

4. 緊急保全対策工の構造タイプと設計の考え方

本章では、緊急保全対策工の基本的な考え方と具体的な構造タイプを示すと共に、緊急保全対策工の設計の考え方を整理した。

4.1. 具体的な構造タイプ

(1) 緊急保全対策工の基本的な考え方

「2.2. 保全・再生対策の基本的考え方」で述べたように、湖岸植生の減退には波浪による侵食、湖岸堤築造による生育場の減少等、湖岸の整備と共に減少してきていると考えられた。

これは、霞ヶ浦開発事業による湖岸堤の築堤に伴う直立護岸の整備と湖水位の上昇により、それまで植生が繁茂していた緩傾斜の自然地形の消失・減少、直立護岸の反射波による陸域に近い緩傾斜地形の侵食等の現象によって、湖岸植生の生育場である浅場の喪失が大きな原因と考えられる。特に、アサザの場合、ヨシ原の水際部が急峻な地形となっているため、実生が定着しても地下茎が伸長できない状態である。

この失われた連続的な緩傾斜自然地形の再生を目指し、湖岸植生の生育場を創出させるため、陸域に接する連続的な緩傾斜養浜を整備する。

また、霞ヶ浦の水位は、霞ヶ浦開発事業の護岸整備と共に水位管理によって変動幅が縮小すると共に、冬期には水位が数十cm上昇するようになった。これは直立護岸の反射波によって陸域付近の地盤がえぐられ、湖岸植生の生育場の水深が増加すること、強風が吹く冬期に水位が上昇し、水深が増加することなどによって、湖岸付近の波浪の波高を大きくさせる原因となり得ると考えられる。特に、アサザの場合、湖岸で発芽した実生は、水位が上昇して冠水した後や、強風によって強い波浪が発生した後に死亡している事例が多く見られている。

様々な要因で高くなった波浪の湖岸植生の生育への影響を低減させて、植生生育に適した、より静穏な水域環境を創出させるため、湖岸植生の前面位置に消波工を整備する。平成12年の時点では、アサザの生態は不明点が多く、各原因項目の影響度について十分把握されておらず、消波工整備においては、波浪が低減することによる湖岸付近の水質、底質の悪化も懸念され、整備にあたってはその影響も考慮した。

(2) 基本的な工法

以上の考え方にもとづき、アサザを含む湖岸植生の生育環境の改善・再生のための対策工は、「消波工」と「養浜工」とし、これらに「植生の再生手法」を用いることとした。

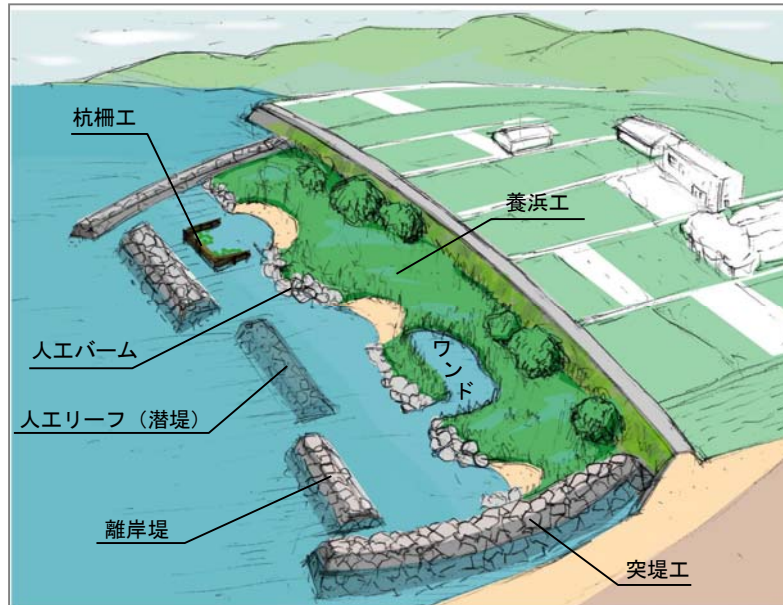


図 4.1-1 工法および基本構造のイメージ

1) 消波工（対策 1）

- ・消波工は、基本的に粗朶消波工を用いた。理由は、過去に行ったアサザ群落の再生で成果があること、将来湖岸植生帯が回復したときにも生態系の連続性を遮断しないこと、および植生生育にとってより自然な攪乱（波浪による）がある環境を整備することなどが挙げられる。
- ・ただし、波浪が強く粗朶消波工だけでは養浜した地形の維持が困難と予測される場所では、石積工を用いることにした。

2) 生育場となる養浜工（対策 2）

- ・植生の新たな生育場となる養浜工、捨砂工を緩勾配で整備することにした。
- ・養浜工の標準高さは、霞ヶ浦における植生繁茂の事例等を参考に、Y.P. +1.1m を中心に設定し、多様な生育場の創出を目指した。
- ・その際、沈水、浮葉、抽水などの多様な植物が生育できるように、多様な環境を持つハビタットを整備した。具体的には、養浜工内に引込み水路型のワンドを整備した。特にワンドでは、微細な浮遊物が沈降でき透明度の向上が期待できる環境として沈水植物の再生も目指した。また、既存植生が存在する場合は、既存の植生が生育できるように配慮した。

3) 植生の再生手法（対策 2）

- ・植生の再生手法では、シードバンク（埋土種子）を含む舟溜の航路浚渫土を活用し、

4. 緊急保全対策工の構造タイプと設計の考え方

4.1. 具体的な構造タイプ

養浜工の全面（陸側養浜部）に薄く撒きだすことで、養浜工上に霞ヶ浦に生息していた植生が再生することを目指した。

- その他に、親株、実生等の植栽及び種子の播種など（主にNPOが実施）を実施することとした。
- さらに、植生の実生、株などの生育と定着を促進し、一時的に波から保護するため、養浜汀線を保護する人工バームと植え付け株を保護する杭柵工を整備した。これは、補助施設であり、植生帯が耐波能力を持つ群落に成長した場合は撤去も想定したものである。

※対策1、対策2については、P2-4参照

4. 緊急保全対策工の構造タイプと設計の考え方

4.1. 具体的な構造タイプ

(3) 構造タイプについて

具体的な構造タイプは、各地区の特性などを考慮して検討した結果、図 4.1-2のとおり設定した。

次頁の図 4.1-3に、各タイプのイメージを示す。

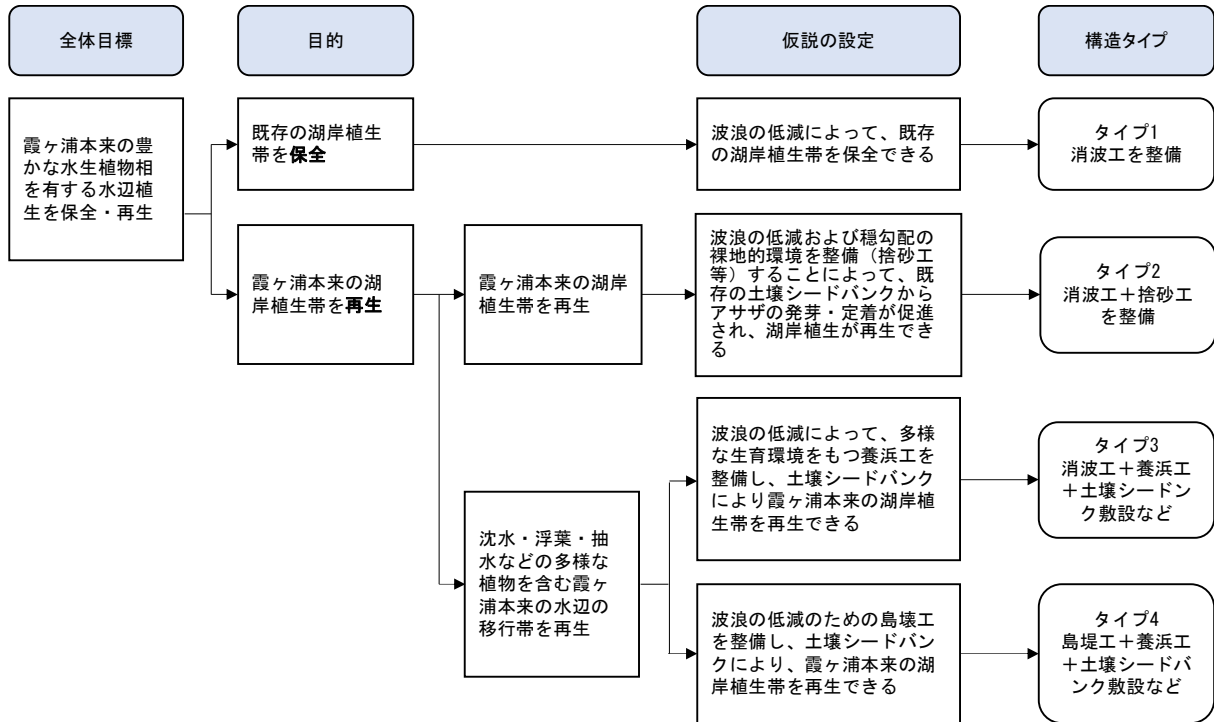


図 4.1-2 構造タイプの設定

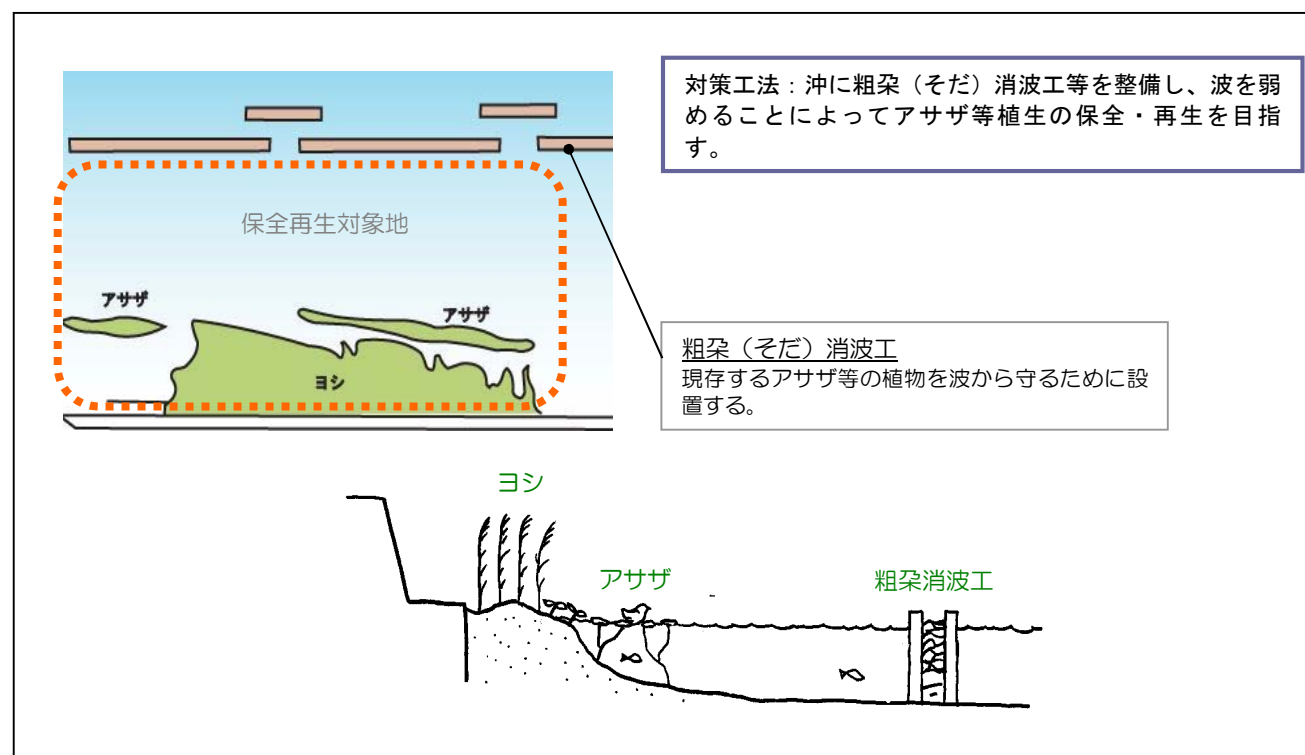
表 4.1-1 構造タイプと対策

タイプ		対策
■タイプ1	現存するアサザ等既存植生を保全する対策工： 主に粗朶（そだ）消波工を整備	対策1 消波工
■タイプ2	アサザの実生定着、生育促進を目指す対策工： 主に粗朶（そだ）消波工、板柵盛土工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工
■タイプ3	新しい生育場を創出する対策工： 主に粗朶（そだ）消波工、養浜工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工、シードバンク含有土壌の敷設
■タイプ4	新しい多様な湖岸水辺環境を創出する対策工： 主に島堤、養浜工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工、シードバンク含有土壌の敷設

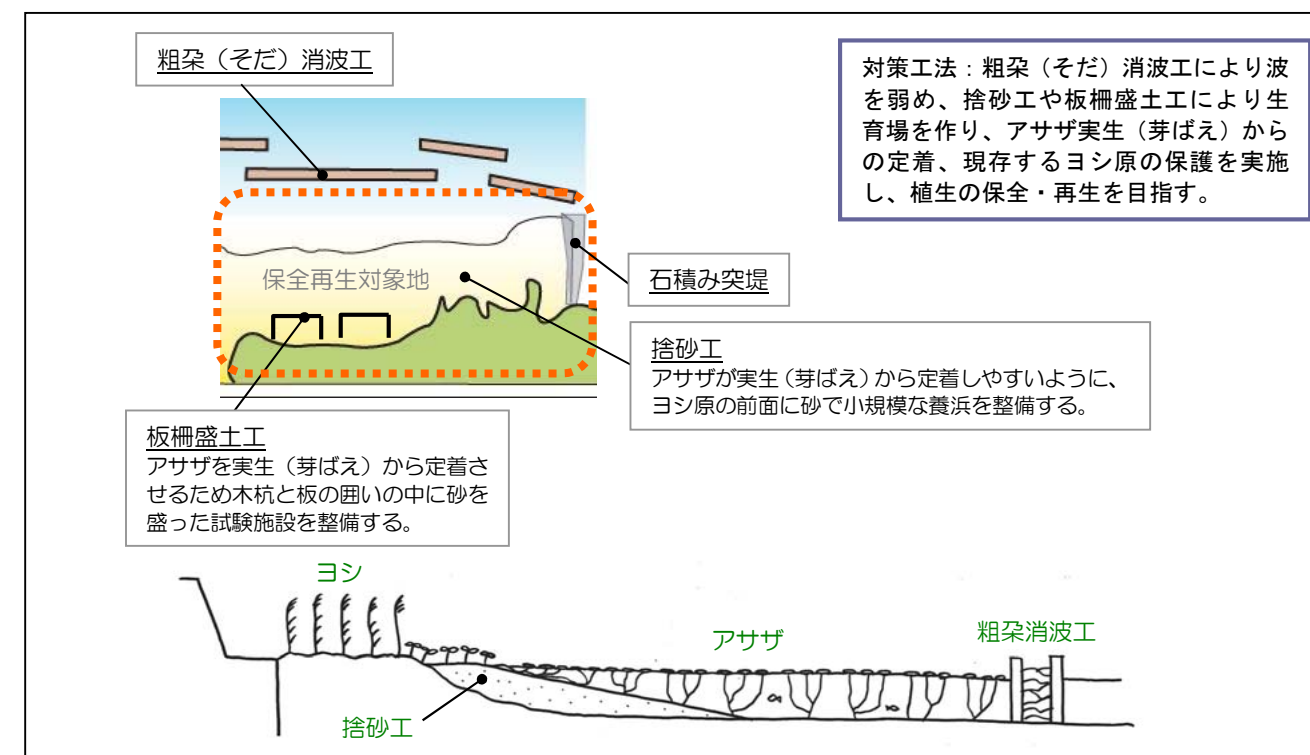
用語の定義

実生：種子から発芽したものを示す(双葉が出た状態)

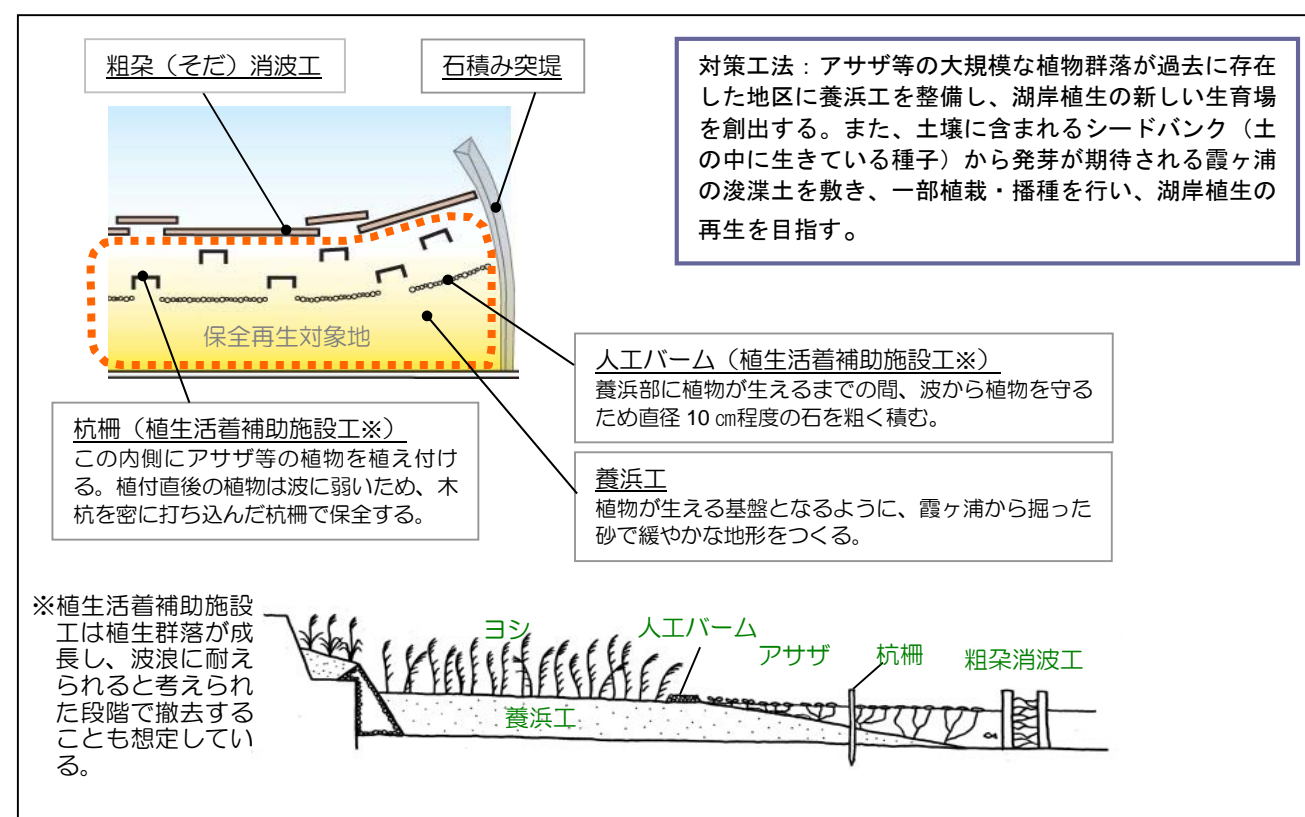
定着：双葉が確認できず(双葉が落ちて)本葉が出ている現象を示す
(一般的定義ではなく、緊急保全対策のアサザ調査用の定義)



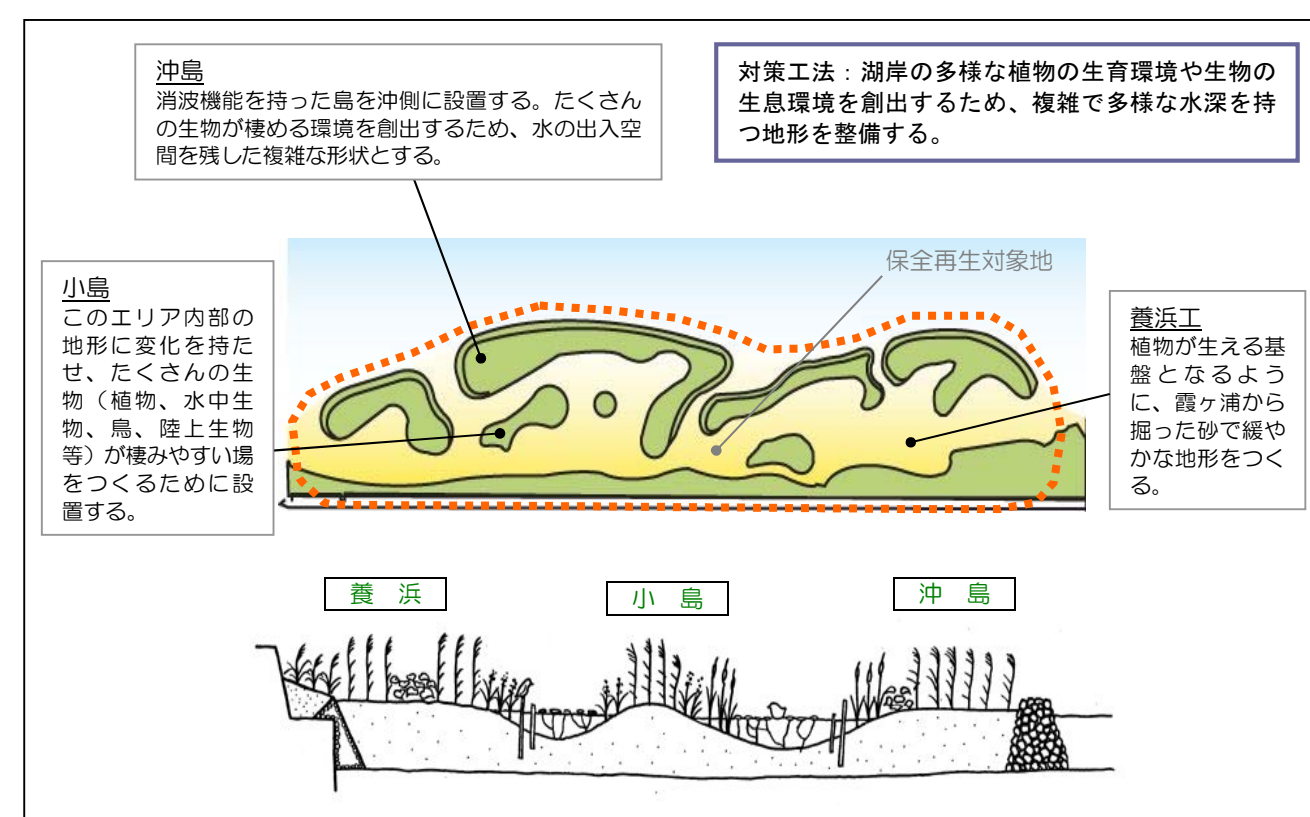
タイプ1：現存するアサザ等既存植生を保全する対策工



タイプ2：アサザの実生定着、生育促進を目指す対策



タイプ3：新しい生育場を創出する対策工



タイプ4：新しい多様な湖岸水辺環境を創出する対策工

図 4.1-3 各タイプのイメージ

4. 緊急保全対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.1. 具体的な構造タイプ

(4) 植生の再生手法

各対策工を実施した上で、植栽・播種、シードバンク含有土壌の撒出し（ワンド・水路内も含む）による植栽等の再生手法を用いる。

以下に、タイプ3（新しい生育場を創出する対策工）を事例として、緊急保全対策地区における地区の呼称および再生手法の実施場所を示す。

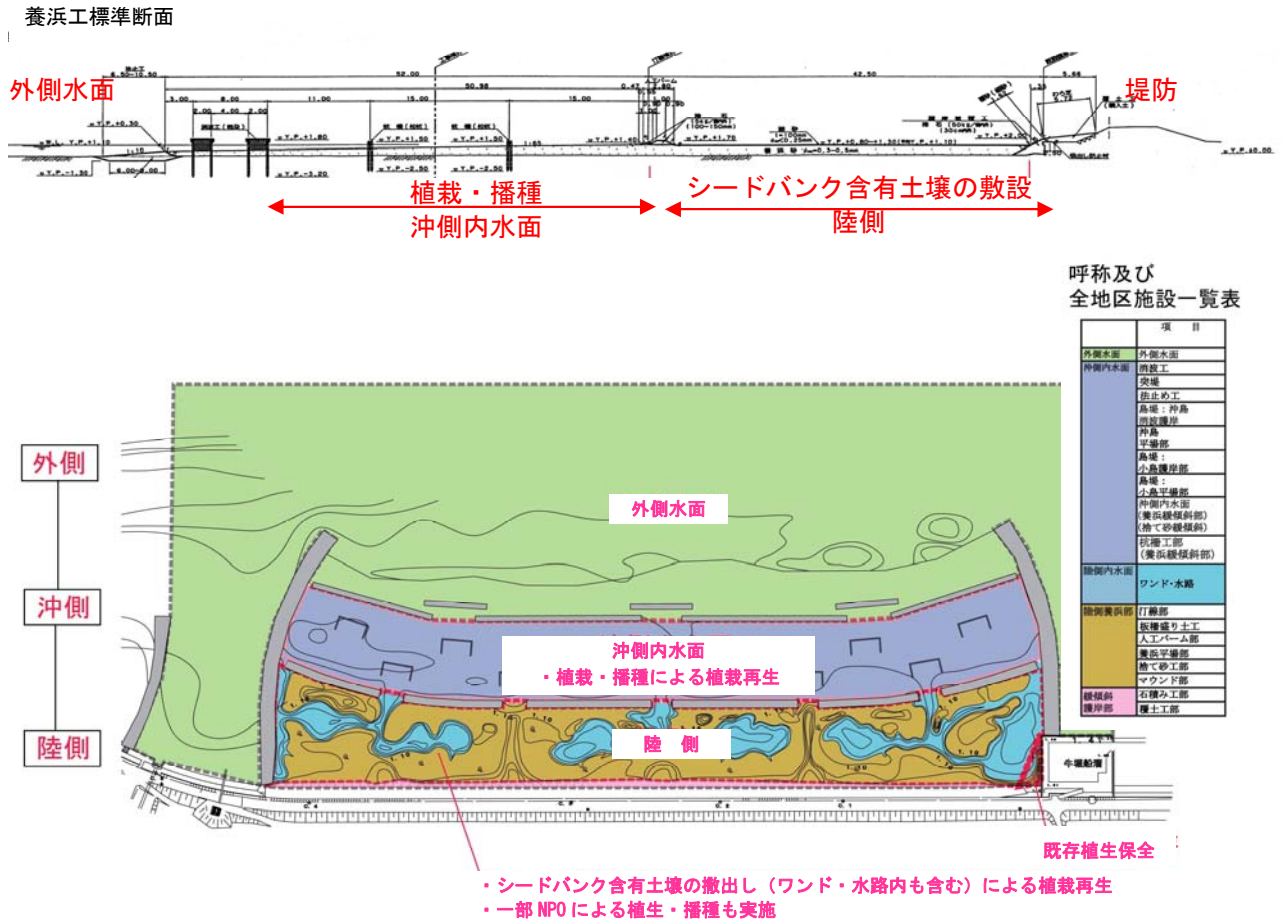


図 4.1-4 緊急保全対策地区の呼称および再生手法の実施場所（事例：タイプ3）

出典：「第2回 霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急保全対策評価検討会」資料5-1（P14）より作成

4. 緊急保全対策工の構造タイプと設計の考え方
4.1. 具体的な構造タイプ

(5) 各地区の保全・再生目標と採用工法の考え方

出典：「第2回 霞ヶ浦湖岸植生帯の緊急保全対策評価検討会 資料5-1

各地区の緊急保全対策工の再生目標と採用工法(P10) 平成16年2月24日開催」に加筆修正

以下に各地区の目標と主な採用工法を示す。

表 4.1-2 各地区の目標と採用工法

目的の考え方及び地区名	タイプと工区	湖/河川	過去の植生等	各地区の目標	採用工法	
保全	古渡(下流)	西浦	・昭和47年(1972年)当時は厚い抽水植物帯の沖側に沈水植物帯が存在。 ・平成9年(1997年)まではヨシ原の沖側にアサザ群落があり、種子生産量が極めて多かった。	・株の植え付けではなく、既存土壌シードバンクから発芽する実生からの再生を助けることにより、アサザ群落を再生する。 ・実生からの定着の促進は試験的な取り組みである。鳩崎・余郷入地区でも同様の試験を行うが、鳩崎・余郷入地区よりもより現状に手を加えない方法を試す場所とする。 ・ヨシ原の侵食を防ぎ、鼻地形を保全する。	1. 波浪が強いと想定されたので、ヨシ原生育場の侵食を防ぐことにより、アサザの実生からの定着を助けるため、波浪を低減する粗朶消波工を整備した。	
	石田		・昭和58年(1983年)には、ヨシ原の前面で水深2m以上の範囲にまでアサザ群落が広がっていた。	・現存するヨシ原の前面にアサザ群落を再生する。 ・アサザの植え付け場として整備する。	1. 波浪を低減することにより、植栽によるアサザ株の活着・成長を補助・促進する目的で、粗朶消波工をコの字型に整備した。	
	根田(下流)		・昭和58年(1983年)には、一帯に複雑な平面形状を持つヨシ群落、マコモ群落が存在。 ・平成9年(1997年)には、抽水植物群落の沖側に50m程度の幅のアサザ群落約1.2haが存在した。	・現存するアサザ群落を保全し、かつ、拡大させる。	1. 波浪の低減のため、粗朶消波工を整備した。	
	麻生		・昭和58年(1983年)には、護岸の前面にヒメガマ、マコモ群落が線状に存在していた。 ・平成9年(1997年)には、約0.7haのアサザ群落が広がっていた。	・現存のアサザ群落を保全する。 ・波浪対策への対応も行う。	1. 波浪の低減のため、異型ブロック式消波工を整備した。 2. ただし、水域を締め切ることの悪影響及び漁業活動への配慮などから、沖側150~200m程度の離れた位置に、適当な開口部を設けながら設置した。	
	爪木	北浦	・昭和59年(1984年)には、護岸前面にヒメガマ、マコモ群落などが、帯状に存在していた。 ・平成9年(1997年)当時は、約0.3haのアサザが広がっていたが、年々減少している。	・現存するアサザ群落を保全する。	1. 波浪の低減のため、土質の悪さを考慮して群杭工(粗朶消波工)を整備した。	
	梶山		・昭和59年(1984年)には、小規模なヨシ群落などが存在していた。	・現存するアサザ群落、ヨシ群落を保全する。	1. 波浪の低減のため、粗朶消波工を整備した。 2. 小規模の捨砂工を整備した。	
再生	鳩崎・余郷入	西浦	・平成9年(1997年)までは、ヨシ原の沖側1mの等深線までの範囲にアサザの大群落が存在し、沢山の種子が生産されていた。	・株の植え付けではなく、既存土壌シードバンクから発芽する実生からの再生を助けることにより、アサザ群落を再生する。 ・実生からの定着の促進は試験的な取り組みである。古渡地区でも同様の試験を行うが、古渡地区よりも、より波浪の弱い条件を部分的に創出する。	1. 消波により湖岸地形を維持し、静穏な水域を創出することにより、既存土壌シードバンクからアサザの発芽、実生からの定着を促進する目的で、沖側には粗朶消波工を、内水面には板柵盛土工を整備した。 2. 裸地的な生育場、水中まで連続した緩勾配地形を持つ生育場を創出することにより、アサザの発芽および実生の定着を促進する目的で、板柵盛土工、捨砂工を整備した。	
	古渡(上流)		・昭和47年(1972年)当時は厚い抽水植物帯の沖側に沈水植物帯が存在。 ・平成9年(1997年)まではヨシ原の沖側にアサザ群落があり、種子生産量が極めて多かった。	・株の植え付けではなく、既存土壌シードバンクから発芽する実生からの再生を助けることにより、アサザ群落を再生する。 ・実生からの定着の促進は試験的な取り組みである。鳩崎・余郷入地区でも同様の試験を行うが、鳩崎・余郷入地区よりもより現状に手を加えない方法を試す場所とする。 ・ヨシ原の侵食を防ぎ、鼻地形を保全する。	1. 波浪が弱いと想定されたので、ヨシ原前面にアサザ実生が定着しやすい生育場(裸地)を創出するため、捨砂工を整備した。	
	境島	<タイプ3>捨砂工区(上流)	西浦	・昭和47年(1972年)当時は全体に沈水・浮葉・抽水植物群落分布。 ・昭和58年(1983年)には牛堀舟溜周辺にガマ・マコモ群落が残存し、「鼻」的な様相を呈していた。 ・平成9年(1997年)まではアサザが広がっており、遠くに筑波山を望む優れた景勝地だった。	・アサザだけでなく、沈水、浮葉、抽水を含む水辺の移行帯を再生させる。 ・植生帯の生育場を再生することにより、湖岸への波浪も緩和する。	1. 残存するヨシ原を保護するため、捨砂工を整備した
		<タイプ3>養浜工区(下流)		・当該地区を含む高浜入には、湖岸沿いには抽水植物帯があり、沖には浮葉植物の大群落が存在した。	・現在の直立護岸の前面に抽水植物帯を再生し、その沖側には浮葉植物群落を再生する。	1. 波浪の低減のため、突堤工、粗朶消波工を整備した。 2. 生育場整備のため、緩傾斜養浜工、静穏水域を整備し、さらに多様な生育場を創り出すため、引込み水路型ワンドを整備した。 3. 湖岸植生再生のため、陸側養浜工部、内水面にシードバンク含有土壌を撒きだした。
	石川	<タイプ3>粗朶・人工バーム工区(1工区)		・昭和59年(1984年)には、湖岸からおおよそ100m程度沖側の範囲まで、ヒメガマ群落・マコモ群落が存在。 ・平成9年(1997年)には、永山第二舟溜の周辺にアサザ群落約0.8haが存在。	・現存するアサザ群落については、モニタリングをして管理していく。 ・現存するアサザ群落付近に存在した抽水植物群落を再生する。さらに現存するヨシ原に存在する既存土壌シードバンクから、アサザの実生定着も期待するものとする。	1. 波浪の低減のため、粗朶消波工、突堤工を整備した。 2. 生育場の整備のため、養浜工、人工バームを整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、シードバンク含有土壌を陸側養浜工部・内水面に撒きだした。
		<タイプ3>粗朶・砂堤工区(2工区)		・昭和59年(1984年)には、護岸前面にヒメガマ、マコモ群落、ミゾソバサデクサ群落などが、帯状に分布。 ・平成9年(1997年)当時は、約1.6haの大規模なアサザが広がっていた。	・近年までアサザの大群落があったことから、対象地区全体にアサザと抽水植物帯からなる群落を再生することを目標とする。	1. 波浪の低減のため、粗朶消波工、中仕切り柵、突堤工を整備した。 2. 生育場の整備のため、養浜工、砂堤工を整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、シードバンク含有土壌を陸側養浜工部・内水面に撒きだした。
		<タイプ3>人工バーム工区(3工区)			1. 生育場の整備のため、養浜工、人工バームを整備した。 2. 湖岸植生帯の再生のため、シードバンク含有土壌を陸側養浜工部・内水面に撒きだした。	
		<タイプ3>砂堤工区(4工区)			1. 生育場の整備のため、養浜工、砂堤工を整備した。 2. 湖岸植生帯の再生のため、シードバンク含有土壌を陸側養浜工部・内水面に撒きだした。	
	永山	<タイプ3>人工リーフ・養浜工区			1. 波浪の低減のため、人工リーフ、突堤工を整備した。 2. 生育場整備のため、養浜工を整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、陸側養浜部、内水面にシードバンク含有土壌を撒きだした。	
	大船津	<タイプ3>養浜工区(上流)	北浦			1. 波浪の低減のため、ボーデン湖型砂止め工、突堤工を整備した。 2. 生育場整備のため、養浜工を整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、陸側養浜工部にシードバンク含有土壌を撒きだした。
<タイプ3>養浜工区(中流)(既存木工沈床が整備済)					1. 波浪の低減のため、ボーデン湖型砂止め工、突堤工を整備した。 2. 生育場整備のため、養浜工を整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、陸側養浜工部にシードバンク含有土壌を撒きだした。	
<タイプ3>粗朶・捨砂工区(下流)					1. 波浪の低減のため、粗朶消波工、突堤工を整備した。 2. 生育場整備のため、捨砂工を整備した。 3. シードバンク含有土壌は撒かなかつた。	
根田(上流)	<タイプ4>島堤工区	西浦	・昭和58年(1983年)には、一帯に複雑な平面形状を持つヨシ群落、マコモ群落が存在。 ・平成9年(1997年)には、抽水植物群落の沖側に50m程度の幅のアサザ群落約1.2haが存在した。	・多様な平面構造を持った抽水植物帯を再生する。 ・ウェットランド、霞ヶ浦環境科学センターなど植生再生の拠点施設が立地するため、霞ヶ浦植生回復のモデル施設となる親水性を持つ大規模な島堤群を整備する。	1. 波浪の低減のため、突堤、消波護岸を持つ沖島を整備した。 2. 多様な生物の生息・生育環境を持つ生育場を整備するため、沖島、静穏な沖側内水面、小島、養浜工などを整備した。 3. 湖岸植生帯の再生のため、沖島・小島養浜部及び陸側養浜工部に、シードバンク含有土壌を撒きだした。	

○各地区の緊急保全対策工（空撮：H24.9撮影）

⑥石川（再生地区）



⑧麻生（保全地区）



⑪梶山（保全地区）



タイプ	対策
■タイプ1 現存するアサザ等既存植生を保全する対策工： 主に粗朶（そだ）消波工を整備	対策1 消波工
■タイプ2 アサザの実生定着、生育促進を目指す対策工： 主に粗朶（そだ）消波工、板柵盛土工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工
■タイプ3 新しい生育場を創出する対策工： 主に粗朶（そだ）消波工、養浜工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工、シードバンク含有土壌の敷設
■タイプ4 新しい多様な湖岸水辺環境を創出する対策工： 主に島堤、養浜工を整備	対策1 消波工 および対策2 養浜工、シードバンク含有土壌の敷設

④石田（保全地区）



⑤根田（保全・再生地区）



③鳩崎・余郷入（再生地区）



②古渡（保全・再生地区）



①境島（再生地区）



⑦永山（再生地区）



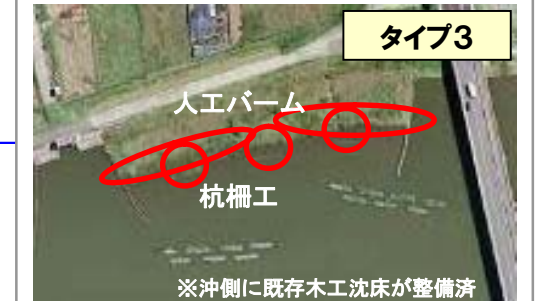
⑩爪木（保全地区）



⑨大船津（再生地区）



養浜工区（中流）



粗朶・捨砂工区（下流）



○：ワンド地形

○：ワンド地形

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方

4.1. 具体的な構造タイプ

表 4.1-3 地区別整備施設の一覧

●は採用した工法を示す

目的	タイプ	地区名と工区分		採用工法の一覧																
				消波工						養浜工						植生活着補助施設工				
		地区名	工区分	粗朶消波工	群杭工 (粗朶消波工)	異型ブロック式消波工	島堤工 (消波護岸)	人工リーフ	砂堤工	捨砂工	養浜工	ワンド	突堤工		敷設 シードバンク含有土壌	植栽、播種	杭柵工	板柵盛土工	人工バーム	
保全	既存の湖岸植生帯を保全する	タイプ1	古渡（下流）	粗朶工区	●												●			
			石田	粗朶工区	●													●		
			根田（下流）	粗朶工	●													●		
			麻生	異型ブロック式消波工			●													
			爪木	群杭工		●												●		
			梶山	捨砂・粗朶工	●						●							●		
再生	既存土壌シードバンクより発芽するアサザ実生からの定着を促進し、植生帯を再生する	タイプ2	鳩崎・余郷入	粗朶・板柵盛土・捨砂工区	●					●			●			●		●		
			古渡（上流）	捨砂工区						●							●			
	沈水、浮葉、抽水など多様な植物を含む霞ヶ浦本来の水辺の移行帯を再生する	タイプ3	境島	上流	捨砂工区						●			●						
				下流	養浜工区	●						●	●*1	●	●	●	●	●	●	
			石川	粗朶・人工バーム工区	●						●	●	●*3	●	●	●	●	●	●	●
				粗朶・砂堤工区	●				●		●	●	●*3	●	●	●	●	●	●	●
				人工バーム工区							●	●	●*3	●	●	●	●	●	●	●
			永山	砂堤工区					●		●	●	●*3	●	●	●	●	●	●	●
				人工リーフ・養浜工区					●			●	●	●*1	●	●	●	●	●	●
	大船津	上流	養浜工区							●			●	●	●	●	●	●		
		中流	養浜工区	●							●			●	●	●	●	●		
下流		粗朶・捨砂工区	●						●			●	●	●	●	●	●			
タイプ4	根田（上流）	島堤工区				●			●	●*2	●	●	●	●						
採用工区数				9	1	1	1	1	2	5	9	7	6	6	9	16	8	1	6	
採用地区数				8	1	1	1	1	1	5	5	4	5	2	5	10	4	1	4	

*1：境島（下流）地区、永山地区のワンドは、水路型ワンド
 *2：根田（上流）地区のワンドは、島堤工により創出されたワンド
 *3：石川地区のワンドは、閉鎖型のワンド
 *4：大船津（中流）地区の粗朶消波工は既設の木工沈床のため採用工区数から除く

○緊急保全対策工の代表的な構造物

①粗朶消波工<石田地区>



②群杭工（粗朶消波工）<爪木地区>



③養浜工<大船津地区>



④板柵盛土工<鳩崎・余郷入地区>



⑤異型ブロック式消波工<麻生地区>



⑥矢板式突堤工<石川地区>



⑦捨砂工<境島地区>



⑧島堤工<根田地区>



⑨人工バーム・杭柵工<大船津地区>



- 4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 - 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

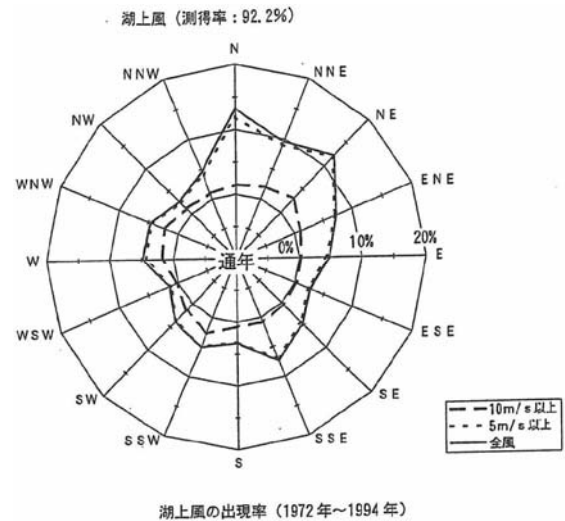
4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

(1) 設計条件の整理

1) 外力

(A) 風

- 波高推算のため、湖心の風データ(風速、風向：1972年～1994年)をもとに、事務所で作成された風向別確率風速結果を採用した。



(B) 波

- 霞ヶ浦の波浪推算に使用する式は、下記の式を採用した。昭和53年度の霞ヶ浦波浪解析業務報告書で、波浪観測結果を検証データとして、湖心地点の風向風速データから求めた波浪推算式である。

$$\frac{g \cdot H_{1/3}}{U_{10}^2} = 0.00247 \left(\frac{g \cdot F_e}{U_{10}^2} \right)^{0.427}$$

$$\frac{g \cdot T_{1/3}}{2\pi U_{10}} = 0.0698 \left(\frac{g \cdot F_e}{U_{10}^2} \right)^{0.285}$$

ここに、

- $H_{1/3}$: 有義波高 (m)
- $T_{1/3}$: 有義波周期 (s)
- F_e : 有効吹送距離 (m)
- U_{10} : 風速 (m/s)
- g : 重力加速度 (m/s²)

- 波向は、風向をそのまま採用。
- 波浪推算式により、波高と周期を算出。
- 確率風速結果を活用し、年最大波、10年確率波、30年確率波を対象に各地区の沖波を推算。
- 緊急対策11地区における推算は、16分割された方位と地形に従って、有効吹送距離を全方向について算出。
- 吹送距離に基づいて、各地区の年最大波、10年確率波、30年確率波を算出し、確率波毎に、最大波高を示す波を波向と共に、設計対象波として採用。

2) 土質条件

- 各地区の沖側で、ボーリング調査(一部サウンディング調査含む)を実施。
(1 地区 1~2 地点実施)
- この土質柱状図を利用し、設計土質条件を設定。

3) 地形条件：湖底勾配、設置水深

- 各地区において、横断測量(25mピッチ)を実施。
- これに基づき、湖底勾配、平面地形などを把握。

4) 施設の配置計画について

- 施設の岸沖方向の位置は、当時入手できた植生図、垂直写真などから、最も沖側に生息する浮葉植物の位置が過去最大と思われる年度の植生平面情報に基づき、測量平面図と植生情報の重ね合わせを行い、概ね当該年度の植生を再生する位置に配置。
- 施設の沿岸方向の位置は、周辺構造物、航路、既存植生、周辺地形への配慮など、総合的に勘案して計画。

(2) 消波工

消波工は、波浪による湖岸の侵食を抑制すると共に、植生発達のための静穏域を創出することを目的に設置した。

1) 離岸堤の形式

平水位を基準とし、(A)天端高が高い離岸堤構造、(B)天端高が低い潜堤構造(人工リーフ)がある。

(A) 天端高が高い離岸堤構造

構造体の高さにより波浪を低減させる。構造体が水面より上に露出するため、水位変動により湿潤と乾燥を繰り返す過酷な状況下でも耐久性のある材質で構成する必要がある。また、景観的な配慮が重要である。

(B) 天端高が低い潜堤構造(人工リーフ)

天端からの水深、天端幅により波浪を低減させる。構造体が水面下にあることから景観的にも望ましいが、船舶からの視認が困難であるため、座礁しないような工夫(視認可能な杭の設置等)が必要となる。

2) 消波工における施設ごとの設計波浪の考え方

消波工は、主に粗朶消波工と人工リーフ、異型ブロック式消波工である。施設ごとの設計波浪の一覧を表 4.2-1に示す。

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方

4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

機能設計に用いる外力は、「改訂 海岸保全施設築造基準解説」（昭和62年4月）で、“朔望平均満潮位で年数回来襲する波浪に対し、所要の機能を満たすよう設計する”とされていることを参考に、海岸における「朔望平均満潮位」を霞ヶ浦では冬期管理水位 Y.P.+1.3m とし、海岸における「年数回来襲する波浪」を霞ヶ浦では「年最大波」と位置づけて設定した。

人工リーフ、突堤工などの施設の安定計算に用いる外力は、これら施設を恒久構造物として扱い、整備計画レベルの外力（当時）に対して、施設が安定する（破壊されない）ことを目的とし、波高確率年「30年」、水位「+2.05m」とした。

粗朶消波工については十分な知見がなかったが10年程度で朽ちることが想定されたため、恒久構造物としては扱わず、波高確率年10年、水位 Y.P.+1.3m を安定計算に用いる外力とした。

表4.2-1 緊急保全対策工における施設ごとの設計波浪の一覧

	対象施設	設計波浪			
		波高確率年	有義波高[m] (浅水変形後)	有義波周期 [sec]	水位 (Y.P.表示)
機能設計	粗朶消波工	10年	0.35~0.63	2.2~3.8	+1.3m
	人工リーフ	年最大波	0.64	3.4	+1.3m
	異型ブロック式消波工	年最大波	0.70	3.4	+1.3m
施設安定	粗朶消波工	10年	0.35~0.63	2.2~3.8	+1.3m
	人工リーフ	30年	0.80	3.8	+2.05m
	異型ブロック式消波工	30年	0.70	3.4	+2.05m

※ 表の有義波高、有義波周期の値は、緊急保全対策工を実施した各地区の波浪推算値が異なるため、その最大範囲を示したものである。

3) 各種工法

(A) 粗朶消波工

緊急保全対策で実施された粗朶消波工の設計の考え方は下記の通りである。

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y.P.+1.3m
- ・ 各地区での波浪推算：10年
- ・ 波高算定（10年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件
- ・ 横方向地盤反力係数
- ・ 地盤の弾力係数

B. 諸元の設定

- ・ 高さ Y.P.+1.8m（洪水時漁船からの視認への配慮のため）

C. 配置計画

- ・ 設置位置：当時集められた過去植生の資料に基づく
- ・ 配置計画：短い、長いものの配置計画

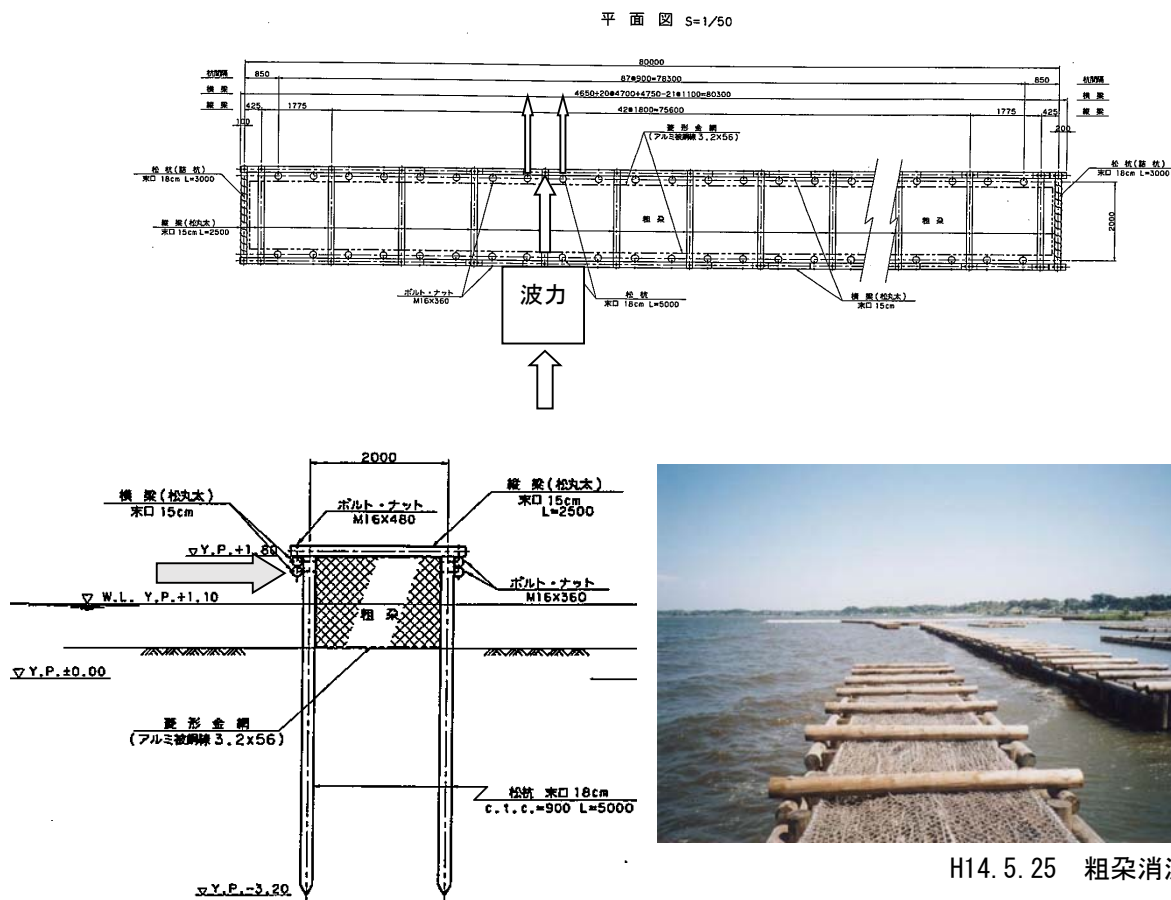
4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

D. 粗朶消波工の消波能力

- ・ 消波後の設計の有義波高を 30~40cm 以下に低減
- ・ 土研において実施した消波能力グラフを用いる

E. 構造の安定計算

- ・ 粗朶消波工に作用する波圧算定：合田式を採用
- ・ 杭の断面性能の算定
- ・ 杭の諸元検討
- ・ 自立杭の最大曲げモーメント算定
- ・ 杭の応力度
- ・ 杭頭の変位量の点検
- ・ 自立杭の根入れ長の検討 (Chan の式)



4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

(B) 人工リーフ

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y. P. +2.05m
- ・ 各地区での波浪推算：30年
- ・ 波高算定（30年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件

B. 諸元

- ・ 高さと幅を想定して、背後の植生生育および背後の養浜安定の検討を実施して決定

C. 配置計画

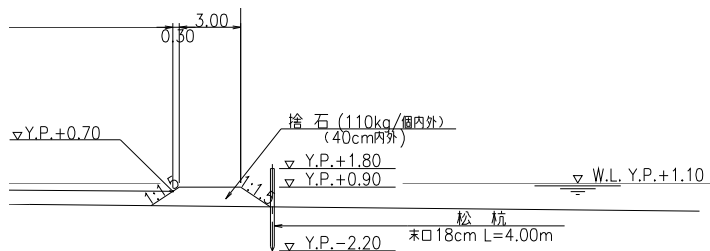
- ・ 配置位置：当時（平成14年）集められた過去植生の資料に基づく

D. 人工リーフの消波能力

- ・ 消波後の設計の有義波高を30～40cm以下に低減
- ・ 人工リーフの実験値によるグラフを用いる

E. 構造の安定計算

- ・ 人工リーフ自体の安定計算は、ハドソン式によって石の大きさを検討



H16. 7. 13 人工リーフ（永山地区）
写真撮影した日は水位が低下
（湖心水位 Y. P. +0.95m）した状態であった。

(C) 異型ブロック式消波工

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y. P. +2.05m
- ・ 各地区での波浪推算：30年
- ・ 波高算定（30年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件

B. 諸元

- ・ 高さ Y. P. +1.8m（洪水時、漁船からの視認への配慮のため）

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

C. 配置計画

- ・ 配置位置：当時(平成14年)集められた過去植生の資料に基づく
- ・ 配置計画：水面を利用している漁業者との協議により設定
 (漁業協同組合と協議の上、漁業利用の阻害にならない点に配慮し、沖合 200m 程度の位置に設置)

D. 消波能力

- ・ 消波後の設計の有義波高を 30~40cm 以下に低減
- ・ 石積み堤の消波能力グラフを用いる

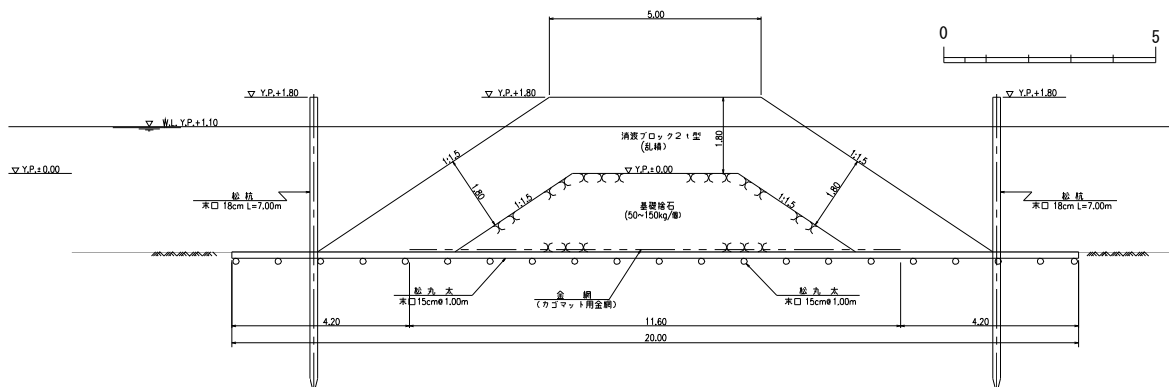
E. 構造の安定計算

- ・ 消波工自体の安定計算は、ハドソン式によって石の大きさを検討
- ・ コンクリートブロック式消波工の円弧すべり検討



H15. 施工直後 異型ブロック式消波工 (麻生地区)

標準断面図



4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

(D) 島堤工

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y.P.+2.05m
- ・ 各地区での波浪推算：30年
- ・ 波高算定（30年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件

B. 諸元

- ・ 高さ Y.P.+1.8m（洪水時漁船の視認への配慮のため）

C. 配置計画

- ・ 設置位置：当時集められた過去植生の資料に基づく
- ・ 配置計画：多様な生息場の環境を創出できるように計画

D. 消波能力

- ・ 石積み堤の消波能力

E. 構造の安定計算

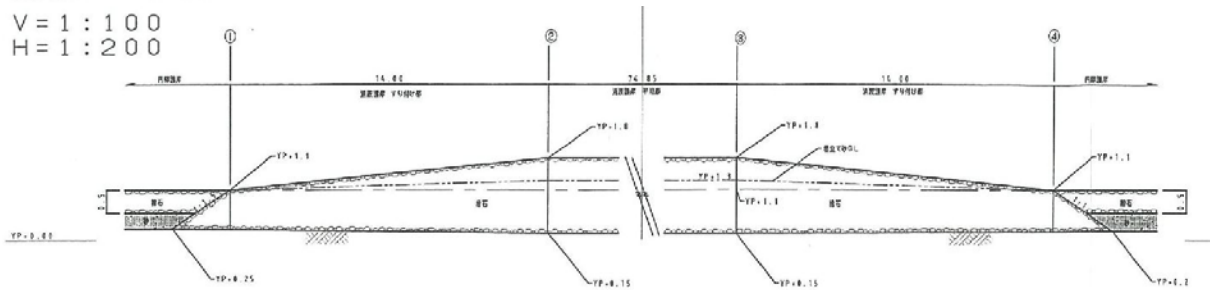
- ・ 島堤の円弧すべり検討
- ・ ハドソン式による石の大きさ検討



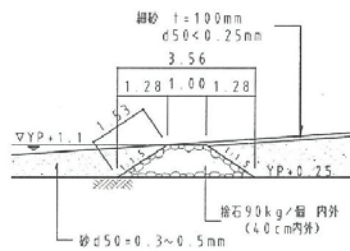
H15. 施工直後 島堤工（根田地区）

消波護岸-1 縦断面図

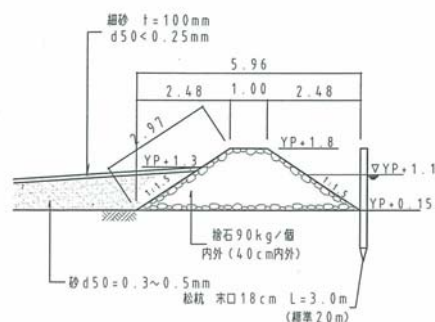
V = 1 : 100
 H = 1 : 200



消波護岸①断面図



消波護岸②,③断面図



4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

(E) 砂堤工

A. 外力条件

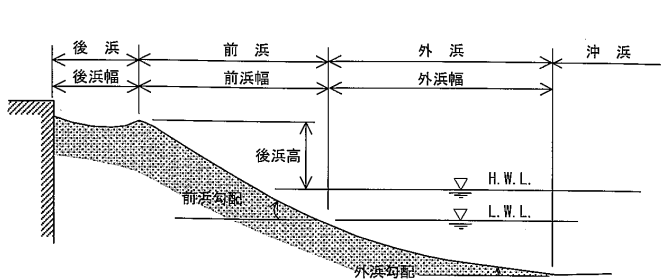
- ・ 想定水位：Y.P.+1.3m
- ・ 波浪推算：年最大波
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）

B. 後浜高さ

- ・ レクター、スワート、人工ビーチ造成技術に関するワーキンググループ提案式により、波の這い上がり高さ（遡上高）を検討し、最大値を採用した

C. 砂堤形状

- ・ 砂堤部は後浜高さを持つものとし、前後は養浜部とすりつけた

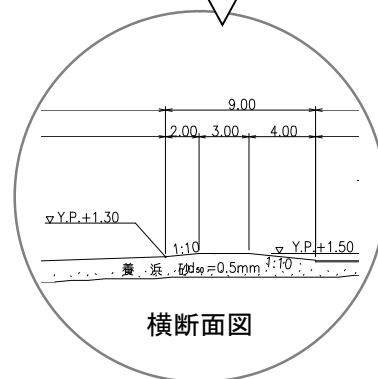
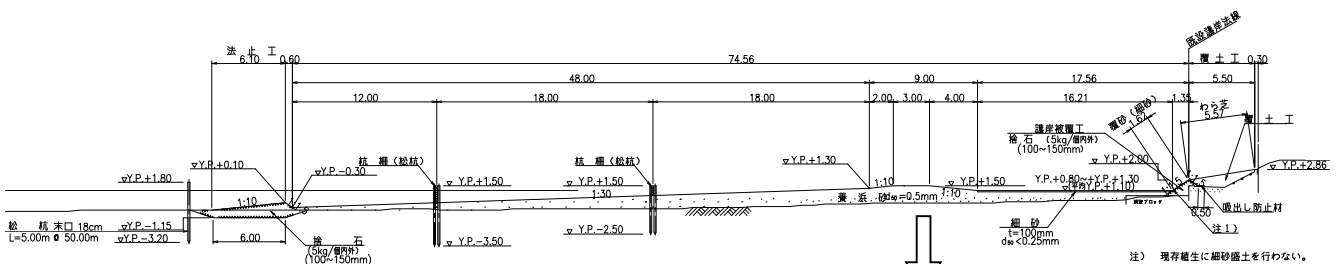


主な断面形状の各緒元



H15. 施工直後 砂堤工（石川地区）

養浜工標準断面図
 （4工区）



横断面図

(3) 養浜工

養浜工は、植生の生育場の形成を目的に設置した。

使用する養浜砂は、敷設により濁りが生じることがなく、また生態的に他地域の種子等を含まない材料であること、粒径は施工箇所周辺の土砂の粒径を参考に、流出等を起こさない大きさを設定することが必要である。

養浜砂の沖側への流出防止を目的とする法止め工は、波浪によって動かない大きさの捨石を使用し、養浜砂の法先に配置する。なお、構造形式において、潜堤のように比較的浅い位置に設置し、波浪低減機能を伴う構造も考えられる。

また、沈水植物をはじめとする多様な植生環境を創出するため、必要に応じてワンドを配置する。

なお、養浜工における施設毎の設計波浪の一覧を表 4.2-2に示し、考え方は以下の通りとした。

機能設計に用いる外力は、「改訂 海岸保全施設築造基準解説」（昭和62年4月）で、「朔望平均満潮位で年数回来襲する波浪に対し、所要の機能を満たすよう設計する」とされていることを参考に、海岸における「朔望平均満潮位」を霞ヶ浦では冬期管理水位 Y.P. +1.3m とし、海岸における「年数回来襲する波浪」を霞ヶ浦では「年最大波」と位置づけて設定した。

突堤工などの施設の安定計算に用いる外力は、これら施設を恒久構造物として扱い、整備計画レベルの外力（当時）に対して、施設が安定する（破壊されない）ことを目的とし、波高確率年「30年」、水位「+2.05m」とした。

表 4.2-2 緊急保全対策工における施設ごとの設計波浪の一覧

対象施設	波高確率年	設計波浪			
		有義波高 [m] (浅水変形後)	有義波周期 [sec]	水位 (Y. P. 表示)	
機能設計	養浜工	年最大波(消波後波浪)	0.04~0.38	2.1~3.4	+1.3m
	突堤工(石積み)	年最大波	0.04~0.38	2.1~3.4	+1.3m
	突堤工(矢板)	年最大波	0.14	2.0	+1.3m
施設安定	突堤工(石積み)	30年	0.47~0.80	2.2~3.8	+2.05m
	突堤工(矢板)	30年	0.42~0.45	2.2~2.4	+2.05m

※ 表の有義波高、有義波周期の値は、緊急保全対策工を実施した各地区の波浪推算値が異なるため、その最大範囲を示したものである。

1) 養浜工

- ・各地区の特徴に応じた抽水植物、浮葉植物の生育場の再生が目的である。
- ・植生再生の位置は対象地区の過去の植生生育情報に基づき、再生の平面的な位置を検討した。
- ・植生生育可能波浪は霞観測事例（アサザ移植の波浪観測）から年最大波で 30～40cm 程度とした。
- ・外力は、「改訂 海岸保全施設築造基準解説」（昭和 62 年 3 月，海岸保全施設築造基準連絡協議会編）により年最大波を対象とした。
- ・養浜工の安定は、養浜勾配、養浜砂 D50 粒径、年最大波高及び周期により算定される C 値が 18 より小さい（堆積傾向）で検討した。（堀川、砂村らの式）
- ・養浜工陸側の高さは抽水植物の生育環境実績により Y.P. +1.1m に設定した。
- ・養浜工沖側は水位変動に応じられるように現地形に合った緩傾斜勾配養浜を整備した。
- ・養浜工は、抽水植物生育場(Y.P. +1.1m 程度：陸側養浜部)と浮葉植物生育場(水面：沖側内水面)を概ね 1：1 の幅で想定した。
- ・波浪の弱い地区では、消波工を不要とし、植生活着補助施設としては養浜工の一部を盛る「砂堤」や人工バームを採用した。
- ・養浜陸側にはシードバンクをよう含む浚渫土を敷設、杭柵工内には親株を移植した。
- ・生育場変形、植生成長に応じた「順応的な管理（アダプティブマネジメント）」を導入した。

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y.P. +1.3m
- ・ 各地区での波浪推算：年最大波
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）

B. 諸元の設定

- ・ 波浪の最終的な汀線形状を考慮した平面的な養浜形状を算定するため、修正 Hsu モデルによって設定。
- ・ 養浜勾配は養浜工を整備する空間と現地形から概ねの勾配を想定。

C. 養浜工の安定計算

- ・ 消波工などの影響を加えた、堤前波高を算出
- ・ 養浜工の想定される使用砂の D50 粒径、養浜勾配、堤前波高・周期により、堀川・砂村らの式にもとづいて、C 値を検討。
- ・ C 値<18：堆積傾向、C 値>18：侵食傾向の判断基準に基づいて、最も適した勾配、粒径の養浜形状を選定。
- ・ この養浜形状を基本として、必要に応じて、後浜高を持つ人工バーム、砂堤などを追加整備。

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

2) シードバンク含有土壌

シードバンク含有土壌（埋土種子を含む霞ヶ浦湖底の浚渫土）の敷設は、早期の多様な植生回復を図ることを目的とした。

シードバンク含有土壌を養浜工の上に、10cm厚程度で敷設した。

図 4.2-1に示すように、境島地区においてはシードバンク含有土壌の撒き出しを実施した。（橙色箇所）

これより、シードバンク含有土壌の撒き出しは、早期の植生再生に有効であることが示された。

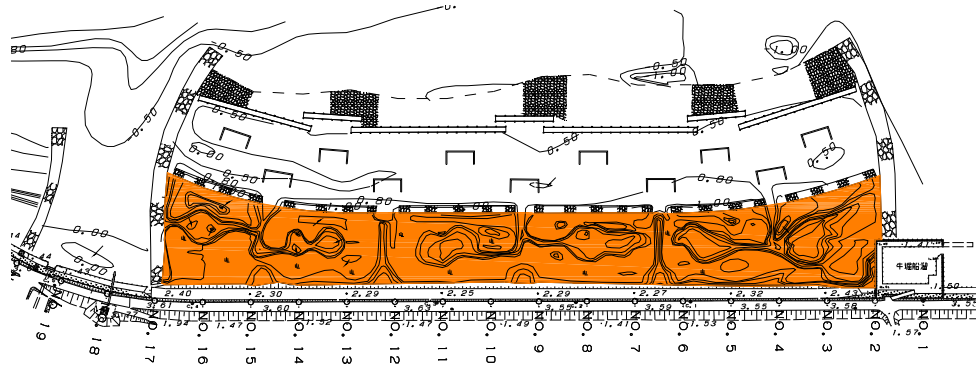


図 4.2-1 シードバンク含有土壌の撒き出し箇所（境島地区）

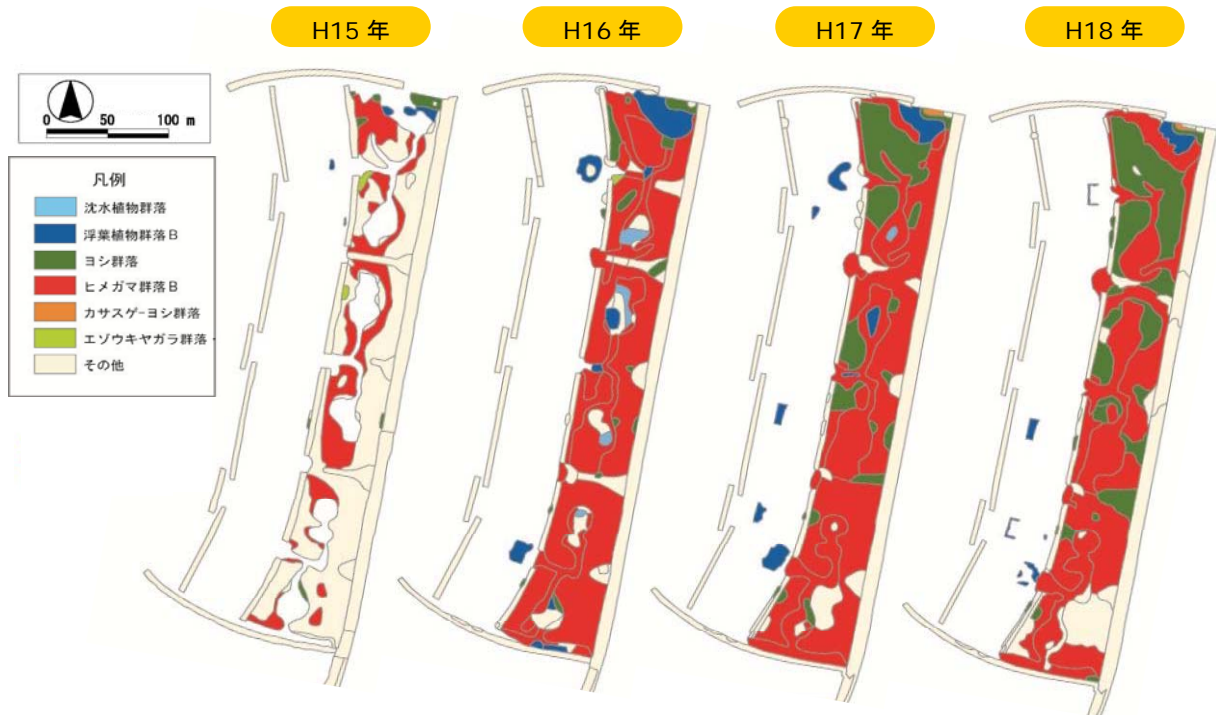


図 4.2-2 シードバンク含有土壌の撒き出し箇所における植生の遷移状況（境島地区）

3) 突堤工

突堤工は、沿岸方向の土砂移動を抑制することを目的に設置する。

突堤工は、静穏域を確保し、植生基盤となる養浜工を保護した配置とする。陸側の基部は護岸に取り付け、先端部は養浜砂の移動限界水深を考慮して設置する。

突堤工の高さは、年最大波の遡上高を超えない高さとする。

突堤工の形式は、石積み式と矢板式がある。石積み式を基本とするが、当該地の土質条件を踏まえ、構造体の安定性が確保される形式を選定する。

突堤は湖岸から沖合へ張り出す構造である。景観的には石材の使用が望ましい。矢板式で景観に配慮した事例として、木材で化粧を施したものがあるが、施工後数年で木材が腐食したことから、木材による化粧の採用については留意する必要がある。

(A) 突堤工（石積み式）

A. 外力条件

○ 突堤の高さ・長さ：年最大波対象

- ・ 想定水位：Y.P. +1.3m
- ・ 各地区での波浪推算：1年
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）

○ 突堤の石材の重量：30年確率波

- ・ 想定水位：Y.P. +2.05m
- ・ 各地区での波浪推算：30年
- ・ 波高算定（30年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件

B. 諸元の設定

- ・ 高さ＝平水位＋遡上高
- ・ ただし、Y.P. +1.8m（洪水時漁船の視認への配慮のため）に配慮

C. 突堤形状

- ・ CGによる景観シミュレーションで検討し、適切な形状を選択

D. 構造の安定計算

- ・ ハドソン式による突堤工の石材の重量算定
- ・ 石積み突堤の円弧すべりによる検討

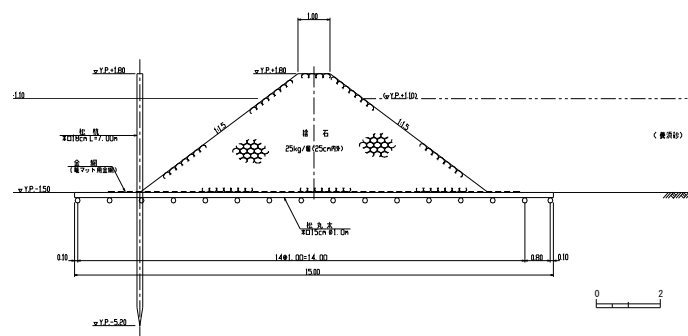


H16. 10. 21
突堤による消波状況



H18. 9. 16
突堤構造は保持されている

突堤工標準断面図（突堤－1）



(B) 突堤工（矢板式）

矢板式突堤工は、土質条件が悪く石積み式では安定が困難な地区に採用する。

施設の安定計算は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（社団法人日本港湾協会）の自立矢板式構造設計を参考とする。

全延長を杭間隔で割った単位幅に作用する全波力を1 ラーメン構造（消波工前面杭と背後の杭、また、それを直結する縦梁がラーメン構造を形成）により支える構造とする。

A. 外力条件

○ 突堤の高さ・長さ：年最大波対象

- ・ 想定水位：Y.P.+1.3m
- ・ 各地区での波浪推算：1年
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）

○ 突堤矢板構造の検討

- ・ 想定水位：Y.P.+2.05m
- ・ 各地区での波浪推算：30年
- ・ 波高算定（30年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件
- ・ 横方向地盤反力係数
- ・ 地盤の弾力係数

B. 諸元の設定

- ・ 高さ＝平水位＋遡上高
- ・ ただし、Y.P.+1.8m（洪水時漁船の視認への配慮のため）に配慮

C. 突堤形状

- ・ CGによる景観シミュレーションで検討し、適切な形状を選択

D. 構造の安定計算

- ・ 矢板消波工に作用する波圧算定：合田式採用
- ・ 矢板の断面性能の算定
- ・ 矢板の諸元検討
- ・ 自立矢板の最大曲げモーメント算定
- ・ 矢板の応力度
- ・ 矢板の頭変位量の点検
- ・ 矢板の根入れ長の検討（Chanの式）



H18.9.15
矢板式突堤の上部の木杭が腐食した（石川地区）

(4) 植生活着補助施設工

植生活着補助施設工は、植生の生育を促進することを目的に実施した。

1) 植生活着補助施設工の形式

人工バーム、杭柵工、板柵盛土工がある。これらより、目標とする植生に応じて、適切な工法を使用した。

2) 植生活着補助施設工における施設ごとの設計波浪の考え方

植生活着補助施設工における施設毎の設計波浪の一覧を表 4.2-3に示す。

植生活着補助施設工では、機能設計に用いる外力は、「改訂 海岸保全施設築造基準解説」（昭和 62 年 4 月）で、“朔望平均満潮位で年数回来襲する波浪に対し、所要の機能を満たすよう設計する”とされていることを参考に、海岸における「朔望平均満潮位」を霞ヶ浦では冬期管理水位 Y.P. +1.3m とし、海岸における「年数回来襲する波浪」を霞ヶ浦では「年最大波」と位置づけて設定した。

表 4.2-3 植生活着補助施設工における施設ごとの設計波浪の一覧

対象施設		波高確率年	設計波浪		水位 (Y. P. 表示)
			有義波高[m] (浅水変形後)	有義波周期 [sec]	
機能設計	人工バーム	年最大波(消波後波浪)	0.13~0.17	2.0~3.4	+1.3m
	杭柵工	年最大波(消波後波浪)	0.17~0.29	2.1~3.4	+1.3m

※ 表の有義波高、有義波周期の値は、緊急保全対策工を実施した各地区の波浪推算値が異なるため、その最大範囲を示したものである。

3) 各種工法

(A) 人工バーム

水際線の保護を目的とした人工バームは、小規模な石積み構造の施設である。

この施設により波浪を和らげると共に養浜砂の過度な流出を抑え、植生の早期発達を補助した。

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y.P. +1.3m
- ・ 補助施設なので年最大波が対象
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）

B. 後浜高さ

- ・ レクター、スワート、人工ビーチ造成技術に関するワーキンググループ提案式により、波の這い上がり高さを検討し、最大値を採用した

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

C. 人工バーム形状

- ・ 人工バーム部は後浜高さを持つものとし、前後は養浜部とすりつけた。
- ・ 人工バームの沖側形状は波浪による侵食を考慮し0.3m厚の小段を設ける。

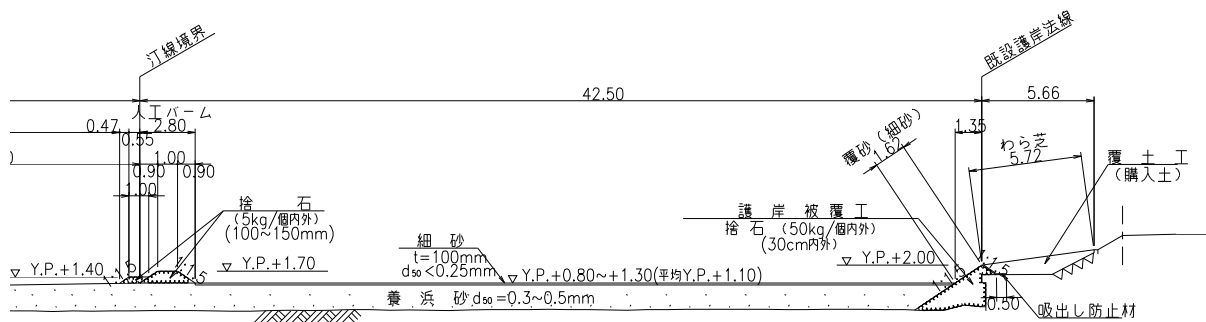
D. 人工バームの配置

- ・ 人工バームの開口部は、田伏地区の事例(離岸堤と養浜工の組合せ)を参考に設定。
- ・ 出来る限り自然な景観の障害とならないように、バームは沿岸方向で曲線を伴う形状とする。
- ・ 洗掘による安定性を損なわないために、人工バームの陸側は平坦地形とする。
- ・ 同様に、沖側には小段を設けた形状とする。

E. 人工バームの安定計算

- ・ ハドソン式により、石材の大きさを検討

境島地区では、5kg/個内外(100~150mm)の捨石を用いて、人工バームを設けた。これにより水際地形の維持ができ、数年で人工バーム上にも植生が定着した。



人工バーム上に植生が繁茂した(境島地区)

(B) 杭柵工

杭柵工は、主に浮葉植物の活着を補助する施設である。消波施設の内側に更なる静穏域を確保することを目的とした。

A. 外力条件

- ・ 想定水位：Y.P. +1.3m
- ・ 設計対象波：補助施設なので年最大波
- ・ 波高算定（1年確率波、湖心の確率風速、フェッチ、湖心の発生風向＝波向き、浅水変形考慮）
- ・ 土質条件
- ・ 横方向地盤反力係数

B. 諸元の設定

- ・ 高さ＝Y.P. +1.3m＋設置水深における堤前波×1/2

C. 配置計画

- ・ 設置位置：水面下0.3mと水面下0.6m付近
- ・ 配置計画：千鳥状に配置

D. 構造の安定計算

- ・ 杭柵工に作用する波圧算定：合田式採用
- ・ 松杭の機能（許容曲げ応力度 $721\text{N}/\text{cm}^2$ ：木質構造設計基準・同解説 P14）
- ・ 市場で入手可能な松杭の諸元検討
- ・ 杭柵工の単位幅想定、杭サイズ想定
- ・ 突出杭構造での最大曲げモーメント算定
- ・ 松杭の応力度
- ・ 松杭の根入れ長の検討（Chanの式）
- ・ 杭頭変位量の検討

緊急保全対策工で実施した杭柵工は、材料に松杭を用い、コの字状（7×14m）に配置した。水深0.3mと0.6m付近の沖側内水面に設置し、内側に植栽工を施している。



H15. 施工直後（大船津地区）

4. 保全・再生対策工の構造タイプと設計の考え方
 - 4.2. 緊急保全対策工の設計の考え方と内容

(C) 板柵盛土工

板柵盛土工は、鳩崎・余郷入地区において、既存湖岸土壌に存在するアサザの発芽、実生の定着を促進するために整備した補助施設である。

板柵で対象地を3方囲い、波浪の影響を緩和する構造であり、高さ Y.P. +1.5m、沿岸方向 20m、岸沖方向 10m の大きさである。

鳩崎・余郷入地区は、住民及び研究者との協働のもと、湖岸植生の再生の取り組みが進められたものであり、順応的管理により一部撤去を想定したものである。

