

## 論文審査の結果の要旨

氏名 平野史朗

本論文は地下に遍在する物質境界が、地震時の動的破壊すべりにどのような影響を与えるかを数理的手法を用いて考察した論文であり、序章、終章に挟まれた二つの章に付録を加えた構成となっている。序章のイントロダクションでは、地震現象の理解のために物質境界を考慮する必要性について大局的な説明を行い、数理的手法を重視した本研究の位置づけを示している。第一章では物質境界が断層面である場合に、境界に沿って破壊すべりが伝播する状況を取扱い、第二章は物質境界と交差する断層面上を破壊すべりが伝播する状況を取り扱っている。最後に終章において全体の総括を行うとともに、地震科学における数理的手法を用いた研究の必要性と今後の展望について議論している。

第一章で扱う、物質境界に沿って伝播する破壊すべりについては、過去に多くの数値計算研究が行われてきたが、数値研究であるが故にパラメータ依存性を網羅的に検討することの限界が明らかであった。一方本研究では、モデル設定の工夫により問題を計算可能な積分方程式の形に定式化し、解析解を導出することに成功した。その際、定常パルスとして伝播する破壊すべりを仮定し、摩擦法則やすべり速度について物理的にもっともらしい条件を仮定している。さらに導出した解析解を用いて、初期応力と摩擦法則、破壊伝播方向と伝播速度によって解の存在条件が制限されることを示した。特に伝播方向による制限は強く、この結果は地震観測によって示唆される破壊すべりの媒質不均質依存性を議論するうえで重要な示唆を与える。また本研究の条件で実現可能な破壊伝播速度は、過去の解析的研究から示唆されていた値とわずかだが異なるというのも重要な知見である。

第二章で扱う、物質境界と交差する断層面上を伝播する破壊すべりについては、観察事例からその重要性が近年重視されるようになってきている。過去数例の数値計算研究が行われているものの、ベンチマークとなる解析解は知られていなかった。本研究では二層からなる構造中の変位場を複素積分により解析的に評価することに成功し、ベンチマークとして使用可能な解析解を提出した。この解析解を動的破壊すべりの数値計算手法として広く用いられている境界積分方程式法に導入することで、より複雑な形状の断層における破壊すべりの振る舞いを調べることが可能になる。本研究では実際に境界と交差する摩擦のない断層の挙動について数値計算を行い、境界が存在するために伝播途中ですべり速度が加減速されることを示した。特に減速する場合には破壊すべりが停止し、地表で観測される強震動に影響する可能性を指摘している。

本研究は数値計算研究全盛の現在において、古典的ともいえる積分方程式や複素積分などの数理的手法を駆使して、動的破壊すべりの知られていなかった一面をあぶりだした点で非常に独自性の強いものである。定常パルス型の破壊すべりに対して、単に解を求めただけでなく、その存在範囲を明確に示すことができたのは数理的手法の長所である。また今後の数値計算研究に役立つベンチマークや新たな数値計算手法を提示できた点も評価が高い。論文提出者の高い数学的能力がなければ実現できなかった重要な成果である。

尚、本論文は山下輝夫教授（平成 25 年 3 月退職）の指導の下に行われた研究をまとめたもので、共同研究として公表されるが、論文の骨格は論文提出者自身の発想に基づくものであり、解の導出や数値計算も論文提出者が主体的に行ったものである。従って論文提出者の寄与は十分であると判断する。

従って、博士（理学）の学位を授与できると認める。