

IV-440

水平力分散型支承を用いた橋上ロングレールに関する検討

鉄道総合技術研究所 正会員 片岡宏夫

鉄道総合技術研究所 正会員 柳川秀明

1. はじめに

近年、水平力分散型支承を用いた橋りょうの鉄道への適用が検討されている。従来、橋りょう上のロングレールについては、温度伸縮により桁とレールが相対的変位を起こすために、温度上昇時の最大レール軸力、レール破断時開口量、レール端伸縮量が検討されてきた。水平力分散型支承を用いた橋りょう上では、温度上昇時に加え、地震時の桁の動きを考慮した軸力検討が必要である。そこで、支承が弾性を持つ場合のこれらの項目の計算プログラムを開発した。

2. 定式化

従来の橋上ロングレールの計算ではいくつかの仮定を置いているが、今回のモデルでは、(a)レールと桁の温度上昇量（下降量）を別々に入力できる、(b)桁の弾性を考慮できる、(c)桁とレールの線膨張係数を別々に入力できる、という点を考慮できるようにした。

計算モデルを図1に示す。レールと桁およびレールと路盤は有限間隔の非線形ばね（図3）で結合されており、桁は線形の水平ばねで不動点に結合されているとする。レールの支点に左から順に $1, 2, \dots, I, \dots, N$ の番号を付ける。以下に用いる記号を表1に、その正の向きを図2に示す。図3には、レールと桁もしくはレールと路盤の相対変位の方法が変わるときに縦抵抗力の特性が示されている。すなわち相対変位がそれまでとは逆方向に進む場合、変化点を原点として、漸近値が同じになるようにしている。向きが変わるときの相対変位、そのときの縦抵抗力を y_i' 、 γ_i' とし、次式を近似式として用いる。

$$y_i' = \alpha_i \gamma_0 \frac{y_i - Y_i}{y_i + \alpha_i a - Y_i}, \quad \text{ただし, } Y_i = y_i' - \frac{\alpha_i a \gamma_i'}{\alpha_i \gamma_0 - \gamma_i'} \quad (1)$$

（ $y_i - Y_i \geq 0$ なら $\alpha_i = 1$ 、 $y_i - Y_i < 0$ なら $\alpha_i = -1$ ）

まず、レールの変位について考える。温度上昇と軸力による圧縮により、 I 番目と $I+1$ 番目の支点間の伸びは次のようになる。

$$y_{r(I+1)} - y_{rI} = \beta_r \Delta t_r h - (p_{rI} / (E_r A_r)) h \quad (2)$$

I 番目のレール支点における左右の軸力と縦抵抗力の釣り合い条件は次のようになる。

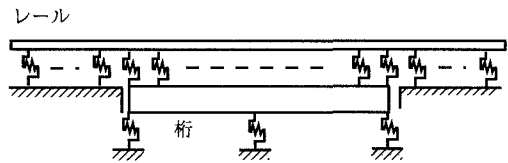


図1. 計算モデル

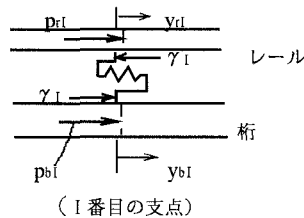


図2. 変数の定義

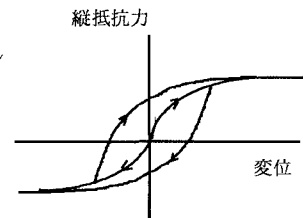


図3. 縦抵抗力の特性

表1. 計算パラメータ

記号	パラメータ	値
—	支承間隔	50m
—	支承数	3
E_r	レールのヤング率	2.1×10^4 GPa
A_r	レールの断面積	6.42×10^3 m ²
E_b	桁のヤング率	2.1×10^4 GPa
A_b	桁の断面積	0.3m ²
β_r	レールの線膨張係数	1.14×10^{-5}
β_b	桁の線膨張係数	1.2×10^{-5}
γ_0	レール-路盤の縦抵抗力係数	7.8kN/m
a_0	同上	1.0×10^3 m
γ_1	レール-桁の縦抵抗力係数	7.8kN/m
a_1	同上	1.0×10^3 m
h	レールの支持間隔	0.641m
k_1	支承のばね係数 1	2.5×10^4 kN/m
k_2	支承のばね係数 2	4.9×10^4 kN/m
k_3	支承のばね係数 3	2.5×10^4 kN/m
Δt_r	レールの温度上昇	40 °C
Δt_b	桁の温度上昇	40 °C
Y_{eq}	地震時の移動量	0.010m

キーワード：橋上ロングレール、水平力分散型支承、レール軸力

連絡先：〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 TEL 042-573-7276 FAX 042-573-7432

$$p_{n-1} = p_n + \gamma_l \quad (3)$$

桁についても(2)(3)式と同様に考え、さらに桁の軸力の項を消去すると、桁の変位について次式が成り立つ。ただし左の式は支承部以外の支点、右の式は支承部上の支点（桁端を除く）における式である。

$$\frac{1}{2h} (2y_{b(i-1)} - y_{bI} + 2y_{b(i+1)}) + \frac{m\gamma_l}{E_b A_b} = 0, \quad \frac{1}{2h} (2y_{b(i-1)} - y_{bI} + 2y_{b(i+1)}) + \frac{m\gamma_l}{E_b A_b} - \frac{k_f y_{bI}}{E_b A_b} = 0 \quad (4)$$

m は桁上のレールの本数を表し、単線のときは2、複線のときは4になる。

桁の左端、右端では次の式が成り立つ。

$$y_{b(i+1)} - y_{bI} = \beta_b \Delta t_b h - \frac{m\gamma_l - k_f y_{bI}}{E_b A_b} h, \quad y_{bI} - y_{b(i-1)} = \beta_b \Delta t_b h + \frac{m\gamma_l - k_f y_{bI}}{E_b A_b} h \quad (5)$$

不動区間の中に橋りょうがあるときは、橋りょうから充分離れた地点での境界条件として、レール変位を0とすれば良い。なお、E Jがある場合には自由端（ $p_n = 0$ ）として式を立てれば良い。

(1)～(5)式はレールと桁の変位 y_{rI} 、 y_{bI} に関する非線形の連立方程式としてまとめることができ、温度上昇（下降）時の変位はこれを解くことによって得られる。レール軸力は、(2)式より求められる。

地震時については、桁の剛体的な移動量 Y_{eq} を入力パラメータとして用い、これを上で求めた温度上昇時の桁の変位に加え、それらと釣り合うレール変位と軸力を(1)～(3)式より求める。また、低温時の破断の場合は、先に低温時のレールと桁の変位を計算し、破断箇所を自由端として式を立て、(1)～(5)式と組み合わせることによりレール変位および開口量を求めることができる。

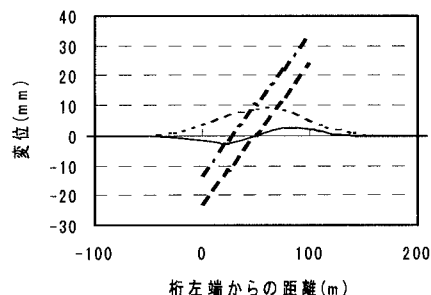


図4. 温度上昇時および地震時の変位

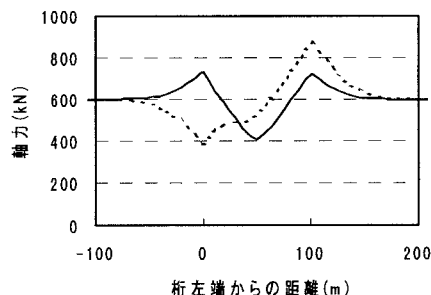


図5. 温度上昇時および地震時の軸力

3. 計算例

上記の定式化に基づき温度上昇（下降）時、地震時および低温破断時のレール変位と軸力を計算するプログラムを開発した。温度上昇時および地震時（さらに桁が変位した場合）について、表1のパラメータを用いた計算例を図4、図5に示す。温度上昇時に比べ、地震時にレールが桁の移動に影響を受けて移動方向の桁端部付近でレール軸力が大きくなっている様子がわかる。ここでは有道床軌道の例を示したが、本プログラムは直結軌道の場合にも適用可能である。

4. まとめ

従来のモデルを拡張して、水平力分散型支承を用いた橋梁上のレール軸力の検討プログラムを開発した。最大レール軸力や破断時開口量、E Jがある場合の端部伸縮量は地震時の桁の移動量や桁の長さにより変わるので、実際の問題への適用に当たっては個々のケースに対し詳細に検討する必要がある。最後に、本プログラムの開発に当たりご指導いただきました

（株）日本線路技術の三浦重様（前鉄道総合技術研究所）に感謝いたします。

【参考文献】1) 深沢義朗、大西璋：橋上ロングレール，鉄研報告，No.229，1961年

2) 宮井徹：等支間橋梁上のロングレールに関する理論的考察，鉄研報告，No.991，1976年

3) 伊能忠敏、鈴木俊一、佐藤吉彦：履歴をもつ非線形道床縦抵抗力によるロングレール軌道の伸縮特性，土木学会論文集，第383号，1987年