

国鉄・秋田鉄道管理局 正 員 尾高達男
国鉄・鉄道技術研究所 正 員 佐藤吉彦

1. まえがき

新たに提案されていた軌道破壊理論(Ⅱ)に基づいて、統一した手法による多くの現地調査ならびに実験を行った結果、変更を要すると考えられる部分を生じたので、これを改め新たに軌道破壊理論(Ⅲ)を提案する。

この理論でも、列車の繰返し通過に伴い軌道に沈下を生じ、これが軌道本来の機能を阻害するので、これを「軌道破壊」と称し、軌道沈下量 δ は道床沈下量 δ_b と路盤沈下量 δ_s の合算値として、

$$\delta = \delta_b + \delta_s \quad \text{-----}(1)$$

表し、道床沈下量は

$$\delta_b = B_1 \sum_{j=1}^n P_{tj} \ddot{y}_{zj} N_j \quad \text{-----}(2)$$

ただし、 B_1 :係数、 j : 载荷条件種別、 n : 载荷条件種別の総数、 P_{tj} : まくらぎ圧力、 $\ddot{y}_{zj}$: 道床振動加速度、 N_j : 同一载荷条件の繰返し数。

と表す。

以下、新たな提案の部分を主体にこの理論について述べる。なお、簡単のため、载荷条件は同一とし j は省略する。

2. 軌道沈下量に関係する特性値の新しい考え方

まず、まくらぎ圧力 P_t は、輪重 P に比例することから、これを静的輪重 P_{st} と変動分の和と考え、弾性支承上の梁の理論を用いて計算すると、次のように表される。

$$P = \{ \sqrt{0.04 \times W_{sp}^2 \cdot \delta_{11} + \Delta W_{unsp}^2} + P_{st} \} \cdot (EI)^{-0.25} \cdot D^{0.25} \cdot a^{0.75} / (2.83 \times b_t \cdot l_t) \quad \text{-----}(3)$$

ただし、 W_{sp} : ばね上重量、 δ_{11} : クロネッカーのデルタ、 $i=1$ (貨車)、 2 (旅客車)、

EI : レールの剛性、 D : レール支持ばね係数(1レール締結装置分)、 a : まくらぎ間隔、

b_t : まくらぎ幅、 l_t : まくらぎ支持長さ。

$$\Delta W_{unsp} = \sqrt{(A_z / \pi) \cdot M_{unsp} \cdot K(1+Q) \cdot V} \quad \text{-----}(4)$$

A_z : 車輪/レール間凹凸の大きさを表す係数、 M_{unsp} : 車両ばね下重量、 K : 軌道ばね係数、

Q : 軌道の減衰係数による共振増加率、 V : 走行速度。

次に、道床振動加速度は次のように整理する。

$$\ddot{y} = B_2 \cdot G_1 \cdot M_{unsp}^{\alpha_7} \cdot V^{\alpha_8} \quad \text{-----}(5)$$

ただし、 B_2 、 α_7 、 α_8 : 係数、 G_1 : 軌道による係数。

最後に、路盤沈下量は、文献1)に基づいて検討の結果、次のように考える。

$$\delta_s = B_4 \cdot \beta_0 \cdot P_t^2 \cdot q^{-2} \cdot N / (10 + h^{1.35})^3 \quad \text{-----}(6)$$

ただし、 $B_4 = B_3 \cdot 53^3$ 、 B_3 : 係数、 β_0 : 土質による係数、 q : コーン貫入試験値、 h : 道床厚。

3. 軌道破壊に対する車両条件の影響

以上の理論に基づいて、車両条件、すなわち静的輪重と車両ばね下質量、そして走行速度と軌道沈下量との関係について、具体的に検討する。まず(3)式については、在来線で軌道構造として50Nレール、3号PCまくらぎ、道床厚25cm、 $D=44t/cm$ 、 $a=58cm$ の場合を考え、 $A_z/\pi = 5 \times 10^{-7}$ 、 $Q=1.67$ とする。次に(5)式については、図1に示す3重梁について文献2)による理論計算により求めた結果、 $\alpha_7=0.13$ 、 $\alpha_8=1.0$ と与えられた。

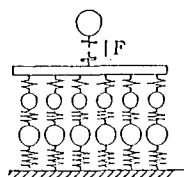


図1 3重梁モデル

ここで、 $P_{st}^*=4800\text{kgf}$ 、 $M_{unsp}^*=0.8\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{cm}(\approx 0.8\text{t})$ として $V^*=100\text{km/h}$ の場合を標準と考えると、

$$\delta_b / \delta_b^* = (0.425 \times P_{st} + 4.37 M_{unsp}^{0.5} \cdot V) \cdot M_{unsp}^{1.3} \cdot V / (2.36 \times 10^5) \quad (7)$$

と与えられ、これを図示したのが図2および図3である。

これを速度が120 ~ 200km/h、ばね下質量が0.4 ~ 1.0 t、静的輪重が3000kgf から5000kgf の範囲で見ると、道床沈下量の評価式は次のようになる。

$$\delta_b \propto P_{st}^{0.7} \cdot M_{unsp}^{0.3} \cdot V^{1.2} \quad (8)$$

路盤沈下についても、同様の条件に加えて基準となる $\beta^* = 2.19$ (SM) および $q^* = 15$ とすることにより、

$$\delta_s / \delta_s^* = \beta_0 \cdot (P_{st} + 10.3 \times M_{unsp}^{0.5} \cdot V)^3 \cdot q^{-2} / (1.82 \times 10^9) \quad (9)$$

と与えられ、これを道床の範囲内について見ると、路盤沈下量の評価式は次のようになる。

$$\delta_s \propto P_{st}^{2.2} \cdot M_{unsp}^{0.3} \cdot V^{0.7} \quad (10)$$

以上に対して、新幹線の場合には、軌道構造として60kgレール、3Hc まくらぎ、道床厚25cm、 $D=40.7\text{tf/cm}$ の場合を考え、 a 、 A/π 、および Q は在来線と同様にとり、 $P_{st}^*=7500\text{kgf}\cdot\text{s}^2/\text{cm}(\approx 3\text{t})$ 、そして $V=200\text{km/h}$ の場合を標準と考える。さらに、在来線、新幹線とも、 A/π と K に関係する輪重変動 ΔW_{unsp} が上記の基準状態の4倍になった場合とともに、軌道沈下量として示すと次のようになる。

基準状態

$$\text{在来線} \quad \delta \propto P_{st}^{0.7} \cdot M_{unsp}^{0.3} \cdot V^{1.2} + \beta \cdot P_{st}^{2.2} \cdot M_{unsp}^{0.3} \cdot V^{0.7} \quad (1)$$

$$\text{新幹線} \quad \delta \propto P_{st}^{0.7} \cdot M_{unsp}^{0.3} \cdot V^{1.3} + \beta \cdot P_{st}^{2.2} \cdot M_{unsp}^{0.4} \cdot V^{0.8} \quad (2)$$

基準状態の4倍

$$\text{在来線} \quad \delta \propto P_{st}^{0.4} \cdot M_{unsp}^{0.4} \cdot V^{1.5} + \beta \cdot P_{st}^{1.3} \cdot M_{unsp}^{0.8} \cdot V^{1.6} \quad (3)$$

$$\text{新幹線} \quad \delta \propto P_{st}^{0.3} \cdot M_{unsp}^{0.4} \cdot V^{1.6} + \beta \cdot P_{st}^{1.0} \cdot M_{unsp}^{0.9} \cdot V^{1.8} \quad (4)$$

ただし、 β : 路盤によって定まる係数。

これによれば、第1項、第2項とも共通して、 ΔW_{unsp} が大きくなれば、 P_{st} のべき指数は小さくなり、 M_{unsp} と V では逆に大きくなっている。

4. 考 察

以上の新しい理論によれば、路盤が悪い場合には軸重の影響が大きく、また、軌道状態が悪くなれば速度の影響が大きいうという従来の経験が証明される。一方、ばね下質量については、線路状態が良く路盤状態が良い場合にはそれほど影響がないことになったが、考えてみれば、加振源が小さくなるのであるから、これはまた当然とも言えることであって、西独等で最近言われていることを説明するものではあるが、沖積平野に線路が建設されている日本における現状がどうなっているか、ということをも良く調べるのがより重要であるとも言える。

一方、輪重変動については、この軌道破壊のみならず、軌道・車両の材料保全、走行安全そして粘着係数の確保等の面からも、変動率を一定の範囲内に抑える必要があるものと考えられる。この場合、輪重変動は(4)式から明らかなように、ばね下質量の平方根にしか比例しないので、これによるほか軌道側における軌道ばね係数とレール頭頂面凹凸の管理そして車両側における車輪踏面の管理を行うことが重要と考えられる。

5. むすび

以上の軌道破壊理論(Ⅲ)については、差し当たり、車両の影響のみについて検討したが、さらに軌道構造の影響について検討し、現状と照合して各種係数を決定することが急がれている。

文 献

- 1) 伊東孝之、坂井幸市；“路盤の経時沈下(その2)一定常沈下の性状”鉄道技術研究所連報 A-84-52 (1984)3
- 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 1013(1976)