

海浜過程に及ぼすダム堆砂の影響

——天竜川水系を対象として——

河田 恵昭* ・井上 雅夫**・植本 実***
丸谷 正****・石川真紀子*****

1. 緒 言

1960年代の高度経済成長期以降、我が国の河川では数多くの大規模ダムが築造されてきた。これらは、発電、灌漑、洪水防衛など大きな効果をあげており、経済の発展に果たした役割は少なくない。この反面、ダムは本来河川が有している流砂の連続性を大きく阻害するため、堆砂の進行によって貯水池機能を失うことのみにとどまらず、河川下流域への供給土砂量の減少に伴い、ダム下流部河道での河床低下や河口部海岸の侵食などの大きな要因の一つになっている。

このようなダムの悪影響は古くから指摘されているものの、海岸侵食との関わりを評価するうえで重要な、定量的かつ長期的な資料は十分に得られていない。そこで、山地部での土砂の生産から沿岸漂砂までを含めた、河川・海岸域を対象とした流砂・漂砂の連続性、すなわち土砂収支を明らかにする必要がある。近年、河川の流砂環境保全のため、スリット式の砂防ダムや、土砂吐きゲートを有する大型ダムの建設も始められており、大きな期待が寄せられている。したがって、将来このような流砂・漂砂に起因した土砂水文学上の種々の問題に対応していくには、流域全体を視野に入れることが必要であろう。

本研究では、我が国において最も土砂生産量の大きい天竜川水系を取り上げ、ダム貯水池堆砂と海岸侵食量の関係を定量的に評価・考察することにする。

2. 天竜川水系の概要

天竜川水系は降雨量の多さと急峻な地形のため、かつては「暴れ天竜」と呼ばれ洪水被害が頻発していた。これに、脆弱な地質条件が加わり、膨大な土砂が生産されている。遠州海岸はこの土砂を漂砂源として形成されたものであり、ここでは流砂環境に関わる流域の概要をとりまとめる。

(1) 流域の地形

天竜川は長野県諏訪湖を源流とし、これよりか南に流下して静岡県浜松市近くの遠州灘へと注いでいる幹川流路延長 213 km、流域面積 5,090 km²の一級河川である。(図-1)。河道は西側の中央アルプス、東側の南アルプスなど 3,000 m 級の山脈に挟まれ、両岸の切り立った細長い谷を形成するが、下流域では河床幅の広い丘陵地もしくは平地である。流域の構成は、山地が 93%、下流の平地が 7% である。本川の河床勾配は、山地で 1/200~1/600、河口部付近で 1/900 程度であり、全般に急峻である。

(2) 遠州海岸の地形

天竜川河口から広がる遠州海岸は、図-2 に示すように河口位置を頂点とする 2 つの大きな弧状海岸よりな

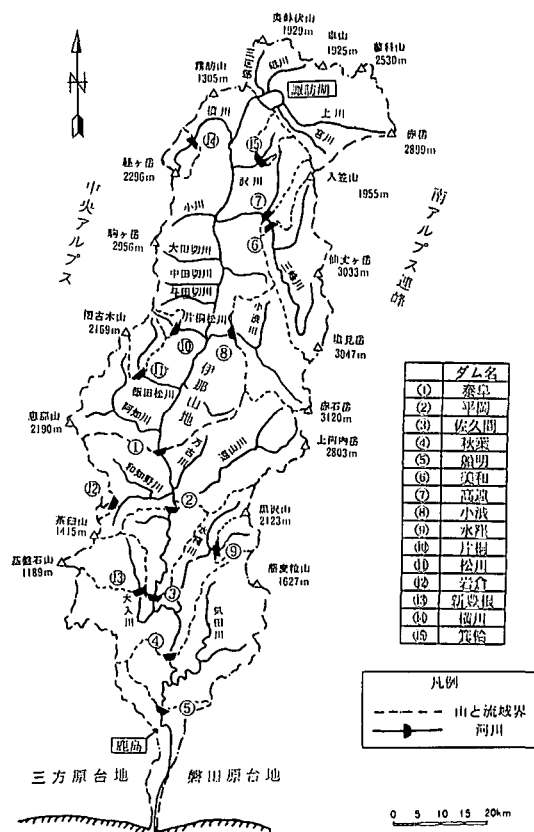


図-1 天竜川流域図

* 正会員 工博 京都大学教授 防災研究所 巨大災害研究センター

** 正会員 工博 関西大学教授 工学部土木工学科

*** 正会員 工修 京都大学大学院 工学研究科

**** 栗原工業

***** 建設省近畿地方建設局

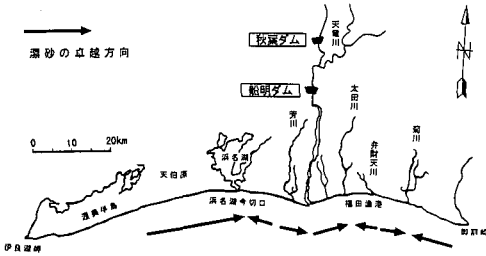


図-2 遠州海岸の地形

ている。沿岸の海底勾配は約 1/100 と比較的遠浅であり、外洋に面する砂浜海岸の特徴である沿岸砂州が 2~3 段存在している。この地域では太田川、弁財天川などの小河川があるが、天竜川の他に土砂供給源となるような大河川は見あたらない。また、渥美半島と御前崎付近の海崖から供給される土砂が加わるがその量は僅少である。したがって、天竜川から供給される膨大な土砂が洪水時によって河口部まで運搬・堆積し、それを漂砂源として徐々に海岸に運搬され現在の海浜が形成されているものと考えられる。

(3) 地 質

天竜川は、西南日本を内帯と外帯に分ける中央構造線に沿って、ほぼ南北方向に流下している。流域の地質は大きく区分して中央構造線の西側は領家帯に属する花崗岩および変成岩類、東側は中〜古生代の堆積岩からなる。

流域一帯は構造線周辺の断層群と南アルプスを形成した地殻変動などによって脆弱な状態にあり、深層風化も伴って天竜川の土砂生産を膨大なものとしていっているとされている。

(4) 降雨特性

諏訪湖地方は内陸性気候であり、年間降雨量は 1,400 mm 程度と少ないが、諏訪湖から下流の山地地域から下流にかけては 2,000~3,000 mm 程度の年間降雨量がある。標高があがるにしたがって降雨量が多くなる傾向があるが、全般的に降雨量は大きい。また、降雨は主に梅雨期から 9 月の台風期に集中している。

3. 天竜川のダム築造と堆砂

(1) ダム堆砂量の調査

天竜川水系では現在 15 のダムが建設されている。最近完成した 2 ダムを除いた堆砂状況は表-1 の通りである。ここに示した対象流域の面積は、上流に位置するダムおよび諏訪湖流域を控除したものであり、また、総堆砂量は 1994 年時点での報告されている堆砂量(もしくは満砂時点での堆砂量)に搬出された土砂の量を加えたものである。

貯水池の堆砂が進行しているものも多く、すでに全ダ

表-1 天竜川水系のダム一覧

No.	ダム名	河川名	対象流域 (km ²)	総貯水容量 (×10 ⁶ m ³)	1994 年時点での総堆砂量	満砂した年	竣工年	比堆砂量 (m ³ /km ² 年)
1	泰阜	天竜川	2,201.4	10,761	9,618	1943	1936	546.1
2	平岡	天竜川	2,871.4	42,425	39,414	1965	1952	980.5
3	佐久間	天竜川	2,323.0	326,848	108,533	未	1956	1,198.0
4	秋葉	天竜川	469.7	34,703	14,459	1976	1958	1,595.9
5	船明	天竜川	405.0	10,900	675	未	1977	92.6
6	美和	三峰川	311.1	29,952	19,588	未	1959	1,749.0
7	高遠	三峰川	66.3	2,310	860	未	1958	350.6
8	小波	小波川	288.0	58,000	17,574	未	1969	2,347.0
9	水窪	水窪川	57.6	30,000	5,670	未	1969	3,786.1
10	片桐	片桐松川	15.1	1,840	160	未	1989	1,766.0
11	松川	飯田松川	60.0	7,400	2,142	未	1975	1,785.0
12	岩倉	岩倉川	8.8	435	103	未	1937	201.8
13	新登根	大入川	136.3	53,500	1,338	未	1973	446.2

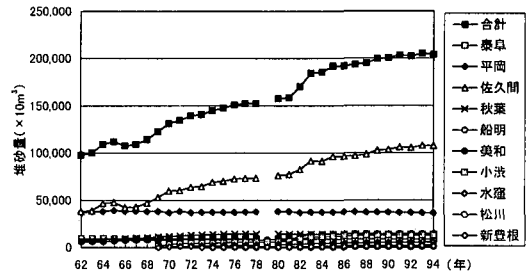


図-3 天竜川水系ダム群の堆砂量の累年変化

ムの総貯水量の約 30% に相当する約 2 億 m³ が堆砂によって失われている。本川に設けられた泰阜、平岡ダムはすでに堆砂率(堆砂量/総貯水量)が 70% を越えており、累年変化(図-3)からは、堆砂量の増加が認められないことから実質的に満砂状態にあると考えられる。1983 年にダム堆砂の急激な増加が認められるが、この年には戦後最大の被害が生じた台風 10 号が発生している。ダム堆砂は長期にわたって進行する現象であるが、堆砂量の年変動は、発生する洪水の大きさに支配されることがわかる。

なお、秋葉ダムは、クレストゲート下端まで堆砂が達しており、ゲートの解放によって堆砂がフラッシュされているためか堆砂の進行が認められないため、堆砂の増加が止まった年を、とりあえず満砂したものとして取り扱った。

(2) ダム堆砂の粒度分布

通常、海岸を構成する砂は代表粒径 0.3 mm 程度であり、粘土・シルト等の微細な土砂は見あたらない。これに対し、ダム堆砂は一般的に非常に幅広い粒度分布を示し、河床材料や砂浜海岸で確認できない粒径 0.1 mm 以

下の土砂（ウォッシュロード）を多く含むのが特徴である。このため、海岸侵食とダム堆砂との関係を定量的に評価するためには、このような粒度構成の違い考慮することが重要である。

表-2に調査が実施されているダム堆砂の粒度構成を示すが、佐久間、美和、小渋ダムでは総堆砂量の約50%がウォッシュロードで占められている。ウォッシュロードの堆積量は貯水池での滞留時間と貯水池の湛水面積に支配されるため、流域面積に比べて貯水容量の小さいダムではウォッシュロードの占める割合は小さくなる。泰阜ダムは、水上ボーリングによるサンプリングを行っておりその影響も考えられるが、ウォッシュロードは全く確認されておらず、河床材料と同様にすべて掃流砂で構成されている。

表-2 貯水池堆砂の粒度調査結果

ダム名	粒 度 特 性				
	$d \geq 20 \text{ mm}$ (%)	$20 > d \geq 2$ (%)	$2 > d \geq 0.1$ (%)	$0.1 > d \geq 0.005$ (%)	$0.005 \geq d$ (%)
美 和	14.8	14.5	25.5	32.5	13.2
小 渋	15.7	15.4	27.7	26.1	15.1
泰 阜	5.1	69.2	55.7	—	—
佐久間	3.7	3.1	41.6	40.8	10.8
秋 葉	3.0	18.4	73.0	5.6	—

(3) 洪水の規模とダム堆砂量の関係

堆砂量は発生した洪水の大きさによって変動する。このため、ダム建設以前には大規模な洪水が発生することによって、下流一度に膨大な土砂が供給されていたことになる。土砂流出におけるこのような短期的な土砂流出量を予測することも重要であるが、ダム堆砂は様々な要因に複雑に関連した現象であり、その量を正確に予測することは難しい。しかし、海岸との土砂収支を評価するうえではウォッシュロードの予測は不要であるため、次のように簡略化した取り扱いが可能となる。

山地での生産量が極めて大きい場合、砂や礫などは河道の持つ掃流力に制限されると考えられ、流量(Q)と河道幅(B)の間にレジーム則($B \propto \sqrt{Q}$)が成り立つとすれば掃流砂量は貯水池上流の河床勾配のみによって定まることとなる。粒度分布が判明しているダム堆砂量のうち0.1 mm以下を除いて算出された比堆砂量(掃流砂量)と、貯水池上流端の河床勾配の関係をプロットした結果が図-4であり、次の関係が認められる。

$q_B = \alpha s^{-0.5}$ (1)

ここに、 q_B ：ウォッシュロードを除いた掃流砂の比堆砂量、 s ：貯水池上流端付近の河床勾配、 α は定数である。

さらに、実用性を高めるため、洪水時雨量及び流域面

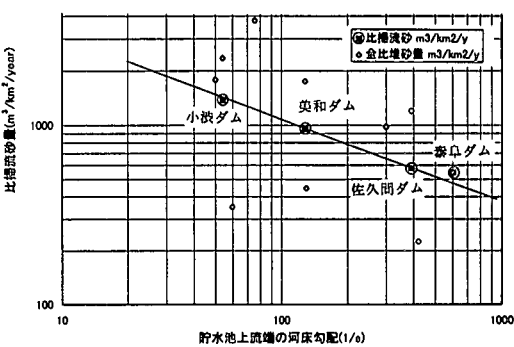


図-4 比堆砂量と河床勾配の関係

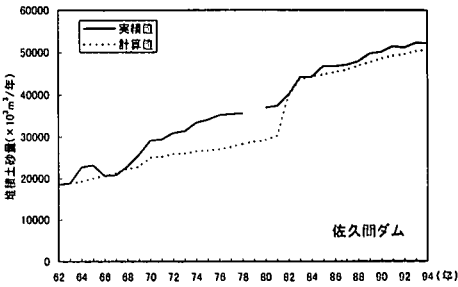


図-5 佐久間ダムでの堆砂量再現計算

積を用いた掃流砂予測式として次式を提案した。

$Q_B = \alpha R_{2d} A s^{-0.5}$ (2)

ここに、 A ：流域面積、 R_{2d} ：洪水時における2日雨量である。定数 α は、流域の地質によって異なった値を持つとともに、雨量によっても変化する。最も流出土砂量の大きな堆積岩地域（美和ダムおよび小渋ダム）ではほぼ10年確率雨量に相当する220 mm/2日を境に、土砂流出が急増し、 $600 (R_{2d} \geq 220 \text{ mm})$ 、 $50 (R_{2d} < 220 \text{ mm})$ となる。これは、流域斜面の崩壊が崩積土の飽和とともに急激に増加するためと推定される。佐久間ダムでの適用例を図-5に示すが、計算値と実績は比較的良好に一致している。

4. 遠州海岸の海浜過程

(1) 海岸侵食の状況

九津見・高秀ら(1982)によると、明治30年代までは明らかに河口を中心として汀線の前進がみられたが、天竜川からの供給土砂の減少などにより河口を中心として急激に侵食が進行したことがわかる。河口部付近東側の左岸では侵食が1965～75年にピークに達し、その後は低下傾向を示している。これに対し、河口の西側では離岸堤が設置されトンボロが形成されるとともに、一時的に汀線が回復していたが安定せず、現在では左右岸ともに侵食傾向にあることが報告されている。

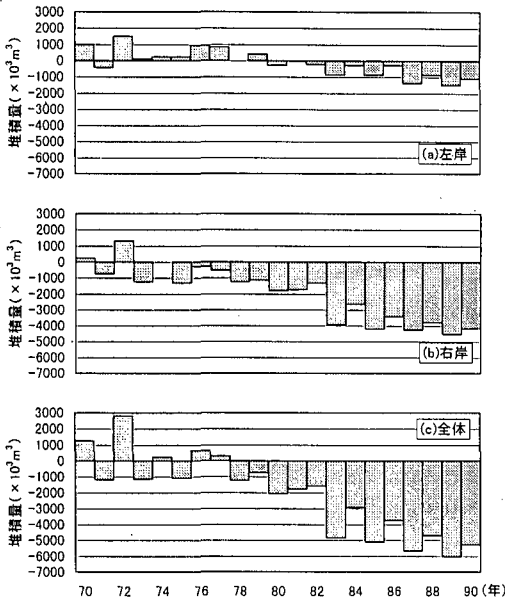


図-6 遠州海岸の侵食量の経年変化

図-6は建設省によって実施されている河口部から左右岸16 kmの範囲の深浅測量をもとに、最近までの海岸侵食量の累年変化を整理したものである。侵食傾向は現在も依然として続いており、1983年には河口から右岸側において大きな侵食が発生していることがわかる。

また、沿岸漂砂の卓越方向は服部・鈴木ら(1974)によれば、大局的には東向き(右岸から左岸方向)であることが報告されている。1983年には河口から右岸側において大きな侵食が発生し、これ以降ほとんど回復していない。一方、左岸側については右岸側ほど洪水との対応が明瞭でない。

これは10号台風による高浪の来襲と、河口域からの土砂供給の減少が原因であり、沿岸流によって侵食が急激に進行した後、あらたな土砂供給がなかったことが原因と考えられる。

(2) 河口付近の河道状況

1960年代ごろから、山地流域の最下流に位置する船明ダムより下流では河床の低下が顕著にみられるようになっている(図-7)。これはダムの堆砂に加え、河床砂利採取および護岸構造物の設置などによる河床の安定化が原因として挙げられる。図-8に砂利採取量の累年変化を示すが、1960年代の河床低下の激しさと砂利採取量の多さがよく対応している。また、ダム堆砂で見られるような大洪水(1983年)との対応が不明瞭であることを考慮すれば、河床変化は砂利採取が直接の原因あり、これに河道の安定化対策の効果が現れたものと推定される。



図-7 下流域での河床変動量の累年変化

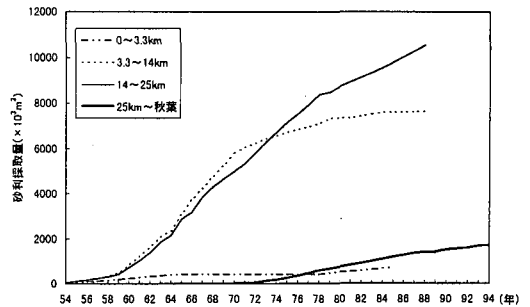


図-8 砂利採取量の累年変化

5. 河川・海岸の土砂収支の考察

以上のような侵食状況と、佐久間、美和、小渋ダムなどの大ダム群の堆砂状況をもとにして、河川・海岸での土砂収支について考察を行う。

海岸侵食は、ダム群の完成から数年遅れて顕著化している。ダム堆砂は1970年から1982年までの間しばらくは大規模な洪水が発生していないこともあり、堆砂量、海岸侵食ともに急激な進行は見られず、ダム堆砂の影響は必ずしも明瞭ではない。しかし、1983年には両者の関係は非常に明瞭である。この年以降には、下流河道の低下は認められていないため、ダム堆砂は極めて大きな影響を与えていることは明らかであろう。

大規模な台風発生時に堆砂と侵食量の急激な増加が発生している点に着目して、河川・海岸のマクロな土砂収支を定量的に評価してみることにする。

1983年の最大降雨量は美和ダムでの観測値で320 mm/2日であり、50年確率に相当する。正確には雨量分布を考慮する必要があるが、すべてのダムにほぼ等しい降雨量が発生していたと仮定して、式(2)をもとにダムで捕捉された掃流砂量を算出した。この結果が図-9である。全ダムの掃流砂堆積量は図-10に示すように20,230千 m^3 である。

一方、この年の海岸侵食量は、前出の図-6より約

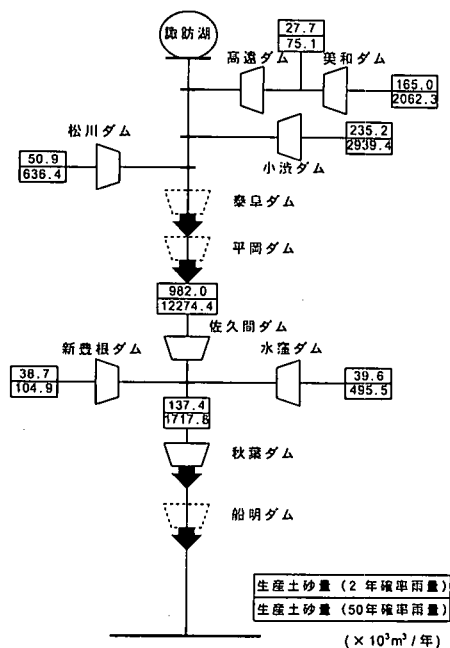


図-9 ダム群による推定堆砂量 (掃流砂対象)

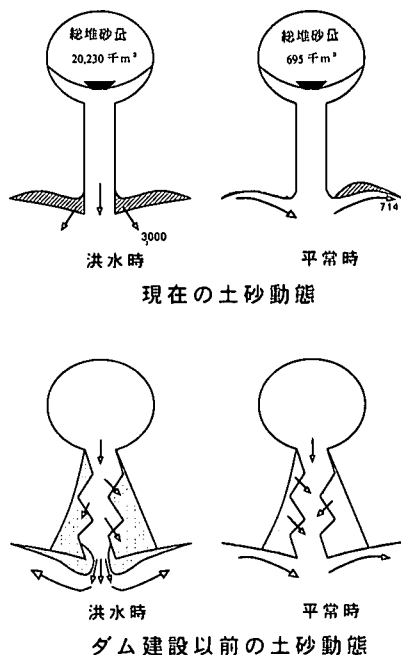


図-10 ダムの建設による土砂動態の変化

3,000 千 m^3 と推定され、ダムによって捕捉された掃流砂量の 15% に相当する。この比率は、海岸の粒度構成を 0.1 mm~1 mm 程度と考えた場合、ダム堆砂の粒度分布に占める割合とほぼ一致する。

1983 年の侵食が、直接ダム堆砂による影響とは断定できないが、ダム建設以前では、少なくとも従前の状況に回復するために必要な土砂量が河川に流出していた。このことから、ダム堆砂と海岸侵食は土砂収支において極めて密接に関連していることが推定される。すなわち、ダムの建設以前には、洪水によって河道、河口まで流送された大量の土砂が、沿岸漂砂として徐々に海岸へ輸送されることによって図-10 のようなマクロな平衡状態が保たれていたと考えられる。ダム群の建設によってこの過程が失われ、侵食が一方的に進むことが明らかになった。

6. 結 語

以上のように、天竜川水系ではダム堆砂による下流への供給土砂量の減少と海岸侵食量との間には、それぞれの粒度分布と河道の流送機構を考慮すること明瞭な関係があることを明らかにした。

下流への土砂供給は、少なくとも 10 年に一度発生する

規模以上の洪水によって引き起こされ、短時間に大量に流出した土砂を漂砂源として遠州海岸は平衡に保たれていたと考えられる。したがって、河川・海岸の土砂収支を評価するには、大規模な洪水による短時間でのダム堆砂の予測するとともに、数 10 年単位の長期的な期間での侵食傾向を同時に検討していく必要がある。

また、ダム貯水池の堆砂は、微細粒径の土砂から礫までを含み、粒径 0.1 mm 以下のウォッシュロードは貯水池容量の大きな地点では 50% を占めている。砂浜海岸を構成する粒径を 0.1~1 mm 程度と考えれば、堆砂全体の 8% 程度 (掃流砂の 15%) と少ない。この土砂を効率よく洪水とともに排出できるならば、海岸侵食に対して大きな効果があるものと予想される。

参 考 文 献

- 九津見生哲・高秀秀信・有川成正 (1982): 天竜川河口部海岸の海浜変形について、土木学会第 37 回年次学術講演会講演概要集, pp. 755-756.
- 服部昌太郎・鈴木隆介・佐藤敏夫 (1974): 遠州海岸中央部の海浜変形と漂砂, 第 21 回海岸工学講演会論文集, pp. 127-133.
- 建設省中部地方建設局 (1983): 水系における土砂動態と流出土砂の管理に関する検討 (改訂版), 275 p.
- 建設省土木研究所 (1993): 河川流域における土砂管理に関する研究報告書, 71 p.