

京都大学防災研究所 正会員

澤井 健二

"

"

芦田 和男

まえがき 土壌侵食現象は、土砂の剥離と輸送の過程から成っており、外力要因としての気象ならびに地形条件と、抵抗要因としての土質ならびに植生条件によって支配されている。非粘着性砂れき床においては、主に粒度構成と比重によって受食性(侵食され易さ)が規定され、その試験法もほぼ確立されているが、粘着性流路床では、その化学組成や存在状態によって受食性が異なり、統一的な指標がいまだ見い出されていない。そこで、単純化されたある特定の条件のもとで、外力と侵食速度の関係を直接に求めるような試験法がいくつか提案されてきたが、人工試料の場合とはかくとして、自然土を対象とする場合に手軽に実施できるものがなく、その開発が切望されている。本研究は、そのような事情に鑑み、斜面などの原位置において実用に供し得る試験法の開発を試みるとともに、他の試験法との比較を行い、その適用性を検討するものである。

1. 内筒回転式土壌侵食試験法 共軸内筒間の回転 Couette 法を利用する侵食試験法は、かなり以前から用いられているが²⁾、内筒を供試体とし、外筒を回転させているために、装置の製作や試料のセットが難しく、実用化が困難であった。そこで、外筒を供試体とし、内筒を回転させることにすれば、それらの難点は解消し、原位置試験も可能となるであろう。すなわち、図-1に示すように、地面に内筒孔を掘って水を入れ、その中で内柱を回転させて、内筒孔の側壁面を侵食させるのである。外力要因はせん断力(あるいは摩擦速度)で代表させ、トルク M を測定することによって、式から算出する。ここに、 r は内筒孔の半径、 H は内筒孔の深さである。

$$\tau = M / 2\pi r^2 H \quad \dots (1)$$

また、侵食速度は $E (= dr/dt)$ で表すものとし、 r は侵食の前後に、一旦内筒孔を空にしてから給水し、給水量 V と水位上昇量 z の関係を求めることにより、式から算出する。ただし、浸透性の大きい土に対しては、薄手のポリ袋などを用いて、壁面からの水の出入を防止する必要がある。

$$r = \sqrt{(dV/dz) / \pi} \quad \dots (2)$$

内柱の回転速度を変化させて、 τ と E の関係を求めれば、土壌の受食性を定量的に評価することができよう。

内筒孔の大きさは、作業の容易さから、直径 10 cm、深さ 20 cm 程度が適当と考えられ、内筒は直径 7.5 cm、高さ 15 cm 程度が適当であろう。回転数が低い場合には、蓋がなくとも大きな水位差が生じないが、回転数を高くすると、遠心力による圧力差が大きくなり、ある程度以上のせん断力を作用させるには、内筒間隙を覆う蓋が必要となる。また、斜面などの原位置で用いるには、装置を自在に昇降させ得る機構にするのが望ましく、支持脚の長さも独立に 40 cm 程度調節できることが望まれる。一回の侵食量は、測定精度上、1~5 mm が適当である。

2. 人工試料を用いた侵食実験 上に述べた侵食試験法の適用性を検討するために、従来、水路実験によって侵食速度と摩擦速度の関係がかなり明らかになっているベントナイトを用いて、侵食実験を行った。実験は2つのシリーズから成っており、シリーズ B はベントナイトだけのもの、シリーズ S は豊浦標準砂(粒径 0.27 mm)にベントナイトを 10% 混合したものを試料としている。試料は所定の含水比(水とベントナイトの重量比)で十分に練り合わせた後、直径 12.6 cm、高さ 13.8 cm の缶につめ、直径 10.2 cm、厚さ 2 mm の黄銅管によって中心部をくり抜いて、水浸状態 10 分間放置してから、試験器にセットした。写真-1 は、侵食後の試料の一例である。内筒の回転方向は上から見て反時計まわりであり、その方向に試料の剥離した痕跡が見られる。その鉛直方向の間隔は約 1.5 cm であり、

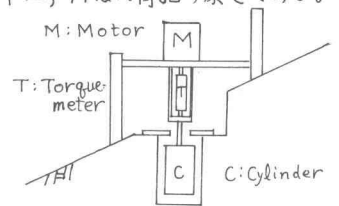


図-1 原位置侵食試験法

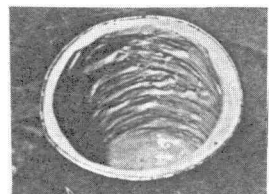


写真-1 侵食を受けた供試体

回転円筒と試料の壁面との間隔にほぼ対応していることは、Taylor 洞の存在を暗示する点で興味深い。しかしながら、このような痕跡は常に見られるわけではなく、その高々も必ずしも円周方向に一定でない。

図-2は、このようにして求めたベントナイトあるいはベントナイト・砂混合物の侵食速度とせん断力の関係を、水路実験の結果(実線)と比較したものである。これによると、内筒回転法から求めた侵食速度は、同じせん断力の水路試験によるものに比べてかなり大きな値を示しているが、その変化傾向は合致している。今後、二次流の影響等について考察を進めたいと考えている。

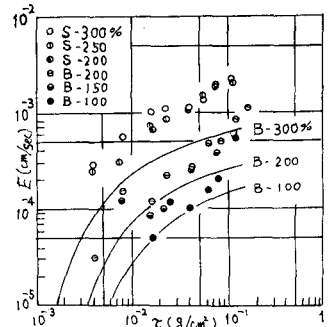


図-2 ベントナイトのτ-E関係

3. 野洲川放水路粘性土河床における侵食性調査 次に、本試験法の実用問題への応用として、野洲川放水路における粘性土河床の侵食性調査を行った。この放水路は、河口から約5 km 地点で分岐する南流と北流の中間部に開削が進められているもので、河口から1.5 ~ 3.8 km の区間の低水路部分(幅210 m)が粘性土になっており、その侵食特性を調べるため、既にいくつかの水路実験が行われてきた³⁾⁴⁾。その結果、この区間の材料は、乱さな状態では、約30 cm/sec の摩擦速度(暫定高水流量3500 m³/secに対応)に対して0.9 cm/hr程度の侵食しか受けないが、ひとたび攪乱を与えると侵食抵抗が極端に低下することがわかり、さらに詳細な調査を行うことになったのである。

ひとくちに「粘性土区間」と言っても、その中における土質の分布はかなり不均一なものであり、サンプリング個数はできるだけ多くとるのが望まれるが、経費や労力の制約から、ある程度の個数にとどめざるを得ない。そこで、河床材料や施工法に基づいて、調査区間を図-3に示すような5つの区間に分割し、区間A・B・Eで2ヶ所ずつ、C・Dで1ヶ所ずつ、さらに、各橋梁の周辺で2ヶ所ずつのサンプリングを行うことにした。

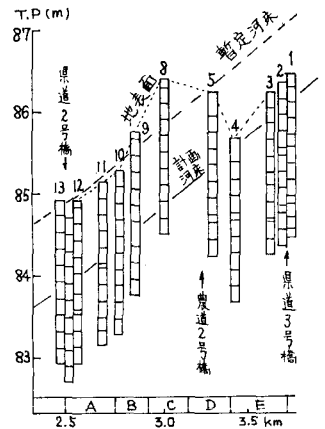


図-3 サンプリング横断面図

本試験法は元来、原位置試験用として考案したものであり、野洲川においても予備試験は現地で行ったが、2 m の深さまでの侵食性の鉛直分布を調べるには、ボーリングによって未攪乱試料を採取する方が能率的である。そこで、直径15 cm の鋼管によって採取した試料を、鋼管ごと20 cm の長さで切断し、その中央に直径10.2 cm の円筒孔をくり抜いて、一昼夜以上浸漬状態においたものを供試体とした。

暫定高水や計画高水に対応した摩擦速度を得るには、5000 rpm 程度の回転数が必要であるが、装置の制約上、2150 rpm までにとどめている。この時の摩擦速度は約20 cm/secで、流量1000 m³/sec 程度に対応する。

図-4は、サンプル地点No. 12に対する、侵食速度とせん断力の関係を表したものであり、この地点では、地表面から約1 m よりも上層が非常に侵食されやすいことがわかる。下層の侵食性は、以前に水路実験から求められたものとほぼ対応する。一方、本試験と並行して行われた軸圧縮試験⁵⁾では、下層の土よりもむしろ上層の土の強度が大きくなっているが、これは重機の走向による縦圧のためであり、土塊としての強度からは侵食抵抗を評価できないことが判明した。他の地点での試験結果については、数値の都合上、省略する。

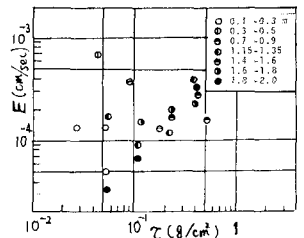


図-4 No.12地点のτ-E関係

- 参考文献 1) 芦田和男・澤井健二・斎藤修: 土壌の侵食性試験法に関する研究, 昭和54年度土木学会関西支部.
2) Sargunam・Riley・Arulanandan・Krone: Physico-Chemical Factors in Erosion of Cohesive Soils, ASCE HY3, 1973.
3) 芦田和男・澤井健二: 粘着性河床の侵食に関する研究, 財団法人防災研究協会, 1977.
4) 建設省琵琶湖工事事務所・近畿技術コンサルタンツ: 野洲川放水路河床変動実験業務報告書, 1977.
5) 基礎地盤コンサルタンツ: 野洲川放水路粘性土河床の侵食性調査報告書, 1979.