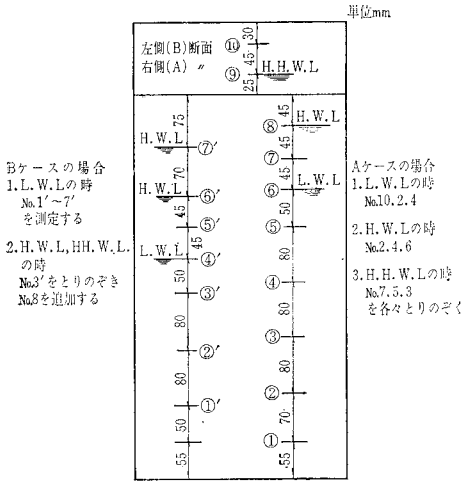


図-2 堤体波圧計取付図



化によって、ケースにより受圧部分の位置には、若干の差異があるため、図-2 に示すように取り付けている。これは必ず静水面に波圧計を取り付けるようにするためである。それぞれの波圧および波形は電磁オシログラフによって記録させた後、これを読みとっている。堤体の移動あるいは根固めコンクリートブロック、被覆捨石の動きについては、8 mm の撮影機および 35 mm の写真機にて撮影し、波の状況と共に後でわかるように心かけた。

測定および観測に使用した機器の概要はつぎのとおりである。

- ①波高計：電気抵抗線式 10~500 mm 範囲測定可能
- ②波圧計：Uゲージ式 120 Ω ゲージ水密型 300 g/cm² (120 g/cm² チェックポイント付) 10 個
- ③ひずみ計：万能型直流増幅器内臓 6 台 動ひずみ計 電源装置付 (3 素子用) 1 台
- ④記録計：無現像電磁オシロ 12 素子用、ガルバノメーター 1~500 C/S
- ⑤定電圧装置：無ひずみ速応型自動電圧調整器、定格 100 V 1 kW 連続

(4) 実験ケース

実験に用いた潮位、波高、波の周期は表-1 のとおりであり、A, B 両断面について各 21 ケースの実験を行った。

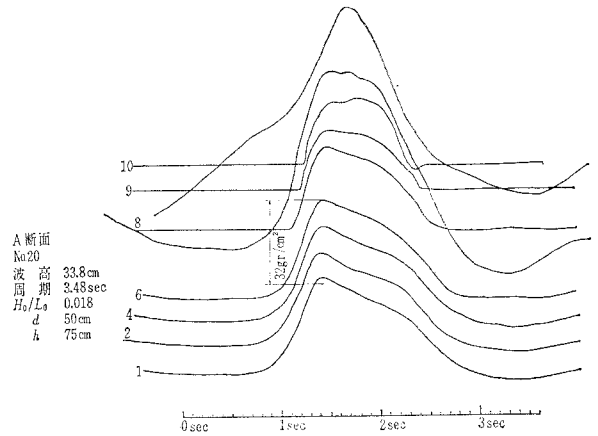
なお、波圧の測定は各ケースについて 3 度ずつ行ない、平均値をとっている。

実験に用いたマウンド天端水深と波高の比は A 断面 3 ケースを除いては、0.8~1.8 の範囲、すなわち、広井波圧で設計すべき領域に含まれる。

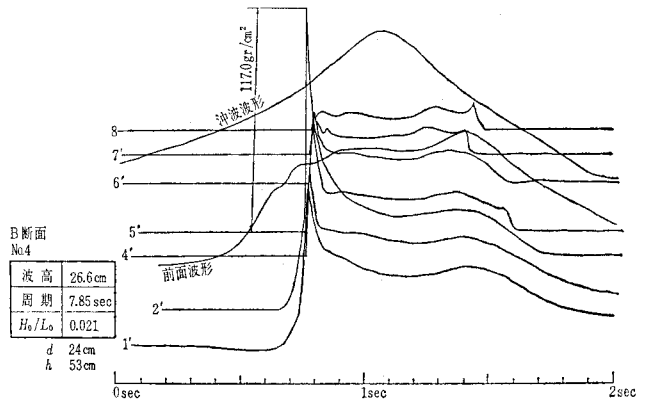
また、静水面上の直立部天端高は 7.5~23.5 cm であるからほとんどが越波を許す状態で実験が行なわれてい

図-3 記録の一例

(1) A断面 No. 20



(2) B断面 No. 4



(3) B断面 No. 14

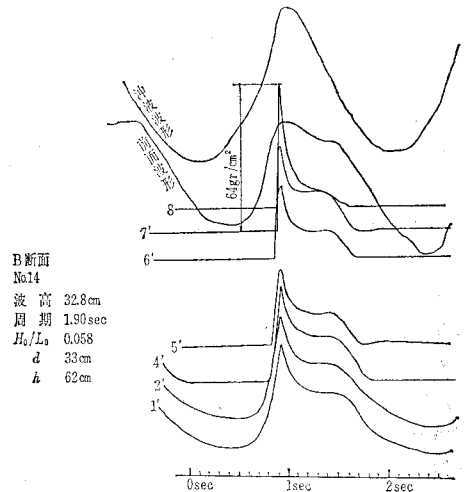
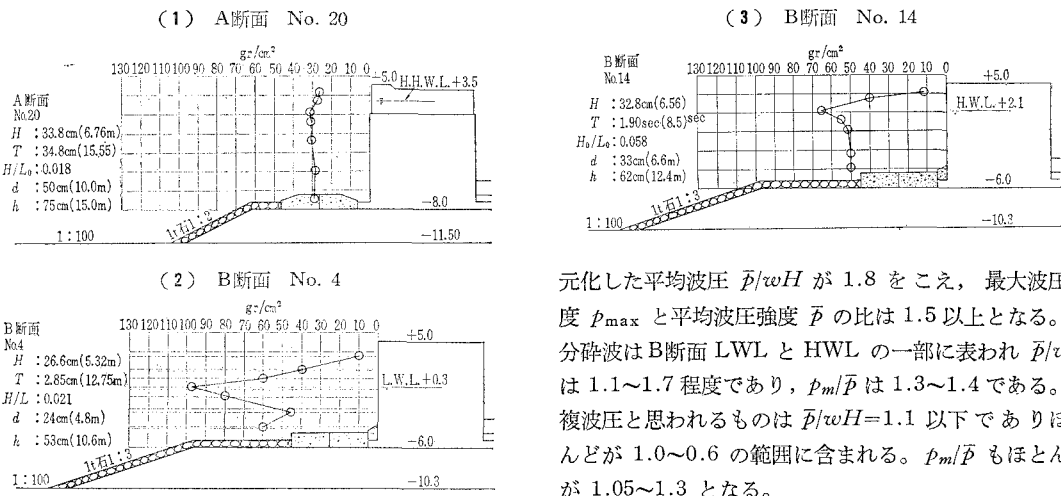


表-1

潮位	LWL(+1.5 cm), HWL(+10.5 cm), HHWL(+17.5 cm)
波高	20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm
周期	1.90 sec, 2.21 sec, 2.85 sec, 3.48 sec

図-4 波圧分布の一例



る。

3. 実験結果

実験結果によると波圧分布は、(1) ほぼ重複波圧と思われるもの、(2) 衝撃波圧が発生したと思われるもの、および (3) 静水面附近に部分的碎波圧が発生したと思われるものの3種類に分類できる。これらの型の代表例についてその波圧と波形の記録および波圧分布をそれぞれ図-3、図-4に示す。

波圧分布は(1)については、静水面以下マウンド天端まではほぼ同一の波圧強度が作用している。静水面より上については直立部天端高の低いものについては明らかでないが、高いものについては、波圧強度は静水面からの距離に比例して減少している。(2)の衝撃波圧の発生したものは、永井教授提案の碎波圧の公式のA型波圧に近い分布をしており、波圧強度の最大値は静水面付近に表われる。(3)の型の波圧分布は、全体としては(1)の分布と大差ないが、静水面あるいは静水面上半波高までの間に部分的に波圧強度の大きなものが発生しているものである。

実験結果を波圧強度の最大値および最大同時波圧の平均値について整理したものを図-5(1)~(4)に示してある。図-5において衝撃波圧の発生したものおよび部分碎波圧の発生したものにそれぞれ○および◇を付してある。

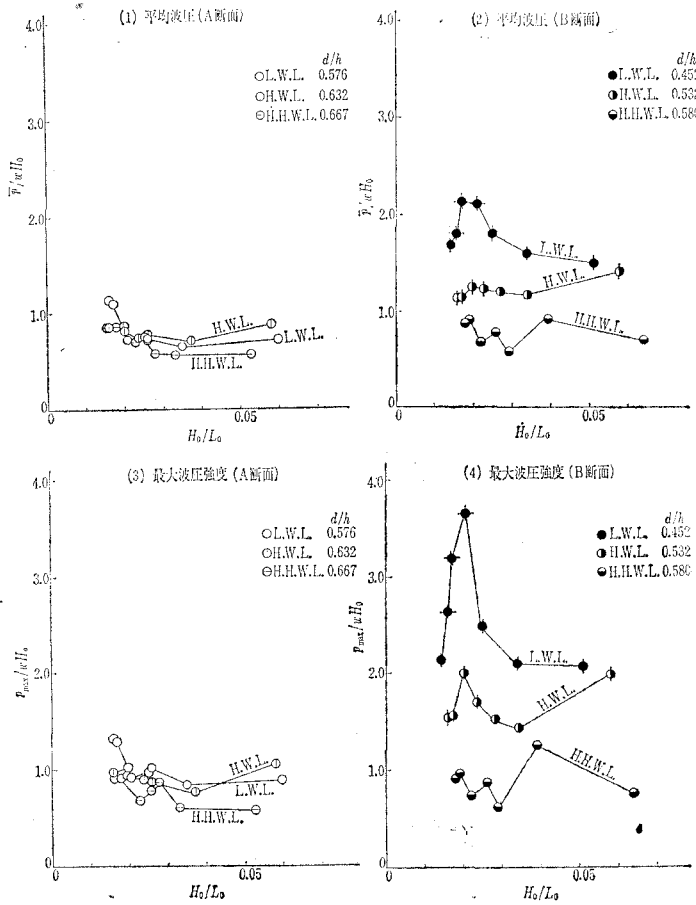
これによると衝撃波圧が発生しているものはB断面LWLの一部のみで、無次

元化した平均波圧 $\bar{p}/wH$ が 1.8 をこえ、最大波圧強度 p_{max} と平均波圧強度 $\bar{p}$ の比は 1.5 以上となる。部分碎波はB断面LWLとHWLの一部に表われ $\bar{p}/wH$ は 1.1~1.7 程度であり、 $p_m/\bar{p}$ は 1.3~1.4 である。重複波圧と思われるものは $\bar{p}/wH=1.1$ 以下でありほとんどが 1.0~0.6 の範囲に含まれる。 $p_m/\bar{p}$ もほとんどが 1.05~1.3 となる。

4. 一樣斜面におかれた直立壁との比較

以上の実験結果を直立壁基部における相対水深 d/H_0 と海底勾配に着目して、一樣海底勾配におかれた直立壁に対する光易の実験と比較したものが図-6である。た

図-5 波圧と d/H_0 の関係



だし、波圧の無次元化は、 $\bar{f}/wH_0d$ を用いているため以下の整理による無次元波圧とは量的に異なる。光易の実験は波形勾配 H_0/L_0 を 0.0095, 0.019, 0.032, 0.067 の 4 通りについて行なわれているが、筆者の実験範囲では衝撃波圧の発生したのは $H_0/L_0=0.017\sim0.021$ であるから、 $H_0/L_0=0.014\sim0.024$ のものと光易の実験結果のうち $H_0/L_0=0.019$ のものとが比較してある。

光易の実験によると、海底勾配 1/50 に対して最大の波圧の発生する d/H_0 は約 1.5、海底勾配 1/30 および 1/15 に対してそれぞれ約 1.2 と 1.1 となっているが、筆者の混成堤における実験では、海底勾配 1/100 であるにもかかわらず、 $d/H_0=0.9$ 付近において衝撃波圧が発生しており、マウンドの影響が大きく現われている。

今回実験した混成堤による衝撃波圧の発生条件が一樣海底勾配におかれた直立壁のそれと比較してどの海底勾配のものに相当するかを示したのが、図-7 である。衝撃圧の発生したものは本間らの実験における海底勾配 1/15 と 1/10 の中間に点がプロットされている。マウンドののり尻と直立部基部を結んだ勾配は約 1/6 であるから、この勾配のほぼ半分の勾配に対する一樣斜面におか

図-6 一樣勾配の海底におかれた直立壁に作用する波圧との比較

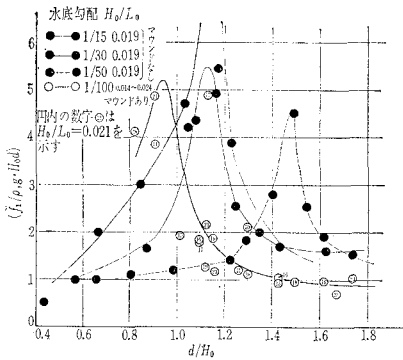
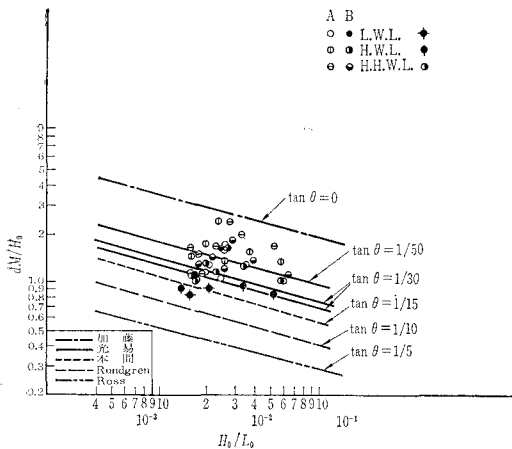


図-7 一樣勾配の海底におかれた直立壁の最大波力の発生水深との比較



れた直立壁の衝撃波圧の発生条件に相当することとなる。

5. 実験結果に対する考察

(1) 波形勾配 H_0/L_0 の影響

無次元波圧と波形勾配 H_0/L_0 との関係を直立部前面水深とマウンドののり先水深の比 d/h をパラメーターとして整理したものが、図-5 である。図-5 (2) に明らかなように、同一の d/h に対する波圧強度は大部分は H_0/L_0 に対してほぼ一定であるが、衝撃波圧は特定の H_0/L_0 に対して発生している。

実験の範囲では、衝撃波圧は $d/h=0.452$ のものみに発生しているので一般的にはいいがたいが、 H_0/L_0 が比較的小さい範囲 ($H_0/L_0=0.015\sim0.025$) において衝撃波圧が発生しており、従来の波形勾配の大きい波の方が波圧が大きいという常識 (たとえば Minikin 公式、永井公式) と反する結果となっている。

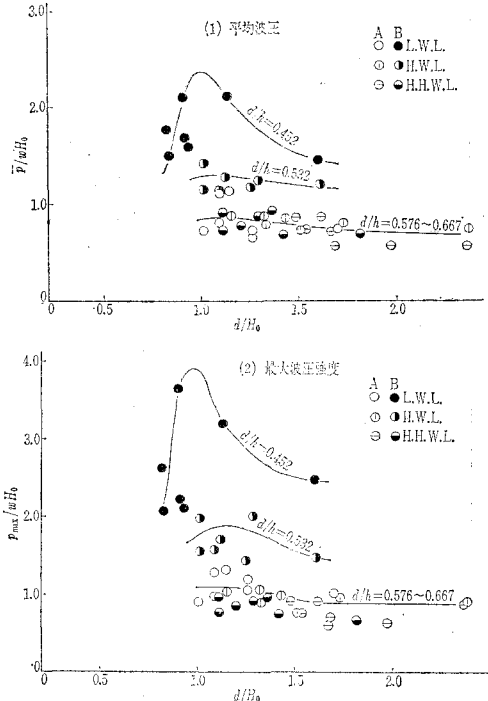
(2) 直立部前面の相対水深 d/H_0 の影響

現在の設計法においては、波圧公式の適用範囲を直立部前面の相対水深 d/H_0 によってきめているので、無次元波圧と d/H_0 の関係を d/h をパラメーターとして整理すると図-8 となる。これによると衝撃波圧は $d/H_0=1.0$ の付近で発生しているが、 $d/H_0=0.8\sim1.3$ の範囲では平均波圧が $\bar{p}=1.5wH$ をこえる可能性がある。

これについても、衝撃波圧の発生したケースがわずかなため一般的結論とはなしがたい。

(3) 直立部前面水深とマウンド法先水深の比 d/h の

図-8 波圧と d/H_0 の関係



影響

永井公式によると混成堤直立部に作用する碎波の最大波圧強度は、一般の碎波の場合

$$P_{\max} = 4 + 500 wd \frac{d}{h} \frac{H}{L} \quad (\text{t/m}^2)$$

$$\left(d \frac{d}{h} \frac{H}{L} \leq 0.044 \text{ m} \right)$$

異常碎波圧の場合の平均値

$$P_{\max} = 96 \left(0.008 + d \frac{d}{h} \frac{H}{L} \right)^{1/3} \quad (\text{t/m}^2)$$

となっている。

Minikin 公式における最大波圧強度は

$$P_{\max} = 102.4 d \left(1 + \frac{d}{h} \right) \frac{H}{L} \quad (\text{t/m}^2)$$

となっており、ともに d および d/h が增大すると計算波圧が増大する。

また、(1) および (2) によると波圧に対する d/h の影響がかなりあるものと思われる。

そこで、実験による無次元波圧 $\bar{P}/wH_0$ および $p_{\max}/wH_0$ と d/h の関係を波形勾配をパラメーターとして整理すると図-9 のようになる。

これによると波圧は d/h の増大にともなって増大す

るのではなく全く逆の傾向を示している。 d/h は 0.6 より増大するにつれて波圧はほぼ一定値となる傾向をもっている。

また、図-9 において、 $d/h=0.58$ 、付近には A 断面のものと B 断面のものが、ともにプロットされているが、この両者については、波圧にほとんど差が見られない。このことは波圧にあたえるマウンド幅の影響はマウンド高さの影響ほど大きくないことを示している。ただし、この d/h では衝撃波圧が発生していないので衝撃波圧の発生条件にまで、このことが拡張できるかどうかは、図-9 からは明らかでない。

(4) マウンド天端幅 a の影響

直立部前面のマウンド天端幅 a の波圧に対する影響を、知るために、波圧をマウンド幅と波長の比 a/L_0 で整理したものが図-10 である。これによると d/h が 0.57~0.67 程度ではマウンド幅の影響はほとんどないが、 $d/h=0.452$ では $a/L_0=0.07\sim0.08$ 程度で波圧が最大となっている。

しかし、この実験では衝撃波圧が発生したケースがわずかであるために、この傾向が a/L_0 によるものか、あるいは他の影響によって発生した衝撃波圧がたまたま特

定の a/L_0 付近にプロットされたものであるかは明らかでない。ただ、従来マウンド幅が広い程波圧が大きくなると常識的に考えられていたが $a/L_0 < 0.20$ の範囲ではこのことは必ずしも正しいとは思われない。

(5) 静水面上の直立部天端高 R の影響

衝撃波圧が作用するような条件では、直立部の天端高が高く越波を許さない防波堤の方が、越波を許すものに比して大きな波圧が作用するものと考えられる。天端高と波高の比 R/H_0 と無次元波圧との関係を図-11 に示す。

これによると、衝撃波圧の発生しない A 断面については直立部天端高の影響は全く見られないが、B 断面においては、 R/H_0 の増加にともなってほぼ直線的に波圧は増大している。しかし、この実験では、直立部の形状を固定して実験したため B 断面について $R+d$ は一定である。よって R/H_0 が増大すれば、 d/H_0 が減少するという関係にあり、図-11 の結果

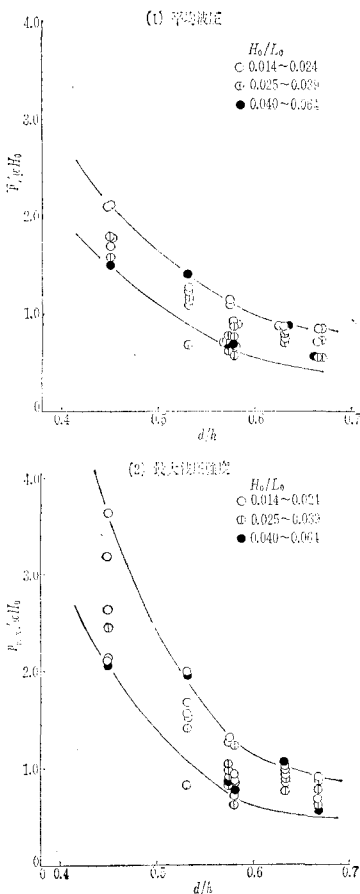
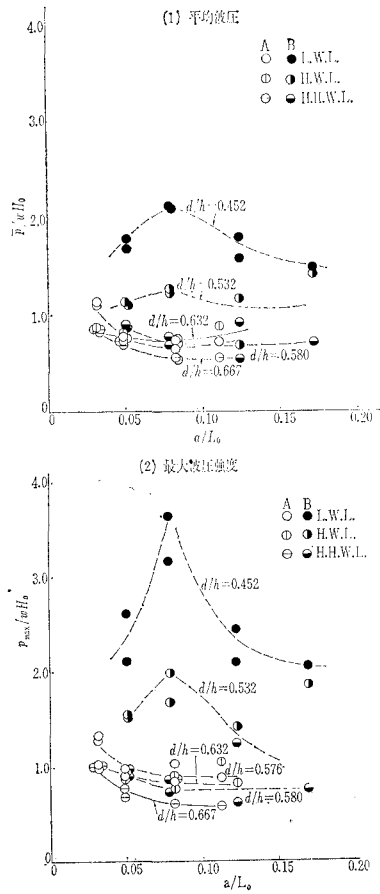
図-9 波圧と d/h の関係図-10 波圧と a/L_0 の関係

図-11 波圧と R/H_0 の関係

(平均波圧)

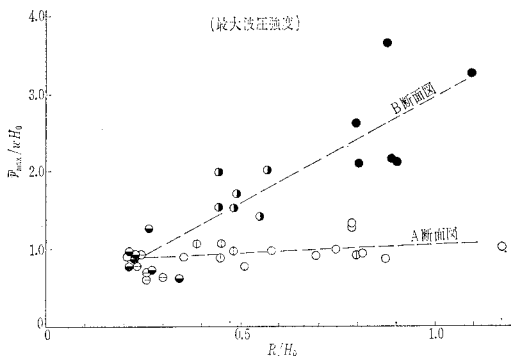
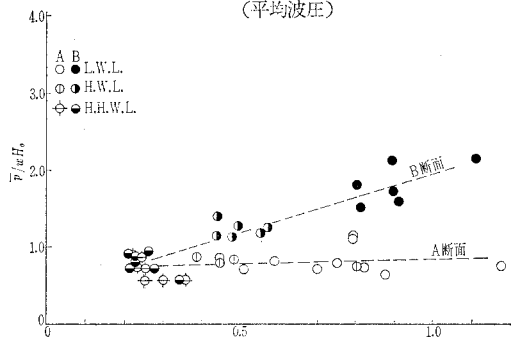
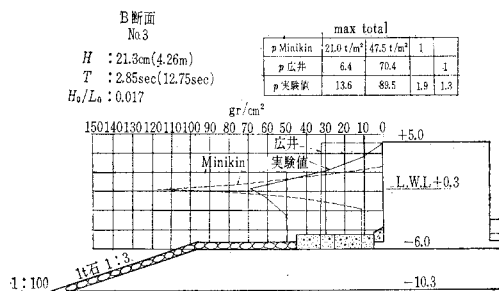
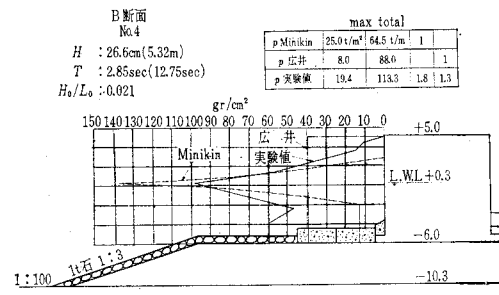


図-12 実験値と各波圧公式との比較

(1)



(2)



が R/H_0 によるものか d/H_0 によるものかははっきりしない。

(6) 測定波圧と波圧公式による計算値との比較

現在の設計法では、衝撃波圧が起ると推定される場合には Minikin 波圧でチェックするのが普通である。

そこで、実験による波圧と Minikin 波圧との関係を衝撃波圧が発生した2例について比較したのが 図-12 である。参考のために、広井公式による波圧も図示してある。図から明らかなように、実験によって衝撃波圧が発生した条件においては、波圧合力では Minikin 波圧は実験値よりもはるかに小さく、広井公式によるものよりも小さい。したがって、このような状態では、Minikin 公式による防波堤の安定の検討を行なうことは必ずしも適当とは考えられない。

6. 結 論

筆者の行なった範囲の実験からは、つぎのような結論が得られる。

(1) 衝撃波圧の発生は、 H_0/L_0 , d/H_0 , d/h に影響される。特に大きな影響を有するものは d/h である。

(2) 従来のマウンド形状を考慮した波圧公式では、 d/h が増大すると波圧は増大することになっているが、逆に d/h は小さいほど波圧が大きくなる。したがって高いマウンドをもった混成堤はさけることが望ましい。

(3) $d/H_0=1$ 付近では大きな衝撃波圧が発生する可能性があるため、直立部の滑動に影響のあるような大きな波に対して d/H_0 が1に近くならないようなマウンドの断面形状とすることが望ましい。

(4) H_0/L_0 は一般に大きい方が波圧が大きいと思われるが、筆者の実験では比較的 H_0/L_0 の小さい範囲 ($H_0/L_0=0.017\sim0.025$) で衝撃波圧が発生した。

(5) 衝撃波圧の発生が予想される場合に用いる波圧公式としては、Minikin 公式は必ずしも適当でない場合がある。

なお、本実験は規則波を用いて行なったものであるから実験で測定された波圧をそのまま設計に用いることについては問題があり、設計波圧は直立部の滑動をどこまで許すかということと関連してきめる必要がある。

7. あとがき

最近の防波堤の被災例で、同一港湾内で他の施設の被害は軽微であったにもかかわらず、大きく滑動した例はB断面に近いものであって、以上の実験結果はこのことを裏付け得たものと考えられる。

しかし、実験は実際に設計された防波堤の模型について行なわれたために、マウンド形状2種類について実験したにすぎず、単純化も行っていない。また、衝撃波圧が発生したものは数ケースにすぎない。

したがって、以上の結論を一般化することについては問題があるので、現在、さらに数種のマウンド形状、特にマウンドの高いものについて実験を継続中である。

なお、B断面の防波堤については、衝撃波圧の発生する可能性があるため、補強を行なったことを付記する。

参 考 文 献

- 光易恒：波圧論，1965年度水工学に関する夏期研究会講義集，昭 40.8.
- 永井莊七郎：防波堤に働く碎波の圧力に関する研究，土木学会論文集，第65号別冊 (3-3)，昭 34.12.