

九州大学 正会員 沼田寛

〃 〃 榎木武

〃 〃 学生員 江藤隆

(1) まえがき

岡山-博多間の新幹線建設工事では、軌道保守の省力化の一形式として、従来の道床軌道に変えて無道床軌道するわうスラブ軌道の採用が成されたが、将来在来線においてもスラブ軌道が採用される方向にある。この為、在来線の土路盤上にスラブ軌道が敷設される事になるが、土路盤では大変形を起す可能性が大きいことから、軌道スラブの変位および応力を検討するに際して、その土路盤の特性を十分加味する必要がある。するわう、土路盤は力学的に非線形に近しい特性を有するもので、この事を考慮した軌道スラブの解析を行い、その特質を明らかにすることが望まれ、本研究の目的とするものである。

(2) 理論式

軌道スラブを、図-1の様に分割し、9自由度の三角形要素の変位関数 w と、面座標 (ξ, η, ζ) を使って次式のように表わされるものと仮定する。

$$w = f^T \alpha = \{1, \xi, \eta, \zeta, \xi^2, \eta^2, \zeta^2, \xi\eta, \xi\zeta, \eta\zeta\} \alpha \quad (1)$$

ここに α : 未定係数ベクトル

節点におけるたわみおよびたわみ角で表わした列ベクトルと δ とすれば、上式は周知のように、次式のように書き改められる。

$$w = f^T C^T \delta \quad (2)$$

また、三角形要素 N の閉関数 π_N は

$$\pi_N = \int_{\Omega_N} \{A(w) - E w\} d\Omega \quad (3)$$

上式において、 $A(w)$ は軌道スラブのひずみエネルギーであって、次のようになる。

$$A(w) = \frac{D}{2} \{ (w_{xx} + w_{yy})^2 + 2(1-\nu)(w_{xx} - w_{yy})^2 \} \quad (4)$$

ここに、 D : スラブの曲げ剛性 ν : スラブ材料のポアソン比 w_x, w_y, w_z : w の x, y 方向の偏微係数

また、荷重 P は、軌道スラブの支持反力 q (q : 土路盤の地盤反力係数)、スラブに作用する等分布荷重 P (自重)、および集中荷重 P_0 で構成されるから、式(3)の右辺第2項が次の様に得られる。

$$\int_{\Omega_N} P w d\Omega = -\frac{1}{2} q \int_{\Omega_N} w^2 d\Omega + P_0 \int_{\Omega_N} w d\Omega \quad (5)$$

式(3)に、式(2)、(4)、(5)を代入して積分すれば次式を得る。

$$\pi_N = \frac{1}{2} \delta^T [K + K_0] \delta - P^T \delta \quad (6)$$

ここに K : 軌道スラブの剛性マトリックス K_0 : 土路盤の剛性マトリックス

次に、各要素の閉関数 π_N よりスラブ全体の閉関数 π_E を求めれば

$$\pi_E = \sum \pi_N = \frac{1}{2} \bar{\delta}^T [K + K_0] \bar{\delta} - \bar{P}^T \bar{\delta} \quad (7)$$

ここに、 $\bar{\delta}$: スラブ全体の変位ベクトル

$\bar{K}$: スラブ全体の剛性マトリックス $\bar{K}_0$: 土路盤全体の剛性マトリックス

したがって、式(7)を $\bar{\delta}$ で変分すれば本題に関する基本式がえられ、次のとおりである。

$$\bar{K} \bar{\delta} - \bar{P}^T = 0 \quad \text{するわう} \quad \bar{P}^T = \bar{K} \bar{\delta} \quad (\text{ここに} \quad \bar{K} = K + K_0) \quad (8)$$

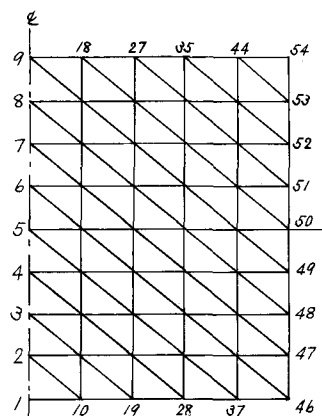


図-1 軌道スラブの分割

(3) 計算概略

土路盤の平板載荷試験による荷重-沈下曲線は、一般に図-2の様に曲線となるが、これを2つの折線で近似するものとする。

この時の計算は、まず最初に初期荷重を加え、それに対する各節英の変位を算出し、その中の最大変位が折英の変位となる荷重を求め、初期荷重からの荷重増分に対する各節英の変位増分を算出する。次に、その最大変位を生じた節英の地盤反力係数を変化させた後、微小荷重増分を加えて、また折英の変位に達しているものの中で最大変位を求め、前述と同様にその最大変位が折英に到達する為の荷重増分を算出のうえ、これに対する各節英の変位増分を求める。この様にして荷重が設計荷重に到達するまで操作を繰返し、設計荷重に到達したならば、その時の各節英の全変位に対する曲げモーメントを算出することになる。なお、式(6)の連立1次方程式を解くにあたっては、共役勾配法^②を使用した。

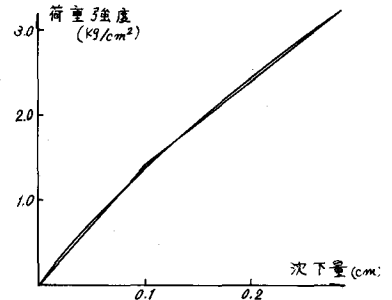


図-2 土路盤の荷重-沈下曲線

(4) 計算例

計算対象として、次の様なものを選んだ。

- 1) 対象セグメントは、在来線用軌道スラブで、その対称性から列車方向に対して片側半分を取り出し、これに対する分割数は、 5×8 とした。(図-3参照)
- 2) 荷重は、支駅^①より設計荷重 B_0 がレール非格接装置の直上にあるとして、スラブには、その非格接装置英に $0.6B_0$ の集中荷重が働き、隣接非格接装置英には $0.2B_0$ の集中荷重が働くものとする。
- 3) スラブ軌道における土路盤の平板載荷試験の資料が得られなかった為に、道路路盤の資料^④をもとにして図-2の様に、折英の変位を 10mm とし、最初の地盤反力係数を $k_{20}=6.5\text{kg/cm}^2$ 、折英以後の地盤反力係数を $k_{21}=4.5\text{kg/cm}^2$ とする土路盤非線形バネについて解いた。また比較対照するため、 $k_{20}=6.5\text{kg/cm}^2$ 、 6kg/cm^2 、 5kg/cm^2 なる線形バネ上のスラブ軌道の解析をも合せて行った。

(5) 考察

通常の設計荷重が作用するスラブ軌道では、線形バネの場合も非線形バネの場合も、その変位および曲げモーメントにはあまり変化が見られず、線形バネとして解析してもさほど問題にならないことが明らかになった。しかし、文献③に指摘するごとく異常荷重(B_0 の3倍)が作用する場合には、地盤係数がスラブ軌道の力学特性におよぼす影響が大きく、土路盤を非線形バネとして、より実状に即した解析が必要であるといえる。なお本計算では、浮上りは生じなかったが、レールをも考慮した一体構造物として、浮上りの検討もなされるべきである。また軌道スラブの最大変位がスラブ端で生じているので、その英での土路盤のせん断応力に対する検討も必要であるが、これについては目下計算中であるので、結果を得て公表したいと考えている。

(6) 参考文献

- ① 西岡孝彰：軌道スラブの設計 鉄道技術研究報告 16-797
- ② 平野利雄：計算機のための数値計算 朝倉書店
- ③ 日本鉄道施設協会：スラブ軌道の設計施工
- ④ 内田一郎：道路舗装の設計 数光出版