



Title	バラスト軌道の地震時座屈安定性の評価に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	中村, 貴久
Citation	北海道大学. 博士(工学) 甲第13791号
Issue Date	2019-09-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/75924">http://hdl.handle.net/2115/75924</a>
Rights(URL)	<a href="https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/">https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/</a>
Type	theses (doctoral - abstract and summary of review)
Additional Information	There are other files related to this item in HUSCAP. Check the above URL.
File Information	Takahisa_Nakamura_abstract.pdf (論文内容の要旨)



[Instructions for use](#)

## 学位論文内容の要旨

博士の専攻分野の名称 博士(工学) 氏名 中村 貴久

### 学位論文題名

バラスト軌道の地震時座屈安定性の評価に関する研究

(STUDY ON EVALUATION OF BALLASTED TRACK STABILITY AGAINST BUCKLING UNDER EARTHQUAKE)

バラスト軌道は、鉄道線路に敷設される一般的な軌道構造であり、世界的にも広く採用されている。バラスト軌道は、レールの温度上昇に伴い、レールが長軸方向へ伸長しようとするのを拘束されることでレールに軸力が生じる。この軸力によって軌道を横方向に座屈させようとする力が道床の横方向の抵抗力(以下、道床横抵抗力)を上回ると、著大なレール水平変位(以下、座屈)が発生する。特にロングレール区間では軸力が増加しやすく、酷暑期には軌道の座屈が懸念される。一方で、日本は世界有数の地震国であり、地震動によって道床横抵抗力が低下すると、酷暑期における座屈の危険性がさらに高まる恐れがあることから、地震に対するバラスト軌道の座屈安定性を高めることは重要な課題である。

これまでに列車の走行安全性に支障した地震被災事例の多くは、構造物の変状に起因したものが多く、1995年の兵庫県南部地震では構造物に多数の被害が生じたことで、鉄道構造物の耐震設計に関する検討が進められた。「鉄道構造物等設計標準・同解説-土構造物」を例にとると、2009年の改訂において非常に強い地震動(L2地震動)に対して耐震性能を照査する設計方法の整備が行われた。また、2012年に制定された「鉄道構造物等設計標準・同解説-耐震設計」では、各種構造物でレベル2地震動に対応した設計法の整備が進められた。しかし、支持構造物の耐震性能が向上されているなか、バラスト軌道については、2012年に制定された「鉄道構造物等設計標準・同解説-軌道構造」において、常時の設計法が定められたものの、地震に対しては未整備である。

過去にバラスト軌道の耐震に関する研究が実施されているが、レベル2地震動を想定したバラスト軌道の道床横抵抗力に関する研究、道床形状およびまくらぎ本数と地震時における道床横抵抗力の関係に関する研究、加振中に道床横抵抗力が低下するメカニズムに関する研究、および地震時の座屈安定性を評価した研究は少ない。

このような背景から、本研究では、バラスト軌道の地震時における道床横抵抗力特性および変形挙動の解明と、地震時座屈安定性の評価方法の提案を目的として、小型模型および実物大模型を用いた加振試験等を実施した。模型条件は、まくらぎ本数が1本および3本の軌きょうの2種類とし、道床形状が直線区間と曲線区間の2種類とした。小型模型を用いた加振試験では、地震時の変形挙動を評価するために画像解析を行い、すべり面の発生特性を評価した。また、地震時における道床横抵抗力を極限つり合い法により評価する方法を検討し、加振試験結果と比較した。また、座屈安定性解析によりレール温度の上昇量と地震時の座屈安定性を評価した。得られた知見は以下のとおりである。

#### (1) 地震時の道床横抵抗力特性およびバラストの変形挙動の評価

・地震中の道床横抵抗力特性を評価するため、まくらぎに一定の横方向荷重を作用させながら加振する条件で、実物大模型の大型振動台試験を実施したところ、加振前後よりも、加振中に道床横抵抗力が大きく低下することがわかった。

- ・まくらぎ下の道床の厚さが異なる直線区間と曲線区間の道床形状の違いが道床横抵抗力特性に与える影響を検討したところ、道床形状が異なっても、加振前後の道床横抵抗力試験および加振試験のまくらぎ変位と道床横抵抗力の関係に大きな違いはなく、定量的に概ね同様の道床横抵抗力特性を示すことがわかった。

- ・まくらぎ本数が1本から3本の軌きょうに増加すると、まくらぎ1本あたりの道床横抵抗力が群杭効果の影響で低下し、加振中の道床横抵抗力もさらに低下することがわかった。

#### (2) 地震時における道床横抵抗力の低下メカニズムの解明と座屈対策効果について

- ・加振中に道床横抵抗力が低下するメカニズムを、まくらぎと道床の連成挙動の画像解析から解明するために、平面ひずみ条件の小型模型を用いた加振試験を行ったところ、加振中にまくらぎ残留変位の増加とともに、まくらぎ下からまくらぎ長手方向に道床肩の内部において、すべり面が生じることを明らかにした。

- ・座屈防止板をまくらぎ端面に底面よりも深い位置まで根入れして設置することで、座屈防止板の下からまくらぎ長手方向にすべり面が生じ、まくらぎ端面に抵抗する道床の影響範囲が広がり、道床横抵抗力が増加することがわかった。また、バラスト止め壁を道床肩部に設置すると、バラスト止め壁とまくらぎの間のバラストの移動がバラスト止め壁によって拘束されることで、まくらぎ下から発生するすべり面が急勾配となり、道床横抵抗力が増加することがわかった。

#### (3) 地震時の座屈対策工の対策効果について

- ・座屈防止板およびバラスト止め壁の対策効果を実物大模型の大型振動台試験で検討したところ、レベル2地震動に対して、無対策ではまくらぎ残留変位が急増したが、どちらの座屈対策工もまくらぎ残留変位を大きく抑制する効果を発揮することを確認した。

#### (4) 地震時の道床横抵抗力の推定方法

- ・クーロンの土圧理論に基づく極限つり合い法を用いた道床横抵抗力の推定方法を応用して、新たに水平震度を設定し、バラストのひずみ軟化挙動を考慮した地震時の道床横抵抗力の推定方法を開発した。本推定式を用いて加振試験と比較したところ、加振中に低下する道床横抵抗力を概ね評価できることを確認した。

#### (5) 地震時座屈安定性の評価

- ・現行のロングレールの設計法を応用して、開発した推定方法により地震時の道床横抵抗力を設定し、最低座屈強さと温度上昇によるレール軸力の関係より地震時の座屈安定性を評価する方法を開発した。本評価方法により新幹線の地震時座屈安定性を検討したところ、レベル2地震動では、レール温度上昇量が40℃以上となる酷暑期において、座屈が生じる可能性があり、在来線ではレール温度上昇量30℃以上で座屈が生じる恐れがあることがわかった。

以上のように、本研究ではバラスト軌道の道床横抵抗力が加振中に低下するメカニズムを詳細に検討した上で、極限つり合い法により、加振中に低下する道床横抵抗力を概ね評価できることを示し、既往の座屈安定性解析に地震時における道床横抵抗力特性を組み込むことで、地震時における座屈安定性を評価する方法を提案した。今後の課題として、地震時における軌道の残留変位量を定量的に評価する方法を検討することが必要である。