

S1-3-3

ボギー角アクティブ操舵台車の研究開発 (第3報：アクチュエータの動特性)

R&D of Active-bogie-steering Truck: 3rd report; dynamical characteristics of steering actuator

正 松本 陽 佐藤 安弘 正 大野 寛之 水間 毅 (交通安全環境研究所)
正 須田 義大 (東大 国際・産学共同研究センター)
○正 道辻 洋平 学 小宮山 誠 (東京農工大)
谷本 益久 岸本 康史 (住友金属テクノロジー)
正 中居 拓自 佐藤 與志 (住友金属)

Akira MATSUMOTO, Yasuhiro SATO, Hiroyuki OHNO, Takeshi MIZUMA;

National Traffic Safety & Environmental Laboratory (NTSEL)

Yoshihiro SUDA; University of Tokyo, Center for Collaborative Research (CCR)

Yohei Michitsuji, Makoto Komiyama; Tokyo University of Agriculture and Technology (TUAT)

Masuhisa TANIMOTO, Yasusi KISHIMOTO; Sumitomo Metal Technology

Takuji NAKAI, Yoshi SATO; Sumitomo Metal

Railway truck is necessary to have excellent curving performance as well as high speed hunting stability, but generally they are contrary to each other. "Active-bogie-steering (ABS) truck", is one of the methods to realize the compatibility between curving performance and hunting stability. ABS truck has active steering mechanism only between car body and truck frame, and truck frame is steered by actuators toward "radial steering position", which realizes no "bogie angle shortage". In this paper, the actuator consists of AC servo controlled motor and mechanism with friction is modeled to realize ideal response and tracking ability for desired actuator force. The effective control which compensates actuator friction is proposed and is investigated in experiment.

Key words : Rolling stock, Steering truck, Curving, Test stand, Active control

1. 緒言

鉄道車両の台車において、直進安定性と曲線通過性能は一般的に相反する関係にあり、このため、これまでは高速走行時の直進安定性の悪化を嫌って、曲線通過性能を犠牲にする傾向がみられた。しかしながら、地下鉄のような急曲線の多数ある路線を、高速走行を重視した曲線通過性能の劣る車両を走らせると、急曲線において脱線などの最悪の事態を引き起こす可能性もある。

これまで、直進安定性と曲線通過性能を両立させる技術として、「曲直両用新円弧踏面^[1]」、「前後軸剛性非対称支持台車」、「後輪独立回転車輪台車^[2]」など踏面形状や輪軸の改良に関する研究を進めてきた。これらの一部は既に実用化されており、他のものもシミュレーションや台上試験結果から、直進安定性と曲線通過性能が十分に両立し、急曲線通過時の脱線係数が大幅に低下できることが実証されている。

本報で提案する「ボギー角アクティブ操舵台車」は、アプローチを変えて、車輪軸ではなく台車枠そのものをアクティブに操舵する、簡易な構造で高性能な曲線通過性能の実現をターゲットとしている。前報^[3]では台上試験による定常曲線走行時において、本方式の基本的特性を把握し、有効性が確認されたことを述べた。本報告では、今後検討する緩和曲線を含めた過渡特性の向上を検討するにあたり、操舵用アクチュエータの摩擦など動特性を検証したのでその内容を報告する。

2. ボギー角アクティブ操舵台車

2-1 ボギー角アクティブ操舵台車の概要 ここで提案する「ボギー角アクティブ操舵台車 (Active Bogie-Steering Truck: ABS 台車)」は、曲線に応じて台車枠・車体間相対ヨー角度であるボギー角をコントロールする方式である。輪軸の操舵リンク等は用いず、従来のヨーダンパ位置にアクチュエータを付加するという簡単な構造で曲線通過性能の向上をはかることができる。

図1に今回使用した半車体台上実験装置とヨーダンパ取り付け位置に取り付けられた操舵アクチュエータを示す。操舵アクチュエータは1台車に対して左右2箇所点対称となるように取り付けられている。アクチュエータの発生力は片側最大 20kN 程度である。

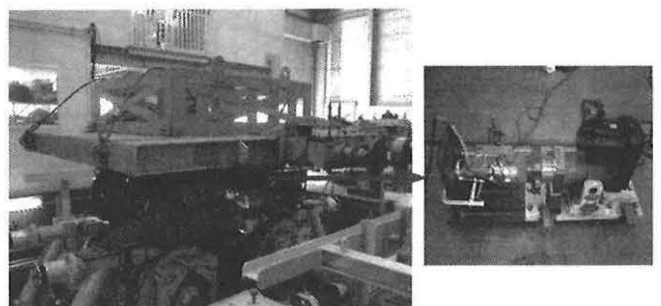


Fig 1. Test truck and steering actuator

3. 操舵アクチュエータの特性実験

3・1 操舵アクチュエータの動特性 操舵アクチュエータは、電圧指令値に比例したトルクを発生する AC サーボモータの回転運動を直動シリンダ変位に変換する機構により摩擦や内部慣性の影響を受ける。そのような要素のモデル化をおこなうにあたり以下の式を仮定する。

$$m\ddot{x} + f_c \cdot \text{sgn}(\dot{x}) = k_c \cdot v_c \quad (1)$$

ここで

x : アクチュエータ直動変位

m : 内部慣性質量

f_c : 乾性摩擦力

k_c : 指令電圧から発生力の校正係数

である。図2はアクチュエータをモデル化したものである。

台車の曲線通過を想定した場合、曲率が大きくなるにつれボギー角は増加する。同時にアクチュエータ変位と発生力は増大関係になる。このことを考慮し動作遅れに支配的な乾性摩擦を補償する指令電圧として以下の式を示す。

$$v_c = 1/k_c \{L_d + f_c \cdot \text{sgn}(\dot{L}_d) + k_p(L_d - L)\} \quad (2)$$

ここで L_d は目標として発生するアクチュエータ発生力である。また k_p は目標発生力と実発生力の偏差に対するフィードバック係数であり実験により適当な値を見出すことができる。

3・2 アクチュエータ単体の応答 図3は、アクチュエータ単体の両端をジグで拘束した状態で、目標発生荷重 L_d に対する制御系ごとの追従特性を比較したものである。アクチュエータ端点にはロードセルが設置されており、発生力 L を観測できる。図示されるように式(2)の右辺第一項のみの制御では、目標値に対し追従が遅れ、定常状態における偏差が確認できる。この偏差は $\pm 1.5\text{kN}$ 程度の幅で乾性摩擦が存在することに起因するものである。過渡的な目標値に対する追従の遅れは、同式の第2項の摩擦補償を負荷することで改善している。さらに第3項のフィードバックを負荷することにより、目標値に良好に追従する制御系となっていることが確認できる。

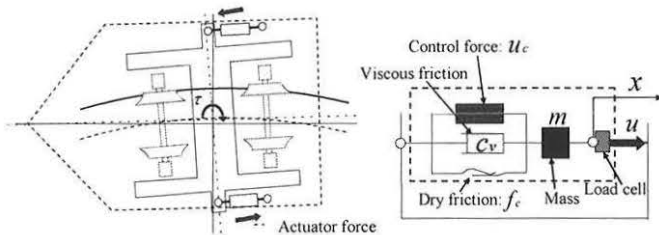


Fig.2 Analytical model of steering actuator

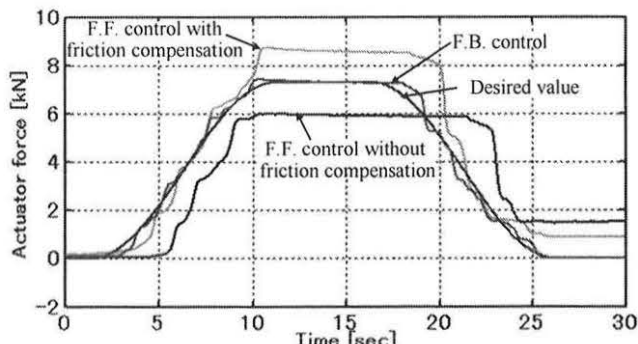


Fig.3. Time response of actuator force

3・3 台車取付け時の応答 アクチュエータを実際に台車に取り付け、アクチュエータ目標発生力と実際の発生力の特性評価を台上走行実験によって検証する。このとき、目標荷重 L_d として軌道曲率 ρ

$$L_d = k_p \cdot \rho \quad (3)$$

に比例した発生力を与えることとした。ここでパラメータ k_p は特定の定常曲線において外軌横圧が零となるように試行錯誤的に求めた量である。また軌道曲率は台上試験装置軌条輪のアタック角から求めている。

図4.5は軌条輪走行状態におけるアクチュエータ目標発生力と実際の発生力を表したものである。図示されるように目標発生力に対し遅れと定常偏差が生じている様子がわかる。一方、図5に示す式(2)に基づくフィードバックを導入することで目標値によく一致した発生力となっている。

4. 結 論

本報告では、ボギー角アクティブ操舵台車の緩和曲線を含めた操舵制御を検討するにあたり、アクチュエータの動特性を調べるとともに内部摩擦の補償制御を検討した。今後は、台上実験装置の緩和曲線通過を精密に模擬するための軌条輪アタック角と軌条輪速度差の連動手法を検討しつつ、提案する台車の過渡特性を含めた有効性を検証する予定である。

本研究の実施にあたっては、(財)メトロ文化財団の公益基金による研究費補助をいただいた。ここに謝意を表します。

文 献

- [1] 松本ほか、急曲線台車の研究開発（第一報）— 曲・直両用新踏面形状の設計法と性能評価 —, 27 回交通安全公害研究所発表会
- [2] Suda, Y.: Improvement of High Speed Stability and Curving Performance by Parameter Control of Trucks for Railway Vehicles Considering Independently Rotating Wheelsets and Unsymmetric Structure, JSME International Journal, Series III, 1990, 33-2, p176.
- [3] 松本ほか、ボギー角アクティブ操舵台車の研究開発（第2報）, JRIL2003, pp.115-118.

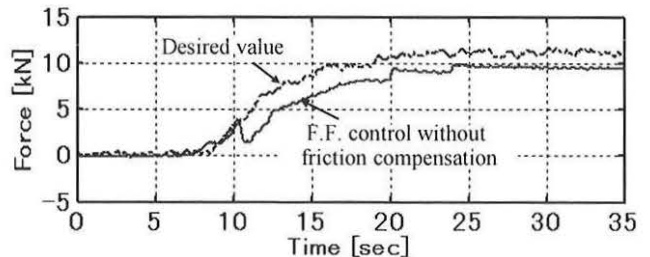


Fig.4. Control without feedback (R=180m, V=25km/h)

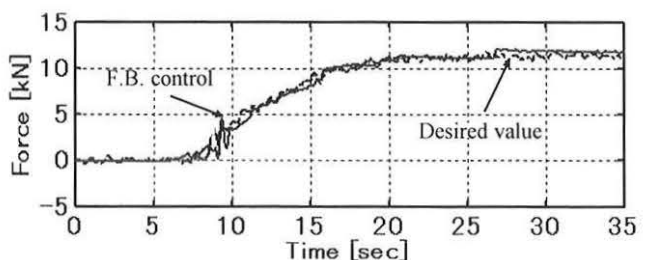


Fig.5. Control with feedback (R=180m, V=25km/h)