

***** 正會員 工修 技研興業株式会社 技術研究部

堤および通水型矩形堤の反射率 C_r および透過率 C_t の波周期による変化を示す。周期に関する無次元量は、波長堤体幅比 L/B を用いた。図中には、断面2次元実験結果に加え、平面実験および算定結果も併せ示す。

この図から、遊水室型防波堤は通水型矩形堤に比較して、ほぼ全ての周期帯において反射率 C_r と透過率 C_t の両者が低くなることが分かる。このような傾向は、算定結果においても認められる。特に遊水室型防波堤の反射率は、特定の L/B の条件下で極小となるなど、その低減効果が著しい。このような極小反射率の出現は、既に明らかにされているように（中村ら、2003）、遊水室内のピストンモードの波浪共振による垂下版下部よりの強い渦流れの発生による。また、断面2次元の実験結果と平面実験のそれとを比較すると、両者はほぼ一致しており、平面波浪場でも遊水室型防波堤の効果が同様に発揮できていることが確認できる。

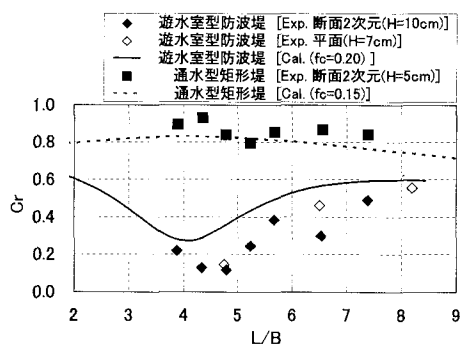


図-3 反射率 C_r の特性 ($B_w = 25$ cm, $B = 50$ cm)

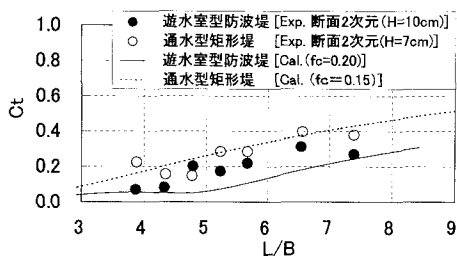


図-4 透過率 C_t の特性 ($B_w = 25$ cm, $B = 50$ cm)

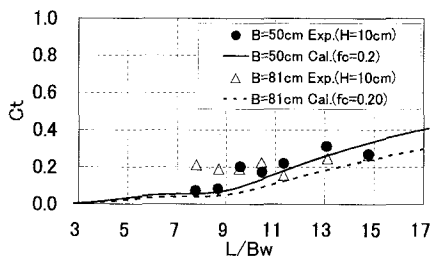


図-5 堤体幅 B を変化したときの透過率 C_t (断面2次元, $B_w = 25$ cm)

図-5 は、遊水室背後の重量部の長さを延伸して堤体幅 $B = 81$ cm としたときの透過率 C_t の結果を、基本型のそれとの比較で示す。図中では、横軸に波長と両堤体で同一の遊水室幅 B_w の比を用いた。この図より、透過率は絶対値の小さな短周期側では、測定誤差によると考えられるバラツキが見られるものの、 L/B_w が10以上の長周期側において、実験、算定結果ともに堤体幅を増加させると透過率 C_t は小さくなる傾向にあることがわかる。これは、下部通路長を増加させることで、背後域へ波運動が伝わりにくくなることによると考えられる。このように、堤体幅を増加させることで、耐波安定性のみならず透過波の低減効果も増すことが分かる。一方、堤体幅による反射波の低減効果への影響は、ほとんど見られないことが確認されている。これは、堤体前面の遊水室の諸元が反射波の低減に卓越した影響を持つことによると考えられる。

(2) 港内の静穏化効果について

図-6 は模擬港湾に遊水室型防波堤および通水型矩形堤を設置した場合並びに堤体構造を全て不透過堤とした場合の港内平均波高比を示す。港内平均波高比は港内側の各測点（港口部を除く）における波高 H_x と入射波高の H の比の空間平均値とした。図中には、規則波と不規則波を用いた実験結果および算定結果を併せて示す。

この図の規則波の結果に着目すると、 L/B の小さな短周期側で港内波高は比較的大きく現れているが、これは港内水域の平面寸法と波長に關係する湾水振動によるものと考えられる。特にここでは、港内側の周辺境界の反射率が高反射条件になっているため、このような傾向が比較強く現れたものと推定される。

このときの堤体構造による比較を行うと、 L/B が6.5程度の条件下では構造体による差異はほとんど見られないが、さらに長周期の条件になるとやはり不透過堤の場合が静穏化効果は最も高い。これは透過構造のとき、図-4に示すように長周期側になると透過率が上昇するた

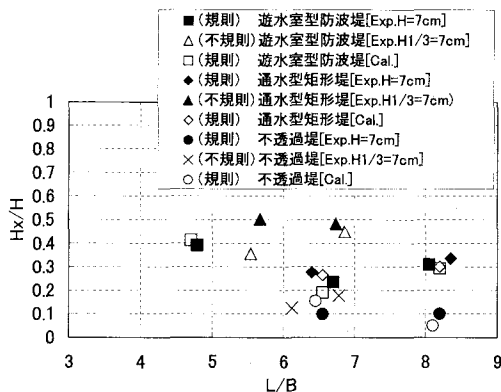
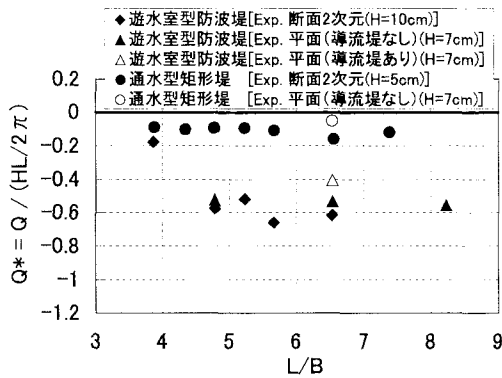
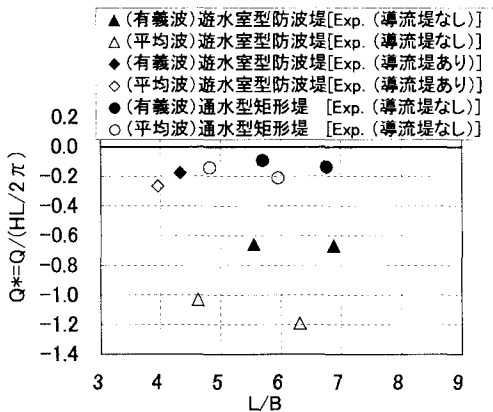


図-6 港内平均波高比

図-7 規則波に対する輸送流量 Q^* 図-8 不規則波に対する輸送流量 Q^* (平面実験 $H_{1/3}=7$ cm)

めと考えられる。そして、遊水室型防波堤と通水型矩形堤の結果を比較すると、両者には有意な差が認められない。

一方、不規則波の作用下では、透過構造のとき、静穏化効果は低下する傾向にある。これは、不規則波では各種の周期成分波を含むことから、上記した湧水振動の影響を受けやすく、港内波高が増加するものと推定される。

このように外郭防波堤の一部に透過構造の防波堤を用いるときには、ある程度の透過波の影響は避けられず、港内の低反射構造化あるいは計画段階での湧水振動の特性の把握などが必要と考えられる。

5. 海水交換機能について

(1) 通水機能の定量的な検討

図-7は、遊水室型防波堤および通水型矩形堤の通水部において計測した水平流速から求めた無次元輸送流量 Q^* を示す。図中には、断面2次元実験結果に加え、平面実験結果も併せて示し、それらの L/B による変化で示す。 Q^* は単位幅輸送流量 q を進行波による半周期間の移動水塊量 $HL/2\pi$ で除したものである。ここでは冲向きへの流れを負と定義している。

この図より、遊水室型防波堤は、1波あたりの無次元平均流量が0.6以上であるなど、海水交換機能に優れていることがわかる。この海水交換機能は、通水型矩形堤と比較すると、5倍以上の能力に相当する。そして、遊水室型防波堤の輸送流量は、長周期側になると増大する傾向にあることなども認められる。

一方、断面2次元実験と平面実験の輸送流量の結果を比較すると、防波堤形式に関係なく両結果はほぼ等しく、平面波浪場の港湾域でもほぼ同等の効果が得られることが分かる。ただし、模擬港湾に導流堤を設置した場合、1割程度の輸送流量の減少が見られる。これは、導流堤を設置することで、港内の平均流に対する負荷が大きくなり、結果として輸送流量が減少したものと考えられる。

図-8は模擬港湾における不規則波実験に対する平均輸送流量の結果を示す。無次元輸送流量 Q^* の算出には、平均波および有義波の諸元の両者を用いて求めてみた。この図より、遊水室型防波堤と通水型矩形堤の輸送流量の実験結果を比較すると、規則波の場合と同様に、遊水室型は有意な海水交換機能を持つことが確認できる。また、図-7の規則波に対する平面実験結果と比較すると、不規則波に対する輸送流量は、遊水室型防波堤、通水型矩形堤ともに、不規則波の代表波として有義波を用いる方が両結果の対応のよいことが認められる。

(2) 港湾域の流れについて

図-9、10は、模擬港湾において観測した港湾域のフロートの移動軌跡を示す。図中の軌跡は、2sごとにプロットしており、計300s間の流跡線を示す。また、図中には代表的な地点における、フロートの移動距離と時間から求めた無次元の平均表面流速 U^* を示す。 U^* は、進行波の静水面位置での水平流速振幅 ($= \pi H/T \cdot \coth(kh)$) で無次元化した量に相当する。

これらの図より、遊水室型防波堤を設置した場合、港口部(図中の中央下方)より港内に向かって水が流入し、防波堤より港外側に流出する様子が確認できる。また、港口部よりの流入水の一部は、港内で循環流を形成することも認められる。

陸域側港奥への港外水の導入を目的として、波除堤を兼ねた導流堤を設置すると、図-10に見られるように、導流堤に沿った湾奥に向かう流れが形成され、設置しない場合と比較して循環流の回転方向が反対になるなど、港内の流況は大きく異なるようになることが分かる。このような検討から、港内の海水交換を効果的に進めるには、断面2次元の海水交換機能のみならず港内での平均流の平面的な流況を考慮した港内施設の配置等の検討が重要になると言える。

図-11は、模擬港湾における複数測定点の濃度変化の平均値を各波条件について示す。図中では、濃度を造波

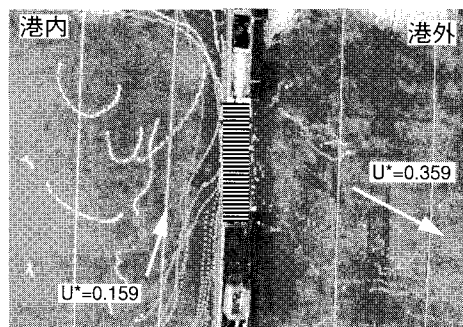


図-9 遊水室型防波堤付近の流況(導流堤なし)
($T=1.8$ s, $H=7$ cm 露出間隔2 s 毎に300 s 間)

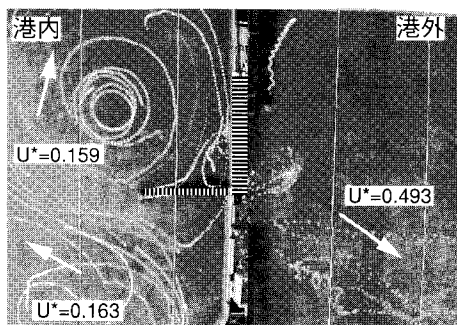


図-10 遊水室型防波堤付近の流況(導流堤あり)
($T=1.8$ s, $H=7$ cm 露出間隔2 s 毎に300 s 間)

開始時の初期濃度で除した無次元濃度 C_a の作用波数による経時変化を示す。この図より、通水型矩形堤と不透過堤の場合には明らかに濃度の低下が遅く、遊水室型防波堤を設置した場合には、順次濃度が低減されていることがわかる。

また、港湾に導流堤を設置した場合、上記の表層流況の検討により、導流堤を設置しない場合と比較して、港内の循環流の流向変化の影響が明確に現れることから、港奥における濃度低下も早くなる傾向が確認されている。しかし、導流堤の設置の有無にかかわらず、遊水室型防波堤を設置した場合には、ほぼ全ての測点において濃度の低減が確認され、効果的な海水交換が可能であると考えられる。

図-12 は遊水室型防波堤で導流堤を設置した場合の不規則波における濁度変化の実験結果を示す。図中には、代表的な測点の濃度変化とそれらの平均値を併せ示しており、経過時間を有義波周期で除した有義波波数による変化で示す。この図から、不規則波に対しても規則波と同様に順次濃度が低減されており、効果的な海水交換が可能であると考えられる。

6. 結 語

(1) 波による渦流れを利用する遊水室型海水交換防波堤は、規則波および不規則波に関係なく、1波あたり

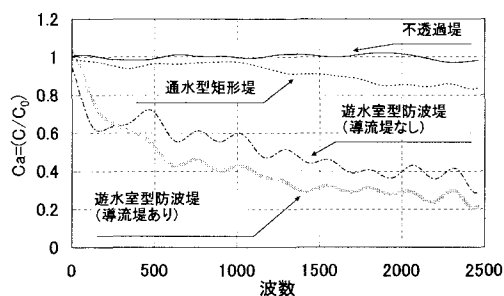


図-11 港内の濃度変化(規則波, $T=1.3$ s $H=5$ cm)

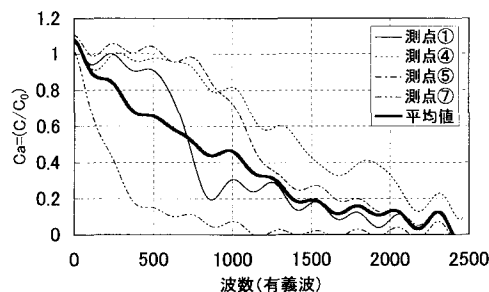


図-12 港内の濃度変化(不規則波, $T_{1/3}=1.3$ s $H_{1/3}=5$ cm)
遊水室型防波堤(導流堤あり)

の無次元平均流量が0.6以上であるなど、海水交換機能に優れる。この海水交換機能は、従来のケーソン堤下部を通水式とする海水交換防波堤と比較すると、5倍以上の能力に相当する。なお、不規則波の代表波としては、有義波を用いると規則波の結果との対応が良い。

(2) 港湾の外郭施設である防波堤の一部を遊水室型海水交換防波堤とすることで、港内に有意な平均流が発生し、港内水の浄化に対して有効である。このとき、港内の海水交換を効果的に進めるには、断面2次元的な海水交換機能のみならず、港内での平均流の平面的な流況を考慮した、波除堤や導流堤など港内施設の平面配置も重要になる。

(3) 港湾の防波堤の一部を遊水室型海水交換防波堤としても、港内の静穏化効果はある程度は維持できる。しかし、低波高といえども透過波の影響は無視できず、港内側境界の低反射構造化などが望ましい。

参 考 文 献

- 中村孝幸・井出善彦 (1997)：波の逸散現象を考慮した隅角物体まわりの波変形と作用波力の算定法，海洋開発論文集，第13巻，pp. 177-182。
- 中村孝幸・佐伯信哉 (1999)：透過堤を含む港湾域の波高分布の算定法に関する研究，海洋開発論文集，第15巻，pp. 339-344。
- 中村孝幸・大村智宏・大井邦昭 (2003)：渦流制御を利用する海水交換促進型防波堤の効果について，海講論文集，第50巻，pp. 806-810。