

分岐器通過時の乗心地に関する研究

佐藤 慎平* 大塚 智広 中倉 康喜 徳田 直樹 (東海旅客鉄道)

Research of Riding Comfort on Turnout

Shinpei Sato*, Tomohiro Otsuka, Yasuki Nakakura, Naoki Tokuda (Central Japan Railway Company)

This paper describes result of researching riding comfort on turnout. We investigate the feature of lateral vibration and cause of discomfort on turnout using "Vehicle Dynamic Simulator". And we developed method of improving lateral riding comfort on turnout with semi-active suspension.

キーワード：分岐器，乗心地，セミアクティブ制振制御，車両運動総合シミュレータ
(Turnout, Riding Comfort, Semi-Active Suspension, Vehicle Dynamic Simulator)

1. はじめに

東海道新幹線の競争力強化・サービスレベル向上の一環として乗心地の向上は重要な課題である。一般区間については乗心地レベルなどの評価方法を元に様々な対策が施行され、乗心地は十分高いレベルにあると言える。しかし、更なるサービスレベル向上の為に、分岐器等の一般区間以外の区間にも注目し、乗心地向上を図る必要がある。そこで本稿ではまず分岐器通過時の左右振動を調査し、乗心地評価方法について検討した結果について報告する。またその結果を基に、通常高速走行時において適用されるセミアクティブ制振制御装置を活用することで、分岐器通過時の乗心地の向上を図った結果について報告する。

2. 分岐器通過時の左右振動

分岐器通過時の乗心地について分析を行うにあたり、まずは走行試験結果を基に分岐器通過時における左右振動の特徴について述べる。

2-1. 分岐器通過時の左右振動の特徴

分岐曲線通過時における左右振動の特徴を掴むため、図1に分岐曲線における左右振動加速度の時系列波形を示す。本波形を観察すると、一般曲線に対して以下のような特徴が認められる。

- ① 分岐曲線における左右定常加速度は小さい。
- ② 分岐曲線は曲線長が短いため、旅客が感じる左右定常加速度の暴露時間が短い

図2は図1の分岐曲線における左右振動加速度波形を拡大したものである。この拡大図を再び観察すると、さら以下の特徴を持つことが分かる。

- ③ 分岐曲線進入時に大きなジャークが発生している (図中の a 部)

- ④ 分岐曲線進入時 (図中の a 部) や、曲線中 (図中の b 部) において、瞬間的で大きな左右動のピークが発生している

つまり分岐曲線では、継続的に作用する左右定常加速度の水準は低く、作用する時間も短い。曲線進入時のジャークやピーク値等、瞬間的な左右振動が大きい特徴があると言える。

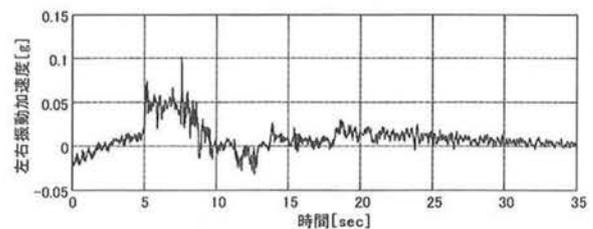


図1 分岐器通過時の左右振動
(分岐曲線：#18 70km/h)

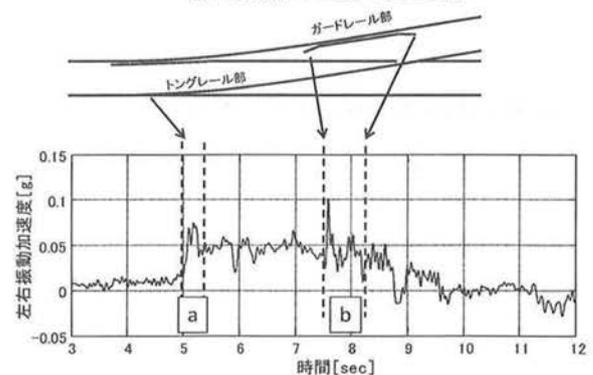


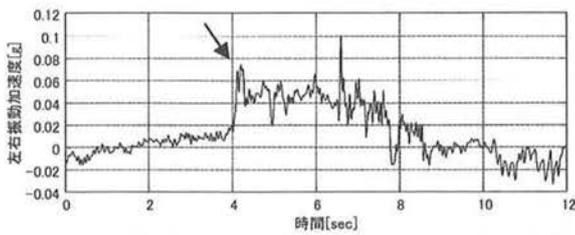
図2 分岐器通過時の左右振動 (拡大)

また、図2の波形を地点別で確認すると、瞬間的な左右振動は可動部であるトングレールおよび、異線進入防止のために設けられたガードレールを通過する際に発生していることが分かる。

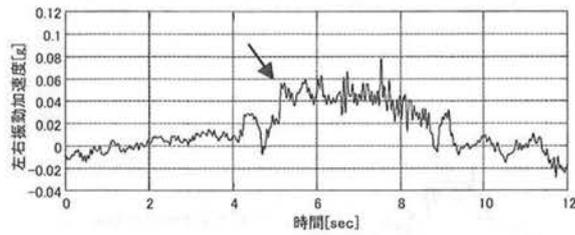
2-2. 位置による影響

次に同一車両内の位置の違いが左右振動に及ぼす影響について調査した。位置の違いとして前位台車直上と後位台車直上の 2 箇所の左右振動の比較を行った。

図 3 に前位台車および後位台車における左右振動の時系列波形を示す。時系列波形を比較すると、トンダレール通過時(図中の矢印部分)におけるジャークおよびピーク値の水準が両者で異なっている。前位台車に比較して後位台車の方がジャーク、ピーク値共に小さいことが分かる。よって、分岐器通過時における特長的な左右振動は前位台車直上でより顕著であり、分岐器通過時の乗心地向上を考える上では、主として前位台車直上における左右振動を対象とすべきであると言える。



(a) 前台車上



(b) 後台車上

図 3 位置による影響

また、様々な号車の左右振動を確認すると、先頭車で比較的小さい傾向が認められたものの、その他の号車では大きな差異はないことが判明した。

3. 分岐器通過時の乗心地について

本章で車両運動総合シミュレータを用いた被験者試験結果を基に、分岐器通過時の乗心地について分析を行う。

3-1. 被験者試験の概要

前章にて確認した分岐器における左右振動の特徴をもとに、分岐器における乗心地の分析に用いる 4 点の指標を定めた。以下の図 4 にその指標を示す。

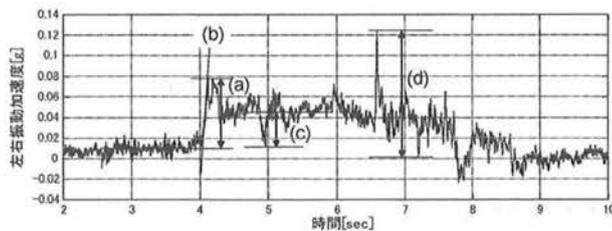


図 4 評価指標

- (a) トングレール部におけるピーク
- (b) トングレール部におけるジャーク
- (c) 分岐曲線における定常加速度
- (d) ガードレール部におけるピーク

上記の 4 つの指標それぞれの水準を小さくしたデータを作成し、車両運動総合シミュレータにて体感試験を実施した。

3-2. 被験者試験結果

被験者試験の結果、各指標の乗心地に対する影響度を評価すると以下の通りとなった。

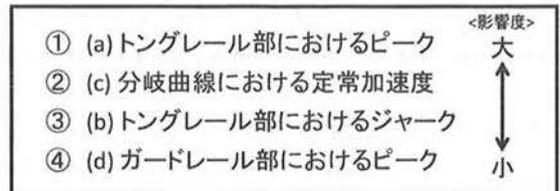


図 5 被験者試験結果

ここで、乗心地に対する影響度が最も高かったトングレール部におけるピークは、分岐器進入時に感じられる衝撃的な左右振動に大きな影響を及ぼすことが分かった。そこで本研究では分岐器における乗心地向上に取り組むにあたり、トングレール部におけるピークを低減することを第 1 目標とする。

4. 分岐器通過時の乗心地向上

筆者らは、現在高速走行時のみにおいて適用しているセミアクティブ制振制御装置(以下セミアク)を分岐器通過時において適用することで、分岐器進入時のトングレール部の左右加速度ピークを低減することを考えた。本章ではその検討内容および現車試験結果について示す。

4-1. 左右振動の伝達に関する検討

分岐器における左右振動伝達に関して検討を行うため、左右動ダンパの減衰力について調査を行った。以下の図 6 に分岐器通過時の左右動ダンパの減衰力の変化について示す。

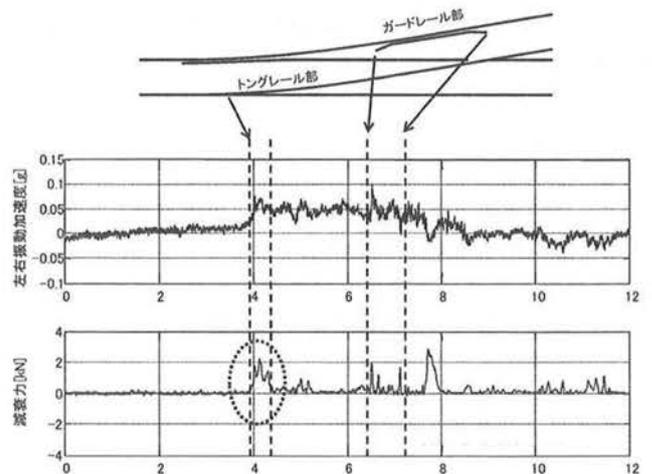


図 6 左右動ダンパ減衰力の推移

調査の結果より、トンダレール・ガードレール部における車体振動と左右動ダンパ減衰力に相関関係が認められた。特にトンダレール部においては、左右動ダンパの減衰力波形と車体振動の加速度波形とが良く一致しており、当該部における瞬間的著大な左右振動は左右動ダンパの減衰力が支配的であることが分かった。

4-2 乗心地対策の検討

乗心地に対して一番影響度の高いトンダレール部の乗り移り部の左右振動は、図7のように軌道から台車に伝わる振動が左右動ダンパを介して伝達することに起因することがわかった。そこで筆者らは、左右動ダンパの減衰力抑制が乗心地向上につながると推定した。分岐器通過時における理想的な左右動ダンパの条件は、

- ①台車振動を極力車体に伝達させない
- ②一旦車体が振動し始めたら、いち早く減衰させる。

の2点が挙げられる。新幹線に装備されているセミアクは、この2条件を既に兼ね備えている。セミアクは車体と台車の速度に応じて台車振動は極力車体と絶縁し、車体振動についてはスカイック制御によっていち早く減衰させるという制御を行っている。

つまり分岐器通過時にセミアク制御を ON させることにより、台車から伝わる振動を絶縁し、結果として瞬間的な左右振動を低減することが出来ると考えた。以下の図8にその概念図を示す。

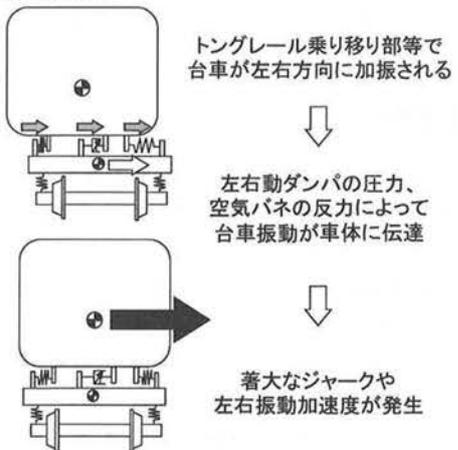


図7 現状 (パッシブ)

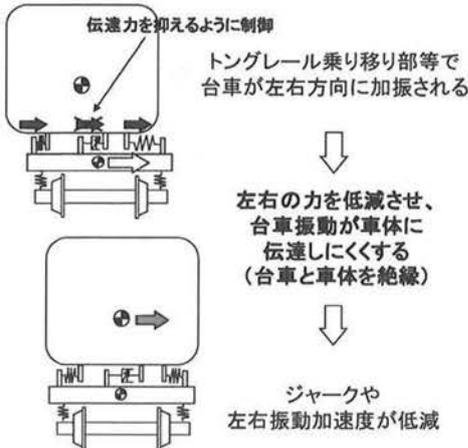


図8 セミアク制御

4-3. 分岐器セミアクの開発

4-3-1 シミュレーションによる検証

(1) 左右振動低減効果の検証

セミアク制御による分岐器乗心地向上効果を検証するため、シミュレーションモデルを用いて分岐器通過時の車両運動シミュレーションを行った⁽¹⁾⁽²⁾。その結果の一例を図9に示す。

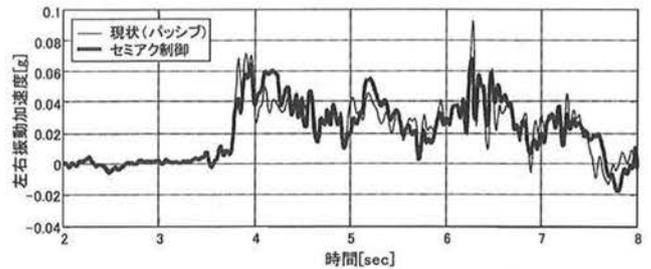


図9 シミュレーション結果 (左右振動)

スカイックゲイン (以下ゲイン) を数回変更してシミュレーションを実施したが、いずれのゲインにおいても現状 (パッシブ) に対してトンダレール部におけるピークが低減されていることを確認した。一方その後の制御区間では、ゲインを小さくすると高周波振動が低減できることが確認された。よって走行試験では、本線で使用しているゲインより小さい値を適用することとした。

(2) 減衰力の検証

次に、シミュレーションにおけるセミアク制御時の減衰力の推移について図10に示す。

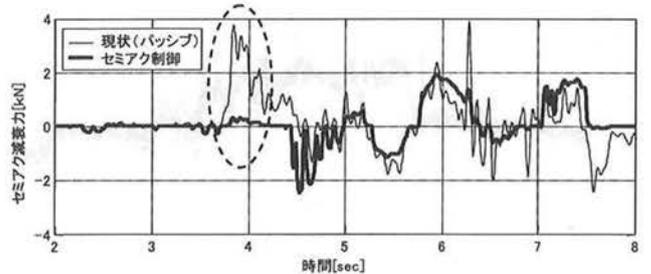


図10 シミュレーション結果 (減衰力)

左右動ダンパの減衰力を比較すると、現状 (パッシブ) では大きな減衰力が発生しているのに対し、制御時ではダンパが減衰力をほとんど発生させていないことが分かる。従って、セミアクの機能によって台車振動を車体と絶縁し、分岐器特有の瞬間的な左右振動を低減させることが可能であると考えられる。

4-3-2. 分岐器セミアク動作フロー

図11に新しく開発したセミアク制御フローを示す。新幹線では通常高速域においてのみセミアク制御を適用しているが、本研究においては速度に加えて地点情報、経路情報を制御装置に取得させることによって、セミアク制御のON/OFF、一般制御/分岐器用制御の判断を行う。

駅停車か否かを判断する理由は、分岐器における列車の経路が分岐側かどうかを判断し、分岐側に進入する場合においてのみ制御を行うようにする為である。

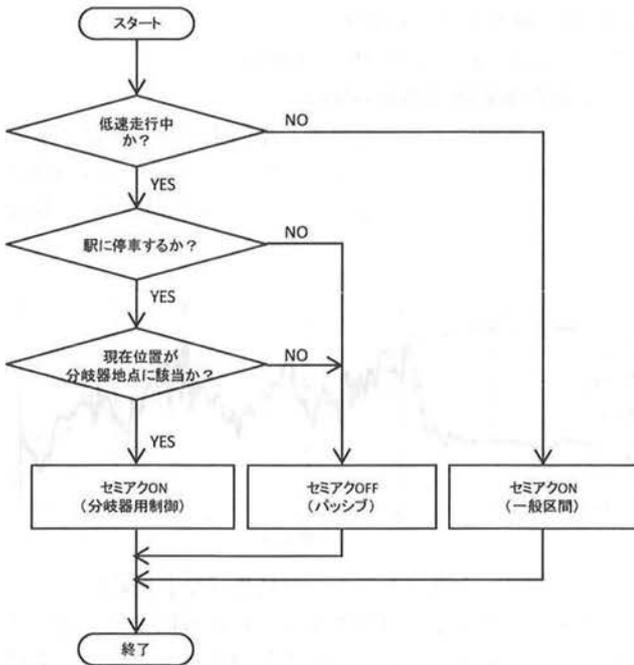
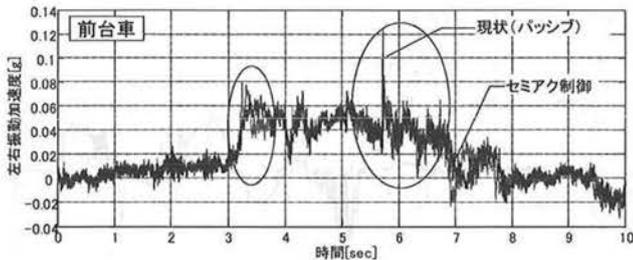


図 1 1 セミアク制御選択フロー

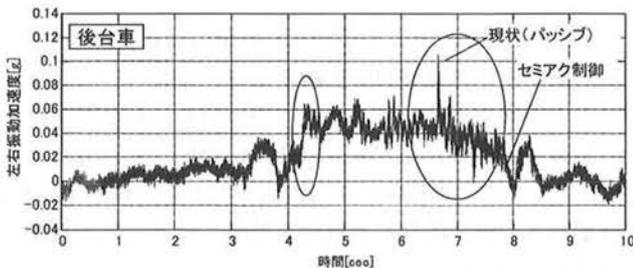
※特許出願中

4.4. 現車走行試験結果

前項にて開発した分岐器セミアクを新幹線に搭載し、現車走行試験を実施した。分岐器通過時にセミアク制御を適用した場合の左右振動波形の一例について、以下の図 1 2 に示す。



(a) 前台車上



(b) 後台車上

図 1 2 左右振動波形 (制御)

図 1 2 を見ると、トングレール部およびガードレール部の左右振動が低減していることが分かる。特に前台車のトングレール部において、大幅な振動低減効果が認められた。

また、後位台車の制御については、前位台車とは異なる制御パターンが適していることが確認された。このことにより、前位と後位でそれぞれ適切な制御を行うことによつて分岐器における制御の最適化が可能であることが分かっ

た。

次に、この時の前台車におけるセミアクの動作状況を図 1 3 に示す。パッシブ時にはトングレール部やガードレール部において 2kN を超える減衰力を発生していたのに対し (図 6)、セミアク制御時にはこれらの地点においてほとんど減衰力を発生させず、左右振動を絶縁していることが分かる。(図 1 3)

よつて筆者らが推定した通り、分岐器通過時にセミアクを適用することにより、台車と車体の左右振動を適切に絶縁し、瞬間的な左右振動を低減可能であることが確認された。

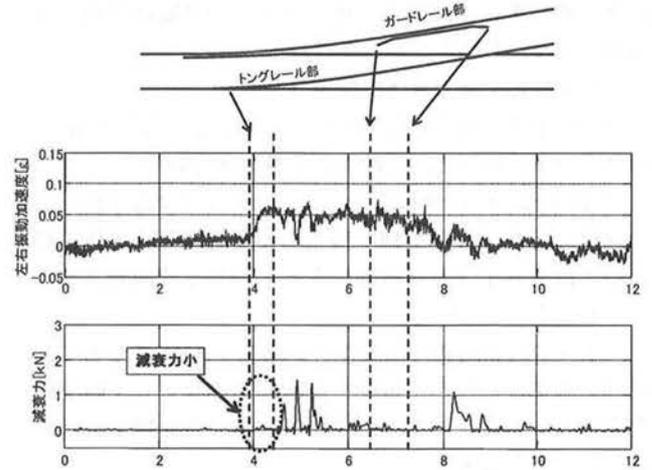


図 1 3 セミアクの減衰力の推移

5. まとめ

本研究において得られた知見は以下の通りである

- 1) 分岐器の乗心地に大きく影響を及ぼす要素はトングレール通過時のピーク値である。
- 2) 分岐器通過時にセミアクを活用することで瞬間的な左右振動を低減することが可能である。
- 3) 前位台車、後位台車でそれぞれ制御を最適化することにより、さらなる左右振動の低減が可能である。

今後は、分岐器通過時の乗心地を向上するセミアク制御の深度化に取り組んでいく予定である。

文 献

- (1) 藤本・石田・植木・深沢・手塚, 「側線 8 番分岐通過時の車両運動解析」, 鉄道総研報告, Vol.9, No.8, pp37-42 (1995-8)
- (2) 日本機械学会編: 「鉄道車両のダイナミクス」, 電気車研究会, (1994-12)