第１３回渥美半島表浜海岸保全対策検討会

参考資料

ー目次ー

参考資料１　沖合施設の分類について・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1
参考資料２　沖合施設等諸元概要について・・・・・・・・・・・・・・・ 3
参考資料３　沖合施設等設計条件について・・・・・・・・・・・・・・・13
参考資料４　「人工リーフの設定の手引き（改訂版）」について・・18
参考資料５　気候変動の影響による汀線変化について・・・・・・・・・20

参考資料1
沖合施設の分類について

１．沖合施設の分類について

（１）表浜における沖合施設の分類

〇表浜で整備されている沖合施設の離岸堤、潜堤、人工リーフは以下のように分類されている。

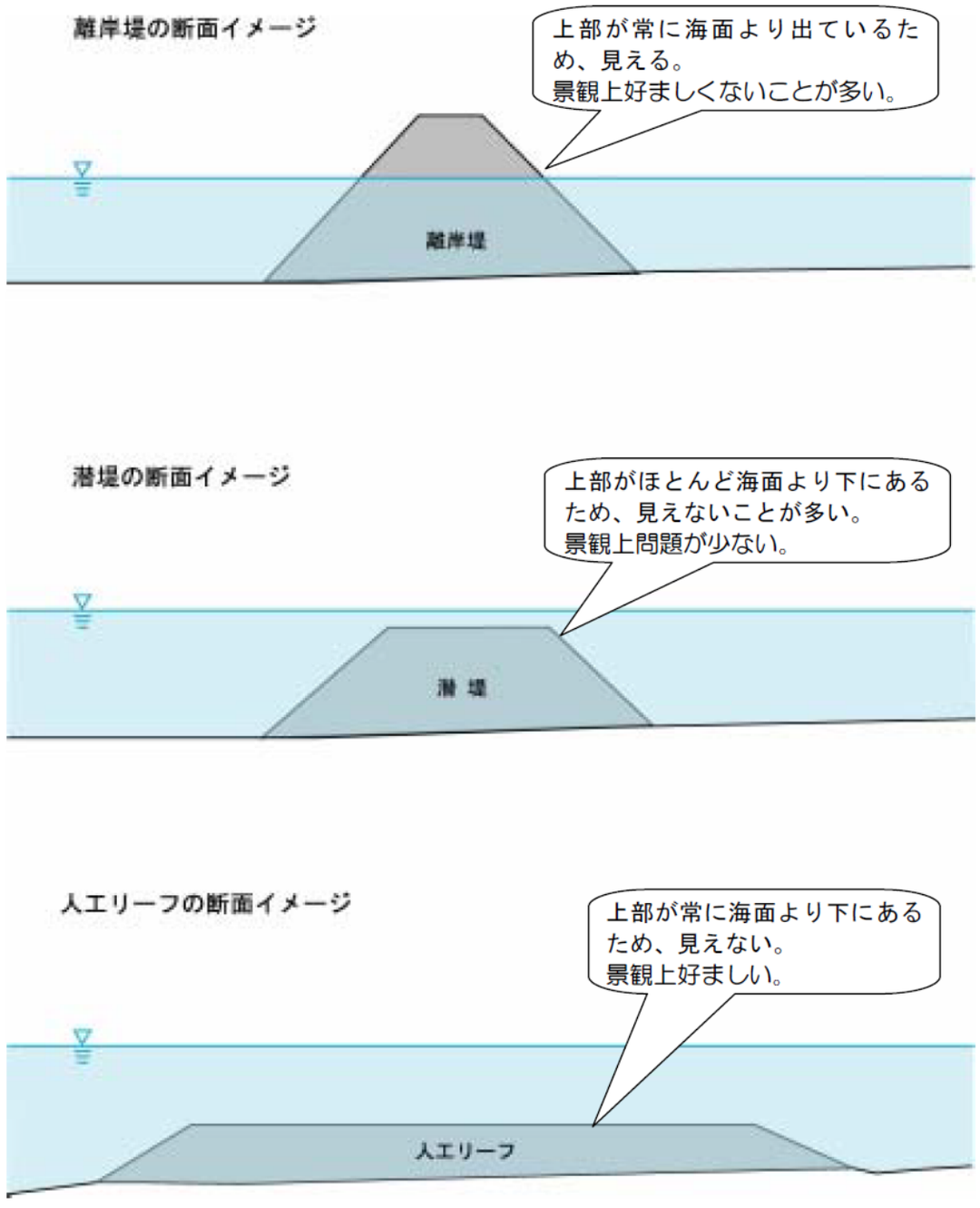


図 3.6　施設整備のイメージ

出典:遠州灘沿岸海岸保全基本計画　≪ 参 考 資 料 ≫、平成15年7月、愛知県

参考資料2

沖合施設等諸元概要について

２．沖合施設等諸元概要について

（１）沖合施設等位置図　豊橋、高豊漁港、田原豊橋海岸

40t(中詰め32t)	20t	32t	40t	32t	32t	32t
T.P.+0.1m	T.P.-1.62m	T.P.-0.62m	T.P.-0.62m	T.P.-0.62m	T.P.-0.62m	T.P.+0.1m
11.1m	18.0m	10.4m	21.6m	10.4m	20.3→13.7m	10.4m
F	E		D	C	B	A

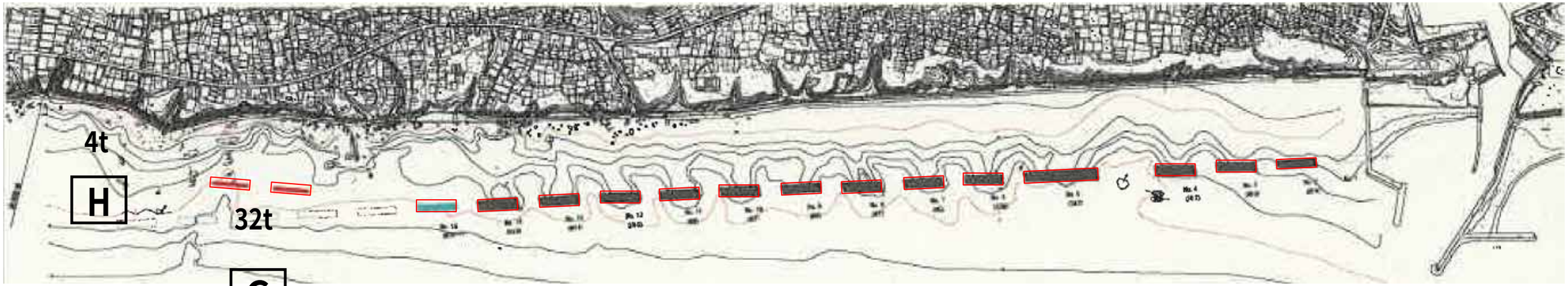
【凡例】
ブロック質量
天端高
天端幅

豊橋市潜堤
天端幅を4個並べに改良し、ブロックを下手（伊古部、東赤沢）に移設

愛知県潜堤
堤長を160mに短縮し、ブロックを下手（城下～久美原）に移設

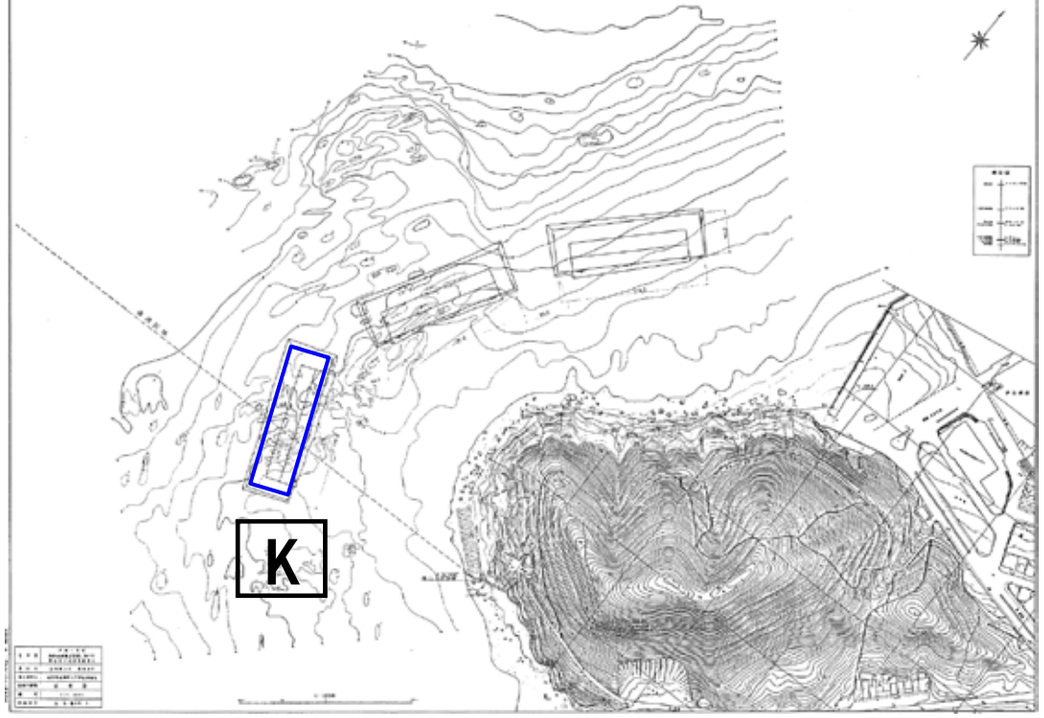
２．沖合施設等諸元概要について

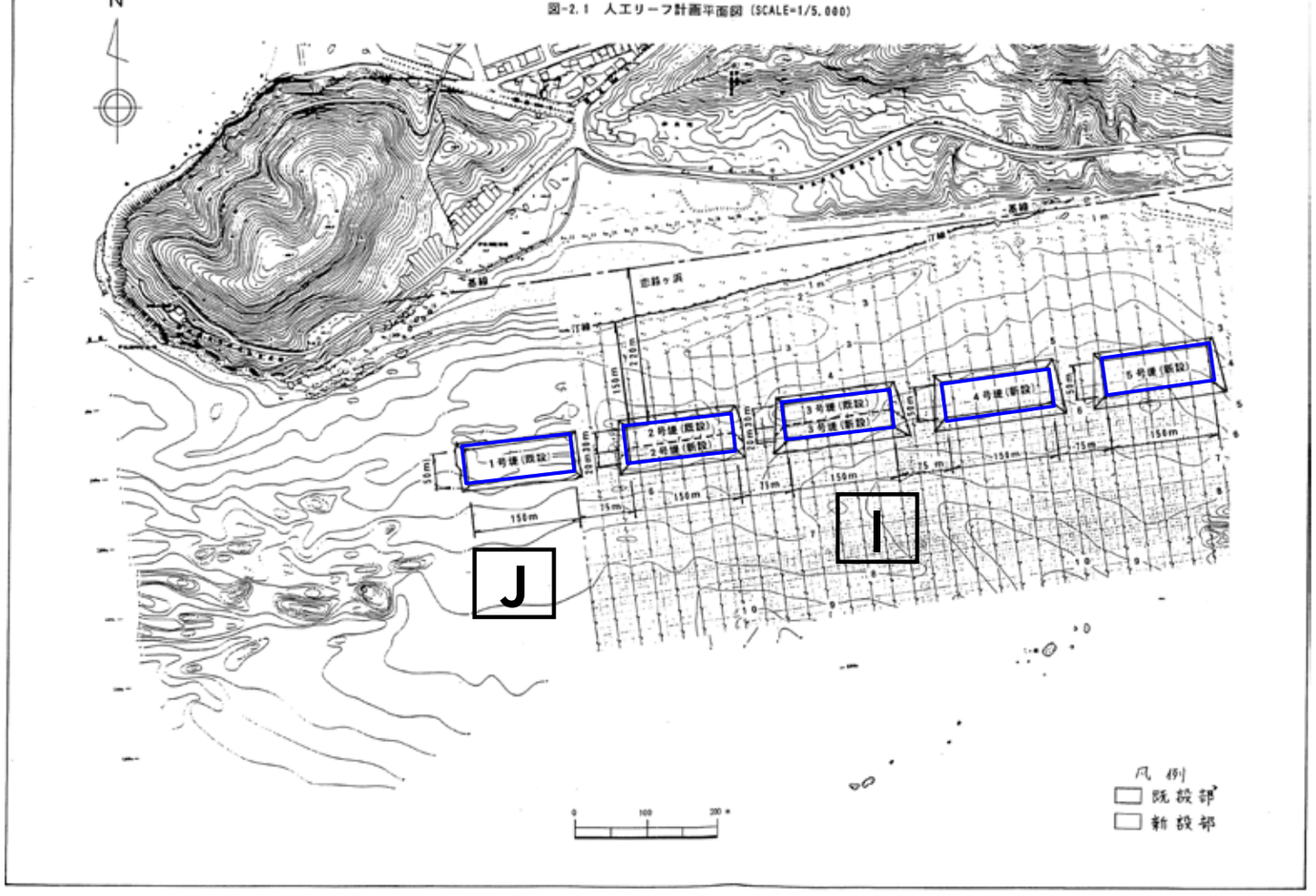
（２）沖合施設等位置図　赤羽根漁港海岸



2．沖合施設等諸元概要について

（3）沖合施設等位置図　渥美海岸

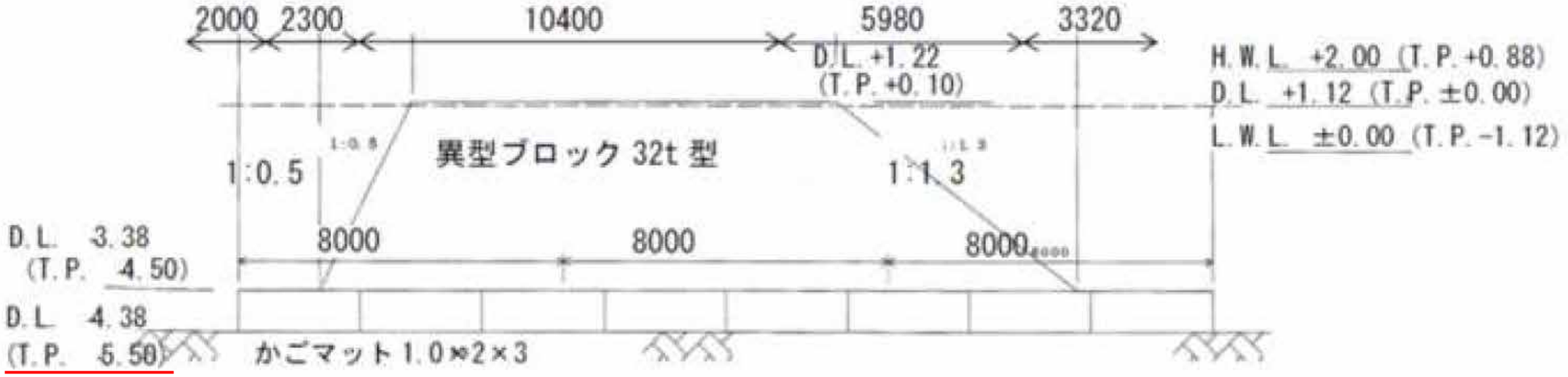


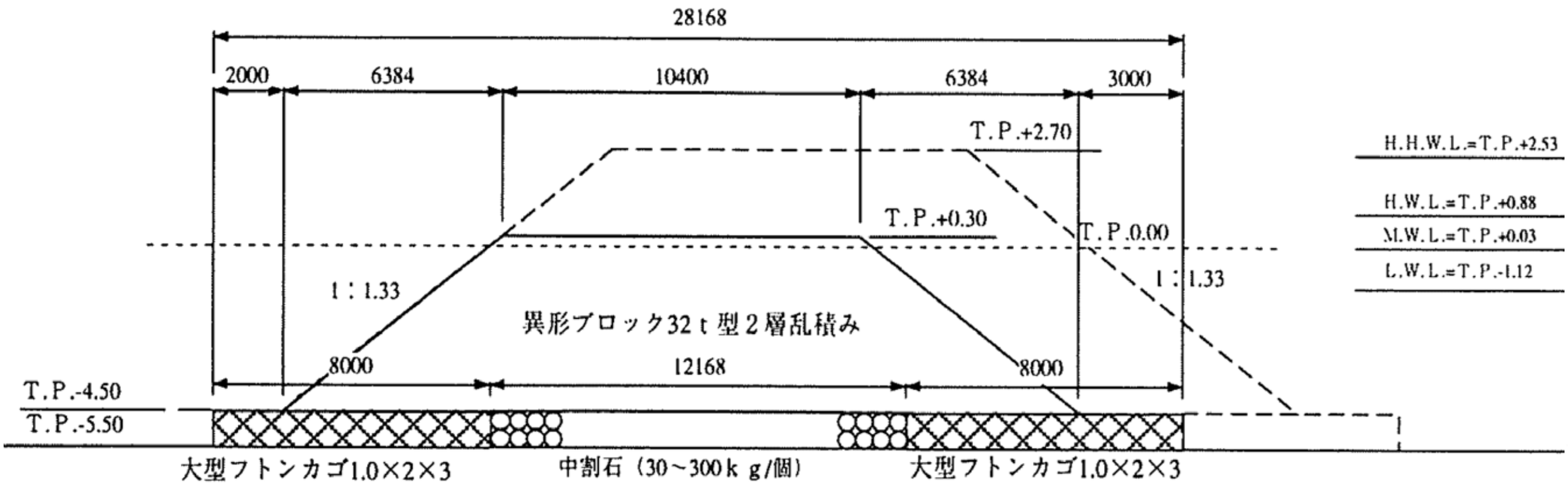


2．沖合施設等諸元概要について

（4）豊橋海岸（高塚地区）

A 高塚地区　潜堤

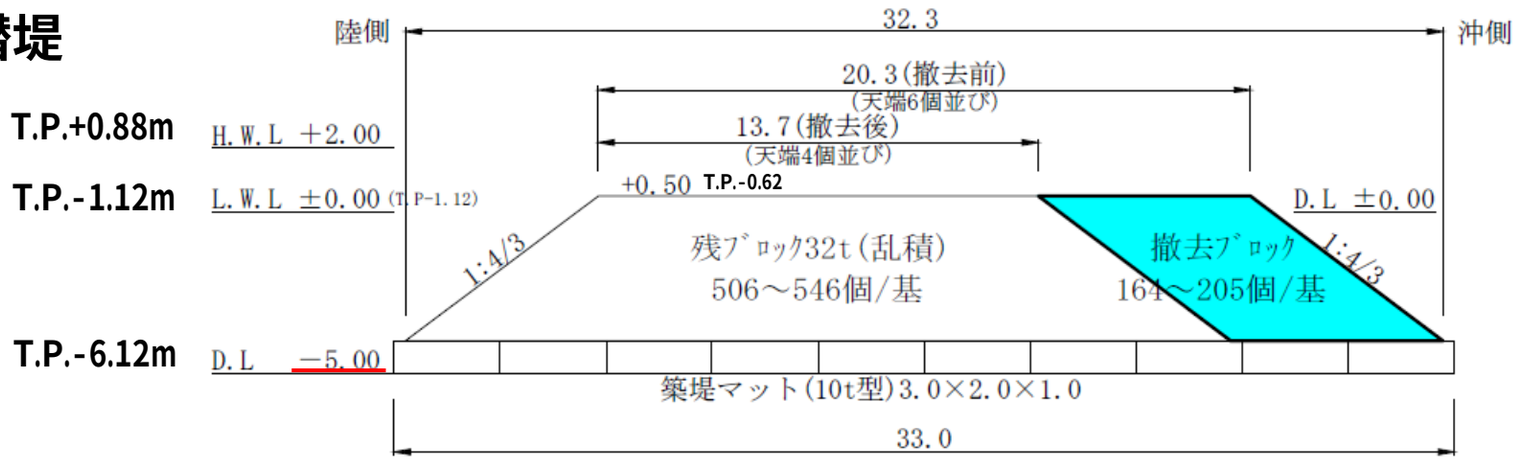




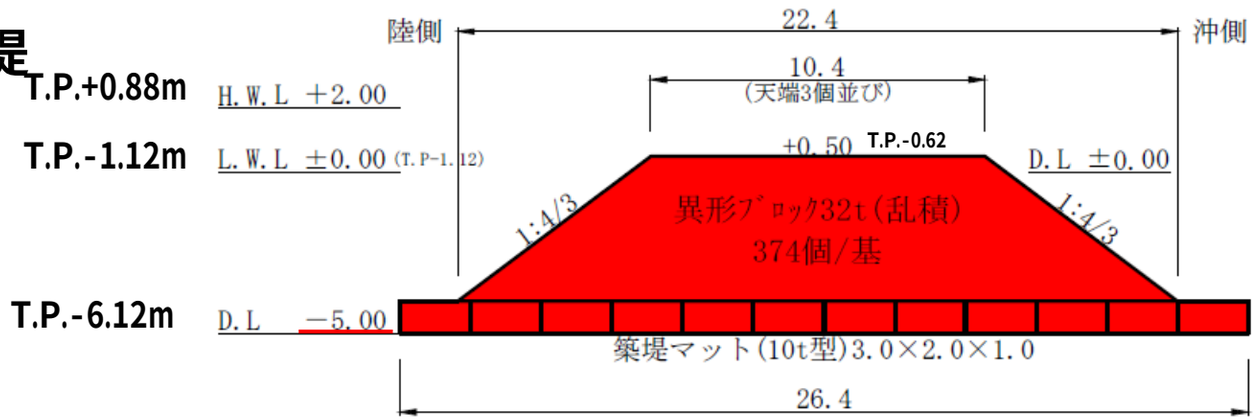
2．沖合施設等諸元概要について

（5）高豊漁港海岸（高塚地区、伊古部地区）

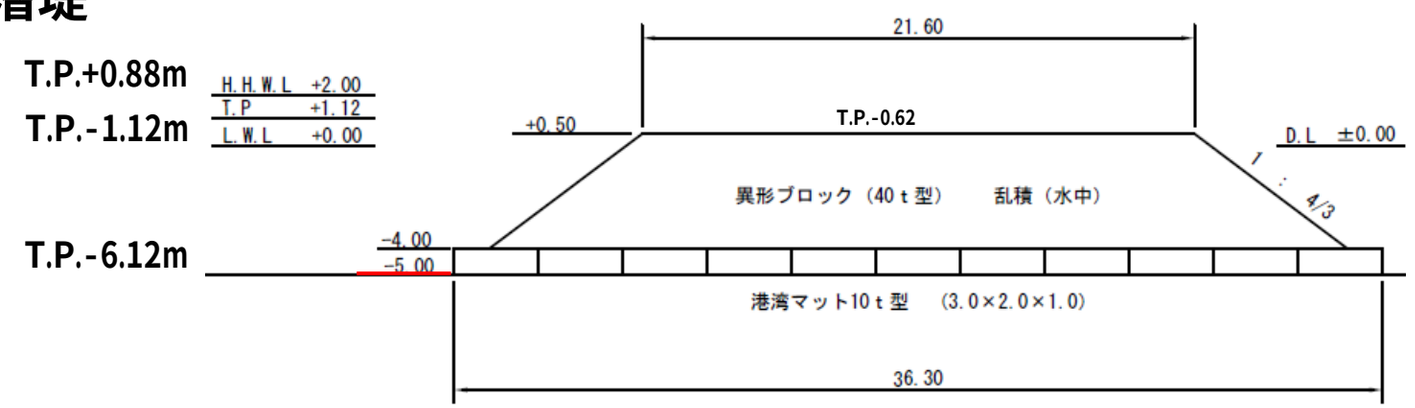
B 高塚地区　潜堤



C 伊古部地区　潜堤



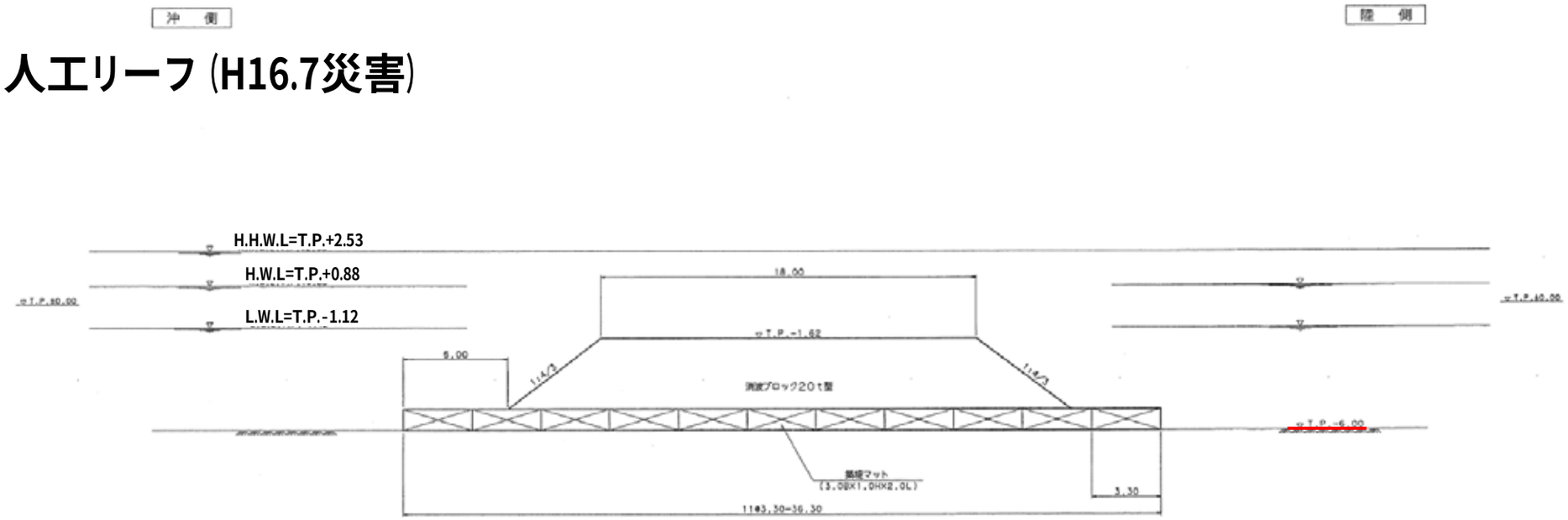
D 伊古部地区　潜堤



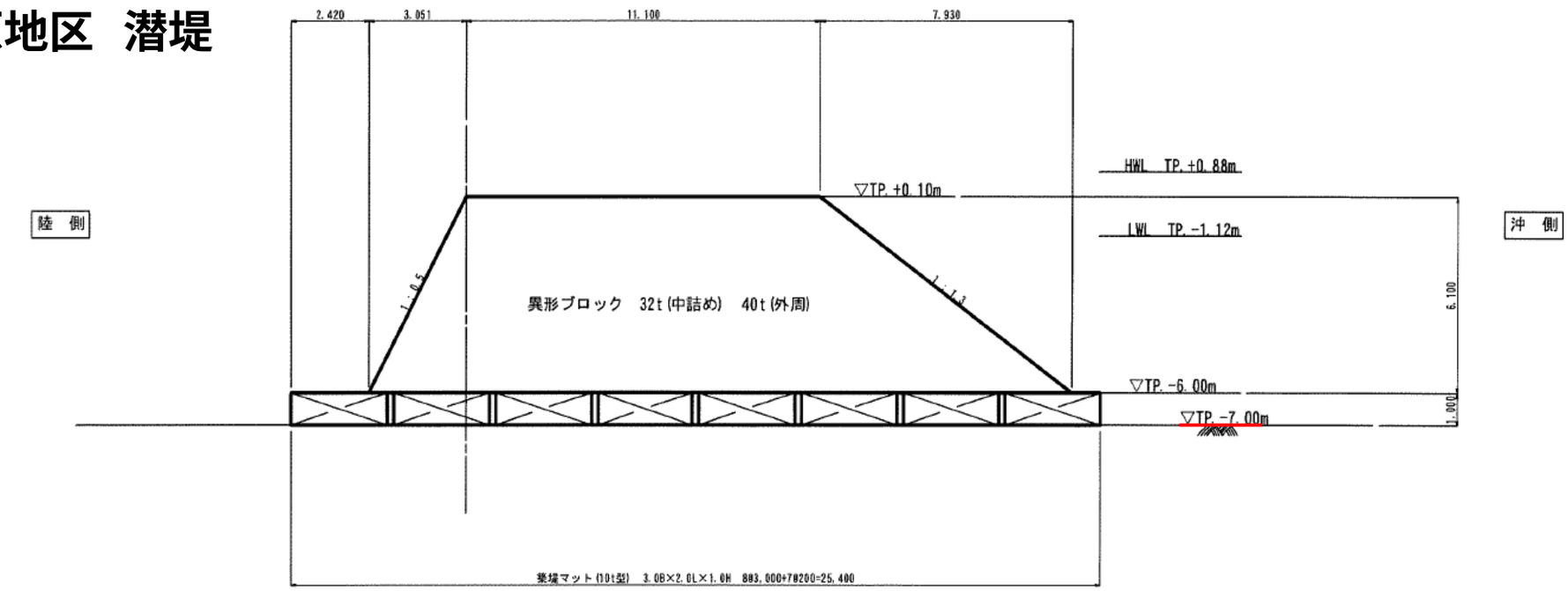
２．沖合施設等諸元概要について

（６）田原豊橋海岸（西赤沢地区、城下・久美原地区）

E 西赤沢地区　人工リーフ（H16.7災害）



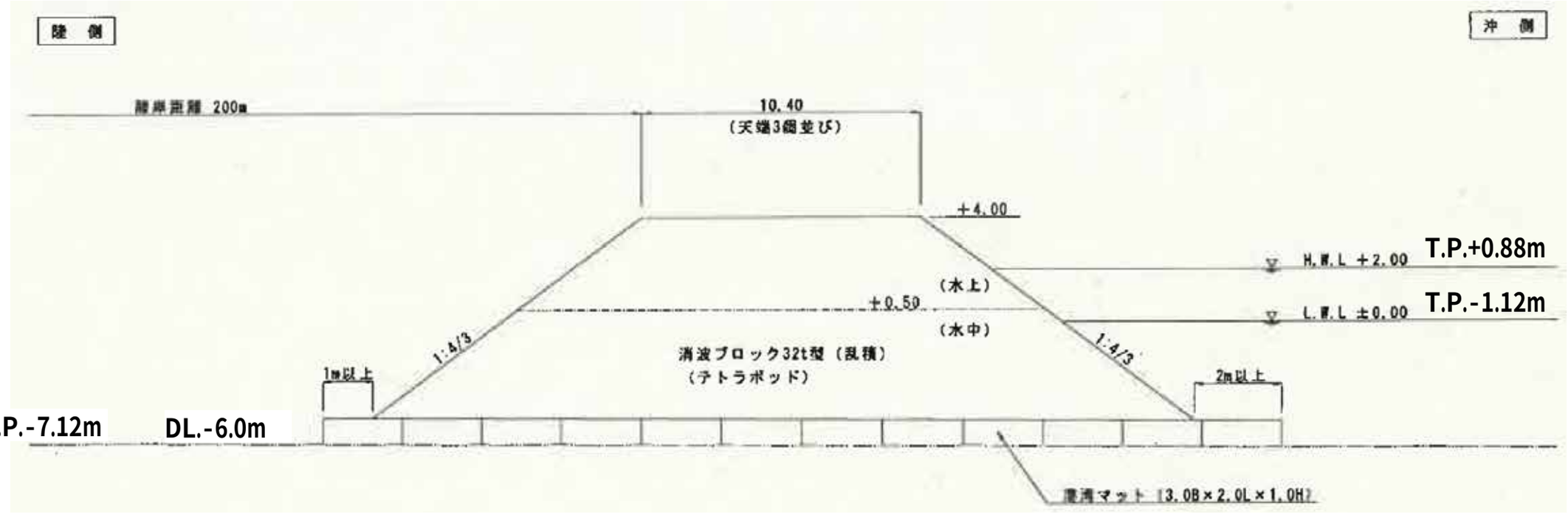
F 城下･久美原地区　潜堤



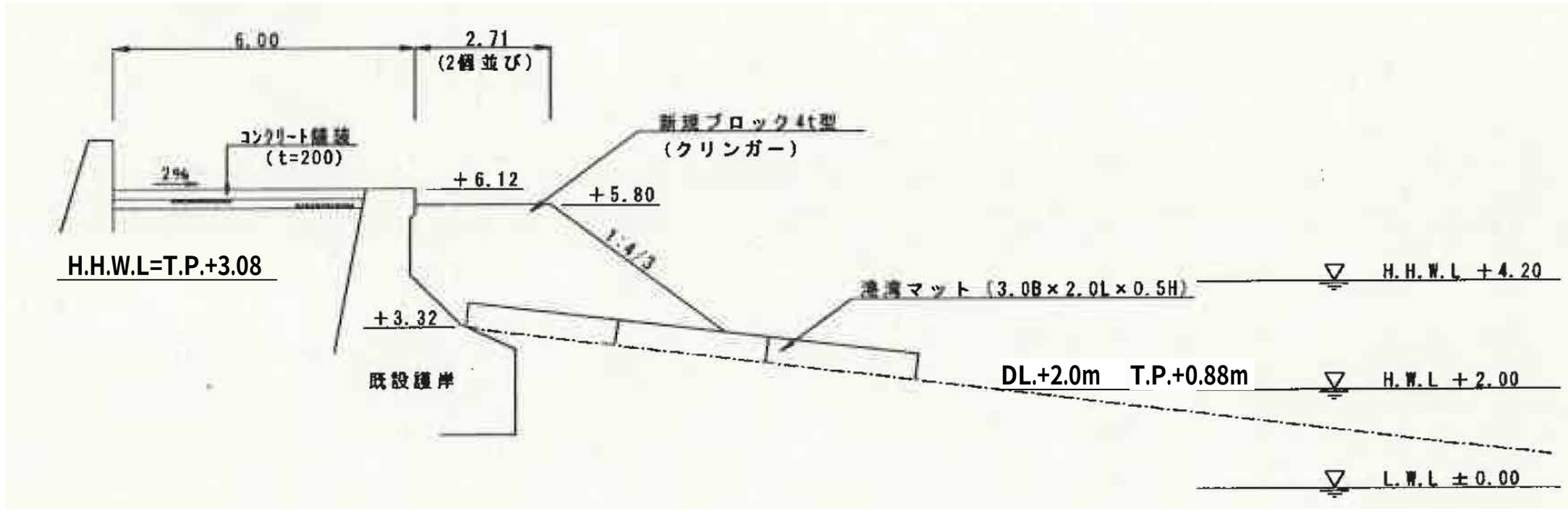
２．沖合施設等諸元概要について

（７）赤羽根漁港海岸（赤羽根地区）

G 赤羽根地区　離岸堤



H 赤羽根地区　消波工

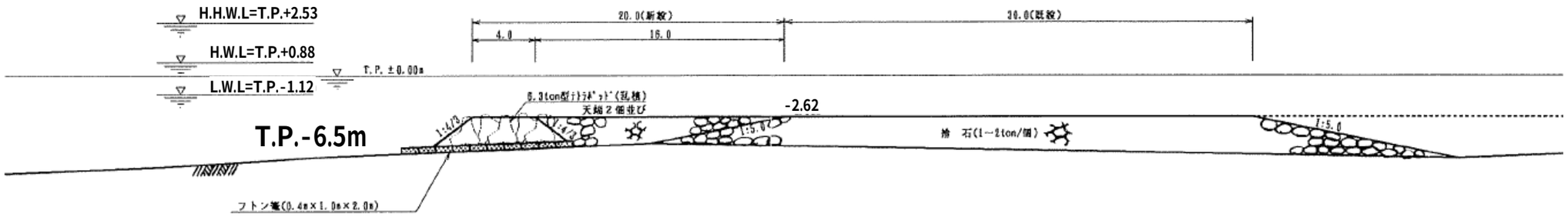


2．沖合施設諸元概要について

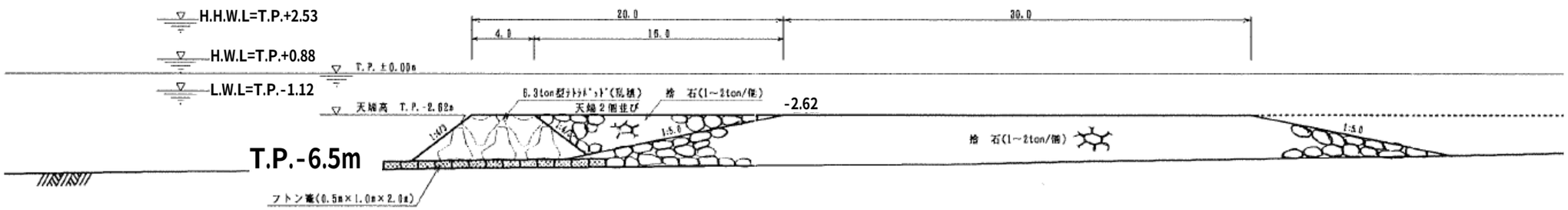
（8）渥美海岸（日出地区）

I 日出地区　人工リーフ2、5号

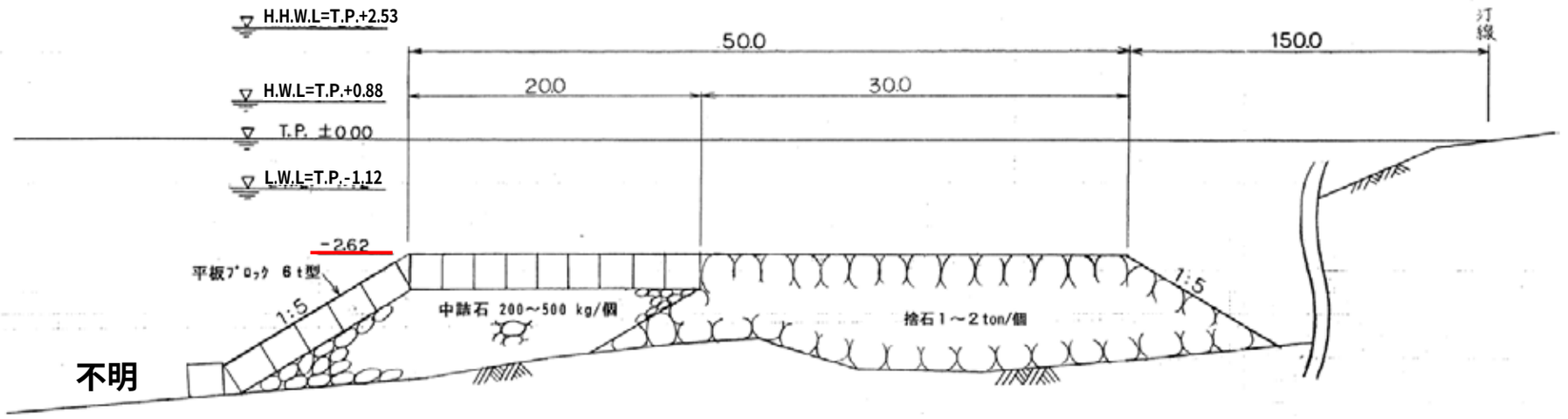
2号堤標準断面図



5号堤標準断面図



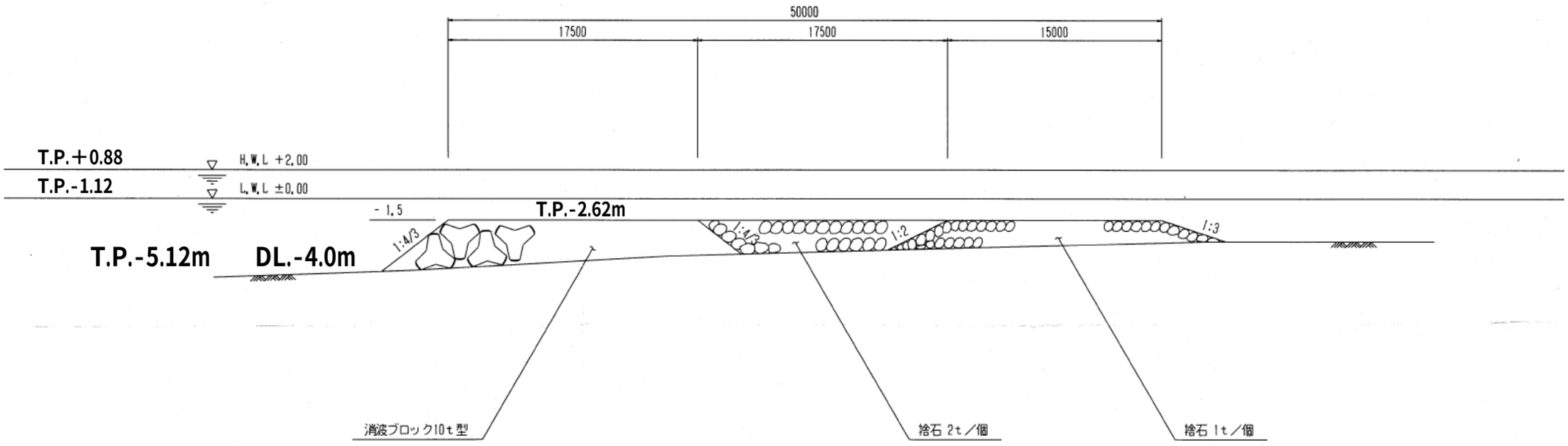
J 日出地区　人工リーフ1号



２．沖合施設等諸元概要について

（９）渥美海岸（伊良湖地区）

K 伊良湖地区　人工リーフ（C区域）



参考資料3

沖合施設等設計条件について

3．沖合施設等設計条件について

愛知県 Aichi Prefectural Government

既存沖合施設の設計条件

海岸名	施設	HWL	HHWL	設計波H(m) (施設前面波高)	堤脚地盤高(m)	KD値等係数	海底勾配	必要質量 (t)	施工質量 (t)	1.5倍 有無
豊橋海岸	潜堤	―	T.P.+2.53	5.54	T.P.-5.5	9.0	50	26.08	32	有
高豊漁港海岸	潜堤	T.P.+0.88	―	5.60	T.P.-6.12	8.3	50	28.75	32	有
	潜堤	T.P.+0.88	―	5.55	T.P.-6.12	8.3	50	28.50	40	有
	潜堤	T.P.+0.88	―	5.55	T.P.-6.12	8.3	50	28.50	32	有
田原豊橋海岸	人工リーフ	―	T.P.+2.53	5.54	T.P.-6.0	8.6	50	18.2	20	無
	潜堤	―	T.P.+2.53	6.73	T.P.-7.5	8.3	50	34.91	40	無
赤羽根漁港海岸	離岸堤	T.P.+0.88	―	6.24	T.P.-7.12	8.3	50	27	32	無
	消波工	―	T.P.+3.08	2.11	T.P.+0.88	8.3	50	1.04	4	無
渥美海岸(日出)	人工リーフ1号	T.P.+0.88	―	―	―	(0.5) K_L	50	4.7	6	無
	人工リーフ2号	T.P.+0.88	T.P.+2.53	6.33	T.P.-6.5	55	50	5.67	6.3	無
	被覆石		(LWL=T.P.-1.12)	3.30		0.9,0.5(Sn,Kv)		1.29	1～2	
渥美海岸(伊良湖)	人工リーフC	T.P.+0.88	―	―	―	(0.5) K_L	30	8.67	10	無
	被覆式							1.73	2	

最新の技術基準による気候変動を考慮した計画高潮位における設計条件

海岸名	施設	現行基準による手法	気候変動後 HHWL	気候変動後 設計波H(m)	堤脚地盤高(m)	KD値等係数	海底勾配	気候変動後 必要質量(t)	施工質量 (t)
豊橋海岸	潜堤	ハドソン式	T.P.+2.75	5.88	T.P.-5.5	9.0	50	20.77	32
高豊漁港海岸	潜堤	ハドソン式	T.P.+2.75	6.20	T.P.-6.12	8.3	50	29.85	32
	潜堤	ハドソン式	T.P.+2.75	6.45	T.P.-6.12	8.3	50	26.47	40
	潜堤	ハドソン式	T.P.+2.75	6.45	T.P.-6.12	8.3	50	26.47	32
田原豊橋海岸	人工リーフ	ハドソン式	T.P.+2.75	6.10	T.P.-6.0	8.6	50	24.37	20
	潜堤	ハドソン式	T.P.+2.75	7.08	T.P.-7.5	8.3	50	40.29	40
赤羽根漁港海岸	離岸堤	ハドソン式	T.P.+2.75	6.41	T.P.-7.12	8.3	50	29.25	32
	消波工	ハドソン式	T.P.+2.75	2.20	T.P.+0.88	8.3	50	1.19	4
渥美海岸(日出)	人工リーフ1号	旧基準式	T.P.+2.75	―	―	(0.5) K_L	50	16.96	6
	人工リーフ2号	ハドソン式	T.P.+2.75	6.53	T.P.-6.5	8.3	50	31.62	6.3
	被覆石	ブレブナー・ドネリー式		4.25	T.P.-2.62	(2.0) NS		8.16	1～2
渥美海岸(伊良湖)	人工リーフC	ハドソン式	T.P.+2.75	6.24	T.P.-5.12	8.3	30	35.92	10
	被覆石	ブレブナー・ドネリー式		4.32	T.P.-2.62	(2.0) NS		7.05	2

※気候変動後は1.5倍考慮せず

3．沖合施設等設計条件について

愛知県 Aichi Prefectural Government

豊橋海岸

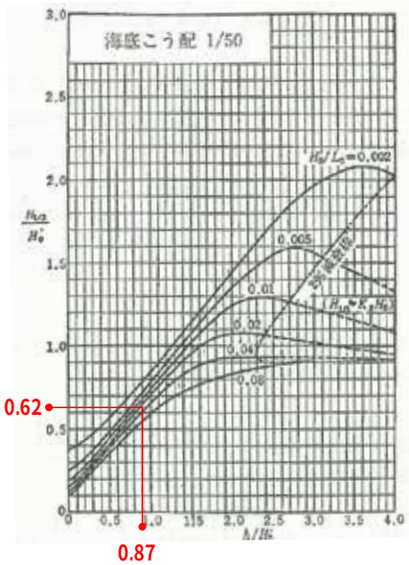
潜堤 (32t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88+1.48+0.39)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	8.25 m	=法先地盤高T.P.-5.5m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'=	9.48 m	設計波高 (30年確率)
周期	T=	14.90 s	設計波周期
沖波波長	L0	346.3 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	0.87	
	H'0/L0=	0.027	
	H/H0'=	0.62	※算定図より把握
前面波高	H=	5.88 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	5.88 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.333	傾斜角
KD値	Kd=	9.00	
必要重量	M=	20.77 t	<32t OK
必要重量(1.5倍)	M=	31.15 t	<32t OK



高豊漁港海岸

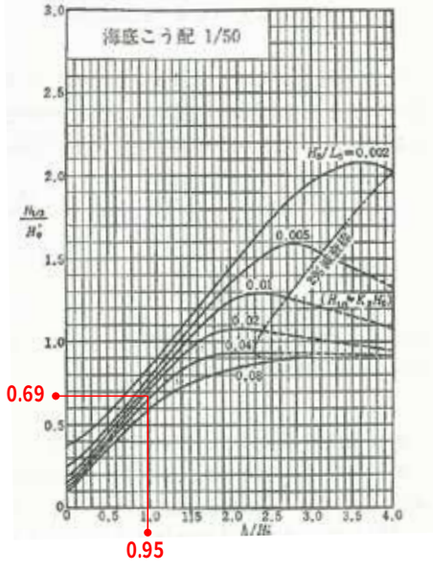
潜堤 (32t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=DL.+3.87m (=2.0+0.39+1.48)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	8.87 m	=法先地盤高-5.0m+HHWL+3.87m
換算沖波	H0'=	9.35 m	設計波高
周期	T=	15.00 s	設計波周期
沖波波長	L0	351.0 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	0.95	
	H'0/L0=	0.027	
	H/H0'=	0.69	※算定図より把握
前面波高	H=	6.45 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	6.45 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.33	傾斜角
KD値	Kd=	8.30	
必要重量	M=	29.85 t	<32t OK
必要重量(1.5倍)	M=	44.77 t	>32t OUT



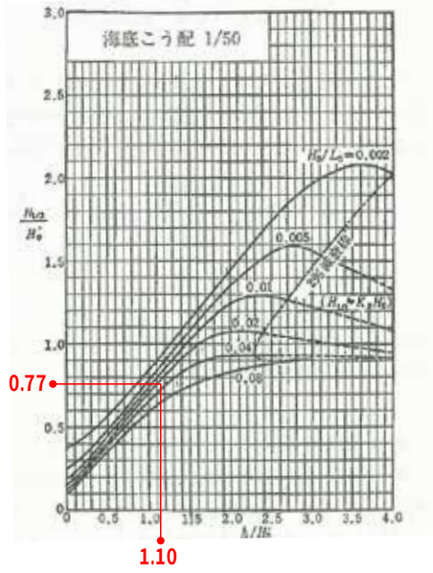
潜堤 (40t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=DL.+3.87m (=2.0+0.39+1.48)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	8.87 m	=法先地盤高-5.0m+HHWL+3.87m
換算沖波	H0'=	8.05 m	設計波高
周期	T=	15.00 s	設計波周期
沖波波長	L0	351.0 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	1.10	
	H'0/L0=	0.023	
	H/H0'=	0.77	※算定図より把握
前面波高	H=	6.20 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	6.20 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.33	傾斜角
KD値	Kd=	8.30	
必要重量	M=	26.47 t	<40t OK
必要重量(1.5倍)	M=	39.71 t	<40t OK



3．沖合施設等設計条件について

愛知県 Aichi Prefectural Government

田原豊橋海岸

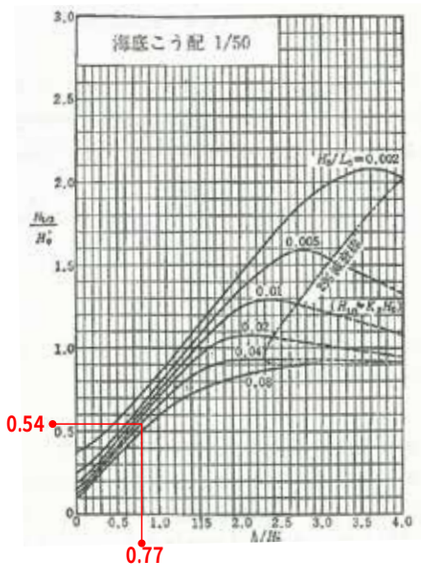
人工リーフ (20t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88＋1.48＋0.39)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	8.75 m	=法先地盤高T.P.-6.0m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'=	11.30 m	設計波高 (50年確率)
周期	T=	15.30 s	設計波周期
沖波波長	L0	365.2 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	0.77	
	H'0/L0=	0.031	
	H/H0'=	0.54	※算定図より把握
前面波高	H=	6.10 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	6.10 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.33	傾斜角
KD値	Kd=	8.60	
必要重量	M=	24.37 t	>20t OUT
必要重量(1.5倍)	M=	36.56 t	>20t OUT



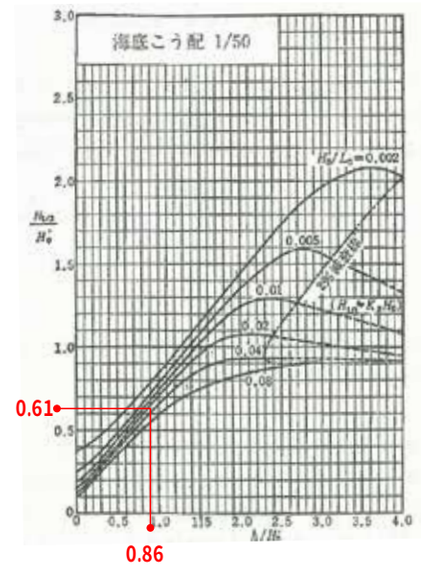
潜堤 (40t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88＋1.48＋0.39)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	9.92 m	=法先地盤高T.P.-7.5m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'=	11.60 m	設計波高 (50年確率)
周期	T=	16.90 s	設計波周期
沖波波長	L0	445.6 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	0.86	
	H'0/L0=	0.026	
	H/H0'=	0.61	※算定図より把握
前面波高	H=	7.08 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	7.08 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.30	傾斜角
KD値	Kd=	8.30	
必要重量	M=	40.29 t	>40t OUT
必要重量(1.5倍)	M=	60.43 t	>40t OUT



赤羽根漁港海岸

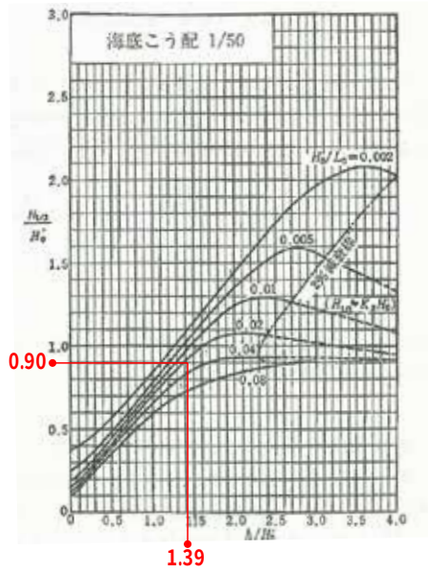
離岸堤 (32t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=DL.+3.87m (=2.0＋0.39+1.48)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	9.87 m	=法先地盤高-6.0m+HHWL+3.87m
換算沖波	H0'=	7.12 m	設計波高
周期	T=	14.90 s	設計波周期
沖波波長	L0	346.3 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	1.39	※0.5以下の場合0.5となる。
	H'0/L0=	0.021	
	H/H0'=	0.90	※算定図より把握
前面波高	H=	6.41 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	6.41 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.33	傾斜角
KD値	Kd=	8.30	
必要重量	M=	29.25 t	<32t OK
必要重量(1.5倍)	M=	43.87 t	>32t OUT



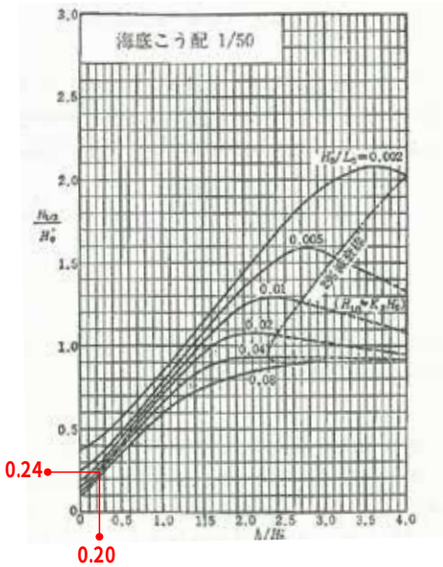
消波工 (4t)

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=DL.+3.78m (=2.0+0.39+1.48)

諸元	設定値		備考
堤脚水深	h=	1.87 m	=法先地盤高DL.+2.00m、HHWL+3.78m
換算沖波	H0'=	9.18 m	設計波高
周期	T=	14.90 s	設計波周期
沖波波長	L0	346.3 m	
海底勾配		1/50	
	h/H0'=	0.20	
	H'0/L0=	0.027	
	H/H0'=	0.24	※算定図より把握
前面波高	H=	2.20 m	

諸元	設定値		備考
前面波高	H=	2.20 m	※突堤工法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr=	2.30 t/㎥	コンクリートの密度
比重	Sr=	2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα=	1.33	傾斜角(=4/3)
KD値	Kd=	8.30	
必要重量	M=	1.19 t	<4t OK
必要重量(1.5倍)	M=	1.78 t	<4t OK



3．沖合施設等設計条件について

愛知県 Aichi Prefectural Government

渥美海岸（日出）

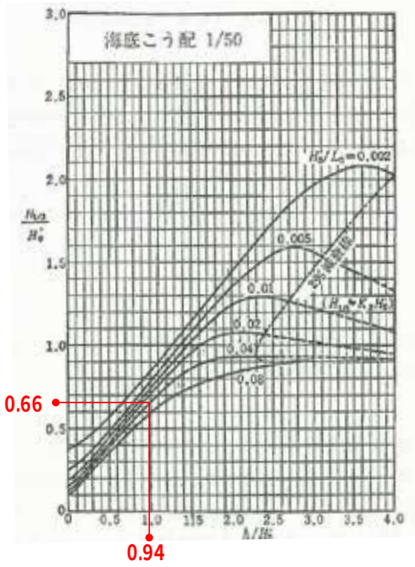
人工リーフ2号（消波ブロック6.3t）

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88+1.48+0.39)

諸元	設定値	備考
堤脚水深	h= 9.25 m	=法先地盤高T.P.-6.5m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'= 9.89 m	設計波高（50年確率）
周期	T= 15.30 s	設計波周期
沖波波長	L0 365.2 m	
海底勾配	1/50	
	h/H0'= 0.94	
	H'0/L0= 0.027	
	H/H0'= 0.66	※算定図より把握
前面波高	H= 6.53 m	

諸元	設定値	備考
前面波高	H= 6.53 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr= 2.30 t/m³	コンクリートの密度
比重	Sr= 2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα= 1.30	傾斜角
KD値	Kd= 8.30	
必要重量	M= 31.62 t	>6.3t OUT
必要重量(1.5倍)	M= 47.44 t	>6.3t OUT



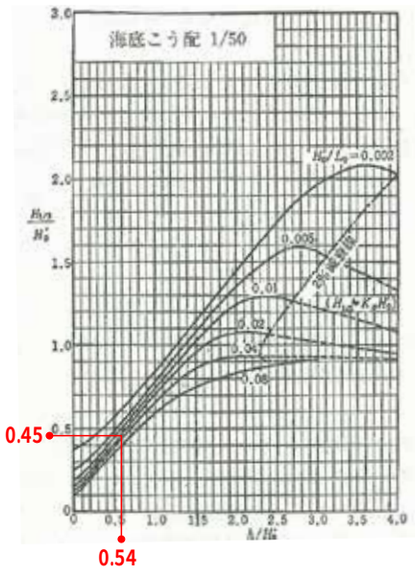
人工リーフ2号（被覆石1～2t）

■ブレブナードネリー式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88+1.48+0.39)

諸元	設定値	備考
堤脚水深	h= 5.37 m	=天端地盤高T.P.-2.62m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'= 9.89 m	設計波高（50年確率）
周期	T= 15.30 s	設計波周期
沖波波長	L0 365.2 m	
海底勾配	1/50	
	h/H0'= 0.54	
	H'0/L0= 0.027	
	H/H0'= 0.45	※算定図より把握
前面波高	H= 4.45 m	

諸元	設定値	備考
前面波高	H= 4.45 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr= 2.60 t/m³	捨石の密度
比重	Sr= 2.52	2.6/1.03
NS値	NS= 2.00	自然石
必要重量	M= 8.16 t	＞2t OUT
必要重量(1.5倍)	M= 12.24 t	＞2t OUT



渥美海岸（伊良湖）

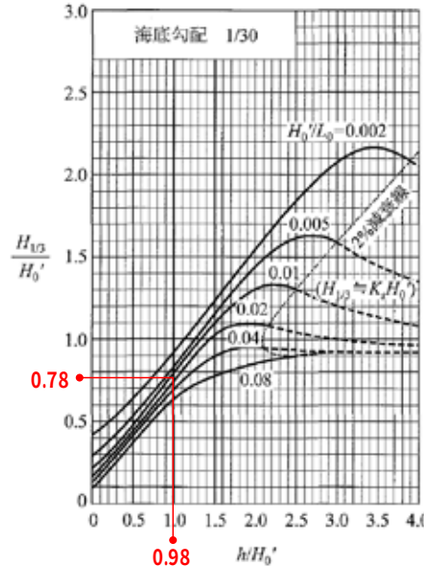
人工リーフC（消波ブロック10t）

■ハドソン式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88+1.48+0.39)

諸元	設定値	備考
堤脚水深	h= 7.87 m	=法先地盤高T.P.-5.12m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'= 8.00 m	設計波高（50年確率）
周期	T= 15.80 s	設計波周期
沖波波長	L0 389.4 m	
海底勾配	1/30	
	h/H0'= 0.98	
	H'0/L0= 0.021	
	H/H0'= 0.78	※算定図より把握
前面波高	H= 6.24 m	

諸元	設定値	備考
前面波高	H= 6.24 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr= 2.30 t/m³	コンクリートの密度
比重	Sr= 2.23	2.3/1.03
傾斜角	cotα= 1.00	傾斜角
KD値	Kd= 8.30	
必要重量	M= 35.92 t	>10.0t OUT
必要重量(1.5倍)	M= 53.88 t	>10.0t OUT



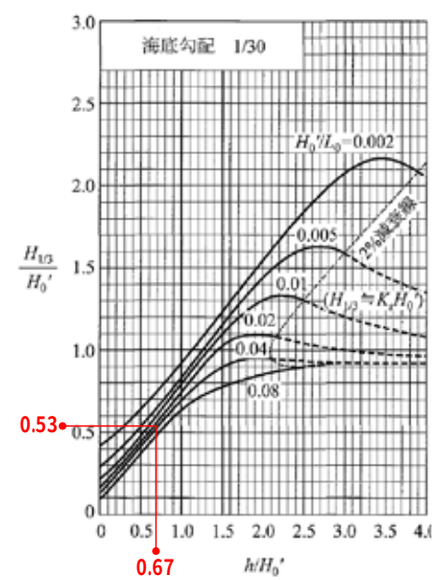
人工リーフC（被覆石1～2t）

■ブレブナードネリー式　計画波　H.H.W.L.

H.H.W.L.=T.P.+2.75m (=0.88+1.48+0.39)

諸元	設定値	備考
堤脚水深	h= 5.37 m	=天端地盤高T.P.-2.62m+HHWL+2.75m
換算沖波	H0'= 8.00 m	設計波高（50年確率）
周期	T= 15.80 s	設計波周期
沖波波長	L0 389.4 m	
海底勾配	1/30	
	h/H0'= 0.67	
	H'0/L0= 0.021	
	H/H0'= 0.53	※算定図より把握
前面波高	H= 4.24 m	

諸元	設定値	備考
前面波高	H= 4.24 m	※離岸堤法先位置
ﾌﾞﾛｯｸ密度	ρr= 2.60 t/m³	捨石の密度
比重	Sr= 2.52	2.6/1.03
NS値	NS= 2.00	自然石
必要重量	M= 7.05 t	＞2t OUT
必要重量(1.5倍)	M= 10.58 t	＞2t OUT



参考資料4

「人工リーフの設計の手引き（改訂版）」について

4．「人工リーフの設計の手引き(改訂版)」

○最新の技術基準では、「土研式」と「ブレブナー･ドネリー式」の質量の大きい方を採用する。

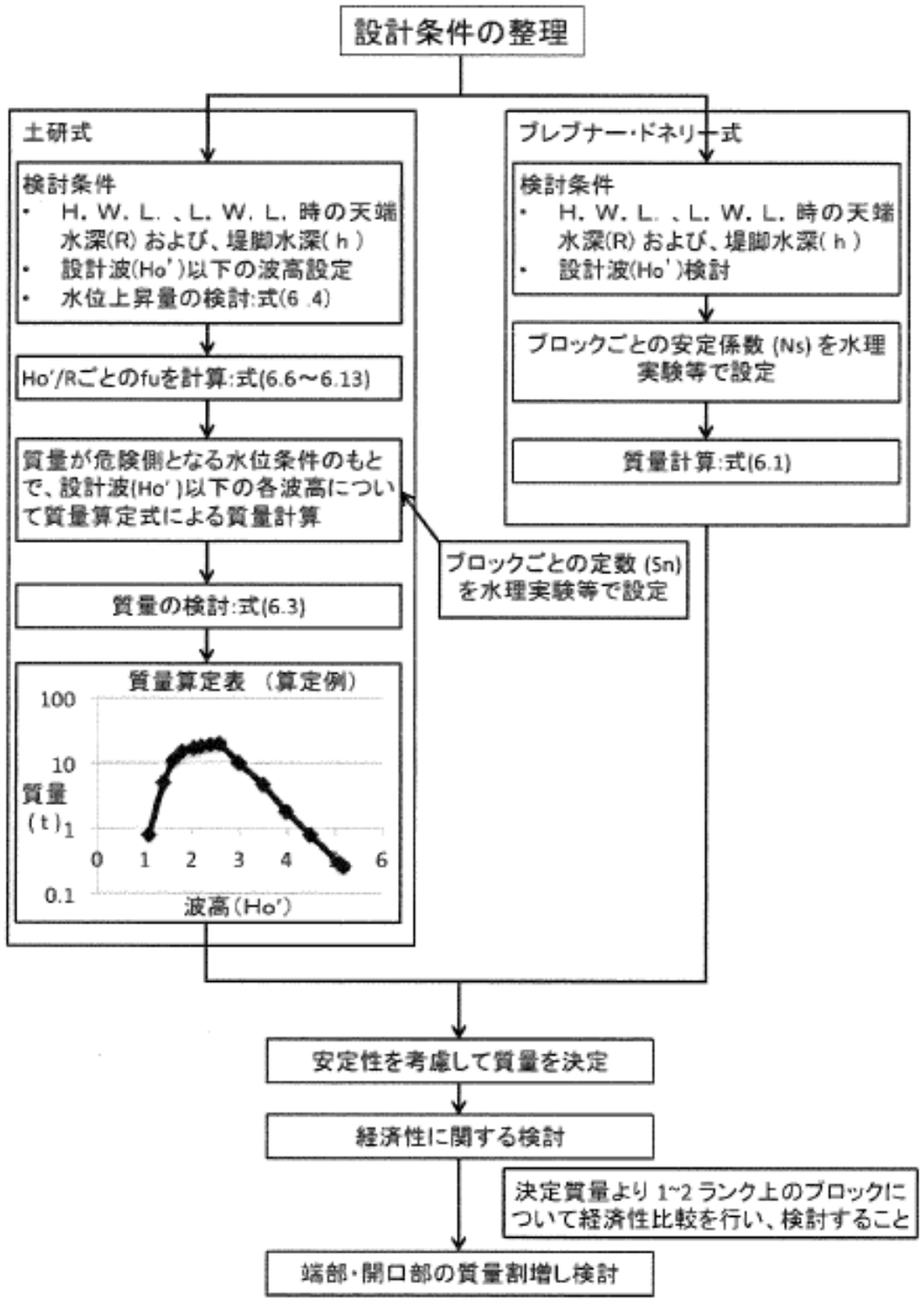


図-6.3　被覆材質量の検討フロー

1) ブレブナー・ドネリー式

ブレブナー・ドネリーの式は以下に示すとおりである。

$$M = \rho_r H_i^3 / \left(N_s^3 (S_r - 1)^3\right) \quad (6.1)$$

ここに、M: 被覆材の安定質量、ρ_r: 被覆材の密度、S_r: 被覆材の比重、N_s: 安定数、H_i:堤前波高(人工リーフすぐ沖の波高)である。N_s の値については、水理実験マニュアルに従った水理実験と波浪安定性能評価法に基づく、天端水深波高比（R/H_i）及び水深波長比（h/L_i）との関係式から算出する。なお、安定数（N_s）と天端水深波高比（R/H_i）及び水深波長比（h/L_i）との関係式は、ブロックごとに異なる。

なお、α をのり面の傾斜角度とすると、ハドソン式の K_D 値、ブレブナー・ドネリーの N_s の関係は式(6.2) となる。

$$K_D \cot(\alpha) = N_s^3 \quad (6.2)$$

3）空隙率の高い異形ブロックを用いる場合

一般の消波工に用いるような空隙率の高い異形ブロックを沖側や陸側のり面に利用することもできる。この場合には、図-6.13に示すように中詰工ののり勾配を緩勾配とはせず、各異形ブロックが最も安定な形状となるように積むことにより、のり面の被覆工の安定を図る。

異形ブロックを沖側のり面の被覆工に用いる場合には、被覆工の被災のメカニズムは6.1（1）で示したメカニズムとは異なる。したがって、異形ブロックの質量は水理模型実験より定めることを基本とするが、Hudson 公式より求まる値の1.5倍相当の質量を用いてもよい。

出典：人工リーフの設計の手引き (改訂版) 、平成29年6月

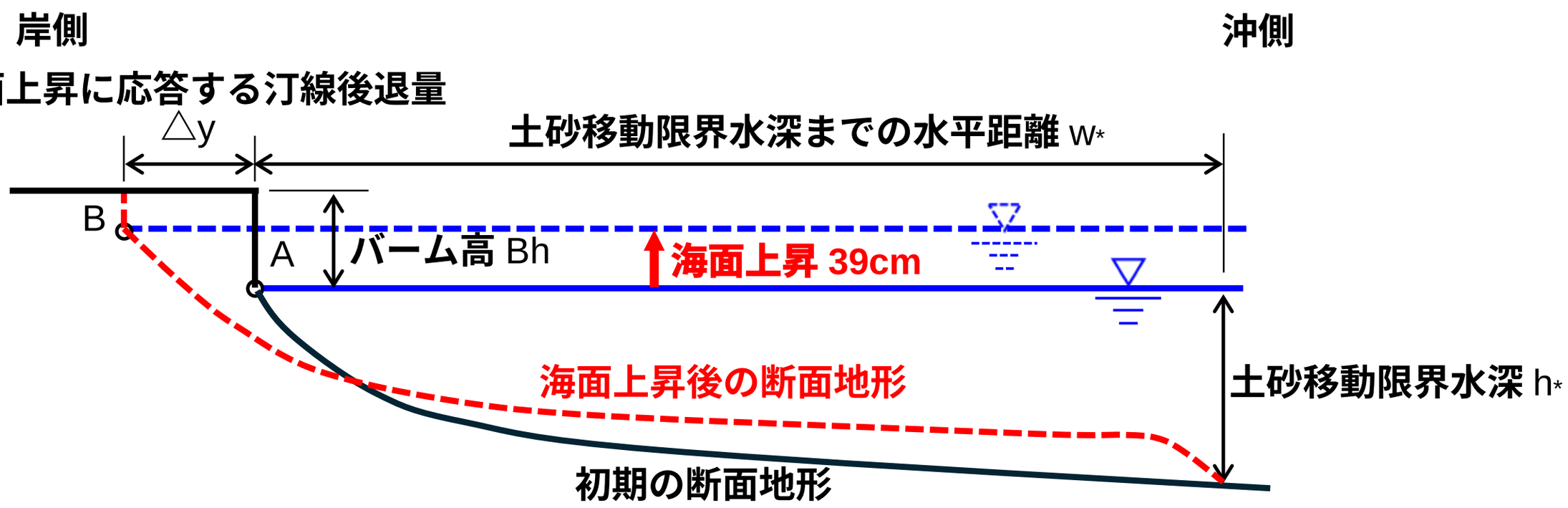
参考資料5

気候変動の影響による汀線変化について

5．気候変動の影響による汀線変化について

（１）Bruun則の概要

○平均海面水位の上昇により海浜が水没する分、汀線が後退するとともに、陸側に移動した新たな平衡断面となる海浜が形成され、さらに汀線が後退する。
○Bruun則は、簡便で、検証例が存在し、現在も多くの研究で用いられている。
⇒このような“水没による汀線の後退”と、“海浜断面地形の変化に伴う汀線の後退”を考慮したBruun則に基づき海面上昇後の汀線後退量を推定する。

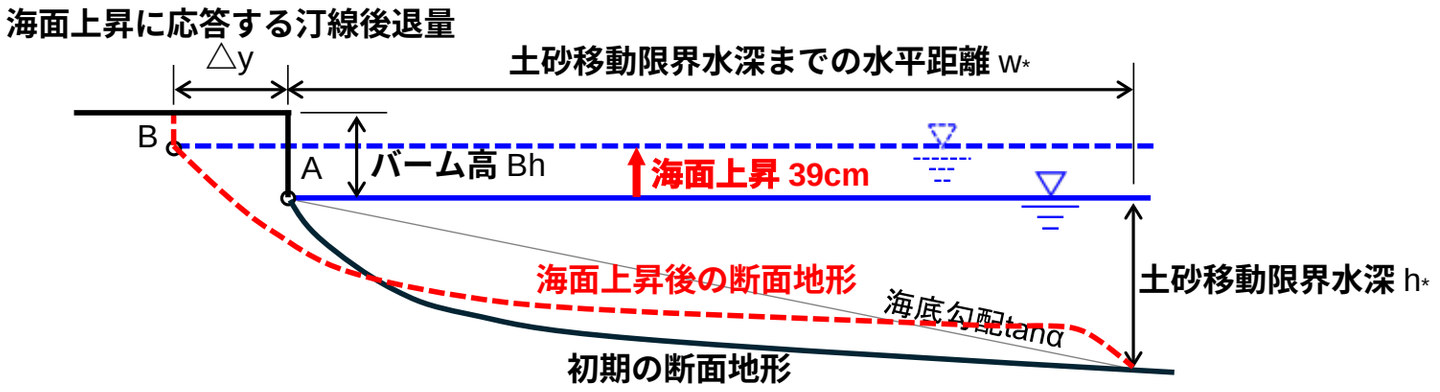


Bruun則は、岸沖方向の海浜断面形状に着目し、海面水位上昇量に応じて平衡断面形状を保つように岸沖方向の土砂移動が起こると仮定した簡易な評価方法

5．気候変動の影響による汀線変化について

（２）Bruun則の概要

○Bruun則は次式により海面上昇による汀線後退量△yが算定される。



$$\frac{\Delta y}{W_*} = -S/(h_* + B_h) \quad W_*=(h_*/A)^{3/2}$$

△y：汀線後退量(m)
h_*：土砂移動限界水深(m)
A ： 海浜断面係数
W_*：土砂移動限界水深までの水平距離(m)
S：海面上昇量(m)　0.39m
B_h：バーム高(m)

$$h_* = 2.28\bar{H}_m - 68.5\left(\frac{\bar{H}_m{}^3}{g\bar{T}_m{}^3}\right)$$

Hm：年最大有義波高の観測値の平均(m)
Tm：年最大有義波周期の観測値の平均(m)
g：重力加速度(m/s²)

$$B_h = 0.125\bar{H}_b{}^{5/8}\left(g\bar{T}_s{}^2\right)^{3/8}$$

H_b：Hsに対する砕波波高(m)
Hs：年平均有義波高の観測値の平均値(m)
Ts：年平均有義波周期の観測値の平均値(m)

$$\frac{\bar{H}_b}{\bar{H}_s} = \frac{(tan\alpha)^{0.2}}{(\bar{H}_s/\bar{L}_s)^{-0.25}}$$

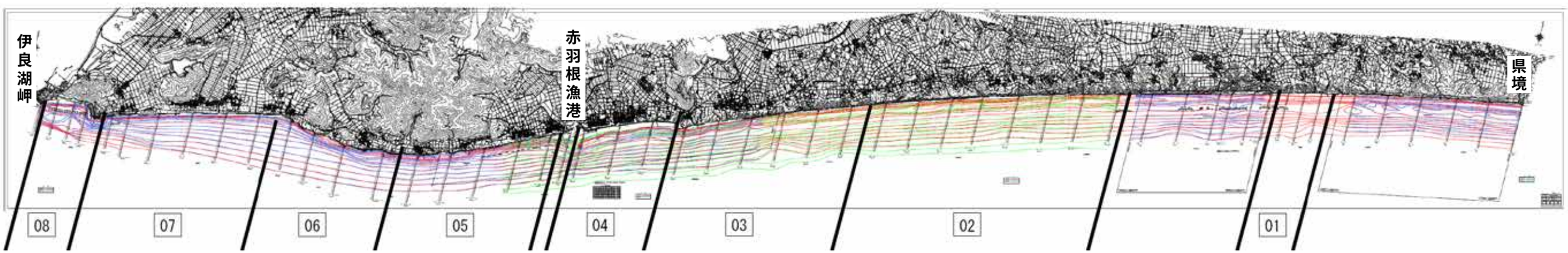
tan α ：海底勾配
Ls：年平均有義波波長(m)$1.56Ts^2$
（年平均有義波周期の観測値の平均）

出典：須川・有働・三村・真野，海面上昇に伴う全国砂浜侵食量の推定，土木学会論文集B2(海岸工学)Vol.67，No2，2011

5．気候変動の影響による汀線変化について

（３）Bruun則の計算条件

○Bruun則の計算条件を示す。海岸線の特性、測量の実施状況を踏まえ、8箇所に区間分割をして、区間ごとに汀線後退量を推定した。



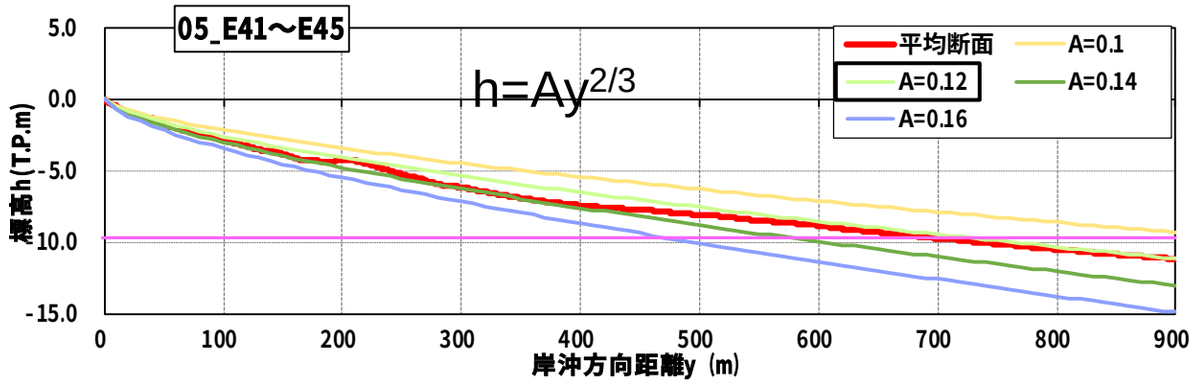
Bruun則の計算条件

項目	設定値	備考
対象範囲	表浜（県境～伊良湖岬）	
地形条件	2005(H17).2深浅測量成果より、区間毎の平均断面を設定	気候変動影響前
海底勾配	T.P.0mから土砂移動限界水深付近T.P.-10mまでの勾配を算出	ー
海浜断面係数	土砂移動限界水深付近（約T.P.-10m）で断面形状が近い値を0.02刻みで目視より区間ごとに設定	ー
外力条件	年最大有義波高の平均値：6.47m 年最大有義波周期の平均値：12.04s	CWM(2008～2023)St.06地点 ※気象庁による全球波浪数値予報モデル及び沿岸波浪数値予報モデル
	年平均有義波高1.33m 年平均有義波の周期：8.13s	
平均最大有義波高の変化量	0m	気候変動による将来増加なし
海面上昇量	0.39m（2度上昇）	2100年

※岸沖方向の土砂量は変化しない仮定で計算

区間	海底勾配	海浜断面係数
01	0.013	0.12
02	0.012	0.12
03	0.013	0.12
04	0.012	0.12
05	0.014	0.12
06	0.016	0.12
07	0.014	0.14
08	0.018	0.16

St06地点



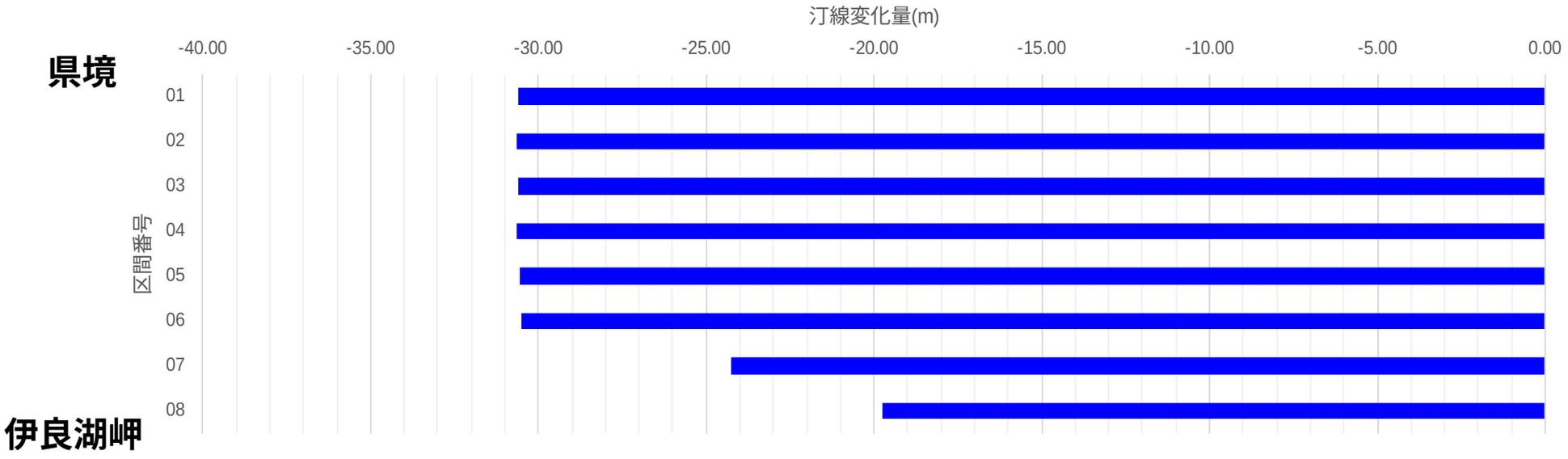
海浜断面係数設定例

5．気候変動の影響による汀線変化について

（４）Bruun則による汀線後退量推定結果

○Bruun則は、岸沖方向の土砂移動による影響を考慮したものである。
○渥美半島の西側に向かって海底勾配が急になるため、渥美半島の西側では汀線後退量は小さくなる。
⇒平均海面が39cm上昇することにより、20～31m程度の汀線後退量となる。

No	海底勾配（測量）	年平均有義波高の観測値の平均値	年平均有義波高100年あたりの変化量(%)	変化量を考慮した年平均有義波高	年平均有義波周期の観測値の平均値	年平均有義波長	年最大有義波高の観測値の平均値	年最大有義波高100年あたりの変化量	変化量を考慮した年最大有義波高	年最大有義波周期の観測値の平均値	Hsに対する砕波波高	バームの高さ	移動限界水深	移動限界水深までの距離	海浜断面係数	海面上昇量	汀線変化量(汀線後退量)
	tan α	Hs	ΔHs	Hs	Ts	Ls	Hm	ΔHm	Hm	Tm	Hb	Bh	h*	W*	A	S	Δy
		m	m	m	s	m	m	m	m	s	m	m	m	m		m	m
01	0.013	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.66	1.94	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.59
02	0.012	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.63	1.92	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.63
03	0.013	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.66	1.94	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.59
04	0.012	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.63	1.92	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.63
05	0.014	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.68	1.96	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.56
06	0.016	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.73	1.99	13.83	1,236.91	0.12	0.39	-30.49
07	0.014	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.68	1.96	13.83	981.56	0.14	0.39	-24.25
08	0.018	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.77	2.02	13.83	803.40	0.16	0.39	-19.77

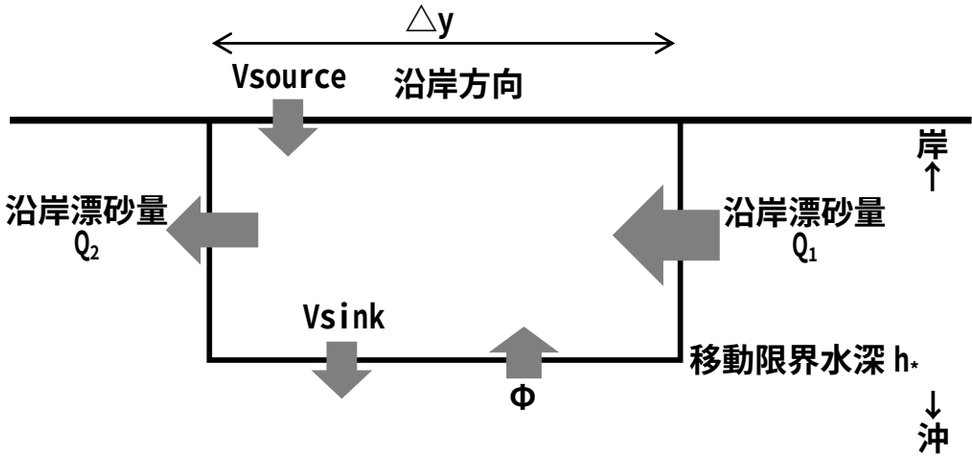


5．気候変動の影響による汀線変化について

（５）修正Bruun則の概要

○Bruun則は、岸沖方向の土砂移動だけを対象とした海面上昇の評価手法である。一方、実際の海岸では、沿岸方向の土砂移動等様々な土砂移動によって地形が変化している。

⇒ Dean and Houstonによって提案されている修正Bruun則は、Bruun則では考慮していない沿岸漂砂や沖合への土砂損失、養浜等による土砂量変化を考慮できる。この修正Bruun則を使用して汀線後退量を推定する。



$$\frac{dX}{dt} = -\frac{dS}{dt}\left(\frac{W_*}{h_* + B}\right) + \frac{\emptyset}{(h_* + B)} - \frac{1}{L(h_* + B)}\frac{dV_{sink}}{dt} + \frac{1}{L(h_* + B)}\frac{dV_{source}}{dt} - \frac{1}{(h_* + B)}\frac{dQ}{dy}$$

X:汀線の変化量(m)
S:海面上昇量(m)　0.39m
W_*：土砂の移動限界水深までの水平距離(m)　$W_* = (h_*/A)^{3/2}$
h_*：移動限界水深(m)
A：海浜断面係数
B：バーム高

Bruun則から追加された項目

L：海岸延長(m)
φ：移動限界水深より沖からの供給土砂量(m^3)
Vsink：漂砂系から土砂損失量(m^3)　海底谷など
Vsource：漂砂系への土砂供給量(m^3)　養浜など
dQ/dy：沿岸漂砂量の沿岸漂砂方向の変化量（m^3/year/m） →表浜で考慮する項

出典：渡邊国広ら，相対的な海面上昇を経験した海岸における修正Bruun則による汀線変化予測，土木学会論文集B2（海岸工学）vol.76，2020

5．気候変動の影響による汀線変化について

（６）修正Bruun則の計算条件

○修正Bruun則の計算条件を示す。
○修正Bruun則に必要となる沿岸漂砂量Qは、渡邊らの論文と同様の手法で数値計算により推定したものを用いる。

修正Bruun則の計算条件

項目	設定値	備考
対象範囲	表浜（県境～伊良湖岬）	
地形条件	2005(H17).2深浅測量成果より、区間毎の平均断面を設定	気候変動影響前
海底勾配	T.P.0mから土砂移動限界水深付近T.P.-10mまでの勾配を算出	―
海浜断面係数	土砂移動限界水深付近（約T.P.-10m）で断面形状が近い値を0.02刻みで目視より区間ごとに設定	―
外力条件	年最大有義波高の平均値：6.47m 年最大有義波周期の平均値：12.04s	CWM（2008～2023）St.06地点
	年平均有義波高1.33m 年平均有義波の周期：8.13s	
平均最大有義波高の変化量	0m	気候変動による将来増加なし
海面上昇量	0.39m（2度上昇）	2100年
Φ	0	沖からの供給なし
Vsink	0	漂砂系からの土砂損失量なし
Vsource	0	養浜なし
dQ/dy	渡邊らの論文に従い波浪変形計算＋沿岸漂砂量式から算定	―

b)　沿岸漂砂量の設定

九十九里波浪観測所における 2000 年～2017 年の波浪データから 16 方位毎にエネルギー平均波を求め，**表-2** のとおり代表波を設定した．この代表波毎にエネルギー平衡方程式による波浪変形計算を実施したうえで小笹・Brampton の沿岸漂砂量式により沿岸漂砂量の分布を求め，各代表波の出現頻度に応じて重み付けして統合した沿岸漂砂量分布から，沿岸漂砂量の沿岸方向の変化量 dQ/dy（以下，沿岸漂砂量の勾配）を求めた．

既往論文による沿岸漂砂量Qの算定例

出典：渡邊国広ら，相対的な海面上昇を経験した海岸における修正Bruun則による汀線変化予測，土木学会論文集B2（海岸工学）vol.76，2020

5．気候変動の影響による汀線変化について

（7）修正Bruun則の計算条件

○沿岸漂砂量算定における計算条件を示す。
○沿岸漂砂量算定に用いた波浪は、高波浪の頻度を踏まえ5方位を対象とした。

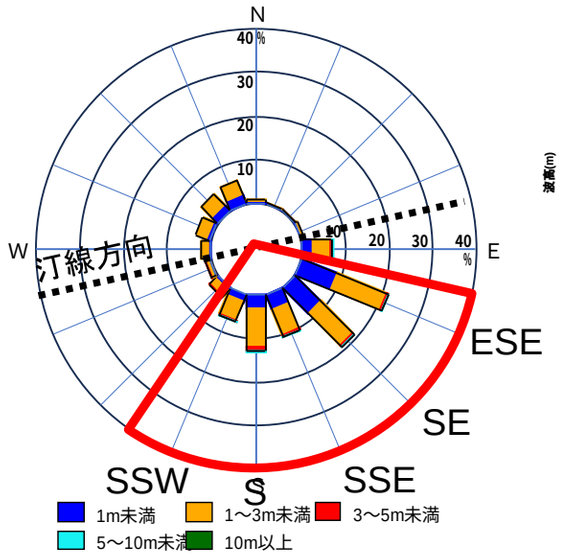
沿岸漂砂量 (dQ/dy) 計算条件

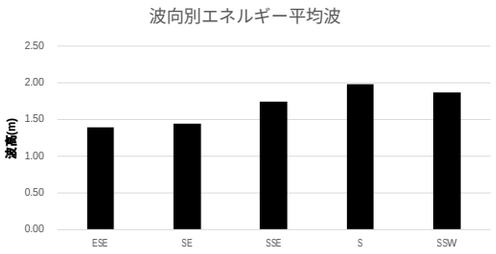
項目	条件
波浪計算手法	エネルギー平衡方程式
計算範囲	沿岸方向 (x方向) ：89.7km 岸沖方向 (y方向) ：63.0km
格子間隔	沿岸方向 (⊿x) ：90m、岸沖方向 (⊿y) ：90m
計算地形	高潮シミュレーション (高潮浸水想定) で使用した地形
潮位	T.P.+0.0m
波浪条件	入力波：St.06地点　CWM 波向：5方向 (ESE、SE、SSE、S、SSW) 高波高3m以降の頻度が1%より多い波向を抽出 波高：波向別エネルギー平均波、周期：平均周期 波向別発生頻度日数 砕波波高：T.P.-5m以浅付近の波高と波向を抽出⇒平滑化
方向集中度ﾊﾟﾗﾒｰﾀ	10
波の方向分割数	35 (⊿α=5.1 °、主方向を挟んで90～-90度)
波の周波数分割数	10
沿岸漂砂量式	小笹･ブランプトンの式 沿岸漂砂量係数K_1：県境で約7万m^3/年となるように設定、K_2=0
海岸線地形	H19～H21の測量からT.P-5m位置 (0mと10mの平均) 北向き、270m間隔⇒平滑化

小笹･ブランプトンの沿岸漂砂量算定式

$$I_l = \frac{1}{8}\rho g H_b^2 C_{gb}\left[K_1 \sin\theta_b \cos\theta_b - \frac{K_2}{\tan\beta}\frac{\partial H_b}{\partial x}\cos\theta_b\right]$$

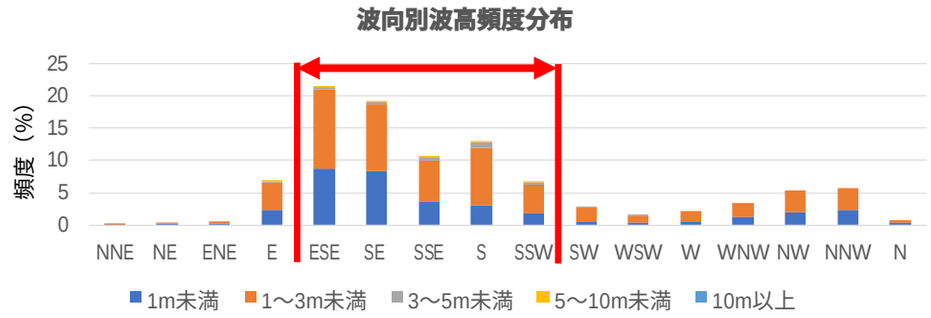
ここで、
I_l：沿岸漂砂量
K_1、K_2：係数（K_1：沿岸漂砂量係数、K_2：小笹・ブランプトンの係数）
ρ：海水密度（=1.03）
g：重力加速度(=9.8)
H_b：砕波波高
$(C_g)_b$：砕波点（砕波波高）における群速度
θ_b：砕波点における波向
tanβ：海底勾配

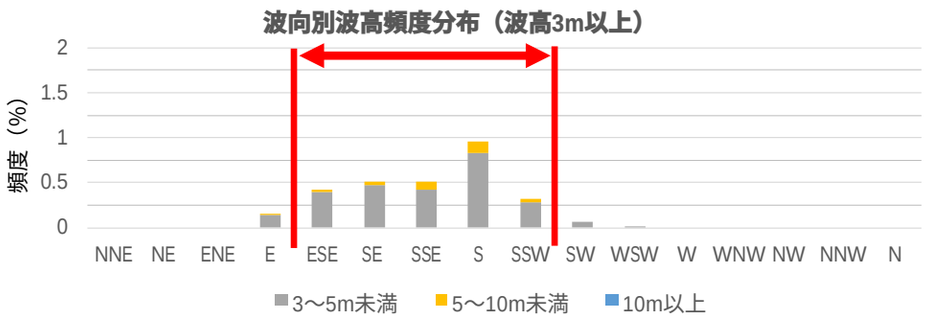




波向	波高(m)	周期(s)	日数
ESE	1.39	9.27	83
SE	1.44	9.59	70
SSE	1.75	9.13	39
S	1.99	8.62	47
SSW	1.87	7.87	24

波向別波速階級別頻度分布図（全年）





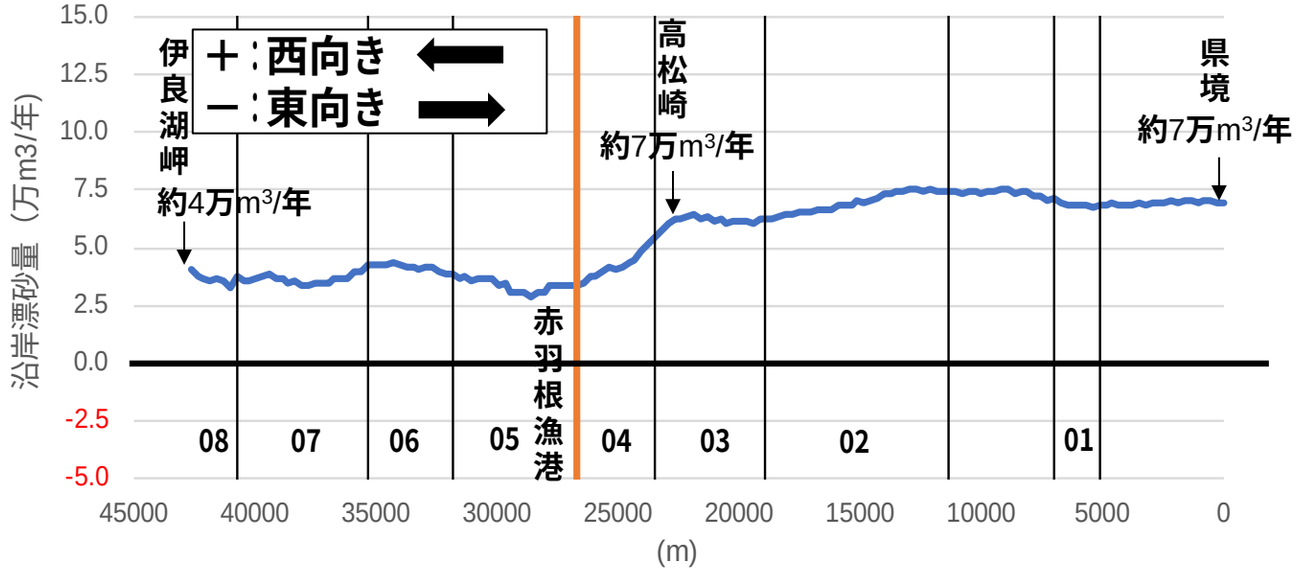
波浪条件 (CWM　St06地点)

5．気候変動の影響による汀線変化について

（8）修正Bruun則の計算条件：沿岸漂砂量算定結果

○修正Bruun則に用いる沿岸漂砂量の算定結果を示す。
⇒県境で約7万m³/年とすると、高松崎で約7万m³/年、伊良湖岬で約4万m³/年となる。県境における約7万m³/年を基準としているため既往論文より若干小さい値となっているが同様の沿岸漂砂量分布となっている。

沿岸漂砂量　算定結果



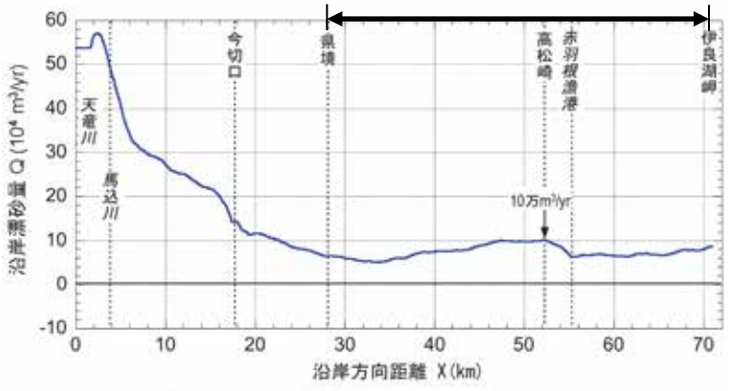


図-8　天竜川河口～伊良湖岬間の沿岸漂砂量分布（1946～1965年）

4.　天竜川河口～伊良湖岬間での沿岸漂砂量分布

空中写真より定めた汀線変化量から，天竜川河口～伊良湖岬間での沿岸漂砂量分布を求めた．まず，図-3の汀線変化より，1946～1965年当時の沿岸漂砂量分布を求めた．高松崎での西向き沿岸漂砂量は，赤羽根漁港の防波堤延伸に伴う高松崎～赤羽根漁港間での堆砂量の変化より，上述のように約10万 m³/yrと求められている．そこで，1946～1965年の汀線変化量に漂砂の移動高を乗じて

m³/yrとなった．これより，伊良湖岬を北側に回り込んだ沿岸漂砂量は7.4万 m³/yrと推定された．一方，伊良湖港周辺の1956年当時の深浅図から読み取った波による地形変化の限界水深6 mを与えて$Q = 780h_c^{5/2}$なる関係[6]から沿岸漂砂量を算定したところ，漂砂量は6.9万 m³/yrとなり，地質学的時間スケールで推定された沿岸漂砂量が工学的時間スケールでの沿岸漂砂量とほぼ一致することが分かった．しかし近年では，赤羽根漁港や伊良湖港での防波堤の建設に伴い沿岸漂砂の連続性が失われ，構造物の下手側で侵食が進む状況に変わった．漂砂の連続性が失われた場所では侵食が進んでいるが，そこから下手側に離れた場所，例えば三河福江港では現状でも過去と同様の沿岸漂砂による地形変化が発生し堆積が続いている．

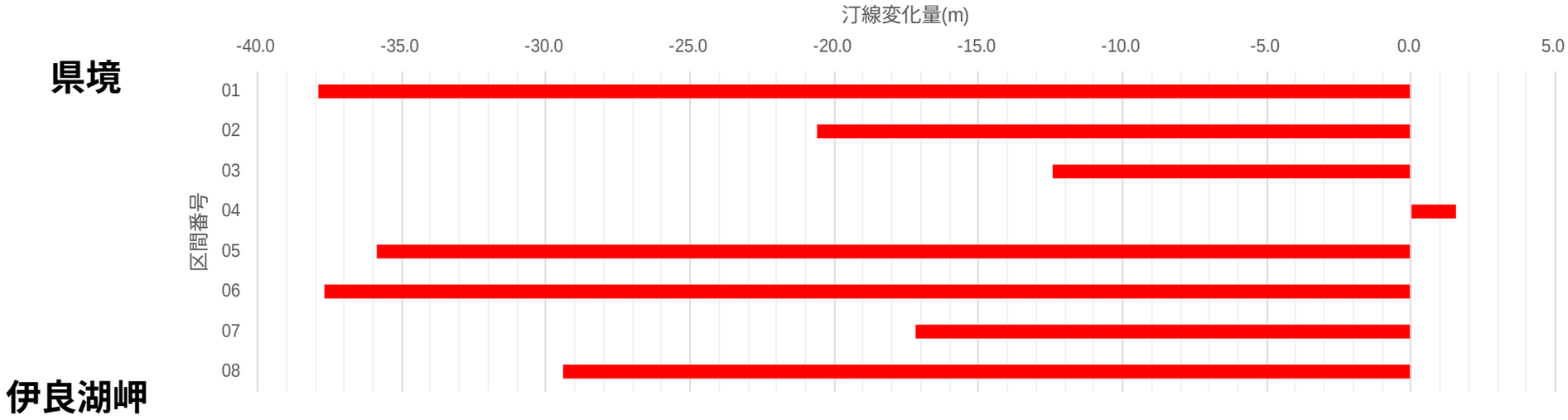
出典：宇多ら，鋭角状に曲がった海岸線を有する伊良湖岬における漂砂量の変遷，土木学会論文集B3（海岸開発）vol.78，No.2　I_49-I_54，2022

出典：宇多ら，遠州灘海岸西部の地形変化と沿岸漂砂量分布の推定，土木学会論文集B2（海岸工学）vol.75，No.2　I_649-I_654，2019

既往の論文等によって推定された沿岸漂砂量とほぼ同様の結果となった。

5．気候変動の影響による汀線変化について

（９）修正Bruun則による汀線後退量推定結果

○沿岸漂砂量式による移動限界水深内の海浜全体の土砂を対象とした場合の汀線変化量となる。
○本検討で算定した沿岸漂砂量には時間の概念がないため、沖合施設によって堆積･侵食が生ずる時間的な汀線変化は考慮できていない。
○「04区間：赤羽根漁港東側」では、海面上昇後も汀線は維持される。
⇒沿岸漂砂量の分布形状によりバラつきがあるが、最大で約38m、平均で約24mの汀線後退となる。

No	海底勾配（測量）	年平均有義波高の観測値の平均値	年平均有義波高100年あたりの変化量(%)	変化量を考慮した年平均有義波高	年平均有義波周期の観測値の平均値	年平均有義波長	年最大有義波高の観測値の平均値	年最大有義波高100年あたりの変化量	変化量を考慮した年最大有義波高	年最大有義波周期の観測値の平均値	Hsに対する砕波波高	バームの高さ	移動限界水深	移動限界水深までの距離	海浜断面係数	年海面水位上昇量	年土砂移動量	汀線変化量(汀線後退量)	2100年の汀線変化量(汀線後退量)
	tan α	Hs	Δ Hs	Hs	Ts	Ls	Hm	Δ Hm	Hm	Tm	Hb	Bh	h*	W*	A	dS/dt	dQ/dy	dX/dt	
		m	m	m	s	m	m	m	m	s	m	m	m	m		m/年	m3/年/m	m/年	m
01	0.013	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.66	1.94	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	-1.15	-0.4	-37.9
02	0.012	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.63	1.92	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	1.58	-0.2	-20.6
03	0.013	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.66	1.94	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	2.86	-0.1	-12.4
04	0.012	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.63	1.92	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	5.07	0.0	1.5
05	0.014	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.68	1.96	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	-0.84	-0.4	-35.9
06	0.016	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.73	1.99	13.83	1,236.91	0.12	0.0039	-1.14	-0.4	-37.7
07	0.014	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.68	1.96	13.83	981.56	0.14	0.0039	1.12	-0.2	-17.2
08	0.018	1.33	0.00	1.33	8.13	103.11	6.56	0.00	6.56	12.04	1.77	2.02	13.83	803.40	0.16	0.0039	-1.52	-0.3	-29.4