

国鉄・鉄道技術研究所 正会員 佐藤 吉彦

1. まえがき

鉄道の軌道の動特性を表わす指標として、車輪との接点であるレール頭頂面の載荷—変位特性を代表するばね係数とともに、輪軸を落下させたときの衝撃速度と飛び上り速度の比で表わされる反撓係数が取上げられて来た。前者については、その意義は明瞭であり、これをもとにした多くの理論も展開されてきた。しかし後者については重要な指標であろうとは考えられていたが、従来からずいぶんその意義が明らかにされてきた試ではなかった。ここではこの点について解析した結果とともに、これらの測定により求められる軌道の重要な係数である軌道ばねの減衰係数の計算法ならびにその実測例について述べる。

2. 輪軸落下により発生する衝撃力とその解析

レール頭頂面に輪軸を落下させた際にレールに働く衝撃力は、これをレール腹部で測定すると写真-1に示すような推移を示す。すなわち、初めに短周期の立ち上がりがあったのち、この減衰波形を含む長周期の大きな波形を生ずる。

これを長時間の記録で見ると、輪軸は図-1のように一度レール面を衝撃したのちその弾性によって飛び上り、以下そのエネルギーが消耗されるまで数回の衝撃を繰り返す。この輪軸の衝撃ならびに飛び上り速度の関係は

$$V_0 = gT_0 = \sqrt{2hg} \quad \text{----- (1, 1), } V_i = gT_i \quad \text{----- (1, 2)}$$

ただし、 V_i : 輪軸の衝撃あるいは飛び上り速度、 g : 重力加速度、

T_i : 輪軸の空中滞在時間、 h : 落高

と表わされ、これらの速度は落高ならびに引続く衝撃までの時間を測定することによって求められる。

写真-1に示した衝撃力において、短周期の振動は極く初期の現象であり、力積で表わされる衝撃力の大部分はこれを含む長周期の大きな波形の中にある。そこで、まず最初に長周期の全体的な波形と軌道ばね系の係数との関係について検討する。

この場合の軌道ばね系のモデルとしては、車面のばね下質量に較べて有効質量が $1/10$ 以下になるレールの質量を無視し、ばねとダッシュポットで表わされる図-2の系をとり、これを輪軸が衝撃する現象について解析する。

この結果、衝撃力 F は

$$F = (kV_0/\omega_d) e^{-\gamma\omega_n t} \sin(\omega_d t + \theta_2) \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 k : 軌道ばね係数、 V_0 : 衝撃速度、 $\omega_d = \omega_n \sqrt{1-\gamma^2}$ 、 $\omega_n = \sqrt{k/m}$ 、

m : 輪軸質量、 $\gamma = C/(2\sqrt{mk})$: 限界減衰係数比、 C : 軌道ばね減衰係数、

$$\theta_2 = \tan^{-1} \{ 2\gamma\sqrt{1-\gamma^2} / (1-\gamma^2) \}$$

と与えられる。一方、衝撃速度と飛び上り速度の比で表わされる軌道反撓係数は

$$\frac{V_i}{V_0} = -e^{-\gamma} \cdot \frac{\pi - \tan^{-1} \frac{2\gamma\sqrt{1-\gamma^2}}{1-\gamma^2}}{\sqrt{1-\gamma^2}} \quad \text{----- (3)}$$

となる。

このことは、軌道の反撓係数は軌道と落下輪軸によって形成される系の限界減衰係数比 γ だけによって定まり

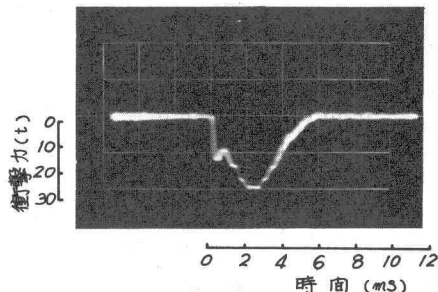


写真-1 輪軸落下による衝撃力

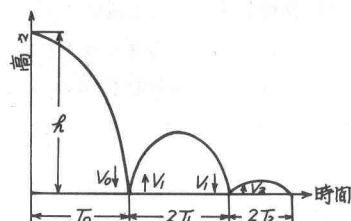


図-1 輪軸の運動

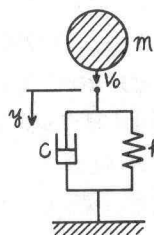


図-2 落重時衝撃力算定のためのモデル

、逆に言えば反跳係数を求めれば落下輪軸に対する限界減衰係数比を求めることができることを意味している。この(3)式を図示したのが図-3である。

以上の解析の結果は、輪軸落下試験を行なうことにより図-2に表わした軌道ばね系のばね係数と減衰係数を求められることを示す。

まず、軌道ばね係数 k については、写真-1に示した衝撃力 F が得られた場合にこの記録ごとの衝撃力の持続時間 t を求め、さらにその再衝撃時間から反跳係数を計算して図-3により限界減衰係数比を求めることにより、

$$k = \frac{W}{g} \cdot \frac{(\pi - \tan^{-1} \frac{2.5\sqrt{1-\gamma^2}}{1-2\gamma^2})^2}{(1-\gamma^2)^2 t^2} \quad \text{--- (4)}$$

ただし、 W :質量 m の輪軸の重量
と計算できる。

一方、減衰係数 C についてこの値を用い

$$C = 2.5\sqrt{Wk/g} \quad \text{--- (5)}$$

と与えられる。

3. 実験結果

3.1 小山における試験結果 防振スラブの動特性を明らかにするために、昭和48年1月東北新幹線9K附近の高架橋上に普通スラブ軌道ととともにこのような軌道試験施設が設けられ、輪軸落下試験が行なわれた。

この試験結果について上記の解析を行なう。

まず、これに用いられた輪軸の重量は1tで、このときの反跳係数は図-4に示したように落高50cmのときに普通スラブと防振スラブで若干異なる以外は約0.65とほぼ一定の値を示した。つぎに衝撃の持続時間 t は図-5に示したように落高が大きくなると短くなるが、これはばね系の非線型特性性によるものと考えられる。以上のデータより(4)式によりばね係数 k を求めた結果が図-6、同じく(5)式により減衰係数 C を求めた結果が図-7である。

図-6および7の値のうち、各特性値は20t程度までの範囲で考えれば良いと考えられ、これに相当する落高は50cmなので、この時の値をとれば、

$$k = 110 \text{ t/cm: 普通スラブ, 防振スラブ}$$

$$C = 65 \text{ kg-sec/cm: 普通スラブ, } 80 \text{ kg-sec/cm: 防振スラブ}$$

と与えられるが、減衰係数の値については落高10、15cmのときには差が見られないこともあり、今後さらに検討を要する。

3.2 その他軌道における試験結果 同様の方法により既述のデータについて整理した結果を上記の値とともに示したのが表-1である。ここで、PCまくりぎ軌道は昭和33年5~6月

に試験した東海道本線大船-辻堂間の砂路盤、厚さ250mmの砕石道床国鉄1号標準G型のPCまくりぎの軌道であり、鋪装軌道は昭和33年3月津田沼工本実験所に試験施設されたレベル下310mmの厚さをもち45t/cmのレベル鋪装装置を用いたコンクリート鋪装軌道であり、木まくりぎ軌道は同所においてこの軌道の比較軌道として用いられた軌道である。

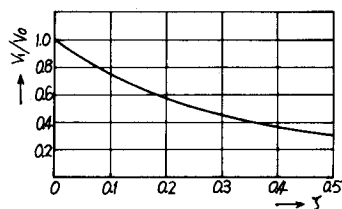


図-3 軌道ばね系の限界減衰係数比と軌道反跳係数の関係

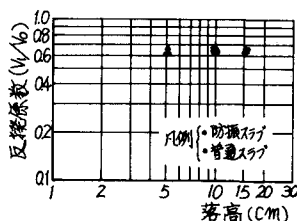


図-4 反跳係数

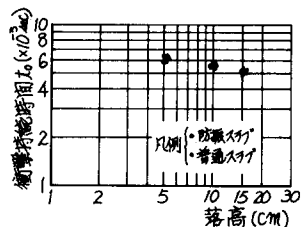


図-5 衝撃持続時間

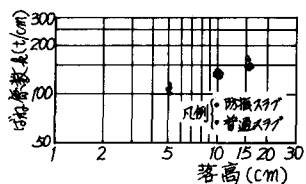


図-6 軌道ばね係数

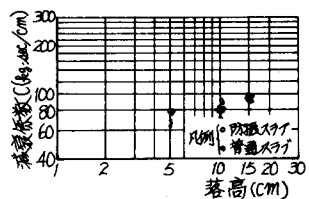


図-7 軌道ばね減衰係数

表-1 軌道ばね系の係数値(1車輪当り)

No.	軌道種別	軌道ばね係数 k (t/cm)	同減衰係数 C (kg-sec/cm)
1	普通スラブ軌道(新幹線)	110	65
2	防振スラブ軌道()	110	80
3	PCまくりぎ軌道(近鉄線)	60	95
4	コークス鋪装軌道()	105	115
5	木まくりぎ軌道()	32.5	55