

IV-276 急曲線区間通過中の台車の転がり・滑り摩擦について

九州大学工学部 正会員 壇 和喜
九州大学工学部 正会員 角 知憲

宮崎県 正会員 井崎 博史
九州大学工学部 学生員 箱田 厚

1. はじめに

波状摩耗の中で急曲線区間に特徴的に発生する比較的波長の短いものは、車軸・レール間の転がり・滑り摩擦による輪軸系のねじり自励振動に原因があり、これに輪軸と軌道の動的相互作用が加わると考える説がある。本論文ではこの見方に基づき、スラック操作が波状摩耗の進行や発生の抑制にある程度効果があるものと予測し、転がり・滑り摩擦・横圧等と与える影響を考察する。

2. 車輪に作用する転がり・滑り摩擦

(1) 車輪とレールの滑り速度と摩擦力

車輪はリジットな一体構造もつことより内外2つの輪軸が同じ角速度で回転する。一方レールは内軌と外軌とで旋回半径が相違することから両輪は異なった走行速度となる。その結果、両輪とレールとの間で無視できない滑りが生じ、輪軸系にはねじりモーメントが加わる。リジットなボギーが曲線区間を通過している状態を示したものが図-1である。

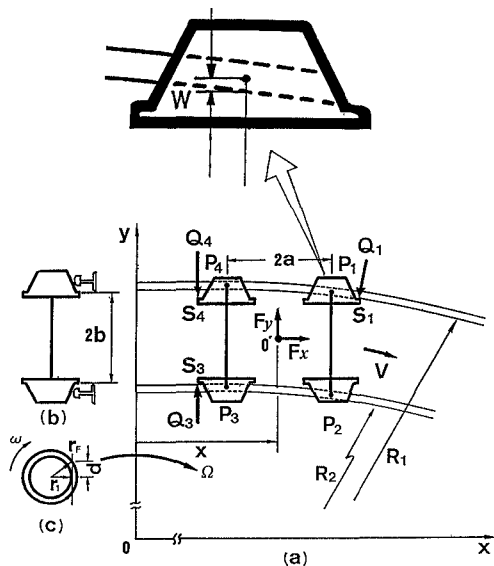


図-1 急曲線区間を通過するボギー

図中の R_1, R_2 : 内外軌の曲率半径, $2a$ は軸距, $2b$ は左右フランジ間距離, x はボギーとともに旋回する動径のうち、ボギーの左右軸に平行なもの Oy から、ボギー中心 O' までの x 方向距離, $P_1 \sim P_4$ は各車輪の踏面のレールとの接点, S_1, S_2, S_3, S_4 は各車輪フランジのレールとの接点, Q_1, Q_2, Q_3, Q_4 はその点で作用するレールからフランジへの圧力でレール曲率中心に方向に働くものとする。 d は車輪の踏面のレールとの接点からフランジ縁辺までの距離である。

(2) 車輪とレールの転がり・滑り摩擦係数

転がり・滑り率と摩擦係数を実台車を用いて得られた実験結果¹⁾が図-2のような形になることが報告されている。これに基づき摩擦係数上限を $\mu = 0.25$ とした上で、この曲線を次の多項式で近似し転がり・滑り摩擦係数を与えることにする。

$$\mu = (-1.024E+7)s^6 + (2.956E+6)s^5 + (-2.961E+5)s^4 + (1.156E+4)s^3 + (-1.633E+2)s^2 + 5.911s$$

ただし、 $(s < 0.08)$

$$\mu = (-4.576E-7)s^3 + (4.366E-5)s^2 + (-1.256E-3)s + 0.23 \quad \text{ただし } (s \geq 0.08) \quad \dots\dots(1)$$

s は滑り速度を走行速度で割ったものの絶対値に等しいので数値的にボギーの釣り合い状態を算出することができる。

S が $0.5 \sim 0.8$ で自励振動の危険領域である。以下、 $s = 0.4$ を越えると、レール継ぎ目等の攪乱によってこの領域に入る可能性が予想される。

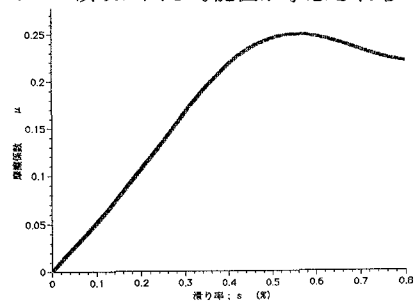


図-2 転がり・摩擦係数

(3) 曲線部走行中の力の釣り合い式

定常的な転がり・滑りは摩擦力が滑り率に対して複雑な変化をするため解析的には求められないが逐次検索的に計算を行う。

<S1のみが外軌に接触する場合（ $0 < x < x_1$ ）

$$W_{W1} = W_1 - \mu_{s1} Q_1 (d\omega) / |v_{s1q}|$$

$$\begin{aligned} & \mu_1 W_{W1} (-\Omega_{c1} + r_1 \omega) / |v_1| + \mu_2 W_2 (-\Omega_{c2} + r_2 \omega) / |v_2| + \mu_3 W_3 (-\Omega_{c3} + r_3 \omega) / |v_3| + \\ & \mu_4 W_4 (-\Omega_{c4} + r_4 \omega) / |v_4| - Q_1 (x+a+d) / R_1 - \\ & \mu_{s1} Q_1 v_{t1} c_5 / R_1 / |v_{s1q}| + F_x = 0 \quad \dots\dots(1) \\ & \mu_1 W_{W1} \Omega (x+a) / |v_1| + \mu_2 W_2 \Omega (x+a) / |v_2| + \\ & \mu_3 W_3 \Omega (x-a) / |v_3| + \mu_4 W_4 \Omega (x-a) / |v_4| - \\ & Q_1 c_5 / R_1 + \mu_{s1} Q_1 v_{t1} (x+a+d) / R_1 / |v_{s1q}| \\ & + F_y = 0 \quad \dots\dots(2) \end{aligned}$$

S1点まわりのモーメントの釣り合いは、

$$\begin{aligned} & \mu_1 W_{W1} [(-\Omega_{c1} + r_1 \omega)(c_1 - c_5) + d\Omega (x+a)] / \\ & |v_1| + \mu_2 W_2 [(-\Omega_{c2} + r_2 \omega)(c_2 - c_5) + d\Omega (x+a)] / \\ & |v_2| + \mu_3 W_3 [(-\Omega_{c3} + r_3 \omega)(c_3 - c_5) + (2a+d)\Omega (x-a)] / \\ & |v_3| + \mu_4 W_4 [(-\Omega_{c4} + r_4 \omega)(c_4 - c_5) + (\Omega (x-a)(2a+d))] / |v_4| + F_y (a+d) - F_x b = 0 \quad \dots\dots(3) \end{aligned}$$

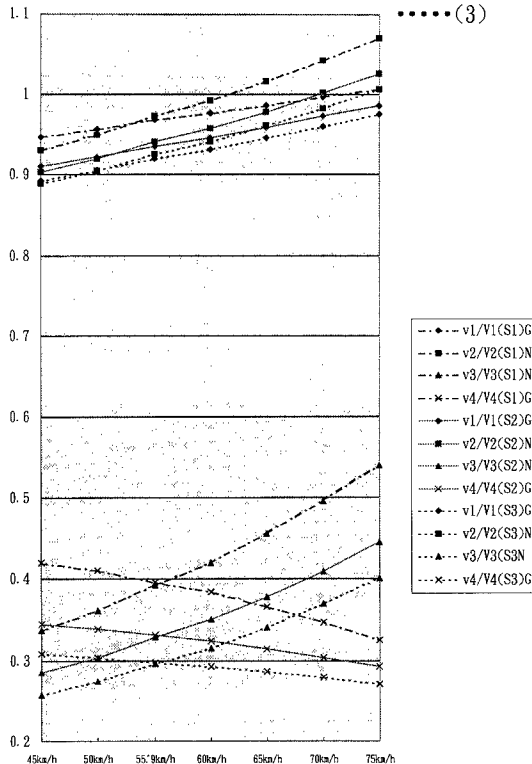


図-3 $d=15\text{cm}$ （全体滑り率の絶対値（%））

ここに、 F_x , F_y はボギー中心に外部から加えられる力で超過遠心力に相当する。ここで、 $a, b, d, r_0, r_F, \Omega, W_1, W_2, W_3, W_4, F_x, F_y$ は与えられるものとする。また、 $\mu_1 \sim \mu_4$ の間には ω と x を介して式(1)のような関係があり、 Q_1, x, ω を決定できる。

3. 計算結果

計算結果を図に表したものが、図-3、図-4である。後軸車輪で、 $s=0.4$ を越える領域にあるケースが見られる

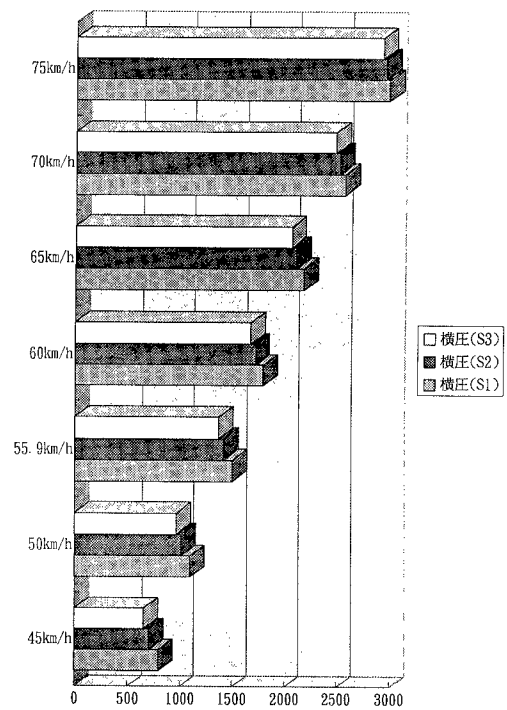


図-4 $d=15\text{cm}$, 横圧(kg)

4. 結論

量的には正確ではないが均衡速度を大きく越えると後軸内軌側の滑り率が自励振動領域に近づく。速度が相当小さいと後軸外軌で自励振動領域に近づく。スラックを拡大すると滑り率は小さくなる傾向にある。

参考文献

- 1) 松本陽ほか：実台車を用いた車輪／レール接触と曲線通過性能に関する実験的研究（第一報），日本機械学会 No. 940-26 I 機械力学・計測制御講演論文集