地形実験による沖積錐の斜面傾斜と岩石供給量との関係

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-02 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 山本, 憲志郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/1557

地形実験による沖積錐の斜面傾斜と岩屑供給量との関係

A Geomorphic Experimental Study on the Relationships between Slope Inclination of Alluvial Cone and Degree of Debris Supply

山 本 憲 志 郎
Kenshiro YAMAMOTO

A geomorphic experiment was carried out in order to discuss on the relationships between slope inclination of alluvial cone and degree of debris supply. An experimental slope (5m length,1.8m width and 1.8m height) modeled after alluvial cone was made of gravels and sand, and water was supplied from the top of the slope. Although the inclination of experimental slope shows between 20.0 degree and 24.9 degree on the parts having a tendency with sedimentation, the slopes with inclination ranging from 19.9 degree to 15.0 degree were constructed under a tendency of erosion. The materials on the former slopes were transported by some processes related to filtration, such as unsaturated debris flow, saturated one and supersaturated one, and those on the latter one were transported by traction and/or supersaturated debris flow. These differences were probably caused by the changes in degree of debris supply through the experiment.

キーワード：沖積錐，斜面傾斜，岩屑供給量，地形実験
Keywords: alluvial cone, slope inclination, degree of debris supply, geomorphic experiment

1．はじめに

沖積錐は「扇状地のうち扇状地面の傾斜が大なるもの」と定義される場合が多い．たとえば斉藤（1988）は沖積錐は規模，勾配などが扇状地と崖錐との中間的な地形としてとらえている．こうした中でBull（1977）は勾配20°以上の扇状地を沖積錐と呼ぶことを提唱しているが，その根拠はかならずしも明確ではない．これは今まで，沖積錐斜面の傾斜と発生するプロセスに関する関係が十分に検討されてこなかったためと思われる．そこで沖積錐斜面において，1)侵食傾向あるいは堆積傾向にある部分の斜面の傾斜値について検討する，2）供給される岩屑が少ないと次第に流路が埋積されなくなり，結果的に流路が固定されるかどうか検討する，ことを目的に簡略な地形実験を試みた．

2．実験の概要

筑波大学陸域環境研究センターの敷地内に設けたローム質土の盛土を深さ約1.8m，幅約1.8m,奥行き約4m程度，ショベルカーによって掘削した．この掘削断面に2.5mm～5mm礫（重量85%）と中～細砂（重量15%）を混合した砂礫（安息角は約35°）を均一になるように投入し，斜面長約5m，幅約1.8m，高さ約1.8mの実験斜面を造り，水道水を斜面最上部に埋設したゴムホースから供給（毎秒0.6リットル）し，約2時間経過した斜面を造った．この斜面を実験計測の基準となるoriginal slopeとした（第1図，写真1）．実験1（Run 1）は斜面最上部に埋設したゴムホースからoriginal slopeに水道水（毎秒0.6リットル）を約2時間供給した（第2図，写真2）．実験2（Run 2）は同様にさらに水道水を2時間供給した（第3図，写真3）．

計測は実験斜面の両側にあるローム質土の盛土上に，トランシットを用いて板の上面が20°の傾きをもって互いに平行（間隔一定）になるように2枚の木製の板を設置して行われた．実際の計測はこの板の斜面長40cm間隔ごと（平面投影長は37.6cm間隔ごと）に標尺を渡し，横方向に10cm間隔ごとに折り尺をおろして地表面までの長さを計測した．すなわちoriginal slopeおよびRun 1，2で形成された斜面について，横

方向に 10cm 間隔で縦側線 A～Sを，縦方向に 37.6 cm 間隔ごとに横側線 a～oを設け，各測線の交点

第1図　original　slope の計測結果

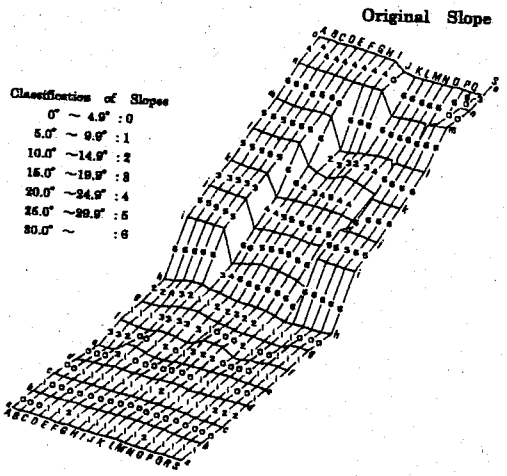
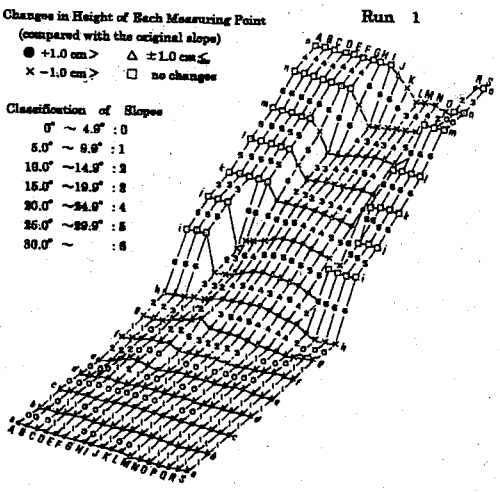


写真1　original　slope の様子

（＝格子点；縦側線記号と横測線記号の順で表記する）の高さを計測した．この計測値に基づいて，各斜面における各格子点を縦方向に結んだ測線の傾斜を算出した．傾斜は5°間隔で階級分けし，小さい方から順に1～6に分類した．さらに Run 1，2 で形成された斜面については各格子点の高さの変化から，それぞれの点が侵食あるいは堆積傾向にあるのか判断した．なお，格子点の高さを読み取る時の誤差は最大で1cm あると仮定して，高さの変化が1cm 以内の格子点については侵食あるいは堆積傾向にあるかどうかの判断を行っていない．また，実験中に発生した砂礫の流動様式を観察した．

3．実験の結果



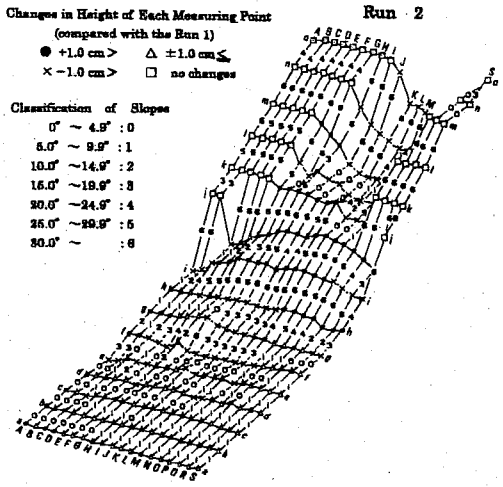
第2図　Run1 で形成された斜面の計測結果

original　slope の斜面上部の両側は基盤岩に見立てたローム質土によって構成されている（横側線ｉ～ｏ，縦測線A～FおよびP～Sの区画）．斜面上部の中央部付近（縦測線G～O）から下方は砂礫によって構成されている．格子点Ｎｏ付近に埋設されたゴムホースからの水の供給によって砂礫が移動したため，砂礫を投入した際にできた表面の微小な凹凸が少なくなっている．

砂礫分布域の上部には傾斜３０°以上の区画が広がっている（横測線m～ｏ，縦測線K～Qの区画）．この傾斜は実験材料の砂礫の安息角に相当することから，この区画は一種の崖錐斜面であるといえる．その斜面

下方には傾斜 15.0°～24.9° の斜面が広がっている（横測線ｋ～ｍ）．この傾斜は沖積錐斜面にしばしば認められる傾斜である．さらにこの下方には傾斜 25.0°～29.9° の斜面が広がり（横測線ｉ～ｋ），上方から移動してきた砂礫が堆積したことを示している．さらにこの下方には再び 30.0° 以上の斜面が分布し（横測線ｈ～ｉ），10.0°～14.9° の斜面（横測線ｇ～ｈ）と非連続的につながっている．このように original slope は最上部に砂礫の供給源である崖錐斜面を，中部から下方に沖積錐に相当する斜面（砂礫の堆積によって増傾斜した部分を含む）をもっているといえる．

写真２　Run1 で形成された斜面の様子



第３図　Run２で形成された斜面の計測結果

original slope との比較から，Run１によって造られた斜面には斜面上部での侵食と斜面中部～下部にかけての堆積が認められる．斜面上部（横測線ｎ，ｏ付近）にある格子点はいずれもその高さを低下させており，この区画の砂礫がマスムーブメントによって運び去られたことを示している．横測線ｇ～ｍ上の格子点の多くが堆積傾向にあることから，斜面上部で侵食された砂礫はこの区画周辺に堆積したと考えられる．

横測線ｌ～ｏ上の格子点の高さの低下は，Run２によって造られた上部で広く侵食が進行したことを示している．侵食された砂礫の一部は斜面中部（横測線ｉ～ｊ）上の格子点付近に堆積したと考えられる．同様に横測線ｆ，ｇ上でも広く侵食が生じている．また横測線ｋ～ｍと縦測線Ｈ～Ｋによって囲まれた区画に傾斜 4.9° 以下の極めて平坦な面が形成されている．これは Run２中，地表面を流れる水流が縦測線Ｍ，Ｎ，Ｏ付近に集中し，下刻したために形成された段丘状の地形である．

写真３　Run２で形成された斜面の様子

4．考察

土石流の流動機構を検討した江頭（1988）や，実験水路を用いて流動勾配と砂礫と水の混合比を検討した渡部（1994）によれば，集合流動様式がおおよそ斜面傾斜に対応して１）不飽和岩屑流（浸透流が岩屑表層にまで達しない侵食傾向のゆっくりとした流動），２）飽和岩にまで屑流（浸透流がちょうど岩屑表層に達した堆積傾向のゆっくりとした流動），３）過飽和岩屑流（水流が岩屑表層の上を流れる堆積傾向の流動）の３つに決定される．両者の提案した公式は２）および３）に関しては同じである．１）不飽和岩屑流に関しては，流動層全体の浸水率よりPlug層（移動時に垂直方向の速度勾配を持たない表層部の砂礫層）の浸水率によって，不飽和岩屑流の発生可能な限界傾斜角が決定されることが渡部（1994）によって示されている．江頭（1988）の公式によれば，内部摩擦角が35°の砂礫の場合，不飽和岩屑流は斜面傾斜18.9°以上で発生し，飽和岩屑流は18.9°で発生し，過飽和岩屑流は18.9°以下で発生する（ただし，堆積物の体積濃度：0.6，水の密度：1.0，粒子の実質密度：2.6として計算）．これらの斜面傾斜と集合流動様式の関係は，定常条件下では物質の内部摩擦角によってほぼ決定され，浸透流の流量などによって変化しない．なお渡部（1994）は過飽和岩屑流が斜面傾斜にかかわらず，浸透流量に対して相対的に岩屑量が減少すると突発的に発生することを報告している．したがって，斜面上あるいは流路内の岩屑量が浸透流量に対して相対的に十分にある場合は，理論的に決定される斜面傾斜値に対応した各種の集合流動が発生するが，岩屑量が相対的に少ない場合は（すなわち表面流が発生する条件下では），斜面傾斜に関係なく過飽和岩屑流が発生すると考えられる．また伊勢屋ほか（1995）は水路実験により，過飽和岩屑流は表面水流のある掃流状集合流動あるいは掃流による物質移動であると述べている．この流動様式は土石流と同じであると考えられる．

先述したように実験材料の砂礫の内部摩擦角がおおよそ35°であることから，Run １，２によって造られた斜面の傾斜の中で階級４：20.0°～24.9°および階級５：25.0°～29.9°はおおよそ不飽和岩屑流の流動勾配に相当しているといえる．また階級３：15.0°～19.9°はおおよそ過飽和岩屑流の流動勾配に相当している．したがって，Run １，２によって造られた斜面の中で少なくとも15.0°～29.9°の斜面(階級３，４，５）は砂礫による種々の集合流動によって造られたと考えられる．

斜面傾斜20°は本実験の砂礫が斜面あるいは流路内に十分に存在する時の不飽和・飽和岩屑流と過飽和岩屑流（＝土石流）の流動勾配の境界値である．そこで斜面傾斜20°以上で，実験材料の内部摩擦角より明らかに小さい階級４，５と，斜面傾斜20°以下の階級３がどのような環境下で出現しているのか検討する．

Ｒｕｎ１において造られた斜面は横測線ｇ～ｏの区画に階級４，５が広範囲に出現している．ここで斜面横断方向に同じ階級が出現した場合は，同じ傾斜をもつ面が形成されたと考えられる．まず階級４，５の傾斜を持つ面は，①格子点Ｍｎ-Ｎｎ-Ｎｏ-Ｍｏを結んだ面（４つの格子点を含む，以下同様に表記する），②Ｉｍ-Ｋｍ-Ｋｌ-Ｉｌ（格子点数は６），③Ｌｌ-Ｍｌ-Ｍｋ-Ｌｋ（格子点数は４），④Ｊｋ-Ｌｋ-Ｌｉ-Ｊｉ（格子点数は６），⑤Ｉｉ-Ｊｉ-Ｊｈ-Ｉｈ（格子点数は４），⑥Ｌｈ-Ｏｈ-Ｏｇ-Ｌｇ（格子点数は８），⑦Ｈｋ-Ｉｋ-Ｈｊ-Ｉｊ（格子点数は４），⑧Ｍｋ-Ｎｋ-Ｎｊ-Ｍｊ（格子点数は４），⑨Ｈｊ-Ｊｊ-Ｊｉ-Ｈｉ（格子点数は６），⑩Ｌｊ-Ｎｊ-Ｎｉ-Ｌｉ（格子点数は６）である．①～⑩の面を囲む４４の格子点（重複を避けて数えているので，（　）の格子点数の合計より少ない）のほとんどは明らかな堆積傾向を示している．侵食傾向を示した格子点はＭｏ，Ｎｏ，Ｍｎ，Ｎｎ，Ｊｌ，Ｋｌ，Ｎｉの７個だけである．特に面①を除いた面②～⑩は，ほとんど堆積傾向下において形成されたことを示している．これとは対照的に，階級３の面は⑪Ｈｍ-Ｉｍ-Ｉｌ-Ｈｌ（格子点数は４），⑫Ｊｌ-Ｋｌ-Ｋｋ-Ｊｋ（格子点数は４），⑬Ｄｉ-Ｅｉ-Ｅｈ-Ｄｈ（格子点数は４）の３個しかない．これらの格子点は侵食傾向下にある場合が多い．

Ｒｕｎ２によって造られた斜面には階級４，５の面は少ない．階級４の面は⑭Ｋｊ-Ｌｊ-Ｌｉ-Ｋｉ（格子点数は４），⑮Ｎｈ-Ｏｈ-Ｏｇ-Ｎｇ（格子点数は４）の２つであり，階級５の面は⑯Ｊｋ-Ｌｋ-Ｌｉ-Ｊｉ（格子点数は６），⑰Ｇｊ-Ｉｊ-Ｉｉ-Ｇｉ（格子点数は６），⑱Ｄｉ-Ｅｉ-Ｅｈ-Ｄｈ（格子点数は４）の３つである．⑭～⑱の面を囲う格子点はほとんど堆積傾向下にあり，侵食傾向下にあるのはＤｈだけである．階級３の面は斜面中部付近に広く分布する．すなわち，

⑲Ｈｈ-Ｋｈ-Ｋｇ-Ｈｇ（格子点数は８），⑳Ｈｇ-Ｌｇ-Ｌｆ-Ｈｆ（格子点数は12）である．Ｒｕｎ１の斜面と同様に，階級３の面を囲む格子点はほとんど侵食傾向下にあり，堆積傾向下にあるのはわずかにＬｆのみである．これらのことから，階級４，５の面を囲う格子点は堆積傾向下にある場合が多く，逆に階級３の面を囲む格子点はほとんど侵食傾向下にあるといえよう．

Ｒｕｎ２において造られた斜面には階級０の面が出現する（写真４）．すなわち面Ｉｍ-Ｋｍ-Ｋｋ-Ｉｋ（格子点数は６）である．この面は傾斜4.9°以下と極めて緩傾斜である．この面の上方を囲う格子点（Ｉｍ，Ｊｍ，Ｋｍ）はいずれも侵食傾向下にあるのに対し，下方を囲う格子点（Ｉｋ，Ｊ，Ｋｋ）はいずれも堆積傾向下にあることから，この面は表面流による砂礫の移動によって平滑化されたと考えられる．また，この面は側方向に隣接する格子点（Ｌｍ，Ｍｍ，Ｍｋ，Ｎｋ）より高度が高くなっている．このことから表面流は面Ｉｍ-Ｋｍ-Ｋｋ-Ｉｋを造った後，流路を側方向に移動して下刻したと考えられる．Ｌｍ，Ｍｍ，Ｍｋ，Ｎｋなどの側方向にある格子点がいずれも侵食傾向下にあ

写真４　Ｒｕｎ２中に形成された段丘状地形

ることもこの考えを支持する．ところで斜面上部に位置するほど，より早く砂礫の供給が少なくなったと考えられる．この面を含む斜面上部はＲｕｎ１～Ｒｕｎ２と経過する中で，常時侵食傾向（砂礫の供給不足）にあったと考えられる．水山（1988）が指摘するように土石流が発生する流路において砂礫の供給が不十分になったため，流路の下刻が生じたと考えられる．

今まで沖積錐の形成に関しては岩屑供給の増減と掃流状あるいは土石流状の各種の岩屑流の発生を関連させて検討した研究は少ない．その中で，柳井・新村（1990）は斜面傾斜約10°の土石流扇状地堆積物に挟在するテフラから推定される土石流の発生時期と，背後の山地斜面におけるテフラの残存状態から推定される山地斜面の崩壊時期がよく対応していると報告している．また，磯ほか（1980）は離水年代が判明している河成段丘上の沖積錐の体積と流域面積の関係などから，土石流の発生頻度と沖積錐の成長速度を検討している．しかし，これらの研究は土石流の発生によって沖積錐堆積物あるいは土石流扇状地堆積物が堆積する場合を想定しており，侵食される場合を考慮していない．また磯部（1990）は筑波山周辺の緩斜面の形成が，主に土石流の側刻によることを明らかにしているが，岩屑供給量の変化との関係については明らかにしていない．

本実験で明らかになったように，沖積錐において20.0°～29.9°の斜面はその上方および下方の格子点が堆積傾向にある場合が多く，15.0°～19.9°の斜面はその上方および下方の格子点が侵食傾向にある場合が多い．この知見は沖積錐斜面に供給される岩屑量と約20°を域値とする沖積錐斜面の傾斜との間に密接な関係があることを示している．岩屑供給量の増減と沖積錐斜面の侵食に密接な関係があることは，現成の沖積錐斜面の経年変化を詳細な測量によって検討した池田ほか（1993）も報告している．今後，実際の沖積錐斜面においてこうした関係が認められるかどうか，長期的に観測された事例をさらに重ねる必要があろう．なお，本実験で観察された斜面傾斜と発生するプロセスの関係については別稿で議論する予定である．

５．まとめ

実験の結果，以下の知見を得た．①20.0°～24.9°の斜面および25.0°～29.9°の斜面は，その上方および下方の格子点が堆積傾向にある場合が多い．また，15.0°～19.9°の斜面はその上方および下方の格子点が侵食傾向にある場合が多い．この結果は沖積錐斜面に十分な岩屑が供給されている時は20°以上の傾斜になりやすく，逆に供給される岩屑が少ないと20°以下の傾斜になりやすいことを示唆している．②original slope～Run１～Run２と経過する中で，特に計測斜面上部において流路の固定と下刻，それに伴う段丘状地形の形成が観察された．計測斜面の上部はいち早く砂礫が斜面下方に移動し，上方からの砂礫の供給が無いため，実験中は常時侵食傾向（砂礫の供給不足）にあったと考えられる．このことから沖積錐斜面に認めら

れる深く下刻した流路は，供給岩屑の減少が原因となって形成される可能性が指摘される．

謝　辞

本稿を作成するにあたり，筑波大学陸域環境研究センターの池田　宏先生と飯島英夫氏には多くの御助言と御便宜をお取り計らい頂きました．

この拙論を本当に多くのご心配をおかけしたにもかかわらず，常に暖かい励ましを下さいました守屋以智雄先生の定年退官に献じさせていただきたいと思います．

なお，本稿の骨子は2000年度秋季東北地理学会および2001年度秋季日本地理学会で発表した．

文　献

池田　宏・伊勢屋ふじ子・小玉芳敬（1993）：大井川上流の沖積錐における岩屑の移動・堆積．筑波大学農林技術センター演習林報告，9，149～173．

伊勢屋ふじ子・小玉芳敬・池田　宏（1995）：岩屑の移動様式の急変にともなう沖積錐の成長と開析．地形（1995年春季研究発表会講演要旨），16，310．

磯　望・山川克己・半澤　宏・松原敏子（1980）：岐阜県高原川流域における土石流による岩屑供給と沖積錐の成長速度．地理学評論，53，699～720．

磯部一洋（1990）：茨城県筑波山・加波山周辺の緩斜面堆積物の形成について．地質調査所月報，41，357～371．

江頭進治（1988）：土石流の流動機構．「災害地形最前線」，63～82，奥田節夫教授退官記念事業会．

斉藤享治（1988）：「日本の扇状地」．古今書院，280p．

水山高久（1988）：土石流に関する実験的研究．地形，9，269～278．

柳井清治・新村義昭（1990）：大規模崩壊地における土石流扇状地の発達過程．地形，11，349～362．

渡部　真（1994）：岩屑の流動勾配に及ぼす砂礫と水の混合比の影響に関する実験的研究．地形，15，349～369．

Bull, W.B. (1977): The alluvial fan environment. Progress in physical Geography, 1, 227～270.