

直立消波構造物に働く波力の水平、鉛直成分等について

久保 弘 一*・井田 康 夫**

1. 緒 言

港湾の水際線利用の密度が高まると共に反射波の影響等により港内水面の静穏が乱されることが多くなり、これを解決するために、内部に消波空隙を有する直立消波構造の護岸や岸壁などが各地で施工され、港内の静穏化に貢献している。さらに一部では傾斜型消波工の不適當な防波堤においてもこの形式のものが採用されて成果をあげており、同時に一部の形式では港内水質の改善にも寄与している。

このような直立消波構造物に期待される機能は大別すると反射作用の変質と内部空隙による波のエネルギー減少であるが、消波の基本的な考え方として、(1) 波の位相差を利用する (2) 渦流を発生させる (3) 構造物表面や内部の断面変化や摩擦による損失を期待する (4) 砕波を促進させる等があるが、直立消波構造物として実践されているものを分類すると次のようになる。

- (A) 消波壁と不透過壁の間に遊水部があるもの
 - (B) 不透過壁面自体が消波構造であるもの
- これらはいずれも 図-1 のように領域Ⅰ、Ⅱの速度ポ

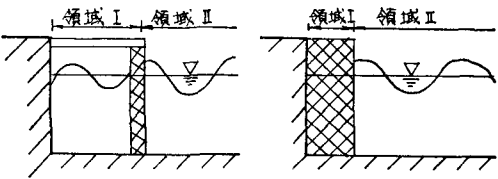


図-1 直立消波構造モデル

テンシャル ϕ_I, ϕ_{II} に対して次の Laplace の方程式、

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0$$

が成立することから、井島ら¹⁾、堀口ら²⁾によりそれぞれの境界条件を用いて解析的な究明が意欲的に行われているが、実在の流体による反射率、そ上高、波圧、波力等の総合的な評価については結論が得られていない。特に波圧、波力については井島らにより岸壁に水深の 0.1~1.0 倍の水平板を取り付ければ波力は減少し、かつ波圧

強度も均一化するという研究成果が報告されているほか報告例は少い。これはこの種の構造物の大部分が主として港内、内湾に用いられているためであろう。

筆者らも直立消波構造物の 1 つのタイプとして、直立壁前面における水粒子の上下動を抑制する目的で不透過壁前面に水平の短い棚を取りつけたモデルを対象として実験を行い、若干の成果を報告した^{4),5)}。

そこでこの論文では最もシンプルな消波構造として直立壁に水平の棚(複数)を取りつけたものを対象とし、規則波が作用した時の波の挙動と構造物の応答を水平波力、鉛直波力(揚圧力)の面から把握し、加えて反射率、そ上高についても言及し、総合的に評価しようとするものである。

2. 実験の装置と方法

実験は大阪工業大学土木工学科の波浪水槽(幅、高さとも 1.2m、長さ 35m で片面強化ガラス張り)に実験模型を設置した。模型は波力の水平、鉛直成分の測定が容易なように幅 30cm で水槽中心部に設置し、この両側には正確な計測を期するため水槽側壁まで幅 45cm のダミー模型を両側に配置した。なお模型とダミー模型のすき間から逃げる波のエネルギーによって計測が不正確にならないように適度の軟かさを持つ生ゴムでこの空間をシールした。

構造物模型の種類は直立壁と消波壁 12 種類の計、13 種類とし、図-2 に詳細を示す。実験は表-1 の規則波を作用させた。表中の波高 H は無堤時の同位置における値である。また天端高は越波させないようにすべて静水面上 30cm とした。

表-1 実験波の諸元

No.	水深 h (cm)	波 高 H (cm)	周 期 T (sec)	波 長		H/L	h/L
				L (cm)	L_0 (cm)		
①	70	6.8	2.00	460	624	0.015	0.15
②		9.6	2.53	615	999	0.023	0.11
③		12.5	1.80	403	505	0.031	0.17
④		15.5	1.68	361	440	0.043	0.19
⑤		18.7	1.68	361	440	0.052	0.19

* 正会員 大阪工業大学 土木工学科 助教授
** 正会員 大阪工業大学 土木工学科 講師

型式	直 立 壁	Ⅰ 型				Ⅱ 型				Ⅲ 型			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
d		4.5				4.5				4.5			
D		4.5				9				13.5			
l		9	13.5	18	22.5	9	13.5	18	22.5	9	13.5	18	22.5
l/R		0.13	0.19	0.26	0.32	0.13	0.19	0.26	0.32	0.13	0.19	0.26	0.32
断面													

図-2 実験模型の種類

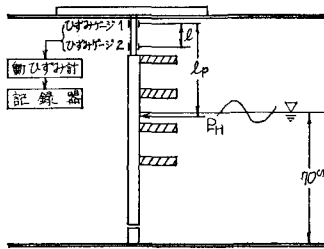


図-3 (a) 水平波力測定装置

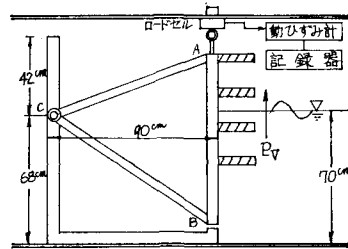


図-3 (b) 揚圧力測定装置

(1) 水平波力 (P_H) の測定

図-3 (a) のように模型と T 型棒鋼 (2.5 cm 角) を剛結し、棒鋼の 2 点に表裏 2 枚のひずみゲージを用いて水平波力によるモーメントの差を電磁オシログラフで記録し、これから P_H を求めた。また P_H の作用点 l_P も以下のように求められる。

点 1 のモーメント

$$M_1 = P_H \cdot l_P \dots \dots \dots (1)$$

点 2 のモーメント

$$M_2 = P_H \cdot (l_P - l) \dots \dots \dots (2)$$

(1), (2) より

$$P_H = \frac{M_1 - M_2}{l}, \quad l_P = \frac{M_1}{M_1 - M_2} l$$

なお、この測定装置は入射波の周波数に較べて固有振動数も充分大きい上、直立壁の実測波圧分布図より求めた波力とも非常に良い対応を示した。

(2) 揚圧力 (P_V) の測定

消波壁に働く波力の鉛直成分、すなわち揚圧力の測定は水平波力の影響がはいらないように、別途、図-3 (b) のような装置を製作した。この装置は波力が働いた時、直接鉛直成分をとらえるため、揚圧力を負荷されたロードセル (容量 50 kgf ((490 N)), 非直線性 0.4%) の荷重減少量として動ひずみ計を通して時間波形を電磁オシログラフで記録した。常時負荷量は装置の自重、約 30 kgf ((294 N)) であり、消波壁の種類により多少増減があ

る。

図中の C 点はほぼ水平波力の作用点にあたるところでヒンジ構造となっており、この実験程度の水平波力が加わっても摩擦抵抗は揚圧力に関係しないことを予備実験で確認した。

また、得られた揚圧力より壁面において静水面上、半波高の高さから波形勾配を示す線内にはいる棚部の浮力を差し引き、これを真の揚圧力とした。

(3) 反射率 (K_R)、そ上高 (R) の測定

反射率は重複波の腹と節付近の水位変動を容量式波高計で多点計測して H_{max} , H_{min} を決定し、Healy の方法により求めた。

そ上高は模型壁面における静水面からの上昇高 (R) を目視観測により求め、その平均値を R とした。

以上、いずれの測定項目についてもデータ処理は 10~12 波を作用させた記録のうち、波が成熟し、かつ反射波等の影響がはいらない第 3~5 波 (または第 4~6 波) の値を平均して用いた。

3. 波 力

(1) 水平波力

a) 波力の時間的変化

水平波力について計測した波力モーメント (M_1) の記録の一部を図-4 に示す。この図の IIC 型は波力モーメント、換言すれば水平波力の時間曲線が双峯型である特

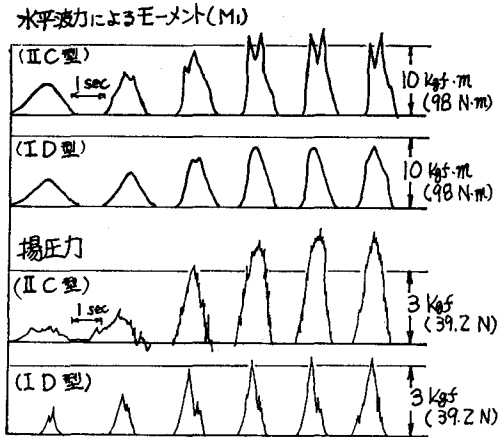


図-4 波力の時間記録 (数値は 0.3 m あたり)
($H=15.5$ cm, $T=1.68$ sec, $H/L=0.043$,
 $h=70$ cm)

徴を示している。これは消波構造の前部と後部で水平波力が作用する時刻に差があることと、波高と柵間隔の関係が砕波的要因をつくっているためと思われる。

一方、I D型は単一型のピークを示し、直立壁と同型の時間曲線を示している。これは柵間隔が小さいため柵部の前端で整流されるような効果を生み、波の周期と同一の周期で水平波力を受けることを示している。

全般的にみて双峯型は (i) II A型の H/L が大きい場合と II B, C型の場合、(ii) III A, B型の H/L の大きい場合に現れる。また単一型は (i) I 型の大部分、(ii) II 型で H/L および l が小さい場合、(iii) III 型で l にかかわらず H/L の小さい場合に出現する。

b) 直立壁の波力との比較

各ケースの消波壁における P_H と直立壁の波力 P_0 との比、 P_H/P_0 と l/L の関係を波別、柵間隔別に整理したものが図-5である。

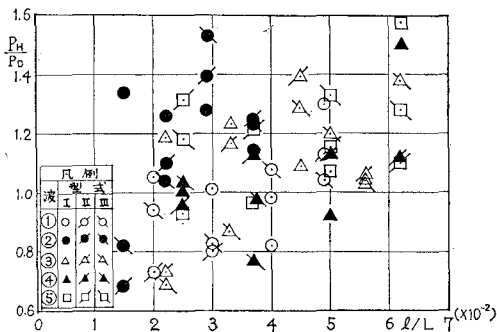


図-5 水平波力

図より波①、④、⑤では l/L の変化に対して、 P_H/P_0 には極値が存在し、凹型の変化を示すのに対し、波②、③ではおおむね凸型の変化をする。また各波における

P_H/P_0 の最大値は I D, II C, D, III C型に出現し、 l/L の大きいCまたはD型に現れることが特徴的である。

全般的にみて、 l/L の大きさにかかわらず、 P_H/P_0 はおおむね 0.7~1.5 に分布していることと、1以上のケースが非常に多い。因みに通常良く用いられる Sainflou の計算値 (P_S)、合田の計算値 (P_G) と比較してみると、 $P_H/P_S=0.41\sim1.06$ であるが2例を除いて 1.0 以下であるところから $P_H/P_S=0.4\sim1.0$ と考えてよい。また $P_H/P_G=0.60\sim1.50$ であるが1例を除いて 1.3 以下であり、 $P_H/P_G=0.6\sim1.3$ と考えてよいであろう。

(2) 揚圧力

a) 揚圧力の時間的変化

揚圧力の時間記録の一部を図-4に示す。これを見ると水平波力のような双峯型は存在せず、II C型では高周波成分が加味されているものの単一のピークを示している。また I D型も最大値に達した後、若干の極値を示すが前者と傾向は変わらない。これは多くの柵による水塊の複雑な運動が揚圧力の微小変動を相殺したり、浮力の時間的変動が原因となり、揚圧力の時間曲線に一定の単調な傾向を与えたものと思われる。

b) 直立壁の波力との比較

揚圧力の大きさを評価する指標として、直立壁の波力との比、 P_V/P_0 と l/L の関係を示したものが図-6である。図より次のことが判明した。

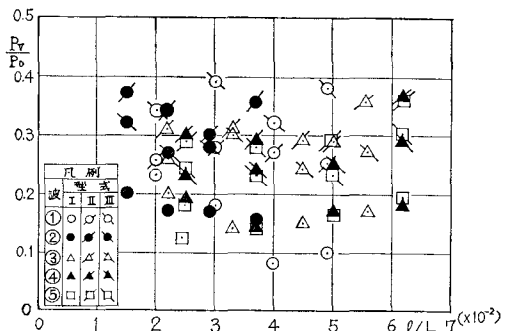


図-6 揚圧力

(i) 全般的にみて、 P_V/P_0 は 0.1~0.4 に分布し、水平波力に比べて格段に小さい。また l/L の変化に対し、 P_V/P_0 はあまり変動せず、波形勾配の異なる各波とも最大値と最小値の差は1例を除いて 0.1 以下であり、 l は P_V にあまり影響しない。(ii) I 型はII, III 型に比べ、すべて P_V/P_0 は約 0.1 小さく両者に明らかな差がある。すなわち I 型は波の種類(①~⑤)が変わっても P_V/P_0 に差がないのに比べ、II, III 型は波による差、 l/L による差が大きい。

以上のことは揚圧力に関して l の大小は直接的な要因ではなく、 l が大きい場合でも圧力が受圧面に平均化し

て作用し、単位面積当りの波圧強度が減じられるため、揚圧力の絶対値はあまり大きくならないことを示している。また水平波力と同様に Sainflou 式、合田式と対比してみると、 $P_V/P_S=0.06\sim0.31$ 、 $P_V/P_G=0.08\sim0.39$ で、前記の P_V/P_0 とほとんど変りはない。

4. 反射率およびそ上高

(1) 反射率

反射率 K_R と l/L の関係を 図-7 に示す。図より K_R

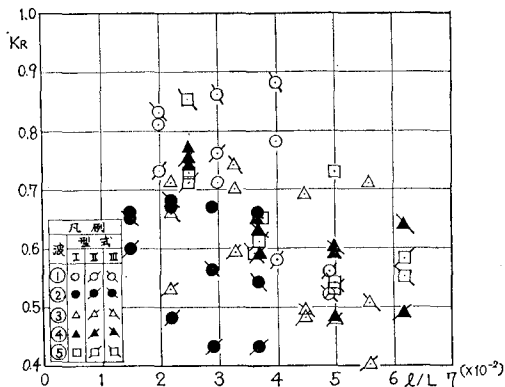


図-7 反射率

は l/L の増大にともない凹型に減少する傾向があり、その値は $0.4\sim0.9$ に分布している。Ⅲ型で H/L の最も小さい場合、 K_R は小さくならず直立壁とほとんど変わらない。

また多くの場合、 $l/L=2.5\sim4.5$ で K_R は急激に減少しており、柵式の消波構造における K_R について重要な示唆を与えていることと、 l/L を 5.0 以上にしても K_R は減少しないことを示している。

(2) そ上高

R/H と l/L の関係に実験値を整理したものが 図-8 である。図より R/H は l/L の増大にともない凸型に減少するがその値は $0.7\sim1.15$ の範囲にある。また R/H の減少の割合は $l/L=5\sim6$ 位が著しい。このことは大きな柵により水粒子の上下動が制限されることや摩擦損失の増加等の原因により効果的に R が減少するためである。

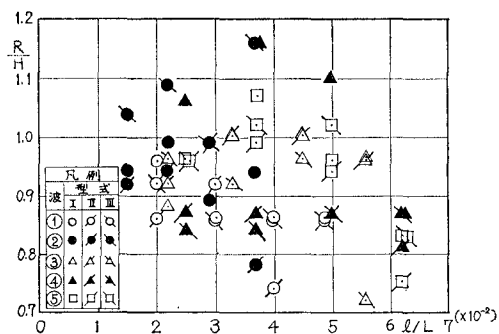


図-8 そ上高

5. 結 語

従来、岸壁等では波力は重複波圧よりもあまり大きくならなければよいという考えで、主として反射率の低減効果を期待して各種直立消波構造の研究開発が行われてきたが、これに波力低減効果が加わればより望ましく、防波堤への利用もある程度可能となる。

本研究でもこのような観点から波力（水平、鉛直成分）、反射率、そ上高のいずれをも最小にする構造を探したがこれを満足させる構造の存在しないことが明らかとなった。すなわち波力については比較的柵間隔が小さく、柵長の短いタイプが有効であり、反射率、そ上高については逆に比較的柵間隔が大きく、柵長も長いタイプが有効であることが判明した。したがって各種直立消波構造の計画にあたっては現場の要請に鑑み、何を最も優先させるかにより、その都度、決定して行くことが肝要であろう。

参 考 文 献

- 1) 井島武士・尾崎重雄・松尾隆彦・小林 彰：直立消波岸壁に関する研究(1)，第16回海講講演集，pp. 289～296，1969。
- 2) 堀口孝男・中道峰夫：多孔壁式防波堤の消波機構と波力，第23回海講講演集，pp. 89～94，1976。
- 3) 服部昌太郎・富家友直・白須 宏・松室能生・岡田哲一：直立消波堤に作用する波力に関する実験，第26回海講講演集，pp. 396～400，1979。
- 4) 久保弘一・井田康夫：直立壁の粗度の効果について，52年度土木学会関西支部年講演概要，pp. II-11～12，1978。
- 5) 久保弘一・井田康夫：棧型直立構造物の波浪減衰効果について，第35回土木学会全国大会年講演概要集(第2部)，pp. 113～114，1980。