

安息角：定義と測定法にまつわる諸問題

Angle of Repose: A Matter of Semantics and a Variety of the Measuring Methods

松倉公憲*・恩田裕一**

Yukinori MATSUKURA and Yuichi ONDA

I はじめに

いわゆる“安息角 (angle of repose¹⁾”に関係する斜面で最も地形学者の眼を引いてきた地形に崖錐斜面 (talus slope, scree slope) がある。崖錐斜面の他にも、風成や水成のデューンやリップルのすべり面 (slip face), あるいは火山の碎屑丘の斜面なども、安息角のつくる斜面であると言われている (Strahler, 1969)。同様に、三角洲の前置層斜面の角度も安息角であると思われる。また、下部が侵食された岩屑斜面は安息角で自立していることが多いという指摘もある (Chandler, 1973; Statham, 1976)。このように“安息角が、岩屑や砂などのような非粘着性の碎屑物のつくる斜面の勾配を理解する上で重要な概念である”ことは地形学者に広く受け入れられてきた。ところが、この安息角そのものについての地形学者の研究は極めて少なく (Van Bokkalow, 1945; Statham, 1974; Carson, 1977など数えるほどしかない), その研究が決して進んでいるとは言えない現状である。そのため、しばしば安息角に対する定義すらあいまいであり、地形学者が安息角という用語に対して共通の理解を持っているようには思われない。

そこで本稿は、まず安息角に関する従来の研究を総括し、安息角の用語法の現状とそれから派生する

諸問題について論及する。

II 安息角の定義および表記法

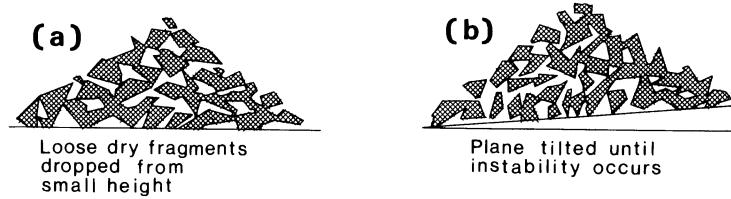
1) 安息角の定義の混乱および表記法の多様性の実態

安息角は地形学のほかにも、粉体工学や土質工学の分野においても重要な概念である。

最初に、地形学の分野におけるごく一般的な定義を二、三あげると以下のようなになる。“砂や礫などの粘着力のない粒状体が、外部からの擾乱のない状態で静止しうる最大の傾斜角をいう”(井口, 1981)。“The angle of repose is usually defined as that angle at which a cone develops when grains are poured from a low height onto a flat surface” (Carson and Kirkby, 1972, p. 74)。“The upper limiting angle to which coarse, hard, well sorted rock fragments will stand is termed the angle of repose” (Strahler, 1969, p. 408)。

土質工学や粉体工学の分野での安息角の定義も上述の定義とほぼ類似したものである。“砂や礫などの粘着力のない土の斜面がまきこぼし状態で安定を保ち得る最も急な傾斜角”(土質工学会編, 1985, pp. 106-107)。“粉体堆積層の自由表面が、静的平衡状態で水平面にたいしてなす最大角度を安息角(angle of repose) という”(三輪・日高, 1984, p. 129)。

*筑波大学地球科学系 **筑波大学・院・地球科学研究所



第1図 岩屑を積み上げた時の安定を示す概念図 (Carson and Kirkby, 1972, の74ページに示されて
いるFig. 4. 8による)

以上のように、定義のいくつかを平易に解釈すると、安息角とは、砂や礫（粉体工学においては石灰や砂糖、穀類などあらゆる粉体が研究対象となるが）などを上方から落下させたときにできる円錐の山の斜面角度ということになる。すなわち、このような実験によって安息角は容易に測定できるものと考えられ易い。しかし、実際に実験をしてみると、たちまち次のような問題に直面することになる。すなわち、砂（あるいは礫）を落下させて円錐状の砂山（礫の山）を徐々に大きくしていくような実験をすると、その斜面は常に同じ勾配をもち続ける訳ではない。砂山に砂を供給し続けると、錐の上部により多くの砂が堆積することから、錐の傾斜は徐々に増加する。しかし傾斜がある程度大きくなると錐の上部は崩壊（avalanche）を起こし斜面を流れ下る。その結果、斜面の傾斜は若干緩くなる。砂の供給を続ければ斜面は再び急になる。このように錐の傾斜角は崩壊直前の最大の角度（upper angleと仮称する）と崩壊後の角度（lower angle）の2つの角度の間を往復する

ことになる。

勿論このような事実は古くから知られていたことであり、たとえばSharpe (1938, p. 30) の著書の中でも、崖錐斜面の記述と関連させ、安息角には上述のようなすべり出しに相当する角度とすべりの停止後の2つの角度があることが述べられている。しかしSharpeも指摘しているようにupper angleのみを安息角と呼ぶのか、lower angleもまた安息角と定義するのかはあいまいなことが多い。前述の定義のいずれにおいてもそれが明確にわかるものはない。

Carson and Kirkby (1972) の定義にしても、その文章だけからはupper angle, lower angleのどちらを安息角と呼んでいるのかは明確ではない。しかし、彼らは第1図のような図を用いて、安息角およびそれに関連した次のような記述を行っている。「図の(a)に示されるような（著者注：砂礫を落下堆積させてできる錐の角度）安息角は、安定の最大角ではないことに注意せよ。この図の(b)のように一度形づくった錐の底板を傾けていくと、崩れが起るまで 10°

第1表 従来提案されている安息角の用語と記号

	upper angle	lower angle
Van Bulkalow (1945)	angle of sliding friction	angle of repose
Matcalf (1966)	angle of repose	
Allen (1969)	angle of initial yield (ϕ_i)	residual angle after shearing (ϕ_r)
Carrigy (1970)	critical angle (α_c)	angle of rest (α_R)
Carson & Kirkby (1972)	angle of maximum slope	angle of repose
松本 (1973)	最大安息角	最小安息角
Carson (1977)		angle of rest after avalanching (ϕ_{rep})
平 (1979)		安定角 (angle of repose)

も傾けることができる」という。すなわち彼らはlower angleのみを安息角と呼びupper angle（彼らはこれをangle of maximum slopeと呼んでいる）は安息角ではないとしていることになる。

従来の研究を整理して、upper angleとlower angleのいずれを安息角と呼んでいるかを一覧表にしたのが第1表である。表中のアンダーラインを引いた方が安息角と定義されているものである。一般的には前述のCarson & Kirkby (1972) と同様に、lower angleのみを安息角とする例が多い。Van Bulkalow (1945), Carson (1977), 平 (1979) などである。一方これとは反対にMatcalf (1966) はupper angleを安息角と定義している。また両者ともに安息角とみなす考え方もある。Allen (1969), Carrigy (1970), 松本 (1973) などである。このように研究者によって、安息角の定義は各様なのである。

ところで、upper angleとlower angleの両者ともに安息角とみなす場合には、当然両者の区別は明瞭でなければならない。Allen (1969) は、安息角(angle of repose)という用語のあいまいさを避けるためだと思われるが、upper angleをangle of initial yield (記号は ϕ_i を用いた)、lower angleをresidual angle of after shearing (ϕ_r)と定義した。同様にCarrigy (1970) は前者をCritical angle(α_c)、後者をangle of rest (α_R)と定義した。また、松本 (1973) はそれらを最大安息角と最小安息角と呼んでいる。

以上のように、研究者によってupper angle, lower angleのいずれを安息角と呼ぶかという問題のほかに、このような安息角の用語や記号の多様性(不統一性)が、安息角の議論の混乱をさらに助長しているように思われる。以下にその実例を示してみよう。

1) Statham (1973) はAllen (1969) の提案した ϕ_i , ϕ_r の記号を用いて議論しているにもかかわらず、地形学的に重要であるという理由で、 ϕ_r のみを安息角とみなしている。

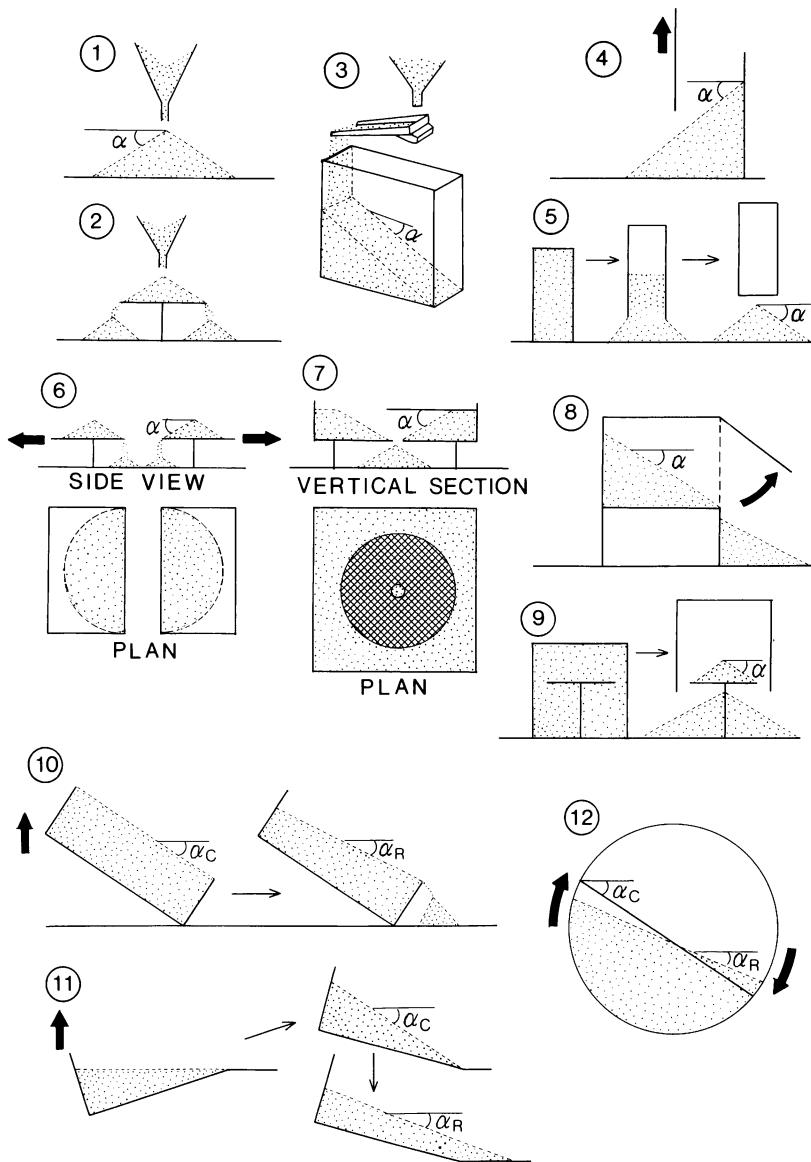
2) Carson (1977) は、tilting box実験でavalancheが起った後の斜面角度にはAllen (1969) の回転ドラム実験でのavalanche後の角度 ϕ をあてはめ、一方でストックパイルでの斜面角度を別に次

のように定義した。“angle of rest after avalanching has occurred on a cone built up by discrete particle rockfall” 彼はこれに ϕ_{rep} という記号をつけ、新たにこれを安息角とするという提案を行った。

2) 安息角の再定義と用語および記号の提案

いずれを安息角と呼ぶかは別としても、砂礫の落下堆積ができる錐はavalancheの起る直前のupper angleとavalanche後の安定したlower angleの2つの角度をもつことは明らかである。斜面の安定を考える場合、criticalな値、すなわちupper angleの値が重要と考えられる。また現実の地形を考える場合、lower angleで形成されている斜面が多い(たとえばStatham, 1973) とはいえ、下部が侵食された斜面ではupper angleで自立していることもある (Chandler, 1973; Statham, 1976) という。そこで筆者らはupperとlowerの両者ともに安息角と認めるAllen (1969) やCarrigy (1970) らの考えに賛意を示したい。ただし彼らは安息角(angle of repose)という言葉をあえて避けたふしが見られるが、筆者らはこの用語を積極的に使うことを提案する。すなわちupper angleをcritical angle of repose(限界安息角)、lower angleをrepose angle after avalanching(停止安息角)と呼ぶことを提案する。記号について、Allen (1969) の提案した ϕ は以下の理由で適当でないと考えられる。すなわち安息角を ϕ で表示するのは、まず内部摩擦角(通常 ϕ' が使われる)記号と類似でまぎらわしいこと、また筆者らのアルミ丸棒を用いた安息角と内部摩擦角の実験から、両者は異なったメカニズムに支配されている可能性がある(恩田ほか, 1989) ことなどからである。そこで記号としてはこれ以上の混乱を避ける意味でCarrigy (1970) の α_c , α_R を使用するのがよいであろう。

以上のことをふまえて、安息角を以下のように再定義することにする。“安息角には限界安息角(critical angle of repose, α_c)と停止安息角(repose angle after avalanching, α_R)の2つがある。限界安息角とは、砂や礫などの粒状体から成る斜面が静止する最大の角度をいう。限界安息角を越える斜面では崩れが発生するが、その崩れが停止した時の斜面角を停止安息角という”



第2図 安息角の測定方法。Carrigy (1970), 粉体工学研究会・日本粉体工業協会編 (1975)などをまとめたものである。1～5は注入法、6～9は排出法、10～12は傾斜法と呼ばれている。

III 安息角の測定法とそれにまつわる諸問題

1) 安息角の測定法

安息角の問題を混乱させているもう1つの大きな原因是、安息角測定の方法が多種にわたり、研究者によって異なる方法が使われることにある。従来安

息角の測定法の技術は粉体工学の分野で考案されたものが多い。粉体工学の分野においては、安息角は粉体の流動性に関する特性値として重要視されている（たとえば早川編, 1973, p. 96など）からである。従来行われてきた安息角測定法の主なものをまとめたのが第2図である。方法としては注入法、排

出法、傾斜法に3分されるようである。以下に各測定法の概要と特徴を述べる。

(1) 注入法

注入法の最も代表的なものとしては、ある適当な高さから試料を落下させてできる円錐の傾斜を計測する方法（自由堆積法、第2図の①）がある。この方法の変形として試料を箱の一方端から落下させた場合にできるプリズム形の堆積斜面を計測するもの

③もある。この方法では測定値に前後壁面の影響のあることが考えられるが、できる斜面が円錐ではなく片側のみであるため、特に流動性の良い材料では測定値のばらつきが少ない（早川編、1973、p. 97）とされている。また注入法の1つに底面限定法②という方法がある。これは浮かせた円盤の上に試料をパイルし、試料が円盤からこぼれ落ちる状態にして、その時の安息角を計測するものである。これらのことの他に引き上げ法と呼ばれるものがある。1つは試料を入れた矩形の箱の一方の端の壁を引き抜き、その時崩れてできる斜面傾斜を計測するものである④。また同様に試料を充填した円筒容器を引き上げ、それによってできる円錐の傾斜を計測する方法⑤もある。

これらの注入法は、いずれも安息角のうちの α_R を計測することになるが、自由堆積法において落下量（供給量）を極めて少なくすると α_c の測定も可能となる。しかし、この方法は一方で、落下高さを変えると計測される安息角が異なるということが知られている（この問題については後述する）。

(2) 排出法

容器からの試料を排出させた時に崩れによってできる斜面の角度を安息角とする方法は排出法と呼ばれる。この方法はさらに流出法、側壁開放法、懸吊円盤法に細分される。

まず流出法には以下の2つの方法がある。試料を方形の板上にパイルしたのち板を左右（片方だけでもよい）に引き離すことにより隙間をつくってやるとそこから試料が落ちこぼれる⑥。結果として板上には安息角斜面が形成される。もう1つは試料を充填した容器の底面に孔を開け、そこから試料を落下させてやると、容器内では試料がすり鉢状の形状

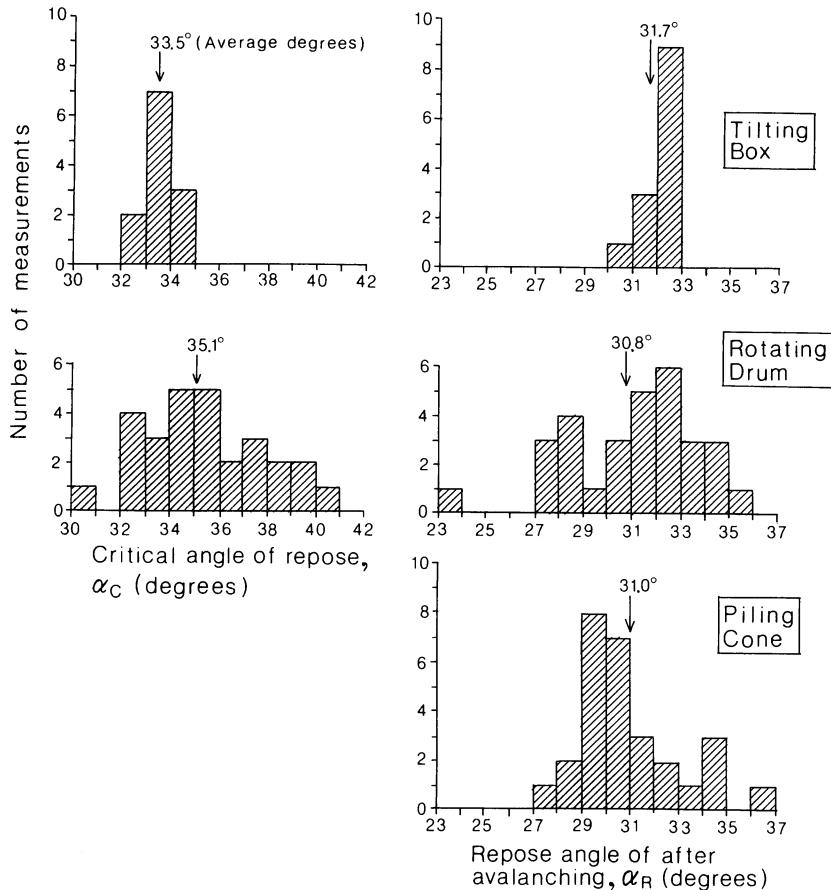
になる⑦ことを利用するものである。このすり鉢の斜面が安息角となる。側壁開放法⑧は注入法の④と類似しているが、排出した試料が箱の外に落下するという点が④と異なる点である。この場合も⑥と同様に箱に残存した試料のつくる斜面勾配を計測する。⑨に示した懸吊円盤法は⑤と類似であるが、容器の内部に②と同様の円盤をつけておき、円筒試料を引き上げる。円盤の上には円錐の山が残されることになるが、その錐の角度が安息角となる。

これらすべての流出法に共通していることであるが、これらの方法では α_c は計測できず、すべて得られる値は α_R であることである。しかし⑥と⑦の方法は、容器内の試料の充填方法を変えることにより、供試体の密度や空隙率を変えることができるという特徴をもっている。

(3) 傾斜法

これには箱傾斜法と同筒回転法の2つの方法がある。箱傾斜法は試料をつめた箱を傾けていき、崩れが起ったところでその斜面傾斜を計測する方法である。試料を箱にいれる場合、箱一杯に投入する方法⑩と箱の一部につめる方法⑪がある。この方法は排出法の⑦、⑧と同様に供試体のかさ密度を変えて試験できる。これらは崩れが生じた瞬間に箱の増傾斜を止めることによって α_c を、崩れの停止したあとの斜面を計測することによって α_R を知ることができる。ただし⑩の方法では箱の下端が拘束されているので、得られる安息角は⑪の方法で得られるものより大きくなることが予想される。

一方、円筒回転法⑫はドラムの半分ほどに試料を入れ、ドラムをゆっくり回転させながら試料表面の傾斜角を側面のガラス壁ごしに測定するものである。回転の速度を小さくし崩れが発生した瞬間にドラムを停止させることによって、 α_c と α_R の両方を知ることができる。粉体工学の分野では回転させながら（常にavalancheが継続して起っている状態）その傾斜角を測定し、流動表面角（動的な安息角）を計測することもある。また密閉容器を使えば、雰囲気を自由に調節することができる。すなわち、水中や真空中での安息角の測定も可能であるという特徴をもつ。



第3図 豊浦標準砂の安息角測定結果

2) 安息角測定の一例

上述の安息角測定法の多くは粉体工学の分野において考察されたものが多いようである。そしてこの分野の教科書には、以下のような記述が散見される。“同一粉体でも測定方法により安息角の値はかなり異なることから、測定方法および条件を明示しておく必要がある”(粉体工学研究会・日本粉体工業協会編, 1975, p. 136)。このように“測定方法によって安息角の値がかなり異なる”のかどうかは重要な問題であり、まずこのことを検討してみた。

測定方法として注入法と2種の傾斜法を選んだ。実験試料としては、平均粒径0.2mmの豊浦標準砂を用いた。注入法では、ロートから試料を注入落下させ、直径30cmほどの円錐をつくって α_R を計測した(第2

回①に相当)。傾斜法の1つは以下のようにした。長さ50cm幅30cmほどの板の上に、厚さ3cmほどの砂ができるだけ平らに敷ならしたものを探していき、 α_c と α_R を計測した(⑪に相当)。傾斜法のもう1つは回転ドラム法(⑫に相当)である。直径20cmほどのガラスビン半分ほどに試料を投入し、それをゆっくり回転させることにより α_c と α_R を計測した。

測定結果を第3図に示した。それぞれの測定において測定値に多少のバラツキはあるものの²⁾、平均値は α_c 、 α_R ともそれぞれ近似した値をとっている。すなわち、 α_c は回転ドラムが35.1°、傾斜箱では33.5°とその差は1.6°である。回転ドラムでは容器壁によって下端が拘束されているために、すべりを起こす角度(α_c)が少し大きくなることが考えられる。ま

た α_R は傾斜箱31.7°、回転ドラム30.8°、注入法31.0°と0.9°の差の範囲内にある。このような値の差は充分許容範囲と考えられ、測定法の違いによる安息角の差はほとんどないと考えてよいであろう。

それでは、前述の粉体工学の分野における“測定方法によって安息角の値がかなり異なる”という記述がみられるのは何故であろうか。粉体工学の分野においては、 α_c と α_R の区別が明確にされていないが、このことから生ずる混乱がその原因であろう。傾斜法での安息角は“容器を傾斜させて表面の粒子が滑り始める傾斜角”を測定することになっており、明らかに α_c を安息角とみなしている。従って注入法や排出法で得られる値(α_R)より傾斜法で得られる値(α_c)が大きいのは当然のことである。このように、安息角の議論においては、 α_c 、 α_R のいずれの計測かを明示しなければ余計な混乱を招くことになるので注意しなければならない。

3) 安息角の測定法にまつわる諸問題

安息角に関する先駆的研究として有名な Van Bulkalow (1945) の実験は主に排出法の⑥の方法で行われている。その後のAllen (1970) やCarriigy (1970) は回転ドラムを用いた実験を行った。また Carson (1977) は傾斜箱の実験や碎石場でのストップカバイル(注入法の大がかりなものと考えられる)の観察などから安息角の議論を行っている。このように地形学者の間でも研究者によって異なった測定法がとられているが、研究例が少ないため、測定法そのものに関する種々の問題についての議論があまりされていないようである。そこで、ここでは測定法についての基本的な問題点を整理することにする。

(1) 注入法(特に①～③の)における落下高さ・

落下量が安息角に与える影響

一般に、落下高さが大きくなると、落下粒子の衝撃のために安息角(α_R)は小さくなると考えられている。たとえば、Van Bulkalow (1945) の実験によれば、b-axis(中径)が1mm以上の粒子を7.6cmの高さから落とすと錐の傾斜は35—38°であったが、30.5cmの高さからの実験では33—36°に減少したという。またKirkby and Statham (1975) は石灰岩の礫を用いた注入法(③に類似)の実験を行った。その結果

1cmおよび2cmの大きさのレキを高さ90cmと30cmの所からそれぞれ落下させてできる錐の傾斜は、いずれの場合も斜面が小さいときは緩く、斜面が成長するに従い増傾斜していくことがわかった。すなわち、落下高さが大きいほど安息角 α_R は小さくなることになる。

一方、これらの実験結果と異なる見解がCarson (1977) によって示された。彼は6～51mmの種々の粒径をもつ石灰岩の採石場で、ベルトコンベヤーからの落石(高さ0～5m)によって形成される碎石の錐(高さ5～15mほど)の観察を行った。その結果、落下高さと α_R (彼の使用した記号は ϕ_{rep})との間に上述のような明瞭な関係を見つけることはできなかつたという。すなわち、落下高さの安息角に与える影響はあまりないと考えた⁴⁾。

以上の二、三の限られた実験のみからでは、落下高さが安息角に与える影響についてのこれ以上の議論はできないように思われる。今後に残された問題である。

(2) 試料径に対する実験装置の大きさの問題

粉体工学が研究対象とするのは極めて細粒のものが多い。その場合には、特に実験装置の大きさが問題になることはないであろう。しかし、地形学の分野において扱われる砂や礫のような粗粒な試料で実験する場合には、相対的に大きな実験装置が必要になってくる。同様の問題はレキのせん断試験の場合にも生じ、レキ径とせん断箱の大きさとの関係などが調べられている(たとえば松倉ほか, 1988など)。しかし一方で実験装置を大きくすれば、実験に多大の労力や費用がかかるという問題が生ずる。そこで、試料の大きさに応じた実験装置の最小の大きさがわかればよいことになる。しかしこの問題に関する系統的研究は全くされておらず、二、三の単発の議論があるだけである。たとえばVan Bulkalowによれば1～3インチの岩屑の安息角実験(④に相当する実験と思われる)をする場合には箱の高さは最低2フィート以上にする必要があるという。しかし彼女はその根拠については何も述べていない。またCarson (1977) は長さ77cm、高さ47cm、幅が7～43cmまで可変の傾斜箱の実験を行った。そして箱の幅

と試料粒径の比が10以上でないと、数個のレキの転動や小さい崩れしか起らず、大きい崩れが発生しないという。そのため得られる斜面角はやや大きく、正しい安息角 (α_r) が測定できないことを指摘した。

以上のように実験例が少ない現状ではこれ以上議論を進めることはできない。この問題は、粗粒な礫の安息角の問題を研究する場合には避けて通れないテーマであり、別稿（松倉ほか、1989）でさらに検討する予定である。

IV おわりに

本稿で議論した主要な点をまとめると以下のようになる。安息角は地形学の中で重要な概念にもかかわらず、定義があいまいであったり、用語に混乱のあることがわかった。そこで、安息角を以下のように再定義した。“安息角には限界安息角 (Critical angle of repose, α_c) と停止安息角 (repose angle after avalanching, α_a) の2つがある。限界安息角とは、砂や礫などの粒状体から成る斜面が静止しうる最大の角度をいう。この限界安息角を越えると斜面では崩れが発生するが、その崩れが停止したときの斜面角を停止安息角という”

また、従来の安息角測定に使われてきた各種の方法を紹介し、それぞれの特徴を述べた。また、二、三の安息角実験より、従来粉体工学の分野で言われてきた、測定方法の違いにより安息角の値がかなり異なるという見解は、安息角の定義のあいまいさから生じたものであることが判った。一方で、実際の安息角の測定においては、以下のような問題が未解決として残されていることを指摘した。1つは注入法において落下高さが安息角に影響を与えるか、という問題であり、もう1つは試料径が大きくなつた時の装置の大きさをどの位にすればよいか、という問題である。

謝 辞

標準砂を用いた安息角のデータは、1988年度の「地球科学基礎実験Ⅰ」の実験において得られたものである。実験を行った自然学類2年生の諸君とこの実験に支援を頂きました水理実験センターの職員の

方々および自然学類4年の井石博之君に厚く御礼を申し上げます。

注

- 1) 安息角に相当する英語は通常angle of reposeであるが、まれにangle of restが使われることがある（たとえばLapedes ed; 1978, p. 76）。しかし、本稿で後述するように、angle of restは安息角の中のごく限定された意味で使われることがあるので、注意を要する。
- 2) この測定は「1988年度地球科学基礎実験Ⅰ」の実験において得られたものである。60人の実験履習学生を5班に分けて、それぞれの班で得られたデータをまとめたものである。従って、データのバラツキの1つの原因としては実験の不慣れからくるグループごとの測定誤差があると考えられる。この中では傾斜箱の測定値のバラツキが比較的少ないのが注目される。
- 3) 落下高さが0の状態での錐の角度を安息角とするというCarson and Kirkby (1972)の定義に従えば、この実験の最終的な錐の角度だけが安息角ということになり、落下高さの議論は不要となる。いずれにしても、この実験は、崖錐の成長過程を考える上で極めて重要な仕事と評価できる。
- 4) Carson (1977)によれば、落下高さより試料の供給の仕方やその供給量の多少が α_c に影響を与えるであろうことが指摘されている。

文 献

- 井口正男 (1981) : 安息角。町田 貞・井口正男・貝塚爽平・佐藤 正・樋根 勇・小野有五 編著: 『地形学辞典』古今書院, p. 16.
- 恩田裕一・松倉公憲・松岡 元・大橋弘明 (1989) : 粒状体斜面の崩壊機構に関する基礎的実験, 第24回土質工学会研究発表講演集, 1605—1606.
- 平 朝彦 (1979) : 碎屑物の移動とその機構。勘米良龜郎・水谷伸治郎・鎮西清高編: 『岩波講座 地球科学 5 地球表層の物質と環境』岩波書店, 23—35.
- 土質工学会編 (1985) : 『土質工学用語辞典』土質工学会, 654p.
- 早川宗八郎編著 (1973) : 『粉体物性測定法』朝倉書店, 315p.
- 粉体工学研究会・日本粉体工業協会編 (1975) : 『粉体物性図説』産業技術センター, 606p.
- 松倉公憲・奥山武彦・恩田裕一 (1988) : 一面せん断試験における試料径とせん断箱の径との関係に関する予

- 察的研究, 水理実験センター報告, **12**, 43—48.
- 松倉公憲・恩田裕一・井石博之 (1989) : 安息角の測定における斜面長の影響に関する予察的実験, 筑波大学水理実験センター報告, **13**, 37—44.
- 松本栄次 (1973) : 崖錐の形成と斜面発達. 地理, **18**—**2**, 58—67.
- 三輪茂雄・日高重助 (1984) : 『粉体工学実験マニュアル』 日刊工業新聞社, 253p.
- Allen, J.R.L. (1969): Maximum slope attainable by surfaces underlain by bulked equal spheroids with variable dimensional ordering. *Bull. Geol. Soc. Am.* **80**, 1924—1930.
- Allen, J.R.L. (1970): The avalanching of granular solids on dune and similar slopes. *Jour. Geol.*, **78**, 326—351.
- Carrigy, M.A. (1970): Experiments on the angles of repose of granular materials. *Sedimentology*, **14**, 147—158.
- Carson, M.A. (1977): Angles of repose, angles of shearing resistance and angles of talus slopes. *Earth Surface Processes*, **2**, 363—380.
- Carson, M.A. and Kirkby, M.J. (1972): *Hillslope Form and Process*, Cambridge Univ. Press, London, 475p.
- Chandler, R.J. (1973): The inclination of talus, arctic talus terraces, and other slopes composed of granular materials. *Jour. Geol.*, **81**, 1—14.
- Kirkby, M.J. and Statham, I. (1975): Surface stone movement and scree formation. *Jour. Geol.*, **83**, 349—362.
- Lapedes, D.N. ed. (1978): *McGraw-Hill Dictionary of Scientific and Technical Terms*. McGraw-Hill Book Co., 1771p.
- Matcalf, J.R. (1966): Angles of repose and internal friction, *Int. Jour. Rock Mech. Min. Sci.*, **3**, 155—161.
- Sharpe, C.F.S. (1938): *Landslides and Related Phenomena*, Pageant Books, Inc., New Jersey, 137p.
- Statham, I. (1973): Process-form relationships in a scree system developing under rockfall. Ph. D Thesis, Univ. Bristol, 263p.
- Statham, I. (1974): The relationship of porosity and angle of repose to mixture proportions in assemblages of different sized materials. *Sedimentology*, **21**, 149—162.
- Statham, I. (1976): A Scree slope rockfall model. *Earth Surface Processes*, **1**, 43—62.
- Strahler, A.N. (1969): *Physical Geography*, John Wiley and Sons, 733p.
- Van Bulkalow, A. (1945): Angle of repose and angle of sliding friction: an experimental study. *Bull. Geol. Soc. Am.*, **56**, 669—708.