

駿河海岸における新型離岸堤の建設とその後の追跡調査

建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所長	浦田健一
建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所調査課長	中村瑛佳
建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所計画係長	大石英男
建設省土木研究所海岸研究室長	宇多高明
建設省土木研究所海岸研究室研究員	村井植美

1. まえがき

近年、全国各地で海岸侵食が問題となっている。我が国の代表的な侵食性海岸の一つである駿河海岸においても、過去、海岸堤防前面の前浜が著しく後退したため、越波による浸水被害が生ずるに到った。侵食の著しい箇所は大井川港との隣接部より、年々北側地区へと移行している。このような侵食を防止するため、1970年～1979年に消波堤が順次設置され、汀線の後退が防がれてきた。これらの侵食対策は有効な成果を挙げたが、大型台風による被害は繰り返し生じており、消波堤沖の水深6～7m付近の侵食は依然として続いている。このような状況の下で、消波機能と前浜の維持・回復によって越波を防止することを目的として離岸堤が計画された。しかし設置予定海域の海浜断面は水深7m付近まで約1/7と急勾配であるため、従来のブロック積み離岸堤を浅海部で建設すると、ブロックの沈下、散乱等の問題が生じる恐れが大きかった。一方、沿岸域利用空間の創出という立場からは、構造物背後の静穏海域の面積をなるべく広く設定したいという要求がある。以上の点より、従来の離岸堤に比べ設置水深を深くすることができ、更にブロックの沈下、散乱等の欠点を持たない工法として、パイルとブロックからなる新しい型式（PBS工法）の離岸堤を計画した。

本報告は、駿河海岸において試験施工が進められている新型離岸堤の計画、設計、施工に関する要点をまとめるとともに追跡調査の概要について述べる。

2. 駿河海岸の概要

駿河海岸は駿河湾西部に位置し、静岡県焼津市より榛原郡榛原町に至る延長約18kmの海岸である（図-1）。海岸中央部には大井川河口を擁している。この海岸では1964年より建設省の直轄事業として海岸保全事業が行われてきた。直轄事業は当初、主に高潮対策としての堤防工事に主眼があったが、1968年頃から堤防の建設に並行して堤防の補強や根固工の設置が行われるようになった。更に、1971年以降には消波堤の施工が始まった。

駿河湾は湾口を南に有するため、南から入射する外洋波が卓越する。大井川港沖の水深約9mにおける波浪観測結果より1969年～1974年の波向別波高・周期の出現率をまとめると¹⁾、波高・周期の出現率はS、SEが高い。また波高については、1m未満がほとんどである。

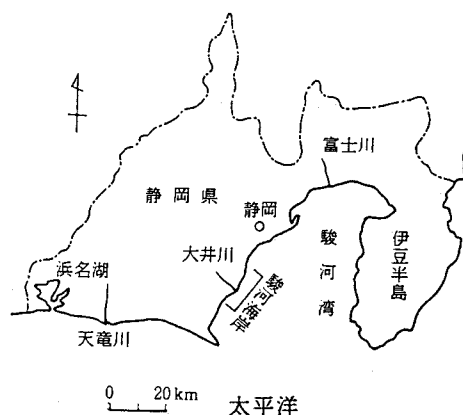


図-1 駿河海岸の位置図

3. 新型離岸堤の計画

当海岸の海浜地形特性や従来の離岸堤工法の欠点などを検討した結果、設置水深を深くでき、ブロックの沈下、散乱のない新型離岸堤を採用することとなった。その理由は次のようである。

- ①従来の離岸堤を海底勾配が1/7と急な水深3～5mの範囲に設置した場合、異形ブロックの沈下、散乱の生じる可能性が大きい。
- ②また、このような水深に離岸堤を設置すると、離岸堤背後の静穏化された海面の面積が狭く、更に景観が良好でない。
- ③ブロック積み工法を用いた場合、ブロックの沈下、散乱による機能低下を償うための維持費が多くなる。
- ④沿岸が漁場のため、ブロックが沈下、散乱した場合、漁業障害を引き起こす可能性がある。
- ⑤新型離岸堤は魚礁として有効利用できる可能性が高い。

計画位置は当面侵食の著しい吉永放水路から藤守川までの区間とし、当海岸における測線N0.37の位置から着工する。

新型離岸堤の構造形式に関しては様々な角度からの検討を行った。最近、土木研究所を中心として総合技術開発プロジェクト「海洋利用空間の創成・保全技術の開発」が進められ、その研究成果の1つとして、水深10m付

近に設置が可能な消波構造物が提案されている。駿河海岸においては、種々の構造体の中より、透過水平板付きスリット型式を選択した²⁾。

4. 設計条件

新型離岸堤は海岸保全施設の種類であり、その施工及び築造においては一定の基準を満たす必要がある。このため新型離岸堤の設計に当っては、従来型の離岸堤と同様な条件を考慮した。その基本条件は次のようである。

設計潮位は当海岸の計画潮位T.P.+1.66m、沖波諸元には計画波浪条件 ($H_0=9.0\text{m}$, $T_0=14.0\text{ sec}$) を用いた。さらに、計画区域 (測線No. 29~37) における屈折係数 $K_r=0.74$ を用い、表-1 深さごとの平均N値構造物設置地点での換算沖波波高を $H_0'=6.66\text{m}$ とした。

新型離岸堤が計画された位置の約200m南には海洋技術総合研究施設がある。この施設の計画に際しては調査ボーリングが行われた。この資料によると、設置位置の土質は砂質 (細砂) であり、深さごとの平均N値は表-1 の通りであった。

深度 (T.P.)	平均 N 値
- 7.0~-13.0 m	2 5
-13.0~-18.5 m	3 5
-18.5 m 以深	4 5

駿河海岸の平均的な断面形状は図-2 に示すようであり、設置位置の海底勾配は1/70である。安定な構造物を設計する上では構造物周りの洗掘深を予測する必要がある。構造物周りの洗掘に関しては、良く似た構造を持つ海洋技術総合研究施設における実績の最大洗掘深 1.81m^3 、及び米国 C E R C の観測栈橋における実績値 2.0m を参考として、設計洗掘深を 2.0m とした。なお、海洋技術総合研究施設周りでの調査によると、洗掘は脚周りに生じるいわゆる局所洗掘ではなく、波の変形にまで影響を及ぼす大規模洗掘であった。そこで設計においてもこの点を考慮した。

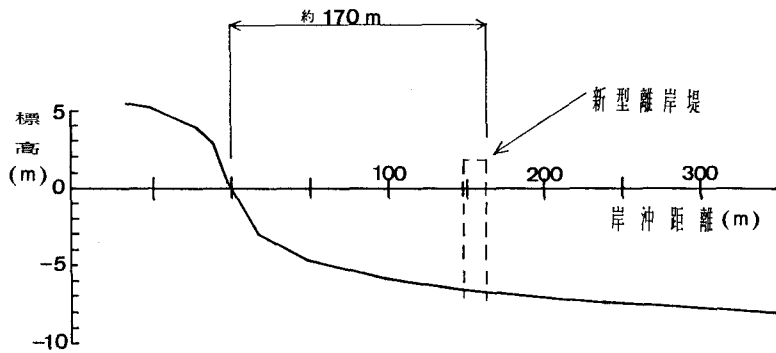


図-2 海浜断面形状

施工条件に関しては海上作業が可能な条件を有義波高 $H_{1/3}=0.8\text{m}$ 以下に設定し、稼働率を過去の波浪資料に基づき計画した。

設計震度は新型離岸堤を半永久構造物と考え、震度法を用いて次式のように与えた。
$$k = (\text{地域別震度}) \times (\text{地盤種別係数}) \times (\text{重要度係数}) = 0.15 \times 0.8 \times 1.2 = 0.15 \quad (1)$$

離岸堤沖側における船舶、特に漁船の航行の安全性を確保するため、反射率は50%以下とした³⁾。

5. 構造物の基本型の決定

離岸堤は海底地形の変動の激しい急勾配部分避け、海底地形が安定している水深約7mに計画した (図-2 参照)。設置位置の離岸距離は約170mであり、将来的には離岸堤背後の静穏域の利用が可能なように配慮した。

新型離岸堤の設置目的の一つとして離岸堤背後での静穏域の確保がある。「海岸保全施設築造基準解説」によると、「設置水深が6mのときは堤長を2L程度より長くしたとき波高の低下が顕著になる」とされている。また、開口幅については、「開口部背後の波高は開口幅 ℓ' によってほとんど規定され、 $\ell' = 0.6 L$ で開口部背後の波高の低下がみられる。」とされている。そこで開口部の背後においても静穏化が期待できるように、堤長を $\ell=157\text{m}$ 、開口幅を $\ell' = 60\text{m}$ とした。ただし、離岸堤背後の静穏度は、来襲波特性によって相違するので、今後の追跡調査結果も考慮して、堤長・開口幅は更に検討することとした。

新型離岸堤の構造に関しては、従来型と同程度の透過率、反射率が得られるよう、天端高、堤体幅、空隙率などの諸元を選択した (表-2 参照)。

表-2 構造諸元

天端高	T.P.+2.5 m
堤体幅	14.2 m
空隙率	鉛直壁 $\varepsilon_{v1}=40\%$, $\varepsilon_{v2}=\varepsilon_{v3}=25\%$ 水平板 $\varepsilon_h=20\%$
消波壁枚数	鉛直壁 3 枚 透過水平板 1 枚

6. 構造設計

設計条件と決定された基本型をもとに、構造物の部材波力、地震力を算定し、構造物の安定性を検討した。構造設計には耐用年数を定めることが必須の条件となるが、港湾施設などの耐用年数を参考として50年と設定した。安定計算に用いる許容応力度、安全率等は、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」、「コンクリート標準示方

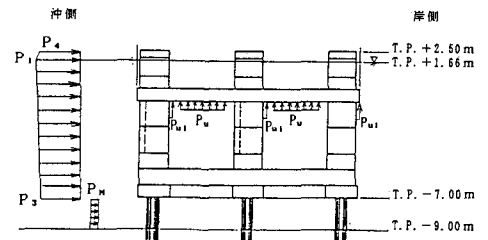
書（昭和61年度制定）」に基づいて決定した。

構造解析の方法は、平面骨組み構造解析モデルを用いた弾性計算とし、岸沖方向と汀線方向の水平変位、鉛直支持力、引抜力を検討した。杭に作用する波力はモリソン式、堤体に作用する波力は、有効投影面積に対する波圧の低減率を考慮した合田式により求めた。地震時動水圧は本州四国連絡橋公団：本州四国連絡橋下部構造設計基準、同付則（仮設物設計指針）に基づき計算した。これら以外の作用荷重としては、揚圧力及び死荷重、地震力がある。これらの各荷重による応力を比較すると、波による岸向き荷重が最大となった。波圧による荷重条件を図-3に、また、最終的に決定した構造を図-4に示す。更に、新型離岸堤の堤体の使用材料を表-3に示す。鋼材の腐蝕については、耐用年数を50年として鋼管杭の腐蝕代を見込んだ。

表-3 使用材料一覧

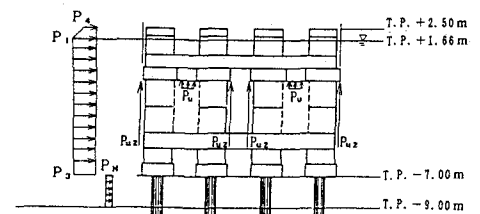
使用材料		規格
鋼材	鋼管杭	SKK41, SM50相当
	構造用鋼材	SS41
	鉄筋	SD35
	総ネジ異形PC棒鋼	SBPR 95/110 相当
コンクリート	梁ブロック	$\sigma_{ck}=240\text{kg}/\text{cm}^2$
	柱ブロック	"
	ブロック受	$\sigma_{ck}=300\text{kg}/\text{cm}^2$
	場所打コンクリート	"
	中詰コンクリート	"

岸沖方向



波高 Hmax	7.56 m	$P_1=4.29\text{t}/\text{m}^2$
周期 T	14.0 s	$P_2=4.63\text{t}/\text{m}^2$
合田波力低減係数	$\lambda=0.6$	$P_3=4.22\text{t}/\text{m}^2$
揚圧力係数	$\alpha=0.1$	$P_4=0.53\text{t}/\text{m}$
		$P_{u1}=1.83\text{t}$
		$P_w=0.78\text{t}/\text{m}^2$

汀線方向



波高 Hmax	7.56 m	$P_1=1.75\text{t}/\text{m}^2$
周期 T	14.0 s	$P_2=2.32\text{t}/\text{m}^2$
合田波力低減係数	$\lambda=0.4$	$P_3=2.12\text{t}/\text{m}^2$
揚圧力係数	$\alpha=0.1$	$P_4=0.53\text{t}/\text{m}$
		$P_{u1}=7.21\text{t}$
		$P_w=0.78\text{t}/\text{m}^2$

P_w : モリソン式より算定

図-3 荷重条件

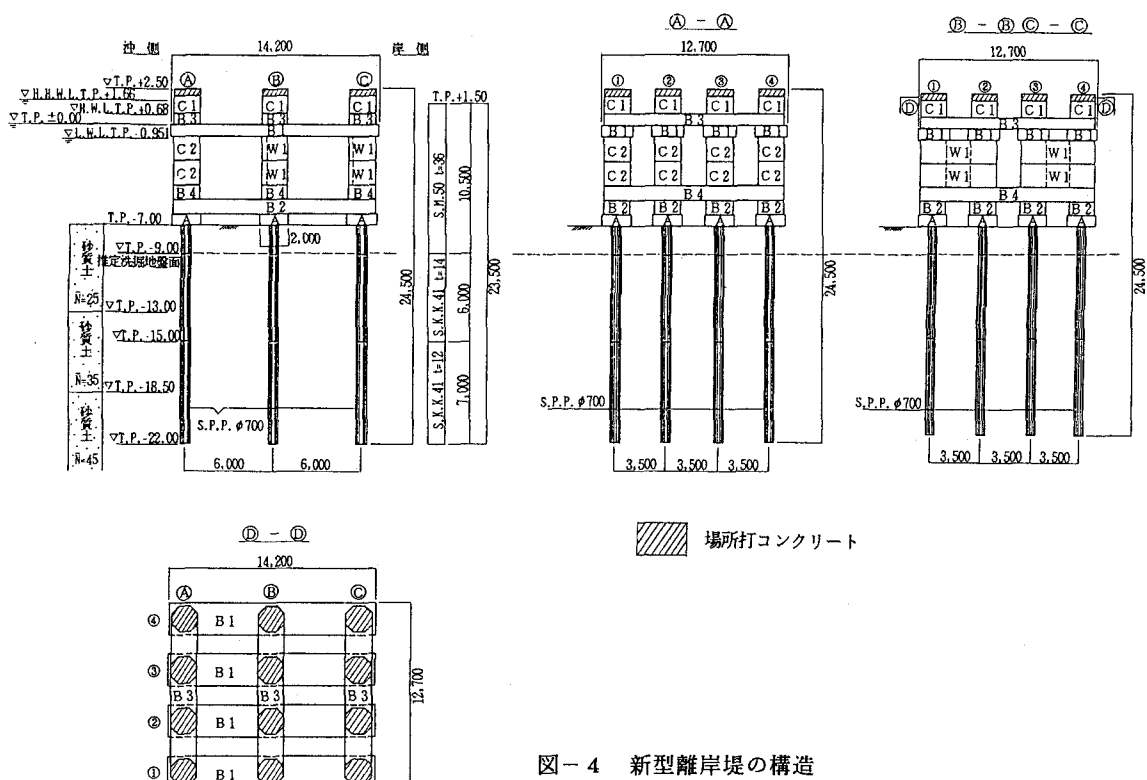


図-4 新型離岸堤の構造

7. 新型離岸堤の施工

7. 1 施工計画・手順

PBS工法は、杭にブロックを連結する工法であるから、杭打設に際し高い施工精度が要求される。このため施工地点での海象条件には厳しい制約があった。海象条件に大きく影響される海上作業については、近隣の波高データに基づき事前に稼働率をチェックし、工程計画に反映させた。今回の工事では、施工位置の近くには大井川港があり、施工現場までの距離が短く、更に港内に十分な面積のブロック製作ヤードを確保することができた等の利点があった。

施工フローを図-5に示す。施工工程は、陸上施工と海上施工に大別される。陸上施工は、ブロックと鋼管杭の製作から成る。ブロック製作ヤードは、船積み考慮して岸壁付近の $1.4 \times 10^4 \text{m}^2$ の空地を大井川町から借用して利用した。新型離岸堤に使用する鋼管杭は、径700mm、長さ23.5mであって、1スパンに12本必要とされる。鋼管杭は、肉厚と長さの異なる3種類を連結して1本とした。長尺なため製作は工場で行い、ブロックヤードまで海上を運搬した。

海上工事は、鋼管杭打込みのための導材用H鋼杭打から始まる。H杭の打込み完了後、腹導材の溶接を行った。腹導材は鋼管杭を打込む際の偏心に大きな影響を与えるので、慎重に測量しながら設置した。

導材工の設置完了後、鋼管杭を打込んだ。打込みに際しては、平面位置、垂直度について所要精度を確保するよう種々の工夫を行った。まず、決められた位置に打込むため、平面定規を製作し、それを腹導材にセットした。次に、垂直を保つため垂直定規を製作し、平面定規の上にセットした。

鋼管杭の打込みは、2回打となった。これは、仮設の定規を用いて打込み途中に精度のチェックを行ったためである。打込みには120t吊全旋回のクレーン船を使用した。一次打は、5t・cmのバイプロハンマーにより杭打込みの所定の高さより約3m上まで打込んだ(写真-1)。4本の鋼管杭の打込みが完了した後、垂直定規をクレーンで取り外し、次の位置へセットし、垂直定規と平面定規の移動を繰り返しながら一次打を行った。一次打の完了後、平面定規と垂直定規を取り外し、バイプロハンマーを25t・cmに取り換えて所定の高さまで打込んだ。

鋼管杭打ち込み後、鋼管杭の高さを測定し、PC鋼棒の長さを決定し、Aブロック(図-4参照)を組み立てた。次に、PC鋼棒を杭頭支持金具に取り付けた後、クレーンで吊り上げてAブロックにセットした。Aブロックの固定後、連結ブロックB、壁ブロックW1、杭用Cブロックを据付けするため、据付キャップをかぶせた。据付キャップのセット終了後、1スパン分のブロック計42個(下部23個、上部19個)を据付けた(写真-2)。

ブロック据付け完了後、据付キャップを撤去し、緊張用定着フレームを取付け、緊張工・中詰天端コンクリート打設のため、足場をセットした。キャップ撤去後、

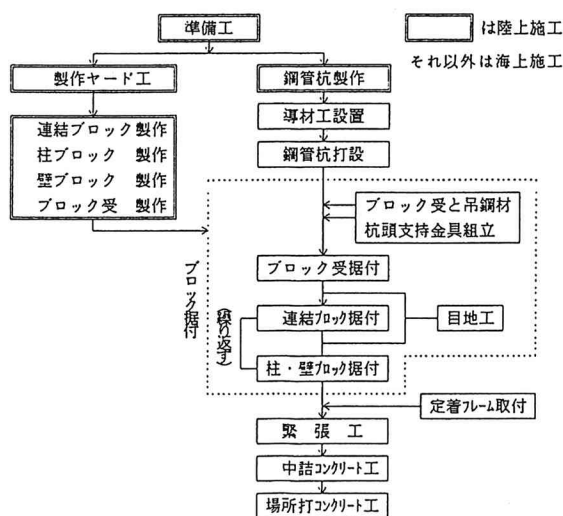


図-5 施工フロー



写真-1 鋼管打込み(一次打ち)状況

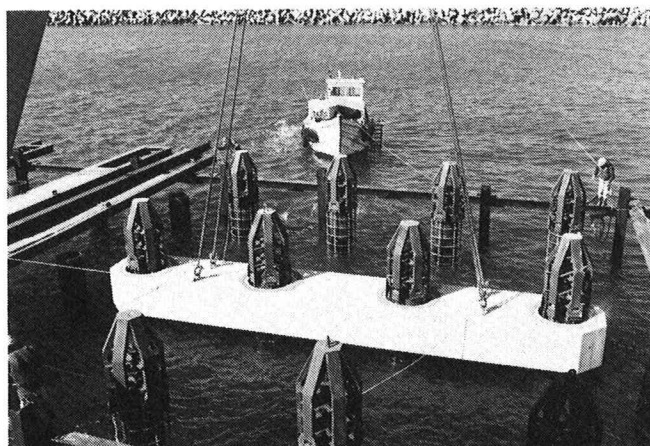


写真-2 ブロック据付け状況

定着フレームの据付に入った。なお据付けはクレーン船で行った。緊張工は杭1本あたり6本のPC鋼棒の緊張を行うため1スパンあたり72本となる。

緊張工の完了後、定着フレームの上に天端鉄筋を立てた。中詰・天端コンクリートは、生コンクリートを運搬用の特殊ミキサーに移し、海上運搬した。コンクリートの打設は4インチの圧送ポンプで行った。コンクリート打ちを進めるにしたがいクレーンでトレミー管を引き上げた。中詰・天端コンクリートの打設が終了して本体の完成となった(写真-3)。

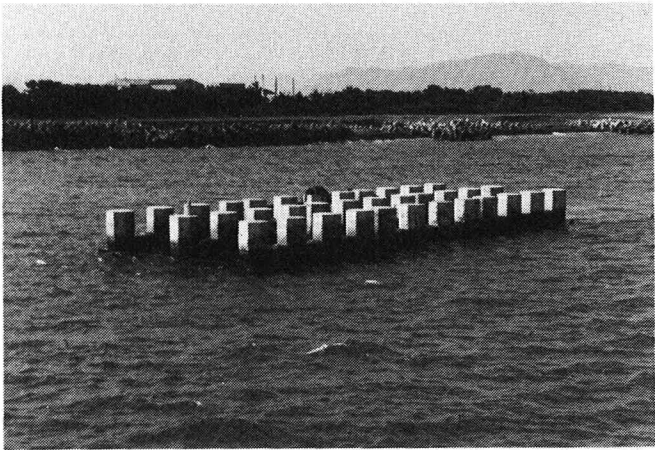


写真-3 完成写真(1988年3月撮影)

7. 2 施工時に生じた問題とその対応策

第一期施工の実施経過を、図-6に示す。

図には各種の工程と吉永地先沖で測定された有義波高の経時変化を示した。また、図中には海上作業の実施状況も示されている。12月以降、波浪条件はかなり静穏であったが、それでも海上作業の困難な日が多かった。施工上の問題点は次のようである。

まず、鋼管杭の打ち込み精度を確保する目的で設置する導材は当初海底に設置する構造であったが、海底設置では水平及び平面位置を保持するのが困難であった。従って導材はH鋼を杭として打ち込み、これを海上部でH鋼で縦横に連結固定し、その上に導材を設置するステージ方式に変更した。この結果、鋼管杭の打ち込み精度は施工計画当初に定めた偏心量50mmに対し、最大偏心量50mmの精度を確保できた。

次に問題となったのは、稼働率であった。これについては、御前崎(県土木)における既往資料をもとに、有義波高0.8m以下(稼働率62%)を海上作業日数として設計した。しかし実際に海上作業が実施できたのは、御前崎での有義波高0.6m程度、現地での有義波高0.5m程度(稼働率35%)であった(図-6参照)。また、波高が0.5m以下でも周期が長い波では作業船の動揺が大きく作業が困難であった。従って今後においては、波高が0.8m程度でも作業が可能であるS.E.P.(自己昇降式作業船)等の導入についても検討する必要がある。一方、海上作業においてブロックを鋼管杭にはめ込む際、杭頭部のPC鋼棒が損傷される恐れがあった。これに対しては、杭頭部損傷防止の据付けキャップを製作した。更に、C₁ブロック上の天端コンクリートは、当初海上で型枠を組み立てる計画であったが、波浪等により破損する恐れがあった。これに対しては、陸上でのC₁ブロック製作時に高さ50cm、幅10cmの周壁を同時に打設した。

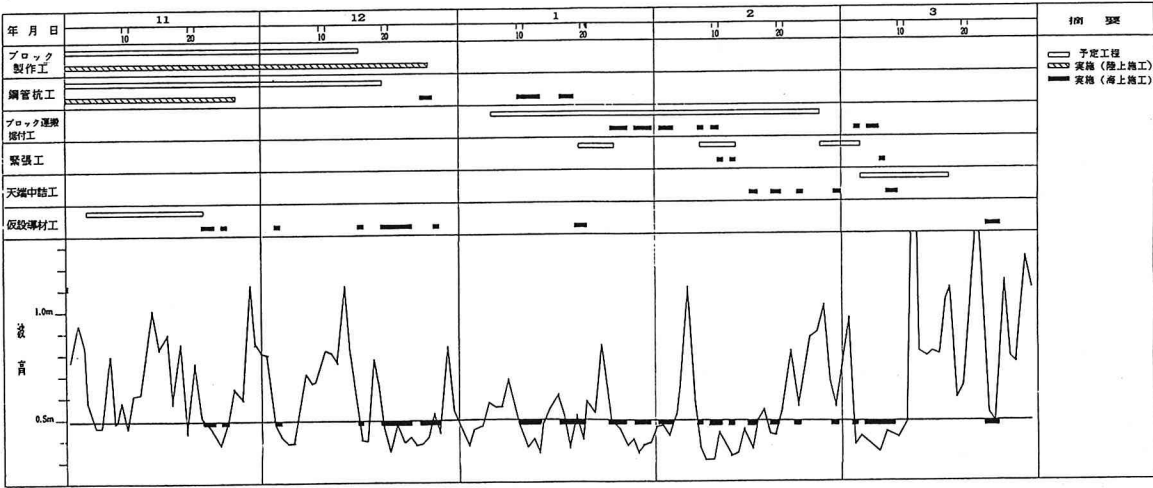


図-6 新型離岸堤の施工経過と波浪条件の関係

8. 追跡調査

新型離岸堤として昭和62年度に一基156mの一部区間、約39mの施工が完了し、63年度末では約104mが完成した。工事の進捗と同時に、離岸堤設置に伴う効果や影響を調べるために、種々の追跡調査を進めている。現在実施している調査の種類、項目を表-4に示す。気象・海象については、隣接する海洋技術総合研究施設において、定時観測を行っている。構造物の安定性に関しては、構造物の種々の位置に波圧計等の計測機器を設置し、構造物に作用する外力、部材力等を測定している。設置時における被災等で現在稼働している計測機器は、約60%で

あるが、1988年12月より定時観測が行えるようになった。現在そのデータを解析中である。ただし現在のところ通常の波浪条件の場合のデータしか取得されておらず、台風や低気圧等による異常気象に伴う高波浪時の施設に作用する外力や部材力のデータの取得が望まれる。

構造物周辺の洗掘に関しては、構造物周辺で定期的に深浅測量を行っているほか、一定の期間において、砂面計、流速計による地盤高や流況の経時変化を測定している。深浅測量の結果の1例を図-7に示す。構造物周辺では波浪に応じて洗掘が進行中であり、設置時より現在までで最大1.7m地盤高が低下したこと、洗掘の中心位置は波向の変化に応じて移動すること、構造物の反射側に周りよりもやや地盤高が高い部分が存在することなどが明らかになった。そのほか堆砂機能や生態系への影響調査などを進めている。

表-4 新型離岸堤周りでの調査項目

調査種別	調査項目	調査目的
気象・海象	気象・海象観測 入射波観測	現地の気象情報と構造物沖合での波浪の特性を調べる。
消波効果	透過・反射波観測	構造物の反射率及び透過率を測定し、波エネルギーの逸散機構を明らかにする。
構造物の安定性	波圧、応力測定	構造物に作用する部材波圧、波力、応力を測定し、構造物の安定性について検討する。また、水理模型実験、経験式との比較、設計の安全性の検証を行う。
構造物周りの洗掘	深浅測量ほか	構造物周辺の洗掘状況を継続的に調査することにより、その安定性を調査する。
海浜変形	深浅測量ほか	構造物設置前後の地盤高・流況変化、高波浪来襲前後の地盤高・流況変化を測定することにより構造物の地形への影響を調査する。
生態系への影響	生息状況調査	構造物設置前後の生態系（魚群分布、餌料生物分布等）を調査することにより、構造物の生態系に及ぼす効果、影響を調査する。

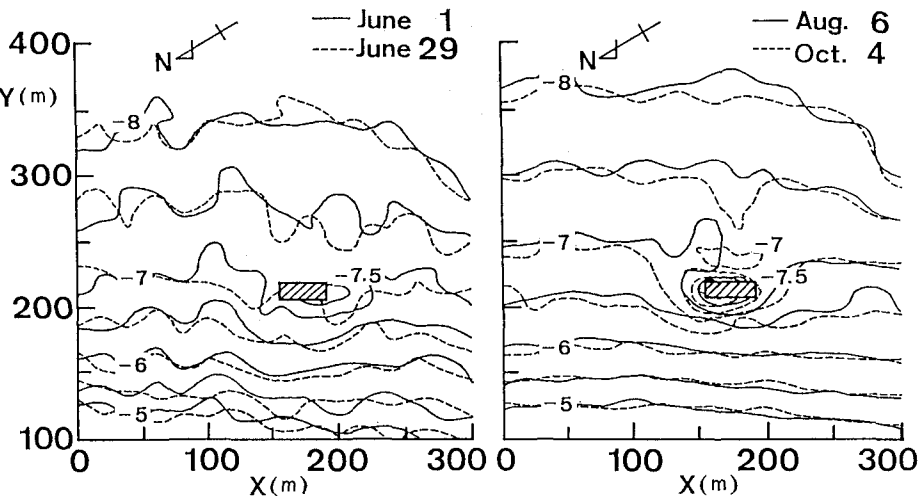


図-7 新型離岸堤周りの等深線図

9. あとがき

駿河海岸における新型離岸堤の試験施工例に関して、設計の手順、施工とその後の追跡調査について述べた。新型離岸堤の建設は、平成元年度以降にも予定されている。過去に例のないタイプの離岸堤であるため、施工上の課題はもちろん構造物の安定性、周辺海域への影響調査も必要とされる。今後は、現在までに得られたデータを整理・解析するとともに更に各種データの取得を継続する予定である。

参考文献

- 1) 宇多高明・小俣 篤・山本幸次：駿河海岸安定化手法調査報告書、土木研究所資料、No. 2285、p. 67、1986。
- 2) 建設省土木研究所海岸研究室：海域制御構造物の開発に関する共同研究報告書（1）、土木研究所資料、No. 2454、p. 173、1987。
- 3) 浦田健一・渋谷輝敏・堤博志：駿河海岸の新型離岸堤について、海岸、Vol. 28、pp. 99～110、1988。
- 4) (社)日本造船研究協会、第17基準研究部会：小型漁船の復元性能に関する調査研究報告書、1984。