

ふりがな	さかのうえ けい
氏名	坂上 啓
学位	博士(工学)
学位記番号	新大院博(工)第256号
学位授与の日付	平成19年9月20日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	高速鉄道の曲線通過速度向上と乗り心地評価法に関する研究

論文審査委員	主査 教授	谷藤 克也
	副査 教授	原 利昭
	副査 教授	大橋 修
	副査 教授	新田 勇
	副査 准教授	相馬 仁
	副査 准教授	横山 誠

博士論文の要旨

東海道新幹線は、日本で最初の新幹線軌道として、最小の曲線半径が2500 mで建設された。一方、山陽新幹線以降は運転速度を向上するため、最小曲線半径が4000 mに変更されている。東海道新幹線の曲線半径が小さいことは、遠心力に起因する左右加速度を増大させるため、曲線乗り心地の評価基準によってその通過速度が抑制されてきた。その結果、直線区間の最高速度が270 km/hに向上した現在でも、当該曲線区間では250 km/hへ速度を落として通過している。その一方、軌道整備と車両構造の改良により、振動乗り心地は大きく改善されてきた。しかし、現状の曲線乗り心地評価の基準は車両振動の低減を考慮しないため、振動の低減が曲線通過速度の向上には反映されないのが実情である。本研究では、車両振動の低減を考慮して曲線乗り心地を評価する新しい手法を確立し、曲線通過速度の向上を実現するために必要な走行振動の低減量との関係、その振動低減の可能性について技術的方策を明らかにすることが目的である。

まず、第1章の「緒言」では、新幹線の最高速度の変遷とともに、従来の曲線乗り心地の評価基準、車両走行振動の改善の現状が述べられる。

第2章の「曲線の乗り心地評価」では、シミュレータ装置を用いて曲線での車両挙動を再現し、被験者試験により乗り心地を評価する手法が確立される。ここでは、曲線全体での振動加速度を乗り心地レベルで代表させ、円曲線中の左右定常加速度、緩和曲線中のジャークと合わせた3つの物理量が曲線乗り心地に及ぼす影響が調査された。試験で得られた被験者の回答結果は統計的に有意であることが示され、曲線乗り心地が回帰式によって定量的に表現された。その結果、曲線乗り心地に及ぼす寄与度は左右定常加速度を4とすれば、乗り心地レベルが2、ジャークが1の割合であることが示された。この曲線乗り心地の評価手法を用いれば、乗り心地の悪化を感じることなく曲線の通過速度を向上するために必要な振動低減量を具体的に把握することが可能になる。本曲線乗り心地評価法は、東海道新幹線だけでなく、高速鉄道一般に幅広く適用可能な有用な手法と考えられる。

第3章の「速度向上時の振動低減：隣接する車両間の拘束による振動低減対策」では、走行振動低減の具体策として車両間連結部の拘束を利用した方法が検討される。一般に、軌道不整に起因する走行振動は速度の向上とともに増大する。特に、トンネル内では車体に作用する変動空気力も速度とともに大きくなり、さらに左右振動を増大させる傾向にある。ここでは、明かり区間とトンネル区間の両方で振動低減可能な対策として、車体間前後ダンパ、車体間左右ダンパ、車体間連結ほろなどによる拘束が車両振動に及ぼす効果が調べられた。その結果、曲線通過性能を阻害しないような非線形特性を付与した前後ダンパを使い、その減衰係数を増大させること、左右ダンパを適切な高さ位置に取り付けることにより、トンネルと明かりの両区間で振動を低減できることが明らかにされた。

次に第4章の「速度向上時の振動低減：ガス封入式車体間前後ダンパの開発」では、前章の結果を具体化する一例として新たに車体間のダンパ装置が開発された。ガス封入式車体間前後ダンパは、従来の車体間前後ダンパで問題とされた作動時における直列剛性の低下を防ぐために、ダンパにガスを封入したものである。本ダンパによる振動低減効果について数値解析と現車走行試験による性能評価を行ない、トンネルと明かりの両区間において振動低減に効果のあることが示された。この装置は、新製車両に装備できるだけでなく、既存車両の車体間前後ダンパとも容易に交換することが可能であり、曲線通過速度向上に際する振動低減策として有用である。本装置は高速鉄道における一般的な乗り心地向上対策としても適用が可能であり、幅広い利用が考えられる。

第5章の「曲線通過速度向上の可能性」では、東海道新幹線の半径2500 mの曲線区間を例として、本研究で確立した曲線乗り心地評価法に基づく通過速度向上の具体的な可能性が検討された。そこでは、車両振動を乗り心地レベルで3dBだけ低減させることにより、左右定常加速度を現状から0.2 m/s²増加させても乗り心地は悪化しないことが示された。これは現状の通過速度から10km/hほど速度を向上すること可能なことを意味している。また、乗り心地レベルで3dBの振動低減を実現する方策として、既存車の新型車両への置き換えのほか、本論文で述べられた車両間の拘束による振動低減、ガス封入式車体間前後ダンパの採用など、その実現に向けた可能性と課題が示された。

そして、第6章の「結言」では、本研究で確立した曲線乗り心地評価法が振動乗り心地を加えたことにより、従来の評価法にはない有用かつ新規性の高いものとしてその特徴がまとめられており、新幹線における今後の曲線通過速度向上に寄与するものであることが本研究の成果として総括されている。

審査結果の要旨

本論文は、東海道新幹線に多く存在する最小半径2500 mの曲線区間の通過速度を向上させることを目的に、新たな曲線乗り心地の評価法を確立するとともに、その評価法に基づいて、曲線通過速度を向上するための技術方策を提案するものである。

従来の曲線乗り心地の評価基準にはない車両振動を乗り心地レベルとして考慮するとともに、曲線区間固有の左右定常加速度とジャークの三つの因子から曲線乗り心地を定量的に表す回帰式が提案された。今回回帰式は、曲線通過時の車両挙動を正確に模擬するシミュレータ装置を使った被験者試験から得られたものであり、それによる評価は信頼性が高いものと判断される。この回帰式を用いれば、乗り心地の低下を感じさせないように速度向上するに要する車両振動の低減量を乗り心地レベルとして定量的に把握することができる。

次いで、車両振動を低減するための具体的な方策として、車両間連結部に拘束を加える効果が検討され、車体間前後ダンパおよび車体間左右ダンパによる振動低減の可能性が示された。これは、高速走行時にトンネル内で変動空気力によって増大する振動にも有効である。また、車両間の拘束による振動の低減効果を実現するため、ガス封入式の車体間前後ダンパが開発された。

このように、本研究は新幹線などの高速鉄道における今後の曲線通過速度向上とその技術方策に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として十分であると認定した。