

40. ORタイヤのモデル化に関する一考察

愛媛大学：室 達朗

明石工業高等専門学校：*江口 忠臣

1. まえがき

各種建設車両の路外通過性と走行性能について走行装置と地盤材料との相互問題を力学的に説明することは、建設現場における土質特性に適合した建設車両の選定と作業能力向上をめざした新しい建設車両の位置決めシステム開発に有益な指針を与えるものである。

建設車両と地盤材料の重要な接触部であるORタイヤは数種の材料で構成されており本来複合材として扱わなければならないが、地盤材料との接触を考察する場合これらすべてを考慮すると多数の因子を導入する必要がある。したがって数値シミュレーションを行う場合に単純化し合理性を得るかということである。先に筆者は実際のタイヤから得られる荷重-たわみチャート（以下たわみチャート）からタイヤの等価弾性係数を逆解析的に推定する方法に等価弾性体間のばね要素を考慮したモデルを示した。¹⁾ 上記の方法は最終的に順解析後のたわみ-接触長の関係がたわみチャートに追従していることを確認することによってそのモデルの妥当性を検証している。

本報では機械要素としてはばねに分類できるタイヤの変形および地盤との接触状態を考慮し、より柔軟にその状態を表現することが可能であると推察されるRBSM (Rigid-Body Spring Model) をタイヤに適用し変形解析を行った結果を示す。

2. モデル作成

2. 1 タイヤの構造

タイヤは図-1および表-1に示す構造部位と構成材料から成っており、空気を充填しない状態ではそれ自体荷重を支えることはできない。ORタイヤに要求される機能としては、高荷重下で走行可能であり、走路の凹凸による衝撃緩和、駆動力および制動力を確実に路面に伝達することが挙げられる。

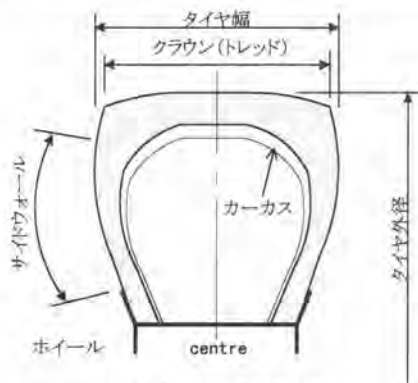


図-1 タイヤの構造

表-1 タイヤの構成材料

構造部位	主な構成材料
カーカス	木綿、ナイロン、レーヨンポリエステル、ゴム
クラウン	ゴム（耐摩耗、耐衝撃、耐熱）
サイドウォール	ゴム（耐屈曲、耐候）
ブレーカ	ナイロンコードスチールコード
ビード	鋼線

2. 2 モデル化の仮定

モデル作成にあたっては以下の仮定を設けた。

- (1) タイヤはトレッド部とサイドウォール部に単純に分割できる。
- (2) トレッド部はゴム体、サイドウォール部は内圧をうける薄肉円筒容器として表すことができる。
- (3) モデルの妥当性を検証するため接触路面は剛路面とし、リップ、ラグは変形に影響しない。
- (4) 空気圧は一定とし、ゴムのポアソン比は0.48とする。

2. 3 RBSMの適用

今回のモデルは前節の仮定のごとくトレッド部とサイドウォール部に分割それぞれにRBSMを適用する。ただしサイドウォール部は変形による軸方向への膨らみを考慮しないので、サイドウォールそのものの曲げ剛性をふくめた薄肉円筒容器としている。

RBSMでは図-2に示すように隣接する2要素間にばねを設定し、そのばねを通して力が伝わるものと考えている。ばねは垂直方向相対変位(δ_n)に抵抗するばね(k_n)とせん断方向のすべりに対応する相対変位(δ_s)に抵抗するばね(k_s)を考える。そして相対変位(δ_n, δ_s)と単位面積当たりの表面力(σ_n, τ)との間にはばね系の力学の関係が成立しているものとしてモデルを作成している。

今回作成したモデルは図-3に示すようにタイヤを円筒容器にゴムを巻いた形のものとしている。その特徴は荷重による変形は円筒容器が受け持つということである。

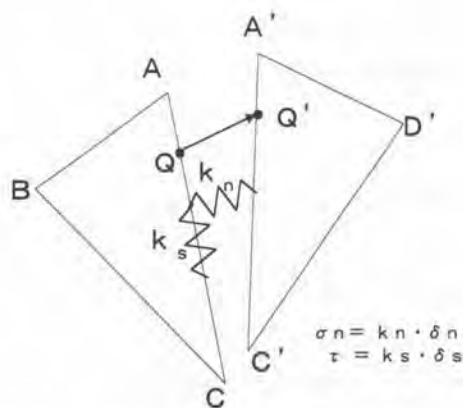


図-2 RBSMにおける2要素間のばね

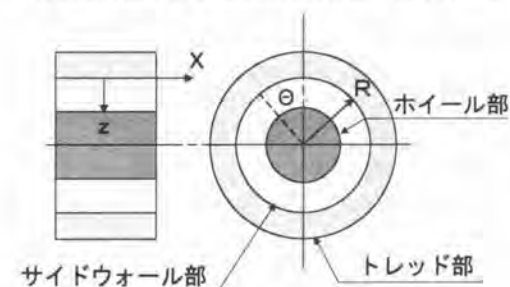


図-3 タイヤモデルと座標系

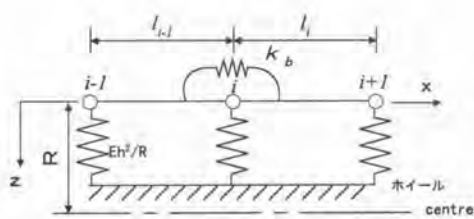


図-4 サイドウォール部のモデル

タイヤの変形はホイールによって支えられているので軸より接地面側の変形を考える。この場合円筒容器の変形は荷重Pを受ける軸対称時の変形とおなじく次の微分方程式により表されるものとする。⁽²⁾

$$D d^2 z / d x^2 + E h z / R = P$$

$$\text{ここに} D \text{は、} D = E h^3 / 1.2 (1 - \nu^2)$$

与えられる曲げ剛性である。E、h、 ν はそれぞれ円筒容器の弾性率、厚さ、ポアソン比である。

モデルの曲げばね k_b は $k_b=2D/(l_1+l_2)$ で表される。

都井ら⁽³⁾が示した円筒モデルをタイヤサイドウォール部空気層に適用したものが図-4である。モデルは円筒を構成するカーカスに相当する部分を2分割し l_1 、 l_2 のはり要素とし、各要素に単位長さ当たり Eh^2/R の強さをもつばねを付加することにより得られる。付加されたばねは円筒の周方向の膜剛性を表している。ここではサイドウォール部がこの円筒に相当するものとして解析している。またトレッド部、サイドウォール部のゴム体は対象領域について図-2と同様の要素分割を行っている。

3. 解析結果の検討

今回計算に使用したタイヤの諸元は呼び9.00-20-14PR、空気圧350kPa、タイヤ外径および幅はそれぞれ1050mm、275mmである。ただしタイヤはリブ・ラグともないものとする。トレッド部の弾性係数 E_t は13MPa、サイドウォール部の空気層の弾性係数は59MPa、サイドウォール部のゴム体の弾性係数 E_s は11MPaを用いた。

これまでも指摘してきた通りタイヤ（ニューマチックタイプ）は空気を充填していない状態では荷重支持できない構造であり、その状態におけるトレッド部の弾性係数 E_t とサイドウォール部の弾性係数 E_s の比 α は $E_t/E_s = \alpha \leq 1$ となることが望ましい。今回のモデルにおいてサイドウォール部の構造上の機能分担を明確にすることにより、見かけ上の弾性係数比 α も1以下となり問題点が解消されたといえる。

今回作成したモデルの計算結果とたわみチャートとの整合性を検証する。図-5に今回のモデルで計算した接触長-たわみ関係を示す。図中実線はたわみチャートを表し、既報の有限要素解析結果を併記している。計算値とたわみチャートを比較するとたわみ初期を除いてはほぼ良好な関係であると考えられる。これはモデル上荷重はサイドウォール部の円筒容器が受け持つということと一致する。

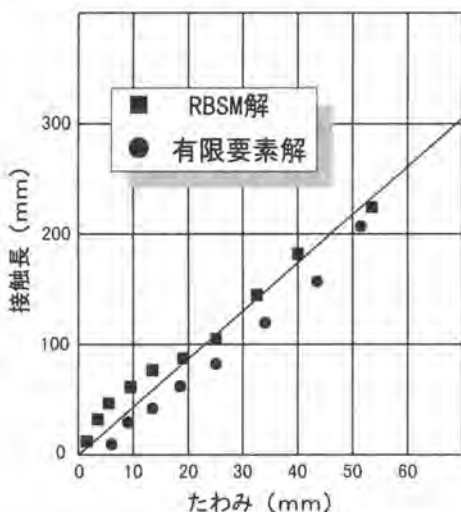


図-5 接触長-たわみ関係

また、常用たわみ域（20mm～40mm）においては今回のモデルについて良好な関係が得られて

たわみ初期における接触長の急激な増加は今回のモデルのトレッド部の剛性がサイドウォール部空気層の約1/5であることから、変形そのものがトレッド部でのみ生じていると考えることができるが、実際の挙動と合致している面がある。たわみが10mm以下においては依然としてたわみチャートとの一致をみていない点については、初期の変形がトレッド部で受け持つという構造上の特徴、すなわち接触路面の形状に追従して駆動力を路面に伝達する役割をゴム自身を持っていることから、今後ゴム単体の負荷試験等によって、たわみチャートとの不一致点を改善する必要があるかどうかを検討していかなければならない。

おり、静的変形状態の再現は十分になされているとみることができる。

このモデルにおける駆動開始時の挙動を第一段階として静的変形状態を再現し、第二段階として駆動トルクを伝達することにより解析した。図-6に変形状態を示す。破線は静的変形時の状態を表し、実線は踏込み時の変形状態を表している。静的変形時は左右対称の圧縮変形をうけており、たわみ性車輪の特徴である接触面の増加がみられる。

踏込み時の変形は進行方向側で更なる圧縮変形をうけており、まだ路盤と接触していない部分において法線方向への膨らみが認められる。タイヤの回転によってこの膨らみの部分が順次路盤と接触することになり、路盤側の変形を予測する上で重要な現象である。一方、進行方向反対側では接触部分の圧縮変形が解放される傾向にあり、路盤と接触していない部分においても伸長変形していることがわかる。

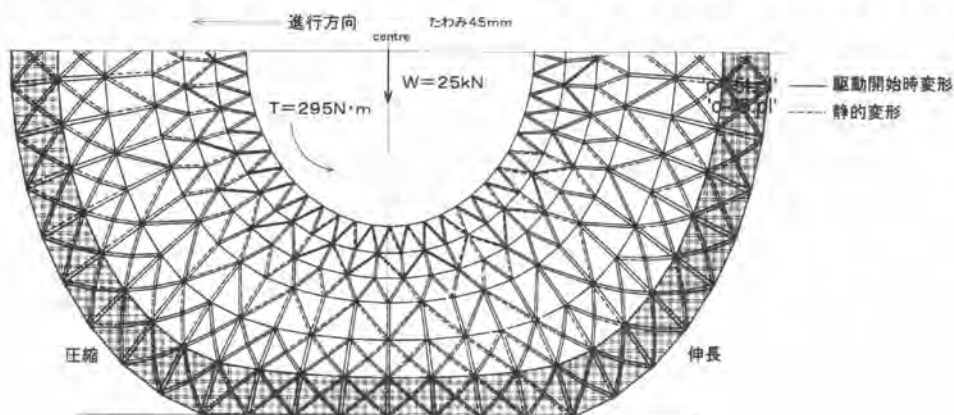


図-6 RB S Mモデルにおける変形状態

4. あとがき

今回のモデルはタイヤ変形とのちに地盤との接触状態をシミュレーションすることを考慮し、本来非線形塑性領域を対象に考案されたRB S Mを静的変形においてはほぼ線形を示すタイヤの弾性変形に適用することを試みている。結果の検討でも記したように静的変形状態においてもこのモデルは十分にタイヤの挙動を再現している。このモデルの特徴はタイヤを荷重を支える薄肉円筒容器とそれを覆うゴム層で構成されている部材と考え、RB S Mを適用することにより多岐にわたる接触問題に対応できるということである。今後は地盤との接触状態の基礎データを収集し、走行性能予測に寄与するモデル構築を目指したい。

参考文献

- (1)江口忠臣, 高橋宏直: ばね要素を考慮した2次元タイヤモデル, 明石高専紀要第38号, pp.35~39, 1995
- (2)都井裕: 鋼構造の離散化極限解析, 培風館, pp.140, 1990
- (3)都井裕, 川井忠彦: 円筒殻の解析のための新しい離散化モデル, 日本造船学会論文集第144号, 1978