

IV-184 軌道形状を考慮した二軸貨車走行安全性の一検討

三井 建設

南光 洋二

東京都立大学 正会員 長嶋 文雄

同上 同上 伊藤 文人

1. はじめに

地震時における鉄道橋の水平方向限界振幅を車両の走行性の面から解析的に検討するとき、走行安全性の判定には Nadal の判定式に基づいた脱線係数が一般に用いられている。しかし、脱線係数が大ききとも継続時間が短ければ脱線に至らない場合もあることが予測される。そこで、著者等は車両が軌道を逸脱して脱線または建築限界を犯すまでの挙動をシミュレートできる数値実験モデルを作り、より直接的に走行安全性を判定する手法を開発した¹⁾。

本報告は上記の数値実験モデルに対して、新たに上下動を加味し、さらに車軸のロッキング動に伴う軌道と車輪の衝突問題等に改良を加えたモデルを作成し、軌道の摩擦係数および遊間が車両走行安全性に与える影響について検討を加えたものである。

2. 車両および軌道の数値実験モデル

車両モデルは、ワム 90000形二軸貨車の半車両に対して松井²⁾がモデル化したものを引用した(図-1)。ただし、以下に示す3点について変更した。

- ア) 車軸のロッキング動を考慮する。
- イ) 車軸および車体重心の上下動を考慮する。
- ウ) 重ね板ばねの履歴特性については等価線形化を行なう。

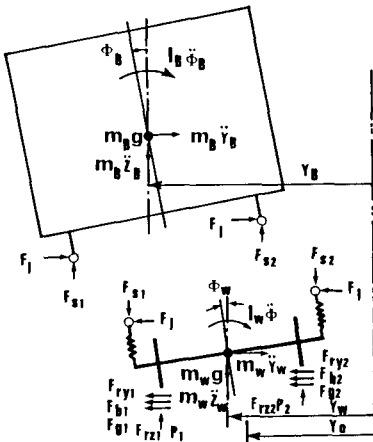


図-1 軌道加振型二軸貨車半車両モデル

軌道モデルは車輪フランジ角を 65° とし、バックゲージを988、991、994 mmの3種類、ゲージを1067、1077 mmの2種類とした、計6種の組み合わせについて、軌道と車輪の横断面実寸大模型により計測した車軸重心と軌道中心の相対変位に対する車軸の回転角(ϕ_w^*)、および車軸の鉛直方向変位(z_w^*)を既知量として与えることとし、図-2に示すような横断面形状をもたせた。ここで、レール小返りばね定数 k_R は1500 t/mとしたが、Nadalの判定式で乗り上がりまたは滑り上がりの状態になった場合の復元力はその後、逆方向に相対移動しない限りそのときの値をとり続けるようにした。

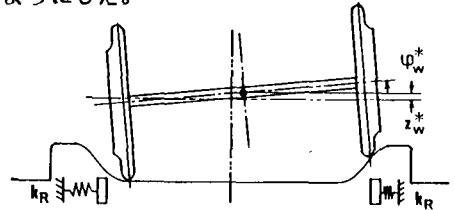


図-2 軌道モデル略図

3. 車軸のロッキング動に伴う車輪とレールの衝突問題

従来の動的応答解析では、車軸がいったんロッキングをしたら、この動きを永遠に繰返すことを前提としていた。しかし、このようなロッキング運動形態は条件が整っている場合にはそのようなこともありうると思った方が良さそうであり、一般には衝突後「這い出し」たりする等、複雑な挙動を示す³⁾。

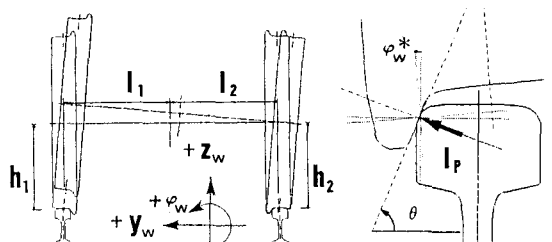


図-3 車軸のロッキング動と座標系

これらの挙動を力積モーメントおよび水平、鉛直方向の力積を用いて検討した結果、力積 I_p は反発係数を η 、車輪とレールの接触面の角度を θ 、質量を m_w 、回転慣性モーメントを I_w 、また車軸重心の回転、鉛直、水平それぞれの相対速度成分を $\dot{\phi}_w$ 、 $\dot{z}_w$ 、 $\dot{y}_w$ とすると次式で表わされる。

$$I_p = -(1+\eta) \{ \cos \psi \dot{z}_w + \sin \theta \dot{y}_w - l_1 \dot{\phi}_w \cos \psi \} m_w / \{ \cos \theta \cos \psi + \sin^2 \theta + l_1 (l_1 \cos \theta - h_1 \sin \theta) \cdot \cos \psi (m_w / I_w) \} \quad (1)$$

ここで、 $\psi = \phi_w^* - \theta$ 、また、 l_1, h_1 は車軸重心から衝突点までの水平、鉛直方向の距離である。

衝突後の角速度、および水平、鉛直方向の速度は上記の I_p を用いて次式で計算できる。

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_w' &= \dot{\phi}_w + I_p (h_1 \sin \theta - l_1 \cos \theta) / I_w \\ \dot{y}_w' &= \dot{y}_w + I_p \sin \theta / m_w \\ \dot{z}_w' &= \dot{z}_w + I_p \cos \theta / m_w \end{aligned} \quad (2)$$

衝突後、車軸が衝突点を中心にロッキング運動を継続するための特別な条件は衝突点が回転中心になるので衝突点の衝突後の速度が零となる必要がある。しかし、このような場合は殆どありえないであろう。

そこで、摩擦による力積 $\Delta I_{pz}, \Delta I_{py}$ を考える。摩擦による力積が衝突点の力積よりも大きいときには、この衝突点是不動点となるので、ロッキング運動が続くことになる。すなわち、次式がロッキング運動継続の条件となる。

$$\begin{aligned} | \dot{y}_w' + (\dot{z}_w' - l_1 \dot{\phi}_w') \sin \phi_w^* | m_w &< | \Delta I_{py} | \\ | (\dot{z}_w' - l_1 \dot{\phi}_w') \cos \phi_w^* | m_w &< | \Delta I_{pz} | \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、摩擦による力積は摩擦係数を μ_0 とすると、それぞれ下式で示される。

$$\Delta I_{py} = \mu_0 I_p \sin \theta, \quad \Delta I_{pz} = \mu_0 I_p \cos \theta \quad (4)$$

条件式(3)を満足しないときは衝突点付近ですべりが発生する。このときには最終的な衝突後の各速度は(')を付けて示すことにすると次式となる。

$$\begin{aligned} \dot{\phi}_w'' &= \dot{\phi}_w' + (\Delta I_{pz} l_1 - \Delta I_{py} h_1) / I_w \\ \dot{z}_w'' &= \dot{z}_w' + \Delta I_{pz} / m_w \\ \dot{y}_w'' &= \dot{y}_w' + \Delta I_{py} / m_w \end{aligned} \quad (5)$$

一方、次式が成り立つとロッキングは停止する。

$$| I_w \dot{\phi}_w' - \Delta I_{py} h_1 | < | \Delta I_{pz} l_1 | \quad (6)$$

4. 走行安全限界線

軌道に振幅漸増型正弦波を入力したときの半車両の運動を 1/400秒刻み(レール小返りが作用するときは1/2000秒)でシミュレートし、車体が建築限界を

越える場合と車輪が脱輪する場合に危険状態となるという判定基準を設けて、各周波数における走行安全限界振幅を求めた(図-4実線)。

図-4には比較のために「ワンジ」遊間を考慮しない(車軸加振型の)モデルを用い、従来の脱線係数

による判定を行なった限界線を一点鎖線で示した。

「ワンジ」遊間を考慮した本解析結果では限界線が極小となる周波数は車軸加振型の場合よりも低周波側にずれている。ただし、高周波域では差がない。

また1.0~1.7Hzの周波数帯では車軸加振型の場合よりも幾分限界が上がる結果となった。図中、破線は本解析モデルに脱線防止ガードを設置した時の限界線である。なお、ここでは摩擦係数 μ を0.06としたが、これは文献4)を参照し、定めたものであり、走行速度 $V=70\text{km/h}$ 程度に対応するものである(表-1)。

図-5は3種の「ワンジ」全横動遊間(FW)をパラメタとして5種の摩擦係数に対する走行安全限界を3種類の周波数(0.2, 0.8, 2.0 Hz)につ

いて求めたものである。摩擦係数の大きい方が、また「ワンジ」遊間の狭い方が走行安全性が僅かながら増すように思われる結果が得られた。

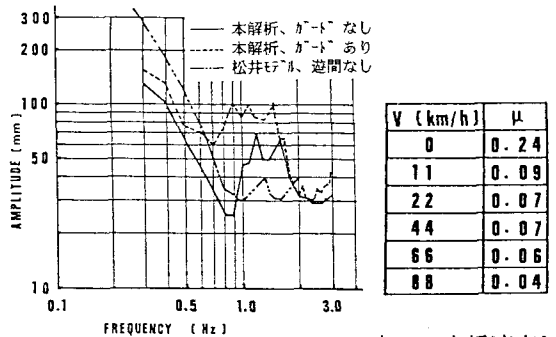


表-1 走行速度と摩擦係数(Galton)

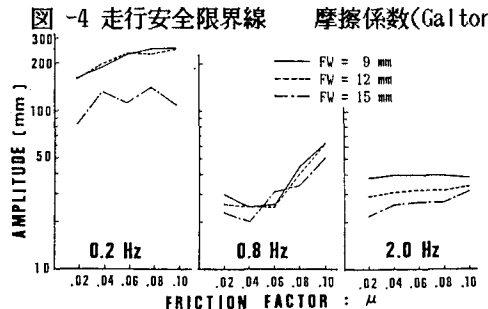


図5 「ワンジ」遊間と摩擦係数の影響

- 参考文献
 1) 馬越昭・長嶋・伊藤: 橋梁上脱線防止ガードの効果, 38回年次講義集。
 2) 松井: 二軸貨車競合脱線に関する研究, 国鉄技研報告, 1971年 6月。
 3) 大築・金井: 耐震設計, 30社社。 4) 森口: 初等力学(付録), 培風館。