



Title	鉄道レールの疲労による横裂の進展および破壊予測に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	細田, 充
Citation	北海道大学. 博士(工学) 乙第7121号
Issue Date	2021-03-25
Doc URL	<a href="http://hdl.handle.net/2115/81311">http://hdl.handle.net/2115/81311</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	Mitsuru_Hosoda_review.pdf (審査の要旨)



[Instructions for use](#)

## 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 細田 充

審査担当者 主査教授 石川 達也  
副査教授 松本 高志  
副査教授 佐藤 太裕

### 学位論文題名

鉄道レールの疲労による横裂の進展および破壊予測に関する研究

(Study on prediction for propagation and failure of transvers crack on the railway rail caused by fatigue damage)

レールは日々、繰返しの列車荷重が作用し疲労が蓄積した結果、レール損傷が発生する。鉄道の安全安定輸送上、特に管理が必要なレール損傷として「横裂」がある。横裂はレール直角方向のき裂であり、これが進展すると欠線部を生ずる「レール破断」となり、列車が走行した場合、脱線等を引き起こす可能性がある。現在、日本の鉄道におけるレール損傷の中で、発生が多い形態として、列車走行に伴い車輪がレール頭部に繰返し接触することにより生じる「転がり接触疲労損傷」がある。この損傷においては、初期段階でレール頭部表面近傍に水平なき裂が発生し、その後レール底部方向へき裂が分岐して頭部横裂となり、進展してレール破断に至る。一方、横裂はレール底部からも発生する。一般的な超音波による検査は、レール頭部から超音波を入力するため、頭部横裂は把握することが可能である。しかし、レール底部においては、超音波による探傷領域が限られ、底部全域の横裂の有無を把握することが困難である。そこで、横裂そのものをレール底部から発生させない観点から、疲労寿命の評価による周期的なレール交換が行われている。鉄道事業者は超音波探傷等で定期的な検査およびレール交換等を実施している。しかしながら、これらの措置に多大なるコストを要しているのが実情である。

本研究は、営業路線においてレールを安全かつ効率的に管理するため、頭部および底部の横裂の進展、破壊を予測し、適切な検査や処置周期等を提示することを目的に取り組んだものである。第1章では、研究の背景として営業線におけるレールの横裂管理の問題、横裂進展・破壊予測に関する研究課題、本研究の目的および構成を示した。第2章では、レールの頭部横裂の進展特性に着目し、影響する因子に関する概説と、それらの因子の横裂進展への影響を、室内試験等で明らかにし、それらの特性を考慮した FEM 解析により横裂進展を推定した。具体的には、(1)レール鋼種、(2)車輪接触位置、(3)残留応力等の横裂進展挙動に影響すると考えられる各影響因子に対し、まず、各レール鋼種の要素試験片を対象に、横裂進展試験を実施し、鋼種の違いによる影響を示した。次に、営業線で発生する横裂を想定した人工き裂を実レールに加工した複数の供試体を準備し、繰返し荷重を載荷して横裂を進展させることで、横裂進展速度に対する横裂発生位置および残留応力の影響を求めた。また、それらの各因子による影響を考慮した FEM 解析を実施し、横裂進展速度を算定した。その解析手法で、頭部横裂の進展を予測できることを示した。第3章では、レールの底部横裂の疲労破壊特性すなわち疲労強度の評価を主題として、実際の営業線で使用されている経年レールの疲労強度に影響を及ぼす因子の影響を、室内試験等で明らかにした。経年によりレールの

表面が錆肌となり、その影響によって疲労強度が低下すること、錆びることによって形成される腐食孔を表面粗さで定量的に評価した場合に、それが疲労強度に影響していることを明らかにした。また、疲労強度の評価のために実施されている実レールおよび要素試験片の疲労試験結果について破壊力学的手法を用いて評価し、各疲労試験方法によって応力拡大係数が異なること、それが疲労強度に影響していることを明らかにした。最終的に、実際の営業線で使用されている経年レールの疲労強度の推定方法を示した。第4章では、営業線におけるレール頭部、底部の横裂の進展および破壊する時期を予測する目的で、それらが存在する箇所、もしくは発生すると想定される箇所を列車が走行した際の列車荷重を算出するために必要な、車両および軌道の挙動を考慮したシミュレーション方法を検討した。特にパラメータとして重要であるのが、レール頭頂面凹凸および軌道剛性であり、頭頂面凹凸が存在する箇所を列車が走行した場合、列車荷重の変動が発生し、また軌道の剛性の違いによっても列車荷重の変動の応答に影響する。頭部、底部横裂を評価する箇所は、それぞれレール頭頂面に凹凸が発生する箇所として知られている。そこで、レール頭頂面凹凸および軌道剛性を考慮した車両運動解析手法の構築を目指し、近年、鉄道分野において、列車走行による動的挙動を把握するための有効なツールとして用いられている汎用のマルチボディダイナミクスツールをベースとした車両運動解析を行った。その際、実際の軌道のレールおよび弾性的な離散支持構造を簡易な軌道の力学モデルに換算し、解析結果から得られた列車の荷重変動に密接に関係する輪軸の加速度と、営業車両で測定した加速度を比較し、解析結果の妥当性を検証した。さらに種々の軌道構造をモデル化し、レール頭頂面凹凸および軌道剛性を変化させ、荷重変動に与える影響について評価した。第5章ではまとめとして、本研究において、レール頭部および底部の横裂の進展、破壊に影響する因子を室内試験等で定量的に評価し、その特性を考慮した予測手法を提案したことを概説した。また、今後の課題および展開として、横裂の進展、破壊予測モデルの深度化や営業線における横裂のモニタリング手法を高度化する研究開発に取り組むことで、さらに安全かつコストを抑えたレール損傷管理が可能となることを記載した。

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鉄道線路のレール頭部および底部の横裂の進展、破壊に影響する因子を室内試験等で定量的に評価し、その特性を考慮した横裂の進展に伴うレール破断予測手法の提案に関する貴重な知見を得たものであり、鉄道事業者が安全性を担保しながら検査周期およびレール交換時期を適切に設定しレール保守管理コストを削減する上で、鉄道工学および維持管理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。