

1. まえがき 土路盤上に道床とまくらぎを介してレールを支えている鉄道の軌道は、列車による繰返し載荷を受けることにより多少とも狂いが進行する構造物であると考えられて来た。この軌道狂いの進行は、軌道の機能を害うものなので、軌道破壊と称せられている。軌道狂いに関する従来の理論としては、道床の沈下に関する部分については星野・佐藤(裕)の提案になる最適軌道構造の理論があり、路盤圧力に関してはZimmermanに始まり堀越・小野により完成された軌道負担力の理論がある¹⁾。ここに述べる新軌道破壊理論は、その後明らかにされた新たな知見を加えてこれら両理論を統一し、路盤を含めた軌道設計の基礎を形成することを意図したものである。

2. 加振載荷のメカニズム これについては、すでに行なわれている解析²⁾に従って、軌道は車輪/レール間の凹凸により図1のように加振されるものとする。ここで、輪重変動に主たる役割りを果たす数10 Hzの振動に着目して、静的輪重を含めた輪重 W を求めると

$$W = W \pm 20\{4W\} = 3.8 \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{m_0}{2}\right)^{0.5} \cdot (EI)^{0.125} \cdot \left(\frac{D_1}{a}\right)^{0.375} \cdot V \quad \text{----- (1)}$$

ただし、 W : 静的輪重、 A : 車輪/レール間の凹凸、 m_0 : ばね下質量 (1軸分)、 EI : レールの曲げ剛性、 D_1 : 動的レール支持ばね係数 (1レール締結装置当り)、 V : 走行速度、 a : まくらぎ間隔

と与えられる。

3. 道床沈下 道床沈下は、差当り最適軌道理論において用いられている

$$\delta = B \cdot P_r \cdot \ddot{y} \quad \text{----- (2)}$$

ただし、 δ : 道床沈下、 B : 係数、 P_r : レール圧力、 $\ddot{y}$: 道床加速度
を用いて、上記モデルによりこれを計算すると

$$\delta = \frac{B\alpha}{2.83} \cdot \frac{1}{M} \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{m_0}{2}\right)^{0.5} \cdot (EI)^{0.125} \cdot D_1 \cdot a^{0.625} \cdot W \cdot \left\{1 + \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} \cdot \left(\frac{m_0}{2}\right)^{0.5} \cdot (EI)^{0.125} \cdot D_1 \cdot a^{0.625} \cdot \frac{V}{W}\right\} \quad \text{----- (3)}$$

ただし、 $\alpha = 1/[1 - (D_2/M) \cdot \{(m_0/2)/K\}]$ 、 D_2 : 路盤ばね係数、 M : (まくらぎ+道床+路盤)の質量、 K : 軌道ばね係数、 D : レール支持ばね係数 (1レール締結装置当り)
と与えられる。

4. 道床圧力 同様の条件に基づき道床圧力を計算すると、これは

$$R_{b\max} = \frac{1}{\ell b} \cdot \frac{58}{10 + R^{1.35}} \cdot \frac{1}{2.83} \cdot (EI)^{0.125} \cdot D^{0.25} \cdot a^{0.25} \cdot W \cdot \left\{1 + 3.8 \cdot (1 - \alpha \frac{M_b}{M}) \cdot \left(\frac{A}{\pi}\right)^{0.5} \cdot (EI)^{0.125} \cdot D_1^{0.25} \cdot a^{0.625} \cdot \frac{V}{W}\right\} \quad \text{----- (4)}$$

ただし、 ℓ : まくらぎの有効長、 b : まくらぎの中、 R : 道床厚、 M_b : (まくらぎ+道床)の質量
と与えられる。

5. 路盤沈下 列車通過の下で繰返し道床圧力を受けた際に生ずる路盤の沈下については、未だ確定した理論はないが、従来のレール面の沈下の経験として実験室における試料の試験結果³⁾から、

$$\delta_s = \epsilon N^a \quad \text{----- (5)}$$

ただし、 ϵ : 最初の載荷による沈下に相当する係数、 N : 繰返し数、 a : 係数

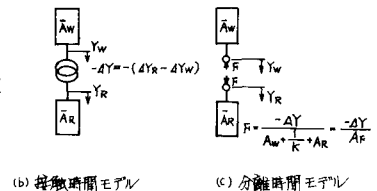
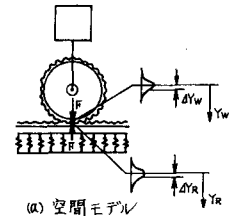


図1 車輪/レール間の加振機構

と表わすのが適当であると考えられる。

この場合、同一の荷重の下では十分に繰返しの後には漸次1回当りの沈下量は少なくなるが、スピードアップ等で荷重が大きくなるとふたたび沈下が増大する。

この式の係数に関する実験室の試験結果によれば、 α については土質、荷重の影響は明らかでないが、 q についてはこれが見られる。これを荷重に対して整理した結果

$$\alpha = \varepsilon P^{1.5} \text{----- (6)}$$

ただし、 ε ：土質によって定まる係数、 P ：圧力変動と表わされた。

そこで、この ε を圧力振中 1.4 kg/cm^2 で粘土分25%のとき q が0.2、同50%のとき0.5になっていることから逆算し、 2×10^6 、 2×10^5 、 2×10^4 の繰返し数に対して(5)式により沈下量を計算したのが図2である。これによれば、いずれの場合も圧力振中の増加によって沈下は急激に増大し、これはまた土質によって異なっていることが見られる。

この実験は試料を最適含水比でつき固め、1週間浸水し、さらに周囲を水張りして行なわれたものであるから、通常の線路を考える場合には、1年間の $1/10$ 程度がこのような状態にあるとすれば、 2×10^5 の場合を考えればよく、倍散線区の場合には 2×10^4 の場合を見れば良いことになる。

この図で、繰返し数に対する沈下量の相関は0.114乗程度であり、圧力振中に対する相関は沈下量が10倍程度の場合には3乗に比例している。

6. 軌道破壊と耐久性構造物としての軌道の設計 軌道狂いの進行で表わされる軌道破壊は、すでに述べて来た道床の沈下と路盤の沈下により齎られるものであり、これらがどの程度の比率になっているかについては今後さらにデータの蓄積が必要であるが、従来の経験において高架橋上においては軌道が安定しており十分長い保守周期が得られていることから、現在在来線において顕在化している軌道狂いの著増箇所については路盤沈下による部分が大きいものと考えられる。このことは、図2において速度あるいは輪重の増加により路盤表面の道床圧力が或る限度を越えた場合には路盤沈下が加速度的に増加することからも明らかである。

この図はまた、土路盤上有道床軌道を耐久性構造物として再構成することの可能性をも示唆している。というのは、現在の軌道は路盤条件が悪い場合、路盤沈下が20~30倍を越えるような領域に入っていると想像されるが、これを2~3倍に下げれば沈下速度は $1/10$ となる。そしてこれは道床圧力を $1/2$ に下げることにより可能となる。

このための方策と効果は(4)式により与えられ、これはまた(3)式から明らかのように道床沈下に対しても有効と考えられる。

7. むすび 以上の新軌道破壊理論の構成については、なお今後いくつかの点で詳細な検討と実証の必要があるが、路盤の沈下に対する見解を明らかにし、これに対する試算をする手法を与えた点で今後の研究の指針になり得るものと考えられる。

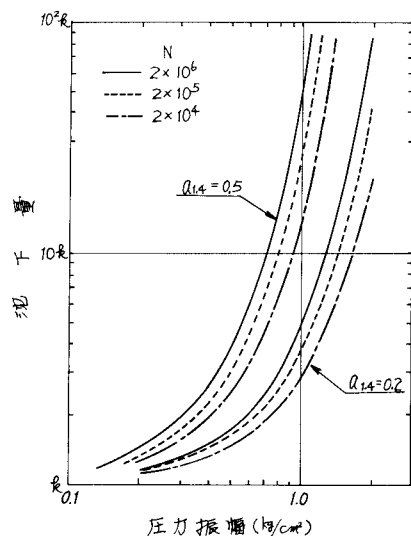


図2 圧力振幅に対する沈下量

文 献

- 1) 佐藤吉彦「軌道力学における最近の話題」鉄道技術研究資料、第33巻、第9号、1976年9月。
- 2) 佐藤吉彦「軌道高周波振動の理論解析」鉄道技術研究報告、No.1013、1976年8月。
- 3) 今村治雄「鉄道路盤の噴泥に関する研究」第4回土質研究会発表論文I-14、1969年6月。