

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 沼田 宗純

2008年度当初の5月12日に中国四川省で、その1ヶ月後の6月14日には岩手・宮城内陸で大きな地震が相次いだ。これらの地震では震源域である山中で大量の土砂崩壊が発生し、また大量の土砂が河川や貯水池に流れ込み、川を堰き止め、川床のレベルを上昇させるなど、その後の復興や国土保全に長期の課題を投げかけている。こうした点で例えば2004年に発生した中越地震などにも共通するものがある。本論文は、中越地震の被害地調査経験を持つ提出者が地すべり土塊の到達距離を支配する要因について数値解析と実事例を元に、新たな評価の基軸になりうる考え方を提示したものである。地すべりなどの大きな広がりを持った自然現象をサンプル採取とその試験による結果で評価する場合には、それらのサンプルが必ずしも土塊全体、あるいはすべり面全体の物性を代表する保証が得られないことに留意しなければならない。一方で地すべり土塊そのものの移動は、土塊が平地に達してその速度を落とす場合、これを自然が行う大きな一軸圧縮試験であると見なすことができる。サンプル試験の結果に現場で計測可能な形状、到達距離などの情報を補って、地すべり土塊の到達距離を議論する手順を示すことが肝要である。第1章ではこうした論文の背景と本研究の目的、そして既往の研究についてまとめている。

第2章は本論文での様々な数値解析に用いるMaterial Point Method (MPM)についてまとめている。MPMは移流項を粒子で、他の項をオイラー格子で計算するParticle-in-cell (PIC)という粒子法の一つである。この手法は、粒子を用いてLagrange法で移動流を表現するため、数値拡散が発生しにくいこと、粒子が移動可能な領域を、格子を用いて容易に表現できる特長があり、地すべりのような大変形解析に適した方法である。MPMで3次元の土塊モデルを構築することは可能であるが、本論文では土塊を上から俯瞰する形で、それぞれの粒子がすべり面上に投影された土柱の平均的な物性を表現するという擬似3次元的な表現(Hunger,1995, 阿部, Johansson, 小長井, 2007)を用いている。

第3章から第6章まではそれぞれ代表的なパラメータを変化させて、土塊の到達距離と変形についての検討を、MPMを用いて行っている。それらの検討結果を要約すると以下ようになる。まず滑り始めた土塊が平地に達すると、平地面からの抵抗が次第に大きくなるが、土塊全体の移動方向の軸力が限界値(擬似三次元MPMによる数値解析の場合、Rankine受動土圧に相当)に達するまでは、土塊全体の長さに顕著な変化は現れない。しかし一旦限界値に達すると、

既に平地に達していた土塊はその後の軸力増加が激減するために、さらに顕著に前方に押されることはない。このため受動土圧に達するに十分な土塊長さがある場合、到達距離は土塊の初期の長さに鋭敏に影響されなくなる。言い換えれば受動土圧が到達距離を大きく支配することになる。このことは斜面上に残留する土塊の長さについても同様である。以上の知見から、地すべりの最終形態とすべり面の基本的物性を把握することで平坦面と土塊との相互作用とともに土塊の到達距離を現場で議論できる可能性があることを示している。

第7章では、土塊厚さが薄い場合、受動土圧に達する前に土塊の座屈（バックリング）が発生する可能性があることに言及している。その事例として2004年中越地震で発生した横渡地区の斜面崩壊を挙げている。ここはかつて海底にほぼ水平に堆積した泥岩、シルト岩、砂岩の互層が褶曲して海面上に現れ、現在もその褶曲が緩慢に進行しているいわゆる活褶曲地帯である。横渡地区では砂質泥岩を主体とする表層の板状の岩塊が3箇所ですり落ちていて、その内の最南端の崩壊箇所では地震直後に明瞭な座屈が観察されている。この崩壊斜面脇で滑り面のブロックサンプリングやボーリングコア採取がなされ、すべり面の物性について詳細な検討がなされているが、それらの成果（例えばDeng, Koseki et al, 2008）を用いて、また航空写真やLiDAR (Light Detection and Ranging)によって得られた岩塊の到達距離などの形状パラメータを用いて、この崩壊での限界軸力や、平坦面と岩塊との平均的な摩擦係数についての推定値を論じている。これらの結果は計測可能なデータで、岩塊全体の変形や到達距離を整合的に説明しえることを、事例をもって示したものである。

第8章は本研究で得られた知見を整理し、今後の実験手法の発展の方向と課題をまとめている。

以上、本研究は、地すべり土塊の到達距離を支配する重要な要因を綿密に準備された大変形解析から丁寧に抽出し、計測可能な限定された情報を活用して、土塊の到達距離を議論するための方法論を提示したものであり、今後の発展性も高くまた有用性に富む研究成果と評価できる。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。