

短突堤群による投入土砂の流出制御

滝澤 俊二*・宇多 高明**・渋谷 輝敏***・筒井 保博****

1. ま え が き

駿河海岸は全国有数の侵食海岸であり、昭和30年代終り頃より侵食が始まった。特に、大井川河口左岸側の海岸は漂砂の供給源である河口付近に港湾施設が造られたため、海岸に沿って北東へ向かう沿岸漂砂が阻止され、激しい侵食が生じた¹⁾。侵食対策として消波堤が設けられたが、侵食は徐々に進んでいる。昭和58年からは大井川港南防波堤の上手側に堆積した土砂を下手側に投入するサンドバイパスが実施されている²⁾。しかし、土砂投入は一度に大量に行われるので初期の海岸線に対し汀線形が突出し、投入点より下手側への流出量は初期に大きく後半小さくなると考えられ、安定した沿岸漂砂量を確保することは難しい。また、当海岸の沿岸漂砂量は約8万 m^3/yr と推定されているが¹⁾、実際に投入可能な土砂量は6万 m^3/yr であって、自然状態での漂砂量より少ない。これらのことから、投入砂の流出を制御することによって下手側に安定した土砂供給を図り、海浜の拡張に有効に寄与させるための流出制御構造物が必要となる。本研究では流出制御構造物として具体的には短突堤群を考え、その機能をまず移動床水理模型実験によって調べ、そのうち実際に現地海岸に5基の短突堤群を建設した。建設と同時に土砂投入を行い、構造物の漂砂制御効果について調べた。

2. 短突堤に関する移動床模型実験

漂砂の流出制御構造物としては、異形ブロックを用いた透過式短突堤を採用した。駿河海岸は急勾配なため沖合に離岸堤等の構造物を設置することは多大の工費を必要とし、海浜全体に施工するには時間がかかり過ぎる難点がある。そこで工法的には比較的古くから用いられている突堤を採用した。

短突堤群の漂砂制御効果については不明な点が多いために、まず移動床模型実験を行うことにした。実験は幅16 m、長さ21 m、高さ0.8 mの平面水槽を用い、縮尺を

1/30として行った。短突堤の構造は、ブロック積みの透過堤である。移動床の底質としては、中央粒径0.22 mmの砂を用いた。実験波の条件や海浜形状はフルードの相似則により定めた。海浜断面は図-1に示すように駿河海岸の平均的な断面形を沿岸方向に一樣に製作した。波浪条件は現地換算すると沖波波高 $H_0'=0.9\text{ m}$ 、周期 $T=8\text{ sec}$ であって、波の入射方向は現地海岸での卓越方向を考慮し、碎波波向で初期汀線に対し 10° の方向とした。短突堤の形状は図-1に示すように先端水深を11 cm (現地:3.3 m)、汀線からの長さを0.67 cm (現地:20 m)、突堤間隔3.33 m (現地:100 m) とし2基設置した。使用したブロックは重量365 gのものである。

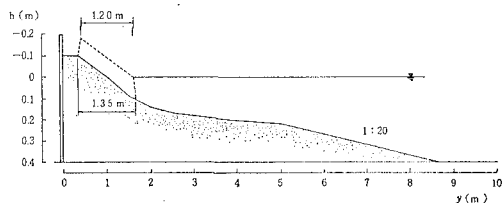


図-1 模型海浜断面

種々の実験結果のうち、短突堤を設置後波を1.5時間作用させたあとの海浜形状を図-2に示す。破線は初期海浜形状を、また実線は1.5時間後の海浜形状である。波が時計回りの方向より斜め入射したため、短突堤右側の $x=5, 9\text{ m}$ 付近で堆積が生じた。一方、短突堤の左側の $x=7, 10\text{ m}$ 付近では侵食が生じた。これは短突堤によって沿岸漂砂が捕捉されたことによるもので、汀線は入射方向に対しほぼ直角方向に変化している。1.5時間後の海浜地形においては、汀線付近の等深線の間隔は初期形状とほぼ同様である。すなわち初期海浜形状を平行移動したかのような地形変化が侵食側、堆積側で生じている。また著しい地形変化の生ずる限界水深は約14 cm (現地換算5.2 m) であることがわかる。短突堤先端は水深10 cmの位置にあり地形変化より判断すると、短突堤先端を下手側へ回り込む漂砂の移動幅は狭く、むしろ短突堤を通過する漂砂が支配的と考えられる。短突堤

* 正会員 前建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所長

** 正会員 工博 建設省土木研究所河川部海岸研究室長

*** 正会員 建設省中部地方建設局静岡河川工事事務所

**** 正会員 建設省中部地方建設局河川計画課

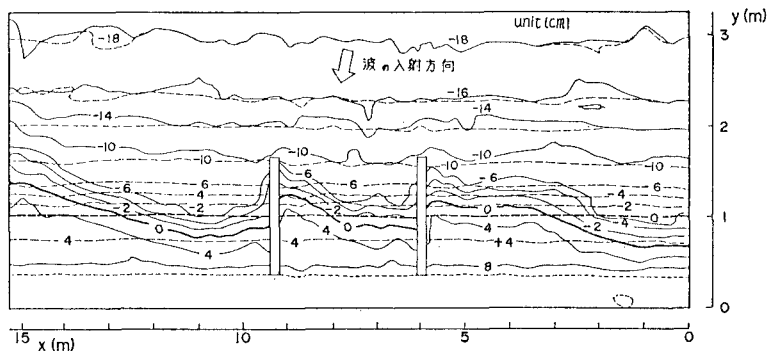


図-2 等深線図 (模型実験, 1.5 時間後)

の上手側の堆積域と下手側の侵食域とで海浜地形に段差が生じ、短突堤に対し斜めに打ち寄せる波がこの段差を流下し、下手側へと底質を流出させるものである。

図-2には初期形状と1.5時間後の海浜形状が示されている。したがって、これより海浜形状の変化量を算出し、その累積値を求めれば突堤群位置での沿岸漂砂量が定められる。一方、本実験に先立って行われた構造物を置かない自然条件での0~1.5時間での平均沿岸漂砂量は同様な手法により76.3 l/hrと求められている。そこで両者の比を沿岸漂砂量の通過率と定義して求めると、通過率は57%となった。結局、ここで提案した規模を持った透過性の突堤であっても、漂砂量を小さくすることができる、また限られた実験データではあるが、この場合の漂砂量の減少率は約40%であることがわかる。

3. 短突堤群の施工

短突堤を建設する目的は、サンドバイパス土砂を安定的に漂砂下手に供給できるように沿岸漂砂量を制御することにある。それは海浜全体に求められるものであるために、群堤としての施工が重要となる。また、構造物の建設期間中にも侵食は進んでしまうことから早い時期に海岸全体に施工する必要がある。短突堤の漂砂制御効果は、突堤の長さ、高さ、構造などによって異なる。特に短突堤の長さは重要である。長い場合、沿岸漂砂を抑えすぎ、下手側に侵食を生じさせる恐れがある。短過ぎれば漂砂制御効果が期待できない。駿河海岸において、沿岸漂砂の卓越する範囲は、侵食による海浜断面形状の経年変化¹⁾より推定すると、水深約6mより浅い位置と判断できることから、短突堤の先端位置はこの水深より浅くする必要がある。結局、施工に際しては、模型実験結果も考慮して先端水深を約4m、堤長を約23mとした。この堤長は150tクレーンによる陸上からのブロック据付けを可能にし、経済的な施工をなし得るものである。図-3には短突堤の平面配置を示す。土砂投入地点

側を1号堤とし、海岸に沿って5号堤まで設置した。一方、突堤間隔は設置後の汀線形状の変化を推定した上で決定する必要がある。短突堤設置後の汀線は図-2に示したように波の入射方向に対してほぼ直角となる。構造物の下手側では侵食が生ずる。よって短突堤は既設の消波堤と一体となるようにし、下手側の侵食を消波堤で抑えるようにした。したがって突堤間隔は既設消波堤の配置に影響さ

れ、図-3のように86~130mの間で変化している。

短突堤のうち、1~3号堤は図-4に示す構造を持つ、堤体の中心部には長方形のコンクリートブロックを2個積み重ね、高さ2.1mの不透過壁を設けた。4、5号堤は不透過壁を持たず、異形ブロックによる構造とした。ブロック内を透過する漂砂については、底質粒径が強く影響するので、実験的に詳細な検討を行うことはかなり難しい。したがって、この点については施工後の追跡調査により検討する必要がある。短突堤に異形ブロックを採用したのは、透過堤とすることにもよるが、前述したように海浜全体に速やかに配置する必要性から見て経済性、施工性に優れているからである。透過堤は堤体内を漂砂が通過するため、不透過堤に比べ制御効果は劣る。

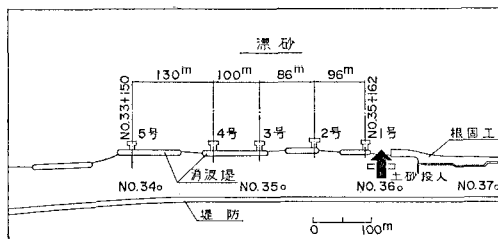


図-3 短突堤の配置 (現地)

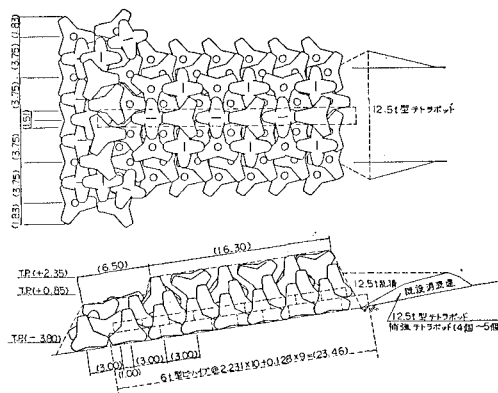


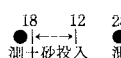
図-4 短突堤の構造 (現地)

しかし短突堤は漂砂を制御しようとするものであって、漂砂を完全に阻止しようとするものではないために、その機能からすると問題ないと考えられる。更に突堤の先端部は反射波による前面洗掘を小さくするために法勾配を緩くし、また突堤の先端部は堤幅を2割程度広くし補強した。工事は昭和60年より始められた。投入点に最も近い1号堤は昭和61年2月20日に完成し、最終的に5基が完成したのは3月25日である。一方、大井川港南防波堤の南側に採取した土砂の投入は、昭和61年2月18日～4月12日の間に行い、ほぼ突堤工事と並行して行った。全体量6万 m^3 の土砂は、測線No.36に5万 m^3 、No.33に1万 m^3 投入した。

4. 土砂移動の追跡調査

土砂移動の追跡調査としては、表-1に示すように土砂の投入前後に4回の深浅測量を実施した。測量は沿岸方向に20～50m間隔で行った。調査期間中の波浪条件は当海岸にある海洋技術総合研究施設(位置については図-6参照)に設置した電波式波高計により測定した。

表-1 突堤工事と深浅測量の工程表

	S61												S62		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
測量日程													26		
	●	←→		●								●	●		
	測土砂投入量約6万m³			測量								測量	測量		
突堤工事	20		25												
	←→														
	5基														
	1号堤完成 2/20														
	5号堤完成 3/25														

調査期間中の日平均有義波高の変化を図-5に示す。有義波高は0.5～1.0mの間の出現割合が高いが、時々高波浪が来襲している。例えば $\bar{H}_{1/3}$ が1.5m以上の波に注目すると、5月と9月の測量の間では3回(8月5日 $\bar{H}_{1/3}=1.70\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=10.8\text{sec}$ 、8月25日 $\bar{H}_{1/3}=1.56\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=10.8\text{sec}$ 、8月26日 $\bar{H}_{1/3}=1.92\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=10.5\text{sec}$)、高波浪が出現した。一方、9月と12月の測量の間では7回(9月18日 $\bar{H}_{1/3}=1.69\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=10.3\text{sec}$ 、9月27日 $\bar{H}_{1/3}=1.86\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=11.6\text{sec}$ 、9月28日 $\bar{H}_{1/3}=1.75\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=11.4\text{sec}$ 、9月29日 $\bar{H}_{1/3}=1.82\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=11.4\text{sec}$ 、10月7日 $\bar{H}_{1/3}=1.62\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=11.9\text{sec}$ 、10月8日 $\bar{H}_{1/3}=1.67\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=11.5\text{sec}$ 、12月19日 $\bar{H}_{1/3}=2.96\text{m}$ 、 $\bar{T}_{1/3}=10.0\text{sec}$)出現している。すなわち後者の期間の方が高波浪の出現回数が多い。とくに12月19日の波高は約3mに達する高波高であった。有義波周期は7.5～9.5secが高い頻度で出現している。また、他の海岸の波浪特性と同様に、静穏時には周期が短く、高波浪時には周期が長くなる傾向が

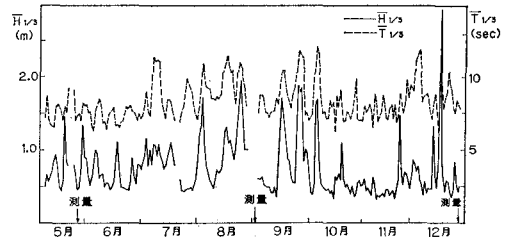


図-5 追跡調査期間中の日平均有義波高

ある。

次に、深浅測量データを用いた分析の結果を明らかにする。最初に短突堤群周辺の昭和61年9月の海浜形状を図-6に示す。当海岸ではT.P. 2mからT.P. -4mまでの等深線は密に並んでおり、前浜付近の勾配は大変急である。しかしT.P. -5m以深では勾配約1/70の緩斜面が続いている。短突堤群は等深線が最も密に並んだ急斜面上に設置されている。また短突堤群付近の汀線形は周辺海岸よりも沖向きに突き出ているが、これは構造物によって投入砂が捕捉されているためである。

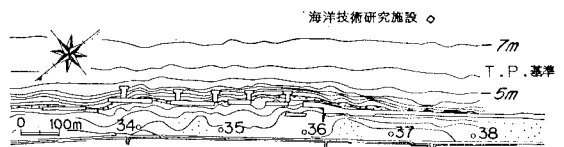


図-6 短突堤群周りの深浅図

土砂の投入点付近の汀線形の経時変化を示すと図-7となる。なお、図-7には5基の短突堤の位置と、汀線と平行に設置された消波堤の位置も示す。昭和61年2月の汀線形は土砂投入前の形状である。全体量6万 m^3 の投入土砂はNo.36に5万 m^3 、No.33に1万 m^3 と分けて投入されている。後者は突堤群の下手(北)側での侵食を軽減するために行われた。昭和61年5月の測量結果が投入後の汀線形を表わす。No.36位置では下手に短突堤があるため土砂が捕捉され、汀線が大きく突き出ている。一方、No.33付近では1万 m^3 の土砂投入が行われたが、ここでは汀線はあまり前進せず、むしろ下手のNo.30付近での前進量の方が大きい。時間が経過するとNo.35.5～No.37の間の汀線は後退し、逆に下手側のNo.34.5付近では汀線が前進している。これらは北上する漂砂によって底質が運ばれたため生じた変化である。一方、突堤群の下手側のNo.32～No.33.5の間では汀線が後退している。更に時間が経過して昭和61年12月になると、突堤群の上手では汀線変化が小さくなり、汀線は比較的安定したが、突堤群の下手のNo.30～No.32では汀線の後退域が広がった。

海岸の汀線形と構造物の関係は図-7に示したが、こ

の図では各時期ごとの汀線変化状況は明確ではない。そこで昭和61年2月の汀線形状を基準としてそれからの変化量を算出し、図-8に示した。土砂投入が完了した後の5月には、No. 36を中心として三角形形状に汀線が前進しており、前進量の最大値は28 mである。その後投入箇所より南側のNo. 36~No. 37付近では汀線が後退し、No. 34.5付近では前進している。この付近で汀線形が不連続になっているのは短突堤が存在することによる。突堤群の下手側、No. 32~No. 34の間では汀線が後退した。

後退量の最大値はNo. 33よりわずかに南側地点の約10 mである。このような汀線変化は、突堤群があるため北向きの漂砂量が減少し、構造物の隣接区域で漂砂量のバランスがくずれたため生じたものである。

同様に5月の汀線形状を初期値としてその後の変化をまとめると図-9となる。土砂投入点のNo. 36付近では12月までに汀線は最大で17 m後退した。侵食区域はNo. 35~No. 37の間に三角形形状に広がっている。逆に突堤群の間では9月までに土砂がたまったが、その後の汀線変化は少ない。この区間では動的平衡状態にあったものと考えられる。一方、No. 33.5より北側では経時的に侵食が進んでいる。すなわち9月までの間では侵食範囲はNo. 31.5付近までであったが、12月になるとこれより北側まで侵食区域に転じた。

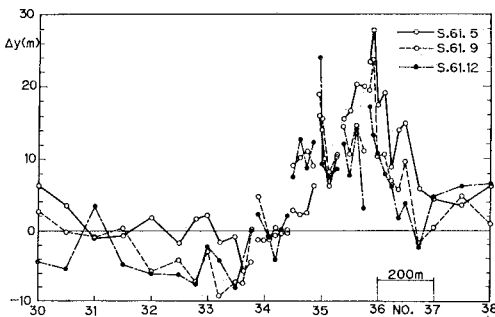


図-8 昭和61年2月を基準とした汀線変化

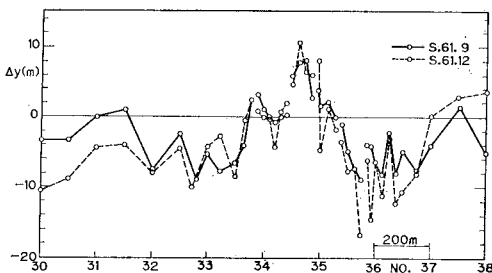


図-9 昭和61年5月を基準とした汀線変化

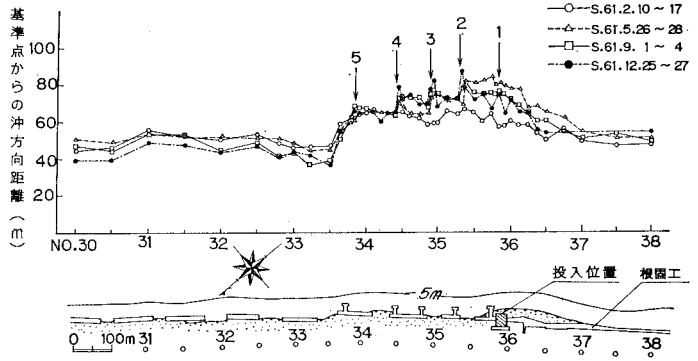


図-7 短突堤群周りの汀線形

図-10は各短突堤の下手、上手側に10 m離れた位置の海浜断面形の1例である。土砂投入後約5ヶ月が経過した9月の測量結果である。5基の短突堤が示されているが、これらのうち4、5号堤は透過性であり、1~3号堤は不透過の芯を持つ構造である。全断面において地形変化はほぼT.P. 2.5~6 mの間で生じている。このような断面形状の変化は、駿河海岸の大井川港南防波堤南側の代表測線で見られた断面形状の変化特性¹⁾や、過去に構造物のない条件でNo. 36地点で行われたサンドバイパス土砂の投入後の海浜断面形の変化²⁾と極めて良い一致を示す。顕著な地形変化の見られる水深は水理実験の4.2 mと比較すると大きい。模型実験ではエネルギー平均波を作用させているため、限界水深が小さくなったと考えられる。突堤の上手、下手側の断面形を比較すると、いずれも上手側の方が汀線が海側に位置している。しかし短突堤の先端部より沖では上手、下手側の海浜断面形はほぼ同一である。上手、下手の断面形の差から判断する限り短突堤でもかなりの砂捕捉効果があることがわかる。

図-10に示したように、海浜断面形はほぼ平行移動に近い形で変化している。そこで海浜断面積の変化量(ΔA)と汀線変化量(Δy)とを求め、両者の相関より漂砂の移動高 h を求めた。1例として土砂投入後の5月の深淺測量を基準としてその後の2回の測量結果より相関を調べたのが図-11である。両者の間には

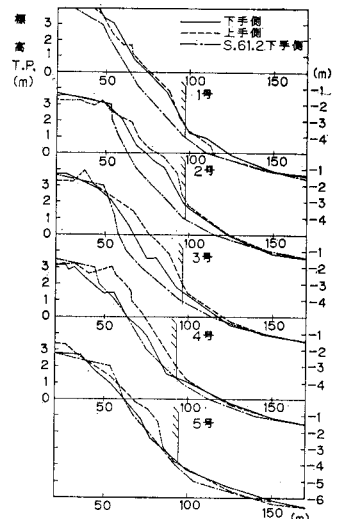


図-10 短突堤の上手、下手の海浜断面形の比較

相関係数 $R=0.88$

で次式が成立する。

$$\Delta A = 8.4\Delta y + 6.0$$

……(1)

ここに ΔA , Δy の単位は m^2 と m である。式(1)において ΔA と Δy の回帰係数は漂砂の移動高に

等しい。したがって $h=8.4m$ となる。この値は駿河海岸で過去の深浅測量データより求められた $h=8.0m^{1)}$ 、およびサンドバイパス土砂の投入後の海浜変形より定められた $h=8.1m^{2)}$ と良い一致を示すことがわかる。

最後に沿岸漂砂量の算定を行った。当海岸の沿岸漂砂の卓越方向は北上する方向である。また投入点の南側に位置する No. 38 と大井川港の間では近年汀線や断面の変化は見られず、ほぼ安定状態に近いことから、No. 38 を横切って北上する漂砂量は小さいと考えられる。これらのことから No. 38 を基準として北向きに海浜土砂量の累積値を求めた。次に昭和61年12月と5月の値より土砂量の変化割合を求め、沿岸漂砂量の沿岸方向分布を求めた(図-12)。漂砂量は北方向に増加傾向を持つが、突堤群位置での漂砂量は約 $3 \text{ 万 } m^3/yr$ であり、さらに北の No. 31 付近では約 $7.5 \text{ 万 } m^3/yr$ となる。これらの値は2回の深浅測量データのみから求められているので、漂砂量の推定精度はあまり高くない。しかし後者の

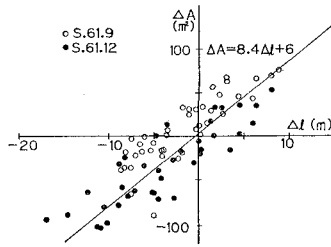


図-11 ΔA と Δy の相関

値は、大井川港の下手側の海浜土砂量変化より定められた $8.0 \text{ 万 } m^3/yr$ とかなり良い対応関係を持つ。構造物のない条件下での沿岸漂砂量に対する突堤群位置での平均沿岸漂砂量の比より漂砂の通過率を求めると、約40%となる。この通過率は実験値の57%と比較すると17%砂捕捉効果が高いものであった。

5. 結 論

本研究では投入土砂の流出制御を行うための施設として短突堤群を考え、その機能を移動床水理模型実験で調べ、更に駿河海岸で実際に施工し、その効果を追跡調査により調べた。最後に本研究で得られた主要な成果を要約する。

①土砂投入の現地実験より、当海岸の海浜断面形はほぼ平行移動に近い形で変形することが確かめられた。また、この状況は移動床実験でも良く再現された。

②海浜断面形の変化より経験的手法を用いて漂砂の移動高 h を求めたところ、 $h=8.4m$ となった。この値は当海岸で過去に深浅測量等で得られた $h=8.0m$, $8.1m$ と良く一致する。

③海浜土砂量の変化より沿岸漂砂量の沿岸方向分布が求められた。これによると突堤群の下手では $Q \approx 7.5 \text{ 万 } m^3/yr$ 、突堤群位置では $Q \approx 3.0 \text{ 万 } m^3/yr$ となった。突堤群による沿岸漂砂の通過率は40%となった。この値は実験値の57%と比較すると約17%砂捕捉効果が高いことになる。

④結局、駿河海岸の短突堤群はかなり良い砂捕捉効果を持つことが水理模型実験と現地実験より確認された。

参 考 文 献

- 1) 武内達夫・宇多高明・中島秀樹・青山春男：駿河海岸における地形変化の解析，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 360~364, 1984.
- 2) 滝澤俊二・宇多高明・堤 博志・中山 修：駿河海岸におけるサンドバイパスの現地実験，第33回海岸工学講演会論文集，pp. 302~306, 1986.

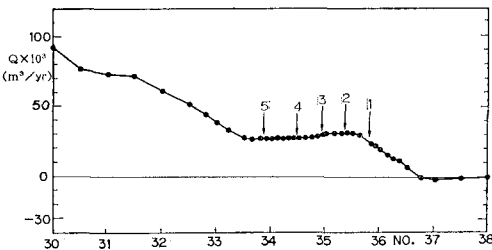


図-12 沿岸漂砂量の沿岸方向分布