

鉄道急曲線部における台車蛇行動に関する研究

九州大学工学部
九州大学大学院
野村総合研究所
九州大学大学院

地球環境工学科
工 学 府
工 学 研 究 科
学生会員 ○松本 剛明
学生会員 弟子丸 将
正 会 員 中村 哲
正 会 員 角 知憲

1. はじめに

鉄道車両は走行時に蛇行動という現象が発生することがある。これは鉄道車両が正弦波状の挙動をするもので、これによって著大な横圧が発生し、脱線の危険性もある。本研究の目的は運動方程式を作り、台車蛇行動の解析を行って、蛇行動現象が軌道に与える様々な影響を計算によって求めることである。

今まで、曲線部における蛇行動に関する研究はほとんど行われていなかった。それは、曲線部における蛇行動も線形であるとすれば、直線部における蛇行動理論をそのまま曲線部にも適用できると考えられてきたためである。しかし、蛇行動が曲線部においても直線部と同じ挙動を示すとは限らない。東京の日比谷線の脱線事故は、輪重のアンバランスが原因と言われているが、蛇行動の示す挙動も原因の1つに含まれる可能性も考えられる。

2. 蛇行動理論

① クリープ力

蛇行動について論じる際に、まず考えなければならないのはクリープ力である。線形で考えられたクリープ力は以下の式で表されるものとする。(文献iiより)

$$F_{cr} = f \times v_{cr} / v_r \dots \dots \dots (1)$$

但し、 F_{cr} = クリープ力

f = クリープ係数

$$= 465 \sqrt{D(mm) \times W(kg)} \dots \dots \dots (2)$$

D : 車輪最大直径 W : 軸重

v_{cr} = クリープ速度

v_r = 回転速度

ここで、「クリープ速度/回転速度」は、一般にクリ

ープ率と言われる無次元量であり、上の式の関係よりクリープ率が大きいほど、クリープ係数が大きいほどクリープ力の絶対値は大きくなる。クリープ力の絶対値が大きくなると、蛇行動を生じようとする力が大きくなると考えられる。

② 運動方程式

二つ以上の輪軸が台車枠によって前後、左右の相対変位を拘束されている場合の蛇行動は慣性力とクリープ力の釣り合いで解くことが出来ると考えられる。

Fig.1 に二軸台車の蛇行動モデルを示す。

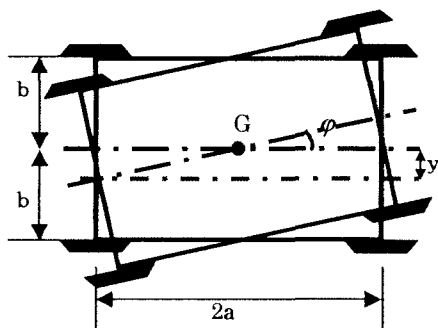


Fig.1

台車に牽引力、制動力が働かず速度一定と考え、 f_1, f_2 は進行方向及びそれに直角方向のクリープ係数、 r は最大車輪半径、 λ は車輪路面勾配とすれば、台車蛇行動現象を計算する際には次の運動方程式を解くことで蛇行動変位 y と蛇行動偏角 ϕ が得られる。

$$m\ddot{y} + \frac{2f_2}{v} - 2f_2\phi = 0 \dots \dots \dots (3)$$

$$m\ddot{\phi} + \frac{2(f_1b^2 + f_2a^2)}{v} \phi - \frac{2f_1a\lambda}{r} y = 0 \dots \dots (4)$$

③ 車体の振動の影響

実際に鉄道が走行する際には台車の上に乗っている車体の影響も大きいと考えられるので車体の振動も考慮して計算を行った。具体的には(台車-車体間の相対変位)にバネ定数を乗じた値を台車に加わる外力とした。

3. 結果

蛇行動理論を用いて曲線部における台車蛇行動の解析を行った場合にレールにかかる横圧を計算した結果を以下に示す。

Fig.2 に走行速度別の横圧の計算結果を示す。ここで、経過時間とは何らかの力によって釣り合い状態が崩れた瞬間からの経過時間を示している。

一般に走行速度が高くなるほど、慣性力を無視しない蛇行動運動は不安定になると考えられている。不安定な蛇行動運動が生じることによってレールに加わる横圧がどのように変化するかは軌道にとって重要な問題であると考えられる。この結果、走行速度が大きくなるほど蛇行動は不安定になり、さらに横圧も大きな値が出ると考えられる。

またボギーの重量も蛇行動の安定性、及びレールにかかる横圧に大きな影響を及ぼす要素であると考えられた。ボギー重量を変化させた場合の横圧変化を Fig.3 に示す。この結果よりボギーの重量を小さくすることで通常レールに加わる横圧、及び蛇行動現象による横圧の変化が小さくなり、軌道にとって理想的な状態に近づくと考えられる。

<計算に用いた基準値>

k (バネ定数)	13000kgf/cm
c (減衰率)	290kgf・sec/cm
台車重量	8tf
車体重量	10tf
走行速度	55.9km/h (カント均衡速度)
車輪最大半径	43cm
フランジ高	1.5cm
車輪路面勾配	0.05
軌道曲率半径	250m
スラック	10mm
軌間	1067mm

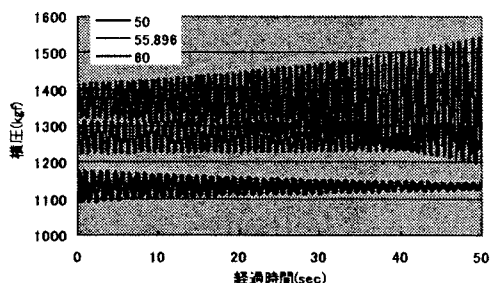


Fig. 2 走行速度別横圧状況

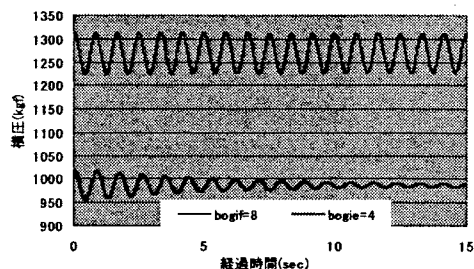


Fig. 3: ボギー重量別横圧状況

4. おわりに

本研究では曲線部において台車蛇行動が発生した場合の横圧の計算に重点を置いたが、今後も研究を進めて行く上で、様々な課題は残っている。本研究においては前軸外軌側フランジが常にレールに接すると考えたが実際にそのような挙動を示すとは限らないため、他の接触状況についての検討も必要であると思われる。走行速度を60km/h よりもさらに大きくした場合や、初期条件の与え方の変化で横圧が負の値になることも考えられ、そのときに著大横圧が生じるのではないかと考えられる。また、本研究は理論の展開のみを行い、実線での実験は行っていないので、今後実験を行って理論と比較する事も必要であるとする。その際には軌道狂いなどの理想的でない要素も実際には存在するため、それらも計算に含めるべきであると思われる。

<参考文献>

- i) 中村 哲:「鉄道急曲線部走行時における台車蛇行動に関する研究」,九州大学大学院工学研究科都市環境システム工学専攻修士論文,2001. 3
- ii) 大塚誠之:「鉄道車両」、日刊工業新聞社、1957. 9