II-189　粘性土の侵食と堆積に関する一考察　—　沖縄県国頭マージを事例として　—

京都大学防災研究所　正会員　澤井健二

1．はじめに　粘性土はその粘着力のために、砂質土に比べて大きな侵食抵抗を示すことが多いが、ひとたび侵食されると、きわめて流送されやすく、流れのない場においても、沈降するのに相当の時間を要する。また、媒液の性質や濃度によっては、フロックを形成し、沈降特性が大きく変化することがある。

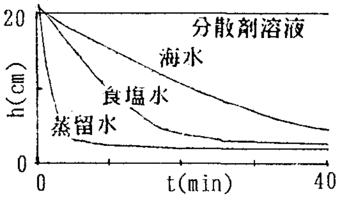
沖縄県中部には、国頭マージと呼ばれる赤土が広く分布し、パイナップルの栽培に適した土壌として、農業に利用されているが、傾斜畑地では、激しい侵食を受けて、農地保全上の問題を提起する一方、侵食された土砂が河川、さらには海洋へ流出し、水質の悪化や、流出土の堆積によるサンゴ礁への悪影響など、環境問題を引き起こしている。最近では、さらに急激なリゾート開発がこれに拍車をかけ、その影響の的確な予測と適切な対策の樹立が必要とされている。

2．国頭マージの侵食特性　農地保全の研究分野では、標準試験区を設け、流亡土量を実測することが行われ、昭和52年6月から昭和53年4月までの11ヶ月間に傾斜8°の裸地で 140 t/ha (3.6cm)、傾斜5°の裸地で 111 t/ha (2.5cm)、傾斜3°の裸地で40 t/ha (1.4cm) が観測されている[1,2)]。

澤井[3)]は、昭和55年6月に、同試験地において、著者ら[4)]の考案した内筒回転式土壌侵食試験法による侵食試験を行ったが、その結果は、u_{*c} = 4 cm/s、$E/u_* = 0.8\times10^{-5}$ と要約される。ここに、E は侵食速度、u_*は摩擦速度、u_{*c} は限界摩擦速度である。

3．国頭マージの堆積特性

3.1 国頭マージの界面沈降特性　濃度がかなり高い場合の、溶媒による国頭マージの沈降速度の違いを調べるため、次のような実験を行った。溶媒としては、海水、河川水、蒸留水、3％食塩水、0.2%分散剤（ヘキサメタリン酸ナトリウム）溶液の5種類を用意し、500ml 用のメスシリンダ（深さ約20cm）内で、土壌サンプル25g と溶媒500ml を充分に攪拌した後、静置し、界面沈降状況を観察した。（初期重量濃度3.7％）



回分沈降曲線

その結果、分散剤溶液の場合以外は、いずれも明確な界面沈降を呈し、界面の低下速度は蒸留水中の場合が最も速く、約6分で圧縮沈降に移行した。ついで、河川水、食塩水、海水の順で沈降が遅くなり、分散剤中の場合には、40分以上経過しても粗粒分の沈降が確認されたのみで、肉眼による観察では、懸濁状態の変化は検出されなかった。河川水の場合には、蒸留水の場合に比べて沈降がやや遅くなるものの、大きな差異は見られなかった。図は、回分沈降曲線を示したものである。

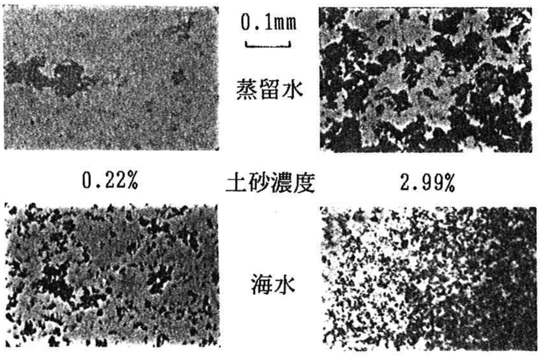
3.2 沈降特性に及ぼす濃度の影響　つぎに、土砂濃度による沈降特性の相違を調べるため、直径3cmのカメラフィルム用透明プラスチックケースに重量土砂濃度 0.075％、0.22％、0.34％、2.99％、および13.0％の懸濁液を作成し、充分に振とうさせた後、静置して、沈降状況を観察した。その結果、いずれの溶媒でも、界面沈降が生じたのは、濃度13％の場合のみであった。先の実験において、濃度3.7％の懸濁液では界面沈降が生じたことから、国頭マージの界面沈降の発生限界濃度は3—3.5％程度であると判断される。

界面沈降が生じると、界面よりも上の上澄み部分の土砂濃度はきわめて小さくなり、溶媒が蒸留水の場合には、上澄み液の濃度は界面の通過直後に既に0.1％以下となっている。溶媒が海水の場合にも、界面沈降が生じると、上澄み液の濃度がかなり低下するものの、界面通過直後では、蒸留水を溶媒とする場合ほどには下がらない。ところが、ある程度時間が経過すると、溶媒が蒸留水の場合と海水の場合とで、上澄み液の濁度に逆転が生じ、海水の場合の方が上澄み液の濁度が低くなる。

次に、界面の生じない3％以下の濃度の場合について、濁度の時間変化を詳細に観察すると、同じ溶媒に対してでも、ある時間の経過後には、初期濃度の高かった懸濁液の濁度が、初期濃度の低かった懸濁液の濁

度よりも低くなる場合のあることがわかった。このように、溶媒や初期濃度によって、濁度の時間変化が異なるのは、フロックの形成、とりわけフロック径の分布特性の相違によるのではないかと考えられる。

3.3 国頭マージの凝集特性　高濃度の粘土懸濁液におけるフロックの形成は、肉眼でも確認できるが、フロックの形状や大きさなど、その構造を把握することは、容易でない。そこで、種々の溶媒と濃度における懸濁液から、ピペットでごく少量のサンプルをとってスライドグラスに載せ、顕微鏡写真を撮ってフロックの状況を調べることにした。写真は、前節の沈降実験に用いた懸濁液をよく攪拌して、すばやくプレパラートを作り、撮影したものである。



これを見ると、溶媒および濃度によるフロックの形成状況の違いがよくわかる。まず、ヘキサメタリン酸ナトリウムを溶媒とする場合には、粒子がよく分散しているが、蒸留水の場合には、濃度が低い時にはフロックがあまり見られないものの、濃度が高くなるとフロックの形成が顕著になっている。

海水の場合には、その中間的な様相を呈し、いくぶんフロックが形成されているが、そのサイズは比較的小さくなっている。

4．粘性土の堆積機構　粘性土の堆積過程は、構成粒子の沈降速度分布と流れ場の特性が与えられれば、浮遊砂の堆積過程と同様に、拡散方程式を用いて解析することができる。ところが、既に述べたように、粘性土の沈降速度は、どのようなフロックが形成されるかによって大きく異なるから、それを把握することが重要である。

前節までに示した国頭マージの複雑な沈降特性は、フロックの粒径分布を考慮することにより、合理的に説明することができる。すなわち、大きなフロックは小さなフロックに比べて速く沈降するため、大きなフロックと小さなフロックが混在している場合には、大きなフロックが沈降してしまうまでは急速に濁度が低下するが、その後、さらに濁度が低下するのには、長時間を要することになる。真水の中での国頭マージの沈降は、これに相当するものと考えられる。

一方、それらの中間の大きさのフロックを有する懸濁液では、最初は、大きなフロックを有する懸濁液に比べて濁度の低下が遅れるが、小さなフロックが混じっていなければ、やがては先の場合と濁度が逆転する可能性がある。海水中での国頭マージの沈降は、これに相当するものと考えられる。

ただし、これは、懸濁液の攪拌静置後まもなくフロックの粒径分布が定まり、その後の沈降過程においては、新たなフロックの形成や破壊がないものとしての考察である。しかしながら、実際には、フロックの状態が時間とともに変化する可能性がある。

フロックの形成には粒子の衝突が関与しており、静水中よりも適度な強さの乱流中の方がフロックは発達しやすいが、いずれにしてもそれにはある程度の時間を要する。一般に、媒質の濃度が高いほど、形成されるフロック径も大きくなる傾向にあるが、濃度が時間とともに変化すれば、それによってもフロックの状態は時間的に変化することになる。また、流れが存在すれば、形成されたフロックが破壊されることも生じ得る。さらにフロックの形成が電気化学的な現象であることから、イオンの添加や除去によっても変化が生じ、その制御には種々の可能性が秘められている反面、その予測や解析はきわめて複雑なものとなるであろう。

参考文献

1）　種田行男・翁長謙良：第15回自然災害科学総合シンポジウム論文集、1978、pp.422-423.
2）　翁長謙良：農業土木学会農地保全研究部会、農地保全の研究、No.1、1980、pp.33-42.
3）　澤井健二：文部省科学研究費研究成果、No.A-57-3（研究代表者：河村三郎）、1982、pp.48-54.
4）　澤井健二・芦田和男：京都大学防災研究所年報、第22号B-2、1979、pp.291-300.