

三保松原白砂青松保全技術会議 検討結果報告書
【概要版】



平成 28 年 5 月

静 岡 県

目次

1	世界文化遺産「富士山」の構成資産への登録	1
	富士山と一体化した三保松原の景観	1
	構成資産としての三保松原をめぐって	3
2	三保松原白砂青松保全技術会議の設立	6
	海岸侵食の進行と海岸保全の取組	6
	三保松原白砂青松保全技術会議の基本理念・基本方針	9
	短期・中期・長期の段階的な対策	10
3	短期対策工法の検討と選択	12
	一般的な対策工法からの絞り込み	12
	海浜変形シミュレーションによる防護機能の比較検討	13
	フォトモンタージュによる景観シミュレーション	16
	最適工法としてのL型突堤の選定	18
4	短期対策工法の詳細検討	20
	複数のL型突堤案での海浜変形シミュレーション	20
	詳細検討の景観シミュレーション	22
	詳細検討の総合的評価	24
5	L型突堤の形状と配置の検討	26
	海浜変形シミュレーションによるL型突堤の形状と配置の検討	26
	形状、配置に関するシミュレーションのまとめ	30
	L型突堤1基案と2基案の検討	31
6	L型突堤の構造の選定	33
	現地の条件に基づく構造の検討	33
	基本構造と今後の課題	34
	現L型突堤～1号消波堤間の養浜方法の検討	34
	養浜方法のまとめと今後の課題	36

7	技術会議の総括と今後の展開・・・・・・・・・・・・・・・・	37
	技術会議で決定した短期対策の概要・・・・・・・・	37
	三保松原景観改善技術フォローアップ会議の設立・・・・・・・・	38
	かけがえのない白砂青松の海岸を未来へ・・・・・・・・	38

本報告書は、平成 25 年 9 月から平成 27 年 2 月にかけて 4 回にわたって開催した「三保松原白砂青松保全技術会議」における検討の内容を、事務局である静岡県が取りまとめたものである。

なお、取りまとめにあたっては、技術会議の検討成果を引き継ぎ、清水海岸三保松原付近の景観改善と海岸保全の両立のための対策について、対策の推進と順応的な見直しを図るための方策等を検討し、段階に応じた的確なフォローアップを実施することを目的に平成 27 年 4 月に設立した「三保松原景観改善技術フォローアップ会議」の委員に、ご意見をいただいた。

1 世界文化遺産「富士山」の構成資産への登録

富士山と一体化した三保松原の景観

2013（平成25）年6月、富士山は「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」という名称で世界文化遺産に登録され、日本では17番目の世界遺産となった。世界遺産とは、国際連合教育科学文化機関（ユネスコ）の世界遺産リストに登録された、後世に引き継いでいくべき「顕著な普遍的価値」を有する人類共通の遺産である。

静岡県駿河湾の名勝・三保松原^{みほのまつばら}は、「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」の構成資産として登録された。構成資産とは、世界文化遺産である富士山の価値を構成する資産であり、周囲にある神社や登山道、洞穴、樹型、湖沼など三保松原を含む25の資産が選ばれている。

三保松原は静岡市清水区の三保半島にある白砂青松の海岸であり、清水海岸の一部を成している。三保半島は約15km南西に河口のある安倍川からの土砂によって形成された典型的な砂嘴^{さし}地形であり、安倍川の豊富な土砂はまた、河口付近から北東に約18kmにわたって砂浜を形成した。静岡海岸と清水海岸である（図-1.1）。

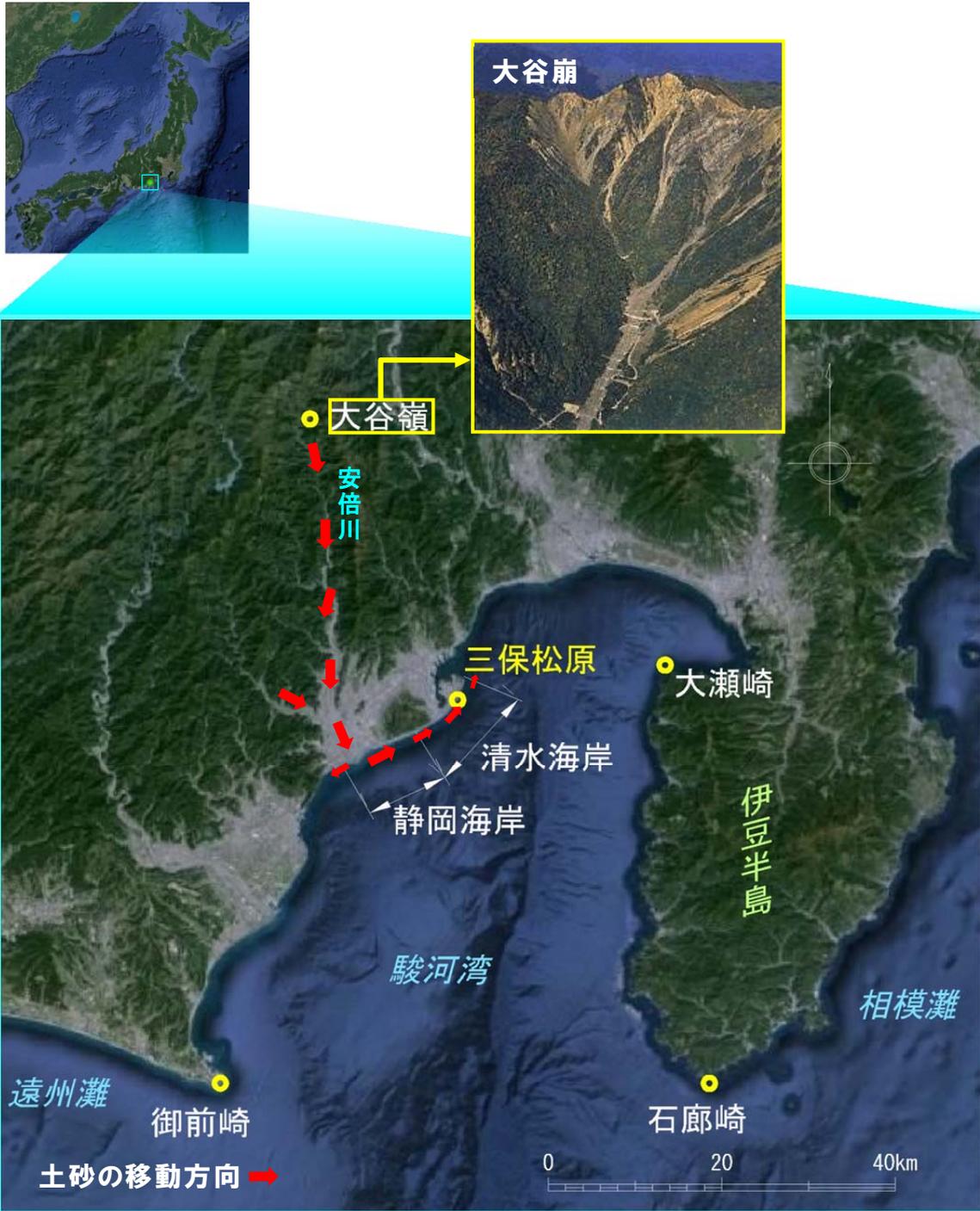
美しい砂浜、緑豊かな松林が青い海原に伸びて、その先にそびえる霊峰富士。富士山と一体化した三保松原の景色は、古くから日本中に知られ、多くの人々が憧れ、訪れてきた日本を代表する景観である（写真-1.1）。



写真-1.1 富士山のそびえる三保松原

三保松原は古くから富士山を「遥拝^{ようはい}」する格好の場所であり、実際に富士山に登山する「登拝^{とはい}」の時代に移行してからも、富士信仰の一端を担う重要な場所であり続けた。このような富士信仰と相まって、三保松原の美しい景観は多くの芸術作品で表現されてきた。

詩歌では日本最古の和歌集である『万葉集』（8世紀後半成立）ですでに詠われ、歌枕として多くの歌人・詩人の創作意欲を刺激し、日本文学史に多くの秀歌を残してきた。



Google Earth

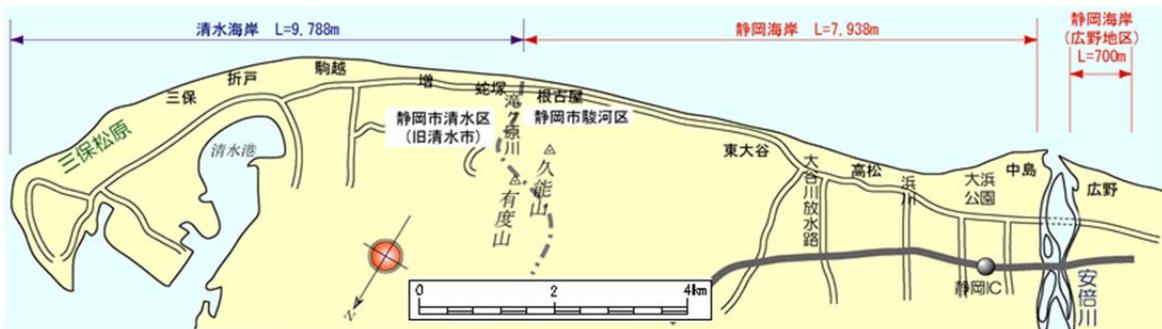


図-1.1 海岸位置図

絵画では室町時代の雪舟筆と伝えられる『富士三保清見寺図』（図-1.2）が登場し、三保松原を前景とした絵画的構成はその後の富士山画に大きな影響を与えた。また、江戸末期の浮世絵師・歌川広重の版画（図-1.3）によって、その独特の構図や色彩とともに三保松原の景観は広く海外にまで知られることになった。



図-1.2 『富士三保清見寺図』（永青文庫蔵）

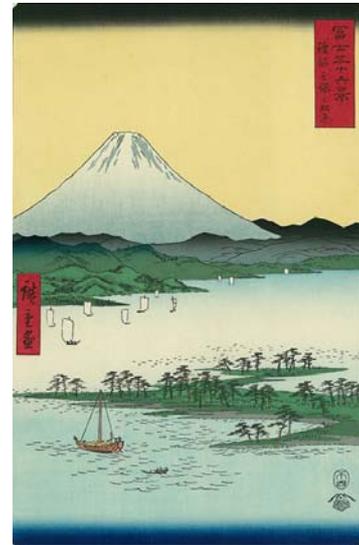


図-1.3 歌川広重 富士三十六景「駿河三保之松原」

能楽から始まり長唄、箏曲、舞踊、浮世絵、歌舞伎、唱歌など、多彩な芸術活動の源泉となったのが、三保松原の「羽衣伝説」である。羽衣伝説は日本各地にあるが、三保松原の羽衣伝説がとりわけ有名になったのは、室町時代に世阿弥作と伝えられる能「羽衣」の題材となったからである（写真-1.2）。ちなみに現在の羽衣の松は、2010（平成22）年に襲名した三代目である（写真-1.3）。

このように富士山と一体化した三保松原の景観は、信仰や芸術の発露として長い年月を通して日本人の心に深く根づき、日本を象徴する光景として国内外で認められている。



写真-1.2 能「羽衣」の舞台



写真-1.3 羽衣の松

構成資産としての三保松原をめぐって

国の担当機関（文化庁）からユネスコに推薦状を提出した世界文化遺産候補は、ユネスコの諮問機関である国際記念物遺跡会議（イコモス）が現地調査を踏まえて登録の可否を勧告する。富士山に関しても、イコモスは2012（平成24）

年8月末から9月初めにかけて現地調査を行い、2013（平成25）年4月、世界遺産委員会に世界文化遺産にふさわしいという旨の勧告を行った。ただし、そこには三保松原を構成資産から除外するという旨の指摘も含まれていた。三保松原は富士山から45kmも離れていて、世界文化遺産としての一体化を認められないというのがイコモスの主張であった。確かに他の構成資産は富士山域とその山麓に集中しており、三保松原だけが地図上はポツンと遠隔の地にあった。

しかし、前項で見てきたように、三保松原は富士山と密接に関わっており、日本側は次のような趣旨であくまで三保松原を構成資産として含む富士山の世界文化遺産登録を希望した。

「三保松原からの富士山が、山・松・浜・海という富士山を表す典型的な情景であり、物理的に離れていても、日本人の精神性、芸術性においてつながっている『目に見えないリンクがある』と主張した。」（近藤誠一前文化庁長官）

2013年6月、第37回世界遺産委員会がカンボジアのプノンペンで開催され、22日に富士山の審議が行われた。イコモスの勧告により富士山の世界文化遺産登録はほぼ確実視されており、焦点は構成資産としての三保松原の採否であった。世界遺産委員会は世界遺産条約を批准している192カ国で構成され、議事は幹事国21カ国の委員による合議制で決議される。委員会ではイコモスの除外勧告に反して、「芸術家がインスピレーションを得る重要な場所」「砂浜と松林も富士山の一部であり、無形の文化的な価値を持つ」など、三保松原も構成資産として世界遺産に含めるべきだという意見が相次いだ。その結果、富士山は三保松原を構成遺産に含める形で、世界文化遺産への登録を果たしたのである。

日本国中が喜びに沸いた富士山の世界文化遺産登録であったが、思いがけず渦中の存在となった三保松原には大きな課題が残った。イコモスの除外勧告には富士山から距離が遠いことに加えて、消波堤が「審美的観点から望ましくない」と指摘されていたのである（写真-1.4）。



写真-1.4 「審美的観点から望ましくない」とされた消波堤（2013年12月撮影）

「三保松原から富士山に対する展望は潜在的に問題である、とイコモスは考える。著名な広重の版画に見られる展望地点ではあるが、複数の関連する展望地点が存在し、そのうちのいくつかは、消波堤（計5箇所。そのうち4箇所は、海岸線と海面との接点に顕著な「小丘」を形成している）が存在するため、美しさの観点から望ましくない。しかし、色彩・形態の観点から自然的な景観に馴染ませるための努力が行われてきた。」

（イコモスの評価結果及び勧告より抜粋）

消波堤は高度経済成長以降に発生した海岸侵食に対して、砂浜を保全するために大きな役割を果たしてきた。しかし、イコモスのこの指摘を重く受け止め、世界文化遺産の構成資産にふさわしい景観へと整備していくことが必須であった。霊峰富士を望む白砂青松の三保松原を世界遺産として未来へ受け渡していくために。

2 三保松原白砂青松保全技術会議の設立

海岸侵食の進行と海岸保全の取組

1965（昭和40）年ごろに安倍川河口付近から静岡海岸の海岸侵食（砂浜の流出などによる海岸線の後退）が始まった。高度経済成長期のコンクリート骨材（コンクリートの材料となる砂利や砂）需要の増大に応えた、安倍川での砂利の大量採取が原因であった。安倍川での大量の砂利採取は1968（昭和43）年に規制されたが、規制後も海岸侵食は止まらず、侵食は北東側へと進んだ。1970年代後半から80年代前半にかけて静岡海岸の砂浜はほぼ消失した。1980年代前半には海岸侵食は清水海岸に到達している。

これによって、静岡海岸の護岸や沿岸を走る国道150号線がしばしば高波により被災することになった（写真-2.1）。砂浜の消失

によって台風の高波などで越波（打ち上げられた海水が護岸や堤防を越えて陸側に浸入すること）を招きやすくなったためである。これを防止するため、静岡海岸の河口付近から順次、離岸堤（岸から少し離れた沖合に海岸線とほぼ平行に石材や消波ブロックなどで築かれた人工の堤）や消波工（消波ブロックで護岸前面

などに築かれる構造物）が設置されていった（写真-2.2）。

1988（昭和63）年ごろには、このまま未対策のままでは砂浜の侵食は10年後には羽衣の松の付近に達し、30年後には三保松原の砂浜は消失すると予測された（図-2.1）。そのため、三保松原を含む清水海岸に対して侵食が及んでいない砂浜が残る地域も含めて総合的な海岸侵食対策が実施されることになった。



写真-2.1 国道150号の被災（蛇塚地区）



写真-2.2 静岡海岸の離岸堤と消波工



図-2.1 1988年3月の清水海岸(左)と
未対策の場合の2019年頃の清水海岸(予測結果イメージ)(右)

以後、20年以上の歳月をかけて、離岸堤型ヘッドランド5基、L型突堤(突堤型ヘッドランド)、消波堤4基を設置した(図-2.2)。ヘッドランド工法は岬と岬の間は砂浜が安定していることに着目して、海岸に人工的に複数の岬状の構造物(ヘッドランド)をつくり、それに挟まれた区間の海岸侵食を抑制する工法である(写真-2.3)。羽衣の松前面は、景観上の配慮に加えて、この地点の東には海底谷があり、そこに漂砂上手から波により運ばれてきた土砂が落ち込むのを食い止めるために、漂砂の捕捉力が強いL型突堤を採用した。また、他の堤防などより天端(堤防などの構造物の最頂部)を低い構造にして、景観への視覚的な影響を低く抑えており、高波時には突堤の根元を波が越えていくので、東側への土砂の流れも確保している(写真-2.4)。



図-2.2 清水海岸の海岸保全施設配置と必要砂浜幅

L型突堤より東側の海岸は、海底谷により海底が急勾配になっているため、沖合に構造物を設置することが困難である。そのため、侵食の到達に先立って汀線際に消波堤を設置した。これによって侵食の抑制を図るとともに、養浜と

合わせて防護上必要な砂浜を確保することをめざした。

このコンクリートブロックで構成された消波堤4基が、イコモスが海岸線と海面との接点に顕著な「小丘」を形成して、美しさの観点から望ましくないと指摘したものである。

海岸に人工的に砂を供給する養浜は、土砂供給源である安倍川から直接海岸に土砂を運ぶサンドバイパスと、4号消波堤の東、三保飛行場（静岡県と赤十字飛行隊の訓練飛行場）の前面の砂浜に堆積した土砂を手前の砂浜に戻すサンドリサイクルの2つの方式で実施されている（図-2.3）。



写真-2.3 離岸堤型ヘッドランド



写真-2.4 L型突堤



図-2.3 サンドバイパス養浜とサンドリサイクル養浜

三保松原白砂青松保全技術会議の基本理念・基本方針

2013（平成25）年8月、三保松原白砂青松保全技術会議（以下、「技術会議」という）が設立され、翌9月10日に静岡県庁別館において第1回技術会議が開催された。

この技術会議は、海岸工学と景観・文化財保護の両面から世界文化遺産の構成資産にふさわしい保全施設整備案を検討し、具体的な景観改善対策を提案することを目的とした有識者会議である。直接的には「消波堤が審美的観点から望ましくない」というイコモスの指摘に対して、2016年1月に世界遺産センターに提出する「保全状況報告書」において三保松原の「文化的景観の手法を反映した資産の総合的なヴィジョン」を報告する必要があった。

技術会議の座長には近藤誠一前文化庁長官が、副座長には難波喬司国土交通省大臣官房技術総括審議官が就任し、委員は別表のとおり各界の第一人者が揃っている（表-2.1）。委員は川勝平太静岡県知事が委嘱し、そのなかから座長、副座長を指名した。技術会議の運営に関する事務などを処理する事務局は、静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課に置かれた。

技術会議は2015年3月までに計4回開催され、その他に5回のL型突堤構造・景観検討ワーキングが実施され、さまざまな角度から三保松原における景観改善策の検討を重ねていった（表-2.2）。

表-2.1 三保松原白砂青松保全技術会議委員一覧

（敬称略：五十音順）

	氏名	所属等	
座長	近藤誠一	前文化庁長官	
副座長	難波喬司	前国土交通省大臣官房技術総括審議官 京都大学大学院客員教授、静岡県副知事	
委員	五十嵐崇博	国土交通省中部地方整備局河川部長	～第2回
委員	宇多高明	日本大学客員教授	
委員	岡田智秀	日本大学理工学部教授	
委員	佐藤慎司	東京大学工学系研究科教授	
委員	篠原修	東京大学名誉教授	
委員	杉本隆成	東京大学名誉教授	
委員	勢田昌功	国土交通省中部地方整備局河川部長	第3回～
委員	本中眞	文化庁文化財部記念物課主任文化財調査官	
委員	森山誠二	静岡県副知事	～第2回
委員	安田喜憲	静岡県補佐官（学際担当）	第2回～
委員	山本克也	静岡市副市長	

表-2.2 技術会議・ワーキング日程

2013年8月7日	三保松原白砂青松保全技術会議 設立
9月10日	第1回三保松原白砂青松保全技術会議 (1)会議の設立 (2)海岸保全への取組み経過 (3)防護、景観等に関する基本情報 等
2014年1月30日	第2回三保松原白砂青松保全技術会議 (1)対策の基本理念 (2)対策工法の決定 等
6月～11月	第1回～第4回L型突堤構造・景観検討ワーキング
11月20日	第3回三保松原白砂青松保全技術会議 (1)突堤の配置、構造検討 (2)モニタリング計画 等
2015年1月14日	第5回L型突堤構造・景観検討ワーキング
2月3日	第4回三保松原白砂青松保全技術会議 (1)突堤の配置、構造決定 (2)今後の検討方針 等
3月24日	最終報告書 公表

技術会議では、まず「今後の海岸整備の基本理念」と「景観改善の基本方針」が確認された。「今後の海岸整備の基本理念」は、「『背後地の防護』と『芸術の源泉にふさわしい景観』の両立」である。「景観改善の基本方針」は、次の5項目が提示された。

- 方針1 必要な防護機能を確保する。
- 方針2 防護施設は極力見えない構造とする。
- 方針3 必要な砂浜幅を確保するとともに、汀線形状は極力滑らかにする。
- 方針4 漁業やアカウミガメの産卵など、「利用」や「環境」に十分配慮する。
- 方針5 段階的な整備と、モニタリング※を踏まえた順応的な修正を行う。

※状況把握

対象区間については、羽衣の松付近から富士山を望む範囲に位置する、L型突堤から4号消波堤までの区間（消波堤区間）と決定した。

短期・中期・長期の段階的な対策

清水海岸は厳しい海象条件・気象条件下にあり、予測には不確実な要素が伴う。そのため、景観の審美的観点から最も大きな問題となっている1号および2号消波堤の景観改善を優先的に実施し、短期・中期・長期と段階的に改善対策に取り組んでいくこととした。

短期対策は1号、2号消波堤を含む区間が対象であり、2015（平成27）年より1号消波堤の代替施設の具体的な検討を行う予定とした。中期対策は3号、4号消波堤を含む区間が対象であり、短期対策終了後に海浜変形の状況などをモニタリングしながら、以後の展開を順次検討することとした。長期対策は安倍川からの土砂の到達による自然回復である。これは30～50年後頃になると予測されている（図-2.4）。

- 短期対策**・・・羽衣の松エリアでの視認性が高い1号消波堤周辺の景観改善を優先的に実施【1号消波堤・2号消波堤】
 ※対策の効果として砂浜幅80mの防護水準の確保が認められた段階で1号消波堤、2号消波堤の撤去を検討する。
- 中期対策**・・・2号消波堤より下手側について、海浜変形の様態等をモニタリングしながら展開を順次検討【3号消波堤・4号消波堤】
- 長期対策**・・・河川・海岸における土砂移動の連続性を維持し、安倍川土砂の自然到達による施設に頼らない砂浜の自然回復を実現する



図-2.4 段階的な対策

これに併せて、短期対策時からモニタリングを重視し、これを踏まえて順応的な対応を行うこと、三保松原の保全に関わる各種機関と緊密な連携をとること、松林や周辺地域を含む文化財（景勝）としての価値向上に寄与する方針などが確認された。

3 短期対策工法の検討と選択

一般的な対策工法からの絞り込み

短期対策の具体的な検討は、羽衣の松から富士山を望む場合、景観上最も影響が大きい1号消波堤、および2号消波堤に代わる代替工法の検討からスタートした。検討プロセスは「一般的な対策工法の検討」「概略検討（→最適工法の決定）」「詳細検討（→工法案の決定）」「突堤の平面配置・平面形状の検討（→平面配置・形状の決定）」「突堤の構造の検討」の流れで設定された（図-3.1）。

事務局から海岸防護の一般的な工法として8工法が提示された。これらの8工法の技術・コストなどの観点での課題と景観面の評価をまとめたのが表-3.1である。このなかから委員の意見やその他の条件を踏まえて3工法が検討ケースとして選定され、次のステップである概略検討に進むことになった。新型離岸堤（⑤）、人工リーフ（⑥）、L型突堤（⑧）の3工法である。これらに消波堤を存置した場合、撤去した場合も含めて、シミュレーションなどで比較検討することになった（表-3.2）。

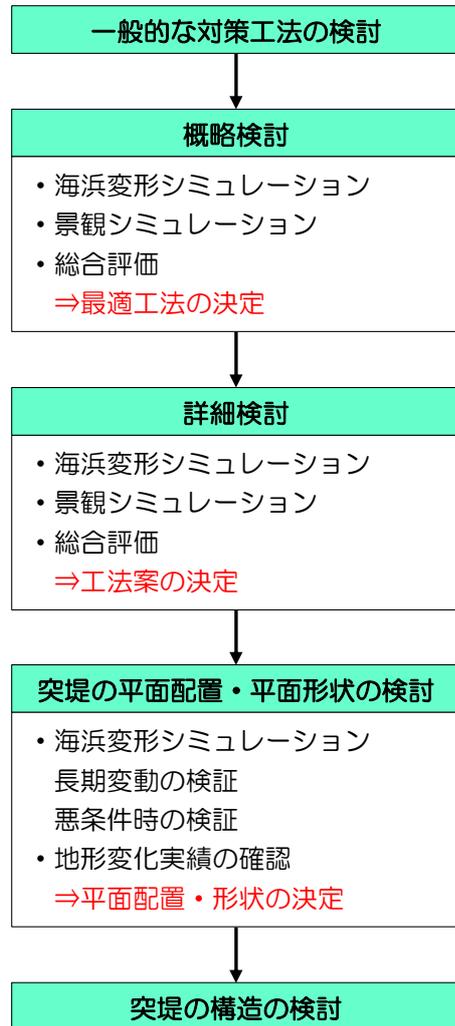


図-3.1 代替工法の検討フロー

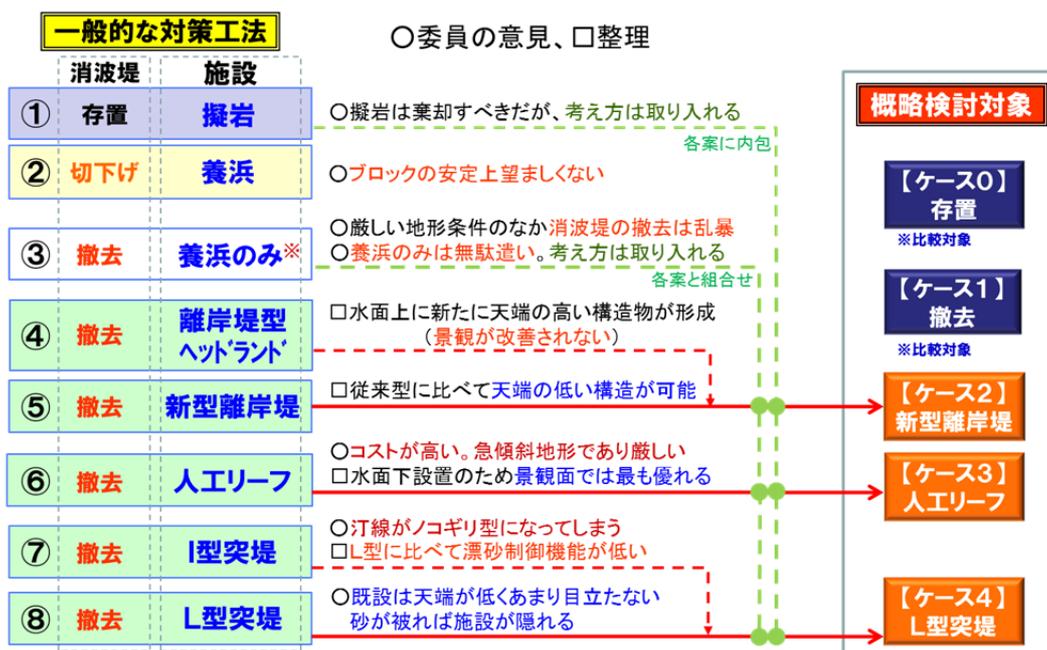
【用語の定義】

- 「上手・下手」 安倍川から三保に移動する砂の流れを河川に見立てた場合の上流側（安倍川側）が上手、下流側（三保側）が下手
- 「1号L型突堤」 1号消波堤付近に新設するL型突堤
- 「2号L型突堤」 2号消波堤付近に新設するL型突堤
- 「現L型突堤」 既に1号消波堤の上手に設置されているL型突堤
- 「縦堤」 L型突堤のうち、岸沖方向に平行に設置する部分
- 「横堤」 L型突堤のうち、沿岸方向に平行に設置する部分

表-3.1 一般的な対策工法の課題と景観のまとめ

No.	消波堤	新規対策	技術・コスト等の観点での課題	景観
①	存置	修景のみ (擬岩ブロック等)	現消波ブロックと同等の消波性能、安定性を検証するための実験やブロック等の製作に期間を要する。	「小丘」が形成されることに変わりはない。 汀線は現状と変わらない。
②	切下げ	養浜 施設整備	必要養浜量が多くなる。	「小丘」が残るが、高さが低くなることにより印象は低下する。
③	撤去	消波堤撤去 +養浜	必要養浜量が膨大となる。 高い頻度で養浜材が流出するため、随時実施する必要がある。	砂浜のみの景観となる。 汀線はなだらかになる。
④	撤去	離岸堤型 ヘットランド	地形変動が激しい急斜面への設置となり、ブロックの安定性の確保が困難。	「小丘」の位置が汀線から沖合いに移動する。 人工の岬を形成する工法であり、汀線の凹凸は大きくなる。
⑤	撤去	新型離岸堤	鋼管杭による支持構造のため急勾配地形でも埋体沈下による機能低下が従来型の離岸堤に比べて少ないが、従来型に比べてコストが高く、地形変動が激しい地点では鋼管杭の損傷等が生じやすい。	施設が沖合いに移動し「小丘」ではなくなるが、構造物は連続的印象となる。 汀線はゆるやかな凹凸となる。
⑥	撤去	潜堤 (人工リーフ)	消波堤に比べ、長さや天端幅を広く取る必要があるため、特に急勾配海岸では巨大な構造となる。地形変動が激しい急斜面への設置のため、安定性の確保が難しい。	水中の施設となるために、砂浜のみの景観となる。汀線はゆるやかな凹凸となる。
⑦	撤去	突堤(1字型)	漂砂制御機能が弱く、天端を低くすると漂砂制御機能が確保できない。沖合に突出するため安定性の確保が困難。	天端高が低く平坦なため、視認されずらいが、先端部は水面上に突出する。 汀線が不連続となる。
⑧	撤去	突堤(L字型)	地形変化が激しい地点への設置は沈下等が生じやすい。漂砂制御機能が強い場合、下手側への配慮が必要。	天端高が低く平坦であり、L字の内側に土砂が堆積することにより、視認されづらくなる。 汀線が不連続となる。

表-3.2 一般的な対策工法の整理と検討ケースの設定



海浜変形シミュレーションによる防護機能の比較検討

概略検討では、一般的な工法の検討によって検討テーマとして選定された3工法（新型離岸堤、人工リーフ、L型突堤）を

- ① 海浜変形シミュレーション
- ② 景観シミュレーション
- ③ 総合的な評価

のプロセスで比較検討し、最適工法を決定する。選定された最適工法は、その

工法によってどのような海岸が実現できるかを検証する詳細検討に進むことになる。

海浜変形シミュレーションは汀線変化や水深変化など文字どおり海浜の形状の変化をシミュレーションするもので、これによって現消波堤と同程度の防護機能が確保できる対策工法を確認するのが目的である。

シミュレーションの計算条件は表-3.3のとおりであり、計算期間は2013（平成25）年を基準とした20年間で、20年後の2033年の予測された海浜形状が検討対象となる。

表-3.3 海浜変形シミュレーションの予測計算モデル

計算モデル	等深線・粒径変化モデル(熊田ら, 2007) 広範囲かつ長期間における海浜地形の変化(等深線の前進・後退)が予測可能なモデル
計算期間	1998~2013年(15年間)の海浜変形を再現し、モデルの妥当性を確認した後、 2013~2033年(20年間)の予測計算を実施
粒度構成	粗粒分2mm
入射波条件	既往の静岡・清水海岸での予測計算実績より地形変化の再現性が高い波浪条件:沖波波高 $H_0=3m$,周期 $T=9s$ を採用 (波高上位から約5%の波(5%出現頻度波)・・・地形変化が生じる常時の時化(低気圧通過時など)に相当)
L型突堤 下手への 土砂流入量 (境界条件)	<p>計算範囲</p> <p>2013</p> <p>L型突堤下手への土砂流入量(境界条件)</p> <p>※L型突堤～飛行場までの砂嘴地形を単純化したモデル地形(展開座標)を用いて計算を実施</p>

消波堤存置、消波堤撤去、新型離岸堤、人工リーフ（2ケース）、L型突堤の6つの検討ケースで行った（表-3.4）。なお、現消波堤を撤去し、対策工に置き換えるケースは、現消波堤と同様に上手側から順に1号堤、2号堤、3号堤、4号堤とする。

表-3.4 海浜変形シミュレーションの検討ケース

ケース	消波堤	養浜量	施設整備	備考(施設規模)
0	存置	3万m ³ /年 (現養浜量)	無し	【現諸元】 天端高T.P.+5.1m 設置水深T.P.-3~-4m, 天端幅10.1~10.8m 波高伝達率 $K_t=0.4$ 堤長100m(3号は200m)→※以下ケース同じ
1	撤去		無し	
2	撤去		新型離岸堤	天端高T.P.+1.5m(周辺実績の低天端タイプ) 設置水深T.P.-8m(堤体安定性より緩勾配位置に設定) 天端幅10m 波高伝達率 $K_t=0.6$ (上記諸元等から設定)
3	撤去		人工リーフ	天端高T.P.-2m(干潮時も水面下となる高さ) 設置水深T.P.-8m(堤体安定性より緩勾配位置に設定) 天端幅20m(上記諸元,現地形から設定) 波高伝達率 $K_t=0.8$ (上記諸元等から設定)
3'	撤去		人工リーフ (ケース3の開口部にも設置 計7基)	
4	撤去		L型突堤	天端高T.P.+1.5m(既設と同じ) 設置水深T.P.-4m

- ・ 漂砂量等の諸条件は、これまでの知見に基づく
- ・ 施設配置は現消波堤位置、堤長は現消波堤と同じ長さとする

海浜変形シミュレーションによる20年後（2033年）の予測汀線位置は、現状（2013年）の航空写真に落とし込んで検討を加えた。それをまとめたのが図-3.2である。また、20年後の汀線変化量を比較すると、新型離岸堤（ケース2）は1号堤から3号堤にかけて顕著に堆積が進むが、4号堤の下手で汀線が著しく後退する。人工リーフ（ケース3、3'）は4基でも7基でも1号堤周辺で汀線が著しく後退する。L型突堤（ケース4）はおおむね現状の汀線を維持し、消波堤存置と近い結果を示した（図-3.3）。

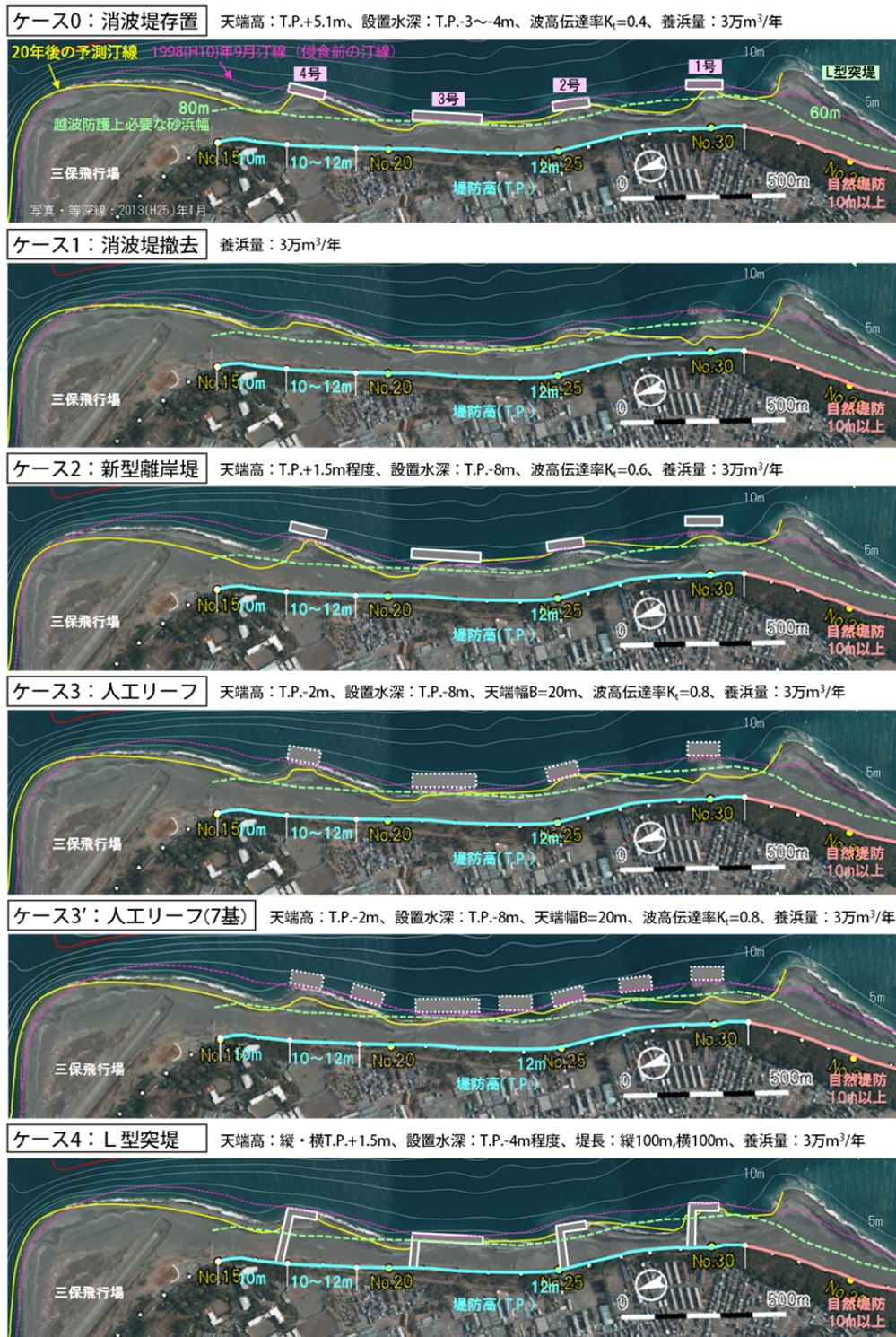


図-3.2 海浜変形シミュレーション結果(ケース0~4)

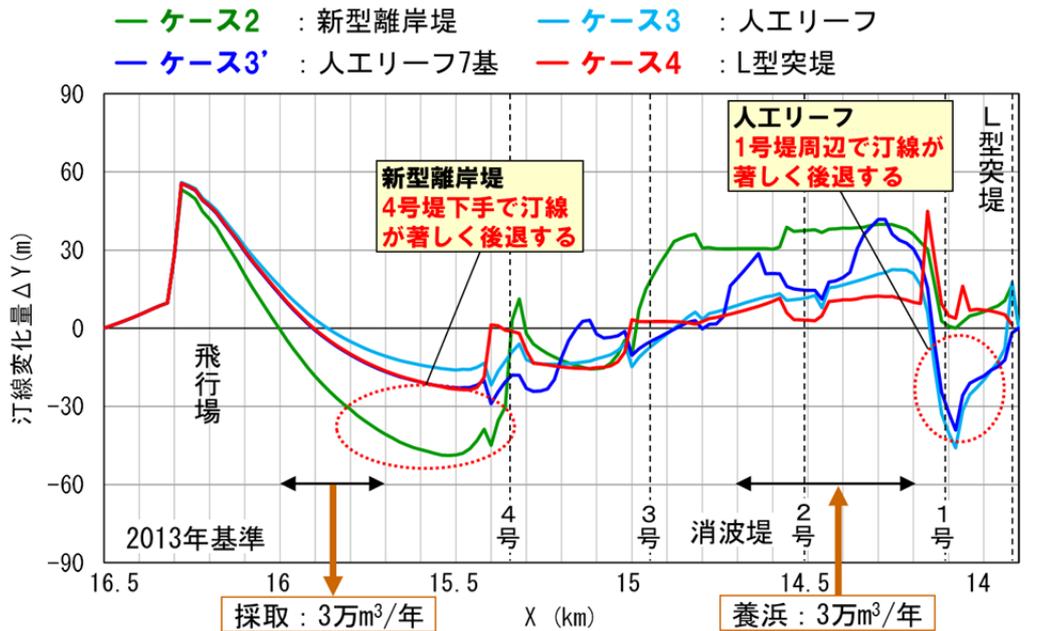


図-3.3 20年後の汀線変化量 (2013年基準)

フォトモンタージュによる景観シミュレーション

概略検討の次のステップは、景観シミュレーションである。これには、現況写真と施設図を合成して施設完成後の予測写真を作成するフォトモンタージュという手法が利用された。

景観シミュレーションは、比較的用户の散策動線となっている羽衣の松前面エリアの羽衣D、羽衣F、羽衣G、鎌ヶ崎エリアの鎌Bの4地点を視点場として行われた(図-3.4)。海浜変形シミュレーションを行った3工法(新型離岸堤、人工リーフ、L型突堤)に対して、設置直後と20年後のフォトモンタージュを作成し、施設のスケール感、汀線の形状などを比較・検討した。図-3.5に羽衣D、鎌Bの検討結果を示す。20年後の景観は前記の海浜変形シミュレーションの結果に基づいて作成された。

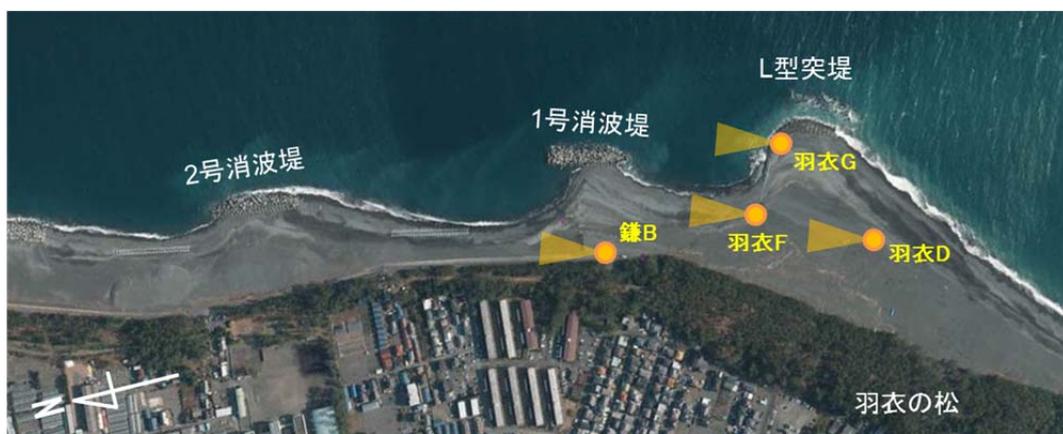


図-3.4 景観シミュレーションの視点場

<p>位置図</p>		
<p>施設案</p>	<p>羽衣 D 20 年後</p>	<p>鎌 B 20 年後</p>
<p>新型離岸堤</p>	<p>構造物が明瞭に視認 L型～2号間の汀線はほぼ直線状</p>	<p>構造物が明瞭に視認 1～3号間の汀線はゆるやかな弧状</p>
<p>天端高： T.P.+1.5m 横堤長：100m (3号は200m) 天端幅：10m 設置水深：T.P.-8m</p>		
<p>人工リーフ</p>	<p>構造物が海面下のため、改善 L型～1号間の汀線は凹凸形状</p>	<p>構造物が海面下のため、改善 1～3号間の汀線はゆるやかな弧状</p>
<p>天端高：T.P.-2m 横堤長：100m (3号は200m) 天端幅：20m 設置水深：T.P.-8m</p>		
<p>L型突堤</p>	<p>横堤の一部のみが視認(現状より改善) L型～1号間の汀線は直線状</p>	<p>横堤の一部のみが視認(現状より改善) 1～3号間の汀線はゆるやかな弧状</p>
<p>天端高： T.P.+1.5m 横堤長：100m (3号は200m) 縦堤長：100m 天端幅：11m 設置水深：T.P.-4m</p>		

図-3.5 羽衣 D・鎌 B 景観シミュレーション

景観シミュレーションの結果は、次のようなものになった。新型離岸堤は砂浜自体の景観では優れていたが、20年後になっても施設が明瞭に視認されるという問題点があった。人工リーフはもともと海面下に没した施設なので景観面では問題はない。L型突堤は施設設置直後の景観には問題があったが、砂の堆積によって時間を経れば視認性が大幅に低下するという結果となった。

最適工法としてのL型突堤の選定

概略検討の締め括りとして、これまでの海浜変形シミュレーション、景観シミュレーションの結果に、異常時波浪、利用、施工性・維持管理、コストなどの評価要素を付け加えて、総合的に3工法の評価を行った（表-3.5）。

表-3.5 概略検討の総合的評価

施設整備	防護		防護上の評価	景観		漁業への影響	施工性維持管理	概算コスト	総合評価
	海浜変形シミュレーション(20年後)	その他		海浜変形シミュレーション(20年後)	景観シミュレーション				
	汀線変化	異常時波浪		汀線形状					
0 存置 ※比較対象	1～3号間は概ね現地地形を維持 3号・4号下手で侵食が進行 1号・3号下手で必要浜幅を割る	消波堤の消波効果により、背後の越波防止と開口部の汀線後退の緩和が図れる	—	現状と同じ凹凸型の汀線(1-2号間はやや改善)	—	—	—	—	—
1 消波堤撤去 ※比較対象	L型突堤～1号背後の侵食が著しい(砂浜は概ね消失) ほぼ全体(特に1号周辺)で必要浜幅を割る	1号周辺の砂浜が消失する 下手は漂砂の流入により汀線後退は限定的	1号付近の防護効果が著しく低下する ×	—	—	—	—	—	—
2 新型離岸堤	1号～3号間で堆積 4号下手の侵食が著しい 3号・4号下手で必要浜幅を割る	消波効果により、背後の越波防止と開口部の汀線後退の緩和が図れる可能性がある(実験での確認が必要)	存置と同等機能を確認 ○	1号～3号の凹凸はややなめらか、3号～4号下手の凹凸は大きくなる	水平線眺望は改善 視点場から矩形の構造物が明瞭に視認される	水面上に施設が出るため、船舶の航行への危険性は低い 漁場への影響が大きい	鋼管杭で支持するため沈下が生じにくい 地形変動が激しい地点のため鋼管杭の損傷が生じやすい	54億円(4基) 1,2,4号:11億円/基 3号:21億円/基	景観、利用に影響があり、コスト大のため非採用 防護効果は実験で確認が必要 ×
3 人工リーフ ※現配置案	L型突堤～1号背後で侵食が著しい 1号下手～3号間で堆積 3号・4号下手で侵食が進行 ほぼ全体(特に1号周辺)で必要浜幅を割る	岸沖方向に強い流れが生じやすくなり、開口部が広い本海岸では、汀線後退防止効果は期待できない	1号付近の防護効果が著しく低下する ×	凹凸がなめらかになる	—	—	—	—	防護効果が確保できないため非採用 ×
3' 人工リーフ7基 ※ケース3よりも密に配置	L型突堤～1号背後で侵食が著しい 1号下手～2号下手で堆積 3号・4号下手で侵食が進行 ほぼ全体(特に1号周辺)で必要浜幅を割る	存置と同等機能を確認 異常時は汀線後退防止効果が期待できない	存置と同等機能を確認 △	凹凸がなめらかになる	景観は改善される ◎	没水型構造物であるため、船舶の航行に危険が生じる 漁場への影響が大きい	地形変化が激しい地点のため沈下・散乱が生じやすい 水中構造物であり、修復のためのコスト大	55億円(7基) 7億円/基×6基 13億円/基×1基 水中施工が大半のためコスト大	異常時波浪の防護の確保が困難なこと、利用に影響、コスト大のため非採用 ×
4 L型突堤	1号～3号間で堆積 3・4号下手で侵食が進行 1号・3号下手で必要浜幅を割る	消波効果はないが、縦堤による沖方向への砂の移動と、横堤による下手方向への漂砂の移動抑制が期待できる	存置と同等機能を確認 ○	現状と同じ凹凸型の汀線	水平線眺望は改善 堆砂につれて全体的な視認性と汀線形状は改善される	水面上に施設が出るため、船舶の航行への危険性は低い 漁場への影響は最小限	汀線際の設置のため、維持管理は比較的容易	29億円(4基) 1,2,4号:6億円 3号:11億円 陸上施工が多いためコスト小	防護効果に加え、景観面、コスト面で他案に比べて優れる ○

利用面では漁業への影響が重要である。海岸線の近くまでシラスの好漁場として利用されているからである。海岸から少し離れたところに位置し船の航行の妨げになる新型離岸堤、海中にあり見えないため船が衝突する危険性のある人工リーフは漁場への影響が大きいと判断され、L型突堤は海上に出ているため危険性は少なく、漁場への影響は最小限と評価された。

施工性・維持管理では沖合に設置する新型離岸堤、人工リーフはともに建

設・メンテナンスに手間とコストがかかることが指摘された。また、地形変動が激しい海域のため、新型離岸堤では鋼管杭の損傷、人工リーフでは沈下や散乱が生じやすい。一方、L型突堤は汀線際の設置のため、建設・維持管理が比較的容易である（補足：その後の検討により最適工法として選定されたL型突堤についても、横堤部に有脚式構造が採用されたため（6 L型突堤の構造の選定）、新型離岸堤と同様の課題があり、鋼管杭の損傷等に対する対策が必要である）。

概略検討の総合的な評価の結果、防護、景観、利用でそれぞれ水準をクリアし、経済性で他案より優位なL型突堤が最適工法であると判断された。

技術会議は、L型突堤を対象として次のステップである詳細検討へと進んでいった。

4 短期対策工法の詳細検討

複数のL型突堤案での海浜変形シミュレーション

詳細検討は概略検討において最適工法に選ばれたL型突堤について、具体的な構造や養浜量を変えた複数案を設定して比較検討し、工法の特徴とそれによって得られる将来の海岸の姿を具現化し、最終的な工法案を決定する。検討のプロセスは、概略検討と同じである。

検討ケースは、海浜形成において重要な条件である突堤の先端水深（＝突堤長）と養浜量を変えて、L型突堤の先端水深T.P. -4m（縦堤長100m、現状汀線から沖に約20m突出）、T.P. -6m（縦堤長110m、現状汀線から沖に約30m突出）の2ケース、養浜量3万m³/年、5万m³/年の2ケース、計4ケースを設定した（図-4.1）。これに比較対象として1号、2号消波堤をそのまま残した（存置）ケースを含め5ケースのシミュレーションを行った。また、養浜量の配分については、3万m³/年の場合は1号消波堤下手に2万m³/年、2号消波堤下手に1万m³/年、5万m³/年の場合は1号消波堤下手に3万m³/年、2号消波堤下手に2万m³/年とした。横堤長は70m、天端高はT.P. +1.5mと、現在のL型突堤と同じとした。

シミュレーションは短期対策である1号、2号消波堤をL型突堤に改良したケースで行った（概略検討は1～4号消波堤を新工法に置き換えた設定で行った）。3号、4号消波堤はそのままにしておき、改良による下手への影響を定量的に把握するものとした。

1号、2号消波堤のみをL型突堤に改良したケース（短期対策）でシミュレーションを実施

ケース	1・2号消波堤	サンドリサイクル養浜量	突堤先端水深	備考(施設諸元)
0	存置 ※比較対象	3万m ³ /年(現養浜量)	-	【現諸元】天端高T.P.+5.1m 設置水深T.P.-3~-4m 堤長100m(3号は200m)
1	撤去	3万m ³ /年(現養浜量)	4m	天端高T.P.+1.5m(既設と同じ) 横堤長70m(既設と同じ) 縦堤長 100m(先端水深T.P.-4m時) 110m(先端水深T.P.-6m時) (現状汀線から沖に約20.30m突出)
2	撤去		6m	
3	撤去	5万m ³ /年(養浜量増量)	4m	
4	撤去		6m	



図-4.1 海浜変形シミュレーション（詳細検討）の検討ケース

海浜変形シミュレーションによる20年後（2033年）の予測汀線位置は、概略検討と同様に、現状（2013年）の航空写真に落とし込んで検討を加えた（図-4.2）。

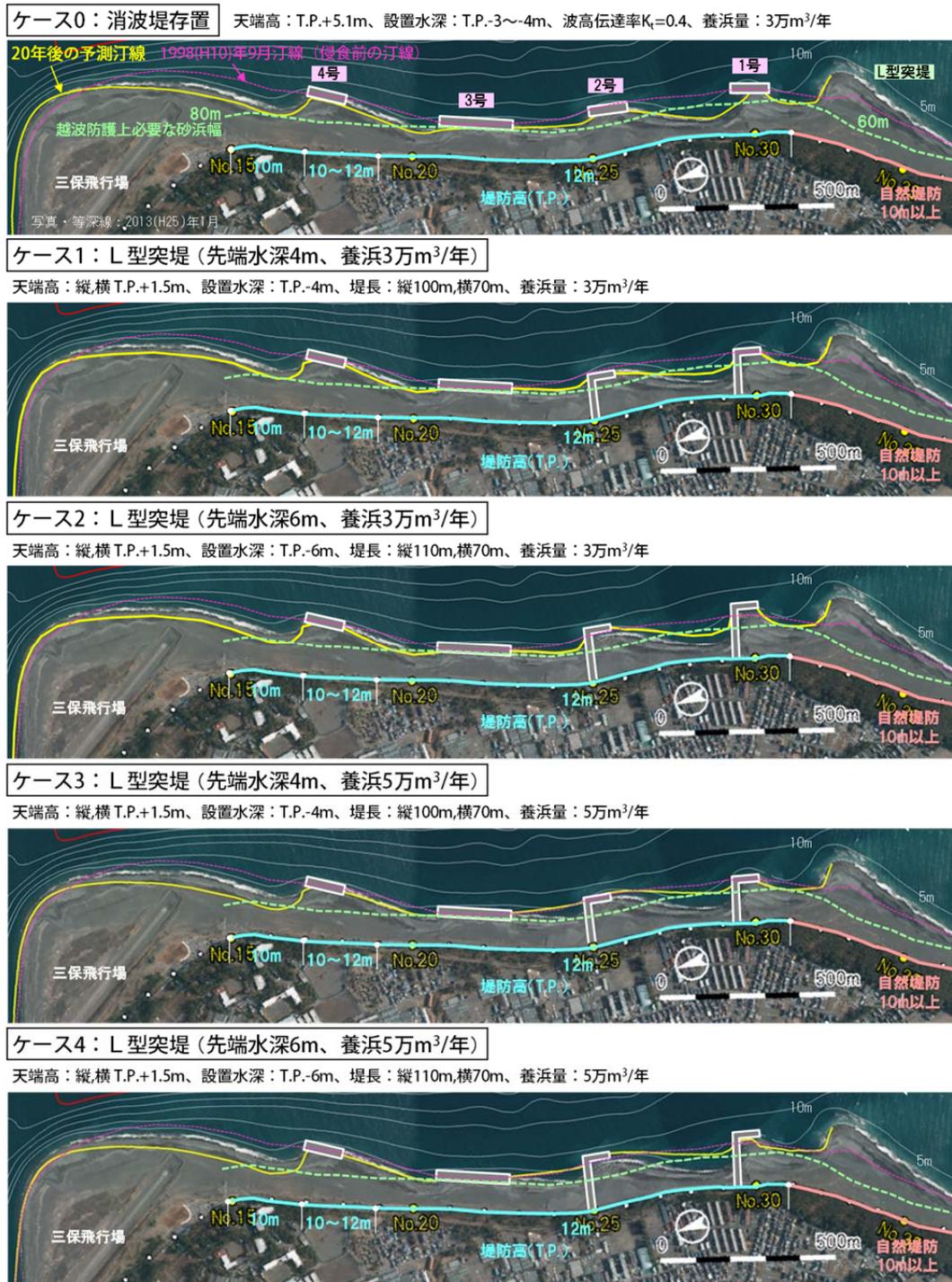


図-4.2 海浜変形シミュレーション結果（ケース0~4）

20年後の汀線変化量を比較すると、図-4.3のようになった。L型突堤～1号突堤は突堤長が長い（先端水深が深い）ケース2、4が前進。1号突堤～2号突堤はいずれも砂浜幅が増加するが、養浜5万 m^3 /年のケース3、4が顕著である。2号突堤～4号消波堤は、養浜5万 m^3 /年のケース3、4で前進するが、養浜3万 m^3 /年のケース1、2では3号突堤～4号消波堤で後退する。

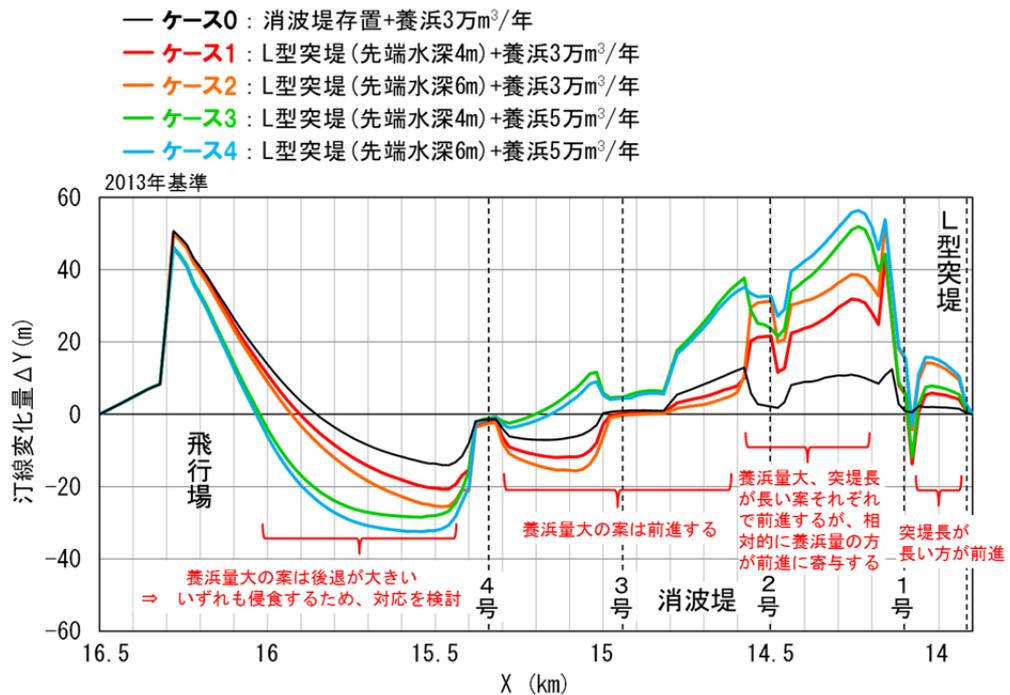


図-4.3 20年後の汀線変化量（2013年基準）

詳細検討の景観シミュレーション

詳細検討においても、フォトモンタージュによる景観シミュレーションを実施した。視点場は概略検討と同じ、羽衣の松前面の羽衣D、羽衣F、羽衣Gと鎌ヶ崎の鎌Bの4地点である。この4地点から検討ケース1～4の1号L型突堤、2号L型突堤の設置直後と20年後の見え方をフォトモンタージュにより比較・検討した。図-4.4に羽衣F、鎌Bの検討結果を示す。

景観シミュレーションの結果をまとめると、施設に近い視点場から横堤の一部が明瞭に視認されるが、砂の堆積により全体的な視認性と汀線形状が改善されるのは全ケースともほぼ同様であった。先端水深（突堤長）による差異は、フォトモンタージュではほとんど判別できなかった。

しかし、従来どおりの3万m³/年のケース1、2と養浜量を5万m³/年に増量したケース3、4によって、鎌ヶ崎からの汀線形状に差が認められた。前者では2号突堤～3号突堤の汀線は凹凸が残り、後者ではゆるやかな弧状に改善されている。

位置図				
ケース	養浜量	先端水深	羽衣 F 20 年後	鎌 B 20 年後
1	3 万 m ³ /年	T.P. - 4 m	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認 L 型～2 号間の汀線はゆるやかな弧状 	縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認 3 号下手の湾入が視認
2		T.P. - 6 m	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認 L 型～2 号間の汀線はゆるやかな弧状 	縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認 3 号下手の湾入が視認
3	5 万 m ³ /年	T.P. - 4 m	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認 L 型～2 号間の汀線はゆるやかな弧状 	縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認 1 号～3 号間の汀線はゆるやかな弧状
4		T.P. - 6 m	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認 L 型～2 号間の汀線はゆるやかな弧状 	縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認 1 号～3 号間の汀線はゆるやかな弧状

図-4.4 羽衣 F・鎌 B 景観シミュレーション（詳細検討）

詳細検討の総合的評価

詳細検討の総合的な評価は、防護、景観、概算コストの3つの評価要素で行った（表-4.1）。

防護に関しては、養浜量3万 m³/年のケース1とケース2で1号突堤～2号突堤において必要砂浜幅を満たさない箇所が残ることが問題となった。また、現L型突堤～1号突堤では突堤長の短いケース1、ケース3でわずかに必要砂浜幅を割り込むが、必要砂浜幅をぎりぎり満たすケース2、ケース4とそれほどの差はない。

景観に関しては、ケース3、ケース4で改善された2号突堤～3号突堤の凹凸がケース1、ケース2では改善されず、防護面と同様、養浜量が多いほうがよい結果が得られることが予測された。

コスト面ではケース1から順に増額となり、ケース4はケース1の約1.5倍のコストが必要となる。

表-4.1 詳細検討の総合的評価

	突堤先端水深	サド・リサイクル養浜量	防護			景観		概算コスト(既設等より試算)		
			海浜変形シミュレーション(20年後)			海浜変形シミュレーション(20年後)	景観シミュレーション	サド・リサイクル(20年間)	L型突堤	20年間合計
			L型突堤～1号堤間	1号～2号堤間	2号～3号堤間	汀線形状				
0	存置 ※比較対象	3万 m ³ /年	概ね現在の浜幅を維持 必要浜幅を割る	現在の浜幅から最大約10m増える 必要浜幅を割る	現在の浜幅から最大約10m増える 必要浜幅を満足	現状と同じ凹凸型の汀線	-	-	-	-
1	4m	3万 m ³ /年	ケース0より浜幅が最大約5m増える必要浜幅をわずかに割る	ケース0より浜幅が最大約20m増える 必要浜幅を割る	ケース0より浜幅が最大約5m減る 必要浜幅を満足	1号～2号の前進に伴い、凹凸は現状より緩和される	水平線の眺望は改善 堆砂により縦堤視認されず、横堤の一部が視認 汀線は、L型～1号間の凹凸が目立たないが、2～3号間の汀線形状がケース3、4に比べ改善されない	9億円 3万 m ³ ×20年×1500円/m ³	10億円 (5億/基)	19億円
2	6m	3万 m ³ /年	ケース0より浜幅が最大約10m増える必要浜幅とほぼ等しい	ケース1に比べて突堤部の汀線前進が顕著 ケース0より浜幅が最大約30m増える 必要浜幅を割る	最ケース0より浜幅が最大約5m減る 必要浜幅を満足	突堤部のみ前進が顕著であるため、ケース1に比べて凹凸は大きくなる	水平線の眺望は改善 堆砂により縦堤視認されず、横堤の一部が視認 汀線は、L型～1号間の凹凸が目立たないが、2～3号間の汀線形状が3、4に比べ改善されない	13億円 (6.3億/基)		22億円
3	4m	5万 m ³ /年	ケース0より浜幅が最大約5m増える必要浜幅をわずかに割る	ケース1に比べて、汀線がより前進 ケース0より浜幅が最大約40m増える 必要浜幅にほぼ等しく、侵食前の浜幅に近づく	ケース0より浜幅が最大約20m増える 必要浜幅を十分満足し、侵食前の浜幅に近づく	ケース1より2号周辺が前進するため、全体の凹凸が最もなめらかとなる	水平線の眺望は改善 堆砂により縦堤視認されず、横堤の一部が視認 汀線は、L型～1号間の凹凸が目立たない 2～3号間の凹凸は改善される	15億円 5万 m ³ ×20年×1500円/m ³	10億円 (5億/基)	25億円
4	6m	5万 m ³ /年	ケース0より浜幅が最大約15m増える必要浜幅を満足	ケース0より浜幅が最大約45m増える 必要浜幅を満足し、ケース3よりも侵食前の浜幅に近づく	ケース0より浜幅が最大約20m増える 必要浜幅を十分満足し、侵食前の浜幅に近づく	突堤部が前進するため、ケース3よりは全体の凹凸は大きくなる	水平線の眺望は改善 堆砂により縦堤視認されず、横堤の一部が視認 汀線は、L型～1号間の凹凸が目立たない 2～3号間の凹凸は改善される	13億円 (6.3億/基)		28億円

これらを総合的に勘案して、養浜は増量することが望ましいという結論となり、養浜量5万 m^3 /年が基本と定められた。一方、先端水深（突堤長）については明確な差異が示されなかったため、詳細構造を決めていくなかで改めて検討していくこととした。

5 L型突堤の形状と配置の検討

海浜変形シミュレーションによるL型突堤の形状と配置の検討

L型突堤の形状、配置の検討は、これまでの検討と同様、基本条件を設定のうへ海浜変形シミュレーションを実施して比較検討する方法が採られた。基本方針としては、施設形状による効果・影響を把握するため、モデル地形・単純条件で基本的な分析（感度分析）を行い、それによって候補案を絞り込む。絞り込んだ案で現地海岸への適用（高波浪時も含む）を検討し、L型突堤の形状、配置、堤長などを決定する流れである（図-5.1）。

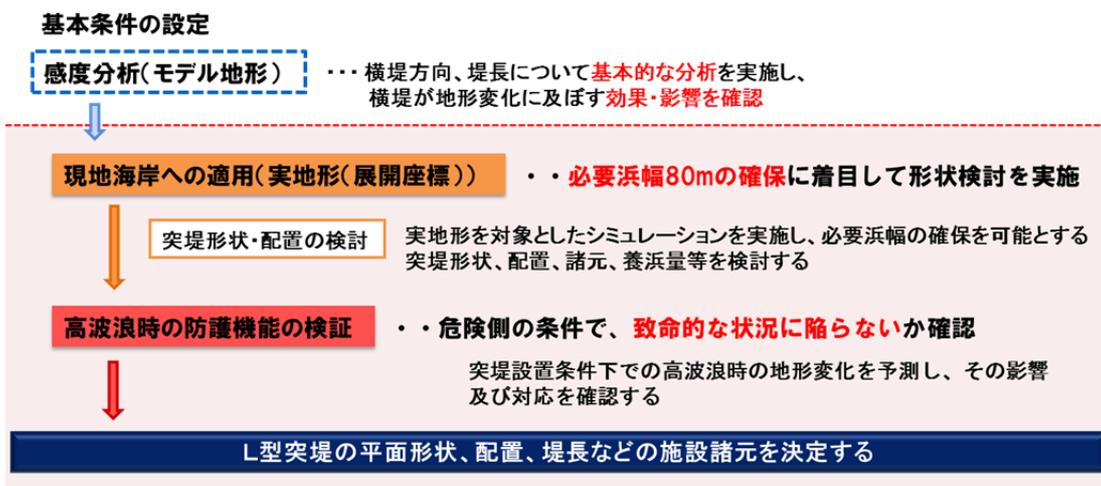


図-5.1 L型突堤の形状、配置のシミュレーションの流れ

まず横堤長90mのL型突堤（ケース1）、上手側90m+下手側60mの横堤をもつT型突堤（ケース2）を検討テーマとして、海浜変形シミュレーションを実施した。ケース1とケース2を比較すると、1号突堤下手の汀線位置でケース2がケー

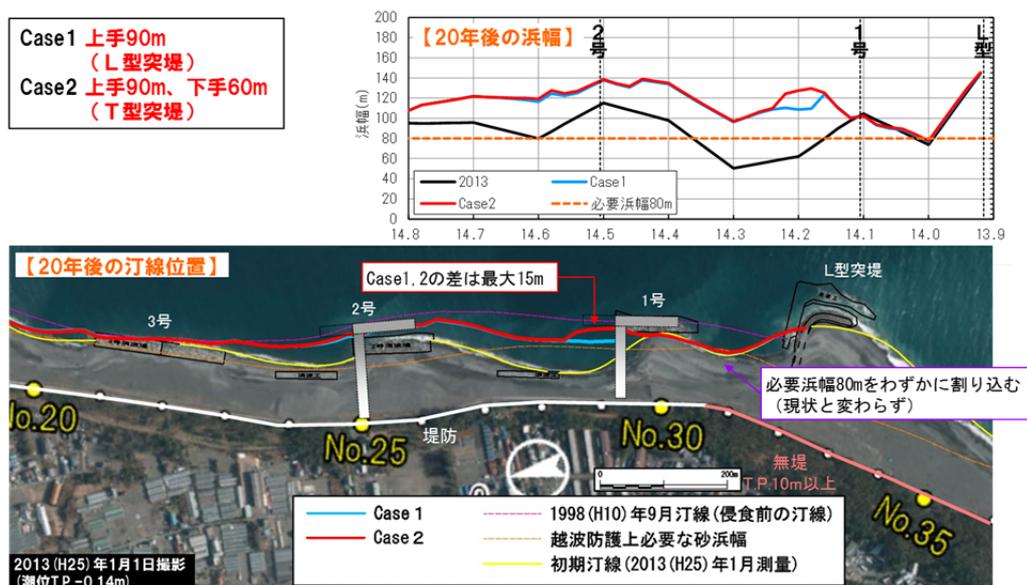


図-5.2 汀線変化量の比較（ケース1、ケース2）

ス1を約15m上まわったものの、その他の汀線位置はほぼ同等であり、下手側の横堤延伸（T型突堤）はとくに必要がないと判断された。しかし、両ケースとも現L型突堤～1号突堤間で必要砂浜幅を割り込んでいた（図-5.2）。

そこで、防護上80mを満たすことは重要であったので、養浜区域の変更を行うこととした。養浜量の5万 m^3 /年を当初の計画では1号突堤下手に3万 m^3 /年、2号突堤下手に2万 m^3 /年の配分としていたが、現L型突堤～1号突堤間に1.5万 m^3 /年、1号突堤下手に2.5万 m^3 /年、2号突堤下手に1万 m^3 /年と変更した（図-5.3）。これによって上手横堤長90mのL型突堤（ケース3）、同70mのL型突堤（ケース4）で海浜変形シミュレーションを行ったところ、全区間での80mの確保が可能となった（図-5.4(比較のためケース2も示す)）。ケース3とケース4ではほとんど差がなかったことから、横堤長は70mを採用することに決定した。

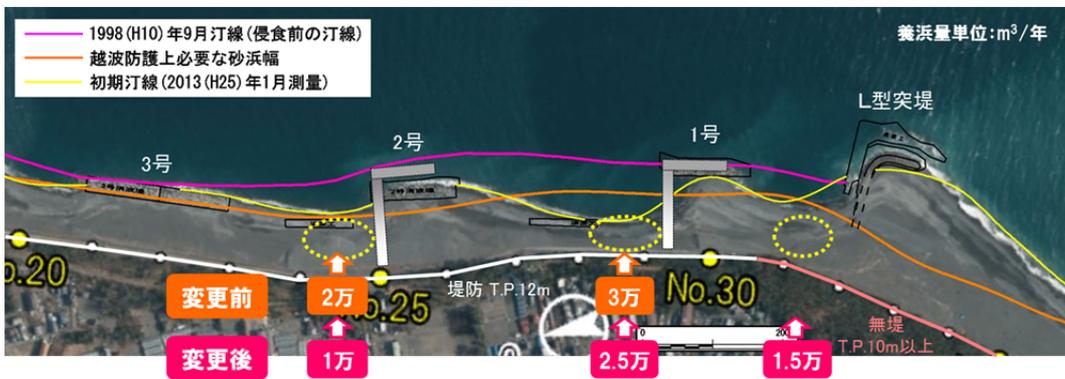


図-5.3 養浜区域の変更

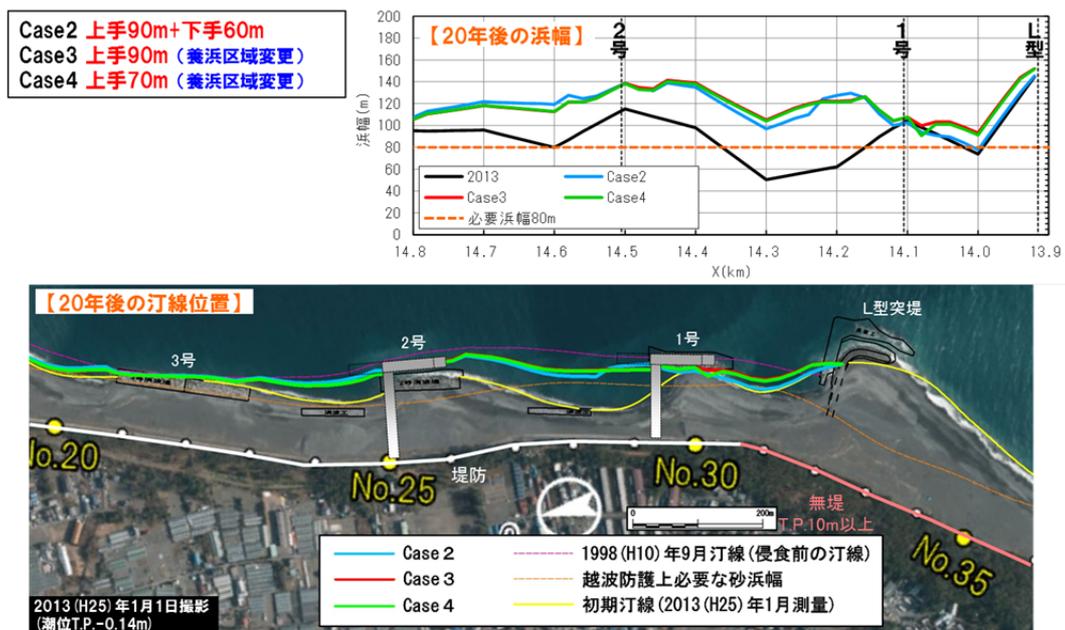


図-5.4 汀線変化量の比較（ケース2、ケース3、ケース4）

さらに養浜のみで突堤なし（ケース5）、1号消波堤～2号消波堤間にL型突堤1基（ケース6）と、突堤2基（ケース4）の比較を5年後および20年後の海浜変形シミュレーションで行った。5年後の砂浜幅ではケース5は最大20m後退し、ケース6は汀線の不連続が目立った（図-5.5）。20年後の砂浜幅では、ケース5はケース4より最大で約20m後退し、現L型突堤～1号消波堤間で必要砂浜幅が確保できなかったが、ケース4とケース6では大きな差はなかった（図-5.6）。

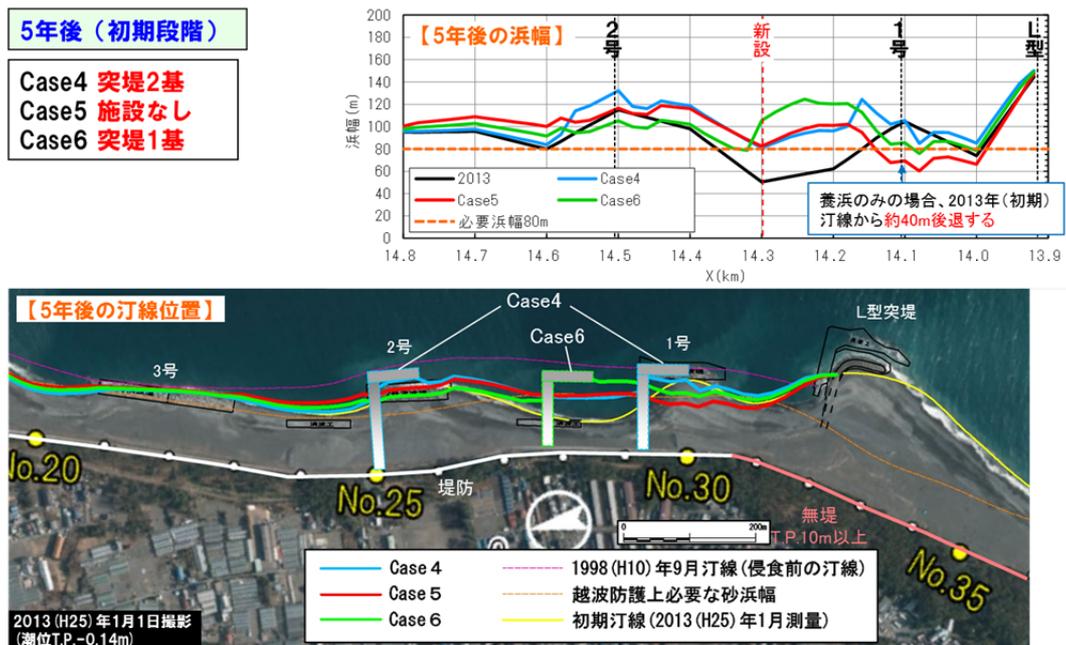


図-5.5 汀線変化量の比較：5年後（ケース4、ケース5、ケース6）

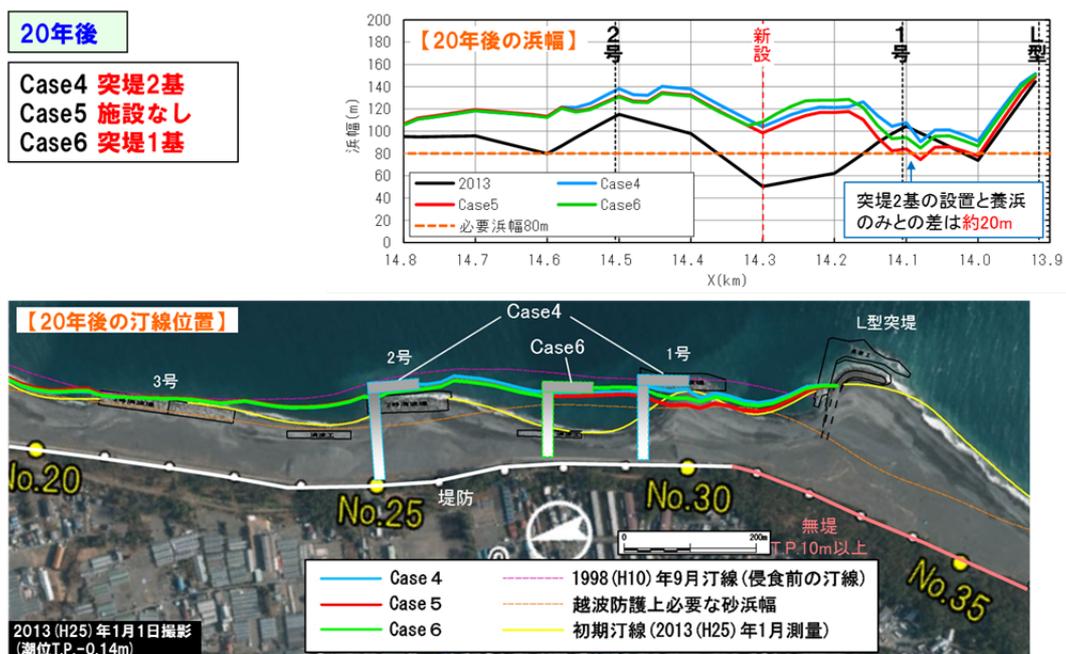


図-5.6 汀線変化量の比較：20年後（ケース4、ケース5、ケース6）

以上の海浜変形シミュレーションに加えて、防護の観点から砂浜の短期的な変動を把握しておくことは重要であり、高波浪時の地形変化に関してもシミュレーション（高波浪時シミュレーション）を行うこととした。

通常シミュレーションで20年後までに必要砂浜幅を満たすケース4（L型突堤2基）、ケース6（L型突堤1基）を検討ケースとした。まず5年後までの通常シミュレーションを行い、その予測地形に異常波浪を39時間作用させる高波浪時シミュレーションを重ねる方法を採用した。通常シミュレーションを5年後としたのは、砂浜幅が後退したより危険な条件で高波浪の影響を検証するためであり、異常波浪を39時間としたのは、部分的に越波が生じ、松林まで高波が迫った2013（平成25）年の台風18号（9月）、26号（10月）で3m以上の波高がその時間続いたからである。その他の計算条件は図-5.7のとおりである。

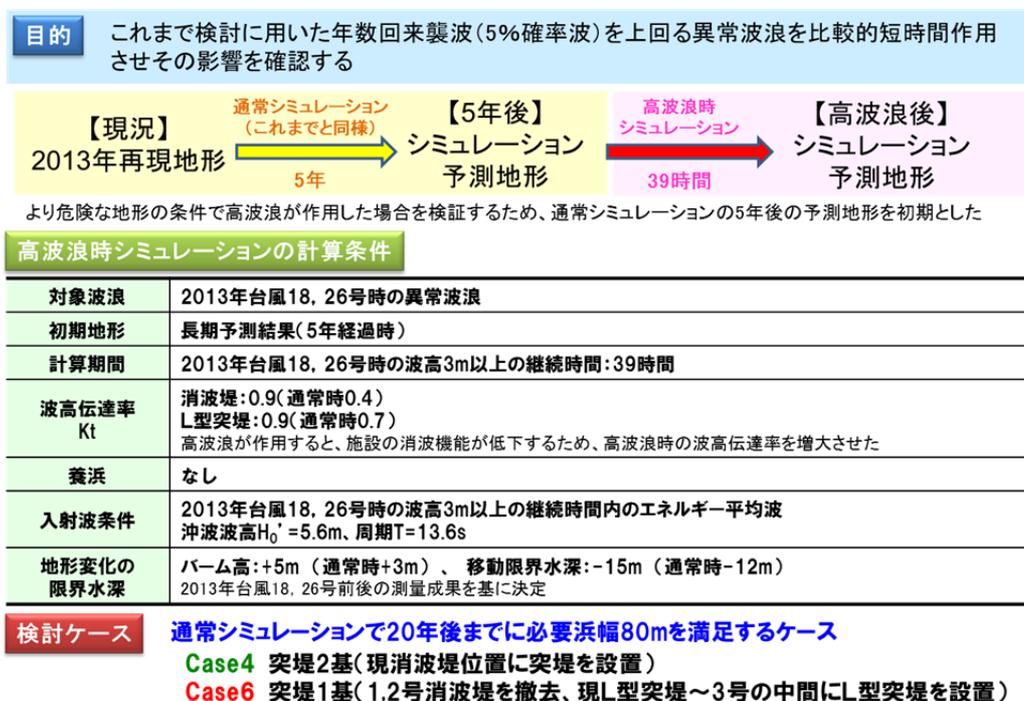


図-5.7 高波浪時シミュレーションの目的と条件

高波浪時シミュレーションの結果は、ケース4、ケース6を既設消波堤と比較したところ、高波浪時の汀線後退量は少なく、L型突堤には縦堤による土砂の捕捉効果があり、高波浪時の汀線後退を抑えることが示されている。ケース4とケース6の差はごくわずかであり、両ケースとも高波浪時でも必要砂浜幅をほぼ満たした（図-5.8）。

突堤1基 (Case6)
突堤2基 (Case4)

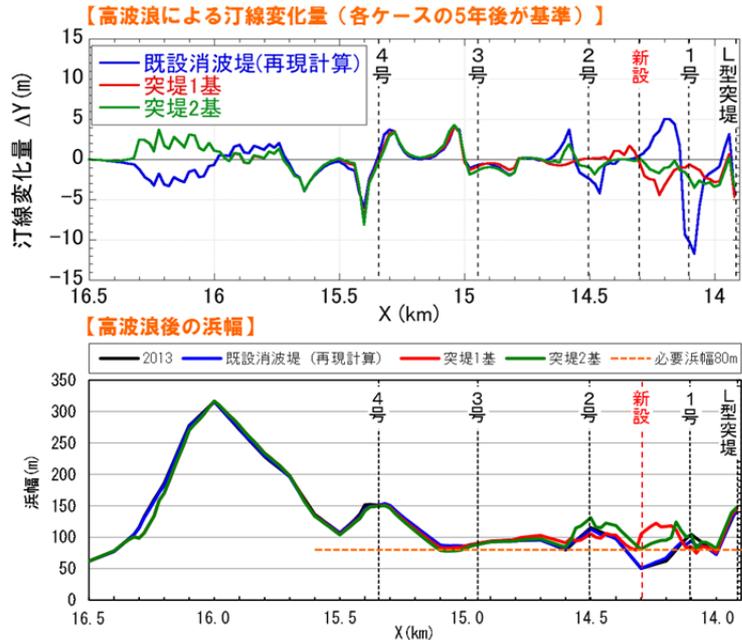


図-5.8 高波浪時シミュレーションの結果 (ケース4、ケース6、既設消波堤)

形状、配置に関するシミュレーションのまとめ

形状、配置の違いによるシミュレーションの結果を防護面、景観面、施工面から評価したのが表-5.1である。

防護面では、ケース4 (L型突堤2基) とケース6 (L型突堤1基) では前者のほうが砂浜の前進に寄与し、5年後までに全域で必要砂浜幅を超えるが、後者も

表-5.1 シミュレーション結果のまとめ (現L型突堤～2号堤間の比較)

■浜幅と汀線変化

	突堤	5年後(初期段階)			20年後	高波浪後	
		最小浜幅	最大後退量	最大後退箇所	最小浜幅	最大後退量	最大後退箇所
ケース4	2基	81m	17m	L型突堤～1号堤間	91m	4m	L型突堤～1号堤間
ケース5	なし	60m	39m	L型突堤～1号堤間	75m	-	-
ケース6	1基	76m	24m	L型突堤～1号堤間	85m	4m	L型突堤～1号堤間

■シミュレーション結果、基数・配置等のまとめ

	防護面	景観面	施工面	評価
突堤2基 (ケース4)	5年後までに全域で必要浜幅を満足する	施設が視点場に近いため、視認性の点で他案より劣る (初期段階の汀線の不連続は1基案より小さい)	L型突堤を既設消波堤位置に設置するため、施工性が悪い	視認性、施工面で1基案より劣るが、高波浪時の防護機能は既設消波堤より優れるとともに、5年後には全域で必要浜幅を満足し、20年後は汀線の連続性が期待される最適案 ○
突堤なし (ケース5)	20年後でも必要浜幅を満足できない。既設消波堤撤去時に短期的に消波堤位置で著しい汀線後退が生じる	施設がなく景観に優れる	養浜のみ継続的実施	景観上望ましい案であるが、20年後でも必要浜幅を満足することができないため、対策として不適当 ×
突堤1基 (ケース6)	5年後までに必要浜幅をほぼ満足する	施設が視点場から遠いため、視認性の点で2基案より優れる (設置水深が大きいため、初期段階の汀線の不連続は2基案より大きい)	開口部に設置するため、既設消波堤と干渉せず、施工性が良い	視認性、施工面で2基案より優れるが、5年後までの防護機能はわずかに劣る。また、初期段階の汀線の不連続は2基案より大きい 背後地の重要度、沖合侵食の進行や高波浪などの不確定要素を考慮すると、2基案に比べて不利 △

ほぼ必要砂浜幅に達する。景観面では、当然ながらケース5（突堤なし）が最も優れており、ケース4は1号突堤が視点場に近いために、ケース6よりも視認性が高くなる。ただし、初期段階の汀線の不連続はケース6のほうが大きくなる。施工面では、ケース4は現在の消波堤の箇所にL型突堤を設置するため、突堤間の何もない開口部に設置するケース6と比べて施工性が劣ることになる。

これらのシミュレーションにより、縦堤の先端位置は侵食前（1998年ごろ）の汀線付近とすること、横堤は70mを基本とすることなど形状は定まり、養浜も上記の変更案で固まったが、明確な差が認められなかった突堤1基案か2基案かについてはさらに検討を加えることになった。

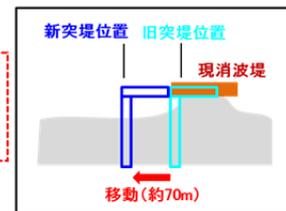
L型突堤1基案と2基案の検討

1基案と2基案を再検討するにあたって、とくに施工面でネックになっていた2基案の突堤の位置をそれぞれ約70m下手にずらすことにした。突堤位置の移動に伴って、1号突堤下手に割り当てられていた養浜量2.5万 m^3 /年は1号突堤の上手に1.5万 m^3 /年、下手に1.0万 m^3 /年に変更した（図-5.9）。

1基案と新しい設定の2基案の比較検討は、長期変動の検証（海浜変形シミュレーション）、悪条件時の検証（高波浪時シミュレーション）、地形変形実績の確認などを実施した。悪条件時の検証では、上手から流入する土砂量を4.5万 m^3 /年から1万 m^3 /年に減少させる新たな検証も行った。それらの結果をまとめたのが表-5.2である。

■検討ケース

- ▶ 「2基案」は既設消波堤ブロックとの干渉（施工性）を考慮し、各消波堤下手側隣接位置に移動する。⇒ 景観面も向上する。
- ▶ 移動に伴い、1～2号堤間の養浜の一部を突堤上手側に配分。



2基案の配置変更イメージ

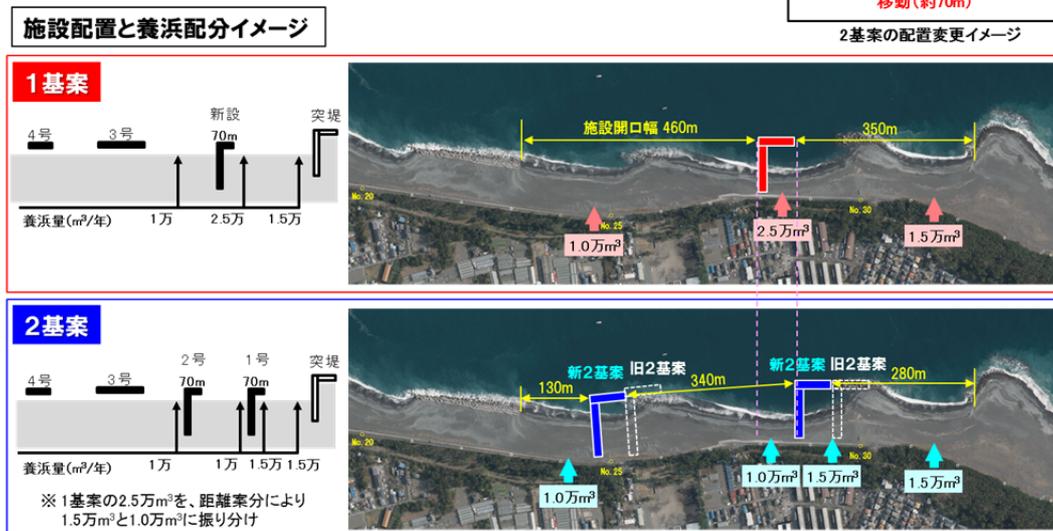


図-5.9 L型突堤の配置と養浜配分イメージ

表-5.2 検証結果による1基案と2基案の比較

1基案、2基案の比較

分類	項目	評価	
長期変動	浜幅	・ わずかに2基案が優位 であるが、大差はなく必要浜幅80mは十分確保可能。	
	汀線前進速度	・ 2基案は 、5年後の現1号消波堤～2号消波堤間で10m程度浜幅が広く、汀線の 前進速度がやや速い 。	
	土砂量変化	・ 2基案のほう が、 わずかに堆積量が多い (漂砂制御効果が高い)。	
	汀線形状	・ 両案に大きな差はない。	
悪条件時	高波浪	浜幅	・ 既設突堤下手で両案とも必要浜幅80mを割り込む。 ・ 現1号消波堤～2号消波堤間は 2基案のほう が 10m程度広い 。
		汀線変化量	・ 現1号消波堤～2号消波堤間の後退量は 2基案のほう が 15m程度小さい 。
	土砂量減少	浜幅	・ 既設突堤下手で両案とも必要浜幅80mを大きく割り込む ・ 現1号消波堤～2号消波堤間は 2基案のほう が 15m程度広い 。
		汀線変化量	・ 2基案のほう が、 後退量が小さく 、1号消波堤～2号消波堤間では 15m程度の差が生じる 。
		土砂量変化	・ 2基案のほう が、 減少量が少ない (漂砂制御効果が高い)

その他配慮すべき事項

地形変化実績	・ 現1号消波堤～2号消波堤間は70m以上汀線が後退するなど激しい侵食傾向を示している。 ・ 同区間は前後区間に比べて汀線変動が大きく、平成25年には一時的に浜幅が40mを割り、堤防の基礎矢板が露出した。
温暖化	・ 海面上昇による侵食の進行など、より危険側な状況に転じる恐れがある。
地元意見	・ 区間の背後には人家があることから、防護の観点で確実性が高い工法を望む。

両案とも将来的な砂浜の姿には大差がなく、汀線の前進、天端の低い構造物への転換などによって、防護・景観の両面を改善することができる。しかし、現在も安全度が低い1号消波堤～2号消波堤間については、悪条件下でのシミュレーション結果や現況からの大幅な改変による不確実性を考慮して、2基案のほう危険な状態に陥る危険性が低いと判断される。松林の保全上重要であるL型突堤～1号消波堤背後の無堤区間の防護性能に関しても、2基案がわずかに上まわる。景観に関しては、1基案のほう良好であるが、その差はわずかである。

以上によって、L型突堤は2基案を採用することとし、配置および養浜位置についても一応の決定がなされた。技術会議の検討は、L型突堤の構造へと移っていった。

6 L型突堤の構造の選定

現地の条件に基づく構造の検討

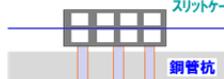
続いてL型突堤の構造の検討が行われた。突堤形式を基礎で分類すると、捨石基礎、杭基礎、矢板基礎の3種類がある。また、突堤の構造には大別して堤体内を海水や土砂を通過させる透過型と通過させない不透過型がある。現L型突堤の被覆ブロック張式は捨石基礎・不透過型である。

現L型突堤以南と消波堤区間では、海底地形に大きな違いがある。現L型突堤以南は緩勾配区間（海底勾配1/20）であるのに対して、消波堤区間は急勾配区間（同1/5～1/10）なのである。また、消波堤区間は侵食が最も進行し、地形変化が激しい海岸でもある。

急勾配の海底地形をもつ消波堤区間では、現L型突堤と同じ被覆ブロック張式の構造では施設の安定性確保が困難であり、とくに波が直接作用する横堤では巨大なブロックが必要になるなど実現困難な問題が多い。そのため、横堤は被覆ブロック張式以外の構造を検討することとし、横堤と縦堤は地形条件が異なることから、別々に検討することとした。

横堤に関しては杭基礎・有脚式（透過型）と矢板基礎・二重矢板式（不透過型）が比較検討された。表-6.1はそれぞれの評価をまとめたものである。有脚式の長所は躯体一体型であり、急勾配地形や地形変化が生じやすい地盤に適した形式である。また、透過型であるため、反射波が小さく、施設周辺の洗掘も比較的小さい。二重矢板式は漂砂制御機能には優れているが、不透過型である

表-6.1 横堤としての有脚式・二重矢板式の評価

		①鋼矢板式(二重鋼矢板式)【不透過型】	②有脚式【透過型】
構造概要		 鋼矢板・鋼管矢板	 スリットケージなど 鋼管杭
漂砂制御機能		・ 漂砂制御機能が高い	・ 不透過型に比べて漂砂制御機能が低い (一定の漂砂制御機能を確認するための実験・検討等が必要)
安定性	課題	・ 横堤海側の反射波が顕著となり、洗掘が大きくなる	・ スリット等により反射波が低減され、洗掘は小さい ・ 既設タイプの耐波安定性は確認済み ・ 高い漂砂制御機能を期待する場合は土圧作用による構造検討が必要
	対応	・ 法先に根固・消波ブロックによる洗掘防止対策や表面保護が必要であるが、安定性確保が困難 ・ 洗掘余裕しろでの対応が困難	・ 洗掘余裕しろでの対応が可能
施工性	課題	・ 設置箇所周辺に飛散した消波堤ブロックが矢板・杭打設に影響を及ぼす恐れがある	
	対応	・ ブロックの埋没深さが不明なため、ケーシングが必要	
維持管理		・ 防食により、長期にわたる耐候性の保持が必要(砂礫移動による鋼材の磨耗対策が必要) ・ 法先に根固被覆・消波ブロックを設置する場合、その沈下・散乱等が生じた場合は回収が難しく、補修規模は大きい	
総合評価		・ 洗掘対策規模が大きく、安定性・施工性の面で②に比べて劣る △(接合部等一部併用可能性あり)	・ 漂砂制御効果や施工性の課題を解決していく必要があるが、施設全体の長期的安定性が確保しやすい ○(採用案)

がゆえの洗掘の大きさが安定性の上でネックとなる。洗掘対策として根固め被覆・消波ブロックなどを設置する場合には、その沈下・散乱が生じた際は回収が困難で、大規模な補修を行わなければならない。

有脚式は波浪制御を目的に開発されたもので、堆砂効果を目的とした設置事例がない。そのため、その背後に砂をためることができるかどうか、漂砂制御機能などを検証するため、東京大学海岸沿岸環境研究室の協力を得て模型実験を行った。縮尺は1/150で、写真-6.1のような実験設備を使用して、不透過型横堤と透過型横堤を比較した。

この模型実験によって有脚式の一定の堆砂性能も確認されたため、透過型で洗掘が小さく、長期にわたって施設全体の安定性を確保しやすい有脚式が採用されることになった。縦堤に関してはブロックの重量試算により現L型突堤と同じ被覆ブロック式（不透過型）の施工が可能と判断された。

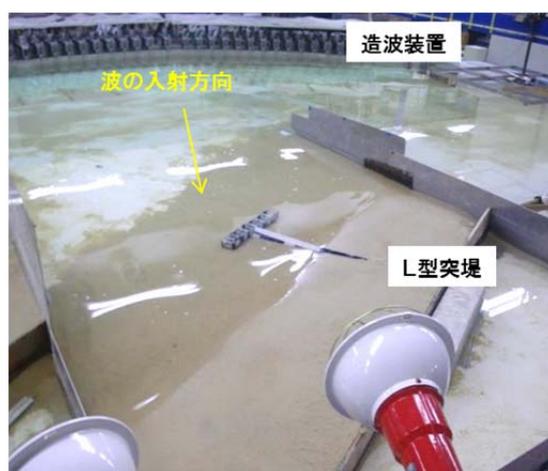


写真-6.1 模型実験の設備

基本構造と今後の課題

有脚式にはさまざまなタイプがあり、タイプの決定後でなければ決定できない項目が多く、以下のような今後の課題が残った。

① 横堤構造の詳細検討

漂砂制御を目的とする突堤への適用事例はないので、さまざまな観点から改めて現地への適合性を確認する必要がある。

② 縦堤と横堤の複合処理

有脚式と被覆ブロック式を組み合わせた突堤の前例はなく、施設の安定性や堆砂性能などの観点から接合の処理方法を決定する必要がある。

③ 突堤全体のデザインの検討

施設の安定性や堆砂性能を落とさない範囲で、視認性を下げ、周辺との一体感を向上させるように工夫が必要である。

現L型突堤～1号消波堤間の養浜方法の検討

L型突堤の形状、配置を検討するシミュレーションの過程で、新たに養浜を行うこととなった現L型突堤～1号消波堤間（1.5万m³/年）は、羽衣の松前面の代表的な視点場から富士山を望む際に明確に視認される景観上重要な場所である。そのため、養浜盛土形状の仮設定を行い、景観上の課題や効果を検討する

ことにした。養浜を行うに際しては、景観の向上に貢献するように人工構造物を隠すような盛土の工夫なども必要である。2013（平成25）年度に施工した養浜は、天端高T.P.+7mの養浜を行い、海岸堤防を目立たなくしている例である（写真-6.2）。

このような「景観への配慮」という考え方を踏まえて、所要量を投入可能な範囲で図-6.1のような横断形状および平面形状を仮設定し、景観面への影響を検証した。横断形状では有堤区間は天端T.P.+7m、無堤区間は同6mとし、前者はT.P.+2mから、後者は同3mからともに1/8程度の緩やかな勾配をつけた。天端幅は10m以上を確保した。



写真-6.2 養浜によって海岸堤防の視認性を低下させた事例（平成25年度施工）

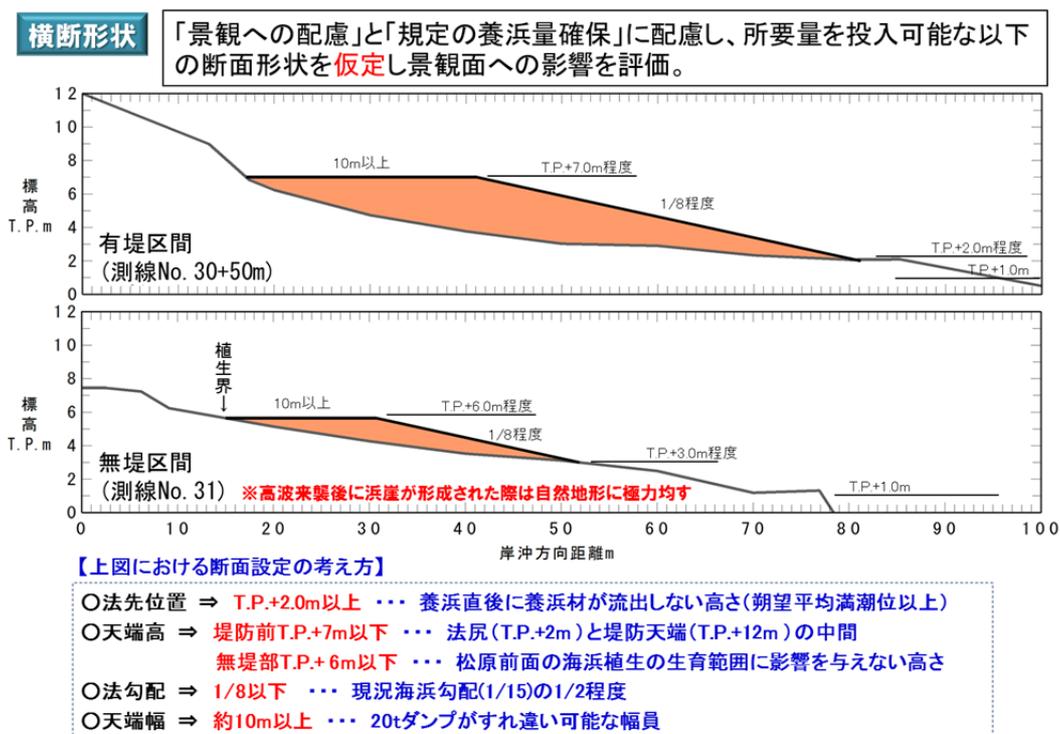
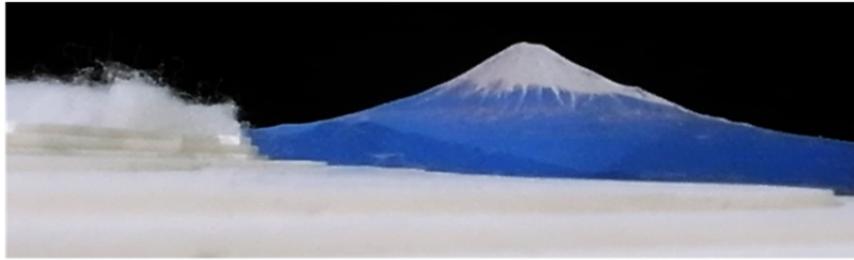


図-6.1 養浜盛土形状の検討；横断形状

この盛土の設定を模型で表現し、盛土なしの模型と比較したのが図-6.2である。盛土自体はある程度視認されるが、天端を低くし、勾配を緩くすることで、景観への影響は抑えられることが確認できる。

羽衣D付近

養浜盛土なし



養浜盛土あり

※養浜盛土に着色

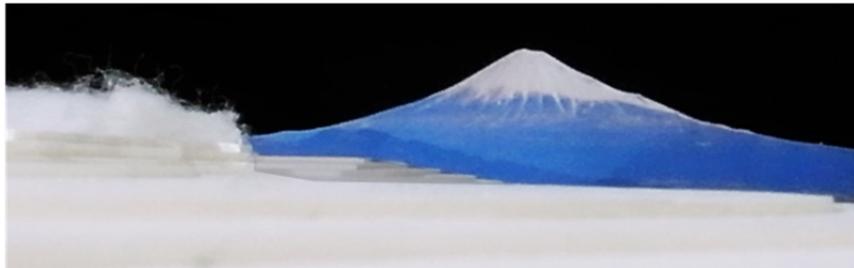


図-6.2 模型による養浜盛土ありと養浜盛土なしの比較

養浜方法のまとめと今後の課題

養浜方法の検討の結論としては、次の2点が挙げられる。

- ・消波堤区間への養浜量は5万 m^3 /年を確保する。
- ・養浜の実施にあたっては、高さや勾配を抑えて景観への影響を軽減するとともに、人工構造物の視認性を低下させるよう工夫する。

また、今後の検討課題としては、次のとおりである。

① 盛土形状の最適化

- ・今回の案を踏まえ、景観に配慮した盛土形状を検討し、その結果に基づく試験的な施工を実施し、盛土形状の最適化を図る。
- ・養浜箇所および配分などを含め、盛土方法はモニタリング結果を踏まえ随時見直す（砂浜の回復状況に応じた投入断面の見直しが必要）。

② 安定的な養浜材確保

- ・近年の地形変化やシミュレーション結果から、三保半島先端部から5万 m^3 /年の養浜材を安定的に確保することは可能であると想定しているが、モニタリングにより5万 m^3 /年の採取に問題が生じないか絶えず確認する。
- ・何らかの要因によって確保が困難になった場合などに備えて、より幅広く養浜材の採取先（海中など）を検討しておく必要がある。

7 技術会議の総括と今後の展開

技術会議で決定した短期対策の概要

- ・ 現消波堤をL型突堤に置き換え、並行して養浜を実施する。
- ・ L型突堤は2基とし、1号消波堤、2号消波堤の下手に設置する。
- ・ L型突堤の先端位置は侵食前（1998年頃）の汀線付近とする。
- ・ 施工は上手の1号L型突堤を先行する。
- ・ 2号L型突堤は1号L型突堤の設置効果をモニタリングして改めて検討する。
- ・ L型突堤の横堤は有脚式（透過型）を、縦堤は被覆ブロック式（不透過型）を採用する。
- ・ 養浜は5万 m^3 /年以上を基本とする。
- ・ 養浜材は景観・環境的な一体性や経済性に優れる三保半島先端部の堆砂土砂を活用する。
- ・ 養浜配分は現L型突堤～1号L型突堤間に3万 m^3 /年（現L型突堤～1号消波堤1.5万 m^3 /年+1号L型突堤上手1.5万 m^3 /年）、1号L型突堤～2号L型突堤間に1万 m^3 /年、2号L型突堤～3号消波堤間に1万 m^3 /年を基本とする。
- ・ 養浜の位置・数量は海浜変化の状況に応じて順応的に決定する。
- ・ 養浜材の採取は大規模で長期にわたるので、周辺の海岸に与える影響に注意を払い、必要に応じて採取方法を見直す。
- ・ 養浜の盛土形状は、景観への影響軽減、人工構造物の視認性低減を図るために、盛土の高さや勾配などを工夫する。



※突堤の形状は、今後の検討により詳細を決定する。
※2号突堤の配置等については、1号突堤設置後のモニタリング結果を踏まえ、再度検証することもある。
※養浜の配分は目安であり、砂浜の状況に応じて変更する。

図-7.1 L型突堤の配置・規模と養浜配分

三保松原景観改善技術フォローアップ会議の設立

2015（平成27）年3月24日、「三保松原白砂青松保全技術会議 最終報告書」が知事に提出された。文字どおり最終的な報告書であり、技術会議はここにその使命を終えた。

技術会議の成果を継承し、今後実施する施設の設計や施工、モニタリングなどについて技術的検討や助言を行い、的確なフォローアップを実施するために、新たに三保松原景観改善技術フォローアップ会議が2015（平成27）年4月28日に設置された。フォローアップ会議は技術会議の学術研究者を中心に組織された。モニタリングは以下の項目を基本とするが、詳細についてはフォローアップ会議で検討することになる（表-7.1）。

モニタリングに関する情報は、清水海岸侵食対策検討委員会や安倍川総合土砂管理計画フォローアップ委員会など関係機関と共有し、連携して課題の解決に当たっていくこととする。

表-7.1 モニタリングの項目

効果の検証	
防 護	1/50確率波浪に対する防護水準(越波量)を満たしているか確認 砂浜幅、海浜・海底地形、海象観測など ●● 現在のモニタリングを基本とする。
景 観	施設の景観的な影響が低減しているか確認 施設の見え方、汀線形状など ●● 定点写真観測等により、景観の経過観察を実施する。
影響の確認	
施 設	突堤本体及びその周辺地形に問題がある変化が発生していないか確認 周辺地形(詳細)、施設変形など ●● 通常の測量より詳細に施設及び周辺地形を監視する。
利用・環境	利用・環境に悪影響を及ぼしていないか確認 漁業、ウミガメ産卵状況など ●● ヒアリングを中心に、5年毎程度の間隔で確認をおこなう。
長期目標実現	安倍川からの土砂供給と砂浜の自然回復が順調に進んでいるか確認

かけがえのない白砂青松の海岸を未来へ

技術会議の検討結果は、2016（平成28）年1月にユネスコ世界遺産センターに提出された「保全状況報告書」に掲載されている。

富士山と一体化した白砂青松の海岸、三保松原。世界文化遺産の構成資産として未来へ引き継ぐための取り組みは、いま始まったばかりである。技術会議は未来へ向かう方向を明示し、その第一歩を踏み出した。目指すべき姿の実現には、長い年月にわたる英知の結集と粘り強い努力が必要となるだろう。



発行 静岡県交通基盤部河川砂防局河川企画課
〒420-8601 静岡市葵区追手町 9-6
電話 054-221-3038

平成 28 年 5 月発行