2207 静止輪重の計算予測と調整作業への応用

Utilization of a static wheel load calculation program for the wheel load adjustment work

田中裕輔

富士重工業（株）車両システム部：栃木県宇都宮市陽南1-1-11

Yusuke TANAKA

Fuji Heavy Industries Ltd. Rolling Stock Systems Dept. Transportation Systems Division 1-1-11, Yonan, Utsunomiya, Tochigi, 320-8564

Abstract: The management of static wheel load of rail vehicle is becoming an important matter in view of running safety.

The conventional methods of adjusting the static wheel load is carried out visually by insertion of lining plates to the primary suspension springs and to the bolster springs to keep their height to predetermined dimensions. In the adjustment work for the primary spring for example, quantity of liners to be inserted for each primary spring is largely relied upon sense and experience of the maintenance worker. It is general that the management of the static wheel load is closely connected with the management of the height of suspension; it is, however, not visual management value. The management of the static wheel load based on the height of suspension is more difficult than the predetermined dimension method.

We, hereto, explain about a calculation method for forecast of static wheel load, and also show that our calculation model indicates how much affect on the static wheel load taking the eccentricity of C. G. of the vehicle itself, the distortion of the superstructure of the vehicle and the distortion of the bogie truck frame, respectively, into consideration.

We also show an example of the calculation result (i.e. thickness of liners to be inserted) to optimize the wheel load ratio of the right and left wheel for an in-vehicle.

Key word: wheel load, liner, distortion, bogie truck frame

1. まえがき

鉄道車両における静止輪重の調整は、安全走行の面からより重要になってきている。従来は目視可能な寸法管理として、調整板の抜き差しによる軸ばね、枕ばねの基準高さ調整が一般的であった。軸ばねの調整であってもライナーの挿入個所の選択と挿入量は現場作業者の勘と経験に頼ることが多いのが実状であった。一方静止輪重管理はばね高さと密接に関係しながらも、いわば目視観察できない管理値であり調整作業を効率的に行うためには軸ばねの基準高さ調整以上に難しさがある。ここでは静止輪重を計算予測により推定する方法を述べ、また静止輪重に影響する項目として車両重心ずれ、車体ねじれ、台車ねじれの3項目に絞り、それぞれの項目がどのように静止輪重に影響するかを調査するとともにさらに予め得られた実測静止輪重値データを用いて左右輪重比を最適調整するための計算予測方法および実車を使った実測例を示す。

2. 計算方法

計算モデルをFig-1に示す。また変形モデルをFig-2に示す。計算は車両の質量とばね反力についての力のつりあい式をたてて輪重を求める式（文献1）を改

良して使用した。改良部分は輪軸部において軸ばね荷重と踏面反力（輪重）を加えて20行×20列のマトリクスとした。また車体ねじりばね定数 K_B は前後枕ばねのローリング剛性と合成し直列ねじ

Fig-1: Calculation model

りばねとみなして K_B' 、また左右台車枠の側梁間におけるピッチング方向のねじりばね定数 K_T は同じように左右軸ばねピッチング剛性と合成して直列ねじりばね K_T' として用いている。

図中/数字ハ
 $b_1=560\text{mm}$ $b_2=820\text{mm}$ $b_3=975\text{mm}$ $b_4=1050\text{mm}$
 $t_{11}=10\text{mm}$ $t_{12}=10\text{mm}$ $t_{13}=10\text{mm}$ の場合を示す

Fig-2: Transformation model

3. 計算結果

輪重調整の実際はバランスウェイト追加による車両重心位置の移動操作、枕ばねライナー追加による車体のねじり修正、軸ばねライナー追加による台車のねじり修正の3項目に代表されると考えられる。

最近では空気ばね車両が圧倒的に多いので空気ばね車両の計算結果で説明する。空気ばねは高さ調整弁を用いて荷重の増減に係わらず空気ばね高さを常に一定に保つため、静力学的に見れば荷重～変位が比例した線形ばねではなく剛体に近いと考えられる。したがってここでの計算は空気ばね定数を ∞ として計算している。まず車体をローリング方向にねじっていった場合の輪重変化を Fig-3 に示す。輪重データを表示する場合に8箇所の数字の羅列では直感的に把握しにくいがレーダーチャートで表現すると輪重バランスの崩れ方が明確に表される。図示の例では4位の空気ばねを上昇させるか、または空気ばねの下に高さ調整のためのライナーを挿入して嵩上げた状態を示している。この場合の輪重はライナーを挿入した直下の輪重6, 8位が増加するとともに、枕ばねで対角位置の1, 3位も増加する。次に台車をピッチング方向にねじっていった場合の輪重変化を Fig-4 に示す。実測との突き合わせを行うために3位の踏面位置を上昇（3位の軸ばねライナーを挿入）させたときの計算結果としている。ライナーを挿入した3位の輪重が増加するとともに同じ台車内の線対称位置の4位輪重が減少している。また関連して1位枕ばね位置が上昇するため後位台車側にも影響が生じて3位の空気ばね荷重が増えるため6, 8位の輪重がわずかに増加している。

Fig-3: Analytic value of wheel load

Fig-4: Analytic value of wheel load

Fig-5: Measured value of static wheel load

Fig-6: Measured Value of static wheel load

4. 実測値との比較

静止輪重を出来るだけ精度良く測定するため8組の輪重計により1車両8個所の輪重を同時測定した。また差圧弁は撤去し、その取り付け孔を利用して空気ばね給気をダイレクトに行い、LV弁の不感帯の影響を排除した。空気ばね、軸ばねともに全個所とも変位計によるばね高さ測定、空気ばね圧力のモニターを実施した。Fig-5は4位の空気ばねを上昇させた時の輪重変化をレーダーチャートで示す。またFig-6は3位の車輪位置を上昇させたときの輪重変化を示す。また空気ばね上昇の場合と車輪位置上昇の場合について計算値と実測値の比較をFig-7、Fig-8に示す。

Fig-7: Comparison of calculated value and measured value load

Fig-8: Comparison of calculated value and measured value load

Fig-9 Measuring flow chart

キハ		バランスウェイト質量 440.8 kg (12/12)							
		搭載位置(X,Y) (-528.7, -1400)							
	輪重位置	1位	2位	3位	4位	5位	6位	7位	8位
計算過程結果	輪重比	1輪	2輪	3輪	4輪	5輪	6輪	7輪	8輪
0. 初期測定時	輪重	45.02	43.37	39.21	51.42	38.00	38.54	38.65	38.35
	輪重比	1.02	0.98	0.92	1.12	0.89	1.01	1.00	1.00
1. 死重減込時	輪重	46.76	42.80	40.94	50.35	40.05	37.49	40.70	37.30
	輪重比	1.04	0.96	0.95	1.11	1.03	0.97	1.04	0.98
2. 空気ばねライナー挿入時	輪重	48.32	41.23	42.51	48.28	38.48	39.08	39.13	38.87
	輪重比	1.08	0.92	1.01	1.07	0.89	1.01	1.00	1.00
3. 枕ばね(前後)ライナー挿入時	輪重	41.76	47.79	43.10	48.70	41.47	38.07	42.12	35.88
	輪重比	0.93	1.07	0.94	1.06	1.02	0.93	1.05	0.92
4. 軸ばね(前後)ライナー挿入時	輪重	42.07	47.48	43.41	48.38	41.53	38.01	41.43	36.57
	輪重比	0.94	1.06	0.95	1.05	1.02	0.93	1.05	0.93
5. 空気ばねライナー挿入時	輪重	44.89	44.88	48.03	45.77	38.91	38.82	39.81	39.18
	輪重比	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Fig-10: Example of calculation value imbalances wheel load

4. 輪重予測計算の応用

輪重予測計算は輪重調整作業の効率化のために、現場作業における支援ツールとして利用できる。ただし最終的な実車の輪重確認は実測する必要があるのは言うまでもない。

調整しようとする車両の実測輪重をもとに、バランスウェイト量による車両重心位置調整、枕ばねライナー挿入量と挿入位置、軸ばねライナー挿入量と挿入位置の3項目について適正輪重になるような調整量の把握を目的とした予測計算が可能になる。計算の流れをFig-9に示す。この図で、まず実測輪重値から車両重心位置を推定し、輪重バランスに必要なウェイト量を算出する。次に車体のねじれ分を修正するために枕ばねライナーを追加していく。つづいて台車のねじれ分を修正するため前位、後位の台車の軸ばねライナーを追加していく。最後に再度車体ねじれ分を修正計算して調整量の予測値が得られる。バランスウェイトは最大積載量を決めておくことが出来、例えば上限を0 kgにすれば重心移動の操作を行わず、枕ばね、軸ばねのライナーによる車体、台車のねじり操作だけの輪重調整になる。軌間1067の在来線で考えると、路面踏間隔が1

120 mmであれば10%以下の左右輪重比を達成するための最大重心ずれは56 mmとなるが、実車での重心ずれは大きくてもおよそ20 mm前後であるため、バランスウェイトの必要性はさほど大きくないとも考えられる。輪重が不揃いなる車両の計算例を示すとFig-10になる。この例はバランスウェイトの上限を500 kgとしたときの場合を示している。重心位置の操作を行わない場合は最終調整値としては元々の重心ずれ分の輪重比が当然残る結果となる。

5. まとめ

計算による輪重変化は定性的にも定量的にも実用範囲で十分利用可能と考えられる。空気ばね車両では枕ばね定数を ∞ とすることで計算できる。一般的な車両データと車号固有の実測輪重値が手元にあれば適正輪重比に調整するための具体的な調整量について計算による取得が可能である。

参考文献

1. 田中他、鉄道車両の構体精度が静止輪重に及ぼす影響、機械学会第5回交通・物流部門大会'96 (川崎)