三保松原白砂青松保全技術会議 検討結果報告書

平成 28 年 5 月

静　岡　県

目次

第１章　世界文化遺産「富士山」の構成資産への登録・・・・・・・・・・・・ 1

１．１　三保松原の自然と歴史・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 1

１．２　富士山の世界文化遺産登録・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 7

第２章　三保松原白砂青松保全技術会議の設立・・・・・・・・・・・・・・・ 16

２．１　海岸侵食の進行と海岸保全の取組・・・・・・・・・・・・・・・・・・16

２．２　三保松原白砂青松保全技術会議の基本理念・基本方針・・・・・・22

２．３　短期・中期・長期の段階的な対策・・・・・・・・・・・・・・・・・・28

第３章　短期対策工法の検討と選択・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 31

３．１　一般的な対策工法からの絞り込み・・・・・・・・・・・・・・・・・・31

３．２　海浜変形シミュレーションによる防護機能の比較検討・・・・・・38

３．３　フォトモンタージュによる景観シミュレーション・・・・・・・・ 45

３．４　概略検討の総合的な評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・54

第４章　短期対策工法の詳細検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 56

４．１　複数のＬ型突堤案での海浜変形シミュレーション・・・・・・・・56

４．２　詳細検討の景観シミュレーション・・・・・・・・・・・・・・・・・・65

４．３　詳細検討の総合的評価・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・71

第５章　Ｌ型突堤の形状と配置の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 73

５．１　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・・73

５．２　Ｌ型突堤１基案と２基案の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・90

第６章　Ｌ型突堤の構造の選定・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 104

６．１　現地の条件に基づく構造の検討・・・・・・・・・・・・・・・・・・104

６．２　突堤構造に関する模型実験などによる検討・・・・・・・・・・・114

６．３　突堤構造に関する検討のまとめ・・・・・・・・・・・・・・・・・・118

６．４　現Ｌ型突堤～1 号消波堤間の養浜方法の検討・・・・・・・・・・119

第７章　三保松原白砂青松保全技術会議の総括と今後の展開・・・・・・・ 122
７．１　技術会議の検討内容（まとめ）・・・・・・・・・・・・・・・・・・・122
７．２　霊峰富士を望む白砂青松の美しい海岸を未来へ引き継ぐために・・125

本報告書は、平成 25 年９月から平成 27 年２月にかけ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。

第１章
世界文化遺産「富士山」の構成遺産への登録

１.１　三保松原の自然と歴史

三保半島の形成

静岡県中東部の海の玄関口である駿河湾。

東は伊豆半島南端の石廊崎と西は遠州灘東端の御前崎を結ぶ線がその湾口であり、北東に向けて大きくＵ字型の湾を形成している。湾口幅約56km、奥行約60kmで、表面積は約2,300k㎡。湾口の水深が2,500m、湾中央部の水深が1,500mとわが国で最も深い湾であり、海底の地形も海岸に近い位置から急勾配となっているのが特徴である。

御前崎から伊豆半島北西端の大瀬崎までの海岸163kmは駿河湾沿岸と呼ばれ、それより東南の伊豆半島沿岸と区別されている。この駿河湾沿岸のほぼ中央あたり、静岡市清水区（旧清水市）に位置するのが、三保松原（みほのまつばら）を擁する三保半島である。

三保半島は駿河湾の自然が生み出した典型的な砂嘴（さし）であり、駿河湾に北東へと突き出した地形を成している。西側には抱き込まれるような形で清水港があり、半島は港の天然の防波堤となっている。砂嘴は河口などからの土砂が沿岸の流れに運ばれて堆積したものであるが、三保半島の場合は約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。安倍川には上流に大谷崩（おおやくずれ）という大規模な山体崩壊があり、流出土砂量が多い河川として知られている。

砂嘴を形成した安倍川の土砂はまた、河口付近から北東に約18kmにわたって砂浜をつくった。約7.9kmの静岡海岸と約9.8kmの清水海岸である。この両海岸は連続し、有度山から滝ケ原川が注ぎ込むあたりで旧市域に合わせて名前を変える。

清水海岸はそこから北東へ三保半島の東側へと続いていく。この清水海岸の海岸線に沿って約7kmにわたって広がる松原が、三保松原である。

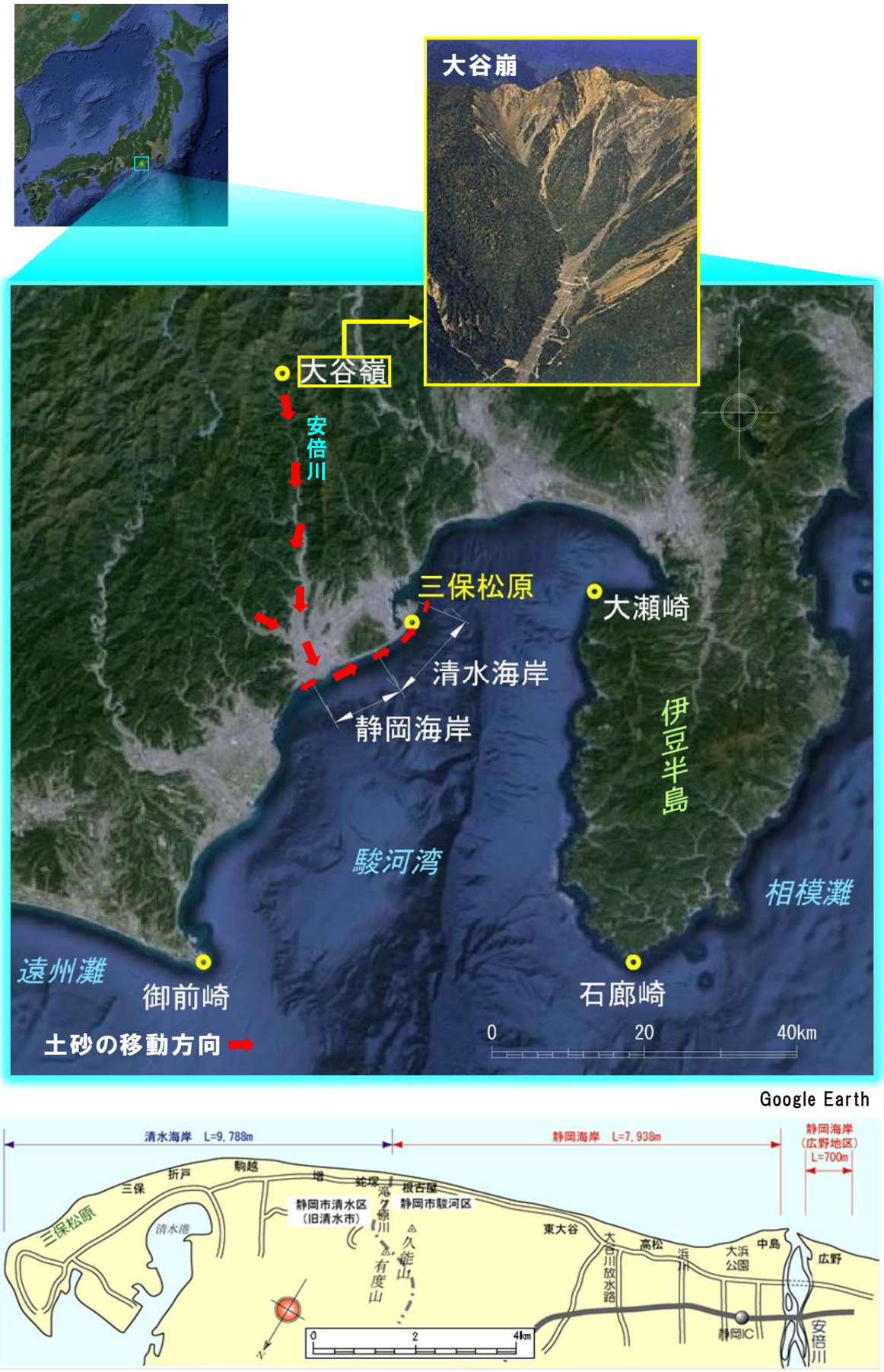

大谷崩
大谷嶺
安倍川
三保松原
大瀬崎
清水海岸
静岡海岸
伊豆半島
駿河湾
相模灘
遠州灘
御前崎
石廊崎
土砂の移動方向
0
20
40km
Google Earth
清水海岸 L=9,788m
静岡海岸 L=7,938m
静岡海岸
(広野地区)
L=700m
三保
折戸
駒越
増
蛇塚
根古屋
三保松原
清水港
静岡市清水区
(旧清水市)
静岡市駿河区
有度山
久能山
東大谷
大谷川放水路
高松
浜川
大浜公園
中島
広野
静岡IC
安倍川
0
2
4km

図-1.1　海岸位置図

三保松原の変遷と保護

青い海に映える白い砂浜と青々とした松林。「白砂青松」は日本の海岸の典型的な美しさを表現する言葉である。三保松原はわが国を代表する白砂青松の海岸であり、福井県敦賀市の気比の松原、佐賀県唐津市の虹ノ松原とともに日本三大松原の一つとして知られている。また、北海道七飯町の大沼、大分県中津市の耶馬渓とともに日本新三景にも選ばれている。

写真-1.1　御穂神社

写真-1.2　神の道

白砂青松の海岸林は、主として海浜での生育に適したクロマツで構成されており、かつての三保半島の大半はクロマツの自生林で覆われていた。

三保半島に鎮座する御穂（みほ）神社は、9世紀の創建と伝えられる古社である（写真-1.1）。三保松原は古代から御穂神社の神域であり、天女伝説の伝わる「羽衣の松」は神が降臨する依代（よりしろ）であった。羽衣の松から御穂神社に続く500mほどの松並木は「神の道」と呼ばれて現存している（写真-1.2）。

御穂神社は古くから信仰を集め、朝廷や今川氏、徳川氏などの庇護を受けてきた。江戸時代には徳川家康から三保半島などを朱印地（社領地）として与えられている。そのため、松林の伐採は禁じられてきた。

明治時代になると松林は一般に払い下げられ、多くの松が伐採されるようになった。これに対して、1898（明治31）年に保安林に指定されるなど、三保松原の保全活動が開始された。

1922（大正11）年には、三保松原は史蹟名勝天然紀念物保存法により天橋立とともにわが国初の名勝に指定され、規制地域が設けられて開発に一応の歯止めがかかった。しかし、第二次世界大戦中には松根油採取のために松林の伐採が進められ、戦後は民有地開発が進展したため、1991（平成3）年には名勝指定範囲は198.2haと名勝指定時の約75％に縮小されている。

この間、1951（昭和26）年には「日本平県立自然公園」（現「日本平・三保の松原県立自然公園」）に指定され、風景・保安林などの保護が図られている。

富士山と一体化した景観―信仰と芸術

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、多くの人が憧れ、訪れてきた日本を代表する景観である(写真-1.3)。2013（平成15）年6月には世界文化遺産「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ている（後述）。

写真-1.3　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った。遥拝とは麓から山頂を拝むことであり、火山活動が活発だった時代はこれが富士信仰の中心であった。11世紀以降、噴火が沈静化すると、富士信仰は実際に山頂まで登頂して拝む「登拝（とはい）」が盛んになっていった。

室町時代の作とされる『絹本著色富士曼荼羅図』（国指定重要文化財、富士山本宮浅間大社蔵）では、麓から山頂までの富士山登拝の様子が詳細に描かれている（図-1.2）。その曼陀羅図の最も下に描かれているのが三保松原であり、三保松原は登拝の時代になっても、富士信仰において重要な位置づけにあったことが窺える。その後の時代につくられた多くの富士山参詣図や禅定図などにも三保松原が描かれている。

図-1.2　『絹本著色富士曼荼羅図』
（国指定重要文化財、富士山本宮浅間大社蔵）

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）ですでに詠われている。田口益人という官人の旅の歌である。

盧原（いほはら）の清見の崎の三保の浦のゆたけき見つつ物思（ものも）ひもなし

これ以降、三保松原は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。

きよみ潟ふじの煙や消えぬらん月影みがく三保の浦　　後鳥羽院

松原の色あくまでも清して海に愁ひの留る夕ぐれ　　与謝野晶子

また、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』（永青文庫蔵）（図-1.3）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。江戸時代には描かれた狩野探幽『富士山図』（静岡県立美術館蔵）、狩野山雪『富士三保松原図』（同）は、その流れを汲むものである。

江戸末期には浮世絵師・歌川広重の『富士三十六景』の「駿河三保之松原」（図-1.4）や『六十余州名所図会』の「駿河　三保のまつ原」（図-1.5）が描かれ、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る。

図-1.3　『富士三保清見寺図』（永青文庫蔵）

近代では横山大観や下村観山などの日本画家、和田英作などの洋画家が、富士山と三保松原をモチーフとした作品を数多く生みだしている。

図-1.4　歌川広重 富士三十六景「駿河三保之松原」

図-1.5　六十余州名所図会「駿河　三保のまつ原」

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楽「羽衣」の題材となったからである（写真-1.4）。羽衣伝説によって三保松原の知名度は広く庶民にまで浸透し、お伊勢参りの途次などに訪れる旅人は著しく増加した。

写真-1.4　能「羽衣」の舞台

写真-1.5　羽衣の松

羽衣伝説は漁師と天女の物語。松にかかっていた羽衣を漁師が手にとる。天女は返してほしいと頼むが、漁師は返そうとしない。そのうち天女の懇願に負けて、漁師は羽衣を返す。天女はお礼に典雅な舞を舞って、富士山の山頂の方へと飛び去っていく、という話である。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-1.5）。

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。

1.2　富士山の世界文化遺産登録

世界遺産と日本

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、UNESCO:United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization）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。1972（昭和47）年、ユネスコ総会において「世界の文化遺産および自然遺産の保護に関する条約」（世界遺産条約）が全会一致で採択され、1975（昭和50）年に20カ国が条約を締結して正式に発効した。1978（昭和53）年には12件の世界遺産が登録され、これらが世界遺産の第1号となった。

世界遺産には、「文化遺産」（記念物、建造物群、遺跡、文化的景観など）「自然遺産」（地形・地質、生態系、景観、絶滅のおそれのある動植物の生息・生育地など）「複合遺産」（文化遺産と自然遺産の両方の価値を有するもの）の3種類がある。

日本は1992（平成4）年に世界遺産条約に批准し、翌1993（平成5）年12月に

表-1.1　日本の世界遺産一覧（文化遺産・自然遺産）

文化遺産	
法隆寺地域の仏教建造物（奈良県）	1993 年 12 月
姫路城（兵庫県）	1993 年 12 月
古都京都の文化財（京都府、滋賀県）	1994 年 12 月
白川郷・五箇山の合掌造り集落（岐阜県、富山県）	1995 年 12 月
原爆ドーム（広島県）	1996 年 12 月
厳島神社（広島県）	1996 年 12 月
古都奈良の文化財（奈良県）	1998 年 12 月
日光の社寺（栃木県）	1999 年 12 月
琉球王国のグスクおよび関連遺産群（沖縄県）	2000 年 12 月
紀伊山地の霊場と参詣道（奈良県、和歌山県、三重県）	2004 年 7 月
石見銀山遺跡とその文化的景観（島根県）	2007 年 6 月
平泉―仏国土（浄土）を表す建築・庭園及び考古学的遺跡群（岩手県）	2011 年 6 月
富士山―信仰の対象と芸術の源泉（山梨県、静岡県）	2013 年 6 月
富岡製糸場と絹産業遺産群（群馬県）	2014 年 6 月
明治日本の産業革命遺産 製鉄・製鋼、造船、石炭産業 （山口県・鹿児島県・静岡県・岩手県・佐賀県・長崎県・福岡県・熊本県）	2015 年 7 月
自然遺産	
屋久島（鹿児島県）	1993 年 12 月
白神山地（青森県、秋田県）	1993 年 12 月
知床（北海道）	2005 年 7 月
小笠原諸島（東京都）	2011 年 6 月

は文化遺産として法隆寺地域の仏教建造物、姫路城、自然遺産として屋久島、白神山地の計4件が世界遺産に登録された。その後、2015（平成27）年までに文化遺産15件、自然遺産4件を数えている（表-1.1）。

文化遺産としての富士山

富士山の世界遺産登録に関しては、1992（平成4）年の世界遺産条約批准直後から地元をはじめとする幅広い層から期待が寄せられたが、自然遺産としては登録条件に合致しないと判断され、ユネスコへの申請には至らなかった。

富士山の世界遺産登録への気運は、21世紀に入ってから再び徐々にではあったが盛り上がっていった。自然遺産ではなく、「文化的景観」という観点から文化遺産として登録を実現しようという動きである。文化的景観は1992年に世界文化遺産に追加された新しいカテゴリーである。そのなかに「自然的要素が強い宗教的・芸術的・文化的な事象に関連する景観」という分類がある。富士山はこれに合致すると判断され、世界文化遺産登録への挑戦がスタートした。

このような動きは、2005（平成17）年4月、中曽根康弘元総理を会長とする認定NPO法人「富士山を世界遺産にする国民会議」（富士山会議）の発足から具体化した。同年12月には静岡県・山梨県両県による「富士山世界文化遺産登録推進両県合同会議」が発足、翌2006（平成18）年11月には「富士山世界文化遺産二県学術会議」などが検討・作成した「暫定リスト素案」が文化庁に提出された。2007（平成19）年1月、文化庁はこれを受けて、富士山を追加候補資産として世界文化遺産暫定リストに登載し、ユネスコに提出した。暫定リストは各国が世界遺産委員会への登録申請を目指すもののリストであり、ここへの登載が世界遺産登録への第一歩であった。

文化遺産として富士山は、のちに世界遺産の登録名として知られるように、「信仰の対象」と「芸術の源泉」がその主要な要素であり、世界遺産登録へ向けての基本理念であった。

信仰の対象としては、富士山は古くから日本人にとって特別の存在であった。抜きんでて高くそびえる富士山は、その活発な火山活動とも相まって、人々の畏敬の対象であり、山麓から山頂を仰ぎ拝む「遥拝」が行われてきた。火山活動が休止すると、修験者の修行道場として山頂への「登拝」が盛んになっていった。12世紀には修行僧の末代上人が山頂に大日寺を開き、修験者の登山道を確立した。

15世紀ごろからは修験者などの「先達」に導かれ、「道者」と呼ばれる一般の登山者も次第に増えていった。江戸時代には「富士講」が流行し、町内や村落の代表が富士山を登拝し、山麓の霊地などを「巡拝」するようになった。これによって富士山登山者は飛躍的に増大した。

明治以降は女性の山頂登山も解禁され、道路や交通の整備も進んで、富士山登山者は増加していった。現在も夏季には30万人を超える登山者が登頂しているが、山頂にある富士山本宮浅間大社奥宮へのお参りや火口の周りを一周する「お鉢巡り」などを行う人は多く、富士山に対する宗教的な感性は現代人にも受け継がれている（写真-1.6）。

写真-1.6　登山客でにぎわう富士山頂風景
（公益社団法人やまなし観光推進機構 HP）

芸術の源泉としては、絵画や文学、演劇などの題材として多くの作品を生み出してきた。8世紀に編纂（へんさん）された日本最古の歌集である『万葉集』には、富士山を詠んだ歌が11首収録されている。なかでも有名なのは、山部赤人の

田子の浦ゆうち出でて見れば真白にぞ富士の高嶺に雪は降りける

である。また、高橋虫麻呂の長歌では、

日の本の大和の国の鎮めともいます神かも宝ともなれる山かも

と「富士山は日本の国を鎮めている神の山、宝の山」と称賛されている。

『万葉集』以降、「ふじのやま」は歌枕として定着し、多くの和歌はもちろん、漢詩や俳句にも詠まれている。さらに、『竹取物語』『伊勢物語』などの多くの古典文学でも、富士山は直接的、あるいは間接的に表現されている。

絵画では平安時代の歌枕を描いた名所絵を皮切りに、絵巻や絵伝、屏風画などに富士山は描かれてきたが、国内はもとより海外にまで盛名を轟かしたのは江戸時代の浮世絵である。葛飾北斎の『冨嶽三十六景』（図-1.6）、歌川広重の『不二三十六景』『東海道五拾参次』などで描かれた富士山は、大胆な構図と色彩で人気を博し、西洋絵画にも大きな影響を与えた。フィンセント・ファン・ゴッホの『タンギー爺さん』（図-1.7）には、人物の背景に歌川広重『冨士三十六景　さがみ川』の模写として富士山が描かれている。

近代に入っても、文学では夏目漱石、高浜虚子、太宰治、武田泰淳などが富士山をテーマとした作品を発表し、絵画では日本画の横山大観（図-1.8）、文人画の富岡鉄斎や洋画家の和田栄作などが多数の富士山を描いた優れた作品を残している。

図-1.6　葛飾北斎『冨嶽三十六景　凱風快晴』
（山梨県立博物館蔵）

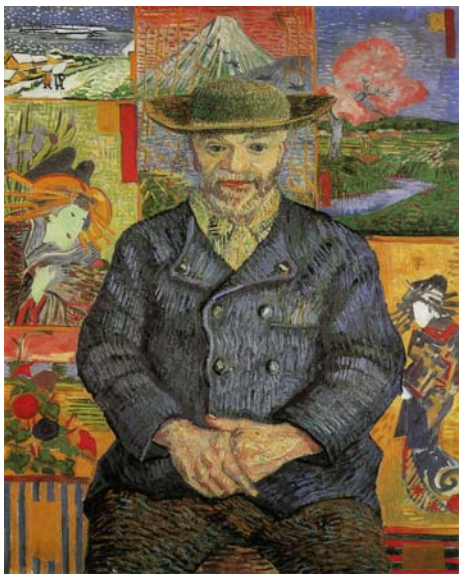


図-1.7　フィンセント・ファン・ゴッホ
『タンギー爺さん』（ロダン美術館蔵）

図-1.8　横山大観『群青富士』（静岡県立美術館蔵）

世界文化遺産登録の実現

世界文化遺産の暫定リストに登載された富士山の世界遺産へ向けての次なるステップは、国の担当機関（文化庁）によるユネスコへの推薦状の提出であった。その時点からユネスコによる調査・審査が開始される。

静岡県、山梨県および関係する市町村が、それぞれの地域や学識者の意見を取りまとめて富士山世界遺産登録の推薦書原案を文化庁に提出したのは、2011（平成23）年7月のことであった。文化庁は翌2012年1月、正式な推薦状をユネスコに提出した。

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、ICOMOS：International Council on Monuments and Sites）が現地調査を踏まえて登録の可否を勧告する。イコモスは2012（平成24）年8月末から9月初めにかけて富士山世界遺産登録に関する現地調査を行い、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した。

それに先立つ2013年2月、イコモスから文化庁に富士山の登録に関する勧告が届いた。主要なポイントは登録名称の変更と構成資産に含まれていた三保松原の除外の2点であった。

登録名称に関しては、それまで「富士山」で申請していたが、より具体的に遺産の価値が伝わるものに改めるようにという要請であった。そこで、文化庁は「富士山と信仰・芸術の関連遺産群」という案をイコモスに回答し、最終的には「富士山―信仰の対象と芸術の源泉」となった。

一方の構成資産とは、「信仰の対象」「芸術の源泉」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た（表-1.2）。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指摘であった。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（図-1.9）。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）

表-1.2　世界遺産「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」構成資産/構成要素一覧

No. .	構成資産(1～25) 構成要素(1-1～1-9)		所在地
1	富士山域		山梨県(富士吉田市・身延町・鳴沢村・富士河口湖町) 静岡県(富士宮市・富士市・裾野市・御殿場市・小山町)
	1-1	山頂の信仰遺跡群	山梨県・静岡県
	1-2	大宮・村山口登山道 (現在の富士宮口登山道)	静岡県富士宮市
	1-3	須山口登山道 (現在の御殿場口登山道)	静岡県御殿場市
	1-4	須走口登山道	静岡県小山町
	1-5	吉田口登山道	山梨県富士吉田市・富士河口湖町
	1-6	北口本宮冨士浅間神社	山梨県富士吉田市
	1-7	西湖	山梨県富士河口湖町
	1-8	精進湖	山梨県富士河口湖町
	1-9	本栖湖	山梨県身延町・富士河口湖町
2	富士山本宮浅間大社		静岡県富士宮市
3	山宮浅間神社		静岡県富士宮市
4	村山浅間神社		静岡県富士宮市
5	須山浅間神社		静岡県裾野市
6	冨士浅間神社(須走浅間神社)		静岡県小山町
7	河口浅間神社		山梨県富士河口湖町
8	冨士御室浅間神社		山梨県富士河口湖町
9	御師住宅(旧外川家住宅)		山梨県富士吉田市
10	御師住宅(小佐野家住宅)		山梨県富士吉田市
11	山中湖		山梨県山中湖村
12	河口湖		山梨県富士河口湖町
13	忍野八海(出口池)		山梨県忍野村
14	忍野八海(お釜池)		山梨県忍野村
15	忍野八海(底抜池)		山梨県忍野村
16	忍野八海(銚子池)		山梨県忍野村
17	忍野八海(湧池)		山梨県忍野村
18	忍野八海(濁池)		山梨県忍野村
19	忍野八海(鏡池)		山梨県忍野村
20	忍野八海(菖蒲池)		山梨県忍野村
21	船津胎内樹型		山梨県富士河口湖町
22	吉田胎内樹型		山梨県富士吉田市
23	人穴富士講遺跡		静岡県富士宮市
24	白糸ノ滝		静岡県富士宮市
25	三保松原		静岡県静岡市
合計			

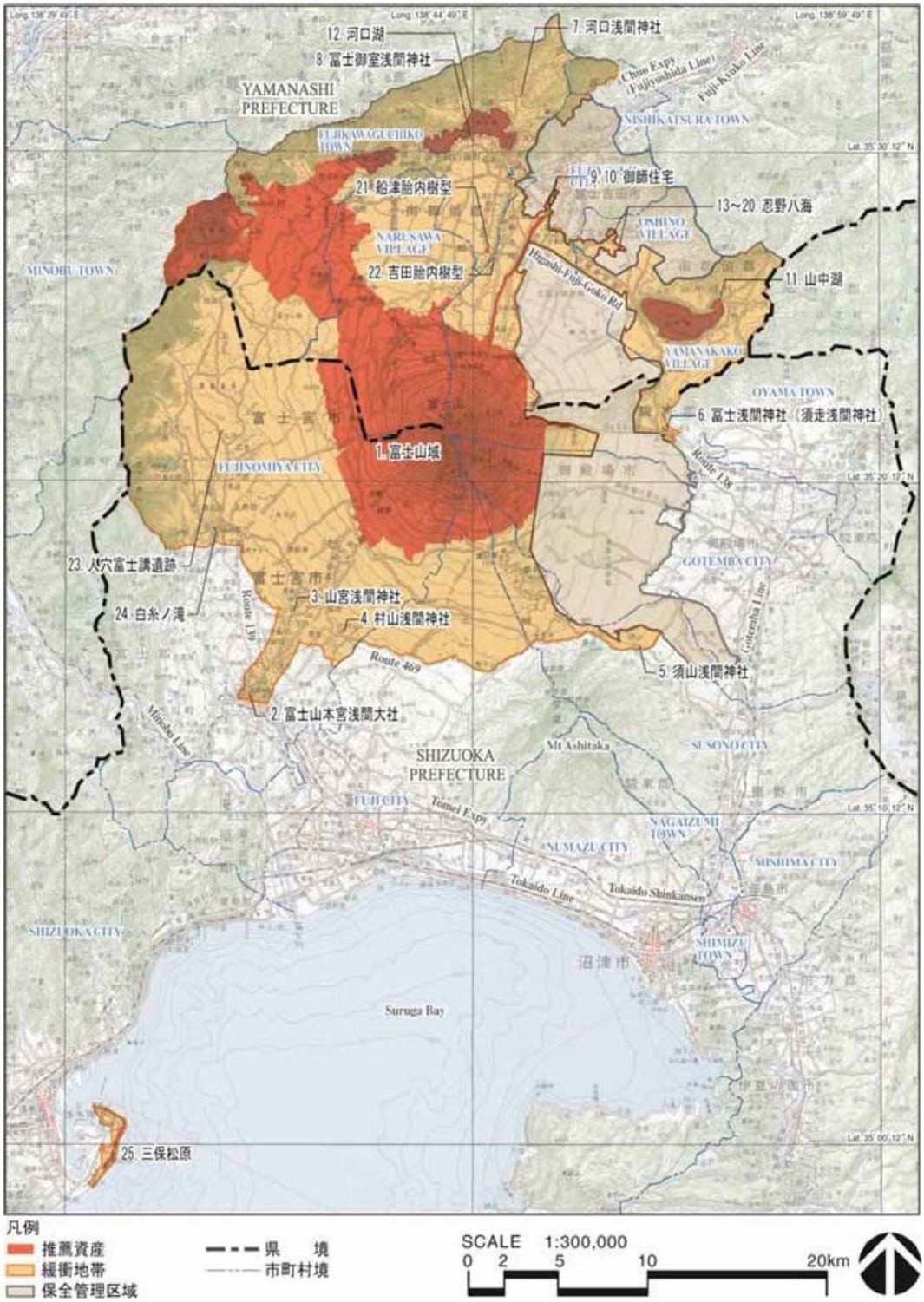


図-1.9　世界遺産「富士山—信仰の対象と芸術の源泉」構成資産分布図

2013（平成25）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（写真-1.7）。

2013年6月22日

速報 静岡新聞

富士山 世界遺産

三保松原も登録

世界文化遺産登録が決まった富士山
＝5月18日、富士宮市上空（本社ヘリ「ジェリコ1号」から）

【プノンペン＝政治部・中村綾子】カンボジア・プノンペンで開催中の国連教育科学文化機関（ユネスコ）世界遺産委員会は22日、富士山を世界文化遺産に登録することを決めた。山岳信仰の対象であり、多くの芸術作品に描かれた日本の象徴として、文化的価値を高く評価した。国内の世界遺産は2011年登録の平泉（岩手県）と小笠原諸島（東京都）以来で、17件目。

ユネスコ諮問機関の国際記念物遺跡会議（イコモス）が除外を求めていた三保松原（静岡市）も含めての登録となった。

静岡新聞の購読申し込みは 0120−894311

静岡新聞

写真-1.7　富士山の世界遺産登録を伝える新聞記事

構成資産・三保松原の課題

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。

「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改善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美しい海岸を世界文化遺産として未来へ引き継ぐために。

第 2 章
三保松原白砂青松保全技術会議の設立

2.1　海岸侵食の進行と海岸保全の取組

静岡海岸・清水海岸の海岸侵食の経緯

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（図-2.1、図-2.2）。1988（昭和63）年頃の予測である。

発端は1950年代後半に安倍川で始まった砂利の大量採取であった。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ものである。これによって安倍川から海岸への土砂供給が減少し、1965年頃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。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、1955（昭和30）年から1968（昭和43）年まで採取された砂利の量は約870万㎥にも上った（図-2.3）。この規制後も海岸侵食は止まらず、侵食は北東側へと進み、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（写真-2.1）。

図-2.1　1988 年 3 月の清水海岸

図-2.2　未対策の場合の 2019 年頃の
清水海岸（予測結果イメージ）

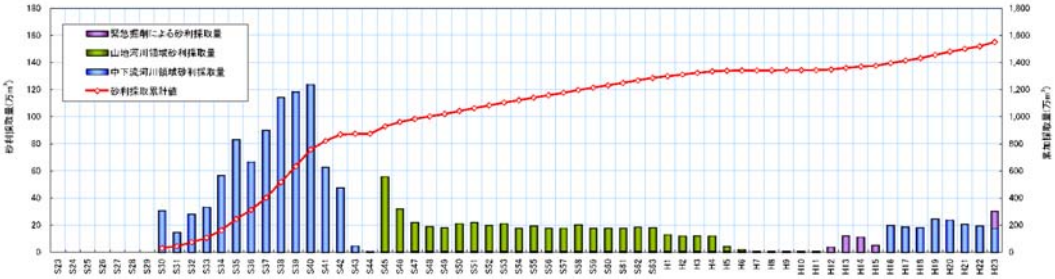


図-2.3　安倍川砂利採取量の推移
（「安倍川総合土砂管理計画」平成 25 年 7 月，中部地方整備局）

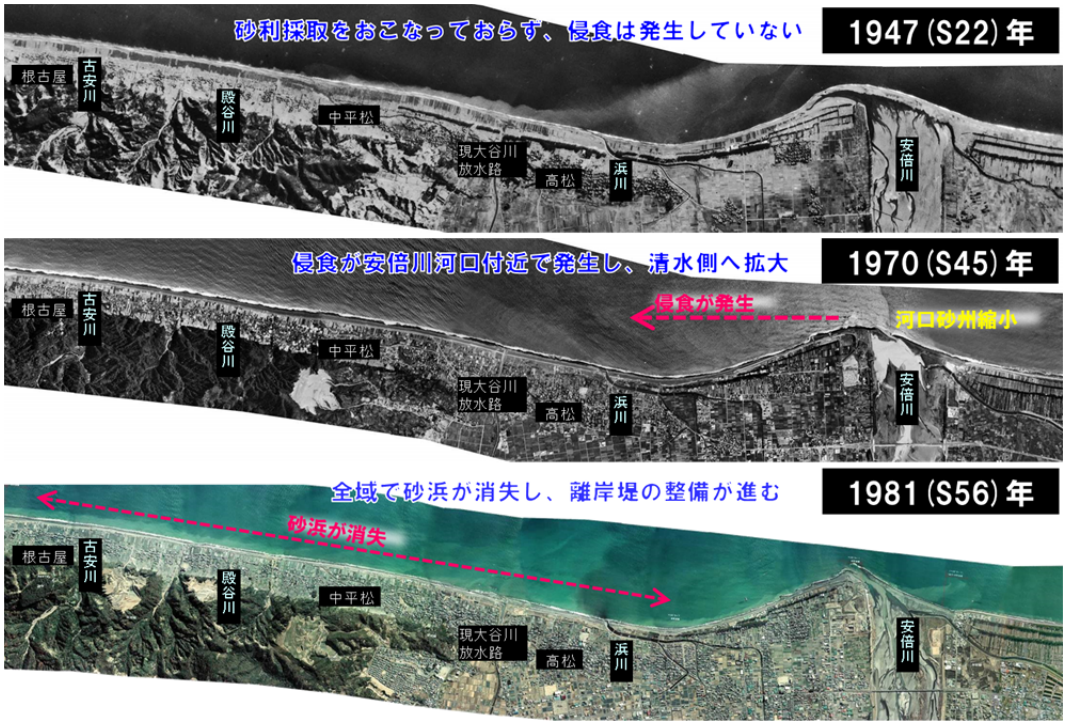


写真-2.1　1981 年までの静岡海岸の状況

これによって、静岡海岸の護岸や沿岸を走る国道150号がしばしば高波により被災することになった（写真-2.2）。砂浜には波の力を弱める消波機能があるが、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。

写真-2.2　国道 150 号の被災（蛇塚地区）

これを防止するため、静岡海岸の河口付近から順次、離岸堤や消波工が設置されていった。離岸堤は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で、通常は離岸堤の長さの2分の1の開口部を設けて

写真-2.3　静岡海岸の離岸堤と消波工

連続的に設置される。消波機能と離岸堤岸側への砂の堆積機能がある。消波工は消波機能をもつ消波ブロックで護岸前面などに築かれる構造物で、消波機能により越波を防ぎ、護岸や堤防を保護する役割を果たす（写真-2.3）。静岡海岸では、1977（昭和52）年から2005（平成17）年にかけて55基の離岸堤が設置された。

土砂採取規制と離岸堤などの対策により、安倍川の河口付近から砂浜は徐々に回復傾向に向かったが、北東側への海岸侵食は止まらなかった。1980年代前半には海岸侵食は清水海岸に到達し、1983（昭和58）年から増・蛇塚地区で離岸堤の設置が始まった。清水海岸でも、2005（平成17）年までに19基の離岸堤が設置されている（図-2.6）。

未対策のままでは30年後に三保松原の砂浜もやがて消失するというシミュレーションが示された1988（昭和63）年頃から、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。

清水海岸・三保松原の海岸保全対策

静岡海岸および清水海岸の一部で設置された離岸堤は消波機能や砂の堆積機能では優れていたが、離岸堤が沖合に連続的に並ぶため、三保松原に近い地域に設置するには景観上の問題があった。

そこで、砂浜が侵食されていなかった駒越～三保地区では、ヘッドランド工法を採用することになった。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）を造り、それに挟まれた区間の海岸侵食を抑制する工法である。ヘッドランドとヘッドランドの間隔を300～500m確保することができるので、景観面や海浜利用面で優れている（写真-2.4、写真-2.5）。ただし、

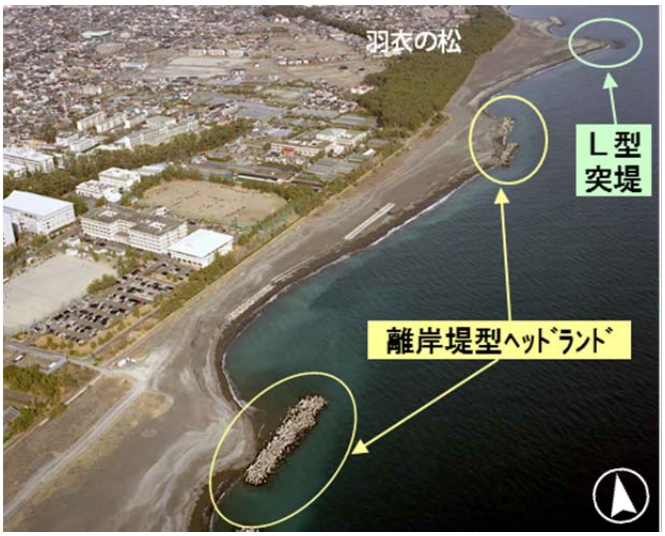


写真-2.4　離岸堤型ヘッドランド

■■■ 岬に該当する部分　離岸堤型５基：1989(H1)～1999(H11)年、突堤型１基：1997(H9)～2000(H12)年

写真-2.5　ヘッドランドの設置状況

連続する離岸堤に比べると、開口部が広いために漂砂（海岸付近において波の作用により移動する砂礫）の捕捉が弱く、後述する養浜を併用する必要がある。

駒越～三保地区では、1989年から1999年にかけて離岸堤型ヘッドランド5基を、1997年から2000年にかけて突堤型ヘッドランド1基を設置した。

突堤型ヘッドランドは羽衣の松の東側に建設されたＬ型突堤である。この地点の東には海底谷があり、そこに漂砂が落ち込むのを食い止めるために、離岸堤型ヘッドランドより漂砂の捕捉の強いＬ型突堤を採用したのである。また、他の工法より天端（てんば）（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ることができた。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-2.6、写真-2.7）。

写真-2.6　Ｌ型突堤

写真-2.7　羽衣の松付近から望んだ突堤部

このＬ型突堤より東側の海岸は、前方に海底谷が広がり、海底は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することとし、1997（平成9）年2月にほぼ等間隔に配置された4基が完成した（写真-2.8）。これによって侵食の抑制を図るとともに、養浜と合わせ

写真-2.8　消波堤設置状況

て越波防護上最低限必要な砂浜幅（80m）を確保することを目指した。

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-2.4）。清水海岸へのサンドバイパスは1998年から実施され、2012（平成24）年までに総量は94万㎥に上っている。一方、サンドリサイクルは2007年から始まり、2012年までの総量は約19万㎥である。2010年まで年間7万㎥（サンドバイパス5万㎥、サンドリサイクル2万㎥）であった養浜の土砂量は、2011年から年間11万㎥（8万㎥、3万㎥）に増量されている（図-2.5）。

図-2.4　サンドバイパス養浜とサンドリサイクル養浜

H10年度～H24年度事業　　（単位：m³）

区間／年度事業	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	区間合計
静岡海岸合計	-	-	-	12,900	30,400	15,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	10,000	-	-	128,300
清水海岸：増・蛇塚離岸堤区間	-	29,390	35,560	59,300	10,000	21,000	7,200	11,600	26,700	19,500	20,000	8,600	19,700	23,740	10,700	302,990
清水海岸：No.1ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ上手	2,860	12,500	8,730	8,500	13,590	21,800	23,800	30,770	15,000	26,300	30,000	25,500	23,446	28,300	47,085	318,181
清水海岸：No.1～No.2ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ間	-	-	8,100	-	-	-	-	7,600	-	-	-	-	-	-	-	15,700
清水海岸：No.2～No.3ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ間	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,000 リサイクル	-	29,000	181,688
清水海岸：No.3～No.4ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ間	6,540	6,380	17,220	10,300	9,266	15,000	13,200	-	8,300	6,900 リサイクル	11,600 リサイクル	17,982 リサイクル	-	10,000		
清水海岸：No.4～No.5ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ間	32,300	26,560	15,630	13,100	-	-	-	-	-	13,400 リサイクル	7,740 リサイクル	16,627 リサイクル	-	20,000	-	145,357
清水海岸：No.5ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ～L字突堤間	-	-	3,370	8,100	10,444	5,000	5,800	-	-	13,100 リサイクル	740 リサイクル	5,915 リサイクル	-	33,700	-	86,169
清水海岸：消波堤区間	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,000 リサイクル	11,100 リサイクル	-	30,000 リサイクル	30,000 リサイクル	75,100
清水海岸：飛行場前面（浚渫工）	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-(33,400)	-(24,100)	-(51,600)	-(20,000)	-(30,000)	-(30,000)	-(189,100)
清水海岸合計	41,700	74,830	88,610	99,300	43,300	62,800	50,000	49,970	50,000	79,200	74,080	85,724	63,146	145,740	116,785	1,125,185

※ﾘｻｲｸﾙは飛行場前面No. 11～14の浚渫土砂を投入

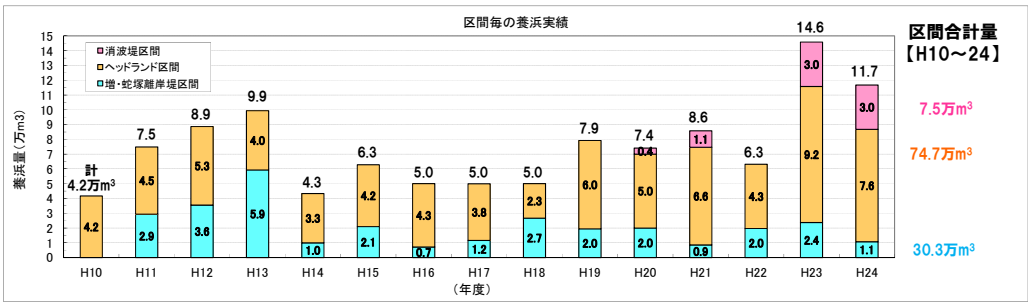


図-2.5　養浜の実施状況

清水海岸の海岸保全施設の全体像は、図-2.6のとおりである。20年以上にわたって取り組んできた海岸保全対策は、ヘッドランド区間、消波堤区間で一部を除き必要砂浜幅を維持し、離岸堤区間では回復傾向にある。施設が完成した2005（平成17）年以降は、一部で根固工（堤防前面の洗掘を防止するため平型のコンクリートブロックを敷き並べた構造物）などを実施しながら、養浜を継続的に実施してきた。

	必要砂浜幅	現況浜幅	状　況
離岸堤区間	60m	20-50m	必要浜幅に満たないが、回復傾向にある。消波工を併用。
ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ区間	60m	60m以上（ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ下手30-50m）	局所的な狭小箇所は、養浜、根固工などで対応。
消波堤区間	80m	80m以上（1号消波堤下手50m）	局所的な狭小箇所は、養浜、根固工などで対応。

図-2.6　清水海岸の海岸保全施設配置と必要砂浜幅

２.２　三保松原白砂青松保全技術会議の基本理念・基本方針

第1回技術会議の開催

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海岸保全対策案を検討し、具体的な景観改善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（平成28）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。それは短期的な課題解決に止まらず、イコモスの指摘を契機として、未来へ引き継いでいく三保松原のあるべき姿を見据えたものでなければならなかった。

三保松原白砂青松保全技術会議　設立趣意

三保松原は、日本三大松原のひとつにも数えられ、美しい砂浜と背後の松林が織り成す白砂青松の海岸は、霊峰富士を望む日本有数の景勝地として全国にその名を知られている。また、万葉集に登場して以降、数多くの和歌や浮世絵、絵画の題材となるなど芸術の源泉としても名高く、平成25年6月には、世界文化遺産「富士山」の構成資産のひとつとして認定された。

また、その美しい砂浜は、安倍川における砂利採取などを要因とした海岸侵食により消失の危機に瀕したことから、砂浜を保全し、かつ三保松原にふさわしい景観を残すために「ヘッドランド工法」や「養浜」による対策を実施し、今日まで砂浜背後の人命財産を守ってきた。

しかし世界文化遺産の登録過程において、砂浜の保全に大きな役割を果たしてきた消波ブロックの存在が、審美的観点において望ましくないという指摘を受けたことは、重く受け止めなければならない。海岸侵食の勢いはいまだ衰えておらず、地球温暖化による海面上昇や切迫性が叫ばれる大津波など、海岸部における災害防止の必要性が増大している中で、海岸から富士山を望む景観価値をこれまで以上に高め、後世に残していくことが求められている。

このため、これまでの経験と、先端の知見・技術を駆使し、防護と景観の両面から問題を捉え、両者を高い次元で調和させることにより、文化財としての新たな価値を創造することが必要である。

三保松原の海岸における「世界文化遺産としての資産価値の保護と安全安心が両立する新しい姿」を提示するため、本会議を設立するものである。

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で構成されている（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（平成27）年2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	佐藤愼司	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

目指すべき海岸の姿

技術会議では、まず清水海岸・三保松原の20年以上にわたる海岸保全対策を振り返り、「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。

防護に関しては、現在の水準を確保することが前提である。背後の人命や財産を守るため､50年に1回発生する規模の波浪や津波があっても防護できる水準を確保する。また、世界文化遺産の構成遺産である三保松原についても、想定を越えるような波浪や津波があっても、壊滅的な被害を受けないように備えねばならないとされた。

一方、景観に関しては、世界文化遺産の構成資産であり、国指定の名勝である三保松原の本質的価値は、白砂青松の海岸（海、砂浜、松林）と富士山が一体となった風致景観にあるとし、かつての絵画などに描かれた景観を回復することを目標に掲げた（図-2.7、図-2.8）。

図-2.7　1950 年代の絵葉書

図-2.8　和田英作『松原富士』
（長島美術館所蔵）

「景観改善の基本方針」は、その前提として景観改善における配慮すべき点が「防護」「利用」「環境」「景観」ごとに現状と対応に分けて整理された（表-2.3）。

防護に関しては、必要最低限の砂浜幅（80m）を維持し、砂浜の波浪低減効果と海岸堤防によって安全度を確保。利用に関しては、世界文化遺産登録後に爆発的に増加した観光客に十分に配慮し、近海でのシラス漁など漁業への影響を極力抑える。環境に関しては、アカウミガメの上陸・産卵、ハマユウなどの海浜植物の自生を妨げないよう、砂浜幅を確保し、構造物の設置を制限する。景観に関しては、羽衣の松付近から富士山を望むと、消波堤群が視界に入り、とくに1号消波堤が目立つことを指摘（図-2.9）。1号消波堤の景観改善に優先

的に取り組むとともに、砂浜幅の減少や弧状になっている汀線などを侵食以前の状態に近づけるものとした。

表-2.3　景観改善における配慮すべき点

防　護

現状	消波堤と養浜によって必要最低限の砂浜幅（80m）を概ね維持している。 砂浜の波浪低減効果と海岸堤防により、50年確率波に対する安全度を確保。 部分的に必要浜幅を割り込む範囲が見られており、モニタリングと順応的対応を実施。 Ｌ１津波、Ｌ２津波に対しては海岸堤防（無堤部は地盤）により高さを確保。

対応
50年確率波に対する安全度を維持するため、必要な砂浜幅を確保。
順応的な管理体制をおこなうための監視体制を維持する。
現在の海岸堤防の機能を維持する。

利　用

現状	三保松原への観光客は近年微増傾向にあったが、世界文化遺産登録以降は爆発的に増加。 海岸線近くでシラス漁が盛んにおこなわれている。施設整備により漁場が失われた経緯があり、現在もブロック飛散や養浜材による濁りなどの問題が発生している。 消波施設間の砂浜で、地引網や投げ釣りなどがおこなわれている。

対応
漁業への影響を極力抑える。
観光客へ十分に配慮する。

環　境

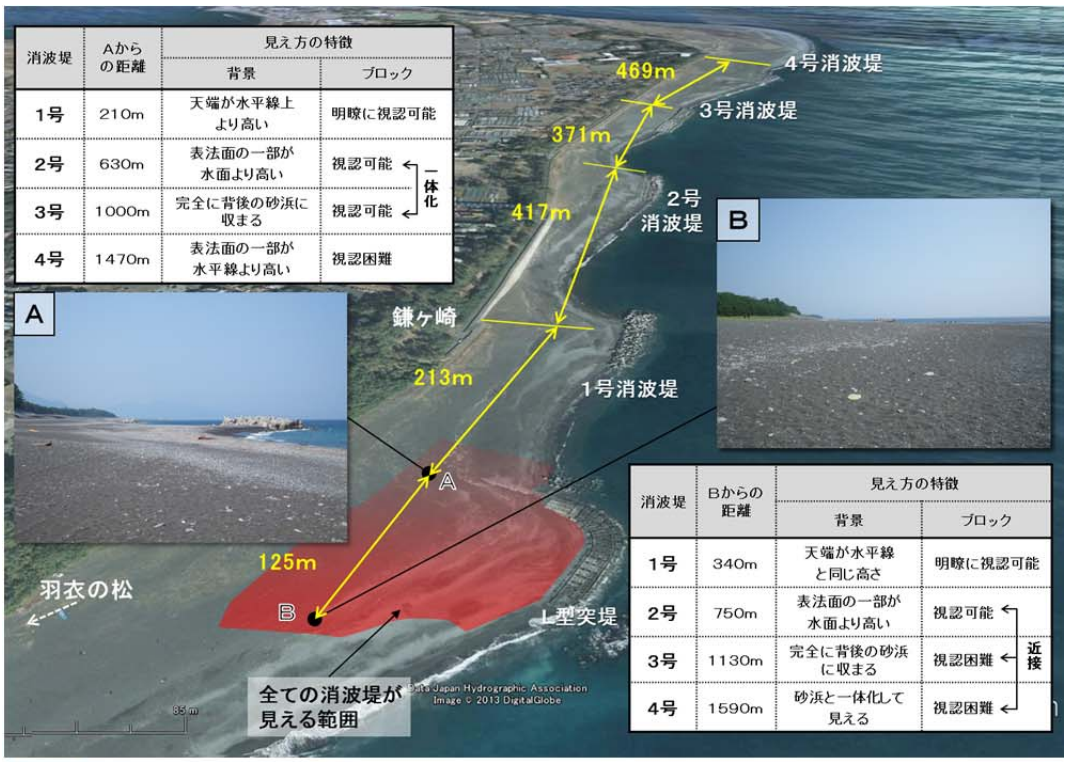
現状	施設と施設の間（開口部）でアカウミガメの上陸・産卵が確認されている。 台風などにより安倍川で大規模な出水があると、流木やゴミが砂浜に打ち上げられる。 砂浜が広い箇所にハマユウ・ハマヒルガオ、ハマゴウなどの海浜植物が自生している。

対応
可能な限り砂浜幅を確保する。
ウミガメの上陸に支障となる構造物の設置を極力抑える。
官民一体による海岸美化に取り組む

景　観

現状	羽衣の松付近から富士山を望むと、消波堤４基、突堤１基が視界に入り、特に１号消波堤の存在が際立っている。 砂浜背後には、海岸堤防が連続的に設置されている。 砂浜は施設により消失を免れているものの、幅は減少し、汀線は弧状となった。

対応
１号消波堤の景観改善を優先的に実施する。
可能な限り砂浜幅や汀線の形状を侵食以前の状態に近づける。
松原と砂浜の視覚的な連続性の確保を目指す。



消波堤	Aからの距離	見え方の特徴	
		背景	ブロック
1号	210m	天端が水平線上より高い	明瞭に視認可能
2号	630m	表法面の一部が水面より高い	視認可能 ← 一体化
3号	1000m	完全に背後の砂浜に収まる	視認可能 ← 一体化
4号	1470m	表法面の一部が水平線より高い	視認困難

消波堤	Bからの距離	見え方の特徴	
		背景	ブロック
1号	340m	天端が水平線と同じ高さ	明瞭に視認可能
2号	750m	表法面の一部が水面より高い	視認可能 ← 近接
3号	1130m	完全に背後の砂浜に収まる	視認困難 ← 近接
4号	1590m	砂浜と一体化して見える	視認困難 ← 近接

図-2.9　消波堤の見え方

これらの景観に関する現状と対応に基づいて、「景観改善の基本方針」として次の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と決定した。

2.3　短期・中期・長期の段階的な対策

短期対策から段階的に展開

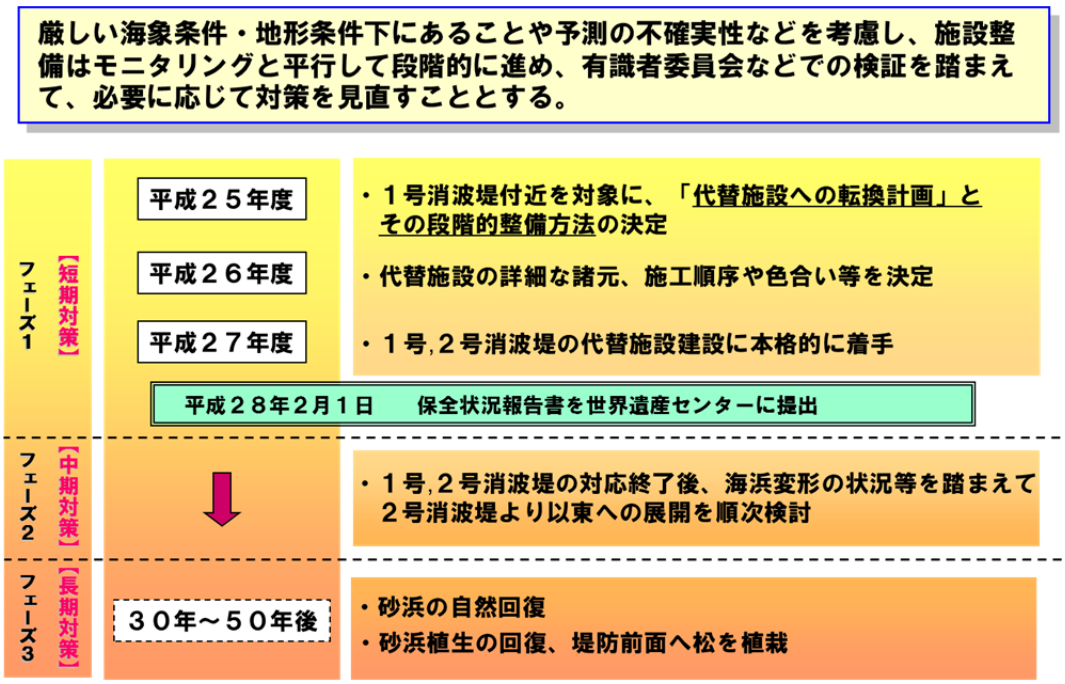
三保松原白砂青松保全技術会議では引き続き､「今後の海岸整備の基本理念」と「景観改善の基本方針」に基づき、とくに方針５を展開する形で、段階的な整備の内容が検討された。

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年後になると予測されている（図-2.10、表-2.4）。

図-2.10　段階的な対策

表-2.4　段階的な対策のタイムスケジュール



景観改善に関する対応方針

段階的な対策をベースとして、「景観改善に関する対応方針」が確立された、以下の５項目である。

①　目指すべき姿（長期対策）

安倍川から供給される土砂だけで砂浜が維持され、人工構造物のなかった侵食前の姿に回復させることが長期対策の目標である。静岡海岸側から進んでいる砂浜の回復ができるだけ早く三保松原の海岸に到達するよう、土砂の生産地である山地と土砂を流送する河川、そして土砂が移動する海岸を一つの流砂系として捉え、関係機関と連携して一体的な土砂管理に努めなければならない。

②　砂浜が回復するまでの措置（短期・中期対策）

長期対策を実現するまでには30～50年を要すると予測されている。そのため、1号、2号消波堤を含む区間を短期対策、3号、4号消波堤を含む区間を中期対策と位置づけ、1号消波堤の代替施設の建設を皮切りに海浜変化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していくこととする。

③　モニタリングと順応的な対応

短期・中期対策は、最近15年間の測量・波浪データと、最新の知見による予測に基づいて決定された。厳しい海象条件などを考慮すると、将来予測と実際の地形変化が完全に一致することは難しい。また、地球規模の気候変動や台風の大型化など、海岸を取り巻く気象環境の変化も予断を許さないものがあった。そのため、定期的な監視体制を整備し、将来予測との相違点についてモニタリ

ングを継続し、必要に応じて対策の修正を行う順応的な対応を行うことが重要である。ユネスコ世界遺産委員会からは景観の経過観察指標を強化するよう勧告されており、モニタリングにはその観点も含まれる。

④　三保松原に関わる機関の連携

長期対策の一部である土砂管理に関しては、2013年に策定された「安倍川総合土砂管理計画」に基づいて、山地・河川・海岸のそれぞれの管理者が共通意識をもって対策に努めなければならない。とくに養浜に関しては、必要な量を途切れることなく確保するために、関係機関の協力が必要である。

また、海岸防護などのハード整備に止まらず、松原の保全、背後の土地利用といった町づくりが一体となった取組が不可欠であり、そのためには市民や関係者の理解を得るために情報発信に努めるとともに、関係する機関、団体、住民などと情報を共有しながら、より効果的な取組を展開することが重要である。

⑤　文化財（名勝）全体としての価値向上への寄与

三保松原の景観が有する観賞上の価値は、海と砂浜だけではなく、松林や神社など様々な要素によって構成されている。特に「青松」と呼ばれる松林の樹叢は景観構成上、極めて重要な意味を持つが、松くい虫などによる松枯れ被害が進行するなど解決すべき課題は多い。そのため、世界文化遺産の区域および名勝の指定地に止まらず、その周辺環境を含めて、保存管理計画の下に関係者が一体となって、「松林の保全」「道路や関係施設など周辺地域の良好な景観形成」「来訪者対応」「適切な情報提供」などの諸施策を実施し、景観が持つ観賞上の価値の維持・向上に取り組むことが望まれる。

基本理念、基本方針、対応方針など大局的な方向性を確立した技術会議は、これによって次のステップへ進むことになる。短期対策の具体的な検討である。

第 3 章
短期対策工法の検討と選択

3.1　一般的な対策工法からの絞り込み

一般的な対策工法の提示

大局的な方向性を確立した三保松原白砂青松保全技術会議では、同会議の主要タスクとなる短期対策の具体的な検討を本格的に開始した。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である。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）。

まず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（表-3.1）。これらはすべて堤防だけによる線的防護方式ではなく、従来清水海岸で実施されてきた、消波施設や砂浜などに消波効果を担わせる面的防護方式であった（図-3.2）。

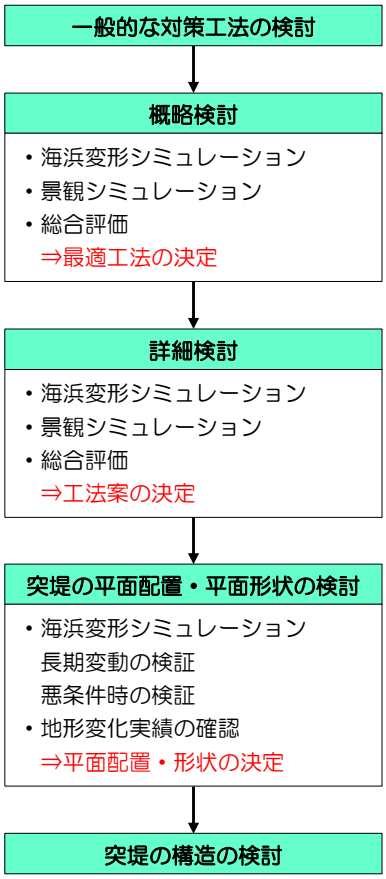


図-3.1　代替工法の検討フロー

【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
「既設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

No	消波堤	新規対策	概　要
①	存置	修景のみ （擬岩ﾌﾞﾛｯｸ等）	岩を模したブロックを用いる、人工の岩山を構築するなどの方法で、現在の消波堤と同様の機能を確保する。
②	切下げ	養浜 施設整備	現消波堤の高さを切下げ、別の工法もしくは養浜（または両方）を組み合わせて、侵食の増大に対応する。
③	撤去	養浜	現消波堤を撤去し、増加する侵食相当分を、養浜で補い砂浜幅を確保する。
④	撤去	離岸堤型 ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ	沖合いに離岸堤を広い間隔で設置することで岬状の地形を形成し、岬間の海浜を安定させる。
⑤	撤去	新型（有脚式） 離岸堤	コンクリート製の消波構造体を海底から立ち上げた鋼管の上に搭載したもので離岸堤と同様の機能を有する。
⑥	撤去	潜堤 （人工リーフ）	水面下に人工の「珊瑚礁（リーフ）」をコンクリートブロック等で構築し、浅瀬において波が砕ける性質を利用して海浜に作用する波の力を低減する。
⑦	撤去	突堤（I 型）	低天端の縦堤を陸側から沖合いに向って設置し、沿岸方向に移動する漂砂を捕捉する。
⑧	撤去	突堤（L型）	低天端で堤長の短い縦堤を陸側から沖合い、横堤（L字型）を汀線に平行に設置し、沿岸方向に移動する漂砂を捕捉する。

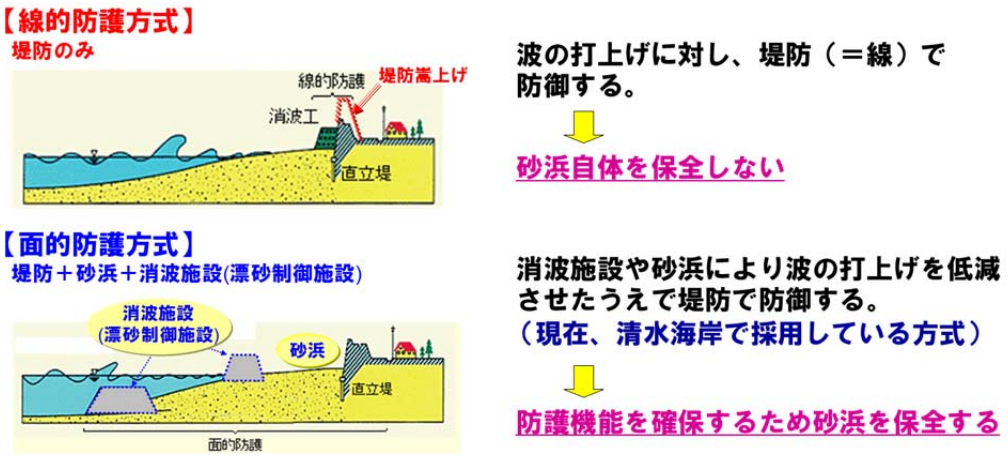


図-3.2　海岸の防護方式

以下、各工法の概要と特徴、技術会議委員の意見などを簡単にまとめておく（図-3.3～図-3.10、表-3.2）。

①　修景のみ（擬岩ブロック等）

消波堤を残し、岩を模したブロックや人工の岩山を構築するなど修景を施す方法。現消波堤と同程度の消波性能・安定性があるかどうか検証実験する必要があり、またブロックの製作にも時間を要する。景観的には消波堤と同様の「小丘」（イコモスの指摘）が残存することになる。委員からは、暫定措置としては一定の理解を示す意見もあったが、「世界遺産条約履行のための作業指針に偽物はだめであることが記されており、新しい景観を自由に創造してよいというわけではない」という指摘があった。案としては棄却するが、考え方は各案に内包させるという方針になった（図-3.3）。

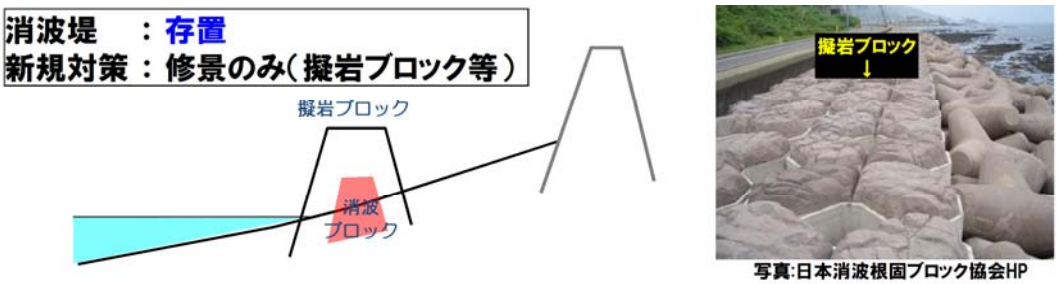


図-3.3　①修景のみ（擬岩ブロックなど）

② 消波堤切り下げ　養浜　施設整備

現在の消波堤の高さを切り下げて、別の工法あるいは養浜（または両方）を組み合わせる方法。当然、必要養浜量が増大する。「小丘」は残るが、低くなることで印象は多少とも弱まる。委員からは「1号消波堤の高さを切り下げるとともに、1)位置を北側に移動させる、2)2号消波堤との開口部を狭くし、かつ海岸線と平行方向に潜堤や小規模の潜突堤（岸沖方向）を入れるなど複合的な対策を行う、3)ノコギリ型の汀線を解消するために、1号、2号消波堤を少し低めに伸ばしていく」などの案が出された（図-3.4）。

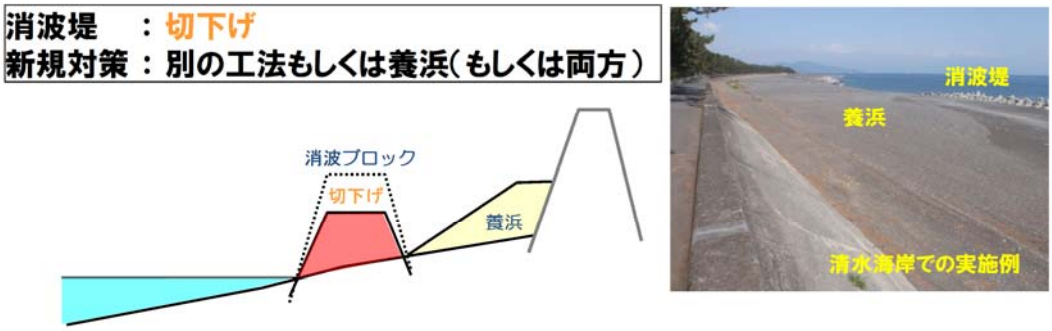


図-3.4　②消波堤切り下げ　養浜　施設整備

③ 養浜のみ

消波堤を撤去して、増加する侵食相当分を養浜量の増加で対応する方法。この方法だと砂浜だけの景観となり、汀線も滑らかになるが、必要養浜量が膨大となり、土砂の流出量も多くなるので頻繁に養浜作業を実施する必要がある。委員からは「厳しい地形条件のなか、消波堤を撤去するのは乱暴である、養浜材（養浜に用いる土砂）の無駄使いである」という指摘があった。考え方は各案生かして、各案と組み合わせるという方針となった（図-3.5）。

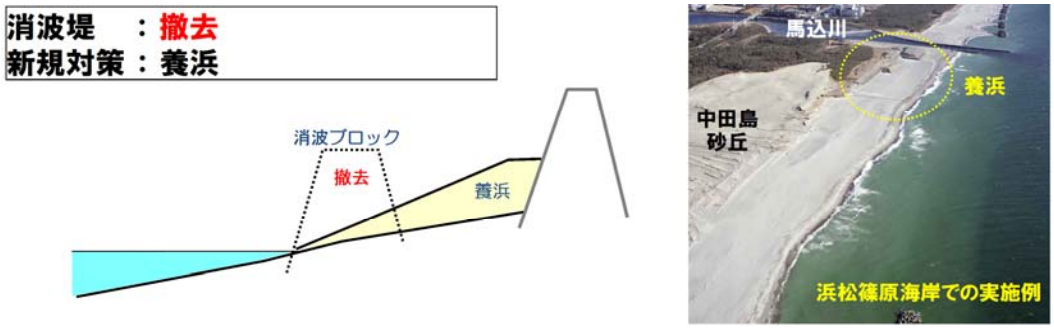


図-3.5　③養浜のみ

④　離岸堤型ヘッドランド

消波堤を撤去して、沖合に離岸堤を広い間隔で設置することで岬状の地形を形成し、海浜を安定させる方法。「小丘」の位置が汀線から沖合に移動し、人工的な岬形成によって汀線の凹凸は大きくなる。地形変動の激しい急斜面に設置することになるので､ブロックの安定性を確保するのが困難である(図-3.6)。

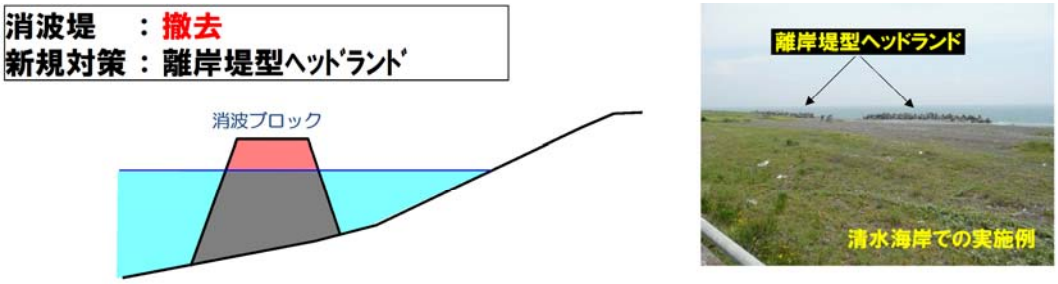


図-3.6　④離岸堤型ヘッドランド

⑤　新型（有脚式）離岸堤

消波堤を撤去して、海底から立ち上げた鋼管杭の上に消波構造体を搭載する方法で、離岸堤と同じ機能を有する。施設が沖合に移動して、連続的に並ぶ印象を与え、汀線はゆるやかな凹凸となる。鋼管杭による支持構造により、従来型の離岸堤に比べて急勾配地形でも構造体の沈下は少ないが、地形変動が激しい地点では鋼管杭の損傷などが起こりやすい。建設コストは従来型(④の構造)よりも高い（図-3.7）。

（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（第６章）、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。）

図-3.7　⑤新型（有脚式）離岸堤

⑥　人工リーフ（潜堤）

消波堤を撤去して、海面下に人工的なリーフ（礁）を構築し、浅瀬では波が砕ける性質を利用して海浜に作用する波の力を弱める方法である。砂浜だけの景観となり、汀線はゆるやかな凹凸となる。消波堤に比べて大きな構造を必要とし、とくに急勾配地形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であるため､安定性の確保が難しい。委員も「建設コストが高くなること、急勾配地形で設置が難しいこと、敷幅（天端幅）が広くなりすぎて現実的ではないこと」を指摘している（図-3.8）。

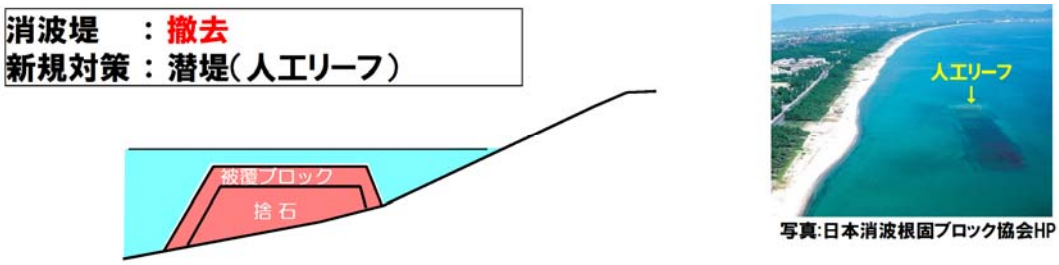


図-3.8　⑥人工リーフ（潜堤）

⑦　Ｉ型突堤

消波堤を撤去して、高さの低い（低天端の）縦堤を陸側から沖合に向かって設置し、沿岸方向に移動する漂砂を捕捉する方式である。低く平坦であるため見えにくくはなるが、先端部分は海面上に突き出ている。委員からも「汀線がノコギリ状になる」と指摘を受けたように、汀線は不連続となる。低天端であるため漂砂を捕捉する力が弱く、沖合に突出しているため安定性の確保が難しい（図-3.9）。

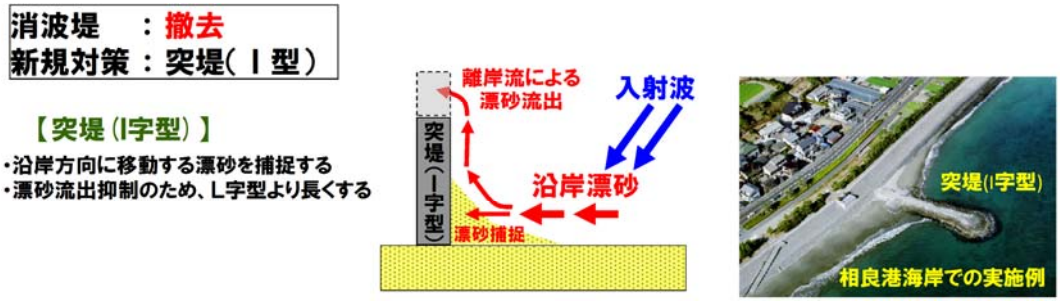


図-3.9　⑦Ｉ型突堤

⑧　Ｌ型突堤

高さの低い（低天端の）堤長の短い縦堤を陸側から沖合へ、横堤を汀線に平行に設置し、沿岸方向に移動する漂砂を捕捉する方式である。高さが低く、全体に平坦であり、Ｌ型突堤の内側に土砂が溜って見えにくくなる。汀線は不連続になる。地形変化が激しい地点への設置は沈下などが生じやすい。また、漂砂を捕捉する力が強く、下手側への配慮が必要になる。委員は「天端が低くあまり目立たないうえに、突堤上に砂がかぶされば構造物は隠れるというような、自然の力を利用した工法になっており、現にうまくいっているもの（現Ｌ型突堤）はなぜよいのかを分析することが必要である」と助言している（図-3.10）。

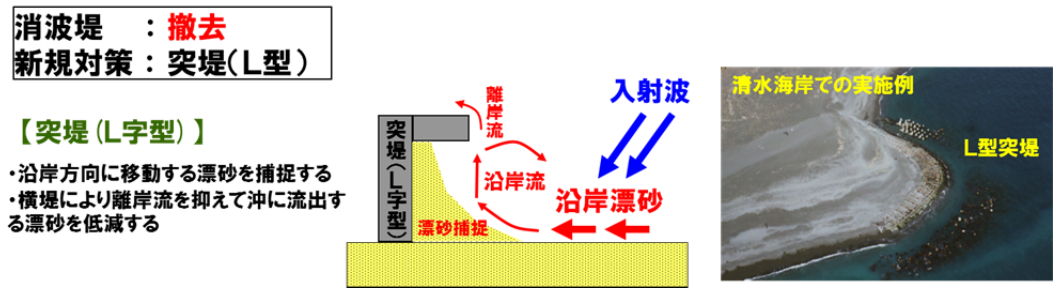


図-3.10　⑧Ｌ型突堤

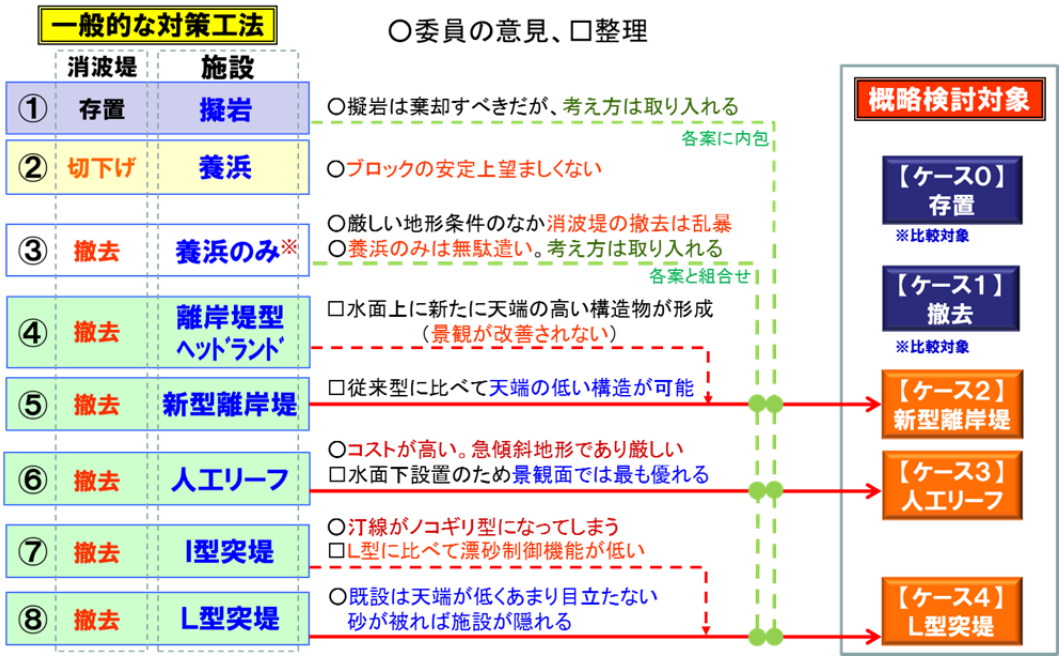
表-3.2　一般的な対策工法の課題と景観のまとめ

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 （擬岩ﾌﾞﾛｯｸ等）	現消波ﾌﾞ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無い。 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 ﾍｯﾄﾞﾗﾝﾄﾞ	地形変動が激しい急斜面への設置となり、ﾌﾞ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堤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、構造物は連続的する印象となる。 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(I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ため、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。

概略検討に進める対策工法を選定

提示された一般的な対策工法から、委員の意見やその他の条件を踏まえて3工法が選定され、次のステップに進むことになった。概略検討の検討対象に選ばれたのは、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-3.3）。

表-3.3　一般的な対策工法の整理と検討ケースの設定



なお、消波堤を撤去して養浜のみとする案（③）は、次のような考え方によって検討ケースから除外された。

漂砂制御施設が存在しないため、異常波浪時の海浜砂の流出が多くなり、一時的に極めて危険な状況に陥る可能性がある。このようなリスクを回避するためには海岸侵食前の安定した海岸を回復する必要がある。養浜のみで侵食前の海岸線を仮に5年間で回復しようとすると、年間35.5万㎥の膨大な養浜量が必要となるが、養浜材の確保が困難であり、施工期間が著しく長期化し、騒音・環境・景観面で問題が発生する。そのため、現実的には困難であると判断された（図-3.11）。

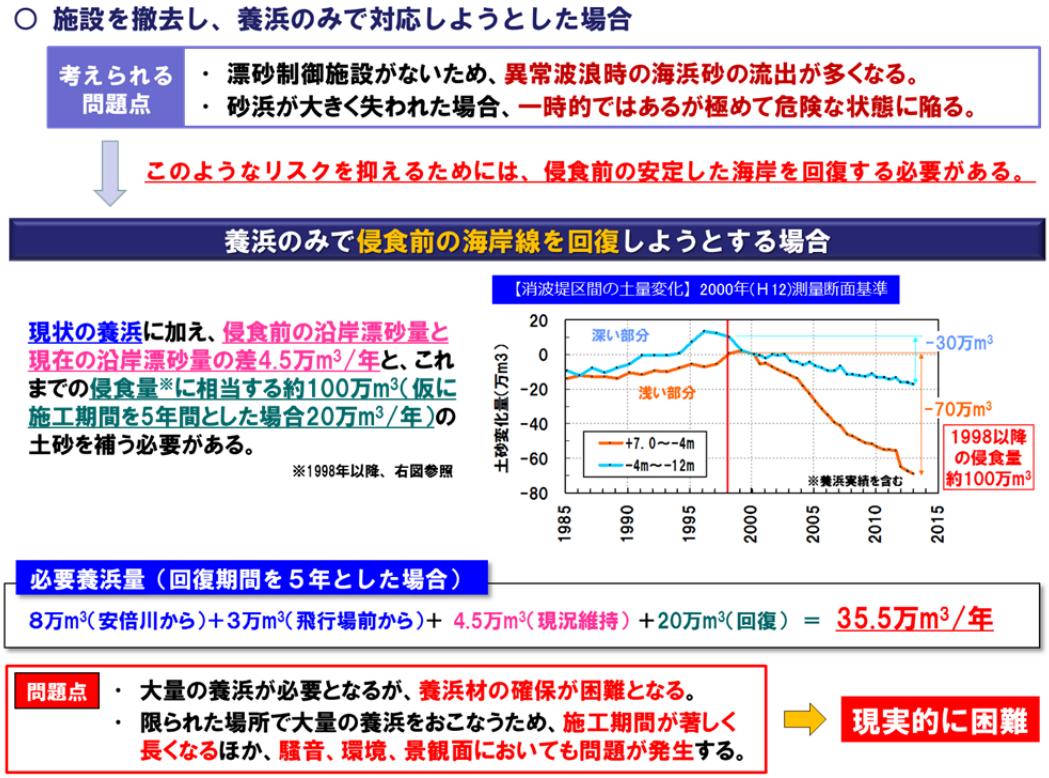


図-3.11　養浜のみによる対策について

3.2　海浜変形シミュレーションによる防護機能の比較検討

概略検討のファーストステップとして

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（図-3.12）。

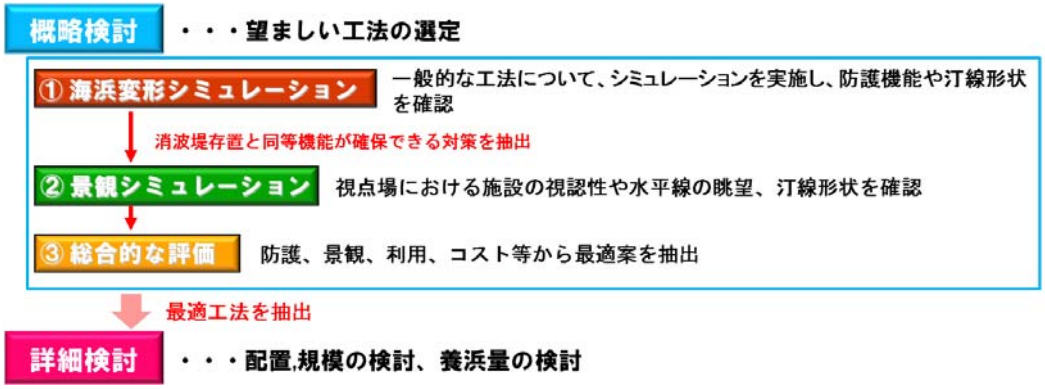


図-3.12　概略検討の流れ

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対象は、新型離岸堤、人工リーフ、Ｌ型突堤と比較対象としての消波堤存置（そのまま残して他の施設を設置しない）、消波堤撤去（撤去して他の施設を設置しない）である（表-3.4）。

それぞれの施設規模は表-3.4のとおりであるが、堤長は現在の消波堤とほぼ同じにするなど現消波堤に準じた規模とし、設置配置も消波堤の位置と設定した（ただし、人工リーフは施設規模の異なる2条件で行ったことは後述する）。また、養浜に関しても現在の養浜量である年間3万m^3を継続する形とした。

海浜変形シミュレーションを実施するために、消波堤区間周辺の地形変化の実態を踏まえ、Ｌ型突堤～三保飛行場周辺を対象とした等深線変化モデル（海浜変形シミュレーションモデル）を新たに構築し、感度分析（問題を取りまく環境条件の変化に対して結果がどのように変化するかを調べる方法）的な予測

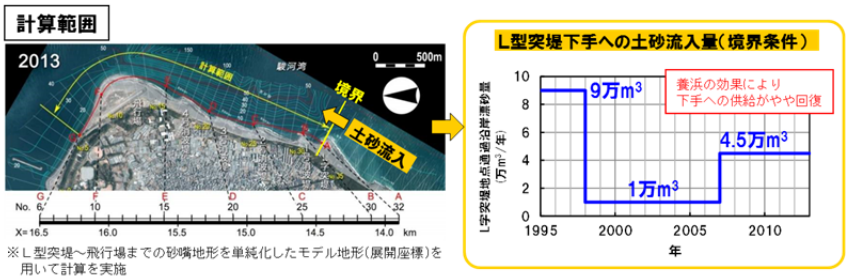
表-3.4　海浜変形シミュレーションの検討ケース

ケース	消波堤	養浜量	施設整備	備考（施設規模）
0	存置	3万m³/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

計算を行った。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。計算条件は表-3.5のとおりであるが、波の条件としてこれまでの静岡・清水海岸での予測計算実績において地形変化の再現性が高かった沖波波高（はこう）3mを設定している。

表-3.5　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）	 ※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

まずモデルの妥当性を証明するための検証計算を行った。対象地域の1998（平成10）年から2013（平成25）年現在までのデータに基づいて現在までのシミュレーションを行い、2013年の計算値と実測値との比較検討を行ったのである。検証計算結果はL型突堤から4号消波堤までの短期対策区間では、おおむね良好な再現性を示した（図-3.13）。

これによってモデルの妥当性が確認されたことから、各ケースの20年後のシミュレーションを行った。

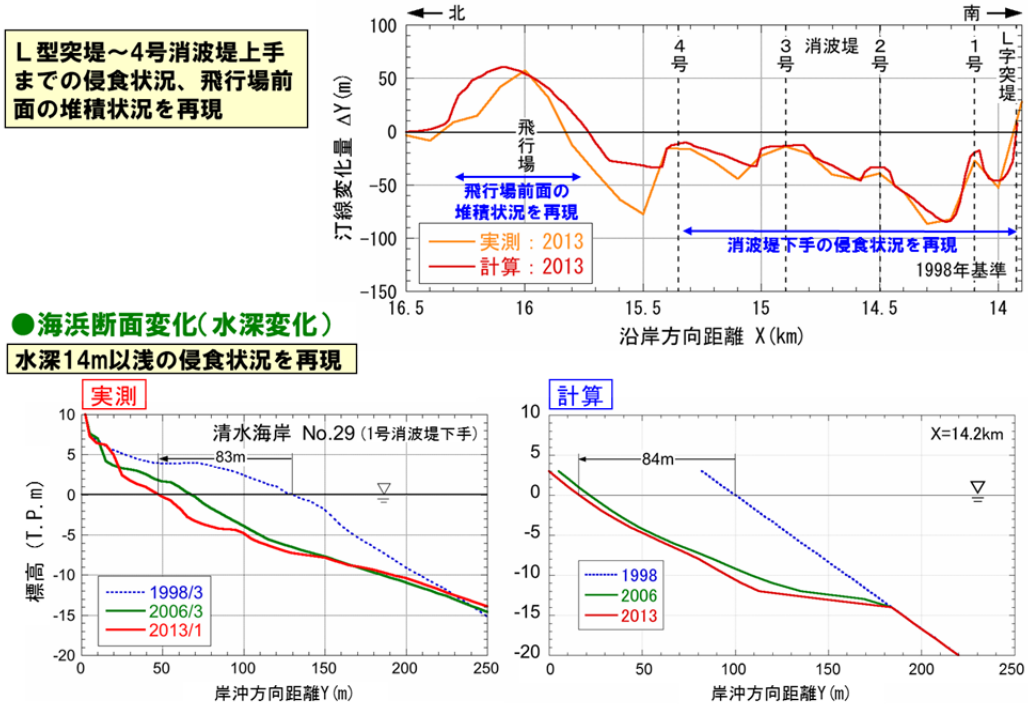


図-3.13　海浜変形シミュレーションの検証計算結果

20年後の汀線位置をシミュレーション

海浜変形シミュレーションは、前述のとおり消波堤存置、消波堤撤去、新型離岸堤、人工リーフ、L型突堤の5つの検討ケースで行う予定であったが、人工リーフは当初設定の天端幅20mの小規模な施設では消波堤撤去と近似した結果となったため、人工リーフを各消波堤間にも増設（計7基）して再計算した。その結果、検討ケースは全部で6ケースとなった。

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。

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。

① ケース0：消波堤存置

3号消波堤、4号消波堤の下手で若干侵食が進むものの、おおむね現状の汀線が維持できるという結果が示された。1号消波堤下手では現状においても防護上必要な砂浜幅（80m）を割り込んでいるが、それはほぼそのままの形で残り、新たに3号消波堤下手で必要砂浜幅を割り込むと予測された。汀線形状はほぼ現在と同じで、凹凸型を呈している（図-3.14）。

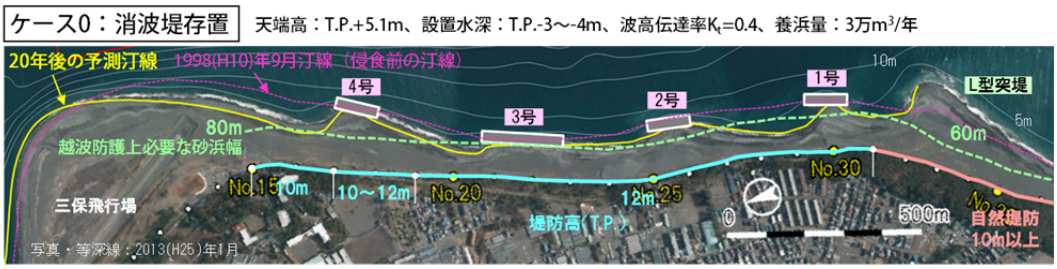


図-3.14　ケース 0：消波堤存置のシミュレーション結果

② ケース1：消波堤撤去

ほぼ全体に汀線が後退し、必要砂浜幅を割り込んでいる箇所も多いが、L型突堤から現1号消波堤の背後の侵食が著しい。この区間ではほぼ砂浜が消失しているところもある（図-3.15）。

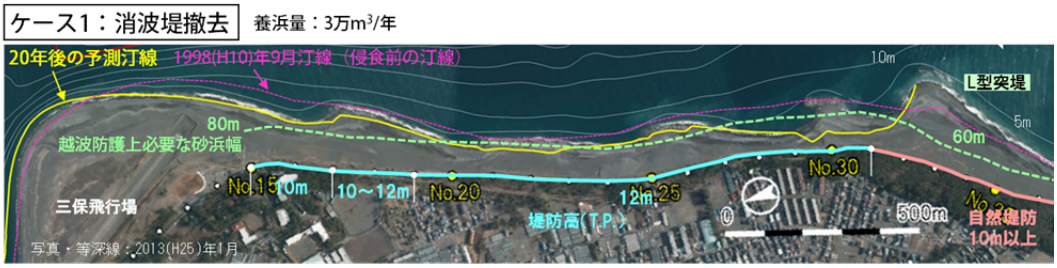


図-3.15　ケース 1：消波堤撤去のシミュレーション結果

③ ケース2：新型離岸堤

1号堤から3号堤の間で砂浜を大きく前進させる。この区間で漂砂の捕捉が多量になるため、3号堤、4号堤の下手で侵食が進行し、必要砂浜幅を割り込む箇所も発生する。汀線に関しては1号堤～3号堤は現状よりややなめらかになるが、3号堤より下手は凹凸が大きくなる（図-3.16）。

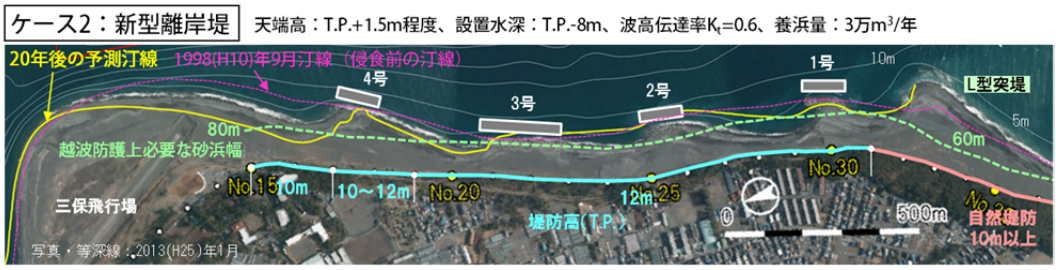


図-3.16　ケース 2：新型離岸堤のシミュレーション結果

④　ケース3：人工リーフ（4基）

Ｌ型突堤から1号堤の背後で侵食が著しく、必要砂浜幅は全体にわたって割り込む箇所が多いなど、消波堤撤去とほぼ同等の結果を示した。1号堤から3号堤間で若干の堆積は見られるが、3号堤より下手は侵食が進行する。汀線は現状より凹凸が減って、滑らかになる（図-3.17）。

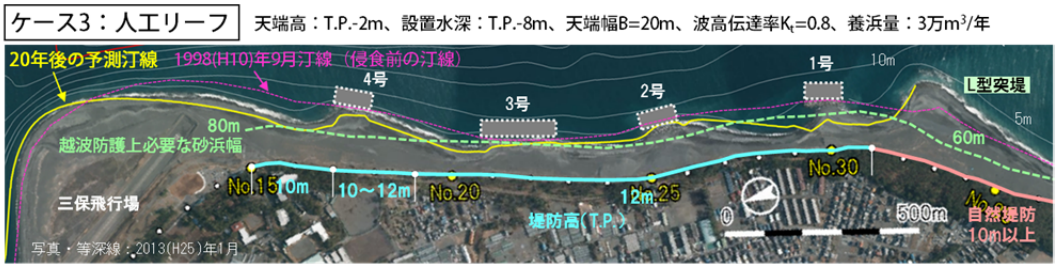


図-3.17　ケース３：人工リーフ（４基）のシミュレーション結果

⑤　ケース3’：人工リーフ（7基）

人工リーフを3基増設しても、汀線は若干前進するものの、Ｌ型突堤から現1号消波堤の背後で侵食は著しいままで、全体としては4基の場合と大きな差は生じなかった（図-3.18）。

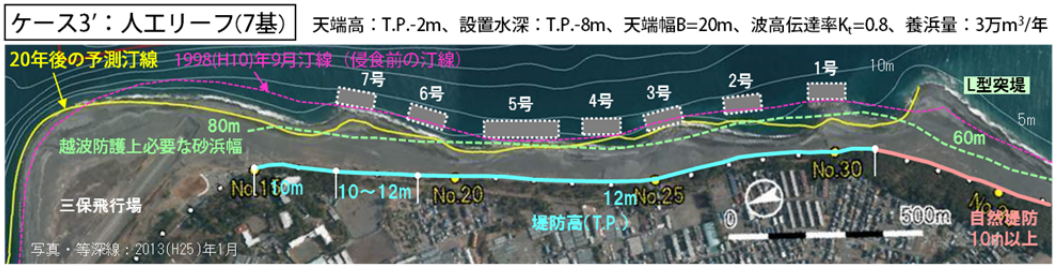


図-3.18　ケース３’：人工リーフ（７基）のシミュレーション結果

⑥　ケース4：Ｌ型突堤

1号堤から3号堤の間で若干土砂が堆積し、3号堤、4号堤の下手で侵食が進行するものの、ほぼ現在の状態に近いという、消波堤存置（ケース0）に近い結果が示された。1号堤、3号堤の下手で、必要砂浜幅を割るのも消波堤存置と同様である。汀線は現状とあまり変わらないが、施設によって不連続が生じる（図-3.19）。

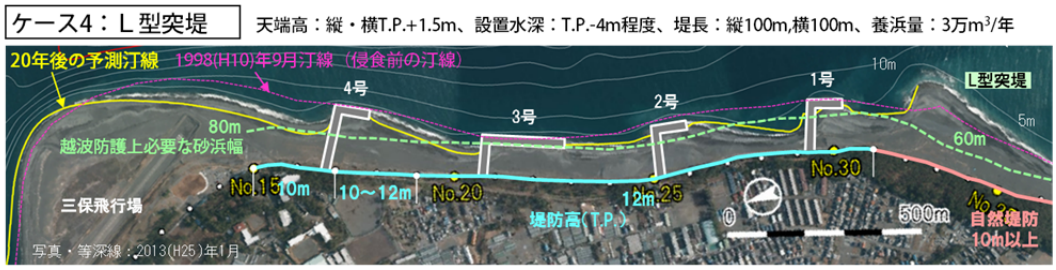


図-3.19　ケース４：Ｌ型突堤のシミュレーション結果

このシミュレーション結果を汀線の変化量で検証した。まず消波堤存置（ケース0）と消波堤撤去（ケース1）によって消波堤の有無を比較した。消波堤撤去では、1号消波堤周辺で汀線が著しく後退するほか、1号消波堤から4号消波堤にかけて侵食が進むことが確認できる（図-3.20）。各施設案の比較では、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-3.21）。

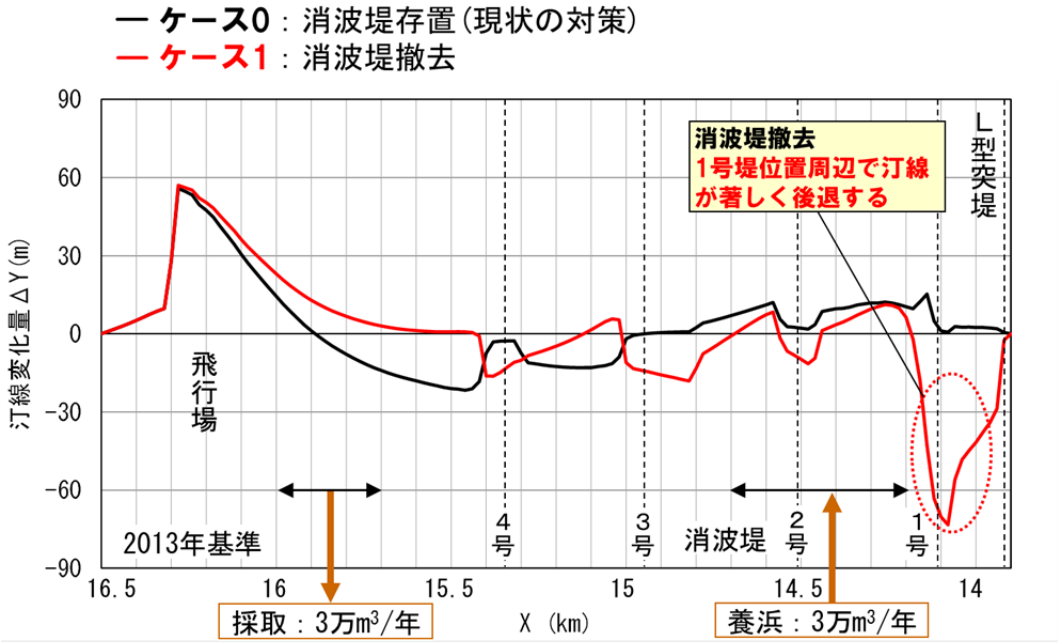


図-3.20　20 年後の汀線変化量（2013 年基準）　消波堤有無の比較

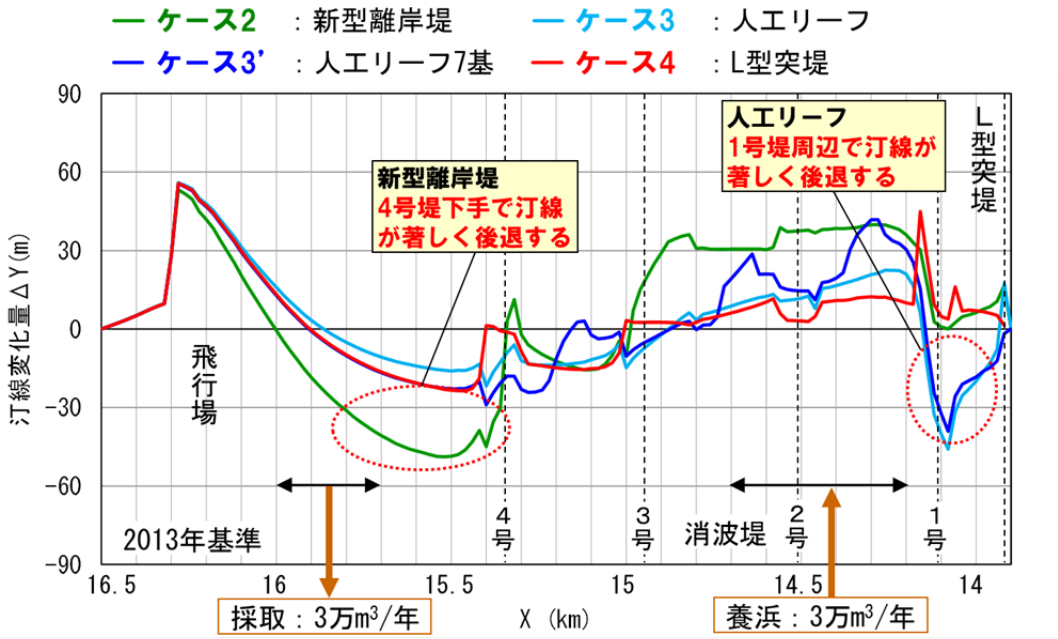


図-3.21　20 年後の汀線変化量（2013 年基準）　各施設案の比較

表-3.6は海浜変形シミュレーションの結果をまとめたものである。この結果に基づいて、概略検討の次のステップである景観シミュレーションを実施した。

表-3.6　海浜変形シミュレーションのまとめ

ケース	消波堤	施設整備 (養浜量3万m³/年)	シミュレーション結果(20年後)	
			砂浜幅	汀線形状
0	存置	無し	1号～3号間は概ね現地形を維持 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	現状と同じ凹凸型の汀線 (1-2号間はやや改善)
1	撤去	無し	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	―
2	撤去	新型離岸堤	1号～3号間で堆積 4号下手の侵食が著しい 砂浜の変化が大きい 3号・4号下手で必要浜幅を割る	現状に比べて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
3	撤去	人工リーフ	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	現状より凹凸がなめらかになる
3'	撤去	人工リーフ 7基	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	現状より凹凸がなめらかになる
4	撤去	L型突堤	1号～3号間で堆積 3・4号下手で侵食が進行 消波堤存置に近い 1号・3号下手で必要浜幅を割る	現状と大きく変わらないが、施設により不連続が生じる

3.3　フォトモンタージュによる景観シミュレーション

景観シミュレーションのプロセス

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。これにはフォトモンタージュという手法が利用された。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手法で、美術の１ジャンルにもなっているが、現在では景観シミュレーションなど多方面に活用されている。

景観シミュレーションは、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、次のようなプロセスで行った（図-3.22）。

① 各エリアの選定

② 視点場の選定

③ ベースとなる写真撮影

④ 設置直後と20年後のフォトモンタージュを作成

⑤ 施設のスケール感、汀線の形状を確認

まずどのエリアから富士山を含む景観を眺めるかが検討され、多くの観光客や地元住民が富士山を望む代表的な眺望エリアである羽衣の松前面、鎌ヶ崎、三保灯台前の3エリアが選定された。

羽衣の松前面は、大半の観光客が松原越しに富士山を眺めるエリアであり、イコモスの改善勧告はここからの景観を対象としている。鎌ヶ崎は観光客にとどまらず地元住民が好むエリアであり、伝統的にここからの眺望が絵画に描かれた例が多い。三保灯台前も観光客に加えて地元住民が富士山を眺めるエリア

図-3.22　景観シミュレーションの検討プロセス

であるが、施設を反対側から眺める検証地点となる。ただし、1号、2号消波堤はここからは見えないので、今回のシミュレーションには含めず、中期対策検討時に改めて評価することにした。

次にそれぞれのエリアのどの地点（視点場）から眺めるかが検討された。そのピンポイントからの眺めをベースにしてフォトモンタージュを作成するのである。

羽衣の松前面では消波堤の見え方によってエリアを5つに分け、砂浜上にAからGまでの8地点を設定。このうち1～4号のすべての消波堤が見えるエリアのF地点（羽衣F）、G地点（羽衣G）、1、3、4号消波堤が見えるエリアのD地点（羽衣D）を視点場として選定した（図-3.23）。羽衣Fと羽衣Dは大半の観光客が富士山を眺める地点であり、羽衣GはＬ型突堤の先端にある。

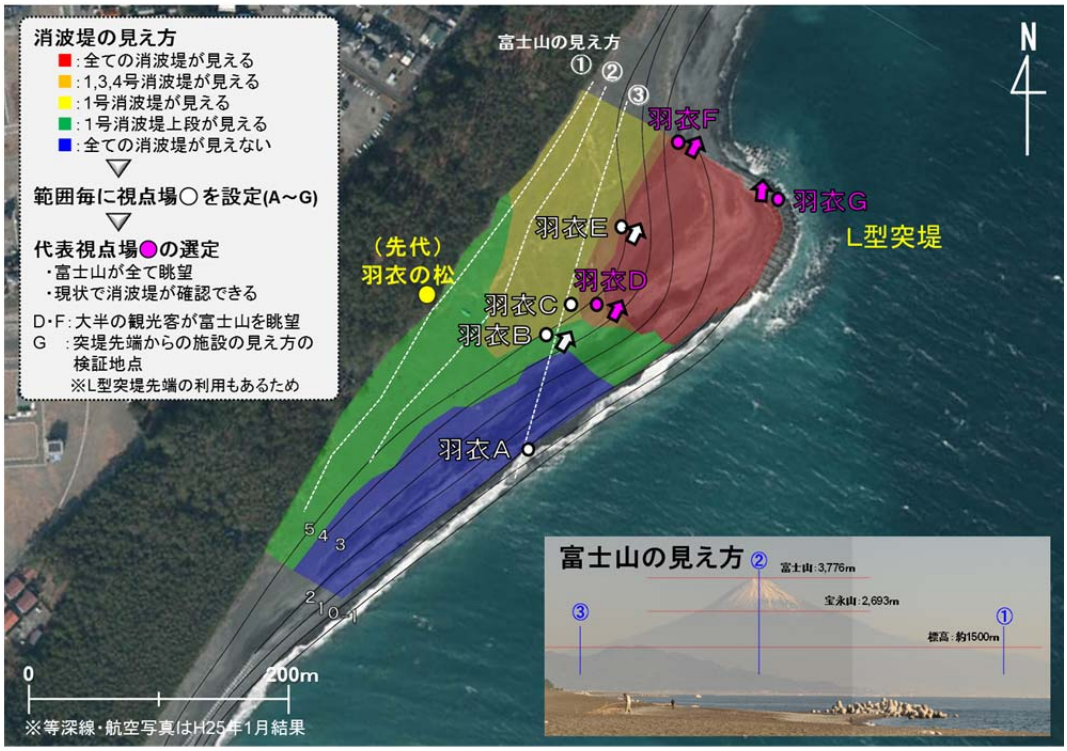


図-3.23　羽衣の松前面における視点場設定

鎌ヶ崎は観光客や地元住民が富士山を眺望する自転車道上のB地点（鎌B）を視点場とし、施設を反対側から眺めるC地点（鎌C）はのちの詳細検討で評価することとした（図-3.24）。

以上によって、視点場は羽衣D、F、G、鎌Bの4地点に決定した。これらの地点でフォトモンタージュのベースとなる写真を撮影した。撮影の時間帯は大潮の干潮時を選び、カメラの焦点距離は人間の視野に近い35mmとした。

また、フォトモンタージュに用いる施設のイメージは、近隣の施工実績などを参考に決定した。人工リーフは海面下の施設のため見えないが、新型離岸堤は駿河・蒲原（かんばら）海岸の低天端タイプの有脚式離岸堤を、Ｌ型突堤は清水海岸の被

覆ブロック式を参考とした（図-3.25）。有脚式離岸堤は水深が深い海岸、急傾斜の海底でも設置することができる、海底地盤に基礎となる杭を打ち込む工法である。

20年後の景観は既述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-3.24　鎌ヶ崎における視点場設定

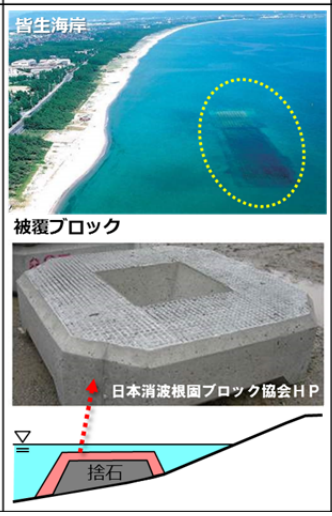
施設案	新型離岸堤	人工リーフ	L型突堤
	周辺実績による低天端高(T.P.+1.5m)タイプを採用した（駿河・蒲原海岸カルモス）	水面下に没する施設であるため、フォトモンタージュでは施設は見えない	清水海岸で実績のある被覆ブロック式（天端高T.P.+1.5m）を採用した
施設諸元	天端高：T.P.+1.5m 横堤長：100m(3号は200m) 天端幅：10m　設置水深：T.P.-8m	天端高　：T.P.-2m 横堤長　：100m(3号は200m) 天端幅　：20m　設置水深：T.P.-8m	天端高：T.P.+1.5m 横堤長：100m(3号は200m) 縦堤長：100m 天端幅：11m　設置水深：T.P.-4m
写真			

図-3.25　フォトモンタージュに用いる施設イメージ

景観シミュレーションによる見え方の比較

フォトモンタージュによる景観シミュレーションの結果を整理する。設置直後については、各視点場とも共通の傾向であった。新型離岸堤、L型突堤では、水平線の眺望は改善されるものの、新しい構造物は明瞭に視認された。人工リーフについては海面下の設置なので、景観は改善されている。以下、20年後の景観について視点場ごとに概観する。

① 羽衣D

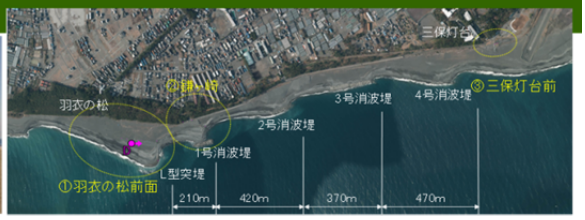
砂の堆積が進んだ結果、新型離岸堤は多少隠れる部分もあるが、明瞭に視認される。Ｌ型突堤はほとんどの部分が砂に覆われ、横堤の一部が認められる程度で、現状（消波堤）より改善されている。汀線については、新型離岸堤では現Ｌ型突堤～2号堤区間、Ｌ型突堤では現Ｌ型突堤～1号堤区間は直線状になるが、人工リーフでは現Ｌ型突堤～1号堤区間は凹凸形状を呈する（図-3.26）。

羽衣D

現況(H25.11)

消波堤の平均天端高

1号：T.P.+2.7m
2号：T.P.+2.1m
3号：T.P.+3.2m
4号：T.P.+2.1m



施設案	設置直後 →	20 年後
新型離岸堤 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	水平線の眺望は改善 海上に新たな構造物が明瞭に視認 	**構造物が明瞭に視認** **L 型～2 号間の汀線はほぼ直線状**
人工リーフ 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	構造物が海面下のため、改善 	**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**
L 型突堤 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	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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**

図-3.26　羽衣 D　景観シミュレーション

② 羽衣F

羽衣Dより施設に近づいたため、新型離岸堤はより明瞭に存在感をもって視認される。L型突堤は羽衣Dと同様に横堤の一部が認められる程度で、現状より改善されている。汀線については、新型離岸堤では現L型突堤～2号堤区間は緩やかな弧状になるが、人工リーフとL型突堤では現L型突堤～2号堤区間は緩やかな凹凸形状となる（図-3.27）。

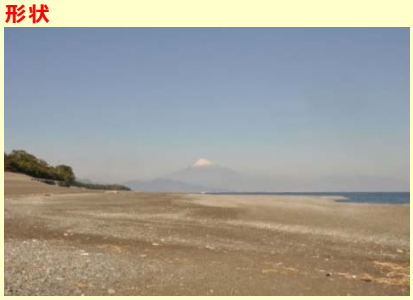
施設案	設置直後 →	20 年後
新型離岸堤 天端高:T.P.+1.5m 横堤長：100m (3 号は 200m) 天端幅：10m 設置水深：T.P.-8m	水平線の眺望は改善するが、海上に新たな構造物が明瞭に視認(存在感大) 	**構造物が明瞭に視認(存在感大)** **L 型～2 号間の汀線はゆるやかな弧状**
人工リーフ 天端高：T.P.-2m 横堤長　：100m (3 号は 200m) 天端幅：20m 設置水深：T.P.-8m	構造物が海面下のため、改善 	**構造物が海面下のため、改善** **L 型～2 号間の汀線はゆるやかな凹凸形状**
L 型突堤 天端高:T.P.+1.5m 横堤長：100m (3 号は 200m) 縦堤長：100m 天端幅：11m 設置水深：T.P.-4m	水平線の眺望は改善するが、新たな構造物が明瞭に視認(存在感大) 	**横堤の一部のみが視認（現状より改善）** **L 型～2 号間の汀線はゆるやかな凹凸形状** 

図-3.27　羽衣 F　景観シミュレーション

③　羽衣Ｇ

新しい施設に最も接近した場所のため、新型離岸堤は際立った存在感をもって視認される。Ｌ型突堤は横堤だけが明瞭に視認されるが、これは現状の消波堤と同程度の存在感である。汀線については新型離岸堤、人工リーフ、Ｌ型突堤ともに、1号～3号堤区間で弧状を呈している（図-3.28）。

施設案	設置直後 →	20 年後
新型離岸堤 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	海上に新たな構造物が 明瞭に視認(存在感大) 	**構造物が明瞭に視認(存在感大)**
人工リーフ 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	構造物が海面下のため、改善 	**構造物が海面下のため、改善**
L 型突堤 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	新たな構造物が明瞭に視認 	**縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認（現状と同程度）**

図-3.28　羽衣Ｇ　景観シミュレーション

④　鎌B

新型離岸堤は明瞭に視認されるが、Ｌ型突堤は横堤の一部だけ視認され、現状より改善されている。汀線は新型離岸堤、人工リーフ、Ｌ型突堤ともに、1号～3号堤区間で弧状を呈しているが、砂浜幅は新型離岸堤が最も広い（図-3.29）。

施設案	設置直後 →	20 年後
新型離岸堤 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	海上に新たな構造物が明瞭に視認 	**構造物が明瞭に視認** **1～3 号間の汀線はゆるやかな弧状**
人工リーフ 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	構造物が海面下ため、改善 	**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**
L 型突堤 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	新たな構造物が明瞭に視認 	**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**

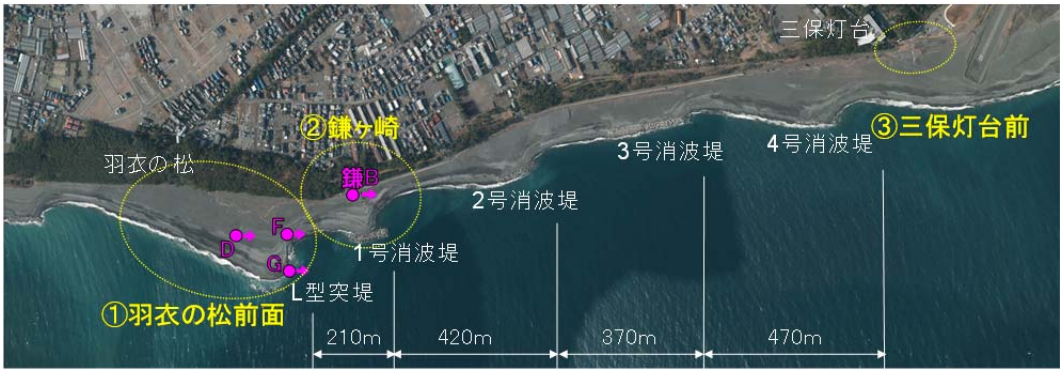
図-3.29　鎌 B　景観シミュレーション

以上の景観シミュレーションの結果を表-3.7にまとめた。

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が、砂浜自体が狭く見えるという課題があった。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。

表-3.7　景観シミュレーションのまとめ

		地点	新型離岸堤	人工リーフ	L型突堤
20年後	構造物	羽衣D	明瞭に視認	構造物が海面下のため、改善	横堤の一部のみが視認(現状より改善)
		羽衣F	明瞭に視認（存在感大）	〃	横堤の一部のみが視認(現状より改善)
		羽衣G	明瞭に視認（存在感大）	〃	横堤は明瞭に視認（現状と同程度）
		鎌B	明瞭に視認	〃	横堤の一部のみが視認（現状より改善）
	汀線形状	羽衣D	L型～2号間の汀線はほぼ直線状	L型～1号間の汀線は凹凸形状	L型～1号間の汀線は直線状
		羽衣F	L型～2号間の汀線はゆるやかな弧状	L型～2号間の汀線はゆるやかな凹凸形状	L型～2号間の汀線はゆるやかな凹凸形状
		羽衣G	－	－	－
		鎌B	1～3号間の汀線はゆるやかな弧状	1～3号間の汀線はゆるやかな弧状	1～3号間の汀線はゆるやかな弧状
設置直後	構造物	羽衣D	水平線の眺望は改善 海上に新たな構造物が明瞭に視認	構造物が海面下のため、改善	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認
		羽衣F			
		羽衣G			
		鎌B			
総合評価（20年後）			水平線の眺望は改善するが、各視点場から矩形の構造物が明瞭に視認される（×）	L型～1号間の汀線形状が改善されないが、水平線眺望と視認性は改善される（◎）	水平線の眺望は改善する。施設に近い視点場からは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は改善される（○）



3.4　概略検討の総合的な評価

最適工法としてＬ型突堤を選定

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、利用、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。

防護に関しては、海浜変形シミュレーションの結果のほかに、「異常時波浪」の評価要素を付け加えた。台風などによる高波浪時の一時的な砂浜の過度な減少はシミュレーションには含まれていないが、現実にはたびたび起こる現象である。その際、施設によって砕波（水深が浅くなり、波がくずれること）後の水の流れに変化が出る点に着目し、比較検討した。

現状は消波堤で波が砕波し、砂浜に向かう波の流れが弱められる。人工リーフではリーフ上で波が砕波し、岸へ向かう強い流れが生じる。とくに下手方向に発生する循環流によって砂浜が削り取られ、沖合への砂の流出が増加する可能性が高い（図-3.30）。新型離岸堤には消波堤と同様の消波効果があり、Ｌ型突堤では沖方向に砂を流失させる流れは生じにくい。

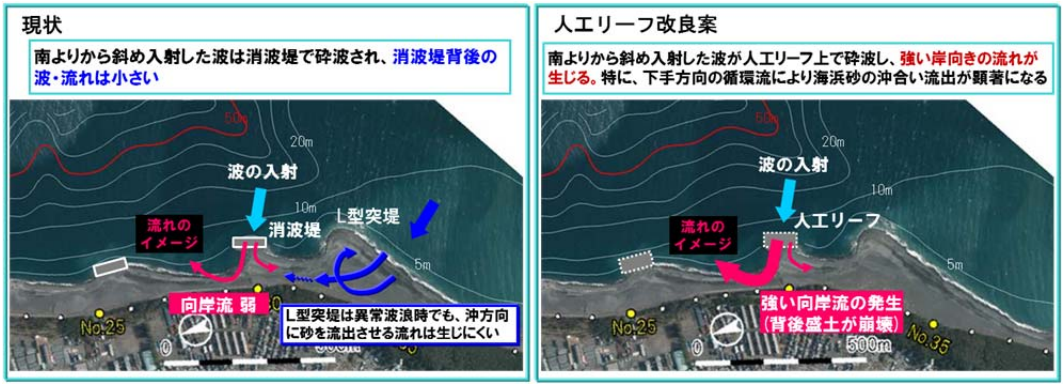


図-3.30　異常波浪時の砕波後の流れのイメージ

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・維持管理に関しては、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。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（第６章）、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）。

概算コストでも、この設置位置の違いが反映され、陸上施工が多いＬ型突堤は他の2案の6割程度のコストで建設可能である。

概略検討の総合的な評価を表-3.8にまとめたが、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。

表-3.8　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保 ○	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 ×	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保 異常時は汀線後退防止効果が期待できない △	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保 ○	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 ○

第４章
短期対策工法の詳細検討

４.１　複数のＬ型突堤案での海浜変形シミュレーション

詳細検討の検討ケースを設定

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、

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

と、概略検討と同じである。

詳細検討を行うに先立って、技術会議委員と清水海岸侵食対策検討委員会委員の学識経験者に個別で相談し、貴重なアドバイスを受けた。学識経験者から寄せられた主要な意見は以下のとおりである。

① 今後の海浜変形シミュレーションについて

・まずは消波堤区間全体での再現性を向上させ、詳細なシミュレーションを実施する（概略検討のシミュレーションモデルを改良）。
・Ｌ型突堤上手からの漂砂流入条件（4.5万㎥/年）は変えない。

② 養浜について

・養浜量は3万㎥/年よりも減らすことはない。三保飛行場前面からのサンドリサイクル量を増やしたい。
・Ｌ型突堤の先端水深を深く（縦堤を長く）しても、養浜量が少ないと砂浜が復元せず、意味がなくなってしまう。
・サンドリサイクルは飛行場に影響が及ばないよう注意する。影響が出ない採取量については以前に検討しているが、実際4号消波堤下手で侵食が生じており、最新の海底地形データで検討し直したほうがよい。

③ Ｌ型突堤の配置について

・施設の施工は現在の消波堤を残したまま実施する。
・現1～2号消波堤開口部（消波堤と消波堤の間）の真ん中まで離した施設設置は1号消波堤上手の防護上困難である。現在の消波堤の付近にしか設置

できない。

・現在の消波堤付近の地盤の堅固な箇所に設置するということになると、あまり選択の余地はない。視点場からの景観を考えると、施設の間隔はできるだけ広くしたほうがよい。

④　先端水深について

・現状を改善していくには、Ｌ型突堤は現在の消波堤より沖に出す必要がある。

・まずは先端水深T.P.（東京湾平均海面：全国の標高の基準となる海水面の高さ）-6mで検討する。T.P.-8mは構造的に難しそうである。

・詳細なシミュレーションを実施する前段階として、条件のポイントを絞ったシミュレーションを行い、その効果を検証しておくほうがよい。

これらの意見を踏まえて、詳細検討の条件と検討ケースを決定した。

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う（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。

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㎥/年、5万㎥/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

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m³/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m³/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m³/年（養浜量増量）	4m	
4	撤去		6m	

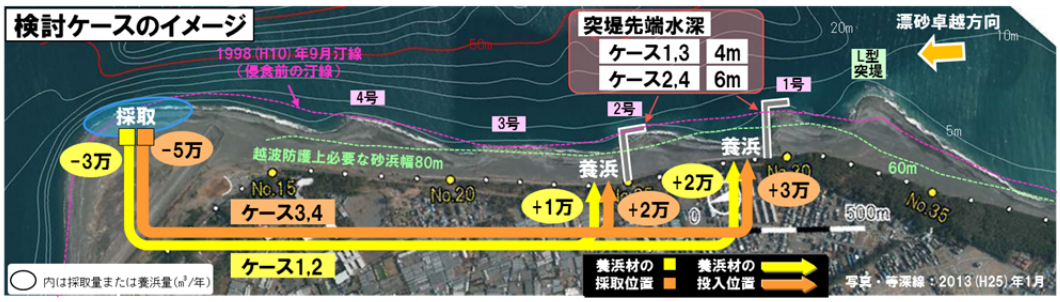


図-4.1　海浜変形シミュレーション（詳細検討）の検討ケース

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㎥/年の場合は1号消波堤下手に2万㎥/年、2号消波堤下手に1万㎥/年、5万㎥/年の場合は1号消波堤下手に3万㎥/年、2号消波堤下手に2万㎥/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（図-4.2）。

なお、三保飛行場前からのサンドリサイクル用の土砂採取は2010年度に20年間のシミュレーションを行い、その結果、5万㎥/年までは採取可能と判断されている（図-4.3）。

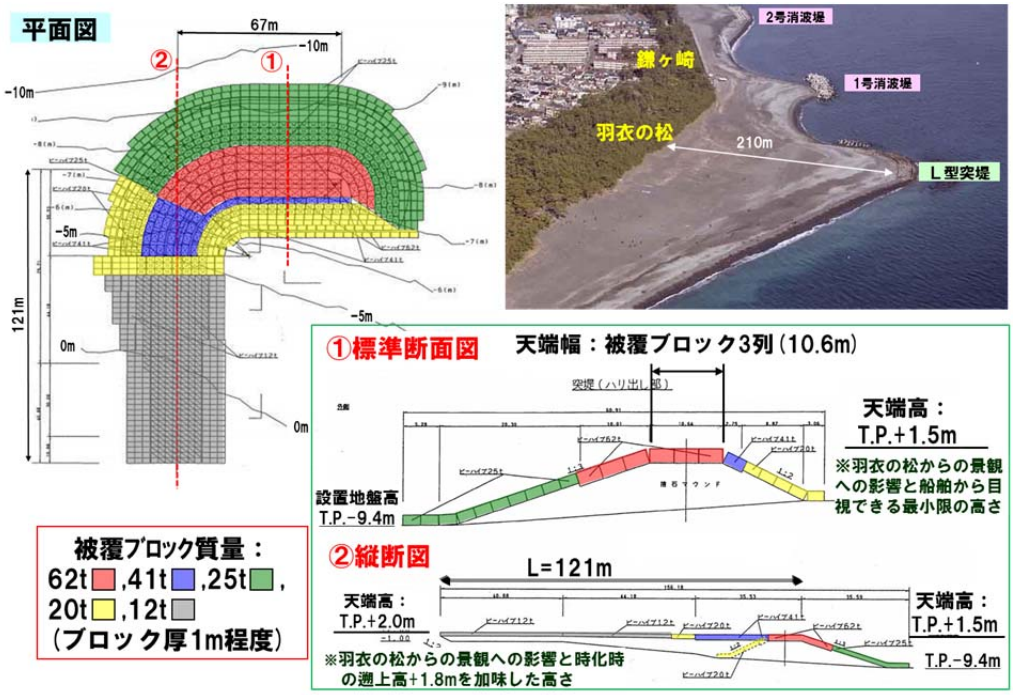


図-4.2　既設Ｌ型突堤の構造諸元

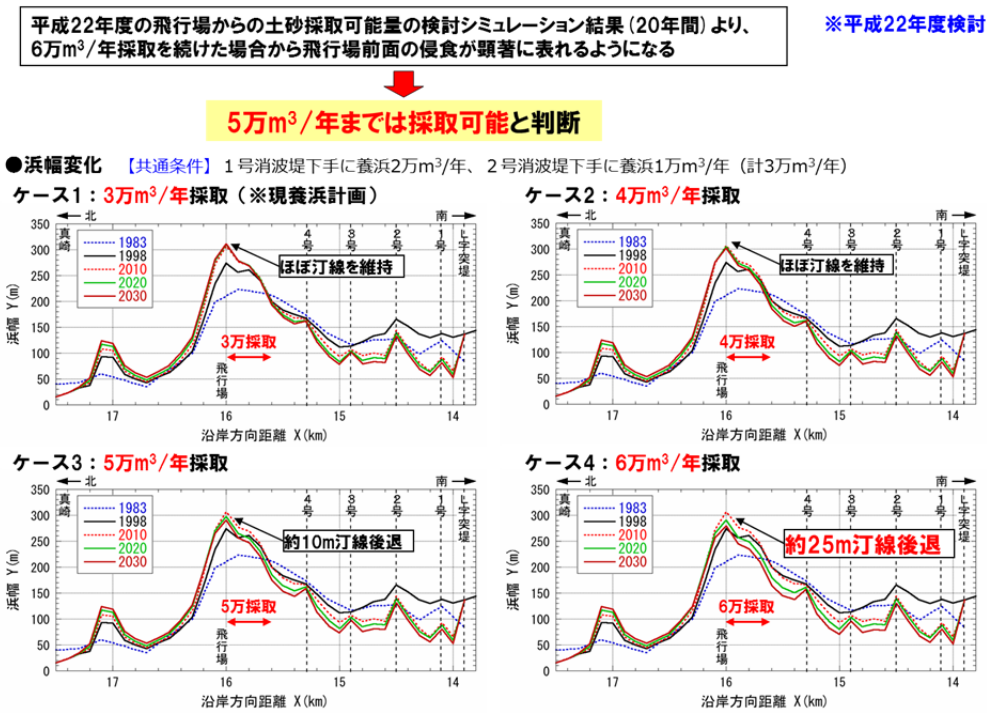
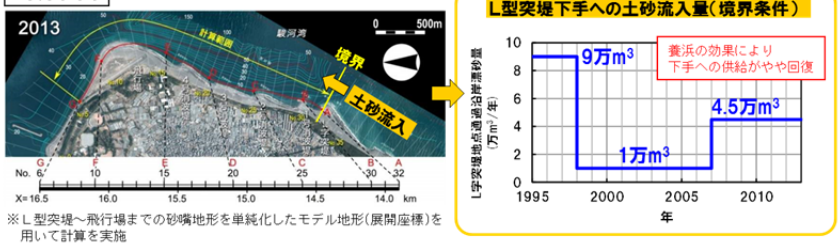


図-4.3　飛行場前からのサンドリサイクル量について

海浜変形シミュレーションの予測計算モデルは概略検討の際に用いたものと同じであるが（表-4.1）、養浜量（採取量）の増加を考慮して、4号消波堤の下手の侵食の再現性を高めるように改良した。モデルの妥当性を証明する検証計算として、概略検討時と同様に1998（平成10）年のデータに基づいて2013（平成25）年までのシミュレーションを行い、計算値と実測値との比較検討を行った。検討計算結果はおおむね良好な再現性を示し、4号消波堤下手の侵食の再現性の向上が認められた（図-4.4）。これによってモデルの妥当性が確認されたので、引き続き各ケースの20年後のシミュレーションを行った。

表-4.1　海浜変形シミュレーション（詳細検討）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）	計算範囲  ※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

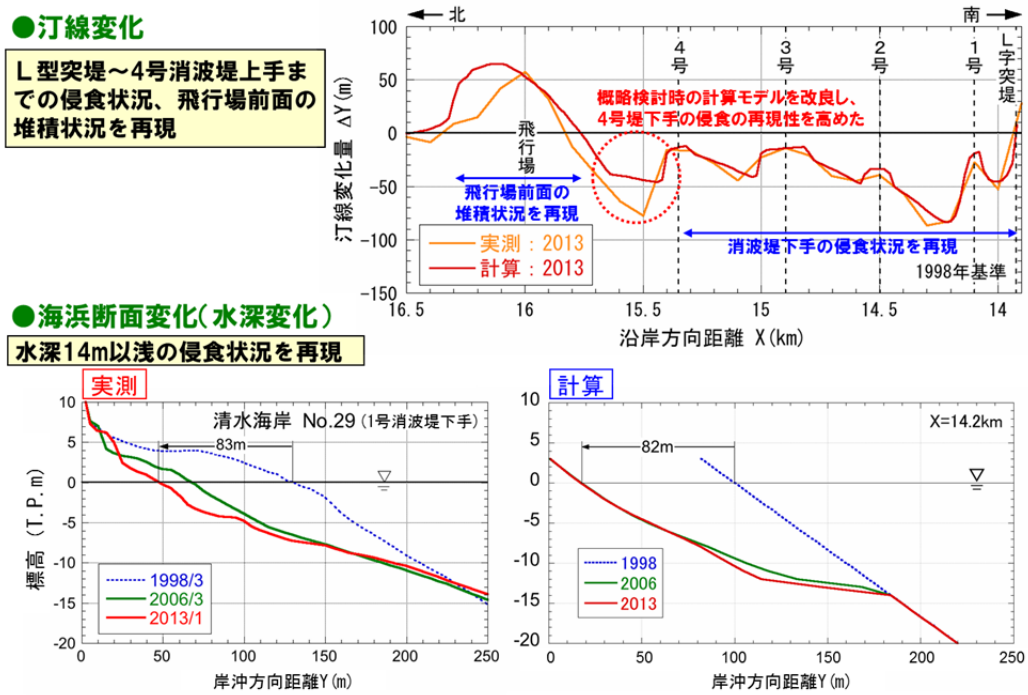


図-4.4　海浜変形シミュレーション（詳細検討）の検証計算結果

先端水深と養浜量の違いによる比較検討

詳細検討における海浜変形シミュレーション結果（20年後の2033年の予測汀線位置）は、概略検討と同様、現状（2013年）の航空写真に落とし込んで検討を行った。

①　ケース0：消波堤存置+養浜3万㎥/年

若干後退した箇所もあるが、おおむね現状の汀線を維持。海岸侵食が始まる前の1998（平成10）年と比べると、1号消波堤下手、3号消波堤下手、4号消波堤下手などは後退したままで、回復はしていない。汀線は現状と同じ凹凸形状（図-4.5）。

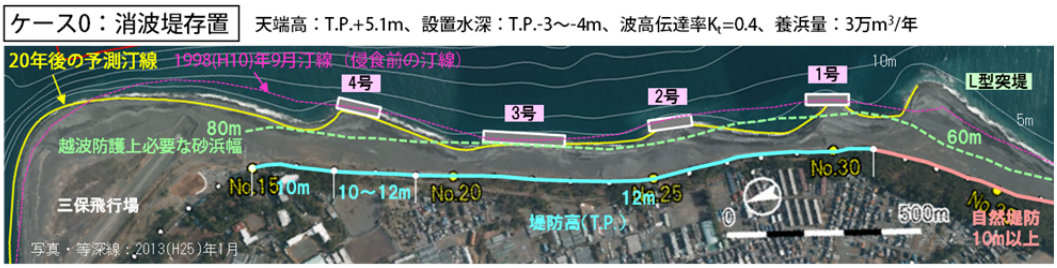


図-4.5　詳細検討ケース０：消波堤存置+養浜３万㎥/年

②　ケース1：Ｌ型突堤（先端水深4m）+養浜3万㎥/年

ケース0と同様、おおむね現状の汀線を維持。1号突堤～2号突堤間はケース0より最大約20m砂浜幅が回復するが、まだ必要砂浜幅（80m）を割り込んでいる。その他、3号消波堤下手、4号消波堤下手でも後退している。汀線は1号突堤～2号突堤間で回復したことから、凹凸が現状より緩和される（図-4.6）。

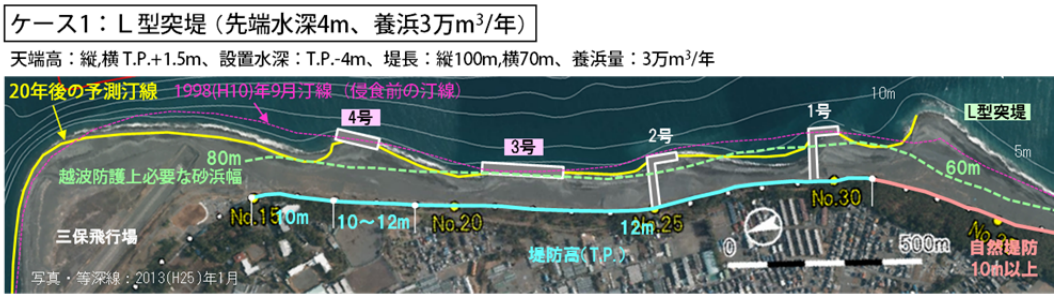


図-4.6　詳細検討ケース１：Ｌ型突堤（先端水深 4m）+養浜３万㎥/年

③　ケース2：Ｌ型突堤（先端水深6m）+養浜3万㎥/年

ケース1に比べて、突堤部の汀線前進が顕著に見られ、Ｌ型突堤～1号突堤間は最大約10m（ほぼ必要砂浜幅）、1号突堤～2号突堤間は最大約30m（必要砂浜幅に足りず）、ケース0に比べて砂浜幅が増加。2号突堤より下手はケース1とほぼ同様である。汀線は突堤部だけが突出したため、ケース1に比べて凹凸が大きくなる（図-4.7）。

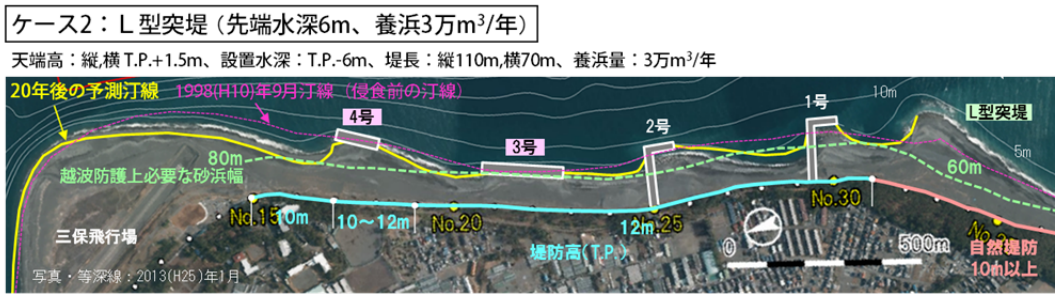


図-4.7　詳細検討ケース 2：L 型突堤（先端水深 6m）+養浜 3 万㎥/年

④　ケース3：L 型突堤（先端水深4m）+養浜5万㎥/年

1号突堤～3号消波堤で、砂浜が顕著に回復。1号突堤～2号突堤では、ケース0より砂浜幅が最大約40m増加、ほぼ必要砂浜幅に達する。2号突堤～3号消波堤では最大約20m増加、侵食前の砂浜幅に近づく。2号突堤付近も前進したため、汀線は凹凸が少なくなり4ケースで最も滑らかになる（図-4.8）。

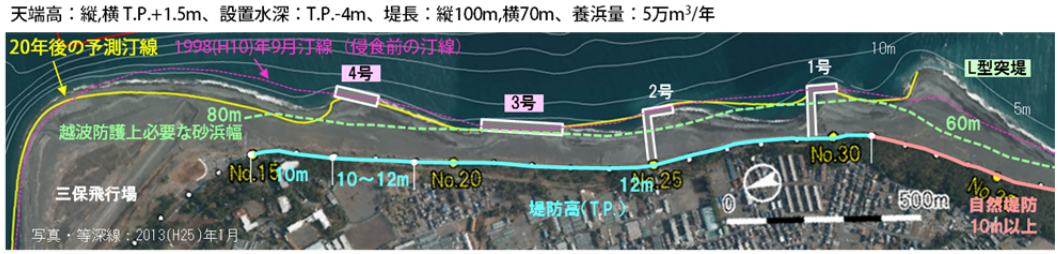


図-4.8　詳細検討ケース 3：L 型突堤（先端水深 4m）+養浜 5 万㎥/年

⑤　ケース4：L 型突堤（先端水深6m）+養浜5万㎥/年

L 型突堤～3号消波堤まで砂浜が大幅に改善し、必要砂浜幅を上まわる。1号突堤～2号突堤では、ケース0より砂浜幅が最大約45m増加、侵食前の砂浜幅に近づく。L 型突堤～1号突堤もケース0より砂浜幅が最大15m増加し、防護上のメリットは大きい。汀線は、突堤部が大きく前進するためケース3より凹凸が大きくなる（図-4.9）。

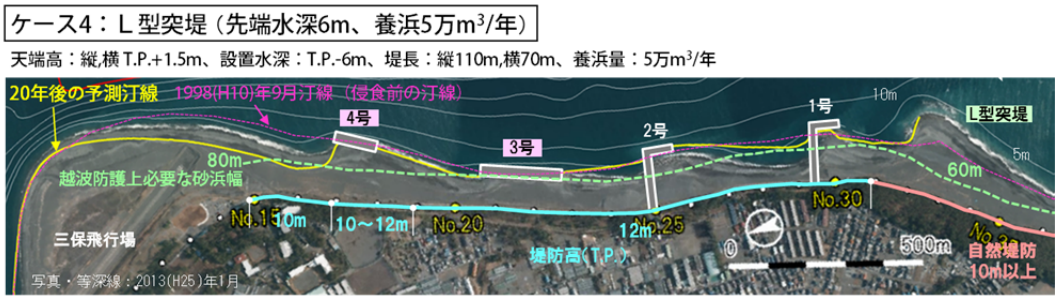


図-4.9　詳細検討ケース 4：L 型突堤（先端水深 6m）+養浜 5 万㎥/年

表-4.2は以上の詳細検討における海浜変形シミュレーションの結果をまとめたものである。

表-4.2　海浜変形シミュレーション（詳細検討）のまとめ

ケース	突堤先端水深	サンドリサイクル養浜量	シミュレーション結果（20年後）			
			砂浜幅			汀線形状 1号～3号堤間について
			L型突堤～1号堤間	1号～2号堤間	2号～3号堤間	
0	-	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 （1-2号間はやや改善）
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
2	6m		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より浜幅が大約5m減る 必要浜幅を満足	突堤部のみの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
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
4	6m		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

このシミュレーション結果を汀線の変化量で検証すると、図-4.10のようになる。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㎥/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㎥/年のケース3、4で前進するが、養浜3万㎥/年のケース1、2では3号突堤～4号消波堤で後退する。

総括すると養浜5万㎥/年に増加させたケースでは砂浜の回復量が大きく、また突堤長を延長したケースも砂浜の回復は進むが、その効果は突堤部周辺を中心としてやや限定的である。

L型突堤（先端水深6m）+養浜5万㎥/年のケース4が最も良好な結果を示したが、大きな問題があった。4号消波堤下手の侵食である。これはすべてのケースで発生しているが、養浜5万㎥/年のケースでより後退が大きくなっている。

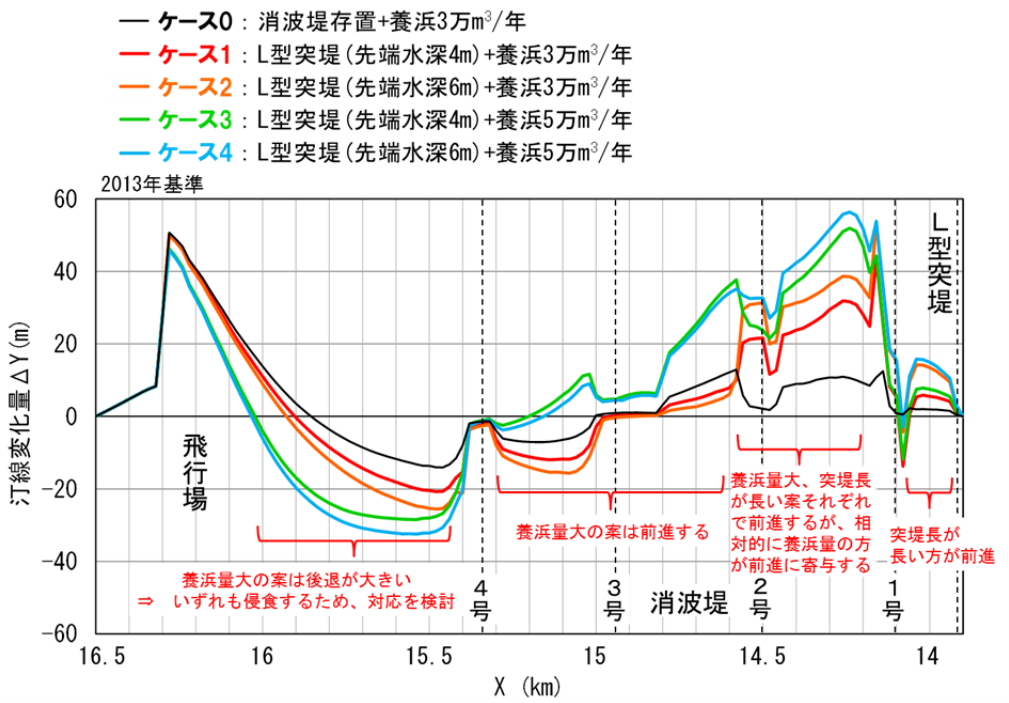


図-4.10　20 年後の汀線変化量（2013 年基準）

4号消波堤下手は上手から供給される漂砂が減少傾向にあり、侵食が進行している。侵食が進行した状態で現在の位置でサンドリサイクル養浜材採取を行うと侵食の拡大が予想されている。一方、現在の採取箇所から下手に土砂の堆積域の拡大が確認されている。そこで、採取箇所を堆積が拡大している下手に移すこととして、ケース4の砂採取位置だけを変更してケース5としてシミュレーションをした。

シミュレーションの結果、4号消波堤下手の侵食はほぼ解消され、汀線の現状維持が可能となった（図-4.11）。

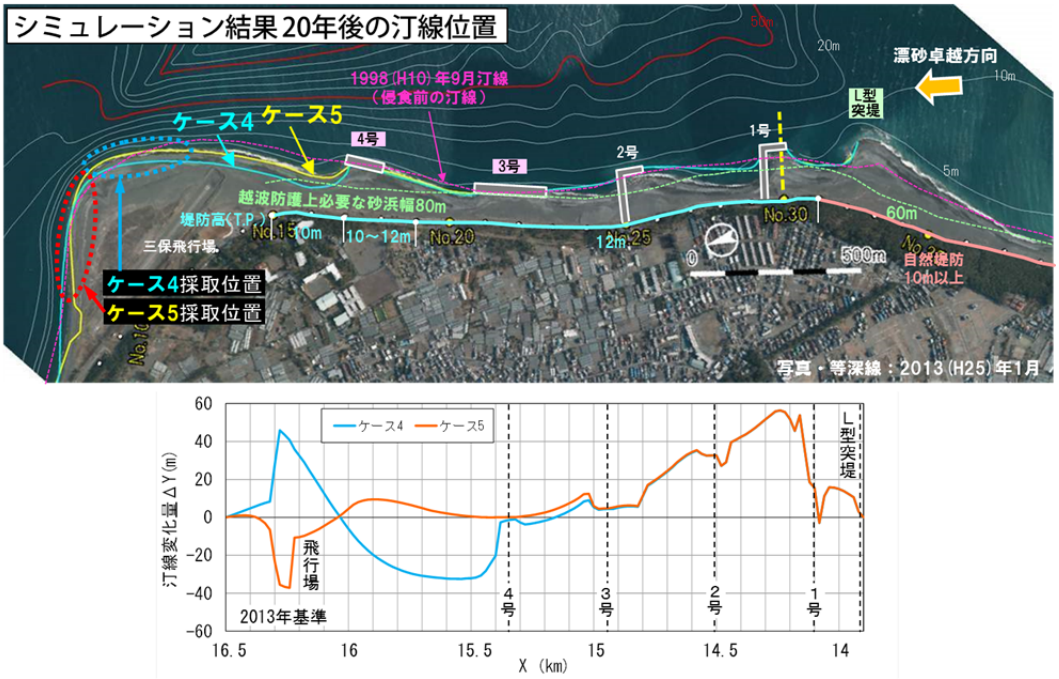


図-4.11　詳細検討ケース 5：L 型突堤（先端水深 6m）+養浜 5 万㎥/年

中期対策を踏まえたシミュレーション

ここまで短期対策の検討を重ねてきたが、短期対策は中期対策、長期対策へと継続的に展開していかねばならない。短期対策における防護面での最適案となったケース5（L型突堤・先端水深6m+養浜5万㎥/年+砂採取位置変更）が中期対策においても適用性があるのかどうか、検討をしておく必要があった。

そこで、ケース5をベースとして、3号、4号消波堤をL型突堤に置き換えた場合の海浜変形シミュレーションをケース6として行った。3号突堤、4号突堤は海岸地形を考慮して、先端水深を2mとして突堤長をやや短めに設定した。

シミュレーションの結果はケース5とほとんど同様となった（図-4.12）。3号、4号消波堤を残した場合とほぼ同じ汀線を維持することができ、4基の消波堤を防護機能の同等な施設に転換することが可能であることが確認されたのである。

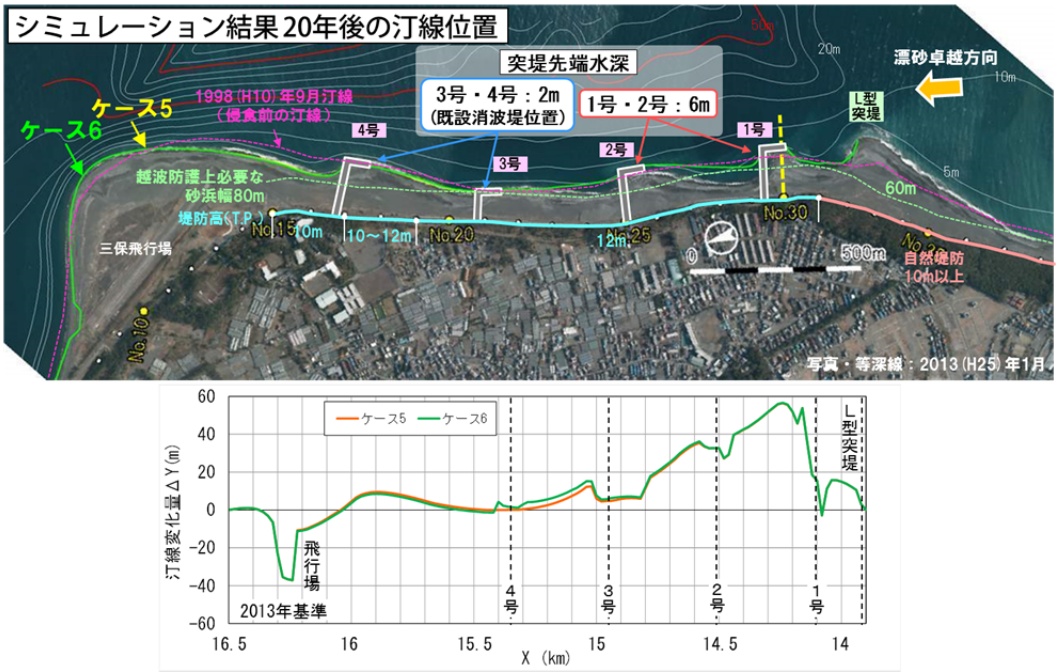


図-4.12　詳細検討ケース６：1～4号堤をL型突堤に置き換え

４.２　詳細検討の景観シミュレーション

養浜量によって汀線形状が変化

詳細検討においても、海浜変形シミュレーションに続いて、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年後の見え方をモンタージュした。今回は同じ工法の先端水深と養浜量の違いなので、概略検討と比べて大きな差は認められなかったが、今後の方向を示唆する一応の結果を得ることができた。視点場ごとの景観シミュレーションの概要は次のとおりである。

①　羽衣D

羽衣の松に近く、構造物から最も離れた地点。設置直後では、ケース1～4とも水平性の眺望は改善されるが、構造物が明確に視認される。20年後もケースによる差異は少なく､縦堤は砂を被って見えず､横堤の一部だけが視認される。現Ｌ型突堤～2号突堤の汀線はほぼ直線状に見える（図-4.13）。

②　羽衣F

設置直後は、ケース1～4とも水平性の眺望は改善されるが、構造物が明確に視認される。羽衣Dに比べて、構造物に近いため、視覚的な存在感は大きい。20年後もケースによる差異は少なく､羽衣Dと同様､横堤の一部だけが視認される。現Ｌ型突堤～2号突堤の汀線はゆるやかな弧状に見える（図-4.14）。

③　羽衣G

現Ｌ型突堤の先端部分。設置直後については羽衣Fとほぼ同様であるが、20年後については砂の被り方が若干異なるものの、どのケースでも横堤が明瞭に視認される（図-4.15）。

④　鎌B

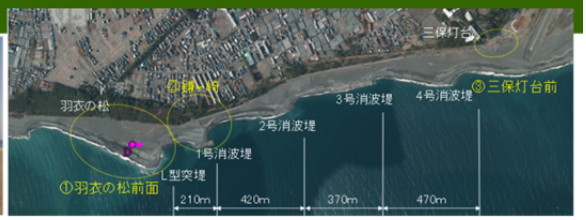
高い位置から見下ろすため、ケースによる差が最も認められたのがこの視点場である。設置直後では水平性の眺望は改善されるのは同じであるが、先端水深4m（ケース1、3）と6m（ケース2、4）で規模の違いが認められ、6mのほうは明らかに少し大きく見える。20年後では縦堤が砂に隠れるのは同様であるが、横堤はどのケースでも明瞭に視認される。汀線は養浜量で違いが生じており、養浜量3万㎥/年（ケース1、2）では3号消波堤下手の湾入が視認されるが、養浜量5万㎥/年（ケース3、4）では1号突堤～3号突堤はゆるやかな弧状に見える（図-4.16）。

羽衣D

現況(H25.11)

消波堤の平均天端高

1号：T.P.+2.7m
2号：T.P.+2.1m
3号：T.P.+3.2m
4号：T.P.+2.1m



ケース	養浜量	先端水深	設置直後 →	20 年後
1	3 万 m^3/年	T.P. -4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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 号間の汀線はほぼ直線状**
2		T.P. -6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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 号間の汀線はほぼ直線状**
3	5 万 m^3/年	T.P. -4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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 号間の汀線はほぼ直線状**
4		T.P. -6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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 号間の汀線はほぼ直線状**

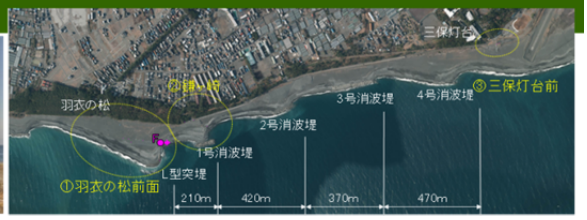
図-4.13　羽衣 D　景観シミュレーション（詳細検討）

羽衣F

現況(H25.11)

消波堤の平均天端高

1号：T.P.+2.7m
2号：T.P.+2.1m
3号：T.P.+3.2m
4号：T.P.+2.1m



ケース	養浜量	先端水深	設置直後 →	20 年後
1	3 万 m^3 /年	T.P. - 4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**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**
2		T.P. - 6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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**
3	5 万 m^3 /年	T.P. - 4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**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**
4		T.P. - 6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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**

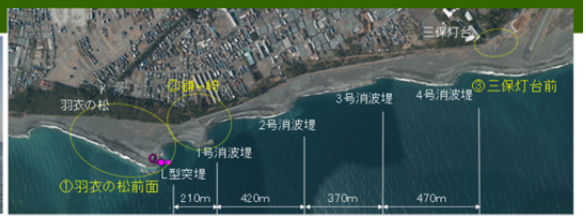
図-4.14　羽衣 F　景観シミュレーション（詳細検討）

羽衣G

現況(H25.11)

消波堤の平均天端高

1号：T.P.+2.7m
2号：T.P.+2.1m
3号：T.P.+3.2m
4号：T.P.+2.1m



ケース	養浜量	先端水深	設置直後 →	20 年後
1	3 万 m^3/年	T.P. -4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認**
2		T.P. -6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認**
3	5 万 m^3/年	T.P. -4 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認**
4		T.P. -6 m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認**

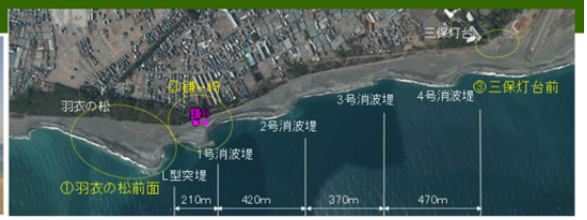
図-4.15　羽衣 G　景観シミュレーション（詳細検討）

鎌B

現況(H25.11)

消波堤の平均天端高

1号：T.P.+2.7m
2号：T.P.+2.1m
3号：T.P.+3.2m
4号：T.P.+2.1m



ケース	養浜量	先端水深	設置直後 →	20年後
1	3万m³/年	T.P.-4m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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.-6m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**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m³/年	T.P.-4m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 	**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.-6m	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認（存在感大） 	**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**

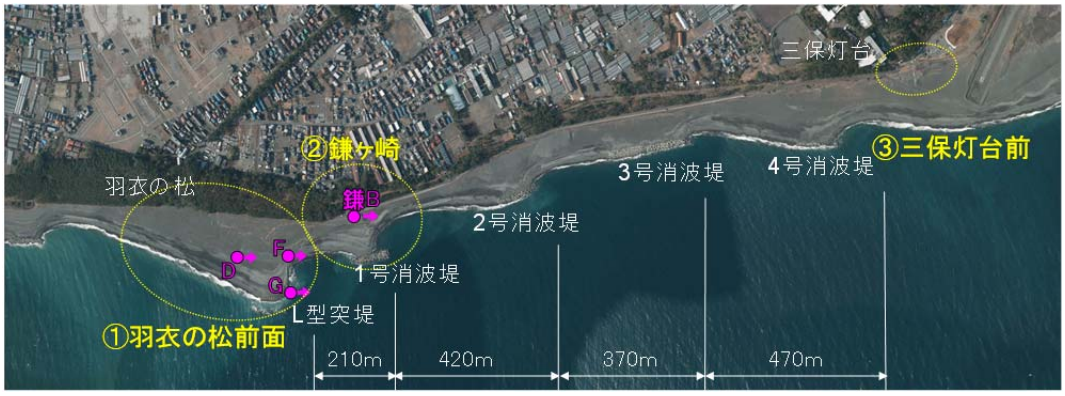
図-4.16　鎌B　景観シミュレーション（詳細検討）

以上の景観シミュレーションの結果をまとめたのが表-4.3である。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㎥/年のケース（ケース1、2）と養浜量を5万㎥/年に増量したケース（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。

表-4.3　景観シミュレーション（詳細検討）のまとめ

ケース			ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
養浜量			3万m³/年		5万m³/年	
先端水深			T.P.-4m	T.P.-6m	T.P.-4m	T.P.-6m
20年後	構造物	羽衣D	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認			
		羽衣F	縦堤は堆砂により視認されず、横堤の一部のみが視認			
		羽衣G	縦堤は堆砂により視認されないが、横堤は明瞭に視認			
		鎌B	横堤の一部のみが視認			
	汀線形状	羽衣D	L型～2号間の汀線はほぼ直線状			
		羽衣F	L型～2号間の汀線はゆるやかな弧状			
		羽衣G	—	—	—	—
		鎌B	3号下手の湾入が視認	3号下手の湾入が視認	1号～3号間の汀線はゆるやかな弧状	1号～3号間の汀線はゆるやかな弧状
設置直後	構造物	羽衣D	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 （施設に近い羽衣F,G,鎌Bは存在感大）	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認	水平線の眺望は改善 新たな構造物が明瞭に視認 （施設に近い羽衣F,G,鎌Bは存在感大）
		羽衣F				
		羽衣G				
		鎌B				
総合評価			施設に近い視点場からは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は改善されるが、鎌ヶ崎からの2～3号間の汀線形状が3，4に比べ改善されない　（△）		施設に近い視点場からは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は改善される　（○）	



4.3　詳細検討の総合的評価

L型突堤と養浜量5万㎥/年が対策工法の基本に

詳細検討の総合的な評価は、同じ工法なので利用や維持管理などはほとんど差が出ないと判断して、防護、景観、概算コストの3つの評価要素で行った（表-4.4）。

まず防護に関しては、養浜量3万㎥/年のケース1、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（先端水深4m）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

表-4.4　詳細検討の総合的評価

	突堤先端水深	ｻﾝﾄﾞリサイクル養浜量	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	ｻﾝﾄﾞリサイクル（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 m³/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 m³/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m³×20年×1500円/m³	10億円 （5億/基）	19億円
2	6m		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より浜幅が大約5m減る 必要浜幅を満足 ○	突堤部のみの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 m³/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m³×20年×1500円/m³	10億円 （5億/基）	25億円
4	6m		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

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が、新型離岸堤や人工リーフのような工法と比べれば、検討ケースごとの差はそれほど大きくない。

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㎥/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。

概略検討、詳細検討と検討を重ねて、工法について決定したことを下記にまとめておく。

① 消波堤区間への土砂供給を維持することが重要（既設Ｌ型突堤より上手区間への安倍川からのサンドバイパス養浜量8万㎥/年を基本とし、漂砂量4.5万㎥/年を維持する）。

② Ｌ型突堤と養浜を組み合わせた対策とする。

③ 養浜量5万㎥/年を基本とする。

④ Ｌ型突堤の構造等は詳細な今後の検討により決定する。

これらの決定に基づいて、三保松原白砂青松保全技術会議は次のステップへと歩を進めた。Ｌ型突堤の具体的な形状と配置の検討である。

第５章
Ｌ型突堤の形状と配置の検討

５.１　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

形状、配置、構造の検討のポイント

前章まで見てきたように、三保松原白砂青松保全技術会議では、概略検討、詳細検討においてシミュレーションを積み重ね、消波堤区間の代替工法としてＬ型突堤+養浜5万㎥/年を基本案とすることを決定した。

続いて、具体的な設計へと至るプロセスとして、まずＬ型突堤の平面形状、平面配置の検討を開始した。それに先立って、これまでの検討を踏まえた、留意すべきポイントを以下のようにまとめている。

①　防護、景観を両立する形状、配置

・必要砂浜幅80mを全域で確保する。

・著しい高波浪時にも致命的な状況を回避する。

・コンクリートの「見え」を極力抑える。

・汀線形状を極力滑らかにする。

②　厳しい条件下でも高い安定性を有する構造形式

・高波浪（波圧）に耐える施設強度。

・急勾配かつ変化が激しい地形においても安定する基礎構造。

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え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）。

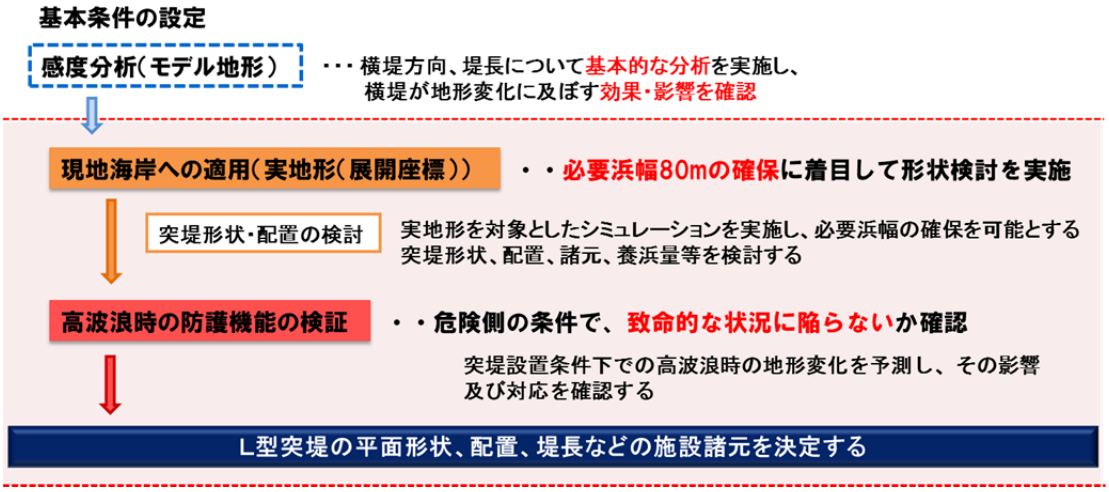


図-5.1　L型突堤の形状、配置のシミュレーションの流れ

シミュレーションの基本条件の設定

シミュレーションの基本条件は、上記のポイントを踏まえて以下の５点に設定された。

①　必要砂浜幅

消波堤区間の必要砂浜幅は80mとする。これは消波堤区間において50年に1度発生する規模の波浪があっても、越波量が護岸（天端高T.P.+12.0m）の被災限界を越えない（許容越波量0.05m³/m/s）砂浜幅である。2013（平成25）年10月の台風26号襲来時には、L型突堤～1号消波堤背後の堤防のない地帯(無堤区間)で高波が松林に迫っている。そのため、この区間の砂浜幅を80mに保つことは海岸の防護上極めて重要である（図-5.2）。

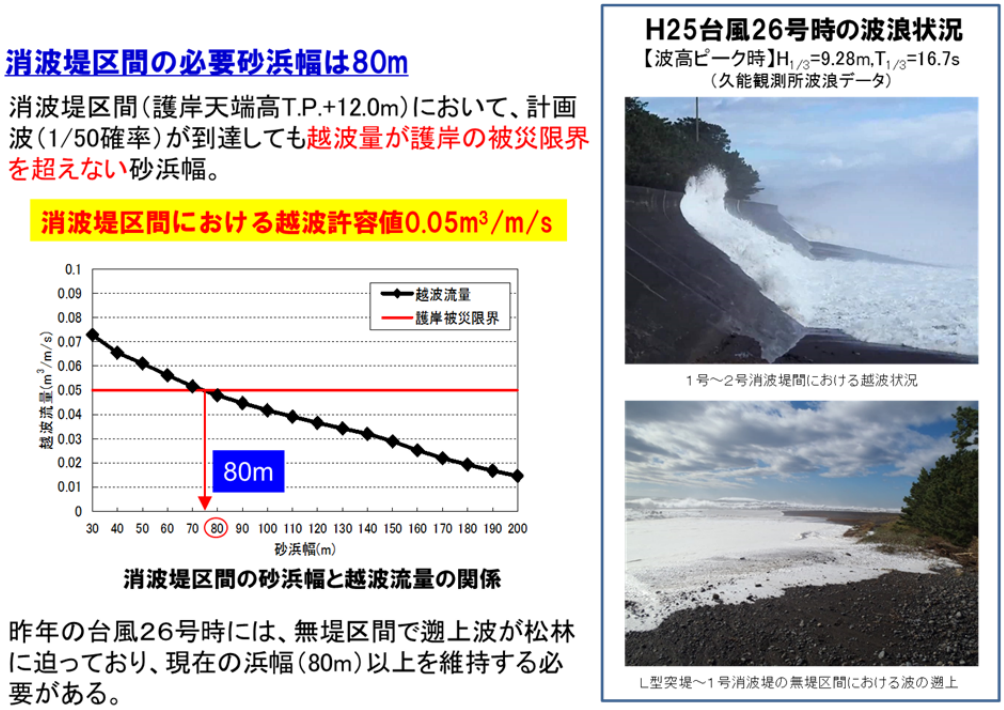


図-5.2　必要砂浜幅の設定

② 必要横堤長

現Ｌ型突堤の横堤の背後には砂山が形成されている。縦堤の背後から横堤の先端へ向かって、3mの等高線が伸びていき、横堤の先端あたりで背後に下がっていく。これによって、Ｌ型突堤を隠すように3mの尾根ができ、南側の羽衣の松周辺からはT.P.+1.5mのＬ型突堤は見えなくなる（図-5.3）。

この突堤全体の視認性を低下させている砂山は、Ｌ型突堤の横堤（70m）が形成したものである。そこで、新設するＬ型突堤でも同じ砂山を形成するためには、横堤の長さをどれくらいにすればいいのかを、幾何学的に計算した(図-5.4)。計算の結果、導き出された横堤長は90mであった。現Ｌ型突堤の70mと計算結果の90mに基づいて、必要横堤長は70～90mとしてシミュレーションを進めることとした。

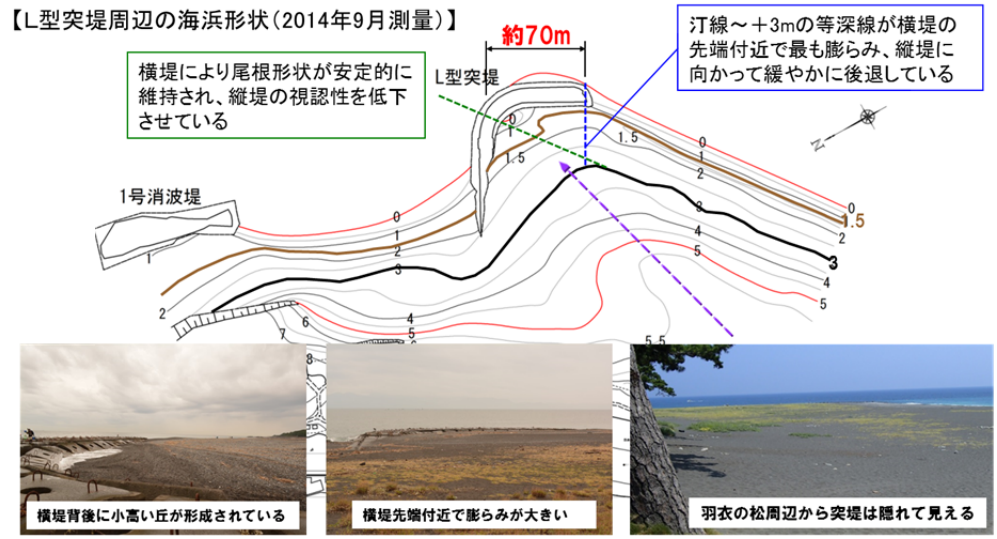


図-5.3　現Ｌ型突堤背後の砂山形成

・1号堤上手の前浜勾配は約1/10 → 汀線からT.P.+3mまでの前浜幅は30m
・卓越波向は侵食前の汀線に対して20°

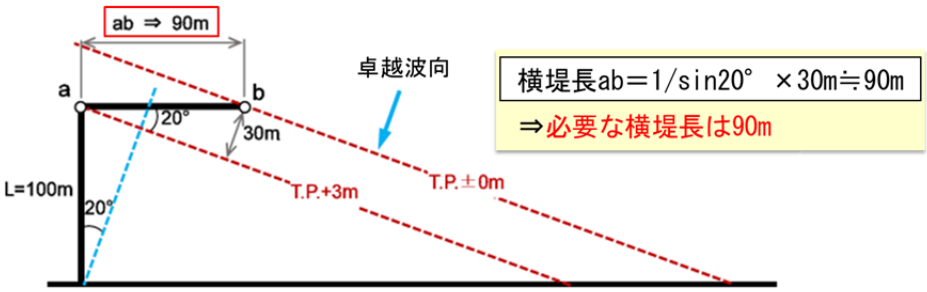


図-5.4　砂山（T.P.+3m）を形成するための必要横堤長

③ 縦堤長（先端位置）

現在の消波堤と同程度以上の漂砂制御機能を確保するため、縦堤の先端は消波堤の位置を基本とし、必要に応じて調整する。

④　突堤配置

消波堤によって保持している砂浜を保持するため、消波堤の位置を基本とする（侵食前の汀線とほぼ一致）。

⑤　養浜配分

養浜量5万㎥/年を実際の地形（実地形）とこれまでの養浜実績を考量して、1号Ｌ型突堤下手に3万㎥/年、2号Ｌ型突堤下手に2万㎥/年を配分する。

感度分析により検討ケースを選定

これらの基本条件を踏まえて、まずモデル地形で感度分析を行った。羽衣の松付近からの景観を考慮すると、上手側の横堤は必要であるというのが前提になった。感度分析の目的は突堤下手で発生する局所的な侵食への対策として、横堤の方向や横堤長の違いによる効果・影響について基本的な分析を実施し、シミュレーションのための検討ケースを選定することであった。

下手侵食の解決を図る方策として、感度分析は2方向から行った（図-5.5）。第一に横堤を上手側に伸ばす方法であり、横堤長90m、120m、150mで検討した。この方法では突堤背後の堆積量は増加するが、上手側の突堤直下の汀線は前進せず、突堤直下手の侵食にはほとんど効果はなかった。そこで、この方法からはケース1として最も横堤長の短い「上手側に横堤長90m」を選定した。

次に下手側にも横堤を伸ばし、Ｔ型突堤にする方法を検討した。これによって最大侵食箇所をさらに下手へとずらす効果がある。下手側横堤長30mと60mで比較したところ、60mでは下手侵食の軽減に一定の効果が認められた。そこで、ケース2として「上手側90m、下手側60mの横堤」を選定した。

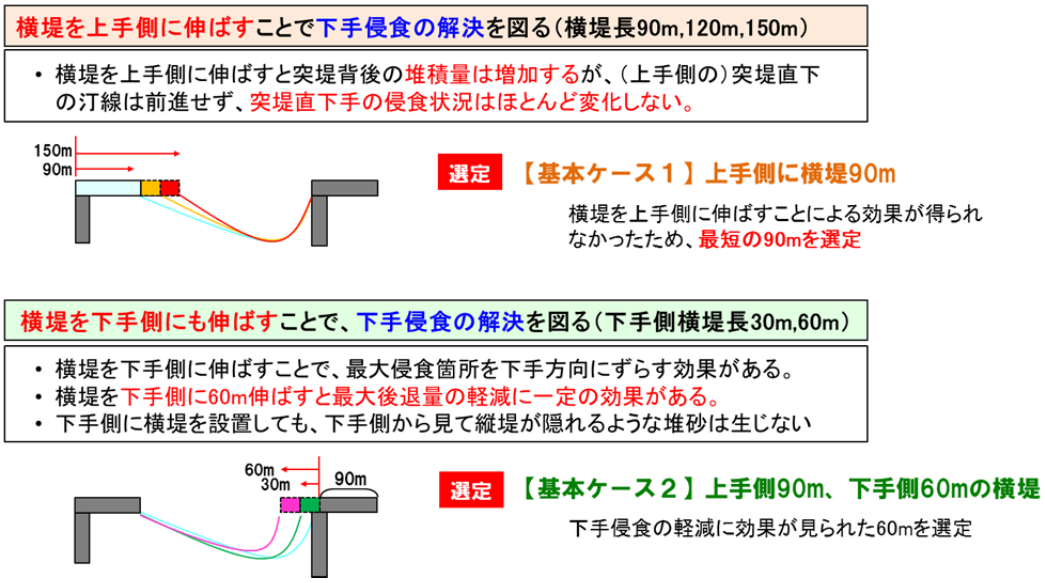
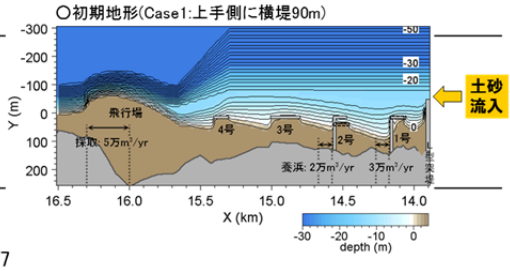


図-5.5　横堤の方向、堤長の違いによる感度分析

突堤形状の違いによるシミュレーション

感度分析によって選定されたケース1、ケース2に関して、概略検討、詳細検討と同様、現地海岸への適用を図って海浜変形シミュレーションを実施した。シミュレーションの計算条件は表-5.1のとおりであり、突堤は1号消波堤、2号消波堤の位置に2基を設置するものとした。これまでと同様に、1998（平成10）年の海浜地形を基準に2013（平成25）年までの検証計算を行い、それを現状と比べてモデルの整合性を確認したあと（図-5.6）、2013年を基準とした2033年までの20年間のシミュレーションを行った。

表-5.1　海浜変形シミュレーション（詳細検討）の予測計算モデル

計算モデル	等深線変化モデル（昨年度検討と同様のモデル）
計算期間	検証計算：1998～2013年（15年間） 予測計算：2013～2033年（20年間）
計算領域	L型突堤～三保飛行場周辺 ※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 
施設	突堤2基、天端高T.P.+1.5m • 横堤：透過構造、波高伝達率 Kt=0.7 • 縦堤：不透過構造、波高伝達率 Kt=0.7
養浜	年5万m³（投入箇所はケースにより異なる）、採取箇所：飛行場前（X=16.0～16.3km）
粒度構成	粗粒分2mm（現地代表粒径より決定）
入射波条件	沖波波高H_0=3m、周期T=9s 波向：1998年初期汀線の方向角に対して、L型突堤～4号堤：-20°、4号堤～飛行場：-10°、飛行場～左端部：-25°に設定 （消波堤下手での汀線後退、飛行場前での砂落ち込みによる汀線前進、および沿岸漂砂量分布を再現可能な波向条件）
L型突堤下手への土砂流入量（境界条件）	1998年以前：9万m³/年…上手側から潤沢な漂砂供給があった 1998～2006年：1万m³/年…上手側の侵食の進行とL型突堤建設により漂砂供給量が減少 2007年以降：4.5万m³/年…侵食軽減のためにL型突堤上手側で養浜が開始され、下手への供給がやや回復

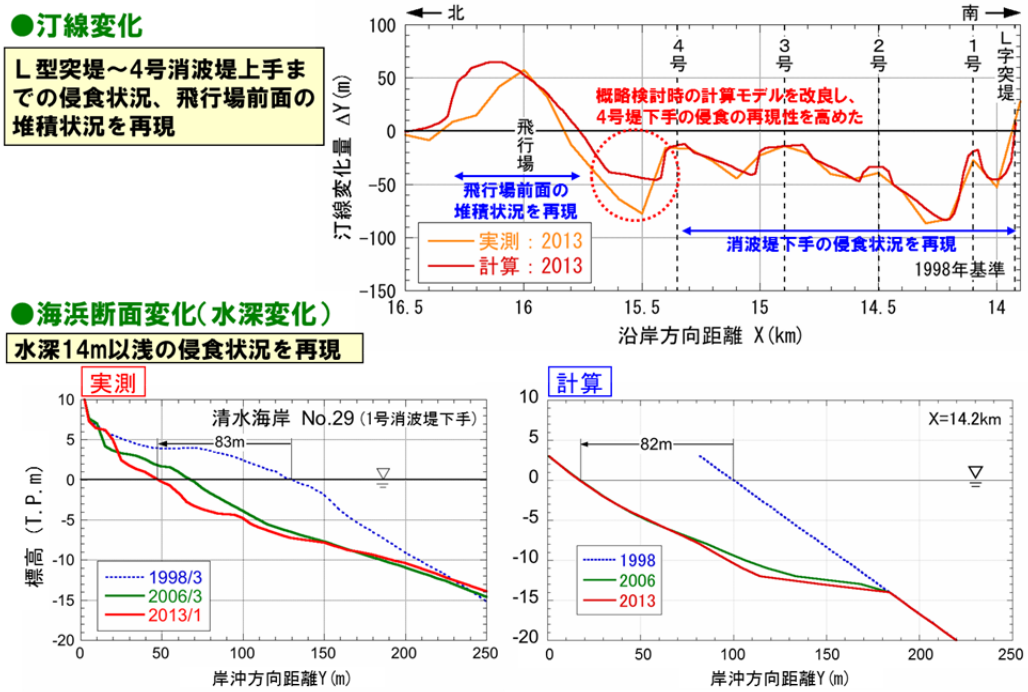


図-5.6　海浜変形シミュレーションの検証計算結果

シミュレーションの結果は、それぞれ以下のとおりであった。

① ケース1：上手横堤90mのＬ型突堤

20年後の予測地形において、現Ｌ型突堤～1号突堤間で必要砂浜幅をわずかに割り込んだ。これは現状とほとんど同様である。また、汀線形状では1号突堤付近で不連続になり、現状と同様に現Ｌ型突堤～1号突堤間が湾入した状態となる（図-5.7）。

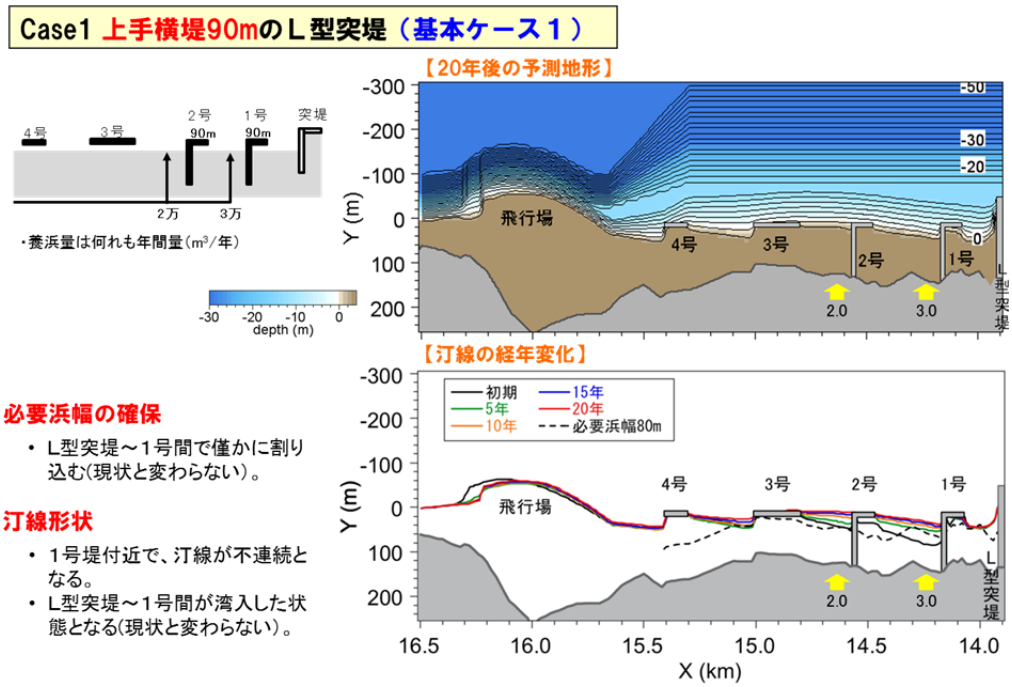


図-5.7　ケース１：上手横堤 90m のＬ型突堤のシミュレーション結果

② ケース2：上手横堤90m、下手横堤60mのＴ型突堤

20年後の予測地形において、現Ｌ型突堤～1号突堤間で必要砂浜幅をわずかに割り込んだ。これは現状およびケース1とほとんど同様である。下手側横堤により1号突堤付近の不連続性は軽減されるが、現Ｌ型突堤～1号突堤間が湾入した状態となるのは現状と変わらない（図-5.8）。

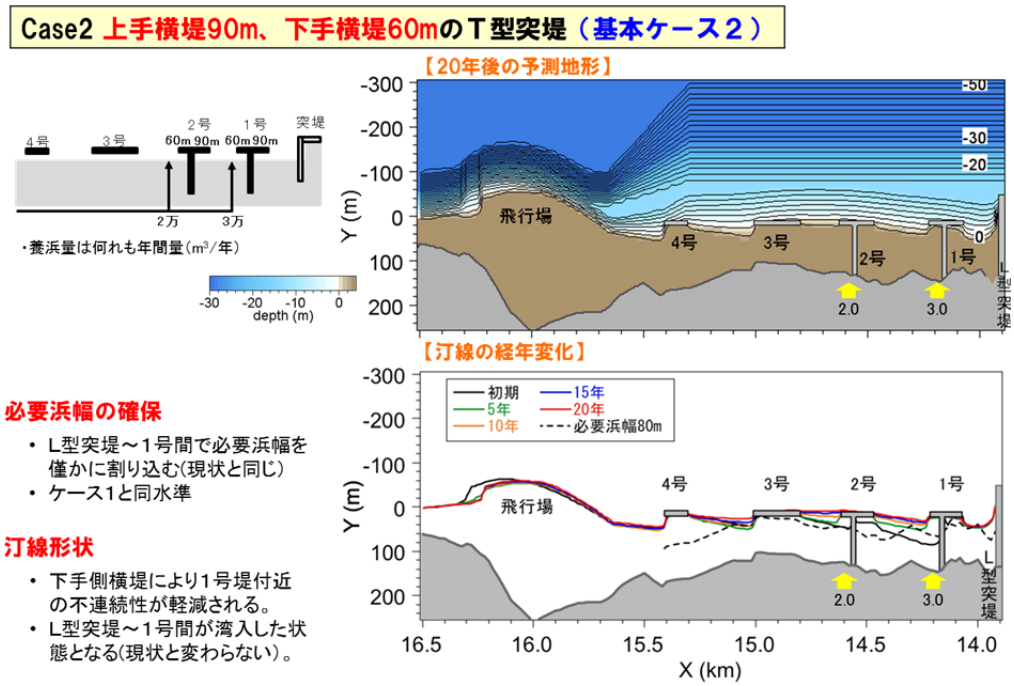


図-5.8　ケース２：上手横堤 90m、下手横堤 60m のＴ型突堤のシミュレーション結果

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、養浜5万㎥/年による保全効果が示されている。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-5.9）。

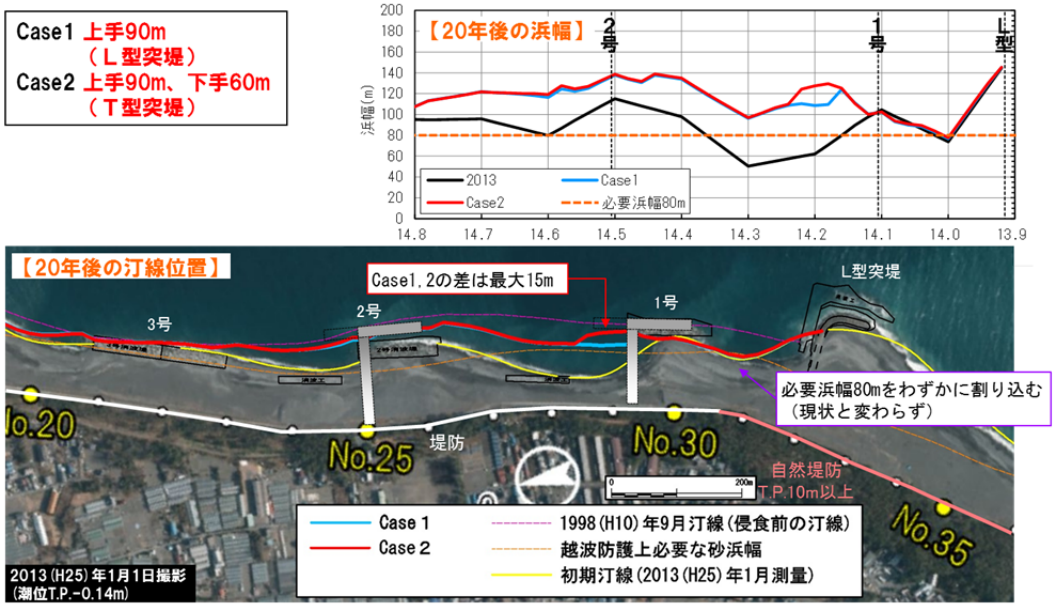


図-5.9　汀線変化量の比較（ケース 1、ケース 2）

養浜区域の変更によるシミュレーション

現Ｌ型突堤～1号突堤間の背後は無堤区間であり、2013（平成25）年10月の台風26号襲来時には高波が松林に迫ったことは前述のとおりである。それだけに

80mの砂浜幅を確実に確保したい区間であるが、1号突堤の形状変更ではそれを達成するのは難しいことがケース1､2の海浜変形シミュレーションで判明した。

そこで、砂浜幅を確保する新たな対策として着目したのが、養浜区域の変更である。養浜は1号突堤下手に3万㎥/年、2号突堤下手に2万㎥/年を計画していたが、現Ｌ型突堤～1号突堤間にも養浜を行うことを想定した。養浜量5万㎥/年は変更せず、配分は現Ｌ型突堤～1号突堤間に1.5万㎥/年、1号突堤下手に2.5万㎥/年、2号突堤下手に1万㎥/年とした。現Ｌ型突堤～1号突堤間は羽衣の松に近く、景観に配慮する必要があるため、薄く押し広げるよう形状の養浜を行うこととした（図-5.10）。

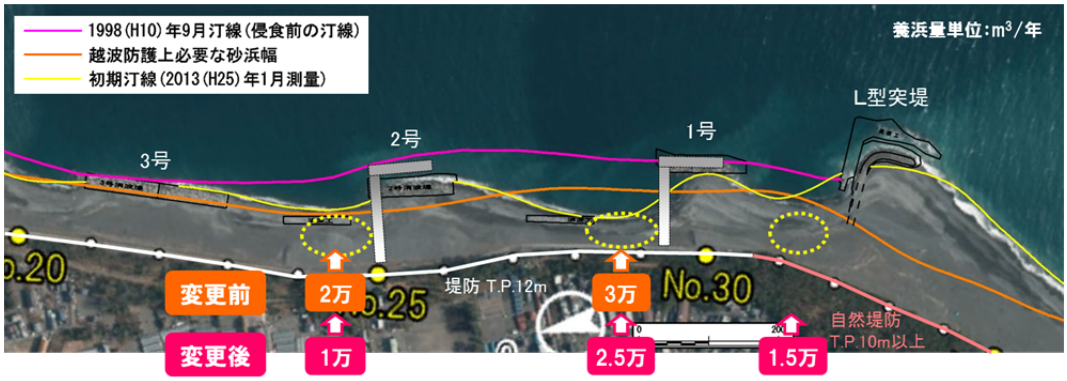


図-5.10　養浜区域の変更

③　ケース3：上手横堤90mのＬ型突堤（ケース1）+養浜区域の変更

現Ｌ型突堤～1号突堤間の汀線が前進し、この区間を含む全域で砂浜幅80mをクリアする。また、汀線も1号突堤付近の不連続性が緩和される（図-5.11）。

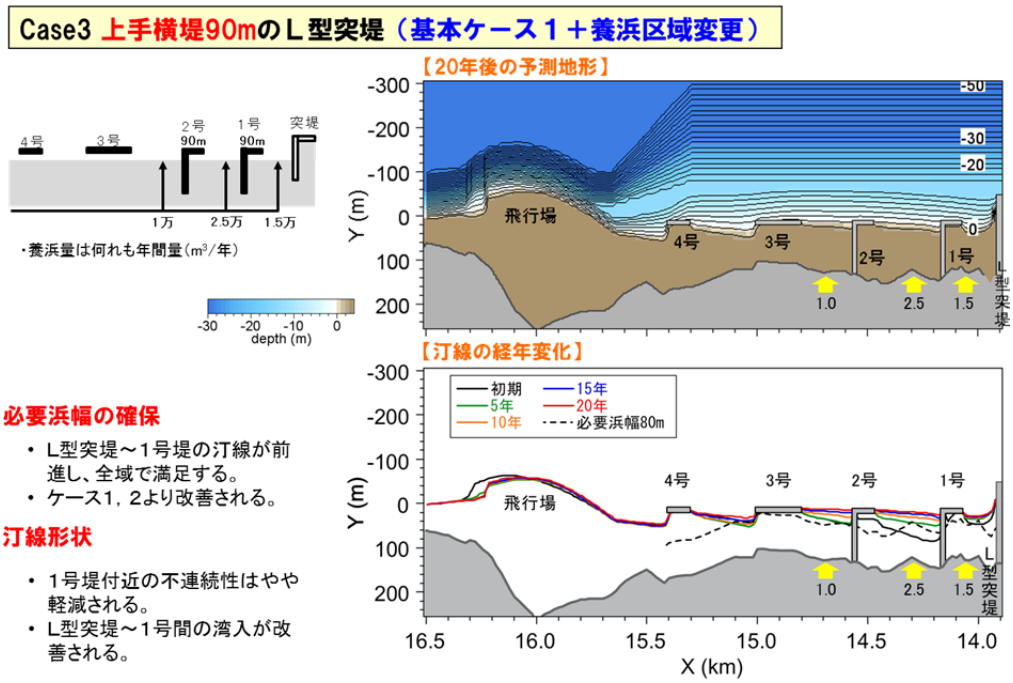


図-5.11　ケース３：上手横堤 90m のＬ型突堤+養浜区域の変更のシミュレーション結果

④　ケース4：上手横堤70mのＬ型突堤+養浜区域の変更

シミュレーションの基本条件では必要横堤長を70～90mと設定しているので、ケース３と同条件で横堤だけを70mとしてシミュレーションした。結果としては、必要砂浜幅も汀線形状もケース３とほとんど遜色がなかった（図-5.12）。

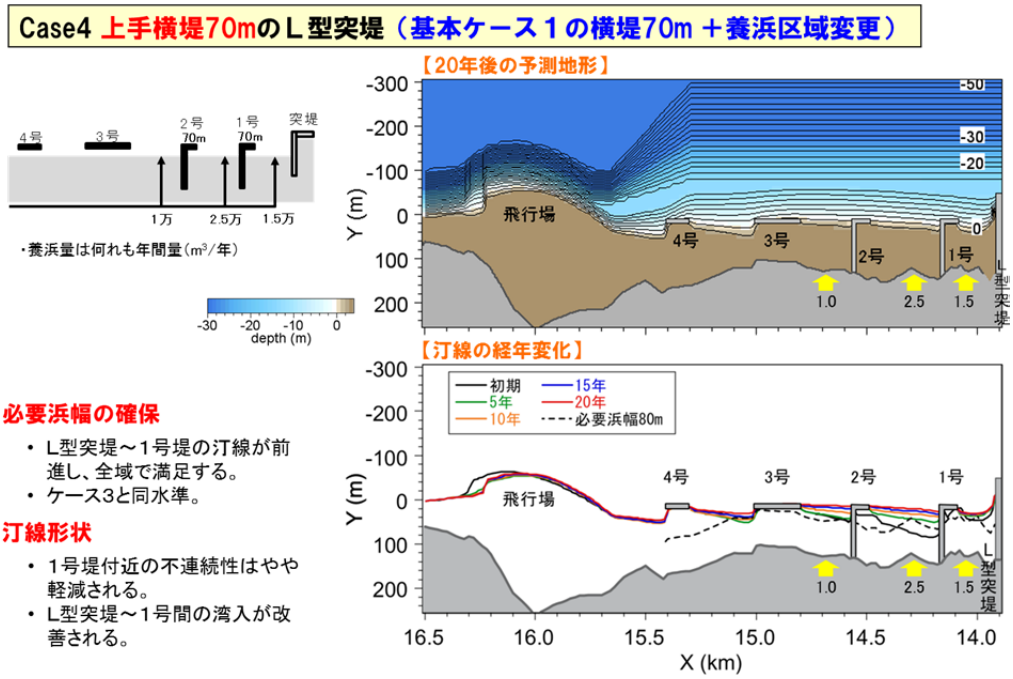


図-5.12　ケース４：上手横堤70mのＬ型突堤+養浜区域の変更のシミュレーション結果

養浜区域を変更したケース3および4では、全域にわたって必要砂浜幅をクリアし、ケース1、ケース2よりも優れた結果を示した。また、汀線についても下手側横堤により1号突堤付近の不連続性を軽減したケース2と同等の結果が認められた（図-5.13）。横堤長の90m（ケース3）と70m（ケース4）ではほとんど差がなかったため、横堤長は70mを採用することに決定した。

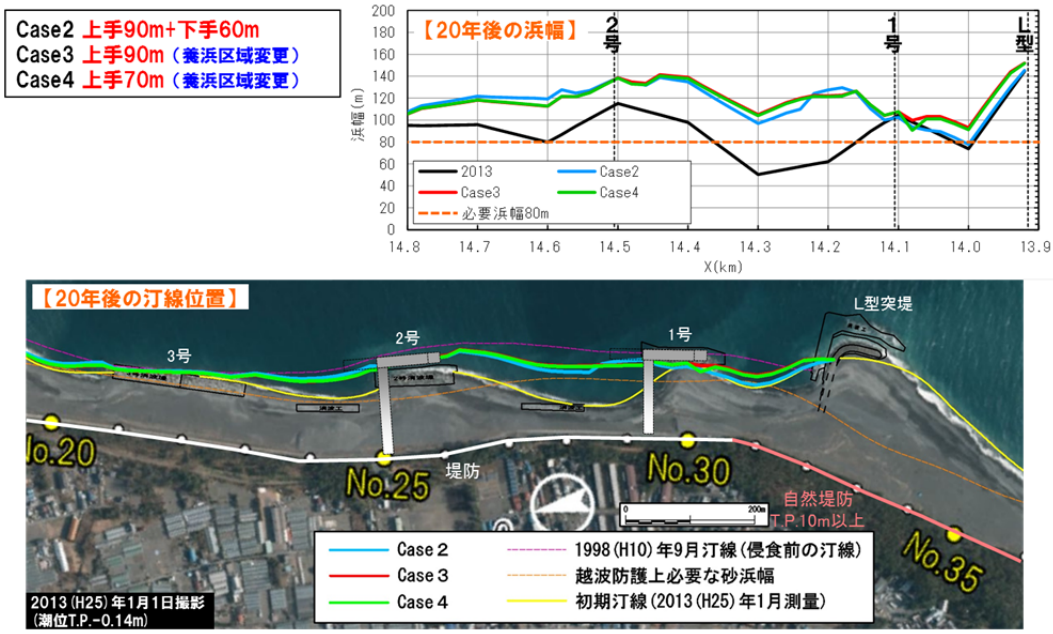


図-5.13　汀線変化量の比較（ケース 2、ケース 3、ケース 4）

施設減のシミュレーション

ケース3、ケース4の海浜変形シミュレーションにより、養浜区域の変更には大きな効果があることが推測された。これを踏まえて、Ｌ型突堤が2基必要であるかどうかを検証するシミュレーションを行った。養浜区域を3カ所に変更したうえで、施設（Ｌ型突堤2基）なしの場合をケース5、Ｌ型突堤を1基にした場合をケース6として、ケース4（Ｌ型突堤2基）と比較検討した。

⑤　ケース5：施設なし+養浜区域の変更

1号消波堤、2号消波堤を撤去したあと、そこに何も設置せず、養浜だけを行うケースである。20年後のシミュレーションの結果は、1号消波堤のあったあたりで現状より30m程度の大規模な汀線後退が生じ、必要砂浜幅を割り込むこととなった。汀線は施設がないためになめらかな連続性が確保された（図-5.14）。

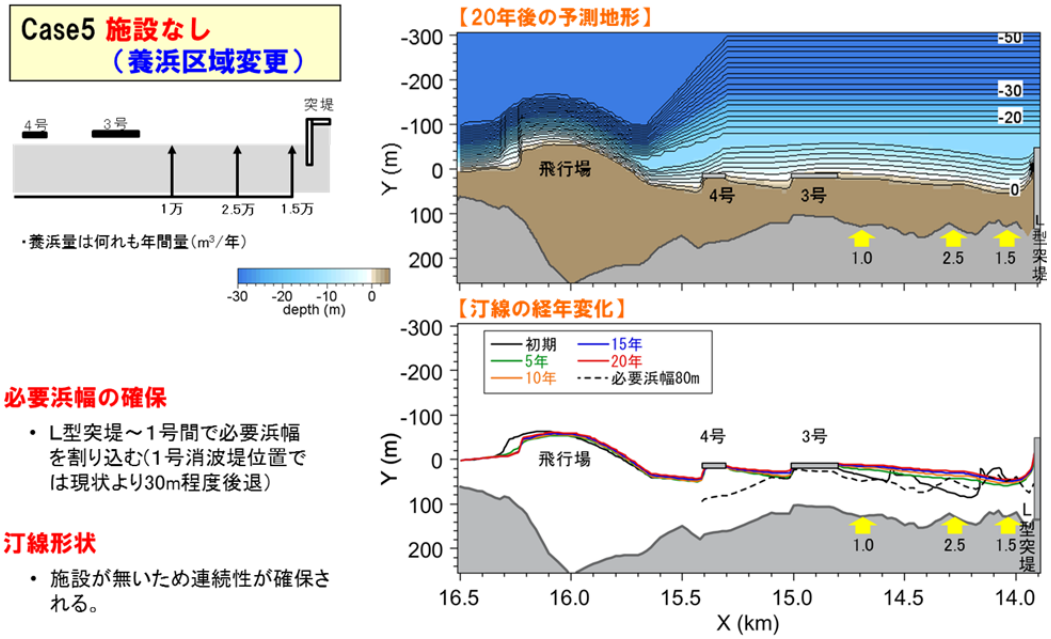


図-5.14　ケース５：施設なし+養浜区域の変更のシミュレーション結果

⑥　ケース6：Ｌ型突堤1基+養浜区域の変更

1号消波堤～2号消波堤間に現在の汀線からかなり前に出す形でＬ型突堤を1基設置するケースである。20年後には現Ｌ型突堤～1号消波堤間で約15m汀線が後退することとなるが、必要砂浜幅は全域で確保している（図-5.15）。

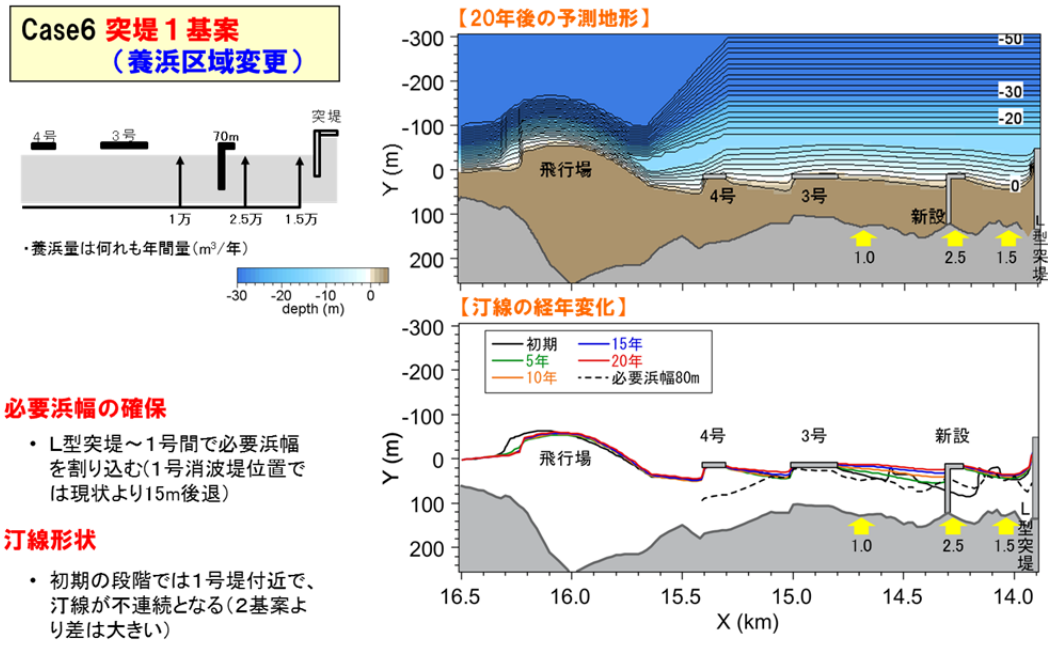


図-5.15　ケース６：Ｌ型突堤１基+養浜区域の変更のシミュレーション結果

ケース4（Ｌ型突堤2基）とケース5（施設なし）、ケース6（Ｌ型突堤1基）を比較すると、まず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-5.16）。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い(図-5.17）。

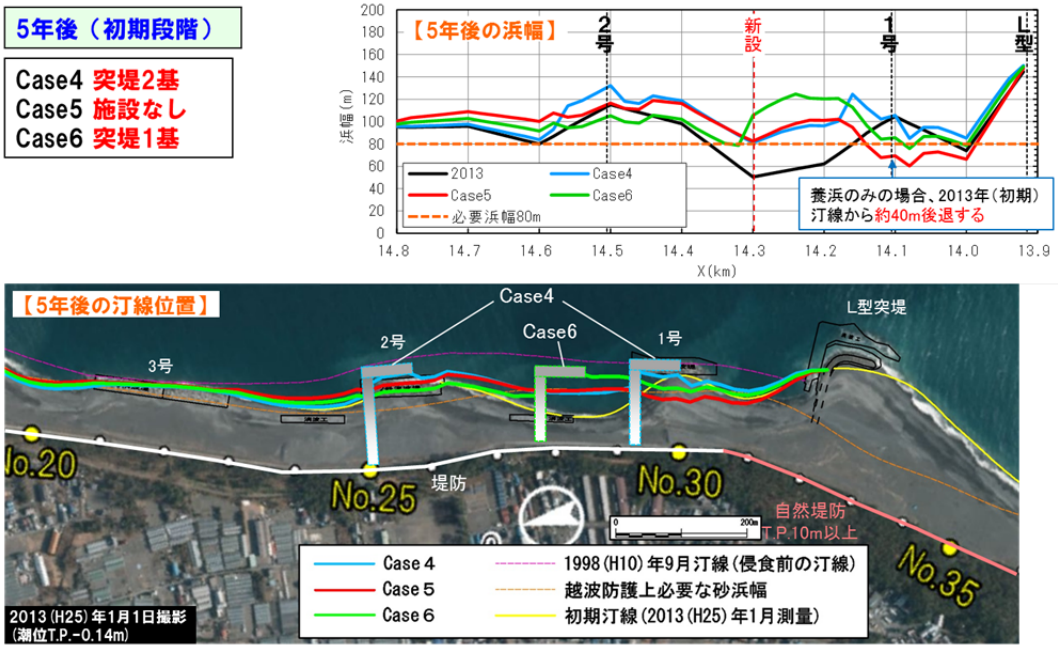


図-5.16　汀線変化量の比較：5年後（ケース4、ケース5、ケース6）

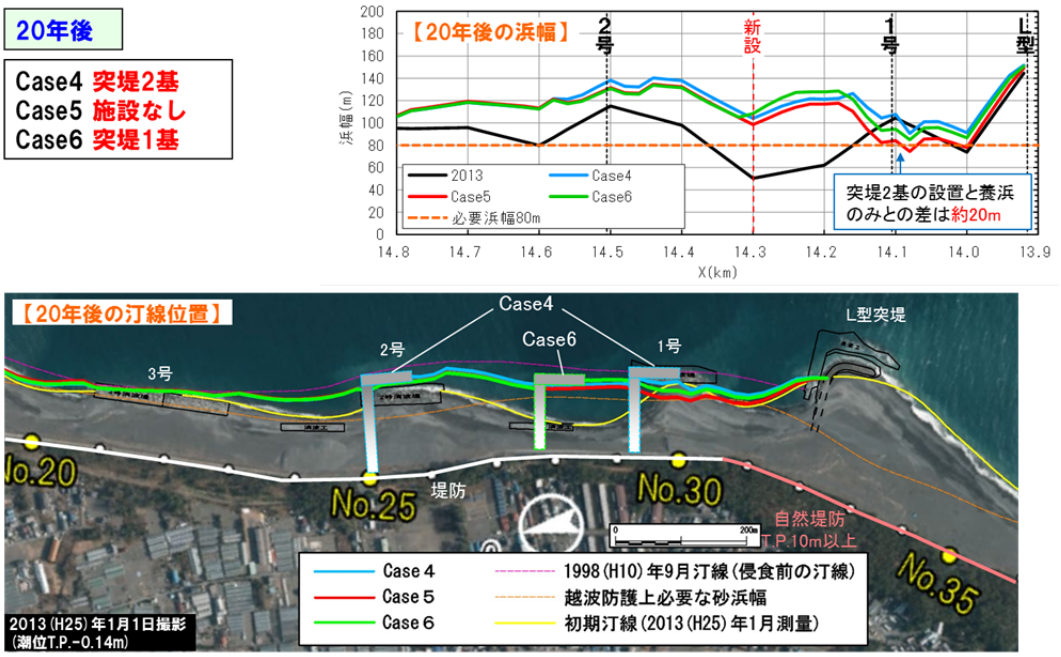


図-5.17　汀線変化量の比較：20 年後（ケース 4、ケース 5、ケース 6）

高波浪時の防護機能の検証

これまでの海浜変形シミュレーション（通常シミュレーション）はすべて一定の条件のもと長期的な変動を予測したものであり、台風などによる高波浪時の短期的な変動については考慮されていない。しかし、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。

2013（平成25）年の台風18号（9月16日）、台風26号（10月16日）時には、静岡海岸にある久能観測所の観測値（2000年以降）でそれぞれ6位、2位の波高を記録した。これによって部分的に越波が生じ、松林まで高波が迫ったのは既述のとおりであるが、このとき土砂にどのような動きが生じたかを検証してみた。

まず高波浪によって消波堤の消波機能が低下し、1～3号消波堤の背後の砂浜が侵食を受けた。この侵食土砂は下手に移動し、各消波堤間に土砂が堆積する傾向が認められた。なかでも1号消波堤下手では台風襲来時に越波が生じたが、消波堤背後の土砂の移動により数日後には土砂が堆積している（図-5.18）。

高波浪などによる砂浜幅の減少を定量的に把握するために、近年の測量データに基づいて砂浜の短期変動量を確認することにした。2007年の消波堤整備後の測線（測量のために定められた測点と測点を結ぶ線、消波堤区間のNo.27～31の測線を抽出する）ごとに平均汀線変化量を算出し、そこから長期傾向を取り除いた各年の変動幅（長期傾向からの振れ幅）を短期変動量と定義した。2007

年～2014年の短期変動量を見ると、高波浪などの影響により短期的に10～15m程度の汀線後退が生じることが示されている（図-5.19）。

図-5.18　台風 18 号、26 号襲来時の状況

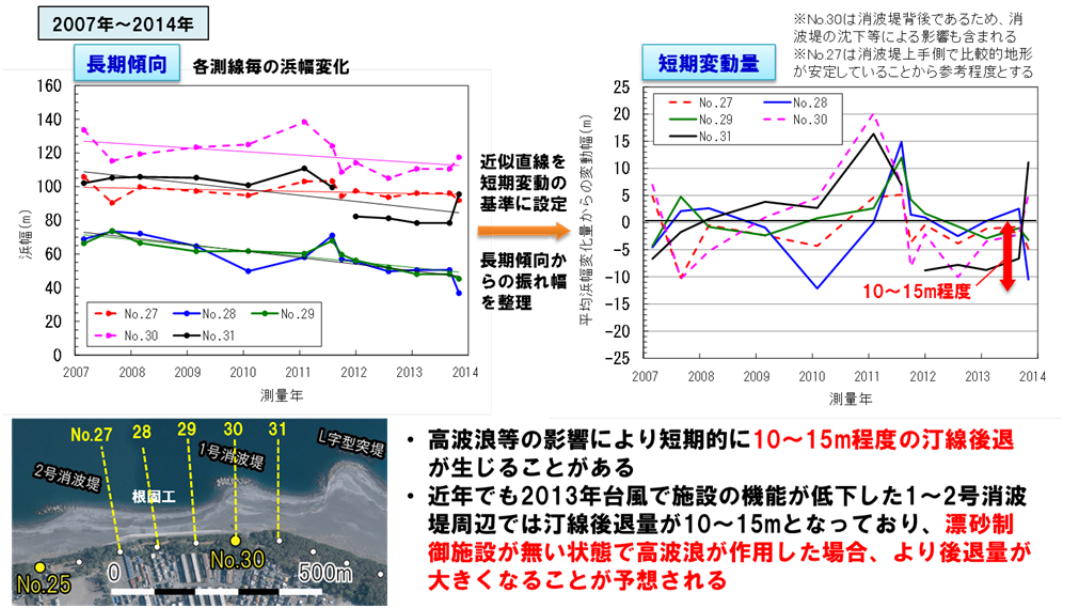


図-5.19　砂浜の長期傾向と短期変動量

これを踏まえて、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）を検討ケースとしてシミュレーションを行うこととした。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、台風18号、26号で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-5.20のとおりである。

目的　これまで検討に用いた年数回来襲波(5%確率波)を上回る異常波浪を比較的短時間作用させその影響を確認する

【現況】2013年再現地形 →（通常シミュレーション（これまでと同様）／5年）→ 【5年後】シミュレーション予測地形 →（高波浪時シミュレーション／39時間）→ 【高波浪後】シミュレーション予測地形

より危険な地形の条件で高波浪が作用した場合を検証するため、通常シミュレーションの5年後の予測地形を初期とした

高波浪時シミュレーションの計算条件

対象波浪	2013年台風18，26号時の異常波浪
初期地形	長期予測結果(5年経過時)
計算期間	2013年台風18，26号時の波高3m以上の継続時間:39時間
波高伝達率 Kt	消波堤:0.9(通常時0.4) L型突堤:0.9(通常時0.7) 高波浪が作用すると、施設の消波機能が低下するため、高波浪時の波高伝達率を増大させた
養浜	なし
入射波条件	2013年台風18，26号時の波高3m以上の継続時間内のエネルギー平均波 沖波波高H_0' =5.6m、周期T=13.6s
地形変化の限界水深	バーム高:+5m（通常時+3m）、移動限界水深:-15m（通常時-12m） 2013年台風18，26号前後の測量成果を基に決定

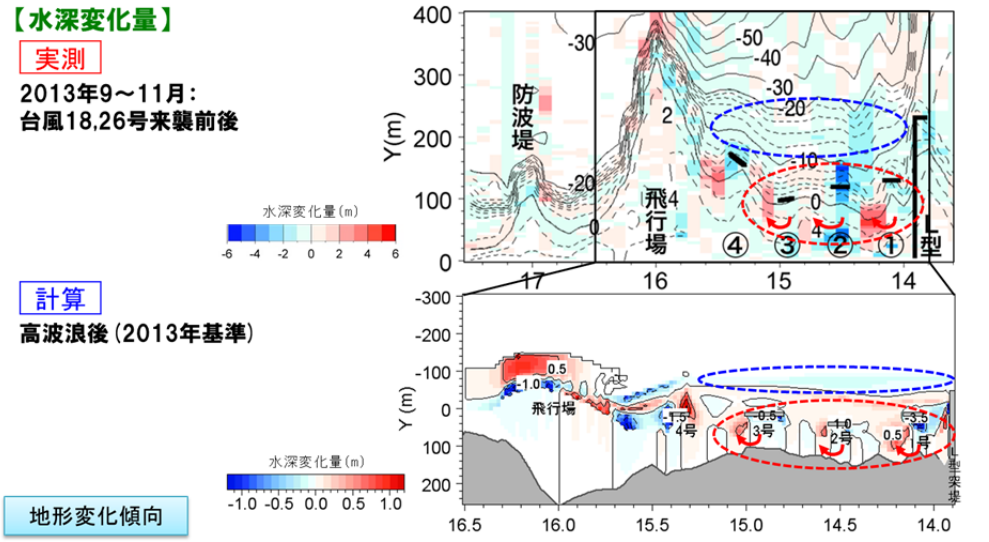
検討ケース　通常シミュレーションで20年後までに必要浜幅80mを満足するケース

Case4　突堤2基(現消波堤位置に突堤を設置)

Case6　突堤1基(1,2号消波堤を撤去、現L型突堤～3号の中間にL型突堤を設置)

図-5.20　高波浪時シミュレーションの目的と条件

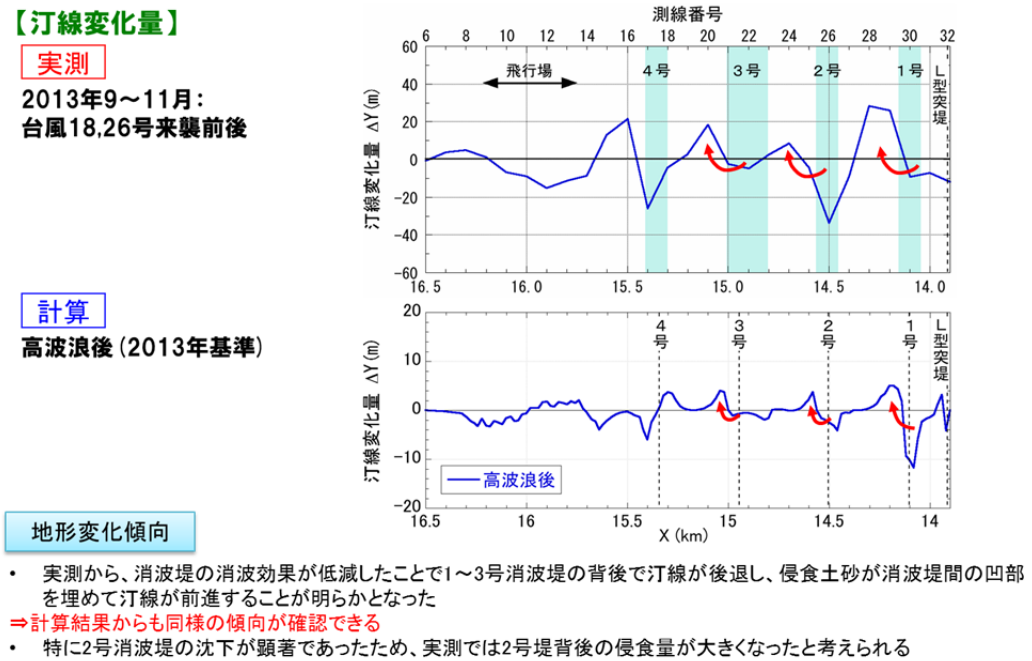
このシミュレーションの妥当性を確認する検証計算として、台風18号、26号襲来前後の2013年9月～11月の実測値と2013年の現在地形を基準としたシミュレーション結果を比較したところ、水深変化量と汀線変化量の両方において同様の傾向が確認できた（図-5.21、図-5.22）。



- 消波堤の消波機能が低下したことで、1～3号消波堤の背後が侵食傾向となる一方、侵食土砂が下手に寄与し、各消波堤間は堆積傾向となった
- 沖合では細長い帯状の侵食域が形成され、波高の増大とともに、より水深の大きな場所まで砂移動が生じた

⇒計算からも同様の傾向が確認できる

図-5.21　高波浪時シミュレーションの検証計算結果（水深変化量）



- 実測から、消波堤の消波効果が低減したことで1～3号消波堤の背後で汀線が後退し、侵食土砂が消波堤間の凹部を埋めて汀線が前進することが明らかとなった

⇒計算結果からも同様の傾向が確認できる

- 特に2号消波堤の沈下が顕著であったため、実測では2号堤背後の侵食量が大きくなったと考えられる

図-5.22　高波浪時シミュレーションの検証計算結果（汀線変化量）

高波浪時シミュレーションの結果は、図-5.23のとおりである。ケース4（L型突堤2基）、ケース6（L型突堤1基）と既設消波堤を比較したところ、ケース4および6は既設消波堤と比べて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。

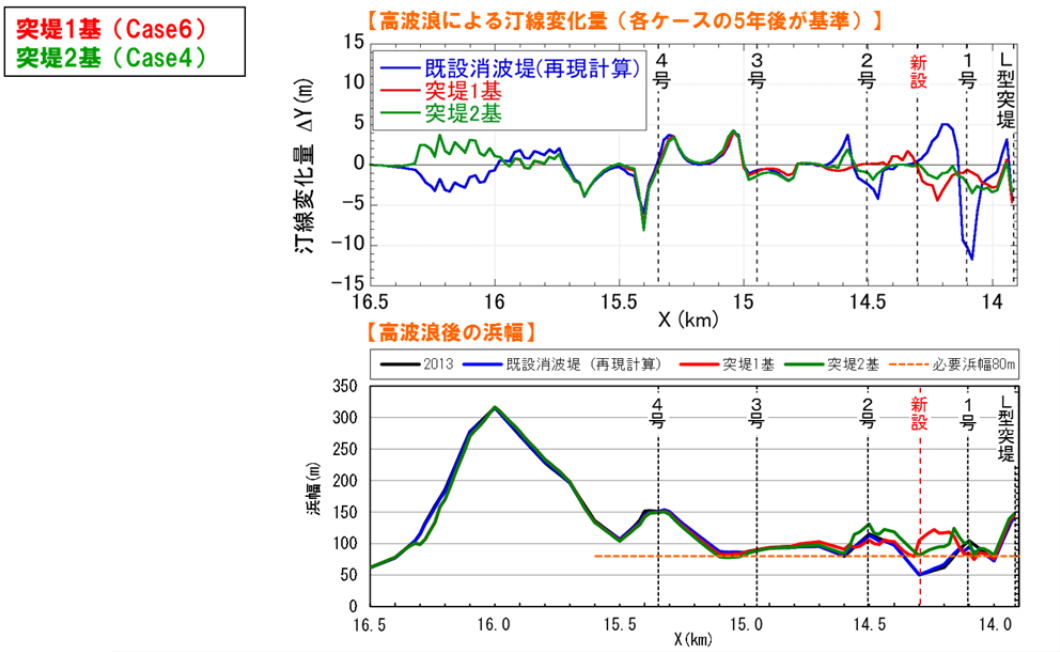


図-5.23　高波浪時シミュレーションの結果（ケース 4、ケース 6、既設消波堤）

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-5.2である。

まず防護面では、ケース5（突堤なし）の場合は20年後でも必要砂浜幅を満たさない。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（Ｌ型突堤2基）は1号突堤が視点場に近いために、ケース6（Ｌ型突堤1基）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（Ｌ型突堤1基）のほうが大きくなる。

施工面では、ケース4（Ｌ型突堤2基）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（Ｌ型突堤1基）と比べて施工性が劣ることになる。

表-5.2　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 △

以上を踏まえ、この一連のシミュレーションの結論は次のようになった。

① 配置

・現消波堤位置への配置（2基）を基本とする。

※ただし、施工期間中の高波浪への対応や施工性を考慮して、設置位置を下手側にずらすことも視野に入れる。

※また、1基か2基については防護面で大きな差はないことから、引き続きどちらがよいかを検討する。

② 形状

・縦堤の先端位置は侵食前の汀線付近とする。

・横堤長は70mを基本とする。

・天端高は現Ｌ型突堤と同じT.P.+1.5mを基本とする。

※景観的、構造的な必要性を踏まえた形状検討は引き続き行う。

③ 養浜

・総量は5万㎥/年（三保飛行場付近からのサンドリサイクル）とする。

・羽衣の松側から各突堤間に1.5万㎥/年、2.5万㎥/年、1万㎥/年の投入量を基本とする。

※景観を十分に配慮した養浜形状を検討する。

※長期的な養浜材の供給などの課題については、別途検証する。

5.2　L型突堤1基案と2基案の検討

2基案の基本配置の変更

これまでの海浜変形シミュレーションにおいて、L型突堤2基案は1基案と比べて汀線は前進するものの、景観面や施工性ではやや劣るという結果が示された。そこで、1基案、2基案のどちらが防護と景観のバランスのとれた案であるか、そこに焦点を絞って、再度、シミュレーションを行うことにした。

それに先立って、2基案の基本配置の変更が検討された。横堤を現在の消波堤の位置に合わせるという当初の計画では、施工性に問題が生じるためである。現在の消波堤がL型突堤施工の妨げになるので、施工に先立って消波堤を完全に撤去する必要があった。しかし、高波浪などによって一部の消波ブロックは周辺に散在し、沈下・埋没している。これらの位置を探り、掘り出して撤去するのは容易ではなく、施工費用が増大し、施工時間が長期化することになる。

早期に必要砂浜幅を確保することは防護上重要であり、そのためには施工性を向上させることは必須であった。そこで、L型突堤2基をそれぞれ70mほど下手にずらすこととした。

これに伴って、養浜配分の変更も行うこととした。従来は1号突堤の下手に2.5万m³/年の配分であったが、これを新1号突堤の上手に1.5万m³/年、下手に1万m³/年に分割した（図-5.24）。

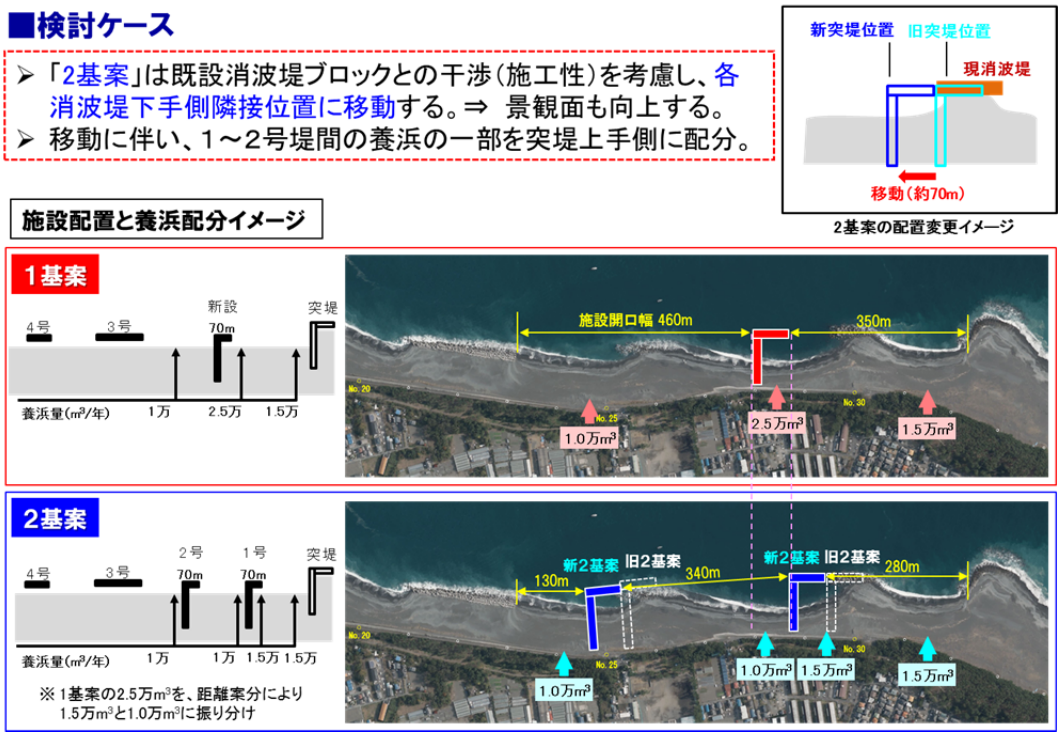


図-5.24　L型突堤の配置と養浜配分イメージ

この基本配置の変更によって、2基案は景観面、施工面の両面で改善された。景観面では別途模型を作成して検討を行った。2基案では1号突堤が従来案より羽衣の松前の視点場から遠くなるので、1基案に比べると視認性は高いものの、その差は小さくなった（図-5.25）。施工性では1基案同様に開口部に設置するので、現消波堤の影響をほとんど受けなくなる。また、施工前に現消波堤を撤去する必要がないため、施工中もこれまでの防護レベルを維持できる。これによって、景観面、施工面では1基案と2基案はほぼ同等となり、防護面に絞って検討を加えていくこととした。

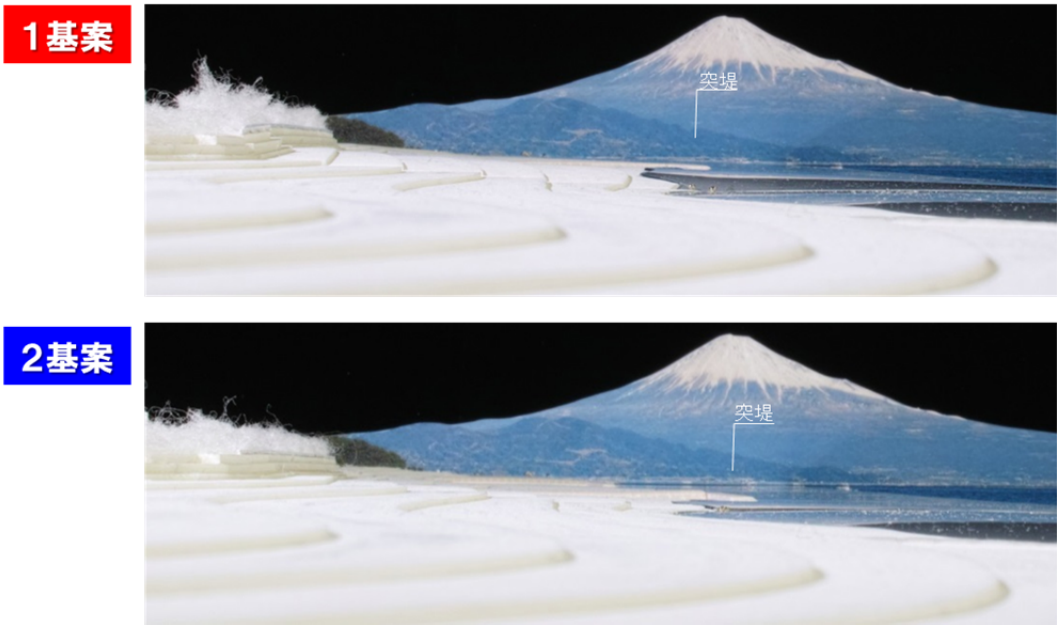


図-5.25　景観検討（模型による比較）

長期変動の検証

1基案と2基案の比較検討は、長期変動の検証、悪条件化の検証、地形変形実績の確認の流れで行うこととした（図-5.26）。

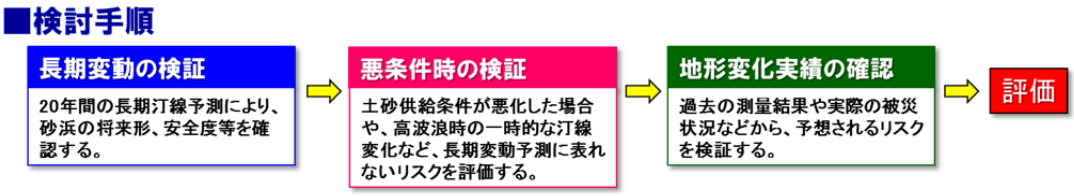


図-5.26　1基案、2基案の検討手順

長期変動の検証はこれまで行ってきた海浜変形シミュレーションと同じモデルを使用し、必要砂浜幅の確保や汀線形状を検討するものである。計算領域は現Ｌ型突堤から三保飛行場周辺までと中期対策も含む広い範囲で設定した。その他の計算条件は図-5.27のとおりである。まずこれまでと同様に1998(平成10)

年～2013（平成25）年までの計算結果と実際の汀線変化を比較する検証計算を行い、モデルの再現性を確認した（図-5.28）。

目的 実地形（展開座標）における海浜変形を検証し、防護上必要な浜幅（80m）の確保や汀線形状を検証する。

計算条件

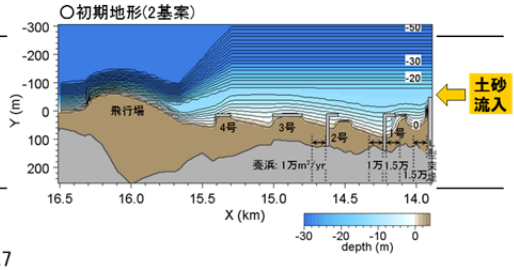
計算モデル	等深線変化モデル（昨年度検討と同様のモデル）
計算期間	検証計算：1998～2013年（15年間） 予測計算：2013～2033年（20年間）
計算領域	L型突堤～三保飛行場周辺 ※L型突堤～飛行場までの砂嘴地形を単純化したモデル地形（展開座標）を用いて計算を実施 
施設	突堤2基、天端高T.P.+1.5m • 横堤：透過構造、波高伝達率 Kt=0.7 • 縦堤：不透過構造、波高伝達率 Kt=0.7
養浜	年5万m³（投入箇所はケースにより異なる）、採取箇所：飛行場前（X=16.0～16.3km）
粒度構成	粗粒分2mm（現地代表粒径より決定）
入射波条件	沖波波高H_0=3m、周期T=9s 波向：1998年初期汀線の方向角に対して、L型突堤～4号堤：-20°，4号堤～飛行場：-10°，飛行場～左端部：-25° に設定 （消波堤下手での汀線後退、飛行場前での砂落ち込みによる汀線前進、および沿岸漂砂量分布を再現可能な波向条件）
L型突堤下手への土砂流入量（境界条件）	1998年以前：9万m³/年…上手側から潤沢な漂砂供給があった 1998～2006年：1万m³/年…上手側の侵食の進行とL型突堤建設により漂砂供給量が減少 2007年以降：4.5万m³/年…侵食軽減のためにL型突堤上手側で養浜が開始され、下手への供給がやや回復

図-5.27　長期変動の検証（海浜変形シミュレーション）の目的と計算条件

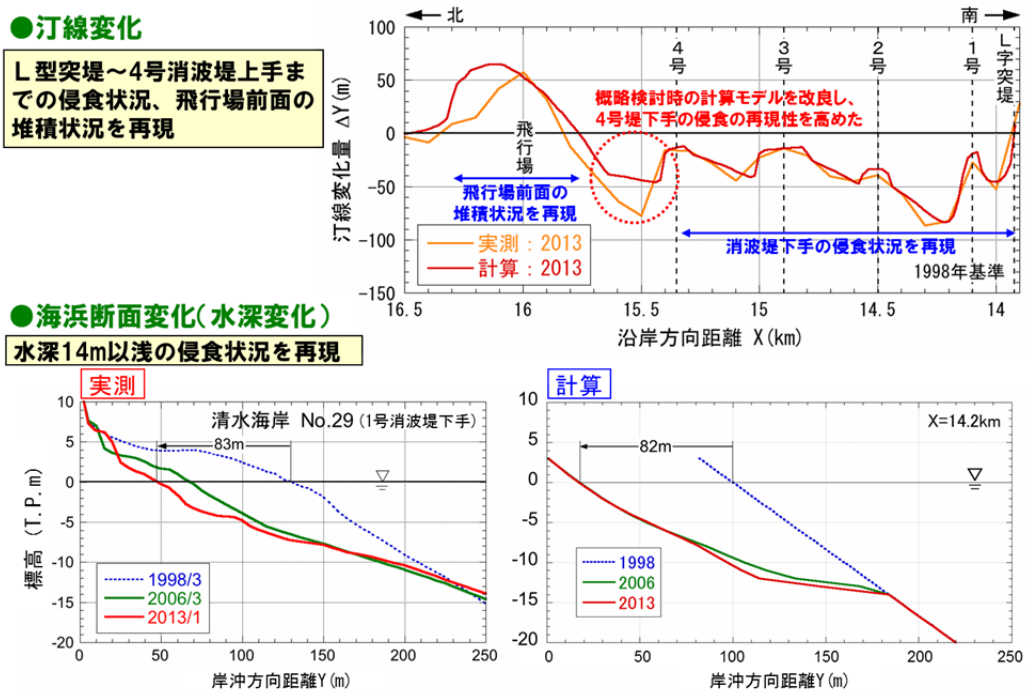


図-5.28　海浜変形シミュレーションの検証計算結果

1基案、2基案のシミュレーションの結果を以下に比較・検討していく。20年後の予測地形および5年ごとの予測汀線は図-5.29のとおりである。これでは大きな差は認められないので、予測砂浜幅で現L型突堤～3号消波堤上手くらいまで

を見てみる（図-5.30）。まず5年後の比較では、2基案のほうが1号消波堤上手でわずかに砂浜幅が広く、1号消波堤下手では一部を除いて約10m汀線を前進させている。全体的には両案ともほぼ必要砂浜幅を満たしている。次いで20年後の比較では、1号消波堤上手ではほとんど差がなく、1号消波堤下手では一部を除いて2基案のほうがわずかに砂浜幅が広い。

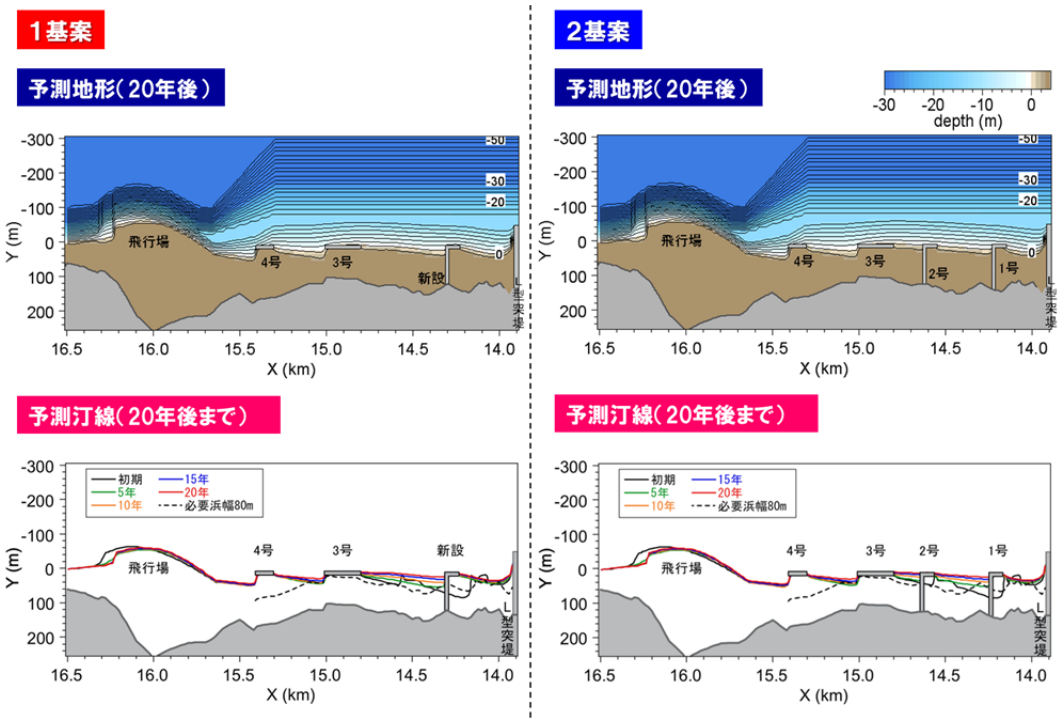


図-5.29　1基案、2基案の海浜変化シミュレーション結果

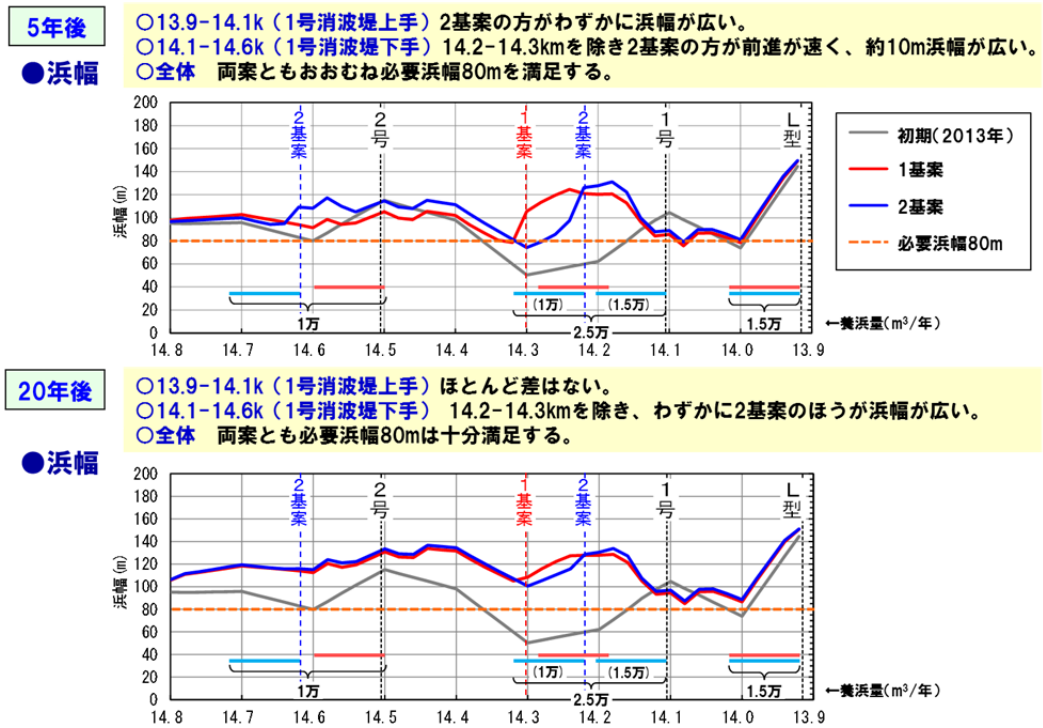


図-5.30　砂浜幅の比較

予測汀線では、5年後も20年後も汀線形状に大きな差は生じず、全体的には2基案のほうが侵食前の汀線に近づく傾向が認められた。しかし、20年後ではその差はわずかである（図-5.31）。

水深変化量による土砂量の変化で見てみると、5年後、20年後ともに2基案の堆積量がわずかに多い。この差は時間の経過によって縮小する傾向にある（図-5.32）。

以上のシミュレーション結果から、20年後の砂浜の形状は両案でほとんど変わらないが、砂浜幅と土砂量変化では2基案のほうがわずかに優位である。

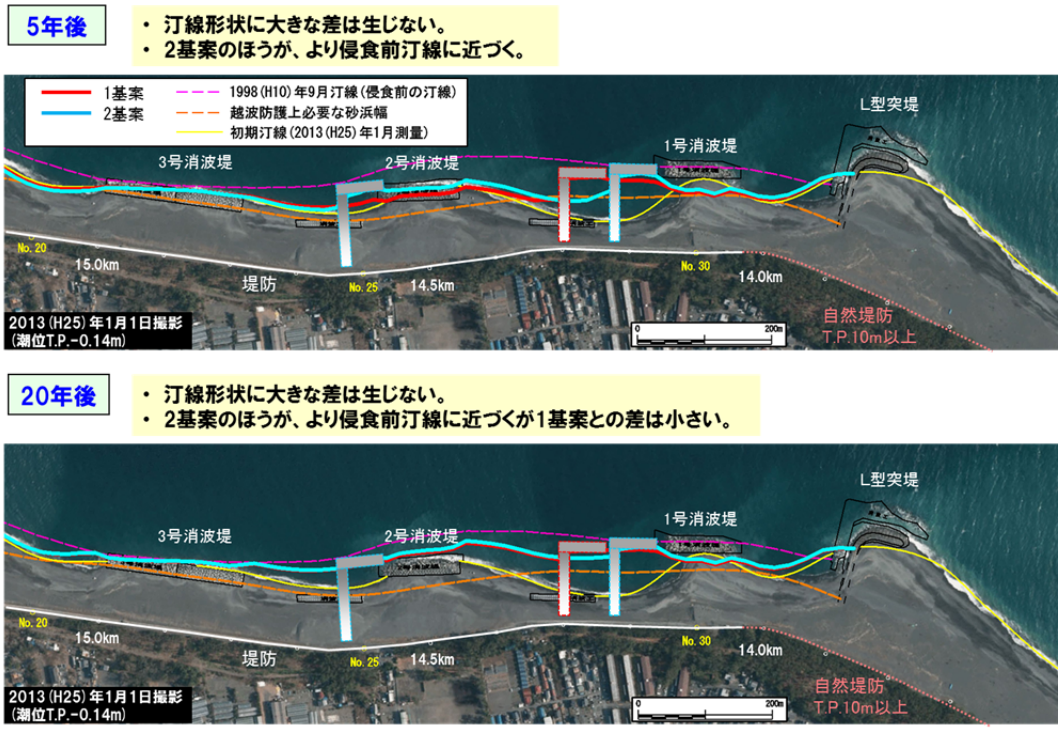


図-5.31　予測汀線の比較

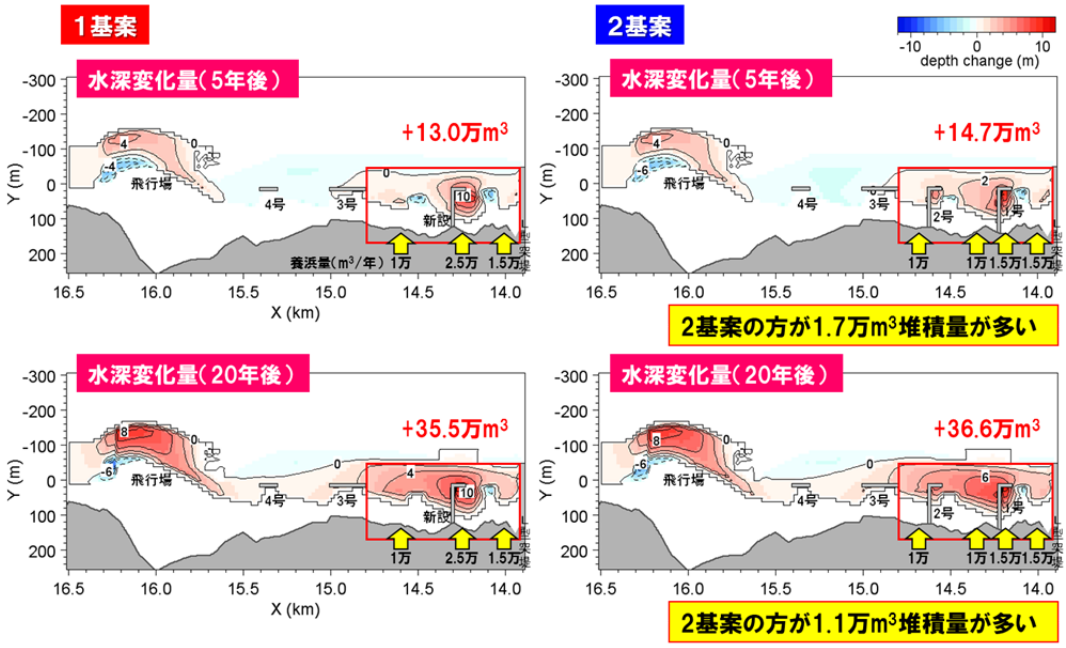


図-5.32　土砂量変化の比較

悪条件時の検証

高波浪時シミュレーションは「５．１　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」と同様、5年後までの海浜変形シミュレーション（通常シミュレーション）で得た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、その影響を確認する形で行われた。計算条件は図-5.33のとおりである。より予測精度を高めるために、消波堤の波高の伝達率や上手からの土砂の流入条件などモデルに若干の修正を加えた。

2013（平成25）年の再現地形を基準とした検証計算を行い、台風18号、26号襲来前後の2013年9月～11月の実測値と比較した。水深変化量、汀線変化量ともに侵食・堆積状況が再現されており、モデルの妥当性が確認された（図-5.34）。

目的　これまで検討に用いた年数回来襲波（5%確率波）を上回る異常波浪を短期間作用させ、影響を確認する

【現況】2013年再現地形 → 長期変動シミュレーション（これまでと同様）（5年間） → 【5年後】予測地形 → 短期変動（高波浪）シミュレーション（39時間） → 【高波浪後】予測地形

より危険な地形の条件で高波浪が作用した場合を検証するため、通常シミュレーションの5年後の予測地形を初期とした

計算条件

対象波浪	2013年台風18，26号時の異常波浪
初期地形	長期予測結果（5年経過時）
計算期間	2013年台風18，26号時の波高3m以上の継続時間　39時間（18号20時間、26号19時間）
波高伝達率 Kt	1号消波堤：0.6、2号消波堤：1.0、3,4号消波堤：0.9 新設L型突堤：0.9 各消波堤周辺の地形変化状況の再現性を高めるため消波堤毎に波高伝達率を設定
養浜	なし
入射波条件	2013年台風18，26号時の波高3m以上の継続時間内のエネルギー平均波 沖波波高H_0' =5.6m、周期T=13.6s
地形変化の限界水深	バーム高：+5m（通常時+3m）、移動限界水深：-15m（通常時-12m） 2013年台風18，26号前後の測量成果を基に決定
L型突堤下手への土砂流入量（境界条件）	Q_{in}=13万m^3/年相当 各消波堤周辺の地形変化状況の再現性を高めるため、上手から土砂流入があり、漂砂移動が生じやすい条件を設定

図-5.33　悪条件時の検証（高波浪時シミュレーション）の目的と計算条件

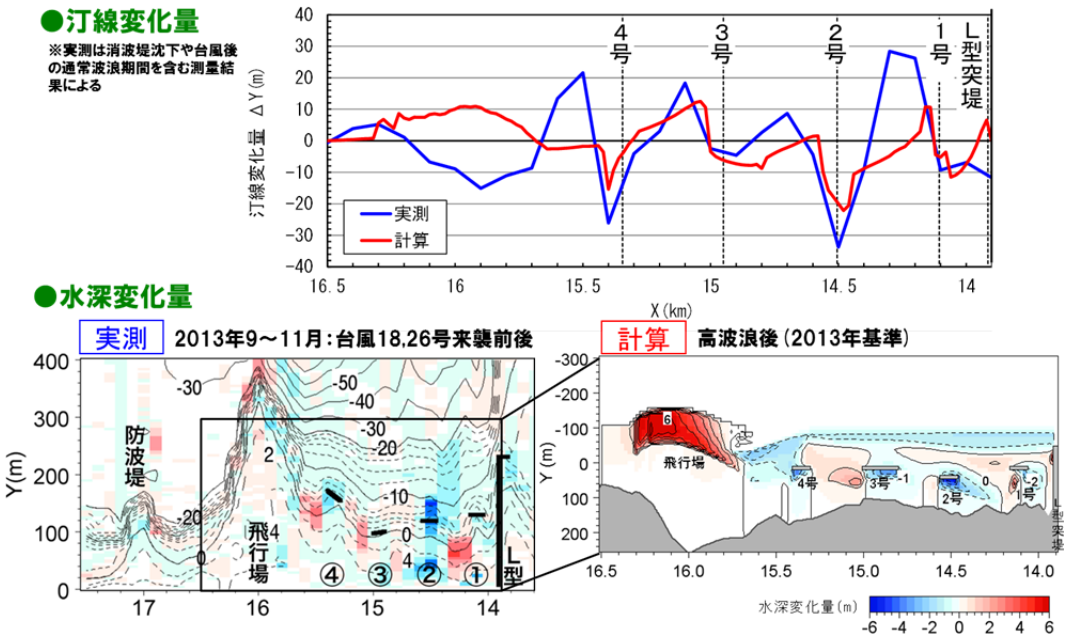


図-5.34　高波浪時シミュレーションの検証計算結果

高波浪時シミュレーションの結果は、図-5.35のとおりである。汀線変化量の比較では、1号消波堤上手で1基案のほうがわずかに後退量が少なく、1号消波堤下手で2基案のほうが最大で15mほど後退量が少ない（図-5.36）。砂浜幅の比較では、1号消波堤上手で両案とも必要砂浜幅を割り込むが、1号消波堤下手では2基案のほうが最大で10mほど砂浜幅が広い（図-5.37）。

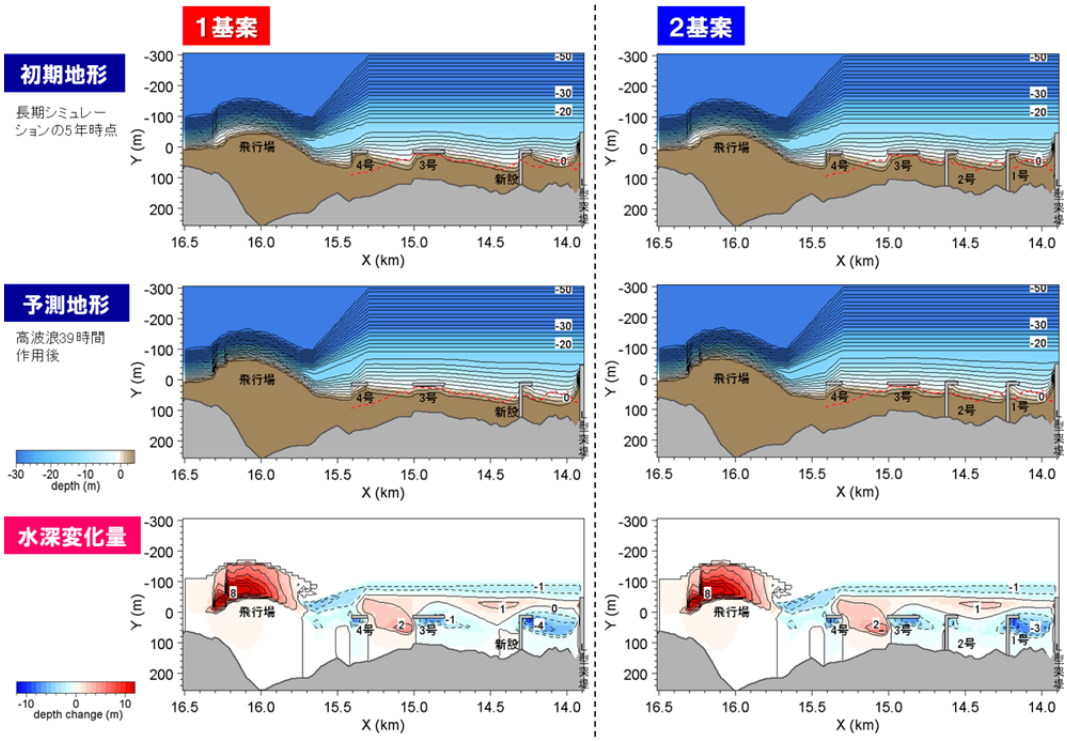


図-5.35　1基案、2基案の高波浪時シミュレーション結果

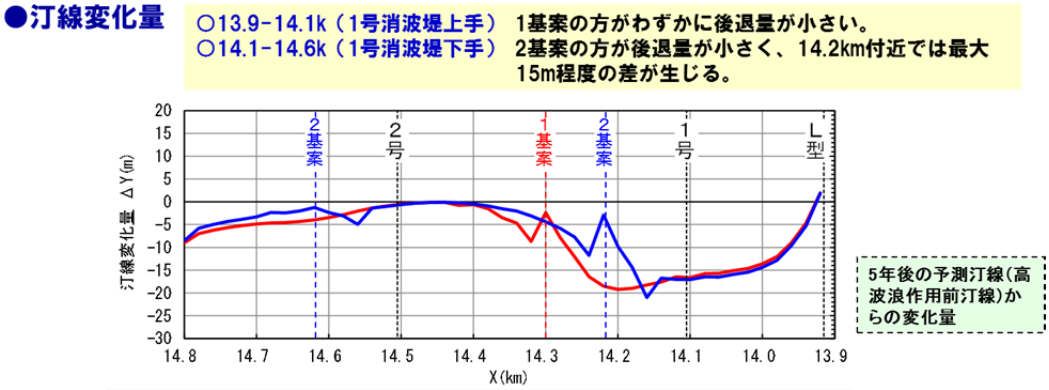


図-5.36　汀線変化量の比較

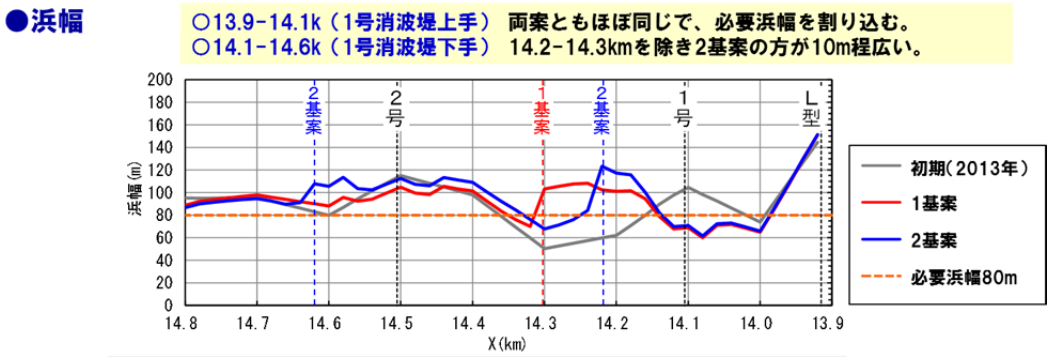


図-5.37　砂浜幅の比較

さらに想定される悪条件として上手側からの土砂流入量が減少する場合の新たな検証を行った。現Ｌ型突堤から消波堤区間に上手から流入する土砂量は現在約4.5万㎥/年であるが、2007年以前は1万㎥/年であった。長期変動の海浜変形シミュレーションは土砂流入量を現在水準の4.5万㎥/年で設定しているが、これを1万㎥/年に引き下げてシミュレーションを行った。

シミュレーションの結果（20年後の予測地形と20年後までの予測汀線）は図-5.38のとおりである。汀線変化量を比較すると、1号消波堤上手ではやや2基案が優れ、1号消波堤下手でも2基案のほうが最大で15m後退量が小さい(図-5.39)。砂浜幅では1基案、2基案とも1号消波堤上手で必要砂浜幅を割り込み、また新設した突堤下手で必要砂浜幅を大きく割り込んでいる。2基案の1号突堤の下手を除いて、2基案が最大で約15m砂浜幅が広い（図-5.40）。

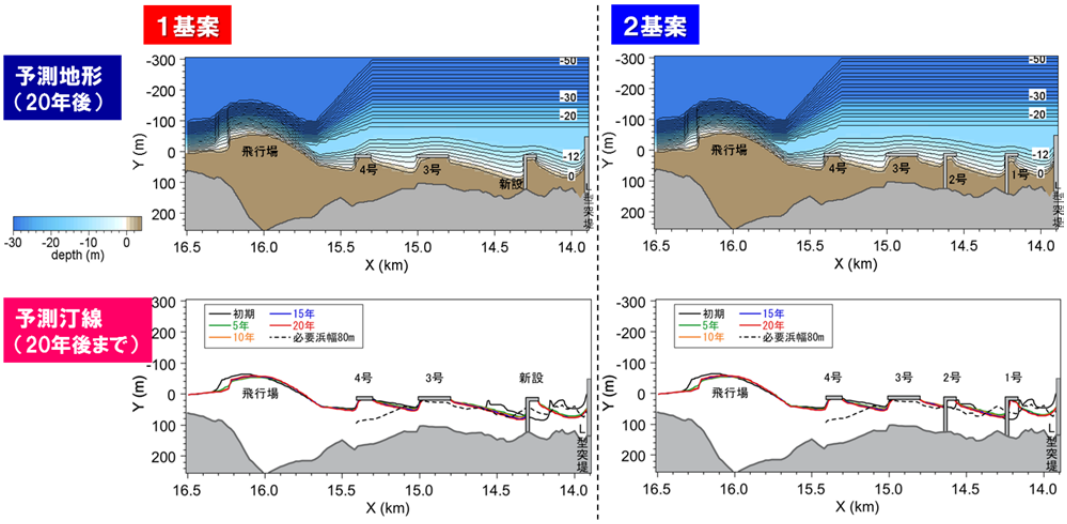


図-5.38　流入土砂量減少時のシミュレーション結果

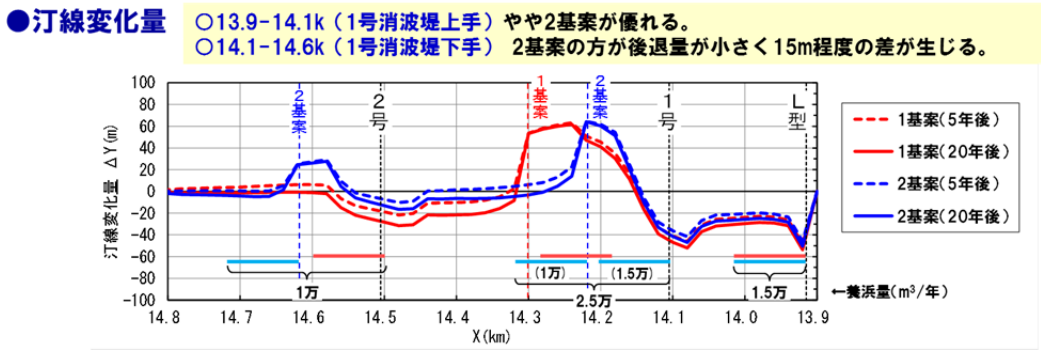


図-5.39　汀線変化量の比較

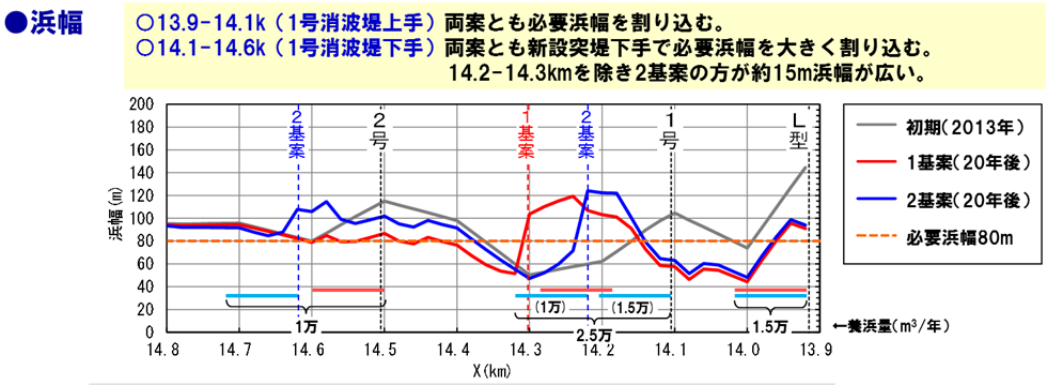


図-5.40　砂浜幅の比較

土砂量変化を見ると、2基案のほうが減少量は少ないものの、両案とも深刻な侵食を招くことになる（図-5.41）。こういう事態を避けるために、上手側区間での安倍川からのサンドバイパス養浜などにより土砂供給の連続性を確保する取り組みが極めて重要になる。

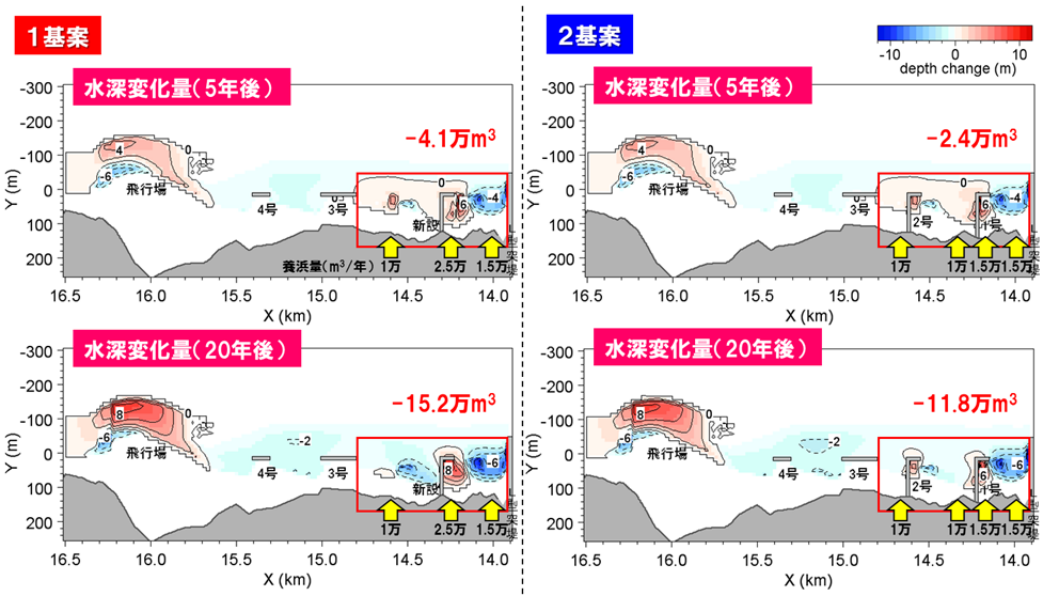


図-5.41　土砂量変化の比較

地形変化実績の確認

L型突堤1基案か2基案かを決定する検証の最後に、現地の地形変化の経緯と現状を確認した。消波堤区間の侵食は1999（平成11）年頃から始まったので、1998年3月の汀線を侵食前の汀線とする。

図-5.42は侵食前の汀線と2013年、2014年の各時期の汀線を比較したものである。とくに1号消波堤～2号消波堤間はこの15年間で約70m後退しており、前後の他の区間と比較しても侵食が激しい区間である。

2013年9月には7月の台風7号の襲来により養浜盛土を含む砂浜が大きく削りとられ、堤防の基礎部が露出する事態となった。このままでは堤防が倒壊するおそれもあったので、緊急対策として根固め工事を実施した。その後、台風18号、台風26号によって汀線は回復、さらに集中的に養浜を実施したため、危機

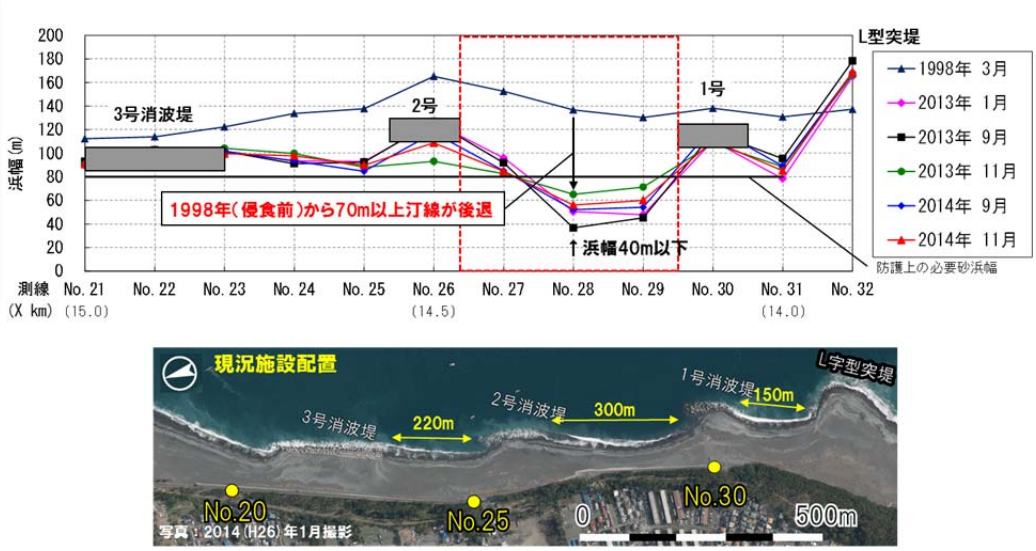


図-5.42　消波堤区間における砂浜幅の変化

的状況からは脱している（図-5.43）。

開口部が広く、地形変化が激しい1号消波堤～2号消波堤間において、現在の施設配置を大きく変更したり、開口部をより拡大することは、リスクを伴うと認識しておく必要がある。

図-5.43　2013 年の砂浜の大量流出

気候変動による海面上昇の影響を検討

本技術会議委員からの指摘により、海浜変形シミュレーションにおいて気候変動を要因とする海面上昇の影響を考慮する必要があるかどうかについて検討した。

「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC： Intergovernmental Panel on Climate Change）が2013（平成25）年から2014年にかけて公表した「第5次評価報告書」（AR5）の「21世紀の世界平均海面水位上昇予測」によると、海浜変形シミュレーションの20年後に当たる2033年には最大で0.19m海面が上昇することが予測される。これを砂浜勾配が1/5～1/10の消波堤区間に当てはめると、海面上昇によって失われる砂浜幅は1.0～1.9mとなる（図-5.44）。

海面上昇の影響は不確定要素であり、予想される砂浜幅の減少は「計画上の余裕」の範囲内に収まるため、この要素を海浜変形シミュレーションに組み込む必要はないと判断された。しかし、常に注意を払ってモニタリングを継続し、海面上昇による影響が予測される場合には、突堤の改良や養浜の増量などの適切な対応をとる必要がある。

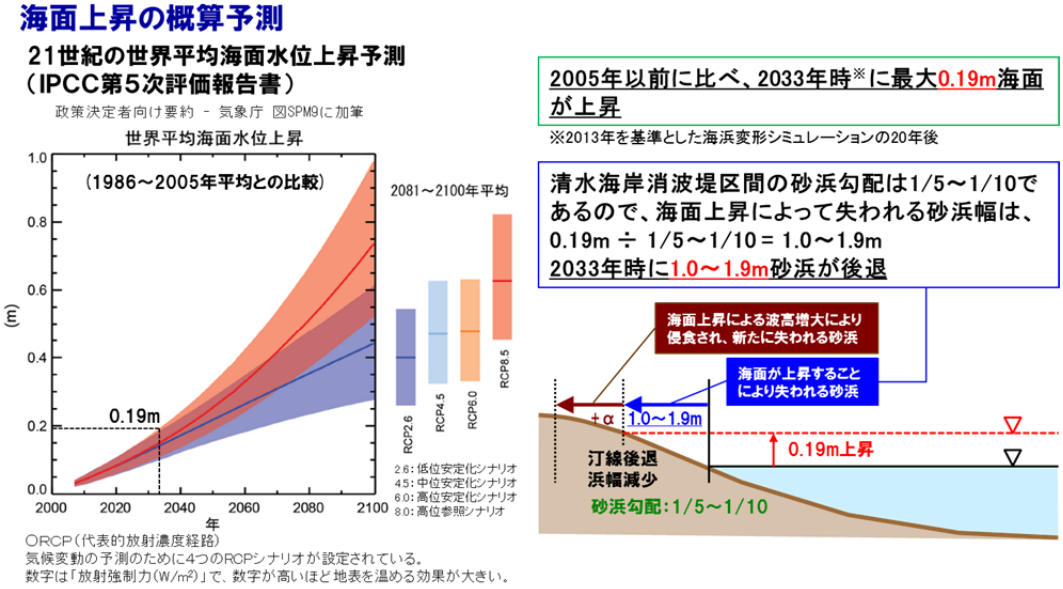


図-5.44　海面水位上昇予測と砂浜幅減少量

1基案、2基案の比較検討のまとめと結論

以上、長期変動の検証（海浜変形シミュレーション）、悪条件化の検証（高波浪時シミュレーション）、地形変形実績の確認などによって、1基案、2基案の検証を行ってきた。それらの結果をまとめたのが表-5.3である。

表-5.3　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。

この結果に基づいて、総合的に評価すると次のようになる。

・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可能である。

・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基案のほうが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基案がわずかに上回る。

・景観に関しては、1基案のほうが良好であるが、その差はわずかである。

以上の評価を踏まえて、突堤配置の結論は次のようになった。

・安全性および確実性を重視し、現1号消波堤、2号消波堤の下手にそれぞれＬ型突堤（計2基）を設置する。Ｌ型突堤の平面配置と養浜位置の最終案は図-5.45のとおりである。

・侵食傾向が著しい箇所への対応、景観改善効果の早期発現を考慮して、1号Ｌ型突堤（南側）から着手する。

・2号Ｌ型突堤については、1号Ｌ型突堤設置後のモニタリングの結果により、設置位置を下手に移すことや設置の可否についても再度検討する。

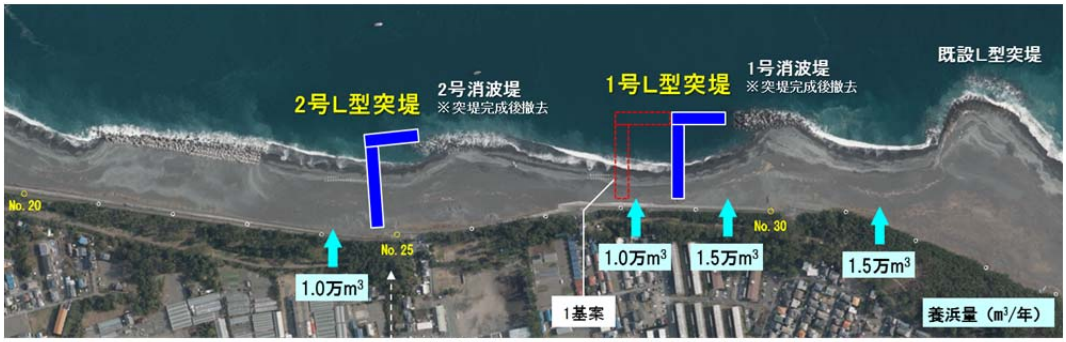


図-5.45　Ｌ型突堤の配置と養浜位置の最終案

これに伴って、今後の詳細設定などで配慮すべき点は次のとおりである。

・上手側からの土砂供給の連続性を確保する。

・消波堤の撤去はＬ型突堤設置完了後に行う。撤去した消波ブロックは海岸の安全度をより向上させるために使用する。

・養浜については、モニタリング結果に応じて投入位置や投入量の調整を随時行う。

・Ｌ型突堤整備に先行して、養浜を実施する。

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。

第６章
Ｌ型突堤の構造の選定

６.１　現地の条件に基づく構造の検討

現Ｌ型突堤の構造と消波堤区間の海底地形

新設するＬ型突堤の構造を検討するにあたって、まず参考にするべきなのは三保松原前面に既に設置しているＬ型突堤（現Ｌ型突堤）である。この現Ｌ型突堤の防護面、景観面での実績が評価されたことが、本技術会議で消波堤の代替工法としてＬ型突堤が採用されたことにつながっている。

現Ｌ型突堤は捨石（水底に基礎などをつくるために用いられる石）を被覆ブロックで保護した被覆ブロック張式。これは漂砂捕捉効果、景観面、経済性など総合的な観点から採用された構造である（図-6.1、図-6.2）。この構造の長所は、不透過型であるため、漂砂制御機能が高いこと、地形への追従性が高く、海浜との馴染みがよいこと。短所は地盤の上に直接設置しているため、地形変化の影響を受けやすいことである。地形変化によりブロックの沈下や散乱が生じやすく、それに伴って中詰材（捨石）が流失し、堤体全体に沈下が生じる恐れがある。

この現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、消波堤区間はこ

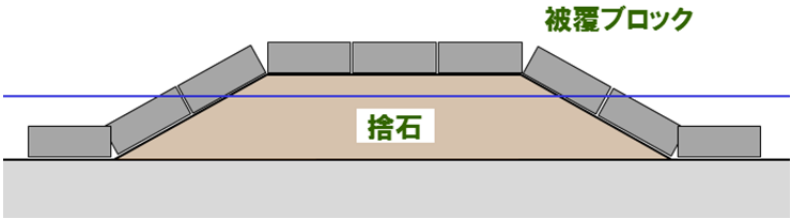


図-6.1　被覆ブロック張式断面イメージ

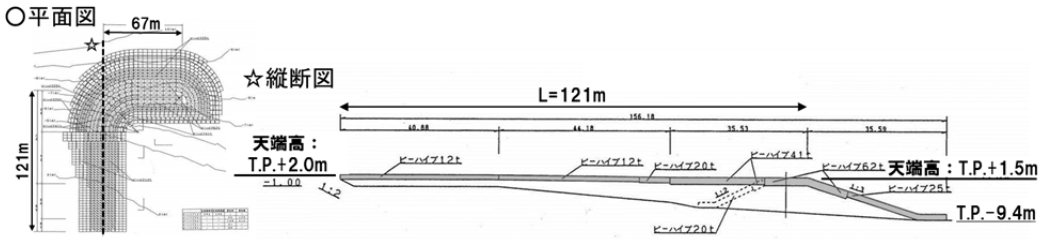


図-6.2　現Ｌ型突堤構造図

れまでにも触れてきたように急勾配区間（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。

海底地形が急勾配であると、沖合の波が減衰されないまま施設に到達する。これを計画波高(建設計画で設定する波の高さ)で見ると、緩勾配区域では11.4mであるが、急勾配区間では15.0mになる（図-6.3）。波高が1.3倍以上になると、突堤に必要とされるブロック重量は2倍以上になる。現Ｌ型突堤の最も重いブロックは波が直接作用する横堤（一部縦堤）に使用している62t型であるが、新Ｌ型突堤では100tを超えるブロックが必要となる。また、波力が大きくなるため、構造物の前面で海底を掘る（洗掘）力が強くなる。

急勾配であり、侵食による地形変化が激しいことを考えると、重量の重いブロックでも沈下や散乱が生じやすく、施設が被災する危険性は高い。

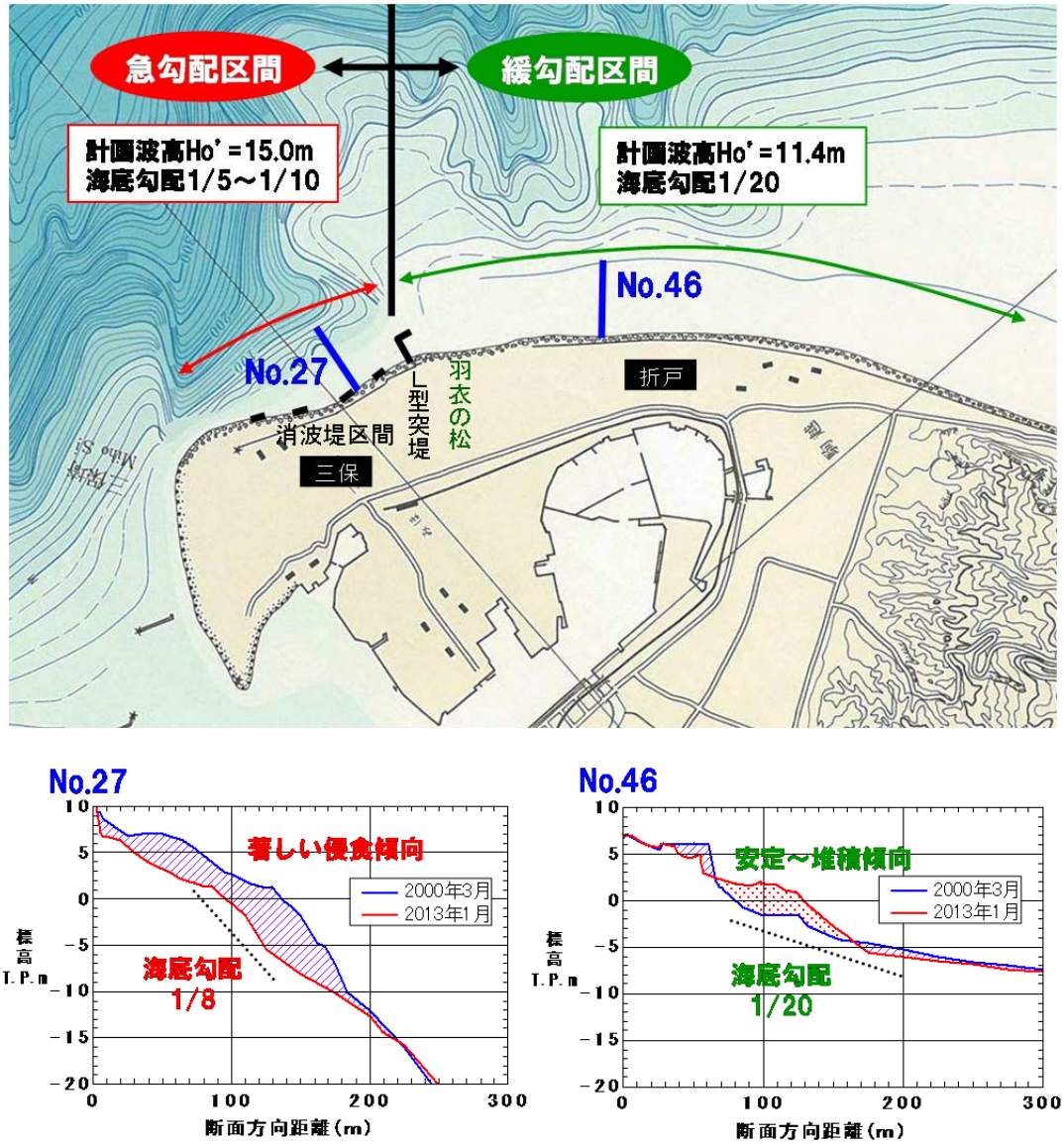


図-6.3　現Ｌ型突堤以南と消波堤区間の海底地形の違い

以上のように、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、異なる構造を選択することも視野に入れ、別々に検討することとした。異なる構造とする場合は、その接合部分についても検討が必要となる（図-6.4）。

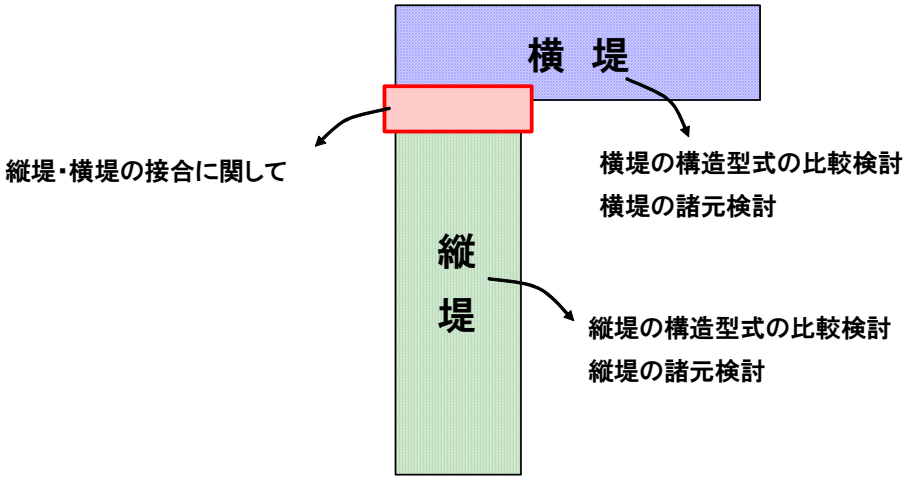


図-6.4　突堤構造選定の考え方

突堤の基礎形式による選択

突堤の構造には大別して透過型と不透過型がある。透過型は突堤本体に50%程度の空隙を確保し、堤体内を海水や土砂を通過させる形式である。対して、不透過型は堤体内に海水や土砂を通過させない形式である。不透過型は漂砂制御効果は高いが、構造物にかかる力が大きくなり、前面洗掘も生じやすい。透過型は不透過型より漂砂制御効果は落ちるが、施設の安定性の面では優れているといえる。

代表的な突堤形式を表-6.1に示した。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（図-6.5）。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。

捨石基礎は捨石を敷き詰めた構造である。急勾配地形では高波浪時に基礎の法先（法面の先端）が洗掘を受け、基礎崩壊から本体の被災につながりやすい。

杭基礎は透過型のスリットケーソン（スリットの入ったコンクリート製の箱型構造物）などを海底に打ち込んだ鋼管杭で支持する構造である。波が堤体を透過するので、洗掘の影響は周辺全体に分散し、基礎の安定性は高い。急勾配海岸にも対応可能で、地形変化が生じやすい地盤に適している。

矢板基礎は鋼矢板を支持層まで打ち込んで、上部工コンクリートを支持する構造である。波を完全に反射させる直壁タイプなので、矢板前面の洗掘が激しくなり、そのため矢板自体の規模を大きくする必要が生じる。

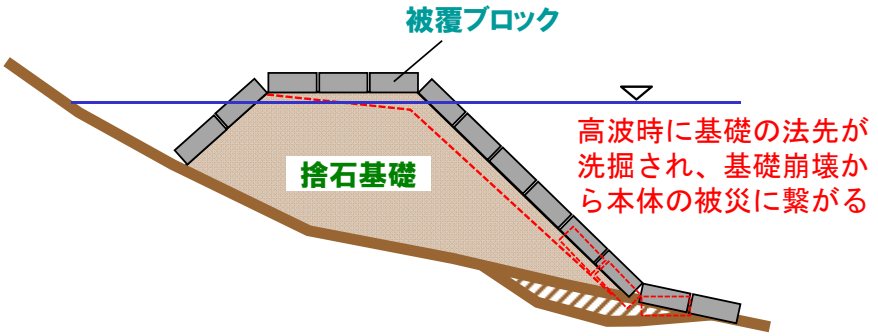
新Ｌ型突堤の縦堤はどの基礎形式でも適用可能であるが、横堤は被覆ブロック張式で検討したように捨石基礎タイプの採用は困難である。そこで、杭基礎タイプと矢板基礎タイプについて検討することとなった。

表-6.1　代表的な突堤形式

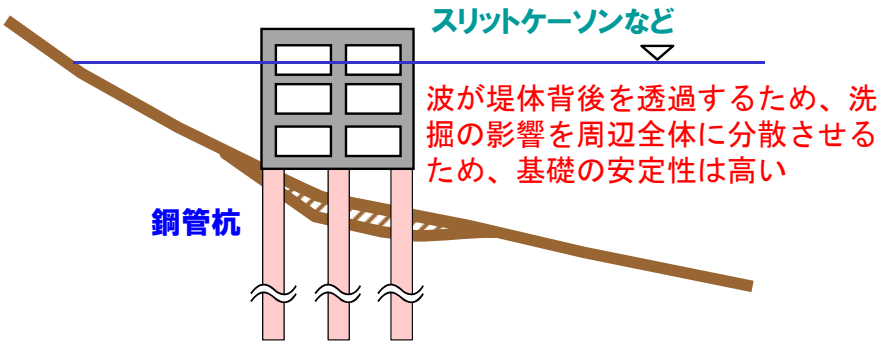
基礎分類	型式	構造概要	比較的波高が高い箇所で適用	透過/不透過
捨石基礎※	消波ブロック式	消波ブロックを積み重ねる	○	透過型
	石枠式	鉄筋コンクリート枠の中に詰石する		透過型
	石積式,石張式	中詰石の表面を大きい石で被覆する		不透過型
	被覆ブロック張式	中詰石の表面をブロックで被覆する ⇒　既設L型タイプ	○	不透過型
	場所打コンクリート式	コンクリートを現地で打設する		不透過型
	ケーソン式 (ウェル式)	コンクリート函体の内部に詰石する (ウェル式はケーソン下部を基礎地盤に埋め込んだ形式(堤頭部等))	○	不透過型
	セルラーブロック式	コンクリートブロックで壁体を形成し、内部に詰石する		不透過型
杭基礎	有脚式	孔空きケーソン等を鋼管杭で支持する ⇒　新型離岸堤タイプ	○	透過型
矢板基礎	二重矢板式 (鋼矢板,鋼管矢板)	鋼矢板(鋼管矢板)を二重に打設し、堤体内を砂礫で中詰めする	○	不透過型

※捨石基礎タイプは、条件が良ければ直接基礎とする場合もある

○捨石基礎　断面イメージ（被覆ブロック張式）



○杭基礎　断面イメージ（有脚式）



○矢板基礎　断面イメージ（二重鋼矢板式）

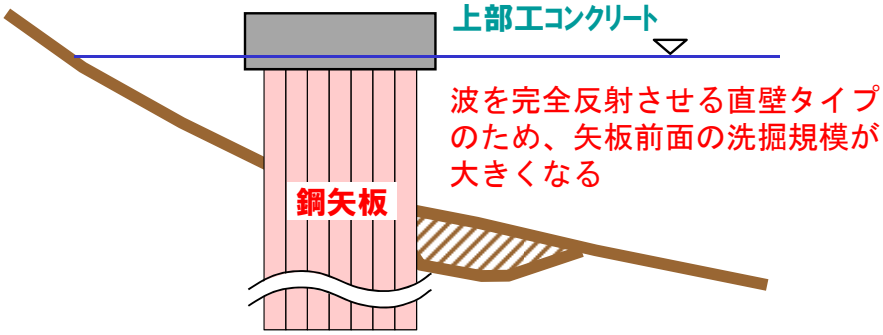


図-6.5　突堤基礎形式のイメージ

有脚式と二重矢板式の比較・検討

杭基礎タイプと矢板基礎タイプについて、具体的な事例を紹介しながら特徴を明確にし、どちらが消波堤区間の横堤に適しているかを検討した。

杭基礎タイプは有脚式と呼ばれる型式であり、本体のスリットケーソンなどを鋼管杭で支持する構造で、スリットにより砕波を促進させる低天端型の消波構造物である（図-6.6）。海底地形が急勾配である富山県の下新川海岸の新型離岸堤などに用いられている（写真-6.1）。

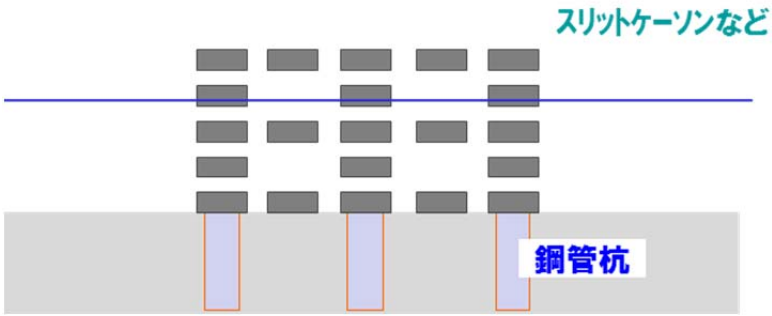


図-6.6　有脚式の断面イメージ

写真-6.1　下新川海岸の有脚式突堤

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こと。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。一方、短所は透過型であるため、不透過型と比べて漂砂制御機能が低いことである。

実際、有脚式は波浪制御を目的に開発されたものであり、下新川海岸の事例も波浪制御が目的である。これまでに堆砂効果を目的とした設置事例はない。そのため、堆砂効果の検討に加えて、堆砂による躯体への土圧の影響など構造の検討も必要になる。

矢板基礎は二重矢板式と呼ばれる型式であり、鋼矢板あるいは鋼管矢板を2列に打ち並べ、その中に砂礫を詰めた構造である（図-6.7）。神奈川県茅ヶ崎中海岸などに事例がある（写真-6.2）。

二重矢板式の長所は有脚式と同様、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こと。こちらは不透過型であるため、漂砂制御機能は高い。短所としては直立壁であるため、反射波や沿い波が大きく、周辺地盤が洗掘されやすいこと。反射波によって船舶航行に影響を及ぼしやすいことが挙げられる。

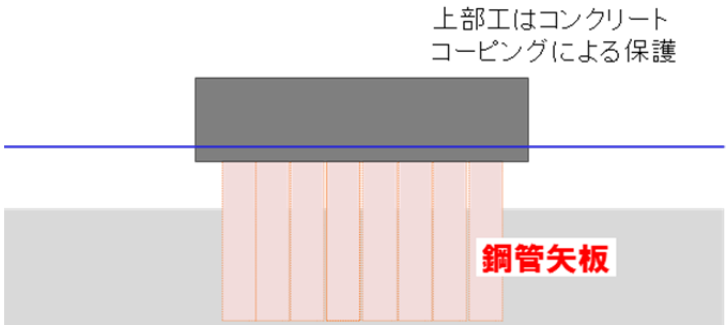


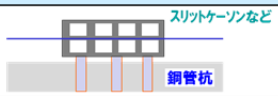
図-6.7　二重矢板式の断面イメージ

写真-6.2　神奈川県茅ヶ崎中海岸の二重矢板式突堤

表-6.2は有脚式と二重矢板式の評価をまとめたものである。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・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。また、有脚式、二重矢板式の双方とも、杭や矢板を打設する際に、既設消波堤の沈下・散乱した埋没ブロックが妨げになる可能性が高い。

以上を踏まえて、新設のＬ型突堤の横堤は、他の構造に比べて施設全体の安定性が長期にわたって確保しやすい有脚式を採用する方向で検討を進めていくこととなった。

表-6.2　横堤としての二重矢板式・有脚式の評価

		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			
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保するための実験・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・消波ﾌﾞ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）

縦堤・横堤の複合タイプのイメージ

縦堤については、防護面、景観面、経済性などから、現Ｌ型突堤で効果が確認されている被覆ブロック方式を採用することとした。とくに景観面では、地形への追従性、砂浜との馴染みのよさから目立ちにくい縦堤となる。

縦堤の先端部分が波力や洗掘など地形変化の影響を受けないよう横堤を前面に設置することで、縦堤のブロック質量の低減を図ることができる（図-6.8）。その際、横堤に一定の消波機能を確保することが必要になる。

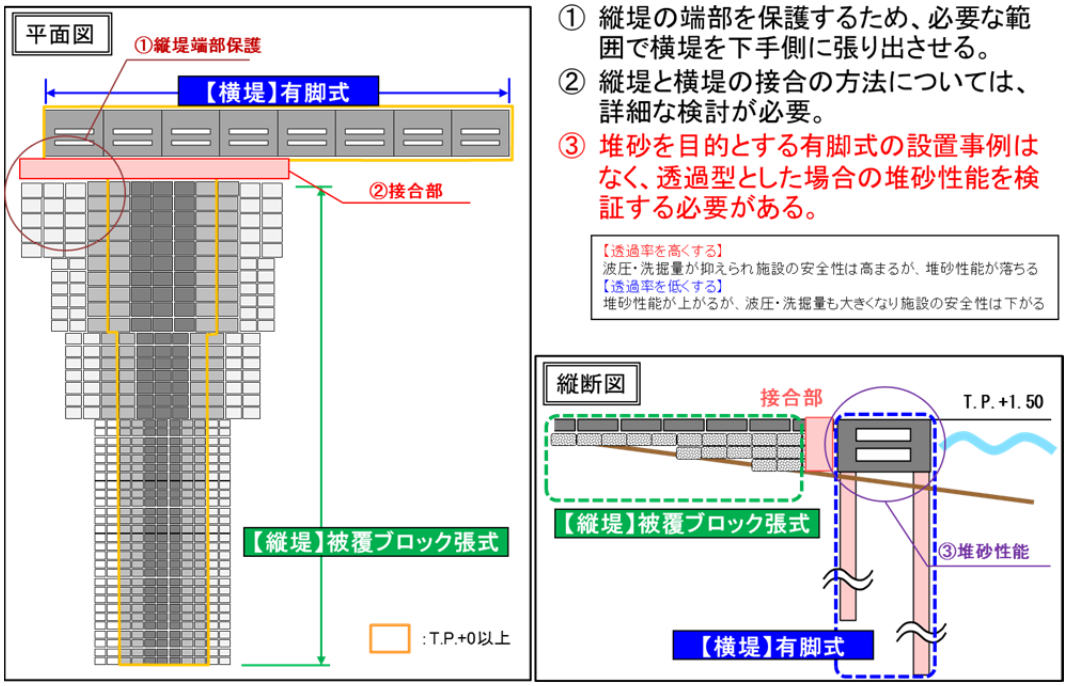


図-6.8　横堤・縦堤複合タイプの構造イメージ　平面図・縦断図

図-6.9は縦堤・横堤を合わせた新Ｌ型突堤のイメージ図である。縦堤の端部を保護するために、必要な横堤を下手側に張り出させることも考えられた。横堤が透過性なので、縦堤に大きな波力がかかるので、縦堤と横堤の接合の方法については今後の詳細な検討が必要となる。

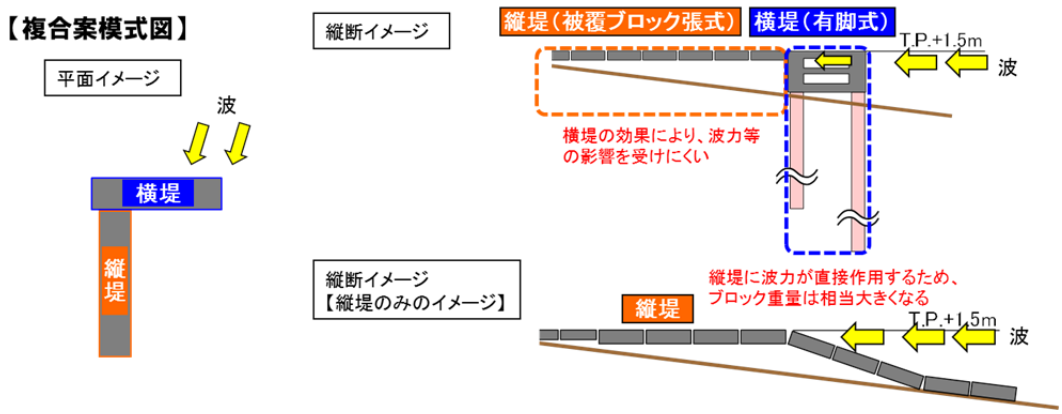


図-6.9　横堤・縦堤複合タイプのイメージ

その他にも課題は多いが、最も重要な課題はこれまで堆砂を目的とした有脚式の設置事例はなく、有脚式（透過型）の堆砂性能（漂砂制御機能）を検証することである。その際、透過率を高くすれば、波圧や洗掘量が抑えられ安全性は高まるが、堆砂性能が低くなる。逆に透過率を低くすれば、堆砂性能は高くなるが、波圧や洗掘量が大きくなり施設の安全性は低くなる。

その堆砂性能の検証を模型実験で行うこととした。

6.2　突堤構造に関する模型実験などによる検討

模型実験による横堤構造の検証

既述のとおり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の模型実験を行った。

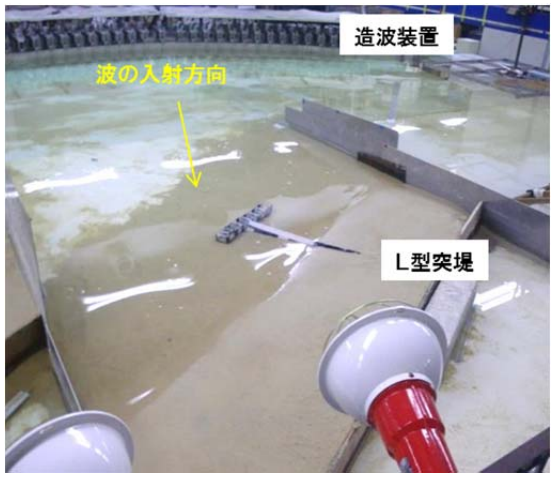


写真-6.3　模型実験の設備

模型実験は東京大学海岸沿岸環境研究室の協力を得て、同研究室で実施された。

縮尺は1/150で、写真-6.3のような実験設備を使用した。突堤の模型は縦堤を不透過とし、横堤は不透過型と透過型（スリット空隙率25%）の2種類を用意した（写真-6.4、図-6.10）。実験時間は現実の約12時間に相当する50分間。不規則波を用い、波浪条件は図-6.11のとおりである。養浜や土砂流入は見込んでいない。

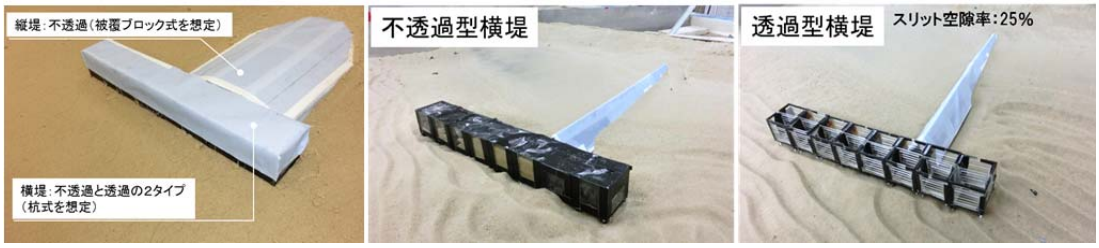


写真-6.4　突堤模型（L型突堤、不透過型横堤、透過型横堤）

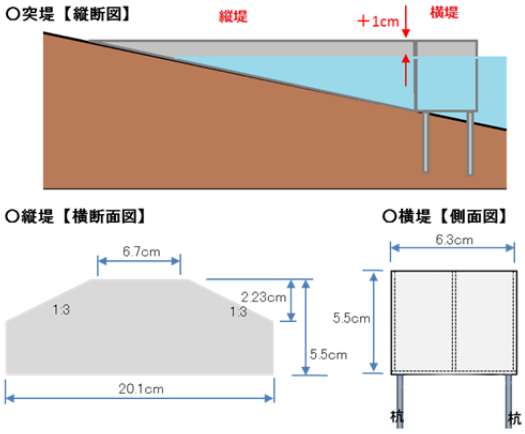


図-6.10　突堤図面

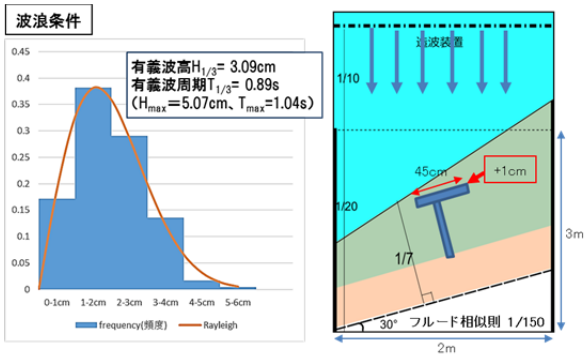
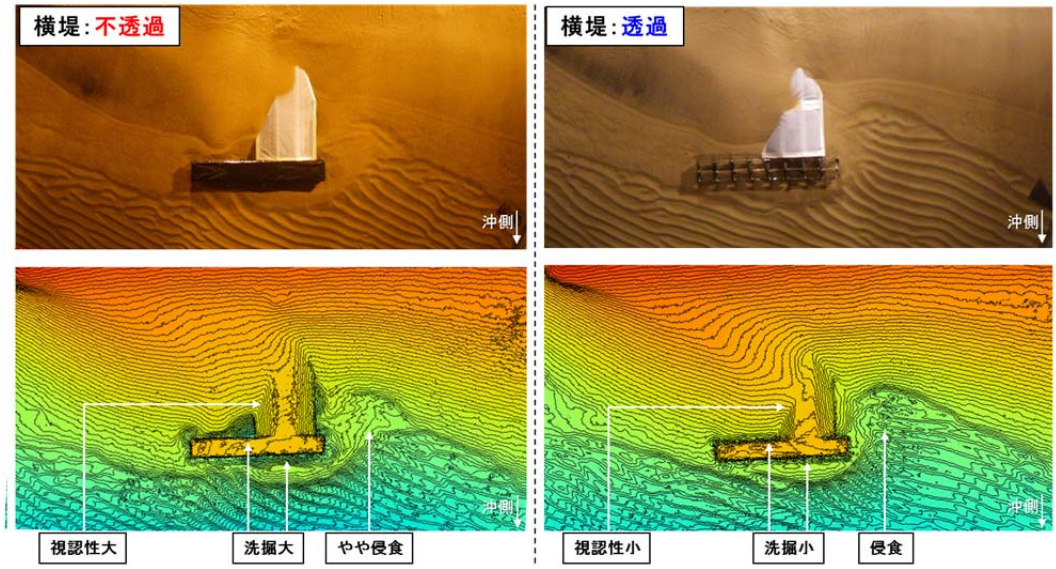


図-6.11　模型実験の概要

実験結果は土砂流入を見込んでいないので、高波浪時に一時的に土砂が失われた状態に近い様相を呈している（図-6.12）。まず最も注目すべき横堤後背部の堆砂であるが、不透過型のほうがやや深く掘れている部分があるのがわかる。透過型のほうが堆砂性能が優れる結果となった。不透過型では横堤の後背部に遡上した波がそこの砂を削りとりながら海に戻るのに対して、透過型ではある程度そこに砂を残しながら横堤をすり抜けて戻る。そのあたりがこの結果の原因の一つであると推測された。

また、突堤の下手では透過型のほうが侵食が大きく、汀線は不透過型よりもやや不連続であった。景観の面では、不透過型のほうが突堤上手の堆砂が少なく、視認性が高い。沖側前面については、不透過型の洗掘が大きくなるのが確認された。

以上、この実験においては、透過型が堆砂性能でも優れているという結果が示された。養浜や土砂流入を含めた検証ではないが、透過型の堆砂性能も期待できることが確認できた。



【結果まとめ】（※土砂流入を見込んでおらず、実験結果は高波浪来襲直後の一時的に土砂が失われた状況に近い）

	後背部の堆砂		汀線の連続性		景観		前面洗掘		評価	
不透過	△	洗掘により、構造物付近が窪む	○		△	突堤上手の堆砂が劣る	×	大きい	△	
透過	○		△	不透過よりやや不連続	○		○		○	堆砂性能でも優れる

図-6.12　模型実験の結果

なお、横堤の鋼管杭打設イメージとして、富山県下新川海岸の有脚式離岸堤における杭基礎の配置例を挙げておく（図-6.13）。設置水深は2～10m程度で、コンクリートのスリットケーソンから下に出ている杭の長さは9～16m。地中に埋まっている部分はこれを少しマイナスした長さになる。杭のピッチは4mに1本程度なので、地下水などへの影響なども問題がないと考えられる。

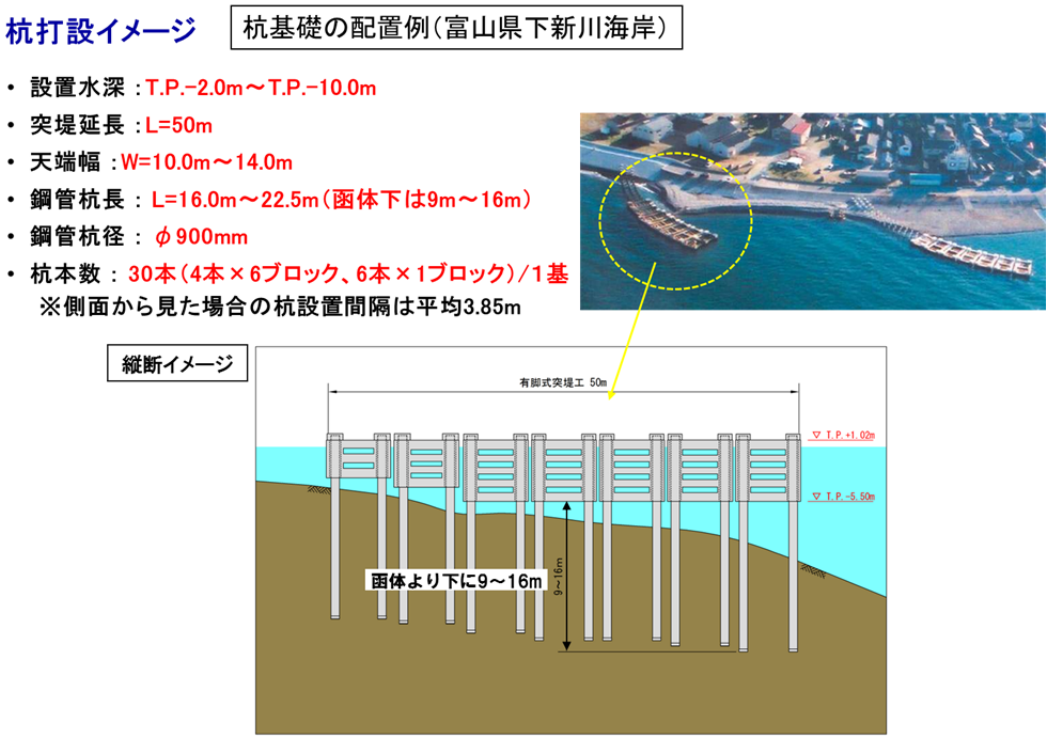


図-6.13　横堤の鋼管杭打設イメージ

縦堤のブロックの重量を試算

縦堤に関しては既述のとおり現Ｌ型突堤と同様の被覆ブロック式の採用を基本としているが､問題はブロックの重量であった｡波力が強い消波堤区間では、現Ｌ型突堤より重いブロックが必要になる。これが実現可能な範囲内の重量であるのかを検証しておく必要があった。

現Ｌ型突堤と同タイプ（形状、ブロック種類、根固工）とした場合、図-6.14のようなブロックの必要な重量（所要質量）の試算となった。なお、これは試算のための平面イメージであり、このとおりに施工するものではない。

所要質量は横堤に近い位置のブロックが44.7t以上と最も重くなった｡これは実現性のある値であり、現Ｌ型突堤と同じ被覆ブロック式での施工が可能と判断された。

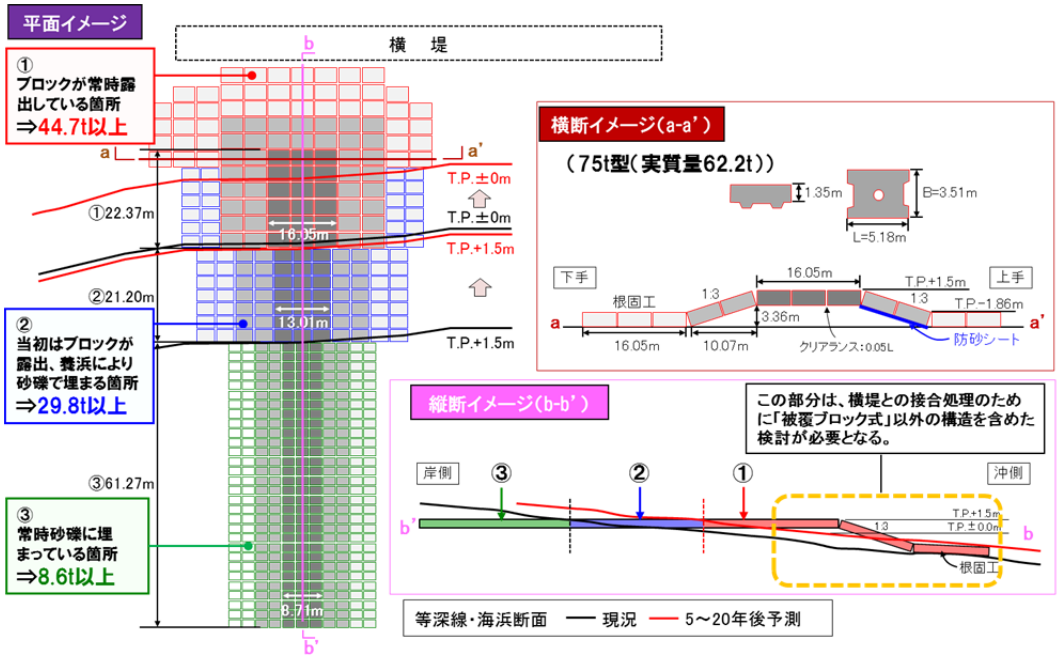


図-6.14　被覆ブロックの所要質量を試算

６.３　突堤構造に関する検討のまとめ

横堤と縦堤の基本構造と今後の検討

以上の検討を踏まえて、Ｌ型突堤の横堤・縦堤の構造については次のような結論となった。

横堤は安定性に優れ、一定の堆砂性能が期待できる有脚式（透過型）を採用する。

縦堤は砂浜との一体感や地形変化への追従性に優れる現Ｌ型突堤と同構造の被覆ブロック式（不透過型）を採用する。

ただし、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は残った。

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。

6.4　現Ｌ型突堤～1号消波堤間の養浜方法の検討

養浜形状を設定して模型で比較

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㎥/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の実例がある（写真-6.5）。天端高T.P.+7mの養浜を行い、天端高T.P.+12mの海岸堤防を目立たなくしている。場所は1号消波堤の背後で、今回の検討地域より約50m北側である。

写真-6.5　養浜によって海岸堤防の視認性を低下させた事例

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-6.15、図-6.16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とし、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。平面形状では盛土の開始位置を現Ｌ型突堤の北側とし、おおむね50m程度を擦り付け（地面や道などを緩やかに変化させる工事）区間とした。

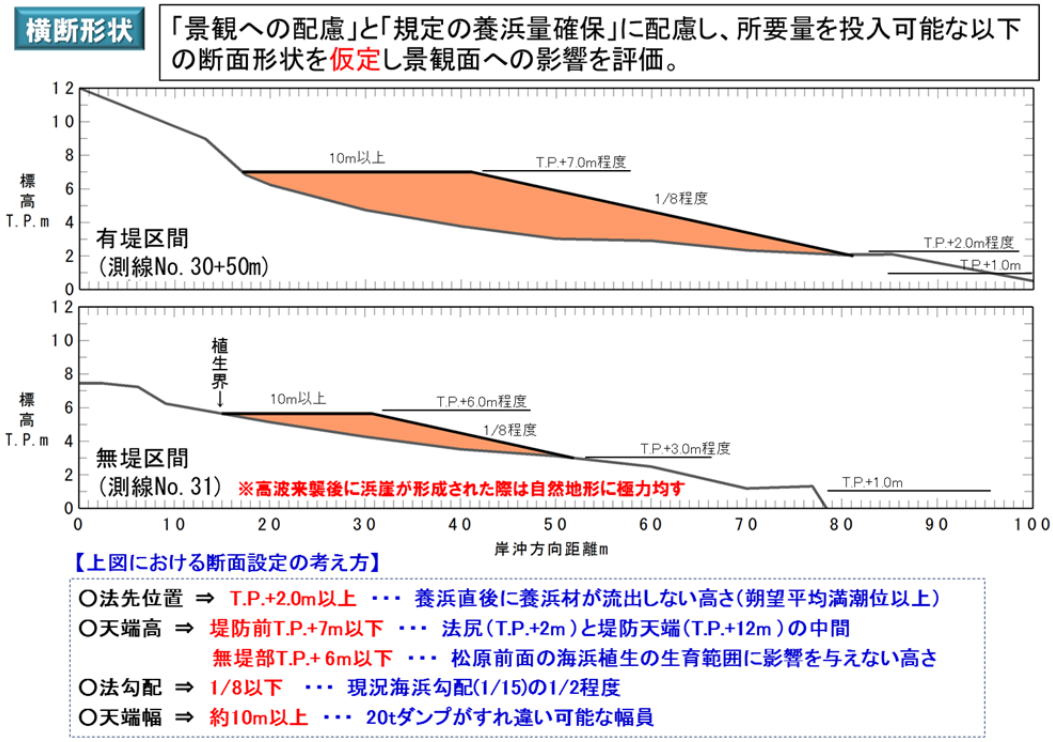


図-6.15　養浜盛土形状の検討；横断形状

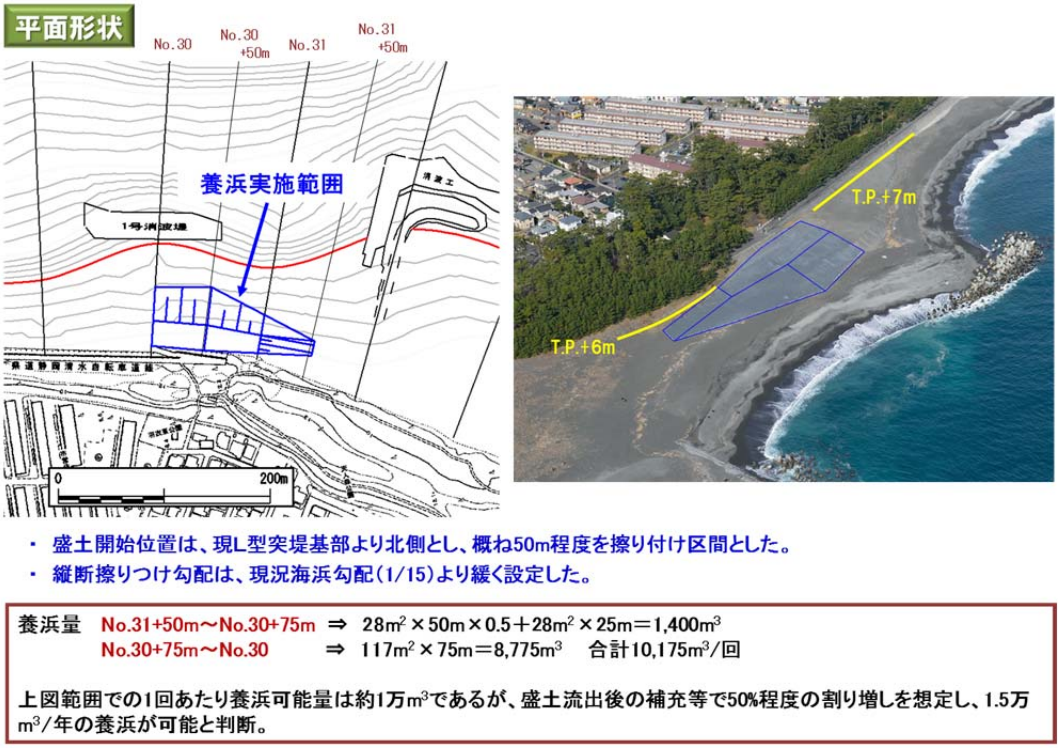


図-6.16　養浜盛土形状の検討；平面形状

以上の範囲を対象とした1回当たりの養浜可能量は約1万㎥であるが、盛土流失後の補充などで50%程度の割り増しが想定され、1.5万㎥/年の養浜が必要になると見込まれる。

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-6.17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。

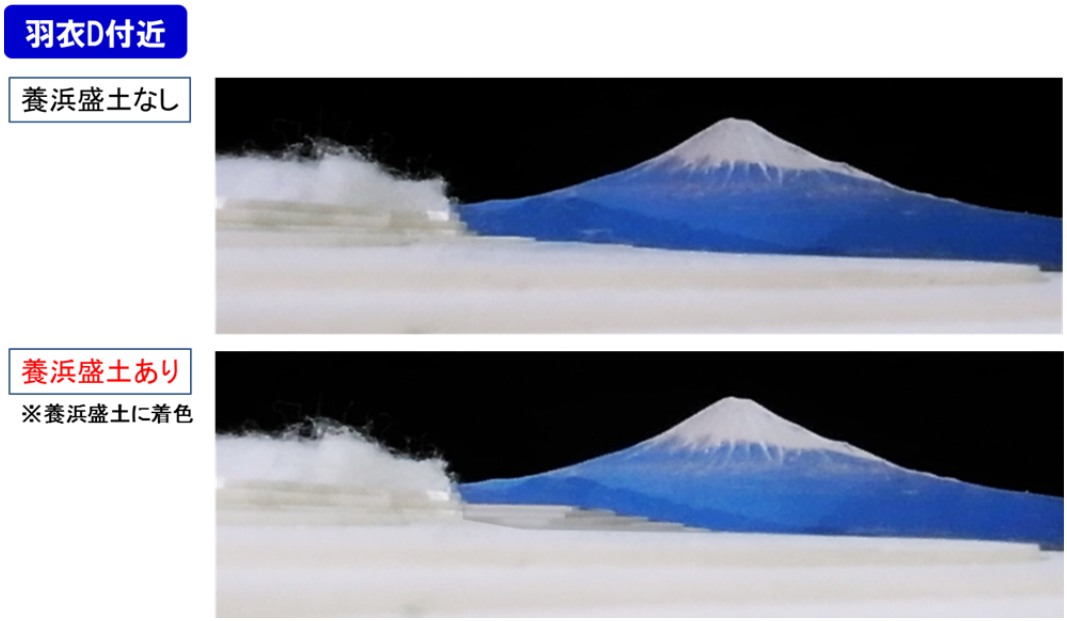


図-6.17　模型による養浜盛土なしと養浜盛土ありの比較

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㎥/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㎥/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㎥/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。

第７章
三保松原白砂青松保全技術会議の総括と今後の展開

７.１　技術会議の検討（まとめ）

技術会議の設立と対応方針の確立

2013（平成25）年8月に設立された三保松原白砂青松保全技術会議は、約1年半にわたって4回の技術会議、5回のワーキングを実施し、世界文化遺産の構成資産として未来へ引き継いでいく三保松原の目指すべき海岸の姿を検討した。

今後の海岸整備の基本理念を「『背後地の防護』と『芸術の源泉にふさわしい景観』の両立」と定め、Ｌ型突堤から4号消波堤までの消波堤区間の景観改善の対応方針を策定した。改善対策を短期対策（1号消波堤・2号消波堤区間）・中期対策（3号消波堤・4号消波堤区間）、長期（侵食前の海岸への回復）に分け、技術会議では中期・長期を見据えながら短期対策の具体化を行うものとした。

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。

短期対策の検討経緯

短期対策の検討は､現在の消波堤に替わる対策工法の選定からスタートした。一般的な工法のなかから新型離岸堤､人工リーフ､Ｌ型突堤の3工法を選び出し、海浜変形シミュレーション、景観シミュレーションを行って比較検討した（概略検討）。そのうえで総合的な評価を下し、防護、景観、利用の面で水準をクリアし、施工性・経済性に優れたＬ型突堤を最適工法として選定した。

続いて、Ｌ型突堤の縦堤の先端水深（縦堤長）と養浜量を変えて、海浜変形シミュレーション、景観シミュレーションを行った（詳細検討）。先端水深は4m（縦堤長100m）と6m（縦堤長110m）、養浜量は3万㎥/年と5万㎥/年で、これを組み合わせて4ケースを比較検討した｡養浜5万㎥/年で砂浜の回復量が大きく、水深6mと養浜5万㎥/年で最も良好な結果が示された。さらに同じケースで景観シミュレーションを実施し、汀線の形状（連続性）では養浜5万㎥/年がやや優

れていた。以上の結果、先端水深（縦堤長）の違いでは明確な差が出なかったが、養浜量は5万㎥/年を基本とすることに決定した。

次にＬ型突堤の形状と配置の検討を、これも海浜変形シミュレーション（長期変動）によって行った。Ｌ型突堤と下手にも少し横堤が伸びたＴ型突堤の比較などを行ったが、いずれも現Ｌ型突堤と1号突堤間で必要砂浜幅80mを割り込む結果となった。防護上も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㎥/年を当初の計画では1号突堤下手に3万㎥/年、2号突堤下手に2万㎥/年の配分としていたが、現Ｌ型突堤～1号突堤間に1.5万㎥/年、1号突堤下手に2.5万㎥/年、2号突堤下手に1万㎥/年と変更した。これによって全区間での80mの確保が可能となった。さらに突堤なし（養浜のみ）、突堤1基、突堤2基などの比較を行った。

この突堤なし、1基、2基のケースで高波浪時シミュレーションを行い、高波浪時の防護機能についての比較検討を行った。

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基案かについては更に検討を加えることになった。

これに伴って、特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。これで現在の消波堤が施工の妨げになることはなくなった。海浜変形シミュレーション、高波浪時シミュレーションなどを行って、1基案と新しい設定の2基案を比較検討した。その結果、高波浪時の安全性などで総合的に優れていた2基案を採用することになった。2基案の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㎥/年は1号突堤の上手に1.5万㎥/年、下手に1.0万㎥/年に変更した検討となった。

続いてＬ型突堤の構造の検討が行われた。現地の海底地形など条件に合致した構造が要求され、横堤に関しては有脚式と二重矢板式が比較検討され、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の施工が可能と判断された。

最後に養浜盛土の景観への配慮について検討が行われた。これは現在も継続して検討が進められており、養浜盛土形状はモニタリング結果を踏まえ随時見直し、最適化を図っていく。

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㎥/年以上を基本とする。

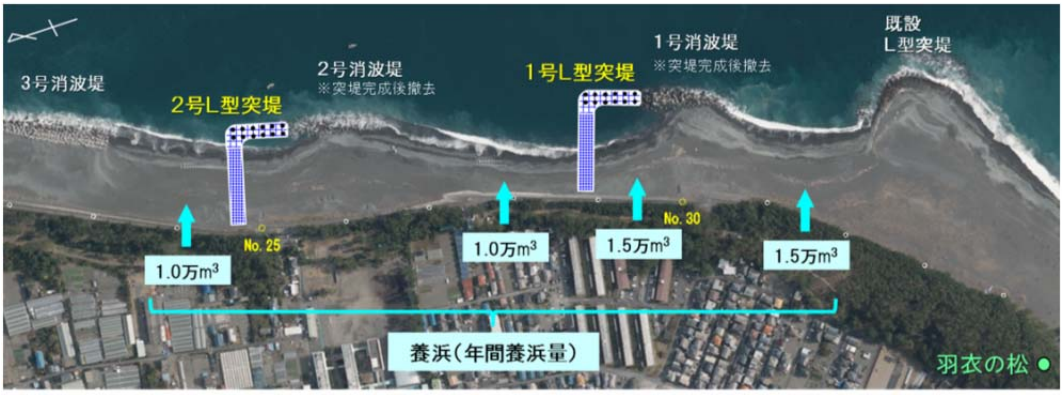
・養浜材は景観・環境的な一体性や経済性に優れる三保半島先端部の堆砂土砂を活用する。

・養浜配分は現Ｌ型突堤～1号Ｌ型突堤間に3万㎥/年（現Ｌ型突堤～1号消波堤1.5万㎥/年+1号Ｌ型突堤上手1.5万㎥/年）、1号Ｌ型突堤～2号Ｌ型突堤間に1万㎥/年、2号Ｌ型突堤～3号消波堤間に1万㎥/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

7.2　霊峰富士を望む白砂青松の美しい海岸を未来へ引き継ぐために

三保松原景観改善技術フォローアップ会議の設立

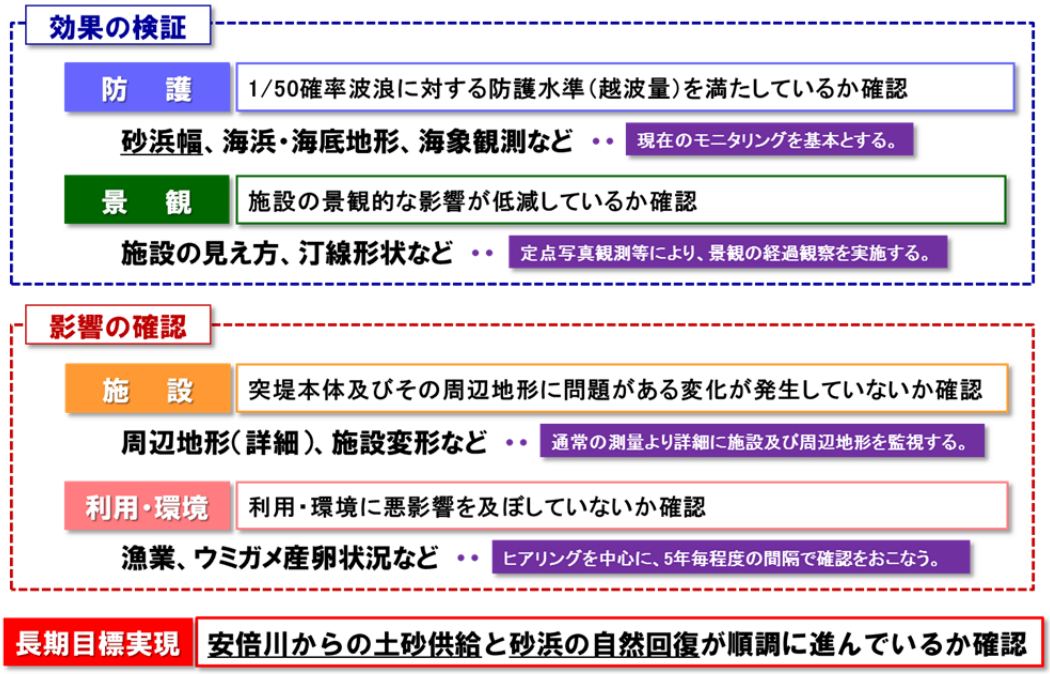
平成27（2015）年3月24日、「三保松原白砂青松保全技術会議 最終報告書」が知事に提出された。文字どおり最終的な報告書であり、技術会議はここにその使命を終えた。

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識経験者を中心に組織された。

短期対策では実際の海浜変化などに応じて柔軟に計画を見直していくことが必要であり、モニタリングはPDCAサイクルを機能させて、計画を継続的に改善しながら推進させていく重要な機能を担っている。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、清水海岸全体の侵食対策に取り組む「清水海岸侵食対策検討委員会」や、安倍川流砂系全体のより適切な土砂管理の実現に取り組む「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



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。

New Public Engineering for SHIZUOKA
いっしょに、未来の地域づくり。
静岡県交通基盤部

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