

河道の変動と災害

—主として最近における河床変動の実態について—

村 本 嘉 雄

1. ま え が き

近年、わが国の河川下流部は河床低下の方向にあるものが多く、とくに昭和35年以降その傾向が増大している。その主な原因としては、昭和20～30年代の洪水・土砂災害の頻発に対処して河道改修および砂防工事が大がかりに進められたこと、昭和25年以降に治水、利水を目的とした大ダムの建設が急激に増大したこと、昭和35年以降の高度経済の成長に伴う砂利採取量の増大などが挙げられる。こうした原因の多くは今日でも継続しているが、河床低下の進行は洪水疎通能力の増大という点からは好ましい傾向であること、河川周辺的环境変化に比して河床の低下速度が緩慢であること、河床上昇に比して破堤氾らんといった甚大な災害の危険性が少ないなどの点から実態の究明に重点がおかれていない場合が多い。しかし、昭和40年代に入って洪水時における河川構造物の被害は増大しており、基礎の根入れ不足や機能障害のために修復を必要とする橋梁や取水施設の数も増加している。また、こうした河道災害に加えて、堤内地の伏流水および地下水の取水量の減少、塩水の遡上、地盤沈下など地下水位の低下に伴う災害の一要因をなしていると考えられる。

このように河床低下の進行とそれに伴う災害は、その影響範囲が広く、かつ河床上昇に比して防止軽減対策が困難なだけに、各河川について河床変動の実態とその要因を分析し、流域全体の土砂収支の観点から根本的な対策を立てることが緊急の課題と考えられる。こうした問題に関連して、昭和47年度より災害科学特別研究の一課題として「土砂の流送・運搬に伴う自然環境の変化に関する研究」(研究代表者：石原藤次郎)が採択され、山地、河道および海岸における土砂の動態と地形変動の実態の究明とそれらの予測を目的として3年計画で研究が進められている。著者は、主として河道部における変動の研究の一部を分担して、全国的視野からの河床変動の実態と要因の分析ならびに庄川および黒部川における河床変動の検討を行なっている。

本文では、全国主要河川(一級河川)の下流部における河床変動の最近の動向とそれに関係する若干の要因および河床低下に伴う障害の実態について概括的に述べる。また、特定の河川として庄川における河床変動の検討結果について述べる。なお、ここで用いた資料は、主に、昨年度、建設省および北海道開発局に依頼して収集したものであって、調査に御協力頂いた関係各位に謝意を表する。

2. 全国主要河川の河床変動とその要因

まず、長期的な河床変動を検討するために淀川および石狩川について昭和45年を基準として年平均低水位 H の経年変化を示すとそれぞれ Fig. 1 および Fig. 2 のようになる。年平均低水位には、降雨条件および河道の局所的な変動が関係するので、河床変動の凡その傾向しか把握できないが、最近における顕著な河床低下の傾向がわかる。すなわち、淀川については、大正10年以前はほぼ平衡状態、大正10年～昭和15年は低下傾向、昭和15年～25年は平衡状態、昭和35年以降は再び低下傾向を示しており、枚方地点(26.0k)で大正10年以前に比べて現在約2.5mの低下量を示している。河床低下の原因は、大正10年～昭和15年は低水路の掘削整備、昭和35年以降は主として砂利採取によっており、大正10年前と昭和15年～25年はこうした人為的な影響の少なかった年に符合している。なお、淀川では、昭和28年、34年、36年、40年の各年に枚方地点で $7,000\text{m}^3/\text{s}$ 以上の大出水をみているが、それによる影響は下流部の河床変動に認められない。一方、

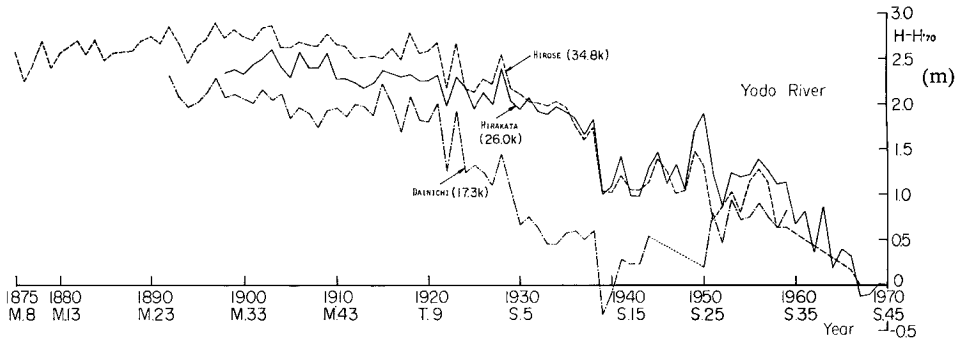


Fig. 1 Annual changes of mean low water level in Yodo River.

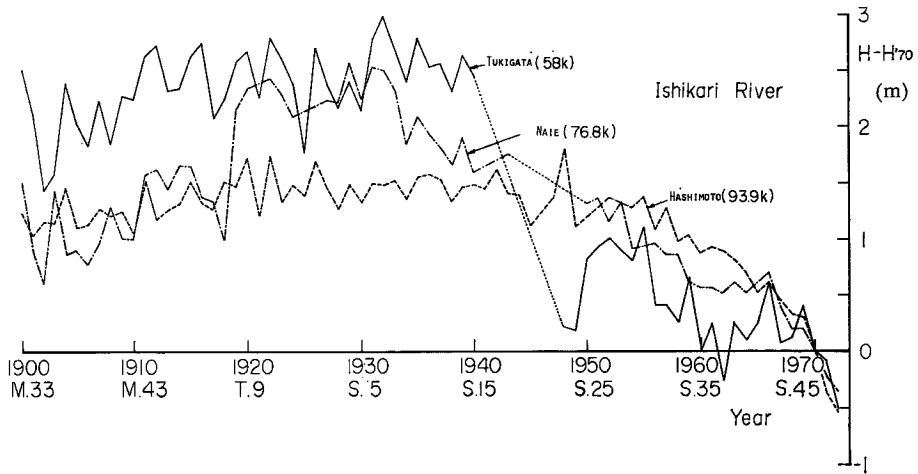


Fig. 2 Annual changes of mean low water level in Ishikari River.

石狩川においては、明治 31 年および 37 年に大洪水があって、それまで未改修であった上流部の築堤と護岸工事が行なわれており、大正 10 年頃までは河床上昇の傾向がみられる。大正 7 年から捷水路工事が下流から順次進められており、図にみられる昭和 5 年以降の河床低下の傾向はこの河道改修の影響によると考えられる。淀川と同様に昭和 20 年代はほぼ平衡状態にあるが、最近では急激な河床低下の傾向を示している。

このように淀川および石狩川においては、河道改修と砂利採取によって急激な河床低下を蒙らしており、全国的視野から河床変動の動向を把握する際にも、個々の河川について長期にわたる河床変動とその要因に関する資料を検討する必要がある。しかし、一級河川についても河床低下が急激になった昭和 35 年以前の資料が完備しているものが少く、しかも河床変動の要因を分析する資料は不確実な場合が多い。したがって、全国的な視野で河床変動の実態把握は難かしいが、凡その傾向を知るためにこれまで収集した 60 河川の平均河床高、最深部河床高および年平均低水位の資料にもとづいて、下流部（直轄区間）における河床高の変化速度 W を示すと Fig. 3 のようになる。資料期間は昭和 35~47 年にわたっているが、昭和 40 年以降のものが 42 河川であって、4~6 年間の年平均の変化速度を求めている。また、平均河床高によるもの 44 河川、最深河床高によるもの 7 河川、年平均低水位によるもの 9 河川であって、変化速度の値の精度は一率でないが、 $\pm 1 \text{ cm/year}$ を基準としてグループ分けすると図中の表のようになる。河床低下速度 1 cm/year 以上のものが 68% を占めており、河床上昇の傾向を示すものは 10% となっている。また、河床変動の地域性は明ら

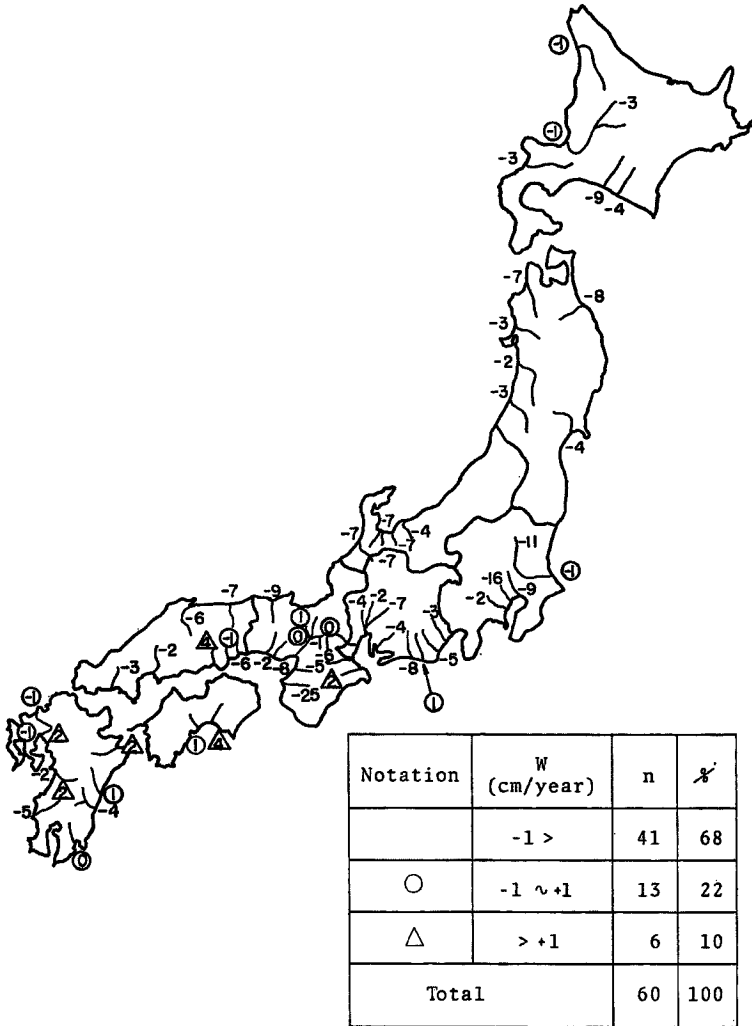


Fig. 3 Average velocity of river bed variation (W) in downstream reach of several 1st-class rivers in Japan (1960~1972).

かでないが、北海道、東北地方にも低下傾向を示すものが多く、かつて扇状地河川として河床上昇が問題となっていた北陸地方の河川もすべて低下傾向を示しているのが注目される。Fig. 3 に示した河川のうち、平均河床高の年次変化のわかるものについてその変化速度 W の推移を示すと Table 1 のようになる。Table 1 に示した期間では、すでに低下傾向をもつ河川が多く、多摩川を除いて昭和 35年~40年において低下速度が最大となっている。また、最近 5 年間では若干低下傾向が緩和しており、仁淀川および本庄川では上昇傾向に移行している。

つぎに、河床変動の要因に関係する若干の資料について検討する。前述のように最近の河床変動には砂利採取の影響が大きいと考えられるが、砂利採取許可量の統計^{1), 2)}しか明らかになっていなく、実際の採取量は許可量の 2~3 倍といわれている。しかし、その倍数は不確定なので、砂利採取許可量 V_m の経年度化を地方別に示すと Fig. 4 のようである。昭和 40 年以降の砂利採取量は北陸地方を除いて横ばいあるい

Table 1 Average velocity of variation of mean river bed level (W_z) in downstream reach of several 1st-class rivers in Japan.

Name of River (Reach: km)	Year (Shōwa)	w_z (cm/year)	Name of River (Reach: km)	Year (Shōwa)	W_z (cm/year)
Tama R. (0~40.0)	22~26	-8.7	Jōganji R. (0~18.0)	24~29	-5.2
	30~35	-9.0		29~34	-5.0
	35~40	-1.0		34~39	-7.0
	40~45	-15.8		39~44	-7.0
Oyabe R. (0~34.0)	32~37	-0.8	Yamato R. (0~37.0)	7~28	-2.1
	37~42	-9.0		28~35	-5.0
	42~47	-7.4		35~41	-4.7
Shō R. (0~24.2)	10~31	-2.2	Ibo R. (-0.4~40.8)	21~38	-3.1
	31~36	-9.3		38~42	-8.0
	36~41	-8.4		42~46	-2.3
	41~46	-6.8	Niiyodo R. (0~12.4)	16~30	-6.2
Kurobe R. (0~13.0)	10~31	-0.1		30~34	-5.5
	31~36	+1.1		35~40	-6.9
	36~41	-4.4	40~45	+1.3	
	41~46	-4.3	Honjō R. (0~17.0)	29~36	-4.2
Tedori R. (0~16.0)	4~9	+3.0		36~41	-2.5
	9~15	-3.3		41~46	+6.1
	15~21	-8.3	Ōyodo R. (0~78.0)	32~36	-5.9
	21~25	-10.3		36~41	-12.0
	25~30	-2.2		41~46	-3.5
	30~35	-4.4	Sendai R. (0~20.0)	6~23	+0.7
	35~40	-16.2		23~35	-0.9
40~45	-7.2	35~40		-6.3	
			40~46	-5.2	

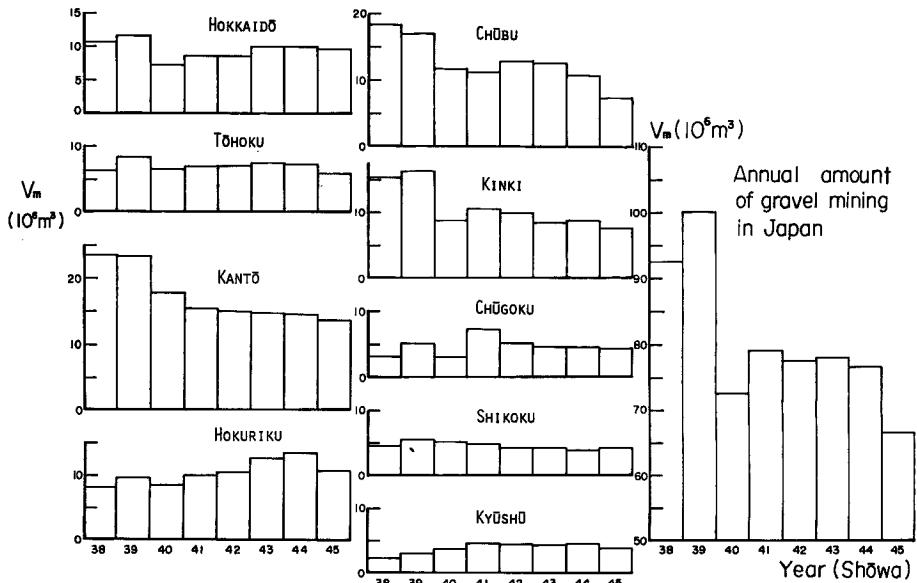


Fig. 4 Annual changes of amount of gravel mining in river bed.

は減少傾向を示しており、全国総計としては昭和38年～39年の約1億 m³ から昭和40年代の7000万m³ へと急激に減少している。この傾向は Table 1 の河床低下速度の変化と対応しているが、各河川別の統計で検討すると採取量が不確定なために必ずしも対応しない。Table 2 および Fig. 5 は昭和40年～44年の砂利採取量 V_m の年平均値から地域分布を求めたものであって、都道府県別に単位面積当たりの採取量 v_m (比採取量: m³/km²・year) を示している。全国平均は 193 m³/km²・year となり、それ以下の地域を白地、生産土砂量の全国平均の推定値 400 m³/km²・year 以上のものを黒地で示してある。関東から近畿にか

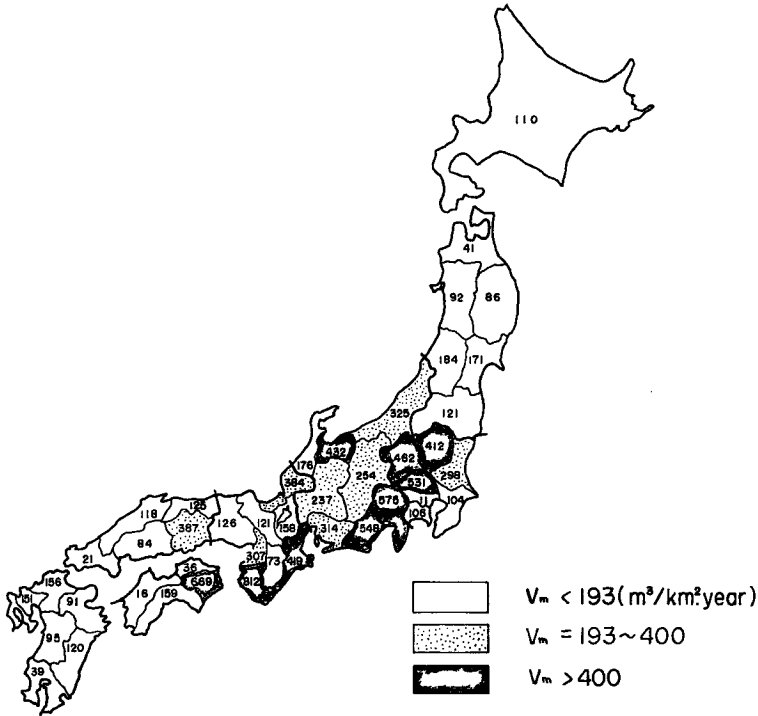


Fig. 5 Map of specific volume [v_m] of gravel mining in each prefecture.

Table 2 Total volume (V_m) and specific volume (v_m) of gravel mining of river bed in each district.

District	V_m (10 ⁴ m ³ /year)	v_m (m ³ /km ² ·year)
Hokkaidō	867.1	110
Tōhoku	673.5	101
Kantō	1387.8	380
Chūbu	965.0	261
Hokuriku	992.2	317
Kinki	892.7	240
Chūgoku	563.6	178
Shikoku	405.8	229
Kyūshū	369.5	104
Total & Mean	7117.2	193

Table 3 Catchment area of most downstream reservoirs for electric power generation in each district.

District	Number of Dams	Ad (km ²)
Hokkaido	11	6855.7
Tōhoku	11	14412.6
Kantō	14	5860.8
Hokuriku	9	12740.8
Tokai	5	11037.6
Kinki	10	29,043
Chūgoku	21	7423.7
Shikoku	8	2152.8
Kyūshū	10	6947.5
Total	99	70335.8

けて比採取量が大きい値を示しており、特に関東では平均 $380 \text{ m}^3/\text{km}^2 \cdot \text{year}$ で北海道、東北、九州の 4 倍に近い値となっている。

一方、ダムによる流出土砂の扞止に関連して、発電用貯水池の調査資料³⁾ から各河川の最下流端にある貯水池の集水面積 A_d を地域別に集計すると **Table 3** のようになる。発電用貯水池に限っても全国で約 7 万 km^2 の集水域を占めており、山地面積に換算すると全国土の約 1/3 の流出土砂が遮断される状態にあると考えられる。また、全国の 15m 以上の高堰堤の貯水容量および推砂量の検討結果⁴⁾ によると、総貯水容量は昭和 25 年頃から急増し、昭和 45 年現在で総貯水容量 120 億 m^3 、堆砂量 10 億 m^3 と推定されている。さらに、最近 15 年間に於ける年平均堆砂量は約 7000 万 m^3 とされており、上述の砂利採取量と合わせると土砂生産量に比敵する量となっている。以上のように河床変動を支配する要因について断片的な資料しかなく、各河川流域での巨視的な対応づけも難かしいが、砂利採取とダムに限っても河床変動に対する影響は大きく、河床低下の進行は現状では継続すると考えられる。

こうした河床低下に伴う災害として、すでに述べたような各種の河道災害および堤内地災害の形態があるが、災害の実態は河床低下以外の要因も加わっている場合が多い。したがって、災害統計から河床低下に関係するものだけを抽出することは難しいが、河川構造物の被害状況の一例として、国鉄関係の橋脚の変状破壊および根入れ不足に基因する取替え橋梁数の推移⁵⁾ を 5 年単位で括めると **Table 4** のようである。取替え橋梁の多くは明治～昭和初期に設置されたものであって、構造上の理由から取替えられたものも含まれていると思われるが、昭和 30 年後半から急激にその数が増加しており、最近では 1 年に 10～15 橋梁に及んでいる。また、昭和 30 年までは、大洪水による変状破壊に基因する取替え橋梁が 9 割近くを占めているが、昭和 30 年の後半から橋脚の根入れ不足に基因する取替え橋梁の比率が次第に高くなっており、変状破壊の発生件数も増加している。こうした傾向は前述の河床低下の年次変化を反映しているように思われる。

Table 4 Annual changes of number of bridge repaired due to failure and defect of piers in Japan State Railways.

Year of Repair Year of Construction		S. 17~21		S. 22~26		S. 27~31		S. 32~36		S. 37~41		S. 42~46	
		n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2	n_1	n_2
M.	15~20									1			
	21~25						2	1	2	1			8
	26~30					10	2			1	2	3	
	31~35							1	2	3	3	6	
	36~40			1				1		1	1	5	
T.	41~45									10			7
	1~5			1		1			2				3
	6~10	1				2		2		4	3	1	
S.	11~15	1				3			2	2	2	5	
	2~6	2		2		1	1	1		2	2	2	
	7~11				1	1				1	4	1	
	12~16					3	1			2		1	
	17~21							1		1			
	22~26												1
	27~31												3
32~36									2				
Total		4	0	4	1	21	2	6	5	13	26	18	45

n_1 : Number of bridges repaired due to failure with flood disaster

n_2 : Number of bridges repaired due to insufficiency of ground depth of piers

3. 庄川における河床変動の実態

庄川の上流域には Fig. 6 に示すように昭和5年より本川筋にA～Hの8ヶ、支川にI, Jの2ヶのダムがほぼ下流より順次建設されており、昭和45年現在でダム堆砂量 V_d の総計 5312 万 m^3 、堆砂率 35.5% となっている。庄川下流部 0～24.2k 区間の河床変動には、合口ダムと小牧ダムの堆砂状態が問題になるが合口ダムの堆砂量は昭和35年に最大17万 m^3 (堆砂率 32%) を示し、昭和45年では1万 m^3 (2%) である。また小牧ダムの堆砂率は昭和5～40年の間に21%まで増加し、それ以降は減少傾向を示しており、下流部への流出土砂はダム建設以来、極く微細砂を除いてほぼ遮断されていると考えられる。一方、下流部における昭和10年～46年の河床低下量 V_r は 1643 万 m^3 であって、この値は計画高水位に対する昭和10年の河道容積の46%に相当している。また、砂利採取量 V_m は主に許可量から計算しているため過少に見積られていると思われるが、昭和25年～46年の総量は 764 万 m^3 であって、河床低下量の約 1/2 の値になっている。

昭和38年～45年における年平均の変化量を求めると、ダム堆砂量 106万 m^3 /year, 砂利採取量 33万 m^3 /year, 河床低下量 100万 m^3 /year であって、24.2 km 間の平均的な河床低下速度は 10.3 cm/year となる。

Fig. 7 は下流全区間の河床変動量 ΔV_r および推定変動量 $\Delta V_r'$ (河床変動量－砂利採取量) の年次変化

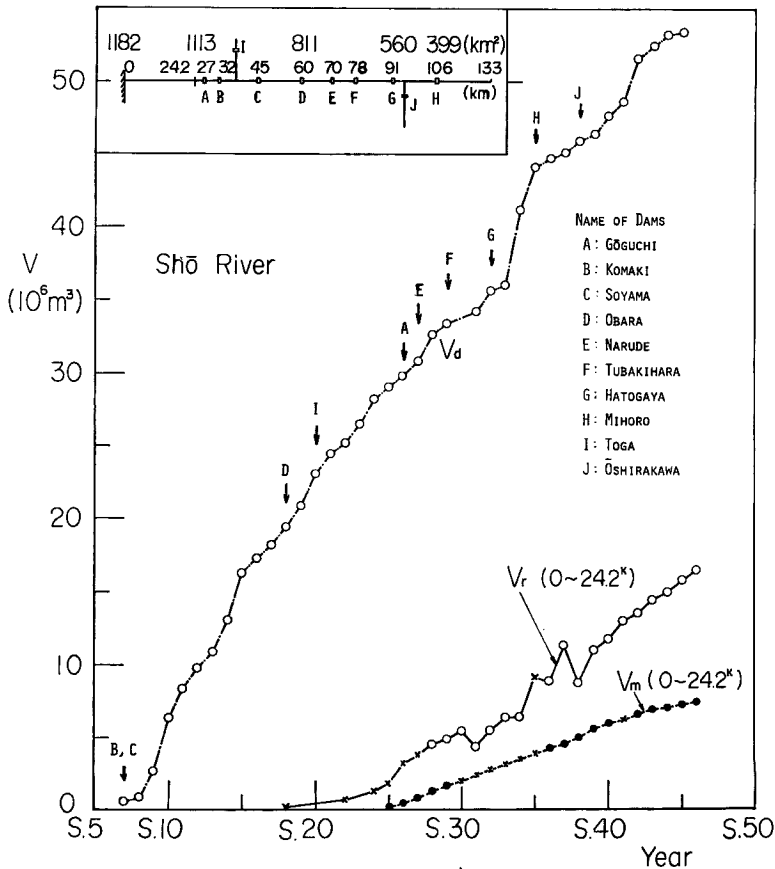


Fig. 6 Annual accumulation curves of volume of river bed degradation (V_r), amount of sediment deposition at dams (V_d) and amount of gravel mining (V_m) in Shō River.

を表わしたもので、年最大流量 Q_{\max} も示してある。昭和 41 年～46 年の推定変動量は $\Delta V'_T = 28 \sim 74$ 万 m^3/year であって、昭和 24 年～27 年と同程度の河床低下傾向になっているが、年最大流量と河床低下量の相関は明確でない。さらに、下流部における流送土砂量の縦断変化を知るために 2, 6, 8, 13, 6, 22 km の 4 地点について粒径別の掃流砂量計算を行なった。Fig. 8 は、昭和 34 年～41 年の年平均総流送土砂量 \bar{V}_B の縦断分布を表わしたものであって、下流区間 (0～4 km) の粒径範囲に注目して、粒径 $d_i < 20$ mm と $d_i > 20$ mm の流送土砂量と全流送土砂量の縦断変化を示してある。 $d_i > 20$ mm の土砂は中流部に堆積し、 $d_i < 20$ mm の部分が河口から流出することになる。その量は約 4 万 m^3/year であって、昭和 10 年～22 年の推定低下量 (5～7 万 m^3/year) とほぼ同程度であるが、最近の低下量より 1 オーダー小さい値となる。また、昭和 48 年 9 月に行なった河床表層材料の調査結果から、6～22 km 間の砂礫の移動限界流量を求めると、1040～2150 m^3/s となり、22 km 地点で 95% 粒径の砂礫の移動限界は 3650 m^3/s となった。Fig. 7 に示したように最近の出水規模はこれ以下であって、河床変動はほとんど生じないことになる。流送土砂量の推算結果では、

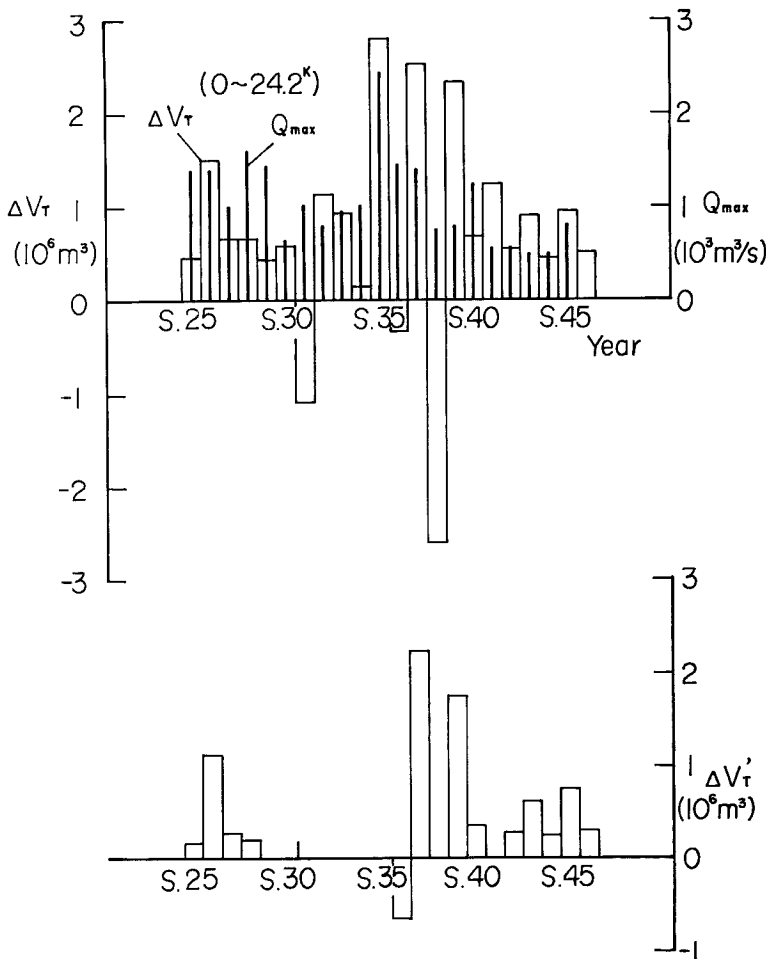


Fig. 7 Annual changes of volume of river bed variation (ΔV_T), maximum discharge (Q_{\max}) and net volume of river bed variation without gravel mining ($\Delta V'_T$) in Shō River.

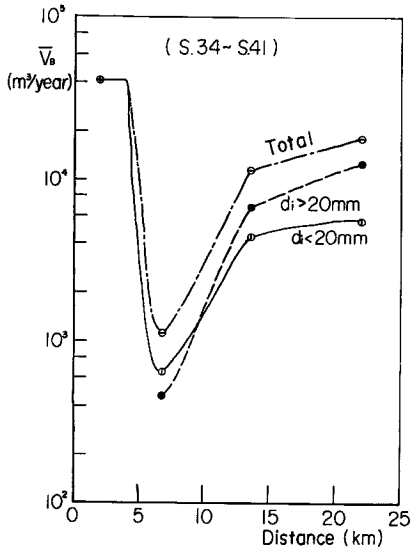


Fig. 8 Annual mean total volume (\bar{V}_B) of sediment transportation calculated in downstream reach of Shō River.

粒径の横断変化、洪水時における粒径および断面形の変化などを無視しているため、計算法の前提にも問題があるが、実測値との差は主に砂利採取量の不確定さによるものと考えられる。

つぎに、平均河床高の経年差の縦断変化について検討してみる。Fig. 9 の上図は、昭和10年を基準として昭和28年および46年における平均河床高の変化量 $\Delta\bar{Z}$ を示しており、下図は、昭和41年~46年における河道区間別の砂利採取量 ΔV_m と河床変動量 ΔV_r との比較を行なったものである。昭和10年~28年における $\Delta\bar{Z}$ は、上流部からの流入土砂が遮断された場合に生ずる典型的な変化を示しており、中流の遷緩部ではまだ堆積傾向がみられる。昭和28年~40年では、上流区間の低下は緩和し、中流および下流区間で急激に低下してほぼ一様な低下状態を示している。昭和10年~46年の低下量は、全長平均で1.7 m、最大3.2 mであって、最深部では5.6 mにも及んでいる。このように河床低下域が上流から下流へ伝播し、平行な低下状態に至る過程は自然状態でも現われる傾向であるが、庄川の場合は、粒度構成の経年変化は顕著でなく Fig. 9 の下図にみるように砂利採取量の多い区間で河床低下量が大きく現われており、人為的な掘削の影響が支配的と考えられる。

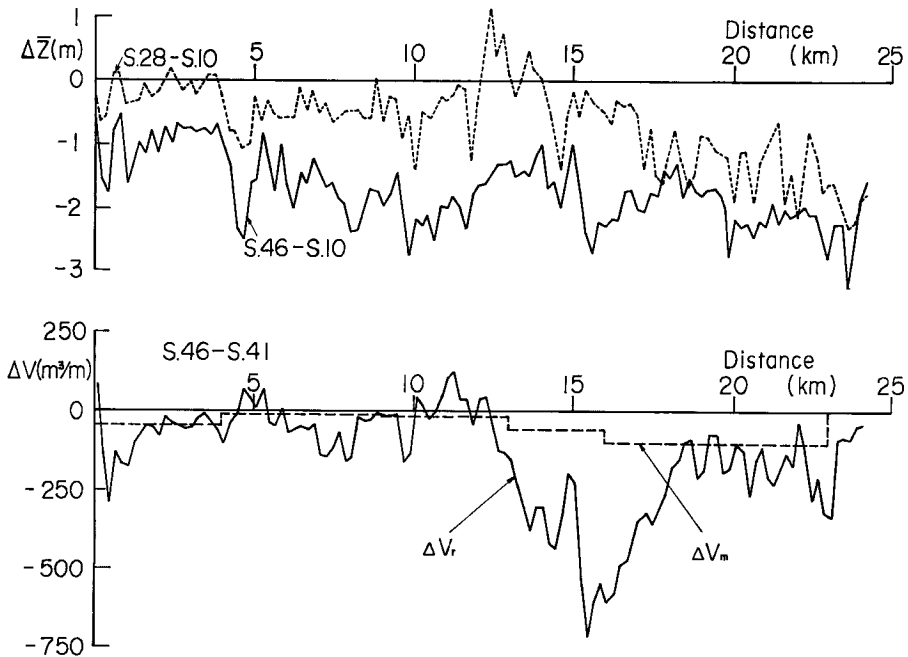


Fig. 9 Changes of mean river bed level ($\Delta\bar{Z}$), and comparison of volume of river bed variation (ΔV_r) with that of gravel mining (ΔV_m) along stream of Shō River.

以上のように庄川においては、ダムによる土砂の扞止と砂利採取によって河床低下の傾向が持続しており、護岸、水制の根固の基礎が平均河床高と最深河床高の中間に位置するものが増えてきている。また、砂州の掘削によって洪水時における流路の位置も変化しているのも、こうした治水構造物の機能と安全性の低下が問題となっている。さらに、庄川の扇状地の各都市では、上水道の水源をほとんど伏流水および地下水に依存しているが、近年、地下水位の低下が顕著であって、例えば、柳島（高岡市）の各井戸の自然水位は昭和39年～41年の間に0.9～2.5mの低下を示している⁶⁾。これは、もちろん揚水量の増加、河川水位の変化にも関係しているので河床変動と直接関係づけることはできないが、河床低下も大きな要因をなしていると考えられる。

4. む す び

以上のようにわが国の河川の下流部は、かつては河床上昇とそれによる越流破堤という災害形態が問題であったが、今日では、とくに大河川において、そのような洪水災害は減少し、それに代って河床低下に伴う多種多様な災害が生じている。もしも、河川に対する人為的作用が現状のまま進むとすれば、こうした傾向は今後も継続し、さらに中、小河川にも波及するものと思われるが、河床低下の回復は困難だけに現時点において河床変動を適確に予測し、根本的な対策を立てることが重要な問題と考えられる。

このような平均的な河床変動の進行については、土砂水理学的な方法によってある程度の予測ができる段階にあって、これまで数多くの河川を対象として河床変動解析にもとづく河道設計が行なわれており、また、流砂量および河床変動の予測精度を向上させるための基礎研究も着々と進められている。例えば、最近においては混合砂礫の掃流砂量および分級作用を考慮した河床変動に関して多くの研究が行なわれ、河床低下で問題となる粗粒化現象と河床変動の進行について実用的な計算法が提案されている。また、移動河床の基本問題である河床形態、流れの抵抗および流砂の三者の相互関係について広はんな研究が行なわれ、数多くの知見が得られている。さらに、側方侵食を伴う河床変動についても一連の研究が行なわれ、河口部における洪水時の拡幅現象、流路にそった河床変動などを解析するための基礎ができてきた。

しかし、これらの研究は、主として実験水路における単純な条件下の現象を対象としており、実際河川における適用性はほとんど明らかになっていない。これは、従来の河床変動資料において、砂利採取のように不確定な人為的作用の影響が大きく、また、出水時における河床変動と流砂量、とくに掃流量の実測が難しいことに基因している。河床変動の予測法の確立には、もちろん、実験による検証も重要であるが、河床変動解析の方法論がある程度定まってきた現段階においては、河川における流砂観測手法の開発と観測の恒常化に重点をおき、正確な実証資料にもとづく研究を進める必要がある。

一方、河床変動を制御する対策面の研究は、これまで河川構造物に関して行なわれているが、流域の土砂収支の観点からの研究は少ない。今後、全流域に及ぶ土砂の動態と地形変動に関する研究を推進するとともに自然地形および人工貯水池によって堆積する土砂の安全な流送・運搬法に関する研究も進めていく必要がある。

参 考 文 献

- 1) 建設省河川局治水課：河川生産物調査報告書，昭41～昭. 45.
- 2) 建設省河川局計画課：河川砂利採取実態調査資料，昭. 45.
- 3) 電力中央研究所技術第二研究所：発電用貯水池土砂堆積状況に関する調査報告書，調査報告，72019，昭. 48.
- 4) 石原藤次郎・芦田和男：土砂の流出，流送とそれに伴う自然環境の変化，第9回災害科学総合シンポジウム論文集，昭. 47，pp. 7～10.
- 5) 森重龍馬：国鉄取替え橋梁の分布地図，土木学会関西支部橋梁下部構造診断委員会資料，昭. 48.
- 6) 建設省富山工事事務所：庄川河道計画調査報告書，昭. 42.

RIVER DISASTERS DUE TO RIVER CHANNEL PROCESS
—ON RECENT TRENDS OF RIVER BED
VARIATION IN JAPAN—

by *Yoshio* MURAMOTO

Synopsis

This paper describes the recent trends of the river bed variation at downstream reaches of the 1st class rivers in Japan and the several effects of man's activities on the bed variation. It is pointed out that the trends of the degradation of river bed have been increased since 1960 and going on in recent year, and the river disasters due to the bed degradation are a serious problem in Japan. As an example of the trends of the river, the annual changes of river bed variation and the amounts of the sedimentation at dams and gravel mining in Shō River are discussed in detail.