

IV-394

スラブ軌道における急曲線ロングレール

(勸)鉄道総合技術研究所 正会員 柳川 秀明

(勸)鉄道総合技術研究所 正会員 三浦 重

1. まえがき

スラブ軌道の横方向安定性に関しては、有道床軌道における道床横抵抗力と同等の線路直角方向の等分布荷重に対して十分な強度を有するように突起の設計を行っている。したがって、半径600m未満の急曲線にロングレールを敷設する場合にも、有道床軌道における必要道床横抵抗力¹⁾を上回る横抵抗力が必要とされるので、従来の設計の考え方によれば、ロングレールの敷設は不可能となる。しかしながら、スラブ軌道においては軌きょう剛性が極めて大きいこと、また、突起が破壊されない限りレールの横変位はレール締結装置の変位によってのみ生じることから、相当大きなレール軸力に到るまでレールの左右変位は小さく、レールに作用する横方向の反力は小さいと考えられることなどから、従来の設計によるスラブ軌道においても、有道床軌道に比べて座屈安定性は十分に大きいものと考えられる。そこで、以下にこれを定量的に検討した。

2. 温度変化に伴うスラブ軌道の横方向荷重

ロングレールの温度変化により、レールに大きな軸力が作用した場合、曲線軌道および通り狂いを有する軌道では軌道を横方向に押し出す力が作用する。この力はレールの曲率に比例する項を含むのでレールの曲率が大きくなる程大きくなる。したがって、この力によってひとたび軌道が横方向に押し出されると、その変形によって、押し出し力はさらに大きくなり、変形は急速に増大する。このことは、座屈に到る前の小変形時における軌道の横剛性が軌道の座屈安定性に決定的な影響を与えることを意味する。

スラブ軌道では、横方向荷重に対する耐力(最終道床横抵抗力に相当)は設計上有道床軌道と同等であるが、レールの横変位に対する剛性が有道床軌道に比べて高いため、レール温度変化量が同じでも有道床に比べて軌道の横方向反力は小さくなると予想される。以下に最も条件の厳しい半径300mの場合について、これを定量的に検討する。

3. 定着突起反力

初期狂いおよび変形波形の形状については、一般に行われているように²⁾、以下のように正弦波により近似し、半円突起に対して最も厳しい条件となる図1の状態を考慮した。このように、初期狂い y_0 (a, ℓ)の軌道が温度上昇 t (温度軸圧力 $P_t = EA\beta t$)に際して、変形量 y (A, L)となった場合の、図1に示すB側突起(半円)に作用する反力 F_B は、次式で求められる。

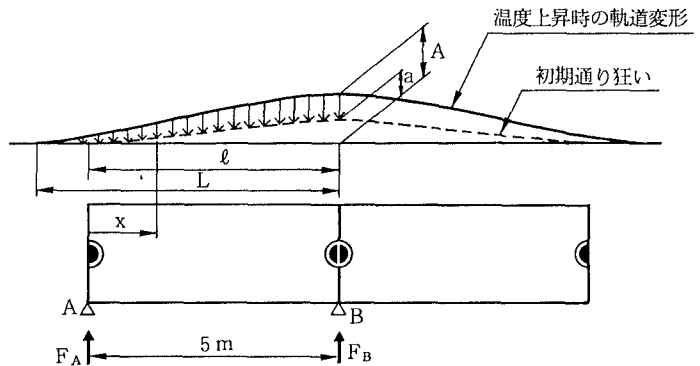


図1 変形形状と反力分布の理想

$$5 \times F_B = k \int_0^5 x \left\{ \frac{A}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{L} (x-5) \right\} - \frac{a}{2} \left\{ 1 + \cos \frac{2\pi}{\ell} (x-5) \right\} \right\} dx$$

より、

$$F_B = \frac{k}{5} \left\{ 6.25(A-a) + \frac{L^2 A}{8\pi^2} \left(1 - \cos \frac{10\pi}{L} \right) - \frac{\ell^2 a}{8\pi^2} \left(1 - \cos \frac{10\pi}{\ell} \right) \right\} \quad \text{-----(1)}$$

ただし、

k : レール締結部の反力係数(単位長さあたり横ばね係数)

A : 温度上昇後のレール変位の波高

a : 初期狂いの波高

上式において、温度上昇に伴う軌道の最大変位Aについては、エネルギー法を用いた理論解析手法³⁾によった。すなわち、つり合い状態においては軌道に蓄えられる歪エネルギーと軌道の仮想変位に伴う仕事の総和が停留値をとるとの条件から、軌道の横変位Aを求め、これに基づき式(1)により半円突起の作用力を算出する。

この解析により求められる軌道の横変位は、軌道の横変位に対する抵抗力の特性および曲線半径が大きく影響する。このうち、前者については、図2に示すスラブ軌道用直結8形レール締結装置の横圧試験結果に基づき、有道床軌道の場合と同様、次式で近似できるものとした。

$$g = g_0 \frac{y}{y + a} \quad (2)$$

ただし、

- g : 道床横抵抗力 (N/cm)
- g_0 : 最終道床横抵抗力 (N/cm)
- y : まくらぎ横変位 (cm)
- a : 係数 ($g=g_0/2$ となるときの横変位) (cm)

表1 解析に用いた条件

項 目	内 容
レール種別	50kg N
曲線半径	300m
最終道床横抵抗力	$g_0=960\text{N/cm}$
道床横抵抗力初期特性係数	$a=0.025\text{cm}$
座屈波形	第一波形
道床縦抵抗力	$r=50\text{N/cm}$
レール締結装置回転抵抗モーメント	$\tau_0=5000\text{N}$
初期通り狂い	$a=2\text{cm}$
最大狂い量	$\ell=500\text{cm}$
狂い波長	

上記により求められる突起への反力を図3に示す。なお、計算に用いた諸条件は表1に示すとおりである。一方、軌道スラブの突起コンクリートの設計においては、道床横抵抗力相当分の線路直角方向の荷重として考慮されている値は1軌道当たり9.8kN/m(1tf/m)で、スラブ長5mに換算すると49kNとなり、半円突起においては25kNとなる。これに対し、図3に示す計算結果から、40~60℃の温度変化に対し突起(半円)に作用する反力の値は3~5kNで設計荷重に比べて小さく、突起の強度に対して問題となる値ではない。また、60kgレールの場合についても、同様な結果が得られた。

以上のことから、曲線半径が300mのスラブ区間に、ロングレールを敷設した場合においても突起に作用する横方向力は設計荷重に対して充分小さく、座屈に対し充分安全である。

[参考文献]

- 1) 三浦 重、柳川 秀明：急曲線へのロングレールの適用、鉄道総研報告、第6巻第1号、1992.1
- 2) 沼田 実：ロングレールの座屈強さ、鉄道技術研究報告、No.721、1970
- 3) 宮井 徹：エネルギー法による軌道座屈の数値解析、鉄道技術研究報告、No.1271、1984.7

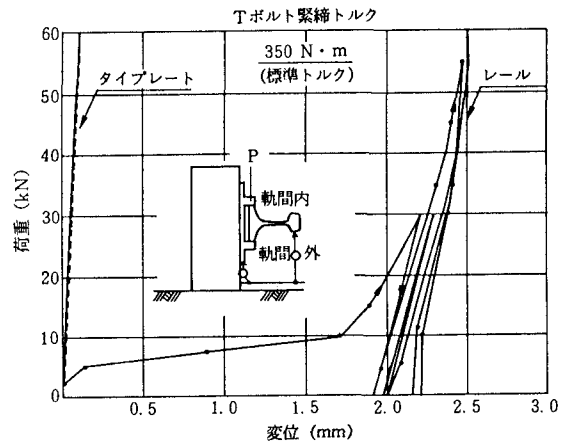


図2 横圧試験結果

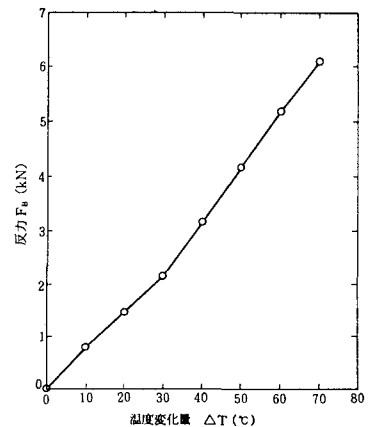


図3 反力 (F_R) の計算結果