

2. 2 護岸検討断面

上部スリット式護岸の検討断面を図-2に示す。大水深・高波浪の条件下に適し、かつ工程とコストを勘案した結果、ケーソン式混成堤を採用した。そこで、越波と反射波低減を目的として、ケーソン前面を従来の消波ブロックで被覆し、ケーソンの上部にスリット壁を有する消波型式を考案した。

なお、ケーソンの天端は、護岸敷地高さと同じであり（D.L.+4.4m）、設計波からみると低天端ケーソン（ $h_c/H_{1/3}=0.24$ ；施工時）といえる。ケーソンの背後には、ケーソン前面から約20m（ $B/L=0.1$ ）の位置に、壁の高さ（以下パラペットという）6.6m、幅約20mの越波排水路（予備実験の結果による越波量の低減効果と排水能力、経済性を勘案した結果）を設けた。計画では、越波水はこの越波排水路を用いて波が比較的穏やかな海域に自然流下させるものである。

スリット壁はケーソンの天端に配置し、その天端はパラペットの天端と同じ高さ（D.L.+11.0m）とした。ケーソン前面をケーソン天端まで消波ブロック（アクロポッド64t）で被覆した。なお、図-2中の破線は比較実験に用いた消波ブロック被覆型の断面を示す。

実験は、スリットの中心間隔を2m（ $D/L=0.01$ ）を基本として、スリットの本数（一重スリット、二重スリット）、スリットの開口率、位置、波返しの有無を変化させて行い、最適なスリットの配置を検討した。

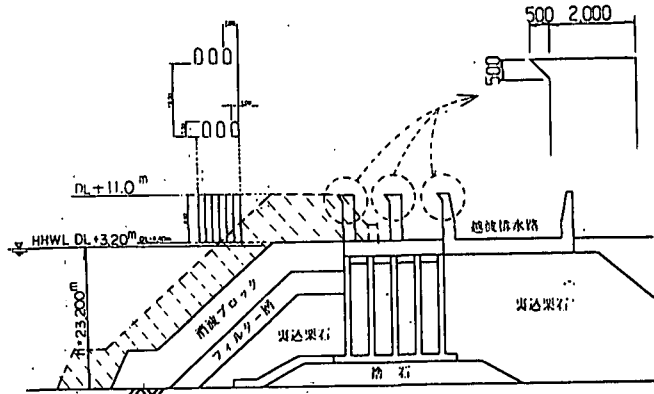


図-2 上部スリット式護岸の検討断面

3. 実験結果および考察

3. 1 2次元実験結果

(1) 越波量

一重スリットの開口率と平均越波流量の関係を図-3に示す。開口率20%が越波量が極小となる傾向がある。開口を狭めていくと、壁の効果により越波量が減少していくが、開口率が20%より小さくなると、逆に遊水部に溜まった水のはけ具合が悪く、遊水部の水位が上昇することにより越波量が増えるものと考えられる。また、全てのケースで波返しの効果がみられ、パラペットのみよりスリットとパラペット両方に取り付けた方が越波量が小さくなる。なお、波返しの形状と大きさを変化させて実験を行ったが、越波量には顕著な差がみられなかった。

また、開口率50%のものについて、スリットの中心間隔 $D=4$ mにしたものと $D=2$ mのものとは、越波量にほとんど違いがみられなかった。

一重スリットの後退量（ケーソン前面からのスリットまでの距離）と平均越波流量の関係を図-4に示す。開口率20%、50%ともにスリットの位置による顕著な違いはみられなかった。

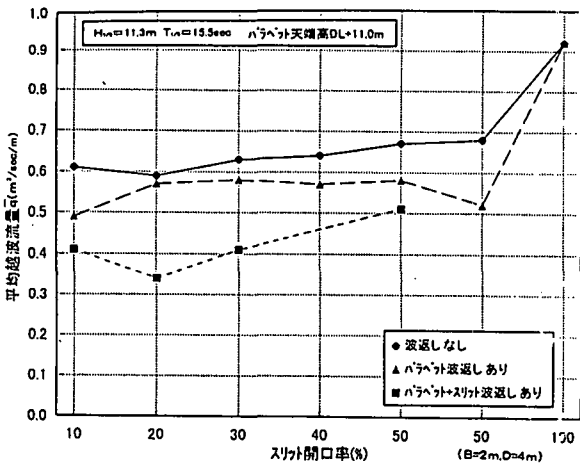


図-3 一重スリットの開口率と平均越波流量の関係

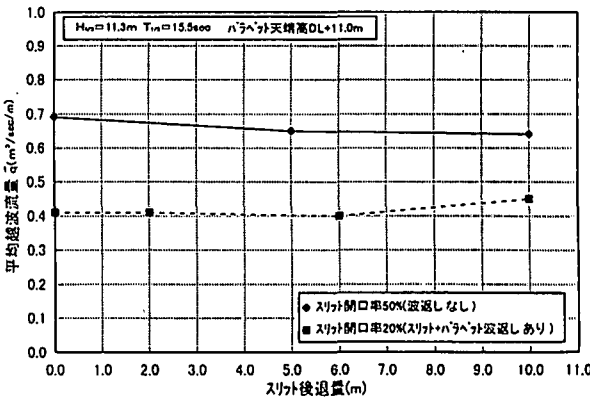


図-4 一重スリットの後退量と平均越波流量の関係

二重スリットの開口率と平均越波流量の関係を図-5に示す。一重スリットに比べ約3割程度越波量が小さくなる。とくに第1スリットの開口率が20%のもの組み合わせが越波量がもっとも小さくなる。三重スリットは、二重スリットと越波量がほぼ同程度であり、組み合わせによっては越波量が大きくなる。波返しの効果は一重スリット同様にみられた。二重スリットの開口率20-30%のタイプで、越波量は消波ブロック被覆型とほぼ同程度となった。ただし、ケーソンの前面に消波ブロックの無いタイプと比べて越波量はやや大きくなるようである。これは、波が前面の消波ブロックを駆け上がることにより越波しやすくなるものと考えられる。

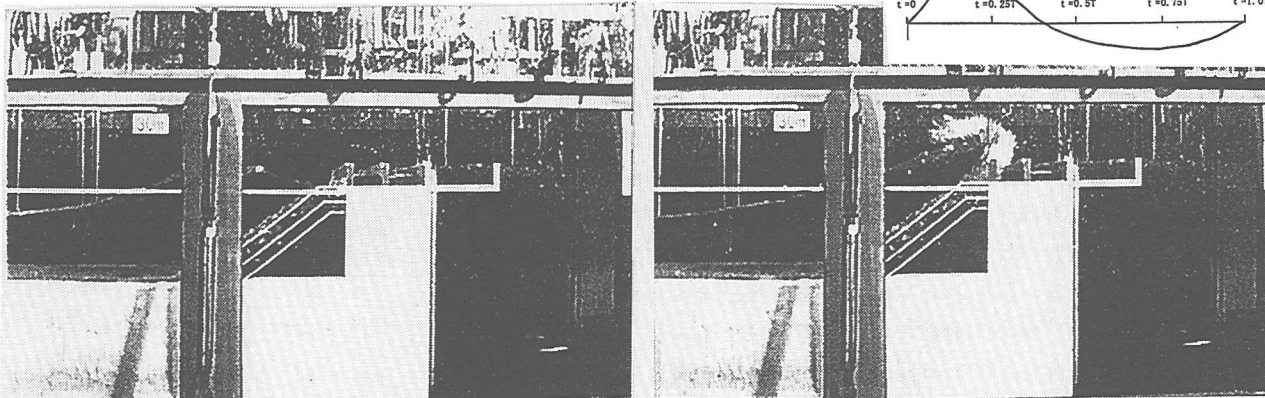
また、二重スリットの開口率20-30%のタイプで平均越波流量は $0.23 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ となり通常の護岸の越波量に比べてやや大きくなるが、これは図-2に示す越波排水路に流入する越波量であり、この越波排水路の後壁を越えて護岸敷地内に入る平均越波流量は通常の護岸と同様に $0.01 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{m}$ 以下になることを確認している。

なお、二重スリットタイプでは、消波ブロック被覆型と比べると工事費を約25%（消波工のみ）削減できる。

(2) 反射率

二重スリットの開口率20-30%のタイプの波高による反射率の変化を図-6に示す。反射率は長周期側の $T_{1/3}=15.5 \text{ sec}$ では $0.46 \sim 0.47$ 、 $T_{1/3}=14 \text{ sec}$ では 0.41 、短周期側の $T_{1/3}=7 \sim 11 \text{ sec}$ では $0.30 \sim 0.33$ であり、消波ブロック被覆型よりも反射波低減効果に優れていることがわかる。二重スリットの開口率50-50%のものでは、さらに反射率が小さくなる。ケーソン前面に消波ブロックの無いものでは反射率は $0.74 \sim 0.91$ であり、消波ブロックによる反射率低減の寄与が大きいことがわかる。

二重スリットの開口率20-30%のタイプの越波状況を図-7に示す。 $t/T=0 \sim 0.6$ に波が消波ブロック上を遡上するが、この時点では波はあまり返らない。次に、消波ブロックを遡上した波の峰の部分の水塊が、 $t/T=0.6$ に第1スリットにより沖側へはじき返されている。さらに、スリットを透過、あるいは越波した波の峰は $t/T=0.9$ にパラペットに衝突する。パラペットにより反射した波の峰は、 $t/T=1$ に再びスリットの遊水部、消波ブロックを透過して、前面に戻されることになる。この際に、波の峰はエネルギーを消散させながら戻るために、反射率が小さくなるものと考えられる。(f)はケーソン前面に消波ブロックの無いタイプの $t/T=0.6$ の越波の状況であるが、(b)と比べてケーソン前面の水位上昇が大きいことから、消波ブロックを有するものに比べて反射率が大きくなることが推察できる。



(a) $t/T=0.5$

(b) $t/T=0.6$

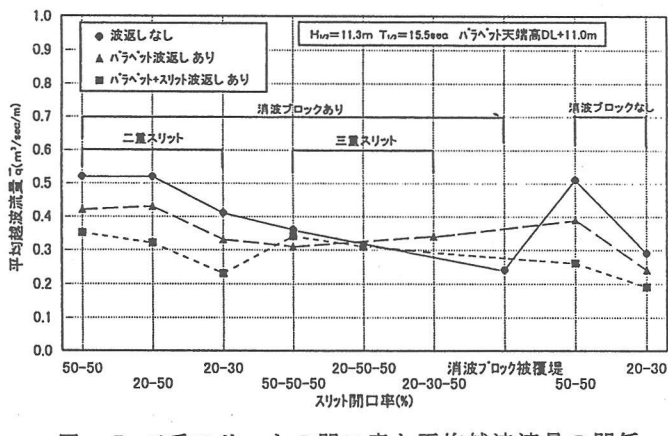


図-5 二重スリットの開口率と平均越波流量の関係

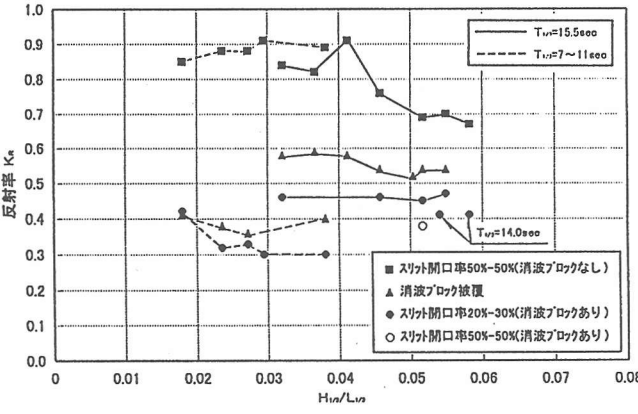


図-6 波高による反射率の変化

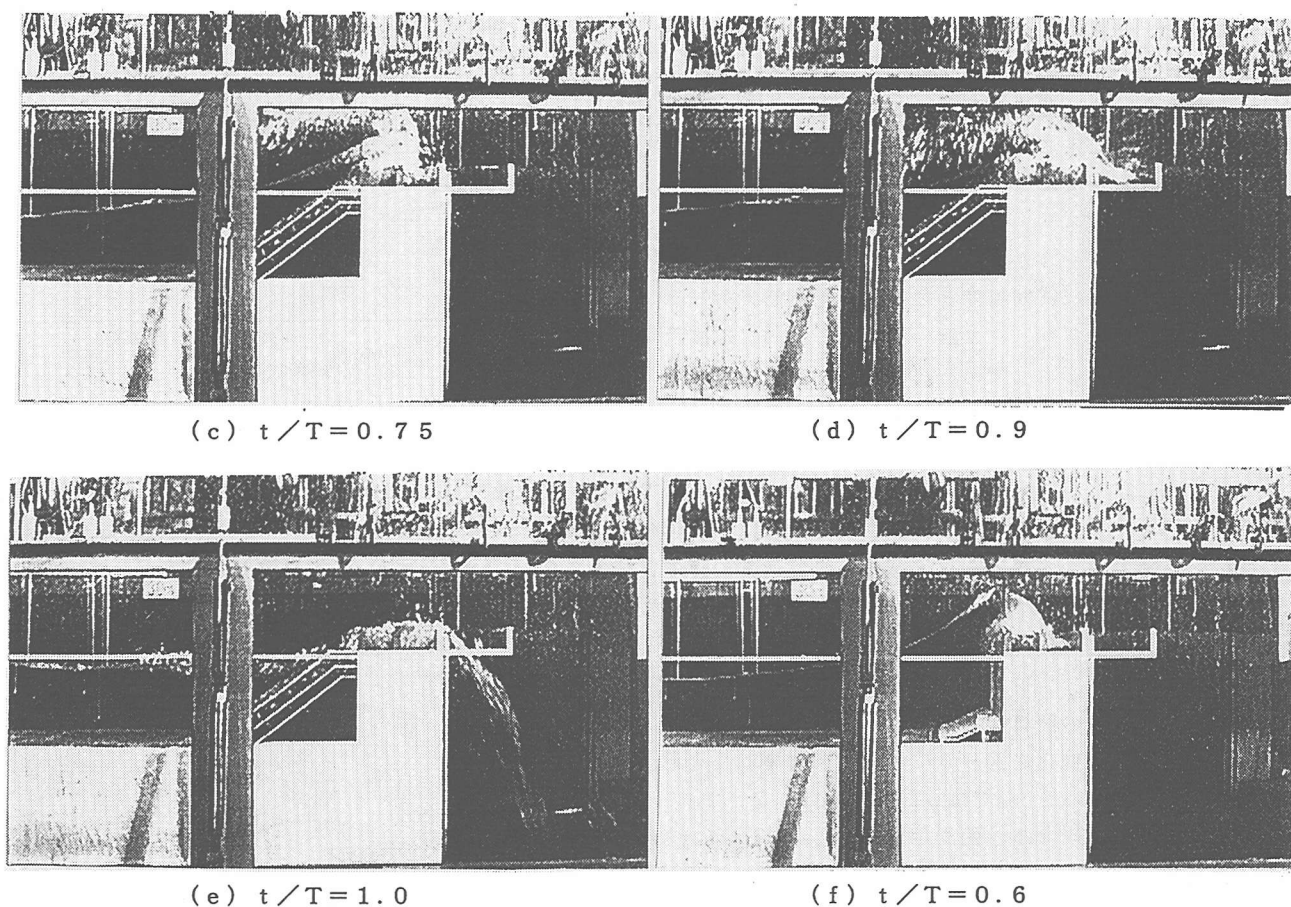


図-7 越波の状況 ($H_{1/3}=11.3\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=15.5\text{ sec}$)

3. 2 平面実験結果

平面実験のレイアウトを図-8に示す。模型の縮尺は、2次元実験と同じ $1/80$ とした。実験施設の規模が限られているため、もっとも越波量が大きくなると予想される隅角部付近を抽出した模型とした。波浪条件は、 $H_{1/3}=11.3\text{ m}$ 、 $T_{1/3}=15.5\text{ sec}$ の一方不規則波で与え、人工島のない状態で隅角部前面で設定した。人工島の南側を消波ブロックを有する上部スリット式護岸とし、西側は消波ブロックの無い上部スリット式護岸とした。主波向Sの波は、ほぼ等深線沿いに進み、南側の護岸に約 17° の傾きをもって入射する。

南側の護岸の平均越波量と波高の沿岸方向分布を図-9、図-10に示す。隅角部から $x=70\text{ m}$ 付近には、隅角部からの回折散乱波の影響と考えられる越波量と波高の極大点が見られる。二重スリットの開口率 $20\sim30\%$ のタイプは、消波ブロック被覆型と比べて越波量は極端に小さくなるが、逆に護岸前面の波高はかなり大きくなる。このことは、断面2次元の実験結果とは矛盾している。また、このタイプではケーソン前面の消波ブロックの天端が不安定となり、法肩付近から滑落する現象がみられた（断面2次元実験では安定であった）。これは、斜め入射波の場合、みかけ上のスリットの開口率が大きく変化しているか、あるいは、別の要因で反射率が大きくなったことが原因と考えられる。

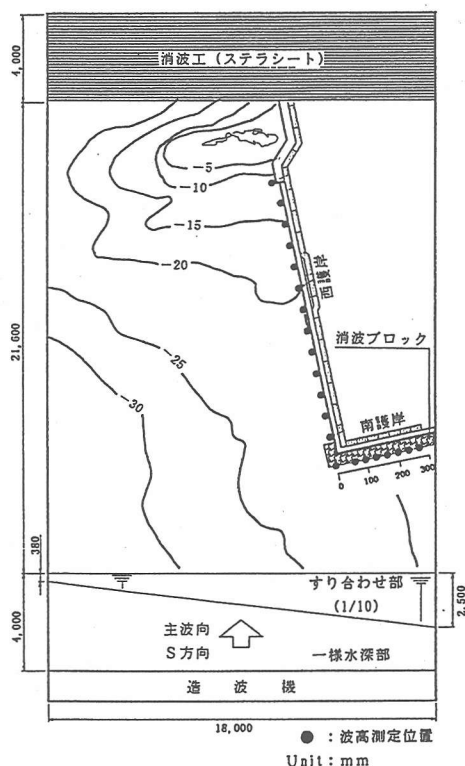


図-8 平面実験のレイアウト

次に、二重スリットの開口率50-50%のタイプでは、消波ブロック被覆型と比べると、越波量はほぼ同程度あり、護岸前面波高はやや小さくなった。また、ケーソン前面の消波ブロックは安定した。

以上より、斜め入射波に対しては、上部スリットの開口をやや広げて、二重スリットで波を段階的に消波する方式が、越波量を低減でき、しかも反射波を小さくできることがわかった。

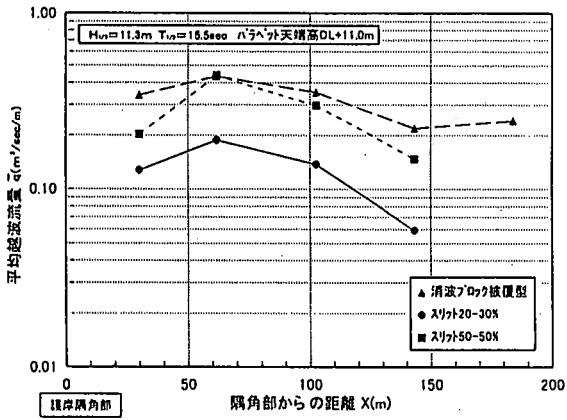


図-9 平均越波量の沿岸方向分布

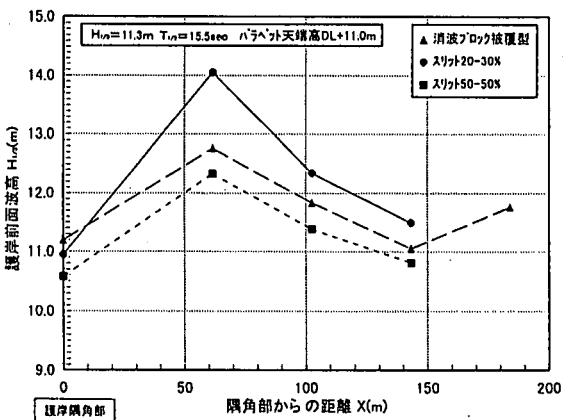


図-10 波高の沿岸方向分布

4. おわりに

上部スリット式護岸の越波量と反射特性について得られた知見を以下に示す。

- (1) 2次元の水理実験結果から、二重スリットの開口率20-30%のタイプで消波ブロック被覆型と比べて、越波量はほぼ同程度であり、反射波低減効果に優れることがわかった。開口率50-50%のタイプは、越波量はやや大きくなるが、さらに反射波低減効果に優れることがわかった。
- (2) スリットとパラペットに取り付けた波返しの効果が大きいことがわかった。
- (3) 平面の水理実験結果から、斜め入射波が卓越するような条件では、みかけ上のスリットの開口率が変化し越波量は減少するが、逆に反射率が悪くなることがわかった。二重スリットの開口率50-50%のタイプでは、消波ブロック被覆型と比べて越波量はほぼ同程度であり、やや反射波低減効果に優れることがわかった。

なお、二重スリットタイプで、消波ブロック被覆型と比べると工事費を約25%削減できる。

今後は、波向を変えた場合の越波と反射波の特性を把握するとともに、スリットとパラペットに作用する波力の特性について水理実験により把握し、その構造安定性について検討するものとする。

最後に、(株)日本工業試験所所員にはスリットの製作および実験計測に尽力して頂いたことを付記し、謝意を表する次第である。

参 考 文 献

1) 山口晶敬・外山進一・鶴谷広一・岸良安治(1979)；縦型スリットケーソンの越波および反射特性について，第26回海岸工学講演会論文集，pp.281-284
2) 谷本勝利・吉本靖俊(1982)；スリットケーソンの反射率に及ぼす諸要因の影響，第29回海岸工学講演会論文集，pp.389-393