

車輪・レール間の摩擦係数が車両の曲線通過性能に及ぼす影響

芝浦工業大学大学院 学生員 ○福田拓也
芝浦工業大学工学部 正会員 松浦章夫

1. 研究目的

車両が急曲線を低速で走行する場合は、車輪・レール間の摩擦係数の増大と輪重アンバランスが主要因と考えられる乗り上がり脱線に注意する必要がある。最近では、このような急曲線上の脱線現象の解明に関する研究が進められている。本研究では、芝浦工業大学で開発した走行シミュレーションプログラムを用いて、代表的な曲線諸元を例に用いて車輪・レール間の摩擦係数が曲線通過性能に及ぼす影響を検討した。

2. 急曲線部での脱線現象

走行中の鉄道車両が急曲線部にさしかかると、レールに対して若干斜めに位置して走行することになる。斜めに位置したまま走行すると、たえずフランジ部分が接触することになり、横圧により車輪が徐々に浮き上がり、脱線にいたる。一方、静止輪重のアンバランスによる脱線は、外軌側の車輪の静止輪重が、左右車輪の静止輪重の平均値よりも極端に小さくなる場合においては、車輪フランジは完全な乗り上がり状態となり、脱輪に至ることも考えられる。

3. 解析モデル

本解析では、図-1に示すような鉄道車両としては典型的である2軸ボギー車とし、車体、台車枠、車輪軸からなる31自由度3次元1車両モデルを扱うこととする。車輪軸と台車枠とは、上下・前後・左右軸ばねで、また車両と台車枠とは、左右動ダンパー空気羽で結ばれている。軌道モデルは図-2に示すように、直線 S_l 、緩和曲線 t_l 及び曲線 $2C_l$ からなる5区間を連続的に組みあわせて構成した。車両は起動の始点から軌道中心線に沿って一定速度 V で走行する。

4. シミュレーションの条件

シミュレーションに使う車両モデルは車両長 18m 制御車両の諸元、レールは50キロレール及びそれに対応する締結装置の諸元を用い、数値計算に関しては標準積分時間間隔 1/1000 秒として第一軸外軌側の車輪上昇量について結果をまとめた。

- 曲線半径 R (120m, 160m, 200m)
- 均衡速度 V (40km/h, 35km/h, 30km/h)
- カント倍率 K (300, 500, 800)

上記の値 R, V, K を指定し、式(1), (2)を用いてカント C 、緩和曲線 t_l を算出し27の軌道モデルを作成した。

$$C = (1067V^2) / (127 \times R) \quad (1)$$

$$t_l = KC \quad (2)$$

また、シミュレーションでは以下の因子を考慮した。

輪重アンバランス Δ (今回は 0.2 に統一)

走行速度 V (25km/h, 19km/h, 13km/h)

レール・踏面間の踏面摩擦係数 (0.2~0.9)

レール・フランジ間のフランジ摩擦係数 (0.2~0.6)

基本頭面形状レール (50 キロ N レール)

軌道狂い無し

また、直線 $S_l=40m$ 、曲線 $C_l=30m$ 、スラック $S=10mm$ に固定して解析を行った。

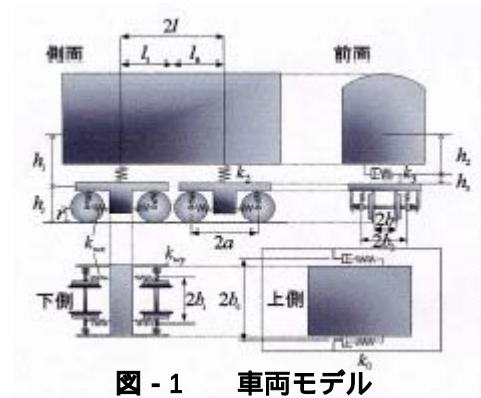


図-1 車両モデル

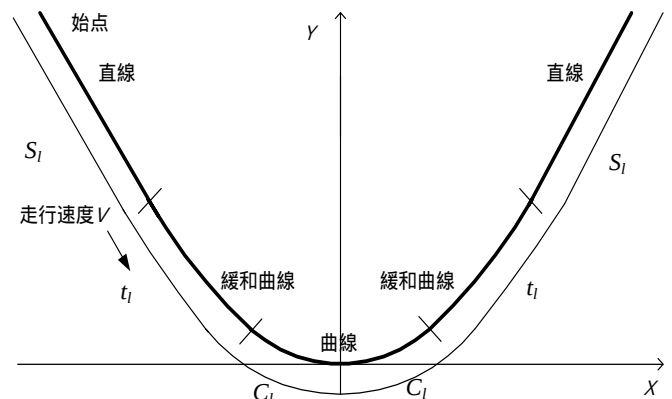


図-2 軌道モデル

キーワード 摩擦係数, 輪重アンバランス, 走行シミュレーション, 限界摩擦係数

連絡先 〒108-8548 東京都港区芝浦 3-9-14 芝浦工業大学工学部土木工学科 TEL 03-5476-30

5. 解析結果および考察

レール踏面摩擦係数と車輪フランジ摩擦係数の組み合わせ(図-4)を変化させて、車輪上昇量にこれらがどのような影響を与えるかをプロットし、車輪フランジの完全乗り上がり条件を解析した結果を図-3に示す。X軸に踏面摩擦係数、Y軸にフランジ摩擦係数、Z軸に車輪上昇量を取った図である。この図の場合は、踏面摩擦係数とフランジ摩擦係数の和が1.0より大きくなると車輪上昇量が急増して、車輪のフランジ部がレールに完全乗り上がり状態に至る。また、図-3の場合においては車輪上昇量が10mmを越えると、全ての踏面摩擦係数とフランジ摩擦係数の組み合わせにおいて、車輪上昇量が急増していることがわかる。さらに軌道外方に車輪が運動すれば脱線に至る。本研究は、この車輪上昇量が急増するときの踏面摩擦係数とフランジ摩擦係数の平均値を算出してこれを限界摩擦係数と称して曲線通過性能の評価を行った。

限界摩擦係数の解析結果を表-1に示す。Rは曲線半径、Cはカント、Kは逡減率、 t_l は緩和曲線長、Vは走行速度を示す。本研究では、限界摩擦係数をR、C、K、 t_l 、Vの5つのパラメータを変化させて108個の限界摩擦係数を算出した。これらを表にまとめた結果、曲線半径が小さくカントが大きく、緩和曲線長が短く、走行速度が低ければ、限界摩擦係数が小さくなるに従って脱線しやすくなることが分かる。

6. まとめ

複数の軌道モデルにおいての車輪・レール間の摩擦係数の影響を示すことができた。そして限界摩擦係数は、脱線に至る可能性の評価に使用可能であることが確認できた。なお今回は輪重アンバランス0.2と大きな値で解析したが、輪重アンバランス0.1の場合は、表-1で走行条件が厳しい2つの軌道モデルから限界摩擦係数を算出した結果を例として表-2に示す。

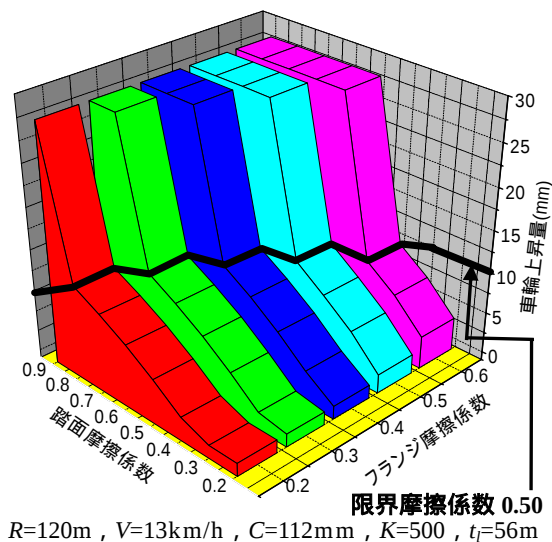


図-3 限界摩擦係数の算出図(例)

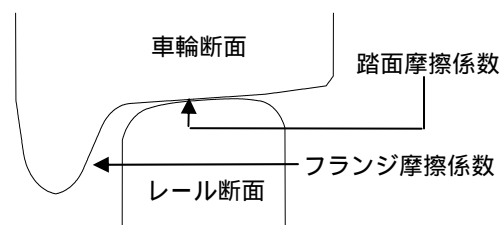


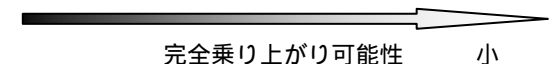
図-4 車輪・レール間の摩擦係数

表-1 本研究で得た限界摩擦係数の解析結果
(輪重アンバランス0.2の場合)

R	C	K	t_l	走行速度 V (km/h)			
				*	25	19	13
120	112	300	34	0.50	0.40	0.40	0.40
		500	56	0.50	0.50	0.50	0.50
		800	90	0.55	0.55	0.55	0.55
	86	300	26	0.50	0.45	0.45	0.45
		500	43	0.55	0.55	0.55	0.50
		800	69	0.60	0.60	0.55	0.55
	63	300	19	0.50	0.50	0.50	0.50
		500	32	0.60	0.55	0.55	0.55
		800	50	0.60	0.60	0.60	0.60
160	84	300	25	0.55	0.50	0.50	0.50
		500	42	0.65	0.60	0.55	0.55
		800	67	0.70	0.65	0.60	0.60
	64	300	19	0.55	0.55	0.50	0.50
		500	32	0.65	0.60	0.60	0.60
		800	51	0.70	0.65	0.65	0.65
	47	300	14	0.55	0.55	0.55	0.55
		500	24	0.65	0.65	0.60	0.60
		800	38	0.70	0.65	0.65	0.65
200	67	300	54	0.60	0.55	0.55	0.55
		500	34	0.70	0.65	0.65	0.65
		800	34		0.70	0.70	0.70
	51	300	41	0.60	0.60	0.60	0.55
		500	26	0.70	0.70	0.65	0.65
		800	15			0.70	0.70
	38	300	30	0.60	0.60	0.60	0.60
		500	19	0.70	0.70	0.70	0.70
		800	11				

表-2 本研究で得た限界摩擦係数の解析結果
(輪重アンバランス0.1の場合の例)

R	C	K	t_l	走行速度 V (km/h)			
				*	25	19	13
120	112	300	34	0.65	0.55	0.55	0.55
	86	300	26	0.65	0.60	0.60	0.60



備考：*は均衡速度を示す，
斜線セルは解析範囲内では脱線しない。