

河岸・溪岸の粘着性土の侵食に関する実験的研究

財団法人建設技術研究所 ○小田 晃・長谷川祐治
 京都大学大学院農学研究科 水山高久
 筑波大学大学院農林工学系 宮本邦明

1. はじめに 河岸・溪岸侵食による山腹崩壊は新たな土砂生産源となり土砂氾濫の原因となる。そのため、河岸・溪岸侵食の予測は重要なテーマとなっているが、現地の河岸・溪岸は一般に粘着性を有するため困難である¹⁾。したがって、河岸侵食予測のための簡易な現地における侵食実験手法の確立が望まれている。ここでは、そのような手法の確立のため、粘着性を有する材料の侵食速度と粘着力等の関係について、噴流による侵食実験と、矩形水路での侵食実験、ならびに土質試験を行い検討した結果を報告する。

2. 噴流実験概要 市販の粘土、平均粒径 0.25mm のほぼ均一な砂、その砂に重量比 2.5~20% の割合でベントナイトを混ぜた材料、並びに現地の河岸に対して噴流による侵食実験を実施した(表-1, 2)。噴流は水平に噴射させ、対象とする材料面に対して直角に当てた。噴流を発生させる機器は市販の噴霧器のノズルを直噴用ノズル(ノズル直径 1.2mm)に取り替えたものを使用した。粘着性材料の粘着力は三軸圧縮試験から求めた。なお、現地の噴流侵食実験は桜川(茨城県つくば市)の河岸 2箇所で行った。

3. 噴流実験の結果

3.1 粘着力と侵食速度の関係 侵食速度と粘着力の関係を図-1 に示す。シルトと粘土は粘着力が増加すると侵食速度が減少する。また、同程度の粘着力(10kN/m²)でも砂質材料の方がシルトより侵食速度が約 4.0 倍速くなる。砂質材料で比較すると、砂は、砂に重量比 2.5% の割合でベントナイトを混ぜた材料より侵食速度が速くなる。粘着力の弱い砂質材料は、同程度の粘着力であっても侵食速度が大きく変化する。このことから、粘着力以外の要因により侵食速度が変化すると考えられる。

3.2 粒径と侵食速度の関係 図-2 に粒径と侵食速度の関係を示す。砂質材料に着目すると、粒径が大きい方が侵食速度は速くなる傾向にある。一方、シルト(○)と細かい砂質材料(△・▲)では、図中の点線のように侵食速度は粒径の 1 乗に比例する傾向が見られる。そういう観点からすると、粘土(×)では、相対的に侵食が早く進んでいると評価することが可能で、粘土が団粒状(塊状)に剥離することにより侵食が生じていることを示唆している。

4. 水路での侵食実験概要 水路での侵食実験は幅 50 cm、勾配 1/20 の矩形断面水路を使用した。水路底面に幅 10cm、長さ 2.0m、深さ 5.0cm のピットを設け、その中に材料を転圧して敷き詰め実施した(表-3)。対象材料は砂+ベントナイトと粘土(試料 No. 9)である。通水開始時と通水停止時には、急激な侵食を防ぐため水路下流端に設置した堰を操作して水位を調節した。なお、侵食速度の遅い粘土のケースを除き、侵食速度は、通水開始から 8~10

表-1 噴流実験の条件

| 項目 | 条件 |
|-----------|----------|
| 噴射継続時間 | 10~30sec |
| 噴射距離 | 50cm |
| 噴流口での平均流速 | 23.9m/s |

表-2 実験に使用した材料一覧表

| 試料 No. | 分類 | d ₆₀ (mm) | 備考 |
|--------|----------|----------------------|----------------|
| 1 | シルト | 0.037 | 桜川下流 |
| 2 | シルト | 0.054 | |
| 3 | 細粒分質砂 | 0.265 | |
| 4 | 砂質礫 | 8.2 | |
| 5 | 砂質礫 | 7.75 | 桜川上流 |
| 6 | シルト | 0.035 | |
| 7 | シルト | 0.069 | |
| 8 | 砂質礫 | 15.8 | |
| 9* | 粘土 | 0.01 | 市販粘土 |
| 10 | 粘土 | 0.01 | |
| 11 | 粘土 | 0.0045 | |
| 12 | 粘土 | 0.0106 | |
| 13 | 粘土 | 0.008 | |
| 14* | 砂+ベントナイト | 0.25 | ベントナイトの割合 2.5% |
| 15 | | | 10% |
| 16 | | | 20% |
| 17* | | | 0% |
| 18* | 砂 | 0.25 | |
| 19 | | | |

注) 試料 No の添え字「*」は水路実験も実施した材料

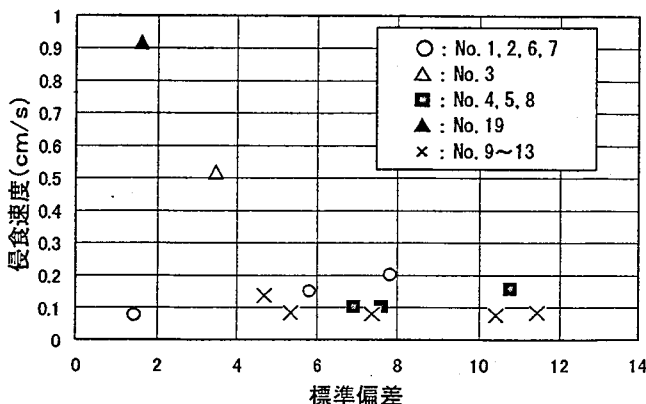


図-1 粘着力と侵食速度の関係

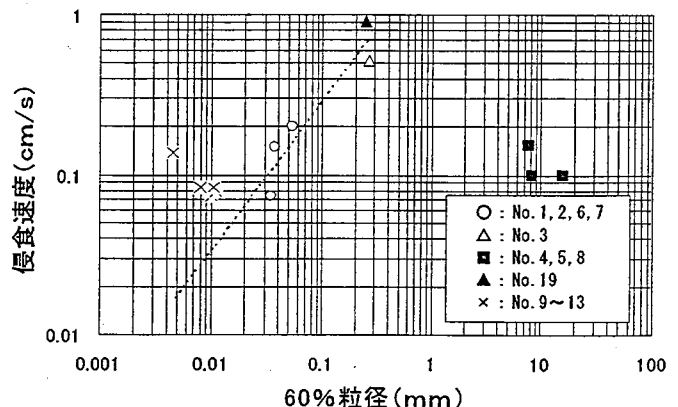


図-2 60%粒径と侵食速度の関係

分後までの侵食深をもとに求めた。

5. 水路での侵食実験の結果 ベントナイトを混ぜた材料を対象とした水路での侵食実験の結果を図-3に示す。摩擦速度は侵食速度の1.3~2.4乗に比例しており、例えば、粘土を対象とした関根ら²⁾による侵食速度に関する研究で摩擦速度の3乗に比例するとする結果と異なっている。今回対象とした材料が粘土ではなく、粘着性を有する砂質土であるが乗数の違いが現れていると考えられるがこの点についてはさらに検討が必要である。また、ベントナイトの割合が低下するに従い侵食速度が速くなる。明らかに材料の物性によるものであり、この傾向は噴流実験からも示されている。なお、粘土の侵食速度は143時間後の侵食深をもとにすると、 $1.95 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ となり砂+ベントナイトの材料よりもオーダー的に $10^3 \sim 10^4$ 遅くなる結果となった。

6. 噴流と水路による侵食実験の関連 噴流実験では侵食に伴い地表面が受ける掃流力が変化する。そこで、噴流実験で計測した10, 20, 30秒毎の侵食深をもとに、噴流によって地表面が受ける掃流力を開水路の等価な摩擦速度として評価する実験式を以下の手順で求めた。まず、噴流実験での各計測時間 t と侵食速度 E の関係を $E = a_1 t^{b_1}$ (式(1))、水路実験の摩擦速度 u_* と侵食速度 E の関係を $E = a_2 u_*^{b_2}$ (式(2))とする。乗数は $b_1 = -0.5$ 、 $b_2 = 1.86$ とし、ここでは一定とした。これらの式の左辺が等しいとすると、摩擦速度と時間の関係は次式のようになる。

$$u_* = \left(\frac{a_1}{a_2} \right)^{\frac{1}{1.86}} t^{-0.27} \quad (3)$$

係数 a_1 、 a_2 はベントナイトの割合により変化する(図-5)。式(3)による各試料の時間と摩擦速度の変化を図-6に示す。

7. おわりに 粘着性を有する材料の噴流と水路による侵食実験から、共に粒径が侵食速度に大きく影響すること、また粘着力により侵食速度が減少することが示された。両実験から得られた侵食速度から、噴流によって地表面が受ける掃流力を開水路の等価な摩擦速度として評価する実験式を求めた。今回の実験では噴流の条件がひとつしかなく、河床材料の粒径範囲も狭いためここで得られた実験式の普遍性や適用範囲について議論することができない。今後は噴流や河床材料の条件を変えて実験を行うと共に理論的な考察を加える必要があると考えている。最後に、本研究に当たり土質試験を担当していただきました土浦ジステック(株)の渡辺原太氏、並びに桜川での噴流実験に御配慮いただきました茨城県土浦土木事務所、桜川漁業協同組合に感謝の意を表します。

参考文献 1) 澤井健二:粘着性土の侵食と堆積, 1994年度水工学に関する夏期研修会講義集 A コース, p. A-4-1~17, 1994. 他 2) 関根正人・西森研一郎・藤尾健太・片桐康博:粘着性土の侵食進行過程と侵食速度式に関する考察, 水工学論文集, 第47巻, pp. 541-584, 2003.

表-3 水路実験の条件

| ベントナイトの重量比 | 流量 |
|------------|-----------------|
| 2.5% | 2.0ℓ /s |
| 10% | 2.5, 10, 20ℓ /s |
| 20% | 2, 10, 20ℓ /s |
| 粘土(市販品) | 20ℓ /s |

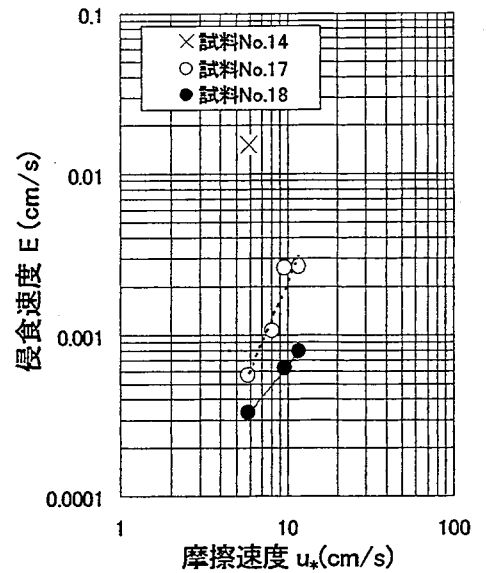


図-3 摩擦速度と侵食速度の関係

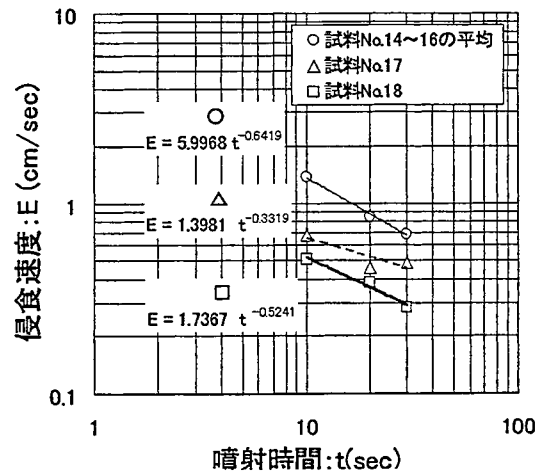


図-4 噴射時間と侵食速度の関係

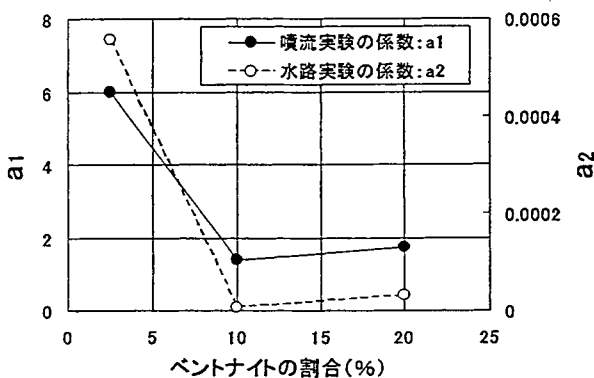


図-5 ベントナイトの割合と係数の関係

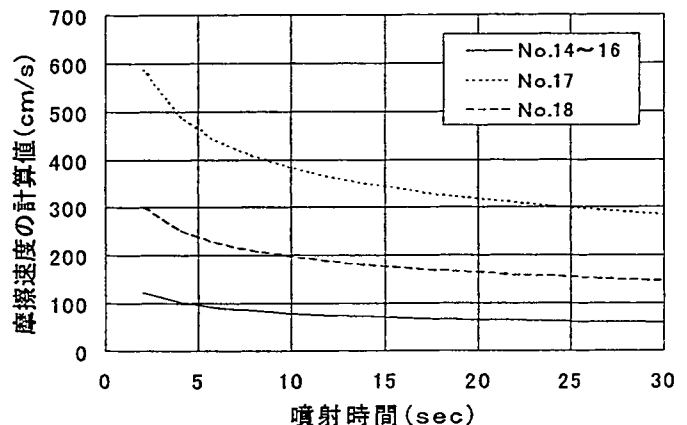


図-6 噴射時間と摩擦速度(計算値)の関係