

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-148653

(P2012-148653A)

(43) 公開日 平成24年8月9日(2012.8.9)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)
B 6 0 C 19/00 (2006.01) B 6 0 C 19/00 Z 5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/50 (2006.01) G 0 6 F 17/50 6 1 2 H

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2011-8111 (P2011-8111)	(71) 出願人	000006714
(22) 出願日	平成23年1月18日 (2011.1.18)		横浜ゴム株式会社
			東京都港区新橋5丁目36番11号
		(74) 代理人	100089118
			弁理士 酒井 宏明
		(74) 代理人	100118762
			弁理士 高村 順
		(72) 発明者	白石 卓巳
			神奈川県平塚市追分2番1号 横浜ゴム株
			式会社平塚製造所内
		Fターム(参考)	5B046 AA04 JA04 JA08

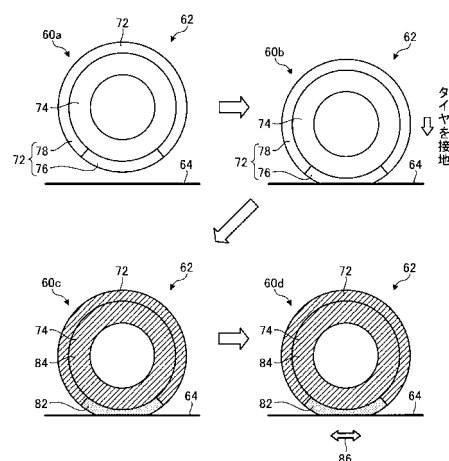
(54) 【発明の名称】 タイヤのシミュレーション方法およびタイヤのシミュレーション用コンピュータプログラム

(57) 【要約】

【課題】 コンピュータを用いたタイヤのシミュレーションにおいて、高い精度でタイヤの所望の領域の剛性を算出すること。

【解決手段】 コンピュータが、解析対象のタイヤに基づき、タイヤのタイヤモデルを少なくとも含む解析モデルを作成するモデル作成ステップと、解析モデルを、剛性を評価する第1領域と、第1領域以外の第2領域との境界を設定する分割ステップと、解析モデルの変形計算を行う変形計算ステップと、変形計算ステップの結果に基づいて変形させた解析モデルの、少なくとも第1領域と第2領域との境界を含み、かつ、第1領域を含まない領域を実質的に剛体とする剛性設定ステップと、剛体設定ステップで変換した解析モデルを解析し第1領域の剛性を算出する解析ステップと、を含むことで上記課題を解決する。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータが、解析対象のタイヤに基づき、前記タイヤのタイヤモデルを少なくとも含む解析モデルを作成するモデル作成ステップと、

前記コンピュータが、前記解析モデルを、剛性を評価する第 1 領域と、前記第 1 領域以外の第 2 領域との境界を設定する分割ステップと、

前記コンピュータが、前記解析モデルの変形計算を行う変形計算ステップと、

前記コンピュータが、前記変形計算ステップの結果に基づいて変形させた前記解析モデルの、少なくとも前記第 1 領域と前記第 2 領域との境界を含み、かつ、前記第 1 領域を含まない領域を実質的に剛体とする剛性設定ステップと、

前記コンピュータが、剛体設定ステップで変換した前記解析モデルを解析し第 1 領域の剛性を算出する解析ステップと、を含むことを特徴とするタイヤのシミュレーション方法。

10

【請求項 2】

前記解析ステップは、剛体設定ステップで変換した前記解析モデルに強制変位の入力を付与した解析を行い、反力と変位を検出する変位反力算出ステップと、

前記変位反力算出ステップで算出した結果から第 1 領域の剛性を算出する剛性算出ステップと、を有することを特徴とする請求項 1 に記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 3】

前記変形計算ステップは、前記タイヤを路面に接地させた場合に生じる変形を含む変形計算を行うことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のタイヤのシミュレーション方法。

20

【請求項 4】

前記第 1 領域は、前記路面に接地する領域のタイヤトレッド部の少なくとも一部を含むことを特徴とする請求項 3 に記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 5】

前記タイヤモデルは、前記路面に接触しており、かつ、第 1 領域に含まれる領域の少なくとも一部に 0 より大きい摩擦係数が設定されていることを特徴とする請求項 4 に記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 6】

前記解析ステップは、前記タイヤと前記路面とが接触する相対位置が異なる条件で変形計算を行った 2 つ以上の解析モデルを用いて前記第 1 領域の剛性を算出することを特徴とする請求項 4 または 5 に記載のタイヤのシミュレーション方法。

30

【請求項 7】

前記解析ステップは、算出した第 1 領域の剛性に基づいて、接地域の接触接線方向の物理量の分布を取得するステップと、

物理量の分布から、接地域内の複数の部分の寄与を算出するステップを有することを特徴とする請求項 4 から 6 のいずれか一項に記載のタイヤのシミュレーション方法。

【請求項 8】

請求項 1 から 7 のいずれか一項に記載のタイヤのシミュレーション方法をコンピュータに実行させることを特徴とするタイヤのシミュレーション用コンピュータプログラム。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、コンピュータを用いてタイヤを解析する技術に関する。

【背景技術】

【0002】

コンピュータを用いた解析によってタイヤの様々な性能、又はこれに関する物理量を有限要素法等の数値解析により予測することは、性能向上や開発の効率化に有用である。このうち、タイヤの性能を予測するシミュレーションとしては、タイヤの剛性を検出するシミュレーションがある。例えば、特許文献 1 には、タイヤトレッド部の少なくとも一部を

50

有限個の要素でモデル化したトレッドモデルを用いて変形シミュレーションを行うタイヤトレッド部のシミュレーション方法が記載されている。このシミュレーション方法は、複数個の要素からなる略直方体状、かつ、少なくとも向き合う一对の主側面が該主側面に表れる節点を同じ位置に設けてモデル化された前記トレッドモデルを設定し、主側面に周期境界条件を与えて変形シミュレーションを行い、その変形シミュレーションの結果からタイヤトレッド部の剛性を算出している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2005-186791号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、特許文献1の方法は、タイヤトレッド部に周期境界条件を与えて解析を行っているが、タイヤトレッド部に作用する力は一定ではない場合もあり、解析精度に限界がある。具体的には、接地時のタイヤトレッド部は、その位置や接地圧により種々の形状に変形するが周期境界条件ではこれらの形状の変化を考慮することが困難である。

【0005】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、コンピュータを用いたタイヤのシミュレーションにおいて、高い精度でタイヤの所望の領域の剛性を算出することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、タイヤのシミュレーション方法であって、コンピュータが、解析対象のタイヤに基づき、前記タイヤのタイヤモデルを少なくとも含む解析モデルを作成するモデル作成ステップと、前記コンピュータが、前記解析モデルを、剛性を評価する第1領域と、前記第1領域以外の第2領域との境界を設定する分割ステップと、前記コンピュータが、前記解析モデルの変形計算を行う変形計算ステップと、前記コンピュータが、前記変形計算ステップの結果に基づいて変形させた前記解析モデルの、少なくとも前記第1領域と前記第2領域との境界を含み、かつ、前記第1領域を含まない領域を実質的に剛体とする剛性設定ステップと、前記コンピュータが、剛体設定ステップで変換した前記解析モデルを解析し第1領域の剛性を算出する解析ステップと、を含むことを特徴とする。これにより、第1領域の変形を考慮しつつ、かつ、剛性算出時には、第1領域の剛性を適切に算出することができる。このため、高い精度でタイヤの第1領域の剛性を算出することができる。

30

【0007】

ここで、前記解析ステップは、剛体設定ステップで変換した前記解析モデルに強制変位の入力を与えた解析を行い、反力と変位を検出する変位反力算出ステップと、前記変位反力算出ステップで算出した結果から第1領域の剛性を算出する剛性算出ステップと、を含むことが好ましい。これにより、適切に剛性を算出することができる。

40

【0008】

また、前記変形計算ステップは、前記タイヤを路面に接地させた場合に生じる変形を含む変形計算を行うことが好ましい。これにより、接地状態でのタイヤの所望の領域の剛性を適切に算出することができる。

【0009】

また、前記第1領域は、前記路面に接地する領域のタイヤトレッド部の少なくとも一部を含むことが好ましい。これにより、路面に接地している部分の剛性を適切に算出することができる。

【0010】

また、前記タイヤモデルは、前記路面に接触しており、かつ、第1領域に含まれる領域

50

の少なくとも一部に0より大きい摩擦係数が設定されていることが好ましい。これにより、路面との接触に対しての反力を考慮することができ、剛性を適切に算出することができる。

【0011】

また、前記解析ステップは、前記タイヤと前記路面とが接触する相対位置が異なる条件で変形計算を行った2つ以上の解析モデルを用いて前記第1領域の剛性を算出することが好ましい。これにより、使用時のタイヤの剛性を適切に算出することができる。

【0012】

また、前記解析ステップは、算出した第1領域の剛性に基づいて、接地域の接触接線方向の物理量の分布を取得するステップと、物理量の分布から、接地域内の複数の部分の寄与を算出するステップを有することが好ましい。これにより、タイヤの部分ごとの評価を適切に行うことができる。

【0013】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、タイヤのシミュレーション用コンピュータプログラムであって、上記のいずれかに記載のタイヤのシミュレーション方法をコンピュータに実行させることを特徴とする。これにより、第1領域の変形を考慮しつつ、かつ、剛性算出時には、第1領域の剛性を適切に算出することができる。このため、高い精度でタイヤの第1領域の剛性を算出することができる。

【発明の効果】

【0014】

本発明は、コンピュータを用いたタイヤのシミュレーションにおいて、高い精度でタイヤの所望の領域の剛性を算出することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】図1は、タイヤの子午断面図である。

【図2】図2は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を実行する解析装置を示す説明図である。

【図3】図3は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を示すフローチャートである。

【図4】図4は、解析モデルに含まれるタイヤモデルの一例を示す部分斜視図である。

【図5】図5は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。

【図6】図6は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。

【図7】図7は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を示すフローチャートである。

【図8】図8は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。

【図9】図9は、タイヤの解析対象の領域の設定の他の例を示す説明図である。

【図10】図10は、タイヤの解析対象の領域の設定の他の例を示す説明図である。

【図11A】図11Aは、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。

【図11B】図11Bは、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。

【図11C】図11Cは、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。

【図11D】図11Dは、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。

【図12】図12は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。

10

20

30

40

50

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、本発明を実施するための形態（実施形態）につき、図面を参照しつつ詳細に説明する。なお、以下の実施形態に記載した内容により本発明が限定されるものではない。また、以下に記載した構成要素には、当業者が容易に想定できるもの、実質的に同一のものが含まれる。さらに、以下の実施形態に記載した構成要素は適宜組み合わせることが可能である。

【0017】

図1は、タイヤの子午断面図である。タイヤ1は、回転軸（Y軸）を中心として回転する環状構造体であり、回転軸の周りに、周方向に向かって同様の形状の子午断面が展開される。図1に示すように、タイヤ1の子午断面には、カーカス2、ベルト3、ベルトカバー4、ビードコア5が現れている。タイヤ1は、母材であるゴムを、補強材であるカーカス2、ベルト3、あるいはベルトカバー4等の補強コードによって補強した複合材料の構造体である。カーカス2、ベルト3、ベルトカバー4等の、金属繊維や有機繊維等のコード材料で構成される補強コードの層をコード層という。

10

【0018】

カーカス2は、タイヤ1に空気を充填した際に圧力容器としての役目を果たす強度メンバーであり、その内圧によって荷重を支え、走行中の動的荷重に耐えるようになっている。ベルト3は、キャップトレッド6とカーカス2との間に配置されたゴム引きコードを束ねた補強コードの層である。ラジアルタイヤにおいて、ベルト3は形状保持および強度メンバーとして重要な役割を担っている。

20

【0019】

ベルト3の踏面G側には、ベルトカバー4が配置されている。ベルトカバー4は、ベルト3の保護層としての役割や、ベルト3の補強層としての役割を持つ。ビードコア5は、内圧によってカーカス2に発生するコード張力を支えているスチールワイヤの束である。ビードコア5は、カーカス2、ベルト3、ベルトカバー4およびトレッドとともに、タイヤ1の強度部材となる。キャップトレッド（タイヤトレッド部）6の踏面G側には、溝（周溝、主溝）7が形成される。これによって、雨天走行時の排水性を向上させる。また、キャップトレッド6は、溝7とタイヤ幅方向に形成された溝（横溝）により分割され、ブロックが周方向に隣接した所定のパターンで形成される。また、タイヤ1の側部はサイドウォール8と呼ばれており、ビードコア5とキャップトレッド6との間を接続する。また、キャップトレッド6とサイドウォール8との間はショルダー部Shである。次に、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を実行する装置について説明する。

30

【0020】

図2は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を実行する解析装置を示す説明図である。本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法は、図2に示す解析装置50によって実現できる。解析装置50はコンピュータであり、図2に示すように、処理部52と記憶部54とで構成される。また、この解析装置50には、入出力装置51が電気的に接続されている。入出力装置51は、入力手段53を有している。この入力手段53は、タイヤを構成するゴムの物性値や補強コードの物性値、あるいは接地解析、剛性解析等に用いる境界条件等を処理部52や記憶部54へ入力する。

40

【0021】

入力手段53には、キーボード、マウス等の入力デバイスを使用することができる。記憶部54には、タイヤの解析（接地解析や転動解析、あるいは振動解析等）や本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を含むコンピュータプログラムが格納されている。記憶部54は、ハードディスク装置や光磁気ディスク装置、又はフラッシュメモリ等の不揮発性のメモリ（CD-ROM等のような読み出しのみが可能な記憶媒体）や、RAM（Random Access Memory）のような揮発性のメモリ、あるいはこれらの組み合わせにより構成することができる。

【0022】

50

上記コンピュータプログラムは、コンピュータシステムに既に記録されているコンピュータプログラムとの組み合わせによって、接地解析や転動解析、あるいは本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を実現できるものであってもよい。ここでいう「コンピュータシステム」とは、OS (Operating System) や周辺機器などのハードウェアを含むものとする。

【0023】

処理部52は、モデル作成部52aと、モデル領域設定部52bと、第1解析部52cと、剛体設定部52dと、第2解析部52eと、を含む。モデル作成部52aは、解析対象のタイヤを、複数の節点を有する複数の要素に分割して、解析に供する解析モデルを作成し、記憶部54に保存する。なお、モデル作成部52aは、剛性を解析する条件、モデルに基づいて決定される種々の部材をモデル化する。例えば、解析対象のタイヤのモデル（タイヤモデル）や、タイヤに嵌め込むホイールのモデル（ホイールモデル）、タイヤが接触する路面のモデル（路面モデル）を作成する。また、解析対象のタイヤのモデルは、タイヤ全体のモデルを作成する。具体的には、タイヤの路面接触時の剛性を検出する場合も、タイヤの接触領域、例えばタイヤトレッド部のブロックだけではなく、接触していない領域の部分も備えるモデルを作成する。

10

【0024】

モデル領域設定部52bは、モデル作成部52aで作成したタイヤモデルを、解析対象とする領域と、その他の領域と、に分ける境界を設定する。なお、モデル領域設定部52bが設定する境界は、作成された解析モデルに対してユーザが操作を入力することで決定しても、予め設定された条件に基づいて決定してもよい。

20

【0025】

第1解析部52cは、モデル作成部52aが作成した解析モデルを記憶部54から読み出し、所定の条件の下で変形解析を実行する。なお、変形解析としては、作成したタイヤモデルが変形する種々の要因の変形解析が対象となる。具体的には、第1解析部52cは、タイヤを路面に接触させることで発生する変形を解析したり、タイヤをインフレートさせることで発生する変形を解析したり、タイヤをホイールに装着させることで発生する変形を解析したりする。

【0026】

剛体設定部52dは、モデル領域設定部52bで設定した領域に基づいて、第1解析部52cで変形解析した解析モデルのタイヤモデルのその他の領域の少なくとも一部を略剛体として設定する。つまり、剛体設定部52dは、第1解析部52cで算出した形状のタイヤモデルを対象として、その他の領域の少なくとも一部の弾性体を剛体に置き換える処理を行う。ここで、剛体設定部52dは、タイヤモデルの解析対象となる領域とその他の領域との境界線を少なくとも含む領域を剛体に置き換える。なお、タイヤモデルの所定の領域を略剛体に変換する方法としては、弾性率をゴム材料に対して非常に高いものに変更する処置、該当する節点集合の相対変位が変わらないようにする処理等が例示される。

30

【0027】

第2解析部52eは、第1解析部52cで算出された変形後の形状であり、かつ、剛体設定部52dで少なくとも一部が剛体に置き換えられたタイヤモデルを含む解析モデルを解析して、解析対象の領域の剛性を算出する。具体的には、第2解析部52eは、解析モデルのタイヤモデルに相対変位および外力を与え、その状態でタイヤモデルの各要素に発生する反力および変位を算出する。その後、算出した各要素に発生する反力および変位に基づいて解析対象の領域の剛性を算出する。

40

【0028】

なお、モデル作成部52aとモデル領域設定部52bと第1解析部52cと、剛体設定部52dと第2解析部52eとは、解析モデルや条件や解析結果を算出、毛低したら、決定した各結果を記憶部54の所定領域に格納する。また、各部は、記憶部54に格納された各結果を用いて、解析、作成を実行する。

【0029】

50

処理部 5 2 は、例えば、メモリおよび C P U (Central Processing Unit) により構成されている。解析時においては、モデル作成部 5 2 a が作成した解析モデルや入力データ等に基づいて、処理部 5 2 が前記プログラムを処理部 5 2 に組み込まれたメモリに読み込んで演算する。その際に処理部 5 2 は、記憶部 5 4 へ演算途中の数値を適宜格納し、また記憶部 5 4 へ格納した数値を取り出して演算を進める。なお、この処理部 5 2 は、前記コンピュータプログラムの代わりに専用のハードウェアによって、その機能を実現するものであってもよい。

【0030】

表示手段 5 5 は、例えば、液晶表示装置等の表示用デバイスである。記憶部 5 4 は、他の装置（例えばデータベースサーバ）内にあってもよい。例えば、解析装置 5 0 は、入出力装置 5 1 を備えた端末装置から通信により処理部 5 2 や記憶部 5 4 にアクセスするものであってもよい。次に、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法を説明する。なお、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法は、上述した解析装置 5 0 により実現できる。

【0031】

次に、図 3 から図 5 を用いて本実施形態のシミュレーション方法についてより詳細に説明する。図 3 は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を示すフローチャートである。図 4 は、解析モデルに含まれるタイヤモデルの一例を示す部分斜視図である。図 5 は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。なお、図 3 から 5 に示すシミュレーション方法は、上述した処理部 5 2 の各部分で処理を実行することで実現される。また、処理部 5 2 は、記憶部 5 4 に記憶されたプログラムや条件、入力手段 5 3 で検出した入力を用いて各処理を実行する。また、図 3 から図 5 に示すシミュレーション方法は、タイヤを路面に接地（接触）させた場合のタイヤの接触領域の剛性を解析する例である。

【0032】

まず、図 2 に示す解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 1 2 として、モデル作成部 5 2 a により解析モデルを作成する。モデル作成部 5 2 a は、作成した解析モデルを記憶部 5 4 の所定領域に保存する。具体的には、解析対象であるタイヤのモデルを含む解析モデルを作成する。ここで、解析モデルは、有限要素法 (Finite Element Method: FEM) や有限差分法 (Finite Differences Method: FDM) 等の数値解析手法を用いてコンピュータが変形解析および剛性解析を実行するために用いるモデルであって、コンピュータで解析可能である。解析モデルは、数学的モデルや数学的離散化モデルを含む。ステップ S 1 2 で作成される解析モデルのうちタイヤモデルは、図 4 に示すタイヤモデル 6 2 である。なお、図 4 に示すようにタイヤモデル 6 2 は、外周面にタイヤトレッド部 7 2 が形成されている。上述したように、タイヤトレッド部 7 2 は、走行時に路面と接触する面であり、本実施形態では、主溝および横溝により複数の分割された複数のブロックが形成されている。本実施形態では、解析モデルの解析に有限要素法を使用するので、解析モデルは、有限要素法に基づいて作成される。

【0033】

本実施形態に係る解析に適用できる解析手法は有限要素法に限られず、有限差分法や境界要素法 (Boundary Element Method: BEM) 等の解析手法も使用できる。また、境界条件等によって最も適当な解析手法を選択し、又は複数の解析手法を組み合わせることもできる。なお、有限要素法は、構造解析に適した解析手法なので、特にタイヤのような構造体に対して好適である。

【0034】

モデル作成部 5 2 a は、例えば、解析対象のタイヤの C A D (Computer Aided Design) 用のデータから、解析モデルを作成する。有限要素法に基づいて解析モデルが作成される場合、モデル作成部 5 2 a は、C A D 用データによって特定されるタイヤを、複数の有限個の要素に分割して、解析モデル 1 0 を作成する。本実施形態では、解析モデルのタイヤモデルを、それぞれ 3 次元形状の解析モデルとして作成する。

【0035】

解析モデルが有する要素は、例えば、3次元の解析モデルでは四面体ソリッド要素、五面体ソリッド要素、六面体ソリッド要素等のソリッド要素や三角形シェル要素、四角形シェル要素等のシェル要素、面要素等、コンピュータで取り扱い得る要素とすることが望ましい。このようにして分割された要素は、解析の過程においては、3次元の解析モデルでは3次元座標や円筒座標を用いて逐一特定される。

【0036】

解析装置50の処理部52は、ステップS12で解析モデルを作成したら、ステップS14として、モデル領域設定部52bによりタイヤモデルを剛性評価する第1領域と、それ以外の第2領域とに分割する。つまり、モデル領域設定部52bは、作成した解析モデルのタイヤモデルを解析対象の領域と、その他の領域とに分ける。具体的に、タイヤモデルの接地領域およびその近傍を第1領域とし、タイヤモデルのその他の領域を第2領域として、第1領域と第2領域の境界を設定する。モデル領域設定部52bは、設定した境界の情報を記憶部54の所定領域に保存する。

10

【0037】

解析装置50の処理部52は、ステップS14でタイヤモデルを第1領域と第2領域とに分割したら、ステップS16として、第1解析部52cによりタイヤモデルを路面モデルに接地させ、変形計算（変形解析）を行う。つまり、第1解析部52cは、タイヤモデルが路面モデルに接地した場合にタイヤモデルに発生する変形を計算する、つまり接地解析を行う。なお、接地圧等の接地条件は予め設定されている。第1解析部52cは、解析結果（各節点の座標や物理量等）を記憶部54の所定領域に保存する。接地解析とは、タイヤモデルと路面との動的、又は静的な接触状態において、少なくともタイヤモデルの変形やひずみ、あるいは応力の状態を解析するものである。

20

【0038】

解析装置50の処理部52は、ステップS16で接地状態の変形計算を行ったら、ステップS18として剛体設定部52dにより第1領域と第2領域との境界を含む部分を略剛体化する。つまり、剛体設定部52dは、第1解析部52cで算出した接地により変形したタイヤモデルの一部を、モデル領域設定部52bで設定した領域および境界の情報に基づいて略剛体化する。具体的には、タイヤモデルのうち、第1領域に含まれず、かつ、少なくとも第1領域と第2領域との境界を含む領域を略剛体に置換する。

30

【0039】

解析装置50の処理部52は、ステップS18で少なくとも境界を含む領域を略剛体としたら、ステップS20として、第2解析部52eにより解析処理を行う。具体的には、第2解析部52eは、ステップS18で一部を略剛体としたタイヤモデルに相対変位・外力を付与し、相対変位・外力を付与することで、発生するタイヤモデルの各部（第1領域の各部）の反力・変位を算出する。第2解析部52eは、算出したタイヤモデルの各部の反力・変位に基づいて各部の剛性を算出する。解析装置50の処理部52は、解析処理を行い、剛性を算出したら、本処理を終了する。

【0040】

以下、図5を用いてシミュレーション方法による解析モデルの遷移状態を説明する。処理部52は、タイヤモデル62と路面モデル64とを含む解析モデル60aを作成する。タイヤモデル62は、タイヤの全体（全周）を模したモデルであり、路面と接触する領域であるタイヤトレッド部72（単に「トレッド部」ともいう。）と、タイヤトレッド部72よりもタイヤ径方向内側の領域であるタイヤサイド部（単に「サイド部」ともいう。）74と、を有する。

40

【0041】

処理部52は、解析モデル60aに示すように、解析対象の領域を特定し、タイヤモデルを解析対象の領域（第1領域）と、その他の領域（第2領域）とに分ける。ここで、図5に示す例は、タイヤトレッド部72の接地領域の剛性を算出する場合の例である。処理部52は、タイヤトレッド部72を、路面モデル64と接触する部分とその周辺部分とを

50

含む領域 7 6 と、それ以外の領域（路面モデル 6 4 から離れている領域）7 8 と、に分ける。また、サイド部 7 4 は、全ての領域が解析対象ではない領域となる。処理部 5 2 は、以上のようにしてタイヤモデル 6 2 を解析対象の第 1 領域である領域 7 6 と第 2 領域である領域 7 8 およびサイド部 7 4 とに分ける。なお、処理部 5 2 は、領域 7 6 と領域 7 8 との間および領域 7 6 とサイド部 7 4 との間に境界を設けることで、領域 7 6 とその他の領域とを分ける。

【0042】

処理部 5 2 は、解析対象の領域を特定し、当該領域とその他の領域とを境界で分けたら、解析モデル 6 0 b に示すように、タイヤモデル 6 2 を路面モデル 6 4 に接地させた状態とし、路面モデル 6 4 に接触したタイヤモデル 6 2 の変形計算を行う。なお、タイヤモデル 6 2 は、領域 7 6 の一部が路面モデル 6 4 と接触している。

10

【0043】

処理部 5 2 は、接触解析を行ったら、解析モデル 6 0 c に示すように、接触解析を行ったタイヤモデル 6 2 を、第 1 領域 8 2 と第 2 領域 8 4 とに分け、第 2 領域 8 4 を略剛体とする。なお、第 1 領域 8 2 の設定は変更しない。ここで、第 1 領域 8 2 は、タイヤトレッド部 7 2 でありゴム等で構成されているため弾性体となる。

【0044】

処理部 5 2 は、第 2 領域 8 4 を略剛体としたら、解析モデル 6 0 d に示すように、路面モデル 6 4 に変位 8 6 を与え、タイヤモデル 6 2 と路面モデル 6 4 の相対位置を変化させ、その際に、第 1 領域 8 2 の各部に生じる反力および変位を算出する。その後、処理部 5 2 は、算出した第 1 領域 8 2 の反力および変位に基づいて、第 1 領域 8 2 の各部の剛性を算出する。なお、処理部 5 2 は、種々の単位で剛性を算出することができ、例えば、第 1 領域 8 2 の要素毎、一定要素単位、タイヤトレッド部のブロック単位、第 1 領域 8 2 全体を、算出の単位として剛性を算出することができる。また、剛性は、例えば変位と力の関係から算出することができる。

20

【0045】

解析装置 5 0 は、本実施形態のシミュレーション方法により第 1 領域 8 2 を弾性体のままとしつつ、第 2 領域 8 4 を略剛性とするすることで、解析対象の第 1 領域 8 2 の剛性を適切に評価することができる。つまり、第 2 領域を略剛体とするすることで、剛性算出時に第 2 領域に変形、反力が生じることを抑制できるため、第 1 領域 8 2 の剛性を適切に算出することができる。

30

【0046】

なお、図 5 に示す実施形態では、第 2 領域 8 4 の全域を剛体としたが、少なくとも第 1 領域と第 2 領域との境界を略剛体とすればよい。つまり、第 1 領域と第 2 領域との境界を含み、かつ、第 1 領域を含まない領域を剛体とすればよい。このように少なくとも境界を剛体とするすることで、第 1 領域の剛性を的確に算出することができる。つまり、第 1 領域と第 2 領域との境界を略剛体とするすることで、第 2 領域の剛性が第 1 領域に影響することを抑制することができ、第 1 領域の剛性を的確に算出することができる。

【0047】

解析装置 5 0 は、本実施形態のシミュレーション方法によりタイヤモデルの変形を算出した後に少なくとも境界を含む領域を剛体とするすることで、解析対象である第 1 領域をより的確な形状とした後に、剛性を算出することができる。例えば、第 1 領域のみをモデル化して剛性を解析する場合は、第 1 領域以外の領域から受ける影響を加味することなく、形状を算出することになるため、実際の形状とは異なる形状となる恐れがある。これに対して、解析装置 5 0 は、変形計算をした後に境界を含む所定領域を剛体とするすることで、解析対象の条件の場合の第 1 領域の形状をより正確に算出することができる。第 1 領域をより正確な形状にできるため、計測条件に対応した第 1 領域の剛性をより正確に算出することができる。

40

【0048】

また、解析装置 5 0 は、上記実施形態のように、第 2 領域の全域を略剛体とすることが

50

好ましい。第2領域の全域を略剛体とすることで、剛性の算出時の計算対象を第1領域のみとすることができる。これにより、計算量をより少なくすることができる。また、解析装置50は、剛性の計算時は、第1領域のみを計算の対象としてもよい。

【0049】

また、解析装置50は、少なくとも境界を含む領域を略剛体とする方法としては、種々の方法を用いることができるが、力を与えてタイヤモデルを変形させ、弾性率を変えて略剛体にする場合、力を変位に換算して、変位を与える処理を行うことが好ましい。これにより、変形させたタイヤの変形状態が剛性算出時に変形することを抑制することができる。

【0050】

また、上記実施形態では、タイヤモデルの全体を変形解析の対象としたがこれにも限定されない。解析装置50は、第2領域の少なくとも一部と、第1領域とを対象として変形解析を行えばよい。このように、解析装置50は、タイヤの一部を変形させても、タイヤの全体を変形させてもよい。

【0051】

また、第1領域であり、かつ、路面モデルと接触領域の少なくとも一部に摩擦係数を設定する（摩擦係数を0より大きくする）ことが好ましい。これにより剛性を適切に算出することができる。なお、摩擦係数を設定する領域は、第1領域の全体でも、一部でもよい。また、第2領域は、摩擦係数を設定しない（摩擦係数を0）とすることで、解析対象から外すことができる。

【0052】

また、図5に示す例のように、第1領域にタイヤトレッド部の接地領域を含むことで、接地したタイヤのパターン剛性を知ることができる。なお、タイヤトレッド部の第2領域に含まれる領域78は、タイヤトレッド部の第1領域に含まれる領域76よりも簡略化したモデル化をしてもよい。これにより計算量を低減することができる。また、第2領域のタイヤトレッド部を簡略化した場合も第1領域の変形計算は、高精度に実行することができる。また、タイヤトレッド部は周方向主溝のみをモデル化してもよく、詳細なパターンをモデル化してもよい。

【0053】

また、図5に示す例では、剛性の算出時に付与する相対変位を一方向の変位としたが、相対変位の方向は複数あってもよい。また、図5に示す例では、相対変位を付与して剛性を算出したが、剛性の算出方法はこれに限定されない。例えば、タイヤモデルの外力を付与して、その際の反力、変位を算出し、その結果に基づいて剛性を算出してもよい。

【0054】

また、路面モデルは、平板のモデルに限定されない。路面モデルは、凹凸を有してもよく、ドラム形状を模した形状でもよい。また、タイヤモデルと路面モデルと変形解析時および剛性の解析時の摩擦条件は、固着とする設定でも、摩擦係数としてクーロン摩擦あるいは圧力やすべり依存を有する設定としてもよい。また、剛性の解析時は、剛性を評価しない部分、つまり、第2領域については、摩擦を考慮しなくてもよい。

【0055】

また、図5に示す例では、解析モデルをタイヤモデルと路面モデルとを含む構成としたが、これに限定されない。例えば、ホイールモデルを設け、タイヤモデルとホイールモデルとを組み合わせた構成としてもよい。なお、タイヤモデルとホイールモデルと組み合わせる前は、変形解析として、接地変形の前にタイヤモデルとホイールモデルの嵌合による変形計算、タイヤのインフレーションによる変形計算を行ってもよい。このように、タイヤモデルとホイールモデルの嵌合や、タイヤのインフレーションに基づく変形を考慮することで、剛性の解析時のタイヤモデルの解析対象の領域の形状をより正確な形状とすることができる。

【0056】

なお、上記実施形態では、タイヤトレッド部の接地領域を第1領域としたが、本発明は

10

20

30

40

50

これに限定されない。第1領域としてはタイヤの種々の部分を設定することができる。例えば、タイヤのタイヤトレッド部全体を第1領域としてもよいし、タイヤのサイド部の全部または一部を第1領域としてもよい。また、上記実施形態ではタイヤをタイヤトレッド部とサイド部の2つに分けた場合としたが、タイヤの領域の分割方法は特に限定されず剛性の解析の用途等に応じて適宜領域を設定すればよい。また、タイヤ幅方向の領域によって、第1領域と第2領域を分けておよい。例えば、タイヤトレッド部の接地領域のうち、センター側のブロックのみを第1領域（剛性を算出する部分）としてもよいし、ショルダー部のブロックのみを第1領域としてもよい。また、リブごとの第1領域か否かを設定しても、パターンを構成する一部の要素毎に第1領域か否かを設定してもよい。

【0057】

次に、図6を用いて、シミュレーション方法の他の実施形態について説明する。ここで、図6は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。なお、図6に示すシミュレーション方法は、タイヤサイド部を第1領域とした場合の実施形態である。まず、処理部52は、タイヤモデル104と路面モデル106とホイールモデル108とを含む解析モデル102aを作成する。タイヤモデル104は、タイヤの全体（全周）を模したモデルであり、路面と接触する領域であるタイヤトレッド部110と、タイヤトレッド部110よりもタイヤ径方向内側の領域であるタイヤサイド部112と、径方向内側の端部でありホイールモデル108と接触するリム接触部114と、を有する。つまりタイヤモデルは、タイヤ径方向外側から内側にタイヤトレッド部110、タイヤサイド部112、リム接触部114の順で形成されている。またリム接触部114がホイールモデル108と接触する。また、解析モデル102aは、タイヤモデル104とホイールモデル108とのタイヤ径方向の中心を参照点116とする。

【0058】

処理部52は、解析モデル102aに示すように、解析対象の領域を特定し、タイヤモデルを解析対象の領域（第1領域）と、その他の領域（第2領域）とに分ける。ここで、図5に示す実施形態は、タイヤトレッド部110のタイヤサイド部112の剛性を算出する場合の実施形態である。処理部52は、タイヤサイド部112を解析対照の領域と設定し、タイヤトレッド部110とリム接触部114とを解析対象ではない領域と設定する。処理部52は、以上のようにしてタイヤモデル104を解析対象の第1領域であるタイヤサイド部112と第2領域であるタイヤトレッド部110及びリム接触部114とに分ける。なお、処理部52は、タイヤトレッド部110とタイヤサイド部112の間およびタイヤサイド部112とリム接触部114との間に境界を設けることで、タイヤサイド部112とその他の領域とを分ける。

【0059】

処理部52は、解析対象の領域を特定し、当該領域とその他の領域とを境界で分けたら、解析モデル102bに示すように、タイヤモデル104を路面モデル106に接地させた状態とし、路面モデル106に接触したタイヤモデル104の変形計算を行う。また、処理部52は、路面モデル106に接触したタイヤモデル104の変形計算を行う前に、タイヤモデル104とホイールモデルの嵌合により生じる変形計算や、タイヤモデル104をインフレートさせた場合に生じる変形計算を行ってもよい。

【0060】

処理部52は、接触解析を行ったら、解析モデル102cに示すように、接触解析を行ったタイヤモデル104を、第1領域と第2領域とに分け、第1領域と第2領域との境界を略剛体とする。なお、第1領域の設定は変更しない。ここで、本実施形態では、処理部52は、タイヤサイド部112が第1領域をとし、その他の領域を第2領域とする。また、処理部52は、タイヤトレッド部110のうち、タイヤサイド部112との境界を含む領域120を略剛体とし、リム接触部114の全域を含む領域122を略剛体とする。なお、第1領域は、タイヤサイド部112でありゴム等で構成されているため弾性体となる。

【0061】

処理部 5 2 は、領域 1 2 0 と領域 1 2 2 とを略剛体としたら、解析モデル 1 0 2 d に示すように、タイヤモデル 1 0 4 の参照点 1 1 6 に対して変位 1 2 6 を与え、タイヤモデル 1 0 4 とホイールモデル 1 0 8 との相対位置を変化させ、その際に、第 1 領域（タイヤサイド部 1 1 2）の各部に生じる反力および変位を算出する。その後、処理部 5 2 は、算出した第 1 領域の反力および変位に基づいて、第 1 領域の各部の剛性を算出する。

【0062】

解析装置 5 0 は、図 6 に示すように、タイヤが路面に接地した状態におけるタイヤサイド部の剛性を算出することもできる。この場合も、タイヤモデルの変形計算を行った後に、第 1 領域と第 2 領域の境界である領域 1 2 0 と領域 1 2 2 とを略剛体とすることで、第 1 領域であるタイヤサイド部の剛性をより高い精度で解析することができる。

10

【0063】

なお、図 6 に示す実施形態では、第 2 領域のうち、境界を含む一部のみを略剛体としたが、全域を剛体としてもよい。

【0064】

次に、図 7 および図 8 を用いて、シミュレーション方法の他の実施形態について説明する。ここで、図 7 は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を示すフローチャートである。図 8 は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の手順を模式的に示す説明図である。なお、図 7 および図 8 に示すシミュレーション方法は、変形計算として路面との接触により生じる変形以外の変形を対象とした場合の実施形態である。

【0065】

20

まず、解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 3 2 として、モデル作成部 5 2 a により解析モデルを作成する。モデル作成部 5 2 a は、作成した解析モデルを記憶部 5 4 の所定領域に保存する。解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 3 2 で解析モデルを作成したら、ステップ S 3 4 として、モデル領域設定部 5 2 b によりタイヤモデルを剛性評価する第 1 領域と、それ以外の第 2 領域とに分割する。モデル領域設定部 5 2 b は、設定した境界の情報を記憶部 5 4 の所定領域に保存する。

【0066】

解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 3 4 でタイヤモデルを第 1 領域と第 2 領域とに分割したら、ステップ S 3 6 として、第 1 解析部 5 2 c によりタイヤモデルの変形計算（変形解析）を行う。ここで、第 1 解析部 5 2 c は、変形計算として、タイヤモデルをホイールモデルに嵌め込む（嵌合させる）ことで生じる変形や、タイヤモデルをインフレーションさせることで生じる変形を計算する。第 1 解析部 5 2 c は、解析結果（各節点の座標や物理量等）を記憶部 5 4 の所定領域に保存する。

30

【0067】

解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 3 6 で変形計算を行ったら、ステップ S 3 8 として剛体設定部 5 2 d により第 1 領域と第 2 領域との境界を含む部分を略剛体化する。つまり、剛体設定部 5 2 d は、第 1 解析部 5 2 c で算出した接地により変形したタイヤモデルの一部を、モデル領域設定部 5 2 b で設定した領域および境界の情報に基づいて略剛体化する。

【0068】

40

解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、ステップ S 3 8 で少なくとも境界を含む領域を略剛体としたら、ステップ S 2 0 として、第 2 解析部 5 2 e により解析処理を行う。具体的には、第 2 解析部 5 2 e は、ステップ S 3 8 で一部を略剛体としたタイヤモデルに相対変位・外力を付与し、相対変位・外力を付与することで、発生するタイヤモデルの各部（第 1 領域の各部）の反力・変位を算出する。第 2 解析部 5 2 e は、算出したタイヤモデルの各部の反力・変位に基づいて各部の剛性を算出する。解析装置 5 0 の処理部 5 2 は、解析処理を行い、剛性を算出したら、本処理を終了する。

【0069】

以下、図 8 を用いてシミュレーション方法による解析モデルの遷移状態を説明する。まず、処理部 5 2 は、タイヤモデル 1 3 4 とホイールモデル 1 3 6 とを含む解析モデル 1 3

50

2 aを作成する。タイヤモデル134は、タイヤの全体（全周）を模したモデルであり、路面と接触する領域であるタイヤトレッド部140と、タイヤトレッド部140よりもタイヤ径方向内側の領域であるタイヤサイド部142と、径方向内側の端部でありホイールモデル136と接触するリム接触部144と、を有する。つまりタイヤモデルは、タイヤ径方向外側から内側にタイヤトレッド部140、タイヤサイド部142、リム接触部144の順で形成されている。またリム接触部144がホイールモデル136と接触する。また、解析モデル132 aは、タイヤモデル134とホイールモデル136とのタイヤ径方向の中心を参照点146とする。

【0070】

処理部52は、解析モデル132 aに示すように、解析対象の領域を特定し、タイヤモデルを解析対象の領域（第1領域）と、その他の領域（第2領域）とに分ける。ここで、図8に示す実施形態は、タイヤトレッド部140のタイヤサイド部142の剛性を算出する場合の実施形態である。処理部52は、タイヤサイド部142を解析対象の領域と設定し、タイヤトレッド部140とリム接触部144とを解析対象ではない領域と設定する。処理部52は、以上のようにしてタイヤモデル134を解析対象の第1領域であるタイヤサイド部142と第2領域であるタイヤトレッド部140とリム接触部144とに分ける。なお、処理部52は、タイヤトレッド部140とタイヤサイド部142の間およびタイヤサイド部142とリム接触部144との間に境界を設けることで、タイヤサイド部142とその他の領域とを分ける。

【0071】

処理部52は、解析対象の領域を特定し、当該領域とその他の領域とを境界で分けたら、タイヤモデル134の変形計算を行う。タイヤモデル134の変形計算としては、タイヤモデル134とホイールモデルの嵌合により生じる変形計算や、タイヤモデル134をインフレートさせた場合に生じる変形計算等が例示される。タイヤモデル134の変形計算を行うことで、タイヤサイド部142は、変形したり付与される力が変化したりする。

【0072】

処理部52は、変形計算を行ったら、解析モデル132 bに示すように、変形計算を行ったタイヤモデル134を、第1領域と第2領域とに分け、第1領域と第2領域との境界を略剛体とする。なお、第1領域の設定は変更しない。ここで、本実施形態では、処理部52は、タイヤサイド部142が第1領域をとり、その他の領域を第2領域とする。また、処理部52は、タイヤトレッド部140のうち、タイヤサイド部142との境界を含む領域150を略剛体とし、リム接触部144の全域を含む領域152を略剛体とする。なお、第1領域は、タイヤサイド部142でありゴム等で構成されているため弾性体となる。

【0073】

処理部52は、領域150と領域152とを略剛体としたら、解析モデル132 cに示すように、タイヤモデル134の参照点146に対して変位156を与え、タイヤモデル134とホイールモデル136との相対位置を変化させ、その際に、第1領域（タイヤサイド部142）の各部に生じる反力および変位を算出する。その後、処理部52は、算出した第1領域の反力および変位に基づいて、第1領域の各部の剛性を算出する。

【0074】

解析装置50は、図8に示すように、タイヤが路面に接地していない状態におけるタイヤサイド部の剛性を算出することもできる。このように、接地していない場合であってもタイヤモデルの変形計算で第1領域の形状をより正確に算出したタイヤモデルを用いて剛性の解析を行うことで、より正確な剛性を算出することができる。

【0075】

次に、図9及び図10を用いて、第1領域の設定の他の実施形態を説明する。ここで、図9および図10は、それぞれタイヤの解析対象の領域の設定の他の例を示す説明図である。図9および図10は、タイヤモデルのタイヤトレッド部の幅方向の位置によって、第1領域と第2領域とを分ける場合の実施形態である。また、図9および図10は、タイヤ

モデルのタイヤトレッド部のうち、路面モデルと接触する領域を示している。

【0076】

図9に示すタイヤモデル200は、タイヤトレッド部の接触領域が、陸部（ブロック部）210、212、214、216と、溝218a、218b、218cと、で構成されている。ここで、溝218a、218b、218cは、タイヤ周方向に延在する凹部であり、タイヤトレッド部の陸部を複数のブロックに分割している。陸部210は、タイヤ幅方向の一方の端部に配置されたブロックであり、タイヤ幅方向において、タイヤ中心側の端面が溝218aと接している。また、陸部212は、タイヤ幅方向において、一方の端面が溝218aと接し、他方の端部が溝218bと接している。このように陸部のうち溝218aと溝218bとで囲まれた部分が陸部212となる。また、陸部214は、タイヤ幅方向において、一方の端面が溝218bと接し、他方の端部が溝218cと接している。このように陸部のうち溝218bと溝218cとで囲まれた部分が陸部214となる。陸部216は、タイヤ幅方向の他方の端部に配置されたブロックであり、タイヤ幅方向において、タイヤ中心側の端面が溝218cと接している。このようにタイヤモデル200は、接触領域の陸部が陸部210、212、214、216の4つの陸部で構成される。

10

【0077】

このように陸部が複数のブロックで構成される場合、解析装置50は、タイヤモデルの陸部のブロック毎に、解析対象とするか否かを設定することができる。例えば、図9示すタイヤモデル200のように、陸部210と陸部216とを第1領域とし、陸部212と陸部214とを第2領域と設定することができる。また、この場合、陸部210と陸部216とは、路面モデルとの間の摩擦係数を0より大きい値とし、陸部212と陸部214とは、路面モデルとの間の摩擦係数を0とする。これにより、第1領域の陸部210と陸部216との剛性を好適に算出することができる。

20

【0078】

また、解析装置50は、図10に示すタイヤモデル200aのように、陸部212と陸部214とを第1領域とし、陸部210と陸部216とを第2領域と設定することもできる。なお、タイヤモデル200aは、第1領域および第2領域の設定がことなるのみで、モデルの形状は、タイヤモデル200と同様である。また、この場合、陸部212と陸部214とは、路面モデルとの間の摩擦係数を0より大きい値とし、陸部210と陸部216とは、路面モデルとの間の摩擦係数を0とする。これにより、第1領域の陸部212と陸部214との剛性を好適に算出することができる。

30

【0079】

このように、タイヤ幅方向の位置に応じて領域および境界を設定することで、より目的に応じた解析を効率よく行うことができる。例えば、タイヤ幅方向の特定の位置（特定のブロック）の剛性のみを知りたい場合は、そのブロックのみを第1領域とし、その他の領域を第2領域とすることで、当該ブロックの剛性を解析することができる。また、剛性解析時に第1領域の解析に必要な部分以外の第2の領域の要素については解析を実行しないことで、計算量も少なくすることができる。

【0080】

ここで、解析装置50は、タイヤトレッド部の摩耗による形状変化や経時変化による弾性率の変化を考慮したモデルを複数作成し計算することが好ましい。このように、複数のモデルを計算し、それぞれのモデルの剛性を算出することで、対象領域のタイヤトレッド部の剛性をより適切に実際の使用に則して評価することができる。

40

【0081】

また、解析装置50は、タイヤと路面とが接触する相対位置が異なる条件で変形計算を行った2つ以上の解析モデルを用いて、第1領域の剛性を算出することが好ましい。これにより、解析モデルの第1領域の剛性をより正確に算出することができる。例えば、タイヤが周方向の主溝以外の溝を有する場合、接地形状と溝位置の関係によって接地面の絵柄が変わり、タイヤトレッド部の剛性は変化する。このような場合に、タイヤと路面との相

50

対位置を変化させた（タイヤトレッド部のパターンの長さより短い距離分相対位置を変化させた）複数の解析モデルを作成し、それぞれの解析モデルを比較した結果に基づいて、当該第1領域の剛性を算出することでより正確な剛性を算出することができる。解析装置50は、このように複数の解析モデルを用いる場合、複数の解析モデルのそれぞれについて変形計算を行い、その変形計算した結果に基づいて、解析モデルの変形状態を決定し、その決定した形状の解析モデルを用いて、剛性を算出すればよい。なお、2つ以上のタイヤ接地計算の結果は、平均、最大最小の幅、分散などを用いることができる。平均を用いることで、接地面のタイヤトレッド部の絵柄による影響を除いた剛性を知ることができる。また、最大最小の幅ないし分散を用いれば、接地面でのトレッド面の絵柄の変化による剛性変化を知ることができる。また、解析装置50は、作成したそれぞれの解析モデルについての剛性を算出し、算出した剛性を比較して、第1領域の剛性を算出してもよい。つまり、基準となる解析モデルを作成し、その解析モデルから一部の条件、例えば相対位置等を変更した解析モデルも作成し、それぞれの解析モデルについて剛性を算出し、算出した剛性に基づいて基準とした解析モデルの剛性を算出することが好ましい。

【0082】

また、解析装置は、剛性の解析として、算出した第1領域の剛性に基づいて、接地域の接触接線方向の物理量の分布を取得し、物理量の分布から、接地域内の複数の部分の寄与を算出することが好ましい。これにより、部分ごとに計算を繰り返さなくても、接地域内全体としての特性を求める計算を行うだけで、部分ごとを評価することができる。なお、接触接線方向の物理量としては、接触接線力、接触せん断力、接触せん断応力などが挙げられる。また、物理量の分布は、タイヤトレッド部の画像に重ねて表示することが好ましい。これにより、視覚的に寄与を見ることができる。

【0083】

（評価例）

次に、図11Aから図11Dおよび図12を用いて、本実施形態のシミュレーション方法を実行した評価例について説明する。ここで、図11Aから図11Dは、それぞれ本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。また、図12は、本実施形態に係るタイヤのシミュレーション方法の解析結果の一例を示す説明図である。サイズが215/55R17、空気圧230kPaのタイヤモデルと、路面モデルの解析モデルを用いて、図3から図5に係るタイヤのシミュレーション方法を実行した。図11Aから図11Dに示すように、タイヤモデルは、解析結果242、244、246、248に示すようにタイヤのトレッド部に周方向に延在する主溝252が形成され、これにより接地面が分断された複数の陸部254となっている。この陸部254は、タイヤ幅方向に延在する横溝256により分断されている。これにより陸部254は、周方向に列状に配置された複数のブロック部258で構成される。タイヤモデルに負荷する荷重は、4.5kNとし、タイヤモデルと路面モデルとの摩擦係数は、1.0のクーロン摩擦とした。さらに、タイヤモデルのベルトより内側の節点の相対変位を拘束することで、第1領域と第2領域との境界を含む領域を略剛体化した。また、剛性の解析は、入力として路面モデルをタイヤモデルに対してタイヤ周方向に1mm変位させ、その際にタイヤモデルから路面モデルに生じる反力を出力として検出した。また、剛性は、路面の反力/路面に与えた変位（単位はN/mm）で算出した。

【0084】

また、本評価例では、基準とする接地位置、基準からタイヤモデルと路面モデルとの相対位置をタイヤ周方向に1/4ピッチ分ずらした接地位置、基準からタイヤモデルと路面モデルとの相対位置をタイヤ周方向に2/4（1/2）ピッチ分ずらした接地位置、基準からタイヤモデルと路面モデルとの相対位置をタイヤ周方向に3/4ピッチ分ずらした接地位置の4つの場合について剛性を解析した。なお、ピッチとは、タイヤトレッド部に形成されるブロックの繰り返し単位の1つ分の長さである。解析結果を図11Aから図11Dに示す。なお、図11Aには、基準位置の解析結果242、図11Bは、1/4ピッチずらした位置の解析結果244、図11Cは、1/2ピッチずらした位置の解析結果24

6、図11Dには、3/4ピッチずらした位置の解析結果248を示す。また、図11Aから図11Dに示す解析結果242、244、246、248では、各部で検出された剛性を色によって示している。

【0085】

図11Aから図11Dに示すように、本実施形態のシミュレーション方法によれば、路面モデルとタイヤモデルとの接触位置によって、検査される剛性が異なることがわかる。具体的には、図11Aに示す解析結果242から算出されたブロック部の剛性は1313.5 N/mmであり、図11Bに示す解析結果244から算出されたブロック部の剛性は1328.7 N/mmであり、図11Cに示す解析結果246から算出されたブロック部の剛性は1334.7 N/mmであり、図11Dに示す解析結果248から算出されたブロック部の剛性は1320.4 N/mmである。また、4つの解析結果242、244、246、248から算出されたブロック部の剛性の平均値は、1324.3 N/mmである。以上より、タイヤモデルの変形計算（接地解析）を行い、タイヤモデルを変形させ、その形状に基づいて剛性を解析することで、より正確な剛性を算出できることがわかる。

【0086】

また、解析した結果に基づいて、タイヤ周方向の接触せん断応力の分布を算出した結果を図12に示す。図12の解析結果280に示すように、本実施形態のシミュレーション方法を用いることで、タイヤ周方向の接触せん断応力の分布も好適に算出することができる。

【符号の説明】

【0087】

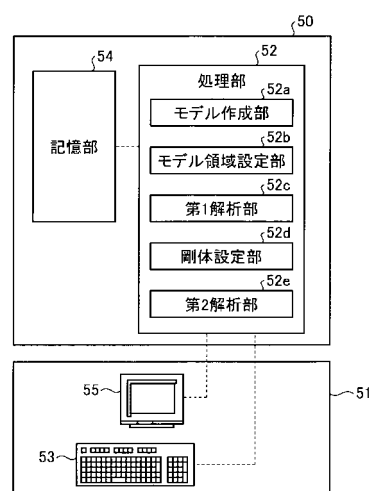
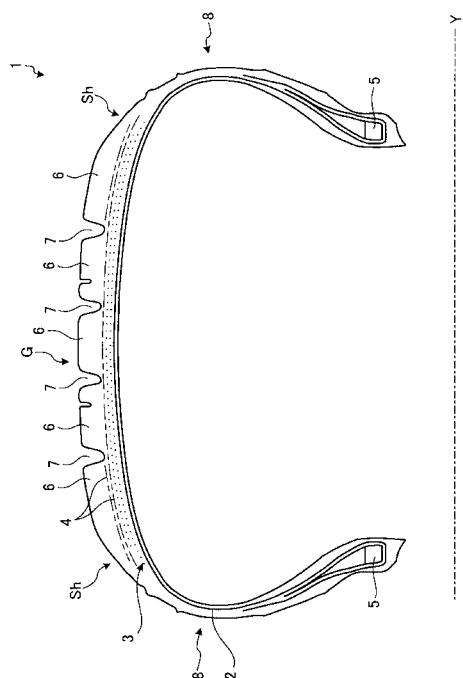
- 1 タイヤ
- 50 解析装置
- 51 入出力装置
- 52 処理部
- 52a モデル作成部
- 52b モデル領域設定部
- 52c 第1解析部
- 52d 剛体設定部
- 52e 第2解析部
- 54 記憶部
- 60 解析モデル
- 62 タイヤモデル
- 64 路面モデル
- 72 タイヤトレッド部
- 74 タイヤサイド部
- 76、78 領域
- 82 第1領域
- 84 第2領域

10

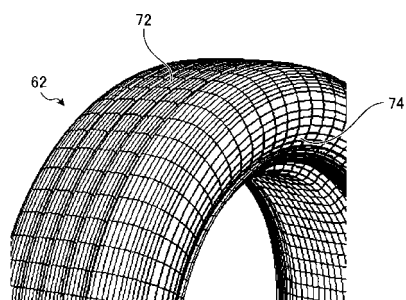
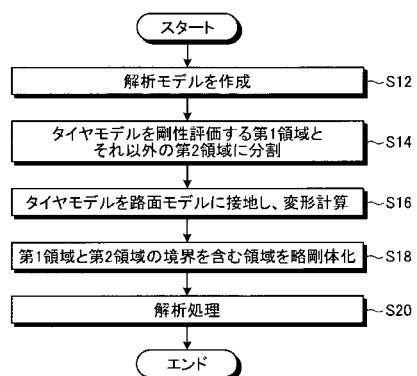
20

30

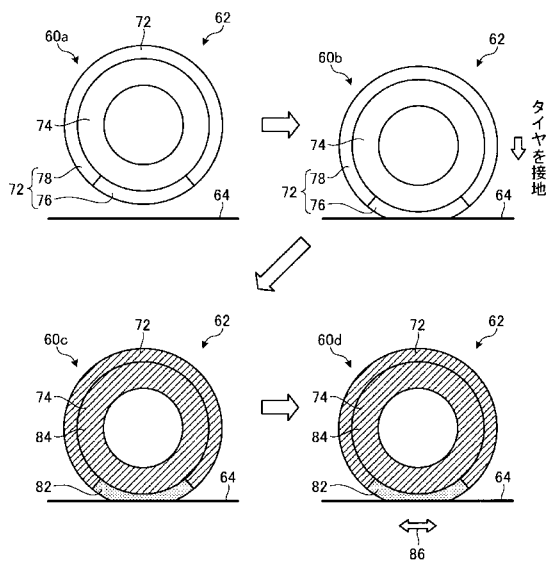
【図 2】



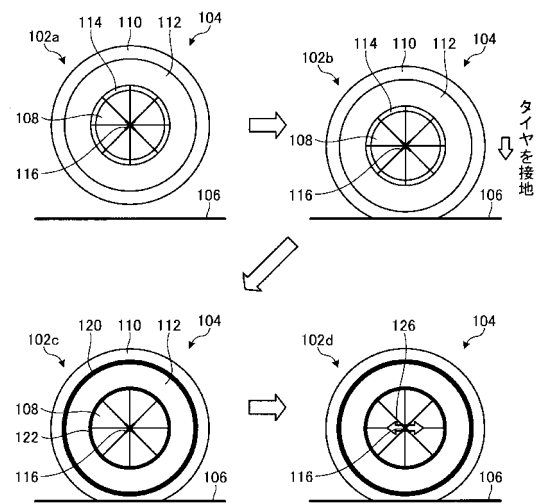
【図 4】



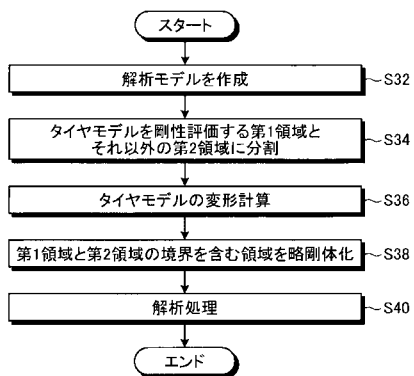
【図 5】



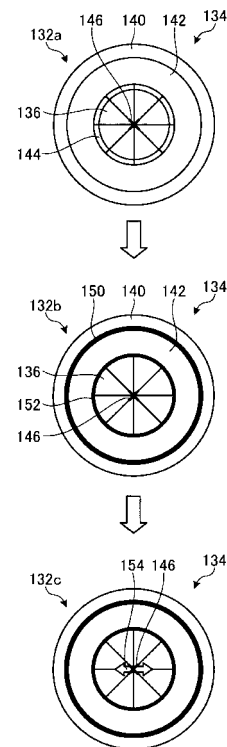
【図 6】



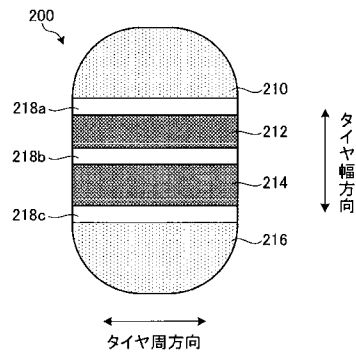
【図 7】



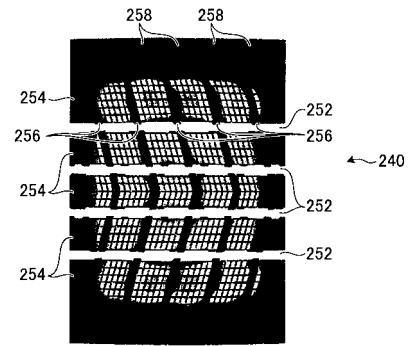
【図 8】



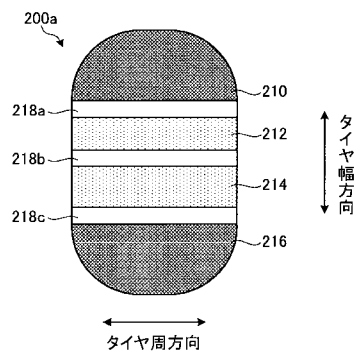
【図 9】



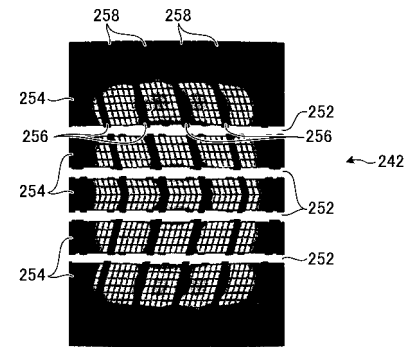
【図 1 1 A】



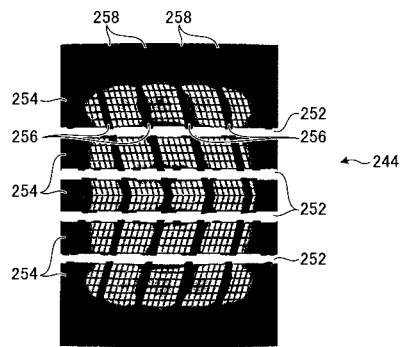
【図 1 0】



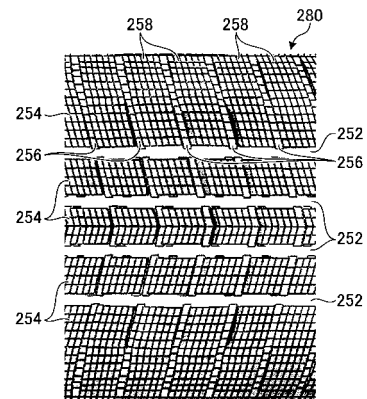
【図 1 1 B】



【図 1 1 C】



【図 1 2】



【図 1 1 D】

