

IV-273

輪重変動に関連した軌道ばね減衰係数の同ばね係数に対する関係

日本機械保線KK. 正員 佐藤吉彦

1. まえがき 高速鉄道において走行安全とその材料保全のためには、輪重変動を一定範囲に保つことが必要なことは既に広く知られるところで、線形が想定される範囲では、図1のモデルを用いれば良いことが知られている¹⁾。このモデルで、最上部の質量は車両のばね下質量で、中間部の質量はレールの有効質量を表す。ここで、レールの質量は、レール頭部の数 cm から 10 cm 程度までの微細な凹凸に関して重要となり、このような凹凸は、レール溶接部の材質変化に起因して発生し、その大きさは 0.4 mm 程度までの範囲にある²⁾が、勾配の変化が大きいためこの箇所鋭い輪重変動が発生する。しかし、これは高周波であることもあって、減衰が大きいため単発の現象となるので、そのパワーはそれほど大きなものではない。むしろ、これによって、その上のばね下質量と軌道ばねにより形成される系の固有振動を誘起し、この系の減衰がそれほど大きくないことから振動が持続し、軌道がこれによって波状摩耗が発生し、あるいは曲がりを生ずるなど、多くの問題を発生している。

以下、この系において、軌道ばね係数と同減衰係数がこのばね下質量による輪重変動とどのような関係にあり、輪重変動を適切な範囲に抑制するためには、どのような対策を取り得るのかについて論ずる。

2. モデルと理論解析結果 このばね下質量と軌道ばねならびに同減衰の関係を論ずる場合には、図2のモデルを用いれば良いことが知られており³⁾、この場合の輪重変動は、車輪/レール間の凹凸を空間振動数の逆数の立方に比例すると仮定して、次のように表されている。

$$V\{\Delta W\} = A/\pi \cdot V^2 KM(1 + \sqrt{KM/C}) \quad (1)$$

ここで、 $V\{\}$:分散、 ΔW :輪重変動、 A :レール凹凸のパワーの分布係数、 V :走行速度、 K :軌道ばね係数、 M :ばね下質量、 C :軌道ばね減衰係数

この式において、 $A=2 \times 10^{-7}$ 、 $V=210$ km/h、 $K=50$ tf/cm、 $M=1.2$ t、 $C=100$ kgf・s/cmとすると、輪重変動の標準偏差 $sW = \sqrt{V\{\Delta W\}} = 1204$ kgf となる。ここで、 A の値は、文献4)の 5×10^{-7} に比べれば小さいが、この文献ではこれを最大値に近い値として考えたので、これを平均値として考えれば妥当である。 V 、 M の値は文献4)と同じである。 K 、 C の値は、日野土木実験所と東海道本線の有道床軌道の値で有り、標準値と考えられる。計算結果は、8 tf の 15% であり、現状値に合致している。

3. 輪重変動を一定に保つ軌道ばね係数と同減衰係数の関係 (1)式を変形し、軌道ばね減衰係数を軌道ばね係数に対して表すと、次のようになる。

$$C = \sqrt{M} K^{1.5} / \{sW^2 \pi / (AV^2) - K\} \quad (2)$$

これを上記の輪重変動が、輪重の約 15% の場合である $sW=1203.18$ の場合に対して、レール凹凸の振幅係数 $A = 2, 1$ および 0.5×10^{-7} に対して、 $V=210$ km/h で $M=1.2$ t と、 $V=270$ km/h で $M=1.0$ t の場合について計算し、実測結果と比較したのが図3である。この結果を $V=210$ km/h の場合について見たのが実

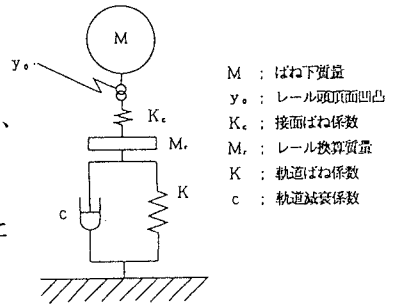


図1 輪重変動の計算モデル

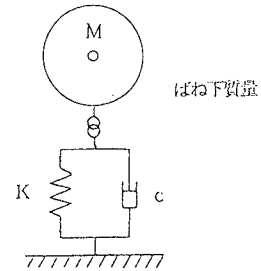
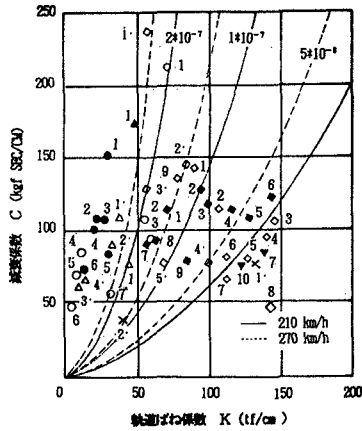


図2 ばね下質量によるモデル



- 白 黒字および記号等線
 ○印: 有道床系
 1. PC+バラストマット(山幹高架)
 2. 普通有道床(日野)
 3. PC+土路盤(東海道在来線)
 4. 有道床弾性まくらぎ(日野)
 5. PC+土路盤(ガイドウェイ)
 6. 有道床弾性まくらぎ+バラストマット(日野)
 7. 木まくらぎ+土路盤(津田沼)
 △印: 有道床系
 1. B型弾直軌道(日野)
 ◇印: 道床系
 1. 100t/cm スラブ(日野在来線)
 2. コンクリート鋪裝(津田沼在来線)
 3. 有道床弾性まくらぎ+バラストマット+元充(日野)
 4. 標準スラブ(山幹高架)
 5. 防振スラブ(山幹高架)
 6. 防振スラブ(東北幹高架)
 7. 標準スラブ(東北幹高架)
 8. 300t/cm スラブ(日野在来線)
 9. 防振C型スラブ(山幹高架)
- 印: 有道床系
 1. まくらぎバット(バラストマット有)
 2. 弾性まくらぎ(バラストマット有)
 3. まくらぎバット(バラストマット無)
 4. 標準有道床
 5. 弾性まくらぎ(バラストマット無)
 6. 低ばね係数
 7. 木まくらぎ継着分岐(▼)
 ▲印: 有道床系
 1. 鋪裝
 ◆印: 直結系
 1. A型直結
 2. 防振D型スラブ
 3. 新てん充層I型
 4. 防振C型スラブ
 5. 普通スラブ
 6. 防振A型スラブ
 7. 制振レール
 8. 新てん充層II型
 9. 防振E型スラブ
 10. スラブ分岐(▼)
- JR 東海
 目上七ヶ津基地
 △印: 弾直系
 1. 弾直 100
 2. 弾直 30
 3. 弾直 10
 4. 弾直 4
 ◇印: スラブ系
 1. 桁式枠型スパン中央
 2. 桁式枠型支車上
 3. 防振枠型
 4. 既設スラブ
 5. 増厚スラブ
 ×印: 直結系
 1. 直結
 2. 直結+御ねね継結

図3 輪重変動を一定に保つ軌道ばね係数と同減衰係数

線で、輪重変動を従来と同じく輪重の15%程度に保つためには、 $A=2 \times 10^{-7}$ より若干小さい値を境として、有道床軌道ではこれよりAの値が大きくても良いが、スラブ系の軌道の場合には、これより小さい値とする必要がある。破線の270 km/hの場合にはこれより若干厳しくなる。

4. 輪重変動に対する軌道ばね係数と同減衰係数の関係 次に、レベル凹凸の振幅を一定値 $A=2 \times 10^{-7}$ に保って、速度とばね下質量を上記の場合について輪重変動の標準偏差が10%から20%に変化した場合を計算したのが図4である。実線で示した速度210 km/hの場合について見れば、有道床軌道の場合にはこれによって輪重変動をほぼ15%以下に保つことができるが、スラブ軌道の場合にはこれより大きくなる。破線の270 km/h運転の場合には、若干これより厳しくなる。

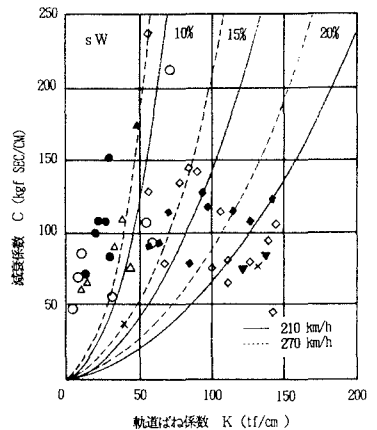


図4 輪重変動に対する場合

また、輪重変動を一定に保つ軌道ばね減衰係数の軌道ばね係数に対する関係は、ばね係数が小さくなると軌道ばね減衰係数は加速度的に小さくて良いこととなる。有道床軌道では一次比例的に減少する傾向が見られるので、一層有利となる部分があり、スラブ系軌道ではばね係数を低減すれば、減衰係数は増加する傾向にあることにより、有道床軌道の領域に達しつつあったが、その後開発された各種の弾性まくらぎ直結軌道は、完全に有道床軌道の範囲にある。

5. むすび 以上の解析の結果、従来輪軸落下試験によって求められてはいたが、その意味が必ずしも明かでなかった軌道ばね係数と同減衰係数の関係が明らかになったものとする。

文献

1) 佐藤吉彦: "輪重変動の立場からみたレール頭頂面凹凸の評価法" 鉄道技術研究報告1198(1981.10).
 2) 佐藤吉彦他: "951形式試験電車の速度向上試験における軌道関係試験結果" 鉄道技術研究所速報78-104(1978.6). 3) 佐藤吉彦: "東海道新幹線において951形式試験電車に発生した著大輪重の原因とその対策" 鉄道技術研究報告824(1972.9). 4) 佐藤吉彦: "軌道高周波振動の理論解析" 鉄道技術研究報告1013(1976.8)