

学位論文題名

粘性土路盤上に敷設された既設線省力化軌道の 変状メカニズムと変状対策に関する研究

学位論文内容の要旨

鉄道において古くから採用されているバラスト軌道は、道床バラストの突固めによる定期的なメンテナンスを前提とした構造である。現在、この突固め作業は機械化が進んでおり、道床バラストの状態が良く、適切な列車密度と列車荷重であれば、維持管理コストもそれほど高くはならない。しかしながら、都市部の繁忙線区においては、列車の過密ダイヤや高速化に伴って、当初の想定以上の軌道劣化が日常的となってきており、バラスト軌道の維持管理コストの増大が鉄道事業者にとって深刻な問題となっている。また、保線作業は夜間作業が基本であるため、労務コストが割高な上、鉄道沿線人口の増加に伴って、そもそも夜間保守作業を行なうこと自体が沿線環境問題上困難となってきている。

そこで、既設線の線路保守作業を低減するために、バラストを用いない既設線省力化軌道がいくつか考案された。これらの軌道は、高い剛性で路盤への負荷を低減させて軌道沈下を抑制するという思想の下に開発が行なわれ、主に1970年代～1980年代前半にかけて試験施工が行なわれている。しかし、試験施工において、路盤不良箇所(主に粘性土路盤)においては路盤変状がしばしば発生したため、原地盤の K_{30} 値が 70MN/m^3 未満の箇所については、路盤改良を行なってから省力化軌道を敷設すべきこととなった。これは、実質的には粘性土路盤上には既設線省力化軌道が敷設できないことと同義である。

しかしながら、近年になって、都市部の列車密度が高い線区については、維持管理コストの低減に対するプライオリティが高まり、結局、路盤変状の詳細なメカニズムは解明されないまま、見切り発車的に既設線省力化軌道の本格施工が開始された。これは、

1. 省力化工事の対象とするバラスト軌道の路盤は、数十年に渡って列車荷重履歴を十分に受けており、道床バラストの路盤への貫入は収束している。
2. したがって、路盤には十分な強度があり、バラスト軌道の現在の沈下はバラストのせん断変形によってのみ発生していると考えられる。
3. すなわち、バラストのせん断変形さえ拘束してしまえば、粘性土路盤であっても軌道が沈下することはない。

といった、一連の思想の下に、基本的に路盤改良は行なわずに施工されている。

その結果、過去の事例と同様に、敷設開始から数年経過して粘性土路盤で路盤変状が発生し始めており、修復に多大なコストを要する箇所が増加している。これは、前述の思想には何らかの不備があるということに他ならない。

これまで、既設線省力化軌道下の粘性土路盤の変状に関する体系的な研究は行なわれておらず、バ

ラスト軌道の噴泥現象から変状メカニズムが類推されていた。しかし、過去の試験施工において、ラスト軌道を既設線省力化軌道に置換した際に、路盤への作用荷重が低減しているにも関わらず路盤変状が発生したという事実に鑑みれば、圧密沈下や支持力といった一般的な力学的問題として解決できないことは明らかである。

以上の背景から、本研究は既設線省力化軌道下の路盤変状メカニズムについて、既成概念に囚われず基本から検討して解明することを最大の目的とした。その上で、実際の繁忙線区で適用できる簡易な対策法について検討を行なうこととした。

本研究は全 8 章で構成され、各章の概要は以下のとおりである。

第 1 章では、筆者が行なった既設線省力化軌道の現地調査結果を総括し、本研究の背景を具体的に解説した。また、関連する既往の研究をレビューし、本研究の位置付けを行った。

第 2 章～第 5 章の主題は、「既設線省力化軌道下の路盤変状メカニズムの解明」である。既設線省力化軌道下の路盤変状に関するこれまでの一般的な知見は、「水」「粘性土」「繰返し荷重」というキーワードを漠然と推測で結びつけたものであり、変状の進行がリアルタイムで観測されたことがなかった。したがって、変状の再現に必要な試験条件(境界条件、荷重条件、土質条件、その他)、試験装置(模型実験か要素実験か等)についての試行錯誤に最も多くの時間を費やした。

第 2 章では、ラスト軌道と既設線省力化軌道において、路盤に作用する荷重条件や変位量の違いについて、FEM 解析によって検討を行なった。

第 3 章では、小型模型試験によって路盤変状の再現を試みた。その結果、一連の実験の中で従来の解釈とは異なる路盤変状メカニズムが明らかとなり、対策工の基本方針が示された。

第 4 章では、路盤変状が生じる可能性のある土質特性を、要素実験によって確認した。結果として、土のコンシステンシー限界より導き出される噴泥指数 A' が、路盤変状の発生リスクの評価指標となり得ることが明らかとなった。

第 5 章では、実物大模型試験によって路盤変状の再現を試みた。その結果、実軌道スケールでの路盤変状の進行が再現され、路盤変状は極めて早い速度で進行することが確認された。

第 6 章および第 7 章の主題は、新しい路盤変状対策工法の開発である。解明された路盤変状メカニズムに基づいた、簡易な路盤変状防止対策、あるいは効果的な補修方法について検討を行なった。

第 6 章では、既設線省力化軌道を新規に敷設する際の、路盤変状防止対策の検討を行なった。これまで、変状の可能性のある路盤に既設線省力化軌道を敷設する場合、置換工法等の路盤改良を行なうしか対策法の選択肢がなかったが、新しく考案した 2 種類の対策工法について検討し、実物大模型試験によって両者とも顕著な変状防止効果があることが確認された。

第 7 章では、すでに路盤変状が発生してしまった既設線省力化軌道の合理的な補修方法に関する検討を行なった。既設線省力化軌道下の路盤に一旦変状が発生すると、それを補修しても再び変状が発生する例が少なくない。そこで、再変状が発生しにくい、信頼性の高い補修方法を考案し、実物大模型試験を行なった結果、その優位性が確認された。

第 8 章は結論および今後の課題である。各章で得られた結論を総括すると共に、現在進行中の今後の課題について解説している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 三 田 地 利 之

副 査 教 授 三 浦 清 一

副 査 教 授 藤 井 義 明

学 位 論 文 題 名

粘性土路盤上に敷設された既設線省力化軌道の変状メカニズムと変状対策に関する研究

既設の鉄道線路保守作業を低減する目的で考案された、バラストを用いない省力化軌道(以下、既設線省力化軌道)は、高い剛性で路盤への負荷を低減させて軌道沈下を抑制するという思想の下に開発され、主に1970年代～1980年代前半にかけて試験施工が行なわれたが、路盤不良箇所(主に粘性土路盤)においてしばしば発生した路盤変状の詳細なメカニズムは解明されないまま、本格施工が開始された。その結果、敷設開始から数年経過して粘性土路盤で路盤変状が発生し始めており、修復に多大なコストを要する箇所が増加している。

以上の背景から、本研究は既設線省力化軌道下の路盤変状のメカニズムを周到に準備された小型模型試験、実物大模型試験等の結果に基づいて解明するとともに、路盤変状メカニズムに基づいた簡易な路盤変状防止対策、ならびに既に変状が発生した路盤に対する効果的な補修方法を提案したもので8章からなる。

第1章では、著者が行なった既設線省力化軌道の現地調査結果を総括し、本研究の背景について述べるとともに、研究の位置付けを行っている。

第2章では、バラスト軌道と既設線省力化軌道における路盤に作用する荷重条件や変位量の違いについて、FEM解析によって明らかにしている。

第3章では、小型模型試験によって路盤変状の再現を試みており、一連の実験の中で従来の解釈とは異なる路盤変状のメカニズムを明らかにし、これに基づいて対策工の基本方針を明確化した。

第4章では、路盤変状が生じる可能性のある土質特性を要素実験によって確認している。すなわち、土のコンシステンシー限界より導き出される噴泥指数 A' が、路盤変状の発生リスクの評価指標となり得ることを明らかにした。

第5章では、路盤変状進行の再現を目的とした模型試験を実軌道スケールで実施し、既設線省力化軌道下の路盤変状が極めて早い速度で進行することを明らかにしている。

第6章では、既設線省力化軌道を新規に敷設する際の、路盤変状防止対策の検討を行なっている。これまで、変状の可能性のある路盤に既設線省力化軌道を敷設する場合、置換工法等の路盤改良を行なうしか対策法の選択肢がなかったが、著者が新しく考案した2種類の対策工法について検討し、実物大模型試験によって両者とも顕著な変状防止効果があることを確認している。

第7章では、すでに路盤変状が発生してしまった既設線省力化軌道の合理的な補修方法に関する

検討を行なっている。既設線省力化軌道下の路盤に一旦変状が発生すると、それを補修しても再び変状が発生する例が少なくないことから、再変状が発生しにくく、信頼性の高い補修方法を考案し、実物大模型試験によって、その有効性を確認した。

第8章では本研究で得られた知見を総括して結論とし、今後の展望と課題を述べている。

これを要するに著者は、既設線省力化軌道下の路盤変状のメカニズムを周到に準備された小型模型試験、実物大模型試験等の結果に基づいて解明するとともに、その成果に基づいて繁忙線区に適用可能な簡易な路盤変状防止対策、ならびに既に変状が発生した路盤の効果的な補修方法を提案しており、鉄道工学ならびに地盤工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。