

後部パラペット堤の越波特性と 背後マウンド部の安定性

STABILITY OF ARMOR UNITS ON A HARBOR-SIDE MOUND AGAINST WAVE OVERTOPPING WITH BACKWARD PARAPETS

早川哲也¹・木村克俊²・林忠志³・土井善和⁴・渡部靖憲⁵

Tetsuya HAYAKAWA, Katsutoshi KIMURA, Tadashi HAYASHI,
Yoshikazu DOI and Yasunori WATANABE

¹正会員 北海道開発局 開発土木研究所 (〒062-0931 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

²正会員 工博 北海道開発局 開発土木研究所

³工修 北海道開発局 開発土木研究所

⁴北日本港湾コンサルタント株式会社

⁵正会員 工博 北海道大学大学院助手 工学研究科

The high mound is sometimes constructed behind a composite breakwater in order to increase the sliding resistance and utilize the mound for an aquacultural purpose. The high mound must be covered by armor units with adequate weight to prevent from scattering by overtopping waves. However, the shallower is the submerged depth of the mound, the heavier become the armor units.

This study proposed a backward parapet as a countermeasure to reduce weight of armor units. A numerical simulation showed the difference in the velocity field behind the caisson between the backward and forward parapet. With the backward parapet, large-scale eddies were not observed and the velocity on the mound was slower than that of the forward parapet. Furthermore, hydraulic model tests showed that the stable weight was approximately 40% less than that of the forward parapet.

Key Words : Backward parapets, armor units, wave overtopping

1. はじめに

近年, 我が国の沿岸域では自然環境との調和を目指した港湾施設整備が進められており, この一環として釧路港において図-1に示すような水産協調型防波堤の建設が進められている. この構造は, 混成堤の背後に浚渫土砂を用いて天端の高いマウンド部を設け, 藻場の創出を図るというものである. 加えてこの構造では, 裏込め土圧による滑動抵抗力が増加するため, 直立部の重量を低減することが可能となる.

藻類の光合成を促進させるためには, 背後マウンド部の天端水深をできるだけ浅くする必要があることから, 越波水の打ち込みに対する背後マウンド

の安定性の確保が重要な課題となる.

背後マウンド被覆材として碎石を用いた場合については, 早川ほか¹⁾により安定重量の算定法が提

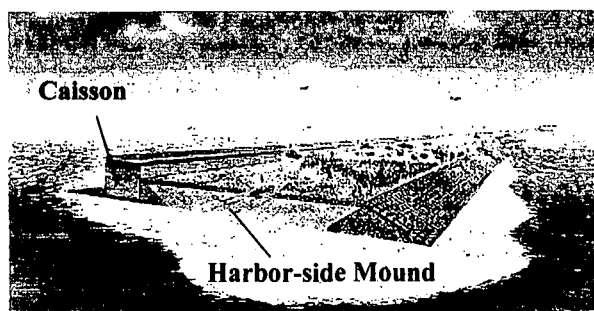


図-1 水産協調型防波堤

案されている。しかしながら、背後マウンド天端水深が浅くなるとともに安定重量が急激に増加するため、条件によっては被覆材の施工が経済的に難しくなる場合がある。

そこで本研究では、越波量が減少する「後部パラペット堤」²⁾に着目し、数値計算により越波水の打ち込みによる流体運動を明らかにするとともに、水理模型実験により背後マウンド被覆材の安定性について検討する。

2. 越波水の打ち込みによる流体運動

(1) 数値計算方法

越波水の打ち込みに伴う複雑な流体運動を再現するため、渡部・佐伯³⁾と同様な数値計算を行った。この手法は、Navier-Stokes 式を支配方程式とし、自由水面の決定を密度関数法により行う直接数値計算であり、数値拡散を低減させるため移流計算において CIP (cubic-polynomial interpolation) 法を適用している。

計算領域は図-2 に示すように、堤体前面から造波境界までの無次元距離 l_a/h を 16.84、堤体背面から透過境界までの無次元距離 l_b/h を 6.00 とした。堤体形状はパラペットが港外側に設置されている通常堤および後部パラペット堤の2種類とし、上部工および港内側マウンドの構造条件は後述する水理模

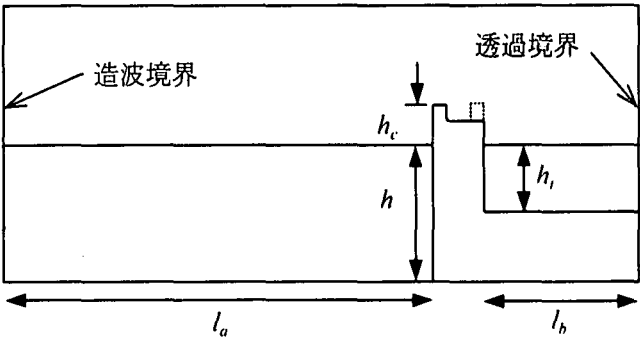


図-2 数値計算領域

型実験に合わせた。

造波境界条件としては楕円関数の母数 m を 0.979 とした2次のクノイド波理論を用いた。波高水深比 H/h が 0.5、水深 h を代表長としたレイノルズ数は 1,359,000 であり、これは実験スケールで波高 $H=29\text{cm}$ 、周期 $T=2.6\text{s}$ の波に相当する。

底面および堤体はノンスリップ条件とし、格子間隔 $\Delta x/h=0.03$ および $\Delta y/h=0.03$ 、タイムステップ $\Delta t/T=1/1024$ により計算を行った。

(2) 港内側における流速の空間分布

図-3 a, b は、通常堤および後部パラペット堤における $T/4$ ごとの流速ベクトルの空間分布であり、横軸は堤体港内端からの無次元距離 X/h を示している。通常堤 (図-3 a) においては、①のように堤

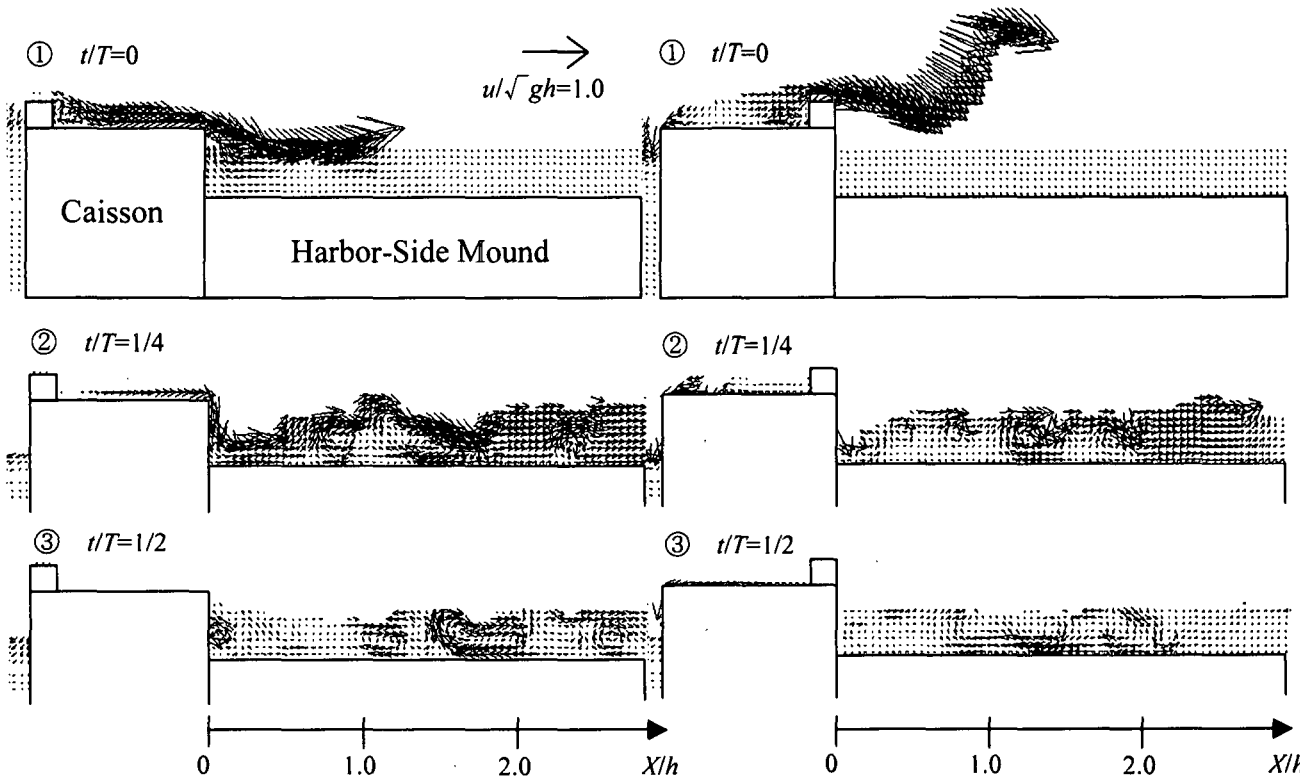


図-3 a 速度ベクトル分布 (通常堤)

図-3 b 速度ベクトル分布 (後部パラペット堤)

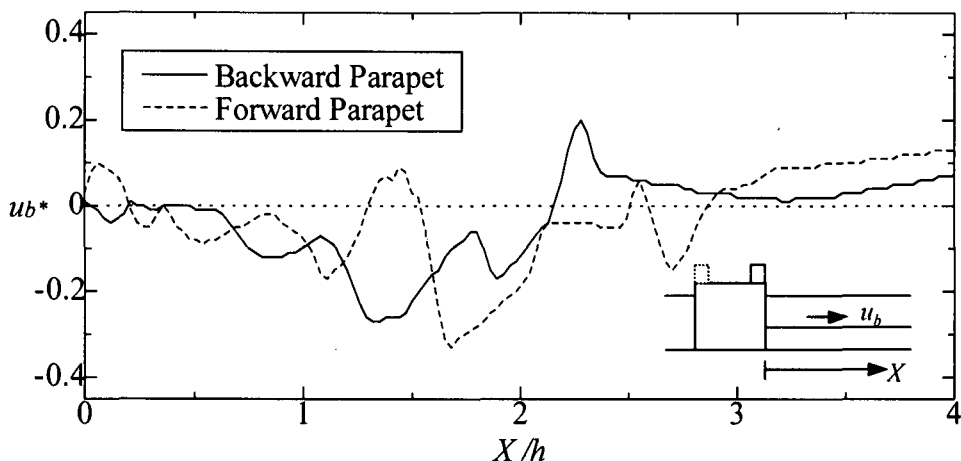


図-4 港内側マウンド天端上流速

体天端上を流れた越波水が $X/h=0.8$ 付近において堤体背後の水面へ打ち込む。その後、スプラッシュアップの繰り返しによって②のような複数の渦が発生する。これらの渦は互いに干渉し、③のように $X/h=1.8$ において大規模な負の渦が見られ、港内側マウンド近傍の流速も大きくなっている。また、 $X/h=1.2$ および 2.7 付近においても負の渦が見られ、これらの渦の間にはせん断力により誘発された正の渦も確認できた。

これに対して、後部パラペット堤（図-3b）の場合、越波水がパラペットに衝突し、①のように大きく飛散する。このため、堤体背後での越波水の流入箇所が集中せず、②のように水面付近に複数の渦が発生する。これらの渦は通常堤と比較すると小規模であり、マウンド天端近傍の流体運動に対する影響も小さい。また、その後の③においても大規模な渦が見られず、背後マウンド近傍の流速も通常堤より小さくなる。

図-4は、背後マウンド近傍での流速が最大となる時刻（図-3の $t/T=1/2$ ）における、堤体からの無次元距離 X/h と背後マウンド近傍無次元流速 u_b （ $=u_b/\sqrt{gh}$ ，正が岸方向の流速）の関係を示したものである。通常堤および後部パラペット堤ともに、 $X/h=2.0$ 付近までの流速はほぼ負の値で増減を繰り返している。

これは前述した負の渦およびそれに誘発された正の渦の影響であり、極大・極小値をとる X/h は渦の発生箇所と一致している。また、後部パラペット堤における最大流速は $u_b = -0.27$ （ $X/h=1.3$ ）であり、通常堤における $u_b = -0.33$ （ $X/h=1.7$ ）の80%程度の値を示す。また、後部パラペット堤の $X/h=2.3$ 付近では、負の流速のピーク値より小さいものの、正の流速が卓越しており通常堤より大きな値を示している。

3. 被覆材の安定性

(1) 実験方法

水理模型実験は長さ85m、幅1.6m、高さ3.0mの二次元造波水路で行っており、勾配1/100のモルタル水路床上に図-5に示す通常堤および後部パラペット堤を設置した。水深 h は57.3cm、天端高 h_c は17.3cm、港内側マウンド天端水深 h_i は18.3cmである。

安定実験では、有義波高 $H_{1/3}$ が29cm、有義波周期 $T_{1/3}$ が2.6sの不規則波を3000波作用させ、背後マウンド被覆材の移動個数を測定した。被害率は堤体から岸方向に120cm（ $\approx 2h$ ）の範囲での被覆材総

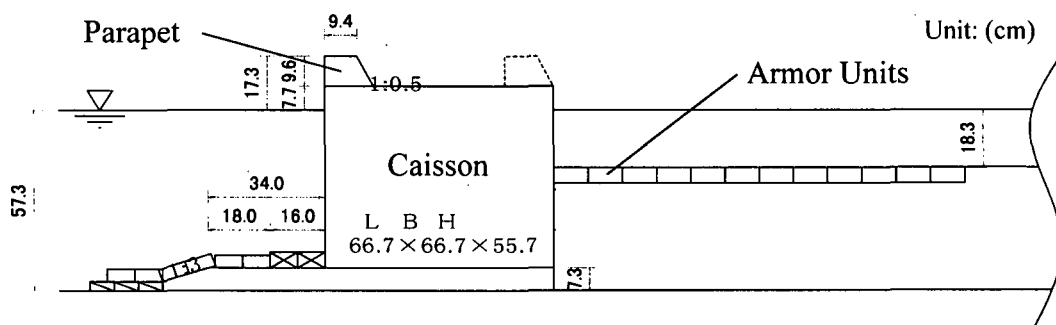


図-5 堤体模型断面

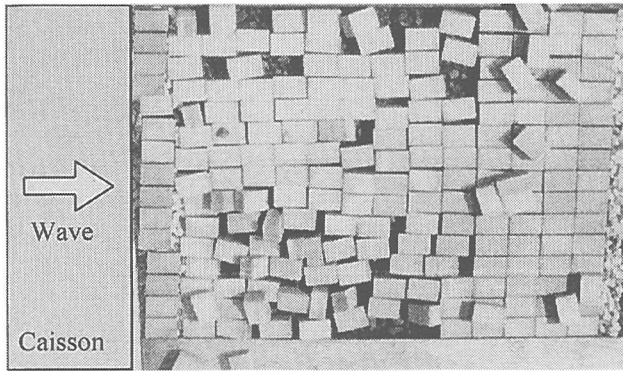


写真-1 a 被覆材の移動状況（通常堤）

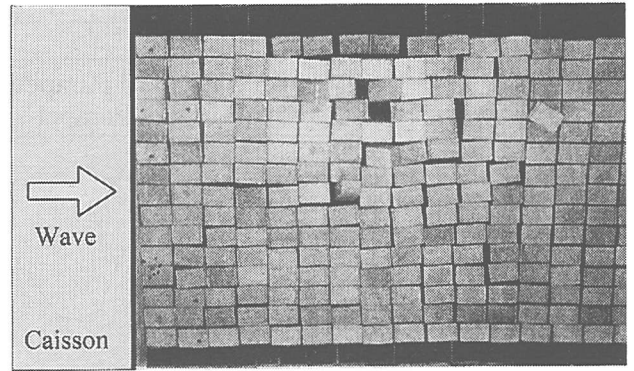


写真-1 b 被覆材の移動状況（後部パラペット）

数に対する移動個数の割合（%）で定義した。なお、使用した被覆材は長さ、幅および高さの比が、1.9 : 1.3 : 1.0 のモルタル製方塊ブロックであり、重量は 98, 143, 293, 388, 687, 904, 1012gf (0.96~9.9N) の 6 種類である。

(2) 被覆材の移動状況

写真-1 a, b は、通常堤および後部パラペット堤における 3000 波作用後の被覆材 ($W=293\text{gf}$, 2.9N) の移動状況である。写真-1 a に示す通常堤では、被害率 D が 39% となっている。多くの被覆材が堤体方向へ移動する傾向にあり、数値計算により明らかとなった負の渦の影響によるものと考えられる。これに対して、写真-1 b の後部パラペット堤においては、被害率 D が 10% と著しく減少しており、これは通常堤と比較して背後マウンド近傍の流速が小さくなるためと考えられる

写真-2 は、後部パラペット堤において被害率 D が 30% まで進行した状況である。写真-1 a の通常堤と比較すると、被覆材の移動箇所が集中する傾向にある。また、ほとんどの被覆材が岸方向へ移動する。

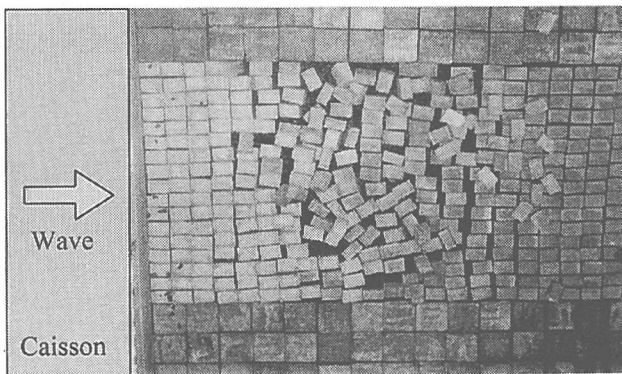


写真-2 後部パラペット堤の $D=30\%$ の状況

(3) 被覆材の安定重量

図-6 は、被覆材重量 W と被害率 D の関係を示したものである。 W の減少とともに D が急激に増加する傾向にある。安定限界 ($D=0\%$) となる W に着目すると、後部パラペット堤では $W=450\text{gf}$ (4.4N) であり、通常堤 ($h_f=18.3\text{cm}$) の $W=1012\text{gf}$ (9.9N) の 40% 程度となる。早川ほか¹⁾は、港内側マウンド被覆材の安定重量が流速の 3 乗に比例する式を提案しており、前章で示した後部パラペット堤におけるマウンド近傍流速の低減率 0.8 を考慮すると、安定重量は約 1/2 となり、実験結果とほぼ一致する。

4. まとめ

背後マウンド被覆材の重量を低減する方法の一つとして、後部パラペット堤を提案し、数値計算、水理模型実験により堤体背後の流体運動および被覆材の安定重量について検討した。主要な結果をまとめると以下ようになる。

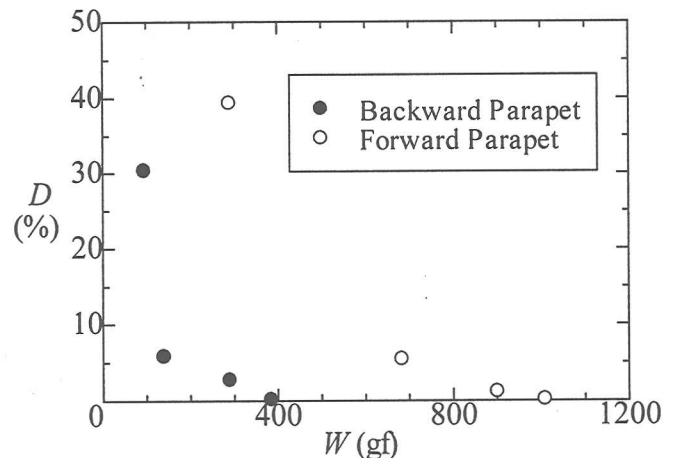


図-6 被覆材重量と被害率の関係

- ①後部パラペット堤の場合、越波水の飛散が大きいため、通常堤と比較して大規模な渦の生成が見られない。
- ②後部パラペット堤では、堤体方向の流速の最大値が通常堤の80%となる。
- ③通常堤においては、被覆材は越波水の打ち込みにより、堤体方向へ移動するものが多く、数値計算により得られた流れの傾向と一致する。
- ④後部パラペット堤においては、ほとんどの被覆材が岸方向へ移動する。
- ⑤後部パラペット堤における被覆材の安定限界重量は、通常堤の40%程度まで減少する。

自然環境との調和を考慮した港湾整備が進められている中で、混成堤の港内側に天端水深の浅いマウンドを設ける構造は、藻類に対する光・流れといった環境条件が良好であれば、藻場創出の有効な手段であると考えられる。後部パラペット堤は港内側マ

ウンド部の安定性を向上させることができ、積極的に適用されることが期待される。

今回の検討では、港内側マウンド部の安定性に対する後部パラペット堤の有効性を示した。今後さらに研究を進め、被覆材の安定重量算定法を提案したい。

参考文献

- 1) 早川哲也, 渡部靖憲, 鈴木孝信, 木村克俊, 土井善和, 工藤貴弘: 混成堤における越波水の打ち込み特性と被覆材の安定性, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 691-695, 1999.
- 2) 高田彰, 藤川浩生: パラペット後退型護岸のうちあげ, 越波および波圧の特性, 海岸工学論文集, 第25巻, pp. 283-287, 1999.
- 3) 渡部靖憲, 佐伯浩: 碎波帯内の流速場のダイレクション・ミュレーション, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 71-75, 1996.

(1999. 4. 19 受付)