

III-15 水路粗度に関する基礎的考察

○ 大阪大学・工学部 正員 室田 明
パシフィック・コンサルタント 正員 白石 哲也

at random な凹凸高さをもつ水路粗面の粗度係数について考える。水路壁面の粗度高さ： ϵ と、Manning の粗度係数： n との間には、一般に次の関係がある。(Keulegan)

$$n = R^{\frac{1}{6}} / \sqrt{g} (6.25 + 5.75 \log \frac{R}{\epsilon}), \quad \text{但し } R: \text{径深。}$$

この際、向題となるのは次の二点であらう。

(1) roughness height: ϵ がある範囲内で全く任意の散らばりをする場合、上式中の ϵ として、どの様な値を用いるべきか。

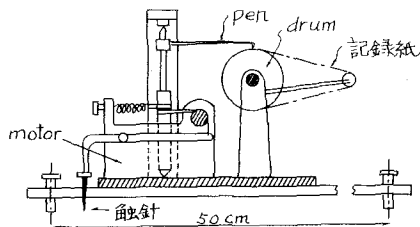
(2) この様な場合、roughness element の間隔： λ が粗度係数にどのような型で影響するのか。及び、 ϵ の定義と同じく、この λ を表示すべき統計値は何か。

適当な粗面計を作り、直接に壁面凹凸形状を測定し、 ϵ 値の分布を統計的に処理して、以上の問題点を解明し、at random な凹凸高さをもつ粗面水路でも上式が適用さるべくその適用範囲を拡大せしめ、最終的には、極めて曖昧な水理常数である粗度係数に、より確定的な表示を与えるのが本研究の目的である。

このため、粗さの既知な砂粒人工粗面をもちき正突験水路を用いて基礎的検討を行うと共に、実際の取水隧道壁面の凹凸形を採取し、 ϵ 値から算定される n と水理諸量の実測値から間接的に求めらる n との比較を行った。

(A) 試作した粗面計： n から逆算される ϵ の値は、

たとえば、コンクリート面の場合 0.5～3 mm の程度であるので、記録紙上には少くとも 10～20 倍の倍率で拡大記録する必要がある。被検査面の凹凸を pick-up するため触針を用い、触針が面を trace する際のその上下変位を機械的に増幅し、触針移動と連動して回転する記録用 drum の上にペン書きせしめる。試作した粗面計の概略を右に示す。



(B) 粗さの統計的取扱：今一定間隔で観測された表面高さ： x_i を考える。もしこの系列に自己回帰性があるば

$$x_t = \sum_i \alpha_i x_{t-i} + \epsilon_t, \quad t = 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

とおくことが出来る。ただし、 α_i は回帰係数、 ϵ_t は正規分布： $N(0, \sigma^2)$ に従う攪乱項とする。さらに、 x_t と x_{t-k} ($k = 0, 1, 2, \dots$) との共分散を V_k とすれば

$$V_k = \sum_i \alpha_i V_{k-i} \quad (2)$$

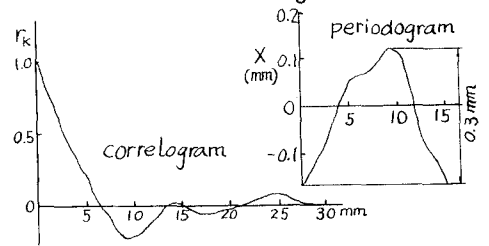
これは $V_0, V_1, V_2, \dots$ が (1) 式から攪乱項を除いた項形をなすことを示す。 x_t と x_{t-k} との相関係数を r_k とすれば

$$r_k = \frac{V(x_t, x_{t-k})}{\sqrt{V(x_t)V(x_{t-k})}} = \frac{V_k}{V_0} \quad (3)$$

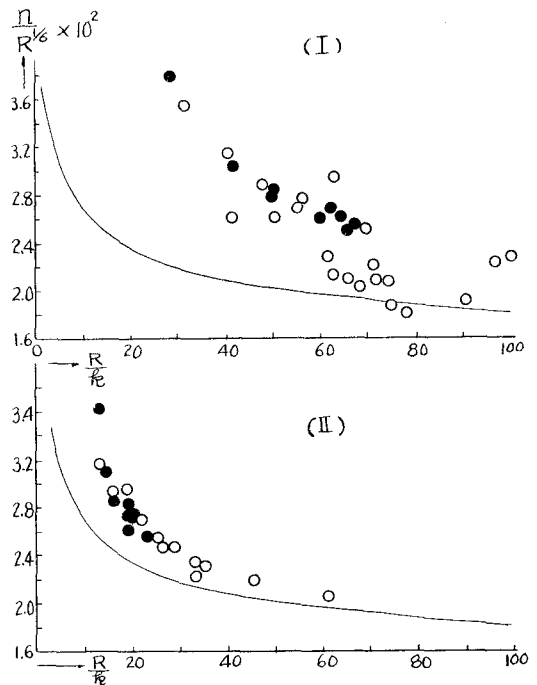
この自己相関係数のグラフ (correlogram) の形から、上の定義により隠れた周期性がはっきり出る。又、波形を分離することも出来る。次に、凹凸形状を代表するものとして Periodogram を用いる。その原理は、auto-correlation から見出される周期：これがその系列にあるば、この系列を它だけずらして重ね合すると、周期が、又はその整数倍の周期性以外の変動は消えてしまい、凹凸高さの平均値を求めるのに都合のよい凹凸形状を与えるからである。

(c) 砂粒人工粗面を用いた基礎実験：予め節分けした砂粒をベニヤ板に糊付けし、この砂粒粗面ベニヤ板を $25\text{cm} \times 30\text{cm}$ 矩形断面直線 (勾配可変) 水路に内張りして実験を行う。砂粒を2種 (A砂: $5\text{mm} > d_m \geq 2\text{mm}$, B砂: $2\text{mm} > d_m > 0.85\text{mm}$) とし、その2種の配合を、A砂とB砂の容積比が 1:3, 1:1, 3:1 の如き3種の配合のものを、用いて砂粒粗面を作製する。従つて、この内 3:1 のものが最も rough な粗面となる。

粗面計による測定凹凸形から correlogram, & periodogram を計算し、その一例を示せば右図の如くである。ただし、配合: A砂/B砂 = 1/3, 右図によれば、correlogram による粗さ間隔は約 4 mm, periodogram による最大高さ 0.3 mm, 信頼度: 1.16 とする。



流量、勾配、水深等の実測水量から求めた粗度係数と、凹凸高さの平均値として定義される R との関連を図示すれば右図 (I) の如くである。次に、 R として Nikuradse の如く砂粒の平均粒径を用いて整理すれば右図 (II) の如くである。なお、砂粒粗面の凹凸高さの平均値と、砂粒自身の平均径とは勿論一致せず、たとえは均一径砂粒による場合、凹凸高さは平均径の 40% 程度となる。



一般に既設水路では、砂粒平均粒径なる概念は勿論、全く意味がなく、測定されるのは凹凸の平均高さであるから、結果のみより良好な図 (II) を用いるためには、後者を前者に換算する必要がある。 $\alpha \equiv (\text{砂粒平均径} / \text{凹凸平均高さ})$ とおけば我々の場合、いつれの配合砂でも $\alpha \approx 2.7 \sim 3.3 \approx 3.0$ とする。

尚、 $R/k \approx 0.3$ であつて、ほぼ擬似滑面流の領域に入るであらう。尚、取水隧道の実測例は講演の際、報告する。