

第3編 設計

第1章 海岸堤防

第1節 設計の基本方針

堤防は、海岸背後にある人命・資産を高潮、津波及び波浪から防護するとともに、陸域の侵食を防止することを目的として設置される海岸保全施設である。

堤防は、高潮若しくは津波による海水の侵入を防止する機能、波浪による越波を減少させる機能、若しくは海水による侵食を防止する機能のいずれかの機能又は全ての機能を有するものとする。

堤防は津波堤防と高潮堤防に大別される。仙台湾南部海岸においては、津波及び高潮の両者による災害が懸念される海岸であるため、両者の災害を防止または被害を軽減させる堤防を設置するものとする。ここで堤防とは、現地盤を盛土、またはコンクリート打設などによって増高し、高潮、津波による海水の侵入を防止し、波浪による越波を減少させるとともに、陸域が侵食されるのを防止する施設をいい、護岸は堤防の表法(海側)および裏法(陸側)の被覆工として設置されている構造物をいう。堤防および護岸の設計にあたっては、潮位、波、土質、海底地形および海浜地形等の自然条件、背後地の資産、人口の集中度による緊急度や重要度、隣接する海岸保全施設との計画堤防高あるいは工法の整合性、海岸の土地および水面の利用状況、隣接自治体の復興計画を十分考慮して設計を行う必要がある。堤防および護岸を概念的に図示すると図 3.1.1-1、表 3.1.1-1のとおりである。

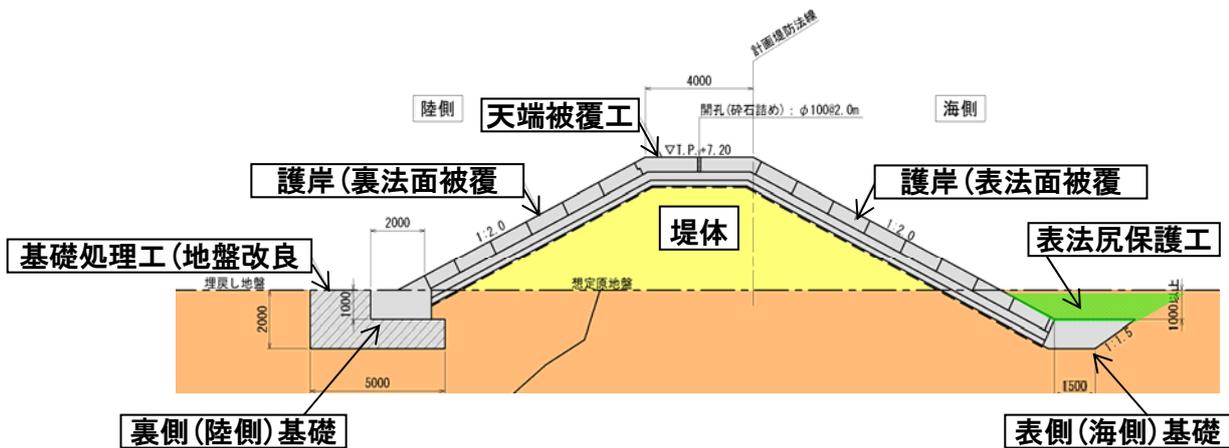


図 3.1.1-1 堤防及び護岸の概念図

表3.1.1-1 基本諸元の整理

項目		決定諸元(仕様・構造等)
海岸堤防への要求性能		<ul style="list-style-type: none"> 発生頻度の高い波浪、地震及び津波に対して必要な高さを確保する。 最大クラスの津波に対しては、施設効果が粘り強く発揮可能な構造を検討する。
堤体形式		<ul style="list-style-type: none"> 2割傾斜の土堤構造を基本とする。
堤防天端高		<ul style="list-style-type: none"> T.P.+7.2m(高潮高>津波高より高潮で決定)
堤防天端幅		<ul style="list-style-type: none"> 天端幅 4m
法面被覆工	表法	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートブロック張り (2t)
	裏法	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートブロック張り (2t) 表面が平滑で津波より抗力が生じない切り欠きを有しているブロック(性能規定)
天端工及び笠コンクリート		<ul style="list-style-type: none"> 天端工と笠コンクリートを一体構造とした現場打ちコンクリート構造(t=500以上) 裏法肩には切り欠きを有し、天端にはφ100@2000の空気抜き孔を設置
基礎工	表法	<ul style="list-style-type: none"> 現況最低地盤高から基礎工天端まで1mの根入れを確保 捨石基礎(幅1.5m、50~500kg/個) 捨石基礎上部1mは割栗石(15~20cm)で埋め戻す。
	裏法	<ul style="list-style-type: none"> 法尻部は基礎工と被覆工の一部を一体化したコンクリート構造とする。 基礎工の下部及び前面には基礎処理を行う。(引張破壊応力0.04N/mm²以上) 基礎工の現地盤への根入れは不要。

第2節 設計条件

堤防および護岸の設計条件は、次の事項を考慮するものとする。

1. 潮位および波浪
2. 土質
3. 海底地形および海浜地形
4. 地震力
5. 背後地の重要度
6. 施工条件
7. その他

2.1 波浪・潮位

堤防の天端高および構造は越波量およびうちあげ高から、堤体の安定性は波力等から決定されるので、潮位および波は重要な条件である。

波浪・潮位条件は下記に示す仙台湾南部海岸における計画外力とした。なお、波向は仙台湾南部海岸全体のほぼ法線方向(海岸線に対して直角)であるEとした。

- ・沖波波高:7.7m(有義波高)
- ・周期 :13.0s
- ・波向 :E
- ・潮位 :T.P.+1.6m

上記の波浪・潮位条件の下で、エネルギー平衡方程式により各測量測線における換算沖波波高を算出した(図 3.1.2-1参照)。換算沖波波高とは、平面的な波浪変形(屈折・回折)の影響を考慮した沖波であり、波の打ち上げ高算定用断面地形にこの波高を入射させて波の打ち上げ高を算定した。換算沖波波高の算出地点は各測量測線の沖合い水深 15m程度地点とした。

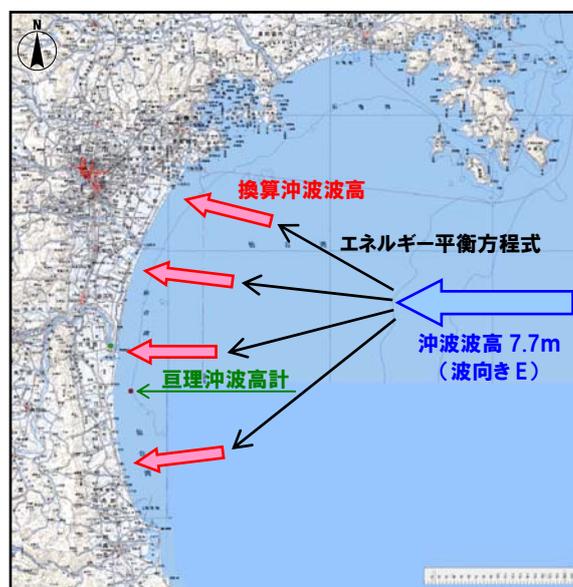


図 3.1.2-1 換算沖波派高

<波浪・潮位の参考資料>

各測量測線の換算沖波波高を図 3.1.2-2、表 3.1.2-1に示す。

基本的には上記の換算沖波波高を用いて波の打ち上げ高を算定するが、換算沖波波高が非常に大きいと沖合いで碎波し、打ち上げ高が最大とならない場合があるため、換算沖波波高まで 0.1m 刻みで波高を徐々に大きくし、波の打ち上げ高が最大となる場合について検討を行った。

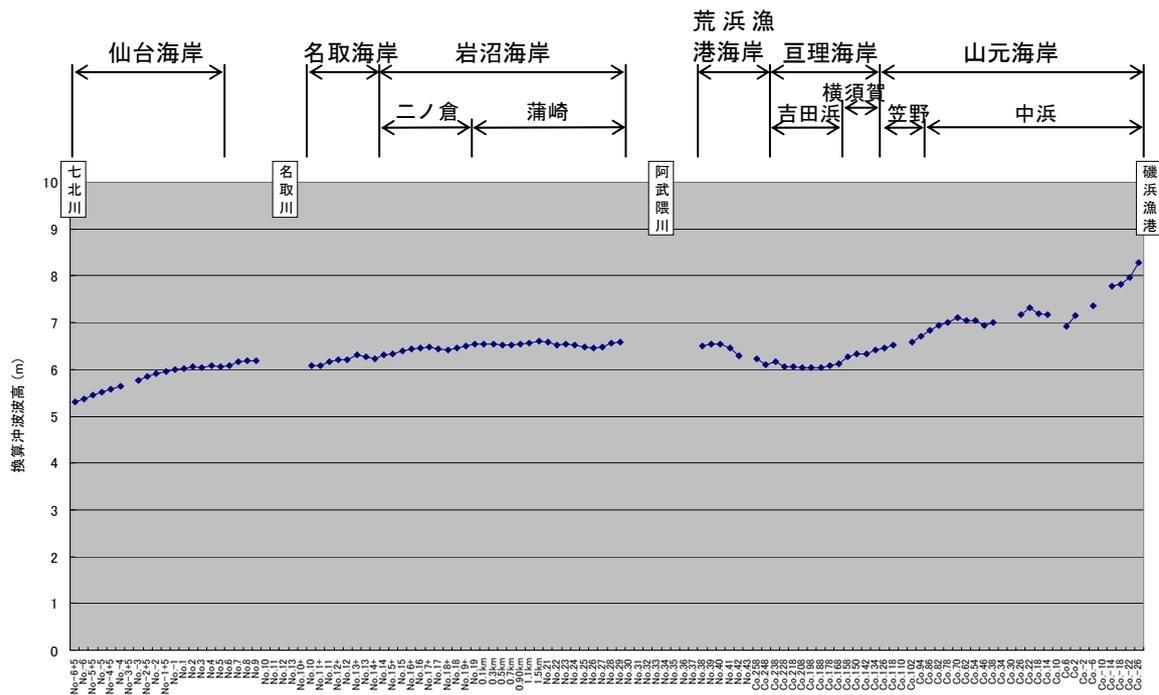


図 3.1.2-2 換算沖波波高

表 3.1.2-1 各測線における換算沖波波高一覧

測線	換算沖波波高 H ₀ '(m)	測線	換算沖波波高 H ₀ '(m)	測線	換算沖波波高 H ₀ '(m)
No-6+5	5.31	No.17	6.44	Co.208	6.04
No.-6	5.36	No.18+5	6.41	Co.198	6.04
No-5+5	5.45	No.18	6.45	Co.188	6.04
No.-5	5.52	No.19+5	6.50	Co.178	6.09
No-4+5	5.58	No.19	6.54	Co.168	6.13
No.-4	5.64	0.1km	6.55	Co.158	6.26
No.-3	5.76	0.3km	6.54	Co.150	6.33
No-2+5	5.84	0.5km	6.53	Co.142	6.33
No.-2	5.91	0.7km	6.53	Co.134	6.42
No-1+5	5.95	0.90km	6.55	Co.126	6.45
No.-1	6.00	1.1km	6.57	Co.118	6.51
No.1	6.02	1.5km	6.60	Co.110	
No.2	6.05	No.21	6.58	Co.102	6.59
No.3	6.03	No.22	6.52	Co.94	6.70
No.4	6.08	No.23	6.54	Co.86	6.83
No.5	6.06	No.24	6.53	Co.82	6.93
No.6	6.09	No.25	6.48	Co.78	7.00
No.7	6.17	No.26	6.46	Co.70	7.10
No.8	6.18	No.27	6.48	Co.62	7.05
No.9	6.18	No.28	6.56	Co.54	7.05
No.10		No.29	6.59	Co.46	6.93
No.11		No.30		Co.38	7.01
No.12		No.31		Co.34	
No.13		No.32		Co.30	
No.10+5		No.33		Co.26	7.16
No.10	6.07	No.34		Co.22	7.32
No.11+5	6.08	No.35		Co.18	7.19
No.11	6.16	No.36		Co.14	7.18
No.12+5	6.21	No.37		Co.10	
No.12	6.21	No.38	6.49	Co.6	6.91
No.13+5	6.31	No.39	6.54	Co.2	7.14
No.13	6.27	No.40	6.54	Co.-2	
No.14+5	6.23	No.41	6.46	Co.-6	7.36
No.14	6.31	No.42	6.28	Co.-10	
No.15+5	6.34	No.43		Co.-14	7.78
No.15	6.39	Co.258	6.22	Co.-18	7.83
No.16+5	6.43	Co.248	6.11	Co.-22	7.97
No.16	6.45	Co.238	6.16	Co.-26	8.28
No.17+5	6.47	Co.228	6.05		
		Co.218	6.06		

※以下の各測線は波の打ち上げ高の算定対象外のため換算沖波波高は空欄

- No.10~No.10+5 → 名取川河口部
- No.30~No.38 → 阿武隈川河口部
- No.43 → 鳥の海導流堤
- Co.34 → 坂元川河口部
- Co.-2 → 小浦河口部
- Co.110,Co.30,Co.10,Co.-10 → ヘッドランド

2.2 土質

堤体材料の選定・諸元に関し「河川土工マニュアル(H21.4)」では、堤体材料として望ましい土の条件として、表 3.1.2-2のとおり示されている。

表 3.1.2-2 堤体材料として好ましい条件

<p>① 粒度分布のよい土</p> <p>これは締固めが十分行われるためにいろいろな粒径が含まれているのがよいためであるが、粗粒分は粒子のかみ合わせにより強度を発揮させるのに効果があり、細粒分は透水係数を小さくするのに必要であるから、これらが適当に配合されていることが堤体材料としては好都合である。</p> <p>② 最大寸法は10～15cm以下</p> <p>施工時のまき出し厚の制限から決まるものであるが、礫径の最大寸法があまりにも大きくなると、締固めの効果が十分に発揮されないことも生ずるので注意が必要である。</p> <p>③ 細粒分(0.075mm以下の粒子)が土質材料(75mm以下の粒子)の15%以上</p> <p>不透水性を確保するための条件で、堤体漏水の多くはこの条件をはずれた材料の堤防にみられることが報告されている。</p> <p>④ シルト分のあまり多くない土</p> <p>降雨による浸食、浸透水によるのり面崩壊は水のある程度通しやすく、含水比の増加によりせん断抵抗の低下する土に起こった例が多いが、そのような状態になるのはシルト分の影響が大きいと考えられる。</p> <p>⑤ 細粒分(0.075mm以下の粒子)のあまり多くない土</p> <p>細粒分が50%以上のものは乾燥時にクラックの入る危険性があるので細粒分が50%以下のものが望ましい。</p> <p>以上のような点から考えると、望ましい材料は、土質分類名で言えば、{GF}、{SF}、{M}、{C}に相当するものと考えられる。</p> <p>「河川土工マニュアル(財)国土技術研究センター H21.4 p.66」より抜粋</p>

盛土材料は下記に示す材料を用いる事とする。

- ①十分な締固めが行えるよう粒度分布が良く、粒径最大寸法が10～15cm以下の土砂
- ②有害な有機物及び水に溶解する成分は含まないこと。
- ③図 3.1.2-3に示す範囲の粒度であること。

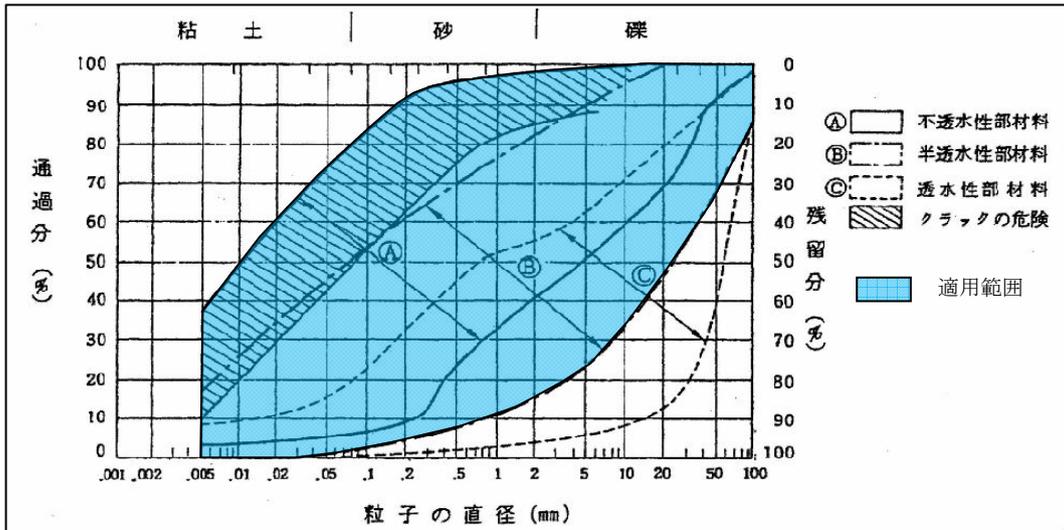


図 3.1.2-3 堤体材料粒度適用範囲

「河川土工マニュアル(財)国土技術研究センター H21.4 p.63」より抜粋

表 3.1.2-3 堤体材料として望ましい材料条件

「河川土工マニュアル(財)国土技術研究センター H21.4 p.64,P.65」より抜粋

簡易分類名	土質名	定義又は説明	工学的分類体系との対応
礫	粗礫 中礫 細礫	ほとんどの粒子が2~75mmの場合 " 20~75mmの場合 " 5~20mmの場合 " 2~5mmの場合 かなりの砂分を含む礫	注1 (G)
	シルト 粘土 有機質土 火山灰	細粒分が5%以上 " 15%未満 " 有機質土 " 火山灰質粘性土	(G-M) (G-C) (G-O) (G-V)
礫質土	シルト 粘土 有機質土 火山灰	細粒分が15%以上 " 50%未満 " 有機質土 " 火山灰質粘性土	(GM) (GO) (GO) (GV)
砂	砂面り砂 粗砂 細砂	砂を含む砂 ほとんどの粒子が74μmから2.0mmの場合 " 0.42mmから2.0mmの場合 " 74μmから0.42mmの場合	注1 (S)
	シルト 粘土 有機質土 火山灰	細粒分が5%以上 " 15%未満 " 有機質土 " 火山灰質粘性土	(S-M) (S-C) (S-O) (S-V)
砂質土	シルト 粘土 有機質土 火山灰	細粒分が15%以上 " 50%未満 " 有機質土 " 火山灰質粘性土	(SM) (SC) (SO) (SV)
シルト	砂質シルト シルト 粘土質シルト	砂分が目立つ " 砂分が目立たない " シルトとシルト質粘土の中間的	注2 (ML) (MH)
	粘性土	砂質粘土 シルト質粘土 粘土	砂分が目立つ " 砂分が目立たない " シルト
有機質土		有機質シルト 有機質シルト粘土 有機質砂質粘土 有機質粘土 黒ぼく、関東ローム(黒色)など	無機成分はシルトを含む、無機成分はシルト質粘土 無機成分は砂質粘土 無機成分は粘土 無機成分に火山灰質粘土
火山灰質粘性土	火山灰質粘性土など各地のローム	火山灰質粘性土でw _L <80 " w _L ≥80	(VH ₁) (VH ₂)
高有機質土	泥炭など 黒泥など	繊維質の高有機質土 分解の進んだ高有機質土	(Pt) (Mk)

土の区分		堤体材料としての評価		対策
名称	記号 (日本統一分類)	評価	留意事項	
粗粒上	礫	(GW),(GP)	○	透水性が非常に大きい。透水性および植生対策が必要になる。
	礫質土	(G-M),(G-C), (G-O),(G-V), (GM),(GC), (GO),(GV)	○	
	砂	(SW),(SP)	○	透水性が大きく、のりくずれが生じやすい。
細粒土	砂質土	(S-M),(S-C), (S-O),(S-V), (SM),(SC), (SO),(SV)	○	
	シルト	(ML),(MH)	○	(場合により対策を必要とする。)
	粘性土	(CL),(CH)	○	水を含んだ場合、機械施工が困難となり、締固めが十分できないことがある。
	火山灰質粘性土	(OV),(VH ₁), (VH ₂)	○	
	有機質土	(OI),(OH)	△	高含水比のものが多く、そのままでは機械施工によって締固めたり整形することが困難である。
	高有機質土	(Pt),(Mk)	×	含水比が高く、締固めが困難である。圧縮変形が大きく、また浸水乾燥などの環境変化に対しても安定性が悪い。

○ 使用可能なもの
△ 必要に応じて対策を施せば、堤体材料として使用できるもの
× 堤体材料として不適当なもの

2.3 海底地形および海浜地形

海底勾配が急であれば、波は岸側で砕波しかつ砕波波高が大きくなるので、大きな波力、越波が生じやすい。また、砂浜海岸であれば、高潮時などに堤防前面で洗掘が生じやすい。このように海底地形および海浜地形に対する考慮も重要である。

仙台湾南部海岸における堤防では本復旧後の状況を想定し、波の打ち上げ高の算定のための“堤防法線・前浜条件”を設定した。なお、本復旧堤防は、天端高 T.P.+7.2m の 2 割堤を想定した。

設定した条件を、表 3.1.2-4、図 3.1.2-4に示す。

●堤防法線

- ・ケース 1, 2, 3, 4-A は震災前と同じ堤防法線とした。
- ・図 3.1.2-4に則り、ケース 4-B, 4-C は、中浜海岸(Co.70～Co.-26)においてケース 4-A の堤防法線をそれぞれ約 21m、約 42m セットバックさせた場合である。

●前浜

- ・ケース 1 は被災直後(平成 23 年 4 月測量成果)とした。
 - ・ケース 2～4-A は堤防法尻高、浜幅、前浜勾配から前浜地形を各々設定した。
 - ・図 3.1.2-4に則り、ケース 4-B, 4-C は、中浜海岸(Co.70～Co.-26)においてケース 4-A の堤防法線をそれぞれ約 21m、約 42m セットバックさせた場合である。
- 計画天端高となる T.P.+7.2m の検討ケースは、次のとおりである。

深沼北工区	ケース4-A
深沼南工区	〃
閑上北釜工区	〃
二の倉工区	〃
蒲崎工区	〃
笠野工区	〃
中浜工区	ケース4-B

表 3.1.2-4 堤防法線・前浜条件一覧

ケース	堤防法線	前浜	適用工区
1	震災前と同じ	震災直後(H23.4 測量成果)	
2	〃	堤防法尻高 T. P. ±0.0m から 1/10 勾配 (T. P. ±0.0m の砂浜幅は 0m)	
3	〃	堤防法尻高 T. P. +0.7m (H. W. L.) から T. P. ±0.0m の砂幅 30m (T. P. ±0.0m 以深は 1/10 勾配)	
4-A	〃	堤防法尻高 T. P. +3.0m から 1/10 勾配 (T. P. ±0.0m の砂浜幅は 30m)	深沼北工区・深沼南工区・ 閑上北釜工区・二の倉工 区・蒲崎工区・笠野工区
4-B		“ケース 4-A” を約 21m 陸側へ後退(セットバック)	中浜工区
4-C		“ケース 4-A” を約 42m 陸側へ後退(セットバック)	

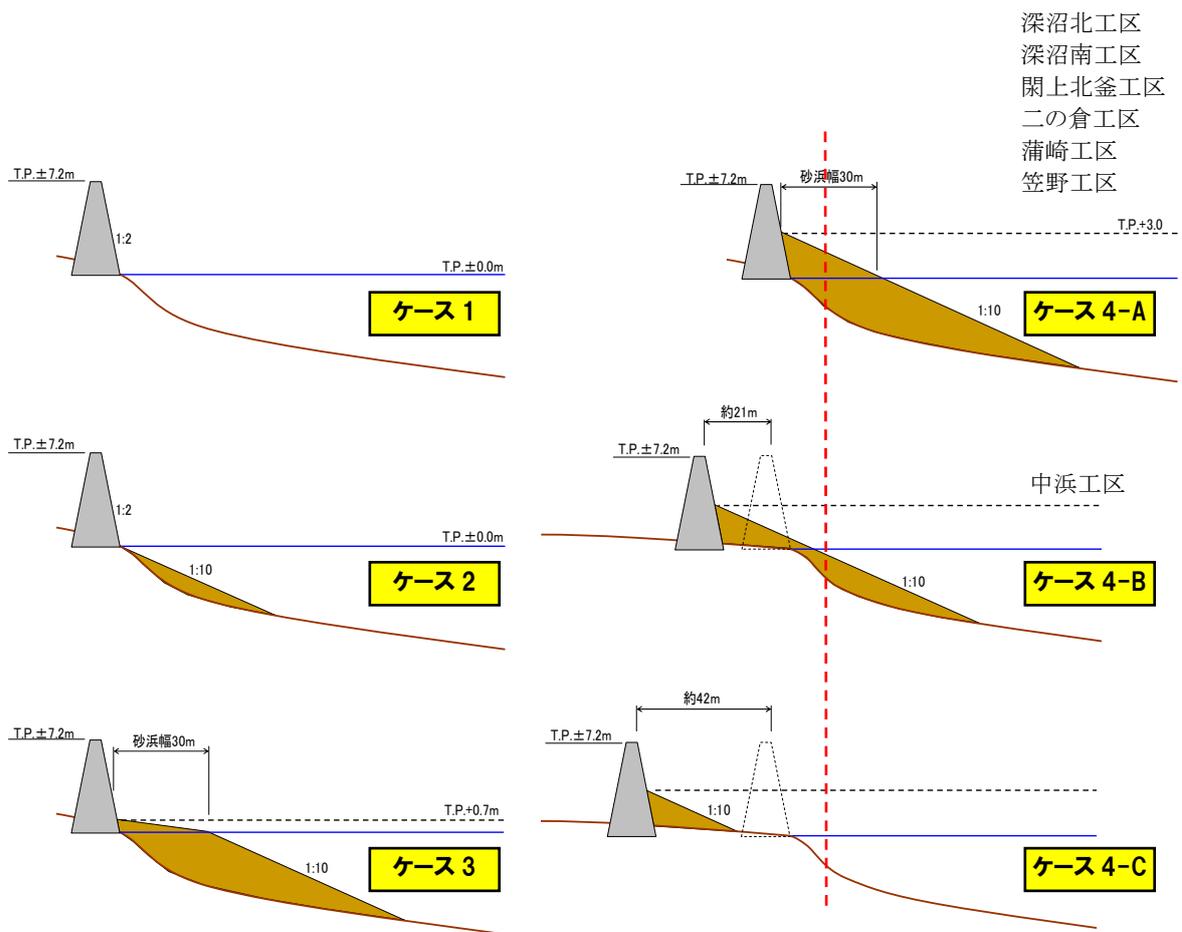


図 3.1.2-4 堤防法線・前浜条件

2.4 地震力

堤体の安定性などについては、必要に応じて地震力も考慮して検討する。

計画堤防の基礎地盤は、沖積砂質土層が連続しており液状化による堤体沈下が懸念される。

「H23.12.15 海岸堤防等の粘り強い構造及び耐震対策について(以下:公文書)」より“海岸堤防の防護対象となる規模の地震により、津波到達前に機能を損なわないよう耐震対策を実施する必要がある”とあることから、仙台湾南部海岸における堤防については、液状化に伴う沈下量を予測し、堤体が海岸堤防の防護対象となる津波高(明治三陸地震)に対して、耐震性能を満足するかどうか照査を実施する。

仙台湾南部海岸堤防では、結果的に耐震対策は行わなくても必要な耐震性能はありと判断できる。

耐震性能照査の検討過程と検討概要を次に示す。

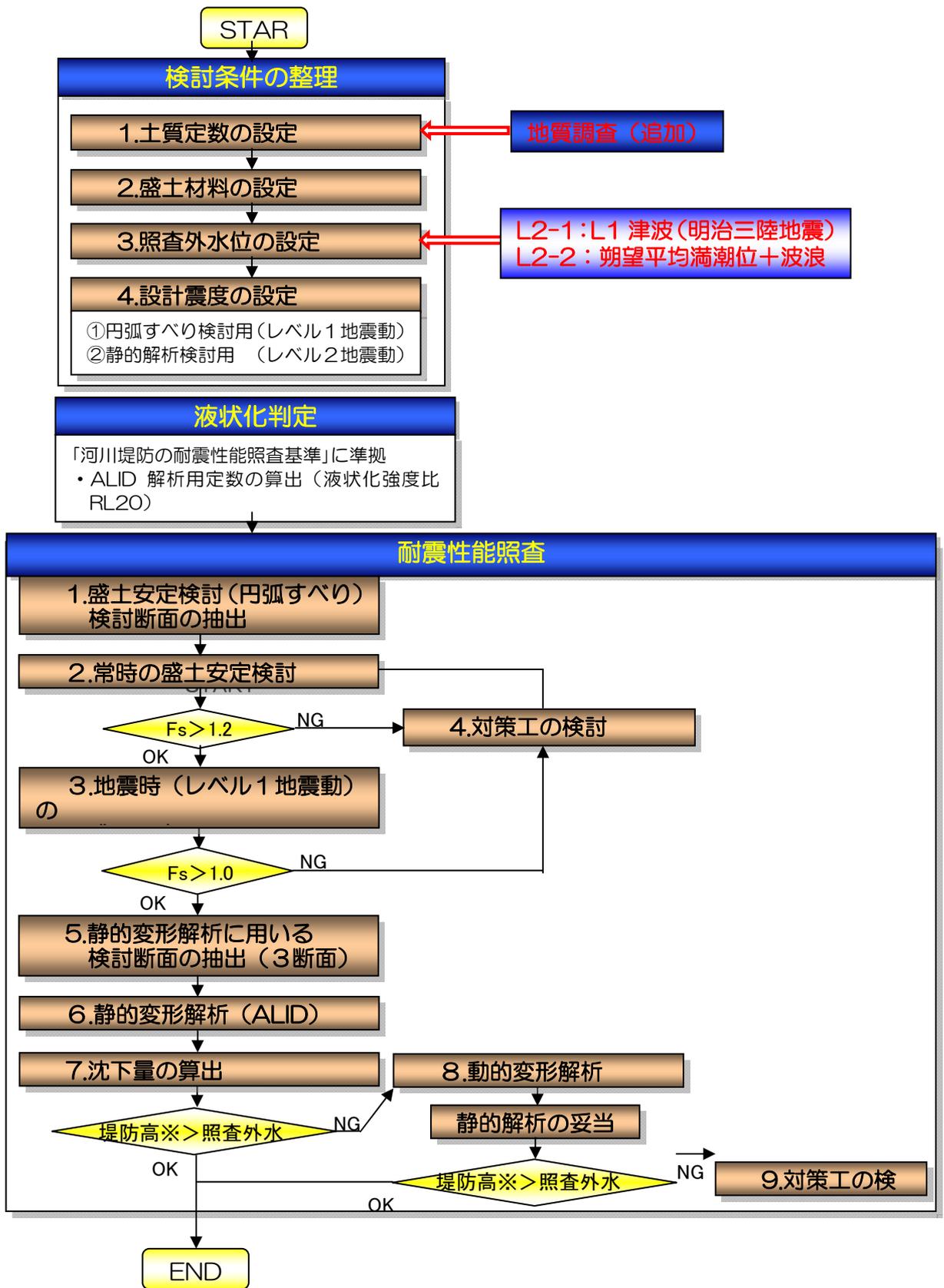


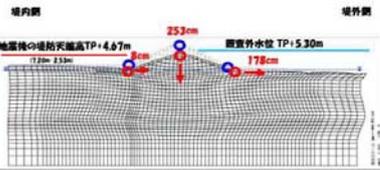
図 3.1.2-5 震性能照査 検討フロー

耐震照査結果について

平成23～平成24年度にかけて実施した海岸堤防設計業務において耐震照査を検討した結果の概要は下記のとおりであり、蒲崎工区のみ動的解析を実施し問題ないことを確認している。

検討工区	円弧すべり検討(Kh法)				静的自重解析(ALID)				備考	
	L1		判定	検討断面数	L2 (沈下量: m)		判定	検討断面数		
	常時>1.2	地震時>1.0			L2-1	L2-2				
深沼北工区	1.42~1.55	1.04~1.13	○	4	0.24~1.31	○	0.16~1.36	○	3	
深沼南工区	1.46~1.96	1.02~1.40	○	4	0.43~1.74	○	0.50~1.93	○	4	
関上北釜工区	1.53~2.37	1.09~1.50	○	3	0.32~0.70	○	0.42~0.91	○	3	
二の倉工区	1.53~2.37	1.07~1.16	○	6	0.9	○	0.7	○	1	
蒲崎工区	1.30~1.48	1.04~1.10	○	7	0.54~2.53	×	0.45~2.47	○	3	
笠野工区	1.47~1.51	1.09~1.23	○	3	0.99	○	1.21	○	1	
中浜工区	1.47~1.55	1.00~1.04	○	7	1.00~1.21	○	1.27~1.54	○	3	
設計条件	常時・上載荷重 = 10kN/m ² ・設定水位 TP+1.50(計画満潮位) 地震時・上載荷重 = p0/m ² ・設定水位 TP+0.71(任意平均満潮位) ・水平震度 U=0.2 ・運動時間 60s 考慮しない				レベル2-1地震動≧L1津波最大波高(明治三陸地震) レベル2-2地震動≧14日/10確率波浪 変形後天端高≧照査外水位					

静的変形解析(ALID)結果



検討工区	動的変形解析(FLIP)				備考
	L2 (沈下量: m)		判定	検討断面数	
	L2-1	L2-2			
蒲崎工区	1.02~1.02	-	○	1	

解析一般条件	
FLIPバージョン	7.1.9
構成則	tmp7
非線形反復計算法	改良型
捨石の力学モデル	新定数
Sus法	考慮しない
Rayleigh減衰	地震の1次固有振動モードに対して、小さな減衰定数を与えるように設定
時間増分/ステップ数	0.01s/10000(step)
境界条件(自重解析)	底面: 固定、側面: 鉛直ローラー
境界条件(動的解析)	底面: 粘性境界、側面: 粘性境界
最大加速度	154gal (E-W)

法尻地盤高及び照査外水位根拠

既直轄区間における堤防天端以外の堤防法尻の変位量及び地区別の照査外水位は次のとおり。

本内容は平成24年5月31日国総研に説明を行っており、特段の指摘がないことから完了と認識。

※L2-1はユニット単位のL1津波高、L2-2は工区別の期望平均満潮位+1/10波浪高で判定

対象工区	対象断面	堤防高	法尻(陸側)	天端中央堤防	法尻(海側)	沈下後堤防高	照査外水位	判定
			L2-1					
蒲崎工区	NO.13	TP+7.20m	[-0.71m]	[-1.02m]	[-0.55m]	[TP+6.18m]	>	○
	NO.40		[-0.21m]	[-0.54m]	[-0.31m]	[TP+6.66m]	>	○
	NO.61		[NO.13断面で代表した検討を行った]			[TP+6.18m]	>	○
笠野工区	NO.2	TP+7.20m	-0.27m	-0.99m	+0.06m	TP+6.21m	>	○
中浜工区	NO.4		+0.04m	-1.22m	+0.01m	TP+5.98m	>	○
	NO.19		-0.19m	-0.71m	-0.21m	TP+6.49m	>	○
	NO.72		-0.13m	-1.24m	+0.11m	TP+5.96m	>	○

※蒲崎工区の[]表示箇所は、動的解析(FLIP)による解析結果であり、NO.13断面で代表して実施(NO.61はNO.13と類似する断面形状)

対象工区	対象断面	堤防高	法尻(陸側)	天端中央堤防	法尻(海側)	沈下後堤防高	照査外水位	判定
			L2-2					
蒲崎工区	NO.13	TP+7.20m	-1.06m	-2.47m	-1.20m	TP+4.73m	>	○
	NO.40		-0.19m	-0.45m	-0.30m	TP+6.75m	>	○
	NO.61		-0.66m	-1.52m	-0.85m	TP+5.68m	>	○
笠野工区	NO.2	TP+7.20m	-0.30m	-1.21m	+0.09m	TP+5.99m	>	○
中浜工区	NO.4		+0.28m	-1.58m	+0.24m	TP+5.62m	>	○
	NO.19		-0.19m	-0.82m	-0.20m	TP+6.38m	>	○
	NO.72		+0.01m	-1.48m	+0.35m	TP+5.72m	>	○

図 3.1.2-6 耐震性能照査検討概要

2.5 背後地の重要度

堤防は被災限界内の範囲で越波を許してよいが、その越波量は背後地の重要度によって異なる。堤防の背後地に人口、資産の集中するような重要度の高い場合には、小さな越波量をとるのが望ましい。

仙台湾南部海岸では、東北地方太平洋沖地震被害により海岸沿線は壊滅的な状況となっていることや沿線自治体の災害危険区域設定状況を鑑み、箇所別に計画越波量の差異などは設定していない。

2.6 施工条件

海上工事となる場合は、種々の施工上の制約を受ける。すなわち、波浪、潮汐、潮流の影響を強く受け、作業時間が制限され、また、施工による海水の濁りの問題が生じる。このように施工条件に対する考慮も重要である。

2.7 その他

海浜の利用状況、将来の利用計画および周辺の環境、文化財や自然公園の指定状況などを十分考慮して設計を行う必要がある。

第3節 堤体の位置・線形

堤防は、その性格上、規模や延長が大きくなるため、構造物の存在が地区の景観に圧迫感や周辺環境の中での違和感を与える要因となり得る。そのため、防護機能を十分確保した上で、地区が有する地形特性や自然生態系、被災による侵食や地盤沈下等の地形変化、背後の土地利用やまちづくり計画等との調整を前提として、周辺環境に馴染んだ位置・線形を設定することが望ましい。

具体的には、迅速測図等の過去の地図や航空写真、既往の海岸調査等※1により地区の地形や自然環境基盤を読み取り、自然地形※2(山付き部、砂浜、砂丘等)を考慮して、視覚的景観、生態系、サステナビリティ等に配慮した堤防位置・線形を設定する。

また、養浜等による砂浜の確保は防護および海岸環境の保全と復元の観点から重要であるため、将来の海岸保全のあり方も踏まえた検討を十分行う必要がある。

今般の大震災からの施設復旧は、災害復旧事業により実施されることが想定され、原位置復旧が基本となるが、その場合においても、視覚的景観の向上、生態系への影響の極小化、サステナビリティの確保等に資する位置・線形を可能な限り設定することが肝要である。

※1 既往の海岸調査等の例

海域自然環境保全基礎調査、重要沿岸域生物調査、浅海域生態系調査等

※2 自然地形

今般の大震災により、地盤沈下や侵食が生じている場合があるが、長期的には地盤高の回復、漂砂による侵食箇所への再堆積が生じることも想定される。そのため、過去からの地形の変遷、被災による変化、現時点で想定可能な被災後の変化、今後の海岸保全計画等を勘案し、長期的な視点から、今後形成される自然地形を想定する。

- ・ 堤防の位置・線形は、地形(背後の土地の成り立ち、砂浜や汀線の形状等)を読み取り、周辺環境の中で違和感の少ない形状とすることが望ましい。
- ・ リアス式海岸のような山付きの地形を活用できる場所では、それを積極的に活用するものとし、海岸堤防端部を山付き部に当て湾曲した地形に呼応し、視覚的に馴染んだ位置・線形(周辺景観と調和して海岸堤防が目立たない「地」の景観とする)で整備することが望ましい。
- ・ 波浪や風等の外力と砂の移動により形成された地形及びそれに応じた植生群からなる海岸特有の生態系が保全されている場所等では、地形に応じたエコトーンの保全・復元に配慮した堤防位置の設定とすることが望ましい。そのため、既存資料から得られる地形や植生群等の情報から、前浜、砂丘等の海岸地形を判断し、堤防の設置による生態系への影響を予測する。その上で、エコトーンの保全・復元あるいは影響の極小化に配慮した設

定を検討する。背後に砂丘や海岸林が存在する場合は、堤防の見えの軽減の観点からも、砂丘や海岸林内への堤防の設置を検討する。

- 堤防の線形の急激な変化は、構造体の防護上の弱点となるため、緩やかな曲線を描く線形とすることに留意する必要がある。堤防法線が曲線となる区間の設計、施工に当たっては、極力滑らかな曲線に見えるよう工夫する。
- 構造の異なる施設との接合部においては、接合部が防護上の弱点となったり、景観的な不整合が生じたりしないよう十分に調整、配慮を行う。堤防の位置・線形の前提となる計画防護線は、海岸の災害から国民の生命、財産を守るために最低限必要とされる国土の海側の境界線として定めるものであり、設定にあたっては、背後の土地利用やまちづくり計画、短期的、長期的に要するコスト(被災前の地形の復元や砂浜の形成・維持、海岸保全に要するコスト等)等の視点も踏まえ、総合的に判断する必要がある。
- 既存の水門等の構造物が残存している場合には、それらの活用を踏まえて位置・線形を設定する。
- 既存の堤防や消波ブロック等の構造物が残存している場合には、残存施設を仮設構造物として活用することで施工コストを低減し、構造物と一体となって景観形成・処理が可能となること等から、それらの活用を踏まえて位置を設定する等の工夫が望まれる。
- 仙台湾南部海岸においては、IP 法により起点(BP)、折れ点(IP)、終点(EP)から構成する線形を設定し、曲線は含まない線形においてそれぞれの点(座標)を結ぶ直線によって堤防位置・線形を設定する。なお、学識者からの助言により景観への配慮から、堤防法線のIP角度はそれぞれ4°以下となるよう設定する。

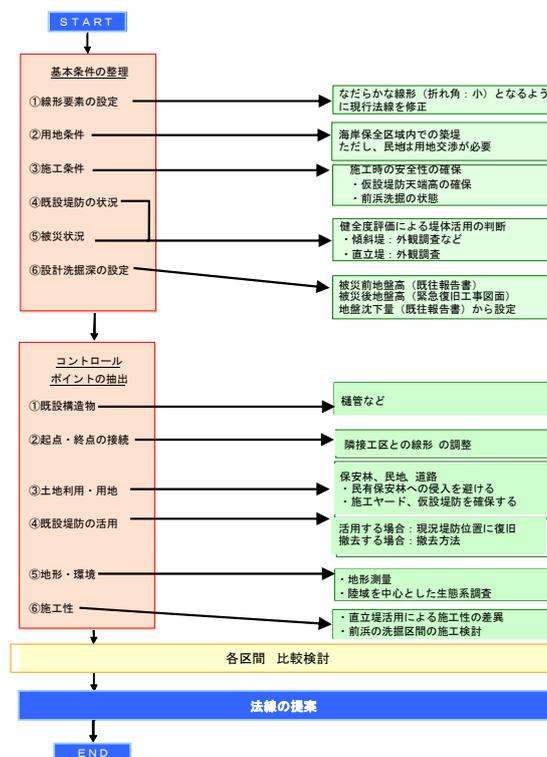


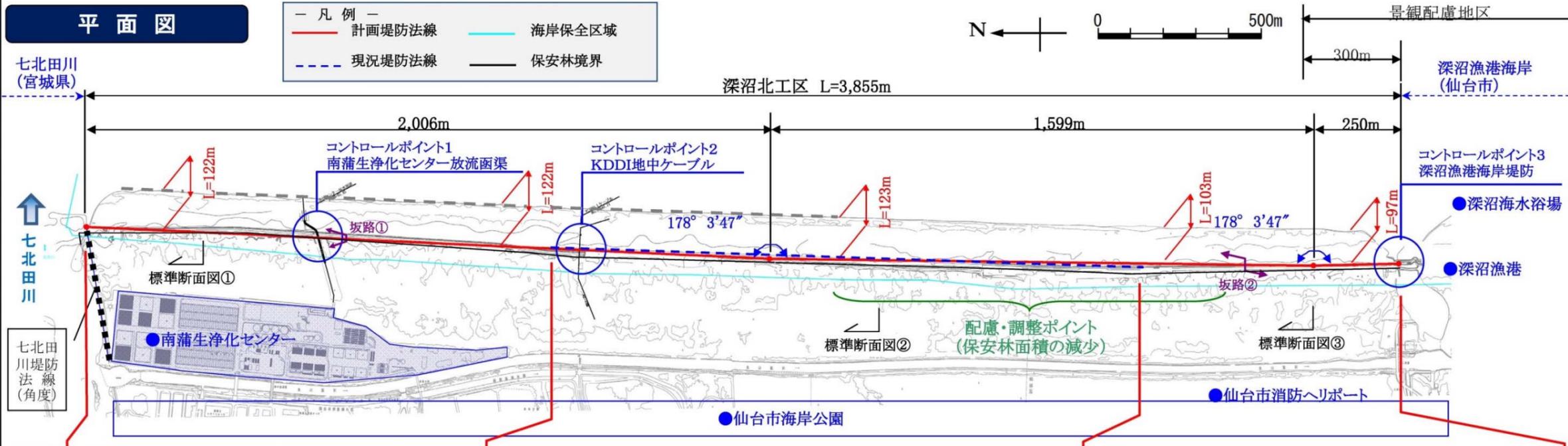
図 3.1.3-1 法線の検討フロー及び仙台湾南部海岸における法線設定

仙台湾南部海岸における法線設定の概要を、次頁以降に示す。

- ・仙台湾南部海岸 深沼北工区 (添付資料-1)
- ・仙台湾南部海岸 深沼南工区① (添付資料-2)
- ・仙台湾南部海岸 深沼南工区② (添付資料-3)
- ・仙台湾南部海岸 深沼南工区③ (添付資料-4)
- ・仙台湾南部海岸 深沼南工区④ (添付資料-5)
- ・仙台湾南部海岸 閑上・北釜工区 (添付資料-6)
- ・仙台湾南部海岸 二の倉工区 (添付資料-7)
- ・仙台湾南部海岸 蒲崎工区 (添付資料-8)
- ・仙台湾南部海岸 笠野工区 (添付資料-9)
- ・仙台湾南部海岸 中浜工区 (添付資料-10)

仙台湾南部海岸 『深沼北工区』 海岸堤防法線資料

法線設定の概要 本工区の計画堤防法線は現況堤防法線を基本とし、築堤に伴う工区内構造物への影響及び深沼漁港海岸堤防とのスムーズな接続を図る法線とした。



法線設定

【法線設定区間①】

- ◆法線検討タイプ：既設海岸堤防無し
- ◆法線設定方針：海浜幅の保持（現況汀線と平行）
- ◆コントロール：南蒲生浄化センター放流函渠への影響
- ◆堤防被災状況：（緊急復旧堤防有り）
- ◆その他：海岸堤防としての法線を確定した後、七北田川右岸堤防との接続構造を調整

【法線設定区間②】

- ◆法線検討タイプ：既設海岸堤防有り
- ◆法線設定方針：既設海岸堤防法線の踏襲
- ◆コントロール：KDDI地中ケーブルへの影響（堤防設置を考慮し予め防護済み）
- ◆配慮調整：保安林面積の減少
- ◆堤防被災状況：一部を除き既設海岸堤防は崩壊（緊急復旧堤防あり）

【法線設定区間③】

- ◆法線検討タイプ：既設海岸堤防無し
- ◆法線設定方針：深沼漁港海岸堤防との接続を優先（深沼漁港海岸堤防は現況堤防を利用した堤防復旧計画）
- ◆コントロール：深沼漁港海岸の現況堤防法線
- ◆配慮調整：保安林面積の減少
- ◆堤防被災状況：（緊急復旧堤防あり）

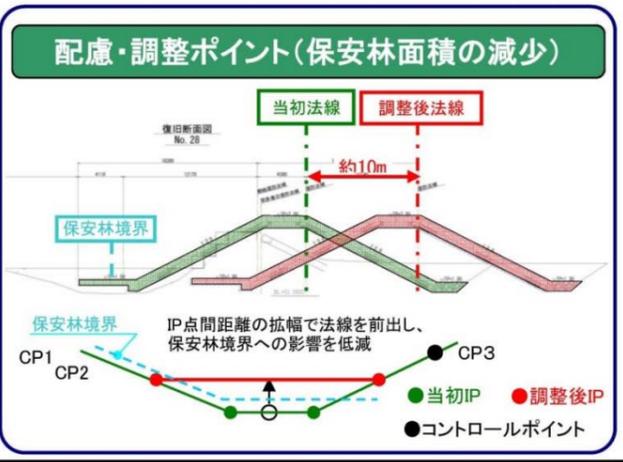
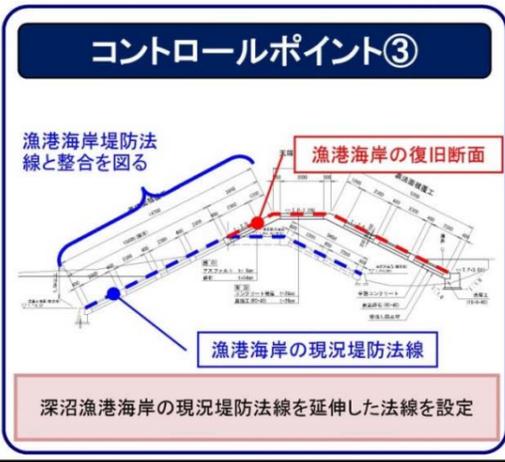
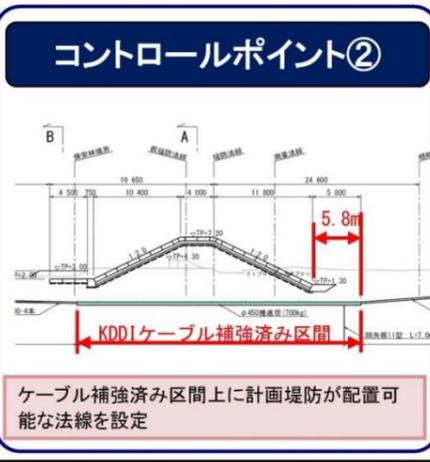
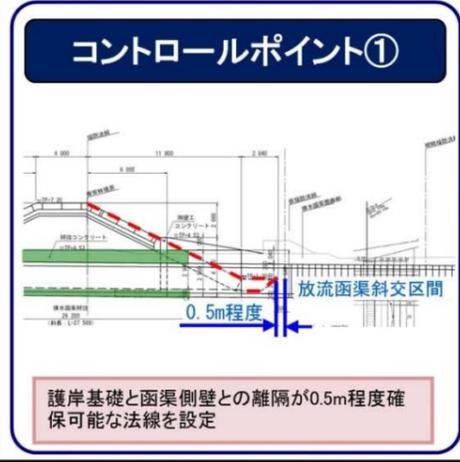
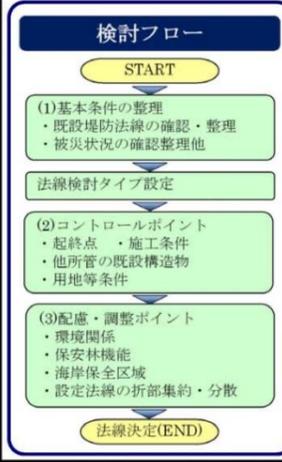


図 3.1.3-2 海岸堤防法線設定概要(深沼北工区)

仙台湾南部海岸 『深沼南工区』 海岸堤防法線資料

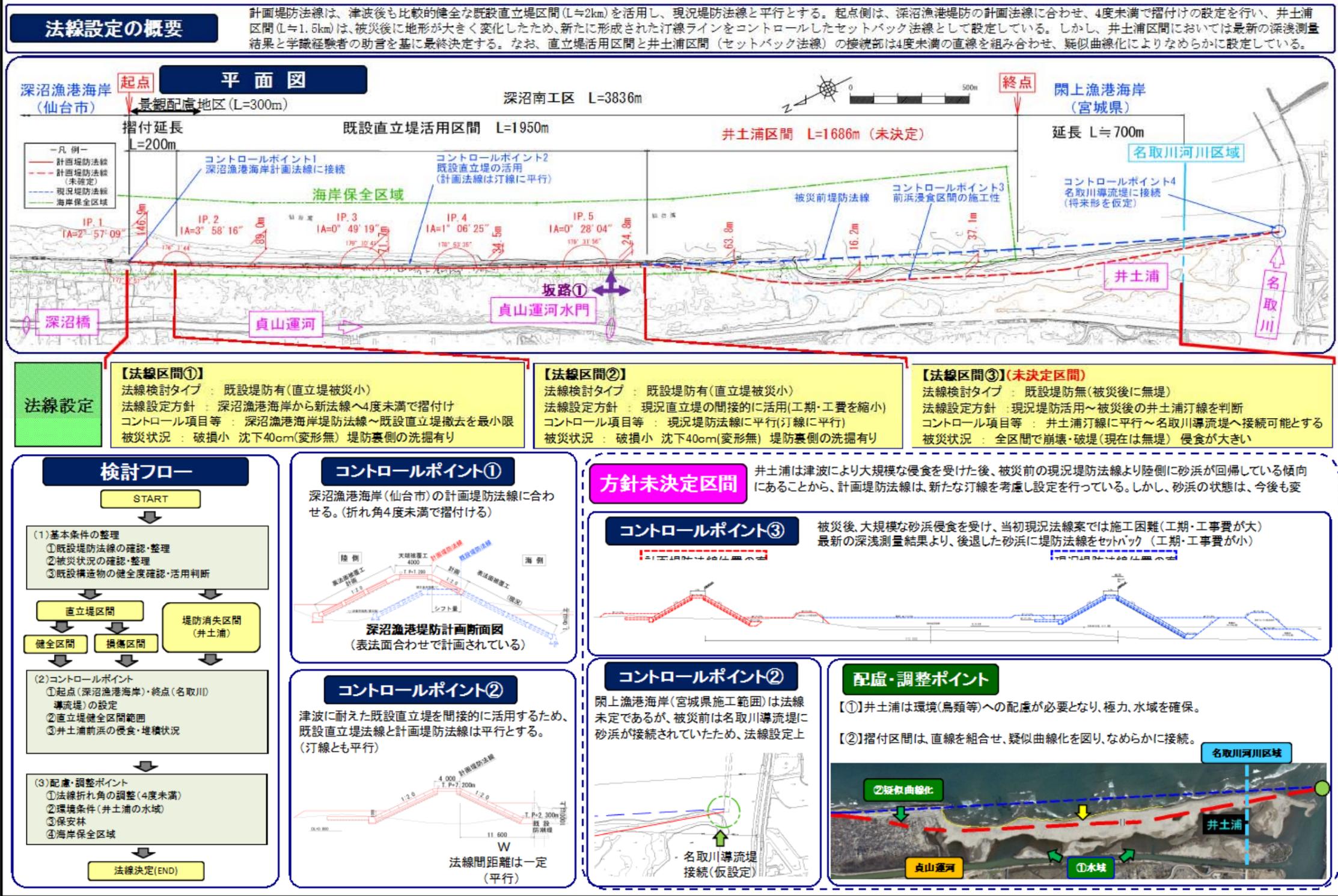
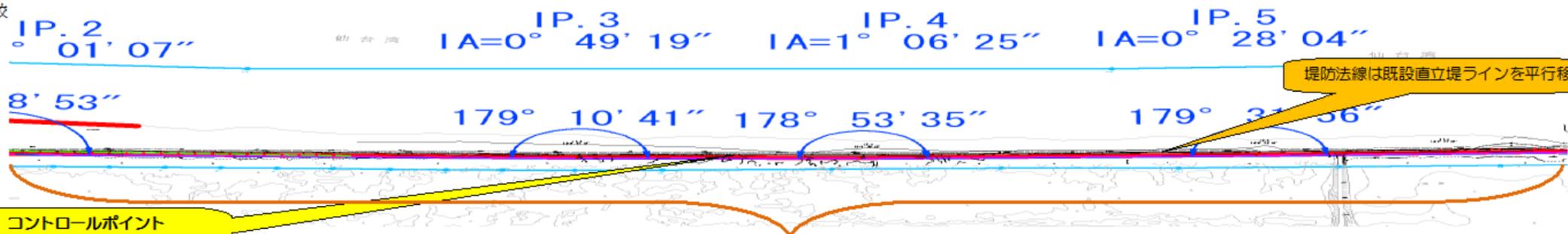


図 3.1.3-3 海岸堤防法線設定概要(深沼南工区①)

深沼南工区 直立堤区間法線検討資料

直立堤区間の比較



深沼海岸南地区海岸堤防断面位置比較表(北側案)

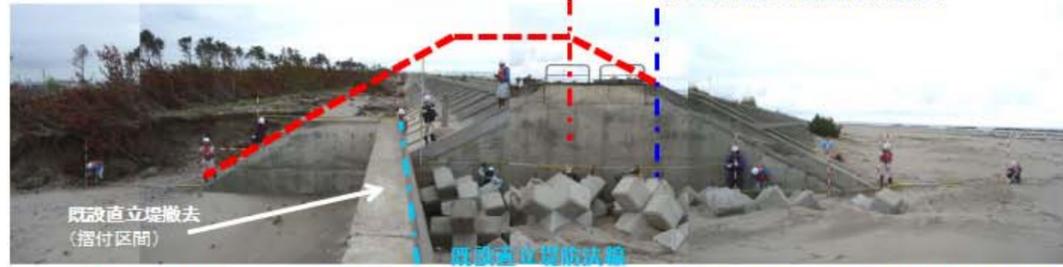
	第1案 現況防潮堤法線合せ(概略設計)	第2案 直立堤活用+セットバック最小案	第3案 直立堤部分活用+セットバック最大案
断面図			
	保安林影響範囲 L=24.4m	保安林影響範囲 L=33.7m 第1案+9.3m	保安林影響範囲 L=38.5m 第1案+14.1m
主旨	復旧位置は現況法線重視とし、既設3t六脚ブロック撤去、既設直立堤の上半分を撤去。	大津波に耐えた既設直立堤と根固工をそのまま活用した案。最も経済的で施工日数が早い案となる。	既設直立堤は部分撤去し基礎工として活用、一連の2割傾斜面とした案。
概要	概略設計を踏襲し現況法線合わせとした案。既設六脚ブロック(3t)は全撤去。直立堤の上半分を撤去。	既設直立堤及び六脚ブロック(3t)を活用するため、直立堤側に上載荷重の影響が無い法線位置とし、根入れを最小限に抑えた案。(防潮堤底版から主動崩壊角φ52.5度で設定)・・・45度～60度の平均	既設直立堤及び六脚ブロック(3t)を利用するため、堤防断面を陸側にセットバックした案。2割傾斜面を連続させるため、既設直立堤を撤去し、根入れとセットバック量が最も大きくなる。
既設～新設法線間距離	0.0m	9.6m	14.2m
平面線形	・既設法線と同位置のため法線の仕上がりは良い。○ ・しかし、被災前の前浜幅が確保できない。×	△ ・起点側の法線と合わないため、摺付区間に対応。△ ・平面線形は第1案より劣るが、現況前浜幅が確保できる。◎	○ ・起点側の法線と合わないため、摺付区間に対応。× ・平面線形は第1案より劣るが、現況前浜幅が確保できる。◎
保安林範囲	・海側法線を出しているため保安林面積が確保(広い)出来る。◎	◎ ・堤防法線は第1案より陸側のため第1案より劣る。ただし、第3案よりは優れる。	○ ・堤防法線は3案中最も陸側のため保安林範囲が狭くなる。△
施工性	・直立堤(地上部)及び六脚ブロック撤去が必要。(建設副産物が大)	・既存をそのまま残すため、撤去工は発生しない。	・根固工は撤去しないが、既存直立堤は撤去する。
施工工期	・撤去工+仮設工が多く、施工能率が悪い。 ・200mで根固工撤去2.7ヵ月、直立堤撤去が4ヵ月、仮設工2ヵ月。	× ・撤去工が発生しないため最も優れる。(建設副産物が無し)最も施工期間の短縮が考えられる。(スピーディー)	◎ ・最後に既設直立堤の撤去工が発生する。 ・200mで直立堤撤去が4ヵ月、仮設工2ヵ月。
仮設工	・海側の工事用道路、消波堤設置が必要。	△ ・海側の工事用道路、消波堤設置が基本的に不要。	◎ ・既設直立堤を最後に撤去する際、海側に工事用道路を設ける必要があり、仮消波工も必要になる。(切断や掘削工法の検討が必要)
安全性	・砂浜より上が一連構造の2割傾斜となるため、特になし	○ ・直立堤で打ち上げ波高も低くでき、波圧・波力に対し最も強い。	◎ ・砂浜より上が一連構造の2割傾斜となるため、特になし
問題点	・保安林解除【影響小】、第2案に比べ施工日数が約8.7ヵ月長い	▲ ・保安林解除【影響中】、他には特になし	○ ・保安林解除【影響大】、第2案に比べ施工日数が約6ヵ月長い
総合評価	▲ ・保安林解除面積が最も少ないが、既設六脚ブロック(3t)・直立堤撤去が発生し最も施工性に劣る。法線の通りは良いが、前浜の幅が減少し、施工工期が長期、異物の残置に不安が残る。(異物の全撤去は困難)	◎ ・海側は施工しないため、容易に築堤(土工)工事が出来る。そのため施工性に優れ、施工工期短縮が図れ、施工時の安全性も高い。現況前浜幅が確保でき、摺付を滑らかにすれば線形は問題無い。構造の安全性も一番高く、施工性も経済性も最も優れる案である。	▲ ・直立堤の上部を撤去するため、根入れも深くなり、セットバック量も多くなり、法線や保安林解除幅が最も大きく劣る案となる。根入れが深いため、掘削工事の規模も大きく、不安定度が増す。最後に直立堤を撤去するため、海側にも工事用道路が必要となり、そのために、消波工も必要となってしまう。

図 3.1.3-4 海岸堤防法線設定概要(深沼南工区②)

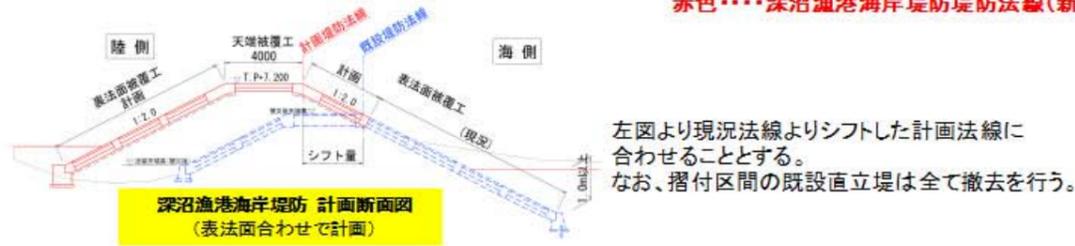
仙台湾南部海岸 『深沼南工区』 コントロール詳細説明資料

コントロールポイント①

……起点側は深沼漁港海岸堤防計画法線に合わせる。



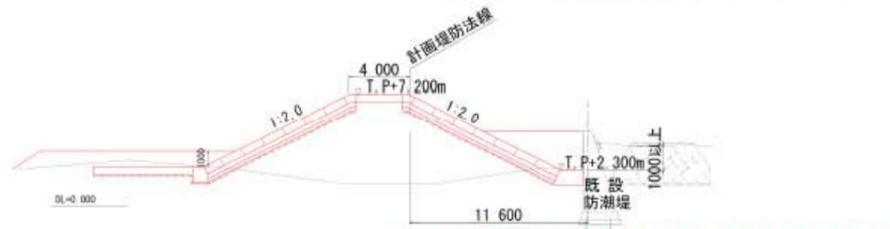
深沼漁港海岸堤防法線(新) 深沼漁港海岸堤防法線(現況)
 既設直立堤撤去(掘削区間)
 現況状況写真 ※水色線……既設直立堤防法線 青線……深沼漁港海岸堤防法線(現況) 赤色……深沼漁港海岸堤防法線(新)



左図より現況法線よりシフトした計画法線に合わせることをする。
 なお、掘削区間の既設直立堤は全て撤去を行う。

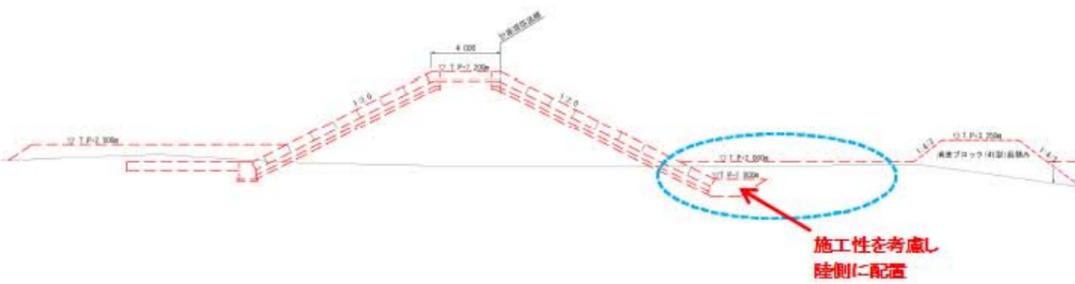
コントロールポイント②

……海岸保全区域内の配置及び築堤完了後を考慮し既設直立堤法線と同じ方向(平行)とする。…汀線と現況堤防法線に平行。津波に耐えた既設直立堤を有効活用すべく、間接的活用とする。



コントロールポイント③

……被災後の井土浦汀線(現状)に平行な法線として設定。
 →工事用道路等の施工ヤードを確保し、消波ブロック設置を最小限。



①景観区間 L=300m

……設計区間始点より300mは景観配慮地区で、構造配慮が必要。



②井土浦自然環境

……設計区間終点側は井土浦であり、鳥類への配慮が必要。



③被災後の汀線変化

……井土浦区間の砂浜は津波で消失後、以前とは異なる形状で砂浜が回復しつつあり、今後はモニタリングが必要。



図 3.1.3-5 海岸堤防法線設定概要(深沼南工区③)

深沼南工区 海岸堤防断面位置比較表（井土浦）

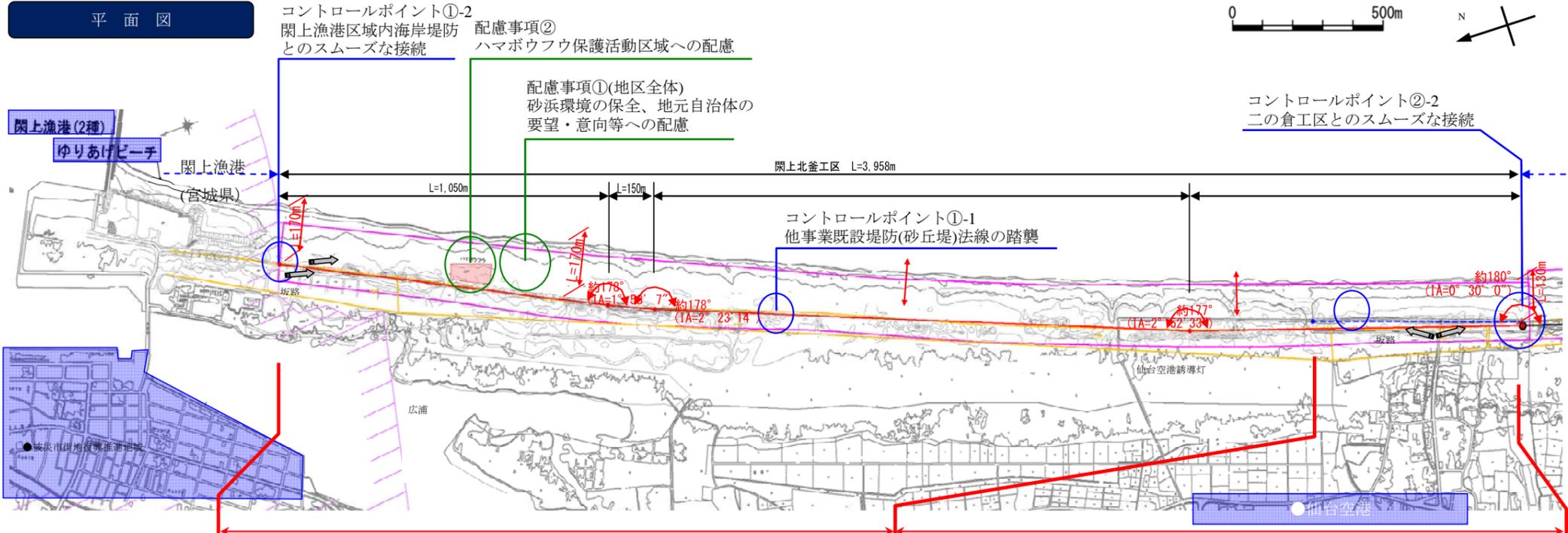
深沼海岸南地区海岸堤防断面位置比較表(井土浦)

	第 1 案 陸側引堤案(現況汀線より陸側)	第 2 案 海側案(現況汀線より海側)	備 考
断面図			
選定概要	直立堤区間No.30から法線を陸側に変更し、井土浦区間の計画位置は砂浜上に堤防を築堤する案。 (計画法線位置は現在の汀線よりも陸側)	直立堤区間から4度以内で法線を設定し、且つ海岸保全区域内に堤体全てを配置する案。 (計画法線位置は現在の汀線よりも海側)	
平面線形	・IA=4度以内、ただし海側凸の折角がある。(No.30とNo.43付近)	・IA=4度以内、海側凸の折角はない。	◎
海岸保全区域	・陸側の法線であるため、No.42から海岸保全区域から出てしまう。	・海側の法線のため、海岸保全区域内に配置可能。	◎
施工性	・堤防本体は陸地に位置するため、第2案に比べ優れる。	・法線は汀線より海側のため、消波工の設置は台船等を使用することとなる。 ・設置後は汀線部分の盛土を施工しないと築堤が出来ない。第1案より盛土量が大である。	△
施工工期	・堤防本体は陸上のため容易に土工・護岸工施工が可能である。また消波堤施工も通常のクレーンにより設置可能。第1案より施工期間短縮が考えられる。	・消波堤設置は台船による施工が考えられ、第2案より施工能率が落ちる。 施工期間も第1案に比べ長期である。	
仮設工	・ほぼ陸上の施工であるため、第2案よりも小規模な仮設となる。	・海中に位置するため、第1案に比べ消波ブロック数が多い。 また、基礎捨石量も多い。	△
問題点	・海岸保全区域外と海凸折れが了承されれば問題はない。 ・他工区との統一性が無くなるため問題である。	・各条件(海岸保全区域及び海凸折れなし)はクリアしているが、台船を使用してまで消波工を設置する必要があるか問題である。	
概算工事費	10億2900万円(直接工事費)【延長L=883m】(No.57～No.74+25.0m)	23億7700万円(直接工事費)【延長L=875m】(No.57～No.74+25.0m)	概算工事費別 頁参照
総合評価	・保安林及び井土浦への影響は第1案に比べ不利であるが、堤防本体が陸上のため施工性に優れ工期短縮が図れる。 また仮設面も第1案より大掛かりにならないため、当案を採用としたい。	・平面線形及び保安林・井土浦への影響は最小限で有利であるが、堤防本体が水中部に位置するため第1案より施工能率が落ち、施工期間が長期となる。 仮設も第1案より大掛かりになると考えられ不採用とする。	

図 3.1.3-6 海岸堤防法線設定概要(深沼南工区④)

仙台湾南部海岸『閑上・北釜工区』海岸堤防法線資料

法線設定の概要 本地区における法線設定は、他事業既設堤防（砂丘堤）法線をほぼ踏襲するとともに、隣接する閑上漁港区域内海岸堤防およびこの倉工区計画海岸堤防とのスムーズな接続を図った法線とした。なお、「仙台湾沿岸 海岸保全基本計画（H16.10）」（以下、「基本計画」という）において、閑上北釜工区の砂浜部分は「仙台湾海浜 県自然環境保全地域」に指定されていることから、砂浜部分の内陸側に法線を設定することが望ましいと考える。



法線設定	<p>【法線設定区間①】 法線検討タイプ：既設海岸堤防無し(未整備) 法線設定方針：他事業既設堤防(砂丘堤)法線踏襲 コントロール等：1) 他事業既設堤防(砂丘堤)法線の踏襲、 2) 閑上漁港区域内海岸堤防とのスムーズな接続 被災状況：災害発生当時の当該区間は、海岸堤防が未整備の状態</p>
-------------	--

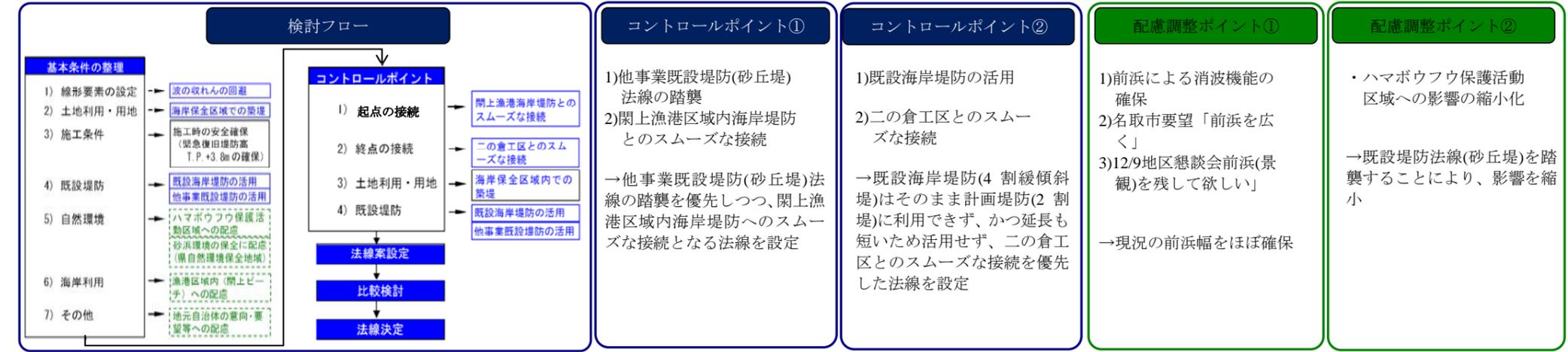
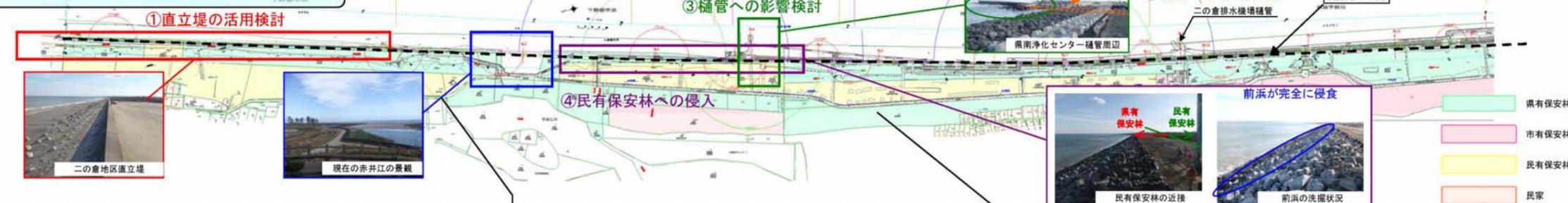


図 3.1.3-7 海岸堤防法線設定概要(閑上・北釜工区)

仙台湾南部海岸「二の倉工区」海岸堤防法線資料

4.4 法線計画 (本編 5.3)

方向性：現行法線を踏襲した法線とする



区間① 直立堤部：直立堤の活用を考慮

直立堤の活用・活用可能

法線案
①海側シフト
②現行法線修正
③陸側シフト

比較検討
・法線のなだらかさ
・保安林への侵入
・施工時の安全性、施工性

法線のなだらかさ、施工性・安全性の高い③陸側シフト

区間② 無堤部～傾斜堤部：樋管への影響、私有保安林を考慮

樋管への影響
・防護工により対処可能

法線案
①現行法線踏襲案
②引堤案
③前出し案

比較検討
・法線のなだらかさ
・私有保安林への侵入
・施工性

法線のなだらかさ・施工性を優先した案②引堤案(浄化センター付近)

区間③ 傾斜堤部：前浜が侵食された施工条件を考慮

施工検討
・海側：消波工、工事用道路の施工
・陸側：仮設堤防のヤード確認

法線案
・現行法線を踏襲(折れ角集約)

検討項目
・法線のなだらかさ
・保安林への侵入

法線のなだらかさ、施工性を満足する現行法線を踏襲した法線(折れ角集約)

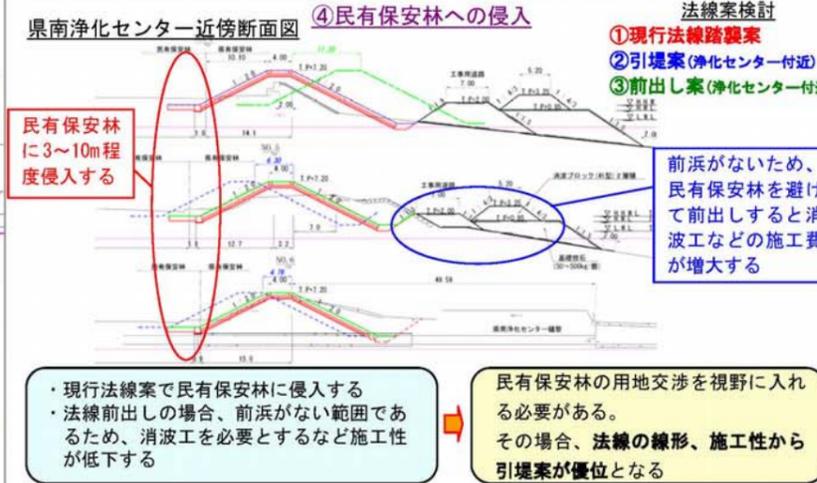
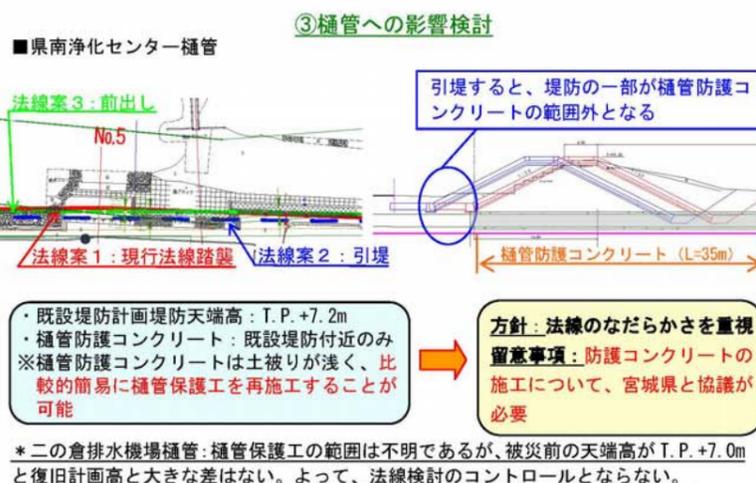
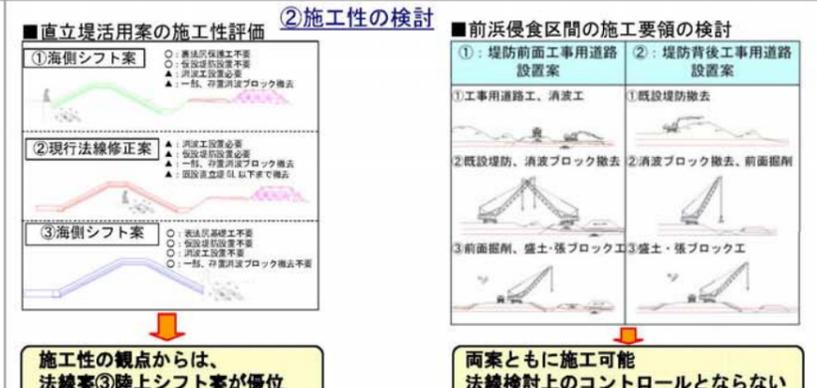
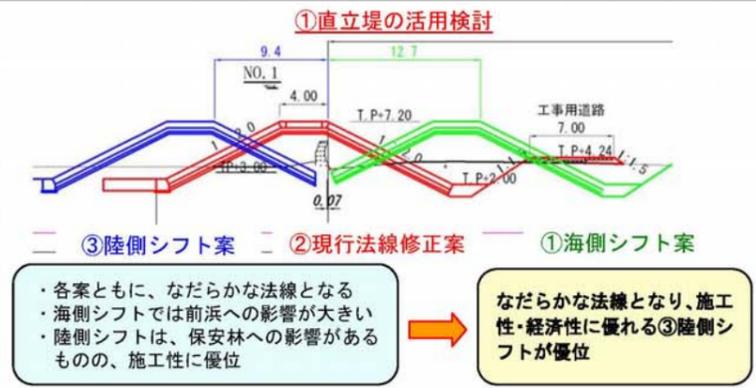
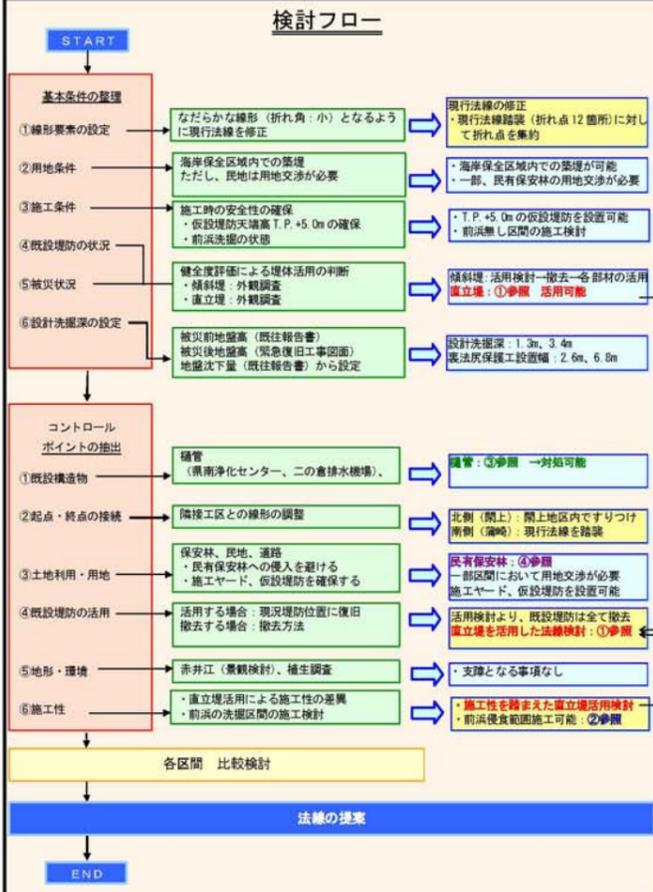


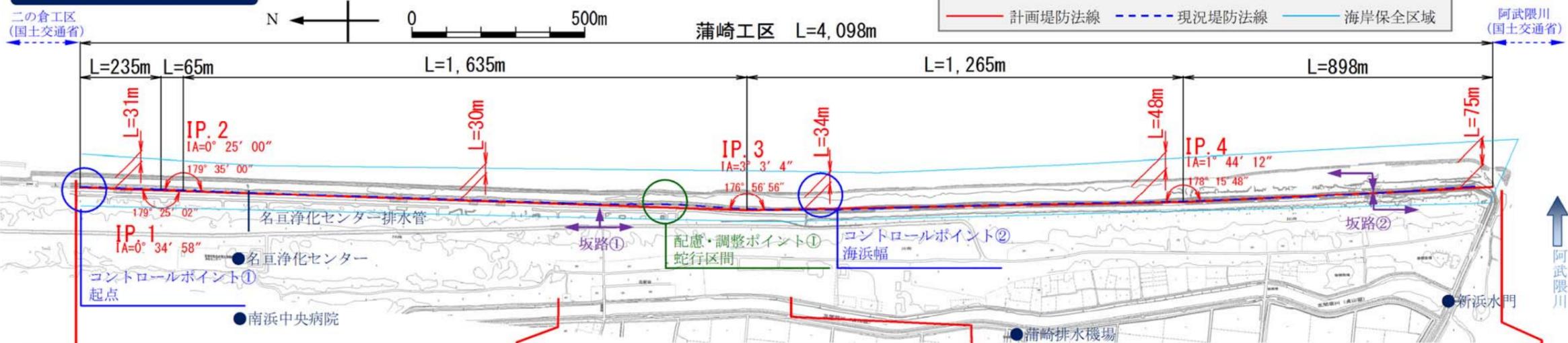
図 3.1.3-8 海岸堤防法線設定概要(二の倉工区)

仙台湾南部海岸 『蒲崎工区』 海岸堤防法線資料

法線設定の概要

計画法線は現況堤防法線を基本とし、蛇行部分や細かい折れ点が連続する部分を整理して設定を行った。
 起点（北端）から約 1,400m（法線区間①）は現況堤防を利用し、堤内側に腹付け・嵩上げを行う。計画法線は現況堤防からの嵩上げ分堤内側寄りとなる。
 終点（南端）から約 2,700m（法線区間②と③）は堤防の全面的な改築を行う。計画法線は既設堤防の蛇行部、細かい折点を 2 箇所（IP.3、IP.4）の折点に集約した線形とする。

平面図



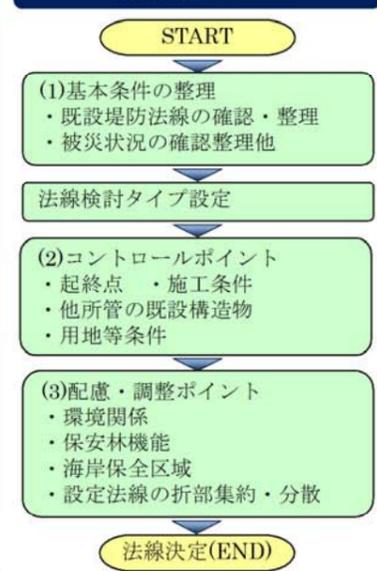
法線設定

【法線区間①】 (残存表法被覆: COブロック)
 検討タイプ: 既設堤防有 (被災有り)
 法線設定方針: 現況堤防活用
 コントロール・配慮調整: 起点、隣接工区との整合
 被災状況: 堤防の裏法尻が洗掘され、裏法面・天端が崩落。表法面被覆は大部分が残存。

【法線区間②】 (残存表法被覆: COブロック・法枠混在)
 検討タイプ: 既設堤防有 (被災有り)
 法線設定方針: 全面改築 (←被災規模大)
 コントロール・配慮調整: 海浜幅確保、堤防法線蛇行部を是正
 被災状況: 堤防の裏法尻が洗掘され、裏法面・天端が崩落。【法線区間②】の両端で堤防全壊。

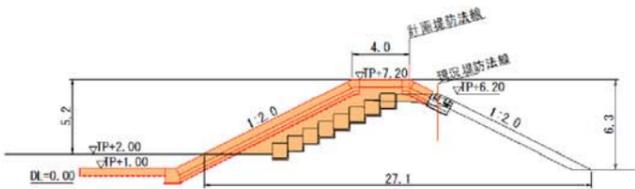
【法線区間③】 (残存表法被覆: 法枠+松)
 検討タイプ: 既設堤防有 (被災有り)
 法線設定方針: 全面改築 (←枯死した松の根による堤体の空洞化等を懸念)
 コントロール・配慮調整: 海浜幅確保、細かい折点の集約
 被災状況: 堤防の裏法尻が洗掘され、裏法面・天端が崩落。阿武隈川左岸堤防接続部分の堤防全壊。堤防表法面に植生していた多くの松が枯死。

検討フロー



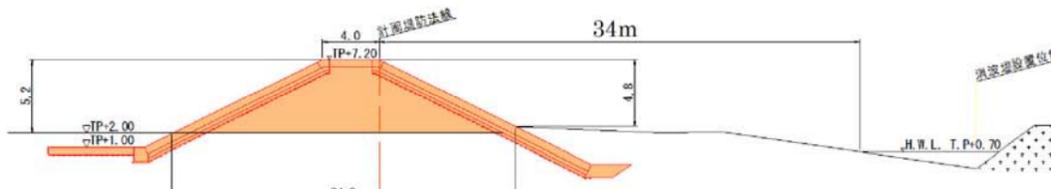
コントロールポイント①

蒲崎工区起点は現況堤防を利用し、堤内側に腹付け・嵩上げを行う。隣接する二の倉工区の計画と整合させる。



コントロールポイント②

蒲崎工区は侵食海岸であり、消波堤の堤内側まで汀線が後退している部分がある。現況とほぼ同等の海浜幅となるように、計画法線と汀線の離隔を確保する。



配慮・調整ポイント①

既存堤防の蛇行を解消するため、【法線区間②】も全面改築を行う。右図のように現況法線は海側に凸形状となっており、300m 程度の間隔で 2° 前後の折点が連続する。

※右図中の測点番号の間隔は 100m、着色線の種類は上の平面図と同じである。

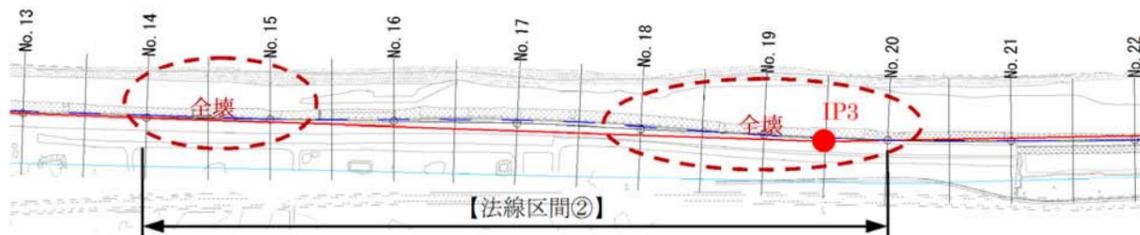


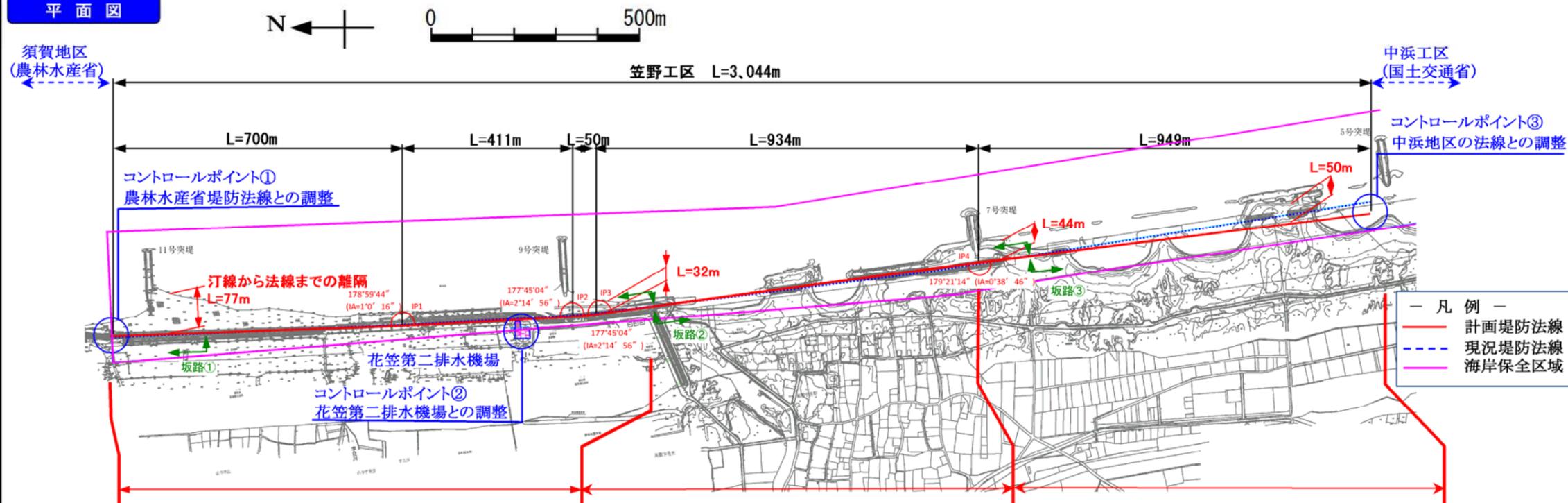
図 3.1.3-9 海岸堤防法線設定概要(蒲崎工区)

仙台湾南部海岸『笠野工区』海岸堤防法線資料

法線設定の概要

・山元海岸は侵食が著しい海岸であり、その対策として突堤や養浜工事が行われている。したがって、法線設定に当たっては、現況法線踏襲を基本として設定を行った。
 区間①：農林水産省堤防法線および花笠第二排水機場と調整を図り、現況法線を踏襲した。
 区間②：被災規模は大きいだが、現況法線を踏襲し、区間①と区間③をすり付けた。
 区間③：中浜工区でセットバックした法線と調整し、7号突堤付近の現況法線になだらかにすり付けた。

平面図



法線設定	【法線設定区間①】	【法線設定区間②】	【法線設定区間③】
	法線検討タイプ：既設堤防有（被災有り） 法線設定方針：現況法線踏襲 コントロール項目：農林水産省堤防法線との調整、花笠第二排水機場との離隔、単点折れ部の多角化 被災状況：ほぼ全区間において裏法崩壊および基礎部洗掘、一部区間において破堤	法線検討タイプ：既設堤防有（被災規模大） 法線設定方針：現況法線踏襲 コントロール項目：法線設定区間①と③の調整 被災状況：ほぼ全区間において破堤および地盤の侵食	法線検討タイプ：既設堤防有（被災規模大） 法線設定方針：全面改築、残存堤防を仮設として活用 コントロール項目：中浜工区の法線との調整 被災状況：ほぼ全区間において破堤および地盤の侵食

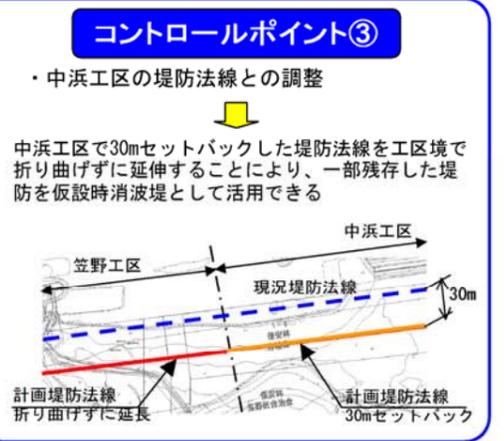
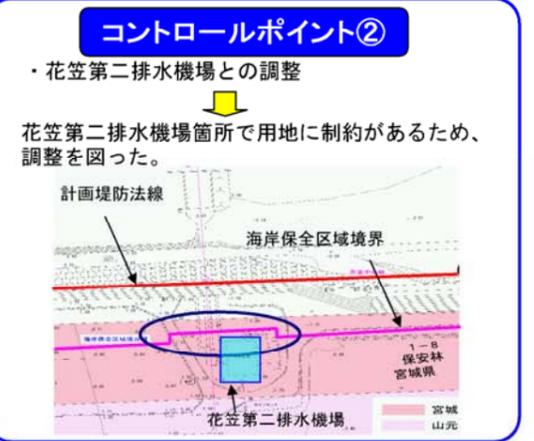
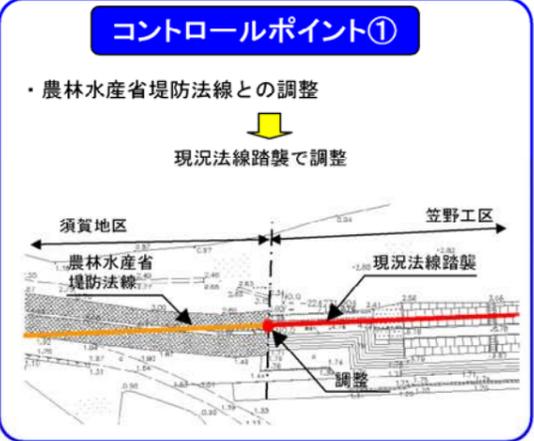
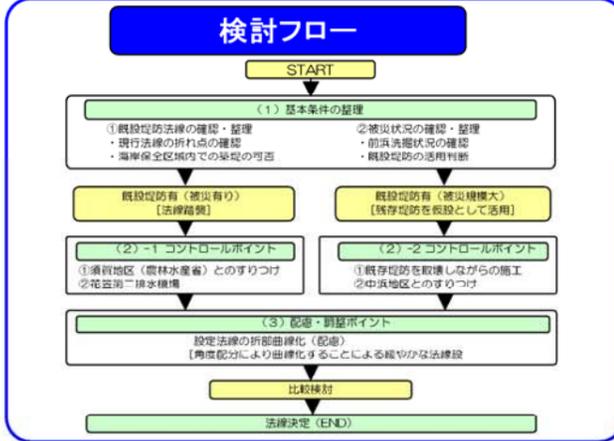


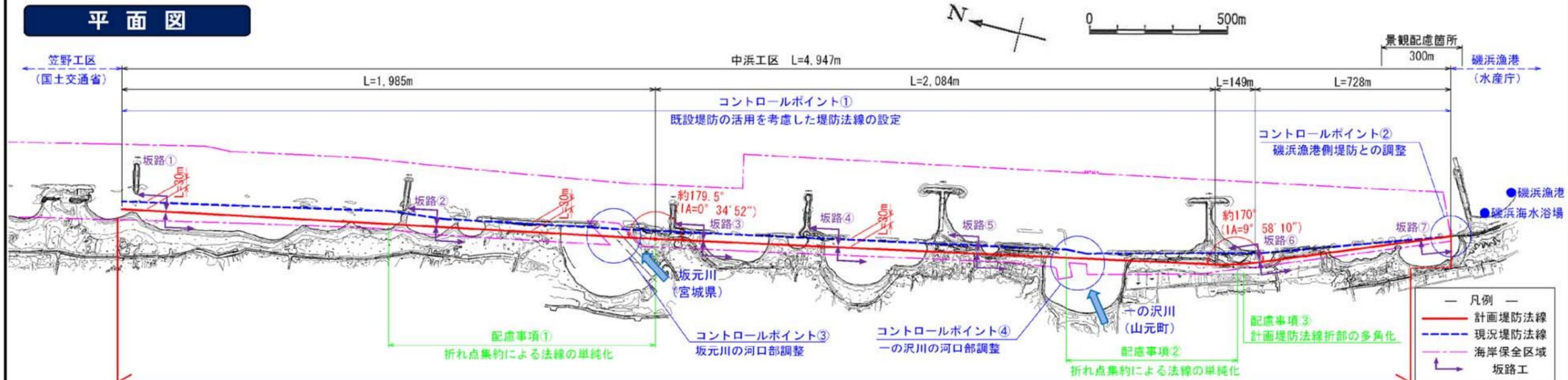
図 3.1.3-10 海岸堤防法線設定概要(笠野工区)

仙台湾南部海岸 『中浜工区』 海岸堤防法線資料

法線設定の概要

山元海岸は侵食海岸であり、ヘッドランドの整備、養浜等の対策事業が行われているため、現況堤防法線位置での復旧を基本とする。ただし、津波による既設堤防の流失が激しく、原位置での復旧には消波堤や仮締切工の設置が必要となるため、施工性が著しく低下する。よって、残存する既設堤防を消波堤として活用し、背後に新規堤防を築造する法線設定とした。

平面図

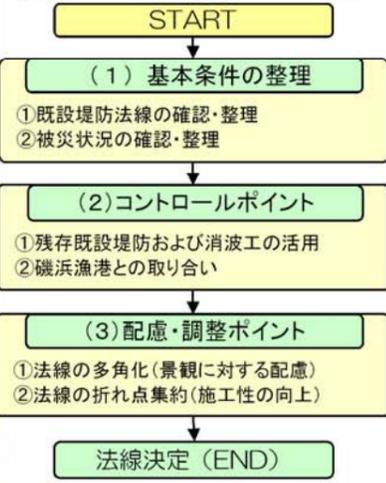


法線設定

【法線検討タイプ区分①】

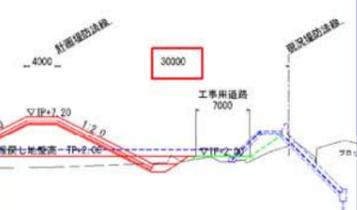
法線検討タイプ：既設堤防有（被災あり）→ 全面改築
 法線設定方針：残存する既設堤防および消波工は消波堤として活用することとし、背後に堤防を新設することとした。
 コントロール項目等：既設堤防の活用および新設堤防の構造を考慮したセットバック長の設定、折れ点集約による法線の単純化
 被災状況：津波により既設堤防の大半が流失しており、流失部の背後は大きく侵食されている。

検討フロー



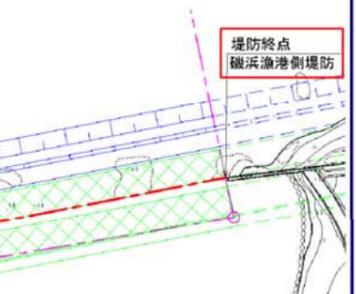
コントロールポイント①

既設堤防の活用を考慮した堤防法線の設定
 ・残存する既設海岸堤防を消波堤および工事用道路として活用するため、既設堤防の形式により、法線の位置をずらす必要がある。
 ⇒既設堤防法線から30mセットバックした位置に計画堤防法線を設定した。



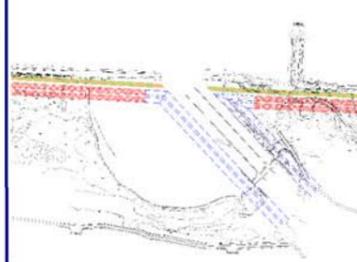
コントロールポイント②

磯浜漁港側堤防との調性
 ・磯浜漁港側の既設堤防表法肩をコントロールポイントとし、過度の折れ角が生じないような堤防法線を設定した。



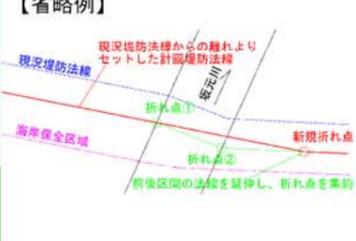
コントロールポイント③④

一の沢川の河口部調整
 坂元川の河口部調整
 ・河川管理者と堤防法線および擦りつけ断面の調整を行う。
 【坂元川河口部】



配慮調整ポイント①

(配慮事項①、②)
 折れ点集約による堤防法線の単純化
 ・折れ点を集約し、堤防法線を単純化することにより、施工性の向上を図った。(7点→2点)
 【省略例】



配慮調整ポイント②

(配慮事項③)
 計画堤防法線折れ部の多角化
 ・単点折れ部の角度が大きくなる箇所について、角度配分し多角化することで、滑らかな法線を設定した。(約10°の折れ角を2.5°に細分化)

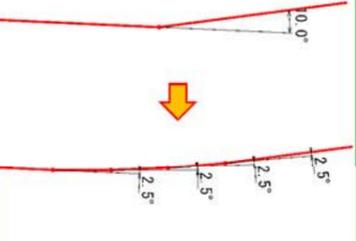


図 3.1.3-11 海岸堤防法線設定概要(中浜工区)

第4節 堤形式の選定

堤防の構造型式の選定に当たっては、次の事項を総合的に検討する必要がある。

- ①水理条件
- ②基礎地盤の条件
- ③堤体土砂の確保の難易
- ④用地取得の難易
- ⑤海浜の利用
- ⑥施工条件
- ⑦その他

堤防の設計に際しては、まず型式を選定しなければならない。この型式の選定に当たっては、水理条件、基礎地盤の土質、築堤材料、用地条件、利用状況及び施工期間などを総合的に検討し、安全かつ機能的な型式を選定する。

傾斜型	石張式、コンクリートブロック張式、コンクリート被覆式など
直立式	石積式、重力式、扶壁式など
混成型	—

堤防の型式の分類は、前面の勾配、構造、使用材料などにより種々考えられるが、前面の勾配により傾斜型、直立型及び混成型の3種類に分類される。勾配が1:1(1割)より緩いものを傾斜型といい、1:1(1割)より急なものを直立型という。特に、傾斜型の中で1:3(3割)より緩やかなものを緩傾斜堤と呼んでいる。混成型とは、捨石マウンド等の傾斜型構造物の上にケーソンやブロック等の直立型構造物がのったものをいう。

仙台湾南部海岸堤防では、海岸堤防の構造形式は東北地方太平洋沖地震による堤防被災調査結果を踏まえ『粘り強い構造』を採用する。この『粘り強い構造』の基本的な考え方は、中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を踏まえた地震・津波対策に関する専門調査会」の報告で示された「設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物」の考え方を受け、設計対象の津波高を超える津波が来襲し、海岸堤防等の天端を越流することにより、海岸堤防が破壊、倒壊する場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造を、以下のいずれかの減災効果を目指した構造上の工夫が施されたものとしている。

- ・施設が破壊、倒壊するまでの時間を少しでも長くする
- ・施設が完全に流失した状態である全壊に至る可能性を少しでも減らす

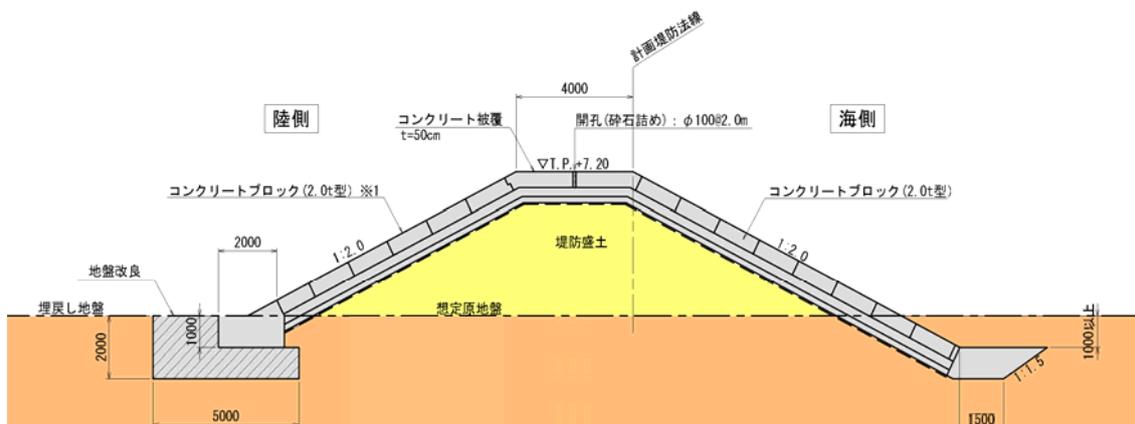


図 3.1.4-1 堤防および護岸の概念図

仙台湾南部海岸の基本的な堤防構造は、盛土により築造された台形断面を基本とし、その表面(表法, 天端, 裏法)を被覆した三面張り構造としており、本復旧に向けた堤防の復旧方針は次のとおり設定する。

- ① 一連復旧区間を同一構造とする。(弱点となる構造変化点の解消)
- ② 傾斜堤防(2割)を基本とする。(断面欠損が少なかった実績構造の採用)
- ③ 天端・裏法を表法保護と同等の構造とする。(被覆工の抜け、洗掘防止)
- ④ 裏法尻洗掘対策を実施。(断面欠損が少なかった実績構造の採用)
- ⑤ 堤防の損壊範囲抑制のため隔壁を一定区間に設置。

裏法勾配については、堤防の直高が5m以上の場合、または5m未満であっても特に必要な場合には、幅1.5m以上の小段を設けることが一般的に望まれているが、仙台湾南部海岸の堤防では次の理由から一律小段を設けずに2割勾配で設定している。

- 仙台湾沿岸地区海岸防災林復旧計画により背後地の地盤高が嵩上げ予定である。
- 越水を受けた時の天端から裏法にかけて、高流速を受けた際の不安定化につながるような粗度付けは行わない(国総研技術速報からの引用)。
- 同一地区海岸・工区(岩沼海岸相ノ釜地区海岸・二の倉工区)内において、5m未満から5m以上に比高が変化する箇所が存在し、同一構造にならないことを避ける必要がある。

<参考情報> 仙台湾南部海岸 新海岸保全区域の設定(海岸事業用地取得範囲)

新海岸保全区域（陸側）の考え方

仙台湾南部海岸における新海岸保全区域は以下の考え方をもとに設定した。

- ・法尻から陸側 4m を基本ラインとすることで基礎コンクリート、地盤改良、坂路の腹付け盛土(坂路幅員 4.0m)などの陸側の海岸保全施設を全て網羅でき、かつ必要最小限の範囲設定ができる。

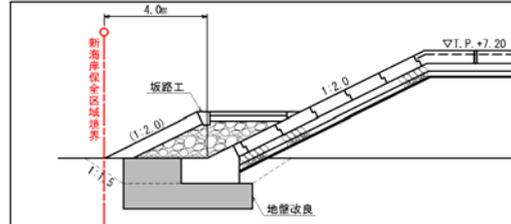


図 3.1.4-2 基本ライン設定模式図

基礎高の変化点は直近の堤防法線変化点にすりつける。

- ・基礎高の変化点を表 3.1.4-1 基礎高変化点、図 3.1.4-3に示す。基礎高が変化する断面は全工区で6箇所ある。
- ・新海岸保全区域は、基礎高の変化点から最も近い堤防法線の変化点にすり付けることで階段状の区域設定を避け、かつ最少変化点で範囲設定ができる。

表 3.1.4-1 基礎高変化点

No	工区名	測点	基礎高の変化（北側→南側）
1	深沼北工区	No.63+1.5	TP+2.40m → TP+3.10m
2	深沼南工区	No.40+40	TP+3.30m → TP+2.00m
3	閑上北釜工区	No.65+30.75	TP+2.60m → TP+3.00m
4	二の倉工区	No.27+21.91	TP+3.00m → TP+2.50m
		No.75+21.03	TP+2.50m → TP+2.00m
5	蒲崎工区	No.44	TP+2.00m → TP+2.20m

【基礎高変化のイメージ図（二の倉工区の例）】

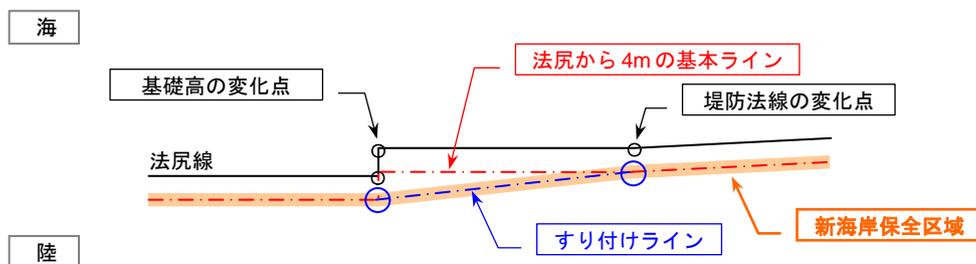
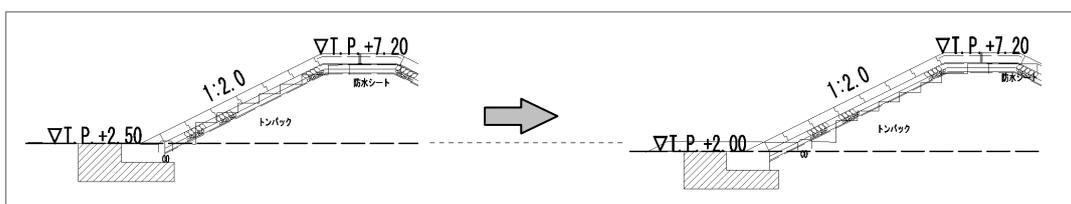


図 3.1.4-3 基礎高変化点のすり付け平面図

第5節 堤体

堤体は、波力、土圧等の外力に対して安定した構造としなければならない。また、必要に応じて地震力を考慮するものとする。なお、堤体は、浸透をできるだけ抑制する構造としなければならない。

堤体は堤防および護岸の主体となるものであり、その本来の機能として波力、揚圧力などの外力を基礎地盤に伝達するとともに透水を防止するものであるから、これらの外力に対して安全であるとともに、堤体構造それ自体として沈下、滑動、転倒を起こさないようにしなければならない。

堤体各部の設計にあたっては、通常三面張り構造については、それぞれの構造細目に従って諸元が決定されるため、堤防の形状に関して特に問題が無い限り、堤体の安定が問題となることは少ないが、その他の型式の堤防や護岸、例えば重力式堤体やケーソン式護岸、矢板式護岸のように背面に盛土があるような場合は、構造上波力、土圧などを同時に受けるので堤体の安定の検討が必要である。

なお、地震発生の際の地域的危険度、地盤の良否、構造物の力学的特性、構造物の重要性から必要と考えられる場合は地震力に対しても堤体の安定を検討する必要がある。

さらに、基礎地盤のせん断破壊によって生ずる堤体全体のすべりは、これがいったん発生した場合は施設は壊滅的被害を受けるため、特に基礎地盤が軟弱な場所に設けられるようなところでは、堤体全体のすべりに対して十分安全であるようにする必要がある。

第6節 法勾配

「河川砂防技術基準(案)同解説」によると“堤防および護岸の表のり勾配は、堤体の安定、水理的条件、海浜の利用等を考慮して決定するものとする。”また、“堤防の裏のり勾配は、堤体の安定を考慮したものとする。表 3.1.6-1 エラー! 参照元が見つかりません。エラー! 参照元が見つかりません。は堤防、護岸の標準的な裏のり勾配を、表 3.1.6-2 は標準的な裏のり勾配を示す。

表 3.1.6-1 堤防、護岸に共通する形式

表 7-7 堤防、護岸に共通する型式

型式	勾配
石張式	1:1より緩
コンクリートブロック張式	
コンクリート被覆式	
石積式	1:0.3~1:1
重力式	鉛直~1:1
扶壁式	

「河川砂防技術基準(案)同解説」 設計編[Ⅱ] P150

表 3.1.6-2 型式と標準的な裏のり勾配

表 7-9 型式と標準的な裏のり勾配

型式	勾配
石積式	1:0.3~1:1
石張式	1:1~1:2.5
コンクリートブロック張式	
コンクリート被覆式	
アスファルト被覆式	1:1~1:2
	1:2~1:3

「河川砂防技術基準(案)同解説」 設計編[Ⅱ] P154

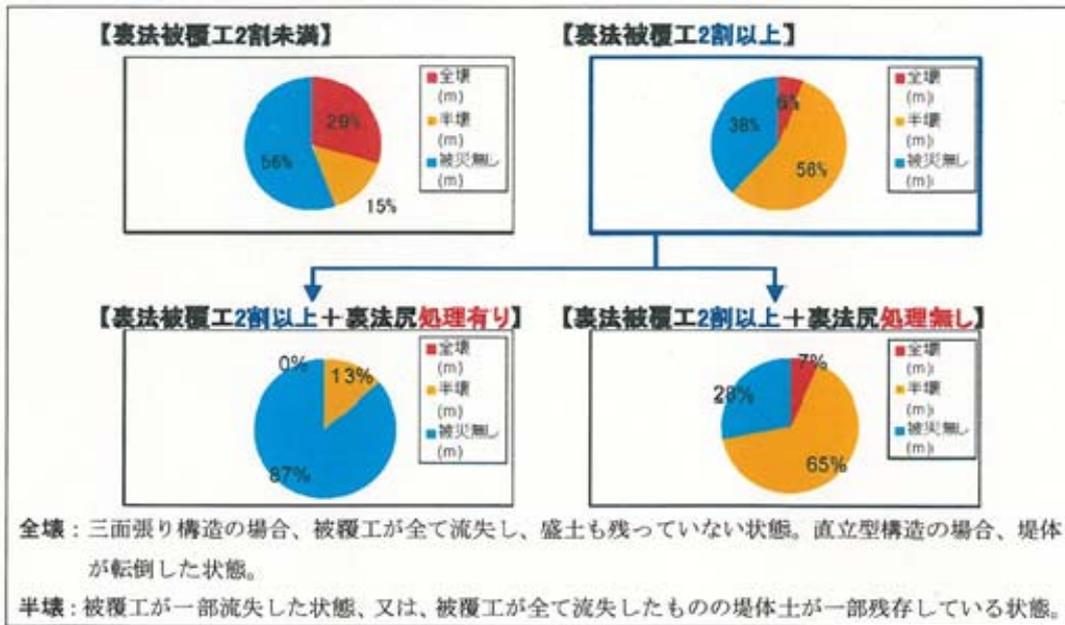
仙台湾南部海岸では、表法・裏法共に1:2(2割)の傾斜型海岸堤防を採用している。

その主な理由は次のとおりである。

- ・表法・裏法はコンクリートブロック張式または、コンクリート被覆式を採用しており、表法勾配は1:1より緩勾配、裏法勾配は1:1~1:2.5の構造とする。
- ・東日本大震災太平洋沖地震による被害(断面欠損)が少なかった実績である。
- ・水理模型実験の結果により一定の安全性が確保できた。

また、「海岸における津波対策検討委員会」でとりまとめた資料によると、“裏法の勾配が緩い堤防においては、施設が完全に流失する全壊までは至りにくいという傾向が見られたとの報告がなされている(次頁参照)。

<参考資料> 断面欠損が少なかった実績



「平成23年東北地方太平洋沖地震および津波により被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方」より

図 3.1.6-1 法勾配による被災状況

表 3.1.6-3 仙台湾南部海岸 堤防被災状況(堤防型式別)

東日本大震災 による仙台湾南部海岸 堤防被災状況

市町村名	海岸名		現地調査延長	堤防別 堤防断面欠損率(%)			天端(舗装)残存延長	残存率	
				直立堤	傾斜堤(2割)	傾斜堤(4割)			
仙台市	仙台海岸	深沼(北)	1,750		39.6		165	9.4%	
	深沼漁港海岸	深沼	810		17.1		800	98.8%	
	仙台海岸	深沼(南)	2,320	17.8					
		深沼(南)	970		86.2				
名取市	名取海岸	關上・北釜	660			56.0			
岩沼市	岩沼海岸	相の釜	1,200	23.9					
		相の釜	450			62.7	35	7.8%	
		相の釜	2,210		52.5		695	31.4%	
		納屋	2,030		59.5		300	14.8%	
		納屋	2,090		24.9		1,550	74.2%	
亶理町	荒浜漁港海岸	荒浜	900	75.9					
	荒浜漁港海岸	吉田大畑	500	96.1					
	亶理海岸	吉田浜	3,750	65.6					
山元町	山元海岸	横須賀	2,020	91.9					
		笠野	690		38.9		410	59.4%	
		笠野	320			66.1			
		笠野	980		46.9		320	32.7%	
		中浜	970		58.3		280	28.9%	
		中浜	1,850		89.3				
		中浜	1,660		73.8				
		中浜	1,370		63.4				
		磯浜漁港	磯浜	370	45.9				
		磯浜	280			3.0			
	磯浜	90	16.8						
	平均	30,240	60.04	47.10	46.95	4,555	39.70%		

■施設別延長(単位:m) 堤防欠損率(一括計算)

直立堤	16,030	67.18%
傾斜堤(2割)	12,500	46.80%
傾斜堤(4割)	1,710	51.10%

30,240

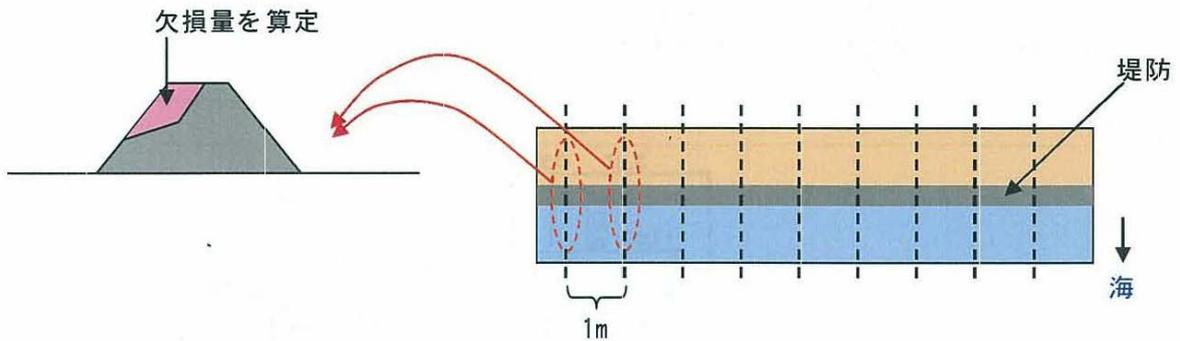
※海岸別で欠損率を平均すると値が平滑化されるためタイプ毎の全延長で算出している。

欠損率の考え方

(1) 欠損率の整理方法

蒲崎海岸の欠損率の考え方は、LPデータ（1mメッシュ標高）を利用しました。

LPデータより、断面1m刻みで施工時断面に対する欠損量を求め、蒲崎海岸全体に対する欠損率を評価しています。



(2) 断面における欠損率の求め方

標準断面は下記断面に設定しています。

- ・天端高：T. P. +7.2m
- ・天端幅：4.0m
- ・法勾配：1/2
- ・表法先標高：T. P. -1.0m
- ・裏法先標高：T. P. +0.0m

上記断面と被災後断面を重ね合せ、下記条件の基に欠損率を求めています。

- ①評価断面は T. P. -1.0m 以上
- ②被災後断面が T. P. -1.0m 以深となった場合は、T. P. -1.0m と仮定
- ③被災後断面が標準断面より標高が高い部分は無視する

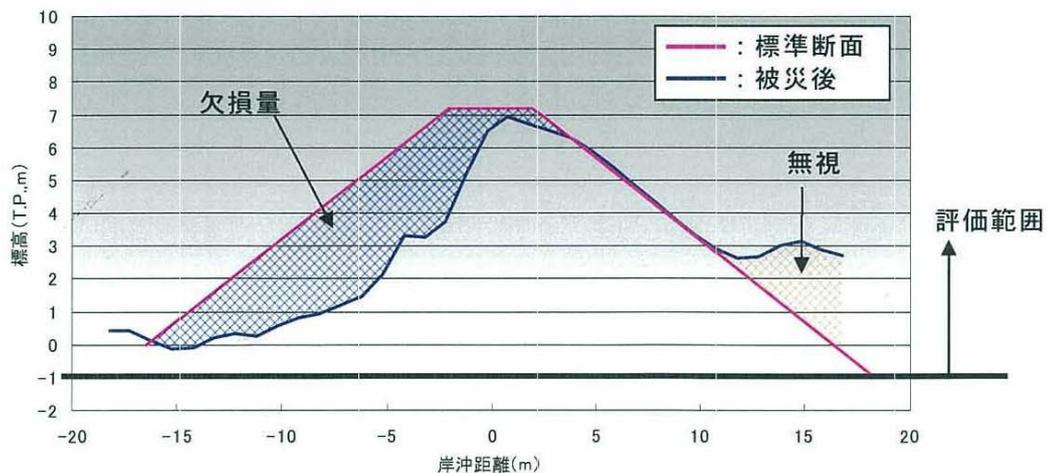


図 3.1.6-2 欠損率の考え方

第7節 堤防天端高

堤防および護岸の天端高(波返工のある場合はその頂高)は、計画高潮位に計画波浪に対して必要な高さおよび余裕高を加えたものとし、自然条件、堤防の形状、消波施設の効果、越波の許容の程度等を考慮して決定するものとする。

計画波浪に対して必要な高さは、計画高潮位、計画波浪、海浜断面、堤防の形状等の条件のもとで、適切な算定手法、または水理模型実験により求めるものとする。

必要がある場合には越波の状況を考慮し、適切な許容越波量を設定し、天端高を設定するものとする。許容越波量は、越波が海岸保全施設、背後の資産や利用に与える影響を考慮して設定するものとする。

津波を対象とする堤防の天端高は、計画津波、堤防の設置位置および構造、海浜および背後地の状況等を考慮して決定するものとする。

仙台湾沿岸の海岸堤防における計画天端高(高潮計画)は、各海岸の波の打ち上げ高で箇所によって大小はあるものの、概ね包括できる T.P.6.2m を代表高とし、余裕高、既往計画との整合、施設の連続性を考慮して、一律 T.P.+7.2m に設定した。

「宮城県沿岸域現地連絡調整会議 平成 23 年 9 月 9 日」では、新計画堤防高: T.P.+7.2m は高潮計画により決定されたものとして、公表している。

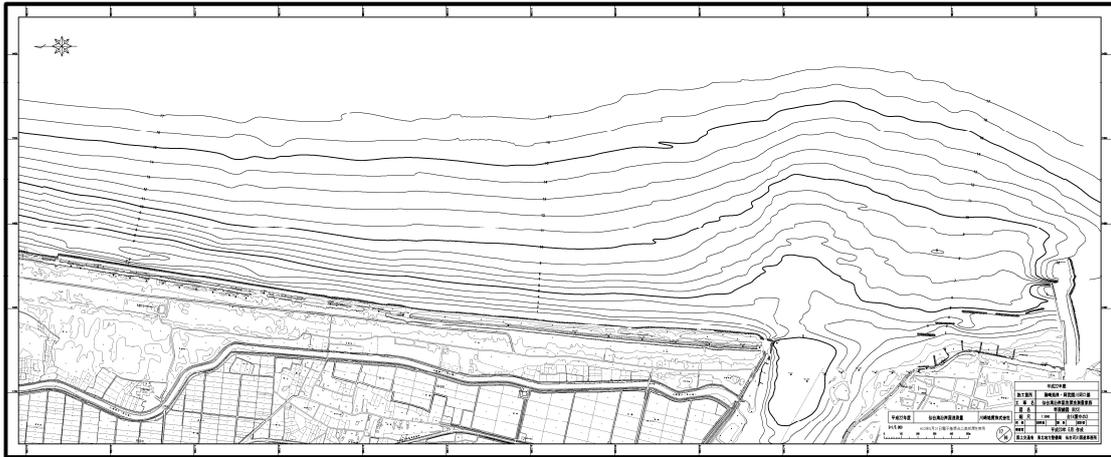
表 3.1.7-1 各測線における波の打ち上げ高の最大値

測線No.	海岸名	現位置法線復旧 ケース1		被災堤防仮設利用案 ケース2		被災後汀線前面包括 ケース3		震災前		備考
		打上高 (T.P., m)	最大打上高 (T.P., m)	打上高 (T.P., m)	最大打上高 (T.P., m)	打上高 (T.P., m)	最大打上高 (T.P., m)	打上高 (T.P., m)	最大打上高 (T.P., m)	
No-6+5	仙台海岸	3.56	6.24	-	-	-	-	-	-	七北田川
No-6		3.75								
No-5+5		4.07								
No-5		4.76								
No-4+5		4.49								
No-4		5.28								
No-3		4.84								
No-2+5		4.24								
No-2		4.84								
No-1+5		5.4								
No-1		5.32								
No.1		4.83								
No.2		5.02		-	-	-	-	-	-	
No.3	5.08	-	-	-	-	-	-	-		
No.4	4.68	-	-	-	-	-	-	-		
No.5	4.37	-	-	-	-	-	-	-		
No.6	4.09	-	-	-	-	-	-	-		
No.7	3.9	-	-	-	-	-	-	-		
No.8	3.81	-	-	-	-	-	-	-		
No.9	3.74	-	-	-	-	-	-	-		
No.10	3.88	-	-	-	-	-	-	-		
No.11+5	3.96	-	-	-	-	-	-	-		
No.11	3.56	-	-	-	-	-	-	-		
No.12+5	3.83	-	-	-	-	-	-	-		
No.12	3.89	-	-	-	-	-	-	-		
No.13+5	3.79	-	-	-	-	-	-	-		
No.13	3.91	-	-	-	-	-	-	-		
No.14+5	3.96	-	-	-	-	-	-	-		
No.14	4.21	-	-	-	-	-	-	-		
No.15+5	4.17	-	-	-	-	-	-	-		
No.15	4.65	-	-	-	-	-	-	-		
No.16+5	4.63	-	-	-	-	-	-	-		
No.16	4.6	-	-	-	-	-	-	-		
No.17+5	4.46	-	-	-	-	-	-	-		
No.17	5.2	-	-	-	-	-	-	-		
No.18+5	4.97	-	-	-	-	-	-	-		
No.18	5.05	-	-	-	-	-	-	-		
No.19+5	5.94	-	-	-	-	-	-	-		
No.19	6.24	-	-	-	-	-	-	-		
0.1km	5.42	-	-	-	-	-	-	-		
0.3km	4.94	-	-	-	-	-	-	-		
0.5km	4.91	-	-	-	-	-	-	-		
0.7km	5.01	-	-	-	-	-	-	-		
0.90km	4.99	-	-	-	-	-	-	-		
1.1km	5.77	-	-	-	-	-	-	-		
1.5km	5.56	-	-	-	-	-	-	-		
No.21	5.26	-	-	-	-	-	-	-		
No.22	5.13	-	-	-	-	-	-	-		
No.23	5.02	-	-	-	-	-	-	-		
No.24	4.82	-	-	-	-	-	-	-		
No.25	4.83	-	-	-	-	-	-	-		
No.26	4.48	-	-	-	-	-	-	-		
No.27	4.16	-	-	-	-	-	-	-		
No.28	3.86	-	-	-	-	-	-	-		
No.29	3.86	-	-	-	-	-	-	-		
No.38	3.58	-	-	-	-	-	-	-		
No.39	3.52	-	-	-	-	-	-	-		
No.40	3.84	-	-	-	-	-	-	-		
No.41	4.52	-	-	-	-	-	-	-		
No.42	4.05	-	-	-	-	-	-	-		
Co.258	4.05	-	-	-	-	-	-	-		
Co.248	4.33	-	-	-	-	-	-	-		
Co.238	4.3	-	-	-	-	-	-	-		
Co.228	3.92	-	-	-	-	-	-	-		
Co.218	3.8	-	-	-	-	-	-	-		
Co.208	4.01	-	-	-	-	-	-	-		
Co.198	3.92	-	-	-	-	-	-	-		
Co.188	3.87	-	-	-	-	-	-	-		
Co.178	3.96	-	-	-	-	-	-	-		
Co.168	4.02	-	-	-	-	-	-	-		
Co.158	4.29	-	-	-	-	-	-	-		
Co.150	4.33	-	-	-	-	-	-	-		
Co.142	4.5	-	-	-	-	-	-	-		
Co.134	4.58	-	-	-	-	-	-	-		
Co.126	4.76	-	-	-	-	-	-	-		
Co.118	4.82	-	-	-	-	-	-	-		
Co.102	5.78	-	-	-	-	-	-	-		
Co.94	5.3	-	-	-	-	-	-	-		
Co.86	5.48	-	-	-	-	-	-	-		
Co.82	6.12	-	-	-	-	-	-	-		
Co.78	5.88	-	-	-	-	-	-	-		
Co.70	5.92	-	-	-	-	-	-	-		
Co.62	5.5	-	-	5.54	-	5.27	-	-		
Co.54	5.61	-	-	5.22	-	5.01	5.15	-		
Co.46	5.15	-	-	5.13	-	4.84	5.22	-		
Co.38	6.00	-	-	4.96	-	4.69	4.86	-		
Co.26	5.97	-	-	5.63	-	5.22	5.18	-		
Co.22	5.94	-	-	5.58	-	5.1	5.3	-		
Co.18	5.58	-	-	5.56	-	5.12	5.31	-		
Co.14	5.39	-	-	5.13	-	4.83	5.16	-		
Co.6	5.43	-	-	5.09	-	4.73	4.97	-		
Co.2	6.45	-	-	5.05	-	4.71	4.82	-		
Co.-6	6.30	-	-	6.22	-	6.22	4.99	-		
Co.-14	5.76	-	-	6.08	-	5.59	5.22	-		
Co.-18	6.03	-	-	5.76	-	4.84	4.61	-		
Co.-22	5.83	-	-	5.68	-	4.96	4.78	-		
Co.-26	5.29	-	-	5.19	-	4.82	4.68	-		
		-	-	5.19	-	4.81	4.39	-		

測線 1→

測線 2→

各海岸で打ち上げ高が最大となる測線
 災害復旧事業の法線での値



■計算条件			
潮位(H.H.W.L.)	: T.P.+1.60m	波長L(m)	: 263.6
沖波波高 H_0 (m)	: 7.7	波形勾配 H_0'/L	: 0.025
換算沖波波高 H_0' (m)	: 6.50(※)	碎波水深 h_b (m)	: 10.5 (T.P.-8.9m)
周期T(s)	: 13.0	※波の打ち上げ高が最大となる波高($H_0'=6.50$ m)	

図 海浜断面模式図

海浜断面積は、海底断面積模式図より、
 $A = 1,396.0 \text{ m}^2$ となる。

打ち上げ高を $R = 4.64 \text{ m}$ と仮定すると、仮想勾配は、

$$\cot \alpha = \frac{2A}{(h_b + R)^2} = \frac{2 \times 1,396.0}{(10.5 + 4.64)^2} = 12.3 \text{ となる。}$$

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説、平成16年6月、p.2-69」による波の打ち上げ高算定図より、

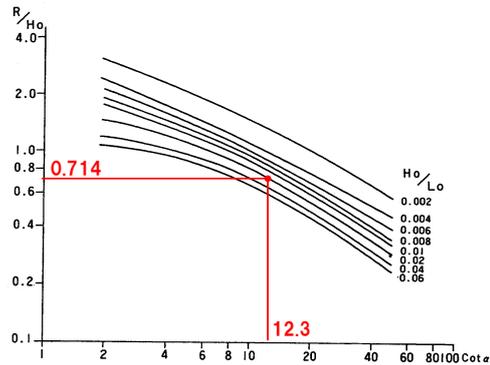
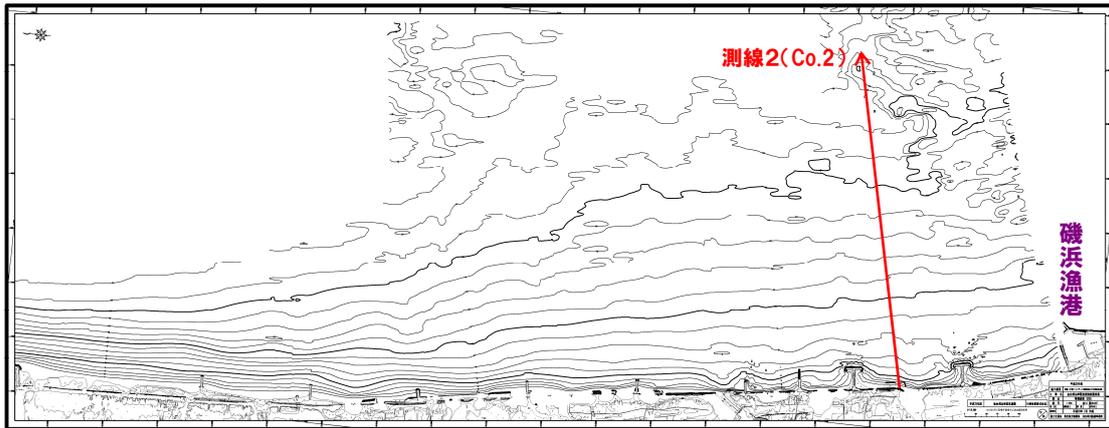


図 改良仮想勾配法による波の打ち上げ高算定図

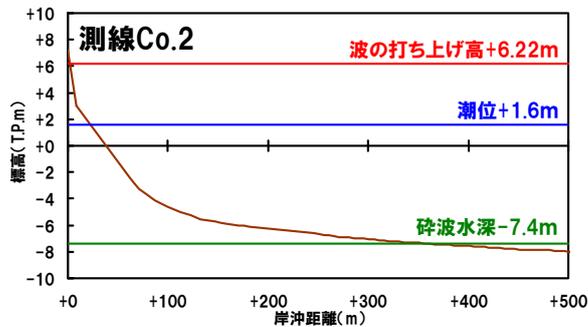
$R/H_0' = 0.714$ $R = 0.714 \times 6.50 = 4.64 \text{ m}$
 よって、 R となり仮定とほぼ一致する。

従って、波の打ち上げ高は、 $H.H.W.L + R = T.P. + 1.60\text{m} + 4.64\text{m} = T.P. + 6.24\text{m}$

図 3.1.7-1 波の打ち上げ高計算結果(測線1:No.19、現位置法線復旧)



■計算条件
 潮位(H.H.W.L.) : T.P.+1.60m 波長L(m) : 263.6
 沖波波高 H_0 (m) : 7.7 波形勾配 H_0'/L : 0.021
 換算沖波波高 H_0' (m) : 5.50(※) 砕波水深 h_b (m) : 9.0 (T.P.-7.4m)
 周期T(s) : 13.0 ※波の打ち上げ高が最大となる波高($H_0'=7.22m$)



海浜断面積は、海底断面積模式図より、
 $A = 900.0 \text{ m}^2$ となる。

打ち上げ高を $R = 4.62 \text{ m}$ と仮定すると、仮想勾配は、

$$\cot \alpha = \frac{2A}{(h_b + R)^2} = \frac{2 \times 900.0}{(9.0 + 4.62)^2} = 9.7 \text{ となる。}$$

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説、平成16年6月、p.2-69」による波の打ち上げ高算定図より、

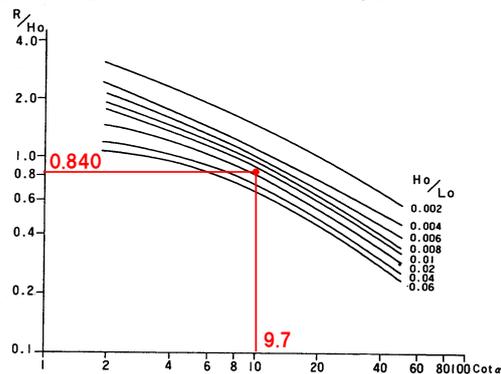


図 改良仮想勾配法による波の打ち上げ高算定図

$R/H_0' = 0.840$ $R = 0.840 \times 5.50 = 4.62 \text{ m}$
 よって、 R と仮定とほぼ一致する。

従って、波の打ち上げ高は、 $H.H.W.L + R = T.P. + 1.60m + 4.62m = T.P. + 6.22m$

図 3.1.7-2 波の打ち上げ高計算結果(測線2:Co.2、被災堤防仮設利用案)

表 3.1.7-2 宮城県沿岸の海岸堤防高の設定(案)

宮城県沿岸の海岸堤防高の設定(案)							
地域海岸名 ※1	今次津波 痕跡高	設計津波		設計津波 から求めた 必要堤防高 ※2	津波>高潮 のチェック ※3	新計画堤防高 ※4	被災前 現況堤防高
		対象地震	設計津波の 水位 ※2				
仙台湾南部海岸①	12.9	明治三陸地震	5.3	6.3	高潮にて決定	7.2	5.2~7.2
仙台湾南部海岸②	13.6	明治三陸地震	5.2	6.2	高潮にて決定	7.2	6.2~7.2

単位:m(T.P.)

「宮城県沿岸域現地連絡調整会議」より抜粋

宮城県の地域海岸分割図



図 3.1.7-3 宮城県の地域海岸分割図

「宮城県沿岸域現地連絡調整会議」より抜粋

第8節 天端幅

「河川砂防技術基準(案)・同解説 設計偏Ⅱ」および「海岸保全施設の技術上の基準・同解説」において、堤防天端幅は、構造上、波力に対抗する強度を要する必要幅と維持管理面への配慮を踏まえ、原則として3m以上と記述されている。

仙台湾南部海岸の既設堤防は、天端幅 4.0m で整備されていたことが分かっており、東北地方太平洋沖地震津波による被災状況も踏まえて「仙台湾南部海岸災害復旧事業」では、4.0m 幅を採用している。

(4) 天端幅

天端幅は、越波による天端水平面の越流に抵抗する広さを必要とする。しかし、天端幅を決定する一般的な計算式は今のところなく、経験によるほかはない。越波による天端水平面の越流に対するためには、越流量、越流の仕方及び頻度、天端被覆の工法などで異なるが、なるべく広い方がよい。既往の事例では、天端幅を3m以上としたものが多い。ただし、直立型の重力式の場合には、その構造上天端幅が、3m以下であっても越流に対して十分安全であるので、1mまで天端幅を低減することができる。なお堤防は、管理、水防及び工事用道路を兼ねる場合が普通であるから、車両の荷重及び幅に応じた所要幅を確保する必要がある。また、取付道路、斜路並びに車両のすれちがいなどに必要な場所も考慮する必要がある。

「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 P.3-30」より抜粋

3.4.5 天端幅

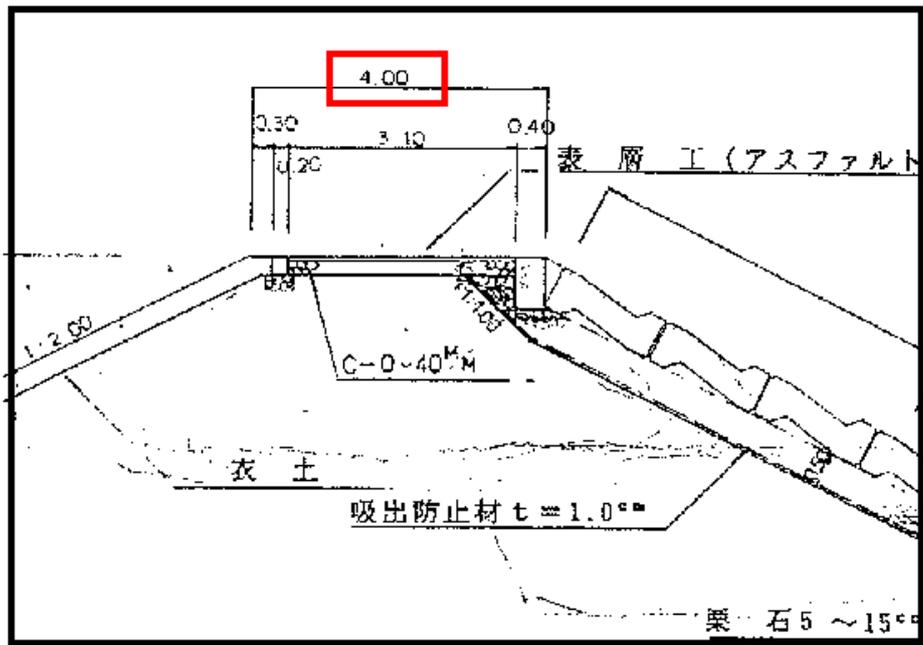
堤防および護岸の天端幅は、波返工等を除き、原則として3m以上とするものとする。ただし、直立型の重力式堤防においては、1m以上とすることができるものとする。

解 説

堤防および護岸の天端幅は、堤体が波力に対抗し、必要に応じて管理等が実施できる広さとする。一般に、天端幅を決定する計算式は今のところなく、経験によるほかはない。

堤防は管理や水防および工事用道路を兼ねる場合が普通であるから、車両の荷重および幅に応じた所要幅をとる必要があることより原則として3m以上とした。また取付道路、斜路ならびに車両のすれちがいなどに必要な場所も考慮する必要がある。

「砂防基準(案)・同解説 設計Ⅱ P.155」より抜粋



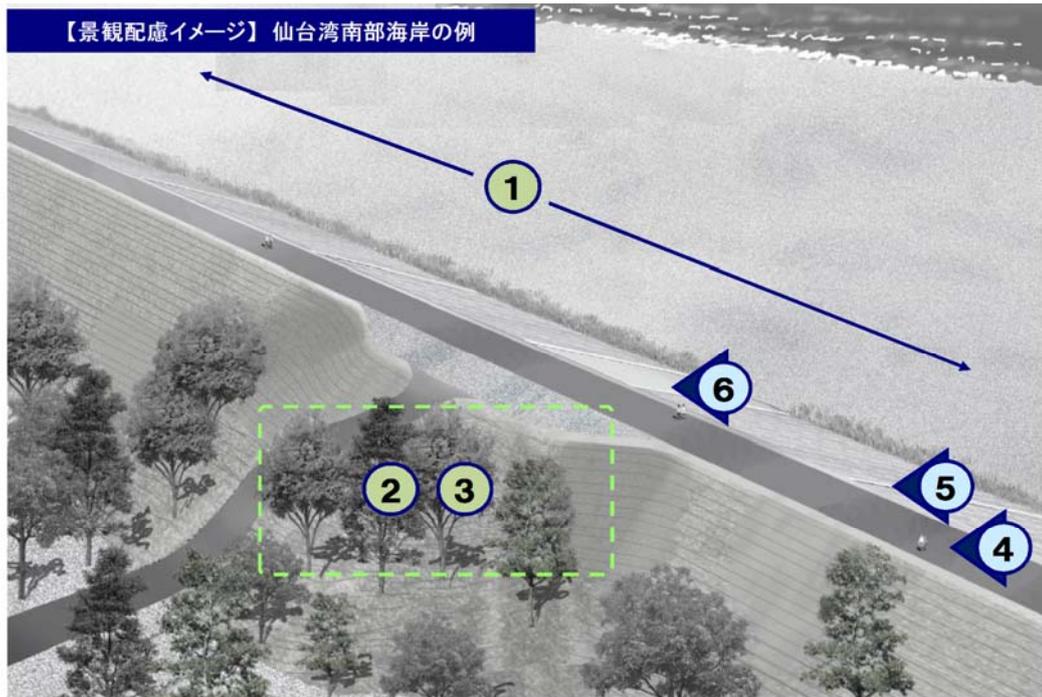
「海岸保全区域台帳」より抜粋

図 3.1.8-1 既設堤防天端幅

第9節 構造細目

海岸堤防の復旧にあたり、学識経験者等による検討に基づき「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き」が策定され、以下のとおり景観や環境、利用への配慮事項 6項目が示されている。また、堤防構造においては、国総研の水理模型実験によって「粘り強い海岸堤防」への配慮事項が示されている。

本節では、これらの配慮事項をふまえて決定した構造細目について整理する。



1 【海岸堤防の復旧法線の設定】



○被災前の浜幅を確保し、海浜植物、昆虫等の自生環境に配慮した法線



2 【海岸林、樹木の活用】

○地域と連携し背後地へ海岸林の設置植樹を検討



3 【裏側法面への覆土】

○堤防背後と海岸堤防が連続した地形となるよう覆土



6 【階段等の附帯設備】

○約200mに1箇所配置



5 【堤防の法面処理】

○視覚的なリズム感により、長大な印象を軽減
○縦リブ模様を強調し“安定感”を図る



4 【堤防の天端処理】

○天端法肩部の表面洗い出し
○海や背後地を眺めながら移動する経路を想定し、利用性にも配慮

9.1 護岸(表法面被覆工)

堤防および護岸の表法被覆工は、波浪による侵食および磨耗、ならびに堤体の土砂の流失を防止し、土圧、波力等の外力に対して安定した構造でなければならない。また、必要に応じて地震力を考慮するものとする。なお、斜面の上部は、作用する波力に応じて下部の被覆工と異なった被覆工とすることができるものとする。ただし、傾斜を変える場合にはできるだけ漸変させるか、または、その部分の構造を強化しなければならない。

○ 表法面被覆工構造(海側)

仙台湾南部海岸では表法被覆工としてコンクリートブロック構造を用いることとし、既設ブロックが流用できる構造とする。

表法被覆工の構造諸元は表 3.1.9-1に示すとおりである。

表 3.1.9-1 表法被覆工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
被覆工形式	コンクリートブロック張 ▶ ブロック間の連結無し	景観面、施工性、利用面を考慮してコンクリートブロックを採用
ブロック重量 (図 3.1.9-1参照)	2t 型(公称)	ハドソン式および最低重量より
厚さ (図 3.1.9-1参照)	0.5m	「河川砂防技術基準(案)同解説 P.160」より
裏込材 (図 3.1.9-1参照)	割栗石(5~15cm)t=30cm 裏込碎石(RC-40)t=20cm	「河川砂防技術基準(案)同解説 P.161」より

3.6 構造細目

3.6.1 表のり被覆工

堤防および護岸の表のり被覆工は、波浪による侵食および磨耗、ならびに堤体の土砂の流失を防止し、土圧、波力等の外力に対して安定した構造でなければならない。また、必要に応じて地震力を考慮するものとする。なお、斜面上部は、作用する波力に応じて下部の被覆工と異なった被覆工とすることができるものとする。ただし、傾斜を変える場合にはできるだけ漸変させるか、または、その部分の構造を強化しなければならない。

コンクリートを場所打ちする場合には、原則として6～10mの間隔に伸縮目地を設けるものとする。また、伸縮目地は、スリップバー等により食違いを防止するとともに、止水板、または充てん材により水密性をもたせるものとする。

表のり被覆工の表面に曲面を付し、波返し機能をもたせる場合には、その断面形状については波返し断面形状に準ずるものとする。また、波走止工を設ける場合には、構造上の弱点とならないように注意しなければならない。

解説

1. 表のり被覆工

表のり被覆工は、堤防の主体となる堤体を保護し、また堤体の一部となつて高潮、波などの侵入を防止する堤防の主要部分である。したがって、堤体と相まって土圧、波力ならびに必要に応じて地震力などの外力に抵抗し、波浪による侵食および磨耗に耐え、堤体の砂の流出やそれ自体の滑落を防ぎ、強固で安全な構造でなければならない。なお、強大な波力を受ける恐れのある場合とか、地盤沈下などで不同沈下が考えられ

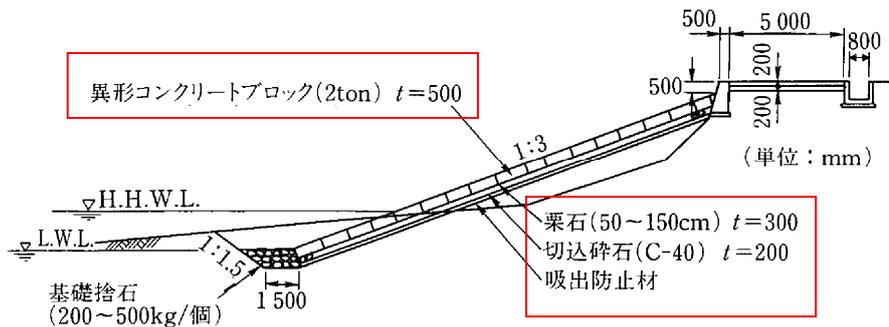


図 3.1.9-1 表法被覆工の標準構造

「建設省河川砂防技術基準(案)同解説 設計編 [II] P.158~161」

○ 表法面被覆工ブロックの重量および厚さ

表側法面被覆工は、「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編II」の考え方に準拠し、2t型のコンクリートブロック(連結無し・t=50cm以上)を使用する。

- ・凹凸のある斜面で遡上してくる波をある程度消波させるとともに、のり面における戻り流れの流速と水量が減少する。
- ・前面が洗掘されてもある程度まではそれに追従できる。
- ・堤体土砂が流出しても、ブロックは表面をカバーして、全面的な決壊・破堤を防ぐことができる。
- ・仮に被災しても、沈下散乱したブロックを集めることができ、容易に復旧できる。

○ 被覆ブロック安定照査

被覆ブロックの安定照査としては、深沼北工区の事例を下記に示す。

(2) 被覆ブロックの安定照査

1) 算定手法

被覆ブロックの所用質量はハドソン式で算定する。

$$M = \frac{\rho_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha}$$

ここに、

M：被覆ブロックの所用質量 (t)

ρ_r ：被覆ブロックの密度 (=2.3t/m³)

H：有義波高 (m)

K_D ：被覆ブロックの安定定数

S_r ：被覆ブロックの海水に対する比重 (= ρ_r / ρ_0)

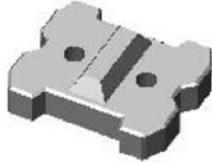
ρ_0 ：海水の密度 (=1.03t/m³)

α ：法面が水平面となす角度

2) 被覆ブロックの K_D 値

深沼北工区ではメガロックとサンロックを想定し、所用質量を算定する。

表 被覆ブロックの K_D 値

ブロック	メガロック	サンロック
形状図		
K_D 値	13.0	13.2

3) 被覆ブロックの所用質量

被覆ブロックの所用質量を算定したところ、いずれも 2t 型となる

表 被覆ブロックの所用質量

項目	記号	単位	メガロック	サンロック	備考
K_D 値	KD	—	13.00	13.20	
被覆材比重	ρ_r	t/m ³	2.30	2.30	
海水比重	ρ_0	t/m ³	1.03	1.03	
比重比	S_r	—	2.23	2.23	ρ_r / ρ_0
被覆材勾配	$\cot \alpha$	—	2.00	2.00	
有義波高	H	m	3.07	3.07	
所要質量	M	t	1.365	1.345	
ブロックの実質量		t	1.061	1.007	1t型
		t	2.056	2.077	2t型
		t	3.128	3.011	3t型

図 3.1.9-2 被覆ブロックの安定照査

9.2 表側(海側)基礎工

表側(海側)基礎工は、上部構造物を安全に支えるため滑動や沈下を防止するとともに、波による洗掘にも耐えうる構造として設計するものとする。また、基礎地盤の透水性が大きい場合には止水工を併せ設置するものとする。なお、緩傾斜堤の基礎工は、表のり被覆工ののり先に設置されるものであり、必要に応じて捨石等を用いて被覆工が安定となるよう設計するものとする。

上部構造物を安全に支えるため滑動や沈下を防止するとともに、波による洗掘にも耐えうる構造とする。

表側(海側)基礎工・表法尻保護工構造規格および諸元は表 3.1.9-2に示すとおりである。

表 3.1.9-2 表側(海側)基礎工・表法尻保護工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
基礎工 (図 3.1.9-3参照)	捨石基礎 幅 1.5m、50～500kg/個 根入れ 1.0m	河川砂防技術基準(案)同解説より同基準によれば基礎捨石の重量は 200～500kg/個であるが、既往事例 50～200kg/個を考慮して 50～500kg/個とした
表法尻保護工 (図 3.1.9-3参照)	割栗石(15～20cm)t=100cm	陥没事故事例を参考として危険防止のために実施することにした

(1) 基礎形状の検討

表側(海側)基礎の形式については、「河川砂防技術基準(案)同解説 設計編Ⅱ」において、海岸堤防におけるコンクリートブロック表法被覆工を用いる場合の基礎工は捨石等を用いる形式が一般的とされている。既設堤防における海側基礎工には、「海岸保全区域台帳」より、概ね同様の形式により整備されていたことが分かっており(図 3.1.9-4参照)、今時津波による被災が少なかったことが分かっている。

以上の経緯を勘案し、本設計では、表側(海側)法面工の基礎形式には、「河川砂防技術基準(案)・同解説」に準拠し、必要な根入れを確保した捨石(50～500kg/個)による基礎工を採用する。

また、近傍海岸において同様の基礎形式とした場合に粒径の大きな捨石上部に埋め戻された小粒径の土砂(砂)が吸い出されて地盤が陥没した事例が報告されていることから、捨石上部には割栗石(粒径 15～20cm)を設置する。

3.6.3 基礎工

堤防および護岸の基礎工は、上部構造物を安全に支えるため滑動や沈下を防止するとともに、波による洗掘にも耐えうる構造として設計するものとする。また、基礎地盤の透水性が大きい場合には止水工を併せ設置するものとする。なお、緩傾斜堤の基礎工は、表のり被覆工ののり先に設置されるものであり、必要に応じて捨石等を用いて表のり被覆工が安定となるよう設計するものとする。

解 説

1. 一 般

(1) 堤防や護岸の基礎工は、上部構造物を安全に支えるために設けられ、上部構造物の滑動および沈下に耐えるとともに、特に波力による一時的な前面洗掘に耐えるように十分根入れする必要がある。前面洗掘に対しては、止水工、被覆工との継目、または基礎工の目地などからの土砂の吸出しを防止できる構造としなければならない。

(2) 捨石または捨ブロック基礎工

コンクリートブロック表のり被覆式（緩傾斜堤）の基礎工は、基礎なしの場合以外は捨石・雑石層からなる基礎工を採用することが一般的である。なお、フトン籠はおもにのり面の栗石の安定性向上を目的として用いられるが、施工当初の基礎工の安定が特に要求されるような場合や、水中施工の場合など捨石の移動や散乱の恐れが大きい場合には捨石との併用、または単独の基礎工として用いられることがある。洗掘に対して十分な根入れ深さを確保できれば大きな基礎工は必要としない。この場合には波の作用によるブロックの沈下を防ぐため、図7-61に示すような捨石・雑石等を用いた基礎工を設置すればよい、水中

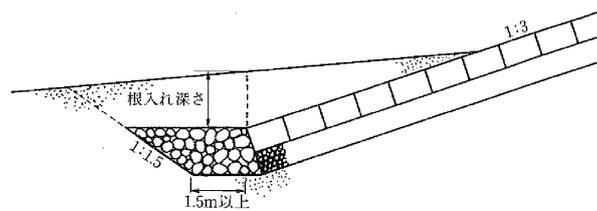


図 7-61 根入れを伴う基礎工

図 3.1.9-3 表側(海側)法面基礎の設定方法

「河川砂防技術基準(案) 同解説 設計編Ⅱ P.170～171」より抜粋

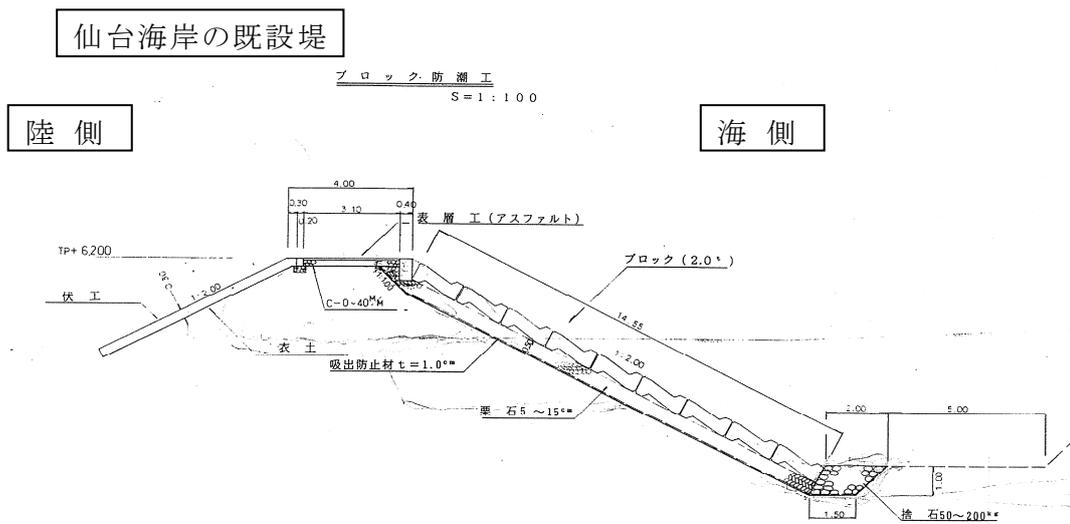


図 3.1.9-4 既設堤防構造図

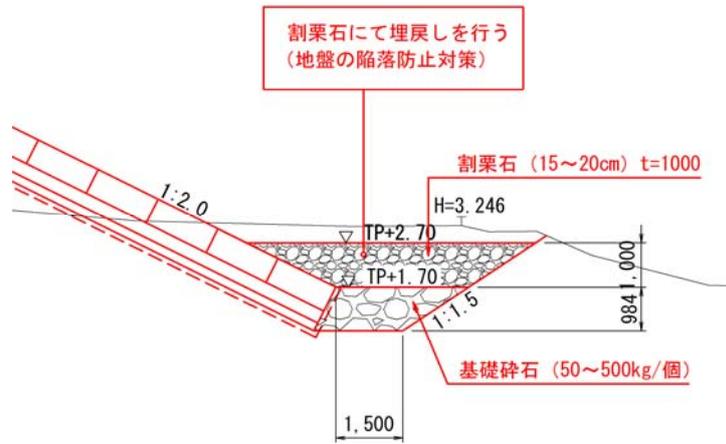


図 3.1.9-5 表側(海側)基礎工の決定

(2) 表側（海側）基礎工天端高の設定

「緩傾斜堤の設計の手引き(改訂版), H18.1, 国土交通省監修」は、表法基礎の天端高について以下のように整理している。

根入れ深さ（図-4.1参照）は、地盤高の低下による緩傾斜堤の被災を防ぐための余裕しろであり、以下に示す堤脚部の地形変化に対して堤体の安定性が確保されるよう決定する必要がある。「3.5 地形変化および洗掘等に対する安定性」で示したように、安定性の確保のためには、海浜変形や局所洗掘による地盤高の低下量を予測し、それに応じた根入れ深さを確保する。なお、ブロック張り式では表のり面が透水性を有するため吸出しによる被災を受けにくいこと、また、表のり面の多少の変形から堤体の破壊に至ることは少ないことから、施工性や経済性に優れたより合理的な方法を選択することが可能である。

地形変化等による地盤低下量より根入れ深さを大きくするためには、根入れ深さは次式を満足するようにする。

$$\text{根入れ深さ} > \text{長期的な地形変化による地盤低下量} \\ + \text{短期的な地形変動と局所洗掘を合わせた最大洗掘深}$$

沿岸漂砂の均衡が失われたことによって侵食が生じている海岸では、海岸侵食にともなう堤脚部の地盤低下量を考慮しなければならない。地盤低下量の将来予測は、深淺測量成果等の解析から得られる長期的な傾向や等深線変化モデルなどによる予測計算をもとに検討する。

出典:緩傾斜堤の設計の手引き(改訂版), H18.1, p.50

同手引きでは、“短期的な地形変動と局所洗掘を合わせた最大洗掘深”について、“のり尻が陸上部(M.W.L以上)の場合、 $\Delta h_{\max}=1\text{m}$ とする場合が多い。”とあり、最低でも1m以上の根入れ深さが必要としている。

しかし、二の倉地区では、表法先を現地盤から1mの根入れ深さまで突込むと、基礎天端高がL.W.L以下となる区間が多く、施工費用が増大すると考えられた。このような状況に対し、同手引きでは以下の対策を挙げている。

なお、上記の方法により求めた所要の根入れ深さが大き過ぎて施工が困難になるような場合には、1m以上の根入れ深さを確保したうえで、根固工による洗掘防止を行うこともできる。

出典:緩傾斜堤の設計の手引き(改訂版), H18.1, p.50

消波工を設置する工区では、前浜の侵食が著しい区間では表法先に捨石による工事用道路及び消波工を設置することとしている。この区間ではこれらを根固工相当と考え、基礎天端高を設定する。根入れ深さ、基礎天端高の設定フローを図 3.1.9-6、図 3.1.9-7に示す。

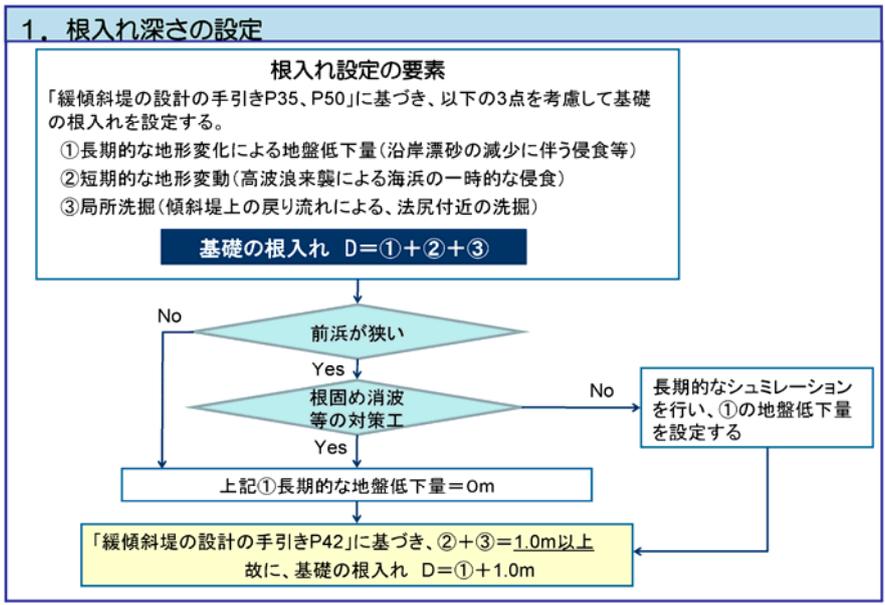


図 3.1.9-6 根入れ深さの設定フロー

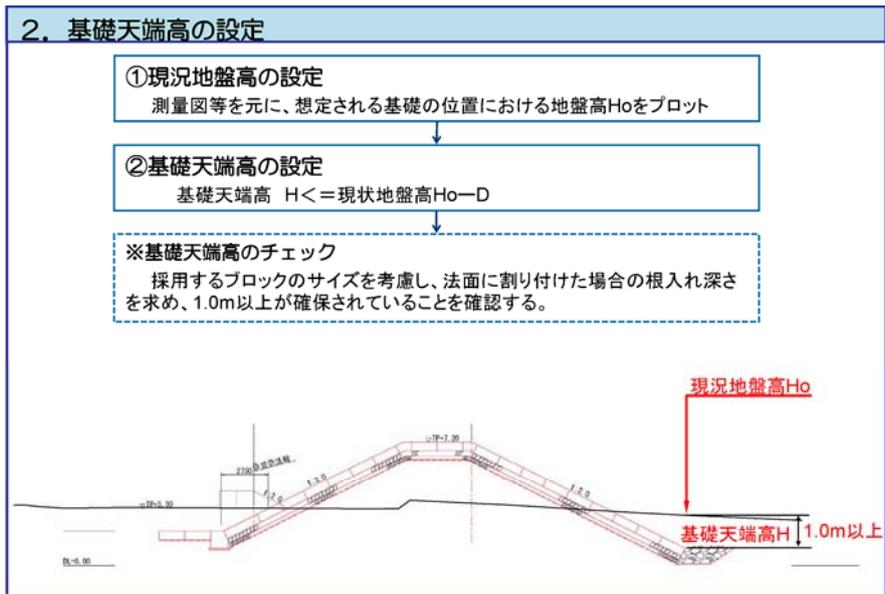


図 3.1.9-7 基礎天端高の設定フロー

前浜が狭い箇所では、仮設消波工(天端高 T.P.+3.25m 以上)及び工事用道路(天端高 T.P.+2.0m 以上)を設置するため、工事用道路の天端高を表法側地盤高とするものとする。

9.3 天端被覆工

堤防の天端には、原則として被覆工を設けるものとする。被覆工は、堤体を保護するとともに、堤体土砂の収縮や沈下に対しても順応できる構造とするものとする。

また、天端上の排水を考慮した形状とするものとする。なお、堤防天端を道路とし兼用する場合においては、予想される交通荷重に対して堤防の安全を維持するために必要な強度を有するものとする。

今次津波による堤防被災に至る傾向としては、堤防を越流した津波の流体力により裏側（陸側）法面のすべり・侵食、裏法尻部の洗掘、天端被覆工の流出・崩壊、堤防全体の被災に至る場合が多いようである。

既設堤防の天端工及び法肩部は、現場打ち構造で分離構造として整備されてきた。

しかし、国土技術政策総合研究所(国総研)の水利模型実験の結果により、堤防を全面的に被覆(三面張り)することで発生する揚圧力への対策を講じる必要があること、天端被覆部と法肩部を一体化する構造が望ましいことが判明したため、天端被覆工は法面の天端工と一体化し、天端部に空気孔を設けることで越流水と堤体内の揚圧に対して粘り強い構造とすることとした。

従って、天端工と法肩部は現場打ちで一体構造とし、部材厚は表法被覆工と同等機能を確保できるよう50cmとする。

堤防天端被覆工の構造諸元は表 3.1.9-3に示すとおりである。

表 3.1.9-3 堤防天端被覆工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
構造形式 (図 3.1.9-8参照)	法肩部のコンクリート一体構造 ▶ 鉄筋金網の設置	国総研水利模型実験結果より 負圧や揚圧力等の作用力に抵抗するため一体化
厚さ	0.5m	国総研水利模型実験結果より 表法被覆工と同等の厚み・重量を確保
裏込材	割栗石(5~15cm)t=30cm 裏込碎石(RC-40)t=20cm	国総研水利模型実験結果より

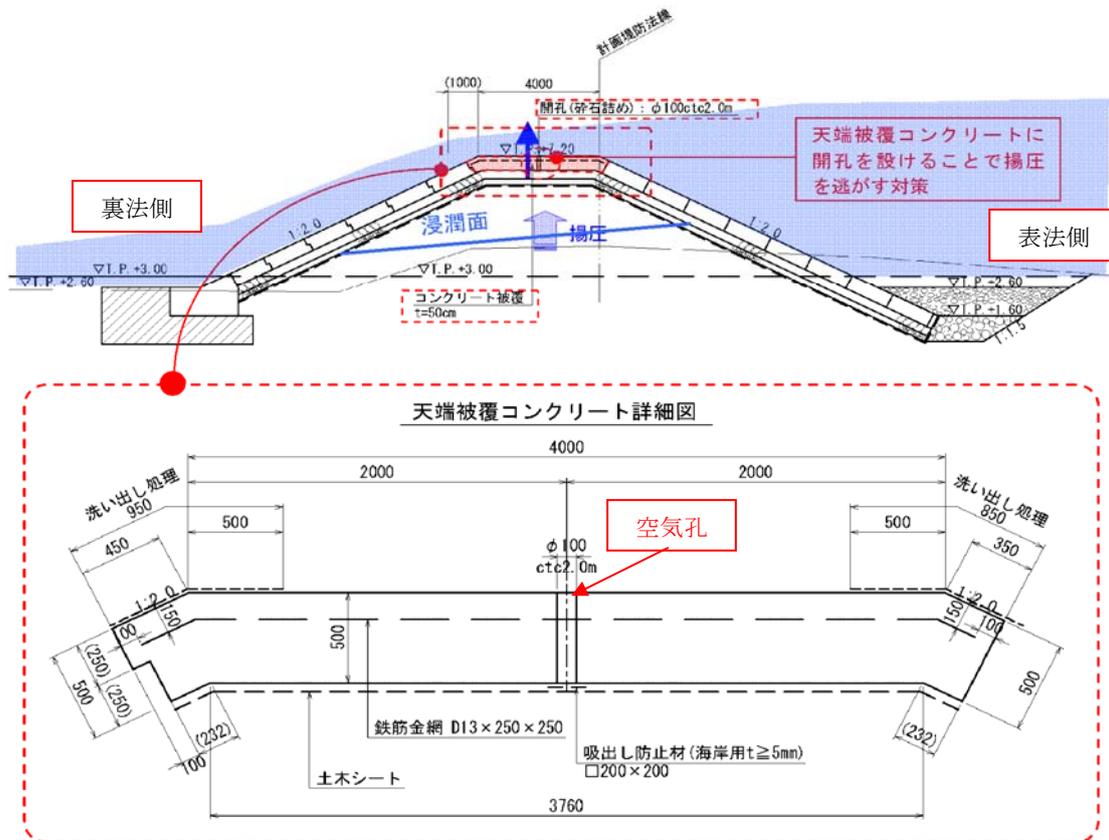


図 3.1.9-8 天端被覆工の構造

(4) 揚圧力への対応の必要性

津波が襲来して、海側の水位が上昇すると、その水位上昇に連動して堤体下の浸潤面が上昇を始めます。元の浸潤面が地盤内で高かった場合などには、浸潤面が比較的早く堤体下部に達することになります(図-9 参照)。たとえば吸い出し防止などの理由から、被覆工を不透過・不透気構造にしていたとすると、その被覆工と浸潤面とに囲まれたところに空気が残留し、一方、浸潤面は海側の津波水位に応じて、ある速度で上昇しようとするので、たとえ浸潤面自体は低くても、封入された空気の圧力が上昇します。空気圧は、浸潤面上昇を止めるだけの圧力となり、それは、図-9 に示す堤体下部からの水圧の平均に匹敵するものになり、被覆工にとって危険なレベルの揚圧力が作用する状況になり得ます。

このようなことが原因となる被覆工の不安定化が起こらないように、空気圧を有害なレベルまで上げずに浸潤面上昇に伴う排気を許すような透過・透気性を被覆工に持たせるという検討と工夫が重要になってきます。

完全な遮水・遮気機能を持つ被覆工というのは、必ずしも一般的ではないかもしれませんが、たとえば、コンクリート平張りのように、一般に用いられる構造に属するものの中でも比較的透過・透気性が低くなる構造もあり、そうした工法の採用を検討する際には、透気性を被覆工に持たせることの検討を、その必要性の有無も含め意識的に行い、検討の抜けが生じないようにすることが重要です。

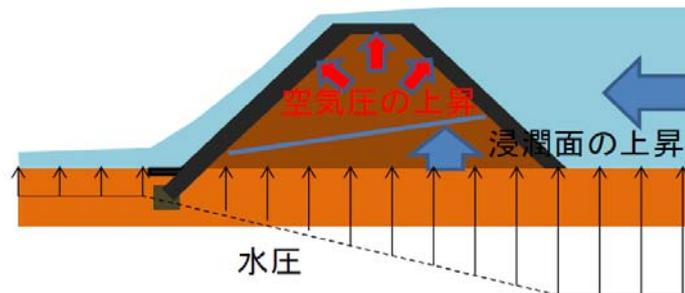


図-9 空気による揚圧力

また、写真-6のように、裏法尻の保護工に水密性材料を用いる場合、跳水によって保護工の直上よりその陸側の方が水位が高くなり、陸側の水圧が保護工と地盤との隙間に伝わり、これによって生じた、保護工上下面の浮力を超過した水圧差が揚圧力として作用することで、保護工が流失する場合があります。このような揚圧力に対する考慮も必要です。



写真-6 跳水に伴う水位差による揚圧力

図 3.1.9-9 国総研水理模型実験結果(揚圧力への対応の必要性)(1/2)

一体化したケースでは、天端被覆工は流失しませんでした。裏法肩の負圧対策の一つとして、図-13 のように裏法肩と天端を一体化した構造が考えられます。

このような方法が有効となる理由と条件は次のようです。図-12 からわかるように、静水圧を大きく下回り、さらに負圧となるのは、裏法肩を中心とする一定範囲です。こうした負圧の範囲にブロックの1単位が対応してしまう状況ですと、それ単独で負圧という不安定化条件に対抗することになり、安定化を図る上で明らかに不利になります。そうではなくて、周辺との連続、あるいは、ブロック単位の拡大などによって、負圧でない領域も合わせたブロック単位とすれば、全体として不安定化条件が緩和されます。このように、水理的に不安定になりやすい特性を持つ場所が局在する場合には、そこで構造体を完結させずに、周辺まで広げて、安定上有利となる条件を作り出すことがポイントとなります。逆に言うと、負圧の範囲が越流水の増大とともに拡大すれば、一体的構造とすべき範囲がどんどん広がり、被覆工構造の簡易修正というレベルを超えてしまうかもしれません。ここに、この改善法の限界も存在することになります。

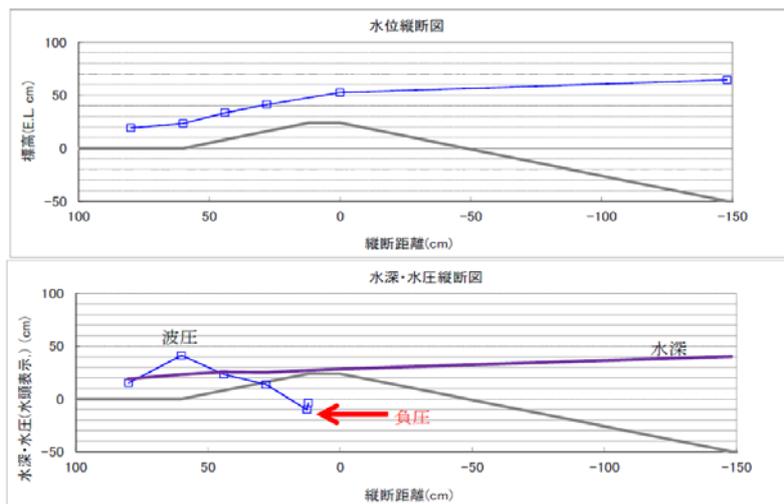


図-12 模型実験における水位・水圧の岸沖方向分布（堤体高 24cm，越流水深 40cm）

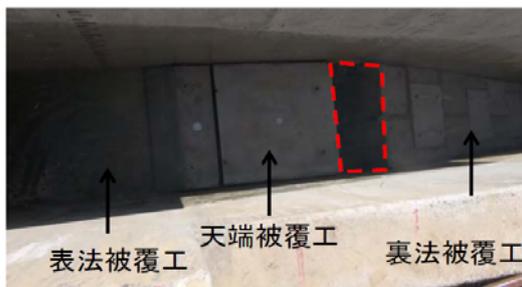


写真-8 法肩のブロックを天端被覆工と連結しないケース（高落差実験水路）



写真-9 法肩ブロックを天端被覆工と一体化したケース（高落差実験水路）



図-13 負圧に対する法肩部分の工夫案

図 3.1.9-10国総研水理模型実験結果（揚圧力への対応の必要性）(2/2)

9.4 護岸(裏法面被覆工)

護岸(裏法面)には、原則として被覆工を設けるものとする。被覆工は、堤体を保護するとともに、堤体土砂の収縮や沈下に対しても順応できる構造とするものとする。

国総研による水理模型実験結果より、裏側(陸側)法面の被覆材料に不陸(凹凸)が生じた場合には、越流水による作用を受け、材料がめくれ、消失する可能性があるとして、ブロック上下をかみ合わせるタイプの二次製品の使用により不陸が生じる可能性を減じ、安定性を増すことが望ましいとされた。

以上の経緯を考慮し、最終的に上下かみ合わせタイプの 2t型コンクリートブロックを用いることとした。

裏法被覆工の構造諸元は表 3.1.9-4に示すとおりである。

表 3.1.9-4 裏法被覆工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
被覆工形式 (図 3.1.9-11参照)	コンクリートブロック張 <ul style="list-style-type: none"> ➤ ブロック間の連結無し ➤ 上下かみ合わせブロック 	国総研水理模型実験結果より不陸が生じても流れをまともに受ける面が生じにくいように、上下流に切欠きを設け、流れの下流側のブロックが上流側のブロックよりも突出しにくい構造を採用
ブロック重量	2t 型(公称)	表法被覆工と同等の重量を確保
厚さ (図 3.1.9-11参照)	0.5m	国総研水理模型実験結果より
裏込材 (図 3.1.9-11参照)	割栗石(5~15cm)t=30cm 裏込碎石(RC-40)t=20cm	国総研水理模型実験結果よりフィルター層として設置

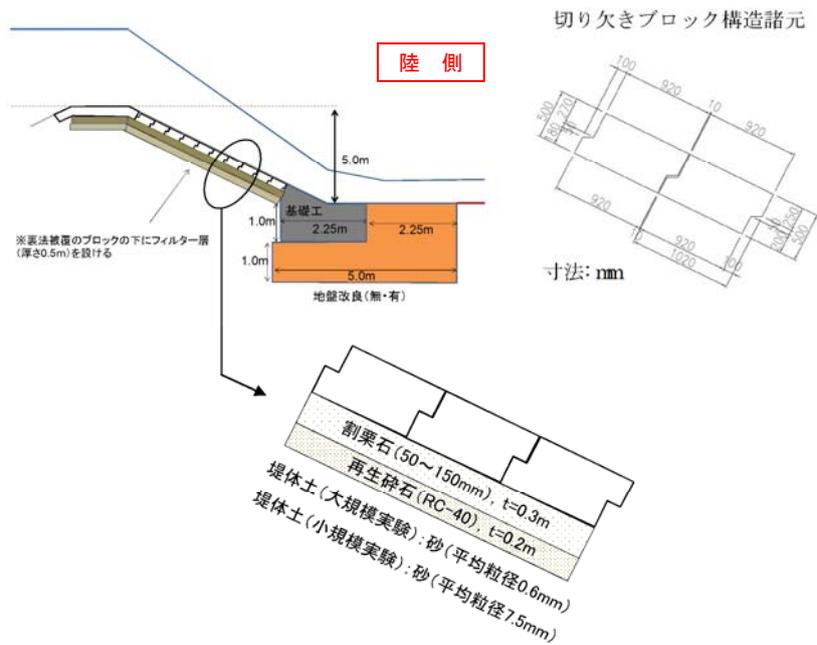


図 3.1.9-11 裏法構造断面

「国総研技術速報(第2報)」裏法面被覆構造(陸側)

3.6.2 天端被覆工および裏のり被覆工

堤防の天端および裏のり、また、護岸の天端には、原則として被覆工を設けるものとする。被覆工は、堤体を保護するとともに、堤体土砂の収縮や沈下に対しても順応できる構造とするものとする。また、天端上の排水を考慮した形状とするものとする。なお、堤防天端を道路として兼用する場合においては、予想される交通荷重に対して堤防の安全を維持するために必要な強度を有するものとする。

2. 盛土は、一般に年月が経つと収縮または、沈下することがあり、被覆工の裏側に空洞が発生する場合があります。これは、被覆工に亀裂を生ずる原因となり堤防の弱点となる。これを避けるためには、盛土は十分に締め固めるとともに、盛土が十分収縮沈下するまで待つて被覆工を施工するか、あるいは構造上沈下に順応できる被覆構造とする必要がある。しかし、一般には盛土した後そのまま長時間放置することができないのが実情であり、またかなり長時間放置できたとしても、盛土がその後、僅少の収縮も沈下もないということはありません。被覆工は図7-58のように、盛土の収縮、または沈下に適応できる構造とすることが必要である。

天端被覆工の排水が必要なことはいままでのまではないが、排水のためには、陸側に3~5%程度の片勾配を付けるのがよい。排水工については、本章3.6.9排水工による。

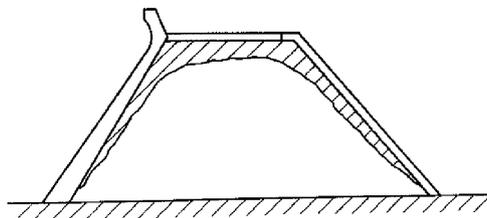


図 7-58 天端工接点の処理

図 3.1.9-12 堤防法面工の一般的基準

3. 検討の範囲と方法

(1) 検討の範囲

本報においては、図-1のように、台形断面の堤防の裏法尻の洗掘と裏法被覆工の安定性に着目し、対洗掘抵抗性と安定性向上のための工夫および留意点について検討した結果を述べています。

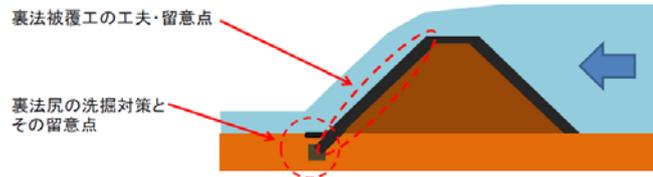


図-1 検討項目

(2) 検討の方法

本報に示す検討は、主として、水理模型実験により行っています。

模型実験は、国土技術政策総合研究所内にある以下の水路で行っています。構造物実験水路(写真-1)は、側面がガラス張りとなっているため洗掘や被覆工被災の過程を視覚的に確認できるとともに、現地で越流水深10mに相当する高い津波を起こすことができます。一方、高落差実験水路(写真-2)は、実現象に近いスケールでの実験が可能です。前者は縮尺1/25、流速の縮尺が1/5、後者は縮尺1/2、流速の縮尺が約1/1.41です。

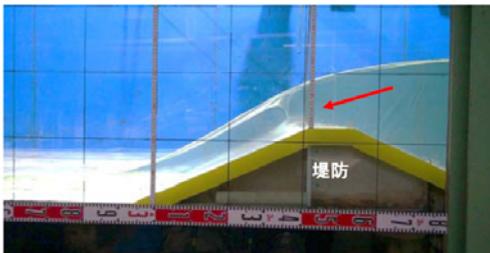


写真-1 構造物実験水路(縮尺1/25)



写真-2 高落差実験水路(縮尺1/2)

模型実験では、東北地方太平洋沖地震を対象とした仙台平野南部での津波浸水シミュレーションの結果をふまえ、現地スケール換算での越流時間を10分とした水位波形を設定しています。その上で、最大越流水深を複数種類設定して実験を行っています。この水位波形の設定からもわかるように、津波の基本的性質上、堤防越水の継続時間は、洪水がもたらす河川堤防越水の継続時間と比較してかなり短いものになっています。

10分という越流時間は、構造上の工夫を検討するための実験上の設定であり、本検討の目的に照らして必要な代表性を持つと判断していますが、実際にはこれより長い越流時間となることも考えられます。実験結果の解釈においては、越流時間が長くなれば堤防に対するダメージの度合いも変化してくる可能性を踏まえておく必要があります。

4. 越流に対し粘り強い構造の留意点

(1) 裏法および裏法尻での高流速

津波が堤防を越流する際には、裏法および裏法尻では速い流れが発生します。

図-2は高さ24cm(現地スケールで6m)および高さ36cm(現地スケールで9m)の堤防模型について、裏法および裏法尻の各点で計測されたピーク時の水深と上流端での流量から流速(断面平均)を計算した結果です。裏法では200cm/s程度(現地スケールで10m/s程度)、裏法尻では250~300cm/s(現地スケールで12.5~15.0m/s)の流速となっています。

図 3.1.9-13 国総研水理模型実験結果(裏法構造)(1/3)

このような速い流れによる裏法尻での洗掘および被覆工の流失への対応を検討する必要があります。

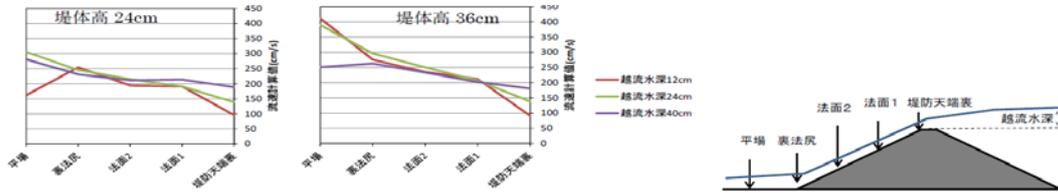


図-2 裏法および裏法尻での流速（裏法勾配 1:2）

(3) 流れの中に置かれた構造物の不陸による構造物の不安定化とその対策

図-6のように、裏法被覆工に凹凸が生じると、流れによる力を受けることになります。このような力をまともに受ける面ができると、越流により作用する力が大きくなるほど、そのことによる被覆工不安定化の度合いが大きくなります。すなわち、こうした面の出現は、不安定化する閾値を下げ、被覆工に関する粘り強さ発揮にとって不利になります。したがってこうした面、つまり、不陸を作らないことが重要です。また、図-7のように、不陸ができて逆段差になれば流体力をまともに受けられません、このことは構造上の工夫の1つのポイントになります。

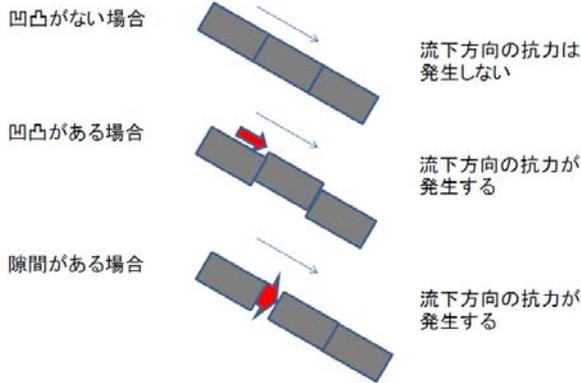


図-6 不陸による抗力の発生

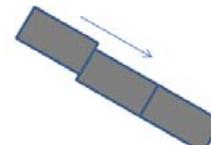


図-7 逆段差の例

裏法被覆工の不陸が生じる原因としては、裏法被覆工の下にある土砂の吸い出し、地震動、圧密等の経年変化が考えられます。

土砂の吸い出しについては、写真-5のように、模型実験においても確認されています。このケースでは、裏法被覆工は流失に至りました。

海岸保全施設の技術上の基準・同解説では、ブロック張りの裏法被覆工の裏込めは表法被覆工（裏込めの厚さ 50cm 以上）に準ずるとされています。裏法被覆工の下にフィルター層を設けることで、吸い出しをある程度抑制できるものと考えられます。



写真-5 吸い出しによって局部的に沈下した裏法被覆工（フィルター層無し）

図 3.1.9-14 国総研水理模型実験結果（裏法構造）(2/3)

このように吸い出しを抑制する対策は重要ですが、それだけで、広大な裏法被覆面において不陸の存在を越流発生時に最小限におさえこむ状況を達成するのは難しい可能性があります。したがって、必要に応じて、被覆工が設置された堤体等が多少の変形を起こしても、不陸が起きにくい、あるいは少なくとも、不陸が起こっても図-6に示すような流れをまともに受ける面を露出させるタイプではなく、図-7のようなタイプに限定されるような被覆工構造を工夫するという方をさらに重ねていくことも考えられます。その工夫の一例として、図-8のように上端と下端に切り欠けを設けたブロックをかみ合わせることで、下のブロックが上のブロックより突出しにくくすることが考えられます。

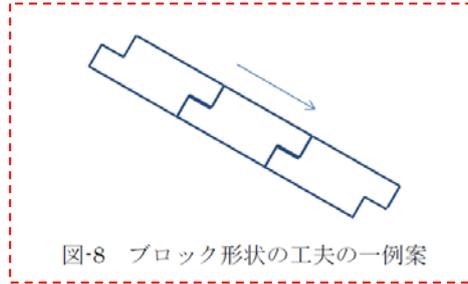
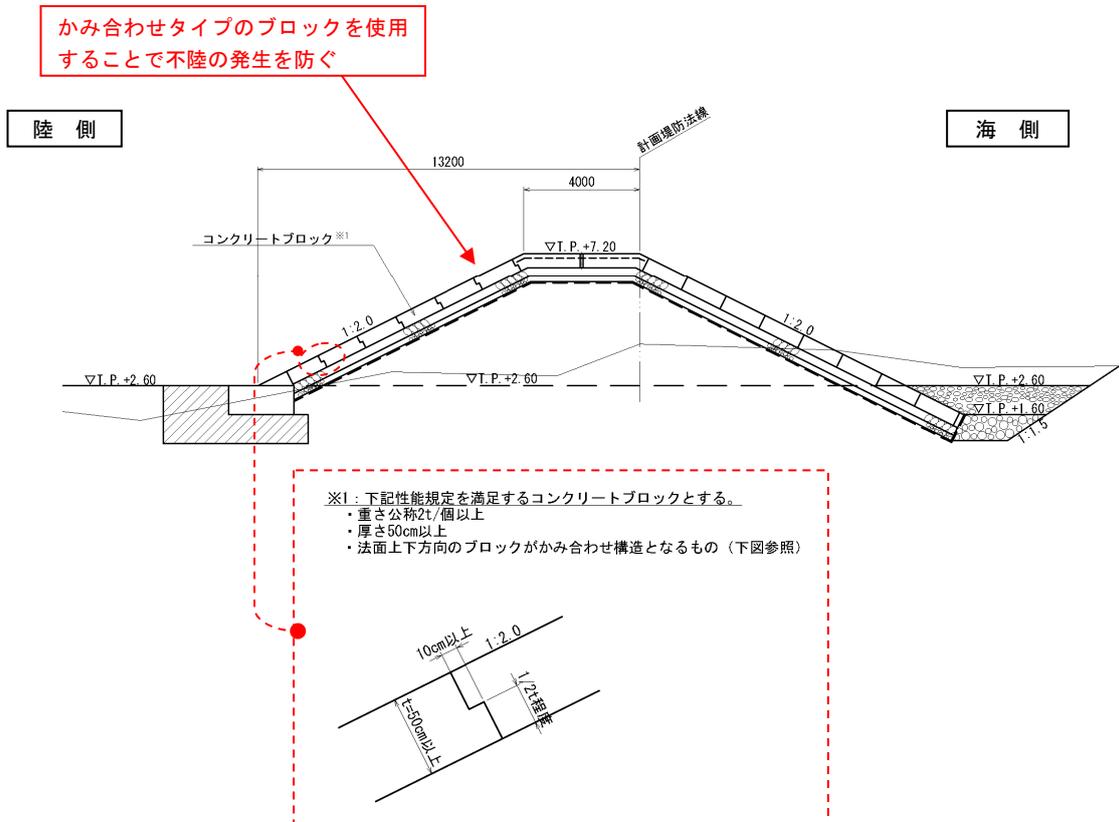


図-8 ブロック形状の工夫の一例案

図 3.1.9-15 国総研水理模型実験結果(裏法構造) (3/3)



「仙台湾南部海岸関上北釜地区堤防設計業務 報告書」より抜粋

図 3.1.9-16 裏法面被覆工の構造

9.5 裏側(陸側)基礎工

裏側(陸側)基礎工は、上部構造物を安全に支えるため滑動や沈下を防止するとともに、波による洗掘にも耐えうる構造として設計するものとする。また、基礎地盤の透水性が大きい場合には止水工を併せ設置するものとする。なお、緩傾斜堤の基礎工は、裏法被覆工の法先に設置されるものであり、洗掘に対して安全となるようにする。

津波により越波した海水が強大なエネルギーとなり同部が洗掘されることを防止することから下記の構造とする。

裏側(陸側)基礎工の構造諸元は表 3.1.9-5に示すとおりである。

表 3.1.9-5 裏側(陸側)基礎工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
基礎工 (図 3.1.9-17参照)	現場打ちコンクリート 幅 2.25m、高さ 1.0m ➤ 法面との一体構造	国総研水理模型実験結果より裏法を流下してきた越流水の流向を水平方向に変えるために法尻を連結箇所のない一体構造とした
基礎処理工 (地盤改良工) (図 3.1.9-17参照)	幅 5.0m、高さ 2.0m	国総研水理模型実験結果より流向を水平方向に変えるため、大きな負荷が作用する法尻部を地盤改良

(1) 基礎形式の検討

海岸堤防の裏側(陸側)基礎工は、表側(海側)基礎工と同様に、上部堤体を安全に支持して荷重を地盤へ均等に伝達する機能を有するとともに、種々の洗掘作用に対して安全な形式とする必要がある(「河川砂防技術基準(案)・同解説 設計編Ⅱ」参照)。

また、今時津波により越波した海水が強大なエネルギーとなり同部が洗掘されることが分かっている。

3.6.8 根 留 工

堤防の裏のり尻には、原則として根留工を設けるものとする。根留工は、裏のり被覆工の基礎としての機能、越波した海水によるのり尻洗掘防止の機能等をもつように設計するものとする。

解 説

1. 堤防の裏のりの移動、沈下などを防ぎ、かつのり尻を保護する目的で、裏のり尻には原則として根留工を設けるものとする。根留工としては、通常、場所打コンクリートが用いられる。
2. 根留工は、裏のり被覆工の基礎工ともいべきものであるから十分な大きさと根入れが必要である。堤内地の堤脚に沿って潮遊びや排水路がある場合においては、根留工の頂部が冠水しないように、平常の水位から0.3m程度高くする。
3. 根留工は、堤体の排水をよくする必要がある場合においては、原則として石積工にあつては空積みとし、コンクリート根留工にあつては排水孔を設け、かつ、裏込栗石を十分施すものとする。
「河川砂防技術基準(案)・同解説 設計編Ⅱ」より抜粋

国総研による水理模型実験結果より、基礎部には、法尻部において高流速の越流水の流向を変えること、また、流向を変えることによる流体圧に抵抗できる構造が望ましいとされた。

以上を考慮し、図 3.1.9-17に示すようなコンクリート基礎と基礎周辺の地盤改良による形式が採用された。

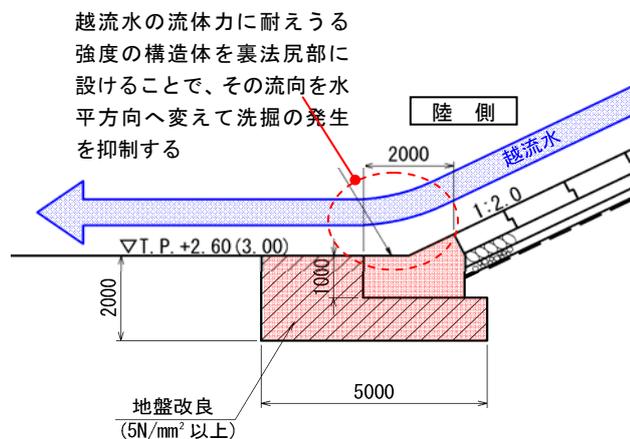


図 3.1.9-17 裏側(陸側)基礎構造

(2) 裏法尻での洗掘と対策

図-3は、高さ36cm（現地スケールで9m）の堤防模型の陸側での地形変化を、越流水深毎および裏法勾配毎に示しています。裏法尻の基礎工近傍50cm（現地スケールで12.5m）ぐらいまでの平均的な洗掘深は、越流水深とともに大きくなる傾向にあり、裏法勾配が1:2の場合、越流水深8cm（現地スケールで2m）では7cm（現地スケールで1.75m）、越流水深24cm（現地スケールで6m）では12cm（現地スケールで3m）でした。また、裏法勾配1:2より1:3の方が、洗掘範囲における最大洗掘深が小さいものの、洗掘範囲が広がる傾向が見られました。

裏法尻の基礎工位置（縦断距離0cm）での掘れ方は、堤体土の抜け出しの危険性を直接的に支配します。図-3の結果によれば、越流水深8cm（現地スケールで2m）を上回る辺りから、この位置での越流後の地形高さが-3cm（現地で-75cm）を下回るようになります。基礎工位置で、これだけの洗掘が起こると、通常の構造の海岸堤防では、基礎工が安定を失い、また、裏法被覆工下の堤体土が次々と抜け出し、被覆工の全体的流失につながる非常に危険な状況になると考えられます（図-3に示す実験においては、実験の都合上、そうした抜け出しが起こらないよう、鉛直壁を深く挿入しています）。裏法尻での洗掘は、そのスケールや最大洗掘深もさることながら、裏法被覆工末端の基礎工のところで、基礎工が基盤を失い、堤体土抜け出しを引き起こす洗掘深になるかどうかが大いなるポイントとなり、この実験結果からは、越流水深8cm（現地スケールで2m）辺りから、その危険性が顕著に増大すると言えます。

なお、越流による裏法尻での洗掘は、底質の粒径や越流の継続時間等によって変わりうることに注意が必要です。具体的に例示すると、次のようなことです。本実験（構造物実験水路）では、地盤の模型に粒径0.3mmのほぼ均一の砂を使用しています。これは、現地に換算すると粒径7.5mmの小礫に当たります。仮に現地の地盤が砂であったとすると、実験で用いた粒径が大きいという点で実験での洗掘がやや小さめに出ている可能性がある、また、現地材料に粘着性があったとすると、粘着性がないという点で実験の方が洗掘が起こりやすくなっている可能性がある、というような考察を踏まえての解釈が必要になるということです。また、図-3では越流後の地形を示していますが、越流が起こっている間、洗掘には周期性をもった変動を伴うことがあり、こうした時間変動の存在を加味した技術判断も必要に応じて検討すべきです。

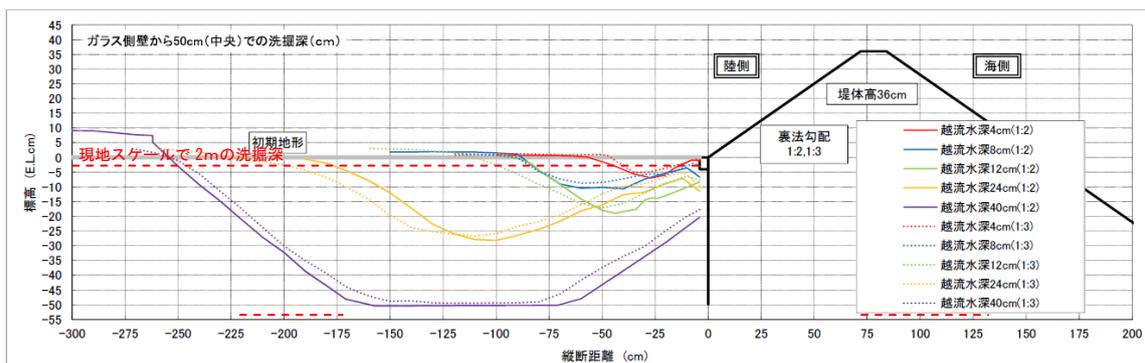


図-3 越流後の地形（堤体高36cm）

国総研技術速報 No. 1「粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討【第1報】」より抜粋

図 3.1.9-18 国総研水理模型実験結果(裏法尻での洗掘と対策)(1/2)

裏法での洗掘に対処するためには、裏法尻を保護することにより、しっかり越流水を跳ねさせることが重要です。水を跳ねさせることにより裏法尻の洗掘を堤防本体からなるべく遠ざけることで、裏法尻での洗掘が堤体破壊につながるという上述のプロセスを遮断もしくは遅らせ、堤防全体の裏法尻洗掘に対する抵抗性を増し、堤体が被災するまでの時間を延ばすことができると考えられます。

図-4は、高さ36cm（現地スケールで9m）の堤防模型において、水深8cm（現地スケールで2m）で越流した後の地形を示しています。裏法尻に保護工を置かないケース1では、裏法尻の基礎工の近くが大きく洗掘されています（写真-3）。一方、裏法尻に設置した保護工がほぼ原形を留めたケース3では、基礎工近傍の洗掘が保護工によって防止されました（写真-4）。

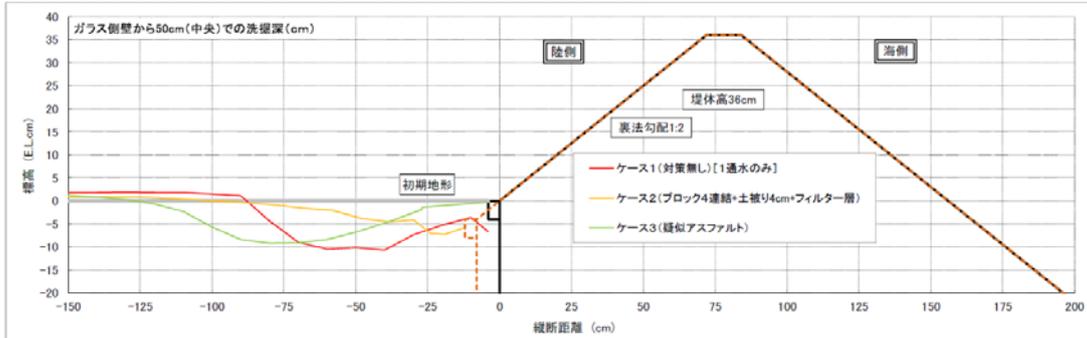


図-4 越流後の地形（越流水深8cm，堤体高36cm）
（破線：ケース2の基礎工）



写真-3 越流後の地形（ケース1）



写真-4 越流後の地形（ケース3）

裏法尻で越流水を跳ねさせるため、図-5のような構造が考えられます。

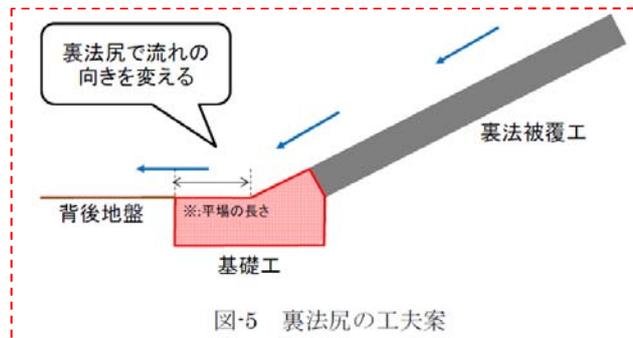


図-5 裏法尻の工夫案

この構造を検討する上で重要と考えられるポイントは以下です。

- 裏法を流下してきた越流水の流向を、地盤に突っ込まない向き（水平方向など）に完全に变えることが、洗掘影響を遠ざける上で重要であること。水脈厚さに対して平場の長さ（図-5参照）が相対的に短いと、流向の変え方が不完全になること。
- 高流速に加えて、流向を変えるための圧力が生じ、この構造体には非常に大きな流体力が作用すること。これによる構造体の変形や構造体全体の不安定化が起こると、期待していた効果が大幅に損なわれること。構造体が置かれた地盤に、こうした流体力が伝播・集中しての変形や吸い出しによる変形が生じ、その影響が構造体に及ぶ場合も同様であること。

国総研技術速報 No.1「粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討【第1報】」よ

図 3.1.9-19 国総研水理模型実験結果(裏法尻での洗掘と対策)(2/2)

(2) 裏側（陸側）基礎天端高の設定

裏側（陸側）基礎工天端高は、現況最低地盤高を目安に設定する。

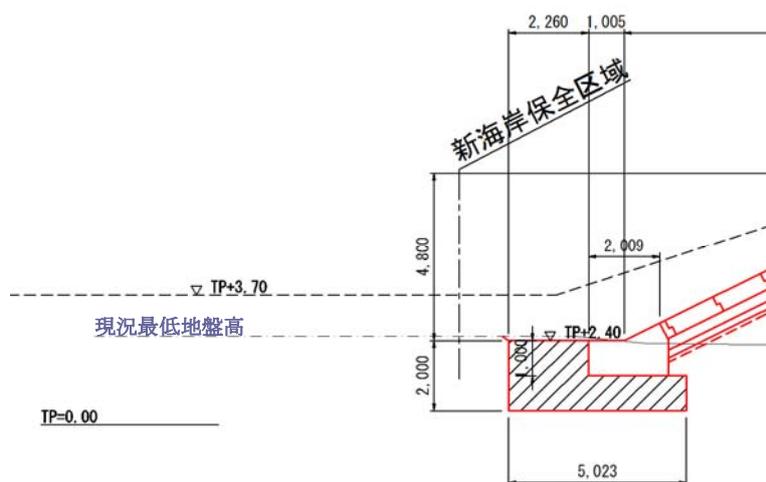


図 3.1.9-20 裏側(陸側)基礎工天端高の設定

9.6 基礎処理工(地盤改良工)

裏法基礎工については、越流水に対する洗掘対策として、基礎処理工を施す。

裏側(陸側)基礎工の法尻部において高流速の越流水の流向を変えることによる影響に対して、高さ2.0m×幅5.0m範囲の地盤改良による補強が必要となる。

地盤改良の強度としては、国土技術政策総合研究所(「国総研技術速報(第2報)」)よりによる実験結果より引張破壊応力 $4\text{N}/\text{cm}^2$ とする。

なお、現地の地盤の支持力強化のために浅層改良工法・高圧噴射攪拌工法・機械攪拌工法・薬液注入工法等が考えられる。

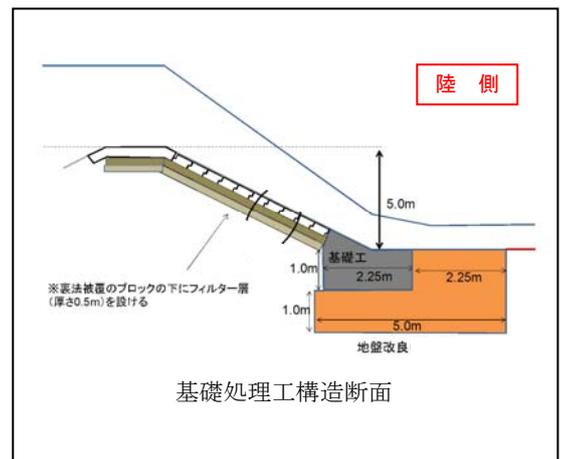
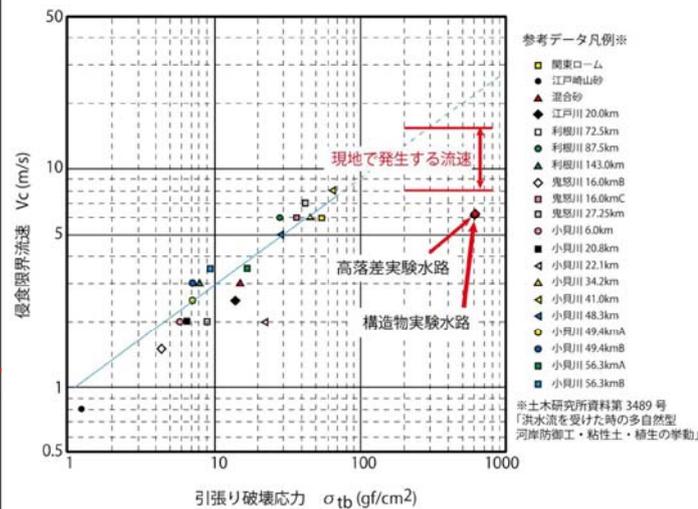
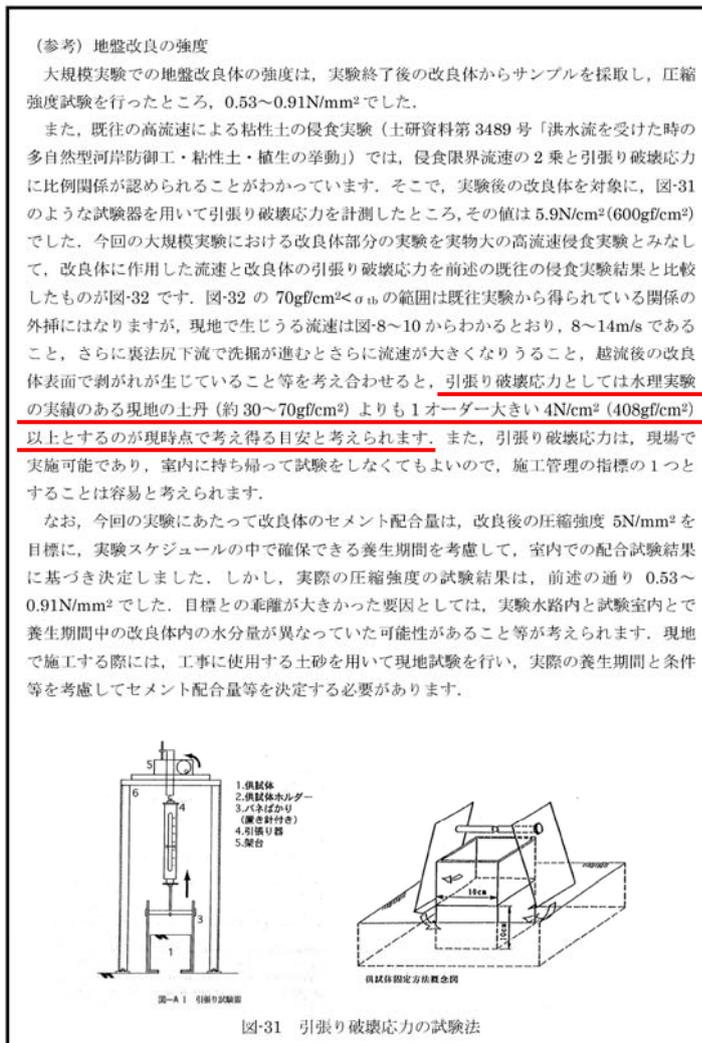


図 3.1.9-21 地盤改良強度 「国総研技術速報(第2報)」

9.7 付属物設置工

安全性や利便性への配慮から設置される付帯施設は、海浜や汀線など海岸景観を構成する本質的な要素(主役)とは異なる。そのため、これらの施設が必要以上に目立つことなく、堤防等と一体的に収まるようシンプルに整備する。

(1) 付属物設置工構造諸元

付属物設置工の構造諸元は表 3.1.9-6に示すとおりである。

表 3.1.9-6 付属物設置工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
隔壁工	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)設置間隔 約60m	景観手引きに準拠(調整コンクリートの倍数) 海岸建築物基準(50m~60m)
調整コンクリート工	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)設置間隔 約20m	景観手引きに準拠 法長に対する黄金比
階段工	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)設置間隔 約240m	管理用は実績および各種基準書を参考に設定 一般利用兼用は、景観検討マニュアルに準拠
銘板工	材質 JIS H 2202(鋳物用銅合金地金) 規格 W300×H200×t13	土木共通仕様書(3-2-3-25 銘板工)

(2) 階段等の付帯施設における景観配慮

【景観配慮の手引き】には、安全性や利便性への配慮から設置される階段等の付帯施設は、海浜や汀線など海岸景観を構成する本質的な要素(主役)とは異なる。そのため、これらの施設が必要以上に目立つことなく、堤防等と一体的に収まるようシンプルに整備すると示されている。

仙台湾南部海岸においては、隔壁工、調整コンクリート、階段工の間隔については

調整コンクリート :概ね 20m

隔壁工 :概ね 60m

階段工 :概ね 240m

として計画した。

これら隔壁工、調整工を法面の表面に突出させた縦のリブ模様を強調した表面処理を行うことにより、“安定感、支える感覚”を表現できる。

また、法面に陰影が生まれ明度を抑えるとともに、均等な間隔での分節化が視覚的なリズム感を生み、長大な印象の軽減に寄与する。

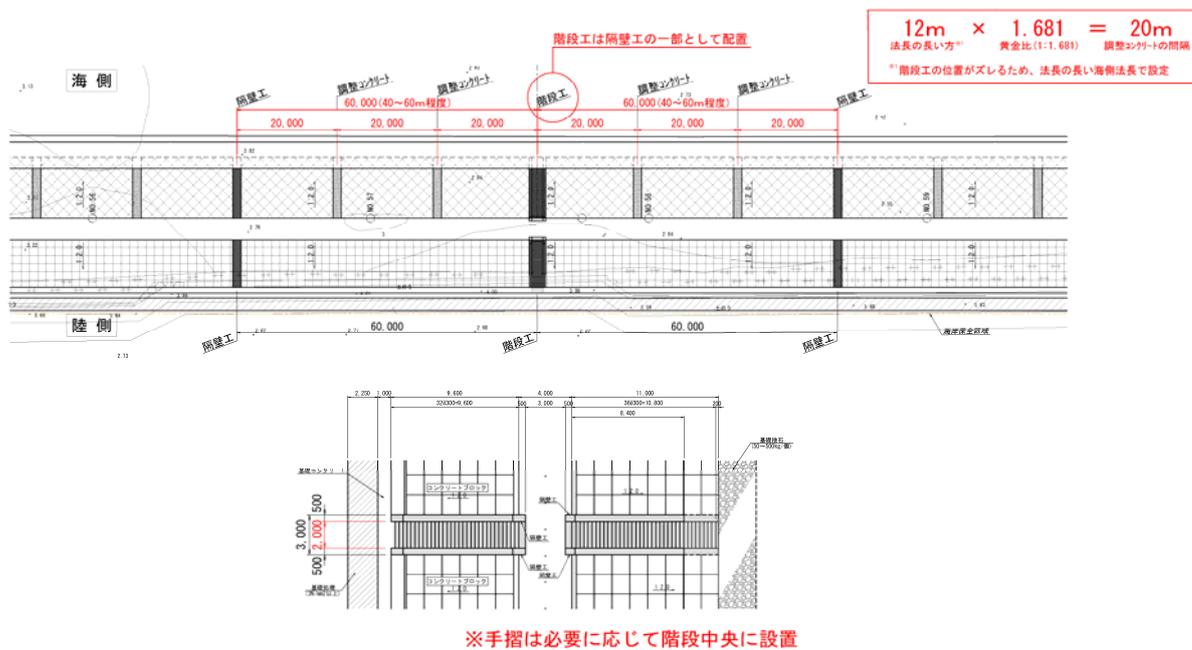


図 3.1.9-22 付帯施設の間隔と階段工の幅

(3) 隔壁工・調整コンクリートの配置

護岸には一定区間毎に隔壁工や調整コンクリート設け、護岸が被災した場合に護岸の破損が他に波及しないよう絶縁する。

「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き」より、堤防に隔壁工や調整コンクリートを設置する。直線的に連続する堤防は単調な景観となりやすいため、適度に分節し、「安定感、支える感覚」を表現できる。また、法面に陰影が生まれ明度を抑えけるとともに、均等な間隔での分節化が視覚的なリズム感を生み、長大な印象を軽減することができる。

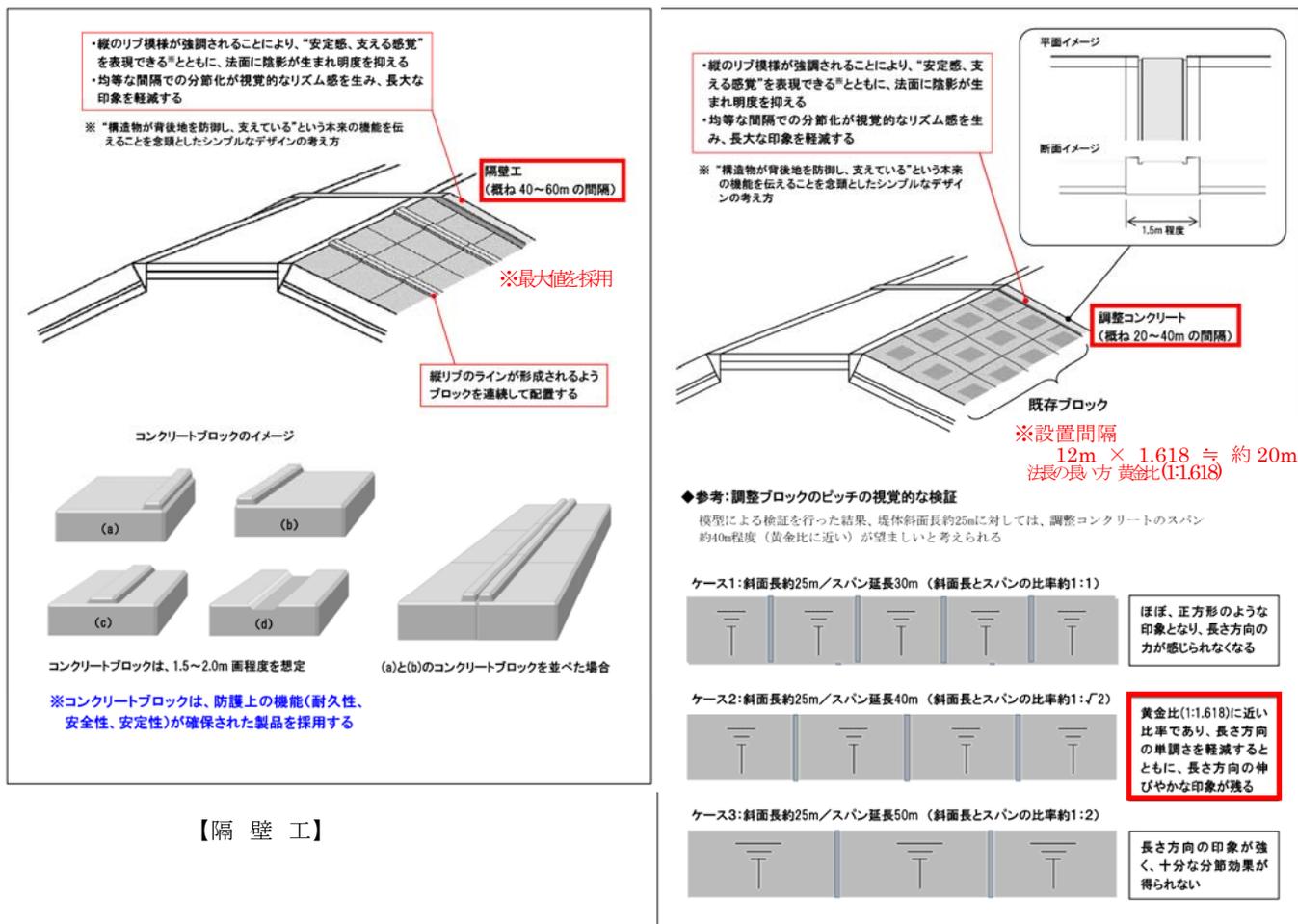
(4) 隔壁工・調整コンクリート構造諸元

隔壁工・調整コンクリートの構造諸元は表 3.1.9-7に示すとおりである。

表 3.1.9-7 隔壁工・調整コンクリート構造諸元一覧

工種		仕様・諸元	決定根拠
隔壁工	構造形式	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)	堤防被覆工部材厚 50cm 以上の確保および経済性を考慮し設定した。 なお、被災要因から推測すると、従来の構造形式は、被覆工としての機能を満足していたため、現場打ちコンクリート構造を基本とし、同等の機能を有するコンクリート二次製品も採用可とした。
	設置間隔	約60m	景観手引きに準拠(調整コンクリートの倍数) 海岸築造物基準(50m~60m)
	部材幅 (図 3.1.9-23参照)	1.5m	景観手引きに準拠
	部材厚 (図 3.1.9-23参照)	1.2m	被覆工としての機能確保より 50Cm 以上 被覆のり面より 20Cm の突起を確保(景観手引きに準拠)
	構造形式	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)	堤防被覆工部材厚 50cm 以上の確保および経済性を考慮し設定した。 なお、被災要因から推測すると、従来の構造形式は、被覆工としての機能を満足していたため、現場打ちコンクリート構造を基本とし、同等の機能を有するコンクリート二次製品も採用可とした。
調整コンクリート	設置間隔	約20m	景観手引きに準拠 法長に対する黄金比
	部材幅 (図 3.1.9-23参照)	1.5m	景観手引きに準拠
	部材厚 (図 3.1.9-23参照)	0.7m	被覆工としての機能確保より 50Cm 以上 被覆のり面より 20Cm の突起を確保(景観手引きに準拠)

調整コンクリートの配置間隔は、「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き」(図 3.1.9-23参照)より、陸側・海側の平均的な法長の長い方 12m に黄金比 1.618 を掛け約 20m とした。また、隔壁工の配置間隔は、調整コンクリート間隔約 20m の整数倍、かつ手引きにおける目安値の最大値を参考に約 60m とした。



出典:「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き P.19~20」

図 3.1.9-23 隔壁工・調整コンクリートの配置

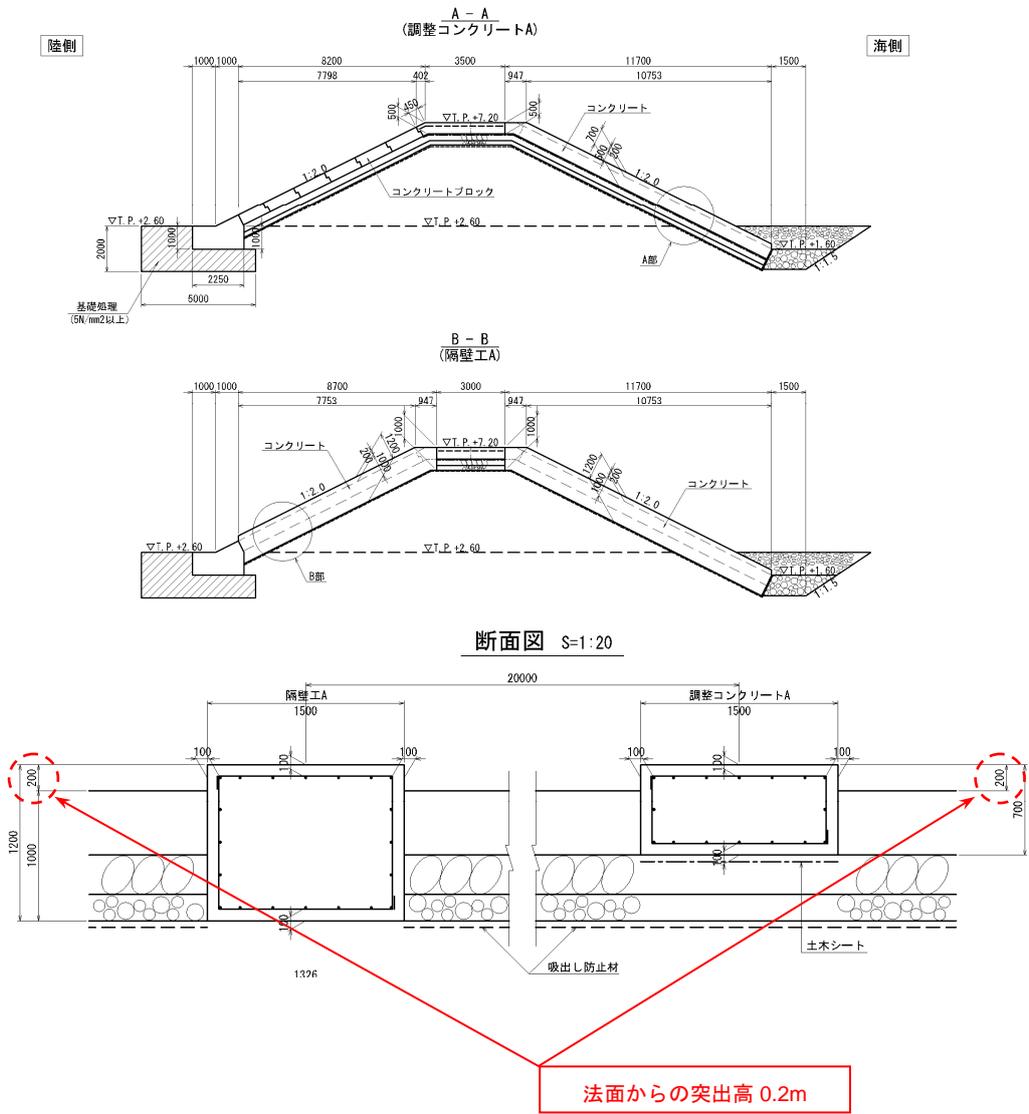


図 3.1.9-24 隔壁工および調整コンクリート構造図

(5) 階段工

1) 階段工構造諸元

階段工の構造諸元は表 3.1.9-8に示すとおりである。

表 3.1.9-8 階段工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
構造形式	現場打ちコンクリート構造 (若しくは、同等の機能を有するコンクリート二次製品)	堤防被覆工部材厚 50cm の確保および経済性を考慮し設定した。 なお、被災要因から推測すると、従来の構造形式は、被覆工としての機能を満足していたため、現場打ちコンクリート構造を基本とし、同等の機能を有するコンクリート二次製品も採用可とした。
設置間隔 (図 3.1.9-25参照)	約 240m	河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引きより概ね 100～300m に 1 箇所設けることを基本とし、視認性および隔壁工間隔約 60m の整数倍を考慮し設定した。
幅員構成 (図 3.1.9-25参照)	2.0m	河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引きより現況階段幅(2m)を踏まえ、管理上必要な幅として設定した。
蹴上げ	15cm	道路移動円滑化ガイドラインより現況と同様かつ管理者が安全に昇降できる高さとして設定した。
踏み幅	30cm	蹴上高と法面勾配(2 割)から設定した。

2) 階段工配置の考え方

仙台湾南部海岸の堤防復旧において、海岸利用や緊急時の避難を目的に設置される階段工の配置は、以下の考え方に配慮して設定する。

- ・海岸利用者が階段の所在を視認可能であること(図 3.1.9-25参照)
- ・津波等の災害発生時に迅速な避難が可能であること

以上を踏まえ、概ね 200m 間隔の配置が必要であると考え、景観からの隔壁工間隔約 60m、調整コンクリート間隔約 20m を勘案し、階段工の設置間隔は約 240m とする(施工延長、工区境界、坂路位置、管理施設へのアクセスに配慮した微調整あり)。

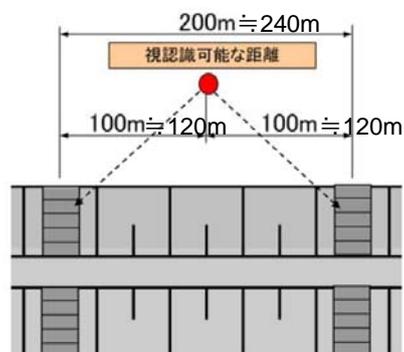


図 3.1.9-25 利用者が階段工を視認可能な間隔

(6) 階段等の付帯施設

◆基本的な考え方

安全性や利便性への配慮の観点から設置される階段等の付帯施設は、砂浜や汀線など海岸景観を構成する本質的な要素（主役）とは異なる。そのため、これらの施設が必要以上に目立つことなく、堤防等と一体的に収まるようシンプルに整備する。

また、階段等の付帯施設の配置は、背後地の土地利用や散歩、海水浴等での利用状況、津波時の避難等を踏まえて計画するとともに、長く続く海岸堤防の単調な景観を分節し適度なアクセントとなる景観上の効果も踏まえて検討することとする。

◆具体的な配慮方法

- ・ 付帯施設は、利用者の動線や滞留空間となることから、装飾等を行わずシンプルに見せることが基本となる。具体的には、海岸堤防天端の縁石と同様に、階段端部の帯工の表面を洗い出し処理したり、観光地や地域の拠点となる場では、自然石を活用したりするなど、景観的效果が高い処理を行うことが望ましい。
- ・ 階段等の配置は、背後地の土地利用、海岸の利用状況、津波時の避難等を踏まえて、概ね 100～300m に 1箇所設けることとする。 なお、直線的に長く続く堤防の場合は、縦のリブ模様の役割と同様に堤防法面にリズム感を与えるよう配置することが望ましい。また、海岸堤防の延長を考え、一連の海岸堤防の中心には設置しないなどバランスの良い位置に配置する。
- ・ 階段の幅員は必要以上の幅としないものとし、目安として、主要なアプローチ部 4～6m 程度、天端と砂浜の昇降用 2m 程度が考えられる。
- ・ 階段に手すりを設置する場合は、階段の中心部に設置する。
- ・ スロープについては、バリアフリーに配慮すべき地点への設置を検討することとする。なお、スロープ部は標準断面から突出した断面となるため、緩やかにすり付けるとともに、前後区間と連続した法面処理を行い、堤防と一体的な景観を形成することが望ましい。
- ・ 背後地に利用可能な空間が確保できる場合は、アプローチ路となる地点に緩やかに覆土し、海岸林、樹木等の活用と合わせて景観的な演出効果に配慮することも考えられる。

出典：「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き P.30」

図 3.1.9-26 階段等の考え方

階段幅 2m、蹴上げ高 15 cm



踏面 30 cm (2割法面勾配)



図 3.1.9-27 既設階段写真

「仙台湾南部海岸閑上北釜地区堤防設計業務 報告書」より抜粋

(6) 銘板工

1) 銘板工構造諸元

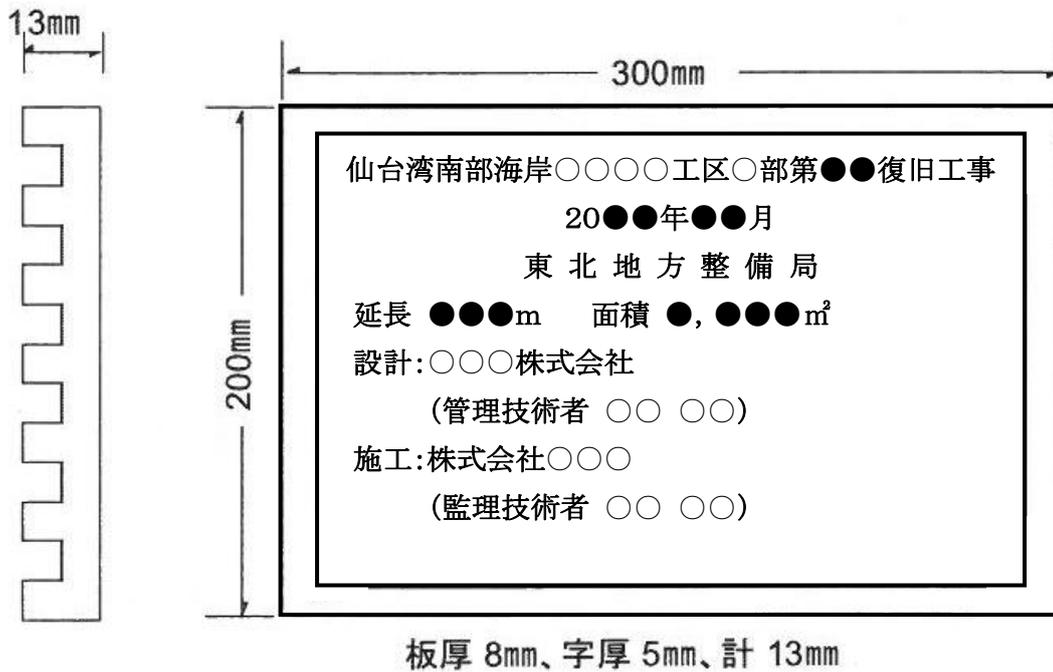
銘板工の構造諸元は表 3.1.9-9に示すとおりとする。

表 3.1.9-9 銘板工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
銘板工	材質 JIS H 2202 (鋳物用銅合金地金) 規格 W300×H200×t13	土木共通仕様書(3-2-3-25 銘板工)

2) 銘板工設置の考え方

銘板工の設置は、基本的に1工事1箇所とし、起点海側天端部に設置(埋込)する。



9.8 堤防接続

海岸堤防と河川堤防との接続部における摺付け区間を設定する、基礎高の変化により、直近の堤防法線変化点にすりつけると共に、新海岸保全区域として必要な設定幅の検討を行う。

(1) 設定方法

1) 名取川左岸（藤塚堤防）の設定方法

海岸堤防と藤塚堤防との接続部における新海岸保全区域は以下のとおり決定した。

- 海岸堤防の基礎工法尻から 4m を基本ラインとする(基礎コンクリート、地盤改良、坂路の腹付け盛土(坂路幅員 4.0m)などの陸側の海岸保全施設を全て網羅でき、かつ必要最小限の範囲設定)。

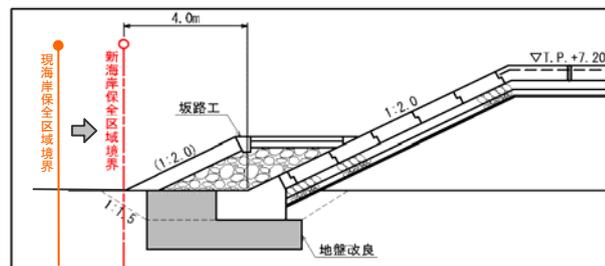


図 3.1.9-28 基本ラインの設定模式図

- No.40+40 で基礎高が変化し、北側の基礎高 TP+3.30m に比べ南側の基礎高 TP+2.00m が低いため、南側の基本ラインを延伸し藤塚堤防法尻との交点に変化点 5 を設定する。
- 変化点 5 から法線による変化点 4 に新海岸保全区域の境界線を擦り付ける。

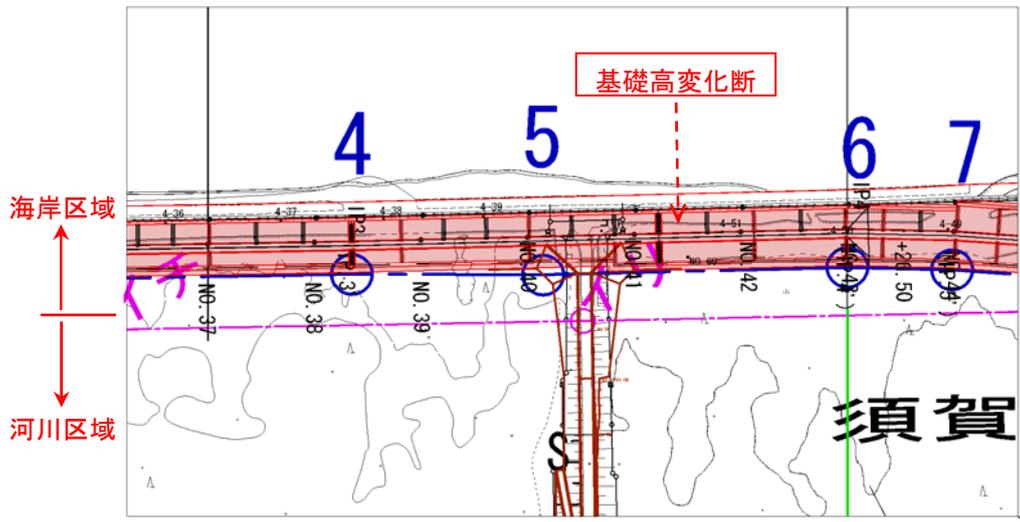


図 3.1.9-29 藤塚堤防の新海岸保全区域設定図

- 藤塚堤防終点部は、海岸計画堤防高 TP+7.20m に擦り付ける。
- 摺り付け勾配は、「河川管理施設等構造令 管理用通路」に準拠し 6%以下とする。
- 終点部には隅切りを設ける。隅切りは普通自動車(幅 2.5m、長さ 12.0m)の軌跡を考慮する。

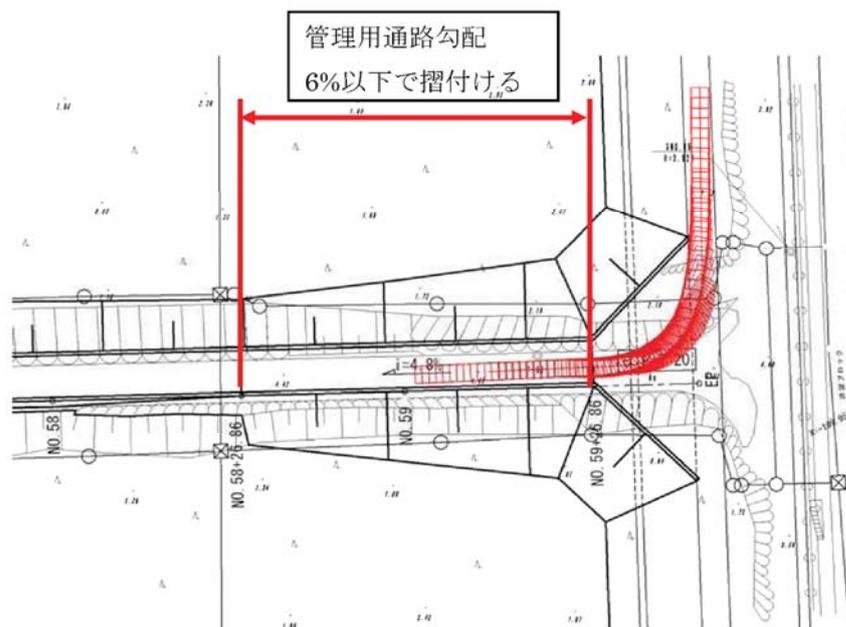


図 3.1.9-30 藤塚堤防摺り付け形状

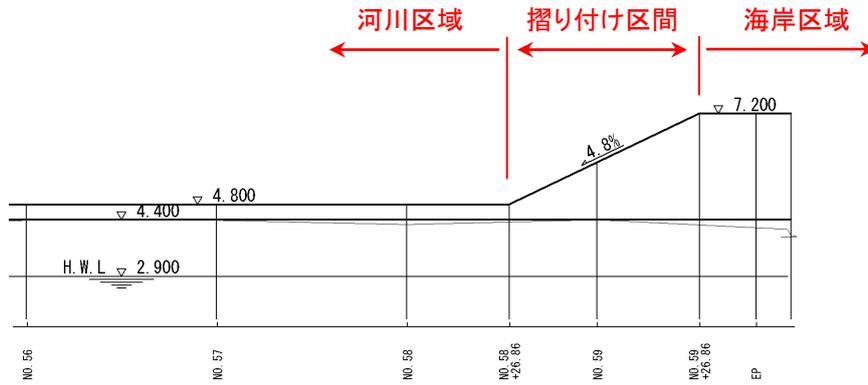


図 3.1.9-31 藤塚堤防摺り付け部縦断面図

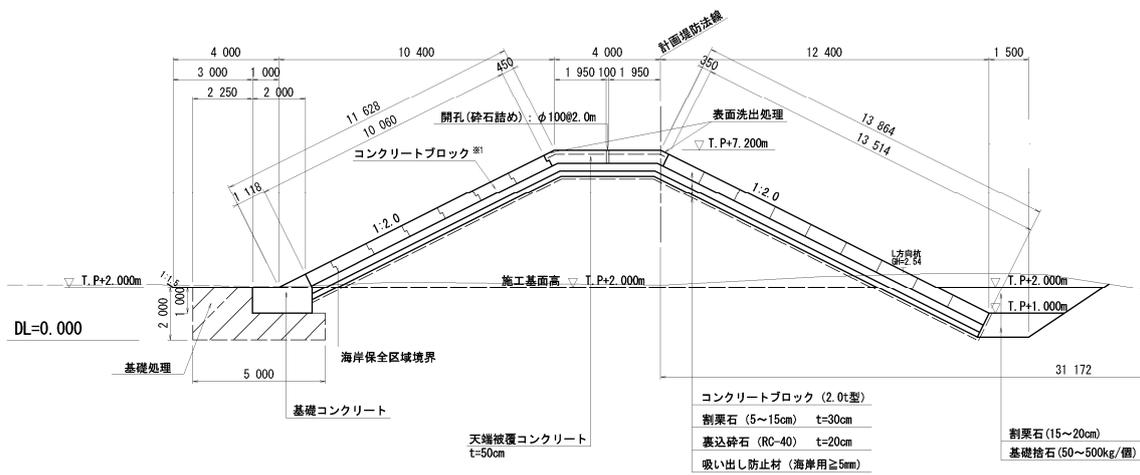


図 3.1.9-32 海岸堤防横断面図

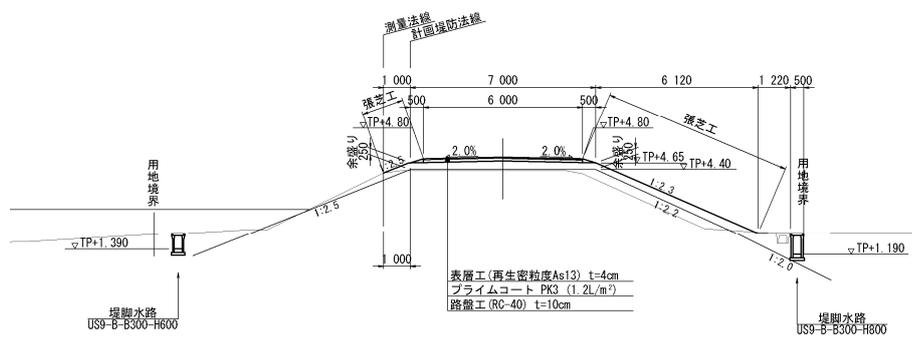


図 3.1.9-33 名取川(藤塚堤防)左岸横断面図

2) 阿武隈川左岸（寺島堤防）の設定方法

(A)新海岸保全区域の設定

海岸堤防と阿武隈川左岸堤防との接続部における新海岸保全区域は以下のとおり決定した。

- 海岸堤防の基礎工法尻から 4m を基本ラインとする(基礎コンクリート、地盤改良、坂路の腹付け盛土(坂路幅員 4.0m)などの陸側の海岸保全施設を全て網羅でき、かつ必要最小限の範囲設定)。

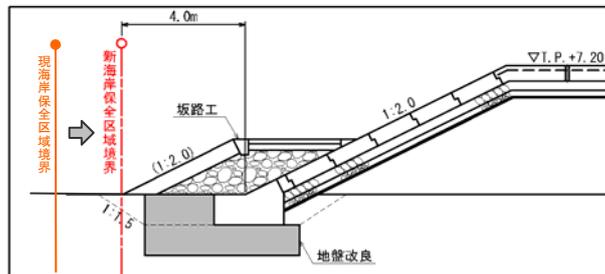


図 3.1.9-34 基本ラインの設定模式図

- 基本ラインと用地境界点 K-1、K1'を結ぶ線を新海岸保全区域と設定する。

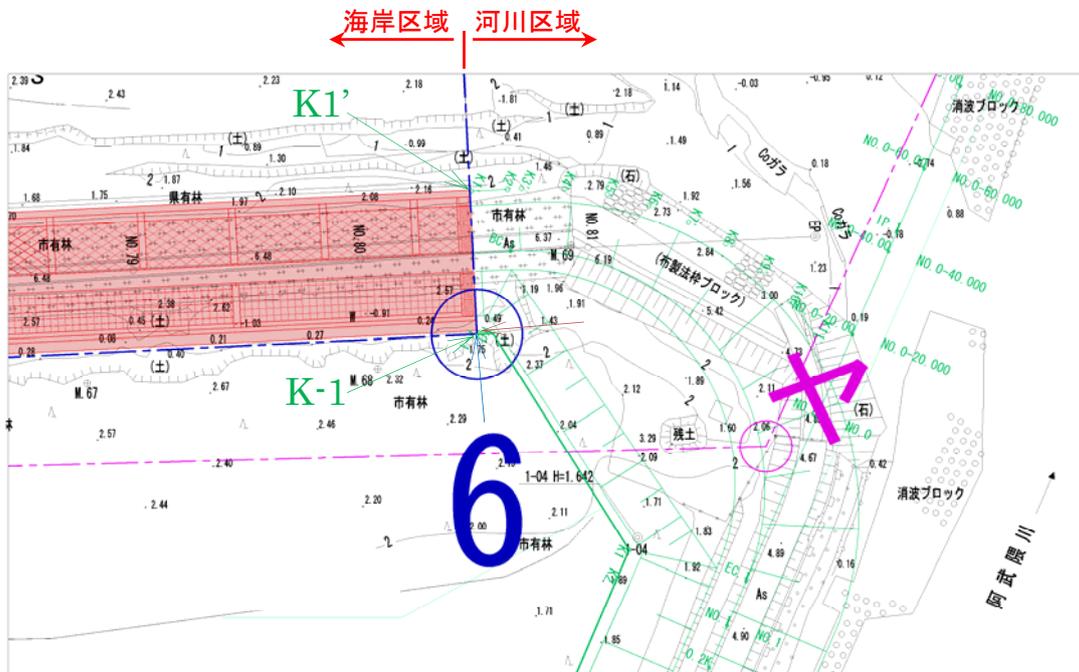


図 3.1.9-35 阿武隈川左岸堤の新海岸保全区域設定図

(B) 左岸堤防接続処理

a) 海岸堤防条件

○計画線形

蒲崎地区南端部の海岸堤防線形は既存堤防の法線を基本とし、細かい折れ点を連続する区間の折れ点を整理して設定した。蒲崎地区南端部の海岸堤防の表法肩法線は既存堤防の裏法肩法線に近い。(既設堤防よりもやや岸側に寄った位置になる。)

○計画断面

蒲崎地区海岸堤防の計画断面を下図に示す。

堤防天端幅4.0m、法面勾配は表、裏ともに1:2.0である。法面被覆工は表、裏ともにコンクリートブロック2tを用いる。表法基礎形式は捨石である。裏法面の基礎工は法尻保護を兼ねた大型基礎となっている。

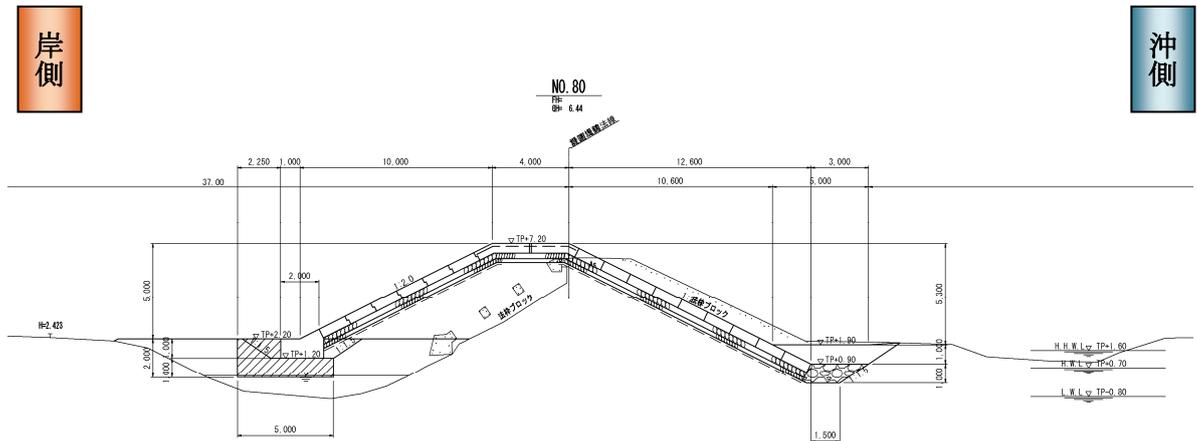


図 3.1.9-38 海岸堤防計画断面

b) 河川堤防条件(阿武隈川左岸)

○計画線形・配置

河川堤防は計画線形・堤防断面の配置について以下の方針を設定している。

- ・堤防法線は現況法線延伸を基本とする。
- ・河川距離標0.0kpより上流は定規断面以上の堤体とする。0.0kpより下流は条件無し・導流堤は現況復旧のみ行う。

○計画断面

阿武隈川左岸堤防の標準断面は下図のように設定されている。

法尻をコントロールポイントとして、法留基礎 B1000×H1000 を設置し、堤防天端幅は7.0m、法面勾配は表、裏ともに1:3.0である。(法留基礎:海岸保全施設の技術上の基準・同解説 P3-47/48 に準じる。)法面被覆は表法面がコンクリートブロック 2t+覆土、裏法面はコンクリートブロック 2t+覆土となっている。なお、川裏は海岸堤防と同様に裏込材を配置する。

川裏法尻部の洗掘対策としては粘り強い構造として、海岸堤防計画断面と合わせた構造とした。

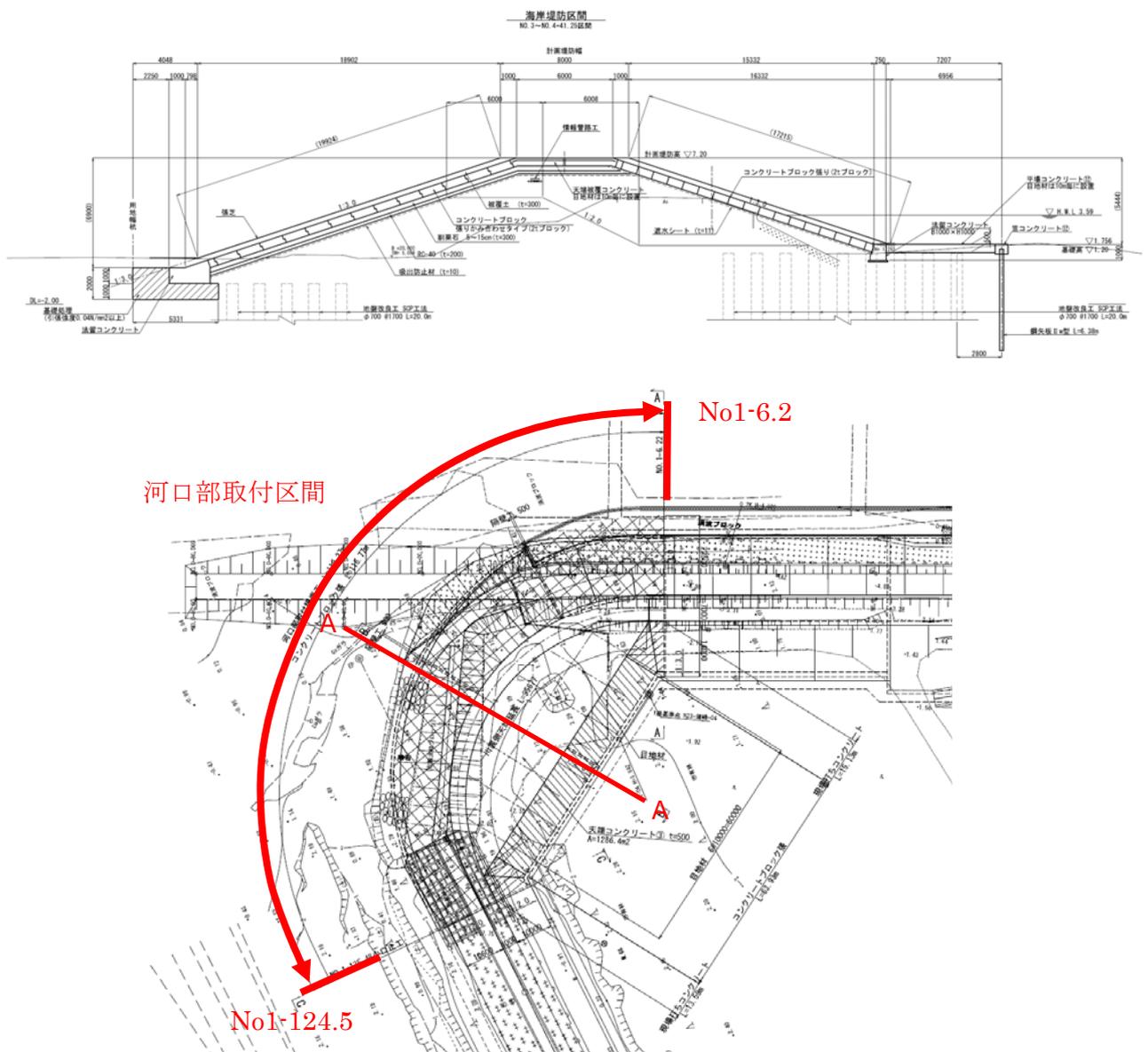


図 3.1.9-39 河川堤防（阿武隈川左岸）標準断面

上記平面図における計画断面図 A-A 断面を図 3.1.9-40に示す。

表法面基礎工天端高は T.P.+0.30 である。

また、平成 23 年 11 月測量の結果をより、付近の堤内地盤高は T.P.+2.0 前後であり、海岸堤防の堤内基礎高は、T.P.+2.2 として設定している。

海岸堤防との曲線接続部における堤内地盤高も同程度であることから、曲線接続部における川裏基礎高も、海岸堤防の堤内基礎高 T.P.+2.2 と合わせて設定するものとする。

また、川表法面は、No.1-6.22 から No.1-124.58 に向けて 3 割から徐々に 2 割勾配に摺り付けるとともに、川裏法面については、河川堤防と海岸堤防の接続部を挟み、一律 2 割勾配として設定するものとする。

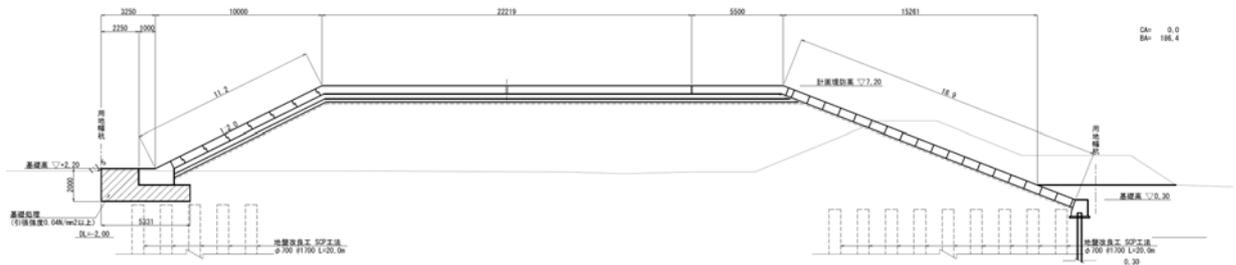


図 3.1.9-40 河川堤防（阿武隈川左岸）計画断面（A-A 断面）

C) 配慮事項の整理

○堤防基礎の配置

阿武隈川の河口は右岸から伸びた河口砂州によって左岸よりに流路があり、河口左岸は水衝部である。このため、計画堤防の基礎工は河道側に大きく前だしにならないように配慮する必要がある。



写真 3.1.9-1 阿武隈川河口空中写真（2006年9月撮影）

○法面構造

河川堤防終点部から海岸堤防へ接続する区間は法勾配が変化する。

コンクリートブロックで曲線接続する場合、割付が複雑になり、調整コンクリートを施す箇所が多くなり、安全性、施工性に影響する。

曲線区間を法枠構造とした場合、施工性は低下するが、安全性に関しては問題ない。

○管理境界

構造形式の変化点等に海岸区域、河川区域の管理境界を設定する必要がある。

○比較検討

上記の配慮事項を勘案し河川堤防への接続形状として以下の3案を抽出した。

接続方法の比較選定表を表 3.1.9-10に示す。比較検討の結果、施工性には劣るものの3案中最も安全性が確保される第3案を採用した。

【抽出案】

第1案 直線接続 :河川堤防を距離標 0.0k の下流側で堤体を直角に折り曲げ、海岸堤防に接続する。0.0kp より上流の河川堤防線形は直線であり、河川の終点が明確である。

第2案 曲線接続 A:河川堤防断面形状を維持したまま曲線で海岸堤防に接続する。堤防中心線形の曲線半径 $R=50\text{m}$ で概ね既設堤防の法尻付近に計画基礎工が配置される。曲線区間の途中に 0.0kp が配置される。

第3案 曲線接続 B:曲線接続区間の中で河川堤防断面(天端幅 7.0m、法勾配 1:3)から海岸堤防断面(天端幅 4.0m、法勾配 1:2)に断面を変化させ、擦付ける。曲線区間で勾配を変化させるため、法枠構造を想定する。

表 3.1.9-10 海岸堤防接続方法比較

		第1案 直線接続	第2案:曲線接続A	第3案:曲線接続B	
概要図					
概要		<p>河川距離標 0.0kp から下流側で 90 度法線を折り曲げ、海岸堤防に接続する。</p> <p>【概要図着色部分の面積】 コンクリートブロック 2t 被覆面積:8,400m² コンクリート張り h=0.5m 被覆面積:300m² 被覆工合計面積:8,700 m² 導流堤延長:48m</p>	<p>表法面は河川堤防断面を維持したまま海岸堤防まで曲線で巻き込む。堤防の勾配変化は海岸堤防の区間で行う。</p> <p>【概要図着色部分の面積】 コンクリートブロック 2t 被覆面積:8,600m² コンクリート張り h=0.5m 被覆面積:300m² 被覆工合計面積:8,900 m² 導流堤延長:64m</p>	<p>曲線接続区間の中で河川堤防断面(天端幅 7.0m、法勾配 1:3)から海岸堤防断面(天端幅 4.0m、法勾配 1:2)に断面を変化させ、擦付ける。曲線区間で勾配を変化させるため、法枠構造を想定する。</p> <p>【概要図着色部分の面積】 コンクリートブロック 2t 被覆面積:4,800m² コンクリート張り h=0.5m 被覆面積:3,500m² 被覆工合計面積:8,300 m² 導流堤延長:64m</p>	
安全性	河口水衝部	表法基礎が水衝部に出る。	×	表法基礎工は現況堤防とほぼ同じ位置に配置され、水衝部に突出しない。	○
	法面工	堤防法線が直線で構成されており、調整コンの設置箇所、量は最も少ない。	○	他の案と比較すると、被覆ブロック間の調整コンの量は多い。	△
施工性		堤防法線が直線で構成されており、施工性は良好である。	○	堤防法線の曲線区間のコンクリートブロック被覆部分では調整コンクリートが多くの箇所が必要となる。	△
経済性		被覆面積は第 2 案と第 3 案の間にある。	△	他の案と比較し、被覆面積が大きい。	×
景観※		堤防法線は直線で構成され、人工的で不自然な印象を与える。	×	海岸堤防と河川堤防は曲線で滑らかに接続し、安定した印象となる。	○
評価		—	2	—	3
					1

9.9 配慮事項への取り組み経緯

仙台湾南部海岸の堤防復旧では、震災以降に「粘り強い海岸堤防」、「景観・利用への配慮」について、検討会等で復旧方針が示されている。

「粘り強い海岸堤防」の検討経緯フローおよび標準断面を図 3.1.9-41、図 3.1.9-42に示す。粘り強い海岸堤防は、「海岸における津波対策検討委員会」の提言を受けて、国土技術政策総合研究所で実施した水理模型実験により細部構造が決定されている。

「景観・利用への配慮」の検討フローおよび検討イメージを図 3.1.9-43～図 3.1.9-45に示す。景観・利用への配慮は、「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き」を受けて、「仙台湾南部海岸の景観配慮方針」により細部構造や寸法が決定されている。

これらの配慮事項への取り組みは、東日本大震災以降に開催された検討会等において様々な議論がなされている。検討会等の検討経緯を表 3.1.9-11～表 3.1.9-13に年表として整理した。

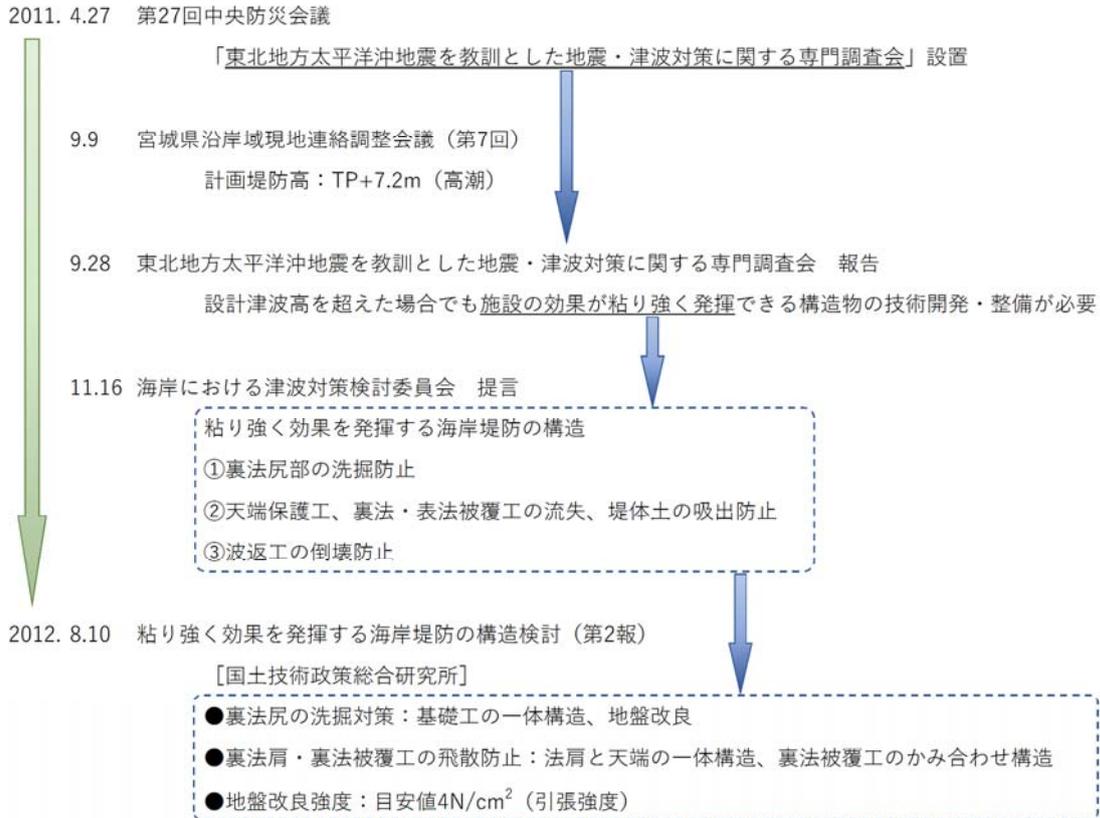


図 3.1.9-41 「粘り強い海岸堤防」の検討経緯フロー

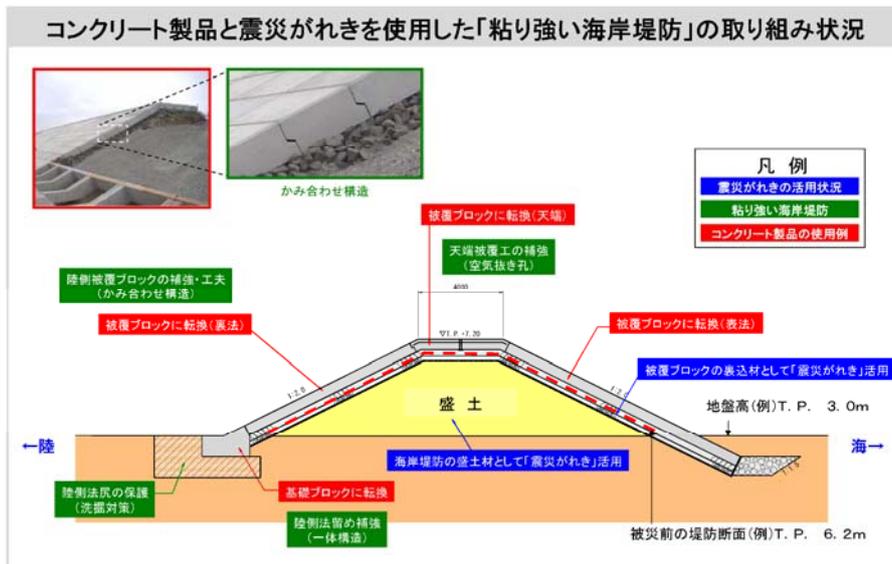


図 3.1.9-42 「粘り強い海岸堤防」の標準断面

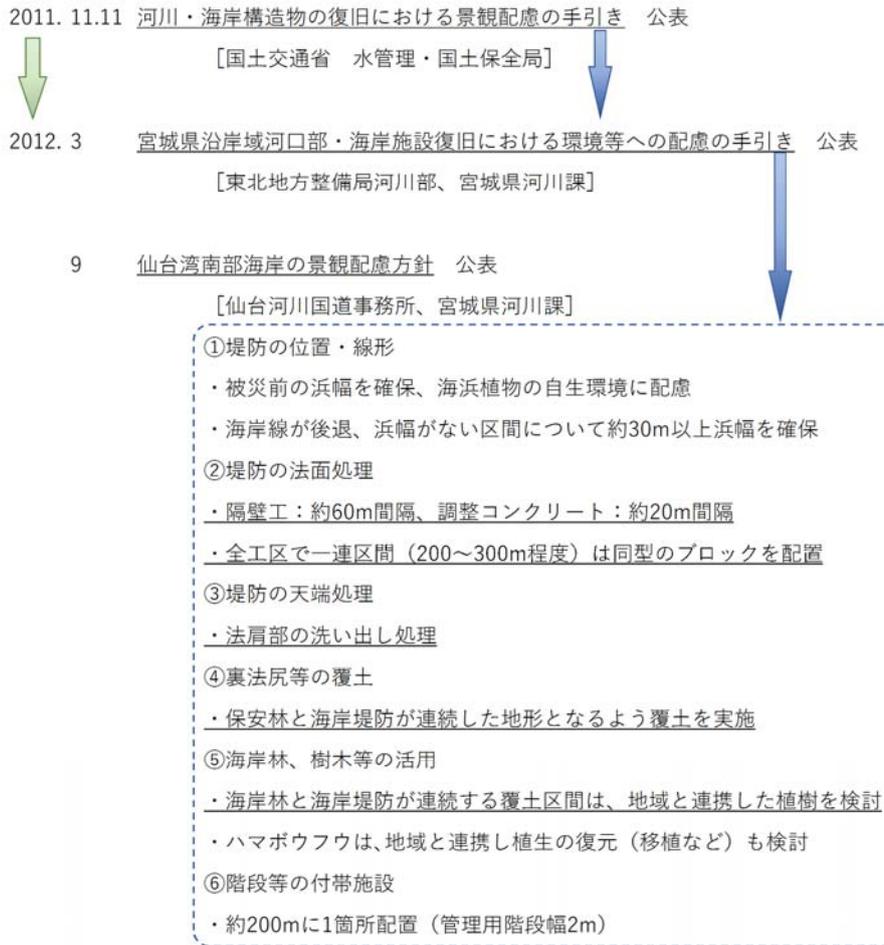


図 3.1.9-43 「景観への配慮」の検討経緯フロー



図 3.1.9-44 「景観への配慮」の検討イメージ

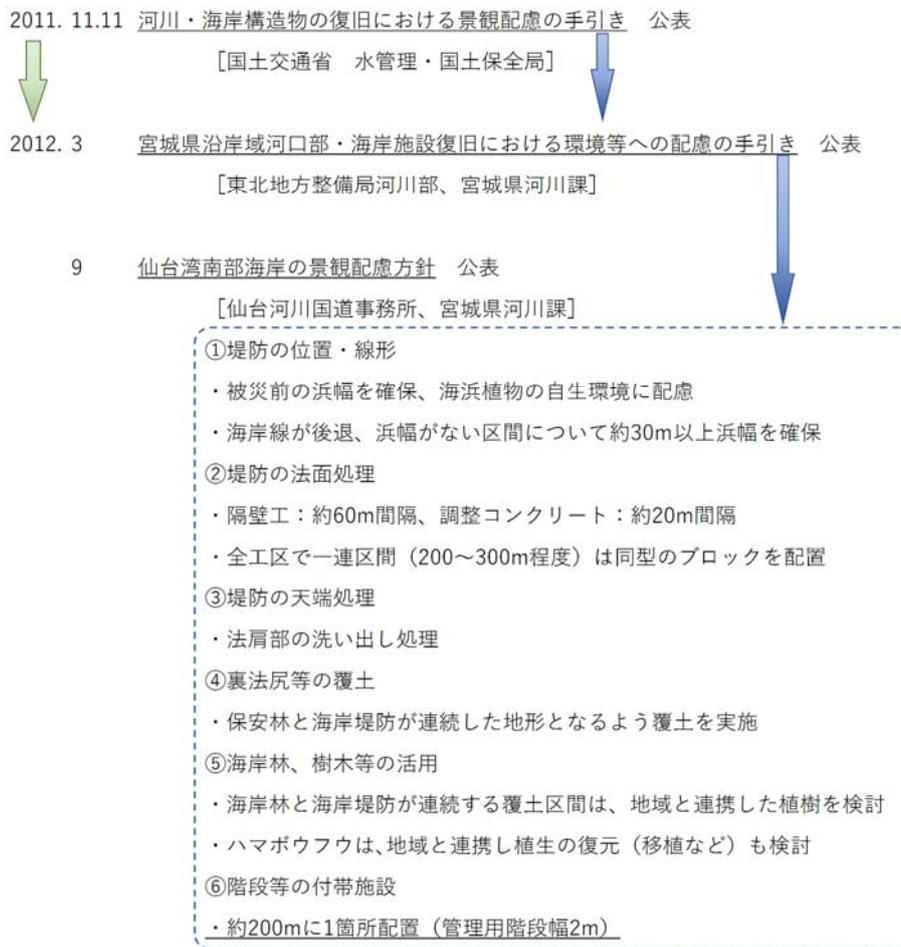


図 3.1.9-45 「利用への配慮」の検討経緯フロー

表 3.1.9-11 災害復旧における取り組みの検討経緯年表(1/3)

年	月日	イベント	協議・決定事項	資料	結強	景観	環境	緑	利用
2011年 [平成23年]	3/11	東日本大震災							
	4/11	宮城県沿岸地域連絡調整会議 設立	※関係機関相互が情報共有・連絡調整を図りつつ早期復旧を目指す		○				
	4/27	第27回中央防災会議	「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」を設置	01	○				
	4/28	第1回 海岸における津波対策検討委員会	※海岸保全施設の復旧の基本的な考え方を示す	03-1	○				
	5/28	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第1回）			○				
	6/13	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第2回）			○				
	6/19	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第3回）			○				
	6/26	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第4回）			○				
		「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」中間とりまとめに伴う提言	設計津波高を超えても、施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく必要がある。	02-1	○				
	6/27	第2回 海岸における津波対策検討委員会		03-2	○				
	7/10	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第5回）			○				
	7/31	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第6回）			○				
	8/16	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第7回）			○				
	8/25	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第8回）			○				
	9/1	第1回 河川・海岸構造物の復旧における景観検討会	※河川・海岸構造物の復旧に当たって必要となる具体的な景観への配慮方法について検討 ※景観配慮にあたっての視点で生態系を考慮	04-1		○	○		○
	9/9	宮城県沿岸地域連絡調整会議（第7回）	仙台湾南部海岸の計画堤防高は高潮計画よりTP+7.2mとする。	06-1	○				
	9/10	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第9回）			○				
	9/17	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第10回）			○				
	9/21	第2回 河川・海岸構造物の復旧における景観検討会		04-2		○	○		○
	9/24	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第11回）			○				
	9/28	東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会（第12回）			○				
		東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告	海岸保全施設等については、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していく必要がある。	02-2	○				
	10/14	第3回 河川・海岸構造物の復旧における景観検討会		04-3		○	○		○
	11/11	河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き 公表 [国土交通省 水管理・国土保全局]	■対象施設 ・堤防（堤体、付帯施設） ※直立型堤防は対象外 ・海岸林（松林等）、樹木 ・水門、樋門 ■景観配慮項目 ①堤防の位置・線形 ②堤防の法面処理 ③堤防の天端処理 ④農法民等の覆土 ⑤海岸林、樹木等の活用 ⑥階段等の付帯施設 ⑦水門等の構造物	04-0		○	○		○
	11/15	第3回 海岸における津波対策検討委員会		03-3	○				

表 3.1.9-12 災害復旧における取り組みの検討経緯年表(2/3)

年	月日	イベント	協議・決定事項	資料	粘強	景観	環境	緑	利用
	11/16	海岸における津波対策検討委員会提言	・青森県から千葉県における今次津波の高さや海岸堤防等の被災状況等を調査し、被災形態の特徴等を整理 ・調査結果を踏まえ、被災メカニズムを想定 ・粘り強く効果を発揮する海岸堤防等の構造を3点抽出 ■裏法戻部の洗掘防止 ⇒裏法戻部への保護工の設置及び裏法の緩勾配化 ■天端保護工、裏法被覆工、表法被覆工の流失、堤体士の吸出防止 ⇒部材厚の確保や部材間の連結による重量や強度の確保 ■波返工の倒壊防止 ⇒設計外力を津波とする海岸堤防等における天端までの盛土、波返工を採用する場合の配筋	03-0	○				
	11/25	第1回 宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等検討委員会	※景観、環境、利用の配慮すべき基本的な考え方の検討	07-1		○	○		○
	12/9	第1回 仙台湾南部海岸地区環境等検討懇談会	※各地区の具体的な対応を検討	11-1		○	○		○
	12/22	第2回 仙台湾南部海岸地区環境等検討懇談会		11-2		○	○		○
2012年 [平成24年]	2/9	第2回 宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等検討委員会		07-2		○	○		○
	3/7	第3回 宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等検討委員会		07-3		○	○		○
	3月	宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等への配慮の手引き 公表 [東北地方整備局河川部、宮城県河川課]	■景観配慮にあたっての視点 『景観』については、「河川・海岸構造物の復旧における景観配慮の手引き(平成23年11月国土交通省水管理・国土保全局)」を参考にしつつ、宮城県沿岸域の地域特性に応じた配慮方針を検討 ■景観への配慮方針 ・適切な視点場の設定 ・堤防の位置・線形における景観配慮 ・堤防の構造形式における景観配慮 ・堤防の法面処理等における景観配慮 ・樹木等の活用における景観配慮 ・階段等の付帯施設における景観配慮 ・水門等における景観配慮	07-0		○			
	3月	宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等への配慮の手引き 公表 [東北地方整備局河川部、宮城県河川課]	■環境配慮にあたっての視点 『環境』については、震災により大きく改変された自然環境を把握し、調査結果を踏まえたモニタリング調査の実施、復旧工事による改変に対する配慮方針を検討 ■環境への配慮方針 ・震災後の自然環境の把握 ・配慮事項の検討 ・モニタリング調査の実施 ・配慮事項の評価	07-0			○		
	3月	宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等への配慮の手引き 公表 [東北地方整備局河川部、宮城県河川課]	■利用配慮にあたっての視点 『利用』については、各自治体の震災復興計画における海岸及び後背地の計画を踏まえ、地域ごとの利用形態に対応した配慮方針を検討 ■利用への配慮方針 ・地域の利活用に配慮した堤防の活用 ・利便性や地域の日常利用に対する配慮 ・環境保全への配慮	07-0					○
	3/16	第3回 仙台湾南部海岸地区環境等検討懇談会		11-3		○	○		○
	5/14	粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討(第1報) 国土技術政策総合研究所	・裏法戻で流れの向きを変えるため基礎工を一体構造とする。 ・裏法被覆工に不陸が生じないようにかみ合わせ構造とする。 ・裏法戻の負担対策として法肩と天端を一体構造とする。	05-1	○				
8/10	粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討(第2報) 国土技術政策総合研究所	・裏法戻の洗掘対策として、基礎工の一体構造と地盤改良の有効性を確認した。 ・水理模型実験で設定した基礎工及び地盤改良諸元による洗掘対策効果を確認した。 ・裏法戻及び裏法被覆工の飛散防止として、法肩と天端の一体構造、裏法被覆工のかみ合わせ構造の有効性を確認した。 ・地盤改良強度の目安値を4N/cm ² (引張強度)とした。	05-2	○					
8/10	第1回 仙台湾南部海岸環境対策検討委員会	※環境影響の回避や低減の措置を検討	10-1			○			

表 3.1.9-13 災害復旧における取り組みの検討経緯年表(3/3)

年	月日	イベント	協議・決定事項	資料	粘強	景観	環境	緑	利用
	9月	仙台湾南部海岸の景観配慮方針 公表 【仙台湾河川国道事務所、宮城県河川課】	①堤防の位置・線形 ・被災前の浜幅を確保し、海浜植物（ハマボウフウなど）の自生環境に配慮した法線 ・被災で海岸線が後退した箇所や従前から浜幅がほとんど無い区間について、約30m以上浜幅を確保する法線 ②堤防の法面処理 ・縦リブ模様を強調した安定感 → 隔壁工を約60m間隔、調整コンクリートは約20m間隔で設置 ・一連区間の法面処理を統一 → 全工区で一連区間（200～300m程度）は同型のブロックを配置 ③堤防の天端処理 ・天端と法面コンクリートの極端な色の変化の緩和 → 法肩部について洗い出し処理を行う ④裏法尻等の覆土 ・堤防背後は保安林として復旧する事から、保安林と海岸堤防が連続した地形となるよう覆土を実施 ⑤海岸林、樹木等の活用 ・背後地への海岸林の設置、植樹 → 海岸林と海岸堤防が連続する覆土区間は、地域と連携した植樹を検討 ・ハマボウフウについては、地域と連携しながら植生の復元（移植など）も検討 ⑥階段等の付帯施設 ・約200mに1箇所配置（管理用階段幅2m）	11-0					
	12/11	第2回 仙台湾南部海岸環境対策検討委員会	■環境保全対策エリアの設定 ■「再生核エリア」における環境保全対策 ・復旧堤防等の調整：堤防や工事用道路のルート調整 ・施工時期の調整：配慮すべき種のライフサイクルなどを踏まえた施工時期の調整 ・施工方法の調整：資材置き場や施工ヤードの陸側への変更 ■復旧工事全体における環境配慮 ・工事用道路を早期に撤去し砂浜環境の復元を図る。 ・砂地盤を掘削する際は、その砂を取り置き、元の場所に埋戻す。 ・重要な植物は種子を取り置き播種等に努める。	10-2					
2013年 [平成25年]	1/11	第4回 仙台湾南部海岸地区環境等検討懇談会	※モニタリング結果の報告	11-4					
	6/30	「緑の防潮堤」植樹会	岩沼海岸（相ノ釜地区海岸）ボランティアなど約700名により植樹（約7,000本）を実施 ※現地視察						
	8/9	第4回 宮城県沿岸域河口部・海岸施設復旧における環境等検討委員会							
2014年 [平成26年]	2/25	第3回 仙台湾南部海岸環境対策検討委員会	※モニタリング結果の報告	10-3					
	3/17	第5回 仙台湾南部海岸地区環境等検討懇談会	※モニタリング結果の報告	11-5					
	6/11	改正海岸法の公布	海岸の防災・減災対策の強化及び適切な維持管理の確保を位置付け 堤防と一体的に設置される減災機能を有する樹林（「緑の防潮堤」）など粘り強い構造の堤防等を海岸保全施設として位置付け						
	12/10	第1回 井土浦堤防構造検討会	※井土浦地区における粘り強い海岸堤防の整備にあたり、景観や環境に配慮した復旧堤防の構造検討						
2015年 [平成27年]	1/8	第1回 井土浦環境懇談会	※海岸堤防復旧にあたって「井土浦に望まれる環境」と「井土浦の環境保全対策」について検討						
	2/13	第2回 井土浦堤防構造検討会	■堤防構造はCSG堤防（等脚台形）とする。 ■前浜幅が確保できない箇所は、養浜や消波工など防護対策を実施する。						
	3/11	第2回 井土浦環境懇談会							
	3/26	第1回 宮城県沿岸懇談会	※海岸保全基本計画改定案について						
	5/12	「緑の防潮堤」植樹会	岩沼海岸（納屋地区海岸）地元高校生など約270名により植樹（約4,300本）を実施						
	6/15	第2回 宮城県沿岸懇談会	※海岸保全基本計画の改定	08-1					
	8月	仙台湾沿岸海岸保全基本計画（改訂版）公表	仙台湾南部海岸においては緑の防潮堤の整備を進めるとともに、必要に応じて、その他の海岸においても緑の防潮堤の検討を進める。	09					
	9/15	第3回 井土浦環境懇談会							
2016年 [平成28年]	2/25	第4回 仙台湾南部海岸環境対策検討委員会	※モニタリング結果の報告	10-4					

第2章 仮設工

第1節 総説

海岸保全施設の設計にあたっては、安全かつ合理的な仮設工等を設計するとともに、バランスのとれた仮設計画を立てなければならない。

海岸保全施設の設計にあたっては、構造物が完成するまでの一連の施工手順や施工上定まる制約条件で不合理な設計になる恐れがあるので、施工との関連性を検討した上で、安全かつ合理的な仮設工等を設計するとともに、全体としてバランスのとれた設計を行うことが必要である。

(1) 仮設工構造諸元

災害復旧工事における、主な仮設工の構造諸元は表 3.2.1-1に示すとおりである。

表 3.2.1-1 仮設工構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
消波工	天端高:T. P. +3.25 以上 天端幅:ブロック3個並び 法勾配:1:1.3 ブロック重量:4t~6t	仙台湾南部海岸事業計画に準拠 事業計画ブロックタイプより設定 メーカーカタログによる一般値 ハドソン公式による安定重量
仮堤防工	天端高:T. P. +5.0 以上 天端幅:3.0m 法勾配:1:2.0	仙台湾南部海岸緊急復旧工事に準拠 同上 同上
工事用道路工	天端高:T. P. +2.0 以上 天端幅:7.0m 法勾配:1:1.5	仙台湾南部海岸事業計画に準拠 「土木工事仮設ハンドブックⅡ」に準拠 同上
水替工	水中ポンプ	「仮設工の手引き」に準拠 (ポンプの種類の中で一般的に使用)
仮橋工	構造型式:鋼橋(プレガーター橋) 幅員:4.0m(片側一車線) 活荷重:B荷重(250kN) 水平荷重:25kN たわみ:84mm以下 衝撃係数: $i=20/(50+L)$	「仮設工の手引き」に準拠 同上 「道路橋示方書・同解説」に準拠 同上 同上 同上

(2) 消波工設置の目的

仙台湾南部海岸本復旧工事での消波工設置目的は、震災による陸地が消失している侵食深掘箇所、本堤工事施工を行う上での安全対策等を目的として、仮設工事を行うものである。

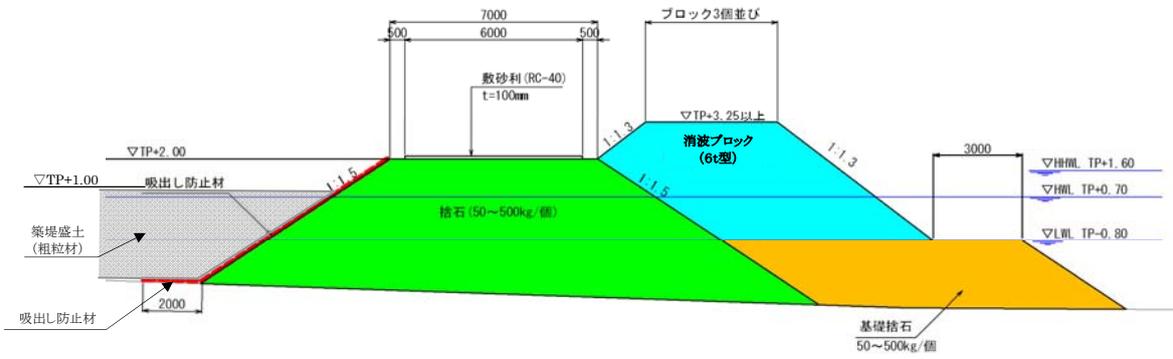
(3) 消波工の実施方法

本堤工事施工箇所の現況地盤高別に、水中施工箇所(地盤高 \leq L.W.L-1m)か、陸上施工箇所(地盤高 $>$ L.W.L-1m)かで対策を分けており、具体的な内容は下記のとおりとする。

表 3.2.1-2 消波工諸元

項目		消波工諸元		
		① 地盤高 \leq L.W.L-1mの場合	② 地盤高 $>$ L.W.L-1mの場合	
設置目的		・堤防復旧工事の仮締切効果 ・砂浜造成までの消波堤	・堤防復旧工事の仮締切効果 ・砂浜造成までの消波堤	
設置位置		・堤防前面の仮設道路と併設 ・従前の堤防消波工位置	・堤防前面の仮設道路と併設 ・従前の堤防消波工位置	
水位	HHWL	TP+1.60m	TP+1.60m	
	HWL	TP+0.70m	TP+0.70m	
	LWL	TP-0.80m	TP-0.80m	
構造	天端高	TP+3.25m	TP+3.25m	
	天端幅	ブロック3個並び	ブロック3個並び	
	法勾配	海側	1:1.3	1:1.3
		陸側	1:1.3	1:1.3
	ブロック	異形ブロック6t乱積	異形ブロック4t～6t乱積	
	基礎捨石	設置あり	設置なし	
吸出し防止材	工事用道路側に設置	工事用道路側に設置		
主な消波工実施工区		笠野工区・中浜工区	二の倉工区・笠野工区・中浜工区	

①地盤高が L.W.L-1.0m より深い場合・・・L.W.L まで捨石マウンド設置



②地盤高が L.W.L-1.0m より浅い場合・・・直置き

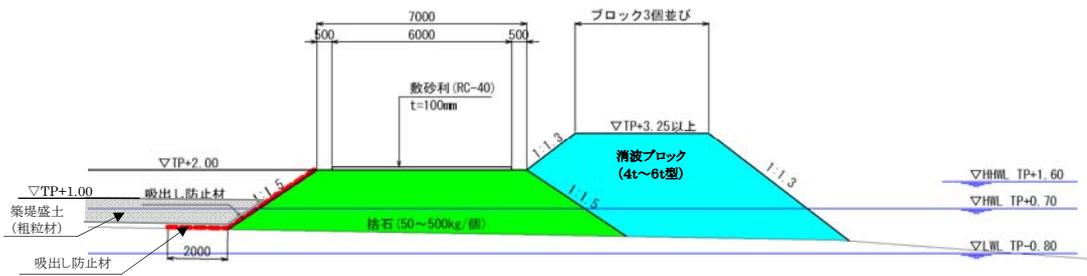


図 3.2.1-1 消波工

第2節 消波工

2.1 設計条件

消波工の設計条件は、次の事項を考慮するものとする。

1. 潮位および波浪
2. 流れおよび漂砂
3. 海底地形および海浜地形
4. 土質
5. 施工条件
6. その他

(1) 潮位および波浪

消波効果を目的として設置する場合の消波工の諸元は、潮位に当該海岸の計画高潮位を、波に計画波を用いて検討を行う。堆砂効果を目的として設置する場合の消波工の諸元は、堆砂現象が長期的な漂砂の積分であることを考えて、潮位に当該海岸の平均潮位を、波にエネルギー平均波を用いて検討を行う。ただし、天端高の検討にあたっては、潮位に塑望平均満潮位を用いるものとする。

(2) 流れおよび漂砂

一連の海岸において、導流堤や突堤あるいは砂防堤等の構造物によって沿岸漂砂がしゃ断されたり、河川等からの供給土砂が減少すれば海岸は侵食されることになる。海岸の侵食あるいは堆積現象に最も大きな影響を持つ事項は、土砂の供給および対象海岸付近の漂砂の移動量分布である。

消波工の設計にあたっては、上記事項を把握するために、供給源の性状、河川流出土砂量、流況、漂砂の卓越方向、連続性などについて十分調査する必要がある。

(3) 海底地形および海浜地形、土質、施工条件、その他

海底地形および海浜地形、土質、施工条件、その他については、海岸堤防の設計条件と同様である。

2.2 基本型

(1) 平面線形

消波工は、概ね汀線と平行に、かつなめらかな線形とするものとする。

消波工は漂砂の移動を不必要に乱さないように汀線と平行に、かつなめらかな線形で設計すべきである。岸沖方向の設置位置については、汀線維持のため、平均潮位時程度の汀線上で、対象海岸に対して適切と考えられる位置を選定すべきである。

ほとんどの消波工が離岸堤に準じ設計されその目的を達している。ただし、開口幅を大きくすると、開口部が激しく侵食されるので注意を要する。

(2) 天端高

天端高は、設置目的に応じて設置水深、潮位、波、地盤および堤体の沈下、消波工の型式等を考慮して決定するものとする。

仙台湾南部海岸で災害復旧事業を進めている7工区のうち、消波工を予定している工区は深沼南工区、二の倉工区、蒲崎工区、笠野工区、中浜工区の4工区であり、一連で工事に同時期に着手することや隣接する工区で高さが変わらぬよう配慮するため、一律、同じ天端高になるよう設定を行う。

検討の手順は次のとおりとした。

①設置水深における進行波の有義波高の設定

各工区で設定している消波ブロックで対象となる設置水深における進行波の有義波高の最大値を集計し、過大な予算投資になり過ぎないように平均値を採用する。

※各工区の中で最大となる工区に限り、工区内での中央値で確認を行う

②堆砂効果を目的とした天端高

「河川砂防技術基準」の離岸堤に準じた一般的な2手法で算出される計算値を下回ることのない高さを推定する。

・朔望平均満潮位 + $1/2 \times$ (設置水深における進行波の有義波高) + 沈下量

・朔望平均満潮位 + 1.0~1.5m + 沈下量

※沈下量の取扱いは、1mの範囲内で重要度に応じて決めるものとされているが、未曾有の大震災直後の現状においては、海浜の地形変化や最低地盤高等の推定は困難であることから1mを沈下量として取り扱う。

③天端高の設定の決定

cm単位だとしても最低限のまるめとして、5cm単位で天端高を設定する。

④設置水深における進行波の有義波高の設定

各工区で設定している消波ブロックで対象となる設置水深における進行波の有義波高の最大値を集計し、過大な予算投資になり過ぎないように平均値を採用する。

表 3.2.2-1 各工区平均値算出表

海岸名	工区名	消波工	進行波の有義波高	備考
仙台海岸	深沼北工区	—		
	深沼南工区	○	最大 3.17m	
名取海岸	閑上北釜工区	—		
岩沼海岸	二の倉工区	○	最大 2.96m	
	蒲崎工区	○	最大 3.00m	既設天端高を記載
山元海岸	笠野工区	○	最大 2.89m	
	中浜工区	○	最大 3.40m	
平均			3.084m	(15.42÷5 工区)

※最大波高等の算出根拠は、次頁参照

各工区の中で最大となる中浜工区に限り、工区内での中央値の確認を行った。

表 3.2.2-2 中浜工区中央値算出表(参考)

海岸名	工区名	消波工	進行波の有義波高	備考
山元海岸	中浜工区	○	最大 2.90m	最低波高
	中浜工区	○	最大 3.40m	最大波高
中央値			3.15m	(6.3÷2)

(参考資料) 消波ブロック設計工区と設置水深における進行波の有義波高の目安

深沼南 工区

海底勾配	1/30					1/50					1/30	1/50
Ho'(m)	7.20					7.20					6.10	6.10
Lo(m)	263.64					263.64					263.64	263.64
Ho'/Lo	0.027					0.027					0.023	0.023
設計水位(TP)	1.60					1.60					1.60	1.60
堤前地盤高(TP)	-2.00					-2.00					-1.45	-1.60
堤前水深h'(m)	3.60					3.60					3.05	3.20
h/Ho'	0.50					0.50					0.50	0.53
H1/3/Ho'	0.44					0.42					0.44	0.44
H1/3	3.17					3.02					2.68	2.68
ブロック種類	六脚ブロックA型	合掌ブロック	三基ブロック	標準型アクモン	クリンガー	六脚ブロックA型	合掌ブロック	三基ブロック	標準型アクモン	クリンガー	六脚ブロックA型	
KD	8.1	10.0	7.7	10.0	8.3	8.1	10.0	7.7	10.0	8.3	8.1	8.1
ブロック重量 (t) 〔計算値〕	3.61	2.93	3.80	2.93	3.53	3.14	2.54	3.30	2.54	3.07	1.91	1.78
ブロック重量 (t) 〔計算値×1.5〕	5.42	4.40	5.70	4.40	5.30	4.71	3.81	4.95	3.81	4.61	2.87	2.67
設定ブロック重量 (t)	5.0	5.0	6.0	5.0	6.0	5.0	4.0	5.0	4.0	5.0	3.0	

二の倉 工区

海底勾配	1/50			
Ho'(m)	7.40			
Lo(m)	263.64			
Ho'/Lo	0.028			
設計水位(TP)	1.60			
堤前地盤高(TP)	-2.10			
堤前水深h'(m)	3.70			
h/Ho'	0.50			
H1/3/Ho'	0.40			
H1/3	2.96			
ブロック種類	ディンプル	ベントコン	六脚ブロック	テトラポッド
KD	8.2	8.2	8.1	8.3
ブロック重量 (t) 〔計算値〕	2.99	2.99	3.02	2.95
ブロック重量 (t) 〔計算値×1.5〕	4.49	4.49	4.53	4.43
設定ブロック重量 (t)	5.0			

笠野 工区

海底勾配	1/100		
Ho'(m)	7.20	7.20	7.60
Lo(m)	263.64	263.64	263.64
Ho'/Lo	0.027	0.027	0.029
設計水位(TP)	1.60	1.60	1.60
堤前地盤高(TP)	-2.00	-2.00	-2.20
堤前水深h'(m)	3.60	3.60	3.80
h/Ho'	0.50	0.50	0.50
H1/3/Ho'	0.38	0.38	0.38
H1/3	2.74	2.74	1.89
ブロック種類	シェークブロック	ジュゴンブロック	三柱ブロック
KD	8.6	9.0	10.0
ブロック重量 (t) 〔計算値〕	2.26	2.10	2.28
ブロック重量 (t) 〔計算値×1.5〕	3.39	3.15	3.42
設定ブロック重量 (t)	4.0		

中浜 工区

海底勾配	1/100							
Ho'(m)	7.60				8.60		8.60	
Lo(m)	263.64				263.64		263.64	
Ho'/Lo	0.029				0.033		0.033	
設計水位(TP)	1.60				1.60		1.60	
堤前地盤高(TP)	-2.20	-2.50	-2.80	-2.70	-2.90	-2.70	-2.90	
堤前水深h'(m)	3.80	4.10	4.40	4.30	4.50	4.30	4.50	
h/Ho'	0.50	0.54	0.58	0.50	0.52	0.50	0.52	
H1/3/Ho'	0.38	0.41	0.42	0.38	0.39	0.38	0.39	
H1/3	2.90	3.10	3.20	3.30	3.40	3.30	3.40	
ブロック種類	コーケンブロック				シーロック		シェークブロック	
KD	8.3				10.0		8.6	
ブロック重量 〔計算値〕	2.80	3.40	3.70	3.40	3.70	3.90	4.30	
ブロック重量 〔計算値×1.5〕	4.20	5.10	5.60	5.10	5.60	5.90	6.50	
設定ブロック重量	6.0							参考資料

※各数値の出典は、平成23年度各工区別設計業務から引用

⑤堆砂効果を目的とした天端高

「河川砂防技術基準」の離岸堤に準じた一般的な2手法で算出される計算値を下回ることのない高さを推定。

※朔望平均満潮位は、鮎川検潮所 1980～1990 年平均値 TP+0.659m を設定

【全工区平均】

$$\begin{aligned} & \cdot \text{朔望平均満潮位} + 1/2 \times (\text{設置水深における進行波の有義波高}) + \text{沈下量} \\ & = 0.659\text{m} + 1/2 \times (3.084\text{m}) + 1\text{m} \\ & = 0.659\text{m} + 1.542\text{m} + 1\text{m} \\ & = \text{TP} + 3.201\text{m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \cdot \text{朔望平均満潮位} + 1.0 \sim 1.5\text{m} + \text{沈下量} \\ & = 0.659\text{m} + 1.0 \sim 1.5\text{m} + 1\text{m} \\ & = \text{TP} + 2.659 \sim 3.159\text{m} \end{aligned}$$

(参考)中浜工区中央値

$$\begin{aligned} & \cdot \text{朔望平均満潮位} + 1/2 \times (\text{設置水深における進行波の有義波高}) + \text{沈下量} \\ & = 0.659\text{m} + 1/2 \times (3.150\text{m}) + 1\text{m} \\ & = 0.659\text{m} + 1.575\text{m} + 1\text{m} \\ & = \text{TP} + 3.234\text{m} \end{aligned}$$

⑥天端高の設定の決定

cm単位だとしても最低限のまるめとして、5cm単位で天端高を設定する。

【全工区平均】: TP+3.201m ⇒ TP+3.25m

(参考)中浜工区中央値であるTP+3.234mも確保可能な高さとなる。

(3) 天端幅

消波工の天端幅は、離岸堤に準ずるものとする。

異形ブロックの場合、通常2列～3列並びにすれば堤体の安定は得られるが、必要に応じて広くすることができる。

仙台湾南部海岸においては、天端幅3列並びとして設定を行う。

(4) 堤体

消波工の堤体は、離岸堤に準ずるものとする。

過去において波浪条件の厳しい海岸ではブロックの散乱、沈下等の被災を受けており波浪等の外力に対して安全なよう層積みとするのが望ましい。また、断面全体を傾斜面とすることにより消波工前面での反射波を弱め洗掘を防止する対策として有効と考えられるため複断面構造とすることが望ましい。なお、ブロックの重量は原則としてハドソン式により算出するものとするが、計算重量の1.5倍以上のブロックを使用することが望ましい。ただし、近隣海岸の施工事例および水理実験等により、計算重量の1.5倍未満のブロックを用いても安定性が確保される場合は、この限りではない。

越波の著しい場合には岸側ブロックに散乱が集中し、 k_D 値も小さくなることが指摘されている。したがって、著しい越波が生ずることが想定される場合や過去に散乱が生じている海岸では水理実験によりブロック重量を検討することが望ましい。

仙台湾南部海岸で使用する消波ブロックについては、計算重量の1.5倍以上において協議で承認を得たブロック形状の汎用性のある規格を設置するものとし、波力等の外力に対して安定な構造とするものとする。

ただし、緊急性や他工事実施前の仮設工であることから、2段以上の乱積みによる設置を基本として施工を行うものとする。

第3節 仮堤防工

仮堤防は緊急復旧工事において以下の目的で設置する。

- ・海岸堤防が壊滅的な被害を受け、更に地盤沈下により海岸および内陸部の標高が約50cm低下し、高潮に対する安全性が著しく低下した。
→高潮に対する安全性を確保するための海岸堤防を整備する。
- ・汀線が内陸部まで侵食された。
→これ以上の侵食を防ぐため、現状の汀線を維持する。
- ・津波の被害を受けたものの、1～2年以内に復旧する見込みのある重要公共施設や市街地が存在する。
→波浪に対する安全性を確保するための海岸堤防を整備する。

なお、この緊急復旧工事は直轄エリア内において実施するものであり、直轄エリア外については宮城県が同様の基本方針で緊急復旧工事を行う旨協議済みである。

○ 高潮対策区間における防潮堤高の設定

- ①高潮対策区間:近年最大の高潮に、波浪のエネルギーによる水位上昇量を加えた高瀬とする。

$$H18.10 \text{ 高潮}(T.P.+1.32m) + \text{波浪水位上昇}(0.32m) = T.P.+1.64m \approx T.P.+2.0m$$

- ②災害手帳 P44 の記載(仮締切工事について)

「推定春秋大潮満面+1m 程度」

鮎川観測所(気象庁)の推定春秋大潮満潮面: T.P+0.95m

$$T.P+0.95m+1.00m=T.P+1.95m$$

項目	沖波波高 H_0 (相馬港)	屈折・回折 係数	換算沖波 波高 H_0'	周期 (相馬港)	潮位 (相馬港)	波の打ち上げ高		仮堤防区間	
						震災前	震災後		
H18.10 曇水時 外力	深沼北	7.16m	0.94	6.73m	11.6s	T.P.+1.32m	T.P.+3.95m	T.P.+4.07m	T.P.+4.10m
	深沼南		0.92	6.59m			T.P.+4.55m	T.P.+4.70m	T.P.+4.70m
	名取		0.96	6.87m			T.P.+3.65m	T.P.+3.76m	T.P.+3.80m
	二の倉		0.94	6.73m			T.P.+4.80m	T.P.+4.96m	T.P.+5.00m
	蒲嶋		0.99	7.09m			T.P.+5.88m	T.P.+6.15m	T.P.+6.20m
	笠野		1.12	8.02m			T.P.+4.72m	高潮対策区間	T.P.+2.00m
中浜北			T.P.+5.85m						
中浜南					T.P.+6.37m				

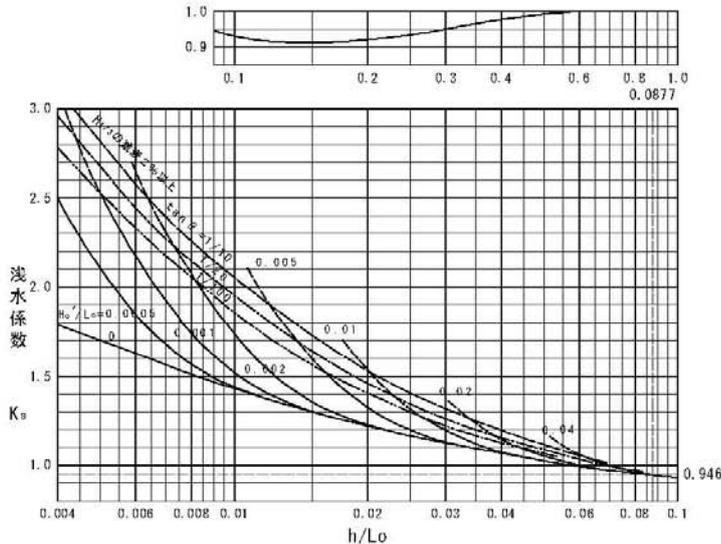
※相馬港(T.P.-17.1m)における観測波高 $H=6.77\text{m}$ に浅水係数($H/H_0=0.946$)を考慮して沖波波高 $H_0=7.16\text{m}$ を算出した(下図参照)

※屈折・回折係数は計画外力1/30標準年時

※「換算沖波波高 H_0' 」は「沖波波高 H_0 」に「屈折・回折係数」を乗じた

※波の打ち上げ高は中村らの改良仮想勾配による

※「震災後の地形」は「震災前の地形」に対し-30cmの地殻変動を考慮した



[沖波条件]

換算沖波波高 (H_0') : **7.16 m**
 沖波周期 (T_0) : 11.60 s → H18.10.7の2時の実測周期(相馬港)
 海底勾配 ($\tan \theta$) : 1/100

[読取条件]

波形勾配 (H_0'/L_0) : 0.0341 ●相馬港波高計設置標高
 計算水深 (h) : 18.40 m → T.P.-17.1m
 相対水深 (h/H_0') : 2.570 ●相馬港実測潮位
 水深波長比 (h/L_0) : 0.0877 → T.P.+1.32m(H18.10.3の3時)
 ●相馬港波高計設置水深
 → 1.32m+17.1m≒18.4m

[読取結果]

浅水係数 (H/H_0') : 0.946
 波高 : 6.77 m → H18.10.7の2時の実測波高(相馬港)

図一 浅水係数の算定図

第4節 工事用道路工

4.1 設計条件

(1) 路面工の分類

工事用道路を設置する場合は、掘削、盛土等の土工作業をとめない、路床の状態や周辺環境により、路面工として敷砂利、敷鉄板、舗装等を施工する。

- ① 敷砂利： 碎石やスラグを敷均す。
- ② 敷鉄板： 路床が軟弱な場合に使用される。
- ③ 仮設舗装工： アスファルトやコンクリートによる舗装を行う。

(2) 基本構造

① 幅員構成

一般的な工事用道路の幅員構成を図 3.2.4-1に示す。

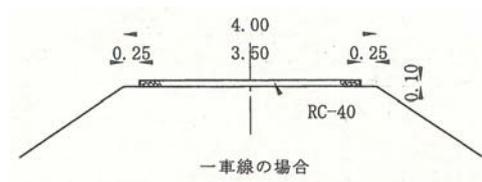


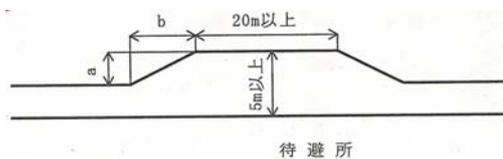
図 3.2.4-1 工事用道路の標準幅員構成(単位:mm)

② 縦断勾配

一般的に最急勾配は15%以下としている。

③ 待避所

一車線の場合は、交通量等を検討し必要に応じて待避所を設置する。道路構造令で規定している待避所は図 3.2.4-2のとおりである。また、車輛の出入りを容易にするため、待避所の両端にテーパ部($b \geq 2a$)を設ける。



(出典:「道路構造令の解説と運用 P.606」)

図 3.2.4-2 工事用道路待避所

④ 付属施設

工事用道路には、待避所のほか必要に応じて付属施設（排水施設、防護柵、視線誘導標等）を設置する。

（解説）

- ① 工事用道路の仮設盛土材は、入手が比較的容易で低廉である岩ズリを用い、法勾配は 1:1.5 勾配とする。路面工には 30 cm の敷砂利が一般的であるが、海浜地形であることと緊急災の実施等を鑑み 40cm の敷砂利として整備することを標準とする。
- ② 工事用道路は平面的に堤防を挟む形で海側または陸側に配置するが、施工期間中の治水安全度確保を目的とした仮堤防兼用とし設置する場合は、海側路肩部は水位上昇・波浪時の法面補強として路肩部（全幅員内数）を捨石で腹付けする計画とし、その法勾配は 1:2.0 程度勾配とする。なお、海岸に工事用道路を設置する場合は、盛土天端高を T.P.+2.0m 以上とする。

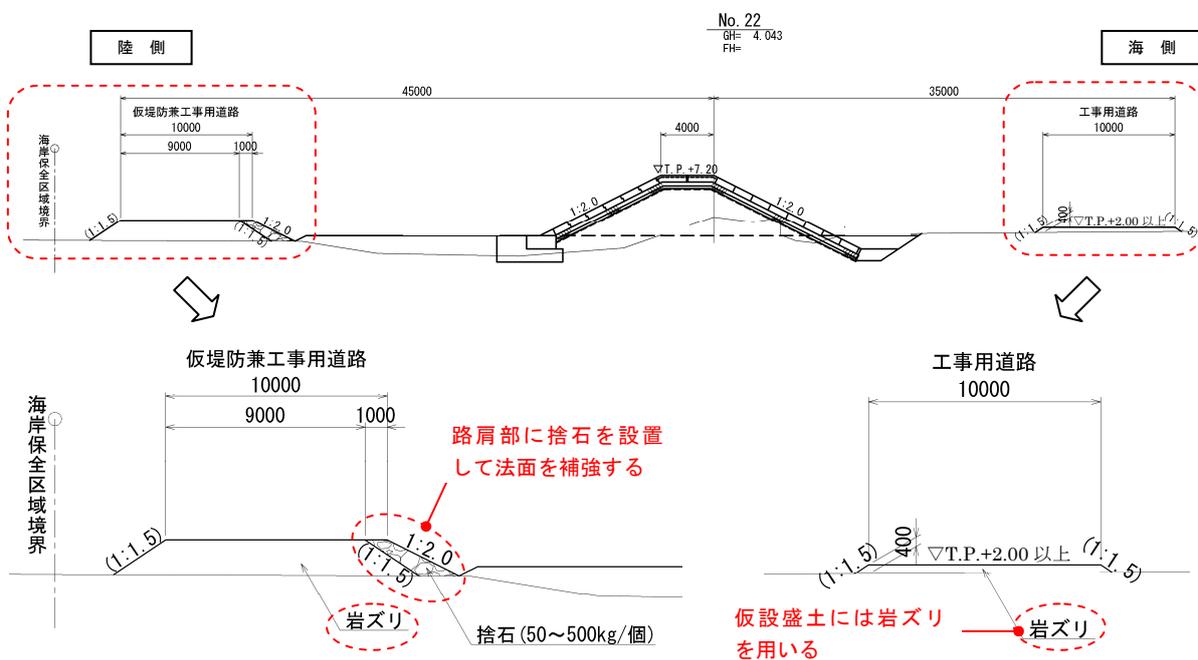
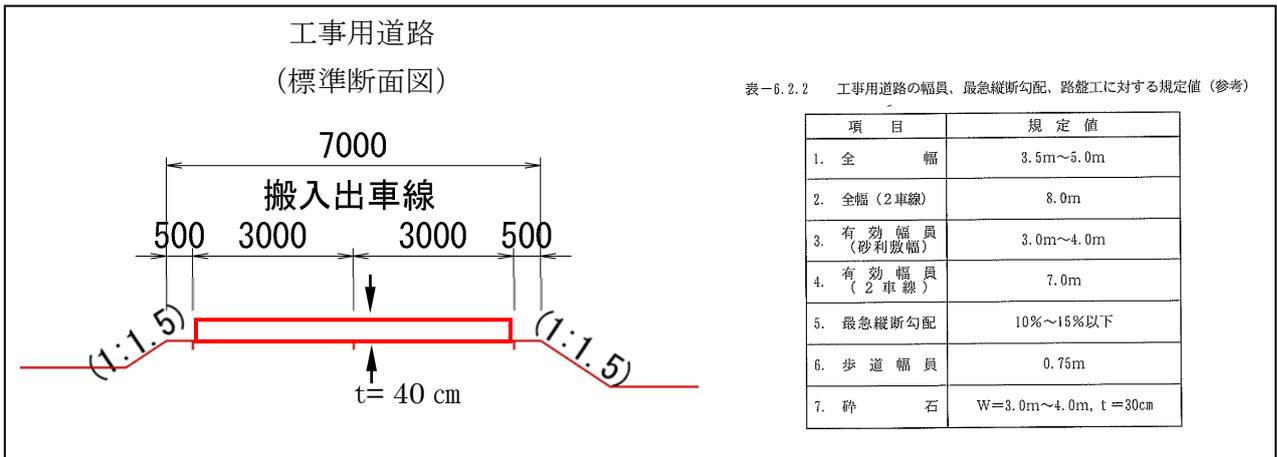


図 3.2.4-3 工事用道路構造細目概念図

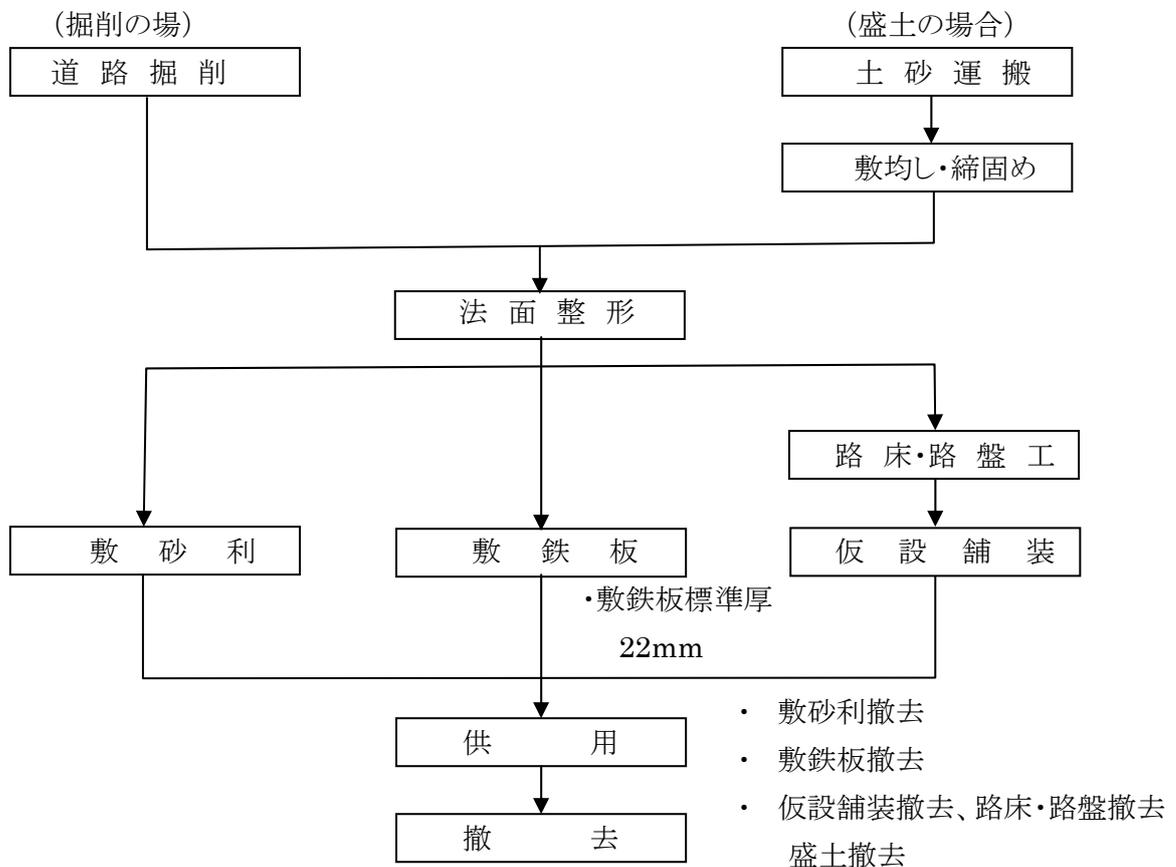


「土木工事仮設ガイドブックⅡ」より抜粋

当該工事では複数工事が同時期に進行する工程であり、工事期間中は各工事区間の関係車両が頻繁に出入りする状況が懸念される。工用道路の幅員は資材・土砂の搬入出用の通行車線:2車線を考慮した全幅員 W=7.0mとし、設置位置は堤防法線と並行した位置に設けるものとする。

施工手順

一般的な工用道路の施工フローを下記に示す。



第5節 仮橋

仮橋は、工事用資材の運搬、工事用車輛の通行を目的として設置する場合と、橋の架替え工事等により、迂回路が必要となる場合に設置されるもので、主に河川等を横断する場合に設置される。

仮橋の標準的な構造は図 3.2.5-1に示すとおりであり、主に鋼材を使用し、床版、主桁、橋脚等から構成される。橋脚の形式には、図 3.2.5-1のH形鋼による支持杭橋脚によるもの他に、コンクリート基礎の上にH形鋼を設置し橋脚とするものがある。

また、仮橋の標準値を表 3.2.5-1に、主な使用材料を表 3.2.5-2に示す。

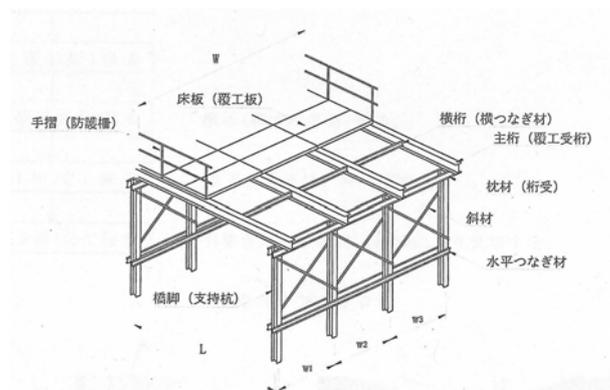


図 3.2.5-1 仮橋・仮栈橋の標準構造図

表 3.2.5-1 仮橋・仮栈橋の標準値

項目	標準値
幅員 (W)	1車線：W=4mまたはW=6m 2車線：W=8m
主桁 (橋脚) 間隔 (w_{1-2})	w_{1-2} =2mまたは3m
支間 (L)	L=5~6m
路面勾配 (i)	横断勾配：無 縦断勾配：i=6%以下

表 3.2.5-2 使用材料

使用材料	
部位	使用材料
床版	覆工板
主桁 (覆工受桁)	H形鋼、I形鋼
横桁 (横つなぎ材)	溝形鋼
枕材 (桁受)	溝形鋼
橋脚 (支持杭)	H形鋼
斜材	等辺山形鋼
水平つなぎ材	等辺山形鋼、溝形鋼
手摺 (防護柵)	単管パイプ、ガードレール

(1) 施工手順

支持杭橋脚による仮橋の一般的な施工フローを図 3.2.5-2に示す。

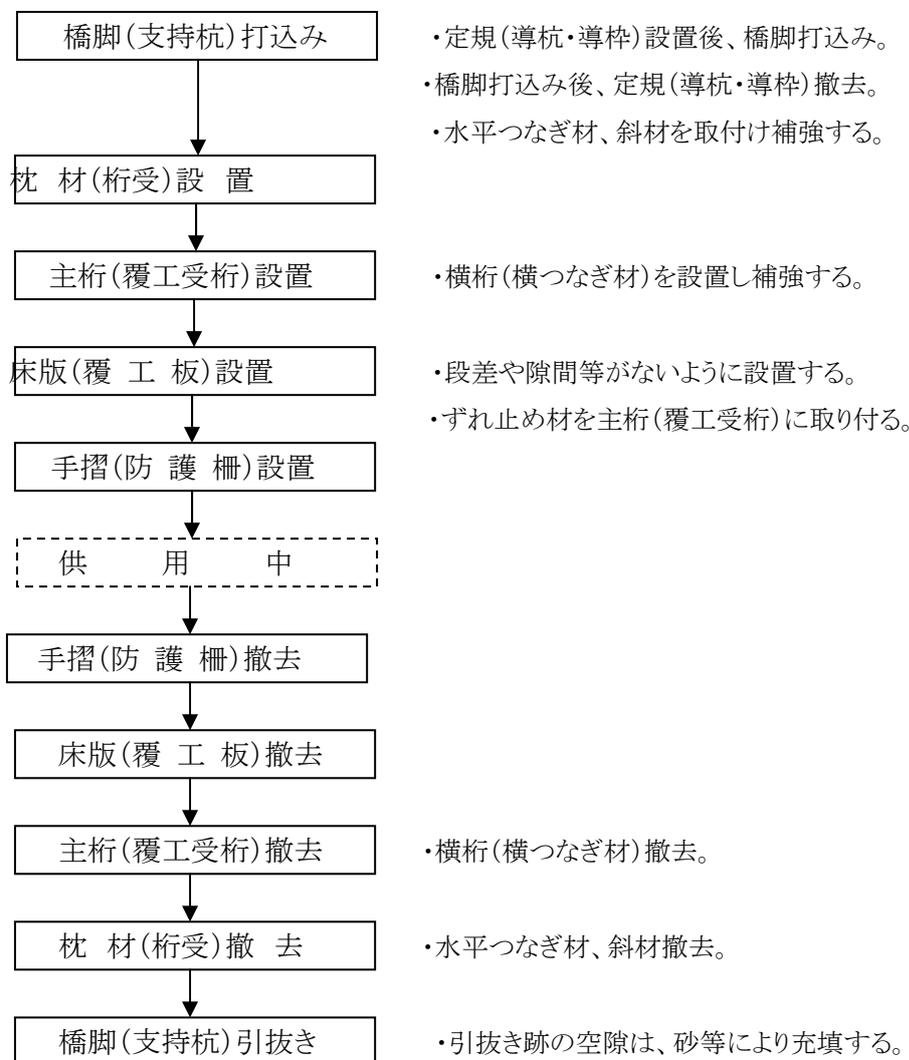


図 3.2.5-2 施工フロー

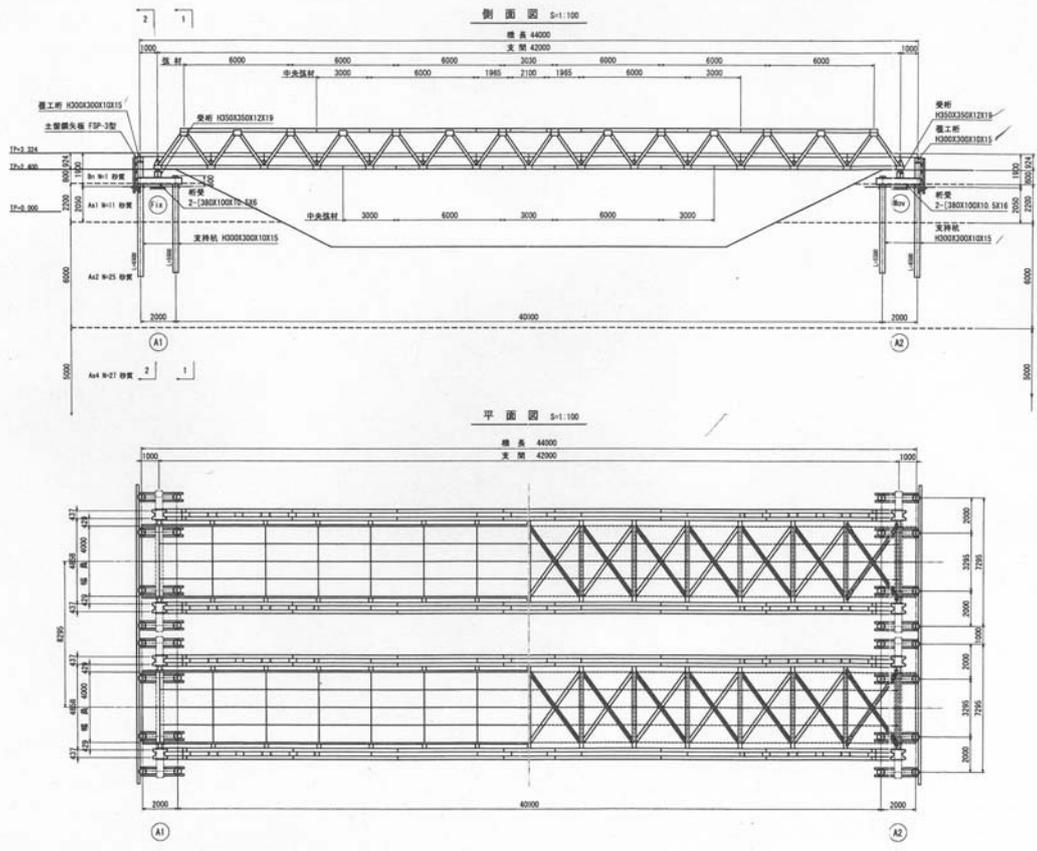
(2) 仮橋の基本条件

仙台湾南部海岸深沼南工区北部第3復旧工事における仮橋設置の基本条件を表 3.2.5-3に示す。なお、施工図を次頁に示す。

表 3.2.5-3 仮橋の基本条件(深沼南工区北部第3復旧工事)

設計基本条件		
1	橋長	44.0m (支間 L=42.0m)
2	車道幅	4.0m
3	歩道幅	無し
4	活荷重	B活荷重(250kN)
5	水平荷重	$259 \times 10\% = 25\text{kN}$
6	主桁のたわみ	$42.0 / 500 = 84\text{mm}$ 以下
7	衝撃係数	$I = 20 / (50+L) = 20 / (50+42) = 0.217$
8	その他荷重条件	許容応力度の割り増し 1.5
9	ガードレール・防護柵・高欄	種別 Gr-B-2B-2

仙台湾南部海岸深沼南工区復旧工事
一般图 (1)



仙台湾南部海岸深沼南工区復旧工事
一般图 (2)

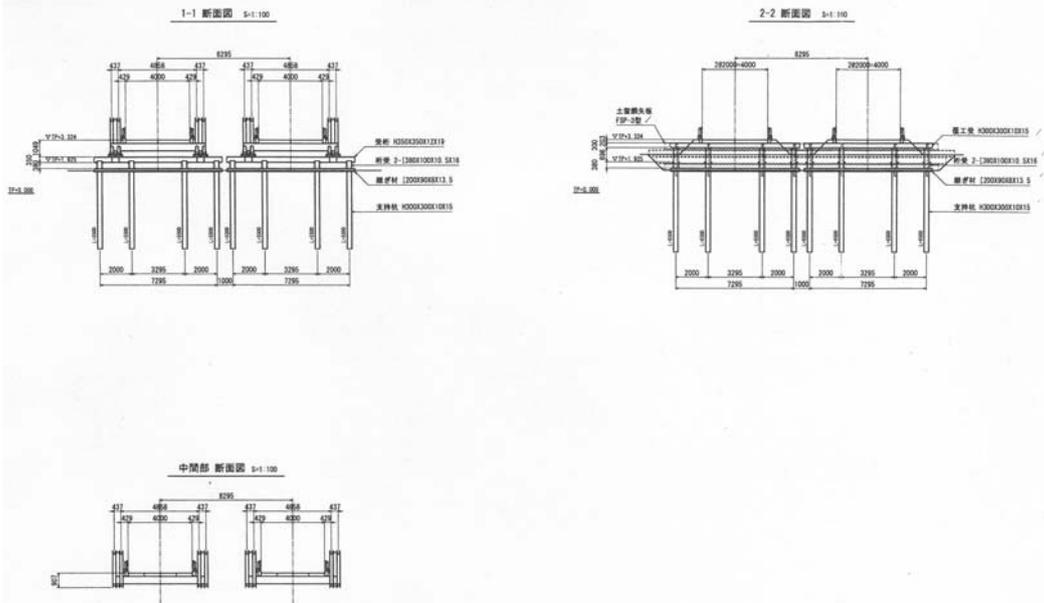


图 3.2.5-3 仮橋例(深沼南工区北部第3復旧工事)

第6節 付帯工

6.1 坂路工

堤体の完成後は、堤体の後背地から海岸へと車輛が通行することは困難であり、将来における海岸及び堤体の維持管理のために、坂路を設置した。

坂路は堤体に沿って車輛が上下できるようにし、縦断勾配は6%以下とした。

幅員構成：幅員3mの通行帯とし、両側に幅50cm以上の路肩を設置。

舗装構成：表層工 再生密粒アスコン 最大骨材粒径20mm t=6cm

路盤工 再生クラッシュラン RC-40 t=20cm

路体・路床は岩ズリを盛土・転圧。材料は工事用道路の撤去材を流用するなどして、コスト削減に努めた。

また、坂路の法面保護として、表法(海側)は堤体と同様の被覆ブロックを流用し、裏法(陸側)は大型平張ブロックで、被覆を行った。さらに、差込式カギ付きの車止めを設置して、車輛の誤進入などを防いでいる。



写真 3.2.6-1 深沼北工区(海側)



写真 3.2.6-2 深沼北工区(陸側)

第3章 沖合施設(ヘッドランド・離岸堤・亘理沖波高計)

第1節 ヘッドランド復旧

1.1 設計の基本方針

ヘッドランド復旧は、所定の機能が発揮されるよう、型式、天端高、天端幅、長さおよび方向並びにヘッドランドの相互の間隔等を被災前の状況に復元することを基本とする。

なお、東日本大震災による広域地盤沈下及び津波により突堤の被覆ブロックや消波ブロックの飛散及び沈下等の被災を受けたため、その復旧方法については被災前の構造等を調査し、原形復旧を基本として復旧設計を実施する。

(1) 一般

ヘッドランドの型式については、機能面から透過型と不透過型に大別されており、一般的に用いられている構造の型式は表 3.3.1-1に示すとおりである。

表 3.3.1-1 ヘッドランドの構造型式

	型式名	構造等
透過型	捨石式、捨ブロック式	石・ブロックを捨て込んだもの。ブロックに孔を開け、これに杭を差し込んだ串型のものもある。
	詰杭式	コンクリート杭等を2列に打ち並べ、この中に、中詰石を詰めたもの。透過率は小さく不透過に近い。
	石枠式	鉄筋コンクリートで枠を作り、中に詰石をするもの。
不透過型	石積式、石張式	捨石し、表面を割石で張るもの。法勾配が1:1より急なものが石積み、緩やかなものが石張り。
	コンクリートブロック積式	コンクリート方塊ブロックを積み上げるもの。平ら形のブロックに孔を開け、これに杭を差し込んだ串型のものもある。
	場所打コンクリート式	陸上部で用いられることが大半である。
	ウェル式、ケーソン式、セルラーブロック式	外洋に面した急勾配海岸の堤頭部にウェルが用いられることが多い。他には混成堤タイプとして用いられる。
	二重矢板式	鋼矢板を二重に打ち、中に砂利、土砂を中詰めしたもの。
	パイル式	鋼管矢板を一行に打ち並べたもの。

また、横断面の形状は、表 3.3.1-2及び図 3.3.1-1に示すように直立型、傾斜型、混成型の3種類に分類でき、平面形状は、図 3.3.1-2に示すように直線型、T字型、L字型の3種類に分類できる。

表 3.3.1-2 突堤の横断形状による分類

直立型	斜面勾配 鉛直～1:1	石積式, コンクリートブロック積式, ケーソン式, セルラーブロック式, ウェル式, 石枠式など
傾斜型	斜面勾配 より緩やか	石張式, 捨石式, 捨ブロック式など
混成型	—	上記の組み合わせ

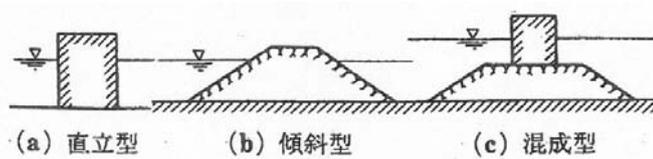


図 3.3.1-1 突堤の横断形状図

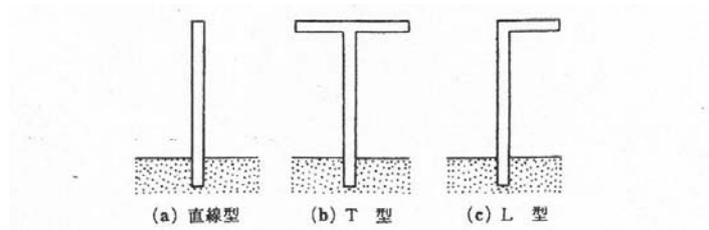


図 3.3.1-2 突堤の平面形状図

(2) 透過・不透過

透過型のヘッドランドでは、沿岸漂砂の一部が堤体を通過するため、透過堤の沿岸漂砂の制御効果は同じ長さの不透過堤と比べると小さい。一方、不透過型のヘッドランドの場合には、天端高が十分高ければ漂砂を遮断することから、漂砂制御機能は透過型に比べすぐれており、沿岸漂砂の捕捉率を堤長でコントロールすることが可能であるため、不透過堤が用いられる利点がある。ただし、透過型のヘッドランドは、反射波及び沿い波や流れが不透過型に比べて小さく基礎の洗掘も比較的少ないこと、施工や補修が容易であること、沿岸漂砂の捕捉率が小さいため下手側の侵食が軽減されることなどの利点がある。

(3) 構造型式

構造型式の選定については、設置場所の水深、波力、底質・土質、海底地形・海浜地形及び地形変化の状況をもとに堤体の安全性を評価し、経済性及び施工性に加えて海岸域の自然環境及び利用を総合的に評価する。

(4) 横断面形状

横断面形状については、選定された構造型式によって定まる場合が多いが、構造型式と同様に、堤体の安全性、経済性、施工性に加えて海岸域の自然環境及び利用等を総合的に評価する。

(5) 平面形状

平面形状については、沿岸漂砂の制御効果及び予想される海浜変形に基づいて選定する。T字型、L字型のヘッドランドは、漂砂の上手側ではヘッドランドに沿う冲向き流れを制御して沿岸漂砂の捕捉率を増大させる効果が期待でき、下手側では遮蔽域に形成される循環流によりヘッドランド基部の侵食を軽減する効果が期待できる。

【ヘッドランド復旧構造諸元】

ヘッドランド復旧における、構造諸元は表 3.3.1-3に示すとおりである。

表 3.3.1-3 ヘッドランド復旧構造諸元一覧

	仕様・諸元	型式・構造等
5号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:直線型	型式:石張式 構造等:捨石し、表面を割石で張るもの。 法勾配は1:2.0
3号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:直線型	同上
1号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:直線型	型式:石張式 構造等:捨石し、表面を割石で張るもの。 法勾配は1:3.0
S5号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:直線型	同上
S4号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:T型	同上
S2号ヘッドランド復旧	構造:不透過型 横断形状:傾斜型 平面形状:T型	同上

1.2 復旧方法

復旧方法については原形復旧とした。復旧方法を以下に示す。

- ① 飛散したブロックについては再設置を行う。
- ② 消波ブロックについては、ブロック重量の条件となる勾配 1:3.0 にて、乱積(2層)を基本とし、不足分を継ぎ足すものとする。
- ③ 天端高の沈下については捨石天端高が TP+2.00m から最大沈下量が 0.90m(TP+1.10m)程度であり、朔望平均満潮位 TP+0.70m 以上であることから機能上問題ないこととし、嵩上げ等の復旧は行わないこととした。

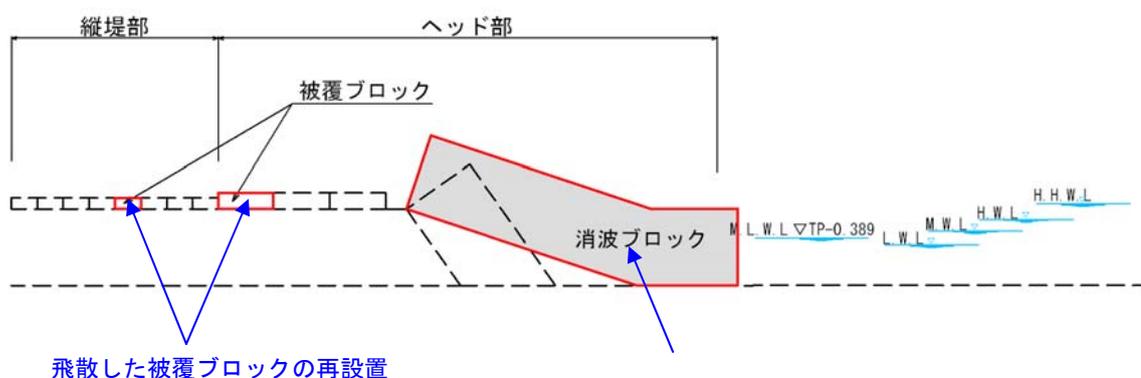


図 3.3.1-3 復旧方法

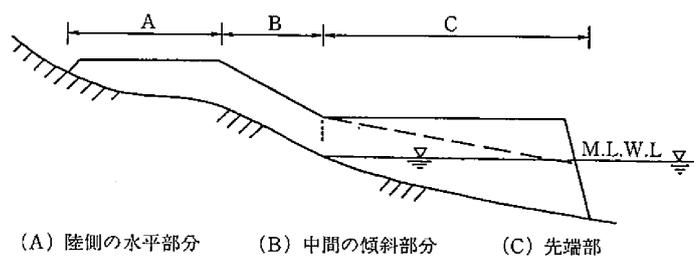


図 7-76 突堤の天端高

4. 先端部の天端高

先端部の天端高は、捕捉すべき漂砂の量、突堤の透過性、ならびに受ける波力とこれに対応する工法などを検討して決定する。十分な漂砂の捕捉効果を期待するためには、天端上を波が越えないことが望ましく、朔望平均満潮位程度以上の値を天端高とするとよい。下手へ漂砂をかなり通過させるような場合には、天端を海底勾配と平行にしてもよい。

出典：河川砂防技術基準(案)同解説設計編Ⅱ 平成9年10月 P.186,187

各ヘッドランドにおける復旧方法を以下に示す。

表 3.3.1-4 ヘッドランド復旧方法一覧(1/2)

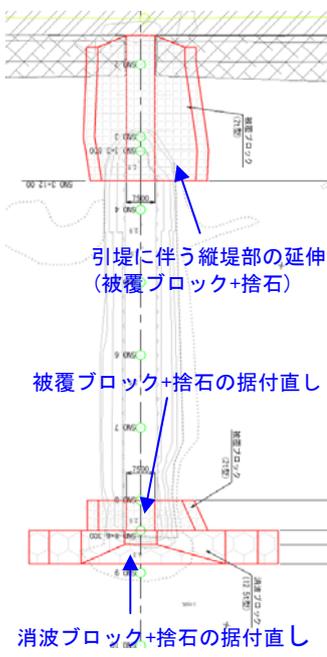
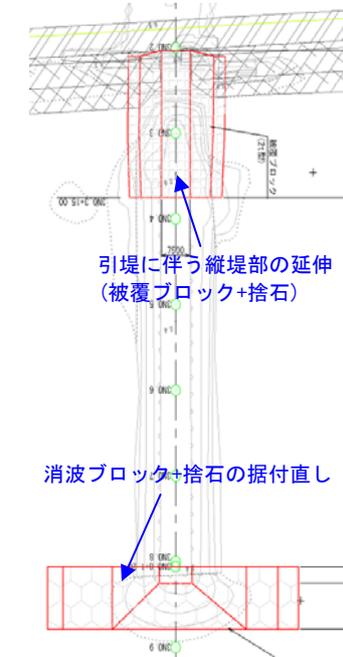
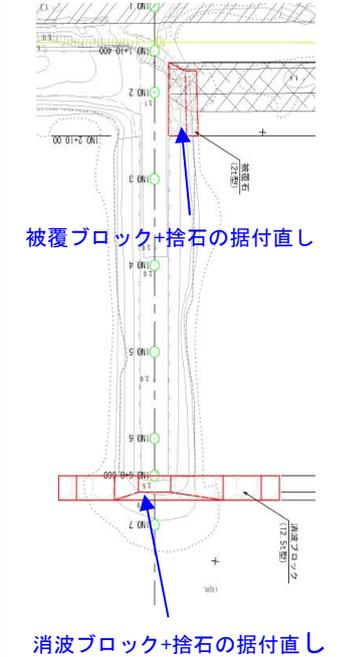
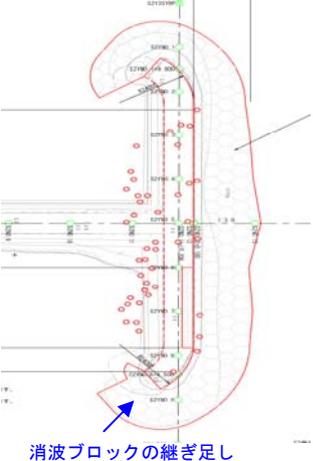
		5号	3号	1号
現状写真				
被災前	天端高 (捨石天端高)	不明 ※資料なし	TP+3.00m (TP+2.00m) TP+5.50m (ヘッド部)	TP+3.00m (TP+2.00m) TP+5.50m (ヘッド部)
	天端幅	不明※資料なし	7.50m	7.82m
	全長	136.2m※被災後の実測図より	118.5m	118.5m
	構造 (被覆材)	縦堤部:被覆ブロック(2t) 被覆石(2t) ヘッド部:消波ブロック(12.5t)	縦堤部:被覆ブロック(2t) ヘッド部:消波ブロック(12.5t)	縦堤部:被覆ブロック(2t) 被覆石(2t) ヘッド部:消波ブロック(12.5t)
被災後	沈下後天高	TP+2.20m	TP+2.10m (沈下量 0.90m)	TP+2.10m (沈下量 0.90m)
	被災状況	<ul style="list-style-type: none"> 被覆ブロックの流出 捨石の吸出し 被覆石の散乱 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆石の散乱 	<ul style="list-style-type: none"> 被覆石の散乱 捨石の吸出し
復旧方法	復旧イメージ (平面図) (縦断図)			

表 3.3.1-5 ヘッドランド復旧方法一覧(2/2)

		S 5号	S 4号	S 2号
現状写真				
被災前	天端高 (捨石天端高)	不明 ※工事途中に被災	TP+2.50~2.65m (TP+2.00m)	TP+2.65m (TP+2.00m)
	天端幅	9.00m	9.55~9.70m	8.80m
	全長	225.7m	230.0m	224.0m
	構造 (被覆材)	縦堤部:被覆ブロック(3~6t) ヘッド部:消波ブロック(20t)	縦堤部:被覆ブロック(3~6t) ヘッド部:被覆ブロック(16t) 消波ブロック(20t)	縦堤部:被覆ブロック(3~4t) ヘッド部:被覆ブロック(16t) 消波ブロック(20t)
被災後	沈下後天高	TP+1.60m(沈下量0.40m) (被覆ブロック無し、捨石高)	TP+2.10m(沈下量0.55m)	TP+2.10m(沈下量0.55m)
	被災状況	・工事途中のため不明	・被覆・消波ブロックの散乱 ・捨石の吸出し ・消波ブロックの沈下	・被覆・消波ブロックの散乱 ・捨石の吸出し ・消波ブロックの沈下
復旧方法	復旧イメージ (平面図) (縦断図)	 被覆ブロック+捨石の据付直し	 被覆ブロック+捨石の据付直し 消波ブロックの継ぎ足し	 消波ブロックの継ぎ足し

第2節 離岸堤復旧

2.1 設計の基本方針

離岸堤復旧は、所定の機能が発揮されるよう、離岸堤の型式、天端高、天端幅、長さ及び汀線からの距離並びに離岸堤相互の間隔等を被災前の状況に復元することを基本とする。

(解説)

離岸堤復旧構造諸元

離岸堤復旧における、構造諸元は表 3.2-1に示すとおりである。

表 3.2-1 離岸堤復旧構造諸元一覧

	仕様・諸元	決定根拠
離岸堤補修	天端高:計画高 T.P.+2.000m 施工高 T.P.+2.500m 天端幅:6.500m 以上 法勾配:1:1.3 以上	深沼海岸環境整備事業

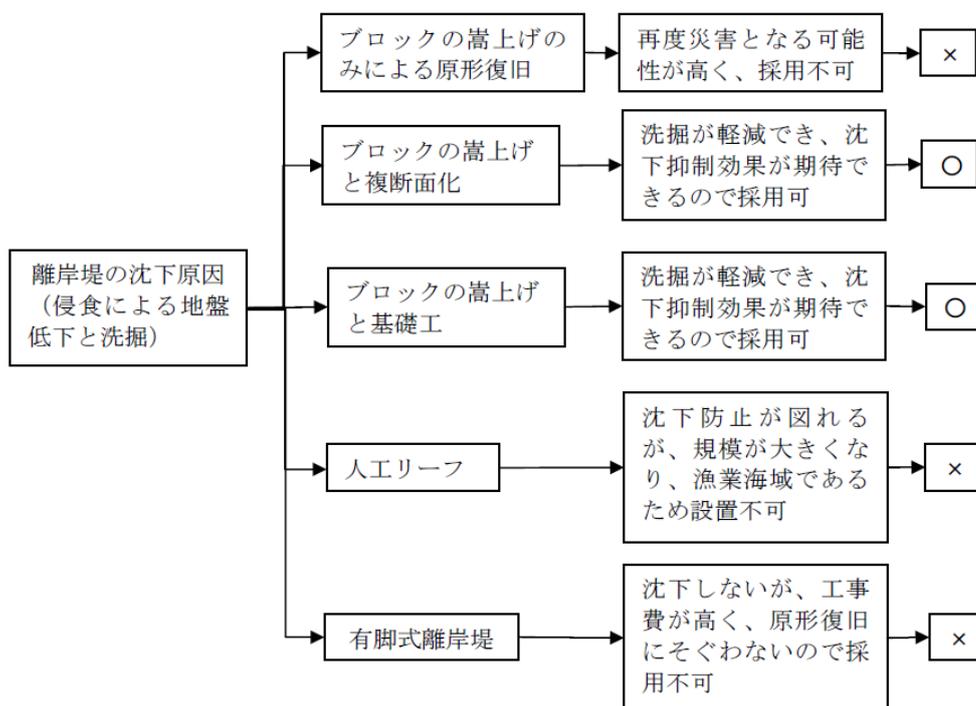
離岸堤は、従来、消波ブロック等を海底に積み上げて設置し、設置水深は5m未満の比較的浅い場合が多い。構造としては不透過性のものと透過性のものがあるが、波高の減衰を目的とする場合には不透過性を、砂の堆積を目的とする場合には透過性の構造が採用される場合が多い。

離岸堤は、海底を砂利や採石などで敷均した上に数十～数百kg/個の捨石でマウンドを作り、捨石の表層を消波ブロックで被覆する構造が多い。捨石やブロック間の空隙が大きいと基礎地盤の砂が吸い出され洗掘を生じる。このような洗掘を防止するために、基礎地盤上には必要に応じて洗掘防止用のシート・マットなどを敷設する。なお、上記構造型式その他、波の透過を抑える機能を持つ不透過性の構造もある。不透過堤には、方魂、混成堤、捨石堤、石張堤等があり、波うちあげ高・越波流量の低減を目的に砕波帯の沖側に設置されることが多い。

2.2 復旧方法

「美しい海辺を守る災害復旧ガイドライン(案)」で紹介されている離岸堤の復旧工法で洗掘を軽減できる工法は人工リーフのみである。また、他の工法として沈下しない有脚式離岸堤が考えられる。

しかし、人工リーフについては、一般に消波効果が離岸堤よりも劣るために堆砂効果が小さく、当海浜の砂浜は海水浴場で確実に侵食から守る必要があるため、機能的に復旧工法として適しているとはいえない。また、仮に深沼海岸の離岸堤と同じ消波効果を持つ人工リーフを設計すると、天端幅は被覆ブロックと捨石の人工リーフで 50m、離岸堤の消波ブロックを転用して築く人工リーフで 124mとなり、非常に規模が大きくなる。離岸堤沖合はノリの養殖やサケの定置網が設置される海域であるため、このように規模が大きな構造物は設置できない。一方、有脚式離岸堤については、一般に海底地形が急勾配で設置水深が大きくなり、従来型の離岸堤が経済的でない場合や高波浪により安定性が確保できない場合に用いられており、水深が浅い当海岸では経済的に適さない。



以上のことから、本離岸堤の復旧工法として、次の2工法が考えられるが、平成18年に復旧(ブロック嵩上げと基礎工)対策済みであるため、復旧方法はブロックの嵩上げのみとする。

第3節 亘理沖波高計復旧

3.1 亘理沖波高計復旧検討

東日本大震災に伴う機器復旧及び施設更新について、比較検討を行った。

(1) 亘理沖波高計復旧の目的

現状、水防警報を発信するため、沖合に設置されたブイに併設された海底設置型波高計と流速計の海象データにより判断している。現行の波高計システムでは、流速計は故障しているものの波高計は動作しているが、下記の課題がある。

1. 現行の波高計システムでは、データ伝送システムとして mova 無線設備を利用したシステムであるが、mova は平成 24 年 3 月をもって停波するため、平成 24 年 4 月以降はデータの送受信ができなくなり平成 24 年 4 月以降は欠測データとなる。
2. 既設ブイは平成 13 年度設置から 8 ヶ年経過しており、設計時の維持管理期間 5 ヶ年を大きく超過している。そのため耐久性能確保が十分でない状況にある。

上記課題を踏まえ、可能な限り平成 24 年 4 月以降に欠測データが生じないように、現行海象計システムの更新を行うこととし、平成 25 年 3 月に無線装置が停波に迫った短時間に暫定的にでも整備可能な波高計システム設計と将来、安定的なデータ取得可能な波高計システムの設計が目的である。

○ 亘理沖波高計の現状

項目	状況/内訳	対応	備考
①2011.3.11 発生 東日本大震災時の被災状況	流速計が被災	修繕に1.5ヶ月要する	観測機器から 継続観測は可
②データ取得の確実性	H24.4以降通信サービス(NTT Dopa)が終了 ↓ H24.4以降データ取得を行う為には通信関係の見直しが必要	要:通信機器の改良見直し	改良(案): ①NTT FOMA ②海底ケーブル

○ リアルタイムによる“データ取得の確実性の確保”が課題

○ 海岸保全施設計画を目的に継続観測は必要

(2) 海象計の比較検討

1) 基本的な考え方

- ・ 現状認識

亘理沖に設置されている「亘理沖波浪観測施設」は、平成 15 年 3 月から観測が開始され、現在もリアルタイムで海象観測を実施している。本観測施設は、蒲崎海岸及び山元町山元海岸における水防警報発令のための基準観測所となっており、海岸保全のみならず防災面、安全面からも重要な観測施設である。しかし、停波により観測データが伝送できなくなることや、観測ブイの耐久性能確保が十分でない等から、観測設備の更新が急務となっている。

- ・ 観測施設更新にあたっての基本的な考え方

観測施設の更新にあたっては、施設の設置目的を満足するよう、既設設備の撤去や機器更新等手順を検討することが必要である。ここに亘理沖波浪観測施設は、①防災、②安全管理、③海岸保全計画立案という 3 つの重大な目的のために、海象情報の観測を行っている。

①防災面及び②安全管理面の運用において支障を来さないためには、更新期間中においても波浪観測データを常時取得することが必要となるため、下記のいずれかの方法で対応しなければならない。

ア：更新期間中代替の観測設備を設置する

イ：代替地点（相馬：港湾局）の観測データを取得する

しかし防災面・安全管理面においては、自らの観測が前提であることから、機器の更新という特別な事情があっても「イ」の方法を採用することはできない。

また、③海岸保全計画立案に限れば、「イ」の方法により対応可能である。しかし亘理沖海象観測施設と相関関係がよく代替観測所として利用可能な相馬（港湾局所管）地点は、東日本大震災により観測設備が被災し、将来的な復旧の目処が立っていない。

以上を踏まえ、亘理沖海象観測施設の更新においては、自らの観測を前提に欠測期間が発生しないことを第一義的に考え、更新計画を立案するものとする。また、機器の更新にあたっては相応の費用がかかることになる。これより機器更新時にかかる、イニシャル費用及び機器設置後のランニング費用についても、配慮が必要である。

2) 観測施設更新パターンの比較検討

- 更新パターンの検討（基本的なパターン）

<ul style="list-style-type: none"> ①波浪観測機器種別 <ul style="list-style-type: none"> ⓐ観測ブイ+海象計 ⓑGPS 波浪計 ②伝送方式 <ul style="list-style-type: none"> ⓒ無線方式 <ul style="list-style-type: none"> ㉞パケット通信網（携帯電話キャリア通信網） ㉟衛星回線 ㊱無線回線（400MHz 帯テレメータ） ⓓ有線方式 <ul style="list-style-type: none"> ㊲海底ケーブル ③陸側観測局・監視局
--

海象観測施設更新は3つの要素で構成され、要素毎にどのオプションを選択するかによって更新パターンが変わってくる。中でも「②伝送方式」は、観測データを監視局に伝送するまでのルートを規定しているため、オプションの選択如何によって観測システム全体の信頼性や堅牢性を左右することになる。

これより亘理沖海象観測施設の更新パターンの整理においては、伝送方式と波浪観測機器、陸側観測局・監視局の組み合わせを検討することにする。

・検討課題:現行通信サービス終了によるリアルデータ取得の確実性(方法)の整理

※H24.4以降のデータ取得については、下記の2とおりが考えられる。

①現行亘理沖波高観測所による通信方式の見直し

②代替観測所からのデータ取得

①現行亘理沖波高観測所による通信方式の見直し

下記、通信方式の3案を比較する

第1案:沖ブイ式+FOMA通信案

第2案:沖ブイ式+テレメータ通信案

第3案:海底ケーブル+陸上観測所案

②代替観測所からのデータ取得

下記、近傍観測所と亘理沖波高観測所との相関を比較（相関係数 0.7以上必要）

第1案:相馬港(港湾局所管) 相関係数: $R^2=0.8439$

第2案:仙台新港(港湾局所管) 相関係数: $R^2=0.7864$

※ ②については、機器に不具合が生じた場合の補修は、相手側のタイミングによるために欠測期間がどの程度生じるのか把握できないため、リアルタイムによるデータ取得ができない。

(3) 陸上部データ伝送方法の比較検討

海象観測方式と海象計(センサー)から局舎までのデータ伝送方式について検討を行い、「海底ケーブル方式による整備」を最終案として決定した。しかし本案を採用する場合、観測局舎から監視局(仙台河川国道事務所)までの伝送方法が決まっていないため、局間伝送方法を定める必要がある。

・自ら観測(案):通信機器の更新比較表

現行亘理沖波高観測所による通信方式の見直し

下記、通信方式3案について比較

- ・第1案:沖ブイ式+FOMA通信案
- ・第2案:沖ブイ式+テレメータ通信案
- ・第3案:海底ケーブル+陸上観測所案

【観測方式】	【データの精度・頻度】	【対外調整】	【施設設置工事】	【ランニングコスト】	【メンテナンス性】	【電力】	【耐用年数】	【運用の留意点】	【総合評価】
第1案: 現行通信システム改良型 (沖ブイ式+FOMA通信案)	○	○	○	△	△	○	×	×	○
	現行と同等	新たな調整不要	・ブイ交換等工程が複雑 ☆設置コスト 152百万円	・8,500万円/5年 ブイ8,000万円/5年 通信 7万円/年 保守 100万円/年	洋上での保守(海象の影響を受ける)	ソーラー + バッテリー	・センサ 8年 ・ブイ 10-15年	・ブイ等のメンテ時欠測:期間 3ヶ月(代替機が無い)	
第2案: 現行通信システム改良型 (沖ブイ式 +テレメータ通信案)	×	△	×	△	△	○	×	×	△
	使用電力量が増加するため、現行よりも計測頻度が劣る可能性あり	電波伝搬調査を未実施(年度内調整が困難)	・ブイ交換等工程が複雑 ☆設置コスト 174百万円	・8,500万円/5年 ブイ8,000万円/5年 通信 0万円/年 保守 100万円/年	洋上での保守(海象の影響を受ける)	ソーラー + バッテリー	・センサ 8年 ・ブイ 10-15年	・ブイ等のメンテ時欠測:期間 3ヶ月(代替機が無い)	
第3案: 海底ケーブル +陸上観測所案	◎	△	◎	○	○	◎	○	○	◎
	現行と比較し頻繁にデータ取得が可能	ケーブル埋設"漁協"と要協議	・新設の為、工程がシンプル ☆設置コスト 144百万円	・550万円/5年 通信 9万円/年 保守 100万円/年	陸上での保守(障害の切り分けが容易)	商用電力 + ソーラー + バッテリー	・センサ 8年	・メンテ時に欠測等の影響が少ない(作業時間のみ)代替機有り	

※ 上記から、自ら観測を継続していく場合は“第3案”海底ケーブル+陸上観測所案が①データ取得の確実性、②イニシャル+ランニング コスト、③運用面で優れている。

しかし、海底へケーブルを敷設することについて対外調整(漁業者)が必要となり、整結果による。(現在:ホッキ漁の漁具により切断しないか調整が必要。 2m埋深可能)

調

3.2 海象計設備設計

亘理沖波高計復旧検討において決定した最適な整備方式について、海象計設備設計を行った

(1) 暫定復旧整備

- ・暫定復旧設備にかかる設計条件を以下にまとめる。

表 3.3.3-1 暫定復旧設備設計条件

項目	条件・仕様	備考
観測システム構成	沖ブイ方式(観測ブイ+海象計)	海象計はアイオーテクニク社製を想定
観測ブイ	既設観測ブイを利用 ・電源装置は既設太陽電池パネル及びバッテリーを使用	
海象計	既設架台を利用し新しいセンサーを設置する ・センサーは流向・流速計が設置されていた部分に設置する	
海・陸間伝送方式	パケット通信網(NTTドコモ FOMA 網)	
監視局側装置	専用端末装置	

・システム構成の検討

暫定復旧設備は、既設海象計設備を活かしつつ部分的に改造を行うものである。

本検討においては、上記に示した条件を踏まえて構成を考えた。

- ① 新通信方式(FOMA)に対応するため「インターネット通信・制御装置(SM-401型)」を既設観測ブイのアンテナ部分に設置する
- ② 暫定復旧整備は、既設観測ブイの使用が前提であり、観測ブイに設置されている太陽電池パネル及びバッテリーとの接続をとる必要がある。これより「接続キット(ZA-103型)」を設置し、「インターネット通信・制御装置(SM-401型)」と既設観測ブイ電池室内バッテリーを接続する。また既存電源設備からの供給が途絶えた場合に対処するため、非常時のバックアップ用として「バッテリーパック(LB-403-2型)」を接続する。
- ③ 新しいセンサーは既設架台への取付が前提であり、既設架台の取付部とセンサーの接続をとる必要がある。これより「架台アタッチメント(TB-323S型)」を設置し、センサーを設置する。あわせてバックアップ用の「バッテリーパック(LB-412型)」を接続する。
- ④ 新しいセンサーに電源を供給するため、「接続キット(ZA-103型)」とセンサーを「海中ケーブル(BY-402型)」で接続する。

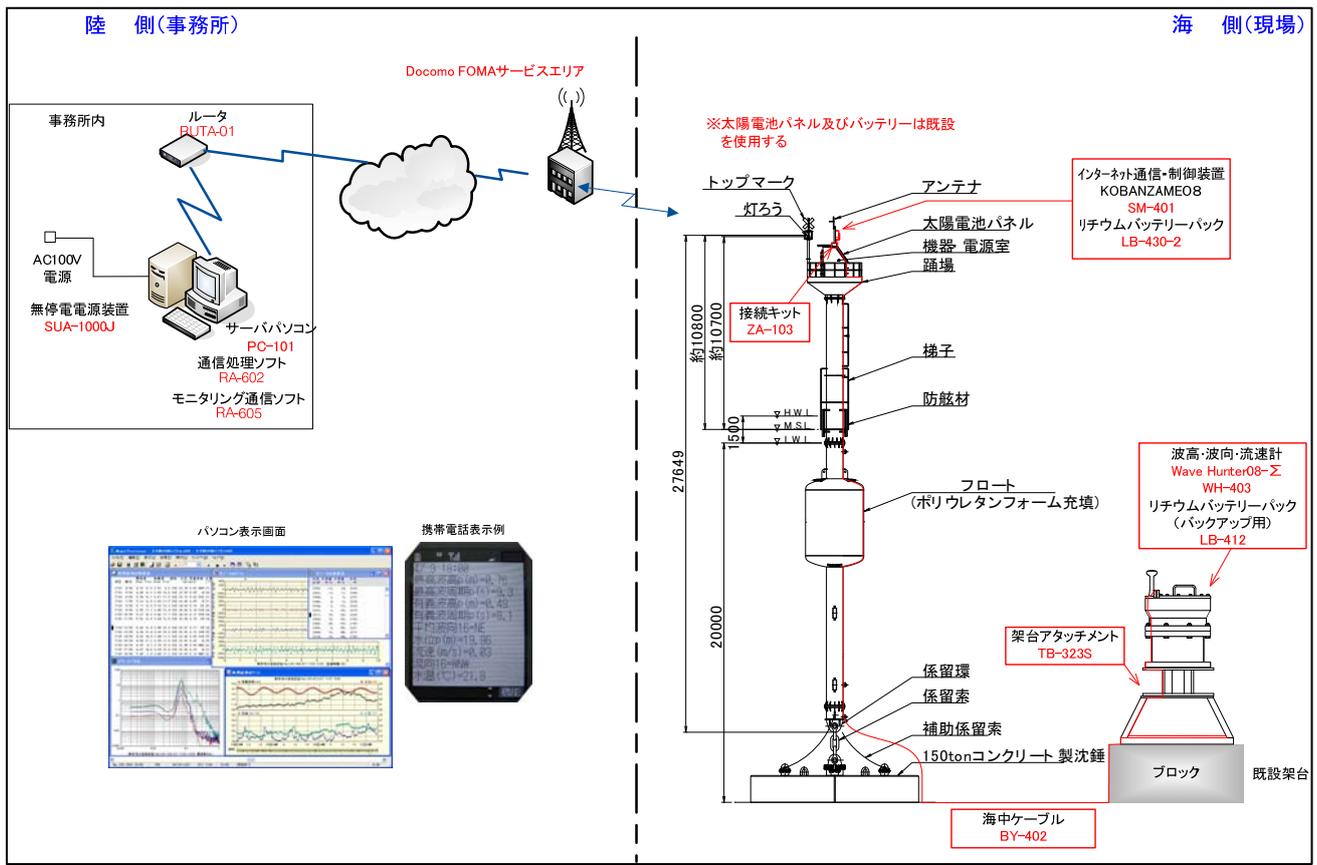


図 3.3.3-1 システム構成

(2) 本復旧設備

亘理沖波高計復旧検討の結果に基づき、海象計設備の整備内容について詳細設計は、下記のとおりとする。

項目	条件・仕様
観測システム構成	<p>海底ケーブル方式 海域設備:海象計^{※1}+灯浮標^{※2} ※1 海象計:ソニック社製(海象計送受波機 TU-200 型)を想定 ※2 灯浮標:ゼニライトブイ社製(小型灯浮標 20-A 型)を想定</p> <p>海～陸間伝送方法:海底ケーブル方式 観測局:海岸部(堤内地側)に新設 監視局:暫定復旧設備を使用 陸上部伝送方法:光ケーブル方式^{※3,4}</p> <p> ※3 牛橋防潮水門近傍の東北電力電柱から国道 6 号線の間は添架方式で布設 ※4 国道 6 号線は既設光ケーブルを使用</p>
海底ケーブル布設ルートの設定	<p>海域部は、亘理支所及び山元支所に設定されている第一種共同漁業権区域境界を通るルートを設定^{※5} 陸域部は、陸上げ後応急堤防沖側を堤防沿いに通るルートを設定^{※6}</p> <p> ※5 宮城県漁業協議に基づく ※6 東北農政局協議に基づく</p>
海象計位置	<p>既存海象計の観測特性に大きな変化がなく、かつ近傍ノリ養殖に影響が無い位置を設定^{※5}</p> <ul style="list-style-type: none"> » 第一種区画漁業権区域(ノリ養殖)の南側 » 山元支所に設定されている第一種共同漁業権区域と第二種共同漁業権区域の境界 » 既設海象計位置より北側の位置 <p> ※5 宮城県漁業協議に基づく</p>
灯浮標位置	<p>灯浮標は海象観測に支障が無いよう、海象計設置位置より岸側海域に設置。灯浮標は小型灯浮標とし灯高は 2m とする。^{※5}</p> <p> ※ 5 宮城県漁業協議に基づく</p>
海域における海底ケーブル埋設方法及び埋設深	<p>海底ケーブル布設は、自動埋設機による機械化施工を基本とし、埋設深は 2m 以上を設定。^{※7} 自動埋設機が使用できない汀線部付近(汀線から水深 3m までの範囲:汀線から約 60m の区間)については、人力による施工とし、埋設深は 50cm を設定。^{※7}</p> <p> ※7 宮城県漁業協議に基づく</p>
海浜における海底	<p>海浜部におけるケーブル布設は、バックホウによる機械掘を基本とし</p>

項目	条件・仕様
ケーブル埋設方法及び埋設深	埋設深は本復旧堤防根入深さと同じ 1.5m を設定。
応急堤防・復旧堤防の横断方法	<p>応急堤防及び復旧堤防の横断は、牛橋防潮水門部分の添架により行う。^{※8}</p> <p style="text-align: right;">※8 仙台地方振興事務所(亘理土地改良区)協議に基づく</p>
囲繞堤部におけるケーブル埋設方法及び埋設深	<p>囲繞堤におけるケーブル埋設は、バックホウによる機械堀を基本とし、埋設深は道路法施行令 11 条 2 に準拠し、30cm を設定。^{※8}</p> <p style="text-align: right;">※8 仙台地方振興事務所(亘理土地改良区)協議に基づく</p>
観測局舎位置及び大きさ	<p>観測局舎は、山元町法定外水路区間に設置し、配置は既設東北電力柱近傍に設置する。^{※9}</p> <p>局舎の大きさは、計器類が収まる最小の大きさとして 2200W×1160D×2230H を設定。^{※10}</p> <p style="text-align: right;">※9 東北農政局協議に基づく ※10 仙台土木事務所協議に基づく</p>
観測局付属設備	<p>観測局舎には、室内温度を一定に保つための空調設備(エアコン)を設置する。</p> <p>空調設備(エアコン)の必要能力は、夏期外気温を 35℃と仮定し、局舎内部設定温度を 28℃に保つものとして、冷房能力が 2.5kW 程度(畳数は 8 畳)とする。</p>

設置位置については下記の点に配慮して設定した。

- ① 海象観測の連続性の観点から、海象観測特性がほぼ同じとなるよう、既設海象計近傍に設置する。
- ② 観測施設設置海域周辺はウバガイの漁場であり、漁期においてはマンガ（漁具）で底を曳くことになるため、海底ケーブルは埋設することを基本とする。
- ③ 海底ケーブル埋設ルートは、漁業活動への影響を考慮し、漁業区域境界付近とする。（亘理町・山元町）
- ④ 海象計設置位置は、漁業活動への影響を考慮し、既設海象計設置位置近傍に敷設する。

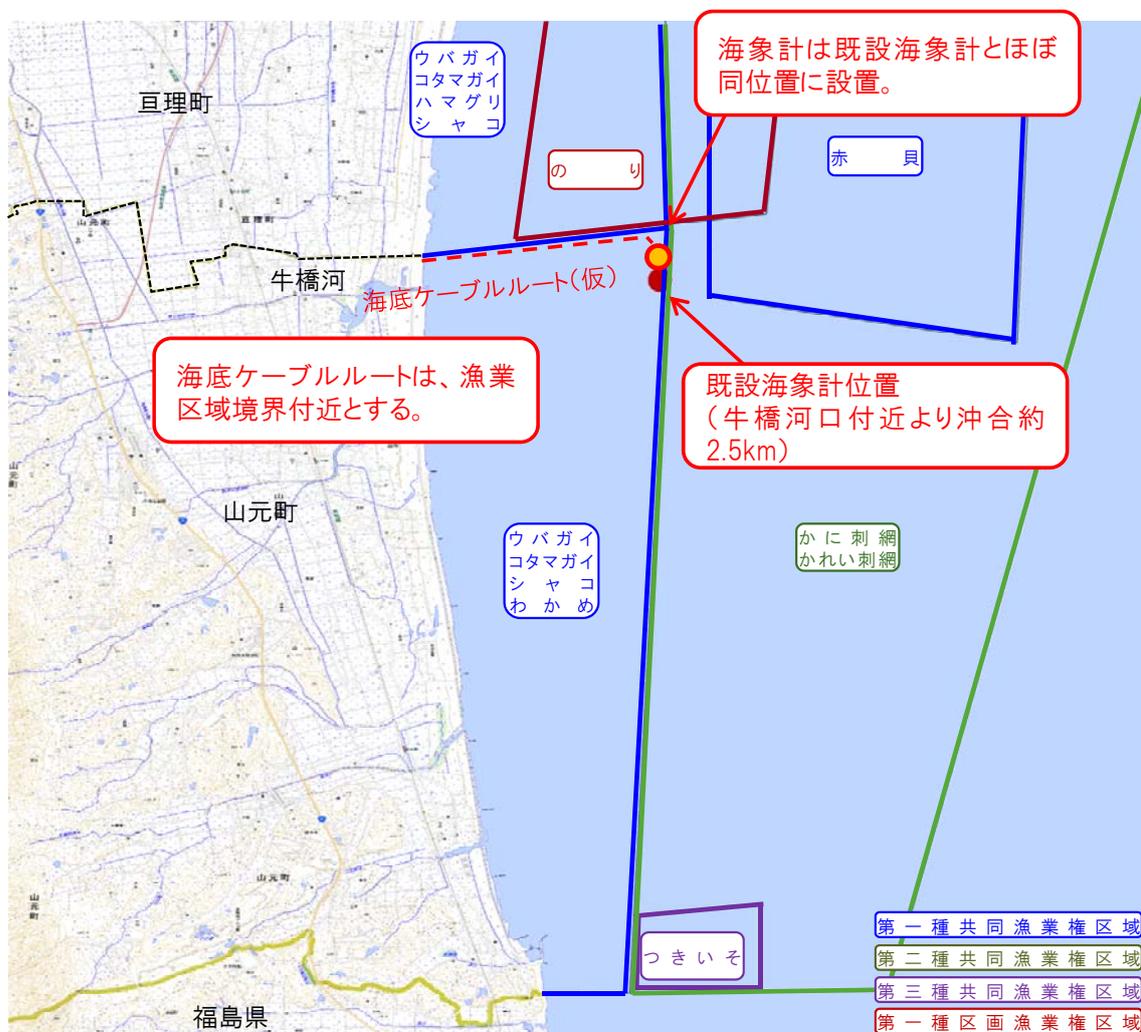


図 3.3.3-2 設置位置条件

設置位置設定のための条件を踏まえ、新設海象計の設置位置を下図のとおりとした。

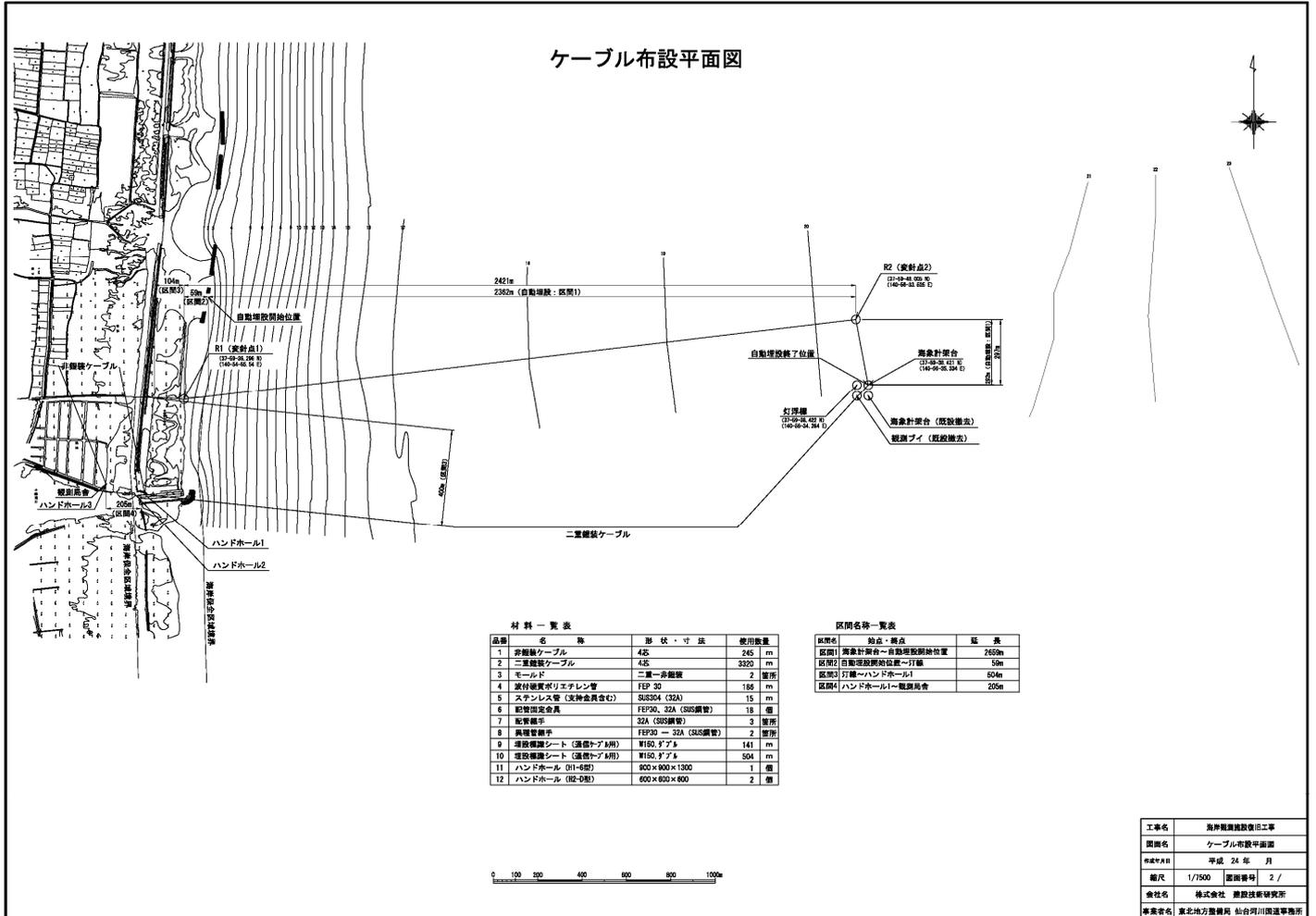


図 3.3.3-3 設置位置

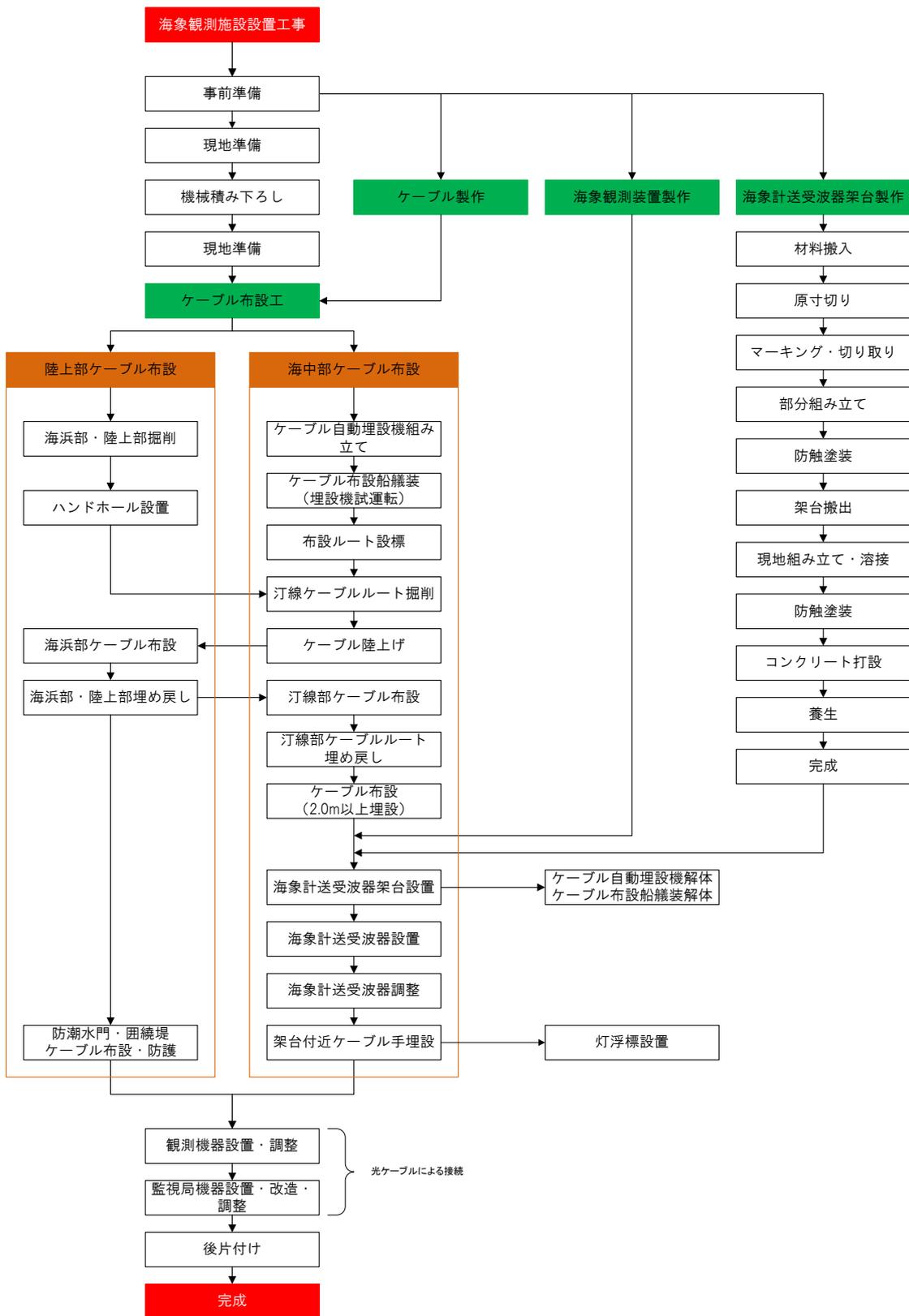


図 3.3.3-4 本復旧設備の施工フロー図