

87 マサ土斜面の流動型崩壊の可能性 ～三軸試験機内での流動実験より～

広島大学総合科学部 海堀正博
広島県林務部 打明英之

はじめに 豪雨による崩壊や土石流の調査をしていると、流動型崩壊と思われるものにしばしば出会う。流動型崩壊とは崩壊が発生したと同時にいわゆる液状化の状態となり、高い流動性を持って斜面を流下する現象である。土石流の発生メカニズムのひとつとしてはあまり認知されているようには思えないが、現地ではしばしば土石流の発生源にあたる崩壊がこのタイプであるように思える場合がある。そこで、流動型崩壊がどのようなメカニズムで発生するのかを研究することになった。いわゆる液状化の状態になるのであるから、崩壊の発生時に高い過剰間隙水圧が発生していなければならない。そのためには最低限、土粒子の間隙がほとんど飽和した状態であり、かつ、破壊時に負のダイヤランシーの発生するような低密度の状態で非排水状態で変位が進まなければならない。これまで、豊浦標準砂、火山灰土(軽石)を使った実験から、飽和度で85%以上、間隙比で0.85以上であれば、液状化しうることを確かめている。では、広島県に広く分布しているマサ土地帯では、このような現象が発生する可能性はあるのであろうか。マサ土分布地域でのこれまでの調査から、現地に流動型崩壊の発生したと思われるような形跡が見られた例は多い。たとえば、土石流源頭部の崩壊地の周辺で泥しぶきの飛び散った跡が未崩壊地斜面の立木に付着している例である。これは、崩壊が発生したと同時に、土塊の内部に過剰間隙水圧が発生して噴き出した際に飛び散ったものと考えられる。ただし、従来から液状化の発生に対してずっと疑問視されてきた大きな理由のひとつが、はたして液状化の起こるような低密度状態が自然斜面に存在するのだろうか、という点にあった。今回はこの点について、1993年夏に豪雨により発生した東広島市の土石流発生現場でいくつか調査を行ったので報告する。

1. 誘因としての降雨の状況 東広島は比較的降雨の少ない地方で、これまで土砂災害をひき起こすような降雨が記録されていなかった。しかし、1993年は全国的に梅雨期頃から降雨が続き、冷夏として記録に残るような異常な年であり、東広島及びその周辺でも6月28日～7月3日と7月26日～28日の期間に発生した集中豪雨期には、小河川の氾濫やいくつかの土砂移動現象が生じた。特に、後者の雨は実質的にはほとんど2日間に250mm以上の地域が多く出るような集中的なものであった。

2. 発生した土砂移動現象の状況 この豪雨によって東広島でも、西条湖成層地帯の周辺の花崗岩地帯を中心に、崩壊や土石流が百箇所以上発生したものとみられ、筆者らの研究室でも、そのうちの60箇所を調査した。今回はその調査報告が目的ではないので詳細は避けるが、凹地形部での崩壊や土石流が全体の2/3を占めたこと、崩壊か土石流かで分類すると85%が崩壊であったこと、不明のものを除いて38%もの崩壊または土石流が30°以下の緩斜面で発生していたことなどの特徴があげられる。

3. 土石流発生現場の土の堆積状況 調査した土石流発生現場のうちから、龍王山のものや曾場が城山の2つのものについて報告する。ただし、以下の調査は源頭部崩壊地左岸側の未崩壊斜面の堆積物を順次攪乱しないように掘り起こす方法による。

3.1. 深さ方向の堆積密度の分布 図1に龍王山のもの示す。図中の網を掛けた深さには黒色の腐植土壌層が存在していた。このことから、この場所は過去に少なくとも2度以上土塊の移動を伴う現象が起きていたことがわかる。また、傾向線としての曲線にはうまく表現できなかったが、腐植土壌層の場所では極端に密度が低いことがわかった(注:現在の地表部に存在する腐植土壌層は除去して調査している)。さらに、多くの深さで1.2～1.3g/cm³という低密度で堆積していることがわかった。これに対し、曾場が城山のものほぼ一様に増加する傾向が見られた(図省略)。こちらのものは龍王山のものに比べてやや密度が高いが、それでも1.3～1.4g/cm³の範囲のものが多い。ちなみに、調査地付近での崩壊深さは、龍王山の左岸側で1.7m、曾場が城山の左岸側で1mであった。

3.2. 深さ方向の土砂の粒度分布 図2に龍王山のもの、図3に曾場が城山のもの示す。内訳の割合を全体長が乾燥密度になるように表示している。これよりはっきりと龍王山の土塊が、花崗岩が現地でそのまま風化してきたものでない構造であることがわかる。これに対して、曾場が城山の土塊は現地風化の様相を呈しているように見受けられる(注:現地調査における観察からは、崩壊土と明確にわかるものが源頭部崩壊の右岸側凹地形部周辺に分布していたが、堆積物の調査を実施した左岸側は凹地形部ではなかった)。

4. 室内実験による流動型崩壊の再現 三軸圧縮型の試験機を使って、土をできるだけゆるく詰め固めて供試体を作製し、飽和させた後、非排水条件の応力制御方式で軸圧を少しずつ加え、流動型破壊を起こすことを試みた。なお、この実験では、比較的風化程度の低い原位置風化のマサ土を、曾場が城山の土石流発生現場近くから採取して用いた。

4.1. 実験結果 そのままの状態のマサ土を均質に詰め固めたものでは、クリープ状の破壊を起こすのがせいぜいであった。すなわち、応力制御で軸圧を増加させるに従って、ただちに軸変位がそれに応じて発生するというものである。ところが、粗密の繰返しになるようなサンドイッチ構造で供試体を作製すると、少しは急激な変位も起こるようになったが、やはり、それ以前にかなり軸変位が進んでしまう状況であった。

そこで、105ミクロン以下の細粒分を水洗によって除去したマサ土を使って同様の実験をしてみた。すると、サンドイッチ構造の供試体において、部分的だが上部または下部の少なくともどちらか一方には液状化が発生し、全体の破壊に至ることが確かめられた。ただし、豊浦標準砂などにおいて見られる完全な液状化破壊に比べると、変位の速度が小さいことなどもわかった。また、強度にあたる主応力差と供試体の初期密度との関係を見ると、細粒分を除去したものの方がそのままのものに比べて、小さな密度で大きな強度を持つことがわかった(図4)。これは、実験で用いた試料の場合、細粒分の入っている量だけ全体として密度の増加はあるものの、それがあまり強度の増加に寄与していないことを意味する。すなわち、供試体の骨格を支えることに細粒分の多くが貢献していないことを意味するものと考えられる。

4.2. 考察 以上のことから、地震動などによらない液状化の発生には、過剰間隙水圧が急激に上昇して急激な軸変位の発生する瞬間まで、骨格を支えられるような構造が必要であることがわかる。そのためには、凹地形部でふだんから水の流れによって細粒分が溶脱されやすい場所であるとか(土塊の骨格構造を支えることにあまり貢献していないような細粒分は溶脱もされやすいであろう)、龍王山のような粗密の繰り返しのような不均質構造であるなどの条件が必要である。また、実験での液状化の発生は1.4g/cm³以下の密度で起こりうることから、自然斜面に存在する密度の範囲でも十分流動型崩壊の発生する可能性があると言える。

5. まとめ マサ土分布地域の自然斜面でも流動型崩壊の発生する可能性があることが、室内実験および現地調査から確かめられた。ただし、液状化の程度は細粒分の割合が多いと小さくなったことから、凹地形部などでふだんから水の流れによって細粒分が溶脱されているような場所でなければ発生しにくいものと考えられる。このことは、土石流化した崩壊が凹地形部に高い割合で発生していることとも矛盾しない。

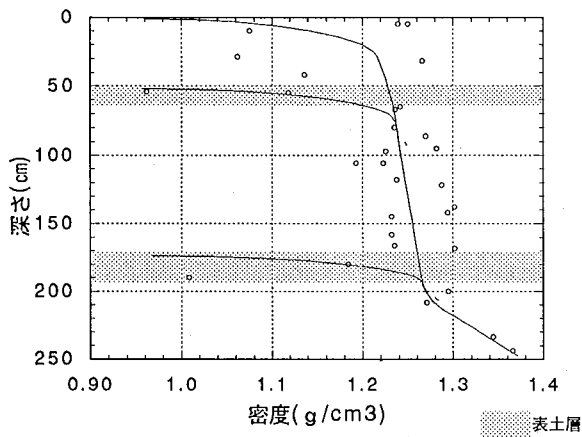


図1 鉛直方向の密度分布 (龍王山北側)

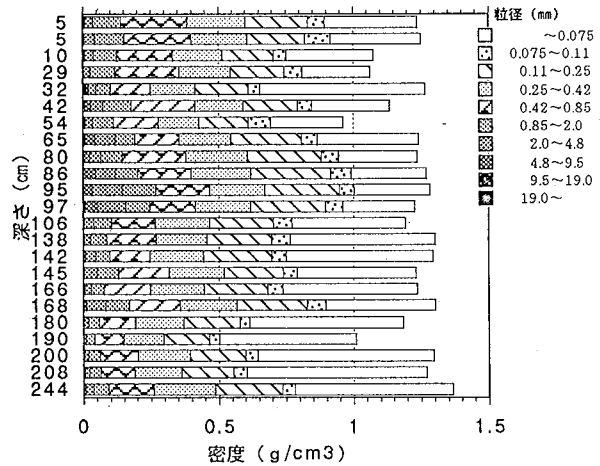


図2 鉛直方向の粒径別密度組成 (龍王山北側)

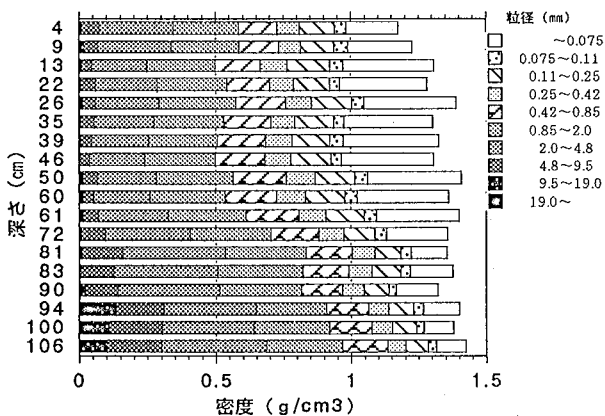


図3 粒径別密度組成 (曾ヶヶ城山)

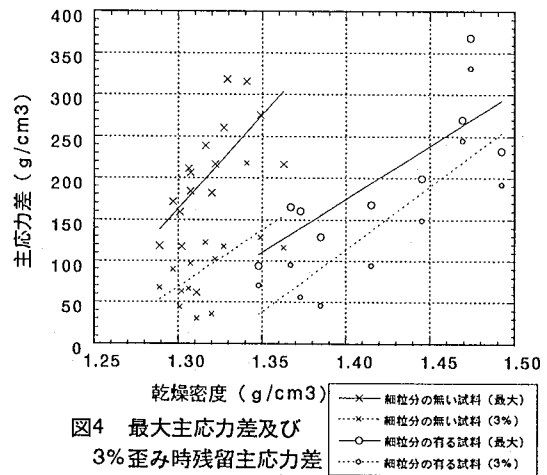


図4 最大主応力差及び3%歪み時残留主応力差