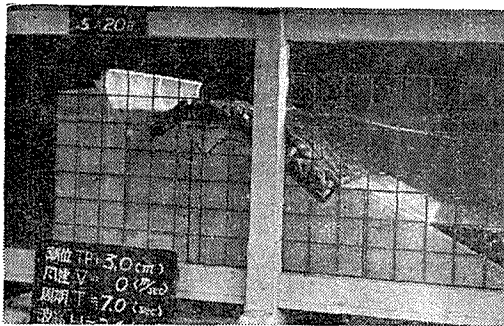
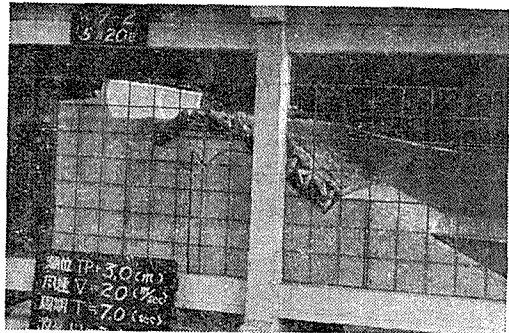
図-29 (a) 中空ブロック堤, $V_p=0$

図-28

(b) 中空ブロック堤, $V_p=20$ m/sec図-30 (a) テトラポッド堤, $V_p=0$ (b) テトラポッド堤, $V_p=20$ m/sec

(b) 須磨一塩屋間の海岸堤防における防波に関する実験

現地の状況 須磨と塩屋間海岸は最近著しい浸食を受け、砂浜が急激に減少して、海岸堤防の根固めが洗掘され、あるいは従来の防砂突堤が破壊されている。そのため潮位が満潮位くらいで、堤防から沖合 100 m くらいの海域の波高が僅かに 1~1.5 m であつても、10 m/sec 以上の南風が吹くと、堤防をはい上った波あるいは波が堤防根固めに衝突して生じた跳波が多量に堤防天端を越えて、国鉄山陽線に落下するので、同線の電車はしばしば運行を停止している状態である。当研究室においては昭和34および35年度にわたり、この海岸の砂の移動、波浪、潮流などを調査しているが、風洞付き水槽においては、同海岸の堤防および海岸の 1/20 の模型を作り、波浪、潮位、風速を種々変えて、台風時における同海岸における越波の状況を再現して、その防止対策について研究した。図-31, 32, 33 および 34 は今年8月8日撮影した同海岸の状況である。

その直後の8月11日、台風11号のときに撮影した写真が図-35, 36 および 37 である。このときの潮位は満潮位よりもやや高いくらいで、風は南から 10 m/sec 前後であつた。

図-31

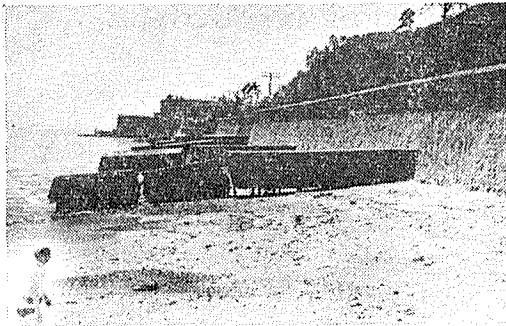


図-32

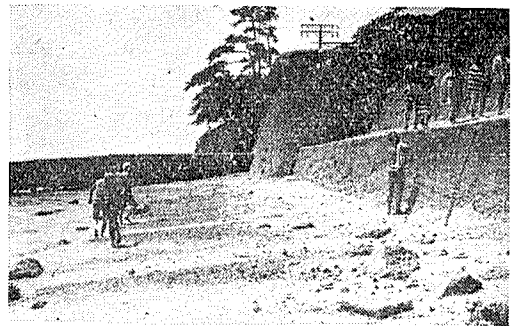


図-33

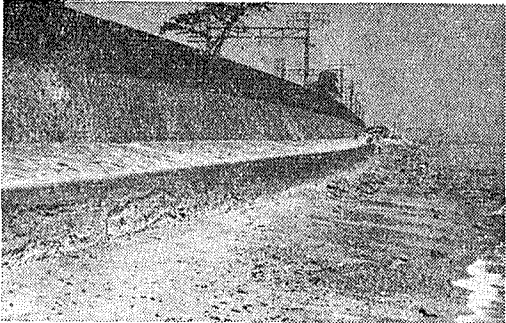


図-34

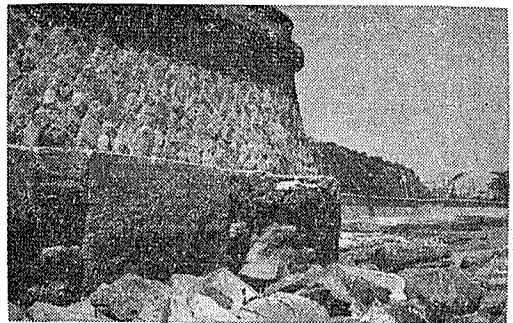


図-35

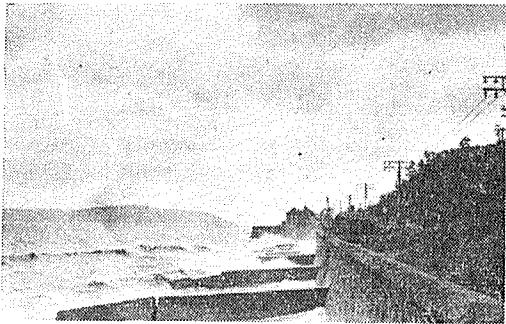
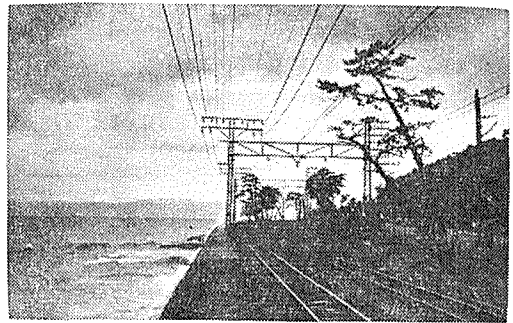


図-36



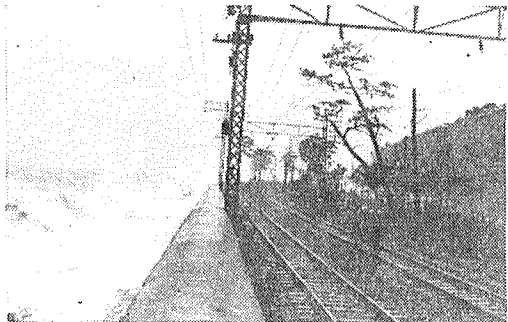
図-37



8月29日20時頃、台風16号が姫路付近を通過したときの同日夕刻における同海岸の跳波および越波の状況を示すと図-38および39のごとくである。このときの国鉄須磨駅で記録された18時から21時の風速は18~21 m/secである(このときの状況の1部は映画で示す予定である)。またこの台風の通過直後の同海岸の状況は図-40、41および42のごとくである。図-40は図-31に示す防砂突堤が甚しく破壊された状況、図-41は図-32および33の海岸堤防の根固め前面が洗掘され、根固めの天端が破壊し始めている状況、図-42は堤防法先の洗掘と、天端からの越波によつて堤防背面土砂が流出して陥没した状況を示す。

実験潮位 ジェーン台風時の神戸港における最高潮位は同港における当時の検潮儀のD.L.+3.16 mである。これはT.P.+2.02 mであつて、現在の神戸港海図のD.L.+2.88 mに相当する。それ故、実験にはT.P.+2.00 mを用い、参考にT.P.+1.50 mの場合も行つた。なお神戸港の朔望平均満潮位はT.P.+0.67 m(現在

図—38 台風16号越波状況

図—39 堤防前で進行波と反射波が衝突して
大きな三角波を生じている状況

の海図の $D.L. +1.53 \text{ m}$) である。

実験波浪 この海岸における台風時の波浪記録はないが、著者が数年前から冬季の西風の強いときあるいは台風時に目測した資料および大阪湾北岸における最大波浪の計算値を参考にして、

$$(T_p)_{1/3} = 5.5 \sim 6.3 \text{ sec} \quad (T_m = 1.2 \sim 1.4 \text{ sec}), \quad (H_p)_{1/3} = 1.5 \sim 2.0 \text{ m} \quad (H_m = 7.5 \sim 8.0 \text{ cm})$$

を採用した。

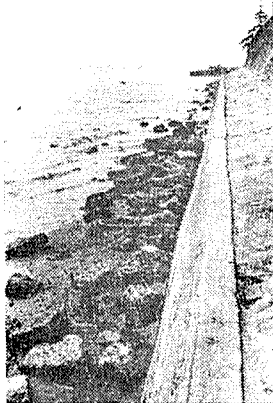
実験風速 風速 $V_p = 0, 10$ および 30 m/sec を採用した。したがって実験では $V_m = 0, 2.2$ および 6.7 m/sec を用いた。

海岸堤防および海岸の断面 実験に用いた $1/20$ 縮尺の海岸堤防の断面形は図—43 (a), (b) に示す 2 種類で、堤防前面の砂浜および海岸の勾配は今年 3 月の実測値にもとずいて 図—44 に示すように、 $1:7$ と $1:20$ にした。

図—41

現状についての実験

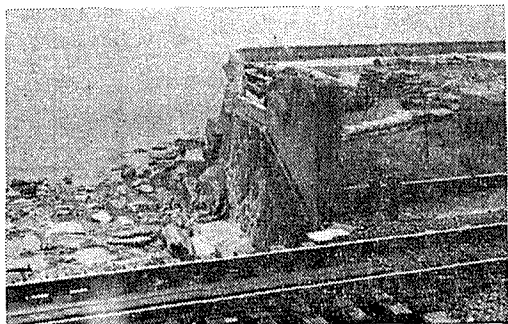
先ず現在のままの断面 A および B を用いて、潮位、波浪および風速を種々に変えて実験を行った。その結果は 表—15 のごとくである。実験によると、堤防前面に根固めがない A 断面において、 $T.P. +1.50 \text{ m}$ の潮位のときは、 $T_m = 1.2 \text{ sec}$ ($T_p = 5.4 \text{ sec}$), $H_m = 10 \text{ cm}$ ($H_p = 2.0 \text{ m}$) の波は $V_m \leq 2.2 \text{ m/sec}$ (V_p



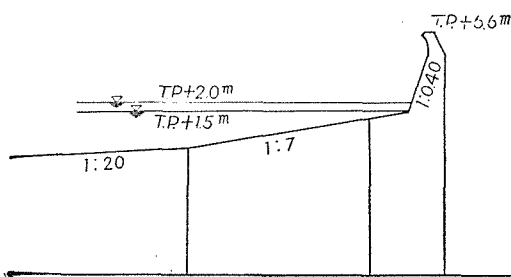
図—40



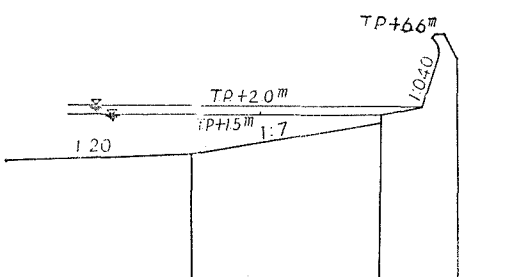
図—42



図—43 (a) 断面 A (根固めがない断面)



(b) 断面 B (根固めがある断面)



$\leq 10 \text{ m/sec}$ では越さないが(図-45, 46 参照), $T.P. +2.00 \text{ m}$ の潮位のときは, $V_m \geq 2.2 \text{ m/sec}$ になると多量の越波を生ずる(図-47, 48, 49, 50 参照)。しかるに根固めのある断面 B (図-32, 33) においては, 潮位が $T.P. +1.50 \text{ m}$ のときは, $H_m = 9 \text{ cm}$ ($H_p = 1.8 \text{ m}$), $T_m = 1.4 \text{ sec}$ ($T_p = 6.3 \text{ sec}$) の波が来ると, 根固めに強く衝突し, 無風時でも多量の跳波が堤防天端以上に飛び上る(図-51 参照)。したがって $V_m \geq 2.2 \text{ m/sec}$ ($V_p \geq 10 \text{ m/sec}$) の風が吹くと非常に多量の越波を生ずる(図-52, 53 参照)。その実験結果は表-16 に記す。

台風 16 号のときは, 潮位は $T.P. +1.0 \sim 1.2 \text{ m}$ くらいで, 波は $T_p = 5 \text{ sec}$, $H_p = 1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ (碎波高 $H_b \approx 2.0 \text{ m}$), 風は南風で $V_p = 20 \text{ m/sec}$ くらいであつて, はば図-53 に相似の条件にあつたが, そのときの B 断面箇所における跳波および越波の状況は図-38 および 39 に示すごとくで, 両者は非常によく類似している(その詳細は実験室で撮影した高速度 16 mm 映画と現地で撮影した 8 mm 映画によつて示す予定である)。

防波対策の実験 台風時の観測および風洞付き水槽における実験の結果によると, 潮位が $T.P. +1.50 \sim 2.00 \text{ m}$ で南風が 10 m/sec 以上のときは, たとえ現在の堤防天端を $1.0 \sim 1.5 \text{ m}$ 高くしても, 多量の越波を防ぐことが出来ないことは明らかである。それ故, 堤防前面で波のエネルギーを殺す必要があるが, その方法として次の 2 つが考えられる。

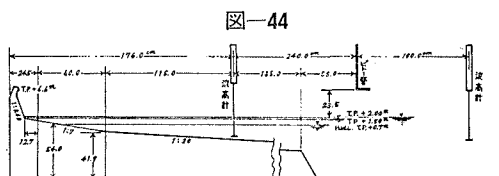


図-44



図-46

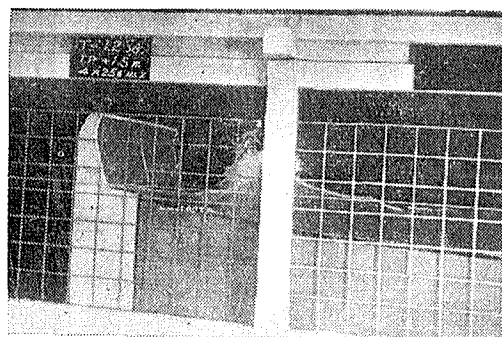


図-48



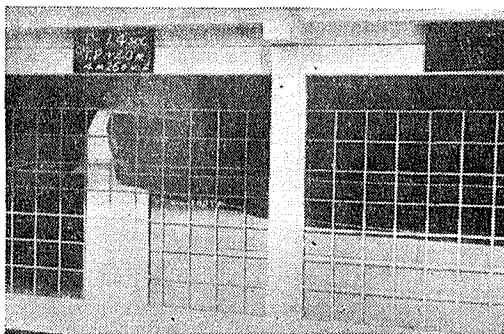
図-50



図-47

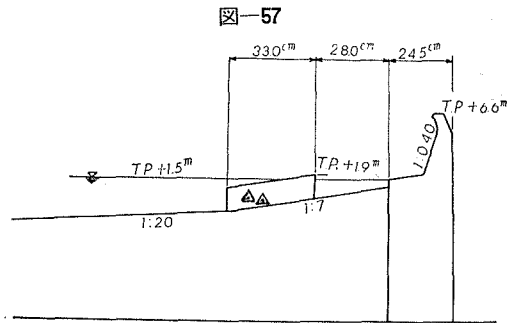


図-49

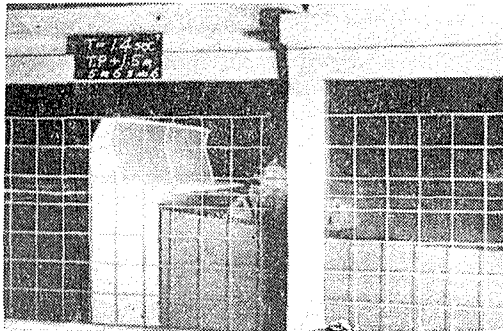


り、したがって進行波との衝突も非常に弱くなり、 $x_b=20\sim30$ cm の点、すなわちブロック堤上で弱く砕波するようになる。図—55 および 56 はこの場合の法面における波のはいり上り状況を示す。ブロック堤がない場合の図—47 および 48 と比較すると、消波効果がいかに大きいかをよく理解することが出来る。

B断面の堤防 堤防法先に根固め（海側端の天端高 $T.P. + 1.5$ m）がある断面では、潮位が $T.P. + 1.00\sim 1.50$ m くらいするとき、堤防から $5\sim6$ m 付近の点で砕波するので、砕波が根固めに激しく衝突し、跳波が高く飛び上る。この現象は実験（図—53）においても現地（図—38）においても同じであつて、この根固めが越波を促進している。したがってこの断面においては、進行波が根固めに激突するのを防ぐことが重要であるから、ブロック堤を図—57 のように砕波点付近に設置した。ブロック堤は 2 t 中空三角錐ブロックを 2 層積したが、表—16 に示すように、ブロック堤の消波効果は極めて顕著で、潮位が $T.P. + 1.50$ m で、 $T_m=1.4$ sec ($T_p=6.3$ sec)、 $H_m=9$ cm ($H_p=1.80$ m) の波のときでも、越波は全くなくなる。図—58 および 59 は波がブロック堤上で砕波するときおよび法面におけるはいり上の状況を示す。図—38 と比較して消波効果の大きいことがよくわかる。



図—58



図—59



4. 結 論

(1) 海岸堤防の表法面における波の相対的はいり高さ Ru/H の値は、無風および強風の場合とも、法勾配が $1:1$ のときに最も大きく、 $1:0.6\sim 1:0.4$ のときに最も小さい。したがって $1:0.6\sim 1:0.4$ の勾配は、直立型の海岸堤防の表法勾配として、波のはいりおよび背面よりの土圧を考慮した場合に最も適した勾配といえる。風速が $V_p > 10$ m/sec になると、風圧によつて波頭が早く崩れるため、法面における波のはいりはやや減少する。

(2) 風速 $V_p > 10$ m/sec の場合には、後退波と進行波とが衝突したときに生ずる跳波が風圧で押されて堤内地に飛びこむから注意を要する。

(3) Ru/H の値は無風および強風のときともに、波形勾配 H/L が小さいほど大きい。これは H/L の小さい波は堤防に近い点で砕波するので、堤防に達したときの波のエネルギーが大きいからである。

(4) 堤防からの反射率は大体の傾向として表法勾配が $1:3$ ($\theta=20^\circ$) になると急に小さくなり、 $1:2$ ($\theta=30^\circ$) 以上の急勾配では反射率はあまり変化しない。また堤防前面の水深が大きくなると反射率は大きくなる。風速は反射率にはあまり影響を与えないようである。

(5) 堤防天端付近の曲線形波返しは、風速 $V_p \leq 10$ m/sec のときは有効に作用するが、 $V_p > 10$ m/sec の強風のときはほとんど効果がないことが理論的にも実験的にも明らかになった。それ故今後の海岸堤防の計画には曲線波返しは設けず、鉛直型の胸壁にする方が経済的に有利である。

(6) 伊勢湾台風以来、伊勢湾、大阪湾沿岸などにおいては、伊勢湾台風あるいは室戸台風の時の潮位および波浪を設計の対称にするようになったので、海岸堤防の天端は急に高くすることが必要になり、堤防築造の費用が著しく増大してきた。しかし天端を相当高くしても、台風時の越波を防ぐことは極めて困難である。それ故、堤防の

前面で波のエネルギーを減殺して、法面における波のはい上りを減少するように工夫するのが得策であると考えられる。この目的には堤防前面の適当な場所に、適当な高さの消波堤を設置することが非常に効果的である。この消波堤には例えば中空三角錐コンクリートブロックまたはテトラポッドのような消波能力が大きく、波力に対して安定な形のコンクリート・ブロックを 2 層積することが望ましい。従来用いられて来たような直方体のコンクリート・ブロックを使用すると、消波能力がほとんどないから、砕波がこれに激しく衝突して大きな跳波を生じ、それが風圧で堤防へ押付けられるから、返つて悪い結果を生ずるので、特に注意を要する。

参 考 文 献

- 1) 佐藤清一, 岸 力: 「海岸堤防の形状特性ならびに陸岸への遡上」, 第 3 回海岸工学講演会講演集, 昭和31年11月.
- 2) 石原, 岩垣, 鈴木: 「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, 昭和30年11月.
- 3) 加藤重一: 「海岸(干拓)堤防の断面形状と波浪エネルギーの減殺効果について」, 第 5 回海岸工学講演会講演集, 昭和33年11月.
- 4) T. Saville: "Wave Run-up on Shore Structures," Proc. of ASCE, WW 2, April, 1956.
- 5) L. Greslou et Y. Mahe: "Etude du coefficient de reflexion d'une houle sur un obstacle constitue par un plan incline," Proc. of the 5th Conf. on Coastal Engineering, Sept. 1954, pp. 68~84.

表 1 (a) 鉛 直

No.	h_t (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_t/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
0-A-1	0.0	1.21	0.0	1.62	196	228	12.1	13.0	13.5	0.062	0.057	0.0	43	79	8.0	0.66	0.62	17	法完前面 90cm より砕けかけ、完全砕波も どり流れや早い、ごく少し砕波点で速く	しぶきなし ゆるくはい上る
" -2	"	1.21	2.3	1.58	191	228	10.4	11.2	13.5	0.055	0.049	"	45	73	7.8	0.75	0.70	17	90cm より砕けかけやや急な砕波、完全砕波	"
" -3	"	1.23	4.5	1.62	199	236	11.3	12.2	14.0	0.057	0.052	"	43	75	6.8	0.60	0.56	12	100cm より砕けかけゆるい砕波、完全砕波	"
" -4	"	1.23	6.7	1.62	199	236	11.4	12.3	14.0	0.057	0.052	"	41	80	6.7	0.59	0.54	20	140cm より砕けかけ、砕波、完全砕波	"
0-B-1	0.0	1.40	0.0	1.70	238	306	12.8	13.4	15.0	0.052	0.044	0.0	52	83	10.0	0.81	0.75	17	115cm より砕けかけ、砕波、完全砕波	しぶきなし
" -2	"	1.39	2.2	1.73	241	301	12.1	13.2	13.5	0.050	0.044	"	55	80	9.7	0.80	0.74	10	108cm より砕けかけ 110cm より砕けか ける、砕波、完全砕波	"
" -3	"	1.39	4.5	1.70	236	301	12.1	13.2	14.0	0.051	0.044	"	54	82	8.7	0.72	0.66	8	"	"
" -4	"	1.43	6.7	1.68	241	318	12.3	13.5	14.5	0.051	0.043	"	53	82	7.2	0.59	0.53	12	160cm より砕けかけ流れ波に近く、完全砕 波	"
0-C-1	0.0	1.91	0.0	1.94	371	570	8.6	9.2	12.0	0.023	0.016	0.0	82	69	11.2	1.30	1.22	20	砕波、完全砕波、砕波点より砕波点が沖側	しぶきなし
" -2	"	1.91	2.2	2.00	382	570	9.3	9.9	12.0	0.024	0.017	"	82	74	10.3	1.11	1.04	10	"	"
" -3	"	1.92	4.5	1.92	370	574	9.0	9.6	12.5	0.024	0.016	"	85	71	11.0	1.22	1.15	13	105cm より砕けかけ砕波、完全砕波	どび込み点よりわずかのしぶきがとぶが碎 まで達せず (しぶき高さ 40cm)
" -4	"	1.92	6.7	1.89	364	574	9.7	10.3	11.0	0.027	0.018	"	75	74	8.7	0.90	0.84	20	150cm より砕けかけ流れ波で完全砕波	$V_p=20\text{m/sec}$ より多く、しぶ きがとぶ (しぶき高さ 70cm)

表 1 (b) 鉛 直

No.	h_t (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H/L	H_0/L_0	h_t/L_0	x_b^* (cm)	x_c^* (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況		
5-A-1	5.0	1.19	0.0	1.66	198	220	13.2	14.2	14.0	0.067	0.0650	0.0227	57	36	14.0	1.06	0.99	23	急波、砕波 (やや急) 砕波が壁にやや強くあたる	砕波点よりごくわずかのしぶきであるが壁の S.W.L 上 35cm までとぶ	
" -2	"	1.19	2.2	1.64	195	220	11.9	12.8	13.0	0.061	0.0580	0.0227	61	38	14.3	1.20	1.12	26	"	砕波点より多い多くのしぶきが壁面 S.W.L 上 40cm までとぶ	
" -3	"	1.19	4.5	1.66	198	220	11.1	11.9	11.0	0.056	0.0540	0.0227	54	37	13.0	1.17	1.09	32	急波、砕波	"	
" -4	"	1.22	6.7	1.64	200	231	12.8	13.8	17.0	0.064	0.0600	0.0217	59	39	11.0	0.86	0.80	30	150cm より砕けかけ、少し急な流れ波で砕波	砕波点よりしぶきが比較的少くなり S.W.L 上 35cm までとぶ	
5-B-1	5.0	1.40	0.0	1.77	248	306	10.6	11.6	12.0	0.043	0.0380	0.0163	67	6	14.3	1.35	1.23	36	少し急な流れ波で完全砕波	砕波点よりしぶきが比較的少く、壁まで達せずはい上りよりしぶきは沖側へはね返る	
" -2	"	1.40	2.2	1.79	251	306	11.1	12.1	13.5	0.044	0.0400	0.0163	71	9	14.0	1.26	1.16	33	"	砕波点よりわずかのしぶきが壁面 S.W.L 上 40cm までとぶ	
" -3	"	1.40	4.5	1.77	248	306	10.3	11.3	13.0	0.042	0.0370	0.0163	69	10	14.7	1.43	1.30	23	"	砕波点より多い多くのしぶきが壁面 S.W.L 上 55cm までとぶ	
" -4	"	1.40	6.7	1.75	245	306	10.5	11.5	13.0	0.043	0.0380	0.0163	69	20	12.7	1.21	1.10	25	130cm より砕けかけ、流れ波で完全砕波	はい上りによるものも時々わずかのしぶき S.W.L 上 40cm 以上	
5-C-1	5.0	1.91	0.0	1.89	361	568	10.3	11.0	7.5	0.029	0.0190	0.0088	98	$\frac{R_u}{H}$ 514.7	$\frac{R_u}{H}$ 50	$\frac{R_u}{H_0}$ 4.85	$\frac{R_u}{H_0}$ 4.55	31	ゆるい急波で部分的砕波	砕波点より、しぶきなしはい上りよりしぶき多量で S.W.L 上 90cm までとび上る	
" -2	"	1.88	2.2	1.94	365	551	9.8	10.5	—	0.027	0.0190	0.0091	95	514.3	43	4.39	4.09	35	急波、砕波	砕波点よりごくわずかにしぶきがとぶが壁まで達せずはい上りよりしぶきが S.W.L 上 43cm までとぶ	
" -3	"	1.88	4.5	1.89	356	551	9.8	10.5	—	0.028	0.0190	0.0091	95	5	38	—	3.88	—	3.62	急波、砕波	はい上りより多く、多くは上りより多く 38cm
" -4	"	1.88	6.7	1.87	352	551	10.7	11.5	13.5	0.030	0.0210	0.0091	97	19	38	—	3.56	—	3.36	110cm より砕けかけ、少し急な流れ波で完全砕波	砕波点はい上りよりしぶき多く、壁面 S.W.L 上 38cm までとぶ

表-1(c) 鉛直

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_b (cm)	S_p (cm)	S_p/H	S_p/H_0	r (%)	砕波状況	越波状況
10-A-1	10.0	1.22	0.0	1.70	208	2.32	15.9	17.1	—	0.076	0.074	0.0431	65	75	4.72	4.39	33	砕波せず、重複波の要素少し入り、強く壁にぶつかり、三角波立つ	砕波点よりしおきなし、はい上りによるもの、しおき多く(水境大) S.W.L.上 75cm までとび上る
" -2	"	1.22	2.2	1.75	214	2.32	14.8	16.0	19.0	0.069	0.069	0.0431	63	85	5.75	5.31	38	少し離れた部分的砕波、やや強く壁にぶつかる	砕波点よりしおきなし、はい上りより多くの水境 88cm までとび上る
" -3	"	1.20	4.5	1.79	215	2.25	14.2	15.3	20.0	0.066	0.068	0.0444	66	75	5.28	4.90	33	透く寸前に壁にぶつかり、砕波	はい上りより多くの水境 75cm は
" -4	"	1.22	6.7	1.75	214	2.32	14.7	15.9	19.5	0.069	0.069	0.0431	66	75	5.10	4.72	33	砕波せず、透く寸前に壁にぶつかり、砕波	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
10-B-1	10.0	1.43	0.0	1.82	260	3.18	19.2	21.0	26.0	0.074	0.066	0.0315	85	75	3.91	3.57	32	砕波せず、透く寸前に壁にぶつかり、砕波	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -2	"	1.40	2.2	1.82	255	3.06	18.1	19.8	22.0	0.071	0.065	0.0327	80	75	4.15	3.89	27	砕波せず、透く寸前に壁にぶつかり、砕波	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -3	"	1.40	4.5	1.79	251	3.06	17.3	18.9	23.0	0.069	0.062	0.0327	80	68	3.94	3.60	20	砕波せず、透く寸前に壁にぶつかり、砕波	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -4	"	1.39	6.7	1.79	249	3.01	18.2	19.9	22.0	0.073	0.066	0.0333	80	60	3.30	3.20	20	砕波せず、透く寸前に壁にぶつかり、砕波	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
10-C-1	10.0	1.93	0.0	2.13	411	5.80	11.1	11.8	—	0.027	0.020	0.0172	120	—	8.10	7.63	24	砕波せず、壁に強くぶつかる	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -2	"	1.88	2.2	2.17	408	5.51	8.9	9.5	—	0.022	0.017	0.0182	110	—	8.98	8.42	19	砕波せず、壁に強くぶつかる	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -3	"	1.90	4.5	2.20	418	5.61	8.4	9.0	20.0	0.020	0.016	0.0178	110	—	8.70	8.11	19	砕波せず、壁に強くぶつかる	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は
" -4	"	1.90	6.7	1.92	365	5.61	9.6	10.3	19.5	0.026	0.018	0.0178	105	0	7.60	7.08	13	砕波せず、壁に強くぶつかる	砕波点よりしおきなし、はい上りより非常に多くの水境 75cm は

表-2(a) 勾配 1:0.6

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_b (cm)	R_0 (cm)	R_0/H	R_0/H_0	r (%)	砕波状況	越波状況
0-A-1	0.0	1.21	0.0	1.63	201	228	11.8	12.7	—	0.059	0.056	0.0	45	7.4	0.63	0.58	18	透波せず	越波せず
" -2	"	1.22	2.2	1.57	191	—	12.1	—	—	0.063	—	—	42	8.3	0.69	—	19	"	"
" -3	"	1.22	4.5	1.56	190	—	12.0	—	—	0.063	—	—	42	7.4	0.62	—	11	急な透波	"
" -4	"	1.21	6.7	1.60	193	—	12.5	—	—	0.065	—	—	38	110	0.51	—	13	崩れ波のまゝ進行	"
0-B-1	0.0	1.41	0.0	1.68	237	309	11.5	12.6	—	0.049	0.041	0.0	50	8.8	0.77	0.70	32	透波	越波せず
" -2	"	1.42	2.2	1.67	237	—	12.0	—	—	0.051	—	—	50	8.3	0.69	—	28	"	"
" -3	"	1.45	4.5	1.85	268	—	13.7	—	—	0.051	—	—	55	8.3	0.71	—	33	急な透波	"
" -4	"	1.44	6.7	1.73	249	—	13.4	—	—	0.054	—	—	45	90	0.60	—	29	砕れ波のまゝ進行して衝突	"
0-C-1	0.0	1.92	0.0	1.92	369	574	7.5	8.0	—	0.020	0.014	0.0	80	8.3	1.11	1.04	25	透波	越波せず
" -2	"	1.92	2.2	1.92	369	—	7.8	—	—	0.021	—	—	75	9.2	1.18	—	39	きれいな透波	"
" -3	"	1.93	4.5	1.90	367	—	8.6	—	—	0.023	—	—	78	9.4	1.09	—	25	130cm位より砕けかける	"
" -4	"	1.96	6.7	1.83	369	—	8.8	—	—	0.026	—	—	70	8.6	0.98	—	21	150cm位より砕けかける	"

表 2 (c) 勾配 1:0.6

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕波状況	変状	越波状況
10-A-1	10.0	1.18	0.0	1.70	201	2.17	13.4	14.4	20.0	0.067	0.0660	0.0461	57	26	31.2	2.33	2.17	39	部分的砕波、少し重畳的になる反斜率本で三角波がたつ前突点である。やゝ強く壁にぶつかる	"	街突点より垂直にしぶきが少しとぶ " 高さ 30cm
" -2	"	1.22	2.2	1.70	208	"	14.6	"	19.0	0.070	"	"	49	21	30.8	2.11	"	33	"	"	"
" -3	"	1.22	4.5	1.73	212	"	14.6	"	20.0	0.069	"	"	47	18	45.5	3.12	"	30	時々比較的多くしぶきが越す。(街突点からしぶきが少い) しぶき高 25cm 高さ 54cm	"	"
" -4	"	1.23	6.7	1.70	209	"	10.0	"	19.0	0.048	"	"	52	13	32.1	3.21	"	33	はい上ったものから少ししぶきが越す	"	"
10-B-1	10.0	1.40	0.0	1.82	254	3.06	15.5	16.9	18.5	0.061	0.0550	0.0327	75	0	45.5	2.93	2.69	30	部分的砕波、非常に強く壁にぶつかる、三角波成立つ	"	街突点より少し、しぶきが垂直にとぶ
" -2	"	1.37	2.2	1.77	242	"	12.8	"	18.0	0.053	"	"	75	0	52.7	4.12	"	27	"	"	"
" -3	"	1.41	4.5	1.80	252	"	14.5	"	17.0	0.058	"	"	73	0	45.1	3.11	"	36	部分的砕波、静かに街突する(もとど波と進行波)	"	"
" -4	"	1.42	6.7	1.81	257	"	10.9	"	17.0	0.042	"	"	75	0	42.1	3.86	"	30	壁根元で砕波する	"	はい上ったものから比較的多くしぶきが越す
10-C-1	10.0	1.98	0.0	2.10	395	5.50	6.1	6.5	13.5	0.015	0.0120	0.0182	111	0	101.0	16.57	15.55	50	部分的砕波、壁に強くぶつかる。回を重ねると三角波になる	"	街突点はごく静かである
" -2	"	1.98	2.2	2.20	414	"	8.1	"	12.0	0.020	"	"	109	0	92.5	11.41	"	47	もとど波に強い、街突点から沖側へしぶきが少しとぶ	"	"
" -3	"	1.88	4.5	2.10	395	"	8.7	"	13.0	0.022	"	"	99	0	87.0	10.00	"	43	はい上りからのしぶきが相当強越す	"	"
" -4	"	1.91	6.7	2.13	400	"	9.0	"	14.0	0.023	"	"	100	0	90.0	10.00	"	40	しぶき高 350cm 街突点からしぶきは少し	"	しぶき高 400cm、しぶき高 65cm

表 3 (a) 勾配 1:1

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕波状況	変状	越波状況
0-A-1	0.0	1.21	0.0	1.61	195	228	11.0	11.8	"	0.056	0.052	0.0	40	95	9.2	0.92	0.78	5	きれいは急流で完全砕波	"	越波、しぶき共なし
" -2	"	1.21	2.2	1.62	196	"	11.0	"	"	0.056	"	"	41	90	9.7	0.88	"	5	急流で完全砕波	"	"
" -3	"	1.21	4.5	1.65	200	"	10.3	"	"	0.051	"	"	42	90	9.2	0.89	"	2	"	"	街突点から非常にわずかのしぶきが越す程度
" -4	"	1.20	6.7	1.65	192	"	11.3	"	"	0.059	"	"	38	100	8.0	0.71	"	10	やゝ崩れ波に近く前面 165cm より砕けかけ	"	街突点からごくわずかのしぶきが越す程度
0-B-1	0.0	1.40	0.0	1.69	237	306	11.4	12.5	"	0.048	0.041	0.0	49	87	10.8	-0.95	0.87	14	急流で完全砕波	"	越波せず、全然しぶきも出ず
" -2	"	1.38	2.2	1.73	239	"	11.8	"	"	0.049	"	"	48	80	10.4	0.88	"	13	急流で完全砕波、とびこみ点と街突点と同一	"	越波、しぶき共なし
" -3	"	1.39	4.5	1.70	236	"	11.1	"	"	0.047	"	"	52	87	9.9	0.89	"	15	130cm より砕けかけて急流で完全砕波する	"	街突点よりごくわずかのしぶきが越す程度
" -4	"	1.40	6.7	1.72	241	"	10.8	"	"	0.045	"	"	50	85	9.4	1.87	"	14	140cm より砕けかけて急流に近い崩れ波で完全砕波	"	わずかにしぶきが越す(越波の限界ともいえる)
0-C-1	0.0	1.90	0.0	1.94	369	561	8.1	8.7	"	0.022	0.016	0.0	79	69	12.1	1.49	1.39	2	きれいは急流で完全砕波	"	越波なし
" -2	"	1.90	2.2	1.94	369	"	8.7	"	"	0.024	"	"	77	68	10.4	1.19	"	10	急流で完全砕波	"	越波しない街突点よりしぶきがわずかに越す
" -3	"	1.91	4.5	1.95	372	"	9.0	"	"	0.024	"	"	78	70	9.4	1.04	"	21	やゝ急流に近く 110cm より砕けかけて完全砕波	"	非常にわずかのしぶきが街突点より越す
" -4	"	1.89	6.7	1.93	365	"	9.1	"	"	0.025	"	"	78	72	10.1	1.11	"	16	崩れ波に近く 130cm より砕けかけてゆるく砕波	"	やゝ多くのしぶきが越す(越波の限界ともいえる)

表-3(b) 勾 配 1:1

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
5-A-1	5.0	1.20	0.0	1.67	200	2.24	11.5	12.3	19.0	0.058	0.055	0.0223	48	46	12.0	1.04	0.85	21	前面90cmで少し崩れかけた巻波 とびこみ点明確に分らず	街突点よりごくわずかのしぶきが越す程度 はいまふきが多いしぶきが越す程度 150cm
"-2	"	1.20	2.2	1.66	199	"	11.1	"	17.5	0.056	"	"	49	43	11.3	1.02	"	28	前面100cmで	街突点より多いしぶきが越す 可成り多いしぶきが越す 200cm
"-3	"	1.21	4.5	1.65	200	"	10.9	"	18.0	0.055	"	"	48	42	11.0	1.01	"	33	前面110cmで	可成り多いしぶきが越す 時々比較的多く越す
"-4	"	1.20	6.7	1.59	191	"	10.5	"	"	0.055	"	"	48	42	10.5	1.00	"	"	"	街突点から越さない、はい上ったものからは越す 如くかからずかししぶきが越す程度 街突点からは比較的多くしぶきが越す かにしぶきが越す
5-B-1	5.0	1.37	0.0	1.77	243	2.92	10.2	11.2	15.5	0.042	0.038	0.0171	75	63	15.8	1.55	1.28	36	巻波	街突点より多いしぶきが越す 街突点より多量にしぶきが越す
"-2	"	1.41	2.2	1.74	245	"	9.6	"	13.0	0.039	"	"	68	56	15.0	1.56	"	60	"	街突点より多いしぶきが越す 街突点より多量にしぶきが越す
"-3	"	1.41	4.5	1.77	250	"	10.1	"	19.0	0.040	"	"	69	58	12.7	1.26	"	28	前面130cmより崩れる	街突点より多いしぶきが越す 街突点より多量にしぶきが越す
"-4	"	1.40	6.7	1.78	250	"	10.0	"	"	0.040	"	"	68	56	11.0	1.10	"	"	"	街突点より多いしぶきが越す 街突点より多量にしぶきが越す
5-C-1	5.0	1.91	0.0	1.95	374	5.67	9.8	10.4	"	0.026	0.018	0.0088	90	79	32.3	3.29	3.10	44	部分の砕波して、法面にやや弱く ぶつかか	しぶきなし 街突点よりわずかにしぶきが越す 10cm位までと ぶのみ
"-2	"	1.91	2.2	1.85	353	"	9.2	"	"	0.026	"	"	90	0	25.9	2.82	"	32	ゆるく部分的に砕波する	街突点よりわずかにしぶきが越す しぶきが越す
"-3	"	1.90	4.5	1.85	351	"	9.5	"	7.0	0.027	"	"	85	10	26.8	2.83	"	24	ゆるく法根元で砕波する。もどり 流れや強い	街突点よりわずかにしぶきが越す しぶきが越す
"-4	"	1.89	6.7	2.08	391	"	7.7	"	"	0.020	"	"	85	21	21.6	2.81	"	24	ゆるく完全砕波	街突点より多量にしぶきが越す しぶきが越す

表-3(c) 勾 配 1:1

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
10-A-1	10.0	1.20	0.0	1.73	208	2.24	14.3	15.3	27.0	0.069	0.068	0.0446	47	20	27.0	1.89	1.77	59	50cmより砕けかけて街突点のちに砕波 する。大きく街突、形のくすれた巻波、も どりが流れ強い	砕波が比較的強く法面にぶつか。街 突点よりしぶきが越す、そのしぶき長 57cm 三角波が生じる
"-2	"	1.22	2.2	1.76	215	"	13.0	"	22.0	0.061	"	"	45	20	29.8	2.29	"	40	60cmより砕けかけて	しぶき長 55cm 三角波が生じる
"-3	"	1.23	4.5	1.77	218	"	11.8	"	15.0	0.054	"	"	42	20	30.1	2.53	"	33	80cmより砕けかけて、形のよい巻波に近 くなる。砕波	街突点より多量にしぶきが越す しぶきが越す
"-4	"	1.23	6.7	1.77	217	"	10.5	"	18.0	0.048	"	"	46	26	24.9	2.37	"	26	100cmより砕けかけて	しぶき長 62cm しぶき長 300cm、しぶき長 50cm
10-B-1	10.0	1.39	0.0	1.86	258	3.01	11.3	12.4	15.0	0.044	0.041	0.0332	55	13	32.7	2.90	2.64	36	巻波で部分的に砕波し比較的強く法面にぶ つかり厚くはい上る	街突点よりごくわずかしぶきが越すと程度 街突点よりしぶきが越す、比較的よくとび しぶき長 40cm、しぶき長 80cm
"-2	"	1.37	2.2	1.86	255	"	10.0	"	15.0	0.039	"	"	51	18	28.4	2.84	"	36	" V=0 の少し街突がゆるい 部分的に砕波して法面にややゆるくぶつか る。厚くはい上る	街突点より多量にしぶきが越す しぶきが越す
"-3	"	1.37	4.5	1.85	254	"	9.5	"	16.0	0.037	"	"	50	18	27.2	2.86	"	35	部分的に砕波して、法面で白くおわ りなりぶつかかり強い。厚くはい上り、もど り流れや強い	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す
"-4	"	1.39	6.7	1.89	253	"	8.7	"	20.0	0.034	"	"	54	"	29.6	3.40	"	38	砕波せず、波力大で非常に強く法面にぶ つかり厚くはい上る	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す
10-C-1	10.0	1.90	0.0	1.96	376	5.61	9.8	10.5	"	0.036	0.019	0.0178	103	"	100	10.20	(S_p/H) (S_p/H_0)	48	部分的に砕波して強く法面にぶつか (V=0, 10m/secに比べてやや弱くぶつか る。非常に強くはい上る速度大、薄くはい上る	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す
"-2	"	1.90	2.2	1.92	365	"	9.1	"	"	0.025	"	"	98	"	136	15.00	"	48	"	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す
"-3	"	1.89	4.5	1.90	359	"	9.4	"	10.0	0.026	"	"	98	0	141	15.00	"	52	部分的に砕波して強く法面にぶつか (V=0, 10m/secに比べてやや弱くぶつか る。非常に強くはい上る速度大、薄くはい上る	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す
"-4	"	1.88	6.7	1.89	355	"	10.6	"	11.0	0.030	"	"	90	0	159	15.00	"	45	完全砕波、壁にぶつかかる波力少となる 90cmより砕けかける	街突点より多量にしぶきが越すと程度 しぶきが越す

表 4 (a) 勾 配 1:2

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_a (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
0-A-1	0.0	1.22	0.0	1.62	198	233	12.4	13.4	—	0.063	0.057	0.0	30	78	8.2	0.69	0.64	32	急で小さな巻波でどおり流れの比較的弱い完全砕波	衝突点は明かであるがその点からごく少しのしおきがとぶ程度。はい上りゆるく崩れやすい
" 2	"	1.20	2.2	1.62	194	—	11.6	—	—	0.060	—	—	32	73	8.0	0.71	—	19	"	衝突点からしおきがとぶ程度。はい上りゆるく崩れやすい
" 3	"	1.22	4.5	1.62	198	—	10.9	—	—	0.055	—	—	29	73	7.6	0.73	—	10	崩れ波に近い巻波, 110cmより砕けかけける, 完全砕波	衝突点は明かであるがその点よりわずかにしおきがとぶ程度
" 4	"	1.21	6.7	1.60	194	—	10.7	—	—	0.055	—	—	29	79	7.2	0.69	—	11	崩れ波, 140cmより砕けかけける	とび込み点よりわずかにしおきがとぶ
0-B-1	0.0	1.41	0.0	1.73	244	310	12.9	14.1	—	0.053	0.046	0.0	41	85	9.3	0.76	0.70	8	やゝ急な巻波, 完全砕波	衝突点より, わずかにしおきがとぶ程度
" 2	"	1.40	2.2	1.73	242	—	13.2	—	—	0.055	—	—	40	89	8.9	0.70	—	14	巻波, 完全砕波	やゝ, 原くはい上る
" 3	"	1.40	4.5	1.71	240	—	13.1	—	—	0.055	—	—	40	87	8.9	0.70	—	12	"	しおき長さ 50~30cm
" 4	"	1.40	6.7	1.71	240	—	12.2	—	—	0.051	—	—	40	87	8.1	0.71	—	14	急波に近い崩れ波 120cmより砕けかけける。完全砕波	しおき長さ 65cm (水平距離)
0-C-1	0.0	1.92	0.0	1.94	373	583	8.9	9.5	—	0.024	0.016	0.0	71	66	10.2	1.21	1.14	11	急波で衝突点が砕波点より沖側になる。完全砕波	衝突点より比較的多くのしおきがとぶ程度
" 2	"	1.92	2.2	1.93	370	—	8.5	—	—	0.023	—	—	67	69	10.0	1.26	—	13	急波で衝突点と砕波点が等しくなる。完全砕波	衝突点より比較的多くのしおきがとぶ
" 3	"	1.91	4.5	1.97	377	—	8.8	—	—	0.023	—	—	66	73	10.0	1.23	—	19	前面 150cmより砕けかけ崩れかゝった巻波で完全砕波	しおき長さ 40cm
" 4	"	1.94	6.7	1.95	373	—	9.5	—	—	0.025	—	—	63	69	9.6	1.12	—	14	前面 130cmより砕けかけ崩れ波で完全砕波	しおき長さ 80cm

表 4 (b) 勾 配 1:2

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_a (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
5-A-1	5.0	1.20	0.0	1.67	200	2.24	12.5	14.1	18.0	0.063	0.060	0.0223	32	38	15.9	1.27	1.19	30	非常に急な巻波で部分的砕波し法面に厚くはい上る	衝突点よりわずかにしおきがとぶ程度。はい上りゆるく崩れやすい
" 2	"	1.22	2.2	1.66	203	—	13.9	—	16.5	0.068	—	—	33	37	15.6	1.12	—	22	巻波, 部分的砕波。厚くはい上る	比較的強いしおきがとぶ。はい上りゆるく崩れやすい
" 3	"	1.20	4.5	1.73	208	—	12.9	—	17.5	0.062	—	—	34	33	14.2	1.10	—	25	70cmより砕けかけ少し崩れかゝった巻波で砕波する衝突点, 砕波点同じ	しおき長さ 60cm 高さ 40cm
" 4	"	1.23	6.7	1.69	208	—	12.9	—	17.0	0.062	—	—	31	35	13.2	1.02	—	25	100cmより砕けかけ崩れ波でわずかに巻く砕波	衝突点より多量のしおきがとぶ
5-B-1	5.0	1.40	0.0	1.78	249	3.06	10.2	11.5	17.5	0.041	0.037	0.0163	48	40	15.7	1.54	1.40	22	巻波で部分的砕波	衝突点より比較的多くのしおきがとぶ
" 2	"	1.43	2.2	1.78	255	—	9.3	—	19.0	0.037	—	—	47	33	14.5	1.56	—	13	急な巻波で砕波	しおき長さ 110cm
" 3	"	1.41	4.5	1.77	250	—	9.7	—	18.0	0.039	—	—	48	32	13.9	1.43	—	14	完全砕波	$V_p=10m/sec$ よりしおきやゝ少い
" 4	"	1.42	6.7	1.74	247	—	11.7	—	17.0	0.047	—	—	47	33	14.2	1.21	—	15	崩れ波で砕波	しおき長さ 110cm
5-C-1	5.0	1.91	0.0	1.96	355	5.68	10.5	11.7	—	0.030	0.020	0.0088	68	—	25.9	2.42	2.31	31	砕けずして法にはい上る。砕けず, ゆゆるく	衝突点より少し, しおきがとぶ
" 2	"	1.90	2.2	1.96	359	—	11.2	—	6.0	0.031	—	—	64	7	25.6	2.28	—	28	ゆるい巻波で, ゆゆるく砕波	しおき長さ 60cm
" 3	"	1.88	4.5	1.93	365	—	11.1	—	5.5	0.030	—	—	67	11	23.3	2.10	—	22	"	しおき長さ 130cm
" 4	"	1.90	6.7	1.95	370	—	12.0	—	6.5	0.032	—	—	66	9	20.3	1.69	—	25	90cmより砕けかけやゝ崩れ波でゆるく砕波	衝突点から比較的多くのしおきがとぶ

表一4(c) 勾 配 1:2

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_e (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
10-A-1	10.0	1.21	0.0	1.71	207	2.28	12.2	13.1	26.0	0.059	0.057	0.0439	27	10	22.6	1.85	1.90	35	急な急波で完全砕波、根元より沖 40 cm まで崩れ波に近い	しぶきなし
" -2	"	1.22	2.2	1.72	210	—	12.3	—	24.0	0.063	—	—	27	15	21.3	1.60	—	41	"	"
" -3	"	1.23	4.5	1.73	213	—	11.7	—	20.0	0.055	—	—	12	10	21.4	1.83	—	51	完全砕波	"
" -4	"	1.23	6.7	1.74	214	—	11.8	—	20.0	0.055	—	—	17	13	21.0	1.78	—	39	60cmより砕けかけて完全砕波、急波	とびこみ点附近よりわずかにしぶきが越す
10-B-1	10.0	1.38	0.0	1.84	254	2.97	11.8	12.9	18.5	0.046	0.043	0.0337	30	3	24.0	2.03	1.99	31	110cmより砕けかける、崩れ波	砕波、とびこみ点(-12cm)附近からごくわずかにしぶきとどび、はい上ったものは遠くへ送られる
" -2	"	1.39	2.2	1.83	254	—	11.9	—	15.0	0.047	—	—	26	8	24.2	2.03	—	33	急な急波で 60cmより砕けだす、完全砕波	しぶきはとどび、はい上ったものは遠くへ送られる
" -3	"	1.40	4.5	1.81	253	—	11.2	—	14.5	0.044	—	—	30	12	22.9	2.04	—	24	急な急波で 60cmより砕けだす、完全砕波	しぶきはとどび、はい上ったものは遠くへ送られる
" -4	"	1.39	6.7	1.81	252	—	10.5	—	15.0	0.042	—	—	34	15	22.8	2.17	—	31	急な急波で 60cmより砕けだす、完全砕波	しぶきはとどび、はい上ったものは遠くへ送られる
10-C-1	10.0	1.88	0.0	1.92	361	5.51	12.4	13.3	—	0.034	0.024	0.0182	—	—	27.4	2.21	2.11	37	崩れ波、完全砕波、法面にあまり強くはあたらぬ。しぶきの圧力大となる	前突点より非常に多くしぶきが越す
" -2	"	1.86	2.2	1.97	366	—	12.7	—	—	0.035	—	—	—	—	26.6	2.09	—	29	砕けず、薄くゆるやかにはい上るが急かな	もどり流れ早い
" -3	"	1.87	4.5	1.91	357	—	13.6	—	14.0	0.038	—	—	—	0	26.2	1.93	—	37	40cmより少し砕けかける部分的砕波	とびこみ点よりしぶきが越す
" -4	"	1.88	6.7	1.93	363	—	12.4	—	13.0	0.034	—	—	—	0	27.2	2.19	—	30	80cmより砕けかける 急波、砕波	しぶき長さ 250cm

表一5(a) 勾 配 1:3

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_e (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
0-A-1	0.0	1.22	0.0	1.59	194	232	12.1	13.0	12.0	0.062	0.056	0.0	15	75	8.2	0.70	0.65	3	きれいな急波で完全砕波する、ゆるく法面をはい上る	しぶきなし、越波しない。前突点がごくゆるい
" -2	"	1.21	2.2	1.61	195	—	11.4	—	12.0	0.059	—	—	20	83	8.2	0.73	—	21	きれいな急波で完全砕波する、ゆるく法面をはい上る	"
" -3	"	1.21	4.5	1.61	195	—	11.1	—	14.0	0.057	—	—	22	85	7.8	0.72	—	2	急な急波で 140cmよりやや砕けかけて完全砕波	前突点二ヶ所認められが、前突点よりわずかのしぶきがとびそ長さ 30cm
" -4	"	1.20	6.7	1.61	193	—	11.3	—	15.0	0.059	—	—	23	90	7.4	0.67	—	1	急な急波で 190cmより砕けかける。砕波	しぶき長さ 50cm
0-B-1	0.0	1.40	0.0	1.70	238	306	10.6	11.6	16.5	0.045	0.038	0.0	35	89	10.4	1.01	0.92	18	前突点附近で強く砕ける完全砕波、急な急波	しぶき越波ともなし
" -2	"	1.39	2.2	1.70	236	—	9.7	—	16.0	0.041	—	—	29	80	11.1	1.16	—	13	"	とびこみ点附近よりごくわずかのしぶきがとどぶ 20cm
" -3	"	1.39	4.5	1.70	236	—	10.3	—	14.5	0.044	—	—	30	85	10.3	1.05	—	10	急な急波	しぶき長さ 50cm
" -4	"	1.39	6.7	1.70	238	—	10.3	—	15.0	0.043	—	—	30	85	8.7	0.89	—	11	前突点より崩れかけて、崩れ波	しぶき長さ 60cm
0-C-1	0.0	1.89	0.0	1.90	359	555	7.3	7.8	11.5	0.020	0.014	0.0	62	68	11.3	1.58	1.48	3	急波で完全砕波	とびこみ点附近よりごくわずかのしぶきがとどぶ程度
" -2	"	1.91	2.2	1.92	367	—	8.4	—	12.0	0.023	—	—	57	75	9.4	1.12	—	7	"	"
" -3	"	1.92	4.5	1.90	365	—	8.4	—	13.0	0.023	—	—	54	78	9.7	1.21	—	12	崩れ波に近い急波、完全砕波	"
" -4	"	1.93	6.7	1.96	378	—	8.4	—	11.5	0.022	—	—	55	80	9.5	1.15	—	9	160cmより崩れかけ、崩れ波	しぶき長さ 70cm

表 5 (b) 勾配 1:3

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕波状況	越波状況
5-A-1	5.0	1.20	0.0	1.70	204	2.24	16.2	17.4	16.0	0.079	0.078	0.0223	17	58	12.7	0.78	0.73	13	浪波完全砕波、もどり流れ強い、衝突点明確にわからず	しぶき、越波なし
" -2	"	1.22	2.2	1.67	204	"	14.1	"	16.5	0.069	"	"	20	62	14.0	0.99	"	9	急な巻波で完全砕波	衝突点よりごくわずかにしぶきがとぶ、しぶき長 55cm
" -3	"	1.21	4.5	1.69	204	"	14.2	"	16.0	0.070	"	"	20	57	13.5	0.95	"	19	100cmより砕けかける、少し崩れかけた巻波	衝突点よりごくわずかにしぶきがとぶ、しぶき長 90cm
" -4	"	1.21	6.7	1.67	202	"	14.4	"	16.5	0.071	"	"	18	61	12.5	0.88	"	18	崩れ波、薄くはい上る	とびこみ点よりわずかのしぶきがとぶ、しぶき長 110cm
5-B-1	5.0	1.40	0.0	1.77	248	3.06	15.1	16.5	16.5	0.061	0.054	0.0163	28	65	14.8	0.98	0.90	20	きれいな巻波で完全砕波もどり流れ弱い、薄くはい上る	しぶき越波ともなし
" -2	"	1.41	2.2	1.76	248	"	15.1	"	12.0	0.061	"	"	28	68	14.4	0.95	"	15	巻波、完全砕波、もどり流れ弱い	しぶき越波ともなし
" -3	"	1.40	4.5	1.76	246	"	15.1	"	15.0	0.061	"	"	23	62	14.2	0.94	"	17	"	わずかのしぶきが衝突点よりとぶ、しぶき長 100cm
" -4	"	1.40	6.7	1.75	245	"	15.0	"	16.0	0.061	"	"	28	70	13.8	0.92	"	15	140cmより砕けかけて崩れ波となる	比較的多くのしぶきが衝突点よりとぶ、しぶき長 110cm
5-C-1	5.0	1.92	0.0	1.87	399	5.72	10.9	11.6	14.0	0.034	0.020	0.0087	49	28	18.1	1.66	1.56	15	巻波で砕波もどり流れ強い	時々いはい上ったものが越すものあり、しぶきなし(衝突点)
" -2	"	1.93	2.2	1.83	353	"	11.9	"	15.0	0.034	"	"	56	26	19.7	1.65	"	25	巻波で、衝突点で砕波	越波せず、衝突点からしぶきわずかとぶ
" -3	"	1.94	4.5	1.82	353	"	12.0	"	16.0	0.034	"	"	49	34	19.1	1.59	"	29	急な巻波で完全砕波	砕波点附近よりしぶきが比較的多い、時々越すものもあり
" -4	"	1.94	6.7	1.84	357	"	14.2	"	15.0	0.040	"	"	50	42	19.2	1.35	"	32	巻波に近い崩れ波、けわしさが少しとれる	" "

表 5 (c) 勾配 1:3

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_b (cm)	H/L	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H_0	r (%)	砕波状況	越波状況
10-A-1	10.0	1.21	0.0	1.70	206	2.28	14.8	14.4	16.5	0.072	0.070	0.0438	10	36	17.4	1.18	1.12	12	斜面の上もどり流れ、比較的強い、完全砕波	時々わずかに越流する程度、しぶきなし
" -2	"	1.22	2.2	1.69	206	"	14.8	"	17.0	0.072	"	"	11	33	16.8	1.14	"	18	斜面の頂上へ砕波つっこむ、きれいな完全砕波	時々比較的多くの水塊が越流する(越流する程度)
" -3	"	1.21	4.5	1.71	207	"	14.2	"	17.0	0.069	"	"	10	30	17.3	1.22	"	23	斜面の頂上 70cm より崩れかける、崩れ波に近い巻波	" "
" -4	"	1.23	6.7	1.69	208	"	14.1	"	16.0	0.068	"	"	17	40	17.3	1.23	"	15	法取前面 120cm より崩れかける。崩れ波	とびこみ点からしぶきがわずかに越す
10-B-1	10.0	1.40	0.0	1.80	252	3.06	14.5	16.9	17.0	0.058	0.052	0.0327	15	3	18.7	1.29	1.22	18	衝突点明瞭でない、巻波、完全砕波	比較的多くの水塊が越流する。しぶきなし
" -2	"	1.42	2.2	1.79	254	"	14.0	"	16.5	0.055	"	"	17	9	19.8	1.41	"	12	衝突点明瞭でない。きれいな巻波、完全砕波	多量に越流する。しぶきはとばない。
" -3	"	1.39	4.5	1.83	254	"	13.8	"	18.0	0.054	"	"	15	12	19.4	1.40	"	10	110cmより一部分砕けかけて完全砕波、崩れ波に近い巻波	多量に越流する。とびこみ点より、ごく少ししぶきが越す
" -4	"	1.41	6.7	1.85	261	"	14.8	"	18.0	0.057	"	"	10	35	19.4	1.31	"	7	110cmより砕けかけて崩れる	多量に越流する。とびこみ点より比較的多数に越流する。とびこみ点が越す
10-C-1	10.0	1.86	0.0	1.94	351	6.12	12.3	6.5	17.0	0.034	0.021	0.0163	"	16	"	"	2.02	38	前面で砕けなく、完全な砕波で砕波	相当多量に流のようになっている越流
" -2	"	1.88	2.2	1.95	367	"	13.7	"	17.0	0.037	"	"	"	20	"	"	"	36	"	非常に多量に越流する。はい上ったものは背後 30cm の所へ落下する。
" -3	"	1.89	4.5	1.95	369	"	12.7	"	18.0	0.035	"	"	"	23	"	"	"	35	"	"
" -4	"	1.85	6.7	1.93	357	"	14.2	"	19.0	0.040	"	"	"	21	"	"	"	40	法取前面 110cm より砕けかけて崩れ波、完全砕波	V=20m/sec より越流量や、少い

表 1-7 曲線流返し堤における砕波および越波 勾配 1:0.6 胸壁部曲線 $r = 7.25\text{cm}$

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x_c (cm)	R_u (%)	r (%)	砕波状況	越波状況	状況
10-A-1	10.0	1.23	0.0	1.68	207	15.3	0.074	60	0	56	強く壁にぶつかる	やや多く越流する。パラベットより 50cm までなる。抛石線を描く。堤内、外の越波の比率 1:9	
" -2	"	1.23	2.2	1.72	212	13.2	0.062	60	0	48	砕波高 21cm 砕波高 13cm	堤内、外の越波の比率 5:5	
" -3	"	1.20	4.5	1.70	204	10.7	0.057	60	0	45	" 20cm " 11cm	ほとんど堤内地へ越波する (はい上りによるもの)。堤内、外の比率 8:2	
" -4	"	1.24	6.7	1.68	208	10.6	0.051	63	0	25	" 21cm " 13cm	衝突点からはい上りによるものから多量に越波する。越波長 260cm	比率 10:1
10-B-1	10.0	1.40	0.0	1.82	254	13.5	0.061	75	0	30	壁に強く砕波	衝突点からは越波せず、パラベットより大きくて前面 75cm の所へほとんど波が返る。比率 1:9	
" -2	"	1.37	2.2	1.77	242	12.8	0.053	75	10	27	崩れない壁に強くぶつかる	衝突点からは越波せず、丁度その壁波と巻波と同時に壁の根元につく	比率 5:5
" -3	"	1.41	4.5	1.80	252	14.5	0.058	73	0	36	砕波高 12cm	非常に多量に越波、越波長 250cm	比率 9:1
" -4	"	1.42	6.7	1.81	257	10.9	0.042	75	0	30	衝突点より砕けて流れ波のま	衝突点からはい上りから非常に多量に越波、越波長 260cm	比率 10:1

表 1-8 勾配 1:0.6 胸壁部鉛直

No.	h_1 (cm)	構 造	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u (cm)	R_u/H	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況	
10-A-1	10.0	プロックなし 胸壁 部 鉛直	1.20	0.0	1.70	204	12.8	0.063	60	—	20.0	1.56	0	41	砕波しない	衝突点より非常に多くの水塊が壁の根元までとびこみ、又時々やや多く越波する。はい上りからの越波量少い。時々衝突点からの越波がある
" -2	"	"	"	2.2	"	"	13.5	0.066	50	—	—	—	70	35	130cm より砕けかけて壁にぶつかる	
" -3	"	"	"	4.5	"	"	13.0	0.064	55	0	—	—	120	31	壁根元で砕波し強くあたる。110cm より砕けかける	はい上りからの越波量やや多い
" -4	"	"	"	6.7	"	"	12.8	0.063	50	0	—	—	160	22	" 170cm より砕けかける	" 時々衝突点から越波する
10-B-1	10.0	プロックなし 胸壁 部 鉛直	1.40	0.0	1.80	251	11.8	0.047	70	—	35.0	2.96	0	45	砕けない、強く壁にぶつかる。重浪的要素少し入る	衝突点よりわずかにしきりがとびこみはい上りは垂直に S.W. 上 35cm までとぶ
" -2	"	"	"	2.2	"	"	11.8	0.047	65	—	—	—	110	36	砕波しないが、壁より内側 20cm で砕波する。弱く壁にぶつかる	はい上ったものからはほとんど全額越波する
" -3	"	"	"	4.5	"	"	11.3	0.045	65	0	—	—	150	29	砕波しないが、壁より内側すくので砕波する。やや強く壁にぶつかる	"
" -4	"	"	"	6.7	"	"	11.8	0.047	70	0	—	—	190	28	崩れ波で丁度壁のところで砕波し、強くぶつかる。140cm より砕けかける	"

表 1-9 勾配 1:0.6

No.	h_1 (cm)	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	L_0 (cm)	H (cm)	H_0 (cm)	H_0/L_0	h_1/L_0	x_c (cm)	R_u (%)	R_u/H	r (%)	砕波状況	越波状況	状況
5-A-1	5.0	1.20	0.0	1.61	193	2.24	13.1	14.1	—	0.068	45	75	0.81	0.75	7	120cm 位より砕け始める。	衝突点よりやや多くしきりがとびこむ (越波する限界)
" -2	"	1.22	2.2	1.56	190	—	12.7	—	—	0.067	48	60	1.02	—	0	巻波に近い砕波	時々天端 15cm まではい上る
" -3	"	1.20	4.5	1.62	194	—	13.2	—	—	0.068	55	63	1.02	—	7	"	衝突点よりしきりがやや多く越す
" -4	"	1.20	6.7	1.62	194	—	14.0	—	—	0.072	48	70	0.86	—	7	190cm 位より砕け始める	はい上ったものより時々多く越波する
5-B-1	5.0	1.40	0.0	1.74	244	3.06	10.5	11.5	—	0.043	75	70	1.17	1.07	14	砕けないでもど流れと衝突	衝突点よりしきりが相当量越す
" -2	"	1.41	2.2	1.71	241	—	11.3	—	—	0.047	70	65	1.25	—	8	"	衝突点よりわずかにしきりがとびこむ
" -3	"	1.41	4.5	1.73	244	—	10.9	—	—	0.045	75	66	1.11	—	6	130cm より部分的に砕けたまゝ進行	衝突点より大に越波、越波長 180cm
" -4	"	1.42	6.7	1.69	240	—	11.5	—	—	0.048	65	63	0.90	—	7	"	衝突点より大に越波、越波長 180cm
5-C-1	5.0	1.66	0.0	1.75	326	3.36	10.9	11.7	—	0.034	100	22.4	2.05	1.91	10	衝突するまで砕けない	風圧と水分子の運動は越波を起す限界の風速である
" -2	"	1.91	2.2	1.75	335	—	10.0	—	—	0.030	105	21.8	2.18	—	1	巻波のまゝ砕けないで衝突し、その後砕波	衝突点よりやや多く越波、越波長 150cm
" -3	"	1.79	4.5	1.90	341	—	9.5	—	—	0.028	100	21.8	2.29	—	4	衝突点より大に越波、越波長 180cm	衝突点より大に越波、越波長 180cm
" -4	"	1.90	6.7	1.90	357	—	11.3	—	—	0.031	95	20	1.67	—	2	砕けないで巻波、衝突する	衝突点より大に越波、越波長 300cm

表 10 勾配 1:0.6 消波構造設置 (その1)

No.	h_1 (cm)	構 造	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u/H (%)	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
5-A-1	5.0	$h_1=0$ 上 13cm に中空プロック 2t を 122 個設置した	1.20	0.0	1.60	192	13.0	0.068	認められず	65	0	32	ブロック前面法に於てはい上る。急波、砕波、もど	ブロック前面法の頂部に波がぶつかりそこよりごくわずかのしぶきが堤防上を越す。ブロック壁間水面上昇
"-2	"	"	"	2.2	"	"	"	"	"	45	"	21	"	"
"-3	"	"	"	4.5	"	"	"	"	"	50	"	26	"	"
"-4	"	"	"	6.7	"	"	"	"	"	45	"	12	140cm より砕けかける	ブロック前面法より、比較的多くのしぶきが越す
5-B-1	5.0	"	1.40	0.0	1.70	238	11.0	0.046	認められず	40	5.0	5	砕波した後ブロックの上側に沿うてはい上る。もどり流れ弱い、急波	非常にわずや、とびこみ点よりしぶきが越す
"-2	"	"	"	2.2	"	"	10.8	0.045	"	45	6.0	16	急波、砕波 $r=0$ や強く壁にあたる	ぶつかり点よりごくわずかししぶきが越す
"-3	"	"	"	4.5	"	"	10.8	0.045	"	70	7.0	21	130cm の所より砕けかける。 $V_p=10$ m/sec よりやや強く壁にあたる	ぶつかり点(ブロック法)よりわずかにしぶきが越す
"-4	"	"	"	6.7	"	"	12.3	0.052	"	60	7.5	22	160cm の所より砕けかける。やや強く壁に破れを及ぼす	"
5-C-1	5.0	"	1.90	0.0	1.90	361	9.8	0.027	認められず	30	0	28	前面 35cm のブロック上に通行波がぶつかる。砕波しないままぶつかる	はい上りなし、ブロック上のしぶきがわずかに越す
"-2	"	"	"	2.2	"	"	9.8	0.027	"	30	"	33	"	"
"-3	"	"	"	4.5	"	"	11.0	0.030	"	45	"	36	"	$V_p=0$, 10m/sec より少し急波位が多い程度
"-4	"	"	"	6.7	"	"	10.8	0.030	"	45	"	30	130cm より砕けかける。崩れ波に近い。	相対風速波 (ぶつかり点より) する

表 11 勾配 1:0.6 消波構造設置 (その2)

No.	h_1 (cm)	構 造	T (sec)	V_m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x_c (cm)	x_b (cm)	R_u/H (%)	r (%)	砕 波 状 況	越 波 状 況
10-A-1	10.0	$h_1=0$ 上 17cm に中空プロック 2t 169 個設置	1.20	0.0	1.70	330	13.8	0.068	認められず	50	12.0	20	急波、砕波、やや強く壁にあたる	とびこみ点おおよびはい上りよりごくわずかのしぶきが越す
"-2	"	"	"	2.2	"	"	13.0	0.064	"	45	11.0	23	80cm より砕けかけ急波、砕波、壁にやや強くあたる	"
"-3	"	"	"	4.5	"	"	13.0	0.064	"	48	—	23	100cm より砕けかけ急波、砕波	とびこみ点からわずや、はい上りよりやや多くしぶきが越す
"-4	"	"	"	6.7	"	"	13.0	0.064	"	70	—	27	120cm~130cm より砕けかけて崩れ波に近い、壁にやや強くあたる	とびこみ点おおよびはい上りより比較的多くしぶきが越す
10-B-1	10.0	"	1.40	0.0	1.80	251	13.5	0.053	認められず	35	11.0	11	急波、砕波、比較的強く壁にあたる	ごくわずかのしぶきとびこみ点より越す。はい上りから時々ごくわずかのしぶきが越す
"-2	"	"	"	2.2	"	"	13.8	0.055	"	33	11.0	20	部分砕波、壁に強くあたる	とびこみ点より越す。はい上りによるものもやう
"-3	"	"	"	4.5	"	"	12.8	0.051	"	35	—	25	110cm より砕けかける。壁にやや強くあたる	とびこみ点よりわずやはい上りによるものややう
"-4	"	"	"	6.7	"	"	13.8	0.055	"	45	15.0	20	"	とびこみ点よりわずやはい上りによるものが $V_p=20$ m/sec よりやや多くのしぶきが越す
10-C-1	10.0	"	1.90	0.0	2.00	204	8.9	0.023	認められず	—	40	35	砕けなく、弱く前面 30cm のブロック上にとびこむ	越波しなく、ごくわずかししぶきが越すのみ
"-2	"	"	"	2.2	"	"	8.5	0.022	"	—	40	41	"	"
"-3	"	"	"	4.5	"	"	9.3	0.024	"	—	40	35	"	とびこみ点よりわずかししぶきが越す
"-4	"	"	"	6.7	"	"	10.6	0.028	"	—	50	26	130cm より砕けかける。とびこみ点 22cm	"

表 12 関西電力第3発電所, 前面防潮堤風浪実験

No	湖位 (m) (T.P.+)	断面形状および 消波ブロックの種類	T (sec)	H (cm)	H/L	V _m (m/sec)	R _a (cm)	R _a /H	越波	状況	況
1-1	3.00	断面, 図-26 中空 1.6 t 12個/m	1.95	10.0	0.037	0.0	17.0	1.7	所々, 天端上 3~4 cm まではい上る。そしてわずかに越波する		
1-2	3.00	"	1.50	11.5	0.042	4.5	15.0	1.3	衝突点よりわずかのしぶきが越す。はい上った所より。相当多く越波する		
2-1	2.50	"	1.50	10.0	0.037	0.0	13.0	1.3	越波, 越波なし		
2-2	2.50	"	1.54	9.0	0.034	4.5	8.0	0.9	とびこみ点よりわずかの越波あり, 越波なし。壁前面 45cm の所で越波でとびこむ		
3-1	2.25	"	1.52	10.0	0.046	0.0	5.5	0.6	壁前面 45cm の所でとびこみ点よりわずかの越波, 越波なし		
3-2	2.25	"	1.54	8.5	0.032	4.5	5.0	0.6	"		

表 13

No.	湖位 (m) (T.P.+)	断面形状および 消波ブロックの種類	T (sec)	H (cm)	H/L	V _m (m/sec)	R _a (cm)	R _a /H	越波	状況	況
1-3	3.00	断面, 図-27 中空 2 t 14個/m	1.52	10.5	0.039	0.0	17.5	1.6	急波で崩れずにつかり, その点よりわずかの越波がある		
1-4	3.00	"	1.50	11.0	0.044	4.5	10.5	1.0	やや多く越波が越す (ぶつかった点より)		
2-3	2.50	"	1.50	10.0	0.038	0.0	—	—	とびこみ点より, 壁に沿うてはい上りはない		
2-4	2.50	"	1.52	9.5	0.037	4.5	—	—	とびこみ点より, 壁に沿うてはい上りはない		
1-5	3.00	断面, 図-27 テトラポッド 2 t, 12個/m	1.50	10.0	0.038	0.0	(所々 19.0以上あり) 17.5	1.6	所々天端上 5 cm 位まではい上ることがあり, わずかに越す		
1-6	3.00	"	1.50	10.0	0.038	4.5	(19.0以上のもの相当あり) 17.0	1.5	とびこみ点より相当量のしぶきが越す。壁にそうでは大段に越波する		
2-5	2.50	"	1.50	10.0	0.038	0.0	—	—	越波とびこみ点より, 越波なし		
2-6	2.50	"	1.50	10.0	0.038	4.5	—	—	"		

表 14

No.	湖位 (m) (T.P.+)	断面形状および 消波ブロックの種類	T (sec)	H (cm)	H/L	V _m (m/sec)	R _a (cm)	R _a /H	越波	状況	況
1-7	3.00	断面, 図-28 中空 2 t 12個/m	1.48	10.5	0.039	0.0	—	—	越波, 越波なし, はい上り見られず		
1-8	3.00	"	1.48	10.5	0.037	4.5	—	—	とびこみ点より, とびこみ点のしぶきがとぶのみ。越波せず, ほとんどはい上らず		
2-7	3.00	断面, 図-28 テトラポッド 2 t 14個/m	1.45	11.5	0.043	0.0	2.9	1.3	とびこみ点のしぶきがとぶ。越波なし		
2-8	3.00	"	1.50	11.0	0.042	4.5	—	—	とびこみ点のしぶきがとびこみ点よりでるのみ。越波なし, ほとんどはい上らず		

No.	h ₁ (cm)	構 造	T (sec)	V _m (m/sec)	ω (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x _c (cm)	x _b (cm)	R _u (cm)	R _u /H	R _u /H の減少率 (%)	砕 波 お よ び 越 波 状 況		
A-1	0.5	(消波構造なし) A断面	1.21	0.0	1.51	183	11.6	0.063	60	65	1.06	12.3	—	横波物前面 100cm で崩れ始める。越波なく、時には少ししぶきが天端上2~3cmまで垂直にのび上る。砕波弱く横波物にぶつかる。		
A-2	"	"	1.25	2.2	1.51	189	9.6	0.051	50	50	1.18	11.3	—	横波物前面 110cm で崩れ始める。砕波ともどおり流れとの衝突点より、ごくわずかのしぶきが越す。しぶきが越す限界		
A-3	"	"	1.25	4.5	1.46	183	9.9	0.054	60	65	1.24	12.3	—	横波物前面 100cm で崩れ始める。はい上った後の越波なく第1次越波わずあり。		
A-4	"	"	1.25	6.7	1.46	183	10.4	0.057	60	55	1.09	11.3	—	横波物前面 110cm で崩れ始める。第1次越波量やや多く越波長 180cm 越波高 40cm		
B-1	0.5	(消波構造なし) A断面	1.46	0.0	1.59	232	9.0	0.039	65	70	1.99	17.9	—	第1次、第2次共越波なし。垂直に少しのしぶきをあげる。やや弱く横波物にぶつかる		
B-2	"	"	1.41	2.4	1.58	228	9.4	0.041	70	65	2.31	21.7	—	ごく少し第1次越波がある。第2次越波なし		
B-3	"	"	1.42	4.5	1.63	232	9.7	0.042	70	75	1.65	16.0	—	横波物前面 120cm で崩れ始める。第1次越波はやや少い。越波長 140cm, 越波高 40cm 第2次越波わず		
B-4	"	"	1.44	6.7	1.59	229	9.1	0.037	70	75	1.66	15.1	—	横波物前面 140cm で崩れ始める。第1次越波相当量あり、長 210cm, 高 49cm 第2次越波ごくわず		
C-1	3.0	(消波構造なし) A断面	1.19	0.0	1.54	183	8.1	0.044	—	18	14.0	1.73	—	越波しない。はい上りより相当量の越波あり。波返しよくきいている		
C-2	"	"	1.20	2.2	—	—	8.0	—	—	13	—	—	—	衝突点よりわずかししぶきが越す		
C-3	"	"	1.24	4.5	1.57	195	9.8	0.050	—	—	$\frac{R_u}{Sp}$ 10.038	$\frac{R_u/H}{Sp/H}$ 1.02	3.88	衝突点より非常に多くのしぶきが越す。越波高 43cm		
D-1	3.0	(消波構造なし) A断面	1.38	0.0	1.61	222	8.3	0.037	70	16	15.030	1.85	3.62	0	波返しよくきいてほとんど越波しない	
D-2	"	"	1.36	6.7	1.64	223	9.7	0.044	70	—	16.035	1.65	3.61	0	沖で崩れ始め法にやや強くぶつかる。しぶき越波高 S.W.L 上 43cm	
E-1	3.0	中空ブロック 2t 109個 法面前に設ける 断面A-1	1.40	0.0	1.61	226	9.0	0.040	認められず	15	13.0	0.0	0.0	22	もど流れ非常に弱くなり、衝突が非常にゆるやかとなる。しぶき越波ともなし	
E-2	"	"	1.40	4.5	1.61	226	9.0	0.040	"	15	9.0	0.0	1.00	0.0	100	ごくわずかのしぶきが越す
E-3	"	"	1.40	6.7	1.61	226	9.0	0.040	"	17	7.0	0.0	0.78	0.0	100	"
F-1	3.0	デトネーション 2t 122個 法面前に設ける 断面A-2	1.40	0.0	1.61	226	9.0	0.040	認められず	27	14.0	0.0	1.56	0.0	100	為波、砕波、もど流れ非常に弱くなり衝突が非常にゆるやかとなる。しぶき越波ともなし
F-2	"	"	1.40	4.5	1.61	226	9.0	0.040	"	27	11.0	0.0	1.22	0.0	100	ごくわずかのしぶきが越す
F-3	"	"	1.40	6.7	1.61	226	9.0	0.040	"	16	13.0	0.0	1.44	0.0	100	"

表 1-16

No.	h_1 (cm)	構 造	$\bar{T}$ (sec)	V_m (m/sec)	L (cm)	H (cm)	H/L	x_b^* (cm)	x_a^* (cm)	R_u (cm)	R_u/H	R_u/H に對 S_p/H に對 するもの	R_u/H に對 S_p/H に對 するもの	砕 波 お よ び 越 波 状 況	
A-1	0.5	(消波構造なし) B断面	1.40	0.0	226	9.0	0.040	50	2523.030.0	2.56	3.34	0	0	根固めが悪影響をおよぼし S_p が大となる。相当量の水塊が垂直にはりまちは越波する	
"-2	"	"	1.40	2.2	226	9.0	0.040	45	3019.039.0	2.20	4.34	0	0	非常に多く越波する	
"-3	"	"	1.40	4.5	226	9.0	0.040	45	3018.030.0	1.85	3.34	0	0	"	
B-1	0.5	中空ブロック2t 98個41cm 前面から法前へ巾33cm 設置 断面B-1	1.40	0.0	226	9.0	0.040	認められず	3512.0	0.0	1.33	0.0	48	衝突が非常にゆるくなる。	
"-2	"	"	1.40	2.2	226	9.0	0.040	"	4510.0	0.0	1.06	0.0	52	"	
"-3	"	"	1.40	4.5	226	9.0	0.040	"	45	8.0	0.0	0.83	0.0	55	"