

大井川河口周辺海岸の海浜変形の巨視的把握

加藤 一正*・入江 功**・田中 則男***

1. はじめに

海浜変形を十分理解するには、漂砂供給源から漂砂現象の終端までの連続した系を一体として把握する必要がある。しかし、このような海浜変形の巨視的把握は空間・時間スケールが広範囲・長期間になるので、現地データに基づいて議論されたことは少ない。

本報告は、大井川河口周辺の海浜について、蓄積されている過去の調査資料を再検討することにより、漂砂源である大井川まで含めた空間スケールで、約20年間の海浜変形を巨視的に把握することを試みたものである。

対象海岸は、駿河湾西部に位置し、水深5m付近まで急勾配の礫浜海岸であり、昭和30年代後半より侵食傾向が顕著になっているところである。本海岸には大井川(流域面積1280 km²、幹線流路延長160 km¹)が流入しており、河川からの流下土砂が堆積して河口扇状沖積海浜となっている。来襲する波は、駿河湾口からのものが支配的であり、このために基本的には北上する漂砂が卓越している。しかし、河口の南側海浜では、汀線方向と入射波向との関係で、南下する漂砂が卓越する。

2. 河口周辺の海浜変形に関する基本的概念

まず最初に、河口扇状沖積海浜の変形について考える。簡単にするために、図-1のように波はもとの汀線に対して直角入射とし、海浜の汀線はもとの汀線に対して β の傾きを有するとすれば、波の入射角は β となる。この場合、汀線に平行方向の沿岸漂砂量は

$$Q_L = \alpha \left(\frac{1}{2} E \cdot \sin 2\beta \right)^n \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。ここに、 Q_L は沿岸漂砂量、 E は波のエネルギーフラックス、 α と n は沿岸漂砂量式の係数である。河川からの流下土砂量のうち、左岸海岸の海浜変形に寄与する土砂量 Q_r と沿岸漂砂量が同じであるならば、海浜地形は変化しない、すなわち

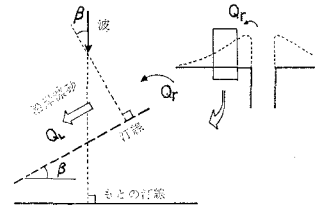


図-1 河口周辺の平衡地形

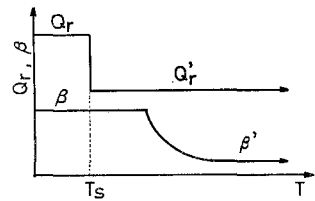


図-2 河口周辺の海浜変形概念図

$$Q_r = Q_L = \alpha \left(\frac{1}{2} E \cdot \sin 2\beta \right)^n \quad \dots\dots\dots (2)$$

は、汀線(あるいは海浜)の平衡状態を表す式となる。

Q_r が変化すると、式(2)が成立するように β が変化する。例えば、 Q_r がステップ関数的に減少した場合、汀線方向 β は減少し(汀線の後退、海浜の侵食)新たな平衡状態 β' に漸近する。この状況を、 Q_r の減少が T_s の時期に河川上流域で生じた場合、その影響が河口周辺地形に遅れて現われることを考慮して図-2に示す。

3. 大井川の流下土砂量の変化

表-1は、大井川水系のダム名と総貯水量をダム建設の完成年月順に示したものである²⁾。これらのうち、井川ダムと畑薙第一ダム(図-3に位置を示す)の規模は際立って大きく、2つのダムの総貯水量の合計は、全体の総貯水量の約90%を占める。

図-4の実線は、大井川水系のダム内堆砂の累加土量の経年変化を昭和10年を基準に示したものである³⁾。堆砂量は、昭和10年~30年の間に40万m³/年程度であったが、井川ダムの完成した頃より急増し350万m³/年程度になる(図中一点鎖線)。言い換えると、井川ダムの建

* 正会員 工修 運輸省港湾技術研究所 水工部 高潮津波研究室長
 ** 正会員 運輸省港湾技術研究所 水工部 漂砂研究室長
 *** 正会員 工博 運輸省港湾技術研究所 海洋水理部長

表-1 大井川水系のダム一覧²⁾

	ダム名	総貯水量 ($\times 10^6 \text{m}^3$)	完成年月 (昭和年月)
1	田代	0.22	2. 11
2	千頭	4.95	10. 8
3	大井川	0.07	11. 10
4	寸又	0.99	11. 10
5	大間	1.52	14. 3
6	境川	1.17	19. 3
7	奥泉	3.15	31. 1
8	井川	150.97	32. 8
9	笹間	6.34	35. 11
10	畑薙第2	11.4	36. 8
11	"第1	107.40	37. 11
12	大代川	0.62	42. 3

設地点をかって通過していた流下土砂は、昭和32年頃より約300万 m^3 /年程度カットされるようになった。鮎川ら³⁾の試算によると、大井川流域全体の土砂生産量は約500万 m^3 /年であるので、このカット量は土砂生産量の約60%に相当する。実際には、流下土砂のうちある範囲の粒径の砂礫が河口周辺の海浜変形に寄与する。生産土砂と堆積土砂の粒度分布が同じであるとするならば、昭和32年以降の流下土砂量のカットの割合は、河口周辺海浜への供給土砂量の減少の割合と見なし得る。すなわち図-2に概念的に示した Q_r の変化が、大井川の場合そのままあてはまることになる。

海への流出土砂量が減少するもう一つの要因として、河道部の砂利採取がある。砂利採取により、河床が低下し掃流力が小さくなること、および河床砂礫の粒度分布が粗粒化すること等による流出土砂量の減少である。

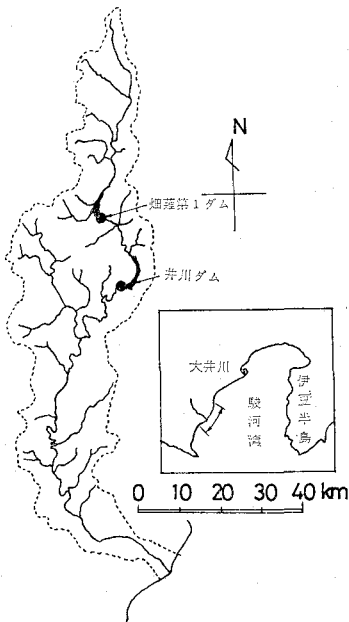


図-3 大井川流域と井川ダム、畑薙第1ダムの位置

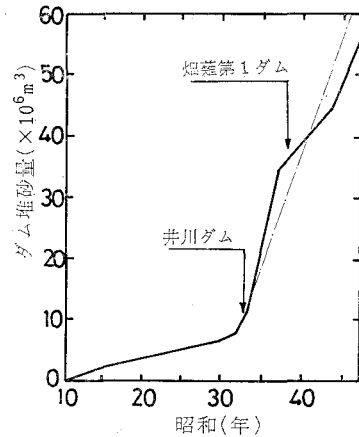
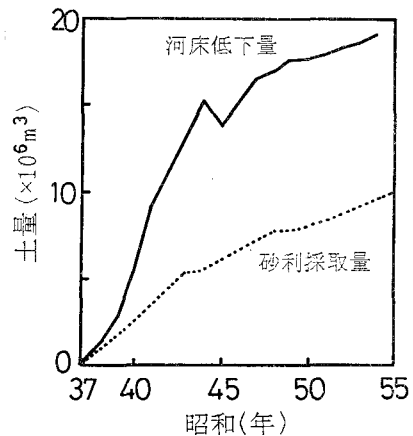
図-4 大井川水系のダム堆砂量の経年変化³⁾図-5 河床低下量、砂利採取量の経年変化(0~24 km)⁴⁾

図-5は、河口から上流24 kmまでの範囲の河床低下量と砂利採取量の累計値の経年変化を昭和37年を基準にして示したものである⁴⁾。昭和37年~45年の間に砂利採取量を上回る河床低下が生じていることが分る。昭和47年以降は河床低下量と砂利採取量の累計値が平行になっており、この間の河床低下は砂利採取によって生じたものと考えられる。ただし、大井川の場合河床が低下すると水位もほぼ平行に低下するので、河床低下は海への流出土砂量にほとんど影響を及ぼさないようである³⁾。

4. 大井川河口周辺の海浜変形

図-6は、昭和38年7月の汀線位置を基準にして、各測線の前進(斑点)、後退(斜線)の経年変化を示したものである⁴⁾。図中縦軸に示した数字は、大井川河口中心から各測線までの沿岸距離である。-1.8 km~5.4 kmの範囲では、1.0 kmの測線を除いて(これについては後述する)、汀線後退が生じている。図中には、各測線について汀線後退が始まったと判断される時期を矢印で示し

た。このうち、測線距離 $-0.6 \sim 2.2$ km の範囲は、昭和38年以前に後退が始まった可能性もある。矢印の時期に注目すると、北海岸、南海岸ともに大井川河口から遠ざかるほど汀線後退の始まりが遅れる傾向にある。

武内ら³⁾によると、北海岸の汀線後退量と海浜断面積の変化量(侵食)の間には高い相関があるので、水深変化も汀線後退と同じような状況になっていると考えられる。図-7は、大井川河口中心から、 $1.2 \sim 2.0$ km(中心までの距離1.6 km)、 $2.0 \sim 3.2$ km(同2.6 km)、 $3.2 \sim 4.8$ km(同4 km)、 $4.8 \sim 6.8$ km(同5.8 km)の範囲のT.P. 0 m $\sim$ -3 mの平均断面積の経年変化を、昭和38年を基準として示したものである⁴⁾。平均断面積(平均水深と等価)の変化も、汀線の後退と同様な傾向を示しており、各領域においては図中矢印で示した頃から侵食が始まり、それは河口から遠ざかるほど遅れている。

図-8は、大井川河口中心からの距離をとって、図-

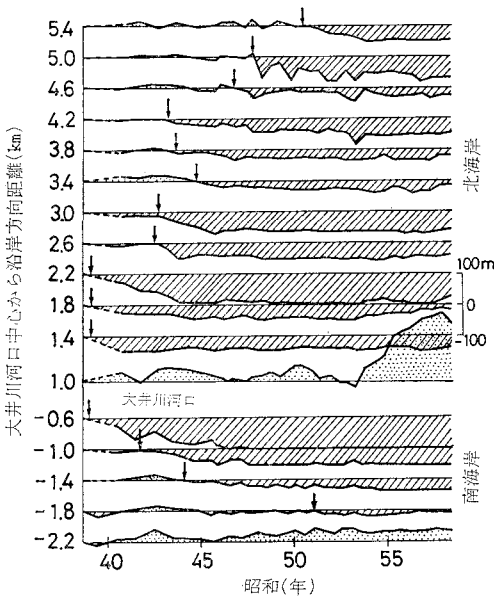


図-6 汀線位置の経年変化⁴⁾(矢印は著者ら記入)

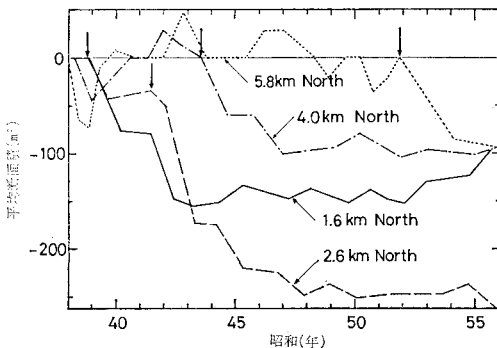


図-7 平均断面積の経年変化(文献4)より作成)

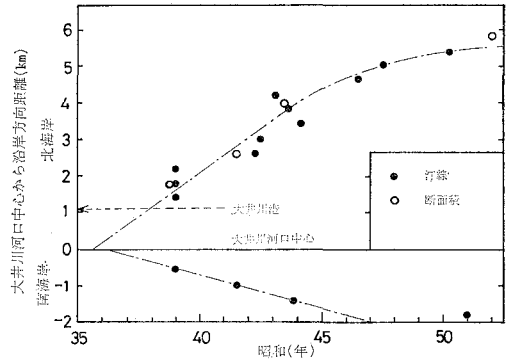


図-8 汀線の後退、海浜の侵食の始まる時期

6, 7に矢印で示した侵食開始時期をプロットしたものである。南北海岸の侵食開始時期を一点鎖線で示したように結び、大井川河口中心まで外そうとすると横軸とは昭和36年頃に交わる。逆に言う、大井川河口を起点として、侵食傾向が南海岸を南下、北海岸を北上したかのように、侵食開始が連続的に遅れて生じた。

図-5によると、大井川河道部(河口 ~ 24 km)では河床低下が生じている。河床低下は、流下土砂量の減少と、砂利採取の影響を受けているので、ここでは実際の河床低下から砂利採取量をさし引いた河床低下量の経年変化を図-9に示す。昭和37年以前のデータがないので、河床低下の始まる時期を確定することはできないが、この図より、昭和37 $\sim$ 44年頃には河床低下の傾向にあることが分る。したがって、この図は、図-8において南北海岸の侵食開始時期を河口中心まで外そうとしたときの昭和36年頃という時期を否定はしていない。さらに上流に目を向けると、昭和32年頃からダム内の堆砂量が急増したことは前述のとおりである。

図-6および7, 9をさらに注意して見ると、侵食が始まった数年後には侵食傾向が弱まり新たな平衡状態に達したように見受けられる。これは、図-2に示した β の変化に似ている。ただし、この場合の平衡状態は図-2とは別の要因が大きく関係していると考えられる。その一つは、汀線後退が南北海岸に広がるのとはほぼ同じ状況で、海岸侵食防止のための消波堤建設が南北海岸へ延びていった経緯である。例えば、汀線が消波堤まで後退すると、それ以上の後退は生じにくい。河道部においては、河床材料の粗粒化が重要な要因となっている。

大井川河口周辺の海浜変形のうち、北海岸の海浜変形は、さらに複雑である。というのは、北海岸の大井川河口寄りに大井川港が建設されているからである。大井川港は北海岸の漂砂の上手側に位置するので、それと北海岸の侵食との関連性についても検討する必要がある。

図-8には、大井川港南防波堤の位置が破線で示されて

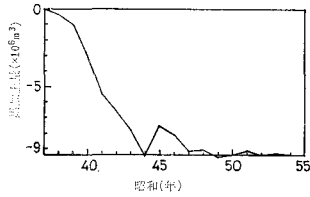


図-9 河床低下量の経年変化（砂利採取量を除く）

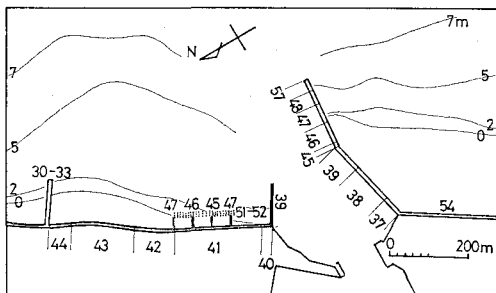
いる。それと侵食開始の連続性を示す一点鎖線は、昭和38年頃に交わっている。皮肉なことに、大井川港の建設は昭和37年8月に着工されている。

図-10は、大井川港およびその周辺の構造物の変遷⁴⁾を示しており、図中の数字はその構造物が建設された年度（昭和）を意味する。大井川港の防波堤延長は、昭和39年度までに南防波堤240m、北防波堤110mとなっているが、この程度の規模の防波堤が沿岸漂砂を相当阻止したとは考えられない。なぜなら、昭和45年8～9月の時化時に実施した現地調査⁹⁾によって、南防波堤の南側に投入した蛍光砂が防波堤をう回して北側に移動する状況がとらえられているからである。

しかしながら、実際には北側の海浜へ通過する漂砂がかなり少なくなった状況がある。それは、南防波堤建設当初より、堆積の顕著な南側の海浜で相当量の砂利を採取したことである。採取量は定かでないが、とにかく防波堤建設以前の汀線位置を維持するように砂利を採取したようであり、それは昭和53年まで続いた。図-6の1.0km（南防波堤の南側の測線）の汀線位置の変動は、砂利採取の結果を反映しており、砂利採取が中止された昭和53年以降急激な汀線前進が生じている。

したがって、北海岸の侵食は、河川からの流下土砂の減少と、大井川港の建設、海浜における砂利採取の影響が重なって深刻なものとなったものと考えられる。

海底地形の変化の特徴を三次元的に把握するために、建設省が実施した深浅測量の成果を基に、三次元の経験的固有関数解析⁷⁾を実施した結果⁹⁾について述べる。この解析は、デジタル化された深浅データをもとに、平均

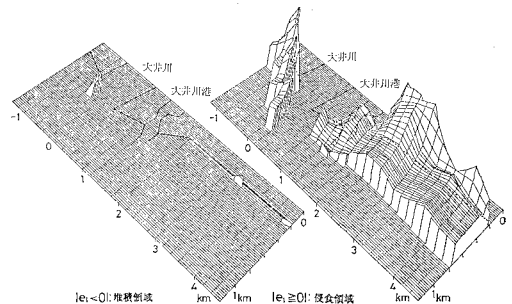
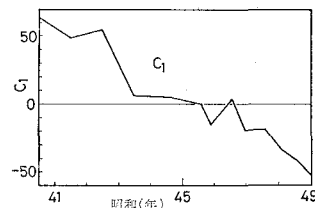
図-10 大井川港およびその周辺の構造物の変遷⁴⁾

水深からの地形変化量 $\Delta h(x, y, t)$ を、次式のように時間成分と空間成分の積で表現するものである。

$$\Delta h(x, y, t) = \sum_{n=1} C_n(t) \cdot e_n(x, y) \dots\dots\dots (3)$$

図-11は、昭和40～49年のデータ（13回測量）を用いて解析した結果のうちで、 $e_1(x, y)$ （寄与率67.1%）を正の領域、負の領域に分けてその絶対値を立体表示したものであり、図-12は $C_1(t)$ である。 $C_1(t)$ が時間とともに減少しているため、 $e_1 < 0$ は堆積領域、 $e_1 \geq 0$ は侵食領域とみなせる⁷⁾。そうすると、解析範囲においては、ほとんど全域で侵食が生じていることになる。河口右岸海岸の侵食は流出土砂の減少（砂利採取も含む）によるものと判断されるが、北海岸の侵食には大井川港南防波堤およびその南側での砂利採取の影響も含まれていると考えられる。すなわち、大井川港の南側では侵食傾向が弱く（堆積していないのは砂利採取があったためと考えられる）、北側1～2kmの範囲は顕著な侵食が生じている。なお、大井川からの流出土砂の減少、大井川港の建設、砂利採取がほぼ同時期のものであるため、同じモードに含まれてしまったと考えられる。

図-13、14は、昭和49～57年（16回測量）の解析結果のうち、 $e_1(x, y)$ （寄与率51.1%）、 $e_2(x, y)$ （寄与率16.6%）を図-11と同様に示したものである。これらの $C_n(t)$ は、図-15である。 $C_1(t)$ は昭和53年以降減少しているため、 $e_1 < 0$ は堆積領域、 $e_1 \geq 0$ は侵食領域である。堆積は大井川港の周辺で生じており、南側の堆積は北側の堆積より顕著である。あたかも南防波堤をう回する漂砂によって北側の堆積が生じている印象を受ける。ただ

図-11 経験的固有関数 e_2 （昭和40年7月～49年1月）図-12 $C_1(t)$ （昭和40年7月～49年1月）

し、航路維持浚渫で発生した土砂を北側海域に投棄している。北側の堆積には人為的な要因も加わっている。一方、侵食は大井川河口前面から右岸海岸にかけて、北海岸(2.5~4.5 kmの範囲)で生じているが、前者の規模が大きい。

$C_2(t)$ は、昭和49年~52, 53年の期間に減少し、その後は0に近い値になっているので、図-14に示す e_2 が意味を持つのは昭和52, 53年頃までである。図-14で特徴的なのは侵食領域であり、全域に広がっていることは図-11と同じである。したがって図-14の侵食は、

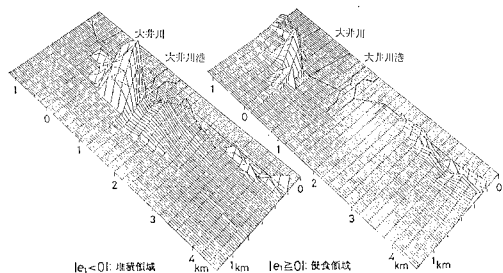


図-13 経験的固有関数 e_1 (昭和49年8月~57年2月)

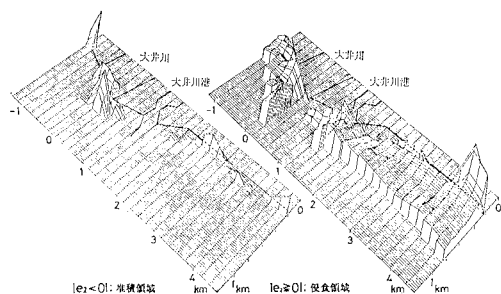


図-14 経験的固有関数 e_2 (昭和49年8月~57年2月)

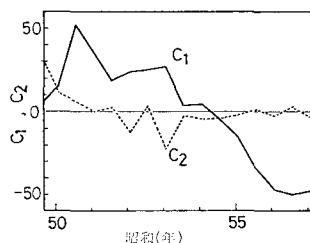


図-15 $C_1(t)$, $C_2(t)$ (昭和49年8月~57年2月)

図-11の侵食と連続してとらえ得る。すなわち、昭和40~49年に生じた全域の侵食傾向は、昭和52, 53年ころには落ち付き、その後は止まってしまうと解釈される。

5. おわりに

大井川河口周辺の海浜では、昭和30年代のダム建設による流下土砂量の減少および昭和30年代後半から40年代にかけての大井川港の建設、河道部・海浜部の砂利採取等の影響により、侵食が生じた。これらの影響がほぼ同時に現われているために、海岸侵食に及ぼした個々の影響の度合いを分離することは極めて困難なことである。このことは逆に、微視的に海浜変形をとらえると、間違った結論を導く可能性の高いことを示している。

著者らの意図するところは、本報告を通じて海浜変形を巨視的に把握することの重要性を示すことである。そしてそれ故に、いずれにせよ結果として生じている海岸侵食から国土を守るためには、マクロな立場からの検討、対策が必要であることも併せて強調しておきたい。

なお、本報告を取りまとめるに至った重要な契機は、大井川、大井川港、周辺海浜に関する過去の調査資料の発掘収集が堀川清司東京大学教授を委員長とする「海岸部における砂輸送システム調査委員会」においてなされたことである。本報告で使用した資料の多くは、上記委員会の報告書から引用したものであり、したがって資料収集は上記委員会の重要な成果である。

参考文献

- 1) 東京天文台編纂：理科年表，昭和56年，丸善，p. 地41, 1981.
- 2) 日本ダム協会：ダム総覧1976, 971 p., 1975.
- 3) 鮎川 登・安養寺 学・鶴巻恒雄・鶴本彰次：駿河海岸の海岸侵食に関する土砂収支的研究，早稲田大学理工学研究報告，第70輯，pp. 62~68, 1975.
- 4) 運輸省港湾局・建設省河川局：海岸部における砂輸送システム調査報告書，146 p., 1984.
- 5) 武内達夫・宇多高明・中島秀樹・青山春男：駿河海岸における海浜地形変化の解析，第31回海岸工学講演会論文集，pp. 360~364, 1984.
- 6) 運輸省港湾技術研究所・大井川町大井川港管理事務所：大井川港地区漂砂調査報告書，51 p., 1971.
- 7) 加藤一正・吉松 晃：三次元の経験的固有関数による深淺図解析法，港研報告，Vol. 23, No. 2, pp. 27~47, 1984.
- 8) 運輸省港湾局・建設省河川局：海岸における砂輸送システム調査報告書，286 p., 1985.