

早稲田大学理工学部 正会員 銚川 登

学生会員 安養寺 学、鶴巻恒雄

鶴本彰次

1. まえがき 近年、山地部におけるダムの建設や河道部における砂利採取などのために、河床低下や河口付近の海岸侵食が問題になっている河川が数多い。大井川(流域面積1,280 km^2 、流路延長180 km)においても昭和30年ごろから砂利採取が始められ、また昭和32年に井川ダム、37年に畑薙第一ダムと総貯水量が1億 m^3 を越す大ダムが建設されたために、河床が著しく低下し、河口付近の海岸では侵食が進みつつあり、昭和41年9月、43年2月、47年7月および10月には海岸堤防の前面が洗掘され、堤防が破壊されるような事態が生じている。ここでは、海岸侵食の原因と考えられる大井川からの供給土砂量の減少に関係すると思われる要因について量的な評価を行ない、河口部の土砂収支の観点から海岸侵食の原因について検討することを試みる。

2. 貯水池の堆砂状況 大井川水系には10ヶのダムが建設されているが、その竣工時期とそれらの貯水池の全堆砂量の経年変化を図-1に示す。図-1により、井川ダムが竣工した昭和32年以降堆砂量が急激に増加していることがわかる。大井川水系の貯水池は井川(総貯水量1億5000万 m^3)、畑薙第一(1億700万 m^3)および畑薙第二(1140万 m^3)以外は総貯水量が1000万 m^3 以下の小貯水池で、すでにほぼ満砂状態にあり、昭和40年以降の大井川水系の全堆砂量の増加の95%以上は井川と畑薙第一の2貯水池の堆砂によるものであり、この間の年平均堆砂量は245万 m^3/year 、比堆砂量は5.330 $\text{m}^3/\text{year}/\text{km}^2$ である。なお、井川および畑薙第一の貯水池の昭和47年現在の堆砂率はともに15%であり、今後さらに堆砂は進行することが予想される。

3. 河床変動と砂利採取 大井川の大井管理区間(-0.4~24.0 km)の河床低下量の経年変化を図-1に示す。また、昭和38年10月と47年12月の平均河床高の変化を示すと、図-2のようになる。これらの図によると大井川の-0.4~24.0 km の区間の河床は最近9年の間にほぼ一様に約1 m 低下しており、昭和40年以降の河床低下量は年平均1.75 m に達していることがわかる。この区間の河床変動の傾向を検討するためにに行った河道断面における年流砂量の計算結果の一例を図-3に示す。流砂量計算は、掃流砂量の計算には佐藤・吉川・芦田公式を、浮遊砂量の計算にはLane-Kalinske公式を用い、限界掃流力の計算にはEgiazaroffの式を修正した芦田・道上の式を用いて行なった。

図-3によると、0~24 km の区間内では局所的に堆積が生ずるところや洗掘が生ずるところがあるが、この区間全体としては堆積の傾向があることが認められる。流砂量の計算結果から0~24 km 区間内における年平均堆砂量の経年変化を求めると図-4のようになり、この区間では年平均10万 m^3 の堆砂量があることが推定される。しかし

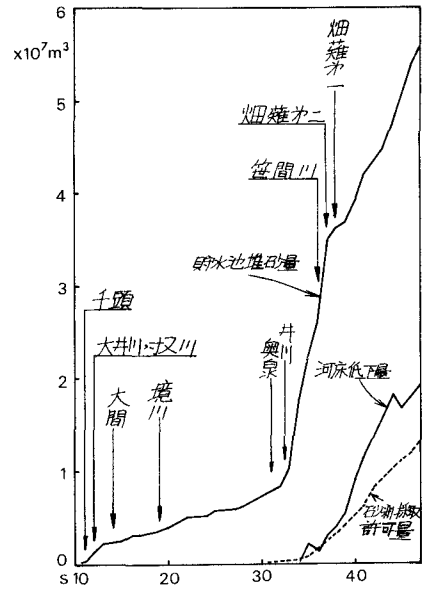


図-1 大井川の貯水池の堆砂量、河床低下量および砂利採取許可量の経年変化

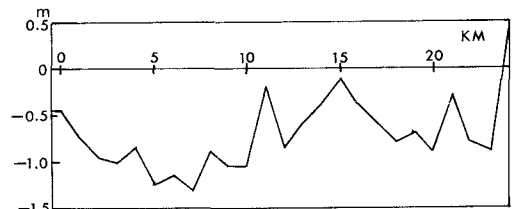


図-2 昭和38年~47年における平均河床高変動量

実際にはこの区間では前述したように年平均175万 m^3 の河床低下が生じている。この原因としてはこの区間における砂利の採取が考えられる。砂利採取量については正確な資料がないので、目安として砂利採取許可量の経年変化を図-1に示した。これによると、昭和40年以降の砂利採取許可量の年平均は140万 m^3 である。実際の砂利採取量は許可量を上回っていることがあり、これを考えると、この区間における砂利採取量は河床低下量とはほぼ合っているものと考えられ、この区間の河床低下は砂利採取が原因となっているものと推定される。

4. 海岸侵食の実態 明治28年、大正5年および昭和27年の1/50,000の地形図によると、大井川河口付近の海岸汀線は全般的に前進の傾向が見られる(図-5)。しかしその後、海岸侵食の傾向が見られるようになり、昭和38年以降大井川をはさんだ18kmの区間にわたって400m間隔で沖合約600mまでの深淺測量が実施されている。深淺測量の結果の一例を示すと図-6のようである。深淺測量の結果から昭和38年と46年の間の汀線と-50mの等深線の変化を図示すると、図-7のようになる。さらに、深淺測量の結果に基づき昭和40年を基準として昭和42年、44年、46年までの各地点における海岸侵食量の変化を示すと、図-8のようになる。これらの図によると大井川河口付近の海岸は全面的に著しく侵食が進んでいることが認められる。大井川河口付近の海岸侵食量の経年変化は図-9のようであり、昭和40年以降の年平均の海岸侵食量は85万 m^3 である。

5. 海岸侵食の土砂収支的研究 大井川の流域は地質が脆弱で、崩壊地が多く、土砂生産量が非常に多い。また大井川は下流平地部でも河床勾配は1/250と急流河川であり、昭和30年以前は海岸への供給土砂量が多く、波浪や沿岸流による侵食とはほぼ釣り合っていたか、やや上回っていたものと推定される。しかし昭和30年代後半ごろから海岸への供給土砂量が減少し、海岸が侵食されるようになってきたものと考えられる。大井川から海岸への供給土砂量の減少の原因としては、自然的原因として河川流量の変動、人為的原因としては砂利採取による河床低下、ダム操作による流況の変化、貯水池における堆砂、砂利採取およびダム建設による河床構成砂礫の粗粒化などが考えられる。ここでは、資料および計算の精度については問題があるが、これまでに示したような貯水池の堆砂量、河道横断測量、砂利採取量、海岸深淺測量などに資する資料および流量計算に基づいて、27

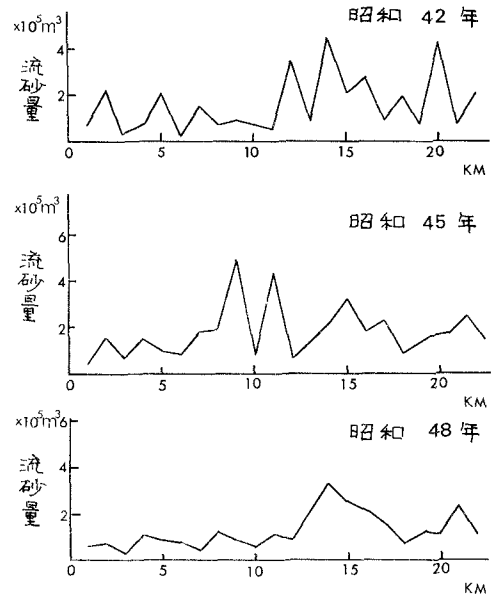


図-3 流砂量の縦断変化(計算値)

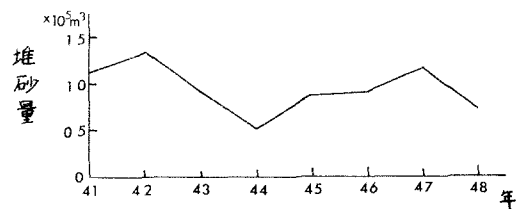


図-4 0~24km区間における堆砂量の経年変化(計算値)

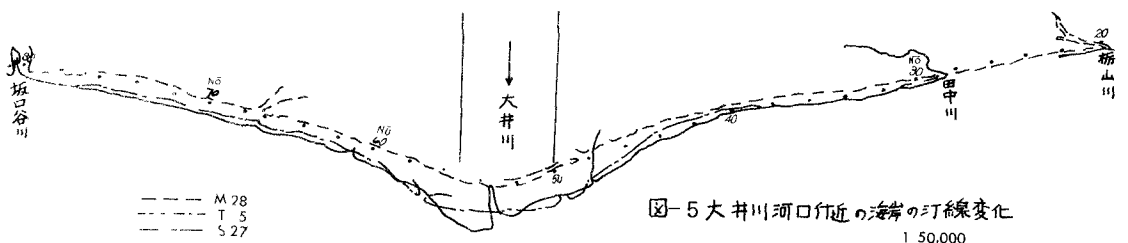


図-5 大井川河口付近の海岸の汀線変化
1/50,000

口な土砂収支的観測から大井川河口付近の海岸侵食に就いて考察を試みる。河川流量の変動による海岸への供給土砂量の変化を検討するためには、長期間にわたって検討することが必要であるが、ここでは資料の整っている昭和41年以降について海岸への年流出土砂量を算定した結果を図-11に示す。流砂量の計算において掃流砂量は佐藤・吉川・芦田公式、浮遊砂量はLane-Kalinske公式により計算し、限界掃流力は混合砂に対するEgiazaroffの式を修正した芦田・道上の式により求めた。図-11によると、河川流量の変動による供給土砂量の変化は15万 m^3 程度である。

砂利採取の影響としては河床低下により掃流力が小さくなり、流砂量が減少することが考えられるが、大井川の場合には潮位が低く河口付近では低下背水になり、河床が低下しても水位

は河床とほぼ平行に下がり、掃流力はあまり変化せず、流砂量にはほとんど影響をおよぼさないものと考えられる。

ダム操作による流況の変化の影響については資料が入りせず検討していない。

貯水池における堆砂が海岸への供給土砂量におよぼす影響を考える場合には、貯水池に堆積している砂礫のうち浮遊状態で流送されるような細砂の堆砂量が市腰になるであろう。種々の流量について不等流計算を行い、河口付近の河道部における摩擦速度を求め、砂の沈降速度が摩擦速度より小さい砂が浮遊状態で送流されるものと考え、浮遊限界の粒径を求めると流量が50~100 m^3/s の場合は1 mm程度となる。つぎに、貯水池内の不等流計算から摩擦速度を求め、摩擦速度が1 mmの砂の移動限界摩擦速度より小さくなる区域を求め、その区域内の堆砂量が1 mm以下の砂の量を与えると考え、井川および畑薙一郎の貯水池における1 mm以下の砂の堆砂量を求めると、昭和41年12月現在2,680万 m^3 （貯水池の総堆砂量の70%）となり、年平均堆砂量は170万 m^3 となる。

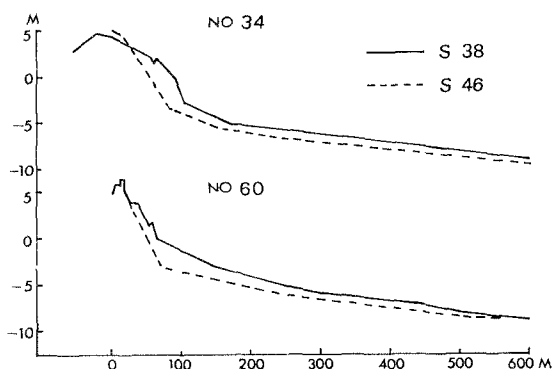


図-6 海岸形状図

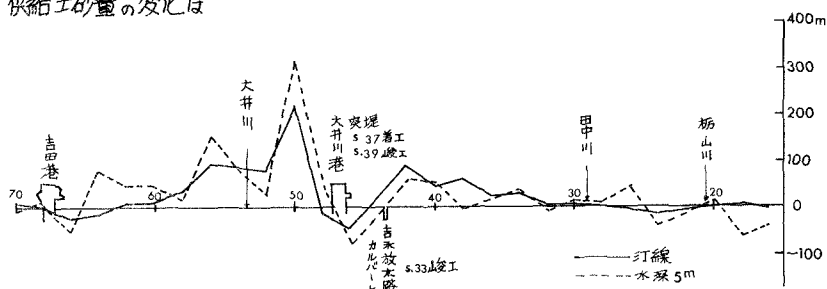


図-7 大井川河口附近海岸訂線変化図 (S 38~S 46)

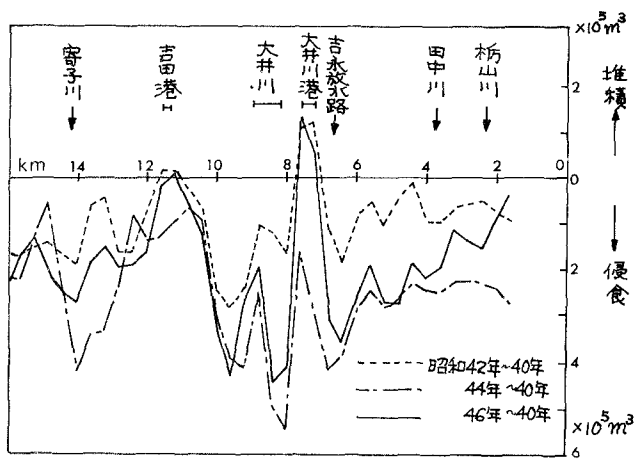


図-8 大井川河口付近の海岸侵食量の経年変化

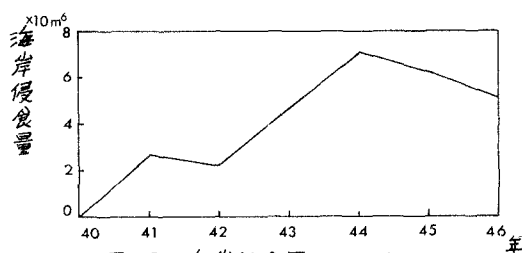


図-9 海岸侵食量の経年変化

河口付近の河道における1 mm以下の砂の年間の流送能力を流砂量計算により求めると、図-10の点線のようになり、年平均の流送能力は66万 m^3 となる(貯水池内に堆積している1 mm以下の砂の粒度分布に関する資料がないので、0.6, 0.3, 0.015 および 0.075 mmの粒径の砂が一樣に分布するとして流砂量を求めた。なお、海底質の粒度分布資料によると0.075 mm以下の砂もかなり含まれているが、これらはwash loadとして流送されると考えられるので、流砂量計算には含めなかった。しかし、土砂収支的な観点から海岸侵食を検討する場合にはこれらの量も考慮する必要がある(wash loadの算定法を確立することが望まれる)。一方、昭和40年以降の海岸への流出土砂量は図-10の点線で示されており(年平均流出土砂量は17万 m^3)、図-10の点線と実線の差が貯水池の堆砂による海岸への供給土砂量の減少を表わすものと考えられる(年平均では49万 m^3 の減少になる)。

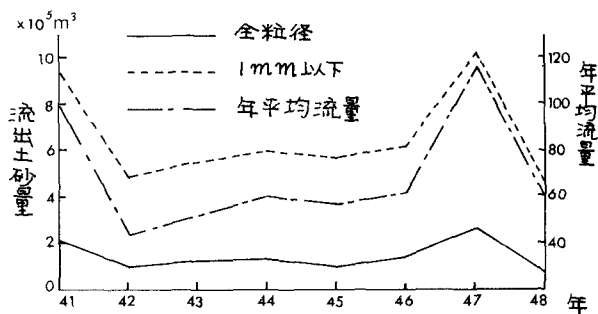


図-10 海岸への流出土砂量と年平均流量の経年変化(計算値)

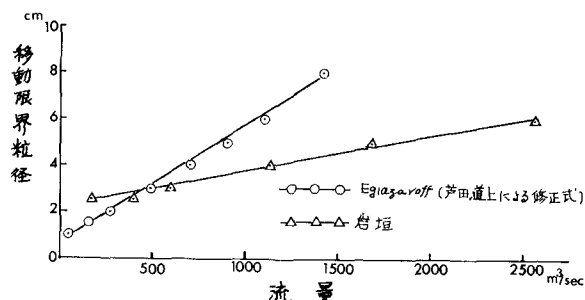


図-11 移動限界粒径と流量との関係

砂利採取およびダム建設による河床構成砂礫の粗粒化については資料がなく検討できなかったが、ここでは一つの目安として河口から2.0 km地点における移動限界粒径と流量の実係を示すと、図-11のようになる。大井川下流部の昭和40年以降の各年の日流量は340~360日間は250 m^3/s 以下であるので、河床面が2~3 cm以上の粒径の砂礫で覆われるようになると、洪水時にだけ砂礫が移動するようになり、年流砂量は非常に少なくなることが推定される。

以上の考察によると、大井川河口付近の海岸侵食の過程はつぎのように推定される。昭和32年の井川ダムの竣工により山地からの土砂供給量が減少したが、当初は河道内に堆積していた細砂が先駆流送され、海岸への供給土砂量はあまり減少しなかった。しかし、armoringの影響が下流におよぶにつれて貯水池の堆砂の影響が現われはじめ、昭和30年後半には海岸への土砂供給量が急激に減少し、海岸侵食が急速に進行した。そして、昭和45年ごろからは海岸侵食の速度が遅くなり、減少した土砂供給量の条件のもとで、波浪や沿岸流の作用により新たな平衡状態に近づきつつあるものと推定される。

6. あとがき 大井川下流部の河床低下と河口付近の海岸侵食の原因をマクロな土砂収支的観点から考察した結果、河床低下は砂利採取と、海岸侵食は貯水池における堆砂と下流部における河床材料の粗粒化とに関連することが推定された。なお、本研究の一部は文部省科学研究費補助金(自然災害特別研究: 研究代表者京都大学、石原藤太郎名誉教授)の援助を得たことを付記する。