

【事例紹介】

平成30年度 治山調査事業 神主海岸地区 測量設計業務



全測連中国地区協議会
第6回 土木設計関係技術発表会
2019. 10. 1 (広島県民文化センター)



(株)テクノシステム
日野 幹雄

Contents.

平成30年7月の台風7号に伴い、江津市の神主海岸では激浪波浪が海岸に來襲し、平成14年から17年度にかけて整備された治山施設（土塁工，防風柵）が被災を受けた。

当施設は波浪によってこれまでも幾度となく被災を受け，その都度局所的な対応が繰り返されてきたが，今後も被災を繰り返す可能性が高いと考えられる。

本業務は，この被災した治山施設の復旧について，技術的見地から事業目的に合致した計画・規模を樹立するとともに，根本的な復旧計画を立案し，その実施設計を行ったものである。

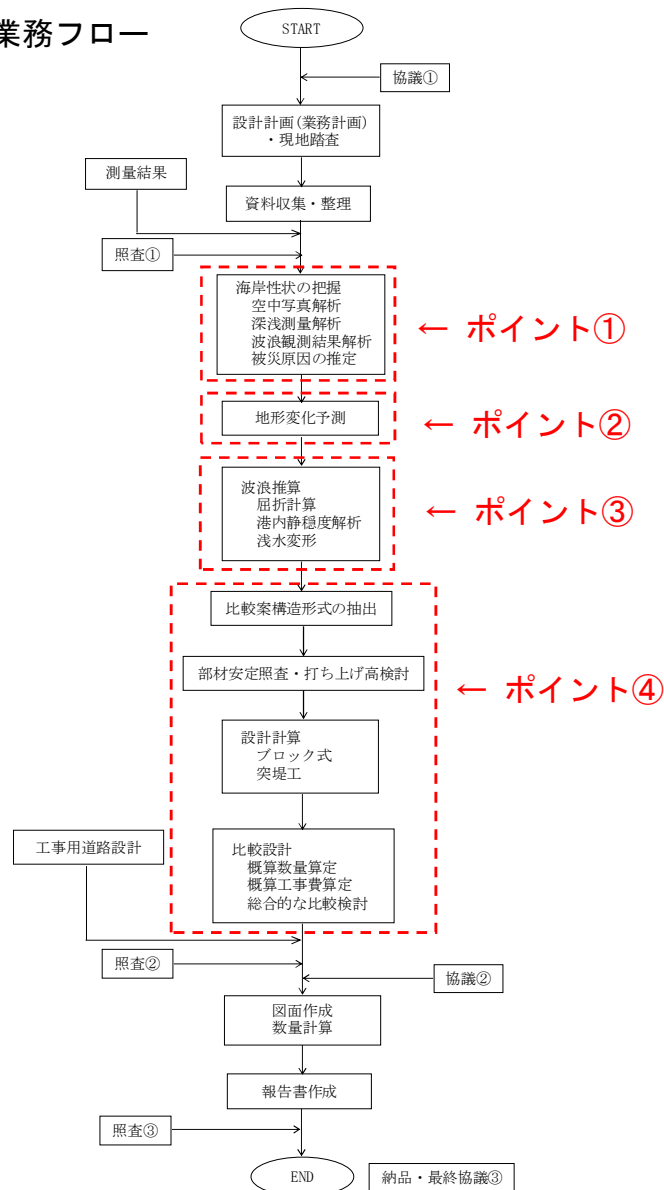
- | | |
|------------------------|--------------|
| 1. 業務位置 | 5. 復旧対象波浪 |
| 2. 業務のポイント | 6. 基本条件の決定 |
| 3. 海岸性状の把握と
被災原因の推定 | 7. 災害復旧断面の決定 |
| 4. 地形変化予測 | 8. 終わりに |

【1. 業務位置】



【2. 業務のポイント】

○業務フロー



👉ポイント

①海岸性状の把握と被災原因の推定

神主海岸のように海岸地形の変化が著しい海岸において施設を計画する際には、過去から海岸の経年変化を把握することが非常に重要。



神主海岸では海岸侵食対策として人工リーフが設置されてきたため、過去と現在、さらに将来にわたって海浜変形の状況が大きく異なる可能性がある。

②地形変化予測

海底地形変化シミュレーションまで必要か？

③波浪推算

災害復旧の対象波浪は被災時波浪が原則。



これまで幾度も被災を受けている。

④復旧断面の決定

隣接海岸は面的防護策として人工リーフを併用。



コストパフォーマンスは？
復旧整備にかかる時間は？

【3. 海岸性状の把握と被災原因の推定】

以下の3種類の解析から神主海岸の海岸性状を把握し、被災原因を推定した。

1. 空撮写真解析
2. 深浅測量結果解析
3. 波浪観測結果解析

3-1. 空撮写真解析

H16(2004). 5. 6 (春季)



人エリーフが2基設置されている。沖浜に漂砂によって生じるバー(沿岸州＝山)やトラフ(谷)が明瞭に確認できる。

H23(2011). 7. 19 (夏季)



人エリーフの設置数が4基に増えている。人エリーフNO.3, NO.4の背後の浜が前進し、若干であるが、神主海岸付近では浜が後退しているように見える。(設計位置付近の拡大写真参照)

H17(2005). 6. 6 (夏季)



人エリーフの下手(左側)で浜の後退が始まっているが、神主海岸では明瞭な変化は無い。

H24(2012). 4. 4 (春季)



人エリーフ前面で砕波が発生しているが、NO.3とNO.4はちょうどリーフ上でも砕波が起きている。人エリーフの端部であるNO.4は人エリーフの端部での砕波が著しい。→ 流れが速くなっている。(赤丸部分)

H25(2013).3.14(春季)



人エリーフNO.3, NO.4の背後の浜のトンボロが明瞭になり、浜の前進が進んでいる。
人エリーフ群の下手に位置する神主海岸付近で浜の後退が始まっている。

H26(2014).11.5(秋季)



人エリーフ群の下手に位置する神主海岸付近での浜の後退が著しい。

H25(2013).3.14(春季)



浜の後退が著しく、治山施設が被災を受けている。

H26(2014).11.5(秋季)

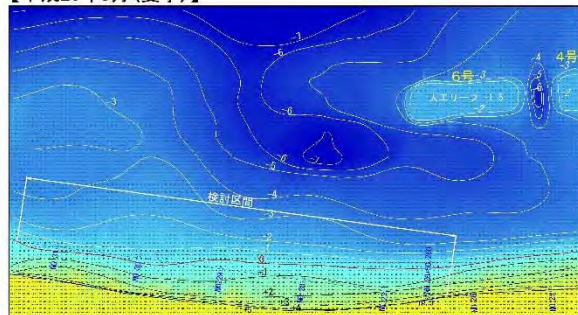


人エリーフNO.6の背後は浜が復活したが、下手はさらに浜が後退している。

3-2. 深浅測量結果解析

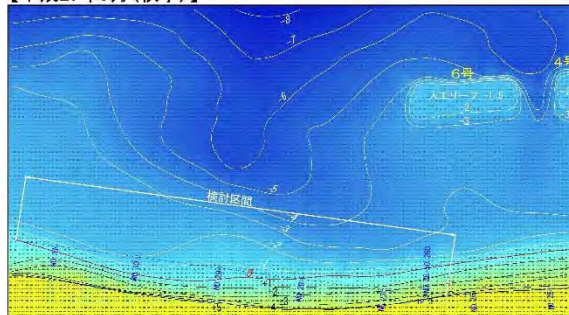
設計位置周辺の海底地形の経年変化(平面図)

【平成26年8月(夏季)】



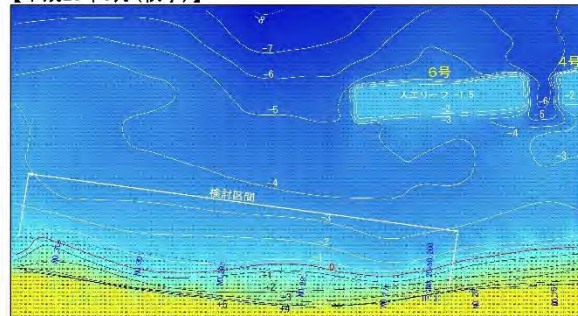
- ・6号人工リーフは暫定延長である。
- ・6号人工リーフの下手(左側)に侵食によって大きく水深が深くなっている部分がある。

【平成27年9月(秋季)】



- ・6号人工リーフは暫定延長である。
- ・平成26年度と比べ、6号人工リーフの背後の水深が浅くなってきている。
- ・6号人工リーフの下手の汀線が後退し始めている。

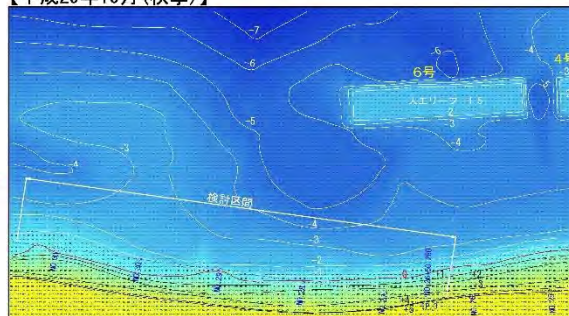
【平成28年9月(秋季)】



- ・6号人工リーフは完成形である。
- ・平成27年度と比べ、6号人工リーフの下手が若干浅くなってきている。
- ・汀線もわずかであるが前進している。

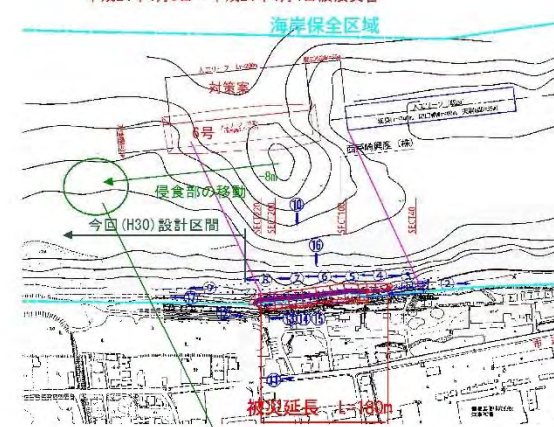


【平成29年10月(秋季)】



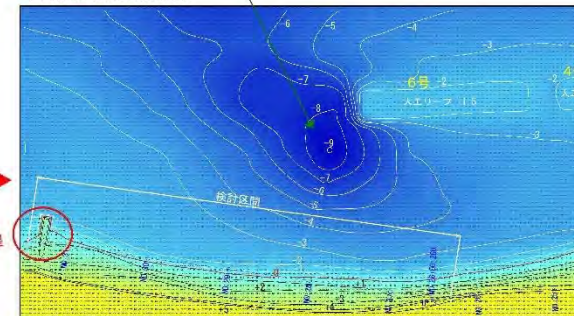
- ・平成28年度と比べ、検討箇所前面は侵食傾向にあり、水深が若干深くなるとともに汀線が後退している。
- ・人工リーフ背後も若干水深が深くなっている。

平成24年4月3日～平成24年4月4日波浪災害



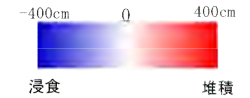
「和木波子海岸海岸災害復旧設計業務委託(2工区)報告書 平成24年10月」より抜粋

【平成30年9月(秋季)】



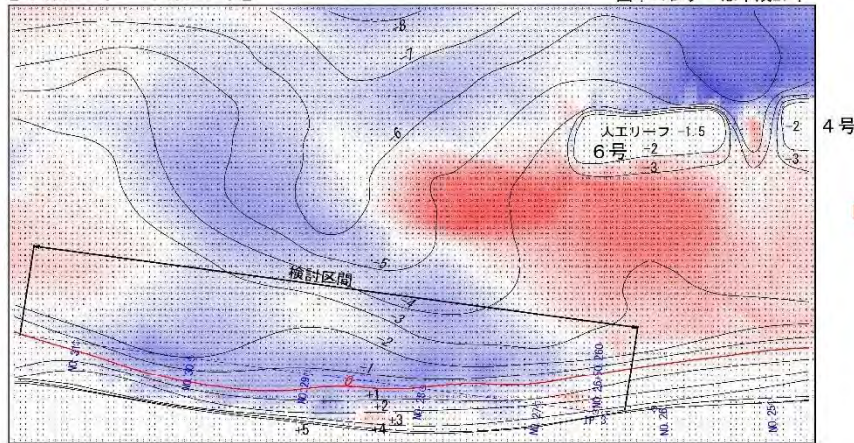
- ・人工リーフの下手はこれまでで最も侵食が進み、水深が相当深くなっている。これは、本年度に大量に来襲した台風7,12,15,19,20,21号の影響が大きいと推察される。
- ・台風等の高波浪が来襲すると、人工リーフの下手では激しい侵食が発生する。
- ・突堤付近の汀線は前進しているが、人工リーフの下手部分は汀線が後退している。

設計位置周辺の海底土砂の堆積および侵食傾向



【平成26年～平成27年】

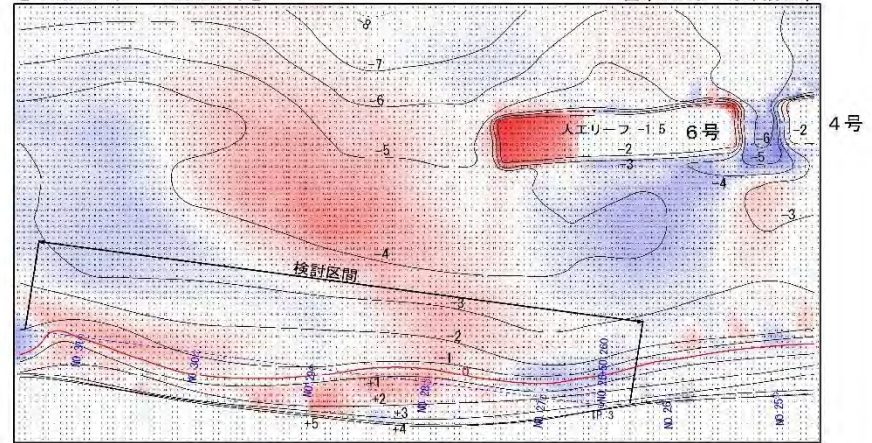
図中コンターは平成27年



- ・6号人エリーフの延長は暫定である
- ・6号人エリーフの下手(右側)は堆積傾向を示しているが、そのさらに下手と汀線付近は侵食傾向を示している。

【平成27年～平成28年】

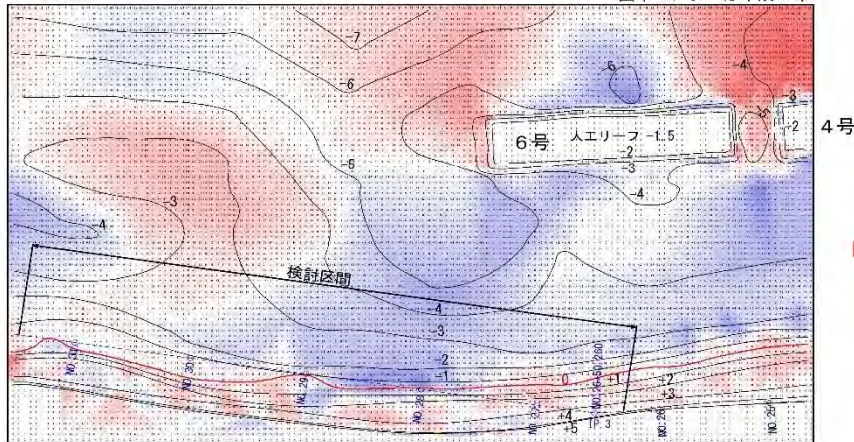
図中コンターは平成28年



- ・6号人エリーフの延長は完成形である
- ・6号人エリーフの背後は若干洗掘されたが、下手(右側)は堆積傾向を示している。
- ・汀線付近でも若干であるが堆積方向にある。

【平成28年～平成29年】

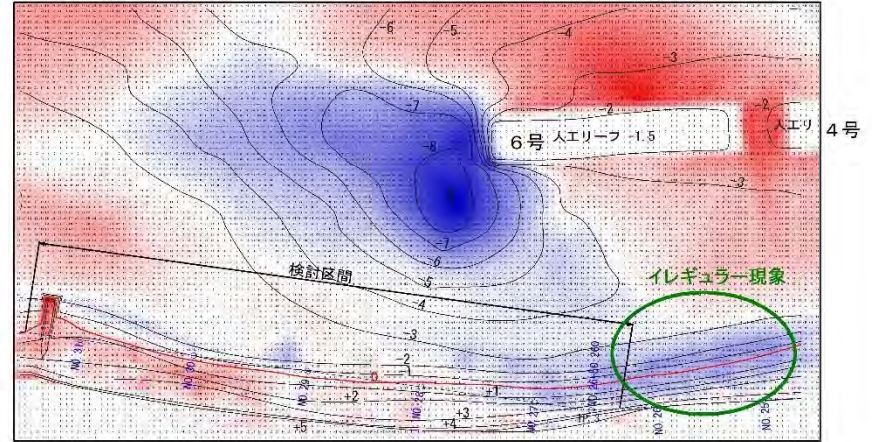
図中コンターは平成29年



- ・平成28年度と比べ、人エリーフの背後は全体的に侵食を受けている。
ただし、汀線付近は若干であるが堆積傾向を示している。
- ・4号および6号人エリーフの開口部付近の前面は堆積傾向を示している。

【平成29年～平成30年】

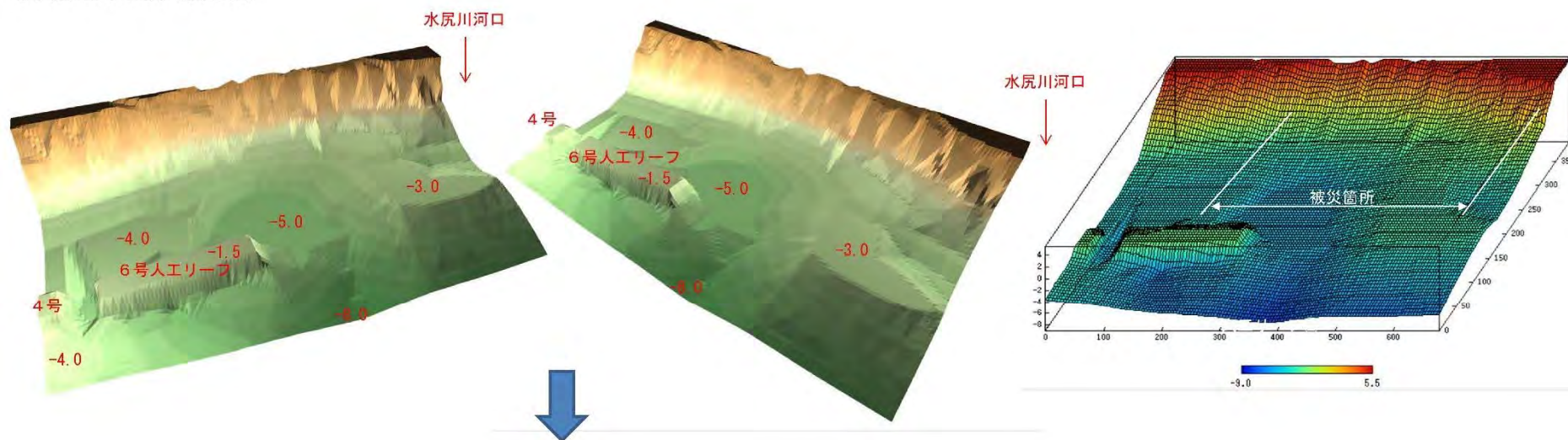
図中コンターは平成30年



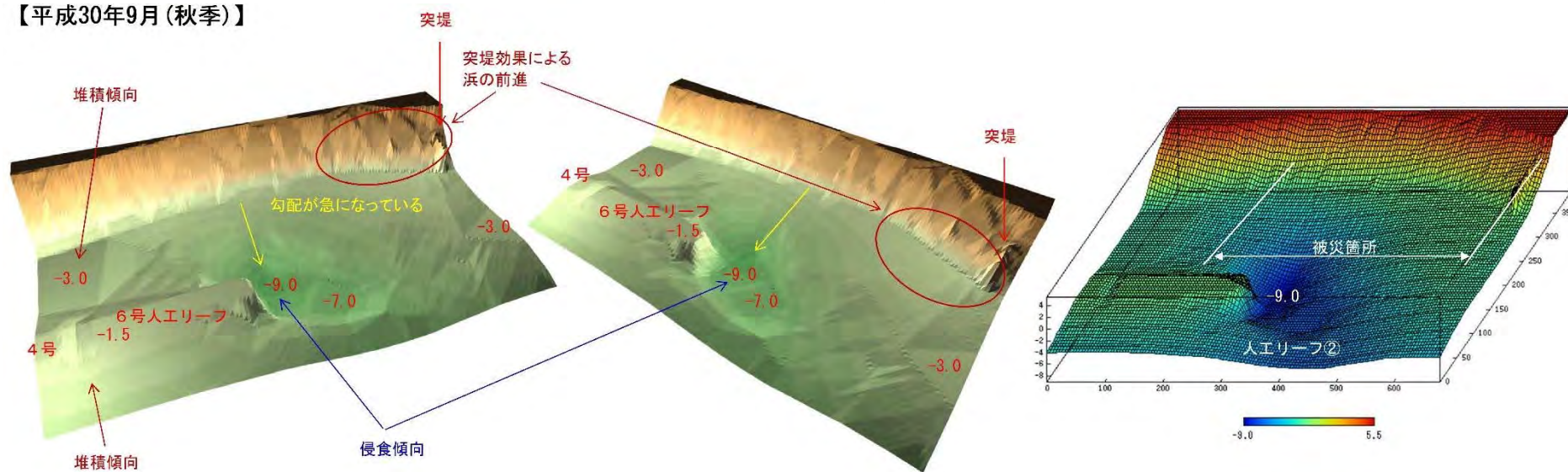
- ・人エリーフの下手はこれまでで最も侵食が進み、水深が相当深くなっている。
これは、本年度に大量に来襲した台風7,12,15,19,20,21号の影響によるものと推察される。
- ・突堤付近の汀線付近は堆積傾向を示すが、人エリーフの背後の汀線付近は侵食傾向を示している。
- ・人エリーフ背後の汀線付近の侵食傾向は頻発した台風によるイレギュラーな現象だと思われる。

設計位置周辺の海底地形3D図(平成29年10月, 平成30年9月)

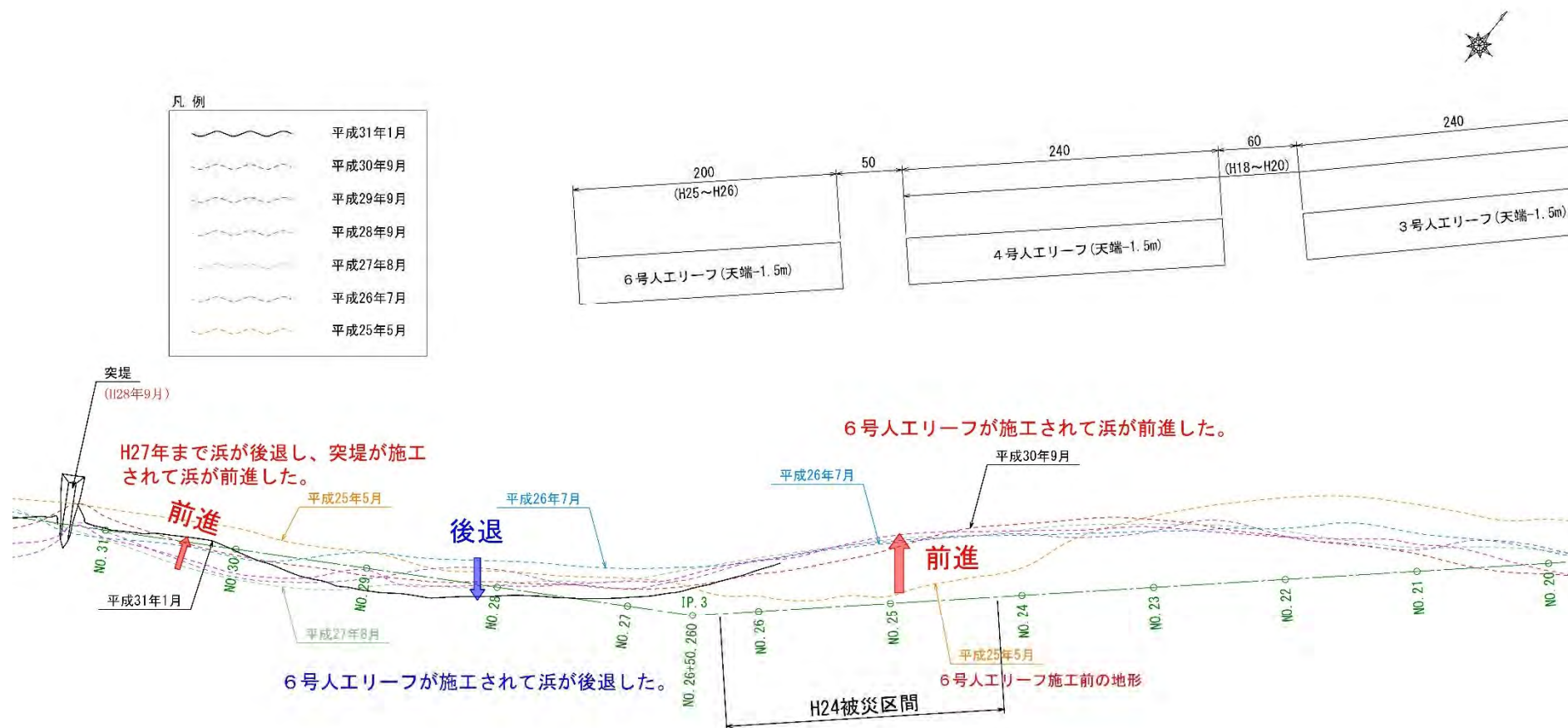
【平成29年10月(秋季)】



【平成30年9月(秋季)】



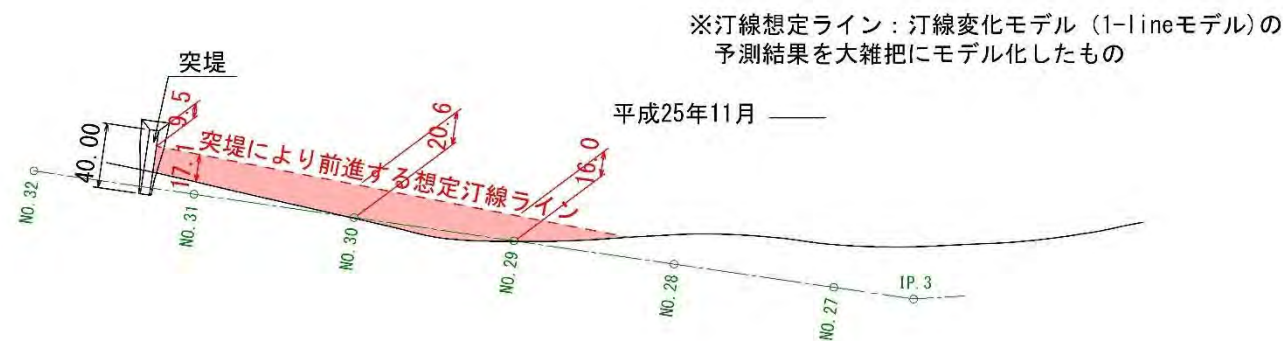
汀線の経年変化図(通年)



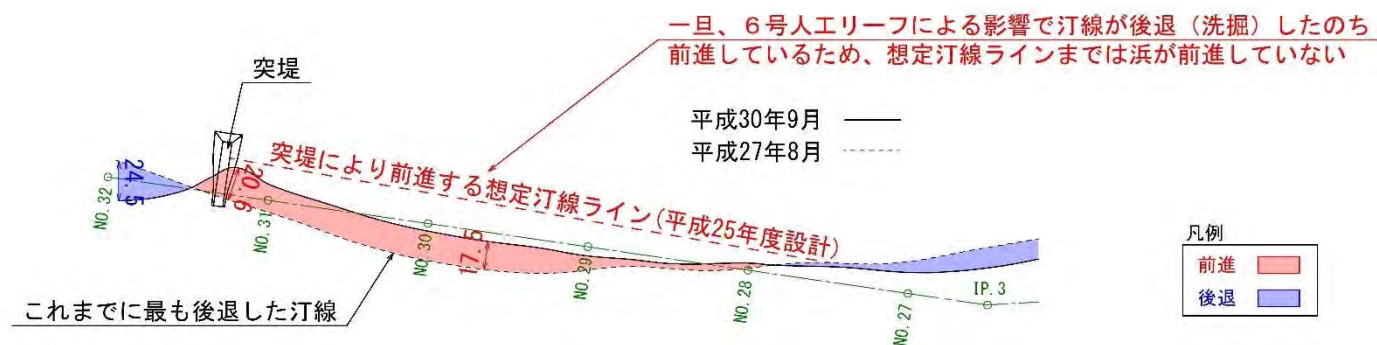
- ・ 6号人工リーフができる以前（H25年）は、人工リーフ群の最も端部の4号人工リーフの下手での海岸侵食が著しい。
- ・ 6号人工リーフが完成すると、その背後の一部および4号人工リーフの背後の汀線が前進したが、下手側は後退した。
- ・ 突堤が完成すると、突堤近傍の汀線が復活してきた。
- ・ 平成31年の汀線測量は1月（冬季）に実施したため、季節的には最も浜が後退した時期の状況を示している。

水尻川河口の突堤による汀線の前進予測結果と実績の比較図

突堤による汀線前進予測（H25設計）



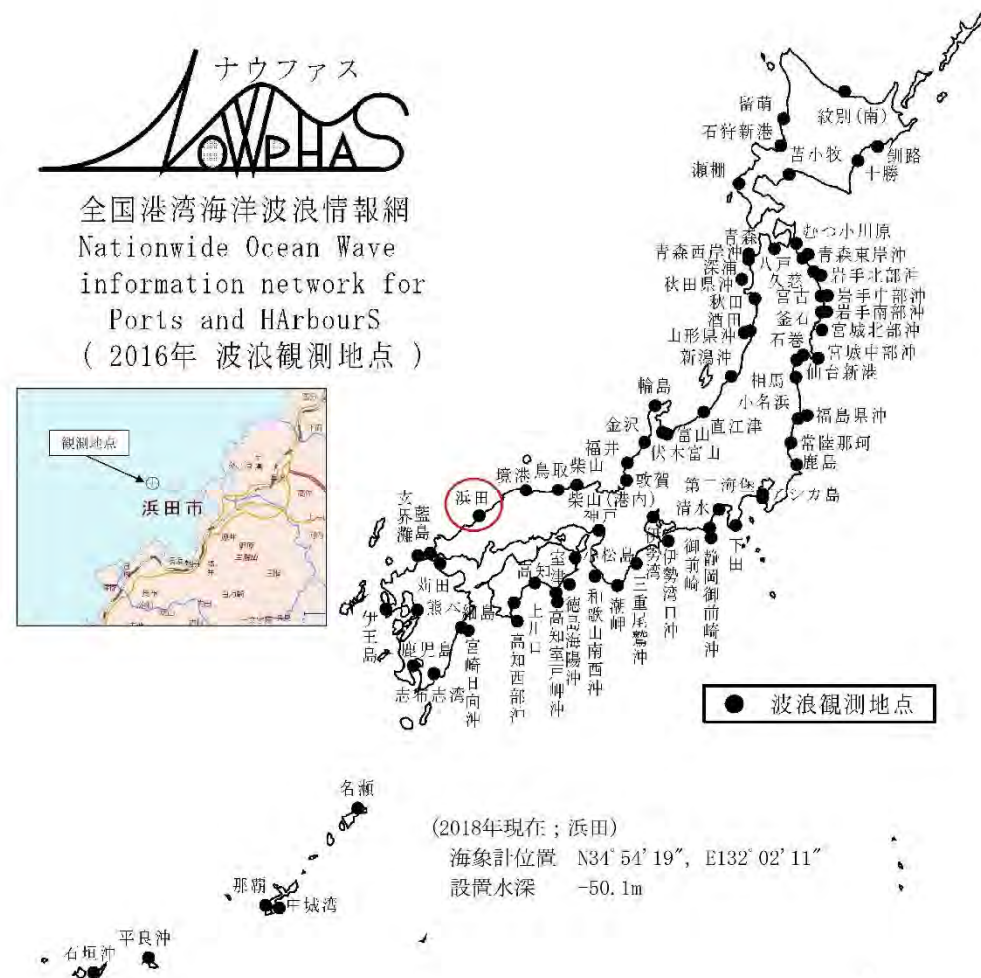
突堤による汀線前進効果（実績）
3年後



浜の前進量＝ほぼ汀線予測シミュレーション通り

3-3. 波浪観測結果解析

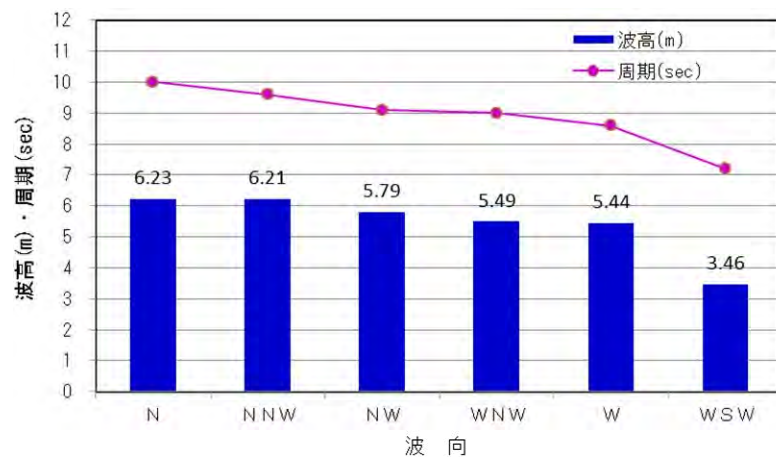
神主海岸近傍での2007年～2016年の10年間の波浪観測結果(ナウファス浜田)のデータ解析を行った.



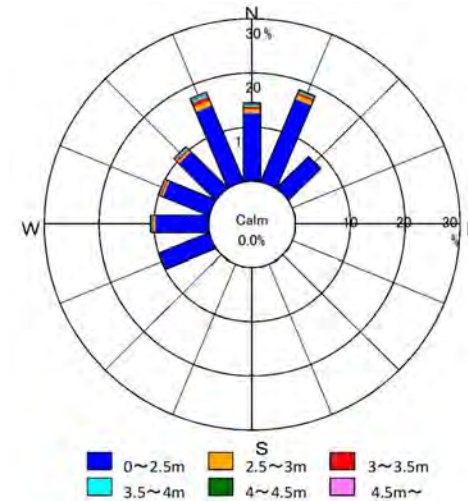
全国波浪観測情報網(ナウファス)



設計位置



2007年～2016年の方向別最大波高

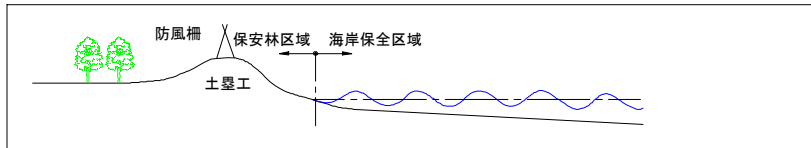


波浪階級頻度分布図

- ・ナウファス浜田に到達する波浪は周囲の地形状況からWSW～NE方向に限られており、発生頻度はほぼ同じか若干北寄りが多い。
- ・高波浪の発生頻度は冬季季節風による北寄りが多い。
- ・設計位置は北側に小さな半島(真島)があるため、設計位置にはWSW～N方向の波浪が多く到達するものと推察される。
- ・方向別最大波高は、N～W方向の波浪は冬季波浪、WSW方向は夏季波浪(台風)である。
- ・台風時にはNW～W方向も4～5mの波高が発生している。
- ・1992年に行われた極値統計解析の結果に当てはめると、最大波高は再現確率が2～4年程度であると推定された。
⇒ 1992年頃に比べると、近年発生する波浪は過去に比べて大きくなっていることが示唆される。

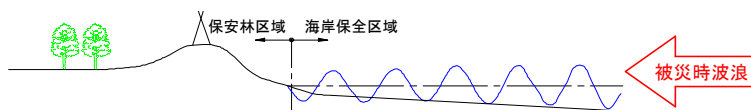
3-5. 被災原因の推定

○被災前の海岸

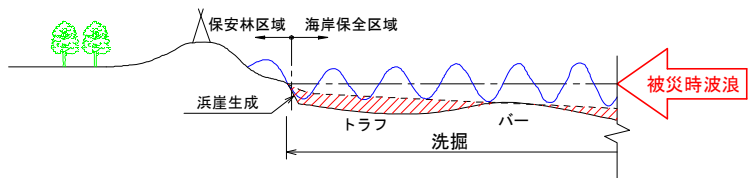


(被災)

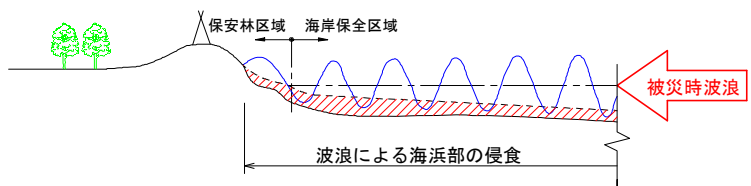
①被災時波浪の来襲



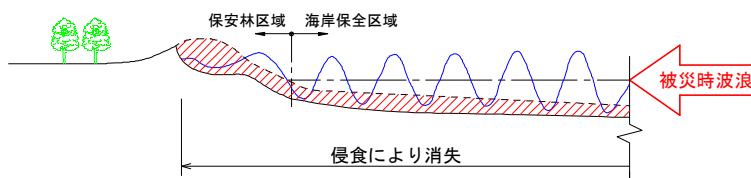
②海浜部の洗掘 → 波の打上げ高が高くなる



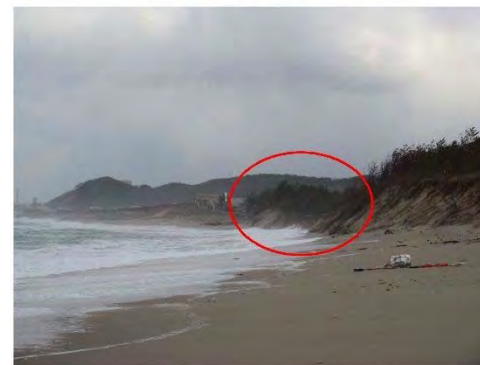
③打上げ波による進行性の侵食



④土塁部の消失



被災メカニズム



神主海岸の冬季風浪時の様子

もともと治山施設があったところから、背後地の植林地にまで高波浪が遡上。

この時のナウファス浜田の波浪観測結果によると、有義波高が3 m、周期が11秒程度。

当海岸付近の冬季波浪の波高は5 mを越えており、このような状況は珍しくない。

3-4. 海岸性状の把握のまとめ

- 既設人工リーフおよび突堤は、漂砂対策（海岸浸食対策）として一定の効果が認められる.
- ただし、人工リーフ群の下手では海岸浸食が激しくなるため、対策が必要である.
- 突堤による浜の前進効果は、ほぼ既往のシミュレーションの結果程度であった. → **新たなシミュレーションは省略.**
- 当地の波浪はほぼ毎年 5m を超え、最大波高は再現確率が 2 ~ 4 年程度（1992 年調査）であると推定された.
- 1992 年頃に比べると、近年発生する波浪は過去に比べて小さくなっていることが示唆される.
- **被災メカニズムは「波の打ち上げによる進行性の浸食」
→ 「土塁部の消失」.**

【5. 復旧対象波浪】

災害復旧工事の場合，通常は被災が発生した時の沖波を用いて設計を行う．神主海岸ではこれまで幾度も被災を受けており，被災の都度，被災時波浪に対して局所的な対応を繰り返してきたが，それでは今後も被災を繰り返す可能性が高い．

和木波子海岸では度重なる波浪災害に備えるため，防災安全交付金（侵食対策）工事や海岸侵食対策工事等によって人工リーフや緩傾斜護岸などの整備が進められている．これらの工事では，施設の性能として30年確率波（激浪時波浪）に対して安全性を担保している．



今回の復旧も，最終的には激浪時波浪に対して安全な施設となるように計画することが望まれる．



しかしながら

人工リーフなどの海上工事を行う面的防護対策

多額の費用が必要（人工リーフの場合、 $L=200\text{m}$ 程度で約10億円）
整備にかかる年数も長い（5年以上）



海上工事を待つとなかなか治山施設の整備ができない。



陸上でできる対策から段階的に整備を進めるメニューを設定する
ものとし、激浪波に加え年数回波についても整備対象波浪とした。

【6. 基本条件の決定】

対策工法を立案するにあたり，以下の項目を整理した．

1. 現況の波の打ち上げ高

海岸防災林施設の土塁工（人工砂丘）の計画を行ううえでの目安を確認するため，年数回波がどの程度の高さまで遡上するか検討する．

2. 復旧断面の基本方針

土塁工を復旧するに当たっては，少なくとも土塁工には直接波浪が作用しないようにする必要がある．

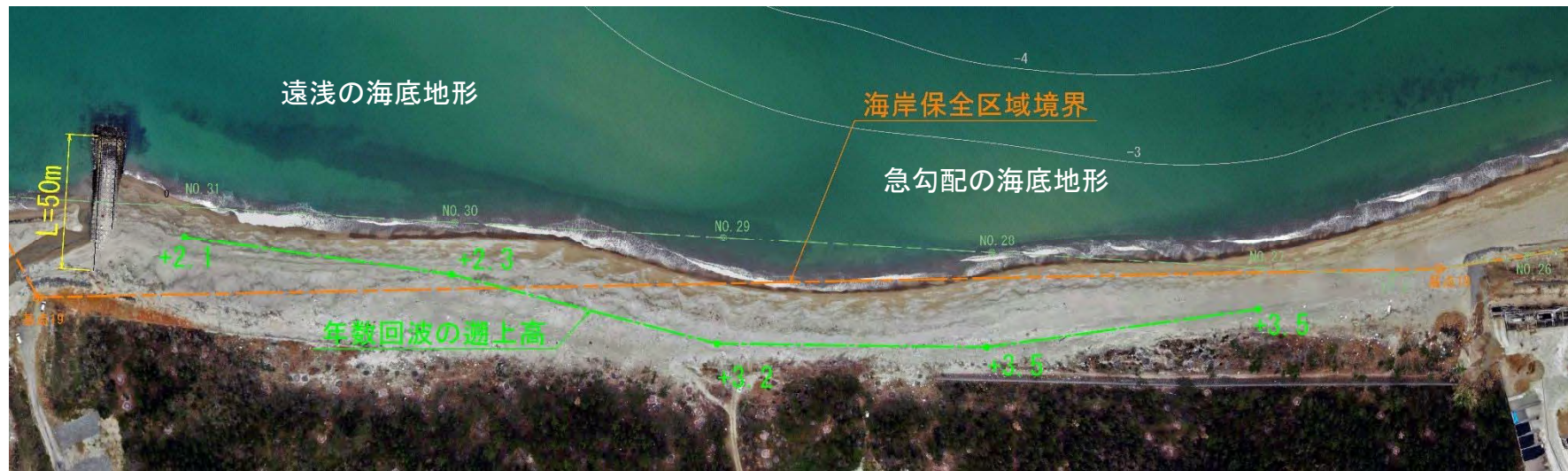
土塁工がこれまで幾度も被災を受けた経緯を考えると，土塁工の前面に築堤護岸を施工し，激浪時波浪に対して土塁工に直接波が作用しないように災害復旧断面を計画することが望ましい．

3. 新設突堤による汀線前進効果と波の打ち上げ高

新設の突堤を築造することで6号人工リーフ下手の汀線後退部を前進させ，土塁工への波の遡上高を低減することを期待する．

6-1. 現況の波の打ち上げ高

年数回波がどの程度の高さまで遡上するか検討した.



年数回波の現況遡上高

- ・ 年数回波T. P. +2.1～+3.5m程度まで遡上する
- ・ 前浜が狭い箇所（急勾配の所）では波の遡上高が高く，突堤の効果で前浜が前進したNO. 30以降では遡上高が低い.



前浜を前進させることが，海岸防災林施設を防護することに繋がることになることを示唆.

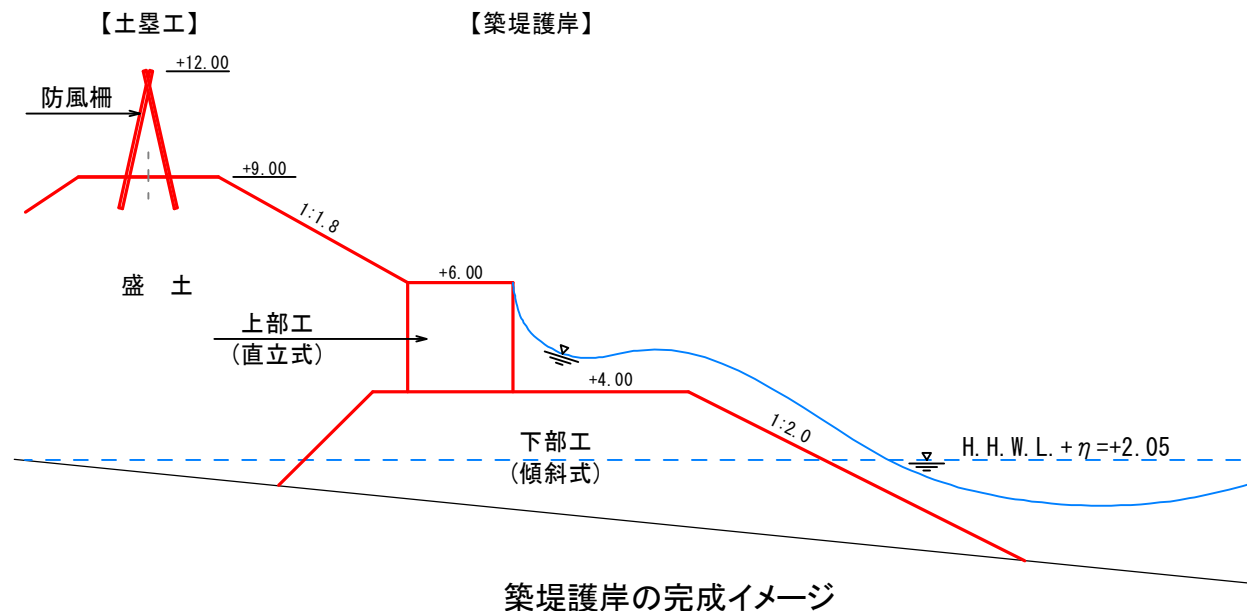
6-2. 復旧断面の基本方針

土塁工の前面に築堤護岸を施工し、激浪時波浪に対して土塁工に直接波が作用しないように災害復旧断面を計画する。

築堤護岸は法面を持つ傾斜タイプと直立式が考えられる。傾斜タイプの場合には反射波が発生しないので直立式に比べて基礎地盤の洗掘が少なくなり（透過構造であれば波に含まれる砂を補足する効果も期待できる）、波の打ち上げ高が低くなる傾向がある。ただし、長い法面を有するので広い用地幅が必要となる。



築堤護岸は下部が傾斜式、上部が直立式の複合断面となるように計画

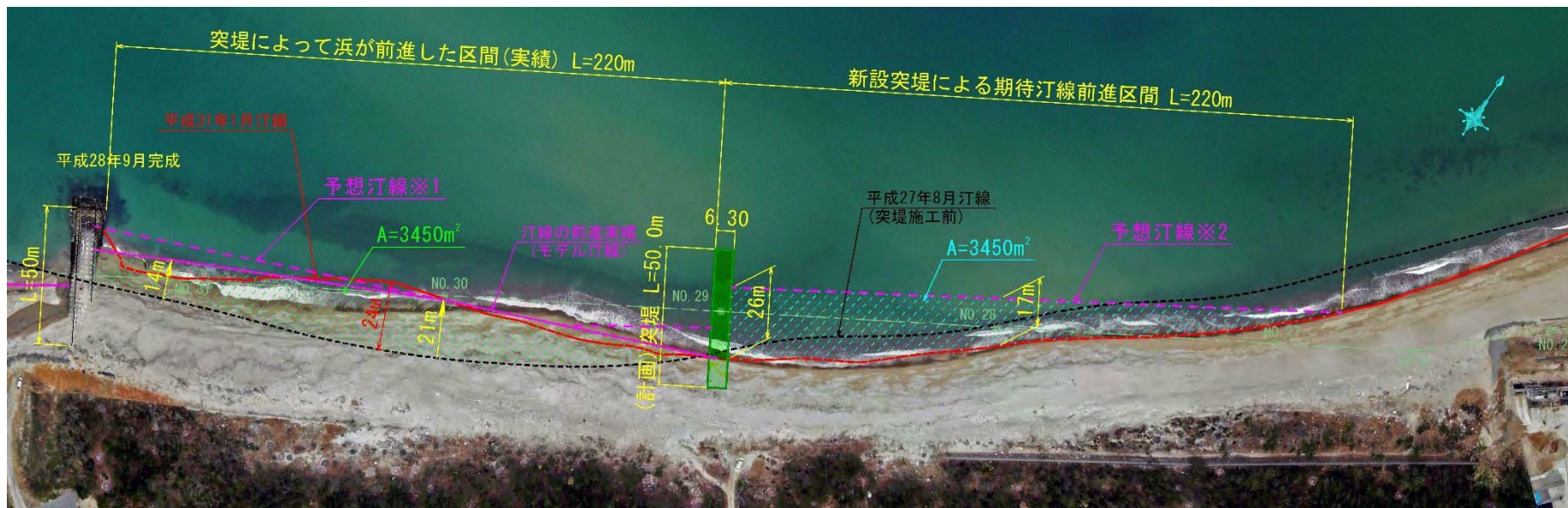


6-3. 新設突堤による汀線前進効果と波の打ち上げ高

現況の海浜部分で築堤護岸を築造すると、天端高は海からの距離に応じて激浪時はT. P. +7m~+10mもの高さが必要であることが判明した。



新たな突堤を築造し、浜の前進効果を期待したうえで築堤護岸の計画



新設突堤による汀線前進効果

【新設突堤の効果（期待値）】

突堤によって浜が前進する範囲はL=220mと仮定する

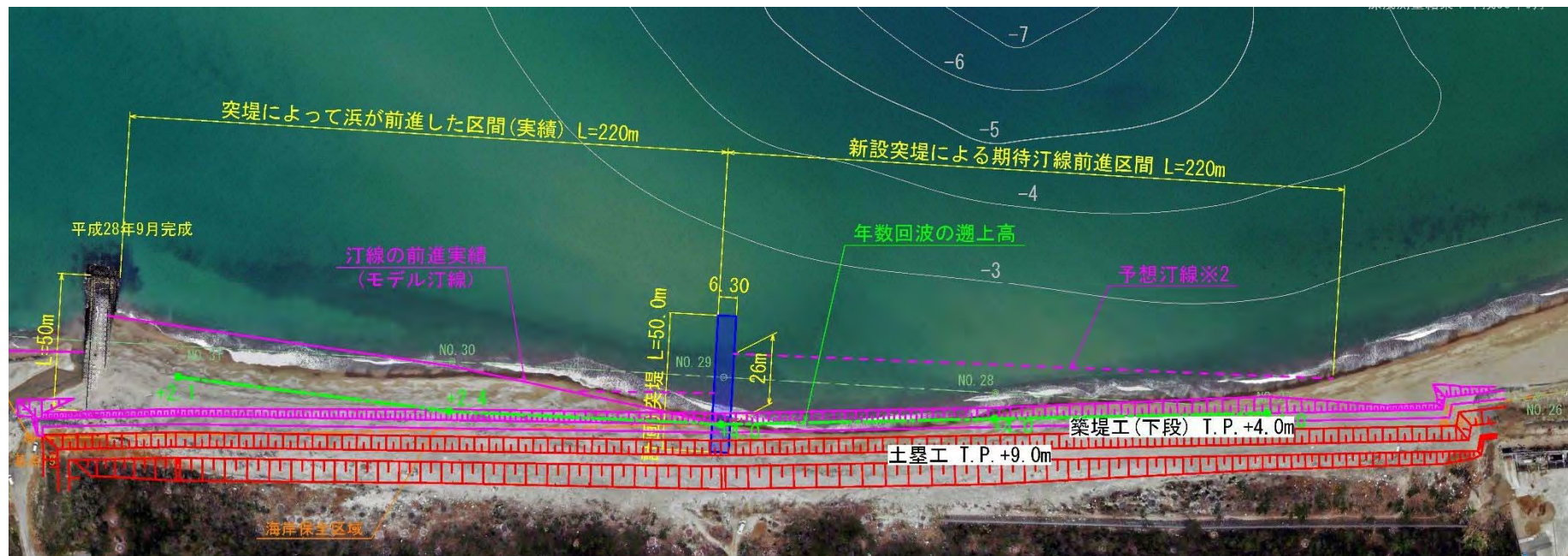
浜の前進はNO. 29~NO. 31付近の砂の移動量（面積）に等しいと仮定する

【新設突堤の効果】

6号人工リーフの下手に発生している海底の深い浸食部を埋めない限り、激浪時には波がT.P. +7m~9m程度にも遡上することが判明した。



当面の措置として、最低限、年数回波程度の波浪に対して海岸防災林施設の土塁が被災を受けないような構造にして、整備を行う

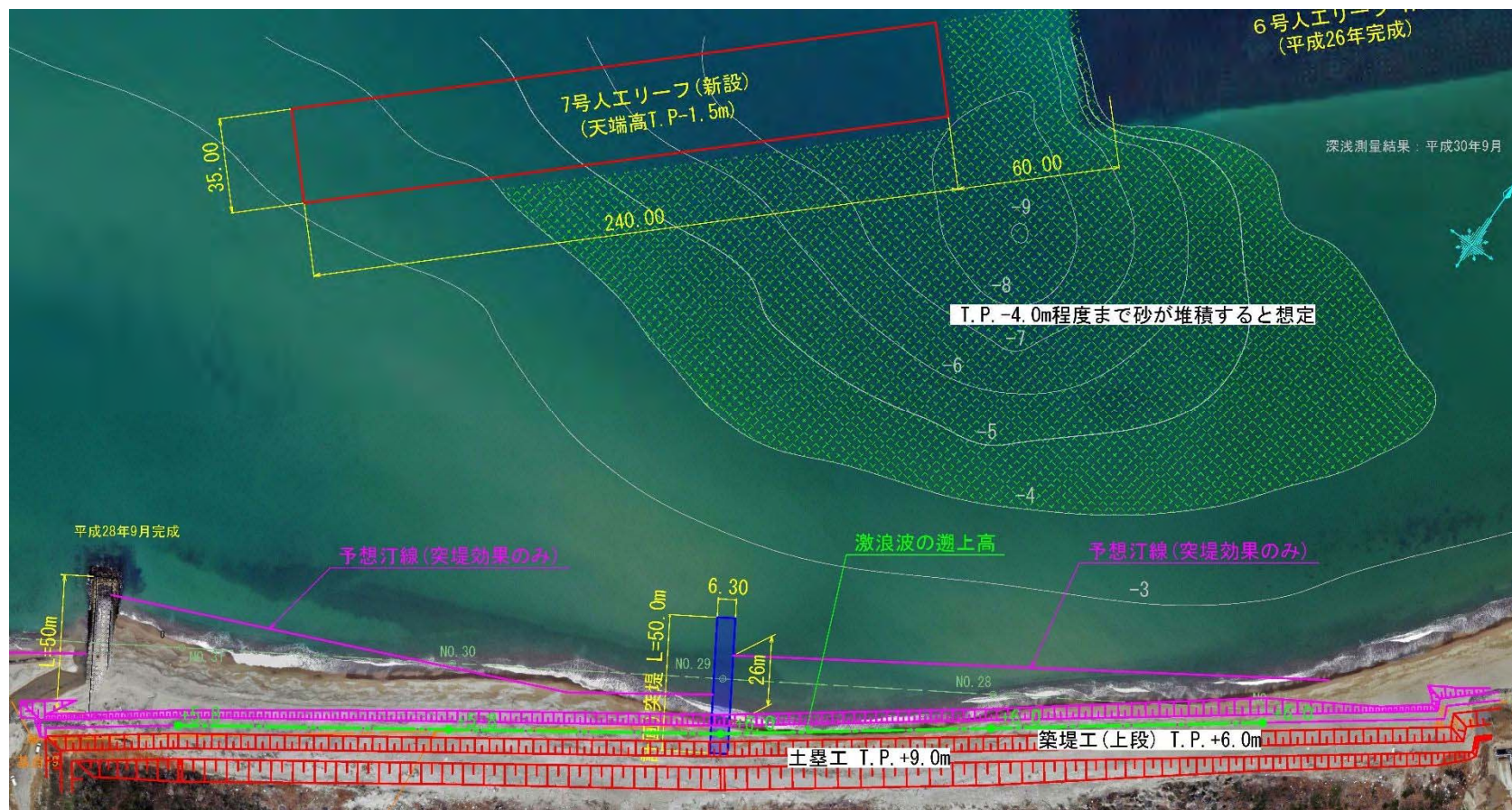


年数回波の遡上高

年数回波は築堤工の下段部分 (T.P. +4.0m) までしか遡上しないため、土塁工 (法尻の高さT.P. +6.0m) は安全である。

【新設人工リーフを築造した場合の波の打ち上げ高】

激浪時に土塁工が被災を受けないように、6号人工リーフ下手の海底の浸食部を恒久的に埋めるため、6号人工リーフに隣接して7号人工リーフを築造した場合の波の打ち上げ高を算定してみた。



激浪時波浪の遡上高

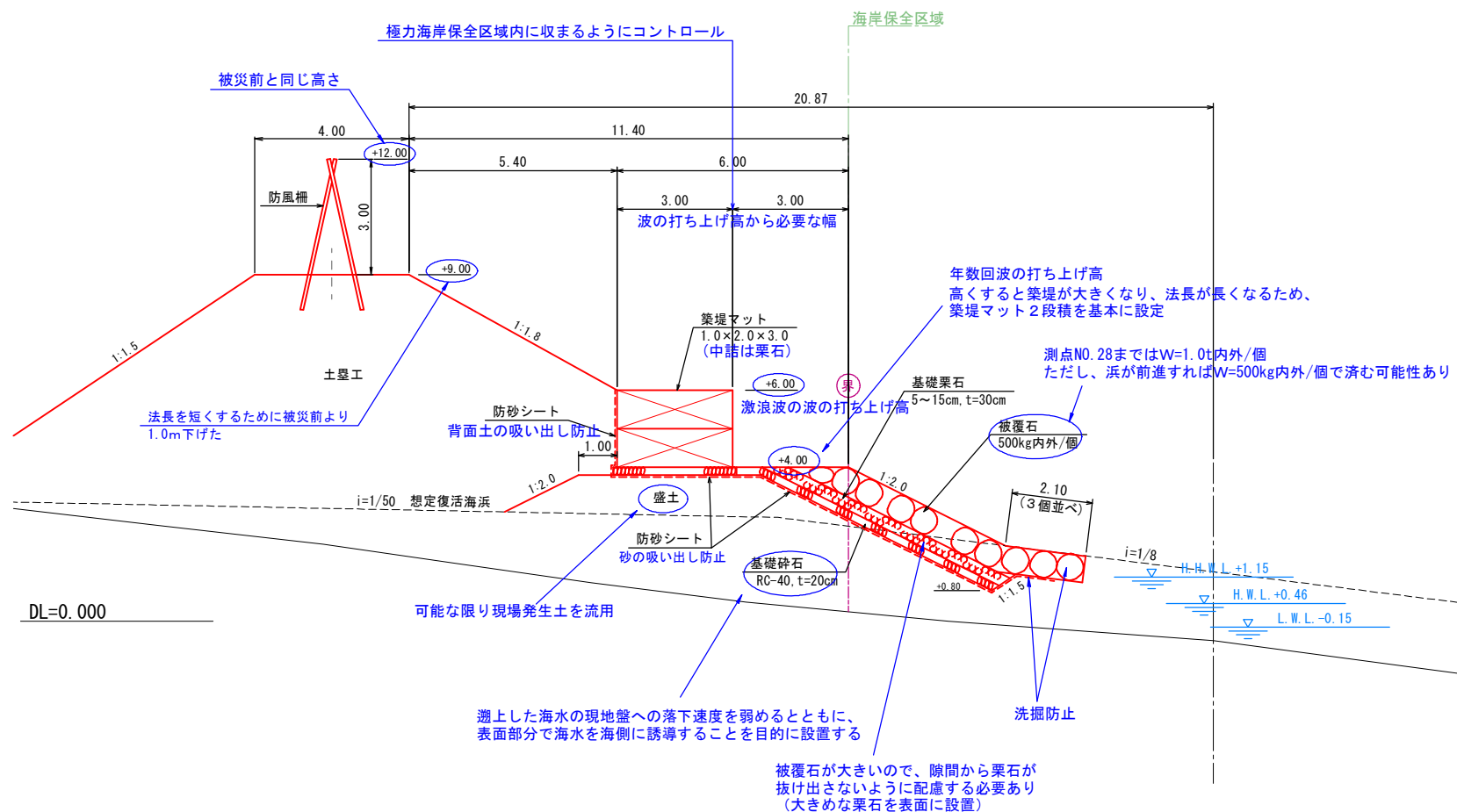
激浪時波浪は築堤工の上段部分 (T.P. +6.0m) までしか遡上しないため、土塁工 (法尻の高さ T.P. +6.0m) は安全である。

【 7 . 災害復旧断面の決定】

構造形式	第1案 被覆石式	第2案 緩傾斜ブロック式	第3案 重力式			
標準断面図						
機能	・緩い法面により波浪を低減、背後地への波の遡上を抑え、陸域の侵食を防止することが可能である。 ・被覆石どうしの空隙に砂を捕捉する効果がある。 ・緩傾斜ブロック式に比べて低反射構造であり、法面の戻り流れの流速も遅いため、前方の砂浜が大きく洗掘されることは少ないと考えられる。 ・被覆石の法尻部が洗掘を受けても築堤が直ちに破壊することはない、階段ブロックのように変状が目立たない。	◎	○			
景観	・自然石を用いるため景観はよい。	◎	○			
利用	・全区間にわたって緩勾配であるため、どこからでも水際へのアクセスが可能である。ただし、緩傾斜護岸ほど歩きやすくない。 ・被災前のような海水浴利用が可能である。	○	○			
施工性	・波避けとしては大型土のう程度のものを設置すればよい。 ・施工範囲が狭いため、築堤マットや被覆石の据付には10t吊り程度のラフテレーンクレーンを使用すれば良い。 ・工種が少ないため、他案より工期は短い。	○	△			
直接工事費	300千円/m	1	690千円/m (波避け仮設道費用抜き)	3	550千円/m	2
総合評価	・3案中最も経済性に優れる ・自然石を用いるため景観はよい。 ・海岸への移行性は第2案に劣る。 ・工種が少ないため、他案より工期が短い。 ・砂の捕捉効果が期待できる。	1	・3案中最も経済性に劣る。 ・緩傾斜部は景観の悪化は少ないものの、第1案には劣る。 ・海岸への移行性がよい。 ・プレキャスト基礎の設置など工種が多く、施工が煩雑となるとともに、工期も長くなりやすい。 ・砂浜の侵食に対する抜本的な対策にはなっていない。	2	・景観の悪化、利用の制限など現況とは大きく異なり、被災前の自然な状態が損なわれる。 ・コンクリート工事が水面付近で工種も多く、施工が煩雑となりやすく工期も長くなる。 ・砂浜の侵食に対する抜本的な対策にはなっていない。	3

「第1案 被覆石式築堤護岸」が最も経済性に優れており、景観も良く、利用性や施工性も他案に比べて優れている。また、何よりも低反射構造で砂を捕捉する機能を有しているので、本案を神主海岸の災害復旧断面として採用した。

ただし、測点N0.29付近に突堤を新設し、想定した程度に浜が復活した後での断面であることに注意が必要である。



復旧断面標準断面図

【過去の設計で成功したと思われる別現場の事例】



【復旧前】



【復旧後】

【8. 終わりに】

本業務で評価をいただいた点は以下の通りと考える.

- ・ 被災した治山施設の復旧について、技術的見地から事業の目的・予算の規模等に合致した計画・規模を樹立するとともに、根本的な復旧計画と整備手順を示した.
- ・ 海底地形変化の著しい海岸（漂砂海岸）において施設を計画する際には、将来地形を念頭において設計する必要がある. このような場所では海底地形変化シミュレーションを行うことが一般的であるが、過去から現在までの「空撮写真解析」, 「深浅測量結果解析」, 「波浪観測結果解析」を詳しく行うことでシミュレーションを省略し、業務コストの縮減に繋がった.
- ・ 漂砂海岸では海岸浸食を防ぐため、人工リーフや離岸堤等の面的防護策に加え、コンクリートブロックを用いた緩傾斜護岸が整備されることが多い. 当海岸によく似た海岸で砂の捕捉に非常に効果があることを弊社が実際に経験した被覆石式築堤護岸を、神主海岸でも提案した.

最後に、本業務において的確な指示と助言をいただいた島根県浜田県土整備事務所の石田課長をはじめとする農林工務部治山・林道二課の皆様に謝意を表します.