

粘土の浸食速度とこれに及ぼす湿潤乾燥履歴の影響

早稲田大学大学院 学生員 ○西森 研一郎
 早稲田大学理工学部 正会員 関根 正人
 早稲田大学理工学部 学生員 樋口 敬芳

1. はじめに

著者らは、粘土と砂ならびに水が混じり合った材料を「粘着性土」と定義し、その浸食機構を力学的に理解するとともに、浸食速度予測式を誘導することを目指した実験的検討を継続して進めてきている。これまでの研究は均質な粘着性土を対象としたものであり、摩擦速度、水含有率（含水比）、粘土含有率、水温等が浸食機構に影響を及ぼす主たる支配因子であることを見出し、その各々の影響の定量的な評価を行ってきた（以下、これを「スタンダード試験」と呼ぶ）。さらに、この成果を踏まえて浸食速度式の誘導も試みている¹⁾。本論文では、まずこのことについて論じる。

次に、実験室におけるこれまでの理想的な均質状態にある粘着性土から、実際の水域に自然堆積している不均質な粘着性土へと研究の対象を移した研究を進めてきた。ここでも実用的に十分な精度をもって浸食速度を予測可能とすることを目指している²⁾。河川感潮域や干潟などに堆積している粘着性土は、潮の干満の影響により海面が12時間周期で上下動を繰り返す影響を受け、水に浸る湿潤期間と大気に曝される乾燥期間とを交互にしかも周期的に経験することになる。本研究では、この「湿潤・乾燥の履歴」が粘着性土の浸食過程に与える影響を系統的に調べている。検討の結果、「湿潤・乾燥の履歴」を受ける日数の経過に伴い、粘着性土供試体の含水比に変化が現れ、それが浸食速度に影響を与えることがわかった。本論文では、この点についても詳しく報告する。

2. 均質な粘着性土の浸食速度式

まず、均質な粘着性土を対象に行われたスタンダード試験の結果と、その結果に基づき誘導された浸食速度式について説明する。

実験対象とする供試体は、市販の粘土（TAカオリンとSAクレイ、関東ベントナイト鉱業（株））と珪砂ならびに水からなり、これらを所定の重量比率となるように用意し、均質に機械的に練り混ぜたものを用いた。実験の具体的な手順や装置等の詳細については、著者らのこれまでの研究^{たとえば1)}を参照されたい。

図-1に実験結果の一例を示す。図-1は、横軸には摩擦速度 u_s を、縦軸には浸食速度 E_s を水含有率 R_{wc} （粘土に対する水の重量比、粘土含有率が100%である本研究においては含水比と同義）の2.5乗で除

した値 $E_s/R_{wc}^{2.5}$ をそれぞれとって、両対数グラフの形で整理した結果を示してある。この図より、浸食速度 E_s は、水含有率 R_{wc} の2.5乗、摩擦速度 u_s の3乗に比例することが確かめられた。

また、この結果を踏まえて、浸食速度式を誘導すると次のようになる。

$$E_s = \alpha \cdot R_{wc}^{2.5} \cdot u_s^3 \quad (1)$$

この式中の α は $[(\text{cm}/\text{sec})^{-2}]$ の次元を持っており、主として粘土の種類や水温に依存する係数である¹⁾。

3. 湿潤乾燥履歴を受けた粘着性土の浸食速度

次に、湿潤乾燥履歴を受けた粘着性土の浸食実験について説明する。実験に用いた供試体としては、スタンダード試験と同様の手順で作成された粘着性土に、6時間毎に湿潤・乾燥の履歴を与えたものを用いた。湿潤過程では、作成した供試体を水深10cmの下で静置するものとし、乾燥過程では、室温が25℃の下で自然乾燥させるものとした。この乾燥過程においては、圧密により表面に浮き出てきた間隙水は適宜除去し、供試体表面が常に大気に接している状態を保ちつつ乾燥させており、熱を加えるなどして強制的に乾燥を促進させることはしない。6時間という時間設定は、実際の潮の干満が12時間周期であることを考慮したものであり、6時間毎に供試体の含水比・圧密量を測定したほか、別途用意した供試体を用いた浸食試験を行なっている。浸食実験については、摩擦速度 $u_s = 7.59 (\text{cm}/\text{s})$ 、通水時間10分の条件下で行った。後掲の図は、一例として、水温が18～22℃の主として夏季のデータをまとめた結果であり、水温による影響については別論文²⁾を参照されたい。

まず、含水比の測定結果を図-2(a)に示す。ここで、図の横軸上に太線を付した期間では6時間の湿潤状態、付していない期間では6時間の乾燥状態とすることで、湿潤乾燥履歴を繰り返し与えてある。この図より、供試体の含水比は、日数の経過に伴い低下していくことがわかる。また、この低下については、経過日数が1日程度までは急激に進み、その後は緩やかになる。TAカオリンの液性限界は、対象とする水温範囲では53.6%であることがわかっており、日数が経過するにつれてその値の近傍に漸近していく傾向が見てとれる。次に、浸食速度の測定結果を図-2(b)に示す。経過日数が1日程度までは、浸食速度は大きな値をとることがあるが、さらに日数が経

キーワード 粘着性土、浸食速度、浸食速度式、湿潤・乾燥履歴

連絡先 〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1 Tel 03-5286-3401 Fax 03-5272-2915

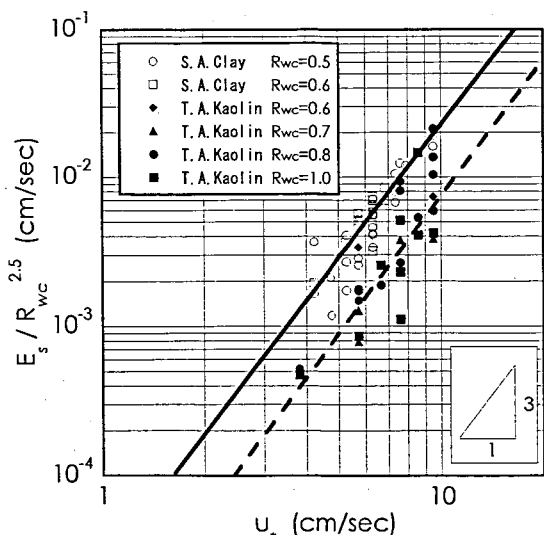


図-1 摩擦速度 u_s と浸食速度 E_s の関係

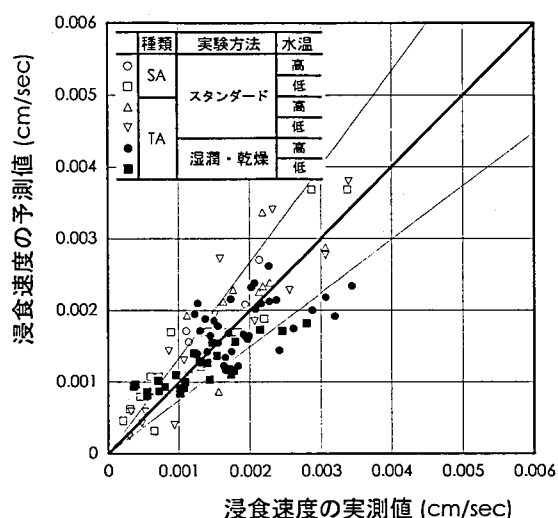


図-3 浸食速度の実測値と予測値の比較

過するとほぼ一定の値となることがわかる。しかしながら、経過日数が1日程度の供試体では、その表面に局所的に含水比が高い地点が現れ、それに起因する含水比の不均一性のために大規模な浸食が起こる可能性があること、また、3日以上経過した供試体は、含水比が液性限界に漸近する傾向があるため、ほとんど浸食が生じない状態に至ること、などが確認されている。

図-3には、式(1)によって算出された浸食速度の予測値と実測値とを比較した結果を示す。上述の特別な浸食形態をとる特異な場合を除けば、スタンダード実験から導かれた浸食速度式がそのまま適用可能であることが確認された。

4. おわりに

以上のように、湿潤・乾燥の履歴を受けた粘着性土にも式(1)の浸食速度式が適用できることがわかった。しかし、日数の経過に伴い含水比が低下し、

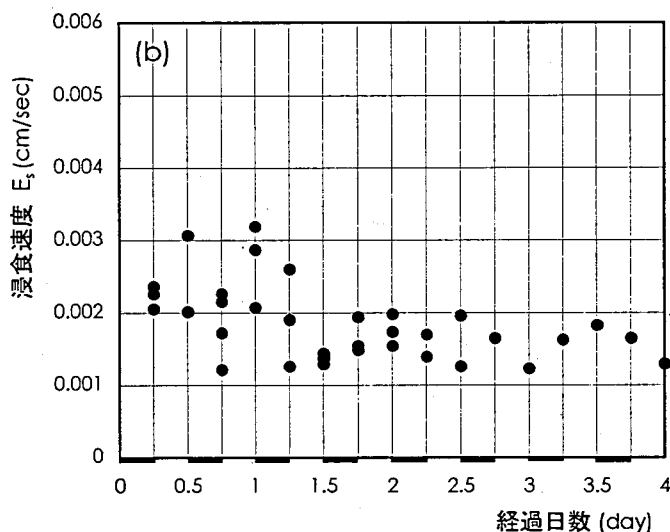
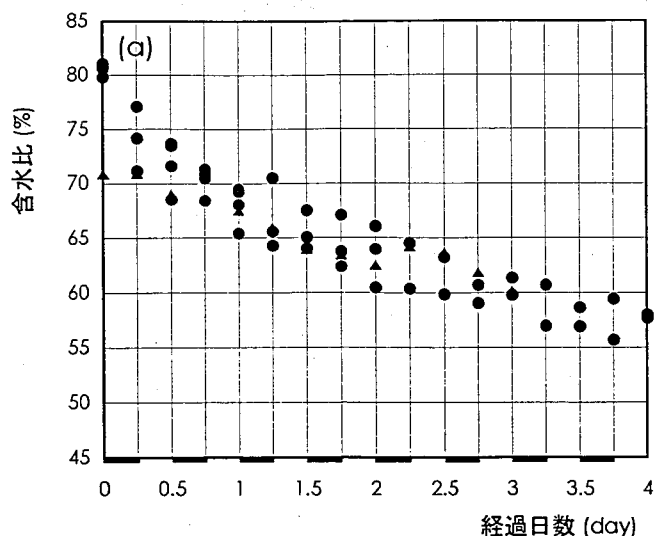


図-2 含水比ならびに浸食速度 E_s と経過日数との関係

ほとんど浸食が起こらなくなるという点にも注意を要する。今後は、日数の経過した供試体の含水比が、液性限界付近に漸近することに着目し、供試体に浸食が生じなくなる限界の含水比と液性限界との関係について、更なる検討を行っていく予定である。

謝辞

本研究の一部は、日本学術振興会科学研究費基盤研究C(研究代表者：関根正人, No. 17560463)の助成を受けて行われた。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 関根正人, 藤尾健太, 片桐康博, 西森研一郎: 粘着性土の浸食速度に及ぼす粘着力の影響, 水工学論文集第46巻, pp. 641-646, 2002.
- 2) 関根正人, 西森研一郎, 安藤史紘: 乾燥・湿潤履歴が粘着性土の浸食速度に及ぼす影響に関する研究, 水工学論文集第49巻, pp. 877-882, 2005.