

実河川における粗度係数の変化*

内 島 邦 秀

(昭和44年4月30日受理)

Variation of the Coefficient of Roughness in Natural Rivers

by Kunihide UCHIJIMA

Abstract

For the purpose of studying the change of the coefficient of roughness in natural streams, eighty seven data obtained in the Tone River at Kurihashi are used.

Then the author presents the relations between Manning's roughness coefficient (n) and the position of the maximum depth of water area, and between n and the ratio k/R of the roughness height to the hydraulic radius that is known as the relative roughness.

1. ま え が き

平均流速公式における Chézy 公式, Manning 公式は, 流れの抵抗法則あるいは等流の損失水頭の問題において数多く用いられているにもかかわらず, これらの公式中の係数, すなわち, Chézy の係数 C および粗度係数 n については, なお多くの問題が含まれている現状である。

Chézy 公式と Manning 公式との関係式である $C=R^{1/6}/n$ (R : 径深) から, 特に粗度係数 n の性質が平均流速の理論公式である対数公式に結びつけられ, 物理的には壁面の粗滑の高さに基づいて明らかにされているが, 実際の河川での観測資料を用いての実証的追及は, あまり行なわれていないようである。

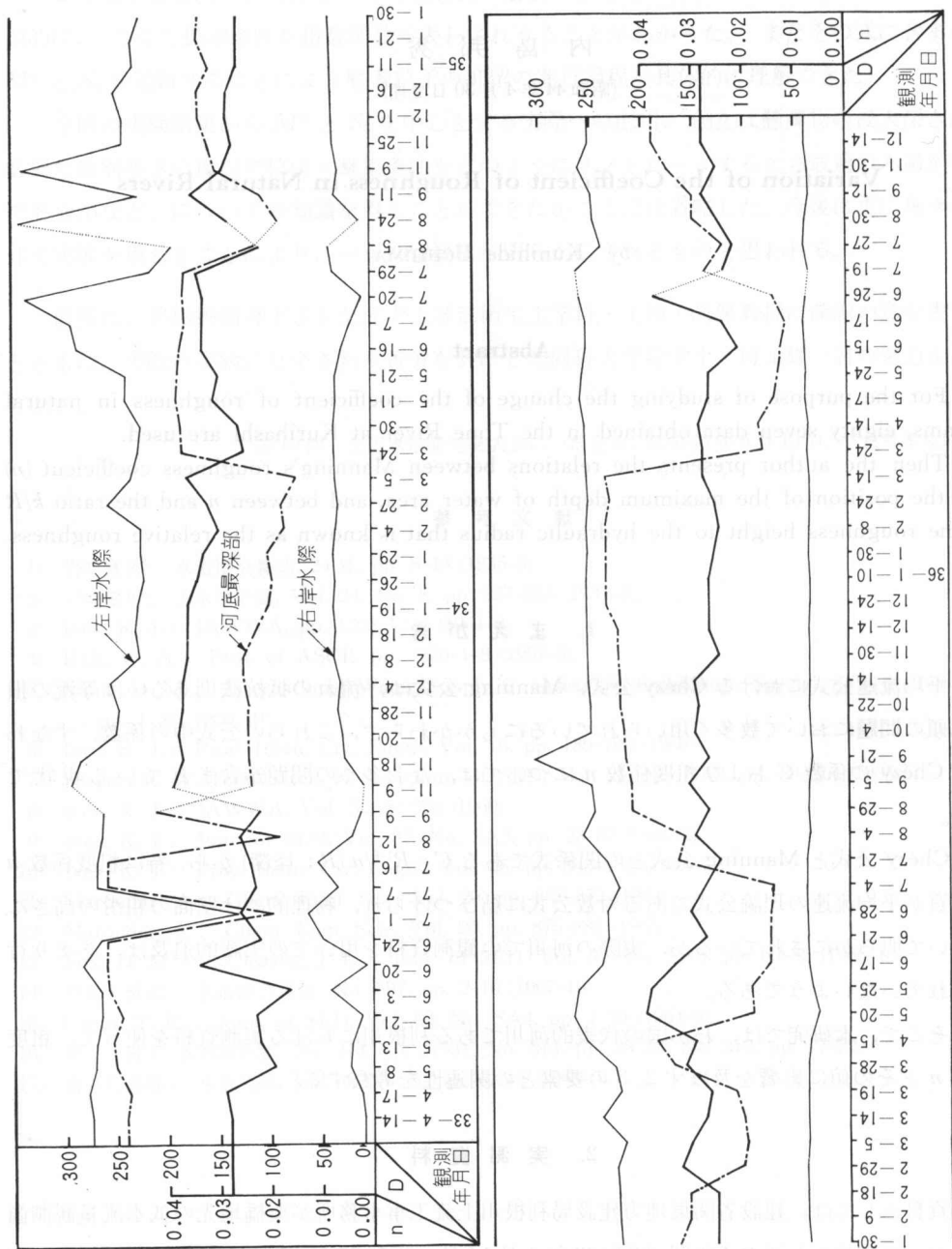
そこで, 本研究では, わが国の代表的河川である利根川における実測資料を使って, 粗度係数 n とその値に影響を及ぼす 2, 3 の要素との関連性を考察する。

2. 実 測 資 料

資料としては, 建設省関東地方建設局利根川上流工事事務所が栗橋地先の低水流量観測箇所において実施した過去4年間(昭和33年4月14日~昭和36年12月14日)にわたる低水流量測定資料87個を使用する。これらの資料には, 右岸基準杭を起点として, 右岸水際から左岸

* 土木学会第23回年次学術講演会(昭和43年10月12日, 名古屋)において一部発表。

水際までの5 m おきに5 cm 単位で測られた深浅測量の結果から、河底横断面図、水面幅 (b)、流水断面積 (A)、流量 (Q)、平均流速 ($v=Q/A$) などが記載されている*。



第1図 粗度係数と河底最深部との関係

* 資料に記載されている事項の詳細は春日屋伸昌著「流量算定式の精度と測定方式の提唱」土木学会論文集第57号(昭和33年7月)に述べられている。

3. 粗度係数と横断面形状との関連

粗度係数の算出は、Manning 公式、

$$v = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2} \quad (\text{m}\cdot\text{sec 単位}) \quad (1)$$

ここで、 v : 平均流速、 n : 粗度係数、 R : 径深、 I : 水面こう配

より、

$$n = \frac{1}{v} R^{2/3} I^{1/2} \quad (1')$$

を用いて行なう。 R については $R=A/b$ (水理水深) とした。 I については、資料に観測箇所水位と上流の自記水位計による水位の同時観測値が記載されているので、これらの量水標間の流心距離を一定 (535 m) とし、この距離で水位差を割ることによって求めた。したがって、すべての資料ごとに (1') 式より n の値を求め、観測年月日に従ってグラフに表わしたものが第 1 図である。

次に、横断面形状については、一般に流水断面積 A の R に対する変化によって代表されているが、本資料では高水および中水流量時のものは欠如されており、 R 、 A の変動は少なく (R は 0.40~1.90 m の範囲、 A は 25~560 m² の範囲)、 n との関係はとらえがたくなる。そこで、河底最深部の位置は横断面形状の一要素と考えられるので、それと n との関連性を考察する。河底最深部の位置は河底横断図より求め、右岸水際および左岸水際の位置とともに基準点からの距離 (D) で表わし、 n との関連性を明瞭ならしめるため同じ第 1 図に表示した。なお、図中の点線部分は高水流量が発生したときで、その部分は高水の生起事実としてのみ関連性もたれる。

第 1 図から明らかのように、一般に低水時の粗度係数は 0.020~0.035 であるが、河底最深部の変動が少ないときほぼ一定の値となり、河底最深部が大きく変動すると、それに伴い粗度係数もおおよそ 0.01 のオーダーで変化していることが知られる。すなわち、

昭和 33 年 9 月 9 日から 11 月 9 日では n は 0.022 から 0.039

昭和 34 年 3 月 5 日から 3 月 24 日では n は 0.036 から 0.025

昭和 34 年 7 月 29 日から 8 月 5 日では n は 0.035 から 0.022

昭和 35 年 2 月 18 日から 2 月 29 日では n は 0.026 から 0.033

昭和 35 年 4 月 15 日から 5 月 20 日では n は 0.030 から 0.040

昭和 36 年 6 月 26 日から 7 月 19 日では n は 0.038 から 0.024

と変化している。一方、昭和 35 年 7 月 4 日から 8 月 29 日までの期間および昭和 36 年 3 月 14 日から 3 月 24 日までの期間においても河底最深部は大きく変動しているが、そのときの n の値はほぼ一定の値を保っている。このことは、昭和 35 年においては高水流量が発生してお

ず、そのために河道が昭和35年6月以後比較的安定していたものと考えられる。

また、河底最深部の変動は高水の発生によるばかりでなく、低水時においても大きく変動しており、3月を契機に周期的変動をとる傾向のあることが知れる。

4. 粗度係数と河床の粗滑の高さとの関連

(1')式を書きかえると、

$$n = \frac{R^{1/6}}{v} \sqrt{RI} = \frac{R^{1/6}}{\sqrt{g} v} \sqrt{gRI} \quad (2)$$

となり、次のように定義される摩擦速度、

$$v_* = \sqrt{gRI} \quad (g: \text{重力の加速度}) \quad (3)$$

を(2)式に代入すると、

$$n = \frac{R^{1/6}}{\sqrt{g}} \frac{v}{v_*} \quad (4)$$

となる。また、 v/v_* は平均流速の対数公式により、

$$\frac{v}{v_*} = A_0 + \frac{1}{\kappa} \log_e \frac{R}{k} \quad (5)$$

ここで、 A_0 : 流速分布に関与する諸要素の関数と考えられる積分常数項、

κ : Kármán 常数 (=0.4), k : 相当粗度

と表わされ、 A_0 の値については、断面形状その他の影響を考慮に入れた Keulegan の値である 6.25 を採用すると¹⁾、

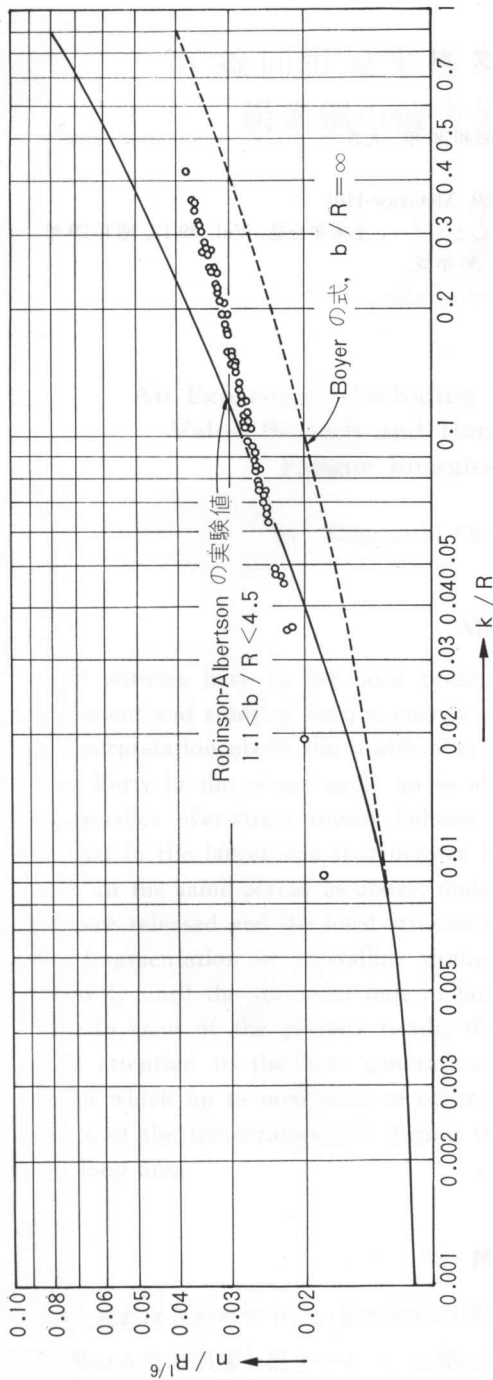
$$\frac{v}{v_*} = 6.25 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{k} \quad (5')$$

とも表わされる。(4)式と(5')式より、

$$\frac{n}{R^{1/6}} = \frac{1}{\sqrt{g}} \left/ \left(6.25 + 5.75 \log_{10} \frac{R}{k} \right) \right. \quad (6)$$

という関係式が求まる。

そこで本資料での $n/R^{1/6}$ の変化に対する k/R (相対粗度) の範囲を明示するため、すべての資料ごとに(3)式により v_* を求め、 v/v_* を計算して、(5')式より無次元量 k/R を算出し、 $n/R^{1/6}$ との関係を図示したのが第2図の○印である。このほかに第2図には Robinson-Albertson の長方形水路での実験値および Boyer が幅の広い矩形水路を考へて、鉛直方向の流速分布を管の場合と同じ対数型と仮定して計算した値も図示しておいた。一般に k/R が増すと $n/R^{1/6}$ も増加しているが、この関係は直線的ではなく、水路幅 b と R との比によって影響を受けるように考えられ、Robinson-Albertson の実験値は $n/R^{1/6}$ の上限界を、Boyer の式は $n/R^{1/6}$ の下限界を与えるとされている²⁾。



第2図 $n/R^{1/6}$ と k/R との関係

本資料での値について考察すると、 k/R は0.06~0.4の範囲で変化し、栗橋地点での低水時の $R^{1/6}$ の値はほとんど1と見なしてよく、 n の0.01のオーダーでの変化に対する k/R の変動は非常に大きくなることが知れる。

5. 考 察

以上の実測資料を用いての計算により、次のことが明らかになった。

(1) 粗度係数 n は、横断面形状の一要素である河底最深部の位置の比較的大きい変動によって、おおよそ0.01のオーダーで変化する。この場合高水流量の発生事実を考慮に入れる必要がある。

(2) 河底最深部の位置の変動は、高水流量の発生によるばかりでなく、3月を契機に周期的に変動する傾向がある。

(3) 本資料が得られた観測箇所においても(5)式が成り立つと仮定すると、 n の0.01のオーダーでの変化は、 k/R の値に大きな影響を与える。

6. あとがき

本報告は、かなり精度の高い実測資料を有する利根川の栗橋地点での粗度係数について実証的追及をしたものであるが、今後は粗度係数と河底最深部の位置との関連性を理論的に研究して行くとともに、他の種々なる特性を有する諸河川についても研究していく意図である。

終わりに、この研究に当って資料を提供

して下さった建設省関東地方建設局利根川上流工事事務所に対して感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 土木学会： 水理公式集, p. 7, 昭和 38 年.
 - 2) 石原藤次郎・本間 仁編： 応用水理学上, p. 97, 昭和 36 年, 丸善.
- そ の 他

Ven Te Chow: Open-Channel Hydraulics, 1959, McGraw-Hill.

本間 仁： 水理学界の現況—粗度係数の問題を中心として—, 土木学会誌, Vol. 39/12, 昭和 29 年.

建設省関東地方建設局： 高水報告書, 昭和 33, 34, 36 年版.

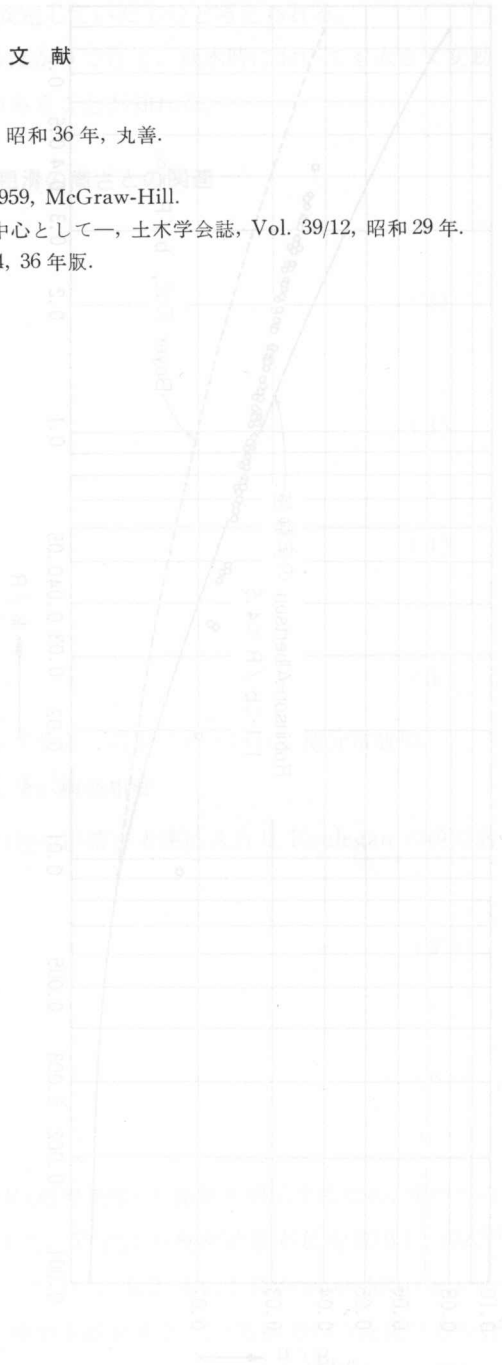


図 1 高水時の水深と流速の関係