

東京大学 学生員 佐々木 英之
 東京大学 正員 松本 嘉司
 東京大学 学生員 下石ジョゼ林生

1. 序論

鉄道のレールには、特有の波長を持つ摩耗、いわゆる波状摩耗が生じることがあり、一旦これが生じると、騒音・振動と激化させ、軌道破壊の原因ともなる。

波状摩耗の発生頻度が高い所として急曲線区間があげられる。曲線部では一定速度で走行している場合にも、内軌外軌で走行距離が異なるため必然的に車輪・レール間にすべりが起こり、同時に輪軸にねじりが発生する。このような状態で走行している車輪に何らかの攪乱が、レール継目あるいは、必ず存在するレールの傷などのために与えられると、ある場合には、車輪・レール間の摩擦特性によってねじり振動が発生すると考えられる。本研究では、このような見地から、レールと車輪のころがり・すべり接触を考慮し、輪軸のねじり振動の理論的解析を行ない、実際に観測された摩耗波形と対比し、曲線部での波状摩耗の発生・進展機構の解明のための基礎を与えようとしている。

2. 輪軸のねじり振動解析

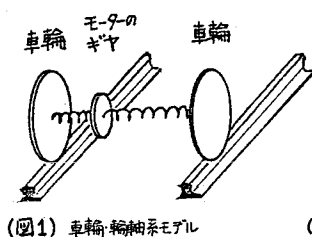
曲線部通過時には、車輪は外軌側へ移動することにより左右輪の行路差を解消しようとするが、すべりを伴わずに行路差を解消しながら走行するには、実際のスラック量では不足しているの、スラック量と無視して車輪・輪軸系を図1のようにモデル化し、次のような仮定をおいて解析した。

- 1) 輪軸のねじりは、他の振動モードとは直交する。
- 2) 輪軸へモーターから駆動トルクを伝える大歯車とモーターのローターは剛に結合されている。
- 3) 車輪およびモーターのギヤ部は、集中回転慣性とし、輪軸はねじりばねとする。

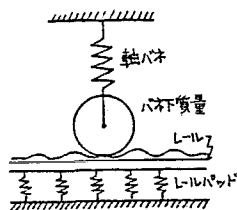
また、輪重変動を考慮するために、図2に示すようなモデルを以下の仮定の下に用いた。

- i) レール踏面の凹凸による車輪とレールの相互作用によるのみ、輪重が変動する。
- ii) 道床とはね上質量の重心位置は変動しないとする。
- iii) レールは、半無限長の弾性床の上のりとする。

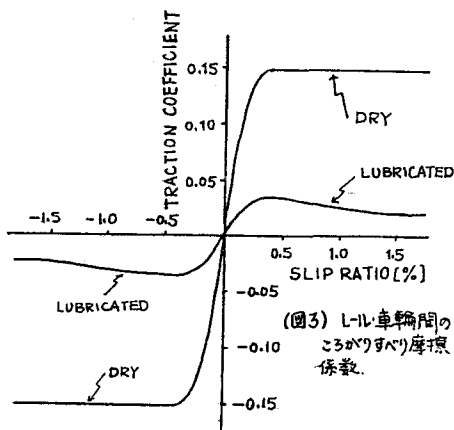
輪軸のねじり振動状態に大きな影響を与えるものに、車輪・レール間のころがり・すべり摩擦係数がある。急曲線部では外軌に塗油することが普通であり、この場合、ころがり・すべり摩擦係数の特性は乾燥状態とは異なるので、スピンドル油潤滑時の模型実験のデータから外挿して得られた図3の値を用いた。また塗油してないレールも油などで汚れていると考えられるので、微量のスピンドル油が付着した場合の模型実験より得た図3の値を、塗油してないレールと車輪間のころがり・すべり摩擦係数として用いた。



(図1) 車輪・輪軸系モデル



(図2) 輪重変動モデル



(図3) レール・車輪間のころがりすべり摩擦係数

3. 解析結果および考察

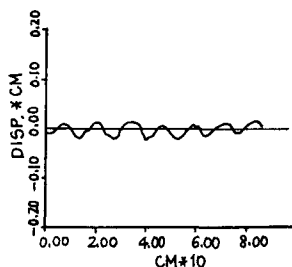
以上に記したモデルの運動方程式をルンゲクッタ法で解き車輪・輪軸系の状態の時間的変化を求めた。計算結果の数例を図4～図7に示す。これらの数値計算結果より次のようなことが言える。

- 1) 車両が波状摩耗の発生していない曲線部を通過する際に輪軸系が何らかの攪乱を受けると輪軸には1次または2次モードのねじり振動が励起される。図8は、波状摩耗の実測結果の一例であるが、波長は9.8cm、列車速度は44km/hであるので、輪軸のねじり振動の1次固有振動数とほぼ一致する。
- 2) この1次モードは図4の場合のように減衰性が強い場合もあるが、この振動はレール継目やレール傷をきっかけとして起こると考えられ再現性が高い。したがって、レール継目などから徐々に波状摩耗が形成されてゆくと考えられる。
- 3) 既に波状摩耗が発生しているレール上を走行する車両の輪軸系は、図7に示すように振動が継続する。また、この場合波状摩耗の成長速度は、波状摩耗の波高が大きくなるにつれて大きくなると考えられる。
- 4) 急曲線部での外軌への塗油は、図5,6と比較してわかるように、加減速の状況と相俟って波状摩耗が発生しやすい状態を作ると考えられる。

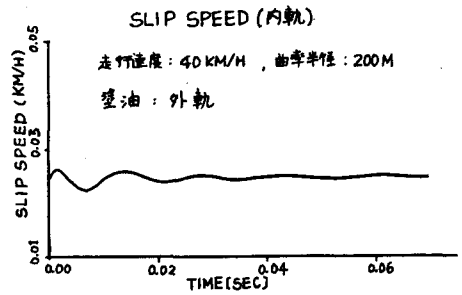
本研究に示した車輪・輪軸系の取り扱いには、基本的には妥当なものと考えられるが、その細部にはなお検討の余地がある。以下に問題点をまとめておく。

i) ころがり・すべり摩擦係数は、理論解や模型実験により一応求まっているが、実際の車輪とレール間では得られていない。また図3に示した値は車輪のすべり速度が一定の場合について測られたものであり、動的な状態への適用が可能かどうか検討が必要である。

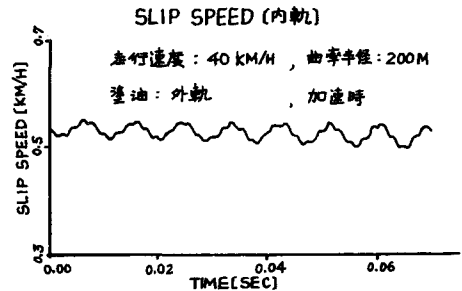
ii) スラック横動余裕を無視しているが、実際には存在し、このために車輪はレールから横圧を受けることになる。この点に関しては現在検討中である。



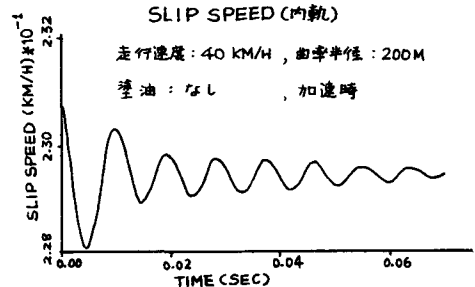
(図8) 波状摩耗実測デ-タ-例



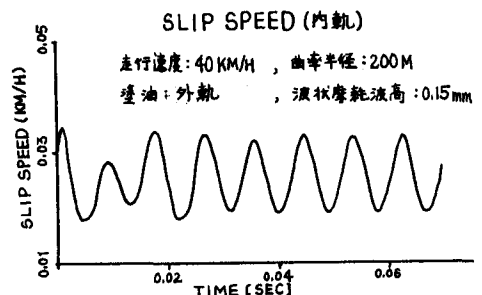
(図4) 車輪のすべり速度の計算結果



(図5) 車輪のすべり速度の計算結果



(図6) 車輪のすべり速度の計算結果



(図7) 車輪のすべり速度の計算結果

参考文献 ①丸山, 大山, 稲田: 「高速ころがり接触下のすべりと摩擦」 潤滑第21巻第7号 (1976)

②大山: 「車輪・レールの粘着係数に及ぼす接触性状の影響」 車輪・レールの接触問題に関するシンポジウム