

(株)荒谷建設コンサルタント 正会員 ○佐伯 信哉
 愛媛大学大学院 理工学研究科 正会員 中村 孝幸
 愛媛大学大学院 理工学研究科 学生会員 岡田 修平

1. はじめに

本研究は、密度成層場が発達したときの閉鎖性内湾域において、常時の波浪エネルギーを活用し、水塊の鉛直混合を促進することによる環境改善型護岸の開発を目指すものである。既に著者ら(佐伯ら, 2008)は、主に常時波浪が作用するときの一様密度場における低反射式鉛直混合促進型護岸の効果について検討してきた。その際、遊水室の断面寸法や前面垂下版の断面形状に着目して、波浪制御効果ならびに鉛直混合特性などについて、実験および理論の両面から明らかにしている。ここでは、密度成層場における流体密度の時空間特性に着目し、堤体による鉛直混合効果を検討する。さらに、鉛直通水路における流速と堤体まわりの塩分濃度の関係についても明らかにする。最後に、鉛直通水路の流速特性に着目して鉛直混合に及ぼす支配パラメータについて検討する。

2. 実験概要

実験は、図-1に示す愛媛大学工学部環境建設工学科の長さ550cm、幅38cm、高さ52cmの2次元小型造波水槽を用いた。成層化した海域のモデル化は、夏季における東京湾や大阪湾における表層と底層の塩分と水温の実測データを参考にし、図-2に示す二層による密度成層場(上層:淡水, 下層:塩水)を作成した。

塩分濃度の計測は、3台の塩分濃度計により、図-1に示す測点(模型堤体前面より50, 100, 200cm)で水底より5cm上方)にて計測するとともに、鉛直通水路にて1台の電磁流速計により流速を計測した。計測時間は、60分間連続とした。図にはないが、別途実験により流体密度の時空間変化特性(横断方向14測線×水深方向14点=196点)を計測した。実験では、造波開始後より $t=0s$, 90s, 180s, 360s, 900s, 1800s, 3600s(作用波数では, $t/T=0, 100, 200, 400, 1000, 200, 4000$ 波)で一旦造波を停止して、空間的な塩分濃度分布の計測を行った。

鉛直混合促進型護岸の構造は、図-2および表-1に示すように著者らの従来の研究に基づき、没水平板に開口部を設ける構造を採用した。遊水室の構造諸元は、 $Lc/(Bc \cdot d)^{1/2}=10 \sim 12$ (Bc : 遊水室幅, d : 垂下版の吃水深, Lc : 遊水室内水深 D における入射波周期に対応する波長)の設定法に基づき決定した。

想定した波条件は、閉鎖性内湾域での常時波浪に相当する周期 $T_m=0.9s$ (現地量で $T_p=3.5s$)、波高 $H_m=2cm$ (現地量で $H_p=30cm$) 程度とした。

3. 実験結果および考察

図-3は、TYPE 1, 2堤体による相対密度の時空間分布の一例を示したものである。TYPE 1(直立壁)堤体では、密度成層は解消されないものの、TYPE 2堤体は上下層の相対密度差 $\Delta\rho/\rho_f$ 、塩水層厚 h_s に関わらず

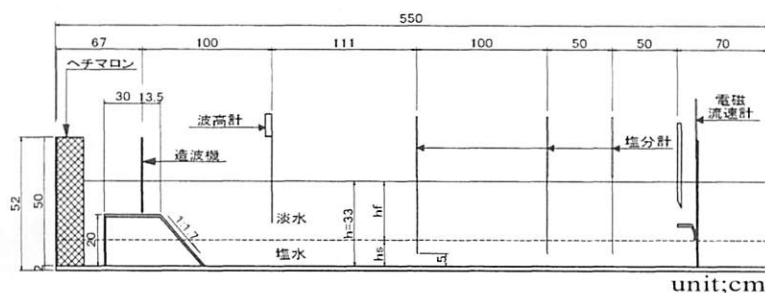


図-1 実験水路の概要と計測器配置図

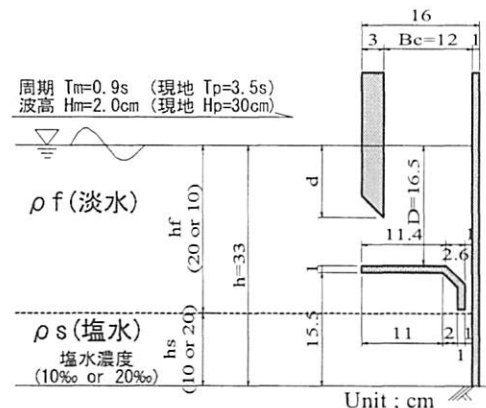


図-2 模型堤体の構造図(TYPE 2~4)

表-1 模型堤体の構造諸元

模型種別	前面壁形状	d (cm)	D (cm)	d/h	d/D
TYPE 1	直立壁	-	-	-	-
TYPE 2	右下がり	10.0	16.5	0.30	0.61
TYPE 3	右下がり	13.0	16.5	0.39	0.79
TYPE 4	右下がり	14.5	16.5	0.44	0.88

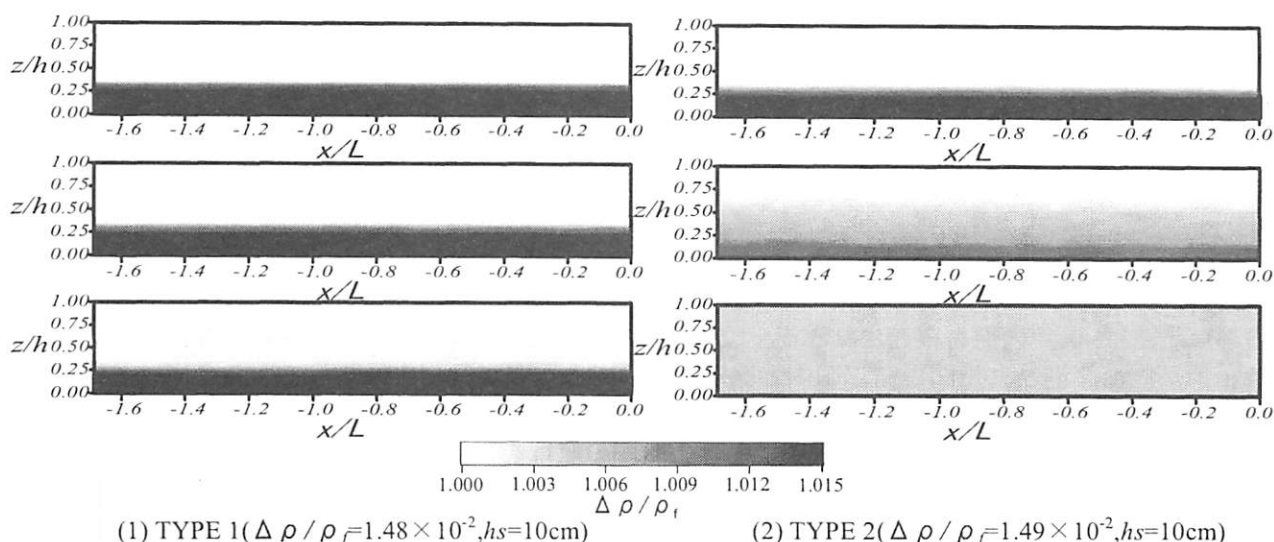


図-3 相対密度 $\Delta \rho / \rho_f$ の時空間分布(上段: $t/T=0$, 中段: $t/T=400$, 下段: $t/T=4000$)

塩分濃度の時空間分布特性より密度成層の破壊が確認され、成層化された海域でも有意な鉛直混合効果が期待できる。

空間的な塩分濃度の変動は、図-4 上図に示すように、堤体に最も近い $x/L=-0.42$ の塩分濃度が最初に変動し、順次沖向きにその変動が伝播する。図にはないが、上下層の流体の密度差が大きいほど造波初期段階における希釈混合の継続時間が長く、その後ある濃度になると緩やかな曲線で濃度低下が進行する。これは、鉛直通路の下端近傍で出入りする水塊により下層の塩水濃度が希釈されるとともに、希釈混合された水塊が内部波となり沖向きに伝播することにより上下層の混合を促進していくことによるものと考えられる。

図-4 下図に示すように、鉛直通路内における流速は、密度差により造波直後はその流速振幅の絶対値が小さく、平均的には鉛直上向きの流速を示す。しかしながら、時間の経過に伴い遊水室型の堤体本来の機能(図-4 下図で淡水状態での平均流速)が発揮され、流速振幅の絶対値が安定すると同時に鉛直下向きの平均流が生成され始める。

鉛直混合効果は、図-5 に示すように成層安定度パラメータ Ri (Richardson 数) の導入により概ね判定できる。成層安定度に起因する外力としては、鉛直通路下端における希釈混合による効果が支配的であるものと考えられ、平均流速振幅の下向き最大値 V_{peak} をとればよい。

4. 結論

本研究で提案した鉛直混合促進型護岸は、現地海域を想定した密度成層場における水理模型実験より、密度成層の解消による有意な鉛直混合効果が期待できるものとする。

参考文献

佐伯信哉・中村孝幸(2008): 低反射式鉛直混合促進型護岸の効果と循環流の発生機構について, 海岸工学論文集, 第 55 巻, pp.1236-1240.

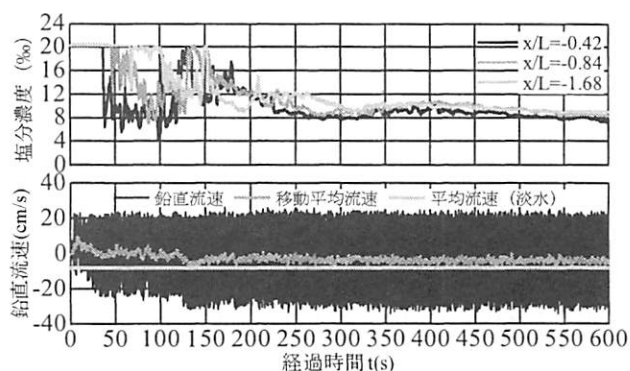


図-4 鉛直通路における流速と底層塩分濃度 ($\Delta \rho / \rho_f = 1.49 \times 10^{-2}, h_s = 10 \text{ cm}$, TYPE 2)

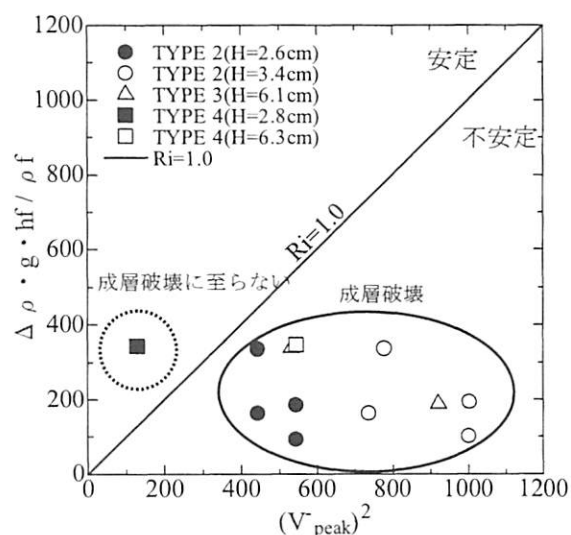


図-5 成層安定度パラメータ Ri による検討