

土木研究所報告

第 131 号

海岸堤防に関する研究 (8)

——波のうちあげ高——.....豊島 修, 富永正照, 橋本 宏... (1)

橋脚の抗力係数について.....土屋昭彦, 浦 勝... (31)

重力ダムのせん断摩擦抵抗

——局所的な安全率を考慮した検討——.....石井文雄, 小林茂敏... (41)



昭和 42 年 11 月

建設省土木研究所

海岸堤防に関する研究 (8)

—波のうちあげ高—

(昭和42年7月)

豊島 修*
富永 正 照**
橋本 宏***

目 次

1. まえがき.....(1)	[3] 堤脚水深の浅い場合のうちあげ高.....(8)
2. 実験方法.....(1)	5. 堤防のりこう配の影響.....(9)
3. 実験結果.....(2)	6. 海底こう配の影響.....(11)
4. 直立堤へのうちあげ高.....(4)	7. 縮尺の効果.....(11)
[1] 重複波領域におけるうちあげ高.....(7)	8. 結 論.....(12)
[2] 砕波領域におけるうちあげ高.....(8)	9. 別 表.....(14)

1. ま え が き

海岸堤防や護岸は波の侵入を防止し、海岸侵食を防がなくてはならない。海岸堤防の設計に際して重要なのは堤防の高さをどの程度にとるかということである。この高さを決める一つの基準となるのは波のうちあげる高さである。波のうちあげ高については模型実験によって調べられてきた。ここでは1/20と1/30のこう配をもつ海底上に設けられた直立から3割までのりこう配をもつ海岸堤防への波のうちあげ高について模型実験を行なった。実験結果とともに波のうちあげ高がどのような水量によって支配されるかについて考察を行なったのでこの結果について報告する。

波のうちあげ高は入射波の特性と堤防の位置、形状な

どによって変動する。すなわち入射波の波高と波長、堤防前面における水深、海底こう配、堤防のりこう配などである。

2. 実験方法

模型実験は土木研究所・赤羽分室内の大型水路によって行なった。水路は図-1に示すように延長112m、幅1.5m、高さ2.5mのコンクリート製で、一部ガラス張りである。実験は水路の一端に海底を設けこの上に木製の堤防を設置して行なった。波高および周期の測定は電気抵抗式波高計で行ない、ペンオシロまたは電磁オシロに自記させた。うちあげ高は目測によって求めた。堤防前面における波の状態を知るために8mm シネによって撮影を行なった。

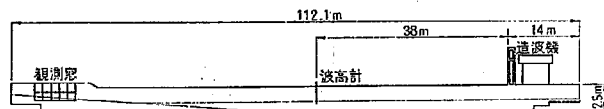


図-1 実験水路

実験条件については表-1に示すとおりである。

なお縮尺効果を調べるために小型水路(延長17m、幅60cm、高さ75cm)を使用して実験を行なった。

表-1 実験条件

	波 高	周 期	波形こう配	水路水深
大型水路	5~60cm	1.4~2.8sec	0.006~0.06	1.3~1.7m
小型水路	2~7cm	0.7~1.0sec	0.01~0.04	20cm

* 河川局海岸課長特任(前海岸研究室長)

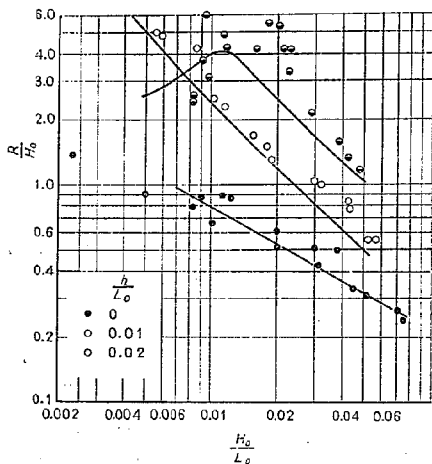
** 河川部 海岸研究室長

*** 河川部 海岸研究室 研究員

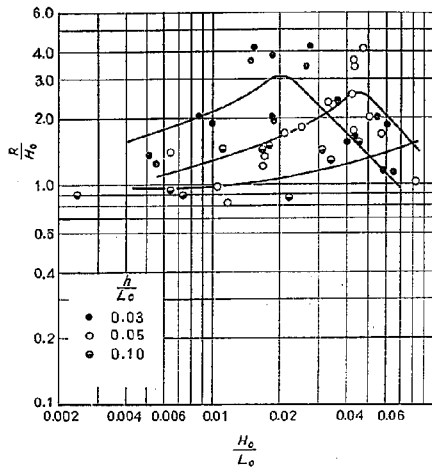
3. 実験結果

実験結果を図-2に示す。これは波うちあげ高を R 、深海波波高を H_0 、深海波波長を L_0 、堤脚水深を h とするとき、 h/L_0 をパラメーターとして R/H_0 と H_0/L_0 の関係をそれぞれの海底こう配およびのりこう配ごとに示し

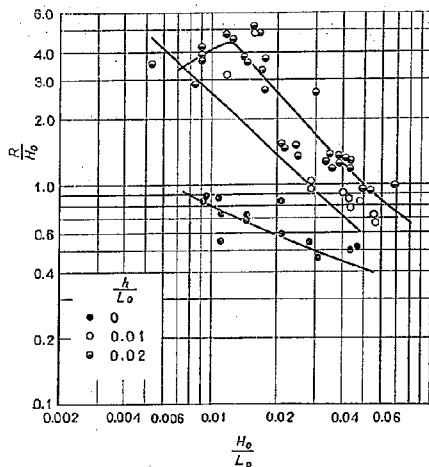
たものである。この結果によれば h/L_0 が一定の値をとるとき R/H_0 は波形こう配 H_0/L_0 の増加にともなって増加するある値で最大となり、 H_0/L_0 の増加にしたがい減少する。この R/H_0 の最大の生ずる H_0/L_0 の値は h/L_0 の値ごとに異なっている。この R/H_0 の変化と堤防前面における波の状態は密接な関係があり、すでにう



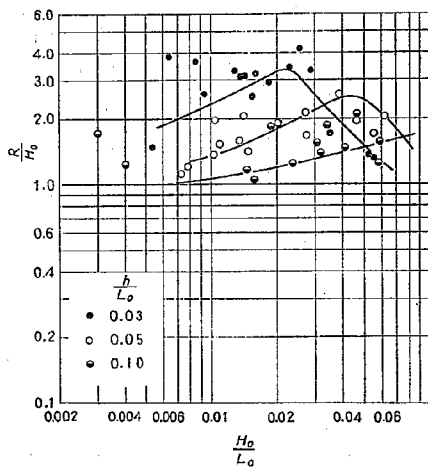
1/20 直立
図-2-1 うちあげ高



1/20 直立
図-2-2 うちあげ高



1/20 1:0.5
図-2-3 うちあげ高



1/20 1:0.5
図-2-4 うちあげ高

ちあげ高に関する模型実験の結果^{1), 2), 3)}によって指摘されていることである。すなわち堤脚水深が深いかまたは波形こう配が小さい場合には堤防前面においては重複波を生ずる。この場合にはうちあげ高は重複波の波峰高に相当するものとなるであろう。一方堤脚水深が浅いかま

たは波形こう配の大きい場合にはすでに砕波した波が堤防にうちあげる。この場合には bore の反射と相似な状態となる。それぞれの状態に対応して支配的な水量も異なるためにまず直立堤へのうちあげ高について検討を行なってみた。

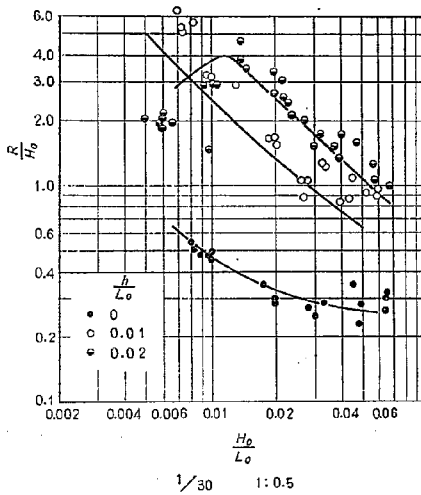


図-2-5 うちあげ高

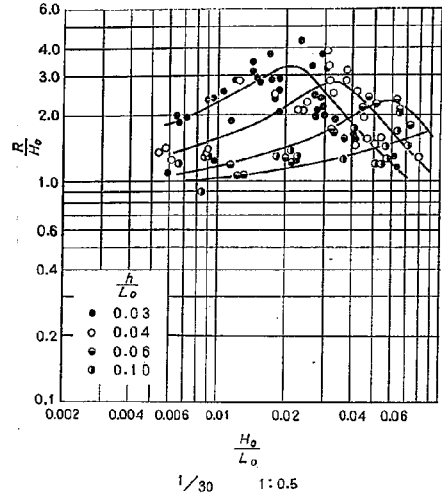


図-2-6 うちあげ高

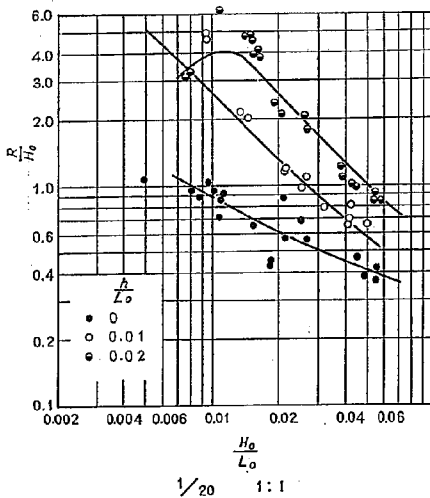


図-2-7 うちあげ高

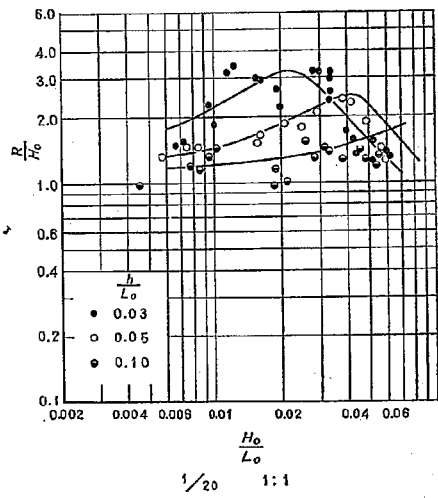


図-2-8 うちあげ高

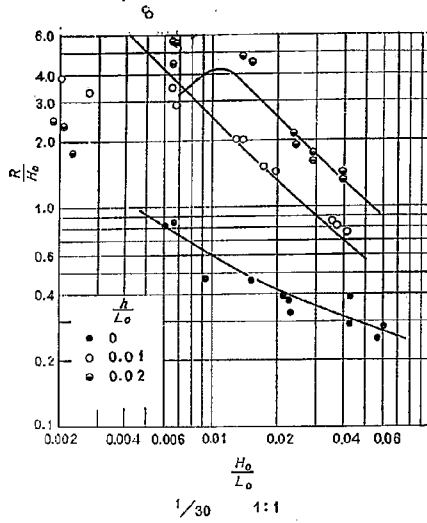


図-2-9 うちあげ高

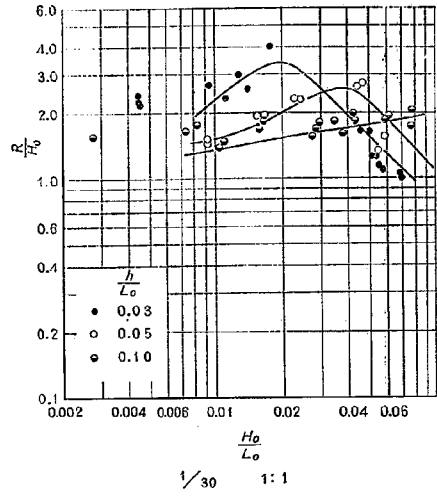


図-2-10 うちあげ高

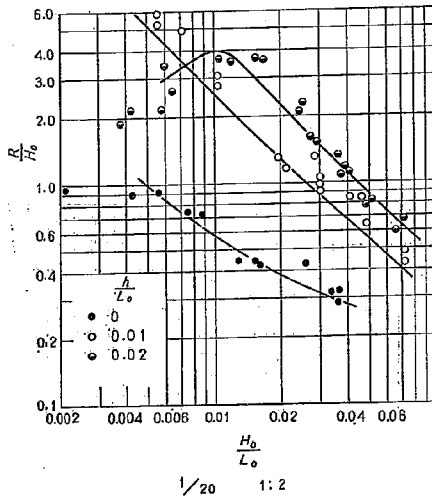


図-2-11 うちあげ高

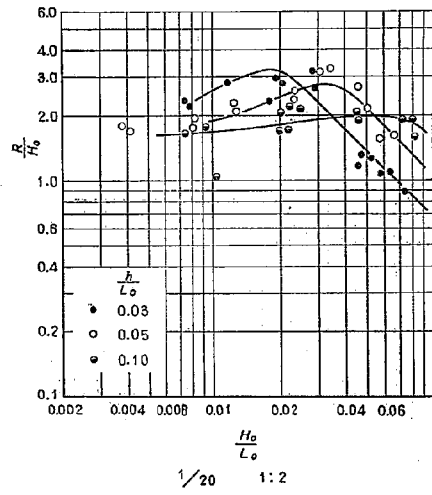


図-2-12 うちあげ高

4. 直立堤へのうちあげ高

直立に近い堤防へ波がうちあがる場合にはその状態は二つに分けられる。まず堤防前面の水深が深い場合には重複波となる。一方水深の浅い場合にはすでに波は堤防にうちあがる以前に碎波している。碎波する場合においても重複波型の碎波から部分重複波型さらには進行波型

の碎波に水深の減少とともに移っていく。堤防ののりこり配が緩い場合にはのり面上での碎波も生じる。

波のうちあがる高さはこれらの堤防前面での波の形によって支配的である水量が異なってくる。どのような条件のときにそれぞれの状態を生じるかについて直立堤防の場合を調べると図-3のように表わされる。ここでは堤防前面における波の形を重複波、重複波型碎波、部分

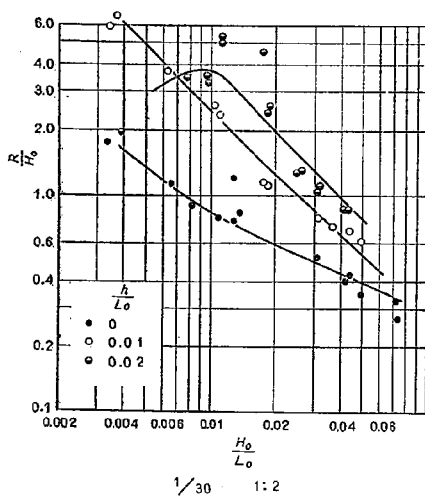


図-2-13 うちあげ高

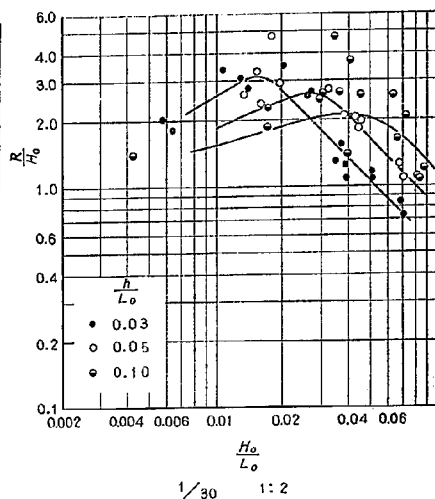


図-2-14 うちあげ高

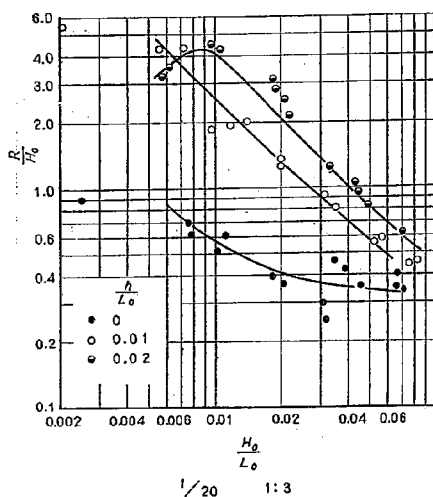


図-2-15 うちあげ高

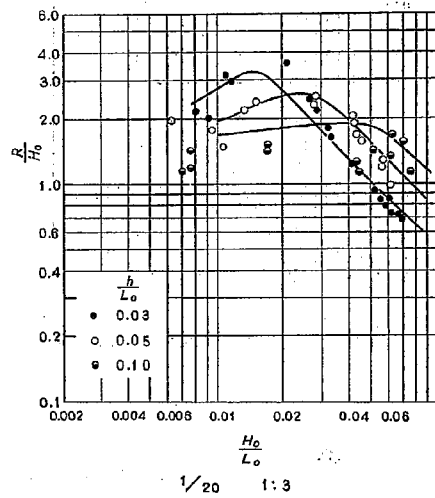


図-2-16 うちあげ高

重複波型碎波，進行波型碎波に分けて波形こう配 H_0/L_0 と h/L_0 の関係で示してある。碎波する場合にはそれぞれの限界はあまり明確ではない。しかし重複波の碎波限界と進行波の碎波限界がほぼこれを分けるものと考えてもよいと思われる。進行波の碎波限界については碎波指標または孤立波理論による値などがありこれも合せて図-3に示してある。この場合には堤脚水深が碎波水深に

相当するものとして示した。一方直立堤前面に形成される重複波の碎波限界と入射する波との関係は明らかにされていないために実験値によって検討を行なう。

1/20のこう配をもつ海底上に直立堤を設置して，ほぼ碎波限界にあるものについて測定を行なった。測定は堤防に最も近い重複波の腹の位置において水深，波高，峰高，谷高（静水面基準）を水路側壁に50cm間隔で設け

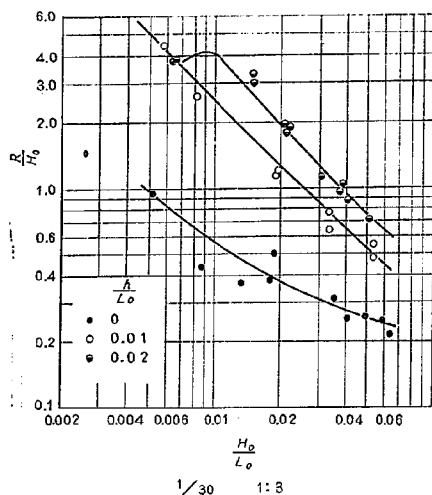


図-2-17 うちあげ高

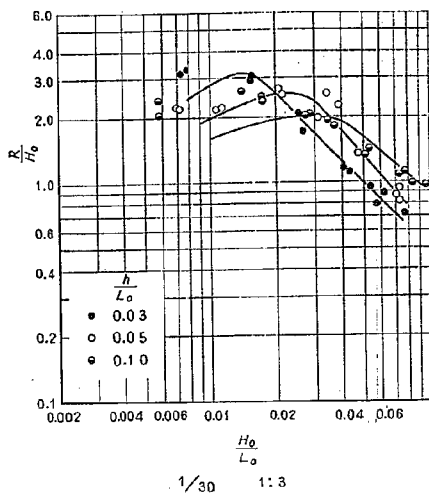


図-2-18 うちあげ高

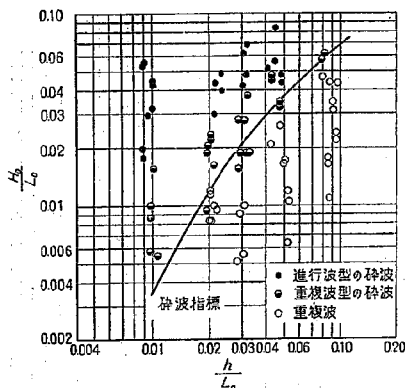


図-3 堤防前面での波

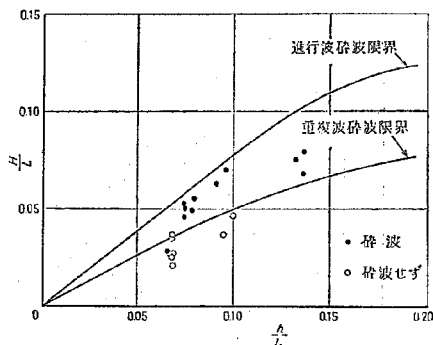


図-4 重複波の砕波条件

た側標（最小目盛1cm）を使用し8mmシネによって行なった。波長については堤防と重複波の腹の位置までの距離からこの間の平均波長を求めた。

堤防前面における重複波の波高 H 、波長 L 、水深 h の関係を示すと図-4のように表わされる。この図には砕波している場合と砕波していない場合を分けて示してある。ここで示した波高 H は測定値の $1/2$ をとり、また波長については次のようにして推定した値を使用した。堤防と重複波の腹の間の平均波長 L_1 に対応する水深 h_1 として、波速が $\sqrt{gh}$ (h : 水深, g : 重力の加速度) で表わされ、波長が平均波長となるものを使用する。すな

わち

$$h_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} + \frac{\sqrt{h_1 \cdot h_2}}{2} \quad (1)$$

となる。ここで h_1 : 堤脚水深, h_2 : 腹の位置の水深, これより腹の位置における波長は

$$L = L_A \cdot \frac{L_1}{L_{A_1}} \quad (2)$$

ここで $L_A = L_0 \tan h \frac{2\pi h_2}{L_A}$, $L_{A_1} = L_0 \tan h \frac{2\pi h_1}{L_{A_1}}$,

$$L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$$

である。図-4には岸りによる重複波の砕波条件も示してありこれとはほぼ一致していると考えてよい。つぎに堤防

前面における波と入射してくる波の関係を求めると図-5
 のように示される。ここで H_0 , L_0 は入射波の相当深海
 波高と波長である。図には碎波指標と微少振幅波理論
 による値も合せて示してある。波高については碎波してい
 るものを除いては碎波指標とはほぼ同じである。波長につ
 いては Tadjbakhsh と Keller³⁾ による三次の近似式に
 よると次のように表わされる。

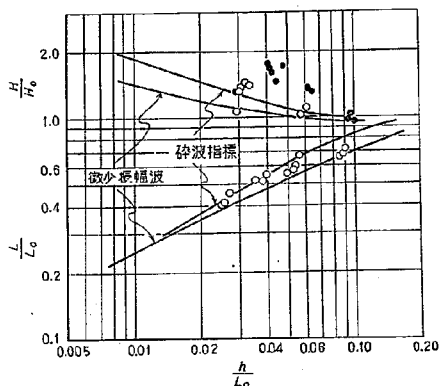


図-5 波高と波長の水深による変化

$$\left. \begin{aligned}
 \omega &= \omega_0 + \frac{1}{2} \epsilon^2 \omega_2, \quad \epsilon = ka, \quad k = \frac{2\pi}{L}, \\
 \omega &= \frac{L}{L_0}, \quad \omega_0^2 = \tan kh, \quad \omega_2 = \frac{1}{32} \\
 &\times (9\omega_0^{-7} - 12\omega_0^{-8} - 3\omega_0 - 2\omega_0^5), \\
 \frac{H}{2a} &= 1 + \frac{k^2 a^2}{256} (27\omega_0^{-12} + 27\omega_0^{-8} \\
 &+ 96\omega_0^{-4} - 63 + 11\omega_0^4 + 6\omega_0^8)
 \end{aligned} \right\} \dots\dots (3)$$

ここで H , L : 水深 h の位置の波高, 波長, $L_0 = \frac{g}{2\pi} T^2$

(T : 周期) である。この式と岸による碎波条件から碎
 波状態における波長 L と微少振幅波理論による波長 L_A
 との比を求めると図-6に示される。実験値は相当変動し
 ているため精度の点では問題となるが平均的にはほぼ一
 致していると考えられる。この補正量はあまり大きくは
 ない。これまで述べてきた関係を利用して入射波によっ
 て重複波の碎波条件を表す。まず重複波の碎波条件とし
 て図-4に示した岸の碎波条件を用い、波高、波長の変化
 を微少振幅波理論によって計算したもの(I)と波高の変
 化は碎波指標、 $L/L_A = 1.1$ として計算したもの(II)を
 図-7に示す。両者ともあまり差はない。とくに波長に關
 する補正はほとんど影響せず、波高変化に微少振幅波理
 論を用いるか碎波指標を用いるかによって両者の差を生
 じていると考えられる。

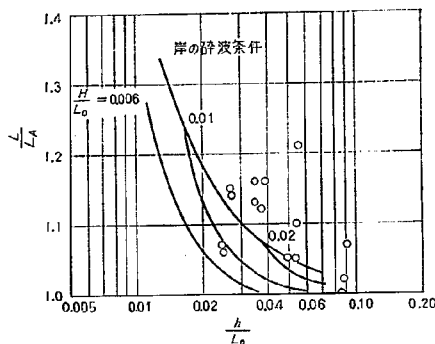


図-6 波長の水深による変化

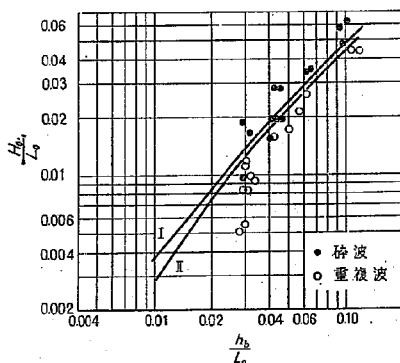


図-7 重複波の碎波条件

[1] 重複波領域におけるうちあげ高

堤防前面における波が重複波となる場合においては、
 うちあげ高は重複波の波峰高とほぼ等しくなると考えら
 れる。この点について実験値によって検討を行なった。
 入射波と堤防前面における波峰高の関係を求めるには、
 波高、波長の水深による変化と波高中分面の静水面から
 の上昇量 δ を知らなければならない。

波高中分面上の昇量 δ については浜田⁹⁾ の2次近似の
 式によると次のように表わされる。

$$\delta = \frac{1}{8} A^2 h (3 \cot h^2 kh - \cot kh + 2 \cot h^2 kh) \dots\dots (4)$$

ここで A は重複波の振幅である。なおこの値は岸⁴⁾ の式
 Tadjbakhsh と Keller³⁾ の3次近似の式とほとんど同じ
 である。実験値と(4)式を比較したものが図-8である。
 これにはまた Sainflou による次式も示してある。

$$\delta = 2kA^2 \cot kh \dots\dots (5)$$

実験値は(4)式の60%程度ではあるが傾向はほぼ一致
 している。一方 Sainflou の式とは相当異なっている。

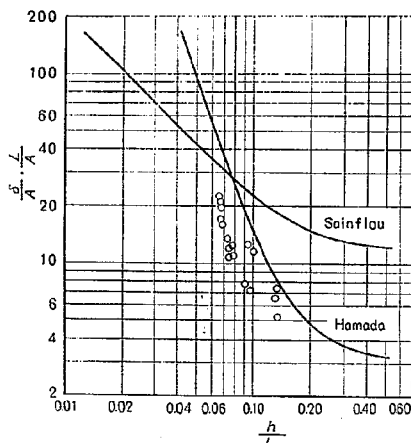


図-8 波高中分面の上昇量

以上の結果を利用して直立に近い堤防へのうちあげ高について計算を行なう。計算条件としては反射率 100% 波高および波長の水深による変化は微小振幅波理論により、また波高中分面の高さは(4)式によって与えられるとする。波高、波長の変化に有限振幅波理論による値を使用することはうちあげ高の実験の精度、計算の手間などを考えるとよい値が得られるとは思われないためここでは使用しなかった。1/20 のこう配をもつ海底に設けられた直立堤へのうちあげ高と計算値を比較すると図-9 のようになる。この図において破線より H_0/L_0 の小さい値に対応する R/H_0 が重複波領域でのうちあげ高を表わす。実験値に相当のばらつきはあるが計算値とはほぼ一致していると考えられる。

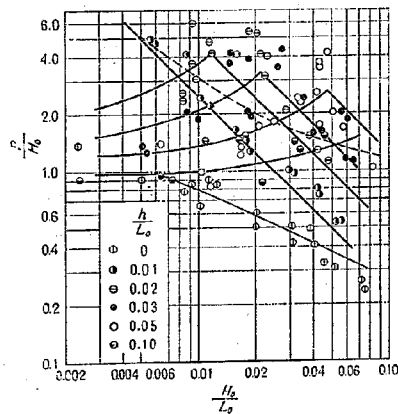


図-9 直立堤へのうちあげ高

〔2〕 碎波領域におけるうちあげ高

波が堤防前面においてすでに碎波してうちあげられる場合には、直立堤へうちあたる bore の反射高にうちあげ高は等しいといわれている。碎波後の波のうちあげ高の状態は相当空気を含んだ流れとなっており堤防にはい上がり、しぶきも相当生じる。このような状態においてうちあげ高を決めるには判定の基準がむずかしく、測定者によって変化する場合も生じる。ここではうちあげ高として連続している水塊のはい上がる最高の高さをとっている。

碎波後の波高はほぼその位置での水深に比例するといわれており、また実験を行なった結果でも平均的には水深が浅くない限り水深に比例すると考えてよいことを示している。碎波後の波高を孤立波理論による碎波波高に等しくとればこれは次式で表わされる。

$$h = 1.28H \quad \dots\dots\dots (6)$$

波峰高と波高と等しいものとして Stoker⁷⁾ の結果から反射する bore の高さを計算すると、

$$h_2 = 2.8h \quad \dots\dots\dots (7)$$

となる。実験値についてこの高さを調べると $R+h=3.5h$ 程度となり 20~30% 大きな値をとる。この差を生じる原因については碎波後の波形を bore で近似することができないこと、うちあげ高としてどのような高さをとるかなどにことに関連していると考えられる。ここでは実験的に得られた関係を使用し、次のように表わす。

$$R = 2.5h \quad \dots\dots\dots (8)$$

この関係において係数にはいく分問題があるがうちあげ高が水深によって決まるということにはほぼ確かである。

(8) 式の関係を用い進行波型で碎波する領域におけるうちあげ高を求めると図-9 のように示される。碎波限界として孤立波理論による次式を用いた。

$$\left. \begin{aligned} H_0/H_0 &= 1/3.3 \sqrt{H_0/L_0} \\ h_1 &= 1.28H_0 \end{aligned} \right\} \quad \dots\dots\dots (9)$$

重複波の碎波限界から進行波の碎波限界までのうちあげ高は図-9 に示すように推定を行なった。

図-9 には実験値も示してある。実験値の H_0/L_0 と h/L_0 から R/H_0 を計算しこれと実験値を比較したものが図-10 である。実験値と計算値はほぼ一致しているといえる。しかし R/H_0 の大きな値では一部異なっており、この原因を調べた結果次のことがわかった。堤防前面で重複波となって碎波する場合に堤防にそって水がうすい水脈となって飛び上がるためである。このような場合を図に区別して示してある。図-9 において R/H_0 の最大値付近では計算値のような不連続なものでなく実際はこの変化はゆるやかなものであろう。

〔3〕 堤脚水深の浅い場合のうちあげ高

堤脚先水深が浅い場合には $R=2.5h$ の関係は適用できなくなる。すなわち堤防前面において実験前に水深が

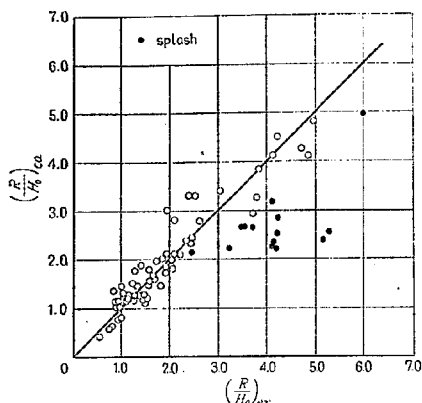


図-10 実験値と計算値の比較

0であっても、波が来襲すると平均水面は上昇する。うちあげにはこの上昇量も考慮しなければならない。堤防前面の水深がほとんど0の場合にはこの上昇量を推定することは可能である。Longuet-Higgins と Stewart⁽⁹⁾によれば砕波点から岸側の平均水面の上昇量 η は次のように表わされる。

$$\frac{d\eta}{dh} = -Q \quad (10)$$

ここで Q は0.2程度の量であるとされている。1/20および1/30の海底こう配上での実験では0.15と0.10である。一方砕波点においては平均水面は降下しその値は次のようになる。

$$-\eta = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{H_0^3}{L_0} \cdot F\left(\frac{2\pi h}{L}\right) \quad (11)$$

$$F\left(\frac{2\pi h}{L}\right) = \frac{\cos h^3 \frac{2\pi h}{L}}{4\left(\frac{2\pi h}{L} + \sin h \frac{2\pi h}{L} \cdot \cos h \frac{2\pi h}{L}\right)} \\ \approx \frac{1}{8\left(\frac{2\pi h}{L}\right)^{3/2}} \quad (12)$$

砕波条件をさきに示した孤立波理論による(9)式を使用すると砕波点での降下量 η_b は次のようになる。

$$-\frac{\eta_b}{H_0} = 0.0516 \quad (13)$$

汀線での上昇量を η_0 とすると

$$\frac{\eta_0}{H_0} = \frac{Q \cdot h_b}{H_0} + \frac{\eta_b}{H_0} = Q \cdot \frac{1.28}{3.3\sqrt{H_0/L_0}} - 0.0516 \quad (14)$$

となり $R=3.5h$ の関係を 사용하면と

$$\frac{R}{H_0} = 3.5\left(Q \cdot \frac{1.28}{3.3\sqrt{H_0/L_0}} - 0.0516\right) \quad (15)$$

となる。 $Q=0.2, 0.15, 0.1$ として(15)式の値を計算すると図-11のようになる。これを用いて $Q=0.15$ とし

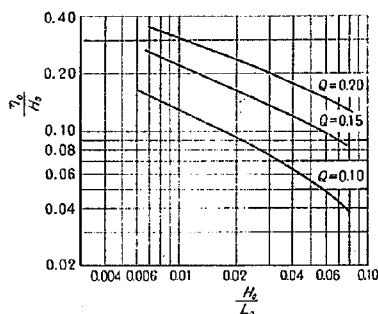


図-11 汀線における水位上昇量

て実験値と比較したのが図-9である。これによればほぼ一致しているといえる。堤脚水深が浅くなった場合には平均水面の上昇を考慮に入れば実験値とほぼ一致する結果を得ることができると考えられる。

5. 堤防のりこう配の影響

堤防のりこう配が変化することによるうちあげ高の変化を図-2によって調べる。この結果によれば、堤防前面において砕波する領域ではのりこう配が緩くなるほどうちあげ高は減少している。しかも h/L_0 が大きいくほどこの減少量は大きい。これはのりこう配の緩いほど堤防にうちあげるまでのエネルギー消費が大きいためと考えられる。一方重復波となる領域ではのりこう配が緩くなるほどうちあげ高は増加している。これは堤防にそってはい上がるためと考えられる。この他 R/H_0 の最大となる $H_0/L_0, h/L_0$ の値も直立堤の場合とは異なっている。これをそれぞれのりこう配について示したのが図-12である。これによると直立堤に比較して H_0/L_0 または h/L_0 の小さな値で R/H_0 は最大となっており、これはのり面上で砕波しやすくなるためと考えられる。砕波領域、重復波領域においてどの程度うちあげ高が変化するかわかる。これはのりこう配の変化によるうちあげ高への影響は図-2においても明らかなように砕波領域、重復波領域とも H_0/L_0 によつては変化の状況が変わらず h/L_0 の影響が大きい。すなわち h/L_0 の大きいほどこのりこう配の影響は大きい。これらの関係を実験値をもとにして調べてみる。最も影響の大きいのは相対的なり先から汀線までの距離であると考えられる。さきに求めたうちあげ高の計算値 R と実験値 R の比と $h/L_0 \cdot \tan \alpha$ の関係を砕波領域と重復波領域に分けて求めると図-13のように示される。この結果によればうちあげ高の増加および減少の割合は両者ともほぼ同じである。

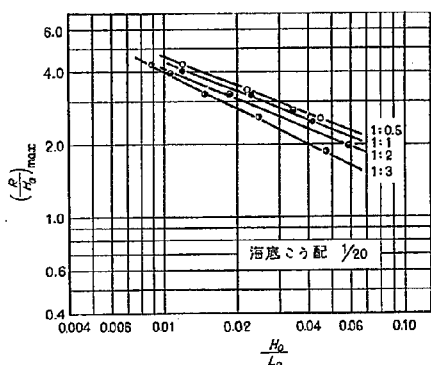
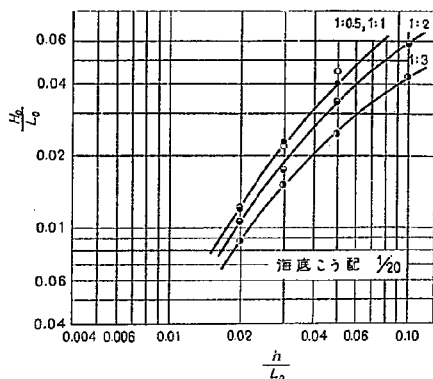
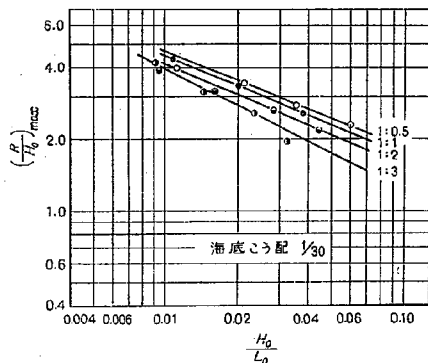
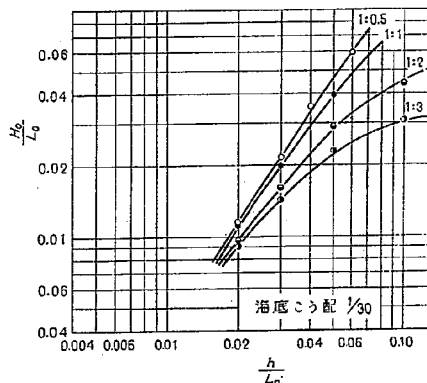
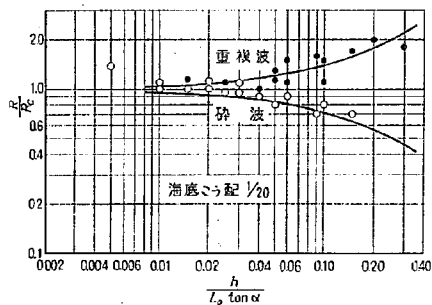
図-12-1 (R/H_0) の最大値図-12-2 (R/H_0) の最大の生ずる条件図-12-3 (R/H_0) の最大値図-12-4 (R/H_0) の最大の生ずる条件

図-13-1 のりこう配の影響

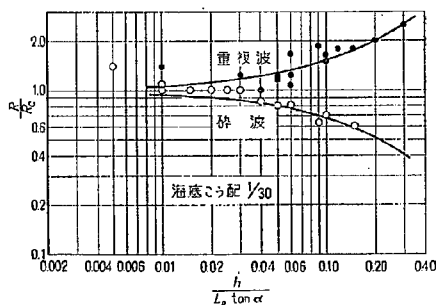


図-13-2 のりこう配の影響

6. 海底こう配の影響

海底こう配が変化することによって波うちあげ高がどのように変化するかを調べる。海底こう配は砕波してうちあがる場合には影響するが重複波となる場合には波の変形にはほとんど影響しないと考えられるため、うちあげ高も変わらない。砕波してうちあがる場合には砕波条件や砕波後のエネルギー損失などが海底こう配の影響をうけるためにうちあげ高もこれにともなって変化する。堤脚水深が浅いほどうちあげ高の変化は大きい。 h/L_0 が0.01のときに2割こり配をもつ堤防へのうちあげ高を比較したのが図-14である。佐藤・岸⁹⁾による海底こう配1/17の結果および湯⁹⁾による1/60の結果も合せて示してある。これによれば1/60の場合においても1/20または1/30の場合とあまり差のないことから h/L_0 が0.01程度ではあまり影響しないことを示している。 h/L_0 がさらに大きくなる場合には図-2を比較しても明らかなようにほとんどその差はないと考えられる。また Saville の1/10の結果と比較したのが図-15である。これによっても海底こう配が1/10より大きくなれば堤脚水深があまり浅くない限りその影響は小さいといえる。なお堤脚水深がほとんどない場合にはさきに述べたように図-11に相当する差を生じている。

7. 縮尺の効果

波のうちあげ高に関する模型実験において縮尺が異なるための影響がどの程度表われるかについて検討を行なった。波高、周期ともあまり小さな模型では粘性によるエネルギー損失、表面張力などの影響が表われてくるも

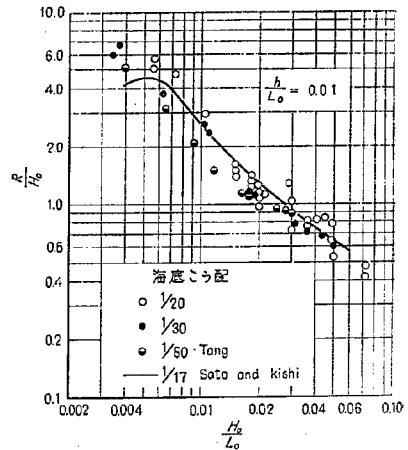


図-14 海底こう配の影響 (のりこう配 1:2)

のと考えられる。1/30の海底こう配上に3割のりこう配をもつ堤防を設置した場合のうちあげ高を示したのが図-16である。これは $H_0/L_0 = 0.04$ として $T = 0.7, 0.8, 0.9, 1.0 \text{ sec}$ について実験を行なったが図-16には $T = 0.7$ と $T = 1.0 \text{ sec}$ について示した。この結果によれば周期の短いほどうちあげ高は小さくなっている。 $T = 1.0 \text{ sec}$ の結果はさきに述べた図-2とはほぼ同じである。すなわち 1.0 sec 以下の周期では縮尺の効果が表われることを示している。

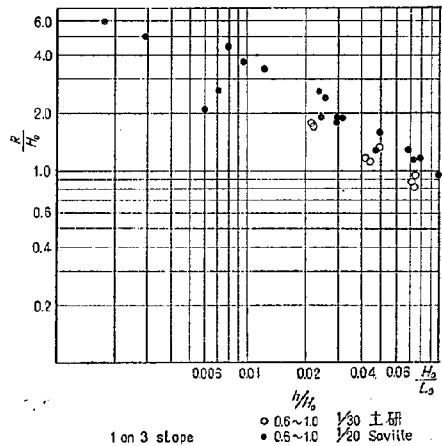
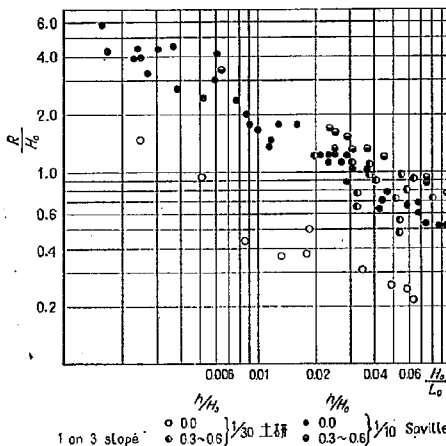


図-15-1 海底こう配の影響

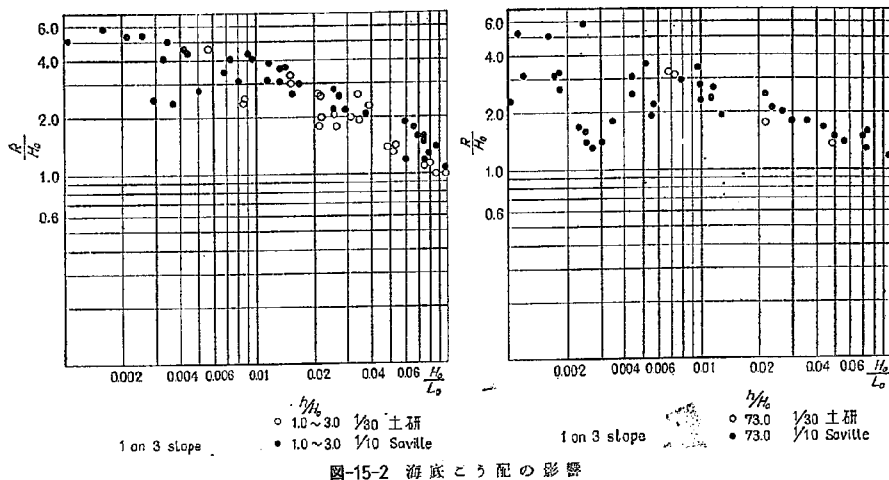


図-15-2 海底こう配の影響

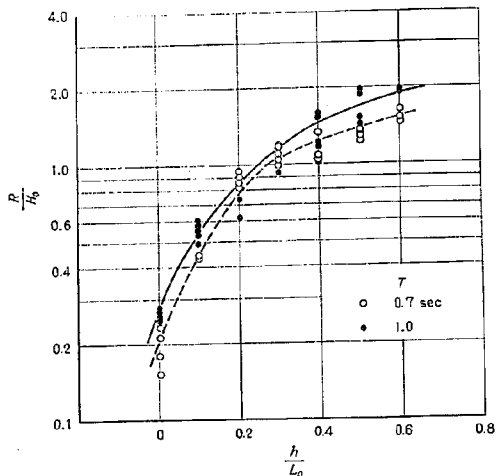


図-16 縮尺の効果

8. 結 論

海岸堤防への波うちあげ高に関して模型実験を行ない次のような結果が得られた。波のうちあげは堤防が直立に近い場合には二つの状態に分けられ、その一つは堤防前面に重複波が形成される場合である。このときのうちあげ高はほぼ重複波の波峰と等しい高さとなる。一方堤脚水深が浅い場合には砕波した後の波が堤防にあたり、堤脚水深に比例した高さまでうちあげる。堤防のりこう配の影響については重複波領域では緩いほど高く、砕

波領域では緩いほど低くなる。海底こう配については堤脚水深の浅い場合を除いてはあまりその影響は表われない。縮尺の影響は周期が約 1.0sec 以下になると表われてくる。

最後に本報告をまとめるに際して、適切な助言と討議を受けた首藤伸夫氏（前海岸研究室研究員）に深謝の意を表します。また本実験および資料の整理は中村隆、開沼貞夫技官によって行なわれたものであり、ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 佐藤清一・岸 力:「海岸堤防に関する研究(1)」—海岸堤防に衝突する波の高さについて—土木研究所報告 第88号(昭和29.9) pp 69~101.
- 2) 石原藤次郎・岩垣雄一・鈴木雄太:「海岸堤防の設計, 特にその有効高について」第2回海岸工学講演会講演集(1955) pp 57~70.
- 3) 佐藤清一・岸 力:「海岸堤防の形状特性ならびに波の陸岸への遡上」第3回海岸工学講演会講演集(1956) pp 127~137.
- 4) Kishi, T.: "The possible highest gravity waves in shallow water" Coastal Engineering in Japan vol. 2, (1959)
- 5) Tadjbakhsh, I and J. B. Keller: "Standing surface waves of finite amplitude" J. Fluid Mechanics vol. 8, (1960)
- 6) 浜田徳一:「表面波の二次干渉」第11回海岸工学講演会講演集(1964) pp 12~18.
- 7) Stoker, J. J.: "Water Waves" Interscience Publishers, Inc., New York (1957)
- 8) Longuet-Higgins, M. S. and R. W. Stewart: "Radiation stress and mass transport in gravity waves with application to surf beats" J. Fluid Mechanics vol. 13, pp 481~504.
- 9) 湯 麟武:「砕波後の波の遡上に関する研究」第10回海岸工学講演会講演集(1963) pp 121~126.

別表-1 実験結果

Run	海 こう配	底 のこう配	り のこう配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
1	1/20	無	堤	138	1.52	4.3	—	1.97	0.0118	—	0.458	—	0.00548	—
2	"	"	"	136	1.45	5.4	—	1.68	0.0238	—	0.310	—	0.00510	—
3	"	"	"	136	1.35	5.7	—	1.49	0.0200	—	0.260	—	0.00525	—
4	"	"	"	137.5	1.92	31.0	—	4.00	0.054	—	0.129	—	0.00698	—
5	"	"	"	137.5	1.95	31.4	—	3.85	0.053	—	0.123	—	0.00650	—
6	"	"	"	136.5	2.35	22.6	—	5.06	0.0263	—	0.224	—	0.00590	—
7	"	"	"	136.5	2.13	27.6	—	4.76	0.0392	—	0.173	—	0.00678	—
8	"	"	"	136	2.49	23.0	—	4.49	0.0238	—	0.195	—	0.00464	—
9	"	"	"	136	2.26	10.0	—	3.14	0.0125	—	0.314	—	0.00393	—
10	"	"	"	136	2.60	9.8	—	3.00	0.0092	—	0.306	—	0.00283	—
11	"	"	"	136	2.65	9.6	—	2.53	0.0088	—	0.264	—	0.00232	—
12	"	"	"	135.5	1.70	5.5	—	1.74	0.0122	—	0.335	—	0.00387	—
13	"	"	"	135.4	2.36	3.7	—	1.43	0.0043	—	0.386	—	0.00164	—
14	"	"	"	135.4	2.03	4.7	—	1.66	0.0073	—	0.386	—	0.00259	—
15	"	直	立	138	1.90	4.6	1.6	4.05	0.0082	0.00284	0.875	—	0.00719	—
16	"	"	"	138	1.87	4.5	1.2	3.6	0.0083	0.00240	0.80	—	0.00660	—
17	"	"	"	138	1.62	4.7	1.0	4.3	0.0114	0.00244	0.92	—	0.0105	—
18	"	"	"	137	1.60	4.9	0.6	4.2	0.0122	0.0015	0.895	—	0.0105	—
19	"	"	"	138.5	1.64	12.8	0.2	6.5	0.0304	0.00048	0.51	—	0.0155	—
20	"	"	"	138.5	1.61	12.7	0	5.5	0.0314	0	0.433	—	0.0136	—
21	"	"	"	139.0	1.85	11.1	0.4	6.7	0.0208	0.00075	0.604	—	0.0125	—
22	"	"	"	139.0	1.88	11.6	0.1	6.0	0.0210	0.000181	0.518	—	0.0109	—
23	"	"	"	139.0	1.64	17.0	0	7.0	0.0406	0	0.412	—	0.0167	—
24	"	"	"	140.0	1.65	16.1	0.8	8.1	0.0380	0.00189	0.503	—	0.0201	—
25	"	"	"	140.0	1.88	25.2	0.5	8.4	0.0458	0.00091	0.333	—	0.0153	—
26	"	"	"	137.5	1.75	25.4	0.3	7.8	0.0532	0.00063	0.307	—	0.0163	—
27	"	"	"	137.5	1.55	28.4	0	6.9	0.0705	0	0.261	—	0.0184	—
28	"	"	"	137.5	1.55	28.2	0	6.7	0.0752	0	0.238	—	0.0178	—
29	"	"	"	137.5	2.23	1.86	0	2.7	0.0024	0	1.45	—	0.00349	—
30	"	"	"	137.5	1.92	2.8	0	2.6	0.00488	0	0.93	—	0.00452	—
31	"	"	"	137.5	2.38	8.88	0	6.1	0.01006	0	0.687	—	0.00691	—
32	"	"	"	147.0	2.45	5.04	9.9	24.9	0.0054	0.0106	4.95	2.52	0.0262	1.96
33	"	"	"	147.0	2.49	5.48	9.5	25.7	0.00568	0.00958	4.69	2.58	0.0267	1.74
34	"	"	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
35	"	"	"	147.0	2.39	7.56	8.8	31.3	0.0085	0.0099	4.14	3.53	0.0351	1.16
36	"	"	"	"	2.35	8.55	8.5	21.0	0.00995	0.00988	2.46	2.47	0.0244	0.995
37	"	"	"	"	2.28	12.8	8.3	21.6	0.0158	0.01024	1.69	2.60	0.0267	0.650
38	"	"	"	"	2.50	10.96	9.3	24.2	0.01124	0.00955	2.21	2.60	0.0247	0.850
39	"	"	"	"	2.55	19.28	9.0	24.8	0.01903	0.00890	1.28	2.76	0.0246	0.467
40	"	"	"	"	2.46	16.55	8.5	24.3	0.01755	0.00902	1.47	2.86	0.0258	0.515
41	"	"	"	"	2.37	25.6	8.3	25.9	0.0292	0.00950	1.01	3.12	0.0296	0.325
42	"	"	"	"	2.27	25.6	8.0	24.8	0.0319	0.00996	0.97	3.10	0.0309	0.313
43	"	"	"	"	2.35	47.5	7.9	26.1	0.0552	0.00920	0.55	3.30	0.0304	0.166
44	"	"	"	"	2.34	45.5	7.6	24.8	0.0533	0.00890	0.545	3.26	0.0294	0.167
45	"	"	"	"	2.30	34.9	9.0	28.7	0.0423	0.1092	0.823	3.19	0.0348	0.258
46	"	"	"	"	2.30	36.2	8.5	27.9	0.0438	0.01030	0.77	3.28	0.0338	0.235
47	"	"	"	156.0	2.40	38.7	19.5	49.9	0.0431	0.0218	1.29	2.56	0.0555	0.504
48	"	"	"	"	2.30	39.8	19.3	45.1	0.0482	0.0234	1.135	2.34	0.0547	0.486
49	"	"	"	"	1.95	40.3	19.1	44.8	0.068	0.0322	1.112	2.35	0.0756	0.474
50	"	"	"	"	1.98	37.5	18.9	43.3	0.0613	0.0309	1.154	2.29	0.0708	0.503
51	"	"	"	157.5	2.32	33.3	20.0	51.9	0.0397	0.0238	1.56	2.59	0.0618	0.600
52	"	"	"	157.3	2.43	26.8	19.8	54.8	0.0292	0.0215	2.04	2.77	0.0597	0.738
53	"	"	"	157.0	2.03	27.1	19.5	42.6	0.0418	0.0304	1.57	2.18	0.0660	0.720
54	"	"	"	156.5	1.96	27.9	19.0	46.2	0.0466	0.0318	1.66	2.43	0.0772	0.682
55	"	"	"	156.3	2.4	21.0	18.8	67.1	0.0234	0.0209	3.20	3.57	0.0747	0.895

別表-1 (つづき)

Run	海 こう 配	底 の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
56	1/20	直 立	156.2	2.41	20.8	18.7	86.8	0.0230	0.0207	4.17	4.63	0.0958	0.900
57	"	"	154.5	2.35	17.5	17.0	90.6	0.0204	0.0198	5.17	5.32	0.105	0.973
58	"	"	154.4	2.36	16.2	16.9	86.0	0.0187	0.0195	5.31	5.08	0.0990	1.04
59	"	"	156.0	2.08	19.4	18.5	80.4	0.0288	0.0275	4.14	2.24	0.0615	0.954
60	"	"	155.7	1.90	20.9	18.2	50.4	0.0372	0.0324	2.41	2.76	0.0895	0.871
61	"	"	155.5	1.93	16.0	18.0	55.7	0.0276	0.0311	3.48	3.09	0.0960	1.13
62	"	"	156.0	1.89	10.5	18.5	21.8	0.0189	0.0332	2.08	1.18	0.0392	1.76
63	"	"	155.9	2.32	7.87	18.4	29.7	0.0094	0.02195	3.77	1.61	0.0354	2.34
64	"	"	155.6	2.33	8.20	18.1	24.8	0.0097	0.0214	3.02	1.37	0.0293	2.21
65	"	"	155.5	1.92	10.9	18.0	21.2	0.01895	0.0313	1.945	1.18	0.0369	1.65
66	"	"	167.8	1.94	3.71	30.3	5.2	0.00631	0.0515	1.40	0.172	0.00885	8.18
67	"	"	167.5	1.50	3.81	30.0	5.7	0.01083	0.0855	1.50	0.190	0.0192	7.87
68	"	"	167.3	1.50	5.77	29.8	8.6	0.01646	0.0850	1.49	0.288	0.0245	5.17
69	"	"	167.0	1.50	6.18	29.5	9.6	0.0176	0.084	1.555	0.325	0.0273	4.78
70	"	"	171.4	1.50	1.52	33.9	0.6	0.00432	0.0965	0.395	0.0177	0.00171	22.4
71	"	"	170.7	1.50	8.3	33.2	7.5	0.0236	0.0947	0.904	0.226	0.0214	4.00
72	"	"	170.5	1.50	7.6	33.0	6.8	0.0217	0.0940	0.895	0.205	0.0194	4.34
73	"	"	170.0	2.00	6.51	32.5	6.5	0.01046	0.0521	0.998	0.200	0.0104	4.99
74	"	"	169.8	2.00	7.37	32.3	6.2	0.01181	0.0518	0.841	0.192	0.00999	4.39
75	"	"	169.4	1.50	11.08	31.9	16.4	0.0316	0.091	1.48	0.514	0.0467	2.88
76	"	"	169.0	1.50	12.0	31.5	16.8	0.0342	0.0897	1.333	0.534	0.0478	2.63
77	"	"	168.9	2.00	10.56	31.4	14.2	0.01695	0.0504	1.345	0.452	0.0228	2.98
78	"	"	168.6	2.00	10.45	31.1	12.9	0.0165	0.0500	1.235	0.414	0.0207	2.98
79	"	"	168.0	1.50	15.26	30.5	27.4	0.0435	0.0870	1.796	0.898	0.0782	2.00
80	"	"	167.5	—	—	30.0	26.4	—	—	—	—	—	—
81	"	"	167.1	1.55	17.4	29.6	27.4	0.0465	0.0792	1.576	0.924	0.0732	1.70
82	"	"	166.8	2.1	14.42	29.3	24.8	0.021	0.0426	1.72	0.847	0.0361	2.03
83	"	"	166.6	2.0	16.05	29.1	29.4	0.0258	0.0467	1.83	1.01	0.0472	1.81
84	"	"	166.3	1.55	21.0	28.8	42.3	0.0562	0.0770	2.61	1.47	0.113	1.37
85	"	"	166.0	1.50	21.5	28.5	41.3	0.0612	0.0813	1.92	1.45	0.118	1.33
86	"	"	155.6	2.40	7.5	18.1	18.8	0.00834	0.0201	2.51	1.04	0.0209	2.42
87	"	"	155.4	2.40	7.6	17.9	18.4	0.00834	0.0199	2.42	1.02	0.0204	2.36
88	"	"	155.2	2.37	19.3	17.7	79.0	0.0220	0.0202	4.10	4.46	0.0904	0.917
89	"	"	155.1	2.30	13.6	17.6	55.9	0.0164	0.0212	4.10	3.17	0.0673	1.29
90	"	"	154.9	2.40	8.65	17.4	51.9	0.0096	0.0194	6.00	2.98	0.0577	2.01
91	"	"	154.7	2.80	—	17.2	41.5	—	—	—	—	—	—
92	"	"	154.5	2.31	9.87	17.0	40.9	0.01186	0.0204	4.12	2.40	0.0492	1.72
93	"	"	154.2	2.30	9.70	16.7	47.0	0.0117	0.0201	4.85	2.81	0.0566	1.72
94	"	"	155.9	2.05	3.28	18.4	4.6	0.005	0.0231	1.40	0.250	0.00700	5.62
95	"	"	155.8	1.97	3.35	18.3	4.3	0.00554	0.03025	1.284	0.235	0.00710	5.47
96	"	"	155.7	1.96	5.96	18.2	11.5	0.00998	0.0304	1.93	0.632	0.0193	3.05
97	"	"	155.4	1.99	5.43	17.9	11.3	0.0088	0.0290	2.08	0.632	0.0183	3.30
98	"	"	155.2	1.98	11.4	17.7	43.8	0.0187	0.0290	3.84	2.47	0.0715	1.55
99	"	"	155.0	1.98	9.5	17.5	40.2	0.01556	0.02865	4.23	2.30	0.0658	1.84
100	"	"	154.8	1.97	9.35	17.3	34.8	0.01546	0.0286	3.72	2.01	0.0575	1.85
101	"	"	166.8	1.99	21.2	29.3	50.2	0.0344	0.0475	2.37	1.71	0.0813	1.38
102	"	"	166.6	2.00	20.8	29.1	50.7	0.0334	0.0467	2.44	1.74	0.0812	1.40
103	"	"	166.1	1.98	26.2	28.6	91.6	0.0429	0.0468	3.50	3.20	0.150	1.09
104	"	"	166.0	2.00	26.5	28.5	98.1	0.0425	0.0457	3.70	3.44	0.157	1.08
105	"	"	165.6	2.00	52.0	28.1	53.9	0.0835	0.0451	1.035	1.92	0.0864	0.54
106	"	"	165.3	2.07	34.0	27.8	64.4	0.0509	0.0416	2.03	2.32	0.0965	0.818
107	"	"	165.2	2.00	35.4	27.6	60.4	0.0568	0.0443	1.70	2.19	0.0970	0.78
108	"	"	168.6	2.04	30.3	31.1	127.9	0.0469	0.0482	4.22	4.10	0.198	1.03
109	"	"	167.8	2.00	26.7	30.3	57.8	0.0428	0.0486	2.61	1.90	0.0925	1.13
110	"	"	167.6	1.52	2.26	30.3	2.2	0.00628	0.0841	0.973	0.0726	0.00612	13.4
111	"	"	167.6	1.52	2.58	30.1	2.4	0.00718	0.0836	0.934	0.0797	0.00667	11.7

別表-2

Run	流 路 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うち あげ	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
1	1/20	1:0.5	147.5	2.3	6.56	10.0	46.3	0.00795	0.0125	7.06	4.63	0.0560	1.52
2	"	"	147.4	2.4	4.57	9.9	50.5	0.00509	0.0110	11.04	5.10	0.0562	2.16
3	"	"	147.2	2.4	8.25	9.7	29.7	0.0092	0.0108	3.60	3.06	0.0331	1.18
4	"	"	146.9	2.4	10.7	9.4	32.7	0.0119	0.0105	3.06	3.48	0.0364	0.878
5	"	"	155.8	1.9	4.76	18.3	17.3	0.00847	0.0326	3.63	0.95	0.0308	3.85
6	"	"	155.5	2.06	4.24	18.0	16.7	0.00640	0.0272	3.94	0.927	0.0252	4.25
7	"	"	155.3	1.98	7.77	17.8	26.4	0.0129	0.0291	3.40	1.48	0.0432	2.29
8	"	"	155.3	1.9	8.52	17.8	22.0	0.0152	0.0317	2.58	1.24	0.0391	2.09
9	"	"	137.9	1.52	4.12	0.4	2.3	0.0115	0.00111	0.559	—	0.00641	—
10	"	"	137.9	1.54	4.13	0.4	2.3	0.0112	0.00108	0.557	—	0.00622	—
11	"	"	139.3	1.50	10.85	1.8	4.93	0.031	0.000513	0.455	—	0.0140	—
12	"	"	139.2	1.50	10.1	1.7	5.47	0.0288	0.000485	0.541	—	0.0156	—
13	"	"	139.1	1.95	8.82	1.6	6.27	0.0149	0.00027	0.711	—	0.0106	—
14	"	"	139.0	1.96	8.94	1.5	6.09	0.0149	0.00025	0.681	—	0.0102	—
15	"	"	138.9	1.50	16.48	1.4	8.5	0.0469	0.000399	0.516	—	0.0242	—
16	"	"	138.8	1.50	15.4	1.3	7.62	0.0439	0.00037	0.495	—	0.0217	—
17	"	"	138.8	2.00	13.15	1.3	10.84	0.0211	0.000209	0.825	—	0.0174	—
18	"	"	138.7	1.97	12.9	1.2	7.62	0.0213	0.000199	0.590	—	0.0126	—
19	"	"	138.6	2.40	9.87	1.1	8.33	0.0110	0.000123	0.845	—	0.00927	—
20	"	"	138.5	2.40	10.15	1.0	7.44	0.0113	0.000112	0.733	—	0.00828	—
21	"	"	138.4	2.50	9.44	0.9	8.42	0.00962	0.000092	0.893	—	0.00860	—
22	"	"	138.4	2.50	9.20	0.9	7.88	0.0094	0.000092	0.856	—	0.00803	—
23	"	"	146.8	2.44	27.8	9.3	29.0	0.0299	0.0100	1.043	3.11	0.0312	0.335
24	"	"	146.8	2.44	27.3	9.3	25.9	0.0294	0.0100	0.95	2.79	0.0279	0.341
25	"	"	146.5	2.42	40.9	9.0	35.8	0.0449	0.00988	0.875	3.98	0.0392	0.220
26	"	"	146.5	2.48	40.0	9.0	36.8	0.0418	0.0094	0.920	4.10	0.0384	0.225
27	"	"	146.3	2.60	52.8	8.8	39.2	0.0501	0.00837	0.743	4.45	0.0372	0.167
28	"	"	146.2	2.68	50.5	8.7	34.9	0.0451	0.00777	0.691	4.02	0.0312	0.172
29	"	"	146.1	2.44	54.6	8.6	40.0	0.0590	0.00928	0.732	4.65	0.0432	0.157
30	"	"	146.0	2.46	54.8	8.5	36.5	0.0581	0.00900	0.666	4.30	0.0386	0.155
31	"	"	145.9	2.33	18.5	8.4	27.4	0.0219	0.00995	1.48	3.26	0.0324	0.455
32	"	"	145.8	2.37	18.4	8.3	28.0	0.0210	0.0095	1.52	3.38	0.0320	0.451
33	"	"	145.8	—	—	8.3	—	—	—	—	—	—	—
34	"	"	145.8	1.81	26.1	8.3	24.4	0.0511	0.0163	0.935	2.94	0.0477	0.318
35	"	"	145.6	1.75	25.7	8.1	23.5	0.0539	0.0170	0.915	2.90	0.0493	0.315
36	"	"	157.5	2.70	17.6	20.0	84.5	0.0155	0.01765	4.80	4.22	0.0745	1.14
37	"	"	157.3	2.60	16.0	19.8	80.6	0.0152	0.0188	5.04	4.07	0.0766	1.24
38	"	"	157.0	2.20	19.6	19.5	83.9	0.026	0.0258	4.28	4.30	0.111	0.995
39	"	"	156.9	2.22	17.85	19.4	81.6	0.0232	0.0252	3.45	3.18	0.0802	1.09
40	"	"	156.7	2.57	17.5	19.2	56.4	0.017	0.0187	3.22	2.94	0.0547	1.10
41	"	"	156.6	2.53	17.35	19.1	63.4	0.0174	0.01915	3.66	3.32	0.0636	1.10
42	"	"	156.5	2.25	28.1	19.0	37.9	0.035	0.0240	1.35	2.00	0.0480	0.677
43	"	"	156.3	2.15	25.4	18.8	43.5	0.0352	0.0261	1.72	2.32	0.0605	0.740
44	"	"	155.1	2.10	9.95	17.6	30.8	0.0144	0.0256	3.10	1.75	0.0447	1.77
45	"	"	155.0	2.10	9.08	17.5	28.0	0.0132	0.0254	3.08	1.60	0.0407	1.93
46	"	"	154.8	2.52	15.9	17.3	75.0	0.0161	0.0175	4.71	4.33	0.0756	1.09
47	"	"	154.7	2.10	19.8	17.2	66.6	0.0288	0.0250	3.36	3.87	0.0969	0.87
48	"	"	154.6	2.10	20.5	17.1	53.2	0.0298	0.0248	2.59	3.11	0.0773	0.835
49	"	"	154.5	2.08	3.58	17.0	5.38	0.0053	0.0252	1.50	0.314	0.00791	5.09
50	"	"	154.1	2.06	9.55	16.6	30.4	0.0144	0.0251	3.18	1.83	0.0460	1.74
51	"	"	154.0	2.05	5.93	16.5	15.4	0.00906	0.0252	2.60	0.934	0.0235	2.79
52	"	"	153.9	2.10	5.63	16.4	15.6	0.00817	0.0238	2.77	0.952	0.0226	2.91
53	"	"	153.7	2.10	29.5	16.2	37.0	0.0429	0.0235	1.25	2.28	0.0537	0.550
54	"	"	153.5	2.12	29.4	16.0	37.4	0.0420	0.0229	1.27	2.33	0.0533	0.545
55	"	"	156.5	2.00	11.7	19.0	35.3	0.0188	0.0305	3.01	1.86	0.0567	1.63

別表-2 (つづき)

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H_0	堤脚 水深	うちあ げ 高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
56	1/20	1:0.5	156.4	2.03	10.0	18.9	32.3	0.0156	0.0296	3.23	1.71	0.0503	1.89
57	"	"	156.2	2.10	36.5	18.7	51.0	0.0530	0.0272	1.40	2.73	0.0740	0.513
58	"	"	156.0	2.10	37.2	18.5	51.0	0.0540	0.0269	1.37	2.76	0.0740	0.497
59	"	"	155.9	2.50	33.1	18.4	41.2	0.0340	0.0189	1.25	2.24	0.0423	0.557
60	"	"	155.7	2.50	35.0	18.2	41.0	0.0359	0.0187	1.17	2.26	0.0421	0.520
61	"	"	156.8	2.55	43.7	19.3	51.1	0.0430	0.0195	1.17	2.64	0.0503	0.442
62	"	"	156.7	2.52	41.3	19.2	48.9	0.04175	0.0194	1.18	2.55	0.0494	0.465
63	"	"	156.6	2.75	51.5	19.1	58.5	0.0436	0.0162	1.14	3.06	0.0496	0.371
64	"	"	156.6	—	—	19.1	—	—	—	—	—	—	—
65	"	"	156.5	2.46	65.0	19.0	58.5	0.0688	0.0201	0.900	3.08	0.0620	0.292
66	"	"	156.4	2.39	10.4	18.9	47.8	0.0117	0.0212	4.80	2.53	0.0542	1.82
67	"	"	156.3	2.37	10.9	18.8	49.0	0.01245	0.0215	4.50	2.61	0.0561	1.73
68	"	"	156.2	2.40	5.62	18.7	19.7	0.00625	0.0208	3.51	1.05	0.0221	3.33
69	"	"	156.0	2.40	7.82	18.5	31.6	0.0087	0.0206	4.04	1.71	0.0352	2.37
70	"	"	156.0	2.40	7.85	18.5	29.9	0.00874	0.0206	3.81	1.62	0.0333	2.36
71	"	"	151.0	2.24	32.5	13.5	40.7	0.0415	0.01725	1.25	3.01	0.0518	0.416
72	"	"	151.0	2.20	29.9	13.5	36.4	0.0396	0.0243	1.22	2.70	0.0482	0.452
73	"	"	151.0	2.00	23.9	13.5	32.5	0.0383	0.0217	1.36	2.41	0.0521	0.565
74	"	"	151.0	2.24	20.0	13.5	26.5	0.0256	0.01725	1.325	1.96	0.0339	0.675
75	"	"	150.9	2.20	18.85	13.4	28.2	0.0250	0.0178	1.50	2.10	0.0373	0.712
76	"	"	150.7	2.06	11.5	13.2	30.3	0.0174	0.0199	2.64	2.29	0.0457	1.15
77	"	"	150.6	2.15	10.0	13.1	37.6	0.0139	0.0182	3.76	2.86	0.0522	1.31
78	"	"	150.5	2.16	10.4	13.0	35.6	0.0143	0.0179	3.42	2.74	0.0490	1.25
79	"	"	168.7	1.52	1.49	31.2	1.88	0.00414	0.0807	1.26	0.0503	0.00522	20.9
80	"	"	168.6	1.54	1.17	31.1	2.06	0.00316	0.0840	1.76	0.0663	0.00557	26.6
81	"	"	168.5	1.54	6.05	31.0	6.54	0.0163	0.0838	1.08	0.209	0.0175	5.13
82	"	"	168.5	1.48	5.12	31.0	6.08	0.0150	0.0907	1.19	0.196	0.0178	6.07
83	"	"	168.4	1.50	8.34	30.9	10.5	0.0237	0.0830	1.26	0.340	0.0297	3.71
84	"	"	168.3	1.50	6.65	30.8	12.3	0.0190	0.0878	1.85	0.399	0.0350	4.64
85	"	"	168.2	1.90	6.25	30.7	9.67	0.0111	0.0545	1.55	0.315	0.0172	4.92
86	"	"	168.1	1.95	6.20	30.6	8.6	0.0104	0.0517	1.385	0.281	0.0145	4.93
87	"	"	167.3	1.50	10.8	29.8	16.75	0.0308	0.085	1.55	0.562	0.0477	2.76
88	"	"	167.1	1.54	11.63	29.6	16.3	0.0315	0.080	1.40	0.550	0.0441	2.55
89	"	"	166.9	2.13	7.49	29.4	14.5	0.0106	0.0416	1.94	0.493	0.0205	4.24
90	"	"	166.9	1.52	14.8	29.4	21.8	0.0411	0.0817	1.47	0.742	0.0606	1.99
91	"	"	166.8	1.50	12.15	29.3	22.9	0.0346	0.0835	1.885	0.782	0.0652	2.40
92	"	"	166.7	2.16	10.4	29.2	21.4	0.0143	0.0401	2.06	0.732	0.0294	2.81
93	"	"	166.6	1.50	16.65	29.1	36.0	0.0475	0.0830	2.16	1.24	0.103	1.75
94	"	"	166.5	1.46	19.6	29.0	25.0	0.0590	0.0874	1.275	0.863	0.0753	1.48
95	"	"	166.4	1.45	19.5	28.9	30.6	0.0595	0.0880	1.57	1.06	0.0946	1.48
96	"	"	166.3	1.93	15.9	28.8	27.0	0.0274	0.0495	1.70	0.937	0.0464	1.81
97	"	"	166.2	1.97	16.4	28.7	35.6	0.0272	0.0474	2.17	1.24	0.0589	1.75
98	"	"	167.9	1.94	27.1	30.4	53.5	0.0462	0.0518	1.98	1.76	0.0909	1.12
99	"	"	167.6	1.98	24.2	30.1	62.0	0.0397	0.0492	2.56	2.06	0.101	1.24
100	"	"	167.5	2.00	39.5	30.0	79.0	0.0634	0.0482	2.00	2.64	0.127	0.76
101	"	"	167.5	2.04	36.4	30.0	61.7	0.0560	0.0462	1.70	2.05	0.0949	0.825
102	"	"	167.3	1.98	9.25	29.8	13.1	0.0151	0.0487	1.42	0.438	0.0214	3.22
103	"	"	167.2	1.98	8.25	29.7	13.15	0.0135	0.0486	1.595	0.444	0.0215	3.60
104	"	"	167.0	1.96	12.75	29.5	23.5	0.0204	0.0492	1.92	0.797	0.0392	2.40
105	"	"	166.9	1.97	12.20	29.4	23.4	0.0202	0.0486	1.92	0.796	0.0387	2.41
106	"	"	166.8	2.00	4.48	29.3	5.2	0.00718	0.0470	1.16	0.178	0.00834	6.54
107	"	"	166.8	1.95	4.63	29.3	5.65	0.00780	0.0495	1.22	0.193	0.00952	6.34

別表-3

Run	海 こう 底配	の り こう配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うち あげ	高さ	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
1	1/20	1:1.0	138.6	1.52	3.93	0.6	3.33	0.0109	0.00166	0.85	—	—	0.00921	—
2	"	"	138.5	1.50	3.82	0.5	3.33	0.0109	0.00143	0.87	—	—	0.00947	—
3	"	"	138.5	1.94	2.86	0.5	3.12	0.00488	0.00085	1.09	—	—	0.00535	—
4	"	"	138.5	1.50	9.45	0.5	5.25	0.0269	0.000143	0.555	—	—	0.0149	—
5	"	"	138.5	1.50	8.82	0.5	6.10	0.0251	0.000143	0.691	—	—	0.0174	—
6	"	"	138.5	1.98	6.78	0.5	6.10	0.0111	0.00082	0.90	—	—	0.00996	—
7	"	"	138.5	1.99	6.38	0.5	5.95	0.0103	0.00081	0.935	—	—	0.00965	—
8	"	"	138.4	2.00	11.6	0.4	5.17	0.0186	0.00064	0.446	—	—	0.00829	—
9	"	"	138.4	2.00	11.7	0.4	5.02	0.0187	0.00064	0.429	—	—	0.00806	—
10	"	"	138.4	1.93	9.15	0.4	5.95	0.0157	0.00069	0.650	—	—	0.0102	—
11	"	"	138.4	1.93	9.20	0.4	6.02	0.0158	0.00069	0.655	—	—	0.0103	—
12	"	"	138.4	1.50	17.35	0.4	6.72	0.0495	0.00114	0.388	—	—	0.0191	—
13	"	"	138.4	1.50	15.80	0.4	7.44	0.0450	0.00114	0.471	—	—	0.0212	—
14	"	"	138.3	1.96	12.90	0.3	7.30	0.0215	0.00050	0.565	—	—	0.0122	—
15	"	"	138.3	1.92	12.45	0.3	10.9	0.0217	0.000522	0.875	—	—	0.0190	—
16	"	"	138.1	2.43	9.9	0.1	7.08	0.0108	0.00019	0.715	—	—	0.00768	—
17	"	"	138.1	2.48	9.12	0.1	9.3	0.0095	0.000104	1.02	—	—	0.00968	—
18	"	"	138.1	2.50	8.64	0.1	7.6	0.00885	0.000103	0.88	—	—	0.00780	—
19	"	"	138.0	2.65	8.74	0	8.22	0.00798	0	0.942	—	—	0.00750	—
20	"	"	138.0	1.50	18.9	0	6.95	0.0539	0	0.368	—	—	0.0197	—
21	"	"	138.0	1.48	18.9	0	7.93	0.0552	0	0.420	—	—	0.0232	—
22	"	"	147.3	2.37	8.15	9.8	38.4	0.0093	0.0112	4.71	3.92	—	0.0437	1.20
23	"	"	147.3	2.38	8.3	9.8	38.0	0.0094	0.0111	4.58	3.88	—	0.0429	1.18
24	"	"	147.2	2.38	12.8	9.7	25.4	0.0145	0.0110	1.98	2.62	—	0.0287	0.758
25	"	"	147.2	2.39	12.25	9.7	25.3	0.0138	0.0109	2.06	2.61	—	0.0284	0.792
26	"	"	147.5	2.47	30.2	9.5	24.3	0.0317	0.00998	0.805	2.56	—	0.0255	0.315
27	"	"	147.5	2.50	25.9	9.5	28.2	0.0266	0.00973	1.09	2.97	—	0.0289	0.367
28	"	"	147.4	2.48	24.8	9.4	23.5	0.0258	0.00980	0.950	2.50	—	0.0245	0.379
29	"	"	147.4	2.45	19.8	9.4	22.8	0.0212	0.01	1.15	2.43	—	0.0244	0.475
30	"	"	147.4	2.40	19.1	9.4	23.3	0.0212	0.0105	1.22	2.48	—	0.0258	0.493
31	"	"	147.3	2.55	41.1	9.3	27.1	0.0405	0.00917	0.660	2.92	—	0.0267	0.226
32	"	"	147.2	2.55	41.4	9.2	28.0	0.0408	0.00907	0.678	3.05	—	0.0276	0.222
33	"	"	147.2	2.25	41.2	9.2	33.1	0.0522	0.0116	0.804	3.59	—	0.0419	0.214
34	"	"	146.6			8.6								
35	"	"	146.4	2.60	52.1	8.4	34.2	0.0490	0.00795	0.658	4.08	—	0.0323	0.161
36	"	"	146.3	2.65	48.2	8.3	38.8	0.0438	0.00755	0.806	4.67	—	0.0353	0.172
37	"	"	157.2	2.04	3.95	19.2	5.17	0.00614	0.028	1.305	0.269	—	0.00795	4.87
38	"	"	157.2	2.04	3.76	19.2	5.17	0.00578	0.028	1.375	0.269	—	0.00795	5.11
39	"	"	157.1	1.90	11.3	19.1	25.4	0.020	0.039	2.225	1.33	—	0.0450	1.69
40	"	"	157.1	1.90	10.7	19.1	28.3	0.019	0.0338	2.64	1.48	—	0.0502	1.79
41	"	"	157.0	2.43	7.35	19.0	23.4	0.0080	0.0207	3.18	1.23	—	0.0254	2.59
42	"	"	157.0	2.42	7.17	19.0	22.4	0.00785	0.0208	3.12	1.18	—	0.0245	2.65
43	"	"	156.9	2.04	6.10	18.9	13.7	0.0094	0.0291	2.25	0.726	—	0.0211	3.10
44	"	"	156.9	2.05	6.55	18.9	12.1	0.0100	0.0289	1.85	0.640	—	0.0185	2.85
45	"	"	156.9	1.97	9.62	18.9	28.45	0.0159	0.0312	2.96	1.50	—	0.0470	1.97
46	"	"	156.8	1.97	9.30	18.8	27.6	0.0154	0.0311	2.97	1.47	—	0.0457	2.02
47	"	"	156.7	1.94	4.14	18.7	6.5	0.00705	0.0318	1.57	0.346	—	0.0111	4.52
48	"	"	156.7	2.00	4.10	18.7	6.02	0.00658	0.0300	1.47	0.322	—	0.00965	4.57
49	"	"	156.6	2.00	20.4	18.6	59.1	0.0327	0.0299	2.89	3.17	—	0.0947	0.912
50	"	"	156.7	1.96	20.0	18.7	61.4	0.0333	0.0312	3.07	3.28	—	0.102	0.935
51	"	"	156.5	1.96	25.3	18.5	40.0	0.0422	0.0309	1.58	2.14	—	0.0667	0.732
52	"	"	156.5	2.00	24.8	18.5	42.6	0.0398	0.0297	1.72	2.30	—	0.0682	0.748
53	"	"	156.5	1.96	31.5	18.5	39.4	0.0525	0.0309	1.25	2.13	—	0.0657	0.587
54	"	"	156.5	1.94	30.8	18.5	47.6	0.0525	0.0315	1.55	2.57	—	0.0812	0.640
55	"	"	156.4	2.38	24.2	18.4	43.3	0.0274	0.0208	1.79	2.35	—	0.0490	0.760

別表-3 (つづき)

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H_0	堤脚 水深	うち あげ 高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
56	1/20	1:1.0	156.3	2.40	23.5	18.3	48.0	0.0262	0.0204	2.04	2.62	0.0535	0.778
57	"	"	156.2	1.96	20.3	18.2	51.3	0.0338	0.0304	2.53	2.81	0.0855	0.898
58	"	"	156.2	1.90	16.35	18.2	49.8	0.0291	0.0324	3.04	2.74	0.0885	1.11
59	"	"	156.2	2.38	14.5	18.2	60.5	0.0164	0.0206	4.17	3.32	0.0686	1.25
60	"	"	156.0	2.37	15.2	18.0	59.0	0.0173	0.0206	3.88	3.28	0.0674	1.18
61	"	"	156.0	1.94	7.00	18.0	22.3	0.0119	0.0307	3.18	1.24	0.0380	2.57
62	"	"	156.0	1.97	6.85	18.0	21.4	0.0113	0.0298	3.13	1.19	0.0354	2.63
63	"	"	156.7	1.96	19.45	18.7	45.4	0.0324	0.0312	2.33	2.43	0.0756	0.960
64	"	"	156.6	1.98	16.9	18.6	52.0	0.0276	0.0304	3.08	2.79	0.0850	1.10
65	"	"	156.6	2.04	28.0	18.6	38.3	0.0431	0.0286	1.37	2.06	0.0590	0.664
66	"	"	155.5	2.45	19.7	18.5	41.2	0.0210	0.0198	2.09	2.23	0.0440	0.940
67	"	"	156.5	2.50	19.0	18.5	46.9	0.0195	0.0190	2.46	2.53	0.0480	0.972
68	"	"	156.4	2.42	9.96	18.4	61.7	0.0109	0.0201	6.20	3.36	0.0675	1.85
69	"	"	156.4	2.42	15.45	18.4	58.4	0.0169	0.0201	3.78	3.17	0.0640	1.19
70	"	"	156.3	2.40	13.9	18.3	63.0	0.0155	0.0204	4.53	3.44	0.0702	1.32
71	"	"	156.3	2.40	13.6	18.3	64.0	0.01515	0.0204	4.70	3.50	0.0713	1.35
72	"	"	156.2	2.42	13.6	18.2	63.8	0.0148	0.0199	4.70	3.50	0.0698	1.47
73	"	"	152.7	2.30	44.9	14.7	37.7	0.0544	0.0178	0.84	2.65	0.0457	0.328
74	"	"	152.6	2.27	44.5	14.6	41.2	0.0554	0.0182	0.927	2.82	0.0514	0.328
75	"	"	152.6	2.20	44.3	14.6	37.8	0.0587	0.0194	0.854	2.58	0.0500	0.330
76	"	"	152.5	2.23	33.0	14.5	31.9	0.0425	0.0187	0.987	2.20	0.0412	0.439
77	"	"	152.5	2.18	32.6	14.5	31.3	0.0440	0.0196	0.960	2.16	0.0422	0.445
78	"	"	152.5	2.14	26.0	14.5	31.3	0.0382	0.0213	1.20	2.16	0.0460	0.557
79	"	"	152.5	2.18	28.8	14.5	31.0	0.0389	0.0196	1.08	2.14	0.0418	0.503
80	"	"	168.5	1.93	3.39	30.5	4.53	0.00583	0.0525	1.34	0.149	0.00780	9.00
81	"	"	168.4	1.50	3.74	30.4	5.38	0.0107	0.0857	1.44	0.177	0.0153	8.12
82	"	"	168.4	1.50	3.37	30.4	4.53	0.0096	0.0866	1.34	0.149	0.0127	9.03
83	"	"	168.3	1.50	11.2	30.3	16.3	0.0319	0.0863	1.46	0.538	0.0464	2.72
84	"	"	168.3	1.50	11.0	30.3	15.87	0.0314	0.0863	1.44	0.523	0.0452	2.76
85	"	"	168.2	1.50	9.00	30.2	14.2	0.0256	0.0860	1.58	0.470	0.0404	3.35
86	"	"	168.2	1.48	9.9	30.2	12.9	0.0290	0.0884	1.30	0.427	0.0378	3.05
87	"	"	168.1	1.42	17.2	30.1	20.8	0.0548	0.0958	1.21	0.692	0.0663	1.75
88	"	"	168.0	1.40	15.2	30.0	19.4	0.0497	0.0980	1.28	0.647	0.0634	1.98
89	"	"	167.8	1.46	11.4	29.8	15.85	0.0343	0.0898	1.39	0.532	0.0477	2.61
90	"	"	167.8	1.42	11.9	29.8	15.3	0.0379	0.0950	1.29	0.513	0.0487	2.50
91	"	"	169.7	1.47	15.7	31.7	22.3	0.0466	0.0941	1.42	0.703	0.0662	2.02
92	"	"	169.6	1.44	15.3	31.6	22.0	0.0472	0.0975	1.44	0.697	0.0678	2.07
93	"	"	169.5	1.46	18.6	31.5	25.4	0.0561	0.0950	1.37	0.802	0.0758	1.69
94	"	"	169.4	1.46	18.7	31.4	22.4	0.0564	0.0945	1.20	0.714	0.0675	1.68
95	"	"	169.3	1.46	7.25	31.3	7.3	0.0218	0.0944	1.01	0.233	0.0220	4.32
96	"	"	169.2	1.42	6.04	31.2	6.94	0.0192	0.0995	1.15	0.222	0.0221	5.17
97	"	"	169.1	1.41	5.84	31.1	5.66	0.0188	0.100	0.97	0.182	0.0183	5.32
98	"	"	168.6	1.94	4.55	30.6	6.87	0.00775	0.0522	1.51	0.224	0.0117	6.72
99	"	"	168.5	1.94	5.00	30.5	7.22	0.00852	0.0520	1.44	0.236	0.0123	6.10
100	"	"	168.4	1.44	1.45	30.4	1.42	0.00448	0.0940	0.98	0.0467	0.00437	26.60
101	"	"	168.3	1.45	2.83	30.3	3.33	0.00863	0.0924	1.18	0.110	0.0101	10.70
102	"	"	168.3	1.46	2.63	30.3	3.19	0.00793	0.0913	1.21	0.105	0.00960	11.50
103	"	"	168.2	2.00	9.7	30.2	15.3	0.0156	0.0485	1.58	0.507	0.0246	3.11
104	"	"	168.1	1.92	9.3	30.1	15.8	0.0162	0.0524	1.70	0.525	0.0275	3.24
105	"	"	168.1	1.93	14.7	30.1	27.2	0.0253	0.0518	1.85	0.905	0.0468	2.05
106	"	"	168.0	2.00	14.0	30.0	26.4	0.0225	0.0481	1.89	0.880	0.0423	2.14
107	"	"	167.9	1.97	20.6	29.9	54.5	0.0341	0.0495	2.64	1.82	0.0900	1.45
108	"	"	167.8	1.99	18.6	29.8	39.5	0.0301	0.0483	2.12	1.32	0.0640	1.60
109	"	"	167.8	2.02	24.1	29.8	58.3	0.0379	0.0469	2.42	1.96	0.0917	1.24
110	"	"	167.8	1.96	25.9	29.8	61.0	0.0432	0.0497	2.36	2.04	0.102	1.15
111	"	"	168.5	2.00	36.2	30.5	47.1	0.0581	0.0490	1.30	1.54	0.0756	0.845
112	"	"	168.1	2.07	33.3	30.1	62.8	0.0499	0.0450	1.89	2.09	0.0940	0.904
113	"	"	168.0	1.98	35.0	30.0	50.6	0.0572	0.0490	1.45	1.69	0.0828	0.855

別表-4

Run	海 底 の り の 配	水 路 深	周期 T	波高 H_0	提脚 水深	うち あ 高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
1	1/20	137.5	2.12	4.0	1.0	3.8	0.00572	—	0.89	—	—	—
2	"	"	2.10	6.32	"	3.8	0.00920	—	0.602	—	—	—
3	"	"	1.70	6.8	"	2.96	0.0151	—	0.435	—	—	—
4	"	"	1.80	6.5	"	2.74	0.0129	—	0.422	—	—	—
5	"	"	2.25	8.2	"	4.98	0.0103	—	0.608	—	—	—
6	"	"	1.65	14.8	0.4	4.56	0.0348	—	0.308	—	—	—
7	"	"	1.86	13.6	"	6.15	0.0271	—	0.45	—	—	—
8	"	"	1.61	13.8	"	4.39	0.0342	—	0.318	—	—	—
9	"	"	3.35	3.8	0	3.59	0.00217	0	0.944	—	—	—
10	"	"	2.90	5.87	"	5.26	0.0044	0	0.897	—	—	—
11	"	"	1.54	12.95	"	3.68	0.0356	0	0.284	—	—	—
12	"	"	2.05	6.75	"	8.0	0.0103	0	1.185	—	—	—
13	"	146.0	2.42	5.15	8.5	28.4	0.00567	0.00933	5.93	—	—	—
14	"	"	2.26	5.90	"	29.0	0.00745	0.0107	4.91	—	—	—
15	"	"	2.20	8.08	"	24.8	0.0108	0.0113	3.07	—	—	—
16	"	"	2.28	8.43	"	23.0	0.0104	0.0105	2.74	—	—	—
17	"	"	2.20	16.4	"	19.5	0.0218	0.0113	1.19	—	—	—
18	"	"	2.32	16.4	"	22.1	0.0199	0.0103	1.34	—	—	—
19	"	"	2.38	27.6	"	25.0	0.031	0.00955	0.907	—	—	—
20	"	"	2.38	27.1	"	26.2	0.0305	0.00955	0.967	—	—	—
21	"	143.3	1.96	26.3	6.28	23.0	0.0439	0.0105	0.875	—	—	—
22	"	"	2.06	20.1	"	21.3	0.0304	0.00951	1.06	—	—	—
23	"	"	1.98	29.5	"	24.3	0.0469	0.00955	0.824	—	—	—
24	"	"	1.96	29.1	"	19.1	0.0485	0.0105	0.657	—	—	—
25	"	"	1.90	41.8	4.90	20.1	0.0743	0.00871	0.481	—	—	—
26	"	"	1.90	40.9	"	17.6	0.0727	0.0087	0.430	—	—	—
27	"	157.6	2.46	36.1	20.1	46.5	0.0373	0.0214	1.32	—	—	—
28	"	"	2.52	37.5	"	40.0	0.0379	0.0203	1.07	—	—	—
29	"	"	2.46	36.1	"	40.2	0.0382	0.0212	1.11	—	—	—
30	"	"	2.19	35.1	"	45.6	0.0468	0.0269	1.30	—	—	—
31	"	"	2.10	39.4	"	43.0	0.0573	0.0292	1.09	—	—	—
32	"	"	2.00	46.0	"	40.9	0.0740	0.0324	0.89	—	—	—
33	"	155.9	2.44	36.3	18.4	42.2	0.0390	0.0198	1.16	—	—	—
34	"	"	2.50	46.3	"	38.8	0.0475	0.0189	0.838	—	—	—
35	"	"	2.50	47.2	"	39.5	0.0484	0.0189	0.837	—	—	—
36	"	"	2.54	67.1	"	42.4	0.0667	0.0182	0.596	—	—	—
37	"	"	2.52	69.8	"	48.0	0.0704	0.0186	0.689	—	—	—
38	"	"	2.10	43.7	"	47.8	0.0633	0.0267	1.09	—	—	—
39	"	"	1.96	30.6	"	39.5	0.0512	0.0307	1.29	—	—	—
40	"	"	2.35	25.0	"	37.4	0.0289	0.0213	1.50	—	—	—
41	"	"	2.36	24.4	"	38.4	0.0278	0.0210	1.57	—	—	—
42	"	155.0	2.30	20.8	17.5	45.7	0.0251	0.0211	2.19	—	—	—
43	"	"	2.28	20.7	"	46.1	0.0255	0.0216	2.22	—	—	—
44	"	"	1.86	25.5	"	29.1	0.0471	0.0324	1.14	—	—	—
45	"	"	1.95	17.4	"	55.5	0.0290	0.0295	3.19	—	—	—
46	"	"	1.94	17.4	"	47.2	0.0296	0.0298	2.70	—	—	—
47	"	"	2.28	13.2	"	49.5	0.0163	0.0216	3.75	—	—	—
48	"	"	2.30	13.5	"	50.3	0.0163	0.0211	3.72	—	—	—
49	"	"	1.87	11.1	"	30.5	0.0204	0.0322	2.75	—	—	—
50	"	"	1.90	10.8	"	31.7	0.0193	0.0312	2.94	—	—	—
51	"	"	2.16	8.8	"	36.2	0.0121	0.0241	3.43	—	—	—
52	"	"	2.25	8.5	"	31.4	0.0107	0.0221	3.70	—	—	—
53	"	156.3	2.35	3.6	18.8	8.3	0.0042	0.0219	2.30	—	—	—
54	"	"	2.40	3.39	"	6.22	0.0038	0.0209	1.83	—	—	—
55	"	"	1.94	4.58	"	10.6	0.0079	0.0321	2.31	—	—	—

別表-4 (つづき)

Run	海 こう 配	底 の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
56	1/20	1:2.0	156.3	1.98	4.6	18.8	10.8	0.0076	0.0308	2.35	—	—	—
57	"	"	"	2.35	5.03	"	10.3	0.0059	0.0219	2.05	—	—	—
58	"	"	"	2.35	5.15	"	17.6	0.0060	0.0219	3.42	—	—	—
59	"	"	"	2.30	5.45	"	13.9	0.0066	0.0228	2.55	—	—	—
60	"	"	153.6	1.96	7.25	16.1	20.6	0.0121	0.0268	2.84	—	—	—
61	"	"	"	1.70	8.0	"	18.7	0.0177	0.0358	2.34	—	—	—
62	"	"	"	1.90	7.67	"	18.1	0.0136	0.0287	2.36	—	—	—
63	"	"	167.6	1.96	7.52	30.1	17.0	0.0125	0.0502	2.26	—	—	—
64	"	"	"	1.98	7.76	"	16.7	0.0127	0.0493	2.15	—	—	—
65	"	"	"	1.55	9.03	"	19.5	0.0244	0.0813	2.16	—	—	—
66	"	"	"	1.52	8.52	"	18.8	0.0236	0.0837	2.21	—	—	—
67	"	"	"	1.40	6.42	"	11.1	0.0210	0.0985	1.73	—	—	—
68	"	"	"	1.40	6.33	"	12.7	0.0206	0.0985	2.01	—	—	—
69	"	"	"	1.40	6.22	"	11.8	0.0203	0.0985	1.90	—	—	—
70	"	"	"	2.0	5.11	"	9.8	0.0081	0.0482	1.92	—	—	—
71	"	"	"	2.0	5.11	"	9.2	0.0081	0.0482	1.80	—	—	—
72	"	"	"	1.40	2.81	"	4.8	0.0078	0.0905	1.71	—	—	—
73	"	"	"	1.35	3.11	"	3.5	0.0109	0.106	1.12	—	—	—
74	"	"	167.5	1.40	2.82	30.0	5.2	0.0092	0.098	1.81	—	—	—
75	"	"	"	1.90	2.22	"	4.1	0.0039	0.0533	1.84	—	—	—
76	"	"	"	1.88	2.31	"	3.9	0.0042	0.0545	1.69	—	—	—
77	"	"	"	1.90	13.2	"	32.7	0.0234	0.0533	2.47	—	—	—
78	"	"	"	1.88	13.0	"	34.0	0.0236	0.0545	2.61	—	—	—
79	"	"	"	1.45	15.7	"	30.9	0.0482	0.0923	1.97	—	—	—
80	"	"	"	1.40	14.2	"	30.4	0.0464	0.0980	2.14	—	—	—
81	"	"	"	1.90	19.0	"	59.6	0.0337	0.0533	3.14	—	—	—
82	"	"	"	2.0	18.3	"	56.7	0.0294	0.043	3.09	—	—	—
83	"	"	"	1.40	24.2	"	39.6	0.0790	0.098	1.63	—	—	—
84	"	"	168.0	1.40	23.8	30.4	47.6	0.0780	0.0994	2.06	—	—	—
85	"	"	167.5	1.40	21.8	30.0	42.7	0.0711	0.0980	1.97	—	—	—
86	"	"	"	1.95	28.0	"	74.7	0.0475	0.0508	2.66	—	—	—
87	"	"	"	1.88	28.1	"	62.5	0.0511	0.0544	2.22	—	—	—
88	"	"	"	2.00	36.0	"	56.8	0.0575	0.0480	1.58	—	—	—
89	"	"	"	1.95	37.0	"	59.8	0.0627	0.0507	1.62	—	—	—

別表-5

Run	底のり配	水路水深	周期 T	波高 H_0	堤脚水深	うちあけ	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
1	1/20	1:3.0	137.5	2.36	9.7	0	5.94	0.0112	0.61	—	—	—
2	"	"	"	2.45	9.6	"	4.85	0.0102	0.51	—	—	—
3	"	"	"	2.02	11.7	"	4.55	0.0186	0.39	—	—	—
4	"	"	"	2.02	12.7	"	4.58	0.0201	0.36	—	—	—
5	"	"	"	1.75	14.2	"	4.10	0.0300	0.29	—	—	—
6	"	"	"	1.75	14.6	"	3.63	0.0308	0.25	—	—	—
7	"	"	"	1.46	17.1	"	2.05	0.0515	0.12	—	—	—
8	"	"	138.5	1.38	11.7	0.95	4.95	0.0394	0.0032	—	—	—
9	"	"	"	2.82	3.1	"	2.72	0.0025	0.0077	—	—	—
10	"	"	"	1.96	4.43	"	3.00	0.0074	0.0016	—	—	—
11	"	"	"	1.90	4.40	"	2.66	0.0078	0.0017	—	—	—
12	"	"	137.5	1.85	18.3	0	8.07	0.0343	0.47	—	—	—
13	"	"	"	1.72	21.0	"	7.45	0.0458	0.35	—	—	—
14	"	"	139.3	1.44	22.0	1.58	9.10	0.0682	0.0049	—	—	—
15	"	"	"	1.44	23.0	"	8.10	0.0712	0.0029	—	—	—
16	"	"	"	1.44	22.3	"	7.78	0.0690	0.0029	—	—	—
17	"	"	146.8	2.40	1.87	9.3	10.2	0.0021	0.0103	—	—	—
18	"	"	"	2.40	1.69	"	9.85	0.0019	0.0103	—	—	—
19	"	"	"	2.45	5.6	"	23.9	0.00596	0.00991	—	—	—
20	"	"	"	2.25	5.70	"	24.3	0.00722	0.0118	—	—	—
21	"	"	146.7	2.30	11.60	9.16	22.6	0.0142	0.0112	—	—	—
22	"	"	"	2.40	10.8	"	21.3	0.0120	0.0102	—	—	—
23	"	"	"	2.35	17.3	"	22.4	0.0201	0.0107	—	—	—
24	"	"	146.0	2.36	17.5	8.5	24.0	0.0201	0.0098	—	—	—
25	"	"	"	2.30	28.7	"	22.8	0.0350	0.0103	—	—	—
26	"	"	"	2.36	27.1	"	24.5	0.0312	0.0098	—	—	—
27	"	"	"	2.38	45.8	"	25.5	0.0515	0.00957	—	—	—
28	"	"	144.5	2.25	43.7	7.0	25.9	0.0552	0.00887	—	—	—
29	"	"	"	1.98	48.8	"	22.2	0.0801	0.0115	—	—	—
30	"	"	"	2.05	50.1	"	22.2	0.0773	0.0108	—	—	—
31	"	"	156.0	2.45	42.7	18.5	41.1	0.0455	0.0197	—	—	—
32	"	"	"	2.45	47.0	"	40.0	0.0500	0.0197	—	—	—
33	"	"	154.9	2.55	50.7	17.4	41.3	0.0492	0.0169	—	—	—
34	"	"	"	2.35	61.7	"	39.2	0.0717	0.0202	—	—	—
35	"	"	155.5	1.58	40.8	18.0	24.1	0.0105	0.0462	—	—	—
36	"	"	"	1.62	40.1	"	26.8	0.0098	0.0430	—	—	—
37	"	"	"	1.60	40.6	"	26.0	0.0102	0.0450	—	—	—
38	"	"	153.3	2.20	33.7	15.8	35.2	0.0447	0.0209	—	—	—
39	"	"	"	1.93	40.6	"	28.3	0.0698	0.0272	—	—	—
40	"	"	"	2.00	38.0	"	32.2	0.0610	0.0253	—	—	—
41	"	"	153.0	2.01	33.5	15.5	31.2	0.0530	0.0245	—	—	—
42	"	"	"	1.82	34.8	"	24.9	0.0674	0.0300	—	—	—
43	"	"	"	1.81	29.3	"	24.8	0.0574	0.0304	—	—	—
44	"	"	"	1.78	29.8	"	22.7	0.0604	0.0314	—	—	—
45	"	"	"	2.18	23.4	"	32.3	0.0315	0.0209	—	—	—
46	"	"	"	2.12	23.6	"	28.4	0.0337	0.0221	—	—	—
47	"	"	152.4	1.75	28.5	14.9	22.9	0.0597	0.0313	—	—	—
48	"	"	155.8	1.98	20.8	18.3	35.7	0.0339	0.0299	—	—	—
49	"	"	"	1.92	23.4	"	29.7	0.0408	0.0318	—	—	—
50	"	"	"	2.38	17.1	"	49.0	0.0193	0.0208	—	—	—
51	"	"	155.3	2.33	18.6	17.8	39.3	0.0219	0.0210	—	—	—
52	"	"	"	1.88	18.3	"	33.0	0.0332	0.0324	—	—	—
53	"	"	"	2.24	14.6	"	44.8	0.0187	0.0227	—	—	—
54	"	"	"	1.84	10.7	"	36.8	0.0203	0.0337	—	—	—
55	"	"	152.6	1.70	12.5	15.1	30.0	0.0277	0.0335	—	—	—

別表-5 (つづき)

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H_0	堤脚 水深	うち あげ 高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
56	1/20	1:3.0	152.6	1.78	5.5	15.1	17.1	0.0111	0.0307	3.11	—	—	—
57	"	"	"	1.78	5.8	"	17.0	0.0118	0.0307	2.93	—	—	—
58	"	"	152.1	2.26	4.0	14.6	14.4	0.00507	0.0186	3.60	—	—	—
59	"	"	"	2.10	6.72	"	12.4	0.00978	0.0212	1.85	—	—	—
60	"	"	"	2.35	4.06	"	13.0	0.00471	0.0169	3.21	—	—	—
61	"	"	"	2.40	9.55	"	40.6	0.0106	0.0163	4.25	—	—	—
62	"	"	"	2.42	8.9	"	41.5	0.00975	0.0160	4.66	—	—	—
63	"	"	"	1.96	12.4	"	32.5	0.0209	0.0244	2.62	—	—	—
64	"	"	155.8	1.86	15.7	18.3	33.2	0.0290	0.0338	2.11	—	—	—
65	"	"	"	1.94	5.5	"	10.9	0.00938	0.0312	1.98	—	—	—
66	"	"	"	1.96	4.9	"	10.5	0.00820	0.0306	2.15	—	—	—
67	"	"	167.9	2.04	4.2	30.4	8.2	0.00649	0.0468	1.95	—	—	—
68	"	"	"	1.96	6.5	"	9.7	0.0108	0.0508	1.49	—	—	—
69	"	"	"	1.94	5.8	"	10.1	0.0090	0.0516	1.74	—	—	—
70	"	"	"	1.46	5.8	"	8.3	0.0172	0.0910	1.43	—	—	—
71	"	"	"	1.40	5.3	"	7.9	0.0174	0.0993	1.49	—	—	—
72	"	"	"	1.38	12.67	"	15.6	0.0426	0.102	1.23	—	—	—
73	"	"	"	1.38	13.10	"	15.0	0.0440	0.102	1.15	—	—	—
74	"	"	168.2	2.12	9.47	30.7	22.1	0.0135	0.0438	2.33	—	—	—
75	"	"	"	2.02	9.73	"	24.1	0.0152	0.0482	2.48	—	—	—

別表-6

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H_0	堤脚 水深	うち あげ 高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
1	1/30	1:0.5	91.8	2.09	2.7	-6.25	0.684	0.0046	-0.0092	0.246	—	0.00100	—
2	"	"	"	1.95	2.7	"	0.670	0.0046	-0.0105	0.244	—	0.00113	—
3	"	"	"	2.00	2.7	"	0.710	0.0044	-0.0100	0.249	—	0.00114	—
4	"	"	"	2.05	5.7	"	1.23	0.0087	-0.0096	0.222	—	0.00188	—
5	"	"	"	2.05	6.0	"	1.31	0.0092	-0.0096	0.204	—	0.00201	—
6	"	"	"	2.00	5.7	"	1.31	0.0091	-0.0100	0.228	—	0.00210	—
7	"	"	"	1.95	12.1	"	2.10	0.0020	-0.0105	0.148	—	0.00355	—
8	"	"	"	1.95	12.1	"	2.19	0.0020	-0.0105	0.203	—	0.00370	—
9	"	"	"	1.95	12.1	"	2.24	0.0020	-0.0105	0.175	—	0.00378	—
10	"	"	"	2.00	17.0	"	2.94	0.0273	-0.0100	0.174	—	0.00471	—
11	"	"	"	1.95	16.5	"	2.73	0.0278	-0.0092	0.168	—	0.00461	—
12	"	"	"	1.95	17.6	-12.1	2.85	0.0296	-0.0092	0.159	—	0.00482	—
13	"	"	92.3	1.95	23.0	"	3.26	0.0388	-0.0105	0.151	—	0.00552	—
14	"	"	"	1.95	24.1	"	3.35	0.0407	-0.0105	0.138	—	0.00557	—
15	"	"	"	2.00	23.6	"	3.37	0.0378	-0.0095	0.165	—	0.00540	—
16	"	"	"	1.98	28.5	"	3.74	0.0465	-0.0101	0.135	—	0.00611	—
17	"	"	"	1.95	28.5	"	3.64	0.0481	-0.0105	0.145	—	0.00615	—
18	"	"	"	2.00	28.5	-6.20	3.64	0.0454	-0.00995	0.141	—	0.00584	—
19	"	"	92.1	2.03	36.8	"	4.33	0.0572	-0.00970	0.118	—	0.00672	—
20	"	"	"	2.10	37.2	"	4.57	0.0542	-0.0090	0.123	—	0.00664	—
21	"	"	"	2.03	38.3	"	4.07	0.0595	-0.0097	0.118	—	0.00632	—
22	"	"	98.0	2.01	40.9	0	10.9	0.0647	"	0.267	—	0.0173	—
23	"	"	"	2.01	40.6	"	12.7	0.0645	"	0.312	—	0.0201	—
24	"	"	"	2.03	41.1	"	12.9	0.0647	"	0.313	—	0.0203	—
25	"	"	"	2.00	40.8	"	12.4	0.0655	"	0.304	—	0.0199	—
26	"	"	"	2.00	41.2	"	13.4	0.0660	"	0.325	—	0.0215	—
27	"	"	"	1.95	29.2	"	8.20	0.0492	"	0.280	—	0.0138	—
28	"	"	"	2.00	28.9	"	10.1	0.0464	"	0.350	—	0.0182	—
29	"	"	"	1.95	28.8	"	6.67	0.0485	"	0.231	—	0.0112	—
30	"	"	"	1.90	18.9	"	5.38	0.0335	"	0.284	—	0.00956	—

別表-6 (つづき)

Run	海 こう配	底 の こう配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うち あ げ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
31	1/30	1:0.5	98.0	2.00	17.9	0	4.93	0.0286	0	0.275	—	0.00792	—
32	"	"	"	1.95	17.8	"	4.48	0.0299	"	0.251	—	0.00754	—
33	"	"	"	2.00	12.4	"	3.58	0.0198	"	0.288	—	0.00574	—
34	"	"	"	2.00	12.3	"	3.58	0.0197	"	0.292	—	0.00574	—
35	"	"	"	2.05	11.5	"	4.03	0.0176	"	0.35	—	0.00618	—
36	"	"	"	2.02	5.6	"	2.69	0.0088	"	0.48	—	0.00423	—
37	"	"	"	1.95	5.8	"	2.79	0.00980	"	0.48	—	0.00470	—
38	"	"	"	1.95	5.8	"	2.65	0.00980	"	0.46	—	0.00447	—
39	"	"	"	1.95	5.7	"	2.72	0.00960	"	0.478	—	0.00458	—
40	"	"	"	1.95	4.8	"	2.48	0.00810	"	0.517	—	0.00417	—
41	"	"	"	1.95	4.7	"	2.55	0.00790	"	0.543	—	0.00429	—
42	"	"	104.0	2.00	4.3	6.25	27.7	0.00685	0.010	6.45	4.20	0.0420	1.33
43	"	"	"	1.95	4.4	"	23.2	0.00738	0.0105	5.28	3.94	0.0414	1.34
44	"	"	"	2.05	4.8	"	24.5	0.00737	0.0096	5.12	3.98	0.0380	1.14
45	"	"	"	2.00	5.9	"	19.7	0.00950	0.010	3.34	3.04	0.0314	0.95
46	"	"	"	1.95	6.1	"	17.8	0.0103	0.0105	2.92	2.53	0.0300	0.905
47	"	"	"	1.95	5.9	"	18.7	0.00994	0.0105	3.17	3.01	0.0315	0.95
48	"	"	"	2.03	11.7	"	19.8	0.0182	0.0097	1.69	2.55	0.0307	0.584
49	"	"	"	1.95	11.8	"	18.6	0.0199	0.0105	1.58	2.26	0.0314	0.600
50	"	"	"	1.95	11.7	"	19.7	0.0197	0.0105	1.68	2.92	0.0331	0.595
51	"	"	"	2.03	17.2	"	18.4	0.0262	0.0096	1.07	2.90	0.0281	0.381
52	"	"	"	1.92	18.0	"	15.9	0.0268	0.0109	0.885	2.67	0.0278	0.392
53	"	"	"	2.03	17.6	"	18.7	0.0276	0.0094	1.06	3.20	0.0292	0.388
54	"	"	"	2.00	24.8	"	21.0	0.0397	0.010	0.847	3.08	0.0336	0.278
55	"	"	"	1.95	26.7	"	29.3	0.0450	0.0105	1.10	5.22	0.0493	0.279
56	"	"	"	2.00	27.2	"	23.9	0.0436	0.010	0.88	3.62	0.0370	0.248
57	"	"	"	2.08	35.9	"	33.7	0.0528	0.0092	0.94	4.60	0.0496	0.174
58	"	"	"	2.00	36.9	"	34.0	0.0592	0.010	0.922	4.74	0.0545	0.174
59	"	"	"	2.00	37.3	"	35.4	0.0600	0.010	0.950	5.08	0.0568	0.173
60	"	"	111.0	2.05	36.5	12.5	47.1	0.0558	0.0191	1.29	3.98	0.0720	0.349
61	"	"	"	1.90	40.2	"	40.3	0.0676	0.0212	1.01	3.62	0.0682	0.310
62	"	"	"	2.05	36.8	"	39.7	0.0563	0.0191	1.08	3.36	0.0607	0.326
63	"	"	"	2.00	24.0	"	33.0	0.0385	0.020	1.37	2.88	0.0529	0.477
64	"	"	"	2.05	24.2	"	36.5	0.0370	0.0191	1.51	2.77	0.0557	0.497
65	"	"	"	2.00	25.0	"	43.6	0.0401	0.020	1.74	3.70	0.0596	0.475
66	"	"	"	2.00	18.6	"	28.6	0.0298	0.020	1.54	2.28	0.0458	0.715
67	"	"	"	1.95	18.9	"	33.5	0.0318	0.021	1.77	2.75	0.0564	0.673
68	"	"	"	2.00	16.8	"	34.0	0.0270	0.020	2.02	2.46	0.0546	0.715
69	"	"	"	1.95	14.1	"	30.0	0.0237	0.021	2.12	2.32	0.0506	0.812
70	"	"	"	1.95	13.5	"	33.1	0.0227	0.021	2.45	2.58	0.0558	0.812
71	"	"	"	2.00	13.3	"	34.2	0.0213	0.020	2.57	2.45	0.0548	0.950
72	"	"	"	1.90	6.4	"	18.7	0.0108	0.0212	2.92	1.50	0.0316	1.89
73	"	"	"	2.05	6.1	"	17.8	0.00925	0.0191	2.93	1.49	0.0272	1.88
74	"	"	"	2.00	6.3	"	18.7	0.0100	0.0200	2.98	1.43	0.0300	2.06
75	"	"	"	1.95	3.6	"	6.6	0.00598	0.0210	1.86	0.53	0.0111	3.76
76	"	"	"	1.95	3.4	"	6.5	0.00574	0.0210	1.91	0.54	0.0100	3.76
77	"	"	"	1.90	3.3	"	6.9	0.00593	0.0222	2.07	0.58	0.0123	3.80
78	"	"	123.0	1.95	3.6	25.0	4.5	0.00608	0.0421	1.24	0.19	0.00754	6.57
79	"	"	"	2.00	3.4	"	4.5	0.00538	0.0400	1.32	0.19	0.00716	6.94
80	"	"	"	1.90	3.2	"	4.5	0.00579	0.0444	1.41	0.18	0.00792	9.15
81	"	"	"	2.00	5.8	"	7.8	0.00923	0.0400	1.34	0.32	0.0125	4.55
82	"	"	"	2.00	5.7	"	8.3	0.00910	0.0400	1.46	0.33	0.0133	4.55
83	"	"	"	2.00	5.7	"	8.1	0.00913	0.0400	1.42	0.32	0.0130	4.55
84	"	"	"	2.00	14.6	"	29.5	0.0234	0.0400	2.02	0.93	0.0473	1.60
85	"	"	"	1.95	14.5	"	29.8	0.0244	0.0420	2.05	1.24	0.0501	1.61

別表-6 (つづき)

Run	海 こう 配	底 の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
86	1/30	1:0.5	123.0	1.95	15.1	25.0	33.4	0.0254	0.0420	2.21	1.38	0.0562	1.61
87	"	"	"	1.95	18.8	—	72.0	0.0316	0.0420	3.83	2.78	0.121	1.13
88	"	"	"	1.95	19.3	—	62.8	0.0325	0.0420	3.30	3.25	0.107	1.03
89	"	"	"	2.00	19.8	—	55.0	0.0313	0.0400	2.84	2.19	0.089	1.03
90	"	"	"	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
91	"	"	"	2.00	27.2	"	69.0	0.0437	0.0400	2.53	3.38	0.110	0.820
92	"	"	"	2.08	25.8	"	81.5	0.0388	0.0370	3.16	3.27	0.121	0.847
93	"	"	"	2.06	25.8	"	72.7	0.0389	0.0376	2.82	3.77	0.109	0.880
94	"	"	"	1.90	44.6	"	57.8	0.0815	0.0456	1.29	2.26	0.105	0.577
95	"	"	"	2.15	24.0	"	60.0	0.0332	0.0346	2.50	2.13	0.0832	0.702
96	"	"	"	1.95	27.8	"	52.7	0.0469	0.0420	1.89	2.11	0.0890	0.601
97	"	"	136.0	2.00	40.5	37.5	88.3	0.0650	0.0600	2.18	2.72	0.141	0.915
98	"	"	"	1.90	42.0	"	75.8	0.0743	0.0677	1.80	2.01	0.135	0.440
99	"	"	"	2.00	40.1	"	94.2	0.0643	0.0600	2.35	2.72	0.151	0.936
100	"	"	"	2.00	27.6	"	60.2	0.0443	0.0600	2.18	1.67	0.0967	1.35
101	"	"	"	1.95	30.4	"	67.8	0.0512	0.0631	2.23	1.85	0.114	1.22
102	"	"	"	2.05	30.8	"	74.2	0.0470	0.0573	2.41	2.04	0.113	1.23
103	"	"	"	2.10	22.5	"	37.8	0.0327	0.0545	1.68	1.02	0.0551	1.62
104	"	"	"	2.00	23.6	"	37.5	0.0378	0.0600	1.59	0.97	0.0600	1.57
105	"	"	"	2.10	22.6	"	38.7	0.0329	0.0545	1.71	1.04	0.0567	1.62
106	"	"	"	2.00	13.5	"	16.8	0.0216	0.0600	1.24	0.445	0.0269	2.87
107	"	"	"	2.00	12.8	"	16.7	0.0205	0.0600	1.30	0.440	0.0268	2.87
108	"	"	"	1.95	13.3	"	16.6	0.0224	0.0631	1.25	0.410	0.0280	2.87
109	"	"	"	2.00	7.3	"	8.71	0.0116	0.0600	1.20	0.236	0.0139	5.29
110	"	"	"	1.95	7.5	"	8.00	0.0126	0.0631	1.07	0.210	0.0135	4.94
111	"	"	"	1.90	7.4	"	8.00	0.0132	0.0667	1.08	0.220	0.0143	4.92
112	"	"	"	2.10	4.0	"	4.48	0.00585	0.0545	1.11	0.119	0.00651	8.60
113	"	"	"	2.05	3.8	"	4.26	0.00580	0.0573	1.12	0.119	0.00651	8.60
114	"	"	"	2.05	4.0	"	4.45	0.00615	0.0573	1.11	0.119	0.00680	8.60
115	"	"	161.0	1.92	3.7	62.5	4.47	0.00647	0.109	1.20	0.072	0.00778	12.2
116	"	"	"	1.96	5.0	"	4.53	0.00833	0.104	0.907	0.072	0.00757	12.5
117	"	"	"	2.05	2.9	"	4.47	0.00443	0.0955	1.54	0.072	0.00682	16.9
118	"	"	"	2.00	5.7	"	7.35	0.00910	0.100	1.29	0.120	0.0118	9.74
119	"	"	"	2.00	6.0	"	7.41	0.00960	0.100	1.23	0.114	0.0119	9.74
120	"	"	"	1.95	5.3	"	6.98	0.00895	0.105	1.32	0.113	0.0117	9.82
121	"	"	"	1.95	13.7	"	17.6	0.0231	0.105	1.28	0.272	0.0297	4.20
122	"	"	"	2.00	13.5	"	18.2	0.0216	0.100	1.35	0.294	0.0292	4.33
123	"	"	"	2.16	13.1	"	16.8	0.0180	0.0556	1.28	0.272	0.0290	5.07
124	"	"	"	1.88	28.5	"	34.2	0.0547	0.120	1.20	0.525	0.0658	2.38
125	"	"	"	2.00	25.7	"	32.0	0.0412	0.100	1.25	0.512	0.0513	2.59
126	"	"	"	2.10	25.0	"	31.5	0.0364	0.0910	1.26	0.502	0.0458	2.62
127	"	"	"	2.00	35.9	"	45.8	0.0576	0.100	1.28	0.800	0.0735	1.91
128	"	"	"	2.00	35.0	"	49.7	0.0562	0.100	1.42	0.741	0.0797	1.85
129	"	"	"	2.10	34.9	"	42.4	0.0509	0.091	1.21	0.631	0.0618	1.92
130	"	"	"	2.06	43.2	"	86.2	0.0655	0.0947	2.00	1.30	0.130	1.49
131	"	"	"	2.15	46.5	"	77.2	0.0643	0.0864	1.66	1.27	0.107	1.47
132	"	"	"	2.00	45.2	"	65.0	0.0725	0.100	1.44	1.06	0.104	1.30
133	"	"	107.0	2.02	4.6	9.35	22.8	0.0072	0.0146	4.96	2.40	0.0357	2.25
134	"	"	"	1.98	4.7	"	21.5	0.00769	0.0153	4.58	2.33	0.0351	2.14
135	"	"	"	2.00	4.8	"	22.7	0.00772	0.0150	4.73	2.27	0.0364	2.03
136	"	"	"	2.05	8.0	"	29.9	0.0111	0.0143	3.74	2.76	0.0457	1.11

別表-7

Run	海 底 の り 配	水 路 水 深	周 期 T	波 高 H ₀	堤 脚 水 深	うち あ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀	
1	1/30	1:1.0	98.0	1.4	2.10	0	1.77	0.00676	0	0.843	0	0.00578	0
2	"	"	"	1.45	2.01	"	1.63	0.00613	"	0.813	"	0.00498	"
3	"	"	"	1.40	13.1	"	5.06	0.0428	"	0.387	"	0.0165	"
4	"	"	"	1.40	13.0	"	3.82	0.0425	"	0.295	"	0.0125	"
5	"	"	"	1.80	7.88	"	3.68	0.0156	"	0.468	"	0.00728	"
6	"	"	"	1.70	9.5	"	3.73	0.0211	"	0.394	"	0.00830	"
7	"	"	"	1.40	18.8	"	5.31	0.0614	"	0.283	"	0.0173	"
8	"	"	"	1.40	17.5	"	4.22	0.0572	"	0.251	"	0.0138	"
9	"	"	"	1.90	13.1	"	5.04	0.0233	"	0.383	"	0.00898	"
10	"	"	"	—	—	"	—	—	—	—	"	—	"
11	"	"	"	1.95	13.7	"	4.53	0.0230	"	0.331	"	0.00762	"
12	"	"	"	2.40	8.53	"	4.03	0.0095	"	0.473	"	0.00448	"
13	"	"	"	2.40	8.45	"	3.97	0.0094	"	0.470	"	0.00442	"
14	"	107.0	2.60	2.90	9.0	9.7	0.00274	0.0085	3.34	1.08	0.00915	3.10	
15	"	"	2.55	2.16	"	8.2	0.00213	0.0089	3.80	0.912	0.00810	4.17	
16	"	"	"	2.45	4.8	"	35.2	0.00512	0.0096	7.32	3.94	0.0376	1.88
17	"	"	"	2.45	4.56	"	35.1	0.00487	"	7.77	3.90	0.0375	1.97
18	"	"	"	2.50	6.70	"	19.2	0.00687	0.00923	2.87	2.13	0.0197	1.34
19	"	"	"	2.40	5.98	"	21.2	0.00664	0.0100	3.54	2.36	0.0235	1.50
20	"	"	"	2.40	11.9	"	23.9	0.0132	"	2.00	2.66	0.0266	0.755
21	"	"	"	2.40	12.4	"	25.2	0.0138	"	2.02	2.80	0.0280	0.725
22	"	"	"	2.35	16.8	"	24.4	0.0194	0.0104	1.45	2.71	0.0284	0.536
23	"	"	"	2.35	15.0	"	22.8	0.0174	"	1.52	2.53	0.0266	0.600
24	"	"	"	2.30	28.8	"	24.7	0.035	0.0109	0.858	2.74	0.0299	0.312
25	"	"	"	2.35	35.4	"	27.4	0.0411	0.0105	0.774	3.04	0.0319	0.254
26	"	"	"	2.40	33.3	"	27.4	0.0370	0.0100	0.820	3.04	0.0305	0.270
27	"	116.0	2.40	44.5	18.0	48.6	0.0494	0.0200	1.09	5.38	0.0540	0.404	
28	"	"	2.45	43.3	"	45.1	0.0463	0.0192	1.04	2.50	0.0482	0.415	
29	"	"	—	—	"	—	—	—	—	—	—	—	—
30	"	"	2.45	37.4	"	50.2	0.0400	0.0192	1.34	2.79	0.0535	0.487	
31	"	"	"	2.40	35.6	"	51.5	0.0396	0.0200	1.45	2.86	0.0572	0.505
32	"	"	"	2.40	26.5	"	42.7	0.0294	"	1.61	2.37	0.0474	0.679
33	"	"	"	2.50	28.8	"	51.2	0.0294	0.0184	1.77	2.84	0.0523	0.625
34	"	"	"	1.95	40.4	"	42.3	0.0684	0.0305	1.05	2.35	0.0718	0.445
35	"	"	"	1.95	40.8	"	40.6	0.0693	0.0305	0.995	2.26	0.0680	0.441
36	"	"	"	1.98	33.9	"	37.5	0.0555	0.0295	1.111	2.08	0.0615	0.531
37	"	"	"	1.95	33.9	"	36.9	0.0575	0.0305	1.09	2.05	0.0626	0.531
38	"	"	"	1.95	30.4	"	37.2	0.0518	"	1.25	2.06	0.0631	0.592
39	"	"	"	1.95	30.8	"	38.6	0.0523	"	1.25	2.14	0.0655	0.585
40	"	"	"	2.45	22.2	"	47.0	0.0237	0.0193	2.12	3.61	0.0502	0.810
41	"	"	"	2.40	22.0	"	41.3	0.0245	0.0200	1.88	2.30	0.0458	0.818
42	"	"	"	1.90	25.4	"	41.3	0.0450	0.0319	1.63	2.30	0.0732	0.708
43	"	"	"	1.90	28.1	"	45.8	0.0498	"	1.63	2.54	0.0810	0.641
44	"	"	"	2.30	12.8	"	58.0	0.0151	0.0216	4.53	3.22	0.0695	1.41
45	"	"	"	2.40	12.6	"	60.3	0.0140	0.0200	4.78	3.35	0.0670	1.43
46	"	"	"	2.00	16.6	"	42.1	0.0266	0.0290	2.54	2.34	0.0675	1.08
47	"	"	"	2.00	13.3	"	43.1	0.0211	"	3.25	2.39	0.0692	1.35
48	"	"	"	2.45	6.47	"	35.6	0.0069	0.0192	5.50	1.98	0.0380	2.78
49	"	"	"	2.40	5.89	"	32.8	0.0065	0.0200	5.57	1.82	0.0364	3.05
50	"	"	"	2.00	9.20	"	42.5	0.0148	0.0290	4.62	2.36	0.0682	1.96
51	"	"	"	1.95	10.50	"	42.0	0.0178	0.0305	4.00	2.34	0.0712	1.71
52	"	"	"	2.45	6.18	"	20.8	0.00659	0.0192	4.53	1.16	0.0222	2.90
53	"	"	"	2.00	8.65	"	22.1	0.0139	0.0289	2.55	1.23	0.0355	2.08
54	"	"	"	2.00	8.00	"	23.9	0.0128	"	2.99	1.33	0.0384	2.24
55	"	"	"	2.45	1.95	"	4.46	0.00208	0.0194	2.29	0.248	0.00477	9.23

別表-7 (つづき)

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H_o	堤脚 水深	うち あ げ 高	H_o/L_o	h/L_o	R/H_o	R/h	R/L_o	h/H_o
56	1/30	1:1.0	116.0	2.45	1.76	18.0	4.3	0.00188	0.0194	2.44	0.239	0.0046	10.3
57	"	"	"	2.00	2.77	"	6.23	0.00445	0.0289	2.24	0.346	0.010	6.50
58	"	"	"	1.93	2.53	"	6.01	0.00436	0.0310	2.38	0.334	0.0104	7.11
59	"	"	"	2.35	1.97	"	3.47	0.00231	0.0211	1.76	0.193	0.00407	9.15
60	"	"	"	2.40	1.74	"	3.4	0.00194	0.0200	1.95	0.189	0.00378	10.3
61	"	"	"	1.95	2.65	"	5.75	0.00450	0.0306	2.17	0.320	0.00975	6.79
62	"	"	"	1.95	2.64	"	5.95	0.00448	"	2.25	0.330	0.0101	6.82
63	"	"	128.0	2.45	8.8	31.0	23.1	0.0094	0.033	2.63	0.742	0.0246	3.53
64	"	"	"	2.40	10.1	"	23.2	0.0112	0.0334	2.30	0.749	0.0258	3.07
65	"	"	"	1.45	3.4	"	4.7	0.0103	0.094	1.39	0.152	0.0142	9.14
66	"	"	"	1.40	3.3	"	4.86	0.0107	0.101	1.47	0.157	0.0159	9.40
67	"	"	"	1.45	1.05	30.0	1.63	0.00271	0.096	1.55	0.0543	0.00494	28.6
68	"	"	"	1.45	2.43	"	4.02	0.00735	"	1.65	0.134	0.0122	12.4
69	"	"	"	1.40	2.45	"	4.3	0.00830	0.101	1.75	0.143	0.0141	12.2
70	"	"	"	1.40	5.11	"	8.85	0.0165	"	1.81	0.295	0.0290	5.86
71	"	"	"	1.40	4.76	"	8.08	0.0156	"	1.69	0.269	0.0265	6.30
72	"	"	"	1.90	5.3	"	7.56	0.0094	0.0532	1.43	0.252	0.0134	5.65
73	"	"	"	1.85	5.17	"	7.22	0.0092	0.0563	1.49	0.241	0.0135	5.80
74	"	"	"	1.40	8.69	"	14.7	0.0284	0.106	1.69	0.490	0.0482	3.45
75	"	"	"	1.40	8.99	"	15.8	0.0294	0.101	1.76	0.526	0.0517	3.34
76	"	"	"	1.40	11.6	"	18.5	0.0378	"	1.60	0.616	0.0606	2.58
77	"	"	"	1.40	10.5	"	19.1	0.0345	"	1.81	0.636	0.0626	2.86
78	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"
79	"	"	128.4	1.85	8.8	30.4	17.0	0.0166	0.0572	1.93	0.560	0.0321	3.45
80	"	"	"	1.90	8.8	"	17.0	0.0155	0.0540	1.93	0.560	0.0302	3.45
81	"	"	"	1.40	13.0	"	25.8	0.0425	0.100	1.98	0.850	0.0845	2.34
82	"	"	"	1.40	12.9	"	23.8	0.0423	"	1.85	0.783	0.0780	2.36
83	"	"	"	1.90	13.4	"	28.6	0.0238	0.0538	2.30	0.941	0.0508	2.27
84	"	"	"	1.90	13.1	"	30.4	0.0232	"	2.32	1.00	0.0538	2.22
85	"	"	126.3	1.40	18.6	28.3	36.0	0.0610	0.0989	1.93	1.27	0.118	1.52
86	"	"	"	1.45	19.6	"	36.5	0.0594	0.0865	1.86	1.29	0.110	1.44
87	"	"	"	1.40	23.9	"	48.6	0.0785	0.0989	2.03	1.72	0.159	1.18
88	"	"	"	1.40	23.5	"	40.5	0.0770	"	1.72	1.43	0.133	1.20
89	"	"	"	1.90	25.3	"	66.5	0.0448	0.0500	2.63	2.32	0.118	1.12
90	"	"	"	1.90	26.8	"	72.9	0.0476	0.0502	2.71	2.55	0.129	1.06
91	"	"	"	1.95	35.0	"	54.6	0.0594	0.0480	1.56	1.93	0.0925	0.808
92	"	"	"	2.00	33.9	"	45.4	0.0542	0.0453	1.34	1.61	0.0728	0.835

別表-8

Run	海底配	のり配	水路深	周期 T	波高 H_0	堤脚水深	うちあ げ高	H_0/L_0	h/L_0	R/H_0	R/h	R/L_0	h/H_0
1	1/30	1:2.0	123.3	1.3	1.13	25.3	1.57	0.00420	0.0958	1.39	—	0.00595	22.4
2	"	"	"	1.32	4.78	"	10.4	0.00176	0.0930	2.22	—	0.0382	5.28
3	"	"	"	1.3	4.56	"	8.3	0.00173	0.0959	1.82	—	0.0314	5.54
4	"	"	"	"	10.52	"	14.7	0.0398	0.0956	1.39	—	0.0556	2.40
5	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	"	"
6	"	"	122.2	1.35	8.5	24.2	21.1	0.0298	0.085	2.48	—	0.0818	2.84
7	"	"	"	1.3	8.1	"	21.0	0.0304	0.0915	2.58	—	0.0803	2.99
8	"	"	"	1.8	7.0	"	18.0	0.0138	0.0480	2.58	—	0.0356	3.46
9	"	"	"	1.75	7.72	"	18.3	0.0161	0.0508	2.37	—	0.0383	3.13
10	"	"	"	1.35	9.7	"	25.7	0.0340	0.085	2.54	—	0.0900	2.50
11	"	"	"	1.3	9.63	"	25.6	0.0355	0.0917	2.66	—	0.0971	2.52
12	"	"	"	1.8	7.8	"	23.4	0.0154	0.0480	3.25	—	0.0503	3.10
13	"	"	"	"	10.0	"	29.2	0.0198	"	2.9	—	0.0579	2.42
14	"	"	"	1.3	12.0	"	30.7	0.0455	0.0917	2.55	—	0.116	2.02
15	"	"	120	"	23.0	22.0	27.7	0.087	0.0835	1.19	—	0.105	0.955
16	"	"	"	1.35	23.4	"	24.8	0.0824	0.077	1.06	—	0.0870	0.94
17	"	"	"	1.8	19.7	"	40.9	0.0390	0.0436	2.07	—	0.0810	1.12
18	"	"	"	1.75	21.4	"	38.8	0.0447	0.0460	1.81	—	0.0812	1.03
19	"	"	128	1.4	12.4	30.0	45.8	0.0406	0.0885	3.68	—	0.150	2.42
20	"	"	"	1.38	10.5	"	47.0	0.0355	0.101	4.47	—	0.160	2.86
21	"	"	"	1.88	9.9	"	48.2	0.0180	0.0545	4.87	—	0.0876	3.03
22	"	"	"	1.4	22.2	"	45.8	0.0730	0.0985	2.06	—	0.150	1.35
23	"	"	"	1.38	19.0	"	47.0	0.0640	0.101	2.52	—	0.159	1.58
24	"	"	"	1.88	17.9	"	48.2	0.0325	0.0545	2.70	—	0.0787	1.68
25	"	"	124.8	1.35	23.0	26.8	24.4	0.0807	0.0940	1.06	—	0.0857	1.16
26	"	"	"	1.38	23.3	"	31.9	0.0790	0.0905	1.37	—	0.108	1.36
27	"	"	"	1.83	25.9	"	45.7	0.0495	0.0514	1.77	—	0.0872	1.15
28	"	"	"	1.86	24.9	"	43.6	0.0490	0.0545	1.75	—	0.0858	1.23
29	"	"	"	1.82	34.0	"	42.3	0.0675	0.0535	1.24	—	0.0840	0.788
30	"	"	"	1.80	35.8	"	39.0	0.0709	0.0530	1.09	—	0.0772	0.748
31	"	"	115.2	2.4	23.8	17.2	31.4	0.0265	0.0191	1.32	—	0.0349	0.722
32	"	"	"	"	22.4	"	28.8	0.0250	"	1.29	—	0.0320	0.767
33	"	"	"	1.95	30.2	"	31.6	0.0513	0.0292	1.05	—	0.0536	0.570
34	"	"	"	"	29.7	"	34.6	0.0503	"	1.16	—	0.0586	0.579
35	"	"	"	2.4	29.8	"	33.2	0.0325	0.0192	1.11	—	0.0369	0.577
36	"	"	"	2.45	29.0	"	30.8	0.0309	0.0183	1.06	—	0.0328	0.592
37	"	"	"	1.95	40.7	"	34.2	0.0690	0.0292	0.842	—	0.0580	0.423
38	"	"	"	1.90	40.0	"	29.0	0.0715	0.0308	0.725	—	0.0518	0.430
39	"	"	115.0	2.4	36.5	17.0	31.6	0.0406	0.0189	0.865	—	0.0351	0.465
40	"	"	"	2.38	37.2	"	31.9	0.0422	0.0193	0.860	—	0.0407	0.457
41	"	"	"	1.92	22.4	"	27.5	0.0390	0.0296	1.23	—	0.0478	0.758
42	"	"	"	1.95	21.6	"	32.8	0.0366	0.0288	1.52	—	0.0555	0.787
43	"	"	"	2.35	16.0	"	41.2	0.0187	0.0197	2.57	—	0.0480	1.06
44	"	"	"	"	15.8	"	38.0	0.0184	"	2.40	—	0.0442	1.08
45	"	"	"	1.90	19.4	"	24.9	0.0346	0.0304	1.28	—	0.0445	0.875
46	"	"	"	1.90	22.0	"	23.9	0.0392	"	1.09	—	0.0427	0.772
47	"	"	"	1.85	14.5	"	38.6	0.0274	0.0321	2.66	—	0.0728	1.17
48	"	"	"	1.90	14.6	"	37.2	0.0260	0.0304	2.54	—	0.0664	1.16
49	"	"	"	2.30	9.4	"	49.5	0.0114	0.0206	5.30	—	0.0600	1.81
50	"	"	"	2.32	9.5	"	47.8	0.0113	0.0203	5.03	—	0.0570	1.79
51	"	"	113.9	1.82	10.5	15.9	36.5	0.0209	0.0318	3.46	—	0.0727	1.51
52	"	"	"	1.90	9.9	"	42.1	0.0177	0.0233	4.6	—	0.0751	1.61
53	"	"	"	2.25	7.7	"	25.2	0.0097	0.0201	3.27	—	0.0319	2.06
54	"	"	"	2.2	7.22	"	25.1	0.0095	0.0209	3.48	—	0.0331	2.20
55	"	"	"	1.85	6.9	"	20.8	0.0131	0.0300	3.02	—	0.0392	2.30

別表-8 (つづき)

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
56	1/30	1:2.0	113.9	1.88	7.8	15.9	21.7	0.0141	0.0290	2.78	—	0.0394	2.04
57	"	"	"	"	3.1	"	6.1	0.00566	"	1.97	—	0.0113	5.12
58	"	"	"	1.85	3.4	"	6.04	0.00636	0.0300	1.77	—	0.0114	4.67
59	"	"	"	2.2	2.9	"	5.6	0.00381	"	1.93	—	0.00738	5.48
60	"	"	"	1.85	5.6	"	18.9	0.0106	"	3.38	—	0.0357	2.84
61	"	"	"	2.12	5.4	"	18.5	0.00767	0.0227	3.43	—	0.0264	2.94
62	"	"	107.4	2.33	3.2	9.4	21.0	0.00372	0.0110	6.6	—	0.0247	2.94
63	"	"	"	2.45	"	"	19.1	0.00340	0.0100	5.98	—	0.0203	2.94
94	"	"	"	"	5.8	"	21.8	0.00622	"	3.76	—	0.0232	1.62
95	"	"	"	2.43	"	"	21.6	0.00631	0.0102	3.73	—	0.0235	1.62
66	"	"	"	2.45	9.5	"	22.0	0.0101	0.0100	2.32	—	0.0234	0.99
67	"	"	"	2.4	9.3	"	24.1	0.0104	0.0104	2.60	—	0.0268	1.01
68	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	"	"
69	"	"	"	2.48	17.0	"	19.5	0.0177	0.00980	1.15	—	0.0203	0.553
70	"	"	"	2.46	17.4	"	19.3	0.0184	0.0100	1.11	—	0.0204	0.540
71	"	"	106.9	2.45	29.0	8.9	22.9	0.0309	0.00945	0.790	—	0.0243	0.307
72	"	"	"	2.4	32.6	"	23.4	0.0362	0.0099	0.720	—	0.0250	0.273
73	"	"	"	2.35	42.3	"	25.9	0.0492	0.0103	0.612	—	0.0301	0.210
74	"	"	"	2.55	44.8	"	26.3	0.0439	0.00872	0.687	—	0.0258	0.199
75	"	"	98	2.1	34.0	0	12.0	0.0493	0	0.353	—	0.0174	—
76	"	"	"	2.15	29.4	"	11.8	0.0410	"	0.400	—	0.0164	—
77	"	"	"	1.90	24.8	"	10.8	0.0443	"	0.435	—	0.0193	—
78	"	"	"	1.65	30.2	"	9.94	0.0710	"	0.328	—	0.0234	—
79	"	"	"	1.63	30.3	"	8.20	0.0732	"	0.270	—	0.0197	—
80	"	"	"	2.13	21.6	"	11.0	0.0304	"	0.510	—	0.0155	—
81	"	"	"	2.15	7.88	"	6.23	0.0109	"	0.790	—	0.00865	—
82	"	"	"	2.1	8.75	"	6.05	0.0127	"	0.577	—	0.00876	—
83	"	"	"	2.05	5.36	"	4.79	0.0081	"	0.895	—	0.00729	—
84	"	"	"	2.1	4.5	"	5.07	0.0065	"	0.112	—	0.00735	—
85	"	"	"	1.7	6.07	"	5.0	0.0135	"	0.825	—	0.0111	—
86	"	"	"	2.05	2.20	"	3.76	0.0033	"	1.71	—	0.00570	—
87	"	"	"	1.3	3.3	"	3.99	0.0128	"	1.20	—	0.0152	—

別表-9

Run	海 底 配	の り 配	水路 水深	周期 T	波高 H ₀	堤脚 水深	うちあ げ	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
1	1/30	1:3.0	98	1.9	1.42	0	2.06	0.00252	0	1.45	—	0.00365	—
2	"	"	"	1.55	1.92	"	1.78	0.00512	"	0.930	—	0.00475	—
3	"	"	"	1.9	7.45	"	2.69	0.0132	"	0.361	—	0.00477	—
4	"	"	"	2.15	6.24	"	"	0.00865	"	0.431	—	0.00374	—
5	"	"	"	2.03	11.5	"	4.34	0.0180	"	0.378	—	0.00677	—
6	"	"	"	1.95	11.1	"	5.55	0.0188	"	0.5	—	0.00942	—
7	"	"	"	1.55	15.0	"	3.83	0.0400	"	0.255	—	0.0102	—
8	"	"	"	1.63	14.4	"	4.46	0.0347	"	0.310	—	0.0108	—
9	"	"	"	1.55	18.4	"	4.74	0.0491	"	0.258	—	0.0126	—
10	"	"	"	1.48	21.6	"	4.68	0.0635	"	0.216	—	0.0137	—
11	"	"	"	1.55	22.4	"	5.55	0.0598	"	0.248	—	0.0148	0
12	"	"	116.3	2.0	16.8	18.3	29.3	0.0267	0.0290	1.74	—	0.0465	1.09
13	"	"	"	2.05	17.0	"	34.8	0.0258	0.0277	2.04	—	0.0527	1.08
14	"	"	"	2.3	12.3	"	40.0	0.0150	0.0223	3.25	—	0.0487	1.49
15	"	"	"	"	12.4	"	36.8	0.0151	"	2.97	—	0.0448	1.48
16	"	"	"	1.9	4.15	"	12.9	0.00733	0.0324	3.11	—	0.0228	4.77
17	"	"	"	1.87	3.63	"	11.8	0.00687	0.0340	3.25	—	0.0218	5.05
18	"	"	"	1.9	8.80	"	25.7	0.0156	0.0324	2.92	—	0.0454	2.08
19	"	"	"	1.87	8.57	"	26.2	0.0158	0.0339	3.06	—	0.0485	2.14
20	"	"	"	2.32	5.5	"	20.6	0.00646	0.0215	3.75	—	0.0243	3.34

別表-9 (つづき)

Run	海 底 高	の り 高	本 路 深	周 期 T	波 高 H ₀	堤 脚 深	うち あ 高	H ₀ /L ₀	h/L ₀	R/H ₀	R/h	R/L ₀	h/H ₀
21	1/30	1:3.0	116.3	2.35	5.38	18.3	20.3	0.00625	0.0213	3.77	—	0.0236	3.40
22	"	"	"	2.3	17.2	"	33.8	0.0210	0.0223	1.97	—	0.0412	1.06
23	"	"	"	"	17.7	"	34.2	0.0217	"	1.93	—	0.0418	1.03
24	"	"	"	1.95	24.4	"	28.4	0.0410	0.0308	1.16	—	0.0477	0.750
25	"	"	"	1.90	24.5	"	27.3	0.0433	0.0324	1.12	—	0.0434	"
26	"	"	116.2	1.92	33.6	18.2	26.6	0.0578	0.0314	0.792	—	0.0459	0.545
27	"	"	"	"	31.4	"	29.9	0.0542	"	0.954	—	0.0515	0.585
28	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	"	"
29	"	"	"	2.40	19.0	"	34.0	0.0211	0.0202	1.79	—	0.0378	0.960
30	"	"	"	2.38	33.0	"	31.4	0.0374	0.0206	0.952	—	0.0355	0.552
31	"	"	"	2.40	34.5	"	37.0	0.0383	0.0202	1.07	—	0.0411	0.527
32	"	"	"	1.98	45.0	"	31.8	0.0787	0.0300	0.707	—	0.0520	0.405
33	"	"	"	2.05	40.9	"	33.4	0.0627	0.0281	0.890	—	0.0510	0.445
34	"	"	"	2.40	45.3	"	32.0	0.0503	0.0202	0.707	—	0.0356	0.402
35	"	"	115.0	2.52	30.3	17.0	33.9	0.0308	0.0173	1.12	—	0.0344	0.561
36	"	"	"	2.55	40.8	"	35.6	0.0404	0.0169	0.872	—	0.0352	0.417
37	"	"	128	2.05	47.5	30.4	41.0	0.0728	0.0466	0.944	—	0.0629	0.640
38	"	"	"	"	47.8	"	38.8	0.0734	"	0.812	—	0.0595	0.635
39	"	"	"	1.98	42.8	"	37.2	0.0701	0.0497	0.870	—	0.0610	0.710
40	"	"	"	2.00	30.5	"	41.7	0.0485	0.0488	1.37	—	0.0669	0.996
41	"	"	"	"	30.0	"	39.9	0.0480	"	1.33	—	0.0640	1.01
42	"	"	"	1.40	29.8	"	29.4	0.0970	0.099	0.985	—	0.0957	1.02
43	"	"	"	1.35	24.4	"	23.6	0.0856	0.106	0.970	—	0.0830	1.59
44	"	"	"	1.40	24.2	"	27.0	0.0789	0.099	1.12	—	0.0880	1.61
45	"	"	"	1.90	22.2	"	50.2	0.0393	0.0538	2.26	—	0.0890	1.37
46	"	"	"	1.92	19.8	"	50.3	0.0342	0.0524	2.54	—	0.0868	1.53
47	"	"	"	1.35	21.1	"	22.5	0.0743	0.107	1.07	—	0.0795	1.45
48	"	"	"	1.90	17.8	"	35.2	0.0316	0.0538	1.98	—	0.0823	1.71
49	"	"	"	1.32	14.6	"	20.5	0.0538	0.112	1.42	—	0.0782	2.08
50	"	"	"	1.35	14.7	"	19.4	0.0519	0.107	1.32	—	0.0688	2.06
51	"	"	"	1.90	12.1	"	30.5	0.0214	0.0538	2.52	—	0.0540	2.51
52	"	"	"	"	11.8	"	28.8	0.0209	"	2.66	—	0.0510	2.58
53	"	"	126.4	1.37	10.1	28.4	19.3	0.0346	0.0973	1.91	—	0.0660	2.81
54	"	"	"	1.35	10.6	"	19.2	0.0374	0.100	1.81	—	0.0676	2.68
55	"	"	"	"	8.15	"	16.4	0.0287	"	2.01	—	0.0577	3.48
56	"	"	"	1.37	8.05	"	16.2	0.0276	0.0973	2.02	—	0.0555	3.52
57	"	"	"	1.90	6.27	"	13.8	0.0112	0.0507	2.20	—	0.0246	4.52
58	"	"	"	1.87	5.95	"	12.8	0.0108	0.0517	2.15	—	0.0233	4.77
59	"	"	"	1.35	4.98	"	12.0	0.0175	0.100	2.42	—	0.0422	5.70
60	"	"	"	1.33	4.77	"	11.8	0.0173	0.103	2.48	—	0.0428	5.95
61	"	"	"	1.90	3.90	27.8	8.6	0.00697	0.0496	2.20	—	0.0154	7.12
62	"	"	125.8	1.85	3.78	"	8.23	0.00707	0.052	2.18	—	"	7.35
63	"	"	"	1.35	1.64	"	3.29	0.00577	0.098	2.00	—	0.0112	17.0
64	"	"	"	"	"	"	3.89	"	"	2.36	—	0.0132	"
65	"	"	"	"	3.96	"	10.3	0.0140	"	2.60	—	0.0363	7.03
66	"	"	107.2	2.3	4.70	9.2	20.8	0.00573	0.0112	4.43	—	0.0254	1.96
67	"	"	"	"	"	"	"	"	"	"	—	"	"
68	"	"	106.4	2.33	7.30	8.4	18.3	0.00860	0.00987	2.5	—	0.0216	1.15
69	"	"	"	"	7.30	"	19.0	0.00860	"	2.33	—	0.0200	1.15
70	"	"	"	"	16.1	"	18.2	0.0190	"	1.13	—	0.0214	0.522
71	"	"	"	2.3	16.0	"	19.1	0.0195	0.0102	1.19	—	0.0233	0.525
72	"	"	"	2.45	31.4	"	20.3	0.0334	0.00894	0.645	—	0.0216	0.265
73	"	"	"	2.38	29.6	"	22.4	0.0336	0.00955	0.757	—	0.0255	0.249
74	"	"	"	2.45	50.0	"	27.4	0.0532	0.00894	0.550	—	0.0292	0.168
75	"	"	"	2.48	51.4	"	24.4	0.0535	0.00875	0.475	—	0.0255	0.173

橋脚の抗力係数について

(昭和42年4月)

土 屋 昭 彦*
浦 勝**

目 次

1. まえがき.....	(1)	5. 実験結果.....	(4)
2. 橋脚に作用する流れの抵抗力.....	(1)	[1] 抗力と流速.....	(4)
3. 実験方法.....	(1)	[2] 抗力係数と Reynolds 数.....	(5)
[1] 抗力の測定の概念.....	(1)	[3] 抗力係数と Froude 数.....	(6)
[2] 抗力の算定法.....	(2)	[4] 造波抗力係数.....	(8)
4. 実験装置.....	(4)	6. 設計抗力係数について.....	(9)
[1] 実験水路.....	(4)	7. 結 論.....	(10)
[2] 模型橋脚.....	(4)	8. あとがき.....	(10)
[3] 抗力測定装置 (U-gage).....	(4)		

1. ま え が き

一般に流水の橋脚・その他構造物に作用する力は地震時水平力に比べて非常に小さいであろう。しかしながら、水深の非常に深い所にある橋脚とか、流速の大きい流れの中の架設足場などに作用する流水抗力は地震時水平力に比して無視しえない大きさになることが予想される。

このため、5種類の端部形状の異なる橋脚に作用する流水抵抗を模型により測定し、抗力および抗力係数の特性を検討した。またこれらの抗力係数を用いて、橋脚に作用する抗力の算定の方法についてのべる。

2. 橋脚に作用する流れの抵抗力

橋脚が流水によって受ける抗力は主として形状抗力 (Form Drag) と造波抗力 (Wave Drag) である。

形状抗力は水の粘性に起因するものであり、レイノルズ数が大で後流領域 (Wake) が発達したときこの後流領域内の渦の発生による力が働いたものである。この形状抗力は次式で表わされる。

$$F_f = \frac{1}{2} \rho C_f A_f U^2 \quad (1)$$

造波抗力は物体が水面に波を造るために現れた抵抗の大きさで、次式で表わされる。

$$F_w = \frac{1}{2} \rho C_w A_w U^2 \quad (2)$$

このように開水路内にある橋脚の受ける力の特徴は、物体が完全に流体中に没している (Submerged-Body)

場合とは異なって自由水面の影響を受け、上に述べたような性質の異なる2種類の力が合成されて作用していることである。ここで橋脚の受ける全抗力を次のように表示する。

$$F_D = \frac{1}{2} \rho C_D A_D U^2 \quad (3)$$

したがって、上式はまた次のような関係にある。

$$F_D = F_f + F_w \quad (4)$$

ここで F_D : 全抗力

F_f : 形状抗力

F_w : 造波抗力

$$\left. \begin{aligned} A_D &= H \cdot t \\ A_f &= H \cdot t \\ A_w &= b \cdot t \end{aligned} \right\} \text{基準 面積}$$

ρ : 流水密度

U : 平均流速

C_D : 全抗力係数

C_f : 形状抗力係数

C_w : 造波抗力係数

H : 水 深

t : 橋脚幅

b : 橋脚長

3. 実験方法

[1] 抗力の測定の概念

2.において述べたように橋脚に作用する全抗力は、性質の異なる2種類の力の合成されたものであるから、全抗力だけを測定してその性質を明らかにしようとするのは困難を伴う。理想的な方法としては、形状抗力と造波抗力をそれぞれ別別に測定することであるが、造波

* 河川部河川研究室長

** 前河川部河川研究室研究員 現山口大学講師

抗力のみ測定は実際上非常に困難である。したがって橋脚の全抗力と形状抗力を測定することによって、橋脚の抗力の性質を明らかにすることを試みた。このような方法を用いたのは形状抗力に関していくつかの実験もあり、考察を進める上で便利であったからである。

(A) 全 抗 力

抗力測定方法の詳細はのちに述べるが、ここでは概念を述べておく。

模型橋脚を流れ方向に回転できるようにヒンジを持つ装置によって水路中に吊り下げる。橋脚の上端部には非接着型抵抗線ひずみ計 (U-gage) のロッドが取り付けられ、橋脚のヒンジのまわりの自由な回転を拘束し、抗力

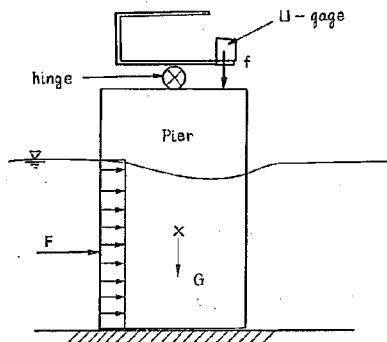


図-1

に応じたひずみを発生する。

作用する力の概念図を図-1に示す。

この橋脚に水力が働いて釣合っているからヒンジのまわりのモーメントは0となる。

したがって、ゲージのひずみ量を読み取ることによって流水による流れ方向の力を測定することができる。

(B) 形 状 抗 力

模型橋脚の水面近傍に生ずる波の影響を除去し完全に水中に没した部分のみに作用する流れ方向の力 (形状抗力) を測定するために橋脚模型を上下2つの部分に分割する。(図-2) 下部の形状抗力測定部は連結器によって抗力測定器に接続され、ひずみ計によって抗力が測定される。上部橋脚は下部と同一形状を持つ鉄板製であり空洞となっており、下部抗力測定部分と抗力測定器とを結ぶ連結器はここを通り、流水の影響を受けることはない。上部造波抗力除去部は下部とは完全に独立して支持されている。このようにして橋脚下部に作用する力のヒンジのまわりの釣合からひずみ計のひずみを読み取り形状抗力を測定する。

〔2〕 抗力の算定法

この実験における抗力の算定にあたっては、流速の鉛

直こう配は零であり、橋脚の上・下流点の静圧の差は無視し得る、という仮定を用いた。

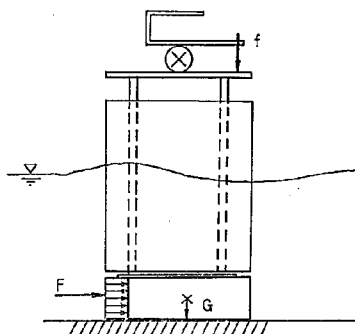


図-2

実際には、流れの流速分布は一様ではなく、静圧の差も Froude 数が大きくなると無視し得なくなる。さらに橋脚付近には顕著な二次流が存在し、解析は非常に難しくなる。

この実験に用いた流れの流速分布の一例を図-3に示す。

このように実験に用いた流速の鉛直こう配は比較的小さく Maschra¹⁾ の表示を用いて $(dU/dy)(l/U) = 0.03$ (ここに U ; 平均流速 y ; 河床からの高さ, l ; 円柱橋脚の直径) のオーダーであり、局所抗力係数の分布は一樣に近いとみなしてよいであろう。

また上・下流の静圧の差は橋脚形状により異なるが、Froude 数が0.5以下では、ほとんど認められない。

橋脚の流水による流れ方向の抗力は〔1〕において述べた考え方に基づいて次のように算定した。

今模型橋脚に作用する外力とその作用点の位置を図-4のように表わす。

橋脚が流水中で静止状態にあれば外力はヒンジのまわりで釣合っている。したがって

$$fL' + Ge + Bb - FL = 0 \quad (5)$$

$$\therefore F = (fL' + Ge + Bb)/L \quad (6)$$

一方ゲージに作用する力とひずみとは

$$f = Ke \quad (7)$$

である。

式(6)、(7)を用いて抗力 F を算出するが、 L' , L は既知であり、 G , e , B , b は測定不可能であった。したがってあらかじめ次のような測定を行ないこれらの項を検討しておいた。

橋脚を空気中で吊り、ヒンジより垂直距離 l の点に水平荷重 W を加え、ひずみ量 ϵ との関係測定した。

$$fL' + Ge - Wl = 0 \quad (8)$$

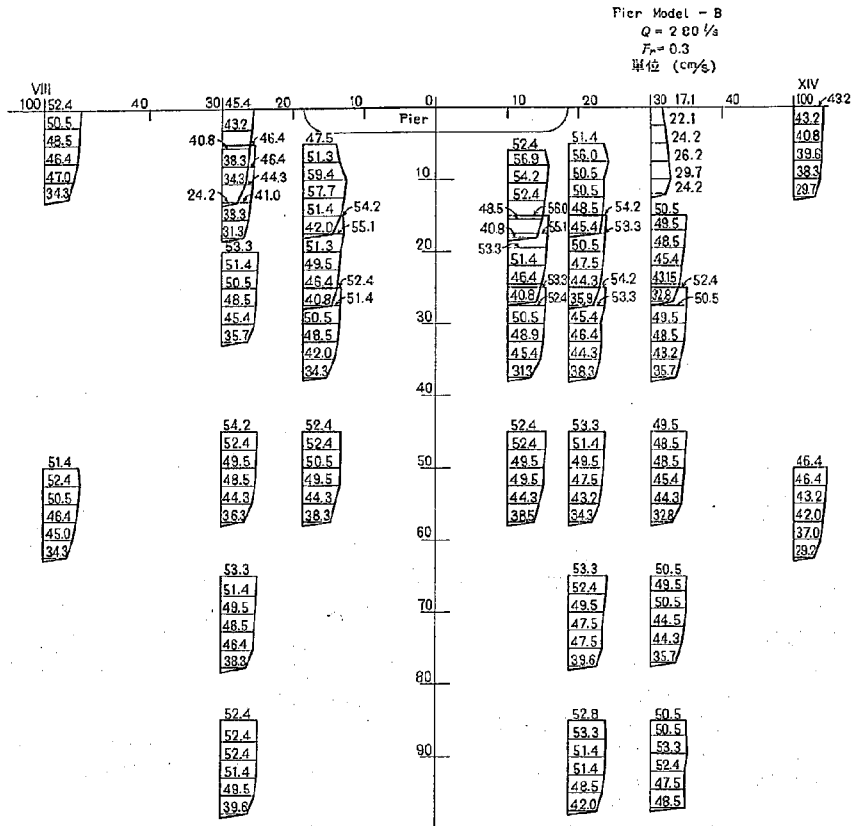


図-3

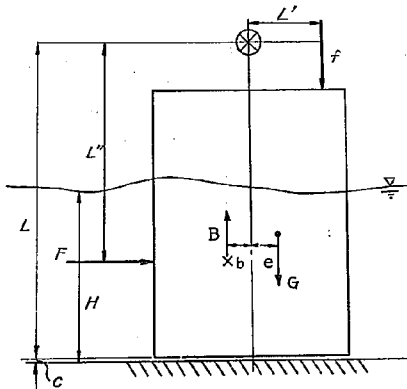


図-4

$$f = K_1 \varepsilon \dots \dots \dots (9)$$

$$\therefore W = \frac{L'}{l} K_1 \varepsilon + G \frac{e}{l} \dots \dots \dots (10)$$

ここで $L'/l \cdot K_1 = K$ とおき、 $W = 0$ のとき $\varepsilon = \varepsilon_0$ とすれば

$$W = K(\varepsilon - \varepsilon_0) \dots \dots \dots (11)$$

したがって橋脚の重量 G 、あるいは支持の仕方の相違による重心のずれ e はその値を直接知らなくても、模型橋脚を水路中に設置し空気中で ε_0 を読みとっておきさえすれば問題はない。つぎに問題になるのは模型橋脚に作用する浮力の影響である。これを適確に除去しておかなければ思わぬ誤算を招く結果となる。

図-4において式(6)より

$$F = \frac{L'}{L^*} f + \frac{e}{L^*} G + \frac{b}{L^*} B$$

$$= \frac{l}{L^*} \frac{L^*}{l} K_{12} + \frac{l}{L^*} \frac{e}{l} G + \frac{b}{L^*} B$$

$$= \frac{l}{L^*} (K_{12} + \frac{e}{l} G) + \frac{b}{L^*} B \dots\dots\dots(11)$$

式(10)を用いて

$$F = \frac{l}{L^*} W + \frac{b}{L^*} B \dots\dots\dots(12)$$

ここで、 B 、 b の値は橋脚の水深とその時の傾きにょ
って変化するはずである。したがって、一回の測定のだ
びに静水中で水深を変え Bb/L^* の大きさを測定し、
 $Bb/L^* \sim H$ の関係を図示しこの項を補正した。

このようにして式(12)を用い、式(11)の関係、曲線よ
り橋脚に作用する抗力が算定される。

4. 実験装置

[1] 実験水路

実験水路は、土木研究所赤羽分室の大型水路下流部を
使用した。これは長さ 25.0m、幅 1.98m、水深 0.45m
のモルタル仕上げの水路で、大きい Froude 数が得られ
るように底こう配は 1/268 の急こう配とした。

実験流量は 80 l/sec~350 l/sec である。

[2] 模型橋脚

橋脚の模型は表-1に示す 5 種類を用いた。模型は木
製であるが、含水量の変化による材質の不均一性の変化
を避けるため防水用ラッカーを塗付した。

[3] 抗力測定装置 (U-gage)

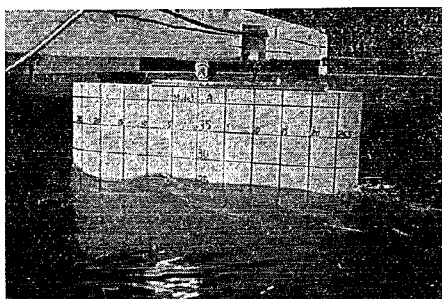
橋脚に作用する流れ方向の力の測定には非接着型抵抗
線ひずみ計 (U-gage) を用いた。

この U-gage は機械的変化を非接着的に張ってある
抵抗線の電気抵抗変化に変換するものであり 0~±
1,000g の荷重を測定できる T-1 型を使用した。

ひずみ量測定の全体の精度は Transducer および一連
の計測器全体の特性により決定されるが、US-7C 型万
能ひずみ計を用いた静的測定においては、全体の精度は
1%程度である²⁾。

表-1

橋 脚 形 状		全長	幅	高 さ	記号
		$l(\text{cm})$	$l(\text{cm})$	$Hb(\text{cm})$	
A		35.0	7.0	43.0	×
B		35.0	7.0	43.0	①
				10.0	②
				20.0	③
C		35.0	7.0	43.0	◎
D		35.0	7.0	43.0	△
円柱		7.0	7.0	43.0	○



5. 実験結果

実験は幅 1.98m の水路において、表-1に示した 5 種
の端部形状の異なる模型橋脚の 1 本に使用する抗力の測
定を行なった。

[1] 抗力と流速

5 種類の模型橋脚の流れ方向単位投影面積に作用する
抗力 $f_0 = \frac{F_D}{l \cdot h}$ と平均流速 U との関係は図-5のごとく

表-2

流速 形状	10	20	30	40	流速 U (cm/sec)	50	60	70	80	90
A	$\alpha=5.07 \times 10^{-4}$ $\beta=1.77$			$\alpha=1.55 \times 10^{-5}$ $\beta=2.72$			$\alpha=2.33 \times 10^{-11}$ $\beta=5.87$			
B	$\alpha=2.56 \times 10^{-4}$ $\beta=2.07$						$\alpha=4.33 \times 10^{-6}$ $\beta=3.07$			
C	$\alpha=1.33 \times 10^{-3}$ $\beta=1.80$			$\alpha=2.04 \times 10^{-4}$ $\beta=2.30$						
D	$\alpha=3.39 \times 10^{-4}$ $\beta=1.93$						$\alpha=9.71 \times 10^{-7}$ $\beta=3.43$			
円柱	$\alpha=1.33 \times 10^{-3}$ $\beta=1.80$			$\alpha=2.04 \times 10^{-4}$ $\beta=2.30$						

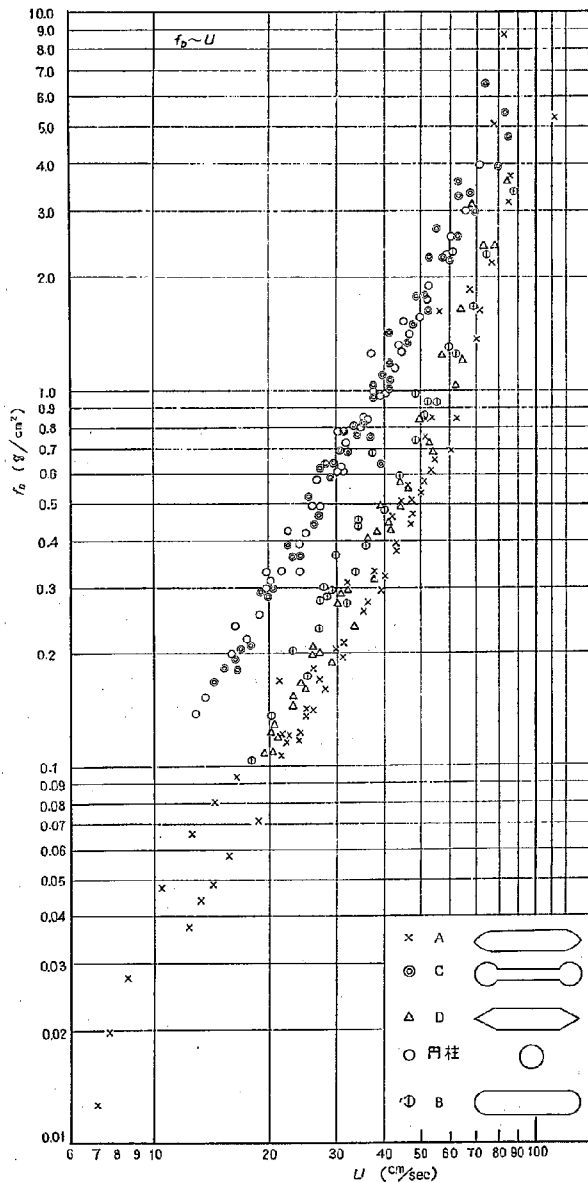


図-5

であった。

これから橋脚に作用する抗力は流速と共に増加するがこの増加の仕方は端部形状によって異なり、

い。したがって C_D は constant の値ではなく、流速によって変化するものになる。これを一般によく知られた $C_D \sim Re$ 数の関係の中で検討してみよう。(図-7)

$$f_D = \alpha U^2 \dots\dots\dots (13)$$

なる関数形で表わしたときの各形状、各流速における α , β の値を表-2に示す。

抗力の大きさは、同一流速に対し、円柱とC型が最も大きく、つづいて B, D, A型の順で小さくなる。

これらの大きさは、流速が小さいとき、円柱、C型は B, D, A型の2~3倍にもなる。しかし流速が大きくなって、Froude 数が高くなってくると、各形状による抗力の大きさの差は明らかでなくなる。このような形状による抗力の大きさの相違は橋脚下流部に生ずる後流領域の大きさ、渦の大きさによるものであるが、流れがすみやかにもとにもどる形状A型が最小の抗力を示すのも当然といえよう。

つぎに抗力と流速の間の関係を、より明らかにするために、B型橋脚に関して行なった全抗力と形状抗力の実測値を図-6に示す。形状抗力は平均流速 U の1.8乗に比例してほぼ一様に増加するが、全抗力は同一流速に対してもかなりの変動を示し、ある流速を境にして増大の仕方が、増し、 U の2.3乗、3乗と急増してゆく。これは橋脚が自由水面をもつためこの水面に生ずる波の影響がFroude数の増加にしたがって大きくなっていくことを示すものと思われる。

[2] 抗力係数と Reynolds 数

[1] で調べたように抗力 F_D はかならずしも平均流速 U の2乗に比例するものではない。

しかしながら、橋脚の抗力を式(3)のように U^2 の関数で表現しようとすれば、この影響を抗力係数 C_D の中に含ませねばならな

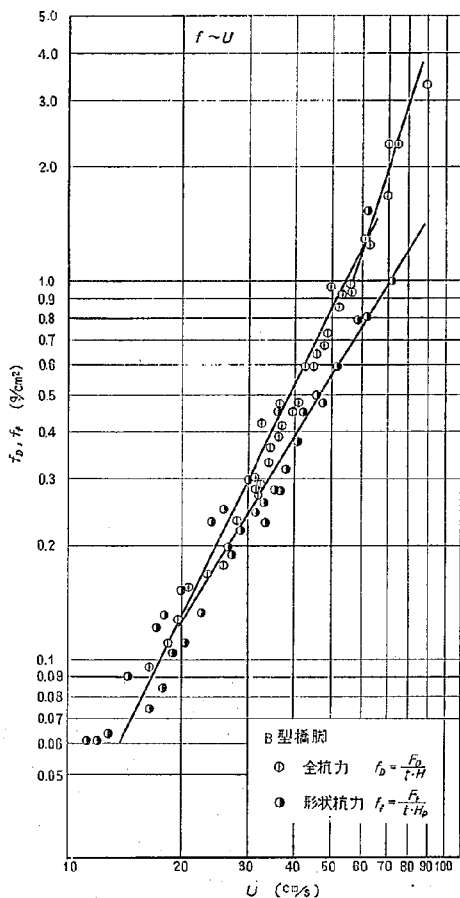


図-6

まず円柱の関係を見ると、実験値は $6 \times 10^3 < Re < 4 \times 10^4$ において、 $C_D = 1.0 \sim 1.8$ の範囲でばらつき、ほぼ平均的な値として $C_D = 1.35$ となっている。一方風洞などの二次元流れにおける無限に長い円柱の実験値を実験で図中に示した。 $10^4 > Re > 10^5$ で $C_D = 1.2$ である。このわれわれの実験値が 1.2 よりも大きくなる原因として考えられることは、形状抗力の他に造波抗力の影響が加わることと、流速の小さい (Reynolds 数の小さい) 所では、計測される力が小さく、浮力の影響が誤差としてはいり易いことなどが考えられる。また水面波のために、微小な横方向の振動を生ずるが、これらも測定値のばらつきの原因といえる。

C 橋脚の抗力係数が円柱型橋脚のそれと近似した値をとるのは、この形状が円柱を 2 本つないだ形をしている

ためであろう。

A, B, D 型橋脚は同一 Reynolds 数に対して、円柱、C 型橋脚に比べて 1/2 以下の小さな抗力係数を持つ。

A, B, D 型橋脚の $C_D \sim Re$ の関係はほぼ同じ傾向を示すことがわかる。すなわち C_D ははじめ Reynolds 数の増加とともに、相当のばらつきはあるがわずかに減少する。さらに Reynolds 数が増加していくと、今度は C_D は増加する傾向を示す。この減少から増加への変換点は明瞭ではない。このように C_D が増加傾向に変わるのは Froude 数が高くなってからであろう。このことについてはまた後に検討する。

さらに $C_D \sim Re$ の関係を B 型橋脚について、もう少し詳しく検討してみよう。B 型橋脚の実験結果を図-8 に示す。形状抗力係数 C_f は $6 \times 10^3 < Re < 4 \times 10^4$ の範囲でかなりのばらつきはあるが、ほぼ $Re^{-0.4}$ に比例して減少しており、この範囲で近似的に $C_f = 27.1 \times Re^{-0.4}$ で表される。

この B 型橋脚 ($l/t = 5.0$) に対する風洞実験など他の実験資料はないが、B 型形状に比較的近い $l/t = 3.0, 4.5$ の Elliptical cylinder や A 型に近い $l/t = 4.5$ の Lenticular の実験値²⁾ を参考のため図示した。

この図から、自由水面の影響を受ける B 型橋脚の全抗力係数 C_D は $Re = 1.7 \sim 2.0 \times 10^4$ において形状抗力係数 C_f の減少傾向とは異なり、ほぼ Re 数に比例なく一定値をとる。このように C_D が C_f を離れて増大するのは全抗力係数が造波抗力の影響を受けて大きくなるものと思われる。

A, D 型橋脚についても B 型と同様になるものと考えれば、形状抗力係数 C_f は $Re = 10^4$ 近傍で近似的にそれぞれ 0.4, 0.5 であることが確定される。

[3] 抗力係数と Froude 数

開水路にある橋脚の抗力は、自由水面に生ずる定常波のため造波抗力が付加される。したがって全抗力係数 C_D は Froude 数が他の境界条件と同様重要な因子となるであろう。

抗力係数 C_D の Froude 数による変化を調べた。

図-9 は抗力係数 C_D と流れの Froude 数 $F_{rH} = U / \sqrt{gH}$ の関係を示したものである。

図-9 からわかるように水路側壁あるいは隣接橋脚の影響をほとんど受けない場合 ($t/B = 1/28.3$) A, B, D 型橋脚の抗力係数 C_D は $F_{rH} = 0.2$ 近傍で多少ばらつくが、 $F_{rH} < 0.6$ まではほぼ流れの Froude 数には無関係な一定値をとり、 $C_{DA} = 0.4, C_{DB} = 0.5, C_{DD} = 0.5$ となる。しかし $F_{rH} > 0.6$ となると、各抗力係数は Froude 数が

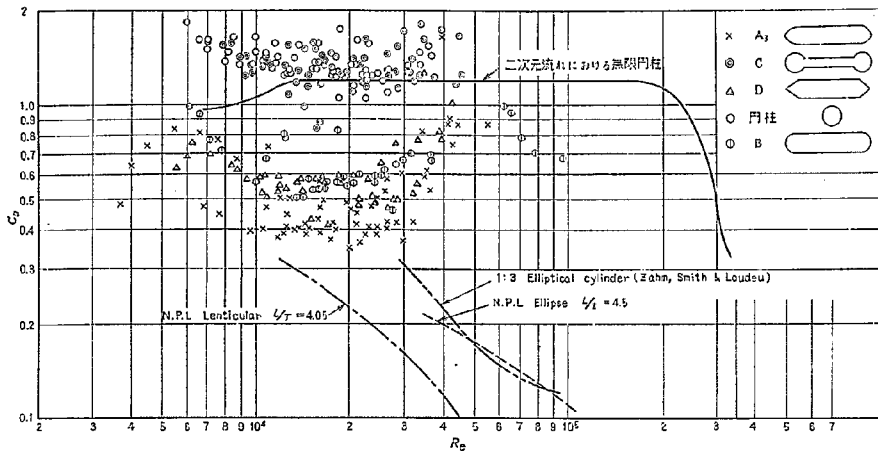


図-7

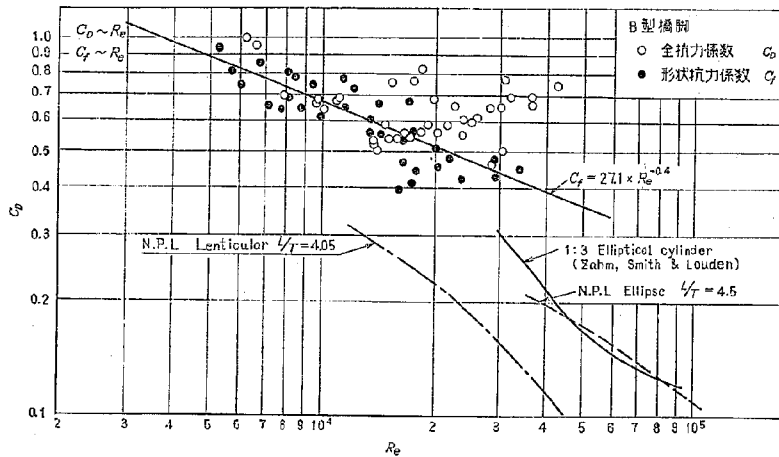


図-8

高くなるにしたがって増大する傾向がある。

円柱およびC型橋脚の抗力係数 C_D は Froude 数が低い所でもかなりのばらつきがあり、 $C_D=1.1\sim1.7$ であった。しかし Froude 数が高くなると全体として増大するようである。

図-9における各橋脚の抗力係数のばらつきの原因は Hsieh⁴⁾ がすでに円柱について指摘したように、水深と

隣接橋脚間隔の影響であろう。

つぎにB型橋脚の抗力係数について、水深と橋脚間隔の影響を検討してみた。図-10にB型橋脚1本 ($l/B=1/28.3$) および3本 ($l/B=1/7.1$) の場合の抗力係数 C_D と Froude 数の関係を示す。

これより水深の影響については、実験範囲が狭まぐ、これだけでは、はっきりした傾向をつかむことはできな

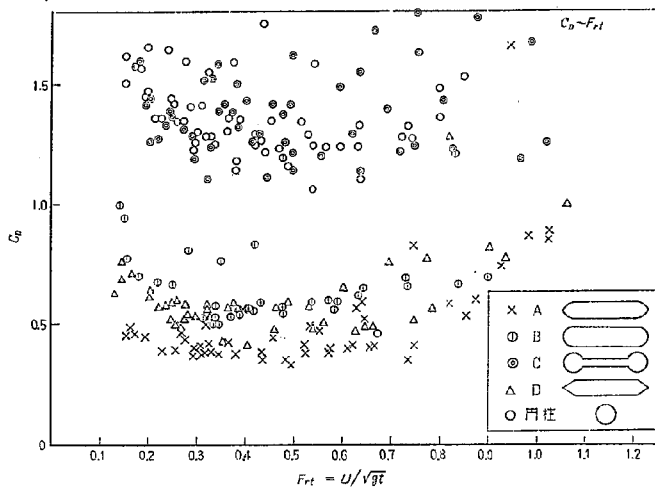


図-9

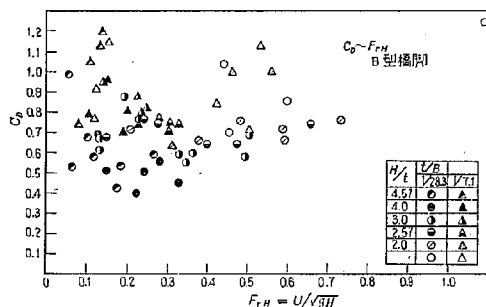


図-10

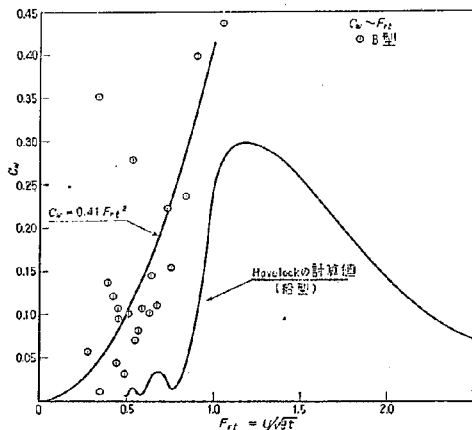


図-11

かった。しかし、橋脚間隔の影響はかなりはつきりした形で現われ、橋脚間隔が狭くなると、抗力係数は大きくなる。さらに $F_{r,H} = 0.15$ 近傍で極大値が生ずるようである。

一般的に考えると、全抗力係数 C_D が形状抗力係数 C_f と造波抗力係数 C_w の組合されたものとすれば、水深が大きいと全抗力係数に占める形状抗力係数の割合が支配的であり、水深が浅くなると、全抗力係数に占める造波抗力係数の割合が支配的になるであろう。

このように橋脚の間隔が狭くなると抗力係数が大きくなることは門柱型橋脚の場合にも確かめられているがこれは橋脚間隔が狭くなるにしたがって、橋脚間の流速が増大し後流の乱れも大きくなり、静圧こう配・壁面に沿う境界層による干渉などが著しくなり、橋脚の抗力係数を増加させるものと思われる。

〔4〕 造波抗力係数

すでに述べたように、橋脚の全抗力 F_w は形状抗力 F_f と造波抗力 F_w との和であり式(4)によって表される。

式(4)に式(1), (2), (3)を代入して、全抗力係数 C_D , 形状抗力係数 C_f , 造波抗力係数 C_w の関係を求めれば次の式が得られる。

$$C_D = C_f + \frac{1}{H} C_w \quad \text{.....(14)}$$

したがって橋脚の抗力係数 C_D は C_f および C_w の値がわかれば定まる。ここで形状抗

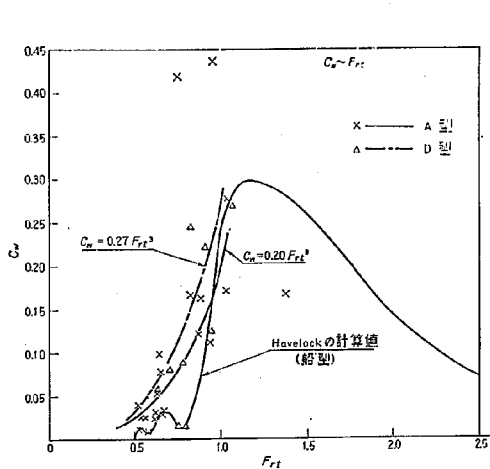


図-12

力係数 C_f は[2]において述べたように、橋脚の各形状に対し、Reynolds 数によって定まる性質のものである。

ところで、造波抗力係数 C_w に関しては橋脚のFroude 数 Fr_t の関数となることが次元解析から予測されるが、実験資料も少なく、未だ明らかにされていないようである。このように橋脚の抗力係数を知るには、造波抗力係数 C_w に関してその特性を知る必要がある。

ここでB型模型橋脚について測定した全抗力と形状抗力から造波抗力および造波抗力係数を次のようにして算出した。

式(4より)

$$F_w = F_D - F_f \dots\dots\dots (4')$$

上式を用いて造波抗力 F_w を算出したが、この時右辺の全抗力 F_D は実測値であり、形状抗力 F_f は[1]で求めた $F_f = 2.56 \times 10^{-4} U^{2.97} \times H \cdot t$ に F_D を測定した時の水理条件を用いて計算したものである。

造波抗力係数 C_w は式(2)より

$$C_w = \frac{F_w}{\frac{1}{2} \rho g H^3} = \frac{F_D - 2.56 \times 10^{-4} U^{2.97} H \cdot t}{\frac{1}{2} \rho g H^3} \dots (15)$$

を用いて計算した。

造波抗力係数 C_w と Froude 数 Fr_t の関係は図-11に示す。これより、B型橋脚の造波抗力係数は $Fr_t < 1.0$ の範囲で Froude 数の2乗に比例する曲線 ($C_w = 0.41 Fr_t^2$) のまわりを振動して増加する傾向にあるといえるであらう。

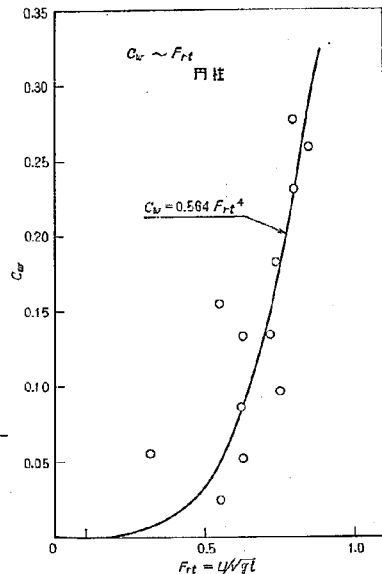


図-13

う。

また、B型橋脚の類推からA、D型橋脚についても、流速の違い所では形状抗力が支配的であるとして、[1]で得た関係から、形状抗力をそれぞれ、 $F_f = 5.07 \times 10^{-4} U^{1.77} H \cdot t$ 、 $F_f = 3.39 \times 10^{-4} U^{1.93} H \cdot t$ とし、B型の場合と同様にして造波抗力係数を求め図-12に示した。A、D型橋脚の場合はB型に比べてかなりばらつきが少なく、造波抗力係数を Froude 数の関係として表わせれば

$$A型: C_w = 0.20 Fr_t^3$$

$$D型: C_w = 0.27 Fr_t^3$$

となり、この曲線の近傍を振動しながら増大する傾向にある。参考のために Havelock³⁾ の船についての造波抗力係数の計算値を同図に実線で示しておいた。

また円柱型橋脚についても造波抗力係数を同様な方法によって算出したものを図-13に示す。これはB型橋脚同様相当のばらつきがあって定めがたいが $C_w = 0.564 Fr_t^4$ なる曲線を中心に大きく振動して増大するようである。

以上造波抗力係数は一般的傾向として Froude 数の2～4乗に比例して増大することがわかったが、詳細な考察は行い得なかった。

6. 設計抗力係数について

5.における実験結果から、設計上の橋脚の抗力係数を定めるには、次のように考えてよいであろう。

橋脚の抗力係数は式(4)で与えられる。

$$C_D = C_f + \frac{l}{H} C_w \dots\dots\dots (14)$$

ここで形状抗力係数 C_f は各橋脚形状について図-7に示した曲線からその時の Reynolds 数に対応する値を用いる。造波抗力係数 C_f は各形状ごとに図-11および12を用いて、その時の Froude 数に対応する値を用いる。

したがって流れの Froude 数が小さく造波抗力係数が小さいかあるいは水深 H が橋脚の長さ l に比べて非常に大きい時は式 (14) の右辺第2項は第1項に比べて無視してよく、橋脚の抗力係数 C_D は形状抗力係数 C_f を用いてよい。しかし、相対水深 H/l が小さい時、あるいは流れの Froude 数が大きくなれば、右辺第2項の造波抗力係数の項の全抗力係数に占める割合は大きくなっていく。

このようにして、橋脚の形状および水理条件に対して式 (14) を用いて橋脚の抗力係数の概略値を定めることができる。

しかし実際には C_f に関する資料は円柱に関しては Reynolds 数の広い範囲についての実験値はあるが、その他の橋脚形状に関する実験値はほとんどない。また C_w に関しても未だ明らかでない点が多い。このため、橋脚の抗力係数 C_D を正確に定めることは難しい。さらに橋脚間隔が狭くなって隣接橋脚の影響を受けるようになると、 C_D は大きくなるが、このことに関してはまだ定量的に評価するまでには至らなかった。

7. 結 論

実験の結果、次のような事が明らかにされた。

- (1) 橋脚の抗力は、必ずしも流速の2乗に比例するとは限らず、橋脚の端部形状、流速の大きさによって変化する。同一流速に対し、円柱、C型橋脚の抗力はA、B、D型橋脚に比べて2倍以上である。
- (2) 橋脚の抗力係数に影響をおよぼす主な要素は R_e 数 F_r 数、相対水深 H/l 、相対橋脚間隔 S/T である。
- (3) 抗力係数は形状抗力係数と造波抗力係数の和で表わされる。相対水深 H/l が大きいと、造波抗力係数の項は無視し得るが、水深が小さい場合には、造波抗力の占める割合が大きくなる。
- (4) 抗力係数の大きさは、 F_r 数が小さい時には R_e 数によって支配され、 F_r 数が0.6よりも増大すると、次第に増加する。その場合、相対水深 H/l が影響し、水深が大きいと抗力係数の変化は小さく、水深が小さいと抗力係数の変化も大きくなる。
- (5) 橋脚間隔の影響は、間隔がせまくなり隣接橋脚の影響を受けるようになると抗力係数が増加する。
- (6) 橋脚その他流水の力を受ける構造物の受ける抗力は、式 (3) および式 (14) を用いて求められる。式 (14) の C_f と C_w は実験結果より求める。

8. あとがき

この報文は自由水面をもつ流れの中に存する橋脚・その他の構造物に作用する抗力について、その特性を明らかにしようとしたものである。そのため橋脚の抗力が主として形状抗力と造波抗力であるとの予測から出発して、全抗力からこれらを分離して測定し、全抗力係数、形状抗力係数、造波抗力係数の検討を行なった。

各抗力係数の一般的な特性はほぼつかみ得たが、細部については十分解明することができなかった。

このような自由水面をもつ流れの中にある物体の抗力に関する研究は、円柱については我国においても行なわれているが、Hsieh¹⁾ が広範な実験を行なっており、これからかなりはっきりした傾向を知ることができる。

しかし、円柱以外の形状をもつ物体に関しては実験も解析もほとんど行なわれていない。またこの報文のように橋脚の抗力係数を形状抗力係数と造波抗力係数に分離して、その特性を明らかにしようとする試みも行なわれていない。

橋脚の抗力の特性を明らかにするためには、形状抗力、造波抗力それぞれの特性を知らなければならないが、これらは未だほとんど知られていないといつてよいであろう。風洞あるいは水路における広範な実験と解析が待たれる。

最後に本研究中適切な助言をいただいた須賀亮三研究員と、実験と計算に勞を惜しまれなかった本間勝一技官に感謝の意を表するものである。

参考文献

- 1) Masch, F.D. & W.L. Moore: "Drag Forces in Velocity Gradient Flow" Trans. A.S.C.E. vol. 128, (1963) Part. 1.
- 2) 東洋測器株式会社: 「金属細線抵抗線空計入門 1, 2」
- 3) Goldstein, S: "Modern Developments in Fluid Dynamics II"
- 4) Hsieh Ti: "Resistance of Cylindrical Piers in Open-channel Flow" Proc. A.S.C.E. Hydr., Jan. (1964)
- 5) Havelock, T.H: "Studies in Water Resistance: Influence of the Form of the Water-plane Section of the Ship" Proc. Roy. Soc. S.A. (1923)
- 6) 永井・小田: 「流れにおける超大円柱の抗力係数」第21回土木学会年次学術講演会講演概要集 (1966)

重力ダムのせん断摩擦抵抗

—局部的な安全率を考慮した検討—

(昭和42年4月)

石 井 文 雄*
小 林 茂 敏**

要 旨

重力ダムのせん断摩擦抵抗強度の検討は Henny の式によって行われている。これは巨視的にせん断面全体の有する抵抗強度を検討する方法であり、面内の局部的な抵抗強度は考えていない。本文では局部的な抵抗強度も検討する必要があることを述べ、その方法および二、三の形状の重力ダムについてその検討結果を示している。

目 次

1. 緒 言.....(1)	(2) ダムこう配と点安全率の関係.....(4)
2. せん断摩擦安全率についての検討.....(1)	4. 中空重力ダムの場合.....(4)
(1) 従来の計算方法における問題点.....(1)	5. フィレットを有する重力ダムの場合.....(6)
(2) 局部的なせん断摩擦抵抗を考慮した 検討方法.....(2)	(1) フィレットの効果の考え方.....(6)
3. 直線こう配を有する重力ダムの場合.....(2)	(2) フィレットのこう配に関する模型実験.....(6)
(1) 従来の形状に対する問題点.....(2)	(3) 設計例についての模型実験.....(7)
	6. 結 語.....(8)

1. 緒 言

重力ダムのせん断摩擦抵抗の検討は、現行の規準では Henny の式を用いて行うことが規定されている。

この方法によれば、せん断摩擦安全率の検討はせん断面全体については行われるが、せん断面の局部的な安全率については考慮されていない。

本文では局部的な安全率をも検討する必要があることをまず述べる。

次に直線こう配を有する重力ダム、中空重力ダム、フィレットを有する重力ダムについてのダムベースにおける局部的な安全率の分布の検討結果を示し、あわせて純せん断強度の小さな岩盤上に作られる場合、それらの形状が適するかどうかをも考えてみる。

2. せん断摩擦安全率についての検討

(1) 従来の計算方法における問題点

重力ダムのせん断摩擦抵抗の検討は、ダム設計基準¹⁾によれば、次の Henny の式²⁾を用いて行うことが規定されている。

$$n = \frac{c + fV}{H} \dots\dots\dots(1)$$

ただし n : せん断摩擦安全率

c : 全鉛直力 t/m^2

H : 全水平力 t/m^2

l : せん断長さ m

τ_0 : 岩盤又はコンクリート純せん断抵抗強度
のうちの弱い方 t/m

f : 内部摩擦係数

Henny は Coulomb の内部摩擦説と、コンクリート円柱供試体の圧縮によって生ずるせん断破壊の結果に基づき (1) 式を提案したのであるが、式によれば構造物のせん断摩擦安全率は、それにかかる外力と材料の持つ強度だけによって定まり、せん断面における局部的な安全率は問題とされない。

このような考え方は極限設計に取り入れられている。そしてそのとき、局部的な値が無視される理由は、もし局部的に材料の持つ許容限界応力に達したとしても、材料の塑性変形が生じて応力の再配分が行われ、せん断面全体が極限状態になるまで破壊が生じないことが仮定されるためである。

この仮定はくり返し荷重を受けない完全塑性体には成立する。しかしダムの基礎となる岩盤の性質として最近の現地試験の結果によれば、次の事項が一般に知られている。

(i) 岩盤の現地せん断試験を行うと、ブロックに生ずる応力～変形曲線は破壊に至るまでに二つのわん曲点を持ち、最初は破壊荷重の30%で生じ、次に破壊荷重の60%程度で顕著に生ずる。

(ii) 変位の顕著な状態になると、岩盤内に貯えられるひずみエネルギーは減少し、変位は主として岩石間のすべりによって生ずるようになる。

(iii) くり返し荷重を載荷した場合、応力～変位曲線

* 赤羽文所長 (前ダム部長)

**ダム部ダム構造研究室研究員

の第2のわん曲点以下の荷重によるくりかえし荷重ではほとんど岩盤の強度の劣化は生じないが、それよりも大きな荷重のくり返しては変形が次第に大きくなり破壊に至る。

ダムには貯水位の変動により絶えずくり返し荷重が働いていることと、以上の岩盤の性質を考えると極限設計の仮定をダムベースに当てはめるのは無理がある。

すなわち岩盤は塑性変形が大きくなって応力の再配分がなされるような状態に達したときには非可逆的な強度の劣化が生じて破壊に近ずいているのである。

したがって局部的であっても安全率の小さい部分がある場合と、断面全体がほぼ平均した安全率を有する場合とでは Henny の式によって得られた安全率は等しくとも前者の方が小さな荷重によって強度の劣化が生ずることになる。つまり実質上の安全率は小さいと言える。また極端に安全率の小さな部分がある場合には設計荷重内でも強度の劣化の生ずる場合もあり得る。

よって重力ダムのせん断摩擦抵抗の検討を行うに当っては局部的な安全率は無視できないものと考えられる。

しからば局部的な安全率はどうのようにして求めるかを次に述べる。

[2] 局部的なせん断摩擦抵抗を考慮した検討方法

Coulomb の内部摩擦説によれば、ある点におけるせん断応力 τ が次式の値に達したとき、そのせん断応力が作用する面に沿ってすべり破壊が生ずる。

$$\tau = \tau_0 + f\sigma \dots \dots \dots (2)$$

ただし σ : すべり面に働く垂直応力

τ_0 : 材料の純せん断抵抗強度

f : 材料の内部摩擦抵抗

したがって次式で示す値をもって局部的なせん断摩擦安全率 n' (以下「点安全率」と称す) とする。

$$n' = \frac{\tau_0 + f\sigma_n}{\tau_n} \dots \dots \dots (3)$$

ただし σ_n : ある点におけるすべりを仮定する方向に垂直な応力

τ_n : ある点におけるすべりを仮定する方向に働くせん断応力

この式を用いると応力値と材料の強度がわかれば、任意のすべり面を仮定してその面に沿った点安全率の分布を計算ができる。

しかし点安全率の値だけで、面全体としての安全率を推定するのは、岩盤の持つある程度の塑性的な性質をも考えるとまだ問題がある。

そこで筆者等は重力ダムのせん断摩擦安全率の検討は Henny の式と局部的な安全率の分布の両方から総合的に行うことを提案する。そして一定の点安全率に満たない部分が生じたならば、工学的な判断に基づいて何らか

の対策を講ずるべきであると考える。

以下に参考のために重力ダムの 2, 3 の形状についてダムベースにおける点安全率の分布を述べ、あわせて純せん断強度の小さな岩盤にそれらの形状が適するかどうかの検討を行ってみる。

3. 直線こう配を有する重力ダムの場合

[1] 従来の形状に対する問題点

重力ダムが安定であるかどうかは主として次の事項によって検討されていた。

(i) 転倒に対する安定

(ii) せん断摩擦安全率

(iii) 堤体内部応力

重力ダムの内部応力を求める方法は Levy や物部⁹⁾によって試みられている。すなわち堤体を弾性ばりの一部と仮定し、作用する外力は、ダム頂より線形に分布する水圧、自重、地震力、上流端で揚圧係数×水圧、下流端で0となるような揚圧力とすれば、その弾性解による応力は次式であらわされる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_x &= a_1x + b_1y \\ \sigma_y &= a_2x + b_2y \\ \tau_{xy} &= a_3x + b_3y \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$

ただし

$$a_1 = W_c \frac{m_1^2 + m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} - W_w \frac{(m_2 - m_1 - 2m_2^2 m_1)}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$- k_1 W_c \frac{m_2 - m_1}{(m_1 + m_2)^2} - U_p W_w \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

$$b_1 = -W_c \frac{m_2 - m_1}{(m_1 + m_2)^2} - W_w \frac{3m_1 m_2 - m_1^2 - 2}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$+ 2k_1 W_c \frac{1}{(m_1 + m_2)^2} - U_p W_w \frac{1}{m_1 + m_2}$$

$$a_2 = W_c \frac{2m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} - W_w \frac{m_2^2(2m_2 m_1^2 - 3m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$+ k_1 W_c \frac{(m_2 - m_1) m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} - U_p W_w \frac{m_2}{m_1 + m_2}$$

$$b_2 = W_c \frac{m_1 m_2 (m_2 - m_1)}{(m_1 + m_2)^2} - W_w \frac{m_1 m_2 (m_1 m_2 - m_2^2 - 2)}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$+ k_1 W_c \frac{m_1^2 + m_2^2}{(m_1 + m_2)^2} + U_p W_w \frac{1}{m_1 + m_2}$$

$$a_3 = W_c \frac{m_1 m_2 (m_1 - m_2)}{(m_1 + m_2)} - W_w \frac{m_1 m_2 (m_1 m_2 - m_2^2 - 2)}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$+ k_1 W_c \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2}$$

$$b_3 = W_c \frac{2m_1 m_2}{(m_1 + m_2)^2} + W_w \frac{m_2 - m_1 - 2m_2^2 m_1}{(m_1 + m_2)^3}$$

$$+ k_1 W_c \frac{m_2 - m_1}{(m_1 + m_2)^2}$$

σ_x : 鉛直応力 (t/m²)
 σ_y : 水平応力 (t/m²)
 τ_{xy} : せん断応力 (t/m²)
 W_c : 堤体単位重量 (t/m³)
 k_1 : 地震係数
 U_p : 揚圧係数
 m_1 : 上流面こう配
 m_2 : 下流面こう配
 座表軸は図-1のように定める。

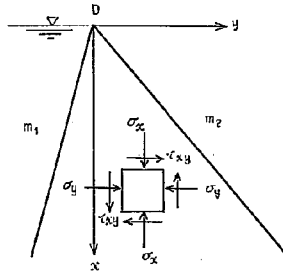


図-1 応力座表軸

ダムベース付近においては境界条件が異なるので、隅角

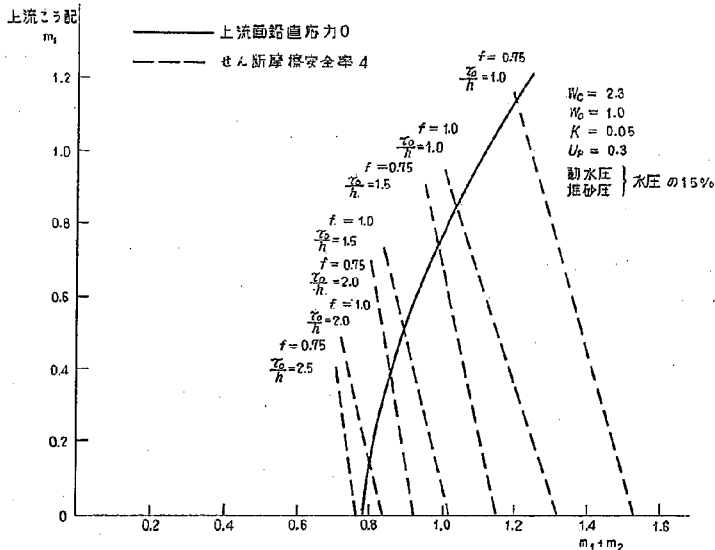


図-2 上流こう配～上下流こう配和(重力ダム)

(7)式(8)式の等号を満足する m_1 と (m_1+m_2) の関係を示せば、図-2のようになる。

図から上流面鉛直応力=0の条件は、上流面が急こう配であるほど小さな断面で満たされ τ_0/h が2.5, f が

部分に応力集中が生じて計算とは異った応力分布をするという問題があるが、Brahtz²⁾の研究によれば応力の集中するのは極めて限られた部分で、その部分は塑性変形を生じて応力の再配分が行われるとしても、全体としてみたときには、その影響は極めてわずかであるということであり、ここでは考えないことにする。

(i) は上流面における鉛直応力が引張り応力にならない条件と一致し、ダムこう配で示せば

$$m_1 + m_2 \geq \frac{(W_c - 2W_w) m_1 + k W_c + \{m_1^2 (W_c^2 + 4W_w^2 - 4U_p W_w) + 4W_c W_w k m_1 + k_1^2 W_c^2 + 4W_c (W_c - U_p W_w)\}^{1/2}}{2(W_c - U_p W_w)} \quad (7)$$

となる。

(ii) はダム設計基準ではせん断摩擦安全率 $n \geq 4$ となることが規定されており、同じくダムこう配で示せば

$$m_1 + m_2 \geq \frac{(-f W_w m_1 + 4 W_w)}{\frac{2 \tau_0}{h} + f W_c - f U_p W_w - 4 k W_c} \quad (8)$$

となる。

(iii) は高さ100m程度の重力ダムでは、それほど問題が生じないので、ここでは考えないことにする。

0.75以上あれば、そのように定められた断面で、せん断摩擦安全率の条件も満足されることがわかる。

したがって従来多く作られている重力ダムの形状は、岩盤の強度が充分あり、かつ Henny の式でせん断摩擦

安全率を計算する限りでは合理的な断面と言える。

しかしこのような上流面が鉛直であるダムについて水平断面における点安全率分布を調べると図-3に示されるようになる。すなわち上流端と下流端では非常に大きな差をもった分布をしている。特に下流端に近い部分で

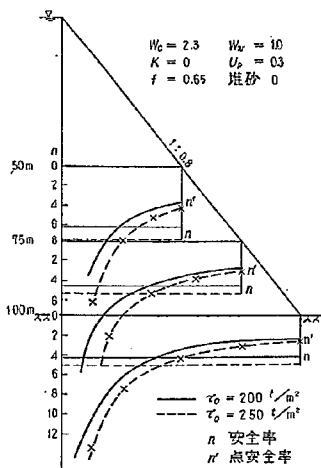


図-3 点せん断摩擦安全率分布

は Henny の式で求めた値の 50% 程度の点安全率の値であるから、ダムベースにおいては 2 章で述べた理由により Henny の式による値は安全に評価しすぎる恐れが充分あると言える。

よってこの種の形状の重力ダムは岩盤の強度が大きく安全率に充分な余裕が得られる地点で、しかも下流端付近に岩盤の弱い部分がない場合にのみ適するものであるということが点安全率をも考慮して検討した結論となる。

次にこのような点安全率の分布の不均衡を少なくする重力ダムの形状とはどのようなものであるかを考えてみる

(2) ダムこう配と点安全率の関係

ダムの下流端における鉛直応力 σ_{xd} とせん断応力 τ_d とは下流面に外力が働かない場合には

$$\frac{\sigma_{xd}}{\tau_d} = \frac{1}{m_2} \quad (9)$$

の関係有する。(9)式と(3)式から、一般に下流面こう配が急こう配であるほど、下流端における点安全率が大きくなる。つまり下流面を急こう配にすると下流端の主応力方向はダムベースに対して垂直に近付き、水平方向にすべりにくくなるのである。

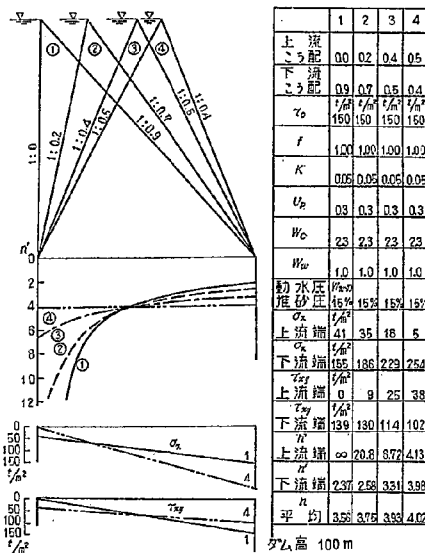


図-4 ダム底における応力、点安全率(重力ダム)

例として $\tau_0 = 150 \text{ t/m}^2$ $f = 1.0$ $h = 100 \text{ m}$ の重力ダムについてダム底長を一定にしておき、ダムこう配だけをえて点安全率分布の変化のようすを示せば、図-4のようになる。

上流面を緩こう配、下流面を急こう配にするにつれて、ダムベースにおける点安全率の分布は平均化してくることがわかる。よってこのようにダムこう配を変えることは、点安全率分布の平均化のひとつの有効な手段である。

なおこれは補足であるが、上流面を傾けることにより上流面上の水重が摩擦抵抗を増すのに役立つため、上流面が鉛直である場合に比べてベース長は同じであっても Henny の式による安全率も大きくなる。(図-2参照)

一方、転倒に対する安定性の面から考えると上流面は鉛直に近いほど有利であるので、 τ_0/h が 2.5 程度以下のときには両者の条件を満足する最少断面を与えるこう配がある(図-2では実線と点線の交点)、一般に岩盤の強度が小さいほど上流面は緩こう配とし、下流面は急こう配とした方が有利であるが、このことは点安全率の面からも平均した分布に近づくため、好ましいといえる。

4. 中空重力ダムの場合

中空重力ダムが重力ダムとその優劣を論じられるときは、利点としてコンクリート体積の少ないこと、揚圧力が小さいこと、堤体の点検・処理などの容易なことなど

があげられ、欠点として施工の複雑さ、掘削面積の大きいこと、富配合のコンクリートが必要であることなどがあげられる。これらの点についてはすでに多くの人々によつて論じられているが、ここでは点安全率の面から考えてみる。

すなわち、中空重力ダムには上流面を緩こう配にした

ものが多い。これは後に述べるように自重が小さいので上流面上の水重を利用することにより転倒に対する安定度を高めているためであるが、これは3章で述べたように点安全率の分布を平均化させるのにも役立っているものと考えられる。

中空重力ダムの荷重は複雑な形を有する力骨によって

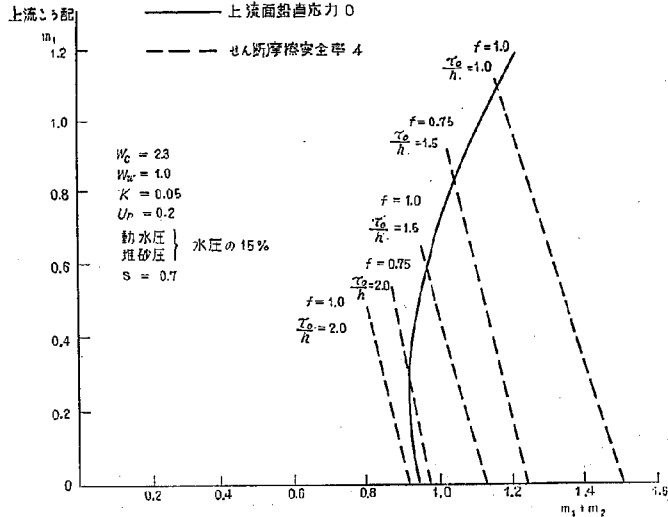


図-5 上流こう配～下流こう配和(中空重力ダム)

伝えられるので、応力分布はさらに複雑なものと考えられるが、基本三角形については、ブロック有効幅を考慮するだけで重力ダムと同じ考えで計算が行われる。ダムベースにおいてはブロック間の基礎面は一般には露出していて、それが揚圧力を下げるのに役立っているわけでもあるが、岩盤の純せん断強度の小さいときには揚圧力の面では多少犠牲になっても、フーチングを取付けて接地面積を基礎面全体にとった方が有利となる場合も多いので、ここでもそのような場合を考えることにする。

ダムベースにおける応力は、コンクリート重量が空洞部のため見かけ上軽くなったと考えて $W_c' = W_c \times S$ (S は等価断面係数) として(6)式を用いて計算を行ってみる。

$S = 0.7$ と仮定し、重力ダムの場合と同様に上流面鉛直応力を 0 とする $m_1 \sim m_1 + m_2$ および安全率 4 を得るための $m_1 \sim m_1 + m_2$ の関係を求めたものが図-5 である。

上流面がある程度傾斜していた方が上流面鉛直応力を引張り応力としない条件にも有利なことがわかる。

ベース長が一定のとき、ダムこう配と点安全率の分布の関係を示したのが図-6 である。

その傾向は重力ダムの場合と同一であり、下流面こう

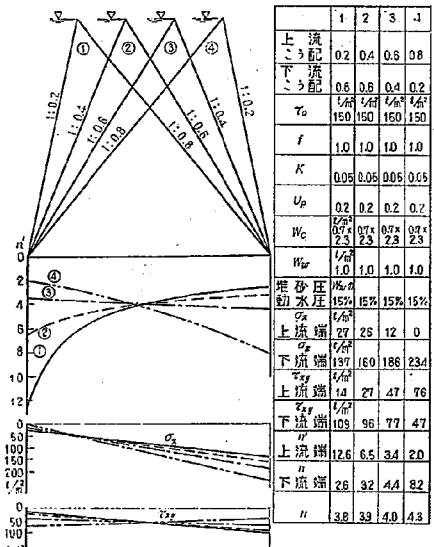


図-6 ダム底における応力、点安全率(中空重力ダム)

配を急こう配にするにつれて、下流端における点安全率は大きくなる。特に上下流面とも同じ位のこう配を有する中空重力ダムは点安全率分布の面からも非常に優れているものと言える。

5. フィレットを有する重力ダムの場合

〔1〕 フィレットの効果の考え方

3章では上流面鉛直応力が0となる最小断面で、せん断摩擦安全率が4以上となるためには τ_0/h と f の値によって限界があることを述べた。

したがって岩盤の強度がこれに達しないときには、フィレットを取付けてベース付近の断面を大きくすればよいという考えが生れる。しかし Henny の式を用いて安全率を計算する場合には必要なベース長は計算できるが、フィレットのこう配をどの位にとったら良いかまでは求め得ない。従来は経験的に定められていたが、そのこう配は最緩のもので $1:0.4$ 位までであつた。しかしフィレットが大形のものであるとこの程度のこう配でも取付点がダム頂近くになつてしまふし、又逆にあまり緩こう配のものにするとせん断力に充分抵抗するかどうかという問題が生ずる。

この問題の検討はダムベースにおける点安全率の分布をチェックするのが非常に有効である。

つまりフィレットを取付けることに点安全率の分布が平均化するものであればせん断力に抵抗するのに役立つと言えるが、フィレットの部分が特に点安全率が小さければフィレットに無理な負担がかかっている。逆に特に点安全率が高ければ、あまり有効に働いていない。そして他の部分にフィレットがないときより特に安全率の小さい部分が生ずれば、フィレットを取付けることが有害であったことを示すことになる。

実際にはフィレット付近の応力分布を計算で求めるのは困難である。そこで筆者等は次に述べるような模型実験を行った。

〔2〕 フィレットのこう配に関する模型実験

実験は図-7に示すような高さ100m、下流面こう配 $1:0.8$ 、上流面こう配 $1:0.4$ の直線こう配を有する重力

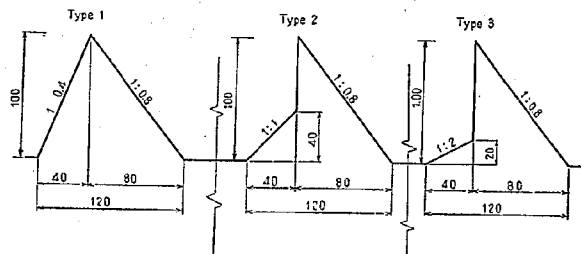


図-7 フィレット光弾性模型実験形状図

ダム、同じダムを上流面を鉛直部分とこう配 $1:1.0$ のフィレットにした場合および、鉛直部分とこう配 $1:2.0$ のフィレットにした場合の3種類について2次元光弾性理論に基づいて行いその応力分布を求めた。

実験時の荷重は自重と水圧荷重を考えた。前者は特に

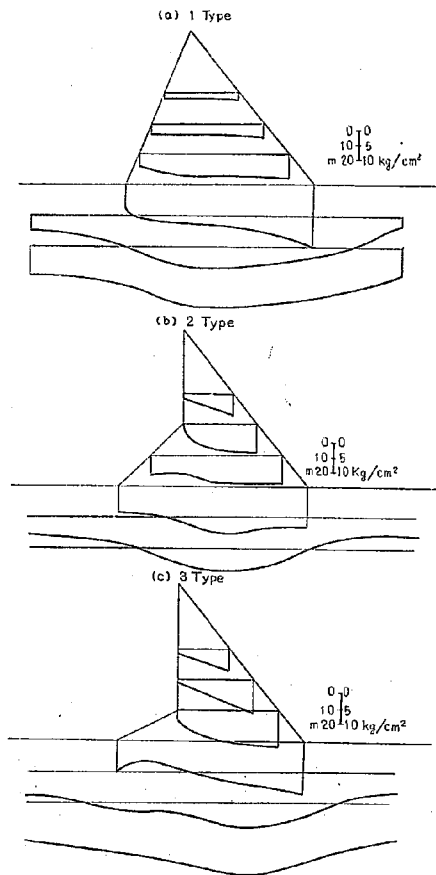


図-8 鉛直応力分布図

光弾性感度の高い可塑性を加えたエポキシ樹脂で作った模型に Biot の理論⁷⁾に基づいて、水銀により載荷⁸⁾し後者はエポキシ板より作成した模型にテコで載荷したものである。

求めた応力のうち鉛直応力とせん断応力の分布図を図-8, 9に示す。

これらの図をもとに $\tau_0=100t/m^2$ $f=1.0$ 、揚圧係数を0.3として計算したダムベースにおける点安全率の

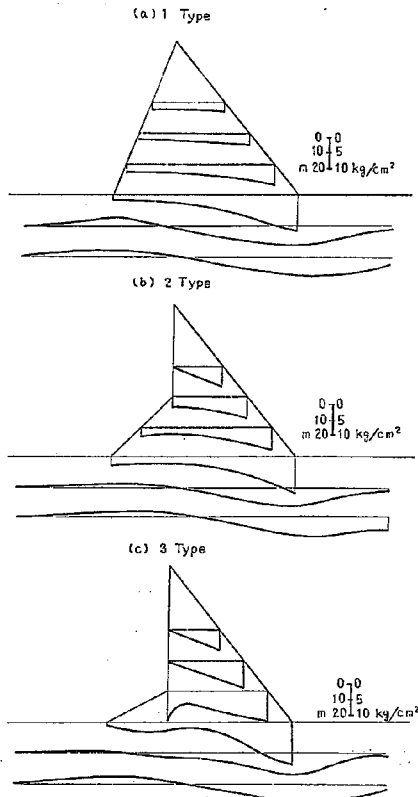


図-9 せん断応力分布図

分布を図-10 に示す。

これらの図から次のことが言える。

(i) フィレットのない場合は上流部に生ずるせん断応力は小さく、点安全率は相当大きい。フィレットを付けるとその部分の点安全率は下ってくる。

(ii) こう配 1:2.0 のフィレットでは上流端では逆に点安全率が大きくなり、あまり緩こう配のフィレット

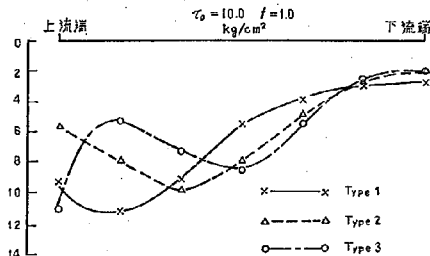


図-10 点安全率分布図

では薄くなっている部分がフィレットとしての効果を充分発揮しなくなる恐れがあると考えられる。

(iii) 下流端における点安全率はどの場合もほぼ一定で Henny の式より得た安全率の 50% 程度である。下流端の点安全率は下流面こう配によって主として支配されるものと考えられる。

(iv) フィレット取付部分には応力集中が生じ、そのこう配が 1:1.0 のときは比較的小さいけれども 1:2.0 としたときには相当広い範囲にその影響がおよぶ。

以上の実験は、フィレットが堤体に比べて比較的大きい場合で、堤体と岩盤の弾性係数も等しいものと仮定したものであるから、これだけの結果から一般性を論ずるのにはまだ検討の余地が有ろうと思われるが、この実験例のように大きなフィレットを有する場合にはそのこう配は 1:1.0 程度まで緩こう配としても取付点の応力集中もあまり問題なく、ダムベースにおける点安全率の分布が平均化するという面でも有利であると言える。

下流端の点安全率はフィレットにはあまり支配されないから、下流面こう配を急こう配とする方法も合せて用いた方がさらによいとも言えよう。

この実験結果は早明浦ダムに取り入れられたが、筆者等は設計断面に対してさらに模型実験を行う機会を得たので、その結果を述べる。

〔3〕 設計例についての模型実験

早明浦ダムは四国、吉野川上流に建設中の高さ 106m 天端長約 400m の重力ダムであるが、基礎をなす岩盤は片理のよく発達した黒色片岩で、現地におけるブロックせん断試験では $\tau_0 = 157 \text{ t/m}^2$, $f = 0.9$ であった⁹⁾。

$\tau_0/\bar{\sigma}$ は 1.48 となり、上流面鉛直応力 0 となる最小断面では、安全率の不足することは図-2 によっても明白

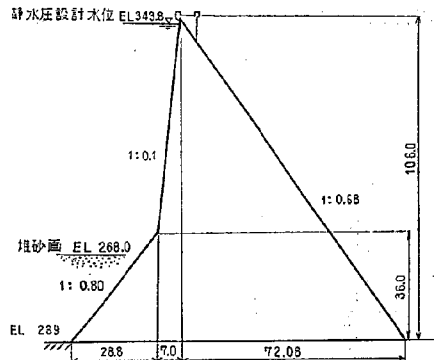


図-11 早明浦ダム非越流部断面

である。したがってその断面は図-11 に示すように上流面はこう配 1:0.8 のフィレットを有し、下流面は下流端

における点安全率の増大をも考慮に入れて $1:0.68$ のこう配にされた。

模型実験は、設計断面と同じ断面について、厚さ 10cm 縮尺 $1/250$ の石膏材料を主とする 2 次元模型を用いて行った。堤体と岩盤の弾性係数の差も、その比が $5:1$ になるように模型に再現された。

荷重は自重、水圧、推砂圧を考慮したが、地震力、動

水圧、揚圧力等は水圧の割増し、又は計算値を加えることにより考慮した。

載荷方法は、ジャッキを用いたが、集中荷重として載荷されないように剛板で各面に 4 層ずつ分散させ、自重は堤体部分だけについて Biot の原理に基づく載荷を行った。実験の結果得られた主応力図を図-12 に示す。

岩盤と堤体との接触部分における応力はゲージの構造

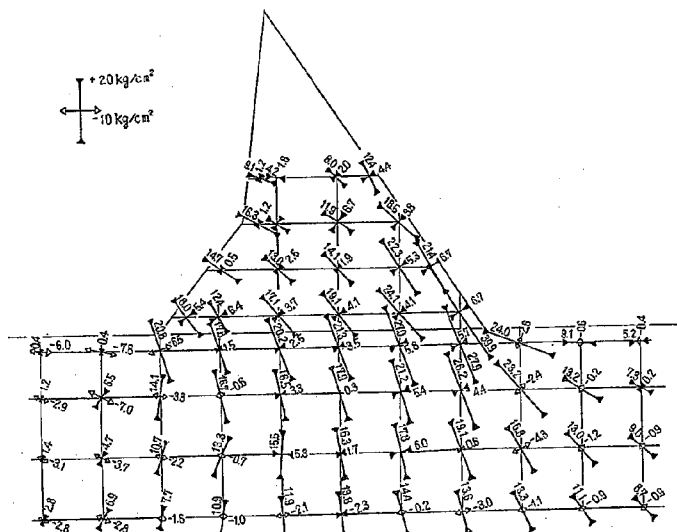


図-12 早明浦ダム模型実験応力

上測定できなかったので、それから実物にして 5m 離れた測定点の岩盤および堤体における点安全率分布を計算したのが図-13である。接触部分の点安全率は両者のほぼ中間と考えられるから、その分布は非常に平均した分

布をなし、フィレットは充分有効に働いているものと考えられる。

このような緩こう配のフィレットが可能であることが、実証されたことから、純せん断強度の小さな岩盤に対する重力ダムの有利性が一段と高まったと言えよう。

6. 結 語

以上、重力ダムのせん断摩擦安全率の検討は従来の方法を用いて行う場合には、点安全率の分布をも調べ、局部的に安全率の小さな部分がないかどうかをチェックする必要性を述べ、各種の形状のダムベースにおける点安全率の分布を調べた例をあげた。

要約すれば

(i) 上流面が鉛直に近い形状の重力ダムではベースにおける点安全率は上流端と下流端とでは大きな差があり、下流端では Henny の式で求めた値の 50% 程度の値である。

(ii) 上流面を緩こう配、下流面を急こう配にするにつれて下流端における点安全率は上ってくる。

(iii) 上下流面こう配のほぼ等しい中空重力ダムは

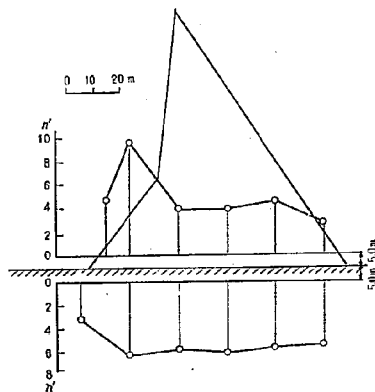


図-13 ベース付近の点安全率(早明浦ダム実験値)

点安全率が平均した分布をしているという利点も有する。

(iv) フィレットを取付けるときは比較的大形のものであれば、そのこう配は1:1.0程度のもので採用可能である。

以上の検討はダム底が平面で、せん断破壊はダム底に極く近い岩盤部分に生ずると仮定して行ったものである。

点安全率を得るには応力分布を知る必要があるが、岩盤の内部の応力を求めるのは非常に困難である。したがって、ダム底が平面でない場合や基礎岩盤内に断層等がある場合の重力ダムのせん断摩擦抵抗の検討方法については、岩盤内部の応力伝達機構の解明と共に今後の重要な研究課題である。

参考文献

1. ダム設計基準(昭和32年制定)
2. D. C. Henny: "Stability of Straight Concrete Gravity Dams." A. S. C. E. paper No. 1881
3. 野瀬正徳: 「ダム基礎岩盤の現地試験に関する研究」
4. 君島博次: 「境川ダム地点の岩盤研究第4報」 電力技術研究所報告「土木64004」
5. 物部長穂: 「土木耐震学」
6. J. H. A. Brahtz: "The Stress Function and Photo-Elasticity Applied to Dams." A. S. C. E. Vol. 101
7. M. A. Biot: "Distributed Gravity and Temperature Loading in Two-Dimensional Elasticity Replaced by Boundary Pressure and Dislocations." Journal of A. M. (1935)
8. 高田孝信: 「光弾性による重量構造物の応力測定方法について(2)」 土木研究所報告第92号の2
9. 早明浦ダム工事事務所: 「早明浦ダム本体計算書」

海岸堤防に関する研究 (8)

—波のうちあげ高—

豊島 修, 富永正照, 橋本 宏

要 旨

海岸堤防への波のうちあげ高に関して模型実験を行なった。実験の結果によれば波のうちあげ高は堤防前面で波が砕波しているか重複波となっているかによって異なる。重複波となる領域においては波のうちあげ高は重複波の波峰高に等しくなり、また砕波領域においては砕波後の波を bore と考えたときの反射波高に關係するものと考えて計算を行なった。計算結果は実験値とかなりよく一致している。

橋脚の抗力係数について

土屋昭彦, 浦 勝

要 旨

橋脚に作用する流水の力は、設計荷重としては小さくあまり問題にならないが、水深の大きい海峡などに設ける場合には、その工法とも関連して受ける抗力の大きさを見積る必要を生ずる。

抗力係数は、レイノルズ数によって変化し、模型実験によって得られた抗力係数を、そのまま実物に適用することには問題があるが、形状による抗力の変化を見るために、端部形状を種種変えて実験を行った。その結果、

- (i) 円柱型橋脚の抗力は、レンズ型や船型に比べ同一流速に対して2倍以上である。
 - (ii) 抗力係数は形状抗力係数と造波抗力係数の和で表わされ、水深が小さい場合には、造波抗力の影響を無視できない。
 - (iii) フルード数が小さい時は、抗力係数はレイノルズ数によって支配され、フルード数が0.6よりも大きくなると次第に増加する。
- などのことが明らかにされた。

重力ダムのせん断摩擦抵抗

—局所的な安全率を考慮した検討—

石井文雄, 小林茂敏

要 旨

重力ダムのせん断摩擦抵抗強度の検討は Henny の式によって行われている。これは巨視的にせん断面全体の有する抵抗強度を検討する方法であり、面内の局所的な抵抗強度は考えていない。本文では局所的な抵抗強度も検討する必要があることを述べ、その方法および二、三の形状の重力ダムについてその検討結果を示している。

Report of the Public Works Research Institute
Vol. 131. November 1967

Studies on Coastal Dikes (8)

—Wave Run-up—

Osamu Toyosima
Masateru Tominaga
Hiroshi Hashimoto

Synopsis:

The experimental results of wave run-up on coastal dikes with a steep slope are presented. Wave run-up heights are calculated by regarding to the crest height of standing wave in none breaking zone and to the reflected bore height in breaking zone. The calculated values indicate good agreement with the experimental results.

Report of the Public Works Research Institute
Vol. 131. November 1967

Drag Coefficient of Bridge Piers

Akihiko Tsuchiya
Masaru Ura

Synopsis:

The drag force acting on the bridge pier in the flow is comparatively small comparing with the forces provided with earth quake movement. But the drag force is important factor for the piers constructed in a deep channel.

The forces of form drag and wave drag were measured separately by the un-bonded wire strain gage. Five different pier models were selected. The observed data showed that the drag coefficient varied with the change of Reynolds number and Froude number.

The shape of pier section has a large effect on the drag coefficient. The drag coefficient of type A, B and D are less than half of the cylindrical and type C piers at the same Reynolds number. The drag coefficient becomes large when Froude number is larger than 0.6.

Report of the Public Works Research Institute
Vol. 131. November 1967

The Shear Friction Resistance of The Gravity Dam

—Studies with Local Shear Friction Factors—

Humio Ishii
Shigetoshi Kobayashi

Synopsis:

Today, the stability against sliding or shearing of the gravity dam is examined by the shear friction safety factor which is calculated by Henny's equation which treats the mean safety factor that the whole shearing section has.

This paper says that safety factors at the local parts on the shearing section also should be checked then studies the shape of the gravity dam which is constructed on the weak foundation considering the local shear friction factor.

Report
of
The Public Works Research Institute
Ministry of Construction
Vol. 131, November 1967

CONTENTS

1. Osamu Toyosima, Masateru Tominaga and Hiroshi Hashimoto
Studies on Coastal Dikes (8)
——Wave Run-up——.....(1)
2. Akihiko Tsuchiya and Masaru Ura
Drag Coefficient of Bridge Piers(31)
3. Humio Ishii and Shigetoshi Kobayashi
The Shear Friction Resistance of the Gravity Dam
——Studies with Local Shear Friction Factors——.....(41)