

河床変動の統計的特性について

道上 正規*・小田 明道*

* 土木工学科

(1984年8月2日受理)

Study on Stochastic Characteristics of River Bed Variations

by

Masanori MICHIE* and Terumichi ODA*

* Department of Civil Engineering

(Received August 2, 1984)

This study treats the stochastic characteristics of river bed variations with meso-scale. It is concluded that the River Tenjin, which is located in the center of Tottori Prefecture, is comparatively stable, and the stochastic component of river bed variations is related to the alternating bars in the downstream reach and to the variation of river width. The wave length of the alternating bars is about 1.6 km which is about five times of river width. The average depth of random river bed variation is from 1.2 m to 1.4 m in the upstream reach, from 1.3 m to 1.6 m in the middle reach and from 1.6 m to 2.0 m in the down stream reach.

1. はじめに

実河川の河床変動には、種々のスケールの変動が重なっており、これらの変動現象はスケールによって河川に与えられる影響が異なる。一般に河床変動のスケール [1] は、大規模変動、中規模変動、小規模変動に分類でき、それぞれのスケールが河川に及ぼす影響は河道の安定、蛇行や構造物周辺の局所洗掘及び河床粗度として働く。また、このような河床変動は決定論的な側面と不規則な変動成分が合成されており、目的に応じてそれらの成分を明らかにし、河川計画や河川工事に対して有用な情報を引出さなければならない。

妙州や蛇行に関連した中規模河床変動の統計的性質の把握は、護岸の根入れ深さにとって重要であるため、事例的に検討されているが [2, 3]、実河川の資料収集に関してはまだ広くなされておらず、その集積が必要不可欠であると考えられる。

したがって、本研究では河床変動の統計的性質について、事例的に検討を行ない、ミオ筋や最深洗掘深の実態を明らかにしようとしたものである。

2. 流域の概要と平均河床高の変化

本研究の調査対象流域は、鳥取県中部に位置される天神川流域で、その位置図が Fig. 1 に示されている。天神

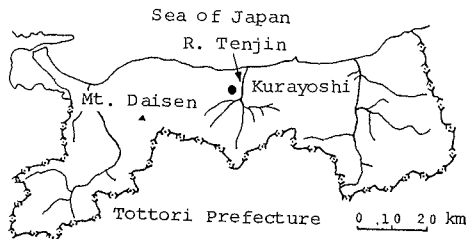


Fig. 1 Location map of R. Tenjin

川は、1934年（昭和9年）の大出水で、顕著な河床変動が起ったが、その後は比較的穏やかに推移している。

Fig. 2 は河口からの距離と集水面積の関係を表しているが、天神川に入る大きな支川は、河口から8.8 kmのところでは小鴨川、11.4 kmのところでは三徳川の二支川で、これらの合流点で流域面積や川幅が増加する。なお、Table. 1 は1959年～1974年の年最大流量を表しているが、最近では、1959、1965及び、1971年に比較的大きな出水は見られるものの、流域面積に比してあまり大出水とはいえない。

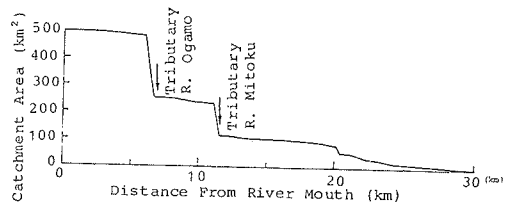


Fig. 2 Relation between catchment area and distance from river mouth

Fig. 3 は天神川の平面図と最深河床の平面的位置を表したものであるが、河口から小鴨川合流点までは、比較的直線河道に近いゆるやかな曲率を有しており、一方三徳川合流点より上流域では蛇行曲率は大きく、河道の屈曲は激しくなっている。中流部（小鴨川合流点上流から三徳川合流点）では、両者の中間的挙動を呈している。1969年と1975年の最深河床の位置は、6年間であまり変化していないが、ただ、小鴨川合流点下流付近で若干変化しているのが見られる。

河床の定期縦横断測量は毎年ではないが、1935年（昭和10年）～1975年（昭和50年）の期間に適当な間隔でなされており、またその測定区間は200mであるが、これらの資料を用いて比較された平均河床高の経年変化が Fig. 4 に示されている。これより明らかなように、1935年には前年の大出水で河床が上昇していたが、その後の出水

Table 1 Annual maximum flow discharge

year	1959	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966
Q(m ³ /sec)	1798.4	580.3	740.7	—	—	696.2	901.6	840.2
date		1-2-22	9-16-17	—	—	7-11-15	9-17-17	9-25-17
year	1967	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974
Q(m ³ /sec)	540.9	431.0	182.59	496.59	1025.33	806.28	117.42	307.08
date	10-28-3	7-15-23	7-8-22	8-21-20	8-31-7	7-11-20	10-14-14	9-2-9

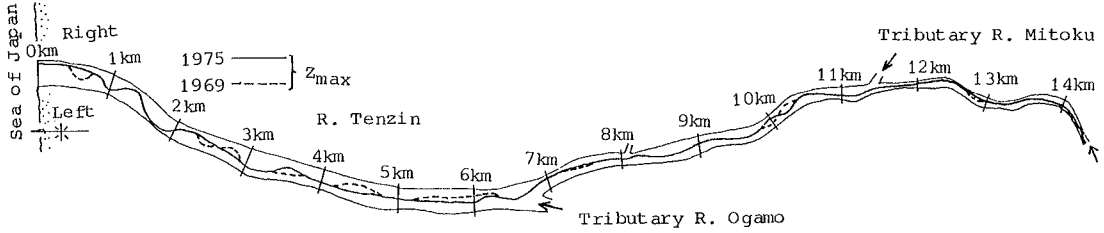


Fig.3 Plan and talweg line of R. Tenjin

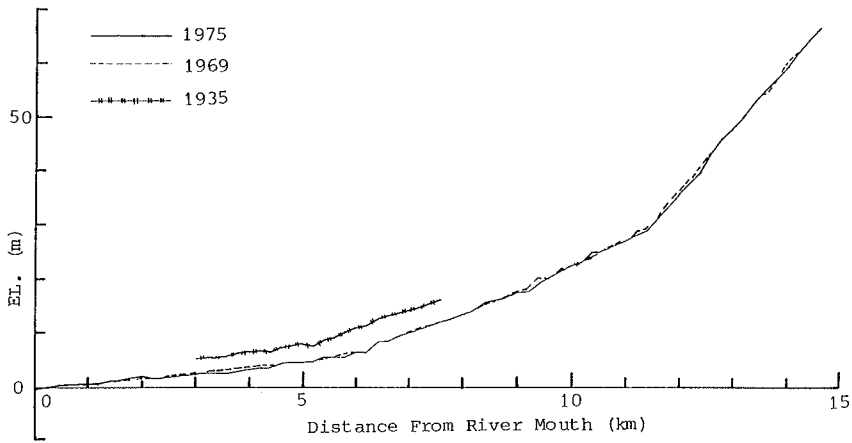


Fig.4 Comparison of longitudinal profiles of mean bed levels

で河床低下が進み、最近では平均河床高はきわめて安定している。このことは河道の整備がゆきとどいていること及び大出水が生起していないことに起因しているものと思われる。

このように平均的な河床縦断形状が安定していても、その変動成分がどのような挙動を呈しているか明らかでないので、次節以降でその挙動を検討することしよう。

3. 最深河床の統計的性質

最深河床の挙動を検討するために、Fig. 5 に示すように記号を定義する。ただし河幅は、河床変動が生じていない兩岸の間隔とする。

Fig. 6 は河幅、河道曲率及び鉛直方向の河床変動量（[平均河床高 Z_m] - [最深河床高 Z_{max}]）の関係を表している。前述したように、河幅は、三徳川合流点及び小鴨川合流点の下流部で急激に増大し、支川の影響

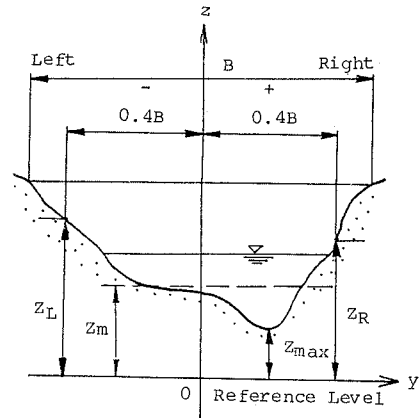


Fig.5 Definition of notations

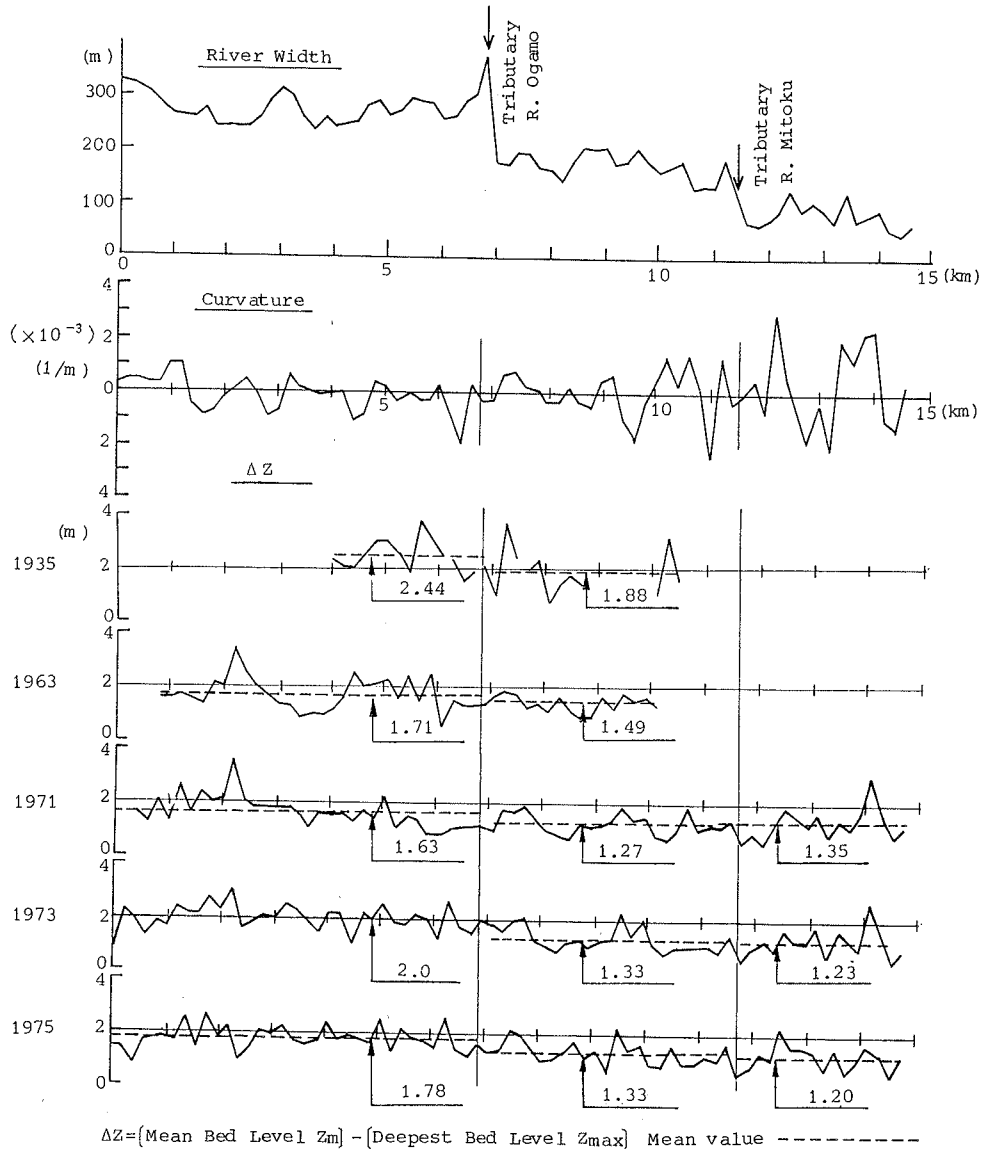


Fig. 6 River width, curvature of river channel and vertical river bed variation ΔZ
 $(\Delta Z = [\text{Mean Bed Level } Z_m] - [\text{Deepest Bed Level } Z_{max}])$

を考慮して、河床変動量を検討しなければならないことがわかる。河口から小鴨川合流点(6.8 km)の区間の平均河幅は、約 380 m で、小鴨川合流点から三徳川合流点(11.4 km)の区間のそれは約 170 m、それより上流区間では約 90 m である。一方曲率は、三徳川合流点より上

流区間で大きくなっているものの、それより下流区間ではあまり大きくなく、比較的直線河道に近くなっている。鉛直方向の河床変動量は、河幅が大きくなるにたがって増大し、最近の下流区間の平均的河床変動量は 1.6 ~ 2.0 m、中流区間のそれは 1.3 ~ 1.6 m、上流区

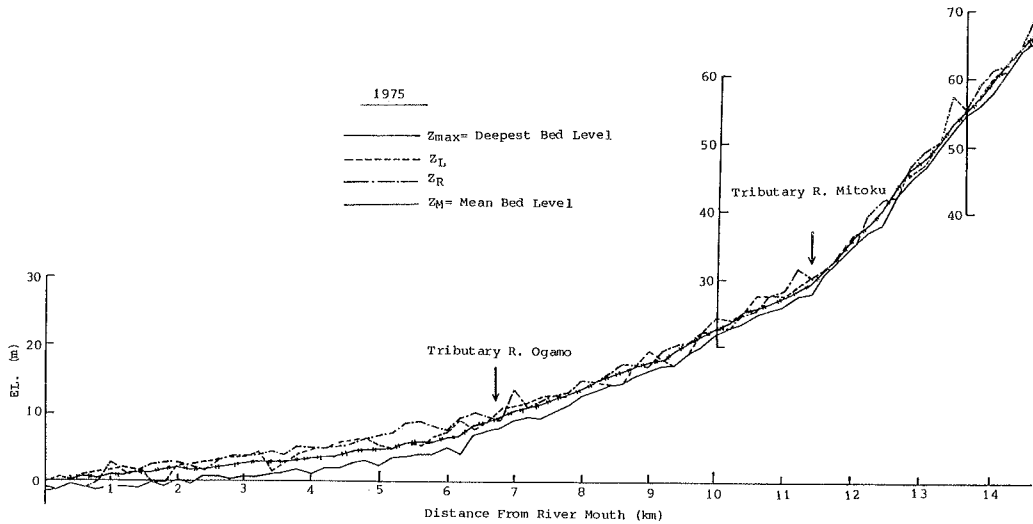


Fig. 7 Longitudinal profile of river bed level in 1975

間では 1.2~1.4 m となっている。ただし、大出水後の 1935年（昭和10年）では、これらの値が若干大きくなっているが、これは堤防整備状況も現在と異なるので、同一には論じられないように思う。これらの期間の平均河床高から最深河床高の差の最大値は 3.9 m であるので、平均河床高を基準にとって考えると、それより 4 m の深掘れを考慮して、護岸などの根入れを設計しなければならないことが理解されよう。

Fig. 7 は 1975 年の河床の縦断形状を表している。河川中心から左右岸に、0.4 倍の河幅の地点の河床標高をそれぞれ Z_L 、 Z_R としてプロットされているが、下流区間では、とくに Z_L が約 1.6 km ごとに最大洗掘深を示して、周期的に変化している。これは、河道に交互砂州が形成されていることに起因しており、その波長は約 1.6 km である。一方、合流点下流付近では、明瞭な砂州は形成されておらず、 Z_L あるいは Z_R が最深河床高とはならないようで、砂州の発達に合流点の影響が現れていると推察される。

Fig. 8 は 1975 年の最深河床の自己相関係数を下流区間 (0~6.8 km) と中流区間 (7~11.4 km) に対して表したもので、下流区間では 1.4~1.6 km の波長の波動成分が見られる。これは前述した、交互砂州に起因する河床変動であると考えられるが、一方中流区間では明瞭な波動成分は見られない。

次に砂州の挙動を検討するには、 Z_L と Z_R の関係を

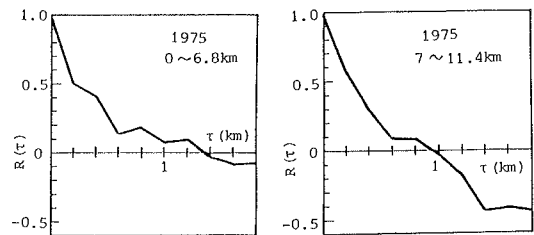


Fig. 8 Auto-correlation coefficient of the lowest bed level in each cross section

検討すれば、その特性が把握できると考え、この両者の相互相関を求めた。その結果が Fig. 9 に示されているが、下流区間では、両者の遅れは約 1.8 km で、他の諸量から検討した結果とほぼ同じような値を示す。なお、中流区間では、両者の遅れ距離は明瞭に現れていないが、約 1 km になっていることがわかる。

一般に砂州や蛇行波長は河幅に比例するといわれているが、ここでも砂州の波長 L は、次式のように表される。

$$L = aB \quad (\text{ただし、} a \text{ は経験定数で、ここでは、} a = 5 \sim 6)$$

河幅と最大洗掘深との相互相関の一例を示したものが Fig. 10 であるが、これによれば、下流区間と中・上流

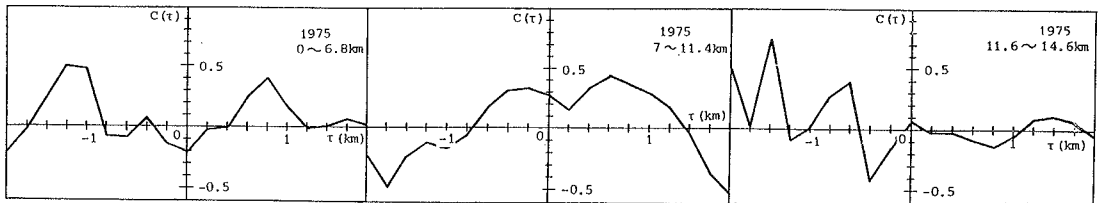


Fig. 9 Cross-correlation coefficient between Z_L and Z_R

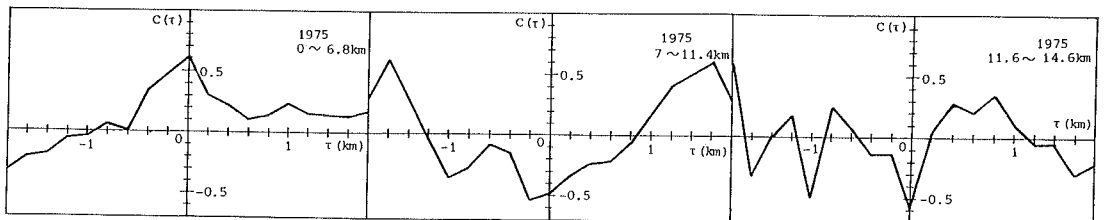


Fig. 10 Cross-correlation coefficient between river width and the lowest bed level of cross section

区間ではその性状を異にする。すなわち、下流区間では、河幅と最大洗掘深は、正の相関を示し、河幅の増大に伴って、最大洗掘深も増加するが、中・上流区間では、両者の相関が負の値を示し、河幅の増大に伴って

最大洗掘深が減少する箇所が多くなる。この理由はあまり明瞭でないが、上・中流部では砂州が十分に発達しておらず、水路狭窄部で深掘れが生じる可能性が高い。

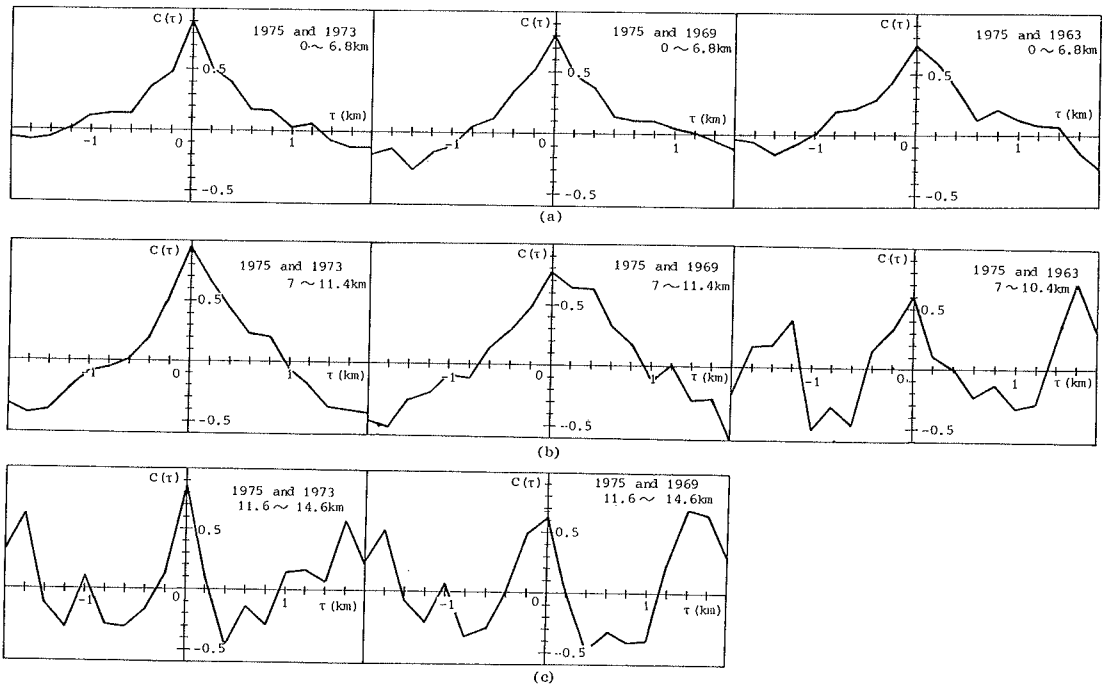


Fig. 11 Cross-correlation coefficient between the lowest bed level in 1975 and ones of other years

Fig. 11は、最近の河床変動量の移動状況を見るために、1975年と1973年、1969年、1963年のそれぞれの最深河床高の相互相関係数を求めたものである。全域にわたって、河床変動の伝ばりはあまり明瞭でなく、深掘れ箇所の上流への移動はほとんど見られない。このことは、深掘れは縦断方向にほぼ固定されていることを物語っており、比較的河床が安定しているといえよう。

4. 最深河床地点の平面的変化

深掘れは、砂州の形成や水路狭窄部によって誘起されることが判明してきたが、その平面的位置について検討したものがFig. 12である。なお、図中の点線は1km区間ごとの最深河床地点の横断方向の河道中心からの偏倚を半河幅で無次元化したものの平均値である。これより明らかのように、最深河床の出現する平面的位置も年度によって巨視的にはほとんど変化していない。したがっ

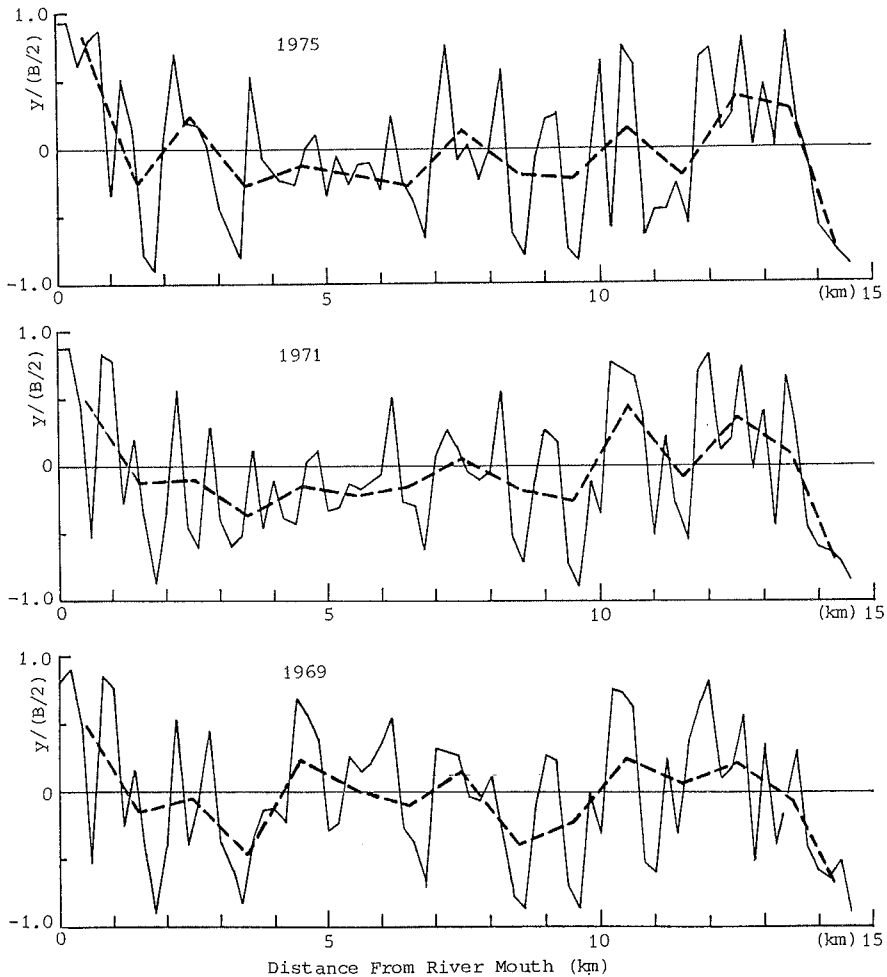


Fig. 12 Change of lateral direction of the lowest bed level along river channel

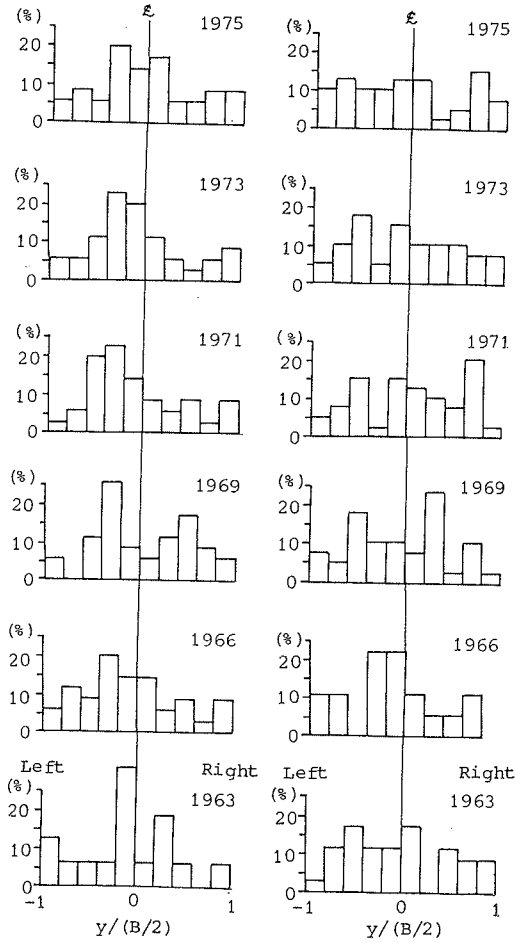


Fig.13 Histogram of appearance of the lowest bed level along lateral direction

て、前節でも述べたように、この天神川では河床変動はきわめて固定化されていることが理解されよう。

Fig. 1 3 は、下流区間と、上・中流区間における最深河床の横断方向に出現する地点の頻度分布を表したものであるが、下流区間では河道中心から左岸よりに最深河床が出現する頻度が高くなっている。一方、上・中流区間では、最深河床の横断方向に出現する頻度はほぼ一様で、下流区間の性状とかなり異っている。これは河道の整備状況が両者で異っていることや河幅の相違などに起因すると考えられるが、一つの興味ある結果であると思われる。

Fig. 1 4 は最深河床が出現する横断方向の位置と河道の相関を表したものであるが、両者の間には、明瞭な相関が見られない。このことは、河道の曲率は深掘れにあまり影響を与えていないことを示している。とくに下流区間ではこれらの相互相関係数は0に近く、顕著な河道弯曲も見られないが、砂州の形成も直線河道のそれと類似しているものと推定される。

Fig. 1 5 は下流区間と上流区間における河幅と最深河床の横断方向の位置の相互相関係数を表したものであるが、下流区間では最深河床と河幅の間には1200mの差が見られる。一方、中流区間では両者の遅れ距離は400m程度であるが、このように河幅の変化に対応して最深河床の位置が出現するのではなく、両者の間にはずれが存在する。

Fig. 1 6 は最深河床の横断方向の位置の変化の自己相関係数であるが、下流区間では1.2km、中流区間では1kmの波長の弱い波動成分が見られる。

また、深掘れ位置が安定しているかどうかを検討するため、1975年を基準にとって、1969年、1963年の最深河床位置の相互相関係数を表したものが、Fig. 1 7 である。これによれば、上、中、下流域ともその形状がほぼ一定に保たれており、最深河床の位置の顕著な変化は見られない。

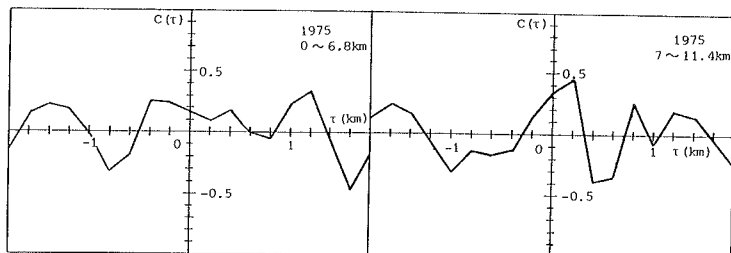


Fig. 14 Cross-correlation coefficient between location of the lowest bed level along lateral direction and channel curvature

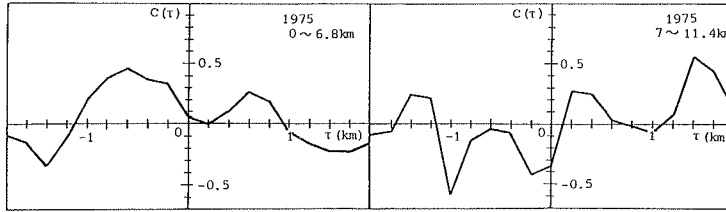


Fig. 15 C cross-correlation between river width and lateral location of the lowest bed level in 1975

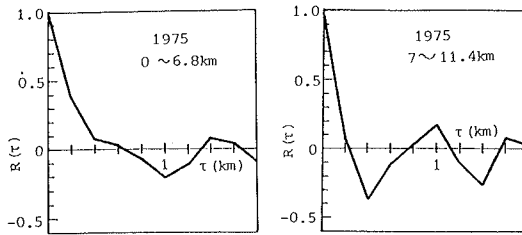


Fig. 16 Auto-correlation coefficient of the lowest bed level along lateral direction in each cross section

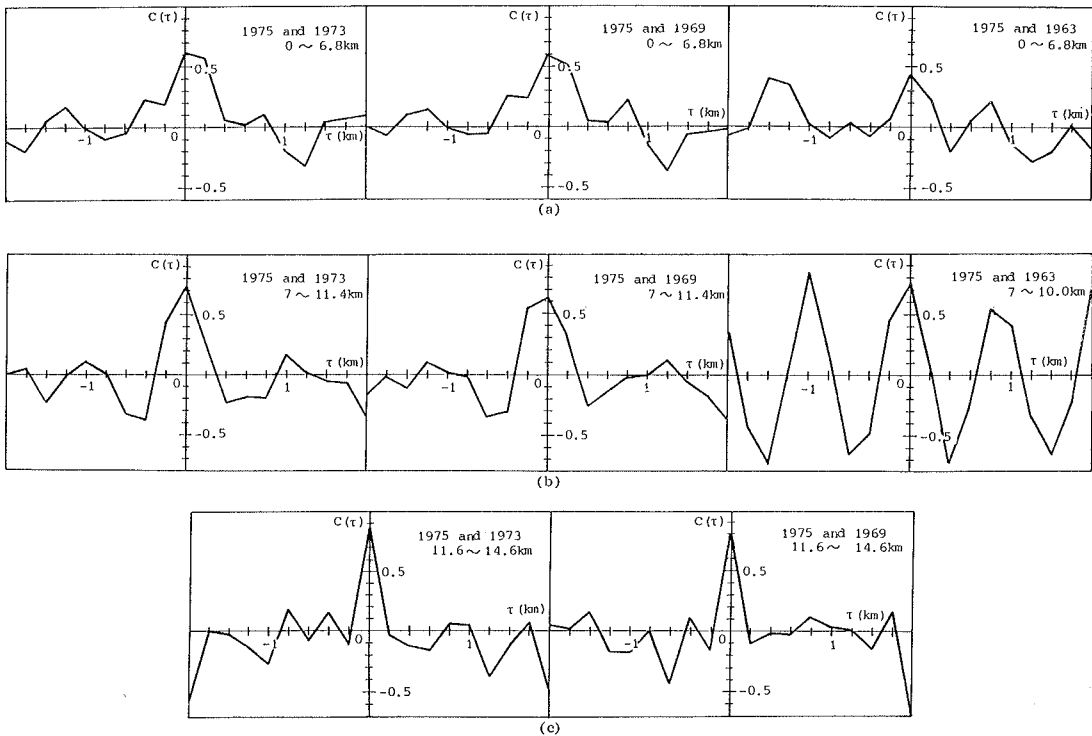


Fig.17 C cross-correlation between lateral location of the lowest bed level in 1975 and ones of other years

5. おわりに

天神川を例にとって、河床変動の統計的性質を検討してきたが、得られた主要な成果をまとめると次のようである。

- (1) 1934年の大出水で、中下流部の平均河床高は現在より3m程度上昇した。しかし、最近では平均河床高はほとんど変化せず安定している。
- (2) 河床変動量（平均河床高－最深河床高）は上、中、下流区間で異なり、それぞれ、これらの平均値は1.2m～1.4m、1.3m～1.6m、1.6m～2.0mとなる。この河床変動量の最大値は3.9mで、護岸の根入れ深さは4m程度必要であろう。
- (3) このような深掘れは、下流区間では交互砂州に強く関係しており、その波長は1.4～1.6km、一方中・上流部では砂州というよりはむしろ河幅の変化に対応しているようである。

(4) 深掘れの縦断方向の経年的変化はきわめて小さく、河道は安定している。

(5) 下流部では、深掘れ位置は河道中心より左岸に偏倚しているが、上・中流部では横断方向にほぼ一様に分布している。

最後に本研究を遂行するにあたって、心よく資料を提供して下さいました中国地方建設局倉吉工事事務所の方々に深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 芦田和男・高橋保・道上正規：河川の土砂災害と対策、森北出版株式会社、p. 204, 1983.
- 2) 芦田和男：富士川の河床変動に関する研究、京都大学防災研究所年報、11号B, pp. 311-328, 昭43.
- 3) 椿東一郎・吉岡邦明・和佐野貞利：河川平面形態と河床形態との関連性について、特定研究、九州地区における豪雨災害の総合的研究報告、昭34.