

IV-26 軌道の坐圧に対する通り狂いの影響

国鉄 鉄道技術研究所 正員 坂藤吉孝

1 概説 軌道の坐圧強度の問題については、すでにロングレールの温度安定性に関連して、実物軌道の坐圧実験とモデル実験を通じて理論的検討が行なわれ、国鉄では在来線の500km以上、新幹線の全線ロングレールの敷設が行なわれている。しかし今後さらに大巾なロングレール化を進めるためには、その経済性、技術的見地から軌道の坐圧に関してなお詳細な検討を有する必要がある。すなわち従来の研究が軌道坐圧後の形状から坐圧に関する絶対安全強度を保證するものであるが、微小変形理論に従って坐圧安全性を論じようものに対し、坐圧発生の変程を直接検討して軌道の坐圧に対する道床抵抗、軌道狂い、軌道剛性の影響を直接把握する必要があると思われる。以下に述べる報告は、軌道の坐圧発生においては道床抵抗の非線型特性特に塑性特性に移行するまでの過程が重要であるという認識に基づいて、その理論解析を試みたものである。

2 取扱う系とその解析結果 取扱う軌道のモデルは、軌道の問題となる部分の変曲長間とり、図1のようなものであるとする。道床抵抗について、実際の測定結果が図2の破線と表わされるのに対し弾塑性特性による経路1の場合と、剛弾塑性特性による経路2の場合について考える。初期にわみについては種々の場合があるが、まず最初にレールに曲がりがありそれがその道床中に敷設された場合について考える。初期にわみの波長は換たわみ増大後の波長に一致するものとして、異なる場合の影響については別途考慮するものとする。このほか重要な現象としてEngelの指摘によるように、坐圧発生後はその変形によって軸圧力が大きく変動するが坐圧発生までの過程においては軸圧力がほとんど変動しないということがある。

以上の條件の下で経路1の場合には、坐圧が道床抵抗の弾性特性による換たわみと軸圧力、塑性特性によるそれらに合致する場合に生ずるものと考えれば、このときの軸圧力および換たわみは、

$$\begin{aligned} & \frac{x^3}{\sec(\sqrt{\frac{E}{\rho}} \frac{x}{2}) - 1 - \frac{E^2}{\rho^2} x} \\ &= \frac{P}{Q \cdot E} \left[x^2 - \left(2 + \frac{Q}{\pi^2} \right) x + \left(1 + \frac{Q}{\pi^2} \right) \right] \quad (1) \\ & y = \frac{b}{1 - \frac{Q}{\pi^2}} \quad (2) \\ & \therefore x = \frac{P \cdot E}{E I \pi^2}, \quad Q = \frac{E \rho^2}{E I} \end{aligned}$$

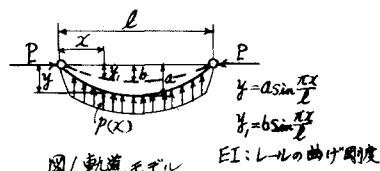
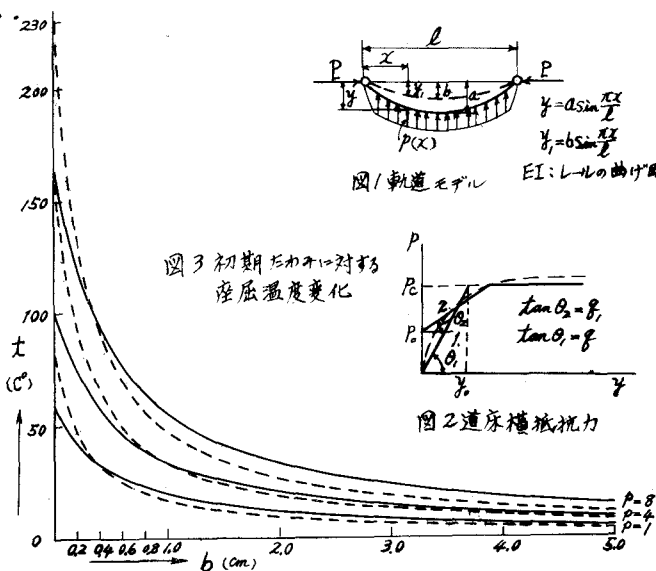
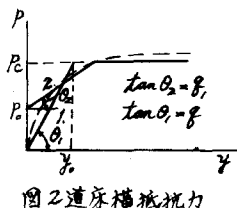


図3 初期たわみに対する
座圧強度変化



$$P = \frac{R\theta^2}{EI}, \quad B = \frac{b}{L}, \quad \frac{P}{QB} = \frac{P_0}{qb} - \frac{y_0}{b} - \alpha$$

によって与えられる。1)式の左辺は x だけの関数ばかりであるから、 x は実用的に1~5の範囲があるので、十分な精度をもつてこれを $x(x) = kx(x-1)$, $k = -0.7745$ とおける。

$$x = \frac{\alpha(1 + \frac{y_0}{\pi^2})}{\alpha - k} \quad (2)$$

という解が求められる。これから最小坐屈軸圧力、波長および最大横たわみは

$$P = \sqrt{EIq} \cdot \frac{2\alpha}{\alpha - k}, \quad l_c = \sqrt{\frac{EI}{q}} \cdot \pi, \quad y_c = \frac{b(\alpha - k)}{-k} \quad (3)$$

と与えられる。この坐屈軸圧力を温度変化に換算してPS50kgレールについて $y_0 = 0.2$ と 0.4 cmの場合について図示したのが図3である。つまりこの理論によれば $b = 0$ の場合には $P = \pi\sqrt{EIq}$ に相当する温度変化を生ずると急激に横たわみが大きくなって坐屈する α であるが、初期たわみがある場合にはこれに $2\alpha/(\alpha - k)$ 倍の割引きをしなければならぬことがわかる。同じ塑性道床抵抗力に対しては、 y_0 の弾性特性部の勾配によつて初期たわみ $b = 0.37$ cm附近を境としてそれより初期たわみが小さい範囲では勾配が急の方が大となり、大きい範囲では緩の方が大となる。実際の数値について考えると、 $P = 4k3/cm$, $b = 0.4$ cmとときには両者共坐屈発生に対して $65^\circ C$ の温度変化が必要になることがわかる。

3 軌座剛性とその他の初期たわみの影響 軌座剛性はレール締結装置の回転抵抗によつて与えられるものであるが、これも坐屈に到るまでの過程では回転角に一次比例するものとすれば、弾性特性をもつ道床抵抗に対しては回転抵抗がない場合に較べて同一横たわみで軸圧力が $(\beta(a-b)/a)$ (β : 回転剛性)だけ向上する。

次に、直線状のレールが曲がつて敷設された場合について考慮すると、道床抵抗力の弾性特性に對しては曲がつたレールをその温度敷設した前記の場合に等しく、塑性特性に對しては初期たわみの影響を受けない場合に等しくなる。曲がつたレールが直線状に敷設された場合には、弾性特性に對しては軸圧力が $\pi\sqrt{EIq}$ になるまで所らの変形を生ぜず、塑性特性に對しては曲がつたレールをその温度敷設した場合に等しくなる。

最後に、図2の経路その剛性特性の部分について考えると、 $p = p_0$ による軸圧力は、

$$p = \frac{p_0}{b} \cdot \frac{l^2}{\pi^2}$$

で表わされ、このことは他の検討とも相まって、坐屈に到るまでの横たわみが初期たわみと道床抵抗力の特性によって大きく支配されていることを示している。

4 結 語 以上の検討は問題の解決に対する大筋を把握し、可能な部分に対しては数値計算を行った結果を総括したものであるが、問題は道床抵抗力の非線型性に基ずくものであるから、これの解決にあたっては今后さらにモデル実験、理論解析、実物実験を通じて詳細な検討が必要とするものと思われる。以上の解析に際し数値計算の労を同室の永田正己、小林悟の両氏にわすれられしことを附記し謝意を表する。