波浪共振型消波工法
分割式直立消波函塊「トリウォール」

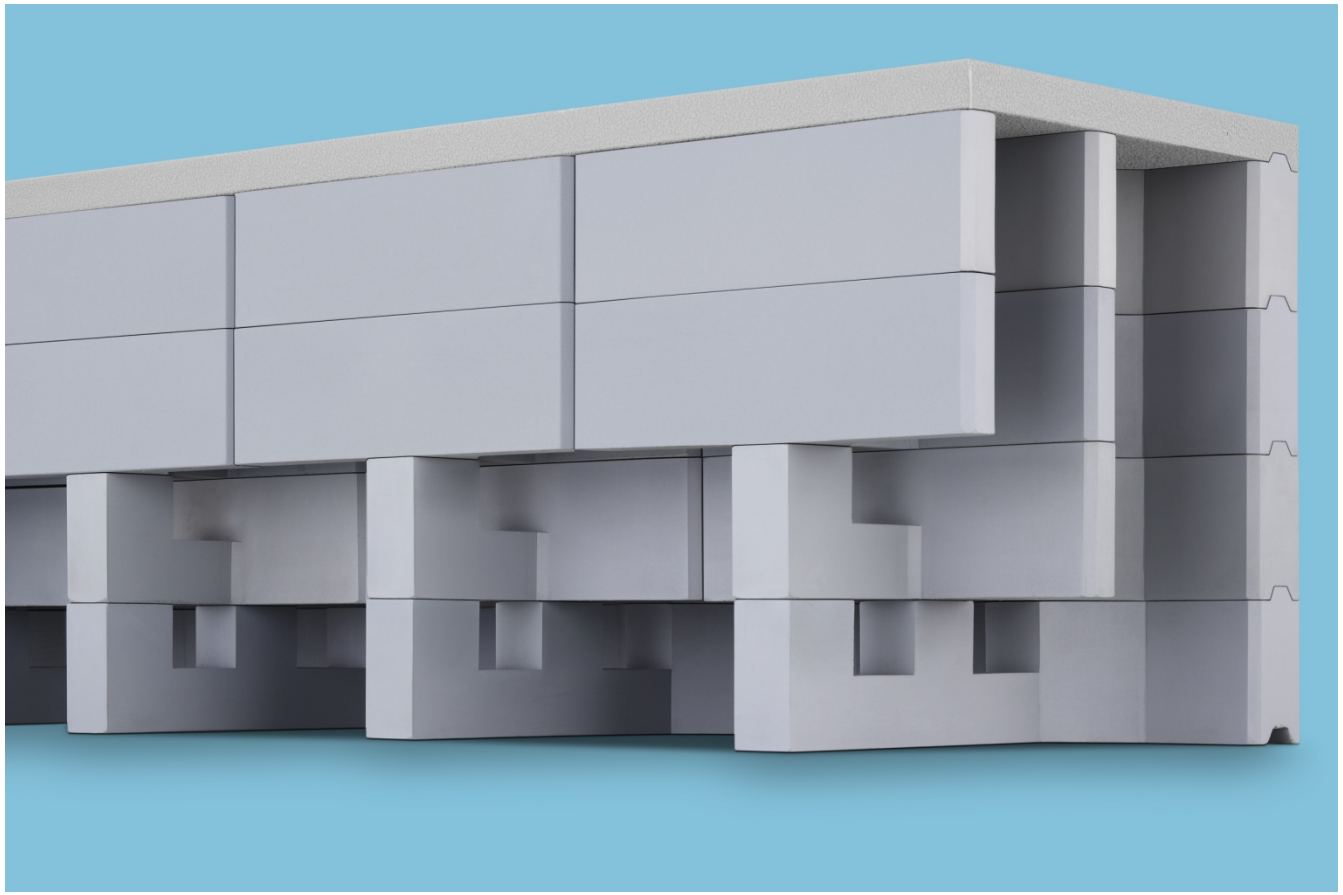
平成21年2月

株式会社　三柱

トリウォールとは

従来にない消波原理により優れた消波機能と、経済性を両立した新型の消波構造物です。

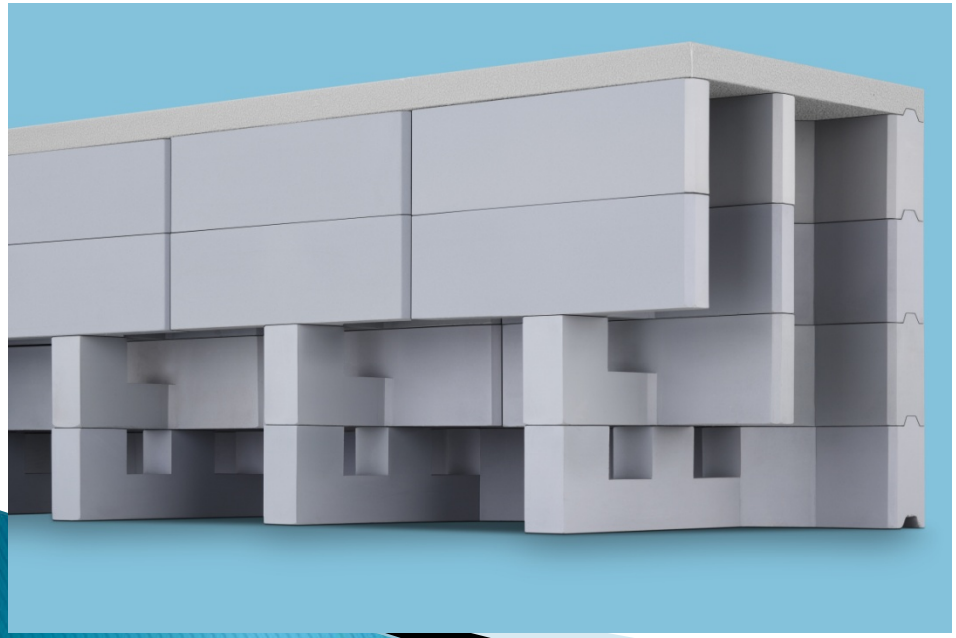
構造は、下段用・中段用・上段用のブロックを積み上げる直積形式を取っています。



基本構造

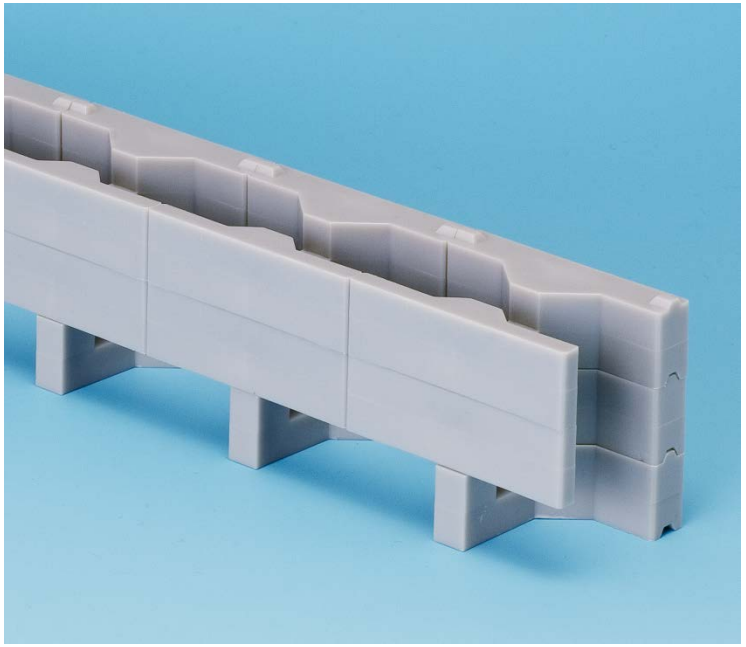
トリウォール　標準タイプ

（広周期帯対応）

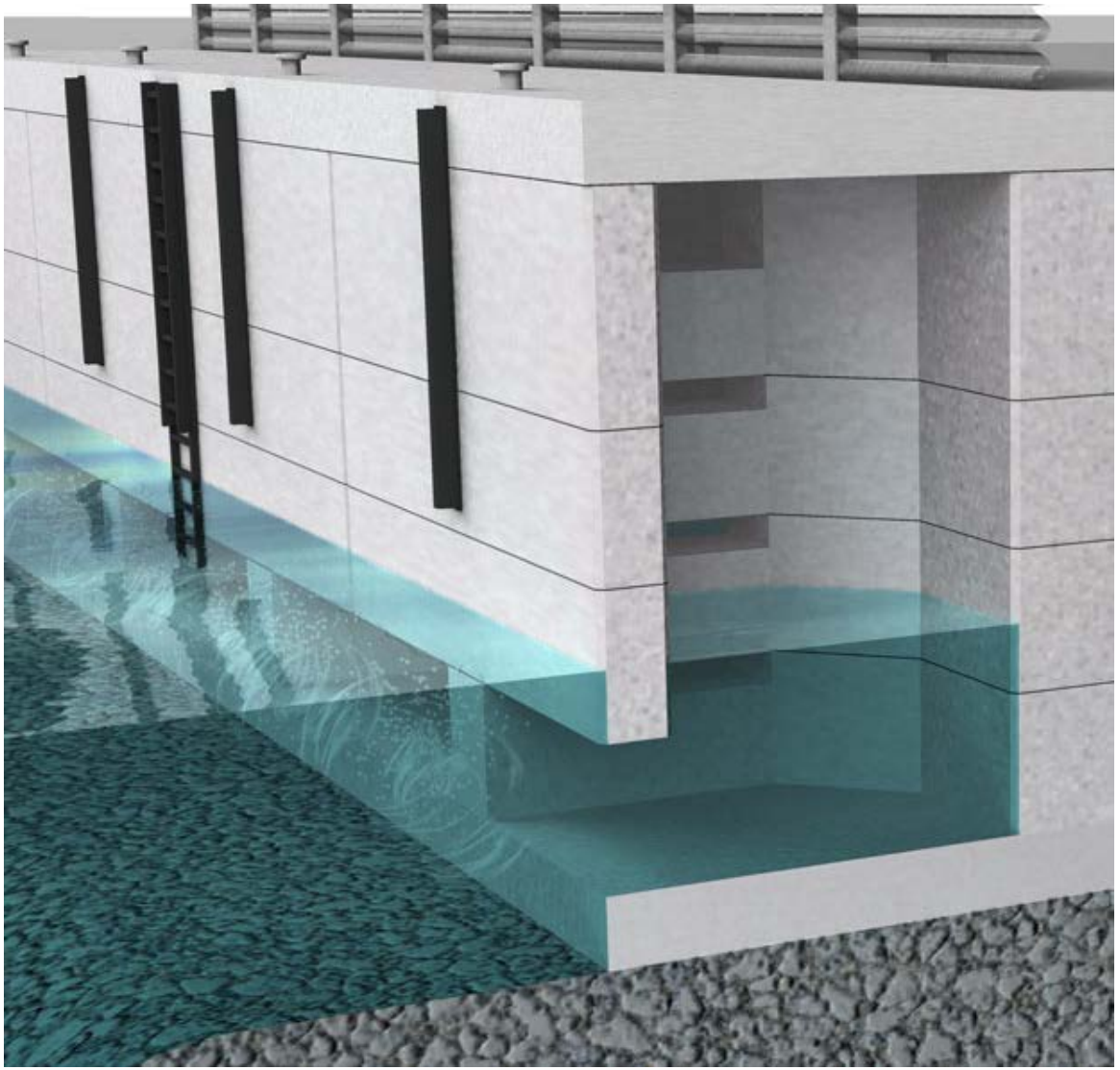


トリウォールシングルタイプ

（単一周期用　コスト縮減優先）



水面より上部の前面に
に空隙のないカーテン
形式の構造体です



消波原理

③垂下版前後での位相差の発生

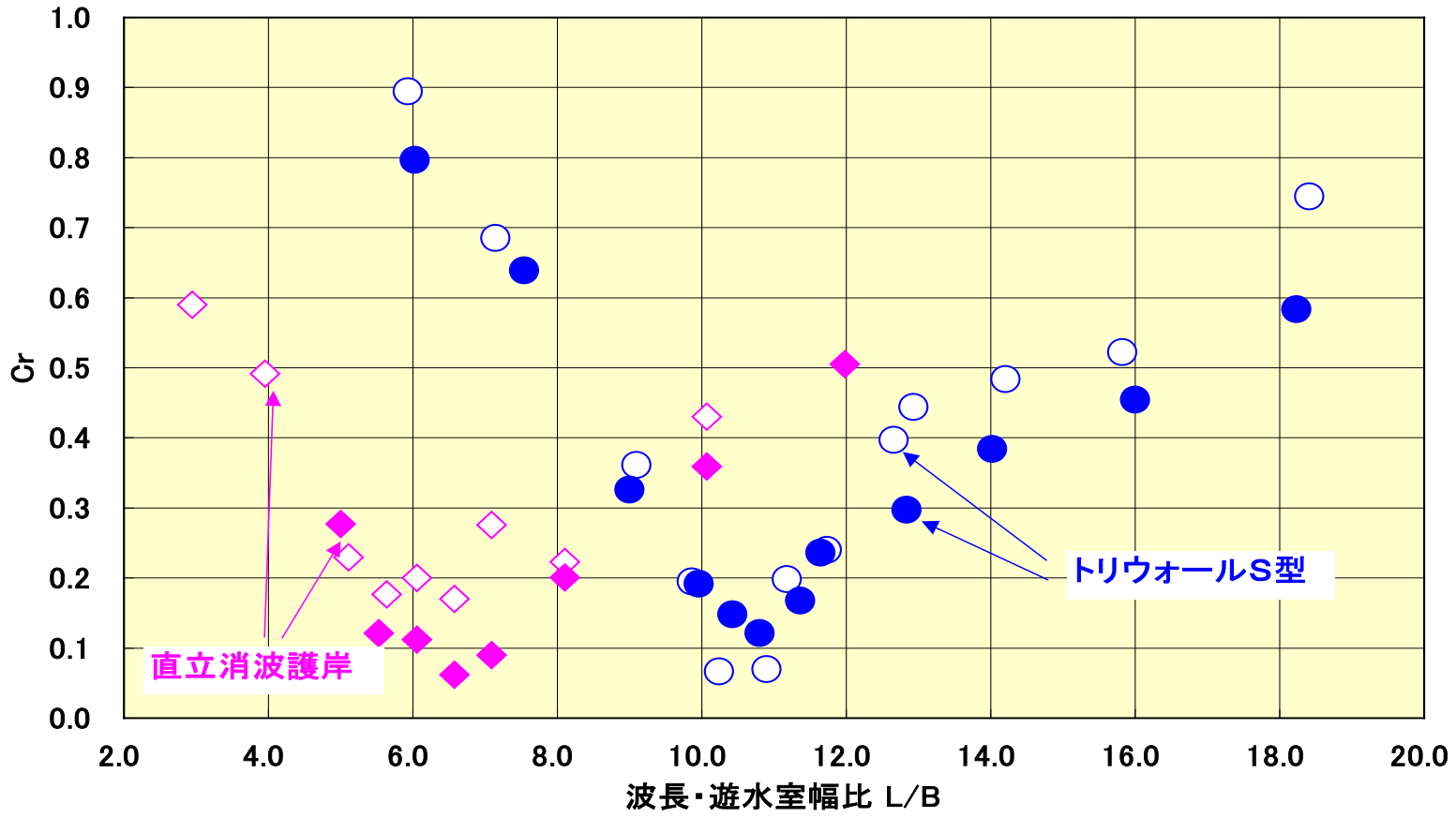
②ピストンモード波浪共振の発生

①波の進入

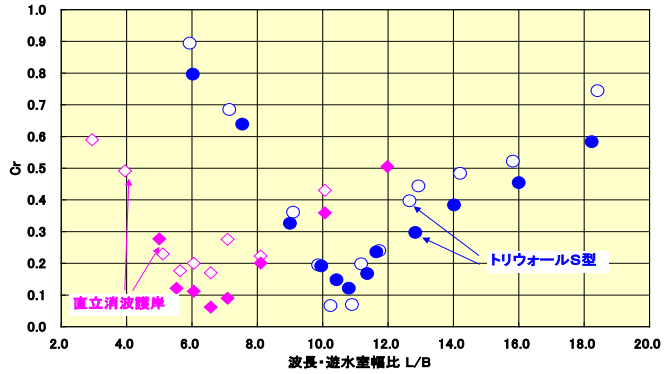
④垂下版先端よりの渦流れの増幅

⑤渦の仕事＝波エネルギーの逸散→反射波高の低減

反射率の特性


1.0
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
Kr
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
16.0
18.0
20.0
波長・遊水室幅比 L/B
直立消波護岸
トリウォールS型

反射率の特性



堤体幅4mのときのトリウォールとCSブロック（従来技術）の適応条件（反射率0.5以下）の目安

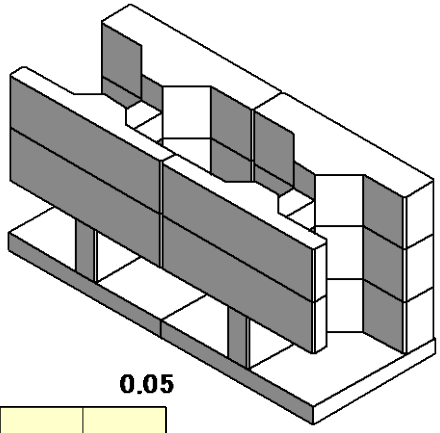
周期＼水深	2	3	4	5	6
3	■	■	■	■	■
4	■	■	■	■	■
5	■	■			
6					
7					
8					
9					
10					
11					

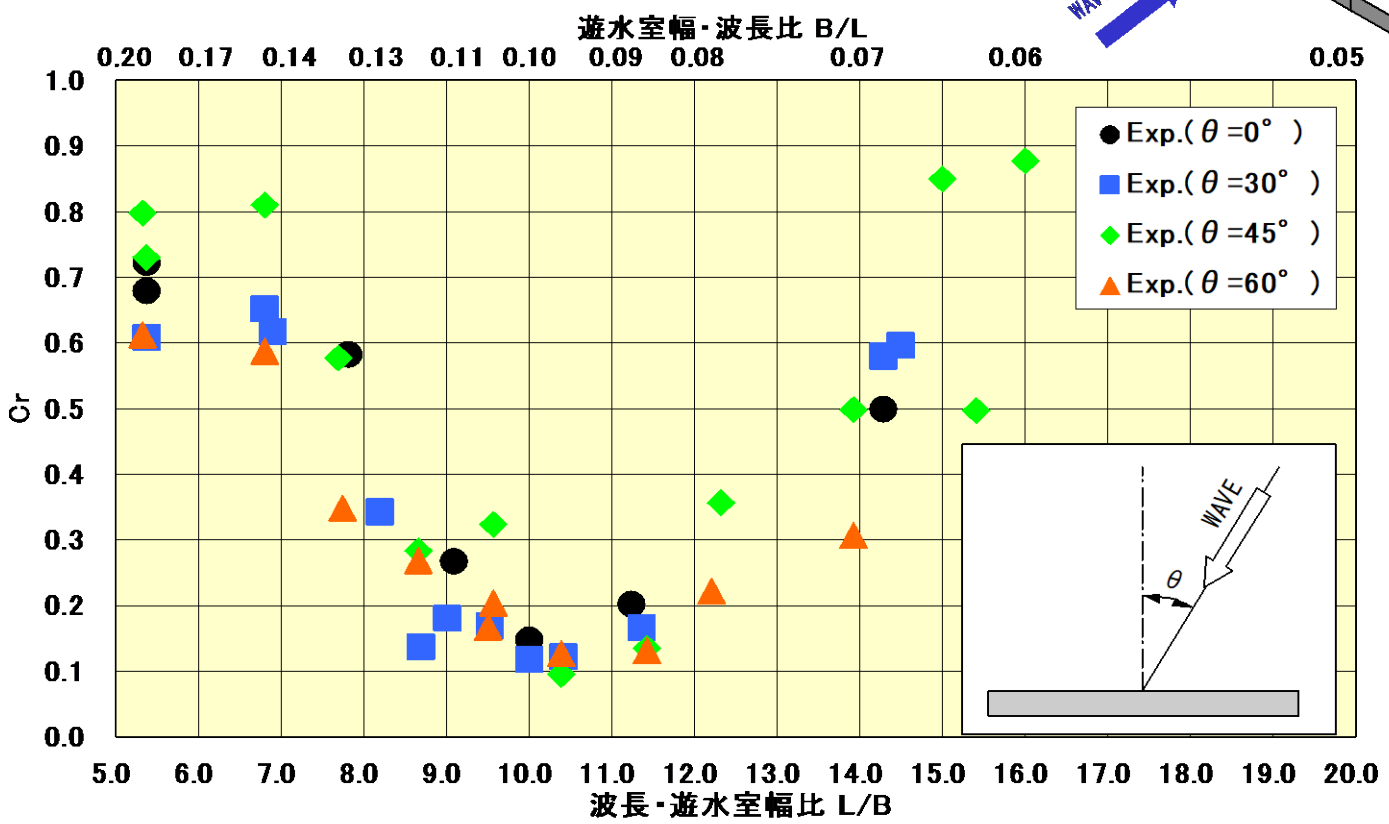
CSブロック　H15-5-0型

周期＼水深	2	3	4	5	6
3					
4				■	■
5		■	■	■	■
6	■	■	■		
7	■	■			
8	■				
9					
10					
11					

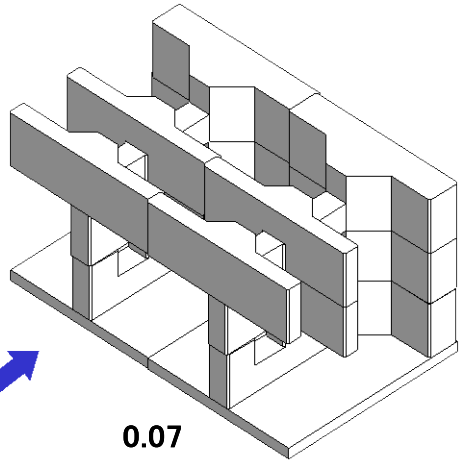
トリウォールシングルタイプ
NS-0-＊＊型

反射率の特性(2)


WAVE


遊水室幅・波長比 B/L
0.20 0.17 0.14 0.13 0.11 0.10 0.09 0.08 0.07 0.06 0.05
Cr
1.0 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0
5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 17.0 18.0 19.0 20.0
波長・遊水室幅比 L/B
Exp.(θ=0°)
Exp.(θ=30°)
Exp.(θ=45°)
Exp.(θ=60°)
WAVE
θ

反射率の特性(3)



遊水室幅・波長比 B/L

1.00 0.50 0.33 0.25 0.20 0.17 0.14 0.13 0.11 0.10 0.09 0.08 0.07

Cr

1.0 0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0

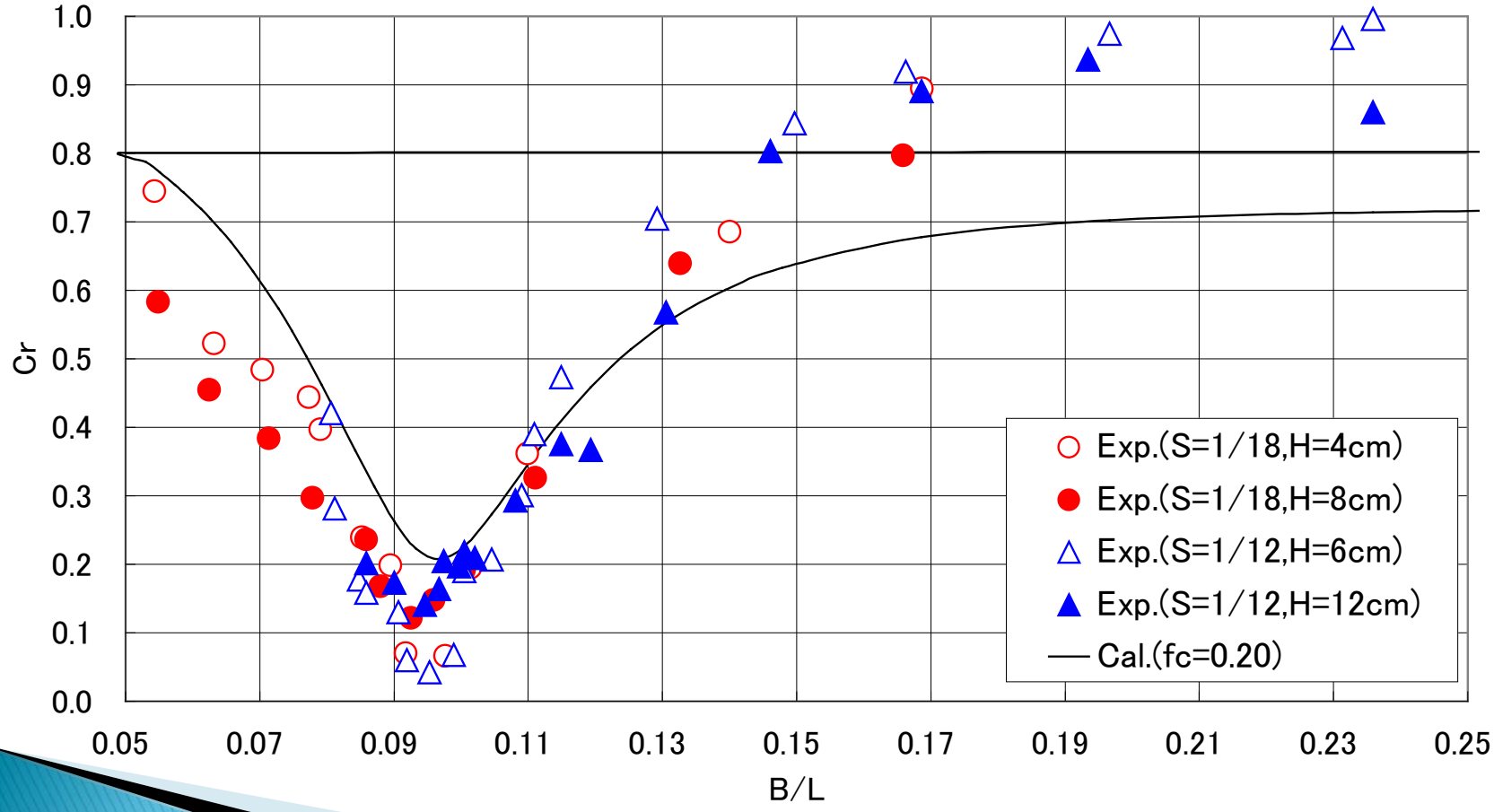
Exp.(θ=0°)
Exp.(θ=30°)
Exp.(θ=45°)
Exp.(θ=60°)

有効周期帯(Cr≦0.5)

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0

波長・遊水室幅比 L/B

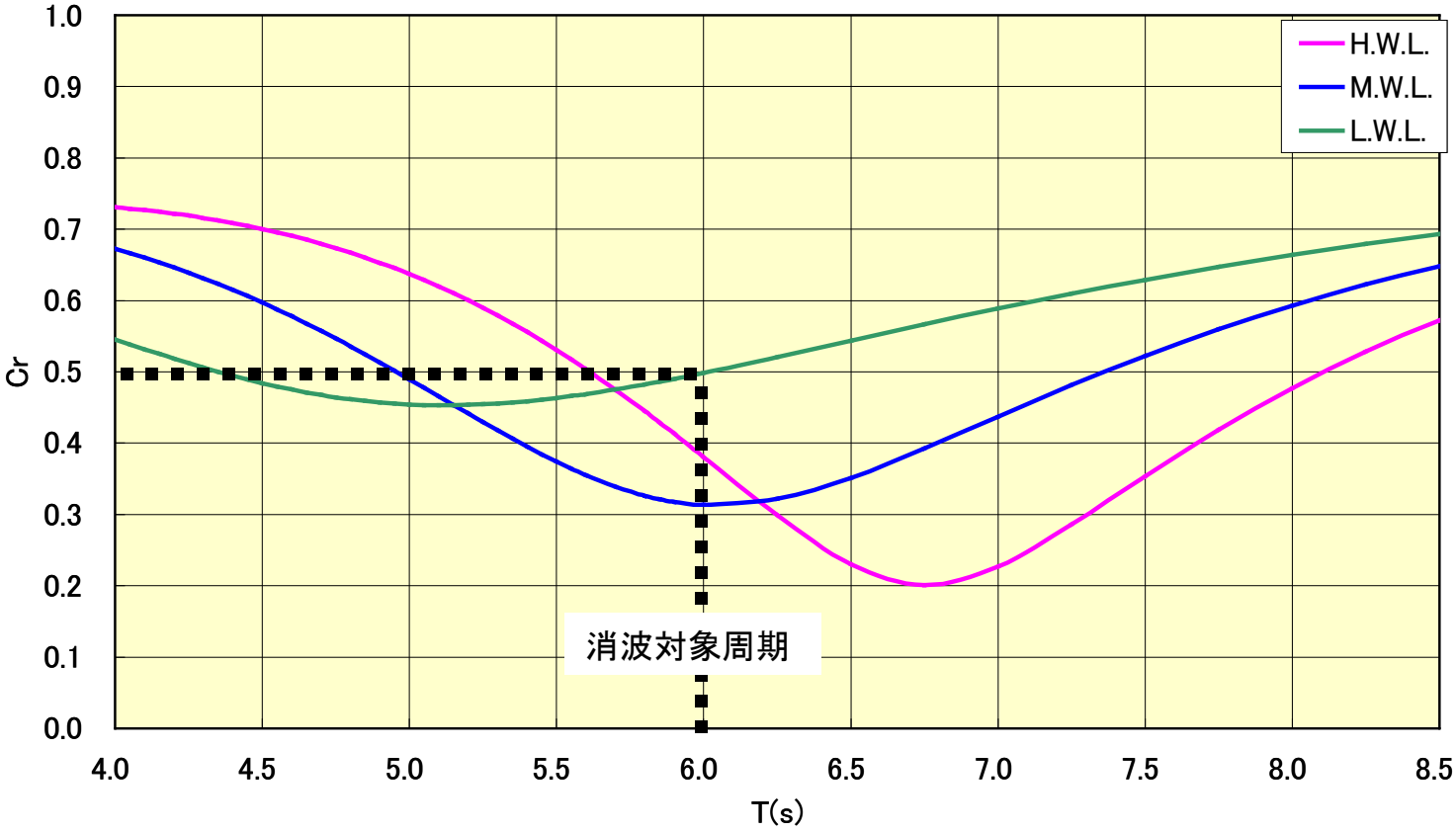
数値計算による再現性



模型縮尺S=1/12とS=1/18の実験結果と理論算定

数値計算による機能設計

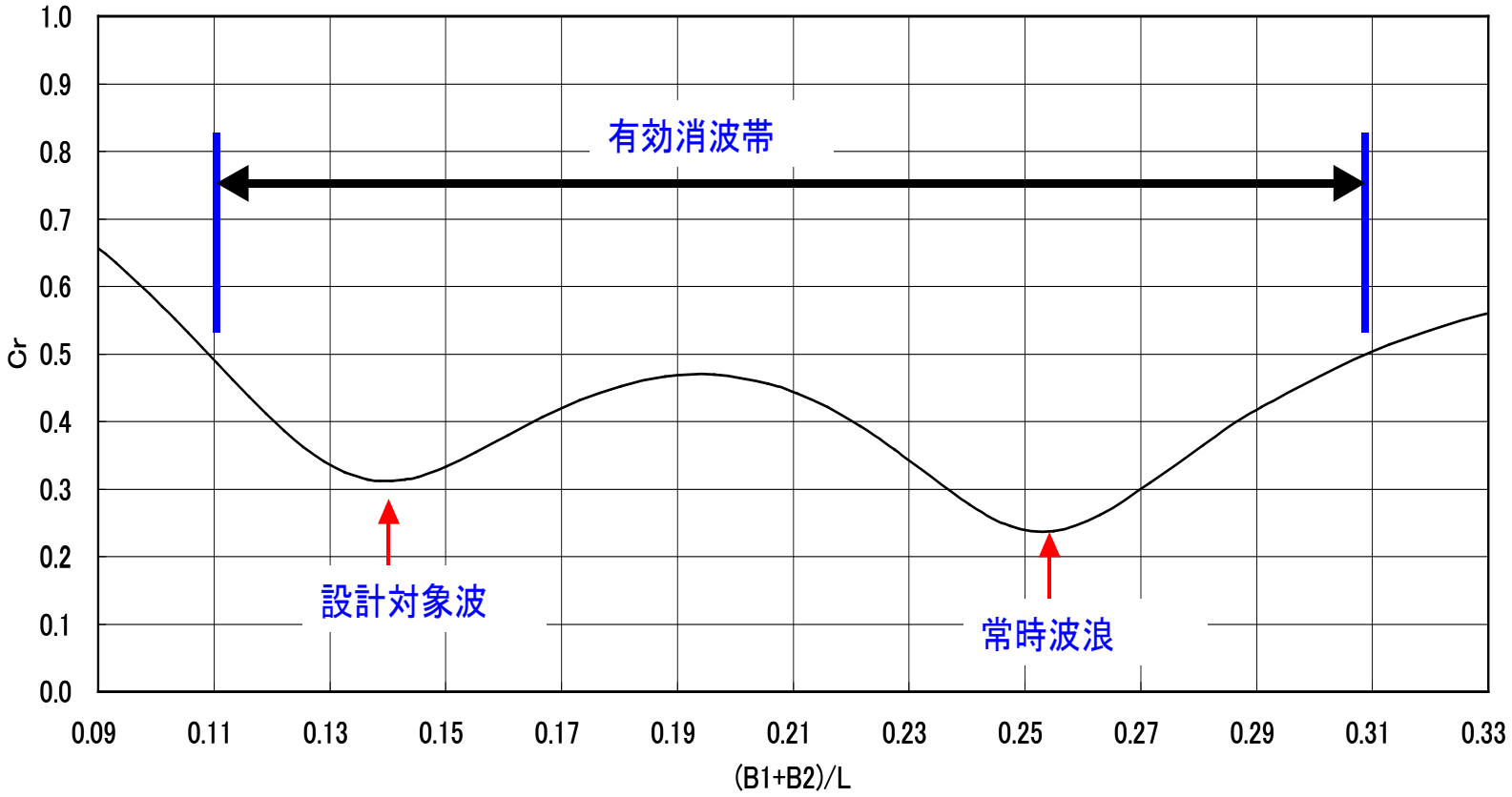
シングルタイプの場合



潮位変動による水深の変化に対し、常時反射率が0．5以下となるように断面を設定

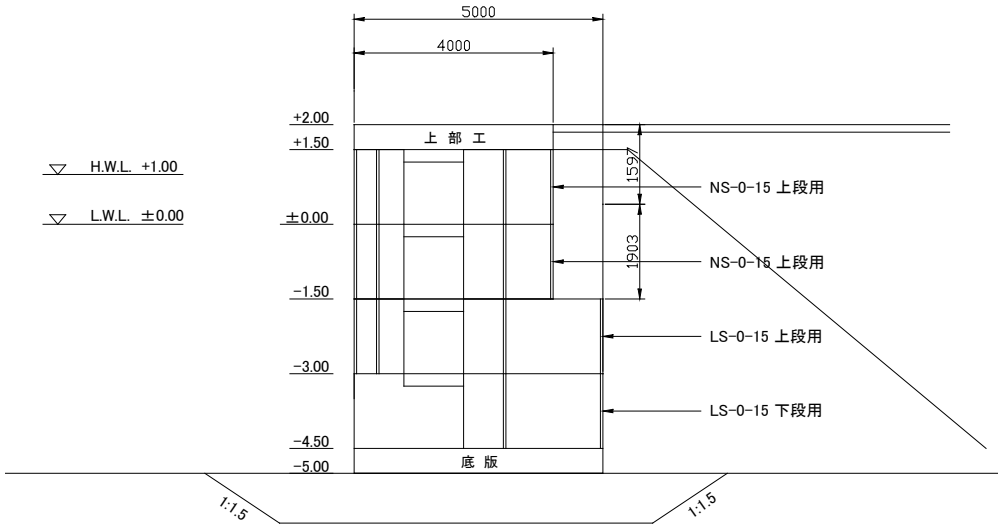
数値計算による機能設計

標準タイプの場合



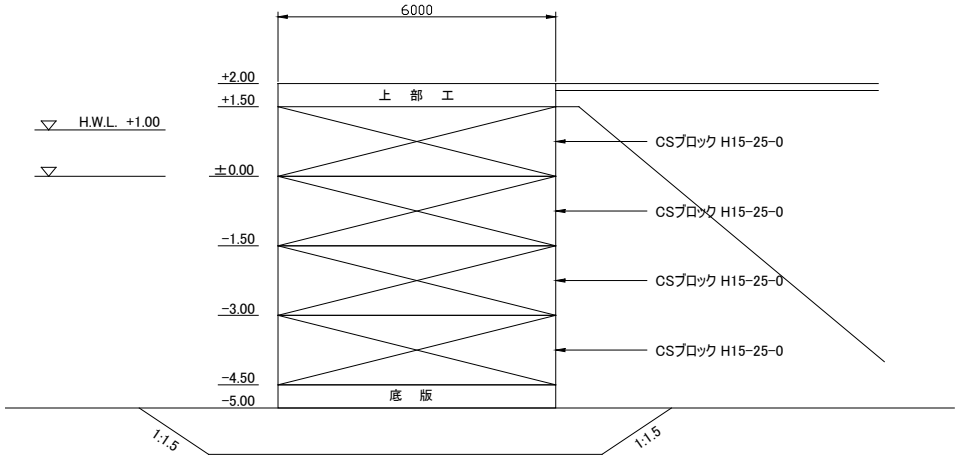
航跡波から荒天時の波浪までの全周期帯で反射率を0.5以下となるように断面を設定した事例

経済性



トリウォールを使用した断面
L=5.0m　　N=0.8個/m

直立消波ブロック（従来技術）を使用した断面
L=1.6m　　N=2.5個/m



直接工事費比較

$$\frac{509,000円/m}{645,000円/m} = 78.9\%$$

20%以上のコスト縮減が可能

概算工事費【 直立消波ブロック(TWシングルタイプ)式（1m当り）】

概算工事費　¥509,000

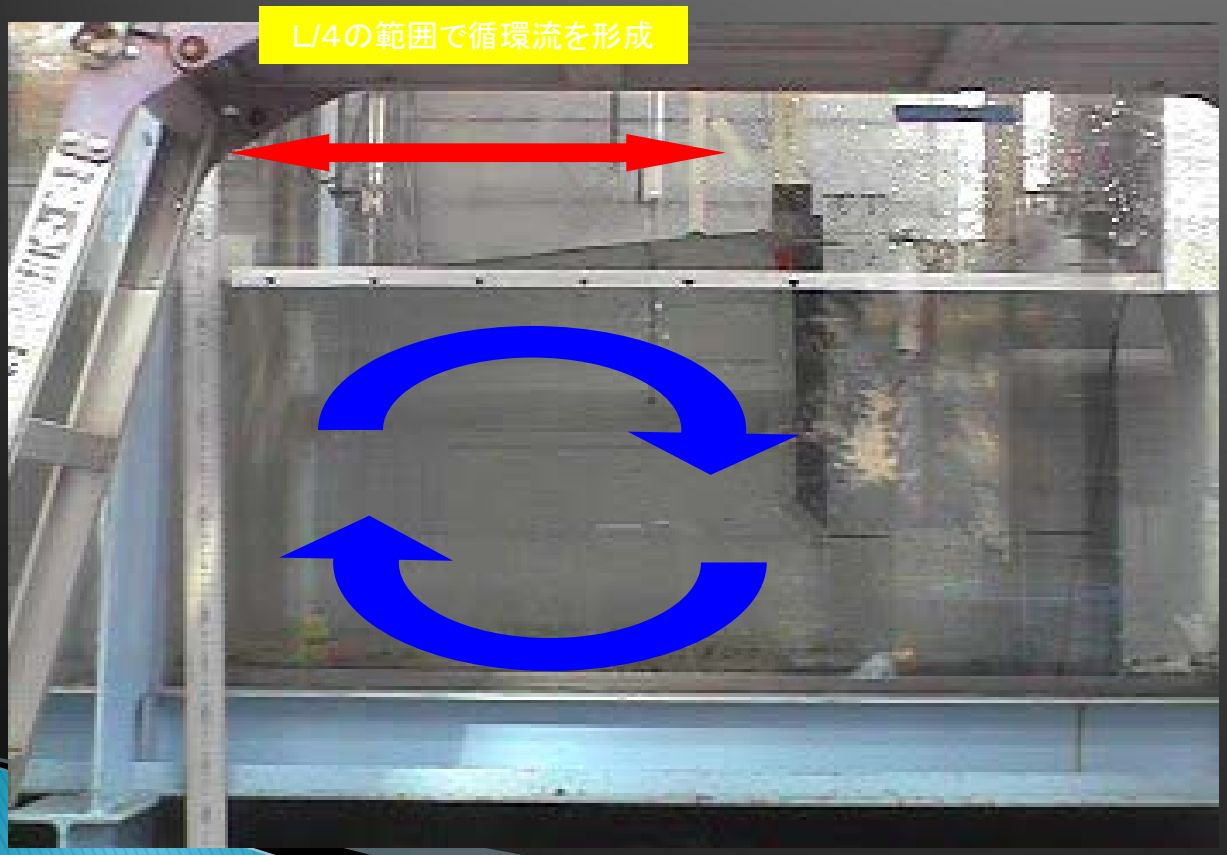
工　種	種　別	細 別	規　格	単位	数 量	単　価	金　額	摘 要
本体工							453,480	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	NS-0-15	ケ	0.20	391,800	78,360	上段用
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.20	57,100	11,420	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	NS-0-15	ケ	0.20	391,800	78,360	上段用
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.20	57,100	11,420	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	LS-0-15	ケ	0.20	508,500	101,700	上段用
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.20	89,800	17,960	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	LS-0-15	ケ	0.20	416,100	83,220	下段用
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.20	71,800	14,360	
	底 版 塊	製 作		ケ	0.20	233,900	46,780	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.20	49,500	9,900	
上部工							55,700	
工事費							509,180	

概算工事費【 直立消波ブロック(CSブロック)式（1m当り）】

概算工事費　¥645,000

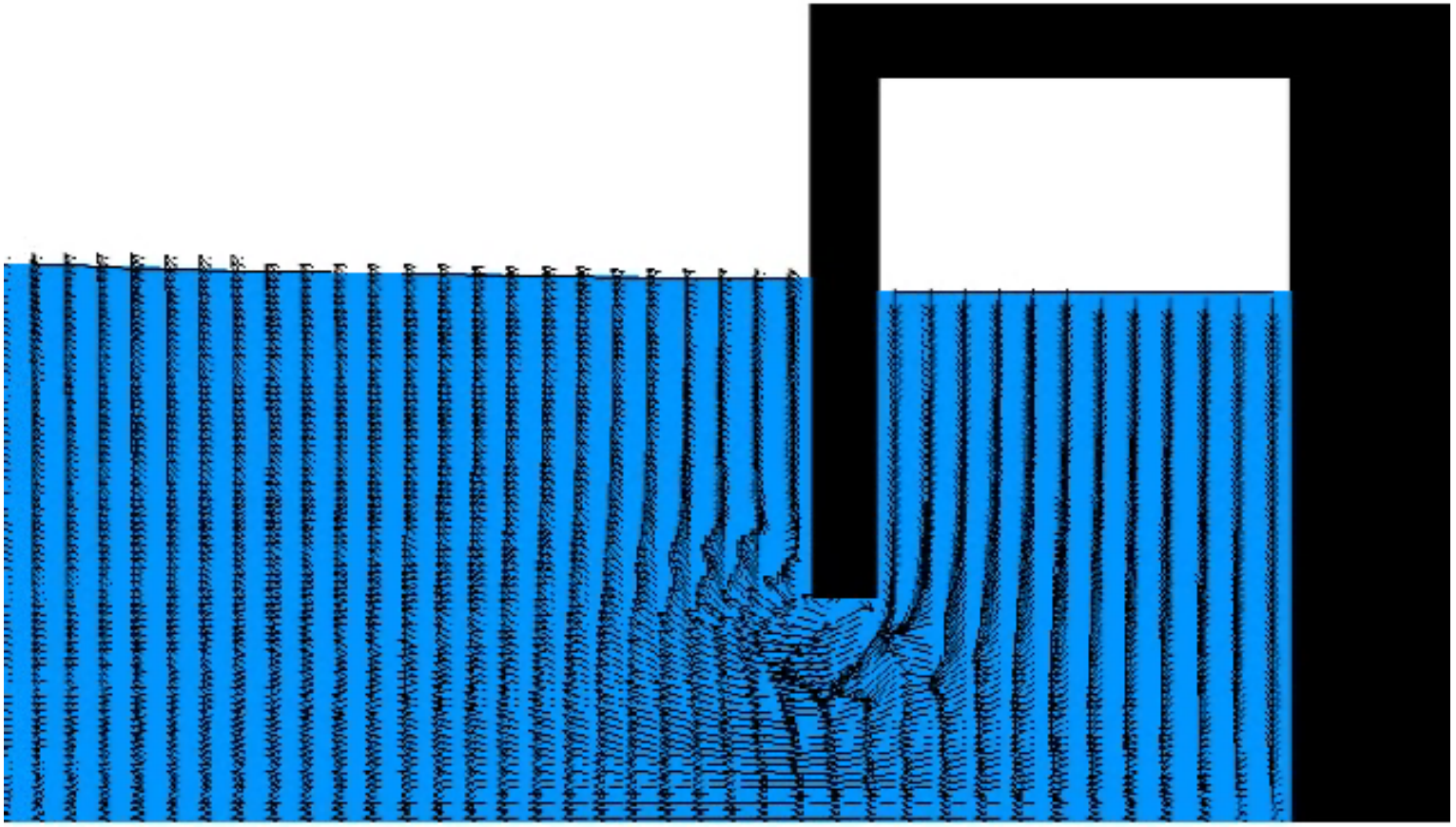
工　種	種　別	細 別	規　格	単位	数 量	単　価	金　額	摘 要
本体工							572,440	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	H15-25-0	ケ	0.63	158,400	99,000	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.63	41,700	26,063	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	H15-25-0	ケ	0.63	158,400	99,000	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.63	41,700	26,063	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	H15-25-0	ケ	0.63	158,400	99,000	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.63	41,700	26,063	
	直立消波ﾌﾞﾛｯｸ	製 作	H15-25-0	ケ	0.63	158,400	99,000	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.63	41,700	26,063	
	底 版 塊	製 作		ケ	0.31	184,400	57,625	
	同 上 据 付	水 中		ケ	0.31	46,600	14,563	
上部工							72,100	
工事費							644,540	

海水の鉛直混合促進



垂下版に先端に生ずる渦流れに気泡を取込むことによりエアレーションが促進できます。

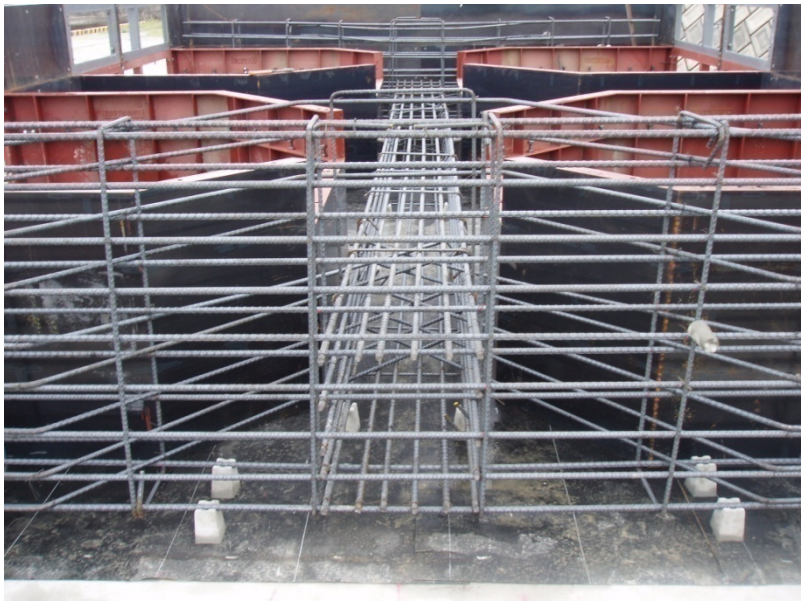
また、渦流れにより生ずる鉛直方向の循環流により底層に滞留した水塊を水面に運ぶことにより水質浄化を促進します。



数値波動水路による流況シュミレーション

製作状況　（準備～型枠組立）

製作状況 （組立～配筋）

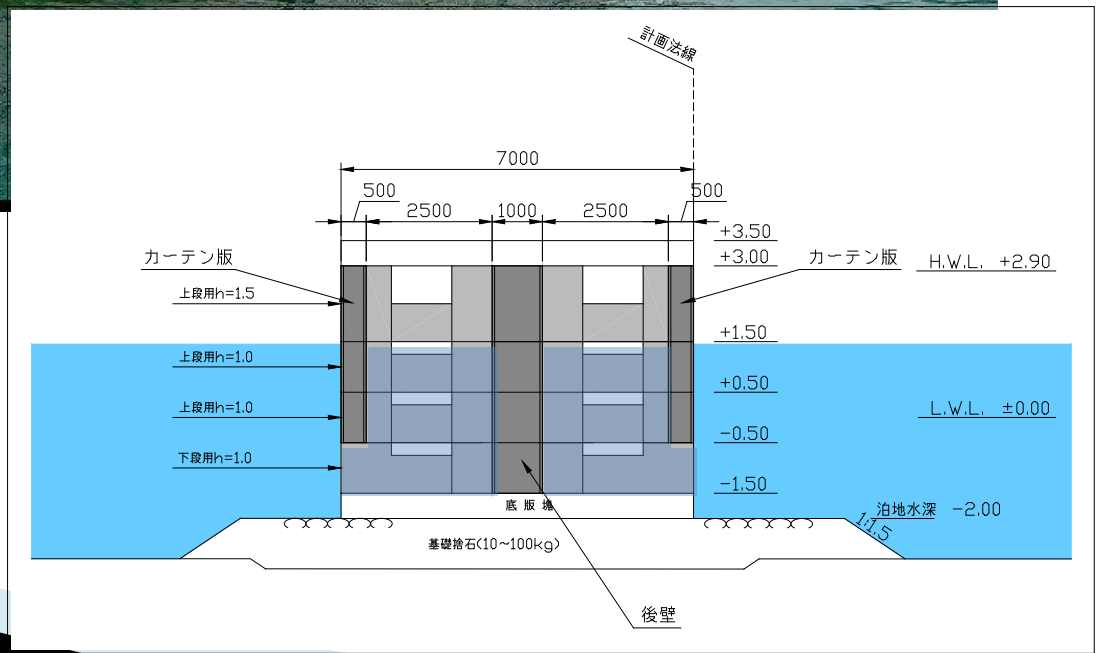


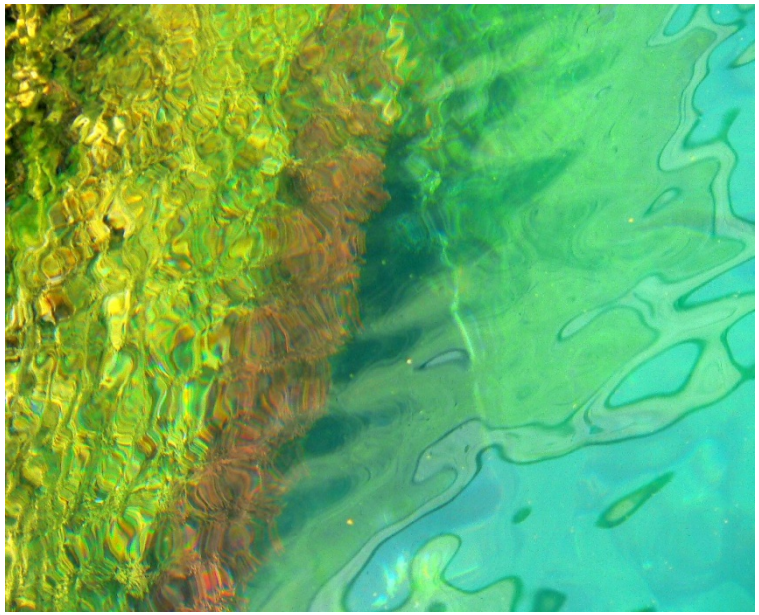
製作状況 （組立～天端均）

製作状況 （転置）

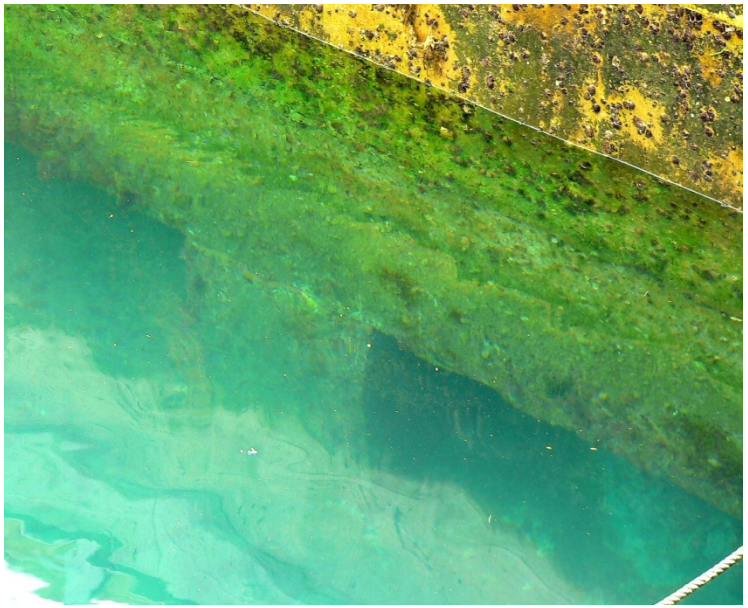
据付状況

完成


計画法線
7000
500
2500
1000
2500
500
+3.50
+3.00
カーテン版
カーテン版
H.W.L. +2.90
上段用h=1.5
+1.50
上段用h=1.0
+0.50
上段用h=1.0
L.W.L. ±0.00
−0.50
下段用h=1.0
−1.50
底 版 幅
泊地水深 −2.00
1:1.5
基礎捨石(10~100kg)
後壁

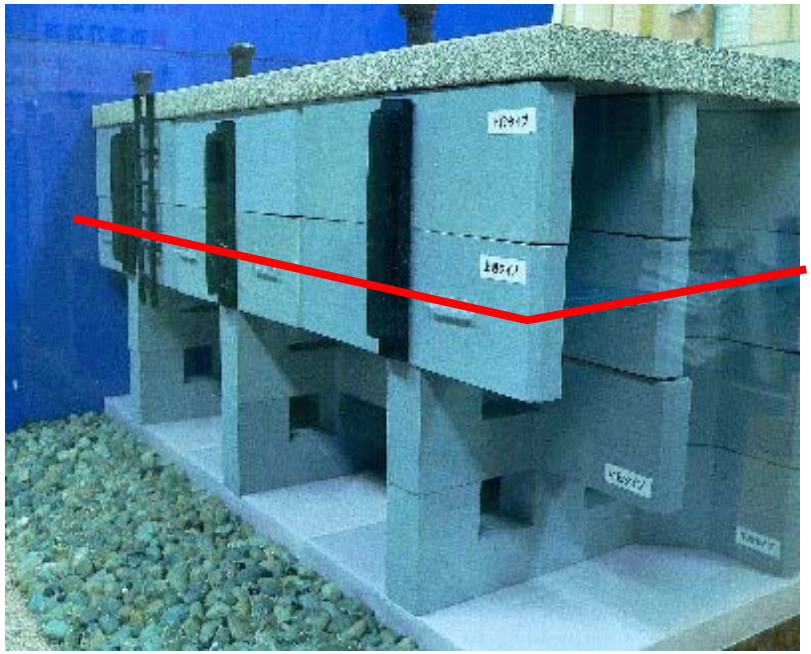


港口側開口部



港奥側開口部

利用状況

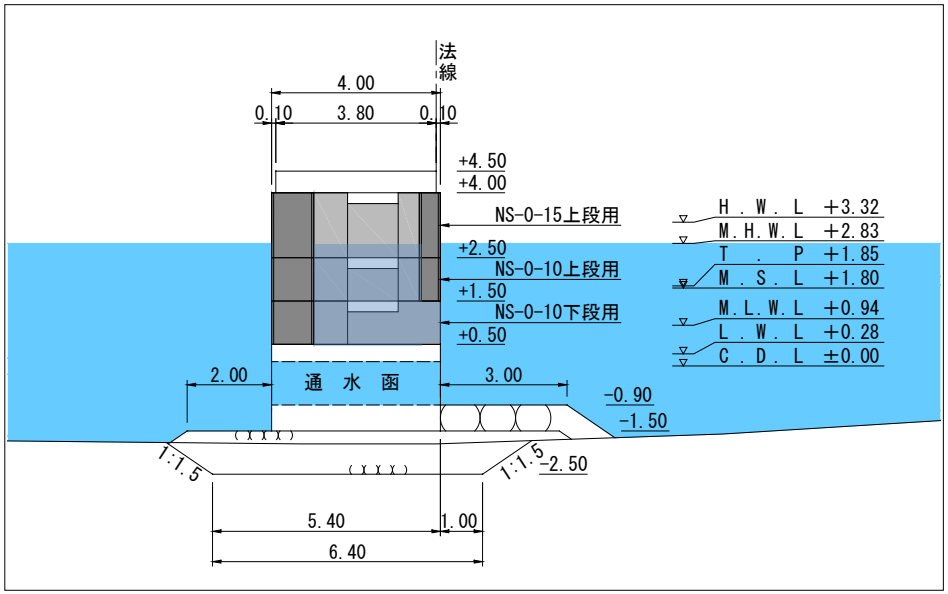


構造物前面の水面上に空隙がない。

トリウォールでは潜り込み対策は不要

一般的な直立消波ブロックは潜りこみ対策が必要

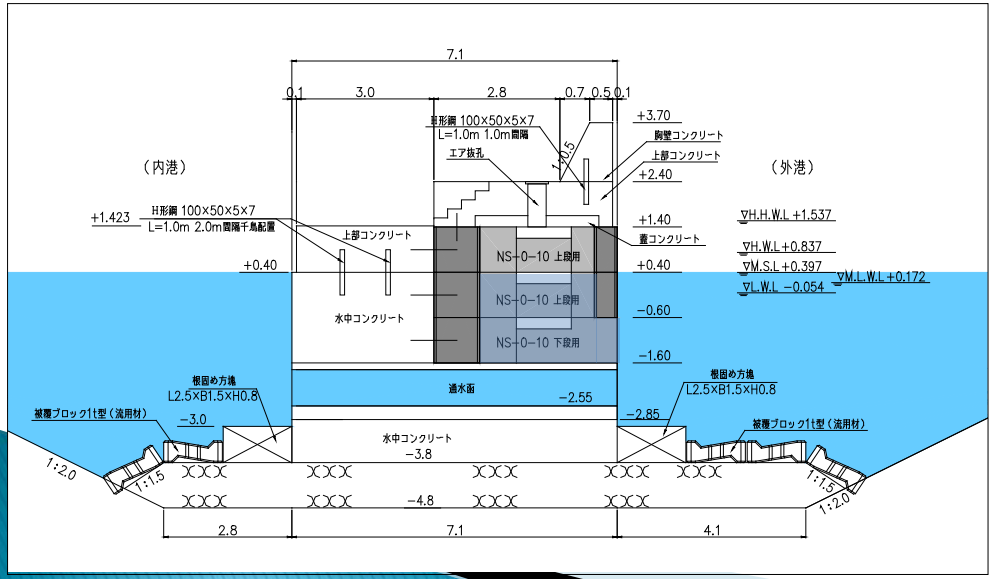
工事名： 光漁港広域漁港整備工事
施設名： 西B防波堤L=102m(B工区L=55m)
タイプ： NS-0-10, NS-0-15



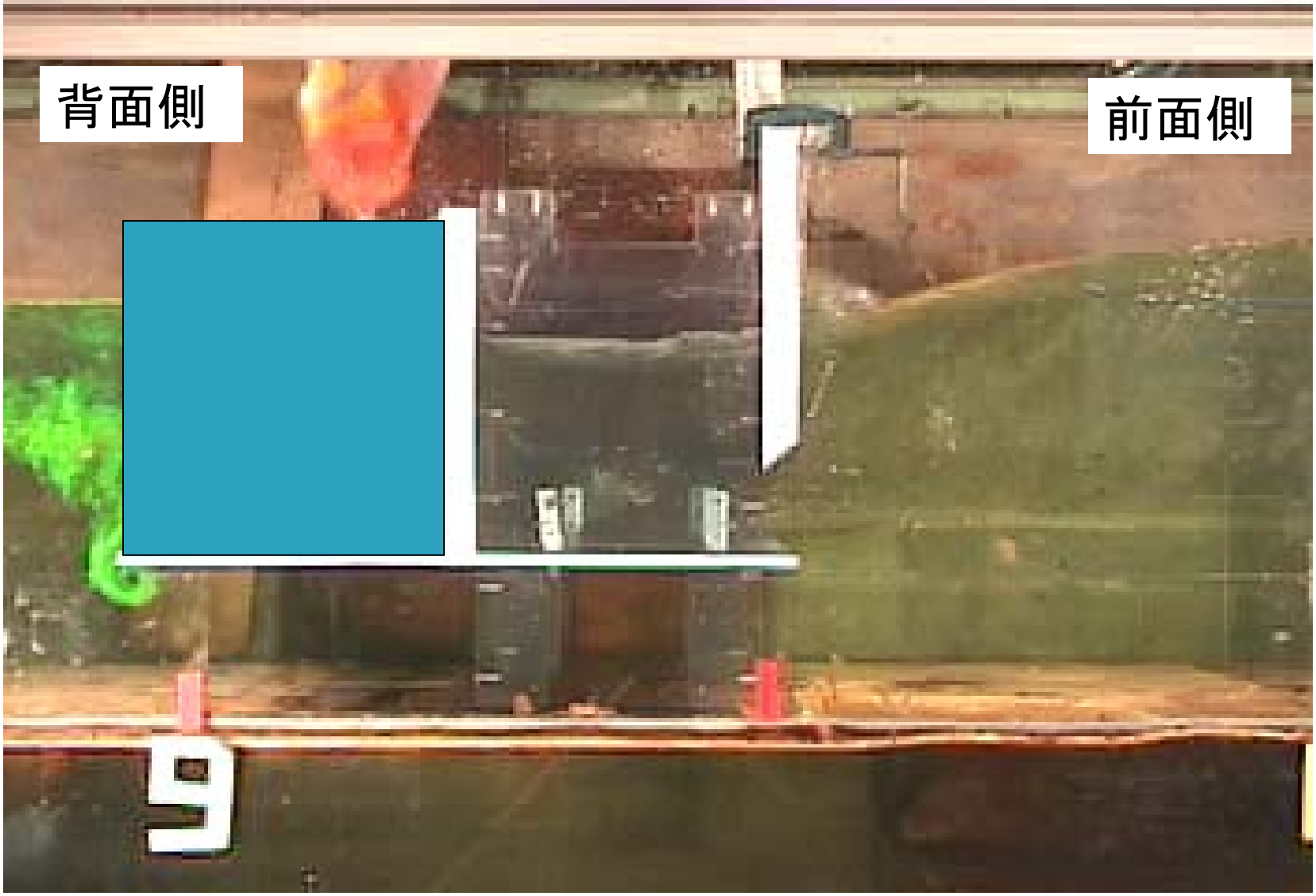
瀬戸内海の潮位差を利用した
汐通しと経済性から採用

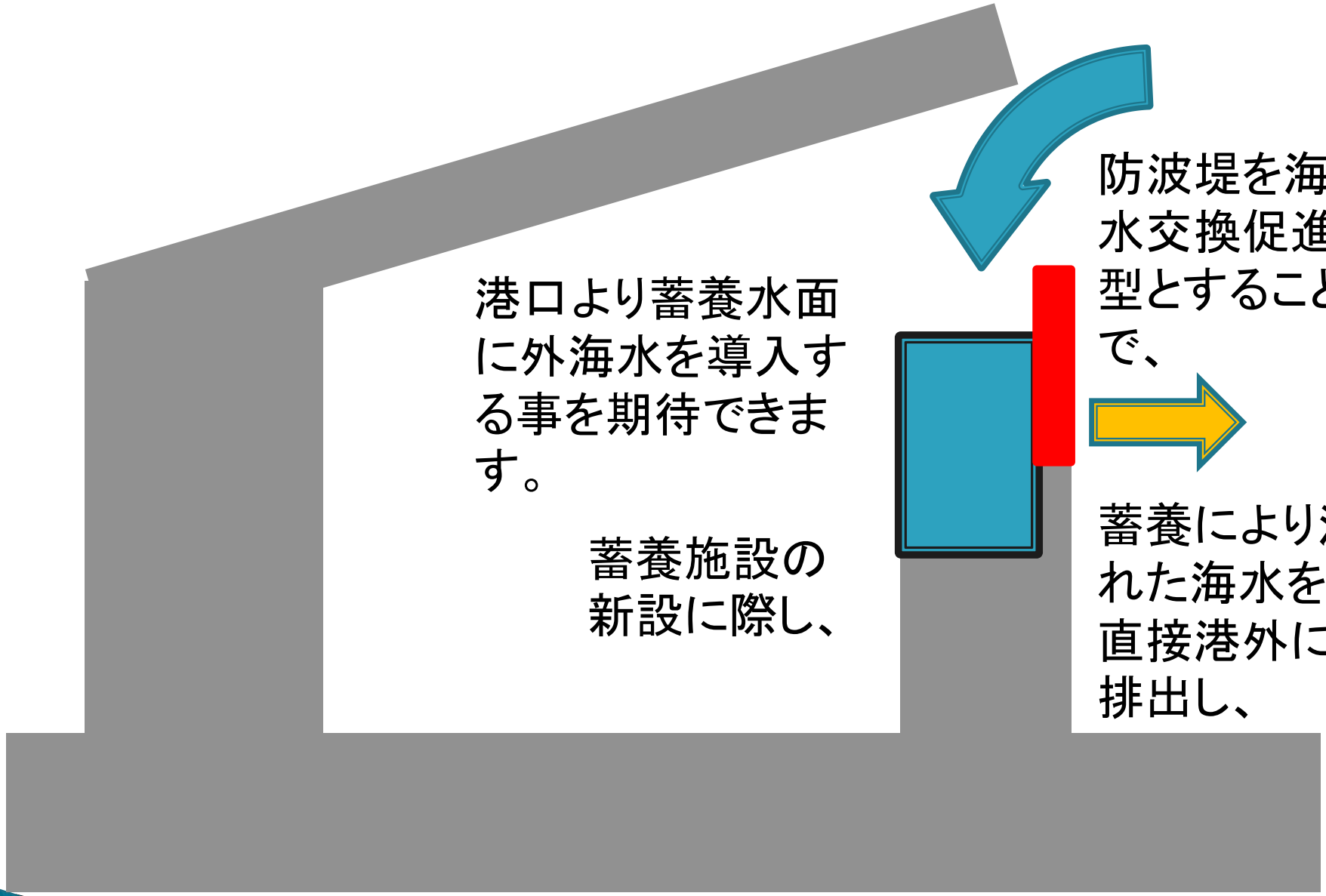
工事名： 横浜地区地域水産物供給基盤整備工事
施設名： 北防波堤(L=10m)
タイプ： NS-0-10

海水交換促進型防波堤

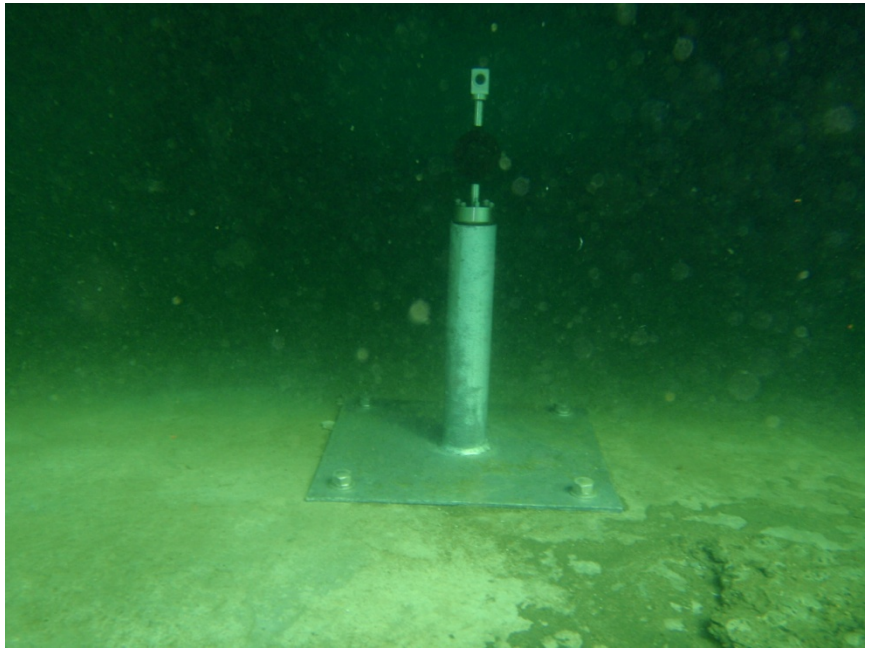


港内側

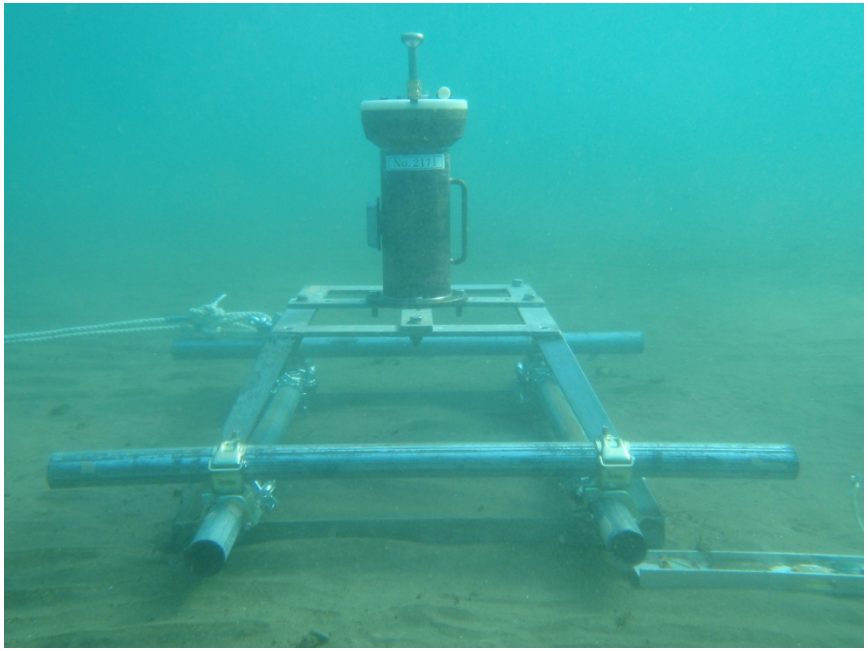

背面側
前面側


防波堤を海水交換促進型とすることで、
港口より蓄養水面に外海水を導入する事を期待できます。
蓄養施設の新設に際し、
蓄養により汚れた海水を直接港外に排出し、

源氏が浦漁港　入射波高・通水部流速測定（H20.12.10～22）



通水部に設置した流速計



防波堤沖（北側）50m付近に設置した
波高計

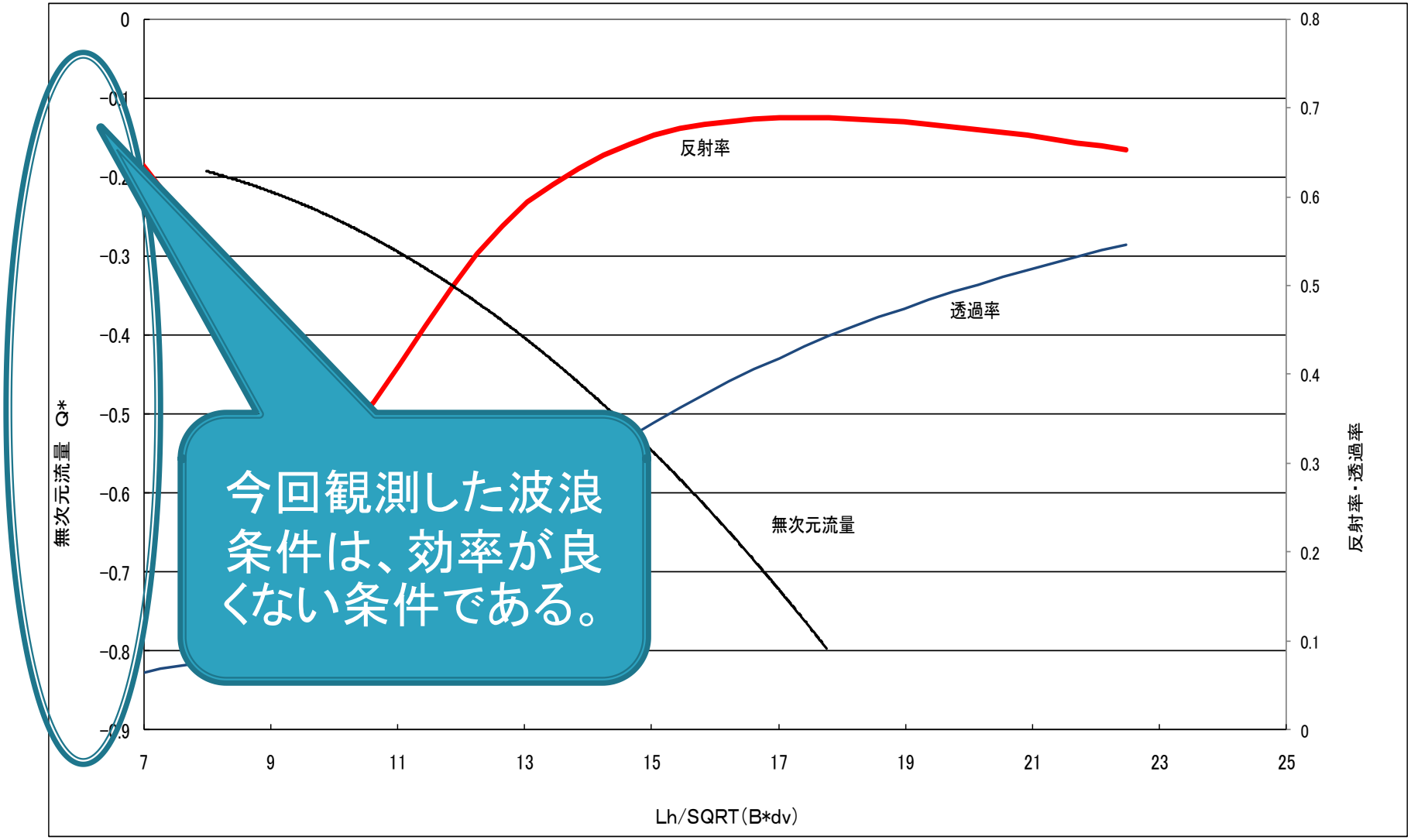
測定期間中の波浪条件

	期間内最大値	期間内最小値	期間内平均値
$H_{1/3}$	0.99m	0.17m	0.38m
$T_{1/3}$	4.90sec	1.30sec	2.55sec

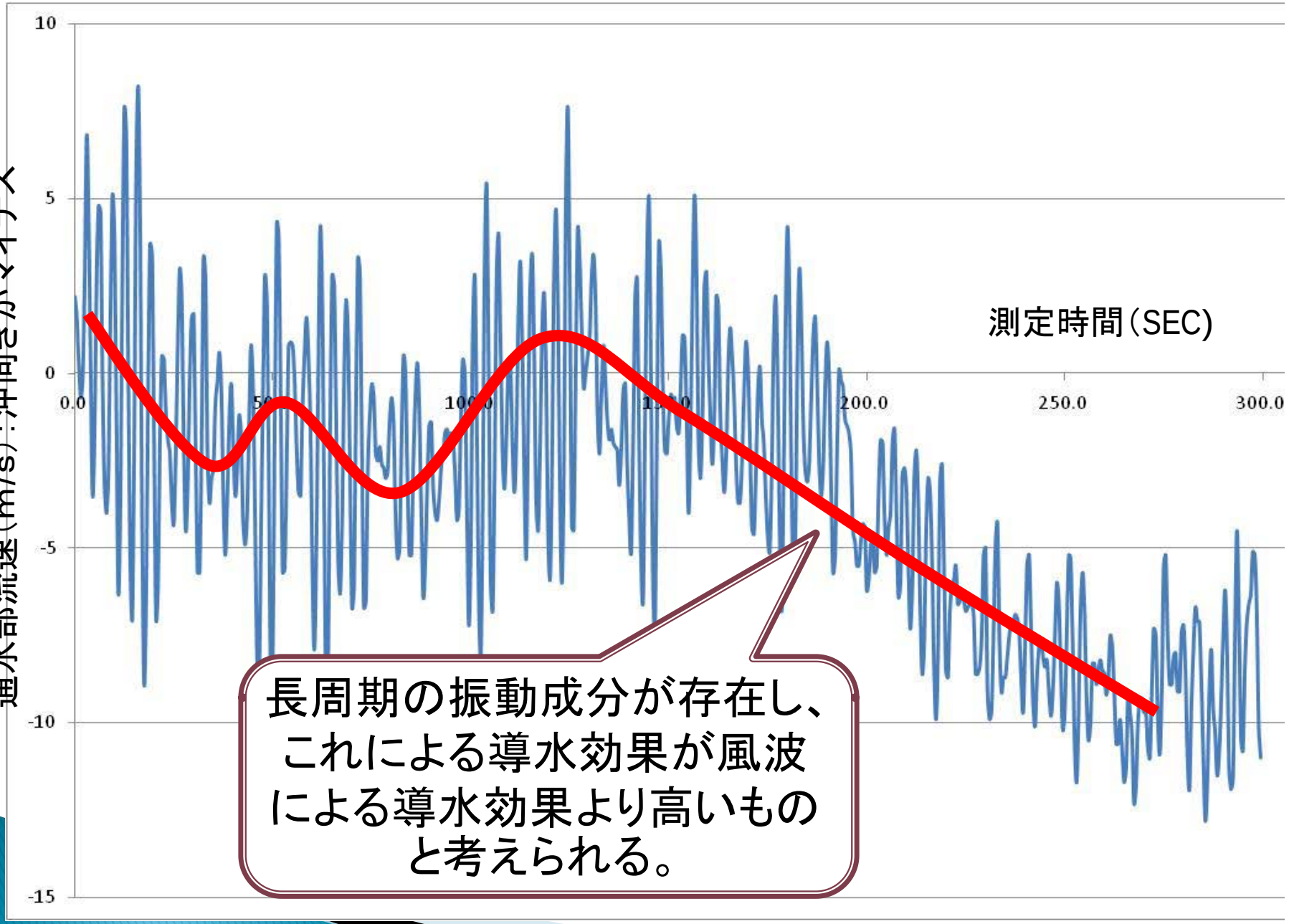
	時間換算導水量（m^3/h）												
	12月10日	12月11日	12月12日	12月13日	12月14日	12月15日	12月16日	12月17日	12月18日	12月19日	12月20日	12月21日	12月22日
0時		-148.03	-250.37	-695.30	-48.50	-179.02	-153.79	-261.89	-89.14	-470.23	-236.02	-221.69	-151.01
1時		-388.27	-475.01	-475.06	-195.94	-54.91	-128.90	-60.67	102.94	-735.02	-455.69	-231.74	-424.10
2時		-189.26	-629.95	-419.04	110.90	-141.89	-83.76	-191.28	2.40	-310.10	-410.95	-127.75	-598.90
3時		-183.38	3.07	-883.49	86.98	-103.66	-65.54	77.35	-39.29	-239.35	-565.75	-58.75	-501.53
4時		-76.37	-564.72	-439.32	-60.41	36.94	-158.06	-260.47	-175.06	-501.29	-428.26	-164.23	-272.33
5時		-228.22	-196.32	-419.93	6.22	-58.94	-215.95	-56.28	-91.03	-436.06	-576.05	-108.12	-272.40
6時		-24.98	-686.52	-261.12	-59.16	-320.45	-161.26	33.10	-96.55	-270.74	-234.77	-339.70	-325.99
7時		-216.53	-536.88	-296.50	32.14	-156.38	-215.30	-186.26	-294.98	-252.60	-417.98	-239.47	150.65
8時		-81.31	-275.76	-102.65	-57.41	-140.09	-176.35	-127.82	-132.58	-85.66	-218.40	-227.90	-144.98
9時		-88.15	-595.15	94.87	-36.50	93.12	-26.14	-102.00	-257.38	-360.41	-344.76	-205.70	
10時	-152.42	-446.50	-732.96	8.76	0.67	-202.70	-120.50	8.14	-259.49	-265.32	-292.46	-94.10	
11時	80.98	-19.56	-744.62	85.44	-278.23	-144.24	-204.00	-17.38	-229.06	-222.53	-165.14	-28.13	
12時	92.23	130.75	-401.54	78.34	-3.82	-101.64	-80.76	-85.25	-96.84	-214.06	-552.89	-89.40	
13時	-111.58	-311.40	-410.98	-124.97	8.14	23.21	-40.68	-16.30	-94.75	-416.88	-371.62	-123.72	
14時	-109.13	-160.94	-498.38	-71.93	38.42	-184.80	44.90	-74.98	-261.46	-207.36	-355.82	-415.27	
15時	-94.03	-449.23	-733.58	-113.47	30.43	-360.98	26.30	-210.55	-100.70	-224.90	-726.22	-530.90	
16時	-161.35	-1334.33	-566.33	-229.58	-59.11	-231.77	-54.82	-35.30	-314.40	-324.05	-94.94	-296.90	
17時	-144.53	-855.31	-1092.34	-158.40	56.40	-397.18	20.88	-133.32	-295.08	-302.35	-272.78	8.16	
18時	-246.41	-357.53	-501.53	16.06	-50.38	-83.66	-5.54	-47.16	-118.80	-73.75	111.31	-544.32	
19時	-283.70	-226.85	-939.36	-159.12	-87.36	-190.20	-107.11	-228.65	19.94	-38.74	-283.58	-92.57	
20時	-183.55	-313.34	-1174.39	-86.47	-33.86	-153.17	-69.24	1.56	-272.93	-155.83	-322.20	-403.63	
21時	-862.87	-586.58	-796.22	-356.18	-139.30	-267.77	-60.96	-69.05	-211.42	85.94	-334.32	-29.52	
22時	-530.90	-58.10	-532.80	-156.46	-173.04	-75.62	-205.54	47.26	-136.94	-265.25	-443.83	-344.88	
23時	-474.29	-357.74	-665.26	-140.42	-442.99	-85.01	-27.67	-114.38	-274.42	-466.22	-709.85	-222.79	
24時間合計（m^3/日）	-5454.10	-6971.18	-13997.90	-5305.94	-1355.71	-3480.82	-2269.80	-2111.59	-3717.00	-6752.76	-8702.98	-5133.05	-6774.91

測定期間平均導水量
-5540.60　m^3/日

背後水深3mの水域に対し、約50m四方の水を一日で交換



二次元造波水路における反射率・透過率・通水部導水量と波長の関係


通水部流速（m/s）：沖向きがマイナス
10
5
0
-5
-10
-15
0.0
200.0
250.0
300.0
測定時間（SEC）
長周期の振動成分が存在し、
これによる導水効果が風波
による導水効果より高いもの
と考えられる。

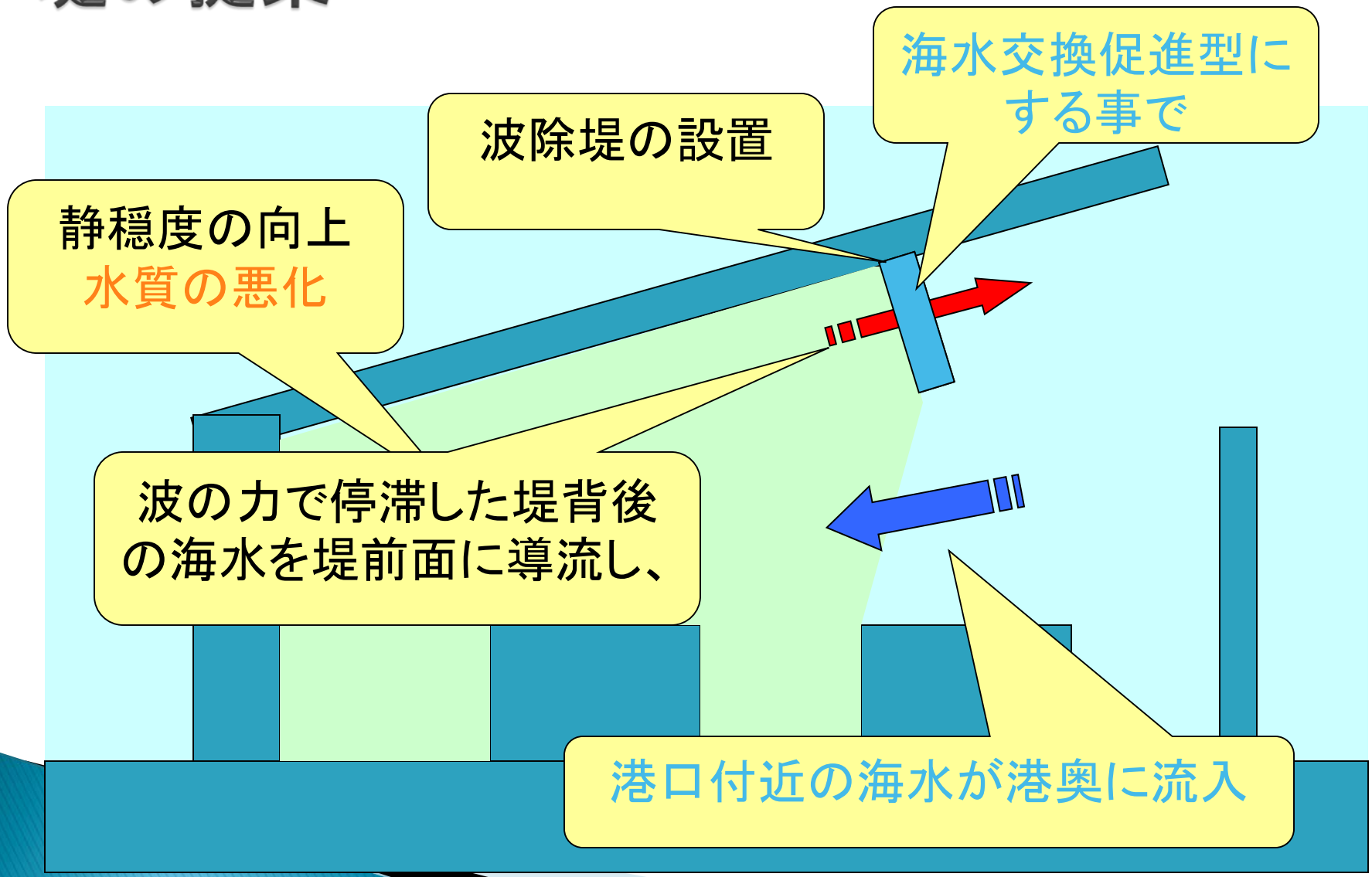
海水交換促進型防波堤に関し、得られた知見と今後の課題

流速計データに見られる長周期振動は、波高計のデータでも観測されている。
導水量を正確に評価するためには、長周期波成分の周期・波高を把握し、1周期当りの導水量を算定する必要があるものと思われる。（現在作業中）

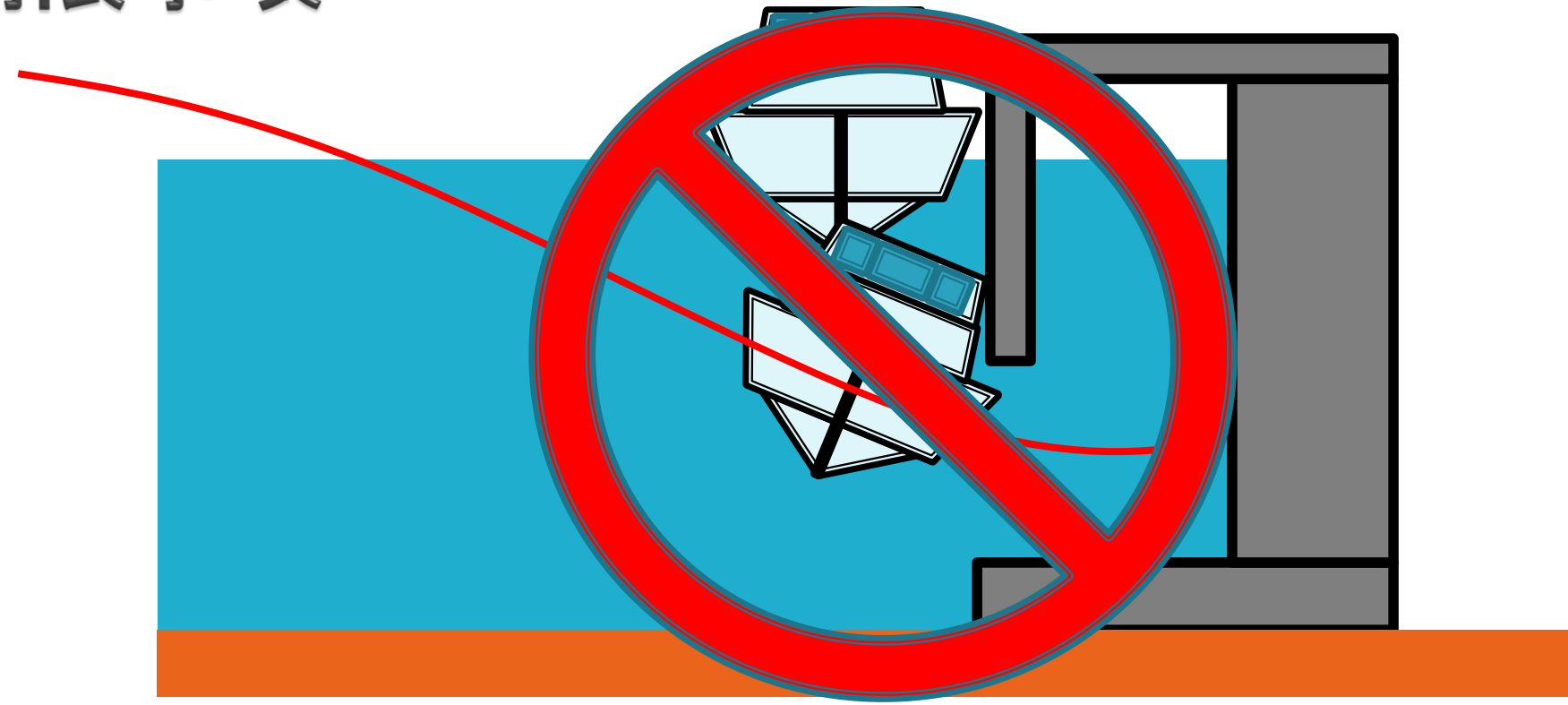
源氏が浦漁港における調査期間中の入射波はの卓越波向きは、WNW（入射角67.5度）という斜め入射波であったが十分な導水量が確認できた。

源氏が浦漁港においては周期3秒～4秒・波高50～80cm程度の常時波浪による海水交換を期待し、設計を行ったが現実には長周期波（振動）による導水効果の方が大きなものとなっている。

港内海水の循環促進機能を備えた波除堤の提案



制限事項



係留施設として使用する場合

前面垂下版の喫水が十分に確保できないとき

船舶の安全上使用不可

制限事項

水深が浅く、砕波した波が作用する場合、共振現象が発生せず、消波効果が得られない