

氏名	千田 耕大		
学位の種類	博士（工学）		
学位記番号	博甲第8537号		
学位授与年月日	平成30年3月23日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	路盤影響を考慮したバラスト層の長期沈下挙動に関する実験および個別要素法解析		
主査	筑波大学 教授	博士(工学)	松島 亘志
副査	筑波大学 准教授	Ph. D.	亀田 敏弘
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	庄司 学
副査	筑波大学 助教	博士(工学)	山本 亨輔
副査	鉄道総合技術研究所 主任 研究員	博士(工学)	相川 明

## 論文の要旨

本論文は、新幹線のような高速鉄道のバラスト軌道において、長期間の列車通行振動により発生する軌道不等沈下の問題に対して、その要因としてバラスト層下の路盤の剛性の影響に着目し、[1]実軌道での観測、[2]実物大軌道における繰り返し載荷試験、および[3]個別要素法解析により、そのメカニズムを検討したものである。

[1]実軌道での観測では、東海道新幹線の本線において、軌道条件が極力同じで、軌道狂いの進行がある箇所（沈下箇所）とない箇所（安定箇所）を選定して軌道各部の振動測定を実施している。その結果、(1-a)沈下箇所においてはまくらぎからバラスト下層、すなわち路盤表層までの加速度が全体的に大きく、またバラスト層内での減衰効果が小さい、(1-b)列車からの荷重で大きなエネルギーを持つ約30Hzの荷重列に対して、沈下箇所では加速度PSDにピークが見られたのに対し、安定箇所ではほとんど見られない、などが明らかとなり、応答の差が路盤条件の違いによって生じており、これらの応答の違いが軌道狂いの進行に影響を与えている可能性を示している。

[2]実物大軌道における繰り返し載荷試験においては、実物大軌道において、健全な土路盤と、コンクリート路盤上にウレタン製のマットを敷設した模擬軟弱路盤の2種類の路盤条件を設定し、試験軌道を構築して、移動式載荷試験車により(i)長時間の繰り返し載荷による沈下特性試験、および(ii)軌道の弾性振動特性評価を行っている。その結果、(2-a)模擬軟弱路盤ではレールからバラスト下層までほとんど加速度は減衰しておらず、模擬軟弱路盤上ではバラストより上部がほぼ一体となって振動していること、(2-b)軌道沈下量が増加するタイミングと軌道全体に

発生する加速度が重力加速度を上回るタイミング（健全路盤：35Hz、模擬軟弱路盤：25Hz）が一致していること、(2-c)振動特性試験において振動応答倍率がピークとなる振動数は、レール・まくらぎ・バラストをひとつの質点、路盤剛性をばね定数と考えたときの1質点系振動系の固有振動数に概ね一致し、さらにこの周波数は、繰返し载荷試験でまくらぎ沈下量が最大となった周波数とも概ね一致すること、などを明らかにしている。

[3]個別要素法解析においては、上述の結果のメカニズムを検討することを目的として、路盤剛性を表現するバネを導入したバラスト層モデルを構築し、加振周波数をパラメータとして、長時間の繰返し振動沈下解析を行っている。その結果、(3-a)実物大試験結果と同様、路盤加速度が重力加速度を上回る条件で、まくらぎの急激な沈下が生じること、(3-b)その際には、まくらぎ側方のバラスト粒子が微小に跳ね上がる現象が発生していることを明らかにしている。

最後に、以上の知見が、軌道沈下メカニズムの理解に加え、軌道沈下が発生する箇所に対する新たな補修法などの実務上の検討につながるものであると結論づけている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

鉄道バラスト軌道における長期間の不等沈下は、多大なメンテナンスコストのかかる問題であり、そのメカニズムは未だに解明されておらず、効果的な補修方法のないまま、タイタンパなどでの一時的な対応を続けているのが現状である。本研究は、まず実軌道の観測結果から、不等沈下を起こす箇所では、バラスト層の下の路盤の剛性が十分でないことが要因の一つであると推察し、そのメカニズムを、実物大軌道における繰返し载荷試験および個別要素法を用いた数値解析により検証している。実軌道の長期観測結果は、非常に貴重であり、得られた結果の信頼性も高いと評価できる。また、路盤剛性の影響に着目して行った実物大軌道実験も、貴重なデータであるだけでなく、軟らかい路盤上において、大きな沈下が発生する条件が、「路盤加速度が重力加速度を上回ること」であるという、重要な知見が得られている。更に、そのメカニズムを検討するために、個別要素法解析を行い、結果の詳細な分析を行っている。個別要素法で長時間の繰返し解析をするには多大な計算時間がかかるため、これまで詳細な検討が行われてきたことがなかったが、本研究では、2次元解析で、粒子数をできるだけ少なくして解析することで、長時間繰返し時の粒子層沈下挙動の検討を可能としている。その結果、実物大軌道実験と整合する結果が得られ、そのメカニズムを詳細に捉えることに成功している。このような成果は、今後の軌道維持管理の合理化等に役立つ重要なものであると評価できる。

以上のことを総合して、本研究は博士(工学)の学位に相応しい研究であると評価できる。

### 【最終試験の結果】

平成30年2月5日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。