

九州大学 正員 沼田 實

" " 橋本 武

" " 学生員 〇長藤敬晴

1. 序 言 従来のバラスト軌道は施設費が低廉で施工が容易であるなどの特長を有する半面、多大な保守作業のため、労働力の確保や人件費の点で不利であり、また高速列車荷重下のバラスト細粒化とそれによる噴泥現象などの構造的問題もある。このようなバラスト軌道の欠点を補完するものとして開発されたものがスラブ軌道である。スラブ軌道は、近代的な軌道構造としてすでに実用化されているが、高架上のスラブに比して、土路盤上のスラブは、沈下量も大きく、不同沈下の危険性も大きいと考えられるので、本論文においては、土路盤上のスラブ軌道の曲げ解析を行い、スラブの沈下性状や曲げモーメントについて検討するものである。

2. 解 法 土路盤上の軌道スラブを、Winkler形バネ支承上の平板と考え、平板の解法として、9自由度三角形要素による有限要素法を用いた。ルールと考える場合は、スラブ軌道を弾性バネ(タイパット、可変パット)によって連結された「はり」と「平板」との二重構造とみなす(図-1)。一つの要素について弾性ひずみエネルギーを求めれば次のとおりである。

・ルールとスラブの二重構造と考える場合 $\Pi = \Pi_1 + \Pi_2 + \Pi_3 + \Pi_4$

・軌道スラブの単一構造と考える場合 $\Pi = \Pi_3 + \Pi_4$

ここに、 Π_1 : ルールの弾性エネルギー

Π_2 : パットの弾性エネルギー (バネ定数 k_p)

Π_3 : スラブ及び支持体の弾性エネルギー Π_4, Π_4 : ルール、スラブに直接作用する外力のポテンシャル

$$\Pi_1 = \frac{1}{2} \mathbf{Q}_r^T \frac{E}{l^3} \begin{bmatrix} 12 & & \text{sym.} \\ 6l & 4l^2 & \\ -12 & -6l & 12 \\ 6l & 2l^2 & -6l & 4l^2 \end{bmatrix} \mathbf{Q}_r$$

$$\Pi_2 = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} U_1 \\ W_1 \\ U_2 \\ W_2 \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} k_p & & \text{sym.} \\ -k_p & k_p & \\ 0 & k_p & \\ -k_p & k_p & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ \theta_1 \\ U_2 \\ \theta_2 \end{bmatrix}$$

$$\Pi_3 = \frac{1}{2} \mathbf{Q}_p^T \cdot [K_1 + K_2] \cdot \mathbf{Q}_p \quad \mathbf{Q}_p^T = [W_1 \ \theta_{x1} \ \theta_{y1} \ W_2 \ \theta_{x2} \ \theta_{y2} \ W_3 \ \theta_{x3} \ \theta_{y3}]$$

$$\Pi_4 = \frac{\bar{P} \cdot l}{12} \cdot [6 \ l \ 6 \ -l] \cdot \mathbf{Q}_r - \sum_{i=1}^n U_i \quad \Pi_4 = -2 S_m \bar{P} \left[\frac{1}{2} \ \frac{1}{6} \ \frac{1}{6} \ \frac{1}{24} \ \frac{1}{24} \ \frac{1}{24} \ 0 \ 0 \right] E \cdot \mathbf{Q}_p - \sum_{i=1}^n \bar{P}_i \cdot W_i$$

各要素について求めた弾性ひずみエネルギー Π を構造単位全体にわたって総集すれば次のとおりである。

$$\Pi = \frac{1}{2} \mathbf{Q}^T \cdot \mathbf{K} \cdot \mathbf{Q} - \mathbf{P}^T \cdot \mathbf{Q}$$

この式に変分原理を適用し、構造全体の剛性方程式と求めれば次のようになる。

$$\mathbf{P} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{Q}$$

この方程式を構造全体の変位 $\mathbf{Q}$ について解けば、本構造物が解けることになる。

また、計算上の軌道スラブの要素分割および寸法は図-2に示すとおりである。

外力としては、まず軸重だけの場合について考えることにする。正常時の設計軸重 P_n は、最大軸重を $16t$ として、軸重変動について疲労も考慮すると

$$P_n = (\text{車重}) \times \frac{1}{2} \times (1 + 20) = 10.4 \text{ (t)}$$

のように与えられる。

3. 計算結果および考察 図3.1、図3.2に示す構造形式および荷重状態について計算した。①は軸重が締結装置の中間にある時、スラブだけの単一構造を考

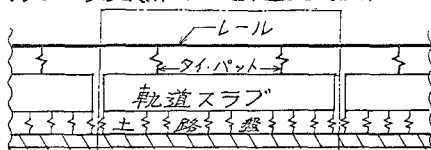


図-1. 構造単位

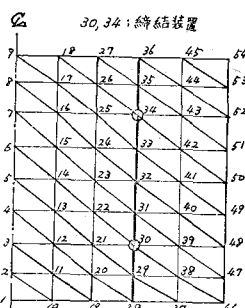


図-2. 要素分割
(100.0x115.0)

えた場合で、前後の締結装置の位置に0.5Rが載るとしたものである。②は輪重が締結装置の直上にあるとき、文献④より「当該締結装置に0.6R、隣接締結装置に0.2Rの集中荷重が作用するものとする」という規定によったものである。③④は二重構造として、レール部にRが直接作用する状態を示している。

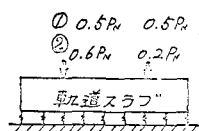


図3.1 直接荷重

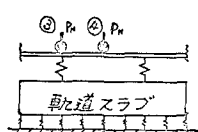


図3.2 間接荷重

図-4はレール方向のスラブのたわみを示したものである。③④の各場合についてスラブはほぼ完全剛体のような沈下を見せているが、これはスラブの剛性が極めて大きいことを示していると言えよう。①ではわずかに載荷点のたわみが極大値をとっているが図の上では明らかでない。しかし曲げモーメント図(図-5)を見ればこのことが理解できる。③の場合、スラブ端部に浮き上がりが生じるが、その絶対量は、最大沈下の25%程度である。また地盤反力係数もスラブ軌道研究会の規定による最小値(5.4/cm)を用いているので、実際の路盤における軌道スラブの沈下はより小さな値をとるものと考えられ、不同沈下や走行時の不安定に対する危険性は小さいと思われる。図-5はレール方向のスラブのM図であるが③④の各場合とも両締結装置の間で負の値が出ており、その絶対値は正の最大値に比べて極めて小さく、①-25%、②-15%、③-12.5%程度である。

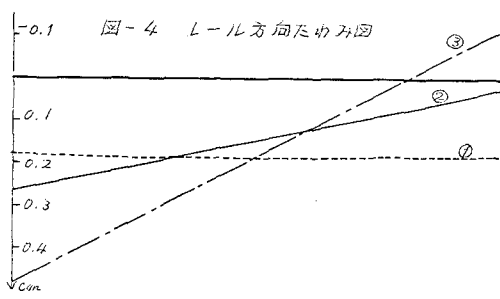
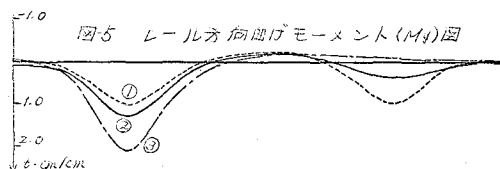


図-5 レール方向曲げモーメント(My)図



②と③は、輪重が締結装置上に載る状態について、スラブの単一構造とレールとスラブの二重構造との2つの考え方で解析したものであるが、かなり差異が見られる。たわみ、Myの最大値はいずれも③の場合が大きく(表1)、My図の形状も多少異っている。これは②が連行荷重による影響とレールの押えによる効果を考慮した荷重条件であるのに対し、③はスラブ相互の影響などを無視して算定したことによるものと思われる。

表-1. 最大値について

	直接荷重-②	節点	間接荷重-③	節点
たわみ(mm)	2.639	37	4.772	37
My: 正(kN/cm)	1.255	30	2.145	30
My: 負(kN/cm)	-0.177	1	-0.284	1
Mx: 正(kN/cm)	1.250	30	2.058	30
Mx: 負(kN/cm)	-0.693	1	-1.112	1

したがって、二重構造として計算する場合とは、2つ以上のスラブを同時に解くか、あるいは、1つのスラブについてレール端部に適当な境界条件を与えて解くなどの方法によれば、より実際に近い値が得られると考えられる。最後に、数値計算にあたり、鉄道技研の種々の資料を参照したことと付記し謝意を表すものである。

4. 参考文献

- ① マトリクス法の応用 山田嘉昭・東大理工学会 ② スラブ軌道の設計施工 日本鉄道建設協会
③ 鉄道技研報告No.837. 北沢秀勝・鉄道技研 ④ 直結軌道スラブの設計 西頭孝彦・鉄道技研

5. 使用記号

- l : レール要素の長さ S_m : スラブ三角形要素の面積
 g : レール要素の変位ベクトル l_i : レール要素点のたわみ l_i : レール要素点のたわみ角
 g_p : 三角形要素の変位ベクトル w : スラブ三角形要素点のたわみ θ_x, θ_y : スラブのx, y方向のたわみ角
 f, f_p : レール上の分布、集中荷重 f, f_p : スラブ上の分布、集中荷重 k_p : タグパット、可変パットのバネ定数
 K : スラブ自体の剛性マトリクス K_s : 土路盤の剛性マトリクス E : 各要素マトリクス i の逆マトリクス
 $\bar{q}$: 構造系全体の変位ベクトル $\bar{K}$: 構造系全体の剛性マトリクス P : 構造系全体の荷重ベクトル