河床形態と局所洗掘について
――― 横断方向の河床高分布に着目して ―――

On river morphology and local scouring
――― from the viewpoint of lateral bed profiles ―――

宇都宮大学工学部　正員　須賀堯三
建設省北陸地方建設局　土屋　進
建設省土木研究所　正員　浅野富夫

1. はじめに

日本の大部分の大・中河川では，近年，とくに昭和40年代以降，かつてなかったほど河道が大幅かつ急激に変化し，現在なおその変化が継続している場合が多く，その中でもとくに河床低下が著しい[1),2)]。このような河床低下の要因としては，治水安全度の向上を目的とした河積確保のための河床掘削と，治水・利水効果を図るためのダム建設，あるいは土砂災害の防止を目指した砂防工事による流送土砂の質的・量的変化等が考えられる。すなわち，河川に対する人間の働きかけにより，河川の河相そのものが変化し，その結果，河川の河床低下現象，とくに局所洗掘は今まで見られたものとは質的にも異なる特性をもつようになってきた。このような現象は，日本の河川において近年とくに顕著にみられる現象であり，新しい課題としてとらえなければならない[3)]。

このような状況に鑑み，本論文では，河相のうちとくに河床形態に着目し，河床形態により特徴づけられる河道の横断面形状と局所洗掘現象との係わりについて検討してみよう。なお，本検討においては，局所洗掘現象を局所洗掘深で代表させ，これを当該断面の平均河床高と最深河床高との差で与えている。一方，平均河床高は平均すべき河床高の測定範囲により異なるため，ここでは当該地点における平均年最大流量流下時の水面幅を，河床高の平均値算定範囲としている。

2. 河床形態と河道の横断面形状

わが国では，近年の河相変化に伴い，河床形態は一般に網状・うろこ状河道から多列河道へ，そして多列河道から複列・単列河道へと変化する傾向が強い。

このような変化過程の一例として，矢作川中流部における河床形態の変化を例示してみよう[3)]。図－1にみられるように，昭和23年頃の矢作川は網状河道で自然的な河相を呈していたが，昭和40年代より複列河道へ，さらには単列河道へと変化している。このような急激な変化をもたらした原因としては，堰撤去に伴う上・下流の砂州の移動，上流のダム・砂防による供給土砂量の減少，河床掘削による砂州の消滅等が考えられる。とくに，17.6 kmの堰撤去に伴う砂州の変化は昭和43年から49年にかけて顕著であり，堰上・下流に存在していた網状河道が単列河道へと変化している。また，河床掘削による変化例としては，19km付近において昭和49年から50年にかけて生じたみお筋の移動が指摘される。

一方，図－2は，矢作川の河道横断面形状の変化を，図－1に示された区間内の18.2 km及び20.2 kmについて例示したものである。18.2 km断面については昭和45年まで，20.2 km断面については昭和50年頃までのいわゆる網状河道を呈していたとみなされる期間については，いずれにおいても河床変動は低水路内で一様に発生しているが，それ以降においては低水路内の一部のみの河床が低下する傾向をみせており，河道の単列化と時期を同じくしている。したがって，河床形態の相違を河道の横断面形状の相違と関連づけて論ずる可能性が示唆される。

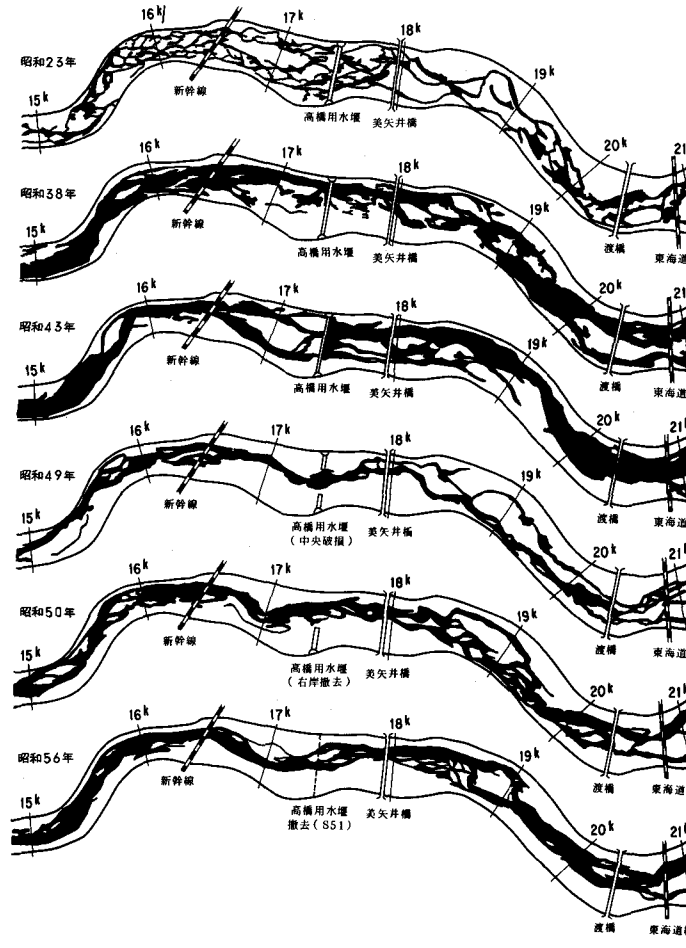
つぎに，那賀川下流部の例を示してみよう[2),4),5)]。図－3は，昭和22年以降の河道状況を示したものであって，とくに3 km～4 km及び7 km～9 kmにおいて複列の様相を呈していた河道が，以後単列へと変化してい

った過程がみられる。これは，戦後における山地の荒廃により流出土砂量が増加し，その結果，砂礫堆の移動が活発となり，那賀川下流部に存在していた斜堰が破壊されたことによるものであろう。

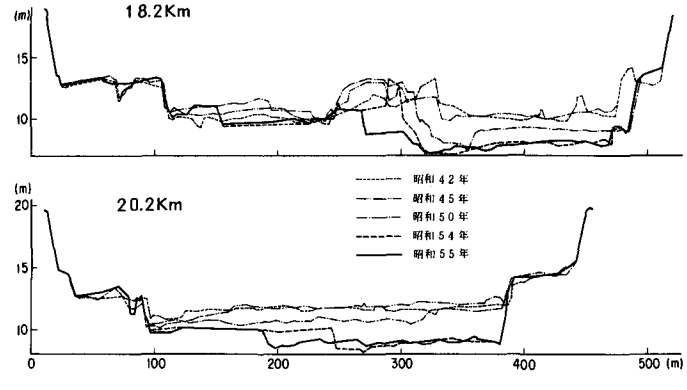
図－３に示された河床形態の変化を，矢作川の場合と同様に，河道の横断面形状の変化と対比させてみよう。図－４は，8.8㎞断面の経年変化を示したものであって，昭和22年当時低水水面幅は川幅のほぼ60％を占め，この部分の河床高もほぼ一様で，局所洗掘深もそれほど大きくなかった。しかし，年代の経過とともに，より狭い範囲で河床が低下するようになり，局所洗掘深が増大してきた。

一方，図－３では，昭和46年以降の河道の単列化はそれほど明確でない。これに対し，図－４では，昭和46年以降においても最深河床高は低下を続けている。このような点に着目すると，河道の平面形状が同一であっても，最深河床高が低下し，局所洗掘深が増大する場合，単列化の程度は進んでいるとみなすことができよう。その意味で，河道の横断面形状の変化は，河床形態の変化程度をより如実に表すことになろう。

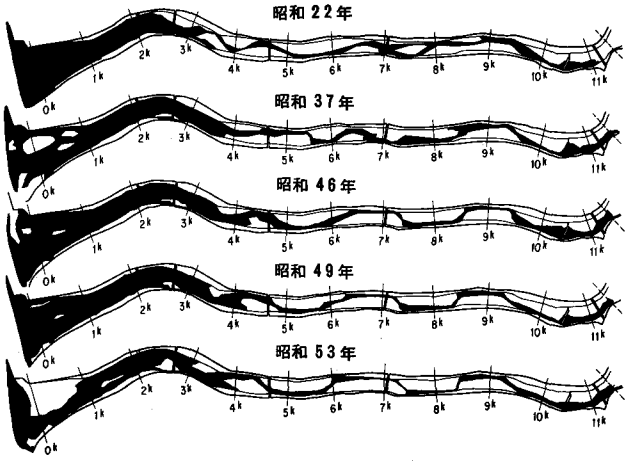
さらに，図－５及び図－６は，天竜川下流部の河道平面形状及び横断面形状の経年変化を，それぞれ示したものである[6]。当該区間における天竜川の河床形態の変化は，矢作川などとは異なり，形態そのものの変化というより，同一形態の中での変化としてとらえることができる。すなわち，昭和38年当時，２㎞～４㎞の右岸及び４㎞～６㎞の左岸に存在していた砂礫堆が，それぞれ小規模のものへと変化し，その結果，流れ



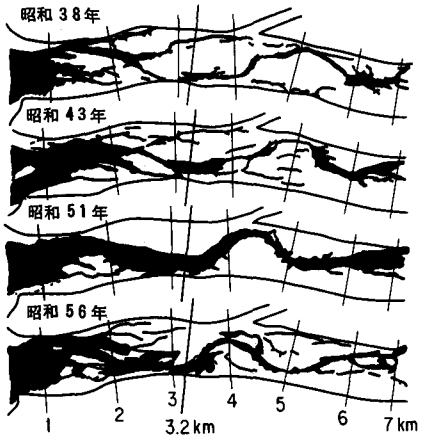
図－１　矢作川の河床形態の変化



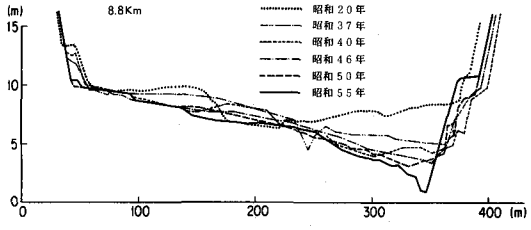
図－２　矢作川の河道横断面形状の変化



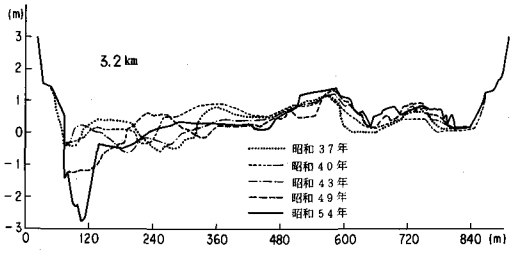
図－3　那賀川の河床形態の変化



図－5　天竜川の河床形態の変化



図－4　那賀川の河道横断面形状の変化



図－6　天竜川の河道横断面形状の変化

の屈曲度が高まり，たとえば図－6に示された3.2 km断面の局所洗掘が進行したといえよう[5]。なお，3 km付近で砂礫堆の前進が停止した原因として，支川（安間川）の流入，河口砂州による当該地点付近の流路の固定化等の影響，あるいは河床掘削の方法等が考えられる。

以上のように，単列河道の場合，砂礫堆の長さが短くなり，同一区間内に存在する砂礫堆の数が増加する（たとえば，天竜川の2 km～6 kmの区間では，昭和38年には2個であったものが，56年には3個に増加）という現象は，横断面形状の変化となっても現れ，これはより極端な単列河道への変化とみなすことができよう。

3. 河床高分布特性量を用いた河道横断面形状の定量化

前項で例示したように，河床形態の変化は，河道の横断面形状の変化となって如実に現れてくる。したがって，ここでは河床高分布のヒストグラムに着目し，河道の横断面形状を河床高の平均値（平均河床高）Z_m，標準偏差 z'，ひずみ度S及びとがり度Fで特徴づけてみよう。いま，n_i（$i = 1, 2, \cdots\cdots, M$；Mは河床高分布の分割区間数）を河床高 z_i の度数とすると，Z_m，z'，S，Fは，それぞれ次式で与えられる。

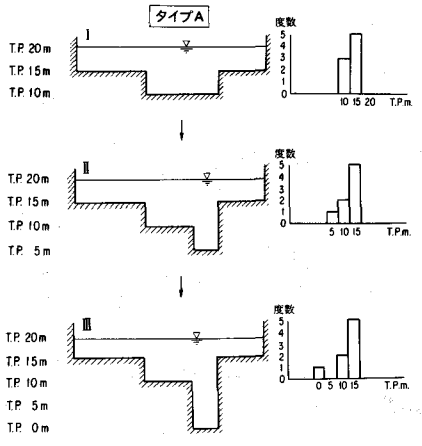
$$Z_m = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{M} z_i n_i \quad \cdots\cdots (1)$$

$$z' = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{M}(z_i - Z_m)^2 n_i} \quad \cdots\cdots (2)$$

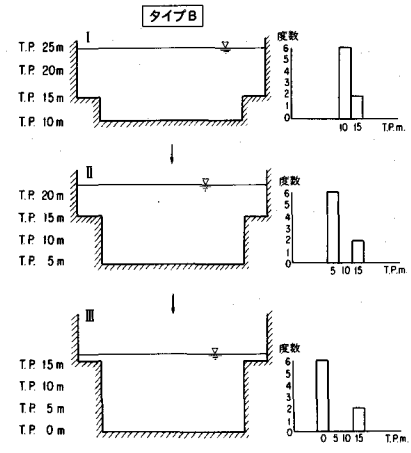
$$S = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{M}(z_i - Z_m)^3 n_i / z'^3 \quad \cdots\cdots (3)$$

$$F = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{M}(z_i - Z_m)^4 n_i / z'^4 \quad \cdots\cdots (4)$$

ここに，$N\ (=\sum_{i=1}^{M} n_i)$ はデータ数（河床高の測定点数）である。



図－7　河道横断面形状のモデル（タイプA）



図－8　河道横断面形状のモデル（タイプB）

表－1　河床高分布特性量の変化（タイプA）

	Z_m(m)	Z_d(m)	ΔZ(m)	z'(m)	S	F
Ⅰ	13.1	10.0	3.1	2.4	−0.5	1.3
Ⅱ	12.5	5.0	7.5	3.5	−1.1	2.9
Ⅲ	11.9	0.0	11.9	5.0	−1.5	4.1
	↘	↘	↗	↗	↘	↗

表－2　河床高分布特性量の変化（タイプB）

	Z_m(m)	Z_d(m)	ΔZ(m)	z'(m)	S	F
Ⅰ	11.3	10.0	1.3	2.2	1.2	2.3
Ⅱ	7.5	5.0	2.5	4.3	1.2	2.3
Ⅲ	3.8	0.0	3.8	6.5	1.2	2.3
	↘	↘	↗	↗	→	→

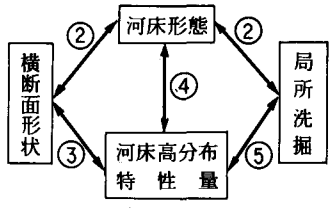
このような特性量を用いると，平均河床高が同じ断面であっても，断面内の河床高が場所により大きく異なる断面は，河床高分布の標準偏差z'が大きな断面として特性づけられ，また高水敷幅に較べ低水路幅が狭い複断面はひずみ度Sが負の断面として，逆に高水敷幅に較べ低水路幅が広い複断面はSが正の断面として特性づけられる。

つぎに，河道の横断面形状の変化を，上述の河床高分布特性量の変化と関連づけてみよう。図－7及び図－8は，それぞれ，横断面内の一部のみが低下するような変化及び低水路全体が低下するような変化を単純化して示したものであって，このとき河床高分布特性量は，それぞれ，表－1及び表－2に例示されるように変化する。表中，Z_dは最深河床高，ΔZは局所洗掘深を表している。いずれにおいても，横断面形状の変化に伴う最深河床高Z_dの低下あるいは局所洗掘深ΔZの増加とともに，標準偏差z'は増大しており，これは両者に共通する特性である。これに対し，ひずみ度S及びとがり度Fは，断面内のみが低下するタイプAの場合には，それぞれ，減少及び増加しているが，低水路全体が低下するようなタイプBの場合には，いずれも極端な変化を示さず，両断面の相違が明確化されている。

したがって，河道の横断面形状の変化として現れる河床形態の変化も，上記河床高分布特性量によって表示されるであろうと推測される。

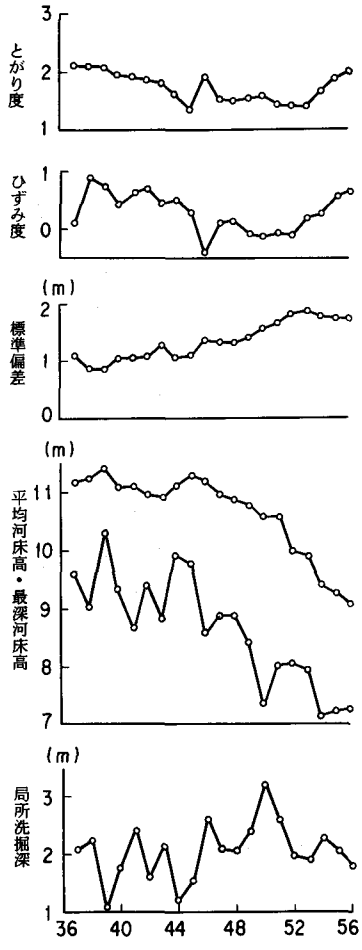
4. 河床形態と河床高分布特性量

図－9に示されるように，本文第2項で河床形態と河道横断形状及び局所洗掘との関係を，第3項では河床高分布特性量と横断面形状との関係を，それぞれ明らかにしてきた。河道横断面形状と局所洗掘とは同じ内容であるので，つぎに河床形態と河床高分布特性量との関係について検討してみよう。

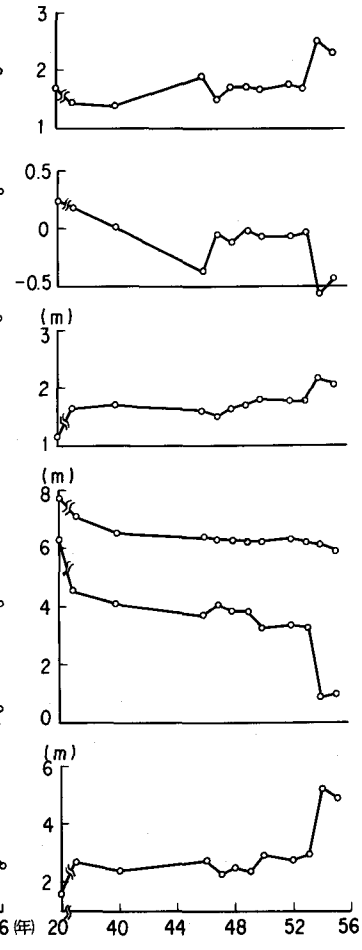


図－9　各種現象間の関係

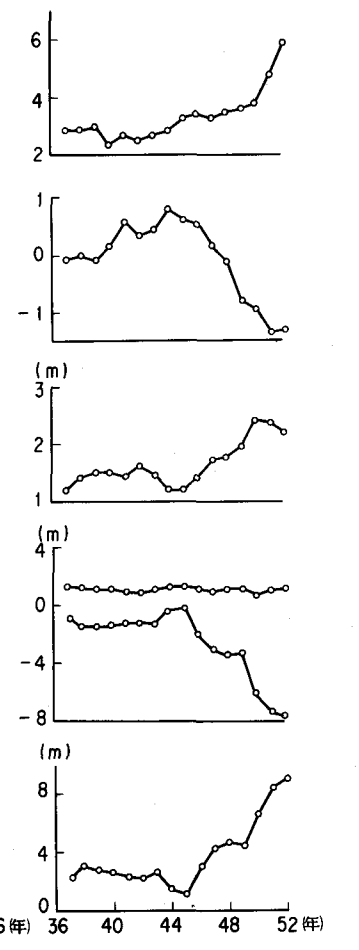
図－10，図－11及び図－12は，それぞれ，矢作川（18.2㎞），



図－10　矢作川の河床変化



図－11　那賀川の河床変化



図－12　天竜川の河床変化

那賀川（ 8.8 km ）及び天竜川（ 3.2 km ）における河床高分布特性量の経年変化を示したものである。まず，矢作川に関する図－10において，昭和53年以降におけるひずみ度Ｓの増加傾向を除き，河床形態が網状から単列化した昭和45年頃を境に，Ｓは正から負に転じ，河床形態の変化がＳに現れている。なお，河床形態の変化は，17.6 kmの堰撤去だけでなく，上流のダム・砂防による供給土砂量の減少及び当該断面付近の河床掘削にも影響されており，このような変化は図に示されている昭和37年以降徐々に進んできたとも解される。このような観点に立った場合，網状河道から単列河道への変化は，標準偏差 z' の変化に現れているといえよう。

矢作川においてみられたひずみ度Ｓ及び標準偏差 z' の傾向は，図－11に示された那賀川についても同様であって，河床形態の単列化が進むと，Ｓは負となる傾向にある。さらに，流れの屈曲度が強い単列河道，換言すれば単列河道としての性格が著しいほど，このような傾向は顕著となるようである。たとえば，図－12の天竜川の場合，Ｓあるいは z' の正負あるいは増減傾向だけでなく，とがり度Ｆの増減傾向についても，図－７及び表－１で示したタイプＡの場合と一致している。これに対し，網状・うろこ状河道の横断面形状の変化は，図－８及び表－２で示したタイプＢに相当し，河床形態と河床高分布特性量との対応関係がある程度認められる。

表－3　河床高分布特性量と最深河床高あるいは局所洗掘深との相関

	Z_d との相関												ΔZ との相関											
河川名	矢作川（18.2）				那賀川（8.8）				天竜川（3.2）				矢作川（18.2）				那賀川（8.8）				天竜川（3.2）			
年数差	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0	3	2	1	0
Z_m				○			○	○		○	○								●	●		●	●	
z′	●	●	●	●			●	●	●	●	●	●							○	○	○	○	○	○
S	○		○					○		○	○	○			●	●				●		●	●	●
F	○	○	○					●	●	●	●	●		●						○	○	○	○	○

5. 河床高分布特性量と局所洗掘

図－10，図－11及び図－12に併示された最深河床高あるいは局所洗掘深と河床高分布特性量との相関関係を検討してみよう。

矢作川（18.2km）においては，図－10にみられるように，最深河床高 Z_d の減少とともに平均河床高 Z_m，ひずみ度S及びとがり度Fも減少傾向を呈するが，標準偏差z′は増加傾向を示している。これに対し，局所洗掘深 ΔZ は Z_d と逆の傾向をもつようである。このような傾向をさらに明確にするために，相関性の検定を行い，信頼性95%で「相関あり」とみなされる組合せを示すと表－3のようになる。表中，○印は正の相関を，●印は負の相関を表すとともに，年数差は分布特性量に対する Z_d あるいは ΔZ の遅れ年数を意味している。表より，矢作川（18.2km）については，分布特性量と数年後の Z_d との間にも相関があり，回帰式を用いると Z_d の推定がある程度可能となることが示唆される。

このような検討を，那賀川（8.8km）及び天竜川（3.2km）についても行うと，次のようである。すなわち，いずれにおいても，タイプAとして例示した図－7及び表－1からも知られるように，最深河床高 Z_d は平均河床高 Z_m 及びひずみ度Sと正の相関を，標準偏差z′及びとがり度Fと負の相関関係を有している。また，局所洗掘深 ΔZ は，いずれの分布特性量についても，Z_d とは逆の相関関係を示している。このような Z_d 及び ΔZ に関する特性は，とくに天竜川（3.2km）の場合に顕著であって，遅れ年数を考慮しても，Z_d あるいは ΔZ と多くの分布特性量との間には高い相関関係が維持され，このような条件下においては，河床高分布特性量から数年後の Z_d あるいは ΔZ がある範囲をもって推定されよう。

6. おわりに

本文においては，河床形状の変化を平均年最大流量に対応した横断面形状より検討したが，本来的には，人工的に固定化した高水敷を除いて議論した方がさらによいものと思われる。また，最深河床高あるいは局所洗掘深の具体的な予測手法については，さらに詳細な検討が必要であり，今後の課題としたい。最後に，本調査にあたっては関係各位よりデータの提供を受けた。ここに記して，感謝の意を表したい。

参　考　文　献

1）須賀堯三：河床低下に基因する局所洗掘に関する考察，第25回水理講演会論文集，pp. 545－552，1981.
2）須賀堯三：河床低下と河岸洗掘，土木技術資料，第23巻，第8号，pp. 27－32，1981.
3）建設省河川局・土木研究所：局所洗掘に関する研究，第36回建設省技術研究会報告，pp.582－619，1983.
4）梅本良平・川田通・中島章雄：水制設置の効果と影響について，第25回水理講演会論文集，pp.539－544，1981.
5）須賀堯三：河床低下による砂礫堆長の縮小，第27回水理講演会論文集，pp.761－766，1983.
6）藤沢寛・高秀秀信・尾中宗久：河床変動の実態と局所洗掘について，土木学会第37回年次学術講演会講演概要集，第2部，pp.539－540，1982.