

V字状法線をした海岸堤防へのうちあげ高

細井正延*・首藤伸夫**

1. はじめに

堤防法線が屈曲しているときに、うちあげ高が場所的
にどう変化するかを調べる実験の一つとして二割勾配の
堤防を中心角 120° をなす形におき、各地点でのうちあ
げ高を測定した結果を報告する。この結果、簡単に波の
重複を考慮してもとめられる重複波現象と似た振動がお
こること、うちあげ高が最大となるのは最も奥にあたる
所ではなく、一つだけ海側にできるピークの所でのうち
あげ高が常に最大であること、ピーク番号、 d/L 、 H/L な
どの量で相対うちあげ高をしめすことができることなど
が明らかとなった。

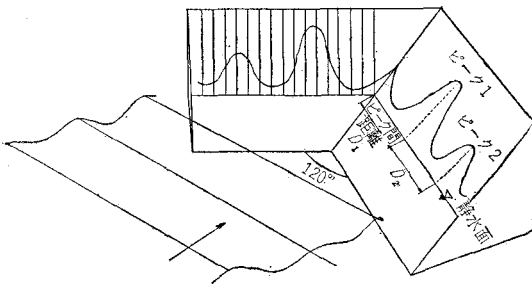
2. 実験方法と装置

実験水槽：幅 13.5 m，長さ 21.5 m，水深 45 cm。
模型堤防：のり勾配 2 割，高さ 1.6 m，法線中心
角 120° ，法線長 D は 静水面ではかって
2.80 m，4.80 m の二通り。
実験波：周期 1.2~1.6 sec，波高 2.0~12.0 cm，
 $d/L=0.14\sim0.25$ ， $H/L=0.008\sim0.06$ ，
 $D/L=0.8\sim3.0$ 。

うちあげ高の測定は、堤防面に沿って 5 cm ごとの帯
をかき、また法線方向に 20 cm の間隔で縦線をいれ、こ
の上で読みとった。

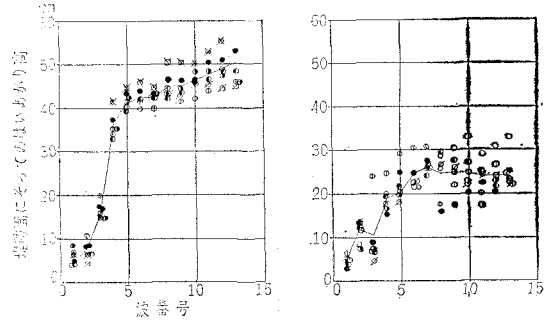
堤防全域についてのうちあげ高をするため、1~2台
の 8 mm シネカメラで毎秒 24 コマ程度の速度で撮影し、
のちこれをなるべく低速でうつしてうちあげ高を読みと
った。このような方法でうちあげ高測定を行なうと、案
外大きな誤差が入ってくることも考えられるので、この

図-1 堤防配置図



* 正員 工博 建設省，土木研究所河川部長
** 正員 建設省，土木研究所海岸研究室

図-2 読み取りの個人差



点をためしてみたのが 図-2 である。数人の人に同一箇
所の同じうちあげ高を読みとってもらいそれをしめして
ある。縦軸は、うちあげ高の堤防面にそっての長さであ
る。うちあげ高の大小にかかわらず、読み取りの絶対誤
差は同程度であることがわかる。読みなれた人でも、堤
防面にそって ± 5 cm (つまり幅 5 cm の帯 1 本分)くら
いの誤差を考慮しておかねばならない。これは高さにな
おすと、約 2.2 cm にあたる。入射波高は 2~12 cm くら
いであるから、 R/H にして 1~0.2 程度の誤差の生ず
る可能性がある。

重複波のピークとなる位置で読みとると、比較的この
ピークがはっきりしているときは誤差の出方が小さく、
ピークが明確にでないときには読み取り誤差が大きくな
るようであった。

3. 実験結果

(1) うちあげ高の場所的な違い

この典型例を 図-3 (a), (b), (c) にあげる。図には平均
値をはさんで最大値，最小値をもしめしてある。堤防か
らの反射率が大きくても、 D/L [堤防法線長 D と波長 L
の比] がある程度以下であると、重複波としてのピーク
は数多くはできない。これは重複波の波長と堤防法線長
との関係からピークの数に限られてくるからである (図
-3 (a))。反射率がかなり大きく D/L もかなり大きけれ
ば、重複波としてのピークの存在が目立ってくる (図-
3 (b))。 D/L が大きくなって反射率が小さくなると、ピ
ークの存在そのものは判然としなくなる。図-3 (c) がそ
の例である。

(2) D/L によるうちあげ高の違い

われわれの実験範囲は、 $D/L=0.8\sim3.0$ である。

図-3 (a) うちあげ高の場所的な違い

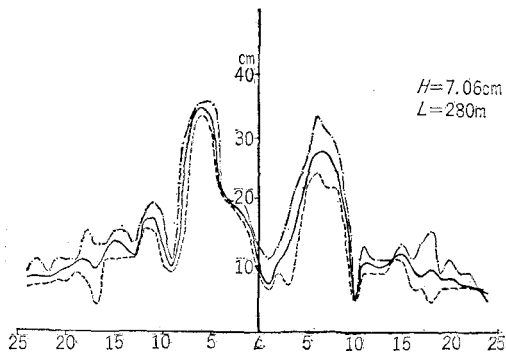


図-3 (b) うちあげ高の場所的な違い

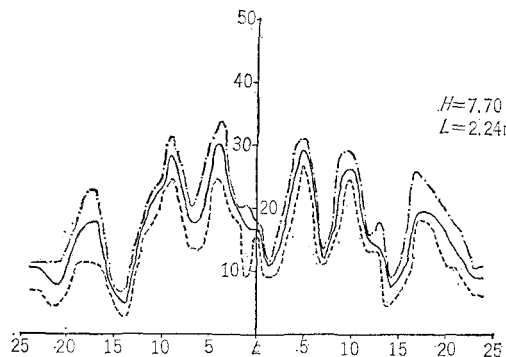
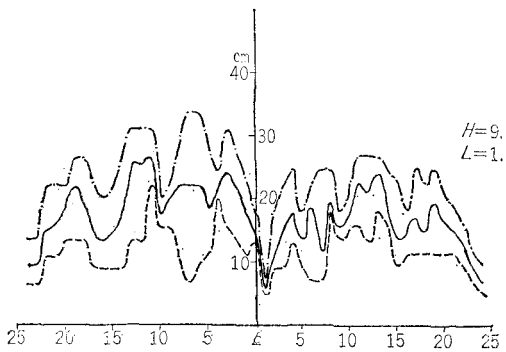


図-3 (c) うちあげ高の場所的な違い



この範囲で D/L の変化による影響をみるために、図-4 (a), (b) をのせる。図-4 (a) では、 D/L が変わったことは中心付近のピーク 1, ピーク 2 の値には大きな影響を与えず、 D/L が大きいと新しいピーク 3 が出現しただけである。

図-4 (b) では、 D/L の値が大きくなると、ピークの数が増えるとともに、ピークの大きさにも影響を与えている。しかし、このときにもピーク 1 の大きさはさして変わらない。 D/L の影響はピークの個数をふやすことに大きく表われ、すでにある顕著なピークの値には大きな変動を与えない。

図-3, 4 からわかるとおり、中心でのうちあげ高は

図-4 (a) D/L によるうちあげ高の違い

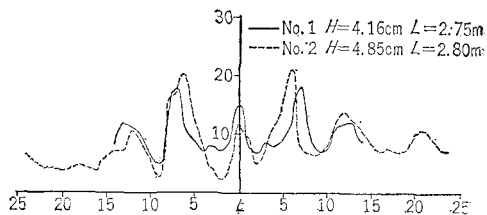
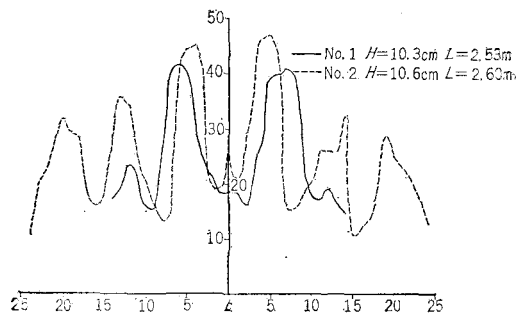


図-4 (b) D/L によるうちあげ高の違い



最大ではなく、中心から一番目のピークの値が最大である。

(3) ピーク間の距離

静水面にそってはかった各ピーク間の距離 D_i と、そのときの入射波波長 L との関係を図-5 に示す。ここで、例えば D_1 は中心点とピーク 1 との間の距離である。

図-5 (a) ピーク間の距離

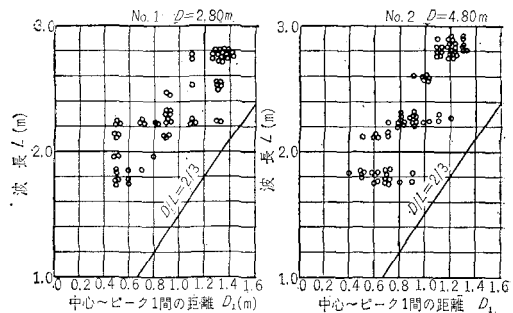
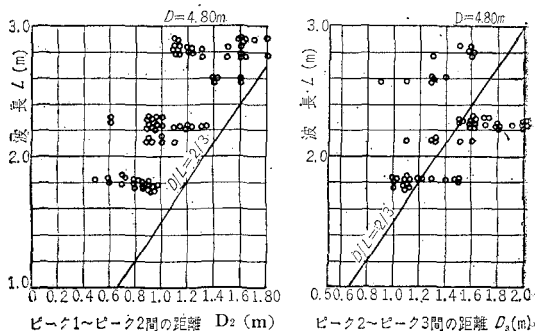


図-5 (b) ピーク間の距離

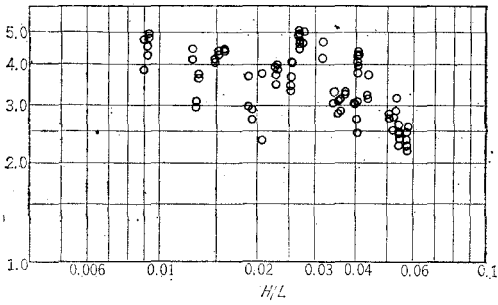


(m)

ピーク1~ピーク2間の距離 D_2 (m)

ピーク2~ピーク3間の距離 D_3 (m)

図-6 ピーク1でのうちあげ高 ($D=2.80\text{ m}$)



(4) 各ピークでのうちあげ高

この一例として、 $D=2.80\text{ m}$ 、のときのピーク1でのうちあげ高を 図-6 に示す。

4. 考 察

(1) ピーク間の距離

もし、堤防が直立で、堤防法線長が無限に長く、しかも水深が重複波となったあとでも重複波の碎波をおこさない程度に深く、波高と波長の比も碎波をおこすほど大きくないものとする。さらに微小振幅波とし非回転であり、粘性などの効果を見捨てるものとする。このとき 図-7 のように三種類の波を考えれば中心角 120° の場合には十分である。

座標原点を中心0点にとり、 (r, θ) 座標で表わす。 $\theta=0$ の線は入射波の方向と平行にとる。

このとき、速度ポテンシャル Φ は

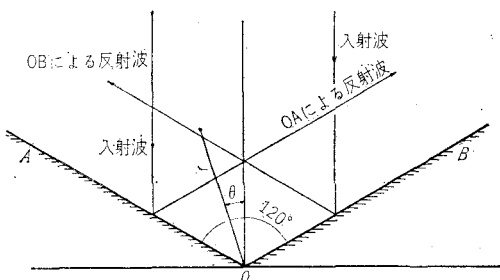
$$\Phi = a \cdot \cosh kd(d+y) \cdot [e^{ikr \cos \theta} + e^{-ikr \cos(\frac{\pi}{3}-\theta)} + e^{-ikr \cos(\frac{\pi}{3}+\theta)}] e^{i\omega t} \dots \dots \dots (1)$$

は側壁や底面での条件をみだす。静水面からの変位を η とすると

$$\eta = -\frac{i\sigma}{g} \cdot a \cdot \cosh kd \cdot [e^{ikr \cos \theta} + e^{-ikr \cos(\frac{\pi}{3}-\theta)} + e^{-ikr \cos(\frac{\pi}{3}+\theta)}] e^{i\omega t} \dots \dots \dots (2)$$

である。これは入射波、OBからの反射波、OAからの反射波を表わしている。今の場合、この三つの波で堤防ではさまれる全平面をおおいつくすことができるので他の波を考えなくともよい。堤防上のうちあげ高分布をし

図-7



るには式(2)の実部をとり $\theta = \pm \frac{1}{3}\pi$ とすると、

$$\eta \propto 2 \sin\left(\frac{\pi r}{L} + \sigma t\right) - \sin\left(\frac{2\pi r}{L} - \sigma t\right) = 2 \cos\left(\frac{\pi r}{L} + \sigma t\right) + \cos\left(\frac{2\pi r}{L} - \sigma t\right) \dots \dots \dots (3)$$

式(3)についてピーク間の距離をしらべると $\frac{2}{3}L$ である。

ところが 図-5 でみると、ピーク間距離は D_3 の場合をのぞきかなり $\frac{2}{3}L$ と異なった値を与えている。実際には堤防法線長は有限で堤防勾配は2割である。したがって、側壁での条件が非常に異なってきている。また波の方も想定した条件と異なっており、二倍周波数成分の影響などもでてくるに違いない。このようなことからピーク間隔は $\frac{2}{3}L$ よりも一般に小さくなったものと考えられる。

(2) 各ピークでのうちあげ高

図-4 などのように表わしたうちあげ高の場所的変動の区から、隣りあう山と谷の中間になる位の値をもとめて R_m/H とし、これを d/L ごとに 図-8, 9 のようにまとめてみる。こうすると、平均的な水位変動ともいべきものは d/L が小さいときは D/L の値に作用されないが、 d/L が大きくなると D/L による効果が表われてくることがわかる。しかし、この効果はピークの数が増えるとピークの存在する範囲では水位変動の値が同じ程度

図-8 $R_m/H \sim D/L$

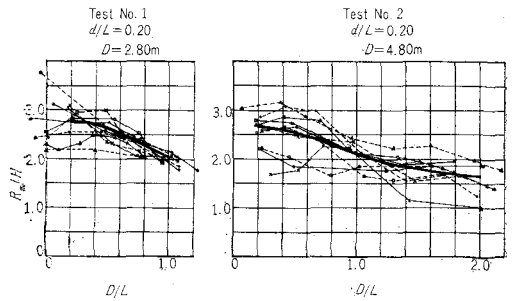


図-9 $R_m/H \sim D/L$

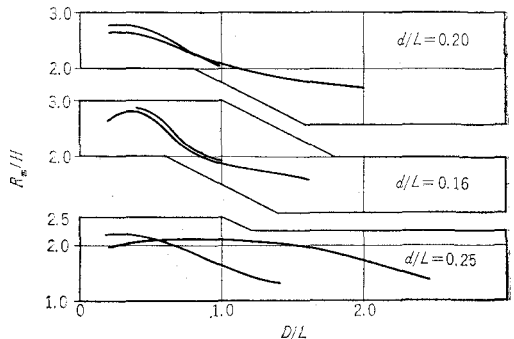


図-10 修正した R/H と H/L の関係

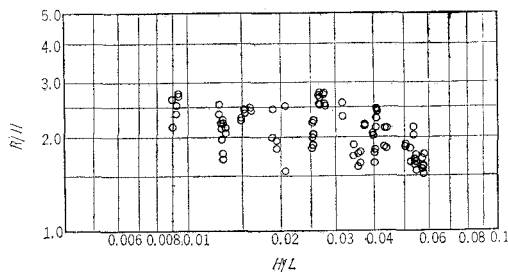
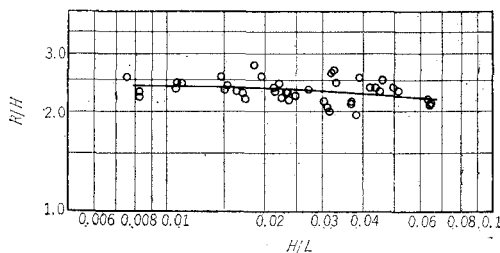


図-11 直線状法線の2割堤へただちに波が入射したときの $R/H \sim H/L$ の関係



になるというように表われてくる。

d/L の大きい時をのぞけば、各ピークでの R/H は d/L と何番目のピークであるかということからきまってくるものとうかがわれる。図-9 で大きな D/L に対して R_m/H が一定値に近くなった所を基準とし、各 D/L での R_m/H をこの基準値でわった値 K' を求める。つぎに各ピークでの R/H を、 D/L がいくらの所に生じたピークか、その時の d/L はいくらであるかによってきまってくるこの K' の値で割って、 $R/H \sim H/L$ の関係に表わしたものが図-10 である。このとき d/L が大きくなると K' 値はピークによってはほとんど変化せず一定値に近くなる。

このようにして、図-6 を修正したものが図-10 である。図-11 に、直線状法線をした2割堤へただちに波が入射したときの R/H と H/L の関係を示す。この両者が非常に似かよってきていることがわかる。

(3) 設計資料

今までにのべてきたことから、 $\alpha=120^\circ$ をなす法線形状に対するうちあげ高 $R/H_{\alpha=120^\circ}$ は、そのピークの位置と d/L とできまる係数 K と、直線法線状2割堤にただちに波が入射した際の R/H との積によって表わされるものとする。

K 値を求める操作の一部を図-12 に示す。このときのデータのちらばりは、図-11 におけるちらばりと大体同程度である。図-13 がこうしてもとめた K 値の曲線である。ピーク2、ピーク3に対する K の値は、 d/L が小さくなってくると、また図中点線のように小さくなっていくのであるが、安全のためにピーク1の K のよう

図-12 K 値を求める操作

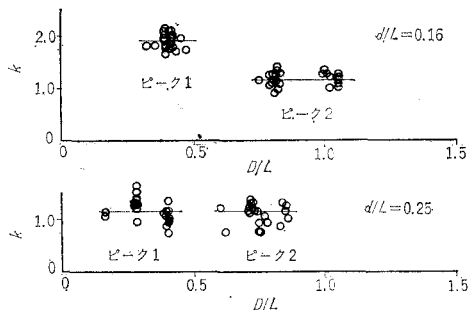
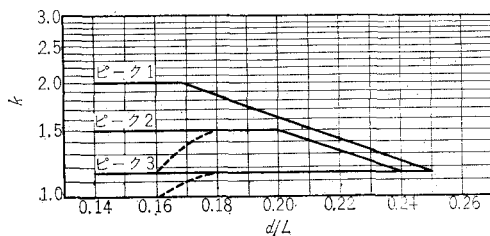


図-13 $K \sim d/L$



な形とする。こうしておかないと設計波よりも小さな波に対してピーク2、ピーク3の付近で危険となることも考えられるからである。たとえば、

例 水深 8 m, 設計波 $H=2$ m, $L=50$ m, $H/L=0.04$, このときピーク2の高さをもとめると、 $d/L=0.16$ ゆえ $K=1.15$,

図-11 より $R/H=2.35$

$\therefore K \cdot R/H = 2.35 \times 1.15 = 2.70$

$\therefore R = 5.4$ m,

ところが $H=1.8$ m, $L=45$ m なら $H/L=0.04$ $d/L=0.18$, $\therefore K=1.5$, $K \cdot R/H=3.53$

$\therefore R = 6.35$ m

のようなことがおこりうる。それゆえ、 K 値として図-13の実線を用いることとする。適用範囲は $D/L=0.8 \sim 3.0$ 程度の2割堤である。

図-3(C)でみられるように、 L が小さく d/L が大きいときで H/L も大きいときは、うちあげ高の変動が大きいことがうかがわれるので、 d/L が大きくなって K の値を小さくせず、ピーク1に対しては $K=2.0$ 、ピーク2に対しては $K=1.5$ 、ピーク3に対しては $K=1.15$ を d/L にかかわらず採用する方がよいかもしいないが、ここでは通常おこなわれているように平均値によって考えることとした。

(4) 設計方法

実際の設計にあたってはつぎのようにする。

- ① 屈曲部入口での H, L をもとめ、 $d/L, H/L$ をもとめる。
- ② D/L をもとめ、 $D/L=0.8 \sim 3.0$ のとき、図-13 を利用できる。 $D/L > 3.0$ のときにも、③にのべる

ようにすればよいであろう。

- ③ 屈曲部中心より静水面に沿って $\frac{2}{3}L$ ごとに区切り中心のつぎよりピーク1, ピーク2, ……とする。
- ④ たとえばピーク2での値をもとめるには, 図-11 から R/H , 図-13 より K をもとめ, $K \cdot R/H$ を R/H $\alpha=120^\circ$, ピーク2 とする。
- ⑤ 中心部での堤高はピーク1での堤高とおなじである。
- ⑥ このようにしてもとめた各ピークでの堤高をそれぞれ直線でむすんで最終的な堤高をうる。
- ⑦ もっとも海側にできたピークから先は, 屈曲部入口での堤高へと直線的に変化せしめる。屈曲部入口での堤高は, 直線法線状堤防の堤高である。
- ⑧ ピークの生ずる箇所が3つ以上あるとき, たとえば m 個のピークが生ずるとすると, 中心より $(m-2)$ 個の地点まではピーク1とおなじ高さとし, それから先は減少せしめればよい。
- ⑨ 2割以外の堤防について考えるときは, 図-13 を用いるのは不適當であるが, ピーク1に対する K を用いればまず安全とおもわれる。少なくとも堤高を直線状法線のものに対する R/H からきめるよりはよい。

5. 結 論

- (1) 屈曲部中央でのうちあげ高より, ピーク1でのうちあげ高が, 2割堤の場合にはつねに大きい。
- (2) 屈曲部でのうちあげ高は, 場所的に変動するけ

れども, ピークの生ずる所では, 直線状法線をした堤防でのうちあげ高よりいつも大きい。しかも, 大きな値の生ずる所は大体きまっている。

(3) 反射率が大きく D/L もある程度以上大きいと, 明らかに重複現象とみとめられる現象がおこる。このとき, 重複波ピーク間の距離は, 中心角が 120° をなす場合には $\frac{2}{3}L$ とすれば十分である。

(4) 反射率が小さいときには, 重複波というより進行波が存在しているだけのようにおもわれる。

(5) R/H は, H/L , d/L , 第何番目のピークかという因子によって特徴づけられるようである。

(6) 設計にあたっては 図-13 を利用すればよい。

6. おわりに

この報文にのべられような事柄は, 進行波, 反射波の重複現象(一般にはさらに回折波がはいる)と考えれば解決に近づくことができるであろうから, 堤防法線の入射波向が任意角をなすときの反射率をすることがまず第一である。われわれも反射率をとろうとしたのであるが, 種々の原因から信頼するにたる反射率測定を行なえなかったので, とりあえず上にのべた方法で考えてみた。したがって数多くの疑問がのこるため, 設計資料の作成にあたってはたえず安全側になるよう配慮したつもりである。

最後に, 本実験は, 当研究室 稲毛孝充技官の協力によって行なわれたことを付記する。