

|          |                              |
|----------|------------------------------|
| 氏 名      | 石 川 達 也                      |
| 学位(専攻分野) | 博 士 (工 学)                    |
| 学位記番号    | 論 工 博 第 3421 号               |
| 学位授与の日付  | 平 成 11 年 3 月 23 日            |
| 学位授与の要件  | 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当      |
| 学位論文題目   | 粗粒材の変形特性を考慮した軌道破壊現象の解明に関する研究 |

(主査)

論文調査委員 教授 嘉門雅史 教授 大西有三 教授 岡 二三生

## 論 文 内 容 の 要 旨

鉄道工学の主要な研究課題の一つである有道床軌道における軌道破壊については、その重要性から現象解明のために多くの研究が実施されてきた。しかしながら、従来は理論的取扱いの困難さから、道床部の変形挙動について経験的にしか把握されていなかった。本論文は、道床部の繰返し塑性変形機構を道床バラスト粒子の移動という粒状体力学の観点から軌道破壊理論の確立に取り組み、粒状集合体としての道床部の繰返し塑性変形特性を評価した汎用性のある軌道構造解析手法の構築を目的に、実験的検討と解析的検討を行ったものであって、以下の9章からなっている。

第1章では、本研究の目的と意義及び論文の構成を概述している。

第2章では、従来の研究動向として現状の軌道構造設計手法の構成と従来の軌道破壊理論をまとめている。

第3章では、道床部の繰返し塑性変形挙動を主体とする軌道破壊現象を地盤工学的な観点からとらえて研究の理論的な方向付けを行うとともに、軌道破壊現象の主因が道床バラスト粒子の滑動現象にあることを明確にした。

第4章では、実物大試験軌道に対する上下・左右方向の荷重振幅一定の繰返し载荷試験を行い、道床部の繰返し塑性変形挙動を地盤工学的観点から検討した。その結果、道床部塑性変形の主因が道床バラスト粒子間のすべりであることを明らかにし、道床部塑性変形量の実用的な簡易予測式を提案した。また、繰返し载荷に伴う道床バラスト粒子の移動が、道床部の変形機構や構造特性あるいはまくらぎの支持状態や道床部の応力状態に強く影響を及ぼすことを明らかにした。

第5章では、道床部の繰返し塑性変形挙動について、列車荷重載荷時の道床部の応力状態を想定した道床バラストの大型繰返し三軸試験を行い、粗粒材である道床バラストの基本的な力学特性(強度特性・変形特性)を検討した。その結果、繰返し载荷時の道床部の塑性変形挙動は道床バラストの材料特性に起因するものであること、および道床バラストの繰返し塑性変形挙動は道床部を粗粒材料の集合体と考えた理論構築が現時点で最も適切であると結論づけている。

第6章では、道床部を粒状集合体と考えた数値解析をDDAにより実施し、5章で行った大型三軸試験による、粗粒材の繰返し塑性変形挙動に対するDDAの適用に関する検討を行った。その結果、ボロノイ分割を用いたDDA解析は内部摩擦角の大きい粗粒材の変形挙動解析に対して有効であること、および特別な構成則を用いることなく実現に近い繰返し塑性変形挙動を表現できることを立証した。また、解析結果に基づき道床バラストの変形挙動を粒状体力学の観点から考察し、道床バラストの繰返し塑性変形機構の本質が、道床碎石粒子間の相対的な位置関係の変化(すべりを伴う粒子構造の再配列)にあることを明らかにした。

第7章では、繰返し载荷時の道床部の変形挙動に対するケーススタディを行い、道床部の繰返し塑性変形挙動に対する離散化解析手法(FEM・DDA)の適用性について検討した。その結果、道床部の変形挙動解析を行う場合、まくらぎ/道床バラスト間の不連続性の評価方法が解析結果の信頼性を左右する主たる要因となることを明らかにし、軌道構造解析手法における道床部の工学的扱いを適正化するには、連続体解析手法よりも不連続体解析手法の方が有用であると結論づけた。さらに、DDA解析によれば道床バラスト粒子の移動に伴う道床部変形挙動の変化を実現に近い形で解析できることを証明

し、粒状集合体としての道床部の材料特性を評価しうる汎用性のある軌道構造解析手法を構築した。また、DDA解析結果に基づき道床部の繰返し塑性変形挙動を粒子配列の構造変化の点から考察し、道床部の繰返し塑性変形機構の本質が第3章で検討したように圧縮と流動にあることを明らかにした。

第8章では、従来の軌道破壊理論と比較して本研究の有用性と新規性をまとめている。まず、経験則に基づく従来の軌道破壊理論の力学的根拠が、本研究で得られた道床バラスト粒子のすべりにあるとする道床部塑性変形の理論と同義であることを明らかにし、道床部の繰返し塑性変形挙動を粒状体力学の観点から捉える独創的な軌道破壊理論を確立した。さらに、提案した簡易予測式に現れる回帰係数の物理的意味付けを行いその一般性の向上を図っている。さらに、設計者の利便性を考慮してDDA解析よりも実務的であり、かつ簡易予測式よりも汎用性のある予測手法として、道床バラストの繰返し塑性変形特性を応用したFEMによる軌道構造解析手法を提案した。また、軌道構造設計における不連続体解析手法の意義を明確にするとともに、本研究で提案した3種類の軌道構造解析手法の適用条件について言及した。

第9章は結論であり、本論文で得られた成果を要約すると共に、今後検討されるべき課題を具体的に提起した。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、有道床軌道における軌道破壊現象の解明のために、従来は経験的にしか把握されていなかった道床部の繰返し塑性変形機構を、実験と数値解析の両面から詳細に検討したものであって、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 実物大試験軌道に対する上下・左右方向の荷重振幅一定の繰返し載荷試験を行い、道床部の繰返し塑性変形挙動を地盤工学的観点から検討し、道床部塑性変形の主因が道床バラスト粒子間のすべりにあることを明らかにし、実用的な道床部塑性変形量の簡易予測式を提案した。

2. 道床バラストの大型三軸試験をDDA（不連続変形法）により解析し、粗粒材の繰返し塑性変形挙動に対するDDAの適用方法に関して検討を行った。その結果、ボロノイ分割を用いたDDA解析は内部摩擦角の大きい粗粒材の変形挙動解析に対して有効であること、およびDDA解析によれば特殊な構成則を用いることなく実現象に近い繰返し塑性変形挙動を表現できることを立証した。

3. DDA解析結果に基づき道床部の繰返し塑性変形挙動を粒子配列の構造変化の点から考察し、道床部の繰返し塑性変形機構の本質が、道床バラストの圧縮と流動にあることを明らかにした。

4. 経験則に基づく従来の軌道破壊理論の力学的根拠が、本研究で得られた道床部塑性変形の主因を道床バラスト粒子のすべりにあるとする考え方と同義であることを明らかにし、道床部の繰返し塑性変形挙動を粒状体力学の観点から捉える独創的な軌道破壊理論を確立した。

以上要するに、本論文は有道床軌道における軌道破壊現象が、地盤工学的見地からは道床部の繰返し塑性変形挙動であることを実験的に検証すると共に、ボロノイ分割を用いたDDA解析に基づいてバラスト粒子配列の圧縮と流動現象であることを明らかにして、実設計への導入を行ったものであり、学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成11年2月8日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。