

上部スリット式護岸の越波特性について

WAVE OVERTOPPING OF BLOCK MOUND SEAWALLS WITH SLIT WALLS

北野正夫¹・八木典昭²・岡村英貴³・目見田哲⁴

Masao KITANO, Noriaki YAGI, Hideki OKAMURA and Tetsu MEMITA

¹ 工修 関西電力㈱ 土木建築室副調査役 (〒530-8270 大阪市北区中之島3丁目2番22号)

² 正会員 関西電力㈱ 総合技術研究所 (〒661-0974 尼崎市若王寺3丁目11番20号)

³ 関西電力㈱ 総合技術研究所 (〒661-0974 尼崎市若王寺3丁目11番20号)

⁴ 正会員 工修 関西電力㈱ 総合技術研究所主任研究員 (〒661-0974 尼崎市若王寺3丁目11番20号)

A series of hydraulic model experiments were conducted to investigate the wave overtopping characteristics of a block mound seawall with double slit walls. Wave overtopping was reduced by the slit walls on concrete caisson. Furthermore, the effective shape of slit wall (opening ratio, crest elevation, location) was found to reduce the wave overtopping.

Key Words : Wave overtopping, Block mound seawalls, Slit wall, Hydraulic model experiment

1. はじめに

護岸は背後地の利用の安全性を考慮した設計が大切であり、景観や構造設計の合理性の面から、護岸の天端高さを低くすることが要求される場合、越波排水路を設計するための越波量をより正確に把握する必要がある。

著者らは、上部スリット式護岸について不規則波を用いた断面実験と平面実験を行い越波特性を検討し、スリット壁を2列設置した上部スリット式護岸において、消波ブロック被覆堤と比べて平均越波流量はほぼ同程度であることを確認した¹⁾。

人工島式防波護岸の消波ブロック被覆堤については、榊山らは隅角部を有する人工島模型を対象として不規則波を用いた平面実験を行い護岸沿いの平均越波流量の特性を検討し²⁾、関本らは不規則波を用いた断面実験を行い短時間越波流量の特性を検討している³⁾。

本研究では、スリット壁を2列設置した上部スリット式護岸の越波特性をさらに検討するために、越波排水路の外壁（以下パラペットという）の天端高さやスリット壁の開口率（スリット壁を柱の列と見たときの隙間の割合）、設置位置、天端高さを変化させて、複数の波浪条件で断面実験を行い平均越波流量と最大越波流量を検討し、その一部について斜め入射波による平面実験を行い隅角部を有する人工島の護岸沿いの平均越波流量を検討した。

2. 実験の概要

(1) 実験水槽および海底地形

断面実験は図-1に示す関西電力㈱総合技術研究所の造波水路（長さ50.0m×幅1.0m×高さ1.2m）を用いて行った。このときに、模型縮尺は、水槽の大きさ、造波機の性能を勘案して1/80とした。造

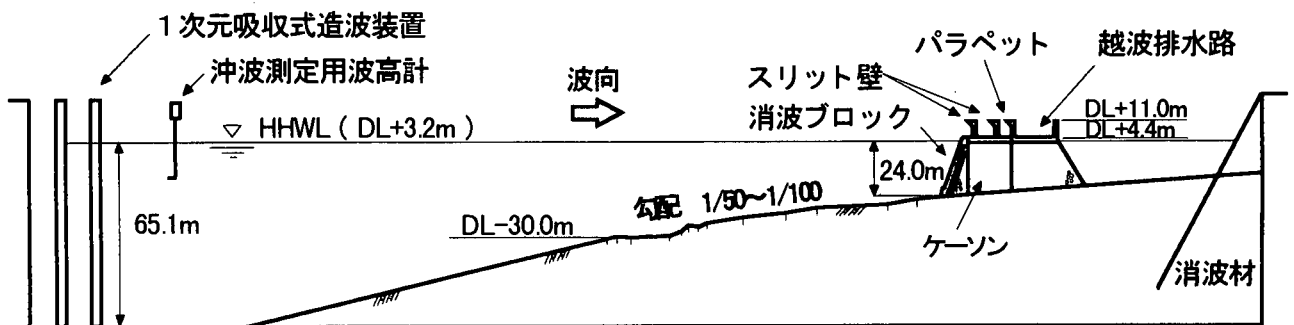


図-1 実験水槽および海底地形（断面実験）

平面実験は図-2に示す関西電力(株)総合技術研究所の平面水槽(長さ29.6m×幅18.0m×高さ0.8m)を用いて模型縮尺は断面実験と同じ1/80として行った。平面水槽には、多方向不規則波造波装置(造波板幅30cm×60枚)より約4m離れた位置から約18m×約22mの範囲に地形モデルを設置し、越波量が最も多くなると考えられる隅角部付近を抽出した模型とした。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ない上部スリット式護岸とした。なお、入射波が地形モデルに到達するまでにエネルギーが拡散することを防止するため、造波装置の両端から導波板を設置しているが、護岸からの反射波が導波板で再反射することの防止のために一部については透過性導波板とする。

図-3に上部スリット式護岸の断面図の一例を示す。ケーソン(天端DL+4.4m、幅約20m)前面を消波ブロック(アクロポッド64t)で被覆し、

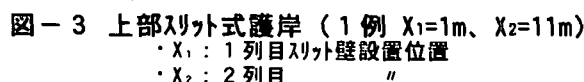


スリット壁とパラペットには越波低減効果を期待して波返しを取付けた。

断面実験、平面実験とも、すべての不規則波の周波数スペクトルはBretschneider-光易型とし、波浪条件を表-1に示した。

平面実験では設計波（隅角部の位置で護岸に約80°（直角入射を90°）で作用する単一方向不規則波、ケース3'）とした。なお、水深24mでの波長（ $L_{1/3}$ ）は約210mである。

谷本らは、縦スリットケーソンについて規則波を用いた断面実験を行い、反射特性は構造（スリット壁の開口率や深さ、遊水室の幅等）や波浪条件（波高、周期）によって大きく影響を受けることを確認している⁴⁾。上部スリット式護岸についても波浪条件（有義波高、有義波周期）の影響を受ける可能性があるので検討を行う。



ケース	断面実験				平面実験
	1	2	3	4	3'
有義波高(m)	9.0	11.3		12.0	11.3
有義波周期(s)	15.5	14.0	15.5		15.5

(4) 検討手順

上部スリット式護岸を越波する様子を観察すると、スリット壁が波を崩すこと、波を遮へいすることで越波量を低減していると考えられるものの、その設置位置が越波量に及ぼす影響はわからない。

スリット壁やパラベットの天端高さは高いほど越波量を低減できるものの、景観の面、構造設計の合理性の面にも配慮して天端高さを決定するためには天端高さが越波量に及ぼす影響を検討する必要がある。

スリット壁の開口率は小さいほど越波量を低減できるものの、合理的な護岸の断面を決定するためには、開口率が越波量に及ぼす影響を検討する必要がある。

そこで、断面実験を中心に、一部については平面実験を行った。はじめに2列のスリット壁のそれぞれの設置位置を変えて実験を行い、設置位置と越波量の関係を検討する。つぎに、スリット壁の天端高さを変えて実験を行い、天端高さと越波量の関係を検討する。最後に、スリット壁の開口率とパラベットの天端高さの両方を変化させて実験を行い、天端高さと越波量の関係を検討すると共に合理的な開口率を検討する。

(5) 測定項目

断面実験ではすべての波浪条件で護岸の平均越波流量を測定し、設計波では同時に最大越波流量（1波ごとの越波流量の最大値）も測定した。平面実験では設計波で護岸沿いの平均越波流量を測定した。

断面実験、平面実験とも1回の測定時間を約1時間（模型で約410sec）とし、約270波を対象にして実験を行い、再現性を確認するため測定回数は2回とした。

平均越波流量は護岸背面に設置した升の実験前後の水位差から求めた。

また、最大越波流量は護岸背面にロードセルを介して升を吊し、一波ごとの越波量を測定し越波量の時間変化を示す瞬間越波波形を作成する。ここでは、1波ごとの越波量を、越波した波の護岸前面でのゼロアップクロスにより整理した周期で除して1波ごとの越波流量を求め最大値を最大越波流量とした。なお、代表周期 T （越波は比較的波高の大きい領域を対象とした現象であることから代表周期として有義波周期を採用）による瞬間越波波形の移動平均の最大値を最大越波流量とする場合もある³⁾。

3. 実験結果および考察

(1) スリット壁の設置位置と越波量の関係

パラベット（越波排水路の外壁：天端DL+11.0m）からケーソン前面の約20mの間で、スリット壁（開口率50%、天端DL+11.0m）の設置位置（ X_1 、 X_2 ）を変更して越波量に及ぼす影響を検討するために、断面実験と平面実験を行った。

図-4は断面実験で、1列目スリット壁の設置位置が $X_1=1\text{m}$ 、 $X_1=6\text{m}$ のそれぞれについて、2列目のスリット壁の設置位置（ X_2 ）を変更し、設計波を用いて測定した平均越波流量を示す。

図-5は平面実験でも設計波を用いて断面実験と同様の検討を行い、隅角部からの回折波の影響を強く受けていると思われる護岸沿いの平均越波流量が多い位置（ $X=60\text{m}$ ）での平均越波流量を示す。

図-4に示すように、断面実験では1列目のスリット壁の設置位置が $X_1=1\text{m}$ でも $X_1=6\text{m}$ でも2列目スリット壁の設置位置が同じであれば平均越波流量はほぼ同じであること、2列目スリット壁がパラベットに近ければ平均越波流量は多いことから、1列目に比べて2列目のスリット壁の

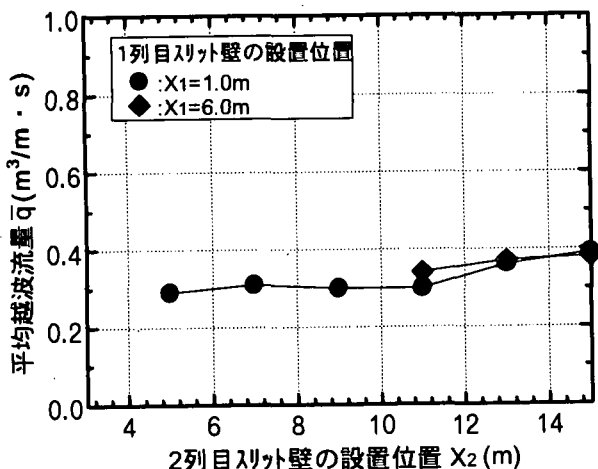


図-4 スリット壁の設置位置と平均越波流量の関係
(断面実験)

- ・スリット壁開口率 50%-50%
- ・スリット壁、パラベット天端 DL+11.0m

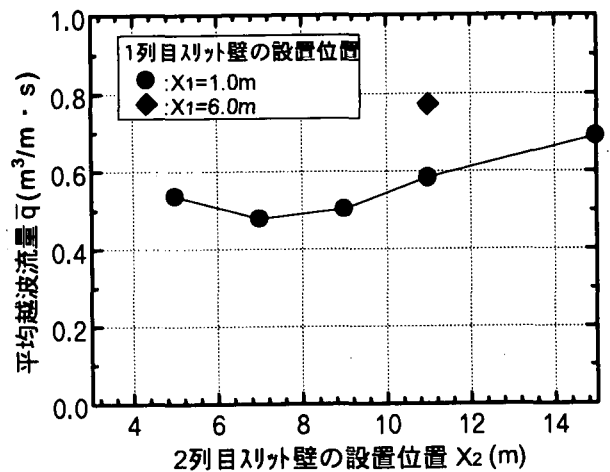


図-5 スリット壁の設置位置と平均越波流量の関係
(平面実験：隅角部からの距離 $X=60\text{m}$)

- ・スリット壁開口率 50%-50%
- ・スリット壁、パラベット天端 DL+11.0m

設置位置が平均越波流量に強い影響を及ぼすことがわかった。ここで、スリット壁の設置位置と平均越波流量の関係について詳しく見ると、設計波では1列目のスリット壁がケーソン前面に近い $X_1=1\text{ m}$ の場合、2列目スリット壁の設置位置を $X_2=5\text{ m}\sim 11\text{ m}$ で変化させても平均越波流量はほとんど同じであるが、これに対して1列目のスリット壁をややパラペットに近づけ $X_1=6\text{ m}$ 、 $X_2=11\text{ m}$ とすると平均越波流量がやや多くなる。ここで、波浪条件を変えても $X_1=1\text{ m}$ の場合 $X_2=5\text{ m}\sim 9\text{ m}$ に比較して $X_2=11\text{ m}$ で平均越波流量がやや多くなるものの、設計波の場合とほとんど同じ傾向が見られ、断面実験による最大越波流量についても平均越波流量と同様の傾向が見られた。

図-5に示すように、平面実験では $X_1=1\text{ m}$ 、 $X_2=11\text{ m}$ と比較して、1列目のスリット壁の設置位置をややパラペットに近づけた $X_1=6\text{ m}$ 、 $X_2=11\text{ m}$ とした場合、断面実験で見られた1列目のスリット壁の設置位置による平均越波流量の差が大きく現れ約3割増えた。これは、護岸へ直角に入射する波と比較して斜めに入射する波は消波ブロック部を低い水位で遡上するために、波の峰は下の方から1列目のスリット壁へ衝突し通過した水塊が直接越波排水路へ飛び込み越波するので、1列目のスリット壁が越波排水路に近づくと平均越波流量が増えると考えられる。一方、護岸へ直角に入射する波の峰は消波ブロック部を高い水位で遡上し、1列目のスリット壁へ上の方から衝突し、ケーソン天端に落下した水塊が越波するので、1列目のスリット壁の設置位置の影響はほとんど見られない。ここで、1列目スリット壁の設置位置を $X_1=1\text{ m}$ として、2列目スリット壁の設置位置の影響について検討すると、平面実験でも断面実験とほぼ同じ傾向が見られ、 $X_2=5\text{ m}\sim 11\text{ m}$ では越波低減効果はほぼ同じであるがパラペットに近い $X_2=15\text{ m}$ ではその効果が低かった。

平面実験の $X=30\text{ m}$ や $X=100\text{ m}$ でも、 $X=60\text{ m}$ と同様の傾向を示した。

ここでは、1列目スリット壁、2列目のスリット壁ともパラペット（ケーソン前面より約20mに設置）に過ぎる位置に設置すると越波低減効果は低かった。また、 $X_1=1\text{ m}$ では、 $X_2=5、7、9、11\text{ m}$ いずれでも平均越波流量はほぼ同じであった。

(2) スリット壁の天端高さとの関係

越波排水路の能力を同一とするためにパラペットの天端はDL+11.0mとし、スリット壁（開口率50%～50%、 $X_1=1\text{ m}$ 、 $X_2=11\text{ m}$ ）の天端高さが越波量に及ぼす影響を検討するために、断面実験と平面実験を行った。

図-6はスリット壁の天端高さを変化させ、設計波を用いて平面実験で測定した護岸沿いの平均越波流量および断面実験による平均越波流量を示す。

図-6に示すように断面実験でも平面実験でも、スリット壁の天端が低くても越波低減効果があり、スリット壁の天端を高くするにつれて越波低減効果は高くなることを確認した。なお、断面実験による最大越波流量にも同様の傾向が見られる。平面実験で測定した平均越波流量は護岸沿いに変動し、隅角部に最も近く巻き込みの影響を強く受けていると思われる $X=30\text{ m}$ ($0.14L_{1/3}$)では平均越波流量が少ないが、隅角部からの回折波の影響を強く受けていると思われる $X=60\text{ m}$ ($0.29L_{1/3}$)付近では平均越波流量が多く、隅角部からの回折波の影響が弱くなり斜め入射波による越波量の低減効果が強く現れていると思われる $X=100\text{ m}$ ($0.48L_{1/3}$)付近では平均越波流量が断面実験とほぼ同じであった。

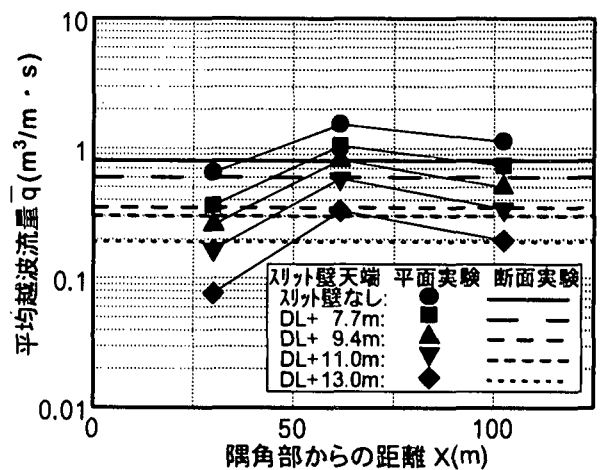


図-6 スリット壁の天端高さとの関係
(平面実験と断面実験)
・スリット壁開口率 50%～50%
・パラペット天端 DL+11.0m

(3) パラペットの天端高さとの関係

スリット壁の高さが越波低減効果へ影響を与えないように天端をDL+11.0mで一定とし、スリット壁 ($X_1=1\text{ m}$ 、 $X_2=11\text{ m}$) の開口率およびパラペットの天端高さが越波量に及ぼす影響を検討するために、断面実験と平面実験を行った。

図-7は断面実験で、スリット壁の開口率20%～30%、50%～50%、75%～75%、90%～90%、スリット壁なしのそれぞれについて、パラペットの天端高さを変更して設計波を用いて平均越波流量を測定した結果を示す。

図-8は平面実験でも設計波を用いて断面実験と同様の検討を行い、隅角部からの回折波の影響を強く受けていると思われる護岸沿いの平均越波流量が多い位置 ($X=60\text{ m}$) での平均越波流量を示す。

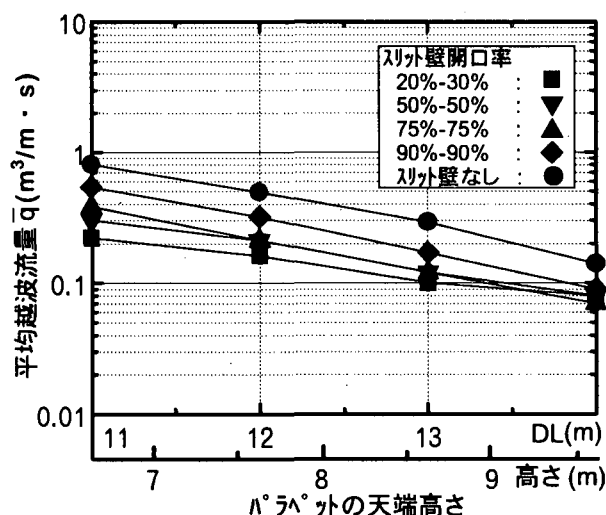


図-7 パラベットの天端高さと平均越波流量の関係
(断面実験)
・スリット壁天端 DL+11.0m

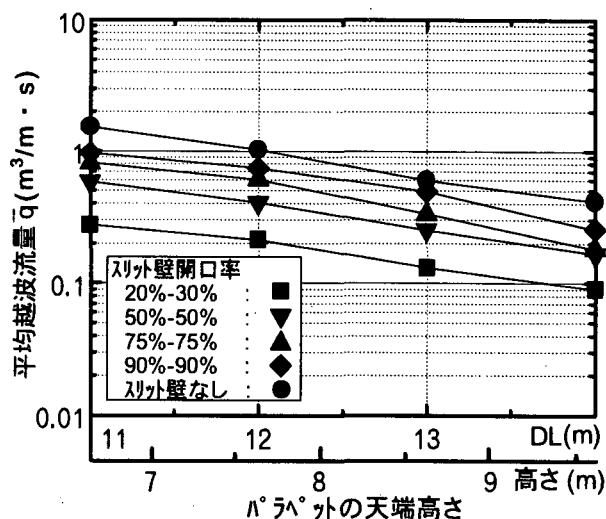


図-8 パラベットの天端高さと平均越波流量の関係
(平面実験：隅角部からの距離 X=60m)
・スリット壁天端 DL+11.0m

図-7および図-8に示すとおり、断面実験でも平面実験でもスリット壁を設置することによってパラベットの天端高さが低くても平均越波流量を減らすことができる。例えば、スリット壁を設置せずにパラベット天端をDL+13.0mと高くしたタイプと、開口率50%-50%のスリット壁を設置しパラベット天端をDL+11.0mとしたタイプを比較すると平均越波流量がほぼ同じであり、パラベットの天端高さを約2m低くできる。

ここで、パラベットの天端高さやスリット壁の開口率が平均越波流量に与える影響について検討した。図-7および図-8に示すとおり、断面実験でも平面実験でもパラベットの天端を高くすることで平均越波流量は少なくなり、パラベットの天端高さに関わらずスリット壁による越波低減効果がみられた。なお、パラベットの天端DL+11.0mではスリット壁の開口率は小さいほど平均越波流量は少なくなるものの、パラベットの天端を高くするに従ってスリット壁の開口率による平均越波流量の差は徐々に小さくなった。これは、パラベットの天端が高い場合はスリット壁よりもパラベットによる越波低減効果の影響が強いためと考えられる。なお、平面実験ではパラベットの天端が高い場合のスリット壁の開口率による平均越波流量の差は、断面実験に比べて大きかった。

ここで、断面実験で波浪条件を変えても設計波の場合とほとんど同じ傾向が見られ、断面実験による最大越波流量についても平均越波流量と同様の傾向が見られた。平面実験のX=30mやX=100mでも、X=60mと同様の傾向を示した。

(4) 平均越波流量と最大越波流量の関係

同一波高(設計波)で断面実験を行い、上部スリット式護岸の形状の影響は平均越波流量と最大越波流量の両方にあらわれ、適切な位置にスリット壁を設置し、スリット壁の開口率を小さくすること、パラベットやスリット壁の天端を高くすることで、平均越波流量も最大越波流量も低減することができた。

図-9は断面実験で、上部スリット式護岸の形状(パラベットの天端高さ、スリット壁の開口率、設置位置、天端高さ)を変えて設計波を用いて測定した平均越波流量と最大越波流量の関係を示す。

図-9に示すとおり、平均越波流量は0.07~0.8 m³/m·sの範囲に、最大越波流量は1.8~4.7 m³/m·sの範囲に分布し、平均越波流量が増加するに従って、最大越波流量も増加する傾向が見られた。なお、平均越波流量に比べて最大越波流量の変化は小さかった。

図-10は平均越波流量と、それに対する最大越波流量の比率を示す。

図-10に示すとおり平均越波流量が0.07~0.8 m³/m·sの範囲に分布し、最大越波流量は平均越波流量の6~26倍となった。平均越波流量に比べて最大越波流量の変化は小さいため、平均越波流量の増加に従って、平均越波流量に対する最大越波流量の比率は徐々に減少する傾向が見られた。

関本らは、高波浪の来襲する比較的水深の深い位置に設置される人工島の防波護岸(消波ブロック被覆堤)における最大越波流量は平均越波流量の5~12倍程度と報告している³⁾。今回の実験結果においても、平均越波流量が0.3~0.8 m³/m·sと多い範囲では、関本らの結果と同様であった。

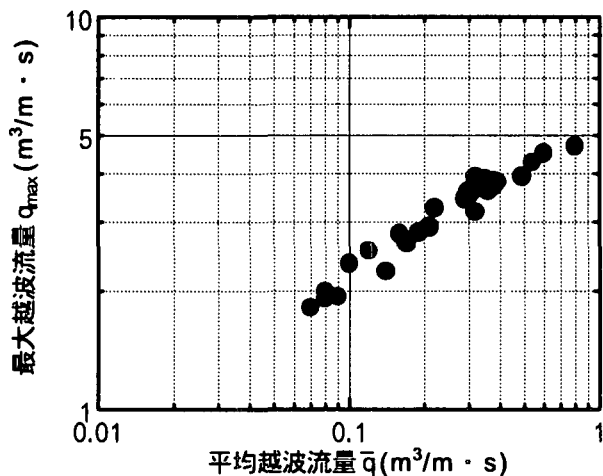


図-9 平均越波流量と最大越波流量の関係
(断面実験)

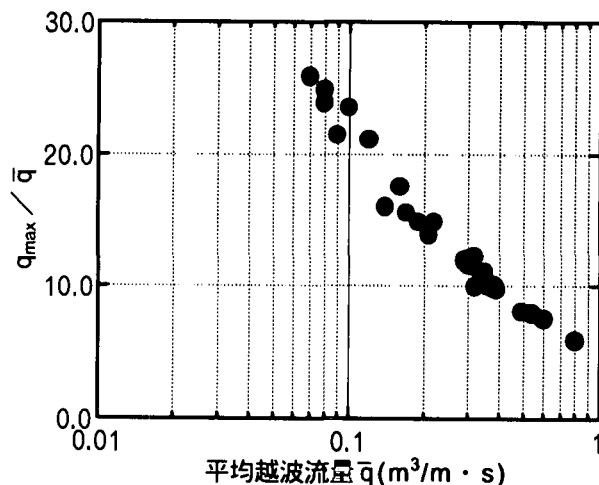


図-10 平均越波流量に対する最大越波流量の比率
(断面実験)

4. 結論

上部スリット式護岸の越波特性について得られた知見を以下に示す。

- (1) スリット壁を設置することによってパラベット（越波排水路の外壁）の天端高さが低くても平均越波流量を減らすことができる。例えば、スリット壁を設置せずにパラベット天端をDL+13.0mと高くしたタイプと、スリット壁（開口率50%、天端DL+11.0m）を2列設置しパラベット天端をDL+11.0mとしたタイプを比較すると平均越波流量がほぼ同じであり、パラベットの天端高さを約2m低くできる。
- (2) 1列目スリット壁、2列目のスリット壁ともパラベット（ケーソン前面より約20mに設置）に近すぎる位置に設置すると越波低減効果は低かった。
- (3) 平均越波流量が増加するに従って、最大越波流量も徐々に増加するが、平均越波流量に比べて最大越波流量の変化は小さいため、平均越波流量に対する最大越波流量の比率は徐々に減少する傾向が見られた。平均越波流量は $0.07 \sim 0.8 \text{ m}^3/\text{m} \cdot \text{s}$ の広い範囲に分布するが、平均越波流量が多い範囲に限定すると、関本らによる消波ブロック被覆堤の結果³⁾と同様であった。

謝辞：計測にあたっては(株)日本工業試験所 内西博氏、新幸 弘行氏の協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 筒井勝治, 北野正夫, 八木典昭, 目見田哲, 殿最浩司：上部スリット式護岸の越波および反射特性について, 海洋開発論文集, vol.13, pp.615-619, 1997.
- 2) 榊山勉, 鹿島遼一, 窪泰浩：多方向不規則波に対する人工島防護護岸の越波特性と耐波特性, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.656-660, 1994.
- 3) 関本恒浩, 国栖広志, 清水琢三・京谷修・鹿島遼一：人工島防護護岸の短時間越波特性について, 海岸工学論文集, 第39巻, pp.581-585, 1992.
- 4) 谷本勝利, 吉本靖俊：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, 1982.

(1999.4.19受付)