

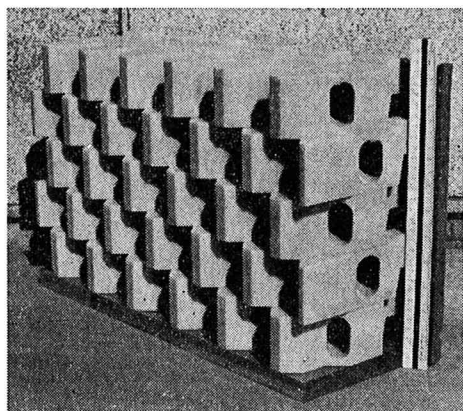
直立消波堤に作用する波力に関する実験

服部昌太郎* ・ 冨家友直** ・ 白須 宏***
松室能生****・ 岡田哲一*****

1. ま え が き

一般に、直立消波堤の設計においては、水平波力の最大時に最大揚圧力が作用するものとして安定性の検討を行い、それらの位相については十分な配慮がなされていない。

本研究は、写真—1 に示すような直立消波堤の非碎波時における波力減殺特性を水平波力と揚圧力を同時測定することにより検討するとともに、従来、研究^{1),2)}が行われている不透直立堤との比較を行ったものである。



写真—1 直立消波堤模型

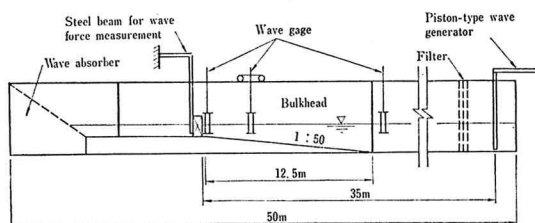
最近、合田が提案した波圧式が使用される方向にあるが³⁾、非碎波領域においては、Sainflou 簡略式が防波堤の波力算定によく用いられており、本研究では Sainflou 簡略式と比較する形で実験結果をまとめた。その他、水平波力と反射率の相関性についても若干の考察を行った。

2. 実験装置および実験方法

2.1 全体配置

実験は、長さ 50 m、幅 1 m、高さ 1 m の片面ガラス

張り 2 次元波動水槽を使用して行った。実験装置の全体的な配置を図—1 に示す。実験水槽の一端にはピストン式造波装置、その前面には整波用フィルターが設置され、他端には消波装置が置かれている。



図—1 実験装置全体配置図

実験水槽は仕切板により二分し、その一方に模型堤体を置き波力測定部として使用し、他方は入射波検定部とした。水槽には 1/50 勾配斜面を設け、その斜面上に模型堤体を設置した（一様水深部の水深は 37~53 cm とした）。

2.2 模型堤体

直立消波堤および不透直立堤の模型は、 $B17.2 \times H29.4 \times L46.6$ cm のプラスチック製（重量 15 kg）のものである。直立消波堤（写真—1）は、内部に空隙を有する方塊（実物 14 ton 型の 1/25 に相当）を 6 列 5 段（計 30 個）に積重ね、相互に接着して製作した。また、前面水深によっては図—2 の斜線部のように模型堤体天端をかさ上げた。

2.3 波力測定装置

波力測定は、水平波力と揚圧力を同時に測定するため、図—2 に示す $B4 \times H7$ cm の断面をもつ鋼棒を直角に溶接したものを使用した（鋼棒全体の重量は約 40 kg）。このように鋼棒断面を大きくしたのは、固有振動数を高め、模型堤体の変位を微小にするためである。この波力測定装置に模型堤体を取付けた状態での固有振動数は、空中： $13H_z$ 、水中： $9 \sim 11H_z$ （減衰定数：0.04）である。入射波の周波数は $0.5H_z \sim 1H_z$ であり、測定装置の固有振動数は十分に大きいと考えられる。

ストレインゲージは防水型ゲージを使用し、図—2 に示す 4 点の表裏にそれぞれ 2 枚ずつ貼った。発生ひずみ

* 正会員 工博 中央大学教授 理工学部土木工学科
** 正会員 東亜建設工業（株）設計部長
*** 東亜建設工業（株）設計部設計二課長
**** 正会員 東亜土木（株）消波工部主任
***** 正会員 東亜建設工業（株）設計部設計二課

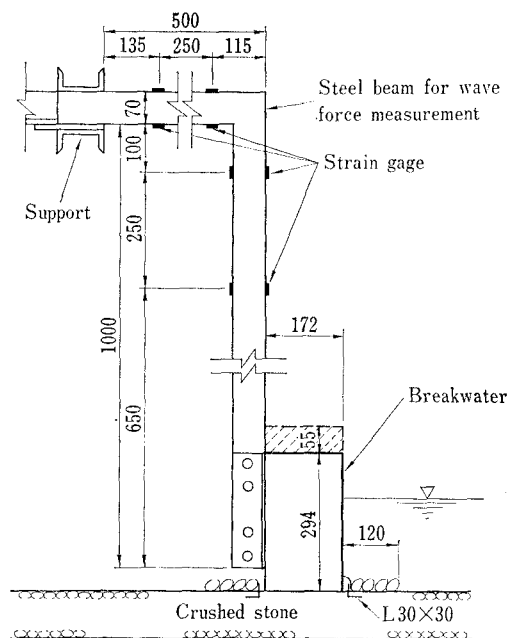


図-2 波力測定装置 (単位: mm)

は、動ひずみ計よりローパスフィルターを通して、電磁オシログラフに堤体前面波高と同時に記録した。

波力測定は造波後10~17波間の実験波に対して行い、その中の3波による波力の平均をとった。

波力測定の前後には、そのままの状態では、水平、鉛直および両方向に载荷し、較正試験を行った。その試験結果によると、発生ひずみは計算値とよい一致を示している。鋼棒のねじれ、横振動の影響はほとんど認められなかった。

2.4 模型堤体捨石基礎 (図-2)

基礎捨石には6号砕石 (径13~5mm)、根固め石には4号砕石 (径30~20mm) を使用し、基礎捨石上面は水平に均した。波力測定では、模型堤体底面と基礎捨

石面との摩擦抵抗をなくすため微小な間隙を必要とし、このため基礎捨石が洗掘される。この洗掘を防止するため、模型堤体の前後趾部に根固め工を設けた。また、波力測定装置の変位 (堤体水平最大変位は約1mm) を拘束しないよう 図-2 に示すように基礎捨石にアングルを埋込んだ。

2.5 波高測定

模型堤体直前と堤体設置位置での波高、および入射波高 (一様水深部) はそれぞれ容量式波高計によって検出し、ペン書きまたは電磁オシログラフによって記録した。模型堤体の反射率は、移動測定台車に設置した波高計により部分重複波高分布を検出し、Healyの方法によって計算した。また、入射波高測定部における透過波が、堤体設置部後方仕切板端部から回折することによる模型背後水面の変動は、ほとんど認められなかった。実験条件は表-1に示される。

3. 実験結果および考察

3.1 水平全波力

直立消波堤、不透過直立堤とも、水平全波力は入射波高の増大とともに、また堤体設置水深の増大によっても増加する。不透過直立堤に働く水平全波力は、Sainflou簡略式による計算値と比較的よく一致しており、直立消波堤の場合はそれよりも小さくなっている。図-3は、最大水平全波力の実験値と、Sainflou簡略式による計算値との比 $F_{H\max}/F_{HSF}$ と堤体前面での相対水深 h/L によって、前記の傾向を示したものである。図中○印は不透過直立堤、●印は直立消波堤の実験値を示し、越波時の実験値には/印を付してある。

図-3より不透過直立堤の場合、非越波時の実験値はSainflou簡略式による計算値の80~130%の範囲にある。また越波時の $F_{H\max}/F_{HSF}$ は、非越波時に比べてかなり小さな値となっている。これは越波により、前面

表-1 実験条件

実 物 値			模 型 値			相対水深 h/L (%)	波形勾配 H/L (%)
堤体前面 水深 h_0 (m)	入射波 (堤体前面)		堤体前面 水深 h_m (cm)	入射波 (堤体前面)			
	周期 T_p (sec)	波高 H_p (m)		周期 T_m (sec)	波高 H_m (cm)		
3	5.0	1.0~1.5	12	1.0	4.1~5.8	11.9	4.1~5.7
〃	7.5	0.8~1.9	〃	1.5	3.0~7.4	7.8	1.9~4.8
〃	10.0	0.7~1.3	〃	2.0	2.8~5.3	5.7	1.3~3.7
5	5.0	0.8~1.9	20	1.0	3.0~7.7	16.5	2.5~6.4
〃	7.5	0.5~2.6	〃	1.5	2.1~10.4	10.1	1.7~5.3
〃	10.0	0.7~2.5	〃	2.0	2.8~10.0	7.4	1.0~3.7
7	5.0	0.9~2.1	28	1.0	3.5~8.4	21.1	2.6~6.3
〃	7.5	0.7~3.4	〃	1.5	2.8~13.4	12.1	1.2~5.8
〃	10.0	0.9~2.4	〃	2.0	3.4~9.5	8.9	1.1~3.0

の部分重複波高が減衰するためと考えられる。

直立消波堤に作用する水平全波力は、Sainflou 簡略式の 40~80% の値を示している。また、越波時の実験値は、不透過直立堤の場合ほど顕著には低下しない。このことは直立消波堤の越波量が少なく、非越波時の波力減殺効果が大きいことを示唆している。

不透過直立堤と直立消波堤の場合とも、堤体設置位置での波高水深比 H/h 、および波形勾配 H/L と $F_{H\max}/F_{HSF}$ の間には、有意な相関関係が認められなかった。不透過直立堤の場合、港湾構造物設計基準⁹⁾で指摘されるように、 $h/L=0.1\sim0.15$ では、Sainflou 簡略式は実験値と比較的良好一致を示す。

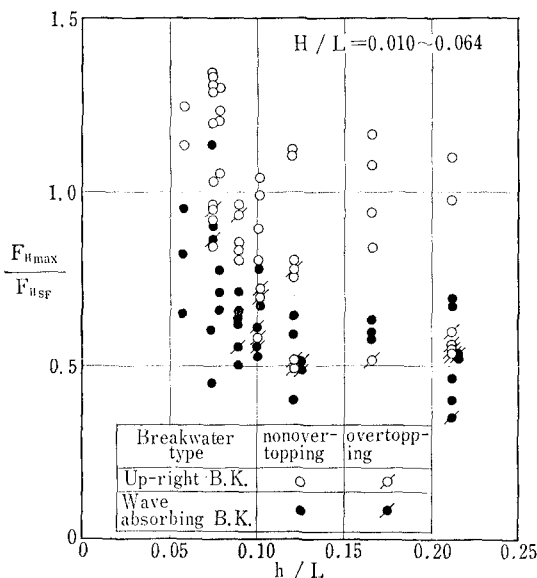


図-3 最大水平全波力 (H, L, h は堤体設置位置での波高、波長、水深)

3.2 揚 圧 力

図-4 は最大揚圧力の実験値と計算値との比 $F_{L\max}/F_{LSF}$ と堤体前面での相対水深 h/L との関係を示したものである。ここに、 F_{LSF} は揚圧力が堤体前趾において Sainflou 簡略式で計算される前面下端の波圧強度に等しく、後趾でゼロとなる三角形分布をするものとした計算値である。

波力測定装置の鋼棒の剛比を高め、その変位を小さくしたために、揚圧力の検出値は水平全波力に比べ小さく、見掛け上実験値のパラツキが大きくなった。図-4 より不透過直立堤の場合、非越波時の実験値は計算値にほぼ等しいが、 h/L の増大とともに若干大きくなる傾向が認められる。また越波時の $F_{L\max}/F_{LSF}$ 値は減少する。これは、水平全波力の場合と同様に、越波による前面部分重複波高の減小効果とともに、堤体上部を越流する水の付加重量の影響とも考えられる。

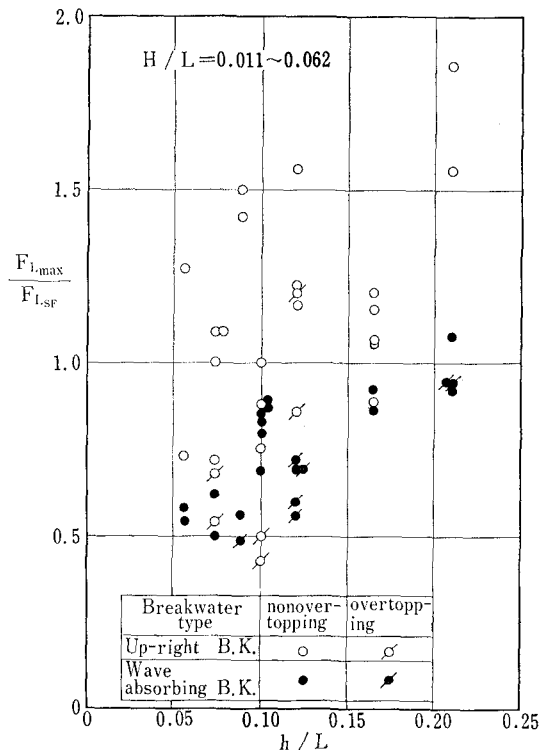


図-4 最大揚圧力 (H, L, h は堤体設置位置での波高、波長、水深)

直立消波堤の場合、 h/L が増大すると $F_{L\max}/F_{LSF}$ は大きくなる傾向を示し、60~100% の値となっている。直立消波堤においては、堤体前面水位の上昇とともに堤体内の水位も上昇する。この堤体内の水の付加重量が揚圧力を減少させる方向に働くため、 $F_{L\max}/F_{LSF}$ は、不透過直立堤よりも小さな値を示す。以上のことは、本直立消波堤の特徴の一つと考えられる。

3.3 水平全波力と揚圧力の位相

図-5 および 6 に水平全波力と揚圧力の時間変化の測定結果を示す。横軸は時間と入射波の周期との比、 t/T である。図は上から順に揚圧力 (F_L)、水平全波力 (F_H)、堤体前面の水位変動 (η) の変化を表わしている。また、図-5 の最下段には参考のため、波力測定装置の発生モーメントから計算される水平全波力の作用位置 (y) の変化を示した。

不透過直立堤の場合 (図-5)，水平全波力と揚圧力とはともに堤体前面の水位変動とほぼ同位相で変動していることがわかる。一方、直立消波堤の場合 (図-6) には、前面の水位変動と水平全波力はほぼ同位相で変化しているが、揚圧力の位相は明らかにそれらに先行していることがわかる。堤体前面の水位と堤体内の水位の時間変化を考えると (図-7)，堤体内の水位変動の位相は堤体前面に比べて遅れる。したがって、この両水位間の差が最

も大きくなるときに揚圧力が最大または最小値を示すと考えられ、その位相は、前面の水位変動の位相（水平全

波力の位相）よりも先行する。実験結果によると、水平全波力と揚圧力の最大値間の位相差は、相対堤体幅 B/L の増大とともに大きくなる傾向が認められた。

（ここに、 B ：直立消波堤の堤体幅、 L ：堤体設置水深における波長）。

3.4 反射率と水平波力との関係

図-8 (a) に直立消波堤の反射率、(b) に波圧係数 α の変化を、相対堤体幅 B/L との関係で示す。ここで、波圧係数 α は式 (1) により定義したものである。

$$\alpha = f_{H \max} / \gamma_0 H (H + h) \quad \cdots \cdots (1)$$

ここに、 $f_{H \max}$ ：単位幅当りの最大水平全波力、 γ_0 ：水の単位体積重量、 H と h ：堤体設置位置での入射波高と水深である。また、参考のため不透過直立堤の実験値（平均値と変動幅）を $B/L=0$ 上に示してある。

図-8 (a) より、榎木ら⁹⁾、井島ら⁷⁾、近藤⁸⁾がすでに

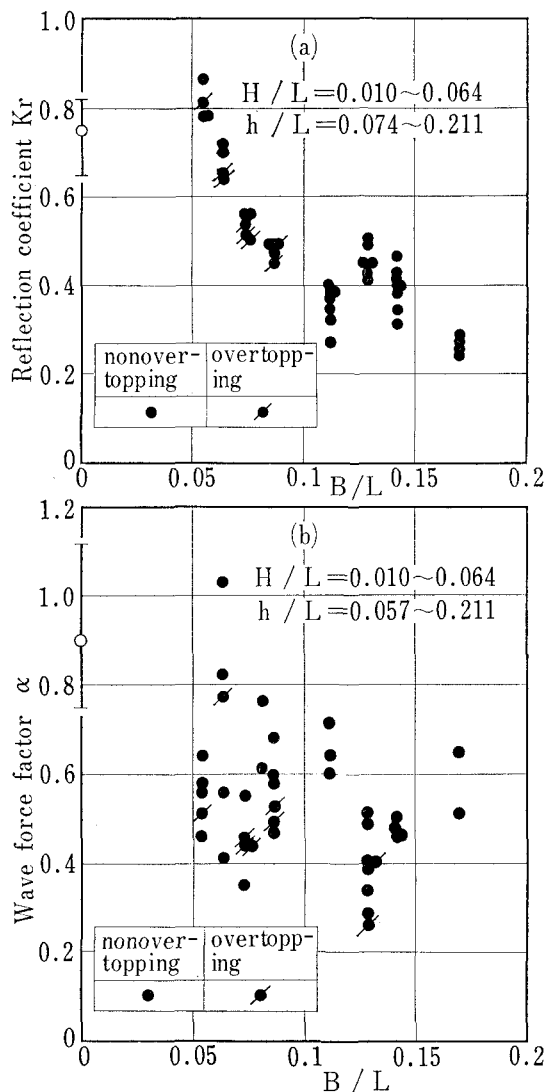


図-8 直立消波堤の反射率 K_r と波圧係数 α

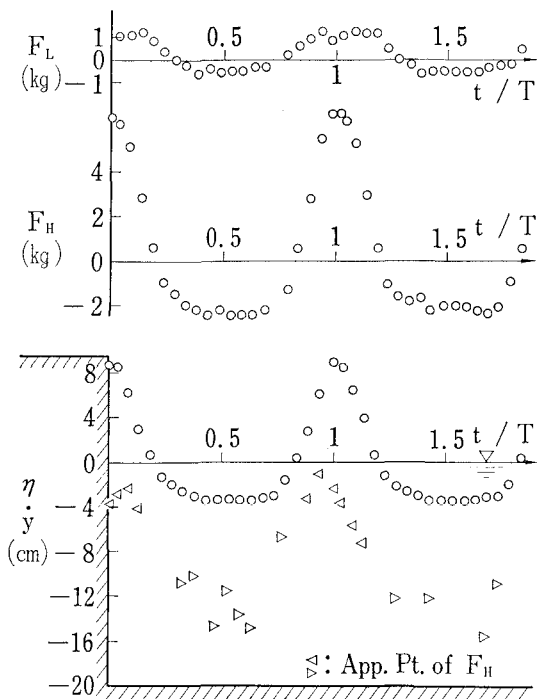


図-5 不透過直立堤に作用する波力の時間変化（設置水深 20 cm，入射波高 4.8 cm，周期 2 sec）
（図中三角印の方向が水平力の作用方向を指す。）

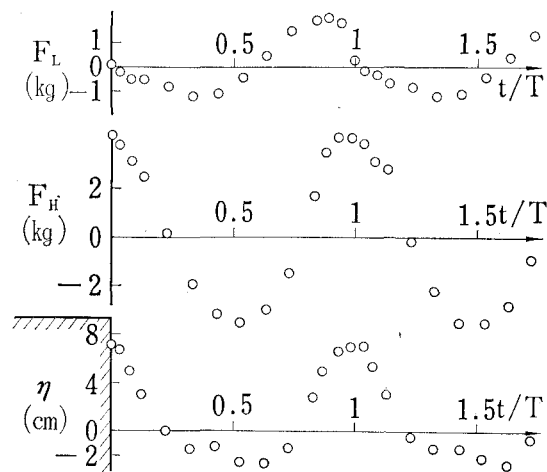


図-6 直立消波堤に作用する波力の時間変化（設置水深 20 cm，入射波高 6.8 cm，周期 1 sec）

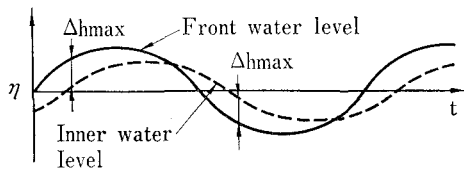


図-7 堤体前面水位と堤内水位の時間変化

指摘しているように反射率は B/L とともに変化し、本実験の範囲内では、 B/L の減少とともに反射率は増大する。本実験での相対堤体幅 B/L の範囲が小さいため、 B/L による波圧係数 α の変化は顕著ではない。

4. 結 論

直立消波堤に作用する非砕波時の水平力と揚圧力に関して不透過直立堤との比較のもとに実験を行い、その波力減殺特性を検討した。本研究の範囲内で認められた主なる事柄は、以下のである。

(1) 図-9 は波圧係数 α と堤体前面での相対水深 h/L の関係を示したものである。図-9 より、非越波時では不透過直立堤の波圧係数は Sainflou 簡略式とほぼ同程度、直立消波堤のそれは、Sainflou 簡略式の約 60% の値となることが認められる。

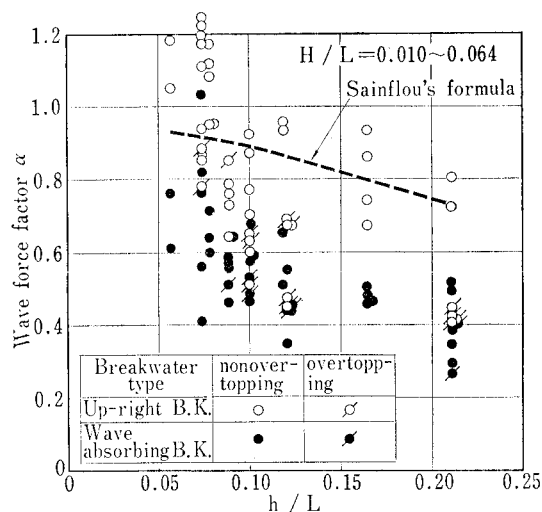


図-9 波圧係数 α と相対水深 h/L

(2) 不透過直立堤の非越波時の最大揚圧力は、Sainflou 簡略式の波圧強度を使用し三角分布と仮定した計算値に等しいか、若干大きくなる傾向にある。直立消波堤の揚圧力は、相対水深 h/L の減少とともに Sainflou 簡

略式による計算値より小さくなり、平均的には約 80% となる。

(3) 水平全波力と揚圧力の時間波形は、不透過直立堤の場合ほぼ同位相であるが、直立消波堤の場合には揚圧力の位相が水平全波力より先行する。

(4) 直立消波堤の反射率は、相対堤体幅 B/L の減少とともに増大するが、波力の変化は顕著ではない。

以上の実験結果より、本実験の対象とした直立消波堤のもつ非砕波時における波力減殺の特性が明らかになった。

5. あとがき

直立消波堤に作用する非砕波時の波力に関する今後の研究課題として、基礎捨石マウンドがある場合や上部工がある場合の特性を解明することを考えている。

本研究にあたり、ご指導およびご助言をいただいた中央大学林泰造教授に厚く謝辞を表します。また実験に協力した同大学助手小松登君と海岸研究室卒研究生諸君に感謝します。

参 考 文 献

- 1) 合田良実・福森利夫：直立壁および混成堤直立部に働く波圧に関する実験的研究，港湾技術研究所報告第11巻第2号，1972。
- 2) 永井莊七郎・玉井佐一・西村益夫：深い海中に築造された直立防波堤に働く波圧，第10回海講講演集，pp. 104~109，1963。
- 3) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，pp. 2-105~110，1979。
- 4) 土屋義人・山口正隆：越波のある場合の重複波の特性について，第17回海講講演集，pp. 79~84，1970。
- 5) 日本港湾協会：港湾構造物設計基準，2-4~21，1967。
- 6) 榎木 享・岩田好一郎：透過性構造物による波の変形について，第19回海講講演集，pp. 199~204，1972。
- 7) 井島武士・奥蘭英明・牛房幸光：直立消波護岸の構造と周波数特性について，第24回海講講演集，pp. 255~259，1977。
- 8) Kondo, H.: Analysis of breakwaters having two porous walls, Proc. of Coastal Structures '79, ASCE, pp. 962~977, 1979。