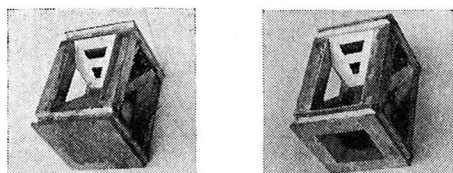


斜材ケーソンの耐波安定性, 反射率, 伝達率

島田富美男* ・ 湯浅博明**・ 岩佐信幸***
加賀城 毅****・ 三井 宏*****

1. 緒 言

近年, 港湾内の有効水域を広くとり, 港湾施設を最大限利用する目的で, いろいろの直立消波ブロックや消波ケーソンなどが開発され, 防波堤や護岸として施工されているが, その水理特性については不明な点が多い。



(1) A 型 (2) B 型

写真-1 斜材ケーソン模型

本報では, 写真-1 に示す斜材ケーソンを防波堤として使用した場合, 波力による堤体の滑動量を測定し, 波圧係数を算定することにより, 波力による堤体の滑動に対する安定性について考察し, 反射率と伝達率についても検討を加えた。さらに, 不透過型の斜材ケーソンを岸壁として使用した場合の揚圧力に対する安定性について考察を行ない, 比較的簡単な手法で振動限界波高を測定できることを示し, 反射率についても検討した。

2. 斜材ケーソン使用混成防波堤の耐波特性

2.1 実験装置および実験方法

実験は阿南工業高等専門学校土木工学科に設けられた片面ガラス張りの2次元造波水路を使用し, 図-1 に示すように造波板から 19 m の位置に斜材ケーソン使用混

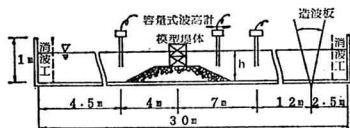


図-1 実験水槽

成防波堤模型を設置して実験を行なった。実験に使用した模型は幅 12 cm, 高さ 12 cm, 長さ 18 cm のアルミ合金鋳物で, A型は不透過構造, B型は透過構造になっている。

実験断面は高さ 30 cm, 天端幅 40 cm, 勾配 1:2 の栗石マウンド上に厚さ 12 mm, 幅 30 cm の鉄板を水平に敷き, その上に模型堤体を置き, 模型を鉄板上で滑動させるようにした。模型堤体はA型1段積み, B型1段積み, B型2段積み, 上段A型下段B型2段積みの4種類で, 水深 h は1段積みの場合には $h=36$ cm, $h=42$ cm の2種類, 2段積みの場合には $h=48$ cm について, 入射波の周期を 1.2 sec と一定にして実験を行なった。

模型堤体の滑動量の測定方法は, 初めの3波程度を通過させて一定の波形となっている5波を対象にし, その5波による堤体の滑動量と入射波高を測定した。また, 各場合において, それぞれ solid wall として模型堤体の各面にプラスチック板を張りつけ, 対応する斜材ケーソンと同条件の不透過構造とした堤体についても同様に滑動量とそれに対応する入射波高を測定し, 斜材ケーソンの場合と比較検討する。

さらに, 実際に施工する上で有効と考えられるB型1段積み, B型2段積み, 上段A型下段B型2段積みの3種類について, 水面と堤体天端までのクリアランスを0, 3, 6 cm と変化させて反射率と伝達率を測定した。

2.2 直立部の滑動

(1) 波圧係数の算定方法

伊藤ら¹⁾は, 外力のなした仕事が堤体の運動エネルギーに等しいという関係から, H なる波高による1回の滑動距離 x を次式で表わしている。

$$x = \mu g k \cdot P(P - P_0) \cdot H / (2P_0^2) \cdots \cdots (1)$$

ここで, g は重力加速度, μ は摩擦係数, P は波高 H のとき堤体にかかる平均波圧, P_0 は滑動限界時の平均波圧である。また, k は定数で, 実験によりマウンドが低いときの平均値として $0.025 \text{ sec}^2/\text{m}$, マウンドが高ければ $0.013 \text{ sec}^2/\text{m}$ と推定している。式(1)において平均波圧 P を, 水の単位重量を w , 波圧係数を K として $P = KwH$ とおくと, K は次式で求めることができる。

* 正会員 工修 阿南工業高等専門学校 助手 土木工学科

** 正会員 阿南工業高等専門学校 教授 土木工学科

*** 正会員 (株) 海洋建設研究所 社長

**** (株) 海洋建設研究所 専務

***** 正会員 工博 徳島大学教授 工学部土木工学科

$$K = \frac{\mu g k w H^2 P_0 + \sqrt{(\mu g k w H^2 P_0)^2 + 8 \mu g k w^2 H^3 P_0^2 x}}{2 \mu g k w^2 H^3} \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで, $x=0$ とおくと $K=P_0/(wH)$ となり, 中村が求めた波圧算定式²⁾と一致する。

次に, solid wall と斜材ケーソンとの波圧係数について比較を行なう。まず, solid wall に対して波高が H_1 のときの平均波圧 P_1 が波圧係数 K_1 を使用して $P_1 = K_1 w H_1$ で表わされると仮定すると, 式 (1) より H_1 なる波高による1回の滑動距離 x_1 が次式で表わされる。

$$x_1 = \mu g k \cdot K_1 w H_1 (K_1 w H_1 - P_0) / (2 P_0^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

同様に, 波高が H_2 のときの斜材ケーソンの平均波圧が $P_2 = K_2 w H_2$ で表わされると仮定すると, 式 (1) より H_2 なる波高による1回の滑動距離が次式で表わされる。

$$x_2 = \mu g k \cdot K_2 w H_2 (K_2 w H_2 - P_0) / (2 P_0^2) \quad \dots\dots\dots (4)$$

したがって, 式 (3) と式 (4) の solid wall と斜材ケーソンの滑動距離を等しいとおき, 斜材ケーソンの波圧係数 K_2 を求めると次式になる。

$$K_2 = \frac{P_0 H_2^2 + \sqrt{(P_0 H_2^2)^2 + 4 K_1 H_1^2 H_2^3 (K_1 w H_1 - P_0)}}{2 w H_2^3} \quad \dots\dots\dots (5)$$

(2) 実験結果および考察

図-2 は, 2.1 により求めた波高と5波による堤体の滑動量の関係であり, 図中の●印および○印は斜材ケーソンの場合, ○印は solid wall の場合の波高と滑動量の関係である。式 (2), (5) およびこれらの図を用いて波圧係数 K と K_2 を求めた値を図-3~5 に示す。

図-3 は, A型1段積み, B型1段積み, B型2段積み, 上段A型下段B型2段積みの各場合について, solid wall と斜材ケーソンそれぞれに対応する波圧係数 K を示したものである。この図より斜材ケーソンの波圧係数 K はA型1段積みが最高で $K=0.95$ であり, 1よりかなり小さな値を示し, 2段積みの場合にはB型2段積み

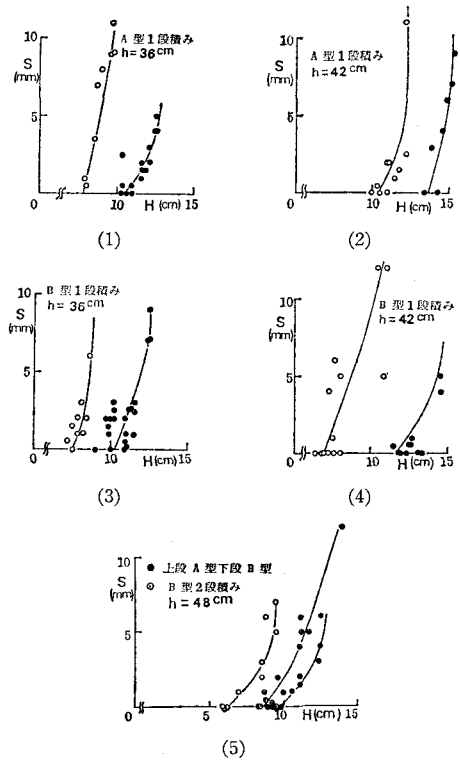


図-2 波高と滑動量の関係

も上段A型下段B型2段積みも波圧係数はほとんど変わらないことがわかる。また, solid wall の波圧係数 K と比較すると, ほとんどの場合 solid wall の K が斜材ケーソンの K よりもかなり大きい, A型1段積みで水深が42cmのときは solid wall と斜材ケーソンの K はほとんど同じであり, A型1段積みの場合, 水深が堤体の天端近くなると直立堤と同程度の波圧を受けると考えられる。

図-4 は, A型とB型1段積みの場合の波圧係数の比

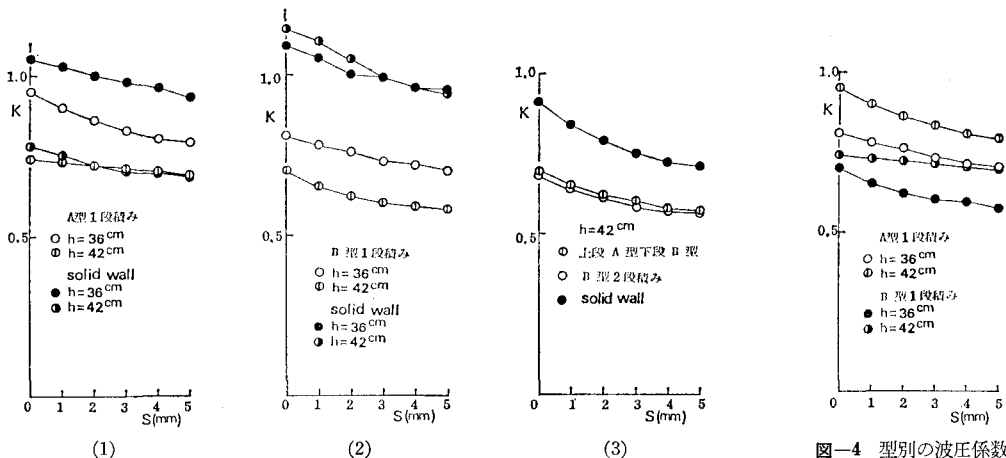


図-3 波圧係数 K

図-4 型別の波圧係数

較を表わしたものであり、水深が等しいときにはA型よりB型の波圧係数が0.1以上小さくなっている。なお、各場合とも滑動量が大きくなれば、波圧係数 K が減少しており、式 (2) で仮定した堤体に働く平均波圧 $P = KwH$ が堤体滑動時には減少すると考えられる。

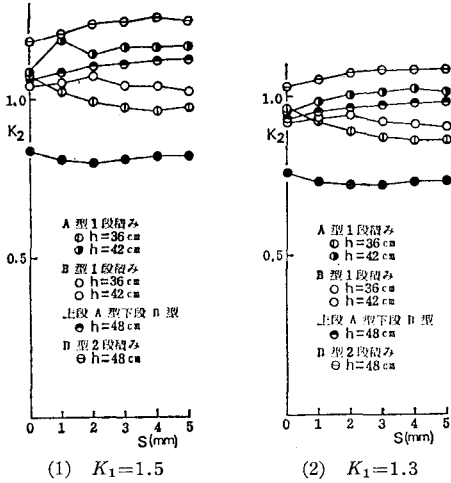


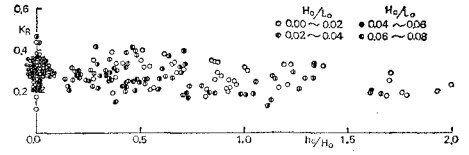
図-5 波圧係数 K_2

図-5 (1) および (2) は、式 (5) により solid wall の波圧係数 K_1 をそれぞれ広井公式の波圧係数 1.5 に等しいと仮定したとき、および 1.3 に等しいと仮定したときの斜材ケーソンの波圧係数 K_2 を表わしたものである。図の (1) より、solid wall の波圧係数を 1.5 としたときの斜材ケーソンの波圧係数 K_2 は 0.8 から 1.25 の間のかなり大きな値を示す。しかし、実際には 図-3 に示したように solid wall の波圧係数は 1.5 よりかなり小さく 1.15 以下であり、図の (2) のように $K_1 = 1.3$ としてもほとんどの場合 K_2 は 1 以下になり、 K_2 が 1 以上となるのは solid wall の波圧係数を過大に評価しているためと思われる。したがって、この斜材ケーソンなどのような直立消波ブロックや消波ケーソンを使用をすれば、波圧係数は広井公式の波圧係数 1.5 よりかなり小さな値であることが推定され、この斜材ケーソンの波圧式を $P = 1.0wH$ と仮定しても十分妥当性があると思われる。

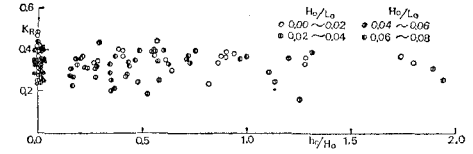
2.3 反射率および伝達率

図-6 と 図-7 は混成防波堤直立部に斜材ケーソンを使用したときの反射率と伝達率の測定結果である。

図-6 より、反射率はB型1段およびB型2段積みの方が上段A型下段B型2段積みより若干小さいが、ほぼ同程度の 0.2~0.4 の値を示す。また、波形勾配が小さくなると反射率が少し大きくなる傾向があるが、その傾向はあまり顕著でなく、水面と堤体天端までのクリアランスの影響もほとんどみられない。

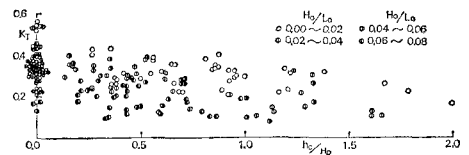


(1) B型1段およびB型2段積み

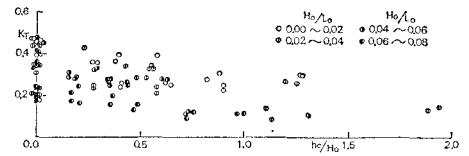


(2) 上段A型下段B型2段積み

図-6 反射率



(1) B型1段およびB型2段積み



(2) 上段A型下段B型2段積み

図-7 伝達率

図-7 より、伝達率も反射率と同様に波形勾配が小さくなると、伝達率が若干大きくなるように思われるが、斜材ケーソンの積み方の違いによる影響は見られない。しかしながら、伝達率は反射率と違って水面と堤体天端までのクリアランスの影響があり、クリアランスが大きくなれば伝達率が減少し、クリアランス h_c と沖波換算波高 H_0 の比 h_c/H_0 が 1.0~1.5 の間で一定になる。この原因は、クリアランスが小さければ越波を起こし、堤体を通じた波に加算されて伝達率が大きくなるためと考えられる。

3. 斜材ケーソン使用岸壁の耐波特性

3.1 実験装置および実験方法

図-8 に示すように造波板から 16 m の位置にA型斜材ケーソンを千鳥状に3段積みした模型岸壁を設置して実験を行なった。天端コンクリート板としては、幅 59

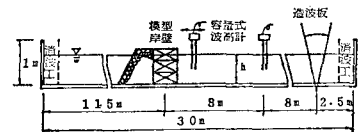


図-8 実験水槽

cm, 長さ 18 cm, 厚さ 6 mm, 重さ 5.002 kg の鉄板を用いた。

斜材ケーソン使用岸壁の揚圧力による耐波安定性について、一つは天端コンクリート板の耐波安定性、もう一つは斜材ケーソンそれ自体の耐波安定性の2通りについて考える。天端コンクリート板の耐波安定性については、図-9に示すように鉄板の四隅に電気的接点を設け、

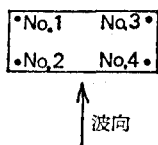


図-9 接点

波力が大きくなり鉄板に振動が生じると接点が離れ電球が点滅するようにして、振動限界波高を判定した。同様にして、斜材ケーソンの耐波安定性については、2段目と3段目の堤体の間の四隅に電気的接点を設け、揚圧力により接点が閉開すると電球が点滅するようにし、斜材ケーソンの振動限界を判断した。

3.2 揚圧力による振動限界

天端コンクリート板および斜材ケーソン自体が振動を生じる直前の限界揚圧力が、それぞれ天端コンクリート板と斜材ケーソンの重量 P とつり合っていると考え、波圧係数 K_3 を使用し揚圧力が $K_3 w H$ で表わされると仮定すると次式が成立する。

$$P = K_3 w H \quad \dots\dots\dots(6)$$

この式より、天端コンクリート板および斜材ケーソンに対する揚圧力の波圧係数 K_3 を求めることにする。

図-10は、縦軸に波高 H , 横軸に水面と堤体天端までのクリアランス R をとり、天端コンクリート板および斜材ケーソンの振動状況を示したもので、図中の○印は振動が生じないことを示し、●印は図-9に示したNo. 2とNo. 4の2接点のみの振動、●印は4接点で振

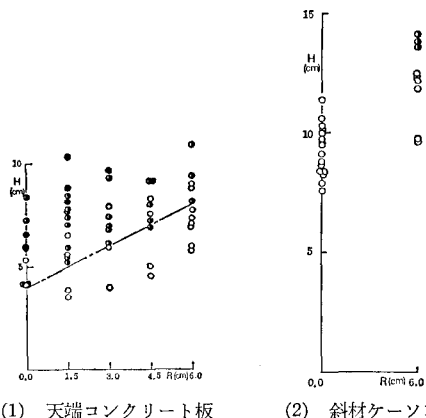


図-10 振動限界波高

動が生じていることを示している。図-10の(1)より、天端コンクリート板の揚圧力による振動限界の波高を一点鎖線で表わすと、式(6)より波圧係数 K_3 は 0.589~1.18の間にある。したがって、天端コンクリート板に作用する揚圧力 P は、大きくても $P=1.2 w H$ と考えられる。また、図-10の(2)より、斜材ケーソンの振動限界時の波高を 13 cm と考えると K_3 は 0.87 となる。

3.3 栈橋に働く揚圧力と天端コンクリート板に働く揚圧力との比較

栈橋に働く揚圧力についていろいろ研究が行なわれている^{3),4),5)}が、合田⁶⁾は栈橋下面に働く衝撃揚圧力は運動量急変による力と考え、許容跳ね上がり高 y_0 を与えると、渡し板の所要重量 q が次式で与えられることを示している。

$$q = \frac{\zeta \pi^2 w l \sqrt{H^2 - R^2}}{g T (\tau + \sqrt{\tau^2 + 8 y_0 / g})}, \quad \tau = \frac{\pi T l^2}{L^2} \cdot \frac{R}{\sqrt{H^2 - R^2}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

ここで、 l は栈橋の幅で、 ζ は栈橋下面との衝突によって運動量を失う水塊部分として四分円を考えたときの補正係数である。上式は許容跳ね上がり高 y_0 を与えたとき、渡し板の所要重量を算定するもので、 $\zeta=0.84$ とすると実験値にはほぼ一致するとされている。

ここで、栈橋に働く揚圧力と天端コンクリート板に働く揚圧力の比較を行なうため、式(7)の所要重量に天端コンクリート板の重さを代入し、 $y_0=0.1$ cm として ζ を逆算すると 0.24~0.46 となり、栈橋の場合よりかなり小さくなる。これは、栈橋の場合と違って、天端コンクリート板の下には斜材ケーソンがあり、衝突する水塊が天端コンクリート板に達するまでにかなり乱されるためと思われる。したがって、栈橋の場合、伊藤⁷⁾は等価静荷重と波高の関係を $P=4 w H$ で表わしているが、斜材ケーソン使用岸壁の天端コンクリート板の波圧係数は 4 よりかなり小さくなるのがこれからも推定される。

3.4 斜材ケーソン使用岸壁における反射率

図-11は、A型斜材ケーソン使用岸壁における反射率と沖波波形勾配の関係を示したもので、クリアランスが 0 と 6 cm の2通りについて示している。図より、反射率は 0.35 から 0.6 の間で、波形勾配にかかわらず一定の値を示している。また、混成防波堤での反射率と同様

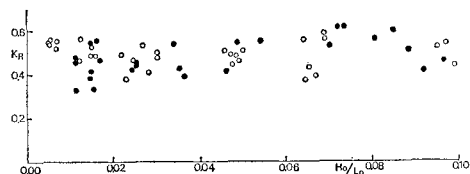


図-11 反射率

に, 反射率は水面から堤体天端までのクリアランスとほぼ無関係と思われる。

4. 結 言

斜材ケーソンを混成防波堤および岸壁として使用したときの耐波安定性, 反射率, 伝達率について実験的に検討を行ない, 次のような結果を得た。

(1) 混成堤直立部に直立消波ブロックや消波ケーソンなどを使用すれば, 広井公式の波圧係数 1.5 のかわりにかなり小さな値を使用することができると推定され, この斜材ケーソンでは 1.0 を使用することが適当と思われる。

(2) 混成堤に斜材ケーソンを使用したときの反射率は 0.2~0.4 の間にあり, 波形勾配が小さくなると反射率が少し大きくなる傾向があるが, その傾向はあまり顕著でなく, 堤体天端までのクリアランスも反射率とほぼ無関係のようである。ところが, 伝達率においては, 水面と堤体天端までのクリアランスの影響があり, クリアランス R と波高 H_0 の比 R/H_0 の増加とともに伝達率は減少し, R/H_0 が 1.0~1.5 以上になると伝達率は一定となる。

(3) 斜材ケーソン使用岸壁の天端コンクリート板に

作用する揚圧力 P は, $P=1.2wH$ で表わされる。また, 反射率は 0.35~0.6 で, 周期の影響についてはかなり鈍感であると思われる。

(4) 揚圧力の測定方法として接点方式を用いたが, このような比較的簡単な装置で揚圧力の測定が可能と思われる。

最後に, 本研究にあたり御助言, 御激励を賜った徳島大学工業短期大学部村上仁士助教授に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 伊藤喜行・藤島 陸・北谷高雄: 防波堤の安定性に関する研究, 港湾技術研究所報告, 第 5 巻 14 号, 1966.
- 2) 中村 勇: 直立消波透過型防波堤模型実験, 第 3 港湾建設局神戸調査設計事務所研究報告, Vol. 8, No. 1.
- 3) 永井莊七郎・久保 直・時川和夫: 棧橋に働く揚圧力に関する研究 (その 1), 第 13 回海講講演集, pp. 112~119, 1966.
- 4) 室田 明・古土井光昭: 棧橋床版に作用する揚圧力についての実験的研究, 第 13 回海講講演集, pp. 120~125, 1966.
- 5) 堀川清司・中尾忠彦・矢島昭弘: 棧橋に働く揚圧力に関する実験的研究, 第 14 回海講講演集, pp. 148~153, 1967.
- 6) 合田良実: 構造物に働く波力, 1967 年度水工学に関する夏期研修会講義集, 土木学会水理委員会, 1967 年 8 月.
- 7) 伊藤喜行・竹田英章: 棧橋に作用する波の揚圧力, 港湾技術研究所報告, 第 6 巻 4 号, pp. 33~68, 1967.