強化路盤の設計に用いる路盤圧力の検討

（財）鉄道総合技術研究所　正会員　○桃谷尚嗣　関根悦夫
（財）鉄道総合技術研究所　正会員　堀池高広　名村明
東京理科大学　龍岡文夫

1. はじめに：強化路盤はアスファルトコンクリートと粒度調整砕石により構成される路盤であり，新設線のバラスト軌道に広く採用されている。現行の設計標準では路盤表面のたわみ量が基準値以下となるように，路床の剛性に応じて強化路盤の厚さが定められている。しかし,現在の方法では路盤の厚さは路床の条件により一義的に決定されるため，耐用年数，列車荷重，列車本数等に応じた柔軟な設計を行うことができない。構造物の設計は性能規定化に移行しつつあり，強化路盤の設計も性能規定化に対応させる必要がある。そこで，道路のアスファルト舗装の設計を参考として，アスファルトコンクリート下面の引張りひずみから疲労寿命を規定する方法を強化路盤の設計に適用することを検討しているが，鉄道ではレール，まくらぎ，バラストを介して列車荷重が路盤に伝達されるため，道路の場合と比較すると変形のメカニズムが複雑である。現行の強化路盤の設計では**図 1** に示すような簡略化された道床圧力分布から弾性解析によって路盤表面の変位が求められているが，アスファルトコンクリートのひずみを精度良く求めるためには，**図 2** のような実際に近い道床圧力分布とする必要があると考えられる。そのためには，道床圧力分布を簡略化せずに，レール・まくらぎ・バラストをモデル化した 3 次元 FEM 解析を行うのが良いと考えられる。しかしながら，FEM では粒状体であるバラストを連続的な弾性体として仮定するため,解析の妥当性を検証しておく必要がある。

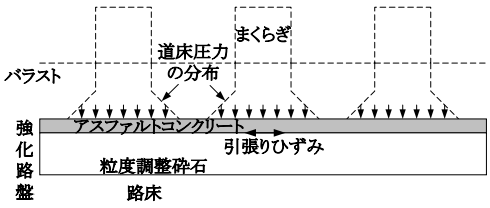

図 1　簡略化された道床圧力分布

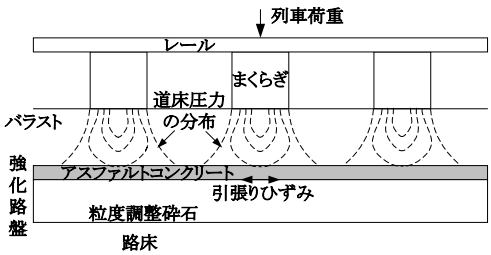

図 2　道床内の圧力分布

本研究では，バラスト上に設置したまくらぎの載荷試験においてまくらぎ下面圧力と路盤圧力の測定を行い，FEM の結果と比較することにより，バラストを連続的な弾性体として仮定することの妥当性と適切な解析パラメータについて検討を行った。その上で，道床圧力を簡略化した場合と，軌道の形状をモデル化した場合の，強化路盤のアスファルトコンクリート下面に生じるひずみを比較した。

2. まくらぎの変位，まくらぎ下面圧力，路盤圧力：載荷試験の方法を**図 3** に示す。バラストの上に PC3 号まくらぎを 1 本設置し，その下面に 26 個のロードセルを取付けて,まくらぎ下面圧力の分布を測定した。また，路盤表面には土圧計を設置し，路盤圧力を測定した。載荷荷重は 64kN とした。まくらぎ下面圧力と路盤圧力を求めるための FEM 解析モデルを**図 4** に示す。解析モデルは 3 次元とし，まくらぎとバラストをモデル化した。解析ではバラスト層のヤング率を 50MN/m^2 から 400 MN/m^2 まで変化させて，まくらぎの変位および路盤圧力分布の変化を検討した。載荷試験におけるまくらぎの荷重－変位曲線を**図 5** に示す。荷重レベルが小さいときにはばね係数 k_1 が小さく，荷重レベルが大きいときにばね係数 k_2 が大きい非線形の形状となっている。これは，バラストの材料特性としての非線形性に加え，バラスト粒子とまくらぎ下面の接触状態が大きく影響を与えるためである。ここでは接触状態に起因する非線形性の影響を除去するため，ばね係数 k_2 をもと

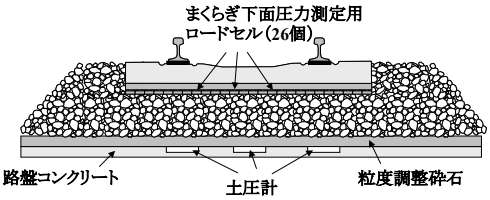

図 3　まくらぎの載荷試験方法

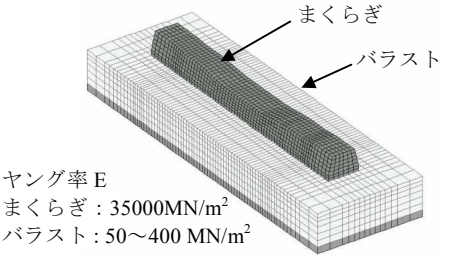

図 4　まくらぎとバラストの FEM 解析モデル

キーワード：道床圧力　路盤圧力　FEM　鉄道
連　絡　先：〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　Tel 042-573-7276　Fax 042-573-7413

に変位ΔS を求め，その値と FEM の結果を比較した（**図 6**）。その結果，FEM においてバラストのヤング率を 100 MN/m^2 程度としたときに，実測値との整合性が高くなることが分かった。まくらぎ下面圧力を**図 7** に，路盤圧力を**図 8** に示す。まくらぎ下面ではバラスト粒子が点接触しているため，実測値では圧力が大きくばらついているが，FEM や簡略化された道床圧力分布では，その平均的な値が得られている。一方，実測値の路盤圧力はばらつきが小さく，FEM や簡略化された道床圧力分布と整合性が高い。路盤圧力に対してはバラストを連続体としてモデル化した場合でも，簡略化された道床圧力とほぼ等しくなることが分かった。

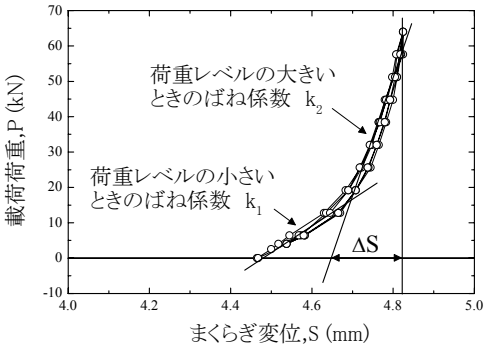

図 5　まくらぎの荷重－変位曲線（実測値）

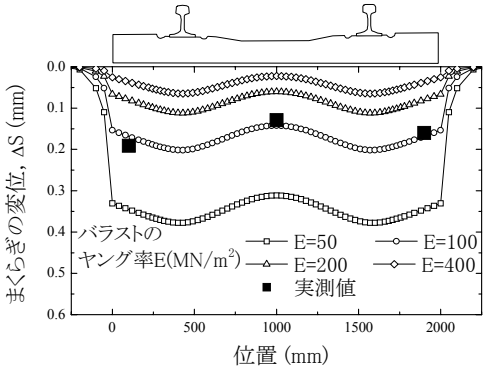

図 6　まくらぎ変位（ΔS）

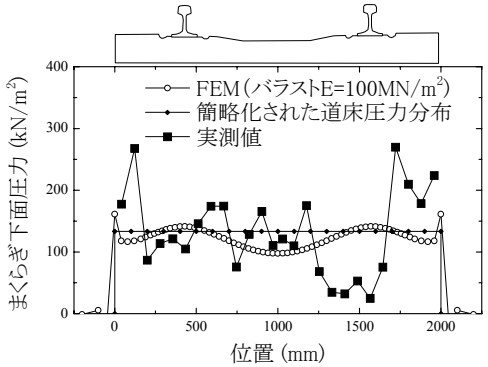

図 7　まくらぎ下面圧力

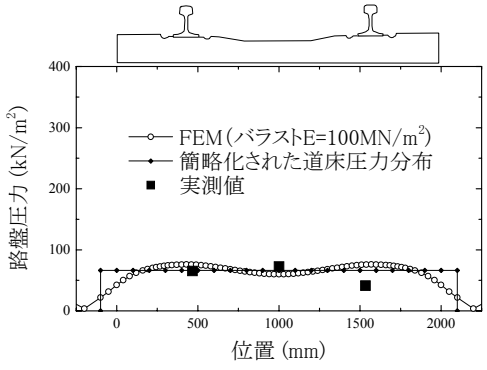

図 8　路盤圧力

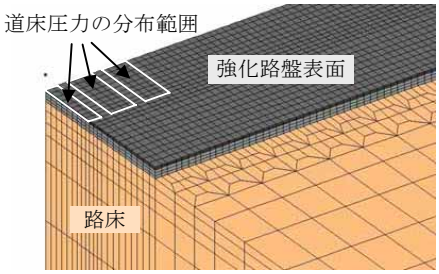

図 9　道床圧力を簡略化した解析モデル

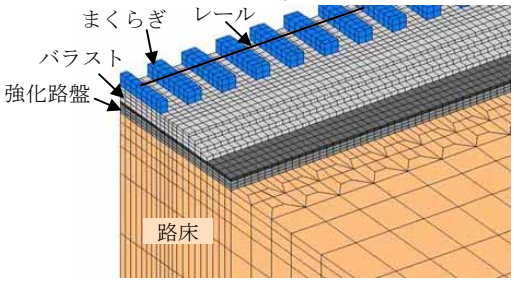

図 10　軌道の形状を考慮した解析モデル

3. アスファルトコンクリートのひずみ：道床圧力を簡略化した場合の解析モデルを**図 9** に，軌道の形状を考慮した場合の解析モデルを**図 10** に，解析により得られたアスファルトコンクリート下面のひずみを**図 11** に示す。アスファルトコンクリートのひずみはどちらの解析モデルでもまくらぎ直下で引張り，まくらぎ中間部で圧縮となる傾向が得られた。しかしながら，道床圧力を簡略化した場合は引張りひずみの最大値が小さくなり，反対に圧縮ひずみが大きいやや不自然なひずみ分布となる。これは，道床圧力を簡略化した場合には実際の路盤圧力分布よりもやや広い範囲に一定の圧力を分布させていることに起因すると考えられる。実測値との整合性については今後確認していく必要があるが，模型実験の結果 [1)]からは軌道の形状をモデル化した場合と同様なひずみ分布が得られており，アスファルトコンクリートのひずみを正しく求めるためには軌道の形状を考慮した解析モデルを用いた方が良いと考えられる。

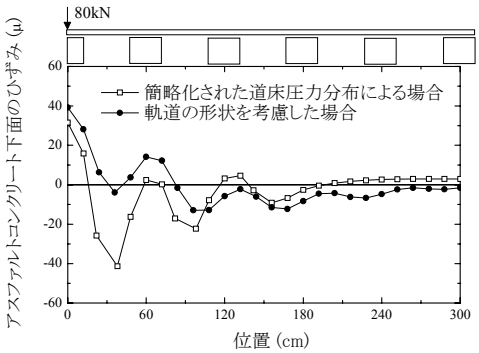

図 11　アスファルトコンクリート下面のひずみ

4. まとめ：現行の強化路盤の設計では簡略化された道床圧力分布が路盤表面に作用すると仮定して，路盤表面の変位が基準値以下となるように路盤の厚さを定めている。しかしながら，アスファルトコンクリートのひずみを用いて疲労寿命で設計を行うためには簡略化された道床圧力を用いるのではなく，軌道の形状を考慮した解析モデルを用いた方が精度の高い解が得られると考えられる。

＜参考文献＞ 1) 桃谷尚嗣，関根悦夫，江口知行，龍岡文夫，姫野賢治：小型模型を用いた鉄道路盤の移動荷重載荷実験，土木学会第 57 回年次学術講演会，V-014，2002.9