混合砂れきからなる固定床の抵抗法則

立命館大学理工学部　大同淳之

1　はしがき

急こう配の自然河道では，砂れきの淘汰が十分でないため，粒径分布が大きく，加えて水深に比して粒径が大きい。このような流れで，粗度要素としての砂れきの特性を，どのように評価するのが妥当かについては，必ずしも明らかでない。たとえば，流速式に対数則の成立を許すとしても，砂れきの代表径と相当粗度 k の関係，流れの基面のとり方について不明な点が残されている。とくに河床面から突起する砂れきが散在する場合，突起した砂れきのしゃへい効果を考慮する必要があるので，砂れきの大きさのほかに，平面的な分布特性を導入する必要がある。

砂れきの平面的な分布特性を測定し，何らかの尺度で，k と結びつけることは，小規模の実験水路では可能であるとしても，実際の河道において同様な方法を用いることは事実上困難である．一つの方法として，河床砂れきの粒径分布を容積で測定して，それから河床面の粒径分布を模似的に知ることが考えられる。本文では，以上の考え方にしたがって，ある面に現われる，れきの量を知るため，粒径の等しい粗れきが砂の中に含れた場合について，容積率と面積率さらに混合中に現われる粗れきの量について考察した。

2. 混合砂れきからなる固定床の抵抗法則

1)　抵抗則における粗度要素の分布特性の重要性

流れに対するまさつ抵抗に，水路床に突起する粗度の高さと間隔が関係することは，すでに多くの研究によって指摘されている．著者も比較的凹凸の少ない砂れき面のところどころに粗れきが突起する場合の抵抗について考察し，突起物の平均間隔が L である場合について，突起がある場合の抵抗係数 f_r と砂面の抵抗係数 f_s の比をつぎのように表わした。[1)]

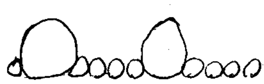


図1．河床のモデル

$$f_r/f_s=(1-\beta)+C(2.3/\kappa)^2+(\delta/\alpha k)^{2P}\cdot A^2\cdot C_D\cdot(k/L)^2 \qquad (1)$$

ここに，β は突起した粗度が占める面積率，C は流れに直交する砂れきの形状係数，κ は universal const．δ は後流層の境界の高さ，α は砂れきの高さを相当粗度 k に変換する補正係数，A_3 は平均流速を対数則で表現したときの補正係数，C_D は砂れきの抵抗係数，k/L は粗度要素としての相対間隔である。従来の研究と同様に，(1)式は k/L の関数として表される．また，式中の抵抗係数 C_D は，粗度要素としての突起した砂れきの間隔によって異なる．Raju の測定によると，L/K が 20 以上になると孤立粗度の抵抗係数に近ずくが，それより L/K が小さくなると，抵抗係数が小さくなることが示されている．彼の測定結果を再整理すると，抵抗係数と粗度前面の流速でなく，流れ全体の平均流速で整理する結果，流れの水深とも関係し，

$$1/\sqrt{C_D}=a\cdot\log(h/k)+b \qquad (2)$$

と表現され，係数 a, b は粗度の間隔 k/l の関数であることが示された。その結果(1)式は

$$f_r/f_s=(1-\beta)+c(2.3/\kappa)^2(\delta/\alpha k)^{2p}\left[A_3^2/\left\{a(\tfrac{k}{l})\log(h/k)+b(\tfrac{k}{l})\right\}\right](k/l)^2 \tag{3}$$

となり，k/l が重要な役割を示す。この式を実験値に適用した結果，k/l の評価に問題を残したが，比較的実験値と一致することを示した。この式をさらに有用にするためには，不規則な砂面の形状の普遍的な表示法の開発が必要である。

2) 粗れきの容積率と断面における面積率の関係

A) 均一な粒径の二種の混合からなる場合

a) 面積中に占める割合；一辺の長さ L の立方体で限られた体積要素を考え，この立方体の表面から Z の位置にある，表面に平行な面を考える。$A(z)$ をある一つの面が体積中の粗れきと交ってできる面積とすると，この面で粗れきが占める面積率は，$A_A(z)=A(z)/L^2$ である。Z の区間にわたって平均された $A_z(Z)$ の期待値 $E(A_A)$ は

$$E(A_A)=\overline{A_A}=\int_0^L A_A(z)\cdot f(z)\,dz \tag{4}$$

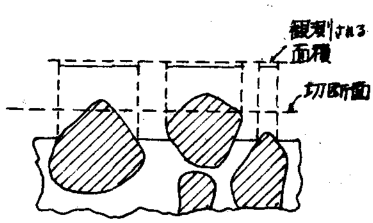
となる。ここで，$f(z)dz$ は，一つの面が z と $z+dz$ の間にある確率である。この面があらゆる位置にわたって均一に分布していて，ある面が任意の区間にある確率が，他の区間における確率と同じであるとすると，$f(z)\cdot dz=dz/L$ となり

$$\overline{A_A}=\int_0^L A_A(z)\,\frac{dz}{L}=\int_0^L\frac{A(z)\,dz}{L^3} \tag{5}$$

となる。$\int_0^L A(z)dz$ は，立方体 V の中の粗れきの全体積であるから，(5)式は

$$\overline{A_A}=V/L^3=\text{体積率} \tag{6}$$

と表される。この結果から，特定粒子の体積率は，ある断面のその粒子が占める面積率だと考えることができる。実際には図2に示すように，理論上切断した面と観測される面との間には差が生ずることが予想される。薄い間隔の面で粗れきを切ったとき，それぞれの面のれきの要素は，一個のれきの二つの面からなり，面によってきられた断面を投影したものの共通部分は $\overline{A_A}$ の率を示し，その間の部分の投影面積が観測値に寄与する。この値は，突起している粒子の厚さとれきの表面積に関係する。これと同じ考え方で，断面内のある線分中にれきの占める割合 L_L を求めると，



$$L_L=\overline{A_A} \tag{7}$$

となって，体積率と同じ割合となる

b) 断面内の粗れきの平均間隔；これについては Fullman の研究[2]があって，粒子の表面から表面までの平均距離 l_p は

$$l_p=(1-L_L)/[(1/2)N_L] \tag{8}$$

と表されている。ここに L_L は上と同じ線分率，N_L は線分の単位長さあたりの粗れきが横切る点の数である。以上の考え方から粗度間隔しをきめ，実際と比較した結果は講演時に述べる。B) 混合粒径を場合についても講演時にふれる。

参考文献 1) 大同淳之；混合砂れきからなる固定水路床の抵抗、第29回年次学術講演会(土木学会)，昭49.10

2) R. Fullman ; Measurement of Particle Size in Opaque Bodies, Trans Met. Soc. AIME 197 477 (1953)