

透過型防波堤のスリット設置効果について

笠田龍輝¹・山田宗拓²

¹中部地方整備局 三河港湾事務所 工務課（〒441-8075 愛知県豊橋市神野ふ頭1-1）

²港湾空港技術研究所 海洋研究領域 波浪研究グループ（〒239-0826 神奈川県横須賀市長瀬三丁目1-1）

三河港では港内の静穏度を確保するため防波堤(北)の整備を進めている。防波堤(北)は周辺環境への影響緩和のため、スリット(開口部)を有する透過型防波堤構造を採用した。今回、模型実験で透過型防波堤の水理特性を明らかにしスリットの効果について周辺環境への影響緩和の観点から考察した。この結果、防波堤周辺ではスリットを設けることにより、堤前における波の反射率は10%程度減少することが判明し反射波の低減効果を確認した。また、スリット内の透過波を検証した結果、波や潮流による海水交換が行われていることが考察され、スリットが周辺環境への影響緩和に効果を発揮し得ることを確認した。

キーワード：透過型防波堤，断面模型実験，平面模型実験，波浪，潮流，反射

1. はじめに

三河港では港内静穏度を確保するため防波堤(北)の整備を進めている(図-1)。この防波堤(北)の周辺には、アサリ稚貝の育成場所として重要な役割を果たしている六条潟が存在し、閉鎖性海域における防波堤整備に対して波や流れの変化による周辺環境への影響を危惧する声が少ない。こうした背景から、防波堤(北)は、周辺環境への影響緩和を目的に、1スパン10mあたり1mのスリット(開口部)を設置し海水交換が可能な透過式防波堤構造を採用した。しかしながら、透過型防波堤構造の水理特性は明らかにされていない部分も多く、影響緩和効果の具体的な確認も難しい。今回、別件で透過式防波堤の被災リスクを検証するために水理模型実験を行う機会があり、この実験データを活用して波・流れ場における透過型防波堤の水理特性を明らかにし、周辺環境への影響緩和効果の観点から考察を行った。

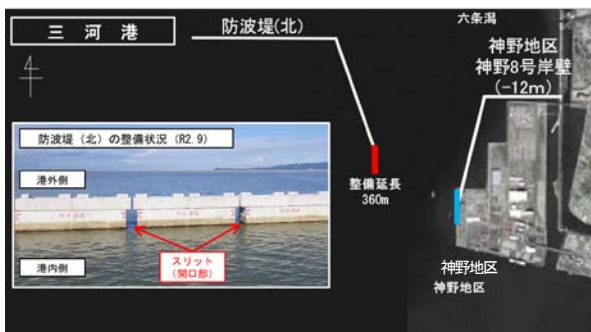


図-1 対象防波堤（赤色区間）

2. 実験方法

(1) 断面模型実験

港湾空港技術研究所所有の不規則波造波水路（長さ35.0m×幅0.6m×高さ1.3m）を用いて、潮位や波浪による防波堤の反射率及び透過率の違いやスリット前後の波による流れの変化を縮尺1/16の断面模型実験を行い調べた。実験条件を表-1に示す。

表-1 波浪・潮位条件（断面模型実験）

種別	潮位条件			波浪条件		防波堤		
	地盤高 D.L.[m]	潮位 D.L.[m]	水深 h[m]	波高 H _m [m]	周期 T _m [s]	天端高 D.L.[m]	高さ hc[m]	目地余裕高 h[m]
設計波	-6.2	H.H.W.L.	4.45	10.65	1.6	5.5	1.05	-1.95
					1.3			
		L.W.L.	0.0	6.2	1.6		5.5	2.5
常時波	-6.2	H.W.L.	2.4	8.6	0.8	5.5	3.1	0.1

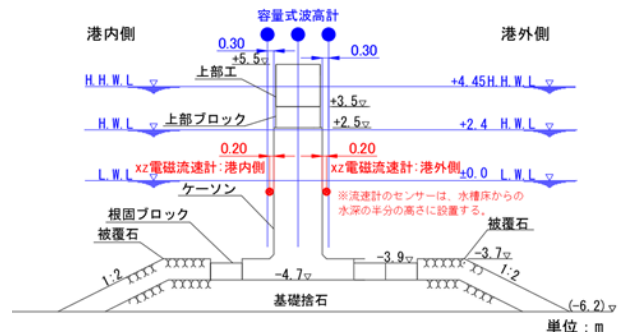


図-2 防波堤断面と計測機器の配置（断面模型実験）

対象とした防波堤断面及びスリットの前後と内部での計測機器の配置を図-2に示す。現地の水深は概ねD.L.-6.2mで一定であり、捨石マウンド上に設置されたケーソン天端高はD.L.+2.5mである。天端高D.L.+5.5mの上部工はスリットを跨ぐように連続的に施工されるため、開口部高さはD.L.+2.5mである。また、下面は根固め工高さD.L.-3.9mである。したがって、L.W.L. (D.L.+0.0m) では開口高さのほぼ中央に水面が位置することになるが、H.W.L. (D.L.+2.4m) の水面は開口高さの僅か0.1m下に位置する。また、H.H.W.L. (D.L.+4.45m) では水面が上部工の中腹に位置し、静水時においてスリットは完全に水没することになる。なお、水路幅は0.6mとして現地量9.6m相当を1スパン10mとみなした。開口部のスリットは、連続堤の対称性を考慮し、水路幅の中央に配した。

(2) 平面模型実験

港湾空港技術研究所所有の環境インテリジェント水槽（短辺23.5m×長辺34.3m×深さ1.3m）を用いて、防波堤周辺の平面的な波・流れ場を縮尺1/16の平面模型実験を行い調べた。現地量で延長360mに相当する防波堤模型及び計測機器の平面配置を、実験に用いたサーペント型造波装置及び潮流発生装置とともに図-3に示す。防波堤断面は図-2と同様であるが、比較のためにスリットを設けない構造も対象とした。

波浪・潮位条件は表-1のうち、設計波の波向はNWとし、潮位H.H.W.L.では波高1.6m、潮位L.W.L.では波高1.3mとした。また、常時波の波向はWNW及びWとし、周期4.0sのみを対象とした（それぞれ赤字部分）。なお、いずれも $S_{max}=10$ の多方向不規則波とし、水槽の2辺から造波した。さらに、これらの波浪に重畳させる潮流は現地海域における既存の潮流計算結果⁹⁾に基づき、代表的な潮流諸元（現地量）として潮位H.W.L.に対し、上げ潮時：22.9cm/s（流向ESE）、下げ潮時：21.0cm/s（流向WNW）とした。これらの検定は防波堤模型を設置せずに行い、法線位置だけでなく防波堤周辺の初期の波・流れ場を容量式波高計及び電磁流速計で計測した。

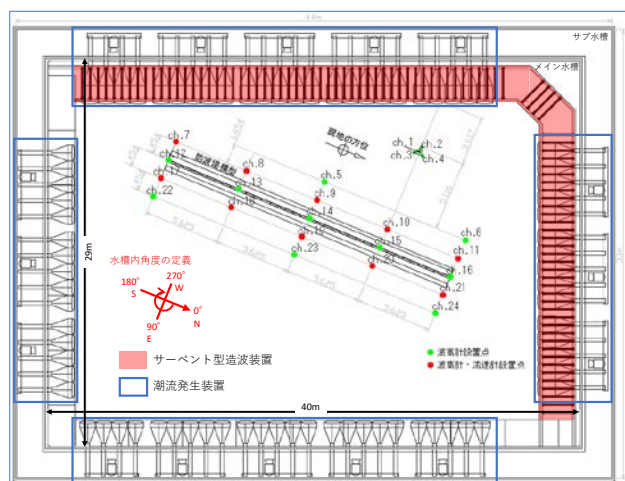


図-3 平面水槽及び防波堤模型・計測機器の平面配置

3. 実験結果

(1) 断面実験結果

スリットによる開口率10%の透過型防波堤に対する潮位・波浪による反射率 K_r 、透過率 K_t の計測結果を図-4に示す。H.H.W.L.ではスリットが常に水没し、H.W.L.でも押し波時に水没するにもかかわらず、相対水深 h/L_0 (L_0 は沖波波長)の増加に伴い、 K_r は単調に増加、 K_t は減少することがわかる。ただし、 $h/L_0 > 0.5$ の深海波で K_r が減少するのは白波碎波の影響と考えられる。なお、H.H.W.L.の K_t には越波による伝達率も含まれる。

スリット前後で計測した波による流れをそれぞれ図-5に示す。各図とも、縦軸は流速変動の計測値のうち押し波時(+)及び引き波時(-)の振幅絶対値の有義値、横軸は造波目標とした波浪諸元に対し微小振幅波理論から算定される重複波のx方向流速の振幅絶対値である。ただし、反射率には図-4に示す計測値を用いた。各図とも、潮位・波浪によらず、計測値は理論値と比較的によく一致することが確認できる。また、両図を比較すると、堤体前後で波による流れはほとんど変化していない。したがって、スリットを通過する波はほぼ減衰することなく防波堤背後に伝播していると推測される。

(2) 平面実験結果

潮位H.W.L.、波向WNW ($H_{1/3}=0.8m$, $T_{1/3}=4.0s$) に対する防波堤周辺の波高比と反射率 K_r 、透過率 K_t の計測結果を図-6に示す。図-6(a)に示す波浪のみの場合、堤幹部の港外側（図-3のch.8～10）では、スリットなし時の $K_r=1.0$ がスリットあり時には $K_r=0.9$ 程度に低減することがわかる。なお、港外側壁面（図-3のch.13～15）でスリッ

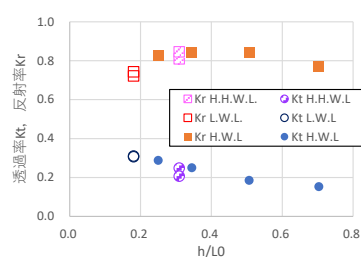
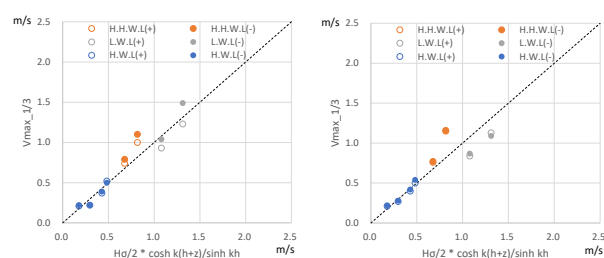


図-4 断面模型実験における反射率・透過率の変化



(a)堤体前面の流速

(b)堤体背後の流速

図-5 スリット前後の波による流れの計測値と理論値の比較

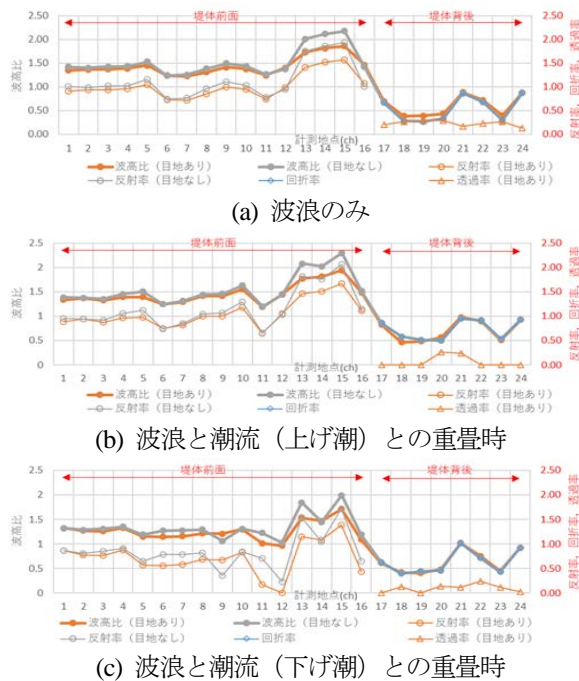


図-6 防波堤周りの波高比（潮位H.W.L.、波向WNW）

トなし時に $K_r=2.0$ 程度となるのは、重複波の腹に当たるためである。また、スリットあり時に堤幹部背後（図-3のch.18～20）で計測される $K_t=0.2\sim0.3$ 程度は、図-4に示した断面実験結果とよく整合している。さらに、図-6(b)に示す上げ潮との重畳時には、主に入射波高が減少するために K_r 、 K_t は増加し、図-6(c)に示す下げ潮との重畳時には、主に入射波高が増加するために K_r 、 K_t は減少する。また、防波堤周りの波による往復流れの強さをスリットの有無で比較した図-7では、上げ潮時にはスリットを通過した透過波による流速の増加が見られるのに対し、下げ潮にはそれが見られない。したがって、波向とは流れが逆向きの下げ潮時には、スリット内の潮流が透過波を抑制することが確認された。

4. 考察

今回の実験では、透過型防波堤を対象とした断面・平面模型実験を実施し、波浪のみのケースに加え潮流との重畳したケースにおける防波堤周辺の波や流れの特性を明らかにした。スリットを設けたことで波高の20～30%は港内に伝播するが、反射率は少なくとも10%程度低下することが確認された。これは、防波堤周辺を航行する小型船舶の安全性向上に寄与すると考えられ、特に周辺海域では秋から冬にかけて船曳網が盛んなことから安全な漁業生産活動に貢献できる。また、断面実験からスリットを通過する透過波はほぼ減衰すること無く防波堤背後に伝播していることが確認できた。平面実験では、下げ潮時においてスリット内の潮流が透過波を抑制することが確認できた。これらは、波や潮流によりスリット

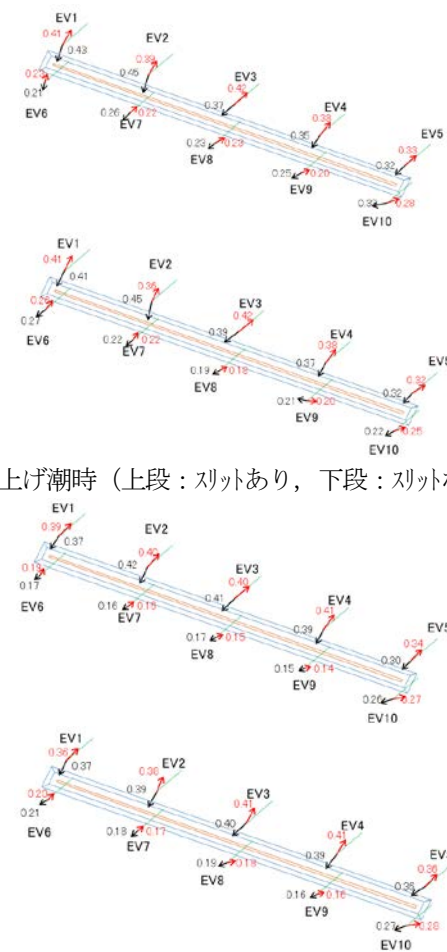


図-7 防波堤周りの波による流れの分布（波向WNW）

内に往復の流れが発生していることを示しており、設計時の想定どおり海水交換が行われていることを示している。閉鎖性海域の三河港では、海水交換により浄化作用をはじめとした周辺海域の環境への影響緩和効果が十分に期待できる。

5. おわりに

今回は、模型実験により環境影響緩和の観点から透過型防波堤におけるスリットの効果について確認を行った。防波堤(北)の整備では、六条潟をはじめ周辺海域における水質環境や生物環境の現地調査とともに、防波堤周辺における流況モニタリングを継続して行う計画としている。今後は、周辺海域における環境モニタリングの結果を活用しながら、透過型防波堤の効果や有効性に関する検証を継続していく予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省中部地方整備局三河港湾事務所、平成28年度三河港環境影響検討業務報告書、453p, 2017

