

II-140

流水による粘土分を含む砂れきの移動に關係する粘着力の実験的検討

北見工業大学工学部 正会員 早川 博
北見工業大学工学部 正会員 内島邦秀

1. はじめに 実際河川の河岸や堤防、あるいは山地河川の河道を構成している粘土分を含む砂れき等の粘着性材料の流砂現象は、非粘着性材料に比べまだ十分に解明されたとは言い難い。例えば、芦田・江頭・加本¹⁾は粘土を含む砂れきの移動限界を理論的に明らかにしたが、砂れきに含まれる粘土の粘着力をどのように評価するかという問題が残されている。本研究はこの粘着力を土質試験から得られた粘着力で評価し、それが適用可能かどうかを実験的に検討した。

2. 移動限界と粘着力 芦田・江頭ら¹⁾は、単一粒径砂と粘土の混合物（これ以降、粘着砂と呼ぶ）を対象に、粘着力を受ける砂粒子の無次元限界掃流力 τ_{s00} を砂粒子の限界掃流力 τ_{s0} と粘土を含むことによる限界掃流力の増分 $\Delta\tau_{s00}$ の和で表示し、 $\Delta\tau_{s00}$ を次のように表している。

$$\tau_{s00} = \underbrace{(\mu_s \cos \theta - \frac{1}{\sigma - 1} \sin \theta) \frac{\phi_s}{\mu_s}}_{\tau_{s0}} + \underbrace{\frac{k_1 d^2 f_c}{(\rho_s - \rho) k_3 d^3}}_{\Delta\tau_{s00}} \frac{\phi_s}{\mu_s} \dots \dots \dots (1)$$

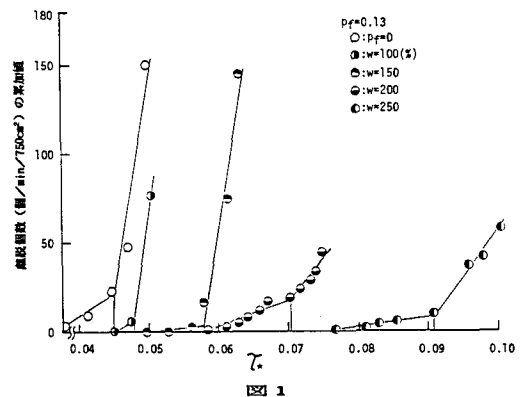
$$\Delta\tau_{s00} = \frac{3n}{2} \frac{f_c}{(\rho_s - \rho) g d} \left[\left\{ 1 + \frac{1}{1 - \lambda} \frac{p_f (1 + \sigma w)}{p_f \sigma w + 1} \right\}^{2/3} - 1 \right] \frac{\phi_s}{\mu_s} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 d ：砂粒子径、 ρ_s ：砂粒子密度、 ρ ：水の密度、 $\sigma = \rho_s / \rho$ 、 f_c ：粘土の粘着抵抗力、 $k_1 d^2$ ：粘着抵抗に寄与する粘土の粘着面積、 k_3 ：砂粒子の形状係数で球形の場合には $\pi/6$ 、 p_f ：粘土の含有率、 w ：粘土の含水比、 λ ：空隙率、 n ：他の粒子との接点数、 $\phi_s = \text{Shields}$ パラメータ、 μ_s ：静摩擦係数である。あらかじめ f_c 、 λ 、 w および p_f が分かっているならば(2)式から $\Delta\tau_{s00}$ を推定することができるが、すでに粘土と砂粒子が混ぜられた粘着砂から f_c 等を求めることは難しい。そこで土質試験で求めた粘着力 C と $\Delta\tau_{s00}$ の関係を誘導してみる。

粘性土の粘着力を求める方法には、一軸、三軸圧縮試験、直接せん断試験、ベーン試験等がある。本研究では一軸圧縮試験を適用して粘着砂の粘着力 C を求めた。一軸圧縮試験は供試体に軸方向の圧縮力を加えると、軸方向に対して傾斜した面（破壊面）でせん断される。このときの軸方向の最大圧縮応力（一軸圧縮強さ）と内部摩擦角 ϕ から粘着力 C が算定される。一般に、破壊面におけるせん断強さは粒子間にある粘土の粘着力と砂粒子同士の摩擦力の和で表される。いま、砂粒子同士の摩擦力が粒子間にある粘土の影響を受けない（ $\phi = \text{一定}$ ）と仮定すると、 $C = f_c \cdot S / A$ （ A ：破壊面の軸方向への投影面積、 S ： A に占める粘土の粘着面積）となり、 C は S の値によって変化すると考えることができる。すると破壊面への砂粒子一個の投影面積に占める粘着面積 $k_1 d^2$ の比が S/A に等しいと考え、これを(1)式に代入すると $\Delta\tau_{s00}$ は次式のように誘導できる。

$$\Delta\tau_{s00} = \frac{C \pi d^2 / 4}{(\rho_s - \rho) g k_3 d^3} \frac{\phi_s}{\mu_s} \dots \dots (3)$$

3. 実験の概要 実験には粘土としてベントナイト砂粒子としてガラスビーズを用いた。ベントナイト（日本礦研㈱製黒石ベントナイト）は液性限界 $LL = 200$ 、塑性限界 $PL = 40$ で、自由落下方式によるコーン試験²⁾から粘着力 C_0 を求めた。ガラスビーズは $d = 5\text{mm}$ 、 $\sigma = 2.53$ 、 $\lambda = 0.388$ および $\mu_s = 0.577$ である。試料は粘土の含水比 $w = 100, 150, 200, 250\%$ 、含有率 $p_f = 7.0, 9.1, 13.0\%$ の各条件を組合せ、モルタルミキサーを用いて練り混ぜた後、所定の試験方法に準



じて一軸圧縮試験を行った。

次に粘着砂の移動限界を知るために、一軸圧縮試験と同じ条件の試料で水路実験を行った。水路は全長6m、幅20cmで片面ガラス張りの木製勾配可変水路で、底面にガラスビーズを張り付け、上流端から3.6m地点に15cm×50cmの移動床部分を設けた。ここに粘着砂を敷き詰め、無次元掃流力 τ_* とガラスビーズの移動個数を測定した。 τ_* はガラスビーズの頂部から2mm下方を基準面として測定した水深 h を用いて算出した。 $p_f=13.0\%$ のときの移動床部分(750cm²)から一分間当りに移動したガラスビーズの累加個数 N と無次元掃流力 τ_* の関係を、 w をパラメータにして図1に示す。ガラスビーズの無次元限界掃流力は岩垣式から求めると $\tau_{*c}=0.05$ となるが、本研究では図1のように移動個数が急増する地点を移動限界と定義して、 $\tau_{*c}=0.045$ とした。粘着砂も同様にして無次元限界掃流力 τ_{*c} を求め、 τ_{*c} との差から $\Delta\tau_{*c}$ を算出した。

4. 実験結果と考察 図2は粘着砂の粘着力 C と含水比 w の関係を含有率 p_f をパラメータにして図示したもので、ベントナイトの粘着力 C_0 も併記した。図から C は p_f が一定の場合 w の増加とともに減少しているが、 C_0 と比べるとその減少の割合は小さい。これは w の増加にともなって粘土の粘着面積が増大する影響が C に現れた結果で、2.の考えが妥当であることを示している。同様に w が一定の場合に p_f の増加とともに C が大きくなることから分かる。しかし粘土が砂粒子の空隙以上を占めるとき、つまり砂粒子が粘土中に浮いている状態では ϕ ＝一定という仮定が成り立たず、 $p_f=13.0\%$ で $w=200\%$ 以上の場合に C が小さめになる傾向がみられる。

次に(3)式及び(2)式($f_0=C_0$)で計算した $\Delta\tau_{*c}$ と実験値を、 p_f をパラメータにして図3にプロットした。図から計算値は共に実験値よりかなり大きくなっているが、(3)式の値が実験値と同様の傾向を示していることが分かる。そこで補正係数 r (=実験値/計算値)を導入することによって、 $\Delta\tau_{*c}$ の概略値を推定することができると考えられる。また、流水中の砂粒子の移動を観察すると、砂粒子は粘土からはがれるようにして離脱し、砂粒子間の粘土も一部が流されて粘着面積が減少している。つまり、砂粒子が粘土からはがれるときの粘着力は土質試験から得られる粘土の粘着力よりかなり小さく、粘着面積の減少とも併せて、これが計算値を過大にした原因ではないかと思われる。今後砂粒子に作用する粘土分の粘着力について検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 芦田和男・江頭進治・加本 実：山地流域における侵食と流路変動に関する研究(1)―粘着性材料を含む砂れきの移動限界と流砂量―，京大防災研究所年報，第25号B-2，pp.349-360,1982。
- 2) 北郷 繁：液性限界測定法に関する実験，土と基礎，Vol.13 No.9，pp.13-18,1965。

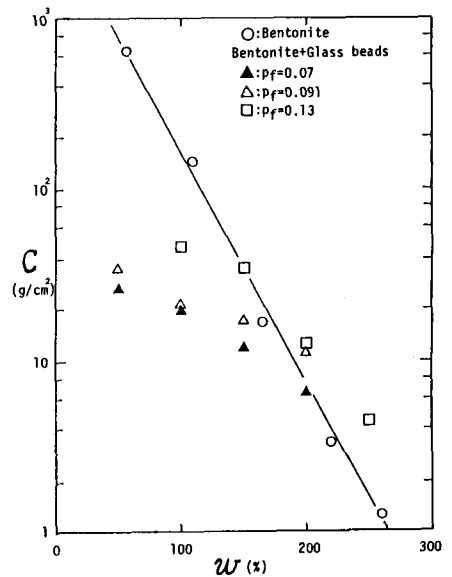


図2

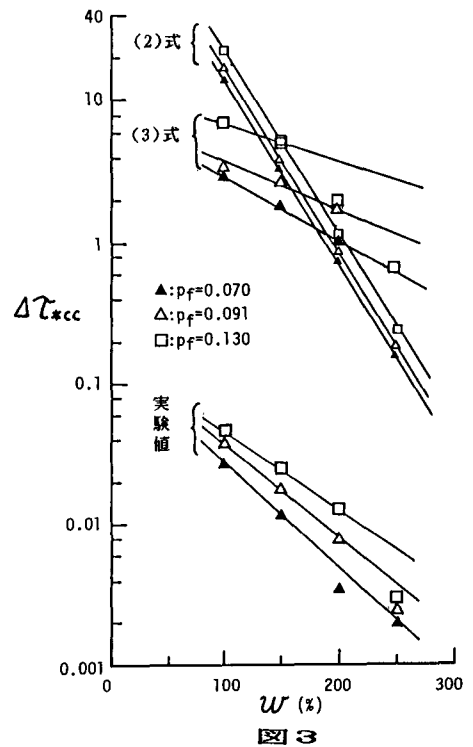


図3