

b) 計算結果

検証波浪（夏季と冬季）の波浪変形計算結果を図-6.9.65～図-6.9.68に示しました。図中の矢印は波向をベクトル表示したものであり、夏季と冬季の検証波浪では、西から伝搬する波浪が馬毛島の南北から対象事業実施区域周辺へ回り込む状況を把握することができます。

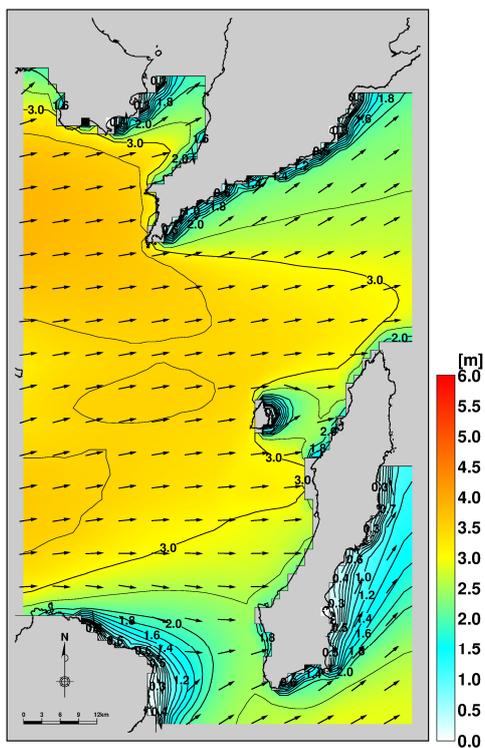


図-6.9.65 波高分布（波浪条件：夏季の検証波浪、広域）

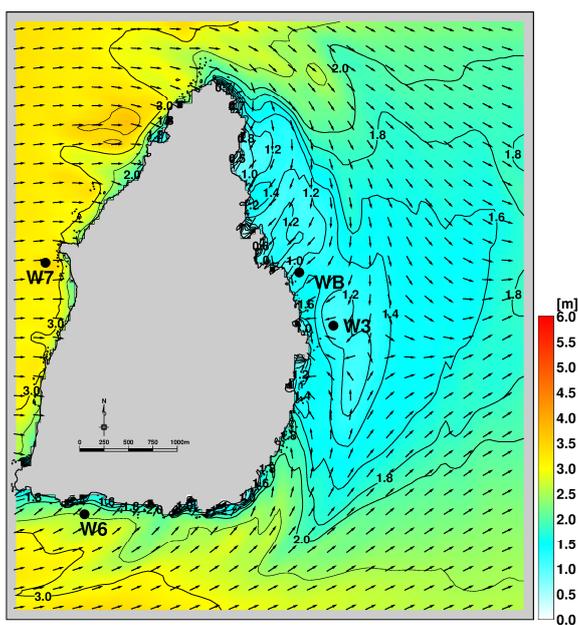


図-6.9.66 波高分布（波浪条件：夏季の検証波浪、対象事業実施区域周辺）

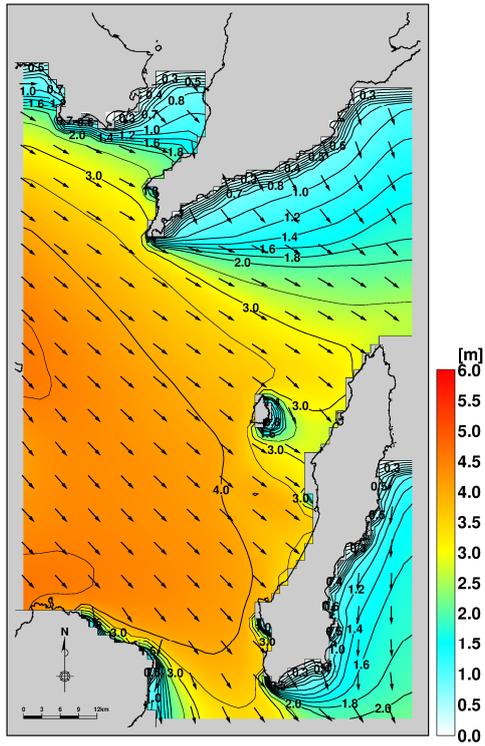


図-6. 9. 67 波高分布（波浪条件：冬季の検証波浪、広域）

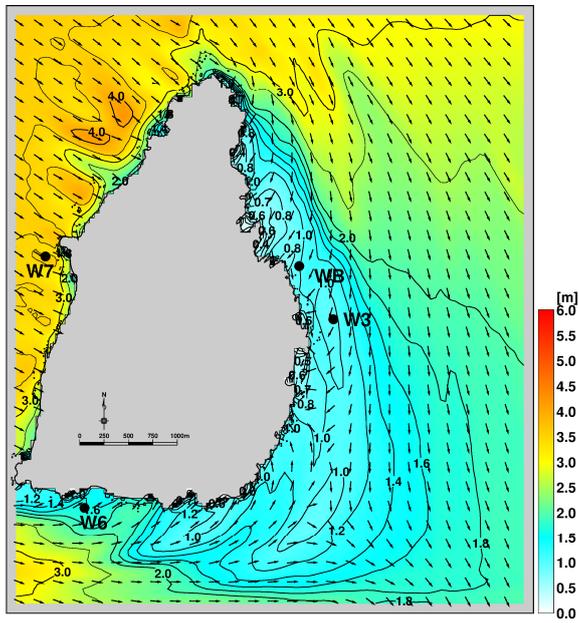


図-6. 9. 68 波高分布（波浪条件：冬季の検証波浪、対象事業実施区域周辺）

c) 検証結果

夏季と冬季の波高の観測結果と計算結果を表-6.9.25及び表-6.9.26に示しました。また、WA に対する各地点の波高比を図-6.9.69及び図-6.9.70に示しました。各観測地点の観測結果と計算結果の波高の差は0.1m程度でした。また、WA に対する各地点の波高比の回帰式の傾きも概ね1に近い値となっていることから、対象事業実施区域周辺の波浪分布状況を概ね再現できていると判断しました。

表-6.9.25 波高の観測結果と計算結果（夏季の再現計算）

地点名	観測結果(m)	計算結果(m)	差値(m)
W3	1.20	1.12	-0.08
W6	2.19	2.22	0.03
W7	3.55	3.46	-0.09
WA	1.75	1.83	0.08
WB	0.93	0.99	0.06

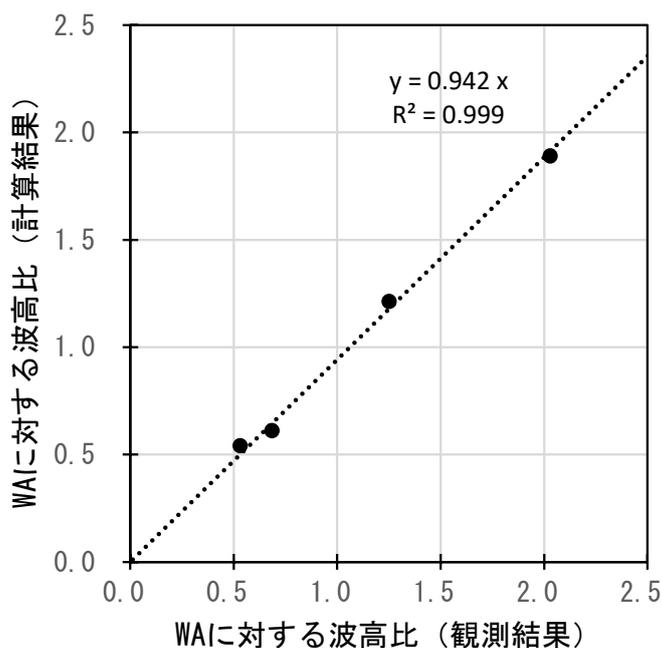


図-6.9.69 WA に対する各地点の波高比（夏季）

表-6.9.26 波高の観測結果と計算結果 (冬季の再現計算)

地点名	観測結果(m)	計算結果(m)	差値(m)
W3	0.89	0.96	+0.07
W6	1.03	1.20	+0.17
W7	3.79	3.65	-0.14
WA	2.00	2.09	+0.09
WB	0.80	0.75	-0.05

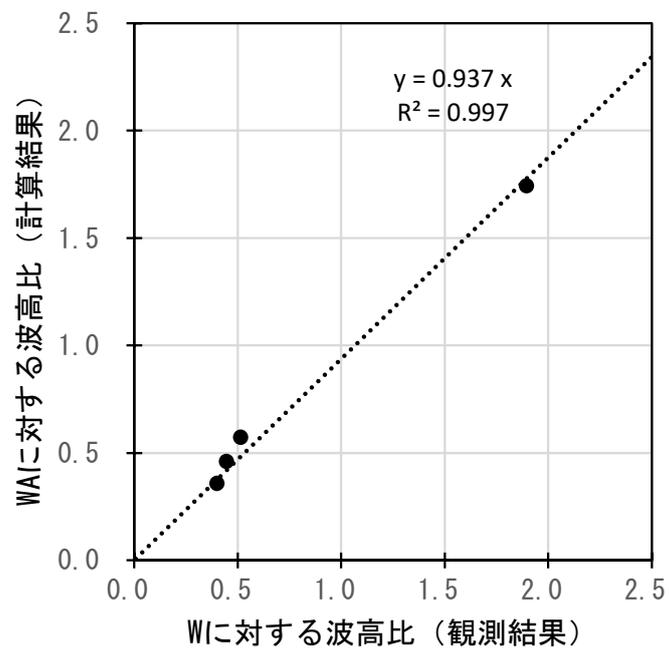


図-6.9.70 WA に対する各地点の波高比 (冬季)

(e) 予測条件

a) 通常時の波浪条件

通常時の波浪条件について、気象庁の沿岸波浪実況図の地点 Q (薩摩半島沖) の波浪統計結果 (2011~2020 年の直近 10 年間) と、種子島の風況の統計結果 (2011~2020 年の直近 10 年間) より設定しました。

夏季の波浪統計結果を表-6.9.28~表-6.9.29及び図-6.9.71~図-6.9.72に示します。また、夏季の風況の統計結果を表-6.9.30及び図-6.9.73に示します。

冬季の波浪統計結果を表-6.9.31~表-6.9.32及び図-6.9.74~図-6.9.75に示します。また、冬季の風況の統計結果を表-6.9.33及び図-6.9.76に示します。

統計結果より整理した通常時 (夏季と冬季) の波浪条件を表-6.9.27に示します。波高及び周期は各期間のエネルギー平均波を設定し、波向は出現回数の最も多い方位を設定しました。また、風速は各期間の平均値を設定し、風向は波向と同様に出現頻度の最も多い方位を設定しました。

表-6.9.27 通常時の波浪条件

対象期間	波高 (m)	周期 (秒)	波向 (方位)	風速 (m/s)	風向 (方位)
夏季	1.65	6.9	ESE	4.7	ESE
冬季	1.93	5.7	WNW	6.9	NW

【エネルギー平均波の定義】

$$\text{波高} : H_m = \sqrt{\frac{\sum H_i^2 T_i}{N T_m}}$$

$$\text{周期} : T_m = \frac{\sum T_i}{N}$$

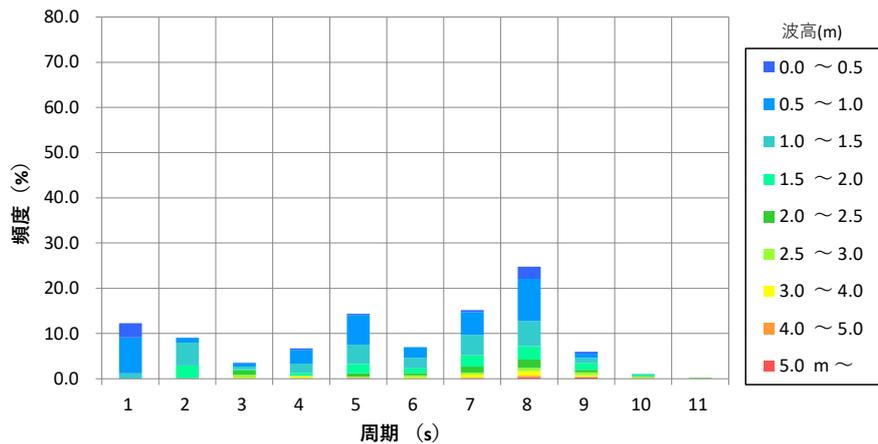
ここで、 $H_i$ は個々の有義波高、 $T_i$ は個々の有義波周期、 $N$ はデータ数です。

表-6.9.28 波高・周期の出現頻度 (夏季)

【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

周期(s) 波高(m)	0.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14.0 s	計	累計
	~3.0	~4.0	~5.0	~6.0	~7.0	~8.0	~9.0	~10.0	~12.0	~14.0	~		
0.0 ~ 0.5	58 3.2		2 0.1	6 0.3	5 0.3		8 0.4	50 2.7	8 0.4			137 7.4	137 7.4
0.5 ~ 1.0	146 7.9	21 1.1	14 0.8	56 3.0	121 6.6	43 2.3	93 5.1	172 9.3	17 0.9	1 0.1		684 37.2	821 44.6
1.0 ~ 1.5	22 1.2	92 5.0	11 0.6	37 2.0	79 4.3	43 2.3	83 4.5	102 5.5	23 1.3	1 0.1		493 26.8	1314 71.4
1.5 ~ 2.0		52 2.8	5 0.3	13 0.7	37 2.0	20 1.1	46 2.5	54 2.9	26 1.4	6 0.3		259 14.1	1573 85.5
2.0 ~ 2.5		2 0.1	18 1.0		15 0.8	9 0.5	24 1.3	34 1.8	10 0.5	4 0.2	2 0.1	118 6.4	1691 91.9
2.5 ~ 3.0			12 0.7	2 0.1	2 0.1	8 0.4	9 0.5	14 0.8	12 0.7	3 0.2	1 0.1	63 3.4	1754 95.3
3.0 ~ 4.0			3 0.2	8 0.4	2 0.1	5 0.3	13 0.7	18 1.0	7 0.4	2 0.1		58 3.2	1812 98.5
4.0 ~ 5.0				1 0.1	1 0.1		1 0.1	6 0.3	1 0.1	2 0.1		12 0.7	1824 99.1
5.0 m ~					2 0.1		2 0.1	6 0.3	6 0.3			16 0.9	1840 100.0
累計	226 12.3	167 9.1	65 3.5	123 6.7	264 14.3	128 7.0	279 15.2	456 24.8	110 6.0	19 1.0	3 0.2	1840 100.0	

上段：出現回数,下段：出現率



【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

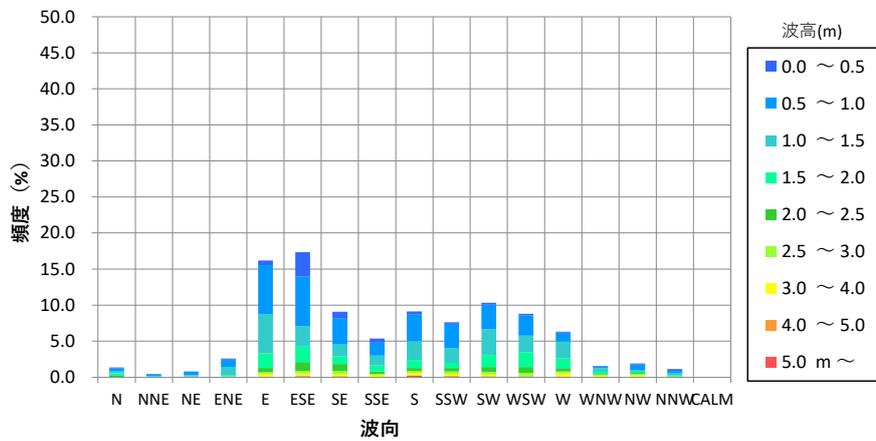
図-6.9.71 波高・周期の出現頻度 (夏季)

表-6.9.29 波高・波向の出現頻度 (夏季)

【統計期間：2011～2020年 (直近10年間), 観測地点：地点Q (薩摩半島沖)】

波高(m) \ 波向	波向																	計	累計
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM		
0.0 ~ 0.5	2 0.1			3 0.2	12 0.7	62 3.4	16 0.9	11 0.6	7 0.4	4 0.2	5 0.3	4 0.2	2 0.1	1 0.1	3 0.2	5 0.3		137 7.4	137 7.4
0.5 ~ 1.0	8 0.4	5 0.3	10 0.5	18 1.0	125 6.8	127 6.9	67 3.6	33 1.8	69 3.8	61 3.3	63 3.4	52 2.8	23 1.3	4 0.2	13 0.7	6 0.3		684 37.2	821 44.6
1.0 ~ 1.5	5 0.3	1 0.1	3 0.2	21 1.1	100 5.4	52 2.8	31 1.7	25 1.4	48 2.6	38 2.1	65 3.5	42 2.3	43 2.3	10 0.5	5 0.3	4 0.2		493 26.8	1314 71.4
1.5 ~ 2.0	6 0.3			4 0.2	37 2.0	39 2.1	19 1.0	15 0.8	20 1.1	13 0.7	31 1.7	38 2.1	25 1.4	5 0.3	3 0.2	4 0.2		259 14.1	1573 85.5
2.0 ~ 2.5	3 0.2				11 0.6	23 1.3	18 1.0	6 0.3	8 0.4	9 0.5	12 0.7	15 0.8	8 0.4	2 0.1	3 0.2			118 6.4	1691 91.9
2.5 ~ 3.0		2 0.1	1 0.1		5 0.3	6 0.3	8 0.4	3 0.2	5 0.3	6 0.3	7 0.4	8 0.4	5 0.3	3 0.2	3 0.2	1 0.1		63 3.4	1754 95.3
3.0 ~ 4.0	1 0.1		1 0.1	1 0.1	6 0.3	6 0.3	5 0.3	6 0.3	6 0.3	5 0.3	4 0.2	1 0.1	8 0.4	3 0.2	4 0.2	1 0.1		58 3.2	1812 98.5
4.0 ~ 5.0				1 0.1	2 0.1	2 0.1			1 0.1	2 0.1	1 0.1		1 0.1	1 0.1	1 0.1			12 0.7	1824 99.1
5.0 m ~					2 0.1	3 0.2			4 0.2	2 0.1	2 0.1	2 0.1	1 0.1					16 0.9	1840 100.0
累計	25 1.4	8 0.4	15 0.8	48 2.6	298 16.2	319 17.3	167 9.1	99 5.4	168 9.1	140 7.6	190 10.3	162 8.8	116 6.3	29 1.6	35 1.9	21 1.1	0 0.0	1840 100.0	

上段：出現回数, 下段：出現率



【統計期間：2011～2020年 (直近10年間), 観測地点：地点Q (薩摩半島沖)】

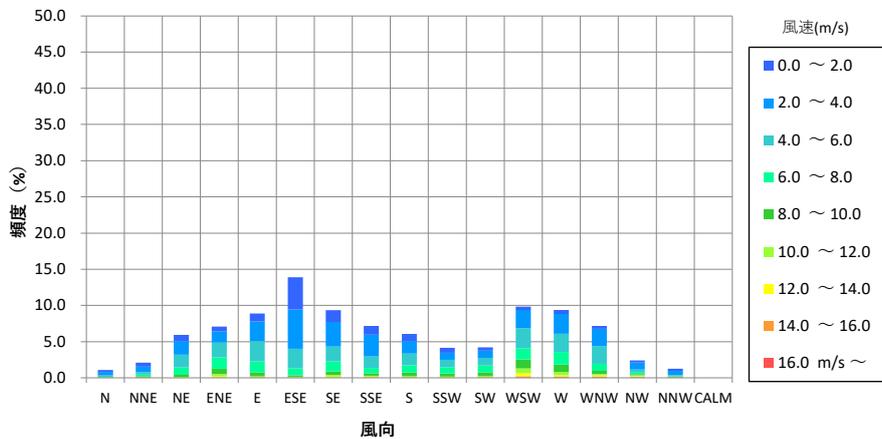
図-6.9.72 波高・波向の出現頻度 (夏季)

表-6.9.30 風速・風向の出現頻度 (夏季)

【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

風速(m/s)	風向																	計	累計
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM		
0.0 ~ 2.0	55 0.3	122 0.6	179 0.8	152 0.7	243 1.1	981 4.5	353 1.6	268 1.2	218 1.0	148 0.7	102 0.5	97 0.4	118 0.5	93 0.4	67 0.3	67 0.3		3263 14.9	3263 14.9
2.0 ~ 4.0	108 0.5	168 0.8	414 1.9	333 1.5	592 2.7	1188 5.4	744 3.4	659 3.0	377 1.7	214 1.0	216 1.0	555 2.5	600 2.7	522 2.4	217 1.0	126 0.6		7033 32.1	10296 46.9
4.0 ~ 6.0	49 0.2	77 0.4	392 1.8	448 2.0	613 2.8	591 2.7	451 2.1	348 1.6	350 1.6	219 1.0	237 1.1	608 2.8	552 2.5	531 2.4	86 0.4	30 0.1		5582 25.5	15878 72.4
6.0 ~ 8.0	8 0.0	47 0.2	222 1.0	343 1.6	333 1.5	209 1.0	307 1.4	159 0.7	223 1.0	191 0.9	201 0.9	339 1.5	381 1.7	215 1.0	53 0.2	16 0.1		3247 14.8	19125 87.2
8.0 ~ 10.0	5 0.0	28 0.1	64 0.3	160 0.7	120 0.5	48 0.2	101 0.5	77 0.4	110 0.5	100 0.5	117 0.5	267 1.2	227 1.0	100 0.5	34 0.2	14 0.1		1572 7.2	20697 94.4
10.0 ~ 12.0	5 0.0	12 0.1	18 0.1	68 0.3	34 0.2	16 0.1	54 0.2	30 0.1	36 0.2	29 0.1	28 0.1	145 0.7	96 0.4	44 0.2	24 0.1	11 0.1		650 3.0	21347 97.3
12.0 ~ 14.0	3 0.0	6 0.0	2 0.0	34 0.2	3 0.0	6 0.0	25 0.1	16 0.1	8 0.0	6 0.0	12 0.1	98 0.4	40 0.2	29 0.1	25 0.1	4 0.0		317 1.4	21664 98.8
14.0 ~ 16.0	1 0.0	1 0.0	2 0.0	6 0.0	8 0.0	8 0.0	7 0.0	10 0.0	6 0.0	3 0.0	5 0.0	24 0.1	17 0.1	21 0.1	13 0.1	6 0.0		138 0.6	21802 99.4
16.0 m/s ~	3 0.0	2 0.0	4 0.0	9 0.0	3 0.0	1 0.0	7 0.0	9 0.0	3 0.0		5 0.0	22 0.1	23 0.1	21 0.1	14 0.1	3 0.0		129 0.6	21931 100.0
累計	237 1.1	463 2.1	1297 5.9	1553 7.1	1949 8.9	3048 13.9	2049 9.3	1576 7.2	1331 6.1	910 4.1	923 4.2	2155 9.8	2054 9.4	1576 7.2	533 2.4	277 1.3	0 0.0	21931 100.0	

上段：出現回数,下段：出現率



【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

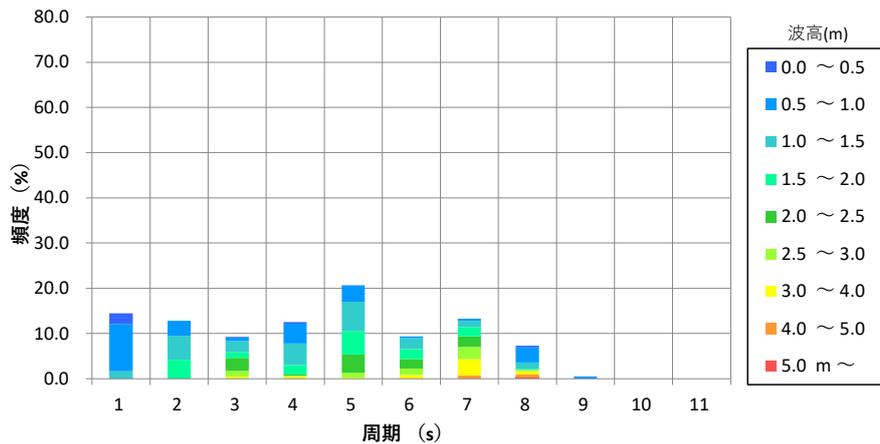
図-6.9.73 風速・風向の出現頻度 (夏季)

表-6.9.31 波高・周期の出現頻度 (冬季)

【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

波高(m) \ 周期(s)	0.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	12.0	14.0 s	計	累計
	~3.0	~4.0	~5.0	~6.0	~7.0	~8.0	~9.0	~10.0	~12.0	~14.0	~		
0.0 ~ 0.5	42 2.3		2 0.1	6 0.3	1 0.1			6 0.3	1 0.1			58 3.2	58 3.2
0.5 ~ 1.0	189 10.5	60 3.3	15 0.8	79 4.4	65 3.6	6 0.3	9 0.5	60 3.3	8 0.4			491 27.2	549 30.4
1.0 ~ 1.5	30 1.7	96 5.3	44 2.4	86 4.8	116 6.4	44 2.4	25 1.4	26 1.4				467 25.9	1016 56.3
1.5 ~ 2.0		74 4.1	23 1.3	38 2.1	95 5.3	40 2.2	37 2.0	3 0.2				310 17.2	1326 73.4
2.0 ~ 2.5		1 0.1	52 2.9	5 0.3	73 4.0	38 2.1	42 2.3	1 0.1				212 11.7	1538 85.2
2.5 ~ 3.0			23 1.3	2 0.1	19 1.1	25 1.4	49 2.7	5 0.3				123 6.8	1661 92.0
3.0 ~ 4.0			8 0.4	10 0.6	4 0.2	14 0.8	65 3.6	13 0.7				114 6.3	1775 98.3
4.0 ~ 5.0						1 0.1	13 0.7	12 0.7				26 1.4	1801 99.7
5.0 m ~								5 0.3				5 0.3	1806 100.0
累計	261 14.5	231 12.8	167 9.2	226 12.5	373 20.7	168 9.3	240 13.3	131 7.3	9 0.5	0 0.0	0 0.0	1806 100.0	

上段：出現回数,下段：出現率



【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

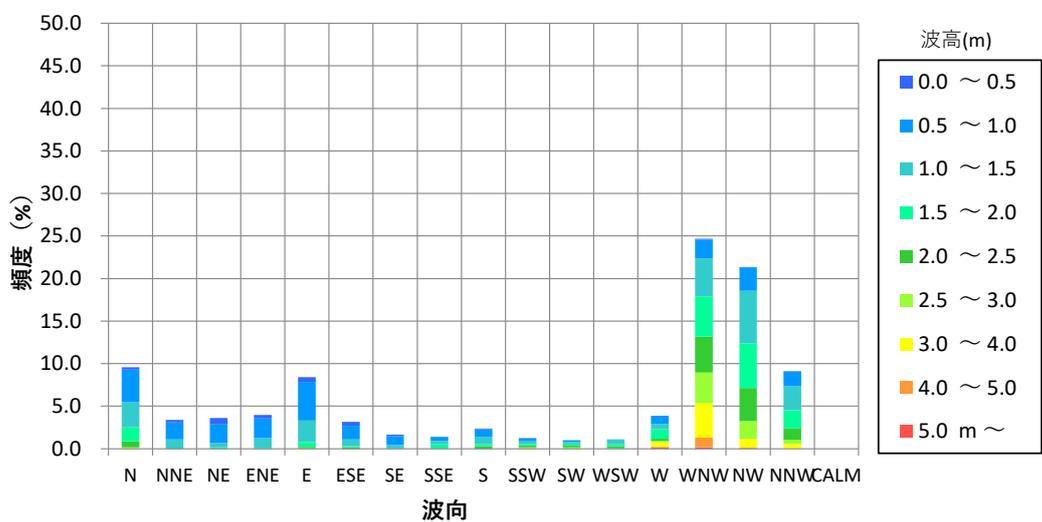
図-6.9.74 波高・周期の出現頻度 (冬季)

表-6.9.32 波高・波向の出現頻度 (冬季)

【統計期間：2011～2020年 (直近10年間), 観測地点：地点Q (薩摩半島沖)】

波高(m) \ 波向	波向																	計	累計
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM		
0.0 ~ 0.5	5 0.3	5 0.3	12 0.7	8 0.4	10 0.6	8 0.4	3 0.2		2 0.1	1 0.1				2 0.1	1 0.1	1 0.1		58 3.2	58 3.2
0.5 ~ 1.0	69 3.8	36 2.0	41 2.3	41 2.3	82 4.5	29 1.6	19 1.1	8 0.4	16 0.9	6 0.3	4 0.2	2 0.1	17 0.9	40 2.2	50 2.8	31 1.7		491 27.2	549 30.4
1.0 ~ 1.5	54 3.0	20 1.1	9 0.5	21 1.2	46 2.5	15 0.8	7 0.4	8 0.4	15 0.8	6 0.3	3 0.2	8 0.4	12 0.7	81 4.5	111 6.1	51 2.8		467 25.9	1016 56.3
1.5 ~ 2.0	29 1.6		3 0.2	1 0.1	10 0.6	2 0.1	1 0.1	9 0.5	5 0.3	3 0.2	4 0.2	5 0.3	20 1.1	85 4.7	95 5.3	38 2.1		310 17.2	1326 73.4
2.0 ~ 2.5	13 0.7			1 0.1	3 0.2	3 0.2			5 0.3	4 0.2	4 0.2	4 0.2	4 0.2	76 4.2	70 3.9	25 1.4		212 11.7	1538 85.2
2.5 ~ 3.0	2 0.1									2 0.1	3 0.2	1 0.1	3 0.2	65 3.6	38 2.1	9 0.5		123 6.8	1661 92.0
3.0 ~ 4.0	1 0.1				1 0.1								10 0.6	73 4.0	19 1.1	10 0.6		114 6.3	1775 98.3
4.0 ~ 5.0										1 0.1			2 0.1	21 1.2	2 0.1			26 1.4	1801 99.7
5.0 m ~													2 0.1	3 0.2				5 0.3	1806 100.0
累計	173 9.6	61 3.4	65 3.6	72 4.0	152 8.4	57 3.2	30 1.7	25 1.4	43 2.4	23 1.3	18 1.0	20 1.1	70 3.9	446 24.7	386 21.4	165 9.1	0 0.0	1806 100.0	

上段：出現回数, 下段：出現率



【統計期間：2011～2020年 (直近10年間), 観測地点：地点Q (薩摩半島沖)】

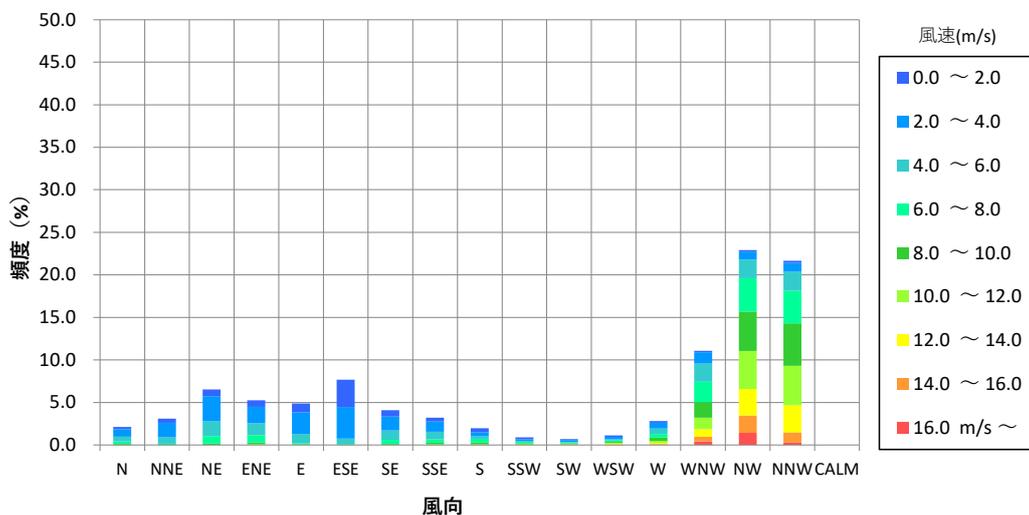
図-6.9.75 波高・波向の出現頻度 (冬季)

表-6.9.33 風速・風向の出現頻度 (冬季)

【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

風速(m/s) \ 風向	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	CALM	計	累計	
0.0 ~ 2.0	61 0.3	107 0.5	169 0.8	161 0.7	221 1.0	696 3.2	166 0.8	101 0.5	98 0.5	53 0.2	26 0.1	36 0.2	44 0.2	37 0.2	35 0.2	56 0.3		2067 9.5	2067 9.5	
2.0 ~ 4.0	188 0.9	371 1.7	639 3.0	418 1.9	552 2.5	807 3.7	349 1.6	256 1.2	108 0.5	41 0.2	41 0.2	63 0.3	144 0.7	287 1.3	200 0.9	227 1.0		4691 21.7	6758 31.2	
4.0 ~ 6.0	126 0.6	160 0.7	377 1.7	309 1.4	230 1.1	137 0.6	237 1.1	200 0.9	63 0.3	22 0.1	21 0.1	37 0.2	137 0.6	470 2.2	478 2.2	482 2.2		3486 16.1	10244 47.3	
6.0 ~ 8.0	63 0.3	25 0.1	185 0.9	189 0.9	41 0.2	18 0.1	107 0.5	84 0.4	96 0.4	32 0.1	26 0.1	28 0.1	93 0.4	511 2.4	848 3.9	826 3.8		3172 14.6	13416 62.0	
8.0 ~ 10.0	21 0.1	6 0.0	35 0.2	41 0.2	4 0.0	6 0.0	21 0.1	40 0.2	43 0.2	27 0.1	17 0.1	27 0.1	86 0.4	399 1.8	1007 4.7	1080 5.0		2860 13.2	16276 75.2	
10.0 ~ 12.0	1 0.0	3 0.0	5 0.0	9 0.0	4 0.0		4 0.0	12 0.1	15 0.1	13 0.1	10 0.0	25 0.1	45 0.2	292 1.3	965 4.5	1003 4.6		2406 11.1	18682 86.3	
12.0 ~ 14.0	1 0.0			10 0.0	2 0.0		2 0.0	4 0.0	2 0.0	6 0.0	7 0.0	19 0.1	38 0.2	189 0.9	675 3.1	695 3.2		1650 7.6	20332 93.9	
14.0 ~ 16.0										1 0.0	3 0.0	8 0.0	9 0.0	126 0.6	444 2.1	256 1.2		847 3.9	21179 97.8	
16.0 m/s ~								2 0.0	1 0.0				3 0.1	11 0.4	88 1.4	308 1.4	63 0.3		476 2.2	21655 100.0
計	461 2.1	672 3.1	1410 6.5	1137 5.3	1054 4.9	1664 7.7	886 4.1	699 3.2	426 2.0	195 0.9	151 0.7	246 1.1	607 2.8	2399 11.1	4960 22.9	4688 21.6	0 0.0	21655 100.0		

上段：出現回数,下段：出現率



【統計期間：2011～2020年(直近10年間),観測地点：地点Q(薩摩半島沖)】

図-6.9.76 風速・風向の出現頻度 (冬季)

b) 高波浪時の波浪条件

高波浪時の波浪条件は、外力のレベルを3段階（高波浪、年最大波浪、異常波浪）に設定し、波浪条件を整理しました。

(ア) 高波浪

四季を通じて毎月発生しうるレベルの高波浪として、直近10年間の月最大有義波高の平均値を設定しました。直近10年間における月最大有義波高出現時の波高・周期の出現頻度を表-6.9.35及び図-6.9.77に示します。

(イ) 年最大波浪

毎年少なくとも1回発生する程度の高波浪として、表-6.9.36に示した全統計期間（2006～2020年）の年最大波の最低レベルの波浪をもとに設定しました。なお、地点Q（薩摩半島沖）で有義波高4.9mを超える気象擾乱は15年間（2006～2020年）で計37回発生しており、年平均で約2.5回です。

(ウ) 異常波浪

数年に1回程度発生するレベルの高波浪として表-6.9.37に示した15年間（2006～2020年）の年最大波のエネルギー平均波を設定しました。

以上から、高波浪時の波浪条件を表-6.9.34に示すように設定します。なお、波向及び風向は高波浪時に出現頻度が最も多い方位を設定しました。

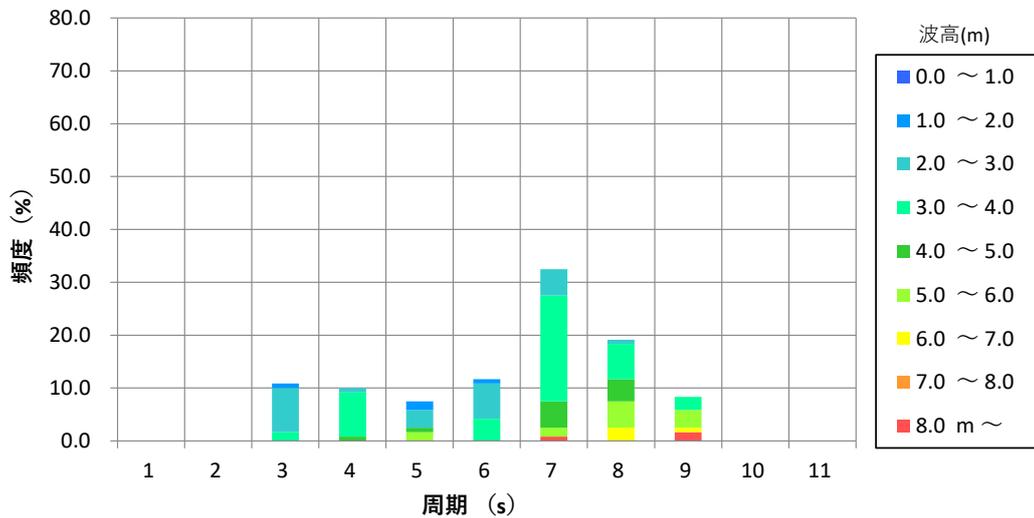
表-6.9.34 高波浪時の波浪条件

外力レベル	波高 (m)	周期 (秒)	波向 (方位)	風速 (m/s)	風向 (方位)
高波浪	3.71	8.5	WNW	12.4	NNW
年最大波浪	4.90	10.0	WNW	14.7	NNW
異常波浪	6.42	11.5	WNW	14.8	NNW

表-6.9.35 波高・周期の出現頻度（月最大有義波高）  
 【統計期間：2011～2020年（直近10年間）,観測地点：地点Q（薩摩半島沖）】

周期 (s) \ 波高 (m)	0.0 ~ 3.0	3.0 ~ 4.0	4.0 ~ 5.0	5.0 ~ 6.0	6.0 ~ 7.0	7.0 ~ 8.0	8.0 ~ 9.0	9.0 ~ 10.0	10.0 ~ 12.0	12.0 ~ 14.0	14.0 s ~	計	累計
0.0 ~ 1.0												0 0.0	0 0.0
1.0 ~ 2.0			1 0.8	2 1.7	1 0.8							4 3.3	4 3.3
2.0 ~ 3.0			10 8.3	1 0.8	4 3.3	8 6.7	6 5.0	1 0.8				30 25.0	34 28.3
3.0 ~ 4.0			2 1.7	10 8.3		5 4.2	24 20.0	8 6.7	3 2.5			52 43.3	86 71.7
4.0 ~ 5.0				1 0.8	1 0.8		6 5.0	5 4.2				13 10.8	99 82.5
5.0 ~ 6.0					2 1.7		2 1.7	6 5.0	4 3.3			14 11.7	113 94.2
6.0 ~ 7.0								3 2.5	1 0.8			4 3.3	117 97.5
7.0 ~ 8.0												0 0.0	117 97.5
8.0 m ~							1 0.8		2 1.7			3 2.5	120 100.0
累計	0 0.0	0 0.0	13 10.8	12 10.0	9 7.5	14 11.7	39 32.5	23 19.2	10 8.3	0 0.0	0 0.0	120 100.0	

上段：出現回数, 下段：出現率



【統計期間：2011～2020年（直近10年間）,観測地点：地点Q（薩摩半島沖）】

図-6.9.77 波高・周期の出現頻度（月最大有義波高）

表-6.9.36 地点 Q (薩摩半島沖) での年最大有義波高 (年代順)  
 -統計期間：2006～2020 年 (15 年間) -

年	起日	波浪 (地点Q)			風況 (種子島)		気象要因
		波高 (m)	周期 (s)	波向 (方位)	風速 (m/s)	風向 (方位)	
2006	9/17	5.2	6.3	SE	10.8	SW	T0613
2007	7/14	6.3	7.2	SE	21.1	SSW	T0704
2008	1/1	4.1	9.0	WNW	14.7	NNW	冬型の気圧配置
2009	1/10	4.2	9.0	WNW	17.3	NNW	南岸低気圧
2010	12/31	5.4	9.9	WNW	10.2	NNW	冬型の気圧配置
2011	1/1	4.6	9.0	WNW	12.1	NNW	冬型の気圧配置
2012	8/27	5.3	10.8	S	10.8	SE	T1215
2013	4/7	4.9	6.3	WNW	14.5	WNW	南岸低気圧
2014	7/9	5.9	10.8	SSW	14.5	SSE	T1408
2015	8/25	5.2	8.1	WNW	13.1	SW	T1515
2016	9/19	8.1	11.7	S	14.4	SSE	T1616
2017	9/17	9.1	8.1	S	17.0	SSE	T1718
2018	9/30	6.0	9.9	ESE	13.9	SE	T1824
2019	9/22	6.9	10.8	SW	14.1	SSW	T1917
2020	9/6	10.0	10.8	SE	23.4	SSE	T2010

表-6.9.37 地点 Q (薩摩半島沖) での年最大有義波高 (波高順)  
 -統計期間：2006～2020 年 (15 年間) -

年	起日	波浪 (地点Q)			風況 (種子島)		気象要因
		波高 (m)	周期 (s)	波向 (方位)	風速 (m/s)	風向 (方位)	
2020	9/6	10.0	10.8	SE	23.4	SSE	T2010
2017	9/17	9.1	8.1	S	17.0	SSE	T1718
2016	9/19	8.1	11.7	S	14.4	SSE	T1616
2019	9/22	6.9	10.8	SW	14.1	SSW	T1917
2007	7/14	6.3	7.2	SE	21.1	SSW	T0704
2018	9/30	6.0	9.9	ESE	13.9	SE	T1824
2014	7/9	5.9	10.8	SSW	14.5	SSE	T1408
2010	12/31	5.4	9.9	WNW	10.2	NNW	冬型の気圧配置
2012	8/27	5.3	10.8	S	10.8	SE	T1215
2006	9/17	5.2	6.3	SE	10.8	SW	T0613
2015	8/25	5.2	8.1	WNW	13.1	SW	T1515
2013	4/7	4.9	6.3	WNW	14.5	WNW	南岸低気圧
2011	1/1	4.6	9.0	WNW	12.1	NNW	冬型の気圧配置
2009	1/10	4.2	9.0	WNW	17.3	NNW	南岸低気圧
2008	1/1	4.1	9.0	WNW	14.7	NNW	冬型の気圧配置

c) 防波堤防部からの波高伝達率

施設等の存在時の波浪の変化を予測するにあたっては、防波堤の消波堤防部からの波の伝達率（透過率）を考慮しました。消波堤防部の波高伝達率を表-6. 9. 38に示します。波高伝達率は沼田による実験式により算定しました。

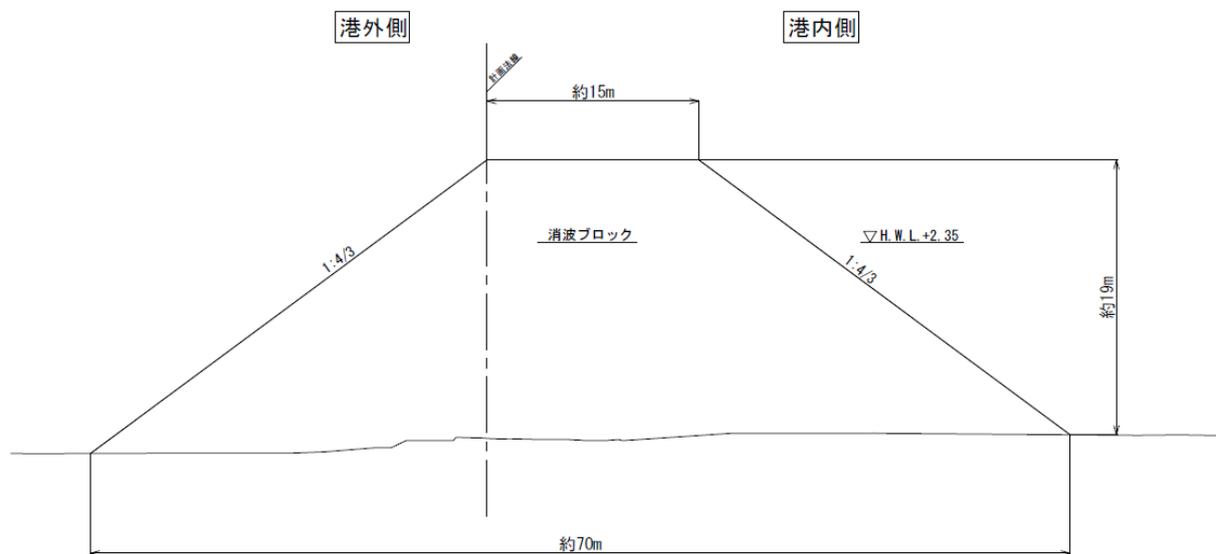


図-6. 9. 78 防波堤の断面図（消波堤防部）

沼田の実験式を以下に示します。

$$(K_T)_{thru} = 1 / \left[ 1 + K \left( \frac{H_I}{L} \right)^{0.5} \right]^2 \quad : \quad K = 1.135 \left( \frac{B_{SWL}}{D} \right)^{0.65}$$

ここに、 $K_T$ は波高伝達率、 $H_I$ は入射波高（m）、 $L$ は入射波長（m）、 $B_{SWL}$ は制水面上における堤体幅（m）、 $D$ はブロックの高さ（m）です。

表-6.9.38 防波堤（消波堤防部）の波高伝達率

	通常時						高波浪時								
	夏季			冬季			高波浪			年最大波浪			異常波浪		
有義波高 $H_1$ (m) (防波堤前面)	0.65	0.67	0.65	0.25	0.25	0.25	1.77	1.82	1.88	2.27	2.32	2.38	2.53	2.57	2.63
周期 T (s)	6.90	6.90	6.90	5.70	5.70	5.70	8.50	8.50	8.50	9.00	9.00	9.00	9.20	9.20	9.20
潮位 (m)	0.00 (LWL)	1.20 (MSL)	2.35 (HWL)												
入射波長 L (m)	58.66	58.66	58.66	44.87	44.87	44.87	76.29	76.29	76.29	81.68	81.68	81.68	83.82	83.82	83.82
堤体幅 (m)	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40	14.40
水平面上における堤体幅 $B_{\text{swl}}$ (m)	35.73	32.53	29.47	35.73	32.53	29.47	35.73	32.53	29.47	35.73	32.53	29.47	35.73	32.53	29.47
天端高 (m)	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
水平面上の天端高 D (m)	8.00	6.80	5.65	8.00	6.80	5.65	8.00	6.80	5.65	8.00	6.80	5.65	8.00	6.80	5.65
波高伝達率 $K_t$	0.58	0.56	0.55	0.67	0.66	0.64	0.47	0.45	0.43	0.44	0.43	0.41	0.43	0.42	0.40

### 3) 海底地形の変化

#### (a) 予測の前提

海浜地形の長期的変化の模式図を図-6.9.79に示します。対象事業実施区域周辺の現在の砂浜形状は、季節変化（台風の来襲頻度等によって毎年異なる）を伴いながらも長期的にはほぼ安定していると考えられます。一方、短期的な変化として、対象事業実施区域を含む周辺域においても、現地調査結果（夏季と冬季の深淺測量結果）から、台風期において海底地形変化が発生していると考えられます。

以上から、「海底地形の変化」の予測項目は、施設等の存在時における一時的（季節的）な変化とし、台風期1回4ヶ月程度（7月～10月）の短期的な地形変化を予測対象とします。

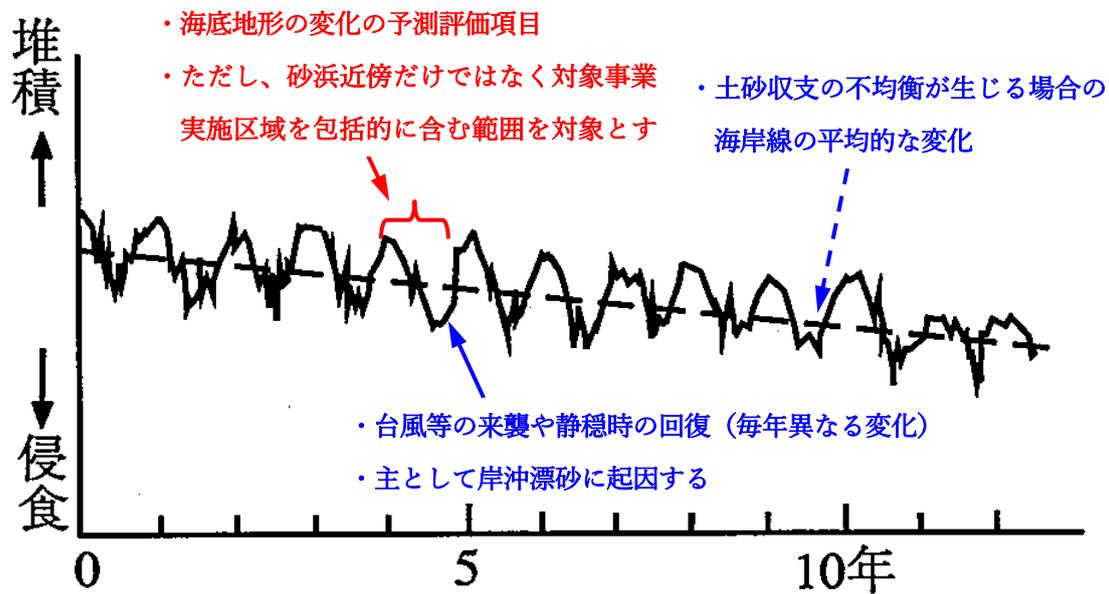


図-6.9.79 海浜地形の時間変化を示す模式図（長期的な侵食性海岸の例）※

※ 土木学会：漂砂環境の創造に向けて，平成10年7月，171p.

## (b) 予測モデル

現地調査結果（深浅測量結果）によれば、台風期の前後において、変化量としては小さいものの対象事業実施区域周辺にわたる広域の堆積・侵食傾向が認められます。その広域の地形変化は、底質調査結果（土の粒度組成）から砂分（浮遊砂）の移動が主体となっているものと考えられます。よって、予測モデル（海底地形変化モデル）として、浮遊砂の移流・拡散を考慮するフラックスモデルを適用します。予測モデルは全体で図-6.9.80に示すように構成されます。サブモデルである波浪モデル及び流動モデルについては前述で詳細を述べています。

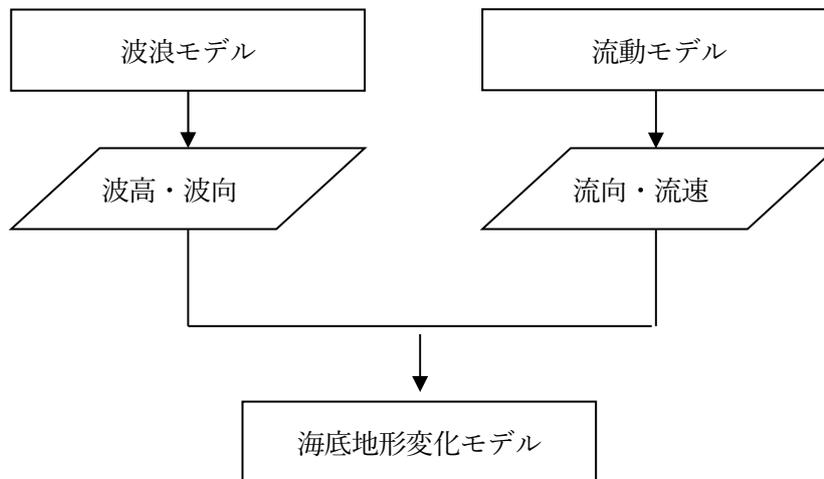


図-6.9.80 海底地形変化の予測モデルの構成

## (c) 計算領域及び計算格子間隔

流れの予測モデルと波浪の予測モデルと同様に、大領域から小領域までの5領域の計算範囲を設定しました。

(d) 予測の手法

海底地形変化モデルは、漂砂の連続式と漂砂量公式から構成され、座標系は、流れのモデルと同様に表-6.9.39及び図-6.9.81に示すように設定します。

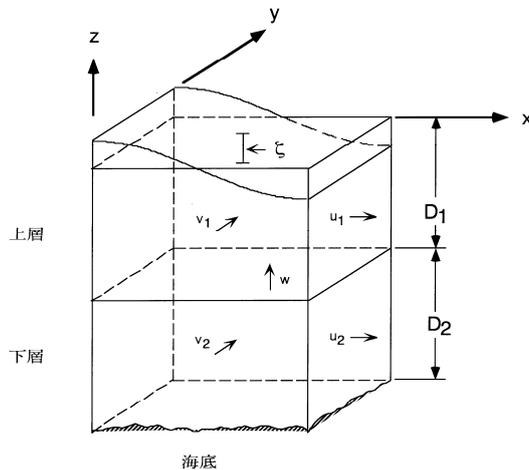


図-6.9.81 計算座標系

表-6.9.39 鉛直層分割

層番号	鉛直層分割
1	0.0m~2.0m
2	2.0m~4.0m
3	4.0m~7.0m
4	7.0m~10.0m
5	10.0m~15.0m
6	15.0m~20.0m
7	20.0m~30.0m
8	30.0m~50.0m
9	50.0m~100.0m
10	100.0m 以深

a) 漂砂の連続式

漂砂の連続式は、物質（砂）の沈降過程を含む移流拡散方程式を用います。

$$\begin{aligned} & \frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uc) + \frac{\partial}{\partial y}(vc) + \frac{\partial}{\partial z}(wc) \\ &= \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) - w_0 \frac{\partial c}{\partial z} \end{aligned}$$

ここに、 $c$ は物質濃度、 $u, v, w$ は $x, y, z$ 方向の流速、 $K_x, K_y, K_z$ は $x, y, z$ 方向の拡散係数、 $w_0$ は物質の沈降速度です。

b) 漂砂量公式（底質の巻き上げ量と沈降量）

海底面における底質（砂）の巻き上げ量 $E_m$ と沈降量 $D_m$ は次式の式を用いて算定します。

$$\left. \begin{aligned} E_m &= M \left( \frac{\tau_b}{\tau_e} - 1 \right) && (\tau_b \geq \tau_e) \text{ の場合} \\ E_m &= 0 && (\tau_b \leq \tau_e) \text{ の場合} \end{aligned} \right\}$$
$$D_m = C_b w_s$$

ここに、 $\tau_b$  は底面せん断応力、 $\tau_e$  は巻き上げに関する限界せん断応力、 $M$  は巻き上げ係数、 $C_b$  は底面での物質濃度、 $w_s$  は沈降速度です。また、 $\tau_b = \rho u^*$  であり、 $\rho$  : 流体の密度、 $u^*$  は底面摩擦速度です。さらに、底面摩擦速度については、波と流れ共存場の摩擦係数<sup>\*</sup>を用いて評価します。

---

<sup>\*</sup> 田中仁・Aung THU: 全ての flow regime に適用可能な波・流れ共存場抵抗則, 土木学会論文集, No.467/II-23, 平成5年(1993), pp.93-102.

c) 底質条件

夏季（令和3年8月30日～9月3日）の底質調査結果から、地形変化が生じる主な粒径を中砂分（0.250～0.850mm）以下と推定し、中砂分の粒径区間の中間値（対数平均値）の0.461mmを代表粒径としました。

d) 計算条件

後述する現況再現計算において相当数の試算を行って得られた最適な計算パラメータを用いて予測を行います。計算条件の最適パラメータは表-6.9.40のとおりです。なお、巻き上げに関する限界せん断応力（ $\tau_e$ ）の計算条件はシールズ数0.06に相当します。シールズ数は、海底面に作用するせん断力（底面摩擦応力）と底質の静的なせん断抵抗の比として次式に示すように定義されます。

$$\Psi = \frac{1}{2} \frac{f_w \hat{u}_b^2}{sgd_{50}}$$

ここに、 $f_w$ は摩擦係数、 $\hat{u}_b$ は境界層外縁での流速  $u_b$  の振幅、 $s$  は砂の水中比重、 $g$  は重力加速度、 $d_{50}$  は底質の中央粒径です。砂の場合の移動限界シールズ数  $\Psi_c$  の事例としては次のものがあり、粗砂の移動限界シールズ数を参考にパラメータを設定しました。

$\Psi_c=0.11$  程度（細砂）※

$\Psi_c=0.06$  程度（粗砂）※

表-6.9.40 最適パラメータの一覧

項目	計算条件	備考
巻き上げに関する限界せん断応力（ $\tau_e$ ）	0.45Pa	シールズ数0.06に相当
底質の巻き上げパラメータ（ $M$ ）	0.30 kg/m <sup>2</sup> /min	0.05～0.50 kg/m <sup>2</sup> /min までの試算を行った結果の最適条件

※ 本間仁・堀川清司：海岸環境工学，東京大学出版会，昭和60年（1985），281p.

(e) 外力条件

a) 波浪条件

台風等のイベントによる一定レベル以上の高波浪を外力条件として予測を行います。ここでは、「波浪の変化」で整理した高波浪時の波浪条件（高波浪、年最大波浪、異常波浪）を設定します。外力条件を表-6.9.41に示します。

表-6.9.41 高波浪時の波浪条件（再掲）

外力レベル	波高 (m)	周期 (秒)	波向 (方位)	風速 (m/s)	風向 (方位)
高波浪	3.71	8.5	WNW	12.4	NNW
年最大波浪	4.90	10.0	WNW	14.7	NNW
異常波浪	6.42	11.5	WNW	14.8	NNW

b) 波浪の経時変化

波高をピークとした波浪の経時変化を考慮します。経時変化のパターンは、後述の現況再現計算の条件を参考とします。

c) 予測手順

表-6.9.41に示した3段階の外力による海底地形変化計算を予測期間内に想定される発生回数分についてそれぞれ計算を実施し、すべての計算結果の積算値を予測期間内の地形変化量と評価します。各外力レベルの発生回数は以下のとおりとします。また、予測期間内の各外力レベルの発生順序は図-6.9.82に示すように設定します。

- ・「高波浪」 : 4回 (毎月1回×4)
- ・「年最大波浪」 : 3回
- ・「異常波浪」 : 1回

なお、年最大波浪の発生回数は、前述した地点Q(薩摩半島沖)での有義波高4.9m以上の平均出現回数が2.5回であることを参考としています。

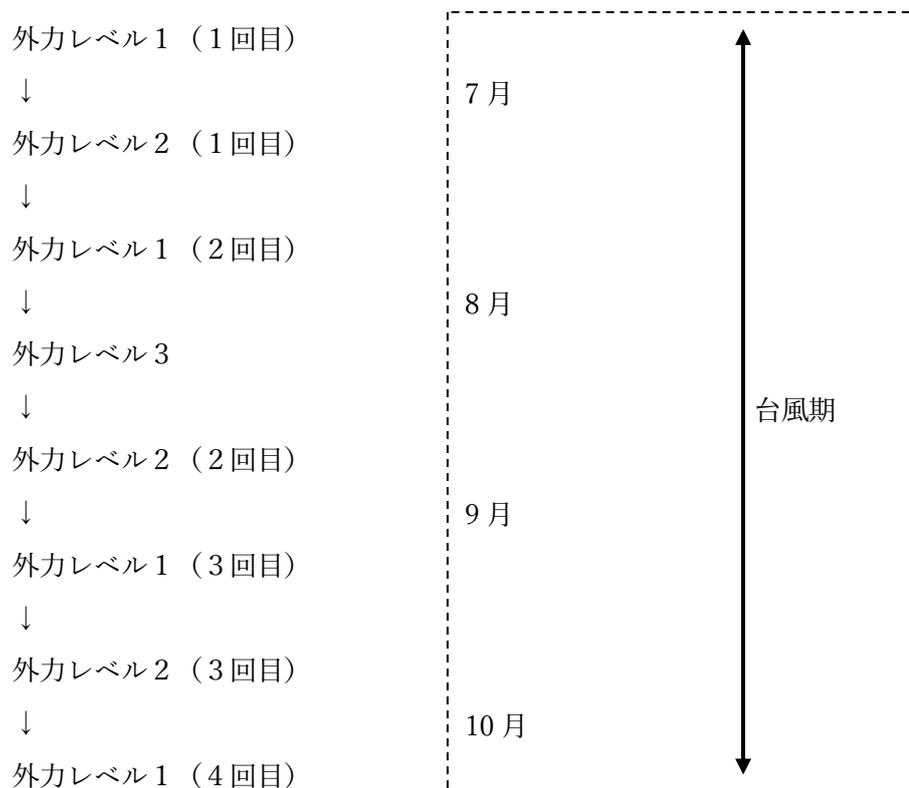


図-6.9.82 予測期間内の各外力レベルの発生順序

(f) モデルの妥当性の検討

深浅測量が実施された夏季（令和3年8～9月）と冬季（令和3年11～12月）の地形変化量を再現目標に設定し、海底地形変化の予測モデルの再現性を検討しました。

a) 再現期間

夏季（令和3年8～9月）と冬季（令和3年11～12月）の深浅測量期間中に発生した気象擾乱を表-6.9.42に示します。表中には再現目標となる深浅測量の実施時期も併せて示しています（参考として底質分布調査期間も示しています）。また、地点Q（薩摩半島沖）の波浪の経時変化を図-6.9.83に示します。

表-6.9.42 夏季及び冬季の深浅測量期間内に発生した気象擾乱(地点Q(薩摩半島沖))

気象擾乱期間	気象要因	極大波浪（地点Q（薩摩半島沖））		備考
		有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	
(8/14～8/27) 深浅測量				
(8/25) 底質調査				
9/16-9/19	台風14号	3.70	9.0	高波浪
11/7-11/13	冬型気圧配置	3.70	8.1	高波浪
11/30-12/4	冬型気圧配置	4.00	7.2	高波浪
(11/23～12/12) 深浅測量				

注) 地点Q（薩摩半島沖）の有義波高3.7m（高波浪程度）以上を整理

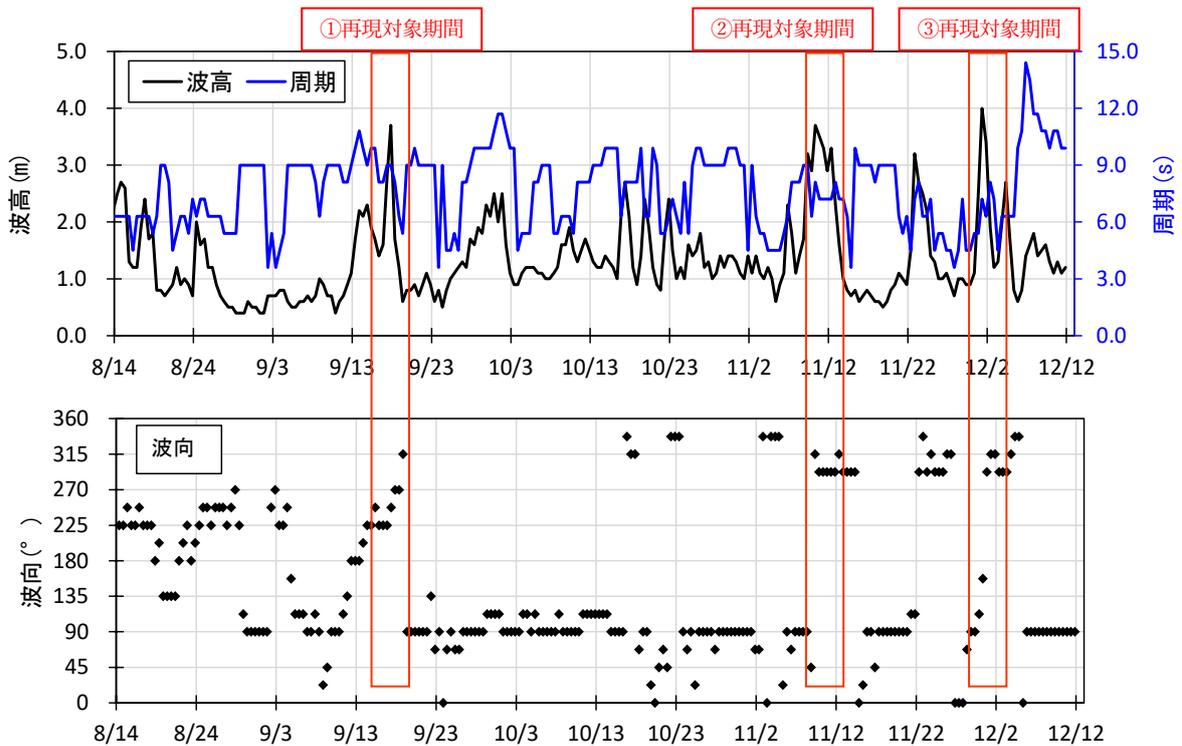


図-6.9.83 地点Q（薩摩半島沖）の波浪経時変化（2021/8/14～12/13）

b) 検証方法

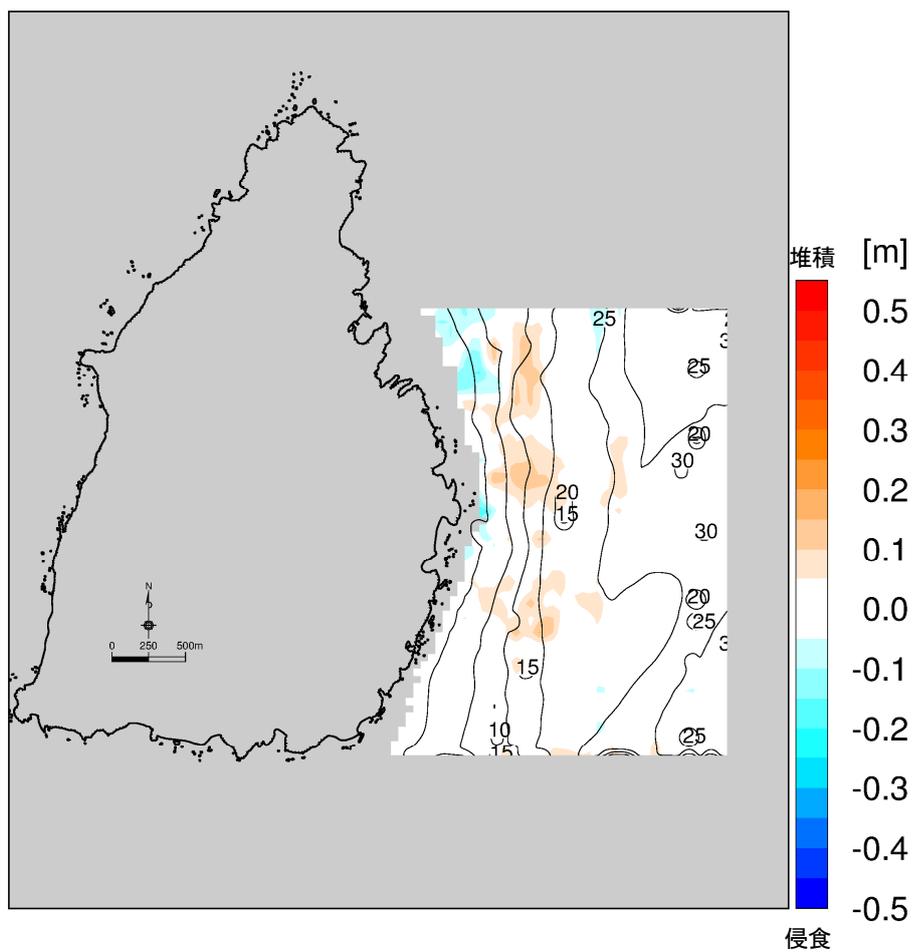
夏季（令和3年8～9月）と冬季（令和3年11～12月）の深浅測量期間中に発生した気象擾乱3ケース（①～③）について、表-6.9.43に示した期間の地形変化量をそれぞれ計算します。3ケースの地形変化量の合計値（計算結果）と深浅測量結果から得られる地形変化量（再現目標）を比較します。

表-6.9.43 再現期間内の海底地形変化を検討するための気象擾乱

No.	気象要因	計算期間 (各ケース8日間)	極大波浪 (地点Q(薩摩半島沖))		備考
			有義波高 (m)	有義波周期 (秒)	
ケース①	台風14号	9/14 00:00 ～9/22 00:00	3.70	9.0	高波浪
ケース②	冬型気圧配置	11/6 00:00 ～11/14 00:00	3.70	8.1	高波浪
ケース③	冬型気圧配置	11/27 00:00 ～12/5 00:00	4.00	7.2	高波浪

c) 再現目標

定量的な地形変化量の分布として、夏季（令和3年8～9月）と冬季（令和3年11～12月）の深浅測量結果から解析した地形変化量を再現目標としました。夏季（令和3年8～9月）と冬季（令和3年11～12月）の地形変化量を図-6.9.84に示します。



(図中の等値線と数値は5m毎の水深)

図-6.9.84 夏季と冬季の地形変化量 (2021/8/14-27～2021/11/23～12/12)

d) 計算条件

(ア) 底質条件

夏季（令和3年8月30日～9月3日）の底質調査結果から、地形変化が生じる主な粒径を中砂分（0.250～0.850mm）以下と推定し、中砂分の粒径区間の中間値（対数平均値）の0.461mmを代表粒径としました。

(イ) 沈降速度

代表粒径より Rubey の式\*から  $5060\text{m/day}=3.5\text{m/min}$  としました。なお、底質の沈降量  $D_m$  に関して、波等による底面付近の乱れが粒子の沈降を妨げる効果を考慮して、沈降に関する限界せん断応力  $\tau_d$  を含んだ次式を用いて評価する場合があります。

$$D_m = C_b w_s \left( 1 - \frac{\tau_b}{\tau_d} \right)$$

しかし、相当数の試算を行った結果、沈降に関する限界せん断応力  $\tau_d$  を考慮しない場合に、海底地形変化を比較的良好に再現することができたので、前述のような底面付近の乱れが粒子の沈降を妨げる効果は、当該海域では小さいものと考えられます。このため、静水中の沈降速度をそのまま適用しました。

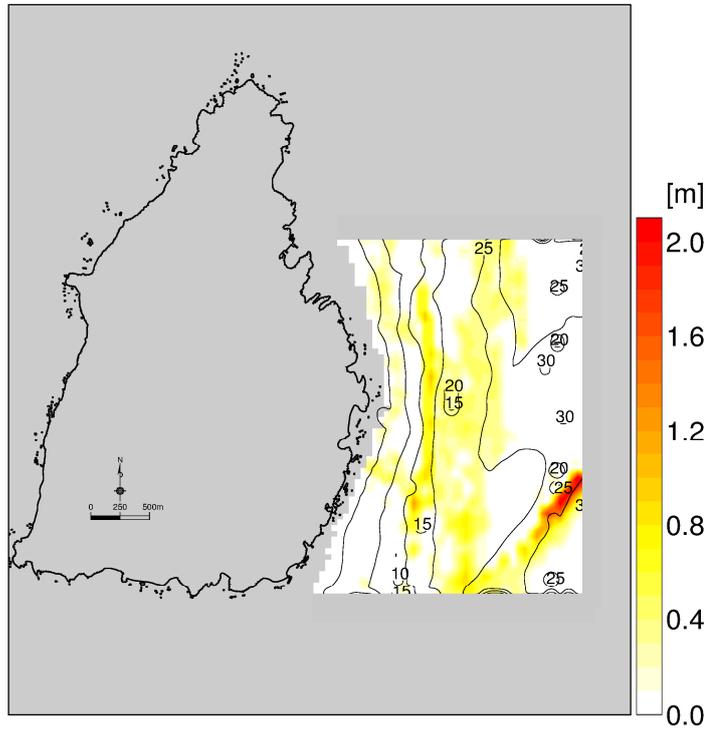
(ウ) 現存土砂量(砂層厚)

夏季の砂層厚の現地調査結果をもとに現存土砂量を設定しました。対象事業実施区域周辺の現存土砂量を図-6.9.85に示します。

さらに、鉛直方向の粒度分布が一様であると仮定すると、底質分布調査による粒度組成の現地調査結果から、中砂分以下の現存土砂量を図-6.9.86に示すように推定できます。

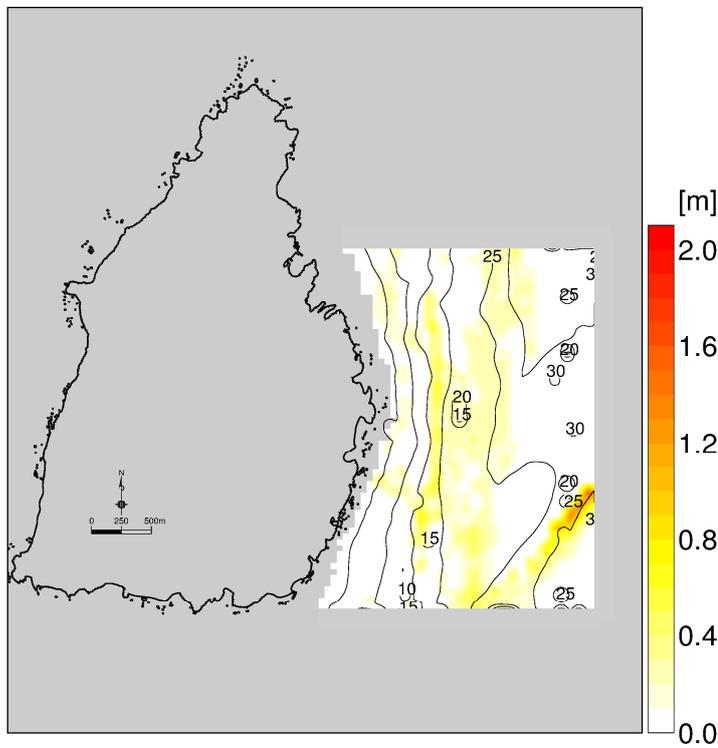
---

\* 岩垣雄一：最新 海岸工学，森北出版，昭和62年（1987），139p.



(図中の等値線と数値は 5m 毎の水深)

図-6. 9. 85 現地調査結果をもとに作成した土砂堆積厚



(図中の等値線と数値は 5m 毎の水深)

図-6. 9. 86 中砂分以下の底質の土砂堆積厚の推定結果

e) 計算手順

表-6.9.43に示した3ケース(①～③)を対象として、夏季(令和3年8～9月)から冬季(令和3年11～12月)の地形変化量を算定しました。計算の手順は以下のとおりです(初期の現存土砂量の分布は図-6.9.86を参照)。個々の地形変化による外力(波浪及び流れ)の変化は十分に微小であるものと考え、途中段階での見直し(地形変化量を考慮した外力の再計算)は行っていません。ただし、現存土砂量分布は各ケースの途中段階で見直し(再設定)を行っています。

初期の現存土砂量分布(図-6.9.86)

↓ ケース①による地形変化

現存土砂量分布の見直し

↓ ケース②による地形変化

現存土砂量分布の見直し

↓ ケース③による地形変化

令和2年の夏季から冬季の地形変化

f) 経時変化

表-6.9.43に示した波高をピークとした波浪の経時変化を考慮します。経時変化のパターンは、気象庁の沿岸波浪実況図から12時間毎の波浪データを整理し、1時間毎に内挿した波高の変化を設定しました。

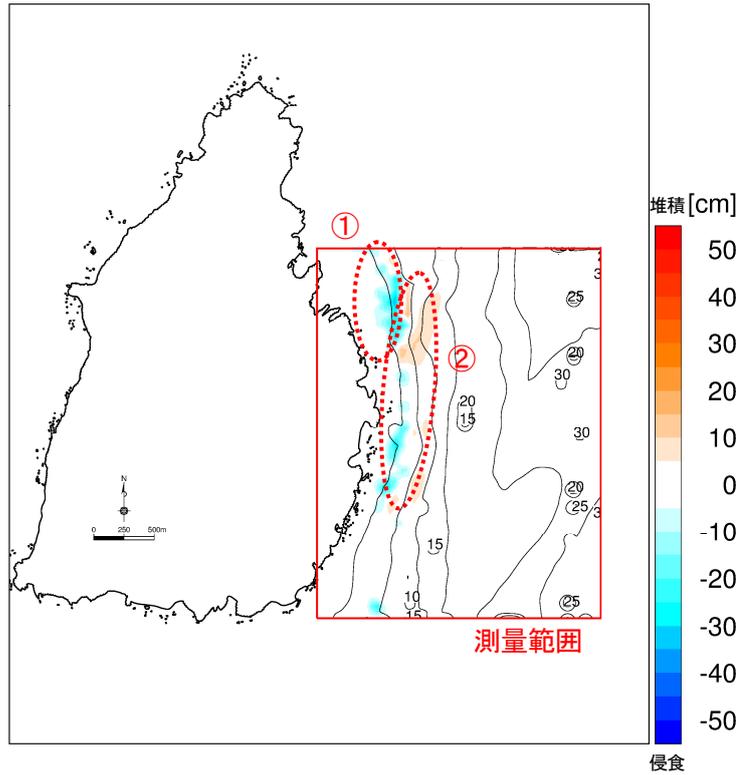
g) 検証結果

夏季（令和3年8～9月）から冬季（令和3年11～12月）の地形変化量の計算結果を図-6.9.87に示します。図-6.9.88に示した深浅測量結果との比較によれば、赤点線で示した特徴的な侵食・堆積傾向を比較的良好に再現できています。

着眼点：

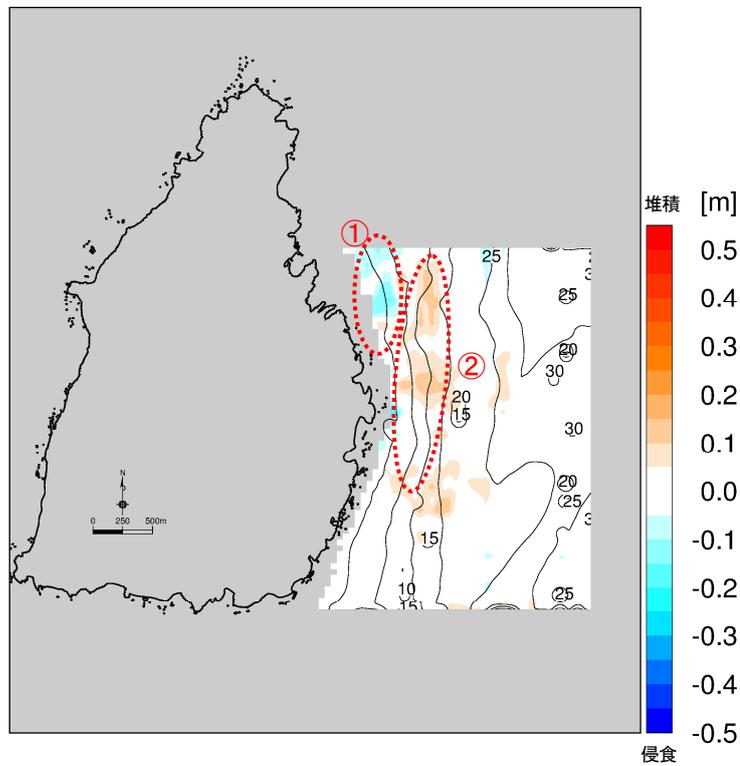
- ・水深5～10m付近の侵食傾向（①）
- ・水深10～20m付近の堆積傾向（②）

なお、深浅測量の測深精度は $\pm(0.03+1/1000 \times \text{水深})$ であり、水深20mの場合は $\pm 0.05\text{m}$ です。大水深部ほど測量誤差が大きいことに注意が必要です。



(図中の等値線と数値は 5m 毎の水深)

図-6.9.87 夏季と冬季の地形変化 (計算結果)



(図中の等値線と数値は 5m 毎の水深)

図-6.9.88 夏季と冬季の地形変化 (深浅測量結果)

**(g) 予測条件**

a) 計算期間

高波浪時の外力レベル毎（高波浪、年最大波浪、異常波浪）に計算を行います。  
また、現況再現計算と同様に各ケース 8 日間を計算期間に設定します。

b) 地形・底質条件

地形・底質条件は現況再現計算を行った夏季（令和 3 年 8～9 月）の条件を設定します。ただし、施設等の存在時の予測に際しては図-6.9.86の現存土砂堆積厚分布のうち、防波堤の基礎捨石部分は初期値をゼロと設定します。

**(h) 予測評価方法**

a) 予測期間

台風期 1 回 4 ヶ月程度（7～10 月）の短期的な地形変化を予測対象とします。

b) 評価方法

現況の地形変化結果と施設等の存在時の地形変化結果の差異をもって評価します。

### (3) 予測結果

#### 1) 施設等の存在に伴う流況の変化

##### (a) 流れの変化

流れの変化について、サンゴ類や海藻草類等の生息・生育環境の変化を把握する上で、下げ潮や上げ潮による流れの状況に着目しました。また、濁り等の物質輸送に重要な役割を果たす恒流(平均流)にも着目しました。「現況」と「施設等の存在時」のケースにおける夏季と冬季の下げ潮時、上げ潮時、恒流(平均流)の流速ベクトルの比較を図- 6.9.89～図- 6.9.91及び図-6.9.95～図-6.9.97に、流速絶対値の変化(存在時—現況)を図-6.9.92～図-6.9.94及び図-6.9.98～図-6.9.100に示しました。

##### a) 下げ潮時及び上げ潮時

- ・ 下げ潮時は、島東部の港湾施設周辺では等深線に沿った北向きの流れとなっていますが、港湾施設の存在によりその流れが妨げられ沖合（東側）に迂回する流れへと変化していました。そのため、東沖防波堤の内側では流速が減少し、沖合では増加する傾向となっていました。
- ・ 上げ潮時は、島東部の港湾施設周辺では等深線に沿った南向きの流れとなっていますが、下げ潮時と同様に、港湾施設の存在によりその流れが妨げられ沖合（東側）に迂回する流れへと変化していました。また、東側へ迂回した流れは、東沖防波堤～南防波堤の形状に沿った西側に巻き込むような流れに変化していました。そのため、港湾施設周辺では流速が減少し、沖合では増加する傾向となっていました。また、島の南部では、西側からの流れが揚陸施設による水深変化のよって、流れが沖合（南側）へ迂回する傾向がみられました。先に述べた防波堤形状に沿った西側に巻き込むような流れの変化と合わせて、島南部でも流速の増加域が見られました。一般的に、上げ潮時の方が下げ潮時よりも流速が大きいことから、流速変化も大きい傾向でした。
- ・ 施設からの汚水処理水の排水先周辺では存在時に比べて大きな流れの変化はみられず、施設からの汚水処理水の排水が流れに与える影響はほとんどないものと考えられます。

b) 恒流（平均流）

- ・ 全体的な恒流(平均流)の変化は、上げ潮時と同様の傾向で、流速変化は小さい傾向でした。これは、恒流(平均流)と上げ潮時の流れのパターンが類似していたためと考えられます。恒流(平均流)では、港湾施設のごく周辺では局所的には 0.2m/s 程度の流速減少がみられますが、 $\pm 1 \sim \pm 0.03$ m/s の流速変化が大半を占めています。
- ・ 施設からの汚水処理水の排水先周辺では存在時に比べて大きな流れの変化はみられず、施設からの汚水処理水の排水が流れに与える影響はほとんどないものと考えられます。



図- 6. 9. 89(1) 流速ベクトル比較図（現況と施設等の存在時の比較）（夏季：下げ潮）  
第1層（0～2.0m） 黒：現況ケース、赤：将来ケース

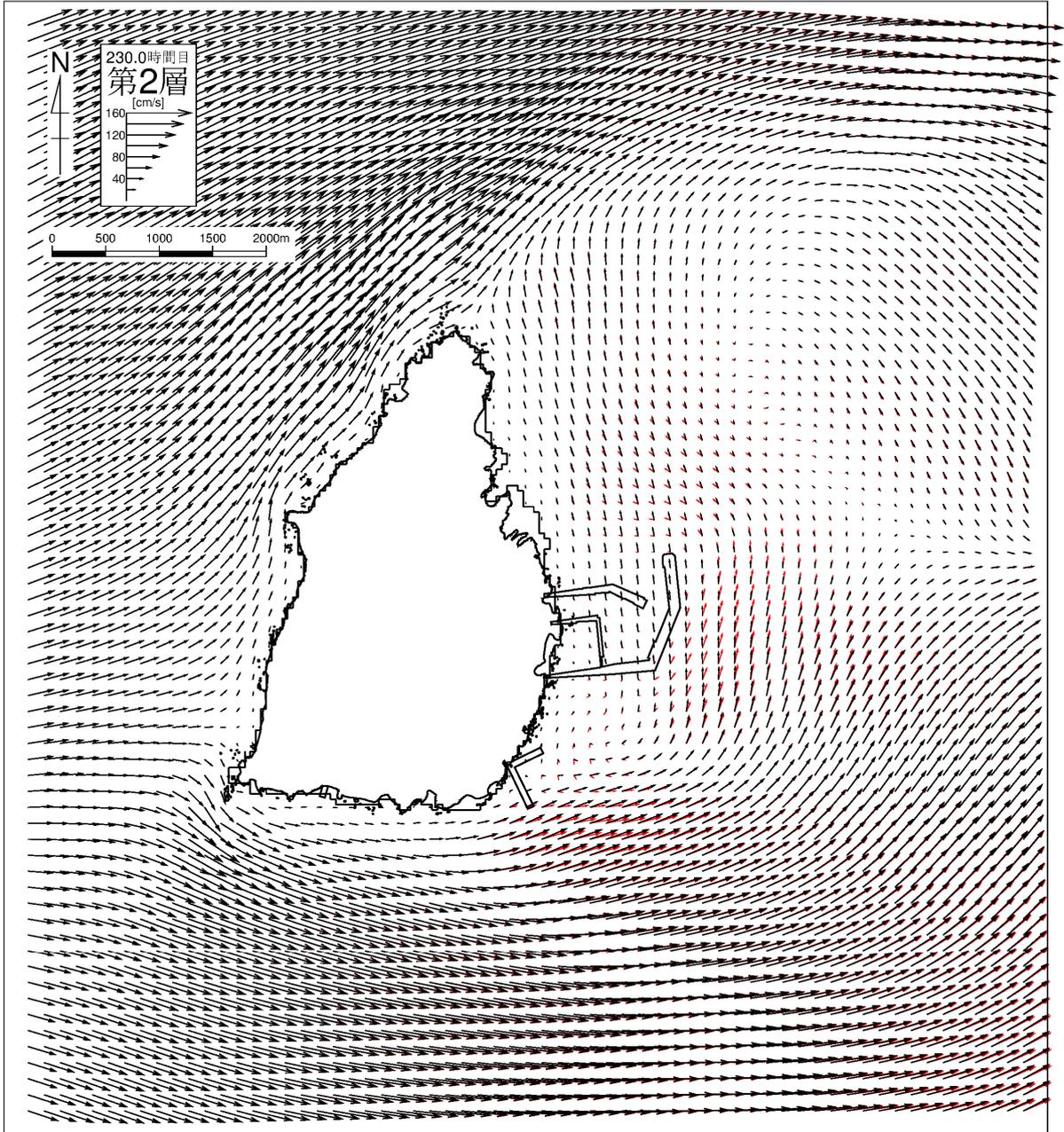


図- 6. 9. 89(2) 流速ベクトル比較図（現況と施設等の存在時の比較）（夏季：下げ潮）  
第2層（2.0～4.0m） 黒：現況ケース、赤：将来ケース



図- 6. 9. 89(3) 流速ベクトル比較図（現況と施設等の存在時の比較）（夏季：下げ潮）  
第3層（4.0～7.0m） 黒：現況ケース、赤：将来ケース