

河川部門一自由課題

第19回建設省技術研究発表会

音響測深機による洪水時河床観測について

昭和40年11月

建設省土木研究所
河川研究室

目 次

1. ま え が き	1 頁
2. 洪水時河床観測の目的	1
3. 音経測深機 の 特 性	2
4. 観 測 方 法	2
4-1 観測器具	3
4-2 観測方法	3
4-3 同時観測の項目	4
5. 観測結果	5
6. 他 の 研 究 と の 比 較	8
6-1 河床状態の区分	8
6-2 河床形状の問題	10
6-3 河床形状と速度係数	10
7. あ と が き	12

音響測深機による洪水時河床観測について

建設省土木研究所

河川研究室 星 畑 国 松

1. まえがき

洪水時の河床はどのような形状をしているか。また一体どのように洗掘・堆積が生ずるのか。

このことは、河川技術者にとつては最も重要なことの一つであるが、水面下のこと故なお不明な点として残されている。河川研究室においては、昨年からの江戸川野田橋における音響測深機による河床測定を通して、洪水時の河床形状をとらえることができた。

洗掘深の問題、河床変動の問題、粗度係数の問題等すべて目でみながら考えられることはまことにありがたい。測定実績が少く、既往研究との比較は十分なし得ないが、他の測定例などをみながら音響測深機による河床測定の可能性を考えてみたい。

2. 洪水時河床観測の目的

河床が移動性に富む細粒よりなる移動床水路においては、流速、水深などの水理諸量の変化によつて、はじめに平坦であつた河床においても ripple・dune 等の波様の変形が河床に生ずる。さらに蛇行その他川中に変動のある場合には、洪水の上昇時においては狭少部で洗掘し、広大部に堆積を生じ、下降時に旧状に復するような大きな呼吸をしているという見方が報告されている。¹⁾ これらの変動が河川の粗度係数に与える影響は非常に大きく、この河床形状の測定がなされておれば、流量観測による粗度係数の変動をもつと適格に推量できる。河川上中流部においては、河川の流下につれて粗度係数が小さくなるが、中流から下流にかけてはかえつて粗度係数が大きくなることもある。これらは河床の形状抵抗を導入することによつて説明することができると思う。

ダム等の下流においては、河床低下が生ずる。このとき、大粒径は小粒径程には掃流されないため、河床粒径の大きなものが残る。平均粒径が大きくなると洗掘量が逐次低下し、河床低下の割合は次第に小さくなりついには無視できるようになり安定する。この低下の割合は、掃流にさらされる細粒径の量に依存し、洪水中に洗掘される移動層厚によるが、移動層厚の実態は不明のままである。

以上洪水時の河床変動のことを二、三のべたが、音響測深機はそれ等すべてを直接観測させてくれるということがこの観測の一番大きなところである。

河床観測の目的を要約すると大体次のようなことになる。

イ、彎曲部および橋脚、水制先端、護岸などの構造物設置地点における河床の局部洗掘の直接観測を行うこと。

ロ、ripple・dune等の河床形状およびもつと大きな蛇行に伴う洗掘機構を観測すること。

ハ、ロの結果を通して、1河川内での異なつた地点での粗度係数の相異を理解し、さらに発展させて形状抵抗の形で粗度の算出を可能にすること。

外
一

3. 音響測深機の特性²⁾

音響測深機は、米国などでは早くも1923年頃より河床測定に利用され出したが、当初は記録部をもたず、発振周波数が15 KC程度で透過力が大きい、指向角が大き、小部分の測定には困難を感じたものである。日本においては、戦後ダム築造が進み貯水池の測定の必要性が生ずるとともに200 KCの音響測深機の開発が進み河床測定に利用されだした。15 KCの音響測深機は現在も深海測定に利用されている。

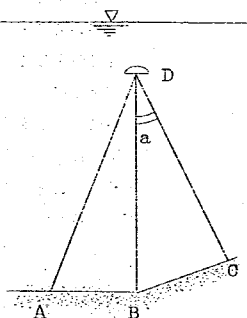
音響測深機の特性は

- a 発振周波数が高いと、指向角が小さくなり測深の精度がわるくなる。図-1ではDBでなくDCを記録する($DC < DB$)
- b 周波数が高いと、透過力が小さく例えば1 MCでは、プランクトン程度で反射するが、15 KCでは泥土では反射せずに透過する。
- c 低周波数で指向角を小さくするためには、送受波距を大きくするとよい。その場合はボータブル型にはできない。

注1：指向角とは図-1で main beam DBの勢力の強さの弱になる測線DCまでの角度のこと。

注2：今回使用のSD1500は周波数1500 KCで、指向角は3°であり、泥土にも反射する。

図 - 1



4. 観測方法

観測の方法は、観測器の種類、観測目的によつて大きくことなる。以下は今回使用したSD-1500型精密音響測深機による場合をのべる。

SD1500は、指向角3度で測深精度よく、プランクトン程度では反射しないが、泥土にも反射し河床観測用としては適しているようである。記録紙の送りは毎分60

mmであり、これによつて観測船の移動速度を目的に照らして調整しなければならない。

蛇行ピッチ程度の河床測定を行うには普通のモータボートにとりつけて流速程度のスピードで流して測定ができるが、ripple・dune等の測定には10~20 cm程度の移動速度で制御しなければならない。河川研究室においては、洪水時の河床形状の変化するために特別に河床観測船を作り以下の観測を行った。

4-1 観測器具

SD-1500 精密音響測深機一式

河床観測船（附図）ウインチ、ワイヤ（ $\phi 6$ mm），トランシット2台，トランシーパー3台（or ラウドスピーカーとトランシーパー2台），プイ（約10 mに1ヶ）

河床観測船の概要は径30 cm，長さ2 mの中空プラスチック製の円管を2本間隔において並べ鉄製アングルでつないだものである。

4-2 観測方法

図-2は観測配置図である。橋上にウインチおよび音響測深機本体を設置し、ウインチを定速回転させながら観測船を上下流へと移動させ、ワイヤのたるみを防ぐために

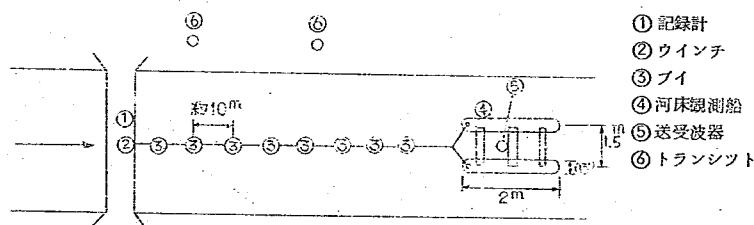


図 - 2

プイをとりつけた。プイ間隔は10 m程度で好都合であつた。記録紙は、送り速度1分間60 mmで、深度1 mは13 mmに記録される。記録は多重記録方式で、全紙巾が10 mに相当し、100 mまでは基準水深が10 mづつずれて同一精度で記録される。

観測点は、橋上の指揮者がラウドスピーカーでトランシットマンに合図し、同時に記録紙上には固定線ボタンをおして記録される。船の移動は、記録紙の送りの速度で制限され、この場合には毎秒20 cm程度の低速度でウインチを回転させ、河床形状の微妙な変化がおさえられるようにした。また、船はプイの取付け時に小休止するため、このときをストップのときとしてトランシットで位置をおさえ、プイ取付け後にスタートの観測をした。

送受波盤は、船移動による水面の波動に備えて30cm水中にいた。

上記に要する最少人員は、指揮1、記録1、ウインチ1、ブイ1、トランシット2、その他1の計7人である。

以上は移動観測だが、送受話器を橋梁など固定点に設置して、sand waveの進行速度、振巾などを定点でおさえ、これに移動観測をそえて波長をおさえると洗掘深の問題とともに流砂量の測定にも用いることができる。もつと大きなスケールの河床観測の例としては、ミシシッピー川では河川中に観測船の航路を定め洪水の各時期に測定して、洪水時の河床形状の変化を検討している。³⁾ (図-3 参)

4-3 同時観測の項目

水面勾配・流速・河床材料の採取および重錘による測深は、粗度係数等に河床観測結果を利用し、また他の資料と比較をする場合にも必ず必要である。掃流砂量・浮流砂量の測定は、河床形状測定の途中で行えば、少人数においても可能となる。

このうち、水面勾配については特に注意を要す。

流水中に立っている量水標は、水位を読むためには便利であつても波立ちのためには勾配算出までの精度はでない。このためには、護岸などに直接量水板を設置して波を消した状態で測つてはどうであろうか。

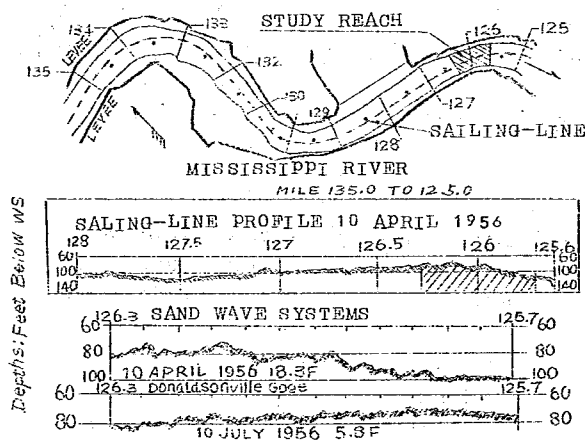


図 - 3

5. 観測結果

以下は、1965年9月19日～9月20日にかけて、利根川水系江戸川野田橋地点で行ったもので、出水の程度は、高水敷に少しのつた、指定水位よりも約20cm低い小出水である。

流量は、計画高水流量5500 m³/sに対して、最大800 m³/sである。現地河床材料は、掃流砂について平均粒径0.4mmの砂質であり、浮流砂粒径は、0.1～0.15mmであり、洪水後に護岸に附着していた砂が当然のことながら同程度であった。

観測結果はモデルとして、

第5回観測例をあげると、河床形状は図-4、5のごとくである。河床形状の分布を図

-6の如く整理すると、

平均波長 $\lambda = 5.55 \text{ m}$

平均振幅 $\Delta_m = 0.32 \text{ m}$

最大振幅 $\Delta = 0.60 \text{ m}$

平均水深 $h = 4.60 \text{ m}$ であり、標準偏差は $\sigma_\lambda = 2.2$, $\sigma_\Delta = 0.12 \text{ m}$ であり

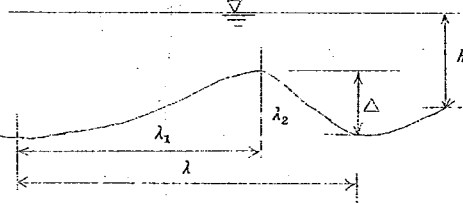


図-6

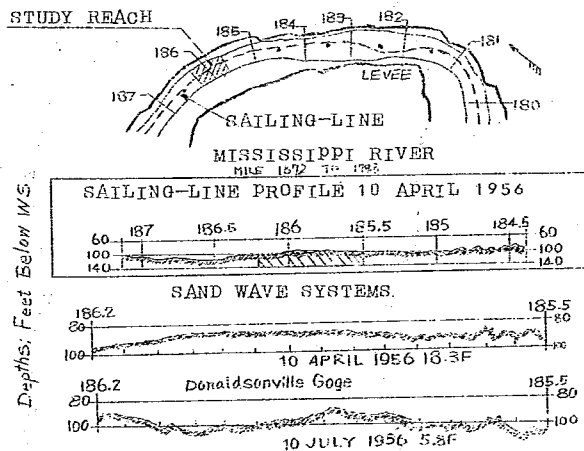


図-3

図-4 河床観測記録 (記録紙よりのうつし)

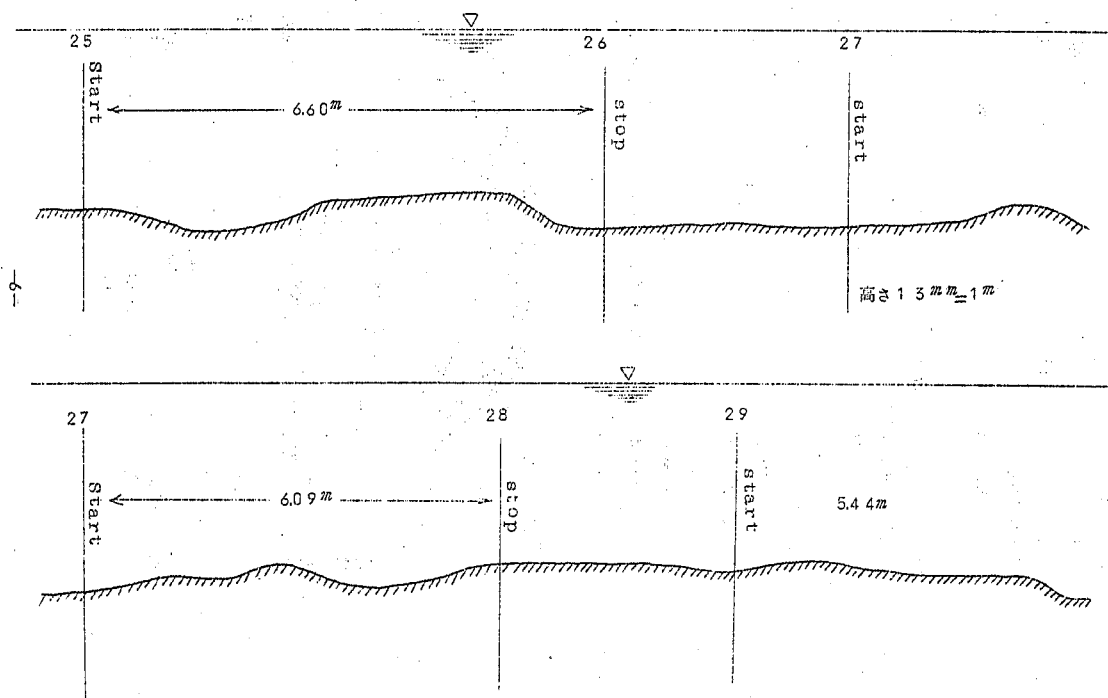
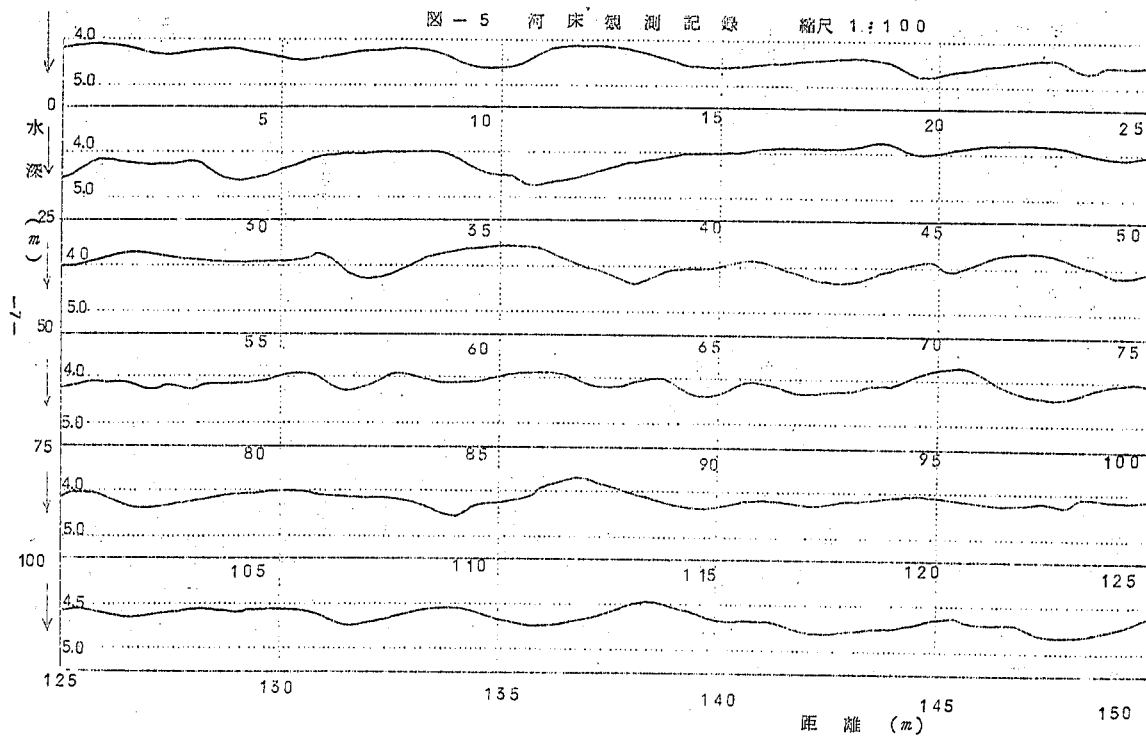


圖-5 河床測測記錄 縮尺 1:100



大きなバラツキを有する。

平均流速は、ブライス流速計による19日11時、14時、20日10時の3回の観測値がそれぞれ1.33 m/s, 1.40 m/s, 1.31 m/sで19日8時の江戸川工事々務所観測の1.37 m/sとはほぼ一致している。水面勾配は、量水標3ヶと下流2ヶ所の護岸に設置した臨時量水標計5ヶ所（流下キヨリ400m）より、1/3600～1/4400であつた。昭和33年、34年の洪水降下時の宝珠花～野田、野田～今上間の量水標間の勾配は両者ともほぼ1/3600であり、野田橋勾配は大区間勾配と一致している。相当粗度 K_s は、

$$U_m/U_* = 23/k \log_{10} R/k_* \dots\dots\dots 1)$$

$$K_* = K_s \exp(1 - \kappa A \tau) \dots\dots\dots 2)$$

に、上記の諸数値（ $U_m \div 1.4$, $I \div 1/4000$, $R \div 4.6$ ）を代入し、 $A \tau = 85$ $K = 0.4$ を代入すると $K_* = K_s/11.0$ となり、 $K_s = 0.184m$ が算定され、平均振巾 $\Delta = 0.32$ の約半分であり、相当粗度と平均振巾とは同じオーダーとなる。なおマニングの粗度係数は、 $n = 0.031$ である。

観測ヶ所の横断面図を、図-7に示す。

6. 他の研究との比較

移動床の問題に対しては、仮に以下の三つに分類できる。

- イ) 流れによる河床状態の区分の問題
- ロ) 河床状態に対応する河床形状の問題
- ハ) 河床形状と流速係数の問題

以下順次今回の例との比較も含めて述べてみよう。

6-1 河床状態の区分

R. J. GardeとK. G. Ranga Raju⁴⁾に従つて述べてみる。

与えられた河床材料に対して、水面勾配（または水深）を一定として、水深（または水面勾配）を変化させると、移動床には次の区分が生じてくる。

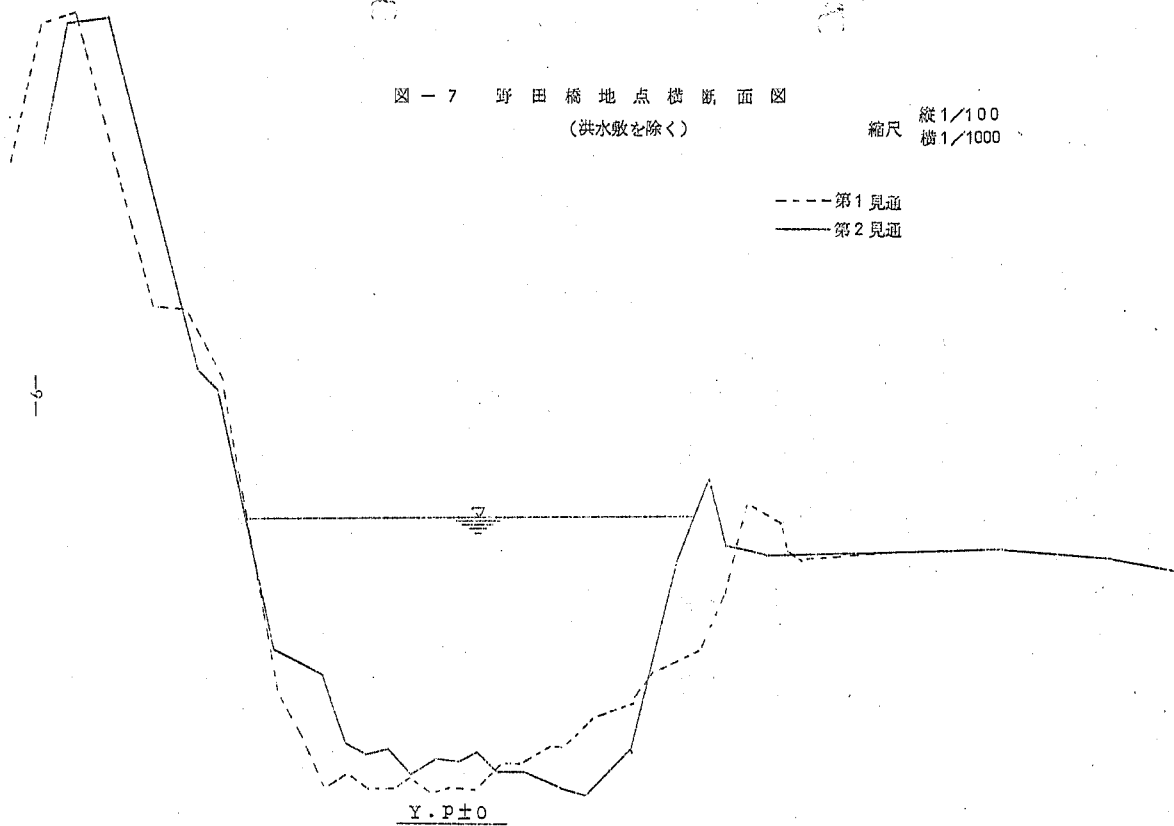
水深が小さく河床におけるせん断力は、河床を構成する掃流砂の限界せん断力よりも小さい範囲では、河床は平坦にとどまる。流れの水深が増加するにつれて砂の面に小さな凹凸が生じやがてそれが発達して ripple となり、ゆつくり下流へ向つて移動する。さらに水深が大きくなると ripple よりも不規則に乱れた、形の大きかつた波長の長い砂の堆積（dune）に変化し、さらにそれが消滅して水路は平坦になる（transition、粒径が小さい場合は平坦を通らずに次の antidune になる）。さらに水深が増加すると、対称の sand wave が生じ、下流側の堆積をけずりながら、上流へ向つて移動していく（antidune）。

この流れの状況の変化に伴う河床状態の変化に対しては、今までで $U_* d_p \sim$

図-7 野田橋地点横断面図
(洪水敷を除く)

縮尺 縦 1/100
横 1/1000

--- 第1見通
— 第2見通



U_* / w の分類, $gd / U_*^2 \sim d$ の分類 (ここに V_* : マナツ速度, d : 平均粒径, ν : 水の動粘性係数, w : 沈降速度, g : 重力の加速度) などが提出されてきたが, Garde はこれらに対し U_* が同じであれば水深・勾配の組合せがどのようなあつても同一の状態を示すことに着目し, これでは実験水路と実河川の間にある大きな相違を説明できないとして, $R/d \sim S(rs - rf) / rf$ の分類 (図-8) を提案した。(ここに R : ケイ深, S : 勾配, rs : 河床材料の比重, rf : 流体の比重)。

江戸川の例をあてはめてみると, $U_* d / \nu \sim U_* / w$ の分類では transition の状態におち, $R/d \sim S(rs - rf) / rf$ によると dune の状態に入る。河床形状よりみると Garde の例がよくあつているようです。

6-2 河床形状の問題

粗度係数を算定する場合に, 相当粗度 K_s の値を次元解析と実験および実測で追求する研究が多く行われてきたが, Yalin⁵⁾ などによつて中間の状態を考慮し, sand wave の形をもとめて, それによつてエネルギーの損失量を計算して平均流速を算定するというやり方が導入されてきた。Yalin⁵⁾ は, 次元解析に, 河床の粒子の運動に対する考察を加えて, 砂れんの高さに対しては

$$\Delta / h = 1/6 (1 - \tau_0 / \tau_{0c})$$

砂れんの長さ λ は

$$\lambda = 5h; U_* d_m / \nu > 20 (d_m \geq 0.38 \text{ mm}, \text{ dunes }) \dots\dots 3)$$

$$\lambda = 1000 d_m; U_* d_m / \nu < 20 (d_m \leq 0.18 \text{ mm}, \text{ ripples }) \dots\dots 4)$$

と算定している。(図-6 参)

野田の観測値の $h = 4.6 \text{ m}$ から λ , Δ を求めてみると $\lambda = 23.0 \text{ m}$, $\Delta = 77 \text{ cm}$ となるが, 今回の例では $\lambda = 5.5 \text{ m}$ でありその値が大きくなっている。今後河川の実測例を充実していつてこれ等の関係式を改良していかねばならない。

6-3 河床形状と速度係数

この問題に対しては, Yalin⁶⁾ と H.K.Liu⁷⁾ がある。

Yalin は河床形状そのものより流速係数 (U_m / U_*) を求めようと試み, Liu は河床形状の測定例の少ない当時の実状 (1959年) より, 河床が平坦な場合と dune ができた場合とにわけて, $U_m = CR^X S^Y$ の式における係数と河床粒径 d との関係を実験値より定めた。Liu の場合について河床を dune として計算すると, $C = 2.4$, $X = 0.5$, $Y = 0.32$, $U_m = 32.3$ となり, 実測 $U_m = 1.4$ と大きく異なる。

Yalin 式についてみると

$$\frac{U_m}{U_*} = \frac{23}{h} \frac{10 \log_{10} \frac{R}{Ka}}{\sqrt{1 - \frac{\Delta}{\lambda}}} \dots\dots 5)$$

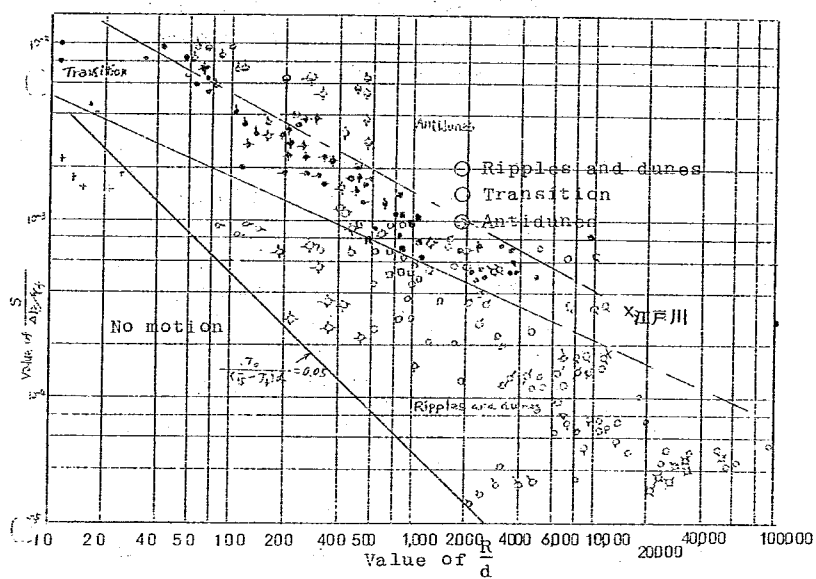


图-8 $\frac{S}{\Delta \gamma_s / \beta} - \frac{R}{d}$ REGIME CRITERION

$$\zeta = \cot \phi - \frac{\Delta}{h} \left[\frac{2.3}{K} \log_{10} \frac{R}{Ka} \right]^2 \dots\dots\dots 6)$$

ここに $K = 0.4$ (純水として)

$\phi = 30^\circ$ 安息角

R, h, Δ, λ はそれぞれ 4.6, 4.6, 0.32, 5.55 m

$Ka = Ks / 11.0 = 0.004 / 11.0$ ($Ks = dm$ を代入)

すると, $U_m / U_{*c} = 16.1$ となり実測の $U_m / U_{*c} = 1.4 / 0.107 = 13.1$

と二割程度相異となり, 形状の要素が入ると粗度の算定精度がかなり上ってくる。

以上, 河床形状に関連する問題を外観してきたが, 河床形状の推定については実験と実河川の間には大きな間隙があるが, 形状の推定がなされれば流速係数はこれを通してかなりの程度まで算定できるようである。

内
四

7. あとがき

洪水期間中に, 河床は種々の変化をする。rippleをつくり, duneとなり, さらに川巾変化部においては特有の呼吸をする。河川計画においては, 洗掘深の把握・粗度係数の把握は第一義の重要な問題である。

粗度の算定に関しては, 河床形状が判明すれば Yalin などを通して推定できるが, 河床形状の問題については実験水路と実験河川の間にはなお大きな間隙がある。

音響測深機は, その直接観測による河床測定を通して河川をよく把握し, この間隙をうめる大きな武器の一つとなろう。

おわりに, 音響測深機による河床観測については江戸川工事事務所の多大の御協力を得て, 河川研究室の全職員が実施したものであり, ここにあわせて感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) E.W.Lane & W.M.Borland: River-Bed Scour During Floods: Proc. A.S.C.E. August, 1953
- 2) J.M. CALDWELL: Supersonic Sounding instruments and Methods: Proc. A.S.C.E. December, 1950
- 3) W.C.Carey & M.D.Keller: Systematic Changes in the beds of Alluvial Rivers. Proc. A.S.C.E. 1957
- 4) R.J.Garde & K.G.Ranga Raju: Regime Criteria for Alluvial Streams. Proc. A.S.C.E. 1963

- 5) M.S.Yalin: Geometrical Properties of Sand Waves.
Proc. A.S.C.E. 1964
- 6) M.S.Yalin: On the Average Velocity of Flow over a
Movable bed. La Houille Blanche No. 1, 1964
- 7) H.K.Liu & S.Y.Hwang: Discharge Formula for Straight
Alluvial Channels. Proc. A.S.C.E. 1959