

三保L型突堤

世界遺産の景観保護と砂浜の保全を 特許技術 S-VHS工法で解決

「景観保護」と「地域防災」の両立。それが、プロジェクトに課された命題だった。富士山を望むとブロック式消波堤が視界に入る。一方で、駿河湾の高波が海岸を侵食し、砂浜を後退させていく。景観に配慮しながら砂浜を回復する方策として五洋建設が提案したのが、特許工法であるS-VHS工法を用いたL型突堤である。

正面に富士山を望み、手前には三保松原が広がる。富士山世界文化遺産を背景にした三保L型突堤の姿。五洋建設が発行した2020年版のカレンダーは駿河湾上空から捉えたこの風景から始まる。

場所は、三保半島の清水海岸。海岸線の沖合約100mの地点に2007年に開発した特許工法であるS-VHS工法で長さ約82mの離岸堤（横堤）を築き、海岸線からそこに向け長さ約87mの被覆ブロック傾斜堤（縦堤）を延ばした。消波機能を有し、通常は海岸侵食を防ぐために用いるS-VHS工法を、ここでは景観保護や砂浜回復の狙いも込めて活用した。

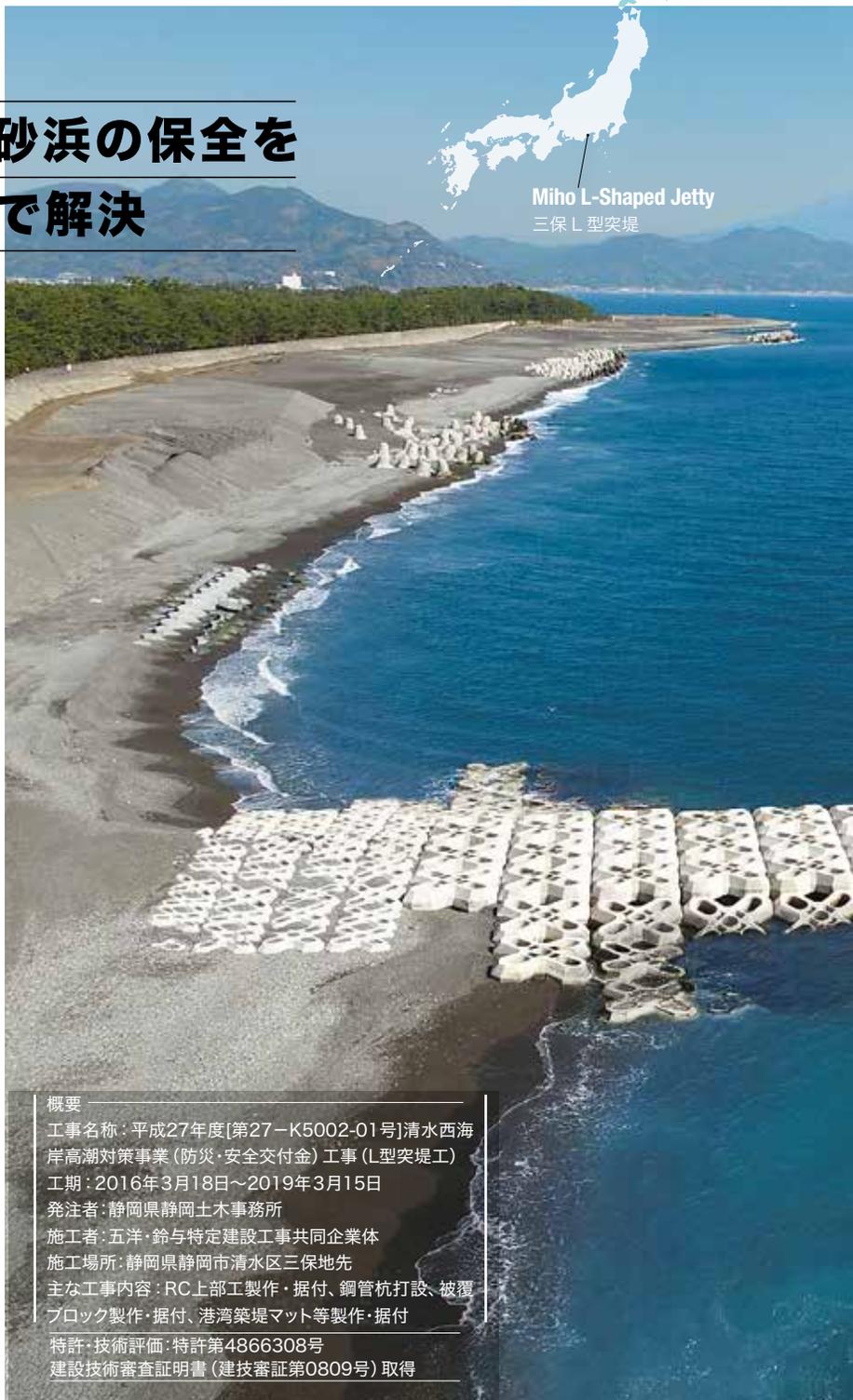
清水海岸ではかねて、侵食による砂浜の消失が問題視されてきた。地元の静岡県では地域防災の観点から、ブロック式消波堤を4カ所に設置したうえで砂を供給する養浜事業にも取り組み、砂浜の回復を図ってきた。

◎国際公約として景観の改善に取り組む

「富士山」が世界文化遺産に登録される前段階で問題が指摘される。

そのうちの 하나가、消波堤である。海岸に立って富士山を望むと、海岸線と海面が織り成す風景に消波堤が顔を出す。2013年4月、国連教育科学文化機関（ユネスコ）の諮問機関である「国際記念物遺跡会議（ICOMOS）」は、富士山との距離が離れていることに加え、審美的な観点からも望ましくないと指摘し、登録にあたっては三保松原を除くことをユネスコ世界遺産委員会に勧告した。

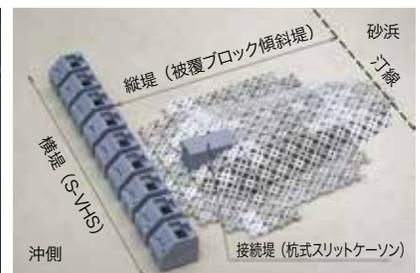
2カ月後には世界遺産委員会での勧告を基に最終決定が下る。静岡県の川勝平太知事（2009年～現職）は、「文化庁や関係自治体と連携を図りながら、『三保松原』を含めた登録がなされるよう万全を期す」と表明し、巻き返しを誓った。



Miho L-Shaped Jetty
三保L型突堤

概要

工事名称：平成27年度[第27-K5002-01号]清水西海岸高潮対策事業（防災・安全交付金）工事（L型突堤工）
工期：2016年3月18日～2019年3月15日
発注者：静岡県静岡土木事務所
施工者：五洋・鈴与特定建設工事共同企業体
施工場所：静岡県静岡市清水区三保地先
主な工事内容：RC上部工製作・据付、鋼管杭打設、被覆ブロック製作・据付、港湾築堤マット等製作・据付
特許・技術評価：特許第4866308号
建設技術審査証明書（建技審証第0809号）取得



L型突堤の建設と養浜事業を並行することで砂浜の回復を図る。ブロック式の1号消波堤を撤去していく。2号消波堤の先にもL型突堤を建設し、その内側の海岸で砂浜の回復を図る予定。右の図はL型突堤の概要を示したもの。縦堤は、蛇籠（じゃかご）で築いた基礎の上をブロックで被覆する構造を採用した



6月の世界遺産委員会の場では、文化庁長官や政府代表団の働きかけも功を奏し、大多数の委員国が勧告を聞き入れず、「三保松原を含めるべき」と主張した。その結果、「富士山」は三保松原を含め、世界文化遺産に登録されるに至った。

ただ日本側には、2016年開催の世界遺産委員会を前に、保全状況報告書を提出することが要請された。県は「望ましくない」と指摘された景観の改善に、いわば国際公約として取り組む必要に迫られたのである。

検討の結果出されたのが、景観上支障のない低天

端の有脚式離岸堤と被覆ブロック傾斜堤を建設した後、景観上支障のある旧消波堤の一つを撤去するという案だ。県は2016年1月、設計・施工の一括発注を前提に高度技術提案型総合評価落札方式に基づく競争入札を行い、当社の提案を採用した。

S-VHS工法とは、沖合に斜面スリット型透過式ケーソンを並べ、鋼管杭で固定することで離岸堤を築造する工法だ。函体の上部を斜面構造とすることで前身のVHS工法と同等の消波性能を保ちながらも耐波性能を向上させ、同工法に比べ工事費を1～2割抑えることを可能にした。

外洋の厳しい波浪条件の中で、高精度な杭打ちを実現

提案までの時間は限られていた。当社には幸い、富山県内や同じ静岡県内のプロジェクトでS-VHS工法を設計・施工した経験がある。このL型突堤の現場には、これらの経験者が集められた。

現場代理人を務めた土木本部土木設計部の奥田一弘は、「過去の経験が設計や施工検討に生きた。『世界文化遺産の登録場所に自社の特許工法を用いることができる』という期待から、やる気はおのずと高まった」と強調する。

◎L型突堤の堆砂性能は模型実験で確認

駿河湾の海底地形が急峻で外洋の厳しい波浪条件の中で、県が示した条件を基に試算した横堤の設計波高は約15m。また波浪で巻き上げられる海底の土砂がケーソンを摩耗させるため、コンクリートには十分なかぶり厚が求められる。横堤9函と縦堤との間をつなぐ接続堤1函の計10函を数えるケーソンと、計42本にも及ぶ鋼管杭の仕様は、これらの条件を基に導き出した。

被覆ブロックを用いる縦堤では、ブロックそのものの選定に時間を取られた。設計を担当した技術研究所土木技術開発部の片山裕之は、「清水海岸は波浪条件が厳しく、一般的な係数が使えない。そこで、現地海底を再現した水理模型実験でブロックの耐波浪安定性を確認した」と振り返る。

問題は、L型突堤の堆砂性能。景観保護は、横堤と縦堤の天端を水面付近の高さに抑え突堤が目立たないことで達成できる。しかし、砂浜回復に向けた堆砂性能が見込めるのかは、初の試みのため確証はない。

そこで、50分の1スケールの模型実験を通じて堆砂性能を確かめた。実験の舞台は、技術研究所の大型平面水槽。その中に海岸線を築き、3Dプリンターで製作した横堤とブロック模型を並べた縦堤を設置したうえで、波の動きを再現した。



技術研究所の大型平面水槽で実施した堆砂模型実験。沿岸流は、「上手側」と記された方向からL型突堤に向かって流れる。実験後はL型突堤の上手側に堆砂が確認できた

ただ、大型とはいえ水槽内で海岸線全体を再現することは、到底できない。その範囲はおのずと限定される。波の動きで沿岸流上流側の砂はどんどん削り取られ、下流側に運ばれていくため、上流側には砂を補給しなければならない。

「砂の適切な量と補給方法を確認するための実験も別途実施した」。解析・実験を担当した名古屋支店の前田勇司は明かす。

◎精度管理に留意しながら鋼管杭を打設

模型実験を通して、L型突堤には堆砂性能が見込めることが定性的に確かめられた。最後の難関は、S-VHS工法を用いた横堤を設計通り築造できるか。2016年3月、いよいよ施工が始まる。

「捨石マウンドにケーソンを据付けた後、杭で固定する方法には実績がある。だが、厳しい波浪のため杭を打ち込むまでに捨石マウンドが流されケーソンが被災するリスクが高くなる」と監理技術者を務めた名古屋支店の土岡真樹は判断した。検討の結果、先行して打設した鋼管杭に後からケーソンを差し込む杭先行方式をS-VHS工法で初めて採用することとなった。

杭先行方式となると打設位置がケーソンの据付位置を決めることになるため、精度の高さが何より求められる。山場の一つだ。

波浪の影響を最小限に抑えるため、4本の脚を海底に突き立て自立するハーフセップ台船を使用。鋼管杭を振動によって地中に貫入させるパイプロハンマー工法と高圧噴射水で地盤をほぐすウォータージェット工法を併用し、1本の杭を約3時間かけて打ち込む。そこから必要な支持力を確保できる海底面下約35mまで、油圧ハンマー工法で約1時間打撃を加え、打設を完了する。

施工精度管理には通常、海岸側2カ所から3次元光波測距儀（トータルステーション）を用いるが、この現場では念を入れて、予備の1カ所を加えた計3カ所から見守った。

ケーソンの据付は、海底面に打ち込んだ4本の杭をケーソン側にあらかじめ埋め込んだ鞘管内へ差し込んでいく。鞘管と杭の隙間は上から見ると上下左右60mm程度しかない。杭を単に出来形管理値に収めただけではケーソンを差し込めない、杭の相対位置や鉛直性にも気を配った。土岡は「杭の施工を間違えるとケーソンを据付できない。施工途中で間違いに気づいても、地盤が硬いため引き抜いてや

り直すこともできない。杭が設計通りの位置に真っすぐ打てているか、現場全体で入念にチェックしながら施工した」と当時の緊張感を伝える。

◎気象・海象条件を見ながらケーソン据付

時化が続くと、作業が遅れ、気持ちが焦る。逆に好天が続くと、作業が続き、疲れが生じる。土岡は「気象条件を予測しながら、焦らず着実に工程を進めようと努めた」という。

2018年1月、もう一つの山場が始まった。ケーソン据付作業に用いる起重機船は、重量が最大約730tであることから、最大吊り上げ荷重1400tのものを調達した。

据付はやり直しが利かない作業。波浪による動揺でケーソンは常に揺れており、杭にぶつかると杭が曲がって差し込めなくなる。確実に据付作業を行うため、職員には日々作業の正確な可否判断が問われた。夜明け前には当社の気象情報配信システムの予測結果と現場海域の状況から据付時の海象条件を

推定し、当日の作業の可否を判断する。起重機船の船長とクレーン操縦士、ケーソンの間近でタイミングを計る甲板長、水中の状況を確認する潜水士、彼らの息の合った連携プレーで据付できる一瞬を見逃さずにケーソンを杭に差し込む。

1日1函ずつの据付作業を慎重に進め、約1カ月をかけて全10函のケーソンを据付けた。漁業関係者の操業を妨げず、工事に関する報告を怠らないようにすることで、地元とも協調関係を保ち続け、2019年3月には縦堤を含むL型突堤全体の施工を終えた。

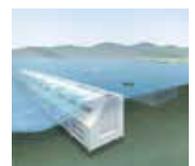
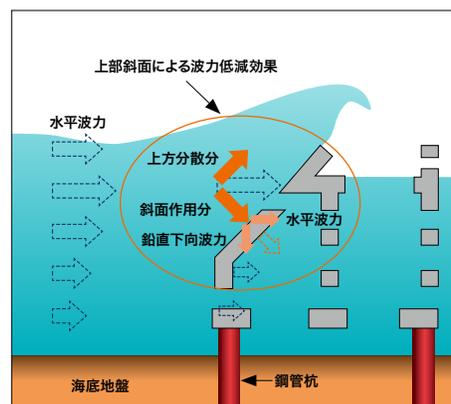
ここから、「望ましくない」と警告された景観の改善が進む。県が掲げる短期対策の中には、同じようにL型突堤をもう一つ建設し、近くブロック式消波堤を撤去する案が含まれる。

土木本部土木設計部の山本敦は決意を新たにす。「この2号突堤の設計・施工も、受注を狙う。さらに品質の高い構造物を安全に効率良く造り上げる提案で臨みたい」。

TEC 01 | S-VHS 工法

波のエネルギーを生かしてより高い耐波性能を実現

消波性能と耐波性能を併せ持つ離岸堤を築造する工法の一つ。函体の上部を斜面構造とした鉄筋コンクリート製のケーソンを鋼管杭の基礎で海底に固定する。低天端で海面越しの景観を妨げないのが、特徴の一つだ。消波の仕組みは右図の通り。VHS工法同様にスリットによって波の力を分散させたり波同士を衝突させたりするのに加え、斜面構造によって波の一部を上方に分散させて波のエネルギーを4割以上低減させる。斜面に作用する波力の一部は鉛直下向きの力として作用するため、VHS工法に比べ耐波性能は高い。ケーソンや鋼管杭の小型化が可能になり、工事費の削減にもつながる。いずれも、国土交通省北陸地方整備局管内や同中部地方整備局管内で施工実績を持つ。



堤体上部を斜面構造にすることで重量が低減し、起重機船の小型化が可能になるなど漁業などへの影響も抑えることもできる

■「VHS工法」と「S-VHS工法」の比較

透過水平版付スリットケーソン「VHS工法」



利用開始:1993年

実績:駿河海岸吉永離岸堤工事
下新川海岸生地透過型有脚式突堤工事ほか

鉛直スリットを有する前壁・中間壁・後壁と、水平スリットを有する頂版で構成されている低天端着底式の海域制御構造物。水面付近に取り付けられた頂版(透過水平版)が、海面の上下運動を制御するとともに、低天端着底式が砕波を促進して波エネルギーを効果的に減殺し、幅広い波高・周期・潮位の変化に対して安定した消波機能を発揮する。また、ケーソンの固定には杭式と重力式があり、海域の波浪および地盤条件に応じて経済的な設計が可能。

斜面スリット型透過式ケーソン「S-VHS工法」



利用開始:2011年

実績:下新川海岸生地新型離岸堤工事
駿河海岸下小杉離岸堤工事
三保L型突堤工事ほか

斜面を有する低天端着底式の海域制御構造物で、VHS工法よりも経済性に優れている。上部斜面と3枚の鉛直スリットが、海面の上下運動を制御するとともに、低天端着底式が砕波を促進して波エネルギーを効果的に減殺し、幅広い波浪条件に対して安定した消波機能を発揮。杭打設に先行して基礎マウンド上に堤体を設置する必要のあるVHS工法に対し、S-VHS工法は杭打設を先行するため、基礎マウンドの製作が不要。これにより、海上施工日数とコストを低減することができる。