



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Methods for estimating permanent deformation of unsaturated aging railroad ballast under cyclic loading [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	楊, 家強
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第14443号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/81394
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Jiaqiang_YANG_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 楊 家強

審査担当者 主 査 教 授 石川 達也
 副 査 教 授 渡部 要一
 副 査 教 授 藤井 義明
 副 査 准教授 西村 聡

学位論文題名

Methods for estimating permanent deformation of unsaturated aging railroad ballast under cyclic loading

(繰返し荷重下の不飽和経年劣化鉄道バラストの永久変形量の推定法に関する研究)

国内の鉄道線路の9割近くを占めるバラスト軌道は、日本の典型的な鉄道軌道構造の一種であるが、列車荷重の繰返し載荷に伴うバラスト道床の塑性沈下によりレール面の不陸が徐々に進行する軌道破壊現象が生じる。軌道破壊現象は、列車の走行安全性や走行安定性に悪影響を及ぼすので、これを抑制するために、軌道破壊の進行を一定期間毎に監視して、維持管理基準に達した場合に軌道保守作業を投入する必要がある。この際、列車の繰返し通過に伴うバラスト粒子の破碎と摩耗はその粒子形状の変化と粒度の細粒化を招き、道床バラストの材料特性自体が経年劣化する。このため、敷設後20年以上経過したバラスト軌道では、新設線路と比較してバラスト道床の強度低下により軌道沈下が増加し、保守コストの更なる増大が課題となっている。しかし、現在の日本の設計基準では、新線建設のために提案されたバラスト道床の塑性沈下推定式が採用されており、経年劣化したバラスト道床の沈下特性を定量的に評価する方法は確立されていない。そこで本論文は、現行の軌道構造設計法を改善し保守コストを削減するために、道床バラストの不飽和浸透特性・力学特性に及ぼす経年劣化の影響を定量的に評価し、経年劣化により細粒化した道床バラストの含水状態の変化を考慮可能なバラスト道床の繰返し塑性沈下量の推定モデルを提案することを目的とした。

本論文は全8章で構成されている。第1章では、本研究の背景、文献レビュー、研究目的、および論文構成を紹介した。第2章では、本研究で使用した保水試験装置、飽和/不飽和透水試験装置、中型不飽和三軸試験装置などの試験装置の特徴を紹介した。第3章では、試料と試験方法について説明した。特に、経年劣化した道床バラスト試料の作製におけるロサンゼルス (LAA) 試験の有用性について検討し、LAA 試験により実線路から採取された経年劣化道床バラストの粒度分布と粒子形状を再現可能であることを示した。第4章では、保水性試験と飽和/不飽和透水試験の試験結果に基づき、不飽和バラストの浸透特性を評価した。その結果、細粒分の増加した経年劣化道床バラストでは、新品道床バラストと比較して保水性が大幅に増加するとともに、透水係数が大幅に低下することを示した。この結果は、経年劣化が道床バラストの浸透特性に強く影響を及ぼすことを示すものである。第5章では、単調載荷三軸圧縮試験の試験結果に基づき、不飽和道床バラストのせん断強度特性に及ぼす経年劣化の影響について検討した。その結果、新品道床バラストではCD試験の有効せん断強度定数がCU試験の値と等しくなるものの、経年劣化道床バラストの有効せん

断強度定数は CU 試験で求める必要があることを明らかにした。また、道床バラストのせん断強さは含水比の増加に伴い低下し、その低下割合は特に経年劣化道床バラストで顕著となることを示した。第 6 章では、繰返し載荷三軸圧縮試験の試験結果に基づき、不飽和道床バラストの繰返し塑性変形特性に及ぼす経年劣化の影響について検討した。その結果、繰返し載荷時の道床バラストの塑性変形量は含水比や経年劣化の影響を強く受け、含水比と細粒分が同時に増加した場合にその増加傾向は特に顕著になることを示した。また、経年劣化道床バラストの CU 試験では繰返し載荷中に過剰間隙水圧が蓄積される結果、特に飽和条件で、CD 試験と比較して塑性変形が促進されることを明らかにした。第 7 章では、不飽和バラストの繰返し塑性変形量の推定方法を検討した。具体的には、2 種類の推定モデル (UIUC モデルと SSE モデル) の適用方法を提案し、両モデルが含水比の異なる新品道床バラストと経年劣化道床バラストの繰返し塑性沈下量を精度よく推定できることを検証した。最後に第 8 章では、本研究で得られた結論を要約するとともに、将来の研究課題を示した。特に、本論文では、経年劣化と含水比が道床バラストの繰返し塑性変形だけでなく浸透特性や強度特性にも強い影響を及ぼすことを示し、鉄道線路の実務設計でその影響を包括的に考慮してバラスト軌道の支持力と累積塑性変形量を推定する必要性を明らかにした。

これを要するに、著者は、これまで工学的検討が充分なされていなかった、経年劣化が不飽和道床バラストの浸透特性・力学特性に及ぼす影響を定量的に評価する手法を提案し、それに基づき現行のバラスト軌道の設計手法・維持管理手法を改良するための貴重な知見を得たものであり、日本の鉄道線路の設計・維持管理の高度化と信頼性の向上を図る上で、鉄道工学および交通地盤工学の発展に対して貢献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。