

氏 名	谷 藤 克 也
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭和 61 年 2 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭和 46 年 3 月 東北大学大学院工学研究科機械工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	鉄道車両の乗心地管理と強制振動計算法に関する 研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 畑中 浩 東北大学教授 阿部 博之 東北大学教授 谷 順二 東北大学教授 猪岡 光

論 文 内 容 要 旨

近年、鉄道のスピードアップに対する取り組みは目ざましいものがある。営業運転速度の向上に際し、留意すべきことの一つは快適性、すなわち振動乗心地の維持・改善である。一般に、鉄道車両の振動は走行速度の向上に伴って増大する傾向にあるため、高速域で増大する振動を低減し、乗心地を一定水準に保つような車両の支持ばね系を構成することが重要な問題となる。さらには、車両部品に生ずる経時変化が振動に及ぼす影響も大きくなると考えられるので、よい乗心地を維持するために、適宜、営業車の振動性能を追跡し、車両検修に反映させる方式が必要である。また、現行の営業速度での走行振動についても、車両運動特性として理論的に解明されていない現象が少なくない。従って、高速走行時の車両の振動特性を検討するためには、乗心地評価を含め、できるだけ現車の実態を模擬しうる計算法を確立する必要がある。

本論文は、鉄道車両の走行振動改善を目的として、新しい乗心地評価法に基づいて振動乗心地を管理するために開発したデータ解析システム、軌道狂いに起因する車両の強制振動と走行速度の影響に関する現車データの分析による定量的把握、左右方向の強制振動を現車の振動実態に合わせて模擬しうる一車両モデルを用いた簡便な計算法、および連結車両モデルによる列車編成としての上下強制振動と軌道条件を考慮した乗心地レベルの計算法について論じたものであり、全編 8 章より構成される。以下、本論文の各章の内容を要約する。

第1章 序 論

本章では、本研究の目的と意義および本論文の構成について述べている。

第2章 鉄道車両の乗心地管理と強制振動計算法に関する従来の研究

本章では、鉄道車両の走行振動に関する従来の研究について、乗心地管理および強制振動計算法を主体に、本研究の目的と関連する研究を展望することにより、それぞれの分野における問題点と本研究の必要性を論述する。

第3章 乗心地管理のための振動解析システムの開発

本章では、営業列車の乗心地管理のために、新たに開発した振動解析システムの概要とその実用例について説明する。本システムでは、車両振動と乗心地の評価量として、乗心地レベル L_T を採用している。システムの特徴は、車両保守の現業機関での活用を前提として、多数車両のデータの同時解析、装置の簡易化および処理の迅速化を図った機器構成と処理プログラムにある。その演算処理の流れを図1に示す。本振動解析システムの活用性は、東北新幹線で約1年間にわたり実施された「240 km/h 長期耐久試験」で測定した車両振動データの解析を通して確認された。

なお、東上・上越新幹線の上野乗り入れを機に、本システムが新幹線仙台第一運転所に導入され、新幹線電車の乗心地の維持・改善のために実用されている。

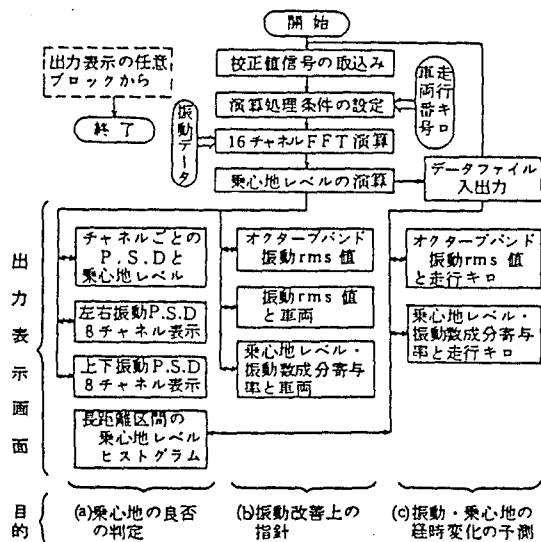


図1 振動解析システムの処理の流れ

第4章 設定軌道狂い上における新幹線電車の走行振動

本章では、軌道狂いに起因する新幹線電車の振動実態について、上越新幹線で実施された「軌道狂い設定実車走行試験」の測定データを回帰分析することにより、各種軌道狂いの条件別に走行振動の速度効果の実態を定量的に明らかにする。主な結果を以下に示す。

- (1) 高低狂い区間の上下振動および通り狂い区間・水準狂い区間の左右振動は、一部の短波長狂い区間を除き、速度の二次式を回帰式とすることが有意であり、振幅変動の80%以上を速度効果として説明できる。
- (2) 乗心地との関連が大きい通り狂い区間について軌道狂い波長の影響をみると、図2に示すように、速度効果として振幅の増大傾向の最も大きいのは波長30mであり、次いで40m、50mの区間

である。これら波長30~50mの区間では、速度150km/h以上になると、固有振動数よりもむしろ波長に依存して振幅が増大する傾向が認められる。

- (3) 左右動ダンパの減衰力が左右振動に及ぼす影響については、ダンパの減衰係数を現用の1/2にした車両で振幅減少となるのに対し、減衰係数を現用の2倍にした車両では高速域で振幅がさらに増大する。

以上の結果から、新幹線の高速走行においては、特に30~50mの長波長軌道狂い区間における左右振動低減の重要性が明らかになり、そのための車両側の対策の一つとして、左右動ダンパ減衰力特性の適値選択の有効性が確認された。

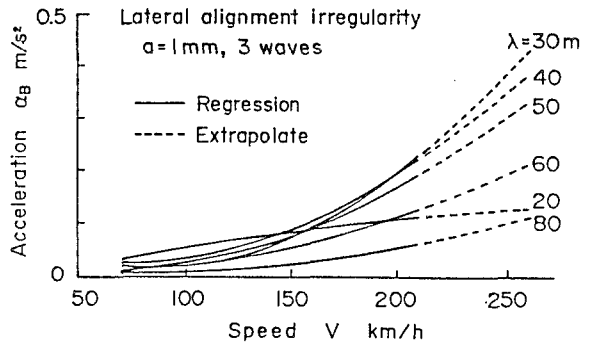


図2 車体左右振動に及ぼす
走行速度と通り狂い波長の影響
[a: 通り狂いの波高, λ: 同波長]

第5章 ボギー車の左右振動解析のための一計算法

(車輪・レール間の接触力を考慮した線形モデルの検証)

本章では、ボギー車の左右振動について、乗心地の観点から車体振動に主体をおき、その定性的かつ定量的特性把握を可能とする簡便な計算法を、車輪・レール間の接触力を考慮した17自由度の線形一車両モデルを用いて検討する。周波数応答に基づいて長波長の通り狂いに起因する左右強制振動を計算し、図3に示すように、上越新幹線軌道狂い設定試験の現車データで検証した。検討の結果、次の点が明らかになった。

- (1) 台車の旋回剛性が現車相当の値の場合、線形クリープ力だけでは、定量的にだけでなく、定性的にも現車の振動傾向を模擬することはできない。旋回剛性をゼロと仮定し、輪軸の左右移動量をフランジ遊間の範囲内に留める計算法により、長い波長に依存する現車の振動を定性的に、かつある程度定量的に模擬することができる。ただし、本計算法では波長20~30m

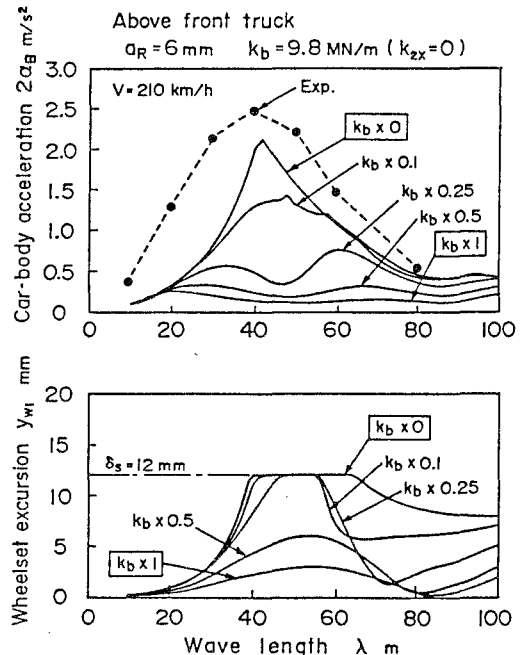


図3 通り狂い区間における左右振動の
計算値と現車データの比較
(台車旋回剛性 k_b の影響)
[a_R : 通り狂いの波高,
 δ_s : 輪軸の最大横可動量]

の範囲で計算値のほうが相対的に小さくなっており、この波長範囲をより定量的に模擬するには、今後さらに検討を加える必要がある。

- (2) 第4章で明らかにされた左右振動の速度効果における狂い波長依存性は、鉄道車両固有の2軸だ行動（新幹線電車で波長約45m）が、だ行動波長に近い狂い波長の軌道狂いによって強調される、いわゆる強制だ行動に関連している。
- (3) 二次ばね（空気ばね）の左右剛性と左右動ダンパの減衰係数をともに現状より小さくすることにより、車体振動振幅の低減を期待できる。

なお、(3)項の検討内容は現車で確認され、その効果は新たに製作が予定された100系新幹線電車の台車ばね系の設計に反映されている。

第6章 列車編成の中間に組成されたボギー車の上下振動解析 (車両端部の拘束を考慮した解析)

本章では、列車編成としての上下振動について、編成中間に組成された車両の振動特性を、車両端部の拘束力を考慮した5両連結の線形計算モデル（20自由度）により解析する。隣り合う車両間に作用する拘束力は線形のばね・ダンパ並列系でモデル化されている。図4に示すように、周波数応答に基づく計算結果を、第4章で述べた軌道狂い設定試験の高低狂い区間測定データと比較することにより、次の点を明らかにした。

- (1) 同一車両内の進行方向前側と後側の車体上下振動で生ずる振幅差については、1両だけのモデルから現車の傾向を得ることはできないが、車端の拘束を考慮した連結車両モデルにより、その特性を模擬することが可能となる。
- (2) 同一車両内の前側と後側の間で生ずる振幅差は、車体ピッチングと車体上下動とのモード間位相差に起因しており、この位相差には、車端連結部に作用する拘束力が影響を及ぼしている。
- (3) 車端部の拘束力として適値を選ぶことにより、車体上下振動を低減することができる。新幹線電車の車端連結部の場合、小規模の減衰力特性のオイルダンパを上下方向に付加するだけで、振動改善は可能である。

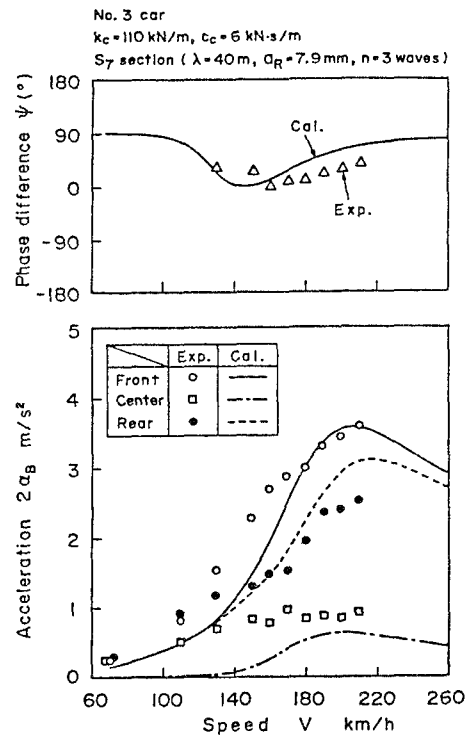


図4 高低狂い区間における上下振動の計算値と現車データの比較
 $(k_c, c_c$: 車端拘束力の剛性と減衰係数)

第7章 ボギー車の上下振動に及ぼす車両編成位置の影響と乗心地の評価

本章では、列車編成両端の車両を主体に、車両編成位置がボギー車の上下振動特性に及ぼす影響を、前章で述べた5両連結の線形計算モデルを用いて解析するとともに、計算モデルにより定量的に乗心地評価を行う手法を検討する。主な結果を次に示す。

- (1) 5両連結の計算モデルにより、編成中間の車両だけでなく両端の車両についても、現車の振動特性を定性的に模擬できる。車端連結部の拘束により、列車編成両端の車両は、同一車両であっても先頭になる場合と後尾になる場合とで振動特性が大きく異なる。そのため210 km/hを越える高速域では、後尾車で振幅が最も大きくなり、先頭車では小さい。
- (2) 高低狂いのPSDを軌道条件として入力することより、図5に示すように、乗心地レベルの計算が可能であり、新幹線を想定した高低狂いPSDモデルにより、編成内各車両位置について計算した乗心地レベルは、210～240 km/hで走行する現車の振動データから分析したものと定性的に一致する。
- (3) 中間車・後尾車の乗心地改善は、拘束力の剛性をできるだけ小さくするとともに、適当な減衰を付加することにより可能である。ただし、後尾車となる編成両端の車両については、今後台車ばね系も含めた検討が必要である。

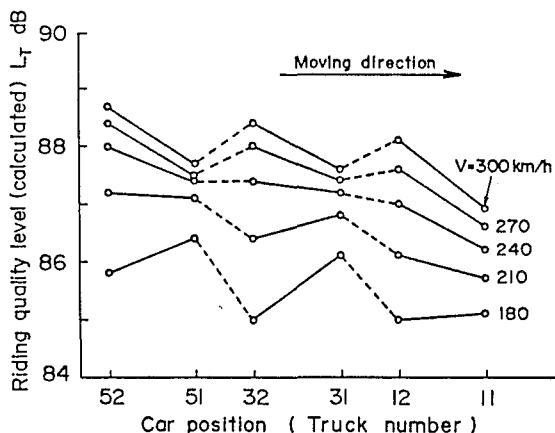


図5 上下振動乗心地レベルの計算値と車両編成位置の影響

第8章 結 論

各章を総括して本論文の研究成果を示している。

以上、本論文で得られた結果は、営業速度の向上が進められた東北新幹線をはじめとし、新幹線車両の走行安全性ならびに快適な乗心地の維持と改善に大きく寄与している。また、高速車両のより一層の乗心地向上を図るための各種方策を検討する際の有用な資料・手法として、車両設計の場でも多く活用されている。

審査結果の要旨

近時鉄道の著しい高速化に伴い、鉄道車両走行振動の乗心地に及ぼす影響が重要視されるようになってきた。著者は、新幹線車両の乗心地管理のために振動解析システムを開発するとともに、高速時における車両振動現象について基礎的研究を行った。本論文はそれらの成果をまとめたもので全編8章よりなる。

第1章は序論である。

第2章では、鉄道車両の乗心地管理と強制振動計算法に関する既往の研究結果と問題点を概説し、本研究の必要性を述べている。

第3章では、鉄道車両の乗心地管理のために開発した振動解析システムについて述べている。本システムは車両振動と乗心地の評価量として採用した乗心地レベルを実車走行試験測定データより簡単かつ迅速に算出するための機器及び処理プログラムよりなり、これにより車両振動特性の変化を把握し、営業車両の快適な振動乗心地を維持することを可能とした。これは実用上有用な成果である。

第4章では、軌道狂い設定実車走行試験の測定データを回帰分析することにより、新幹線車両の振動特性と走行速度との関係を明らかにし、特に高速時、波長30～50mの長波長通り狂い区間における左右振動低減の重要性を指摘している。

第5章では、ボギー車の左右強制振動を解析する線形モデルによる実用的な計算法を提案している。これにより前章で示した左右振動の軌道狂い波長依存性を理論的に解明するとともに、台車ばね系の諸元変更による振動低減の可能性を示している。

第6章では、連結による車両端部の拘束を考慮した5両編成の線形モデルによるボギー車の上下強制振動計算法を提案し、編成中間車両の振動特性を解明している。これは重要な成果である。

第7章では、前章の結果を用いて各車両編成位置が乗心地に及ぼす影響と高速時における問題点を明らかにするとともに、車端連結部の拘束を適値に選ぶことによる振動低減の可能性を示している。

第8章は結論である。

以上要するに本論文は、高速鉄道車両の振動乗心地を効果的に維持、改善するための手法を開発し、速度向上時における走行振動の改善について多くの知見を与えたもので、機械工学に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。