

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5186015号
(P5186015)

(45) 発行日 平成25年4月17日 (2013. 4. 17)

(24) 登録日 平成25年1月25日 (2013. 1. 25)

(51) Int. Cl.

G 0 6 F 17/50 (2006.01)

F I

G 0 6 F 17/50 6 1 2 J

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2011-49309 (P2011-49309)	(73) 特許権者	000183233
(22) 出願日	平成23年3月7日 (2011. 3. 7)		住友ゴム工業株式会社
(65) 公開番号	特開2012-185733 (P2012-185733A)		兵庫県神戸市中央区脇浜町 3 丁目 6 番 9 号
(43) 公開日	平成24年9月27日 (2012. 9. 27)	(74) 代理人	100104134
審査請求日	平成23年11月28日 (2011. 11. 28)		弁理士 住友 慎太郎
		(72) 発明者	内藤 正登
			兵庫県神戸市中央区脇浜町 3 丁目 6 番 9 号
			住友ゴム工業株式会社内
		審査官	早川 学

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コンピュータが、マトリックスゴム中に略円形状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの二次元の有限要素モデルを作成するための方法であって、

前記マトリックスゴム及び前記フィラーをそれぞれ正方形又は長方形の要素でモデル化して第 1 の有限要素モデルを作成する第 1 工程と、

前記第 1 の有限要素モデルにおいて、前記マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、前記フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、前記フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む前記要素を変形させた第 2 の有限要素モデルを作成する第 2 工程とを含み、

前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、該境界の節点と前記フィラーモデル部の中心とを通る直線上で移動させることを特徴とするフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【請求項 2】

前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、前記直線と前記フィラーの輪郭との交点へ移動させる請求項 1 に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【請求項 3】

前記第 2 工程は、複数の前記境界の節点が同一の前記直線上で重複するかを確認する工程、及び

上記工程で重複すると判断された場合の前記境界の節点に対し、該境界の節点と前記交

10

20

点との距離を計算して、該距離に0よりも大かつ1よりも小の係数を乗じた修正距離で前記直線上を移動させる工程をさらに含む請求項2に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【請求項4】

コンピュータが、マトリックスゴム中に略球状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの三次元の有限要素モデルを作成するための方法であって、

前記マトリックスゴム及び前記フィラーをそれぞれ六面体要素でモデル化して第1の有限要素モデルを作成する第1工程と、

前記第1の有限要素モデルにおいて、前記マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、前記フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、前記フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む六面体要素を変形させた第2の有限要素モデルを作成する第2工程とを含み、

前記第2工程は、前記各境界の節点を、該境界の節点と前記フィラーモデル部の中心とを通る直線上で移動させることを特徴とするフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【請求項5】

前記第2工程は、前記各境界の節点を、前記直線と前記フィラーの輪郭との交点へ移動させる請求項4に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【請求項6】

前記第2工程は、複数の前記境界の節点が同一の前記直線上で重複するかを確認する工程、及び

上記工程で重複すると判断された場合の前記境界の節点に対し、該境界の節点と前記交点との距離を計算して、該距離に0よりも大かつ1よりも小の係数を乗じた修正距離で前記直線上を移動させる工程をさらに含む請求項5に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、シミュレーション精度を向上しうるフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、有限要素法を用いたコンピュータシミュレーションが種々行われている。このようなシミュレーションでは、解析対象物をコンピュータで取り扱い可能な有限個の要素に分割（離散化）して有限要素モデルを作成し、この有限要素モデルに各種の特性を加えて各要素の節点の変位などを計算する変形計算が行われる。

【0003】

また、有限要素モデルは、種々の方法で作成される。例えば、図19に示されるマトリックスゴムcの中にフィラーdが分散配置されたフィラー配合ゴムbが解析対象物である場合、図20（a）に示されるように、マトリックスゴムc及びフィラーdをそれぞれ正方形又は長方形の要素eでモデル化し、該マトリックスゴムcをなすマトリックスモデル部gと、該フィラーdをなすフィラーモデル部hとを含む有限要素モデルaが一般的に作成されている。なお、関連する先行技術としては、次のものがある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-276147号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

20

30

40

50

ところで、ゴムには体積が変化しない特性（非圧縮性）があるため、マトリックスモデル部 g にも非圧縮性が定義されて変形計算が行なわれる。

【0006】

しかしながら、上記のような有限要素モデル a では、図 20 (b) に拡大して示されるように、フィラーモデル部 h の表面に大きな凹凸 i が形成されるため、フィラーモデル部 h とマトリックスモデル部 g との境界において、接触範囲が過度に大きくなり、マトリックスモデル部 g がフィラーモデル部 h に拘束されて、その変形が大幅に抑制される。これにより、フィラーモデル部 h に接するマトリックスモデル部 g は、その剛性が実際よりも過度に大きく計算されてしまい、シミュレーション精度が低下するという問題があった。

【0007】

本発明は、以上のような実状に鑑み案出されたもので、マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させて、該境界の節点を含む要素を変形させる工程を含ませることを基本として、シミュレーション精度を向上しうるフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法を提供することを主たる目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0008】

本発明のうち請求項 1 記載の発明は、コンピュータが、マトリックスゴム中に略円形状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの二次元の有限要素モデルを作成するための方法であって、前記マトリックスゴム及び前記フィラーをそれぞれ正方形又は長方形の要素でモデル化して第 1 の有限要素モデルを作成する第 1 工程と、前記第 1 の有限要素モデルにおいて、前記マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、前記フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、前記フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む前記要素を変形させた第 2 の有限要素モデルを作成する第 2 工程とを含み、前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、該境界の節点と前記フィラーモデル部の中心とを通る直線上で移動させることを特徴とする。

【0010】

また、請求項 2 記載の発明は、前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、前記直線と前記フィラーの輪郭との交点へ移動させる請求項 1 に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法である。

【0011】

また、請求項 3 記載の発明は、前記第 2 工程は、複数の前記境界の節点が同一の前記直線上で重複するかを確認する工程、及び上記工程で重複すると判断された場合の前記境界の節点に対し、該境界の節点と前記交点との距離を計算して、該距離に 0 よりも大かつ 1 よりも小の係数を乗じた修正距離で前記直線上を移動させる工程をさらに含む請求項 2 に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法である。

【0012】

また、請求項 4 記載の発明は、コンピュータが、マトリックスゴム中に略球状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの三次元の有限要素モデルを作成するための方法であって、前記マトリックスゴム及び前記フィラーをそれぞれ六面体要素でモデル化して第 1 の有限要素モデルを作成する第 1 工程と、前記第 1 の有限要素モデルにおいて、前記マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、前記フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、前記フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む六面体要素を変形させた第 2 の有限要素モデルを作成する第 2 工程とを含み、前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、該境界の節点と前記フィラーモデル部の中心とを通る直線上で移動させることを特徴とする。

【0014】

また、請求項 5 記載の発明は、前記第 2 工程は、前記各境界の節点を、前記直線と前記フィラーの輪郭との交点へ移動させる請求項 4 に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法である。

【0015】

また、請求項6記載の発明は、前記第2工程は、複数の前記境界の節点が同一の前記直線上で重複するかを確認する工程、及び上記工程で重複すると判断された場合の前記境界の節点に対し、該境界の節点と前記交点との距離を計算して、該距離に0よりも大かつ1よりも小の係数を乗じた修正距離で前記直線上を移動させる工程をさらに含む請求項5に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法である。

【発明の効果】

【0016】

請求項1に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法では、コンピュータが、マトリックスゴム中に略円形状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの二次元の有限要素モデルを作成する。

10

【0017】

この作成方法では、マトリックスゴム及びフィラーをそれぞれ正方形又は長方形の要素でモデル化して第1の有限要素モデルを作成する第1工程と、第1の有限要素モデルにおいて、マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む要素を変形させた第2の有限要素モデルを作成する第2工程とを含む。

【0018】

このように、請求項1に記載の作成方法では、フィラーモデル部の表面に形成されがちな大きな凹凸を小さくして、滑らかな表面形状にできる。従って、従来のように、フィラーモデル部に接触するマトリックスモデル部の剛性が大に見積られることを抑制でき、シミュレーション精度を向上しうる。

20

【0019】

しかも、この作成方法では、マトリックスゴム及びフィラーを正方形又は長方形の要素でモデル化した後に、一部の要素を変形するだけで滑らかな表面形状にできるので、例えば、さらに微細な要素でモデル化して滑らかな表面形状にする場合に比べて、処理時間を大幅に短縮しうる。

【0020】

また、請求項4に記載のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法では、コンピュータが、マトリックスゴム中に略球状をなすフィラーが分散配置されたフィラー配合ゴムの三次元の有限要素モデルを作成する。

30

【0021】

この作成方法では、マトリックスゴム及びフィラーをそれぞれ六面体要素でモデル化して第1の有限要素モデルを作成する第1工程と、第1の有限要素モデルにおいて、マトリックスゴムをなすマトリックスモデル部と、フィラーをなすフィラーモデル部との境界の節点を、フィラーモデル部の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させ、該境界の節点を含む六面体要素を変形させた第2の有限要素モデルを作成する第2工程とを含む。

【0022】

このように、請求項5に記載の作成方法では、フィラーモデル部の表面に形成されがちな大きな凹凸を小さくして、滑らかな表面形状にできる。従って、従来のように、フィラーモデル部に接触するマトリックスモデル部の剛性が大に見積られることが抑制でき、シミュレーション精度を向上しうる。

40

【0023】

しかも、この作成方法では、マトリックスゴム及びフィラーを、六面体要素でモデル化でモデル化した後に、一部の六面体要素を変形するだけで滑らかな表面形状にできるので、例えば、さらに微細な六面体要素でモデル化して滑らかな表面形状にする場合に比べて、処理時間を大幅に短縮しうる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本実施形態の処理を行なうコンピュータ装置の斜視図である。

50

【図 2】本実施形態の作成方法のフローチャートである。

【図 3】第 1 工程のフローチャートである。

【図 4】第 2 工程のフローチャートである。

【図 5】(a) は二次元空間を示す平面図、(b) は (a) を拡大して示す平面図である。

【図 6】第 1 の有限要素モデルを示す平面図である。

【図 7】(a) は要素を拡大して示す平面図、(b) は変形後の要素を示す平面図である。

【図 8】第 2 の有限要素モデルを示す平面図である。

【図 9】シミュレーション結果を示す応力-伸びの関係を示すグラフである。

10

【図 10】(a) は要素を拡大して示す平面図、(b) は変形後の要素を示す平面図である。

【図 11】他の実施形態の第 2 工程のフローチャートである。

【図 12】フィラー配合ゴムの斜視図である。

【図 13】三次元空間を示す断面斜視図を示す断面斜視図である。

【図 14】六面体要素を示す斜視図である。

【図 15】第 1 の有限要素モデルを示す断面斜視図である。

【図 16】(a) は六面体要素を示す斜視図、(b) は変形後の六面体要素を示す斜視図である。

【図 17】第 2 の有限要素モデルを示す断面斜視図である。

20

【図 18】シミュレーション結果を示す応力-伸びの関係を示すグラフである。

【図 19】フィラー配合ゴムの断面図である。

【図 20】(a) は従来の有限要素モデルを示す平面図、(b) は (a) の拡大図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下、本発明の実施の一形態が図面に基づき説明される。

図 1 に示されるように、本実施形態のフィラー配合ゴムの有限要素モデルの作成方法は、図 19 に示されるフィラー配合ゴム b の変形をシミュレーションするために、コンピュータ 1 が、前記フィラー配合ゴム b の二次元の有限要素モデル 2 (図 8 に示す) を作成するための方法である。このフィラー配合ゴム b は、マトリックスゴム c 中に、例えば、カーボンブラックからなる略円形状のフィラー d が分散配置される。

30

【0026】

図 1 に示されるように、コンピュータ 1 は、本体 1 a、キーボード 1 b、マウス 1 c 及びディスプレイ装置 1 d を含む。前記本体 1 a には、演算処理装置 (CPU)、ROM、作業用メモリー、磁気ディスクなどの記憶装置及びディスクドライブ装置 1 a 1、1 a 2 などが設けられる。なお、記憶装置には、本実施形態の作成方法を実行するための処理手順 (プログラム等) が予め記憶される。

【0027】

図 2 には、本実施形態の作成方法のフローチャートが示される。

40

この作成方法では、マトリックスゴム c 及びフィラー d をモデル化して第 1 の有限要素モデル 2 A (図 6 に示す) を作成する第 1 工程 S 1、及び図 8 に示されるマトリックスゴム c をなすマトリックスモデル部 4 とフィラー d をなすフィラーモデル部 5 との境界の節点 7 を含む要素 6 を変形させた第 2 の有限要素モデル 2 B を作成する第 2 工程 S 2 を含む。

【0028】

前記第 1 工程 S 1 では、図 3、図 5 (a) に示されるように、コンピュータ 1 (図 1 に示す) が、例えば、予め決定された二次元空間 3 を格子状に区分する複数の要素 6 に、予め記憶されているフィラー d (図 19 に示す) の輪郭 9 の座標をあてはめて、マトリックスゴム c をなすマトリックスモデル部 4、及びフィラー d をなすフィラーモデル部 5 を各

50

要素6でモデル化し、それらの座標を記憶する。

【0029】

具体的には、図5(b)に拡大して示されるように、各要素6の中心6cが、フィラーdの輪郭9よりも図5(a)に示されるフィラーdの中心(フィラーdが非円形である場合は図心とし、以下同じである。)10側に配されるものをフィラーモデル部5の要素6とし、それ以外をマトリックスモデル部4の要素6としてモデル化している。

【0030】

これにより、二次元空間3には、図6に示されるように、マトリックスモデル部4とフィラーモデル部5とを含む第1の有限要素モデル2Aが形成される。この例では、理解しやすいように、フィラーモデル部5が着色されて表示される。

10

【0031】

前記二次元空間3は、例えば一辺の長さL1が50～150nm程度の正方形に形成される。また、本実施形態の要素6は、図5(b)に示されるように、4つの前記節点7と、各節点7、7を間を直線で繋ぐ4本の辺8とで形成され、その一辺の長さL2が0.1～3nm程度の正方形に形成される。なお、この要素6は、本実施形態のような正方形に限定されるわけではなく、例えば長方形ものでもよい。

【0032】

次に、前記第2工程S2では、第1の有限要素モデル2Aにおいて、コンピュータ1が、マトリックスモデル部4とフィラーモデル部5との境界の節点7A(図5(b)に示す)を、フィラーモデル部5の表面の凹凸13(図6に示す)が小さくなる向きに移動させて、該境界の節点7Aを含む要素6を変形させた第2の有限要素モデル2B(図8に示す)を作成する。

20

【0033】

具体的には、図4、図7(a)に示されるように、コンピュータ1が、フィラーdの中心10(図6に示す)と、各境界の節点7Aとを通る直線11に沿って、境界の節点7Aを、該直線11とフィラーdの輪郭9との交点12へ移動させるのが望ましい。

【0034】

図7(b)に示されるように、この境界の節点7Aの移動に伴い、境界の節点7Aを含む要素6のみが変形し、図8に示される第2の有限要素モデル2Bが形成される。そして、境界の接点7Aを含む要素6の各座標は、コンピュータ1(図1に示す)に記憶される。

30

【0035】

この第2の有限要素モデル2Bでは、図7(b)に示されるように、境界の節点7A間をのびる辺8が滑らかに連なり、フィラーモデル部5の表面の凹凸13(図6に示す)が小に形成される。一方、境界の節点7Aを含まない要素6は、変形されることなく、第1の有限要素モデル2Aのときと同じ形状(本実施形態では、正方形)が維持されるので、処理時間を大幅に短縮しうる。

【0036】

また、第2の有限要素モデル2Bのマトリックスモデル部4及びフィラーモデル部5の各要素6には、シミュレーションによる数値解析に必要な情報が定義される。この数値解析とは、例えば有限要素法等の数値解析法を意味する。また、解析に必要な情報としては、各要素6を構成する節点7の番号や座標値が少なくとも含まれる。

40

【0037】

さらに、各要素6には、各々が代表する部分の材料特性(物性値)などが定義される。即ち、マトリックスモデル部4及びフィラーモデル部5の各要素6には、それぞれ図19に示されるマトリックスゴムc及びフィラーdの物性に応じた材料定数が定義される。そして、これらの情報は、いずれも前記コンピュータ1に記憶される。

【0038】

図9には、図19に示されるフィラー配合ゴムbを0～80%伸長させたときの応力と伸びとの測定結果が破線で示される。また、図9には、本実施形態の第2の有限要素モデ

50

ル2 B（要素数：1 6 0 0 個）を0～8 0 %伸長させたときの応力と伸びとのシミュレーション結果（実施例1）が実線で示されるとともに、図2 0（a）に示される正方形の要素eのみでモデル化された有限要素モデルa（要素数：1 6 0 0 個）のシミュレーション結果（比較例1）が二点鎖線で示される。

【0 0 3 9】

これらの結果より、実施例1は、比較例1に比べてシミュレーション精度を向上しうることが確認できる。これは、実施例1の第2の有限要素モデル2 Bが、フィラーモデル部5の表面に形成される凹凸1 3（図6に示す）を小さくして、滑らかな表面形状に形成できるため、従来のように、フィラーモデル部5に接触するマトリックスモデル部4の剛性が大に見積られることを抑制でき、シミュレーション精度を向上し得たと推察される。

10

【0 0 4 0】

なお、図1 0（a）に示されるように、第2の工程S 2において、複数の境界の節点7 A、7 Aが、同一の前記直線1 1上に位置する場合、各境界の節点7 A、7 Aを、直線1 1とフィラーdの輪郭9との交点1 2に移動させると、互いに重複する。このような重複は、その境界の節点7 Aを含む要素6が、例えば四辺形から三角形へと潰れてしまい、それらの剛性を計算できないおそれがある。

【0 0 4 1】

このような重複を抑制するために、第2工程S 2では、図1 0、図1 1に示されるように、コンピュータ1が、境界の節点7 Aを交点1 2に移動させる前に、同一の直線1 1上で複数の境界の節点7 Aが重複するかを確認する工程と、上記工程で重複すると判断された場合の境界の節点7 A、7 Aと交点1 2との距離L 3、L 3をそれぞれ計算して、該距離L 3、L 3に0よりも大かつ1よりも小の係数を乗じた修正距離で、境界の節点7 A、7 Aを直線1 1に沿って交点1 2側へ移動させる工程がさらに含まれるのが望ましい。これにより、図1 0（b）に示されるように、境界の節点7 Aの重複が抑制され、シミュレーション精度が向上する。

20

【0 0 4 2】

次に、本発明の他の実施形態の作成方法が示される。

本実施形態の作成方法は、コンピュータ1が、図1 2に示されるフィラー配合ゴムbの三次元の有限要素モデル2 0（図1 7に示す）を用いて作成する方法である。このような有限要素モデル2 0は、マトリックスゴムcにフィラーdが三次元に分散した三次元構造のモデルを作成できるので、二次元の有限要素モデル2 に比べてシミュレーション精度を向上しうる。

30

【0 0 4 3】

この作成方法では、マトリックスゴムc及びフィラーdをそれぞれ、六面体要素2 4でモデル化して第1の有限要素モデル2 0 A（図1 5に示す）を作成する第1工程S 1、及び六面体要素2 4を変形させた第2の有限要素モデル2 0 B（図1 7に示す）を作成する第2工程S 2を含む。

【0 0 4 4】

前記第1工程S 1では、図1 3に示されるように、コンピュータ1が、例えば、予め決定された三次元空間2 1を区分する六面体要素2 4に、予め記憶されている三次元のフィラーd（図1 2）の輪郭2 7の座標をあてはめて、マトリックスゴムcをなすマトリックスモデル部2 2、及びフィラーdをなすフィラーモデル部2 3を各六面体要素2 4でモデル化し、それらの座標を記憶する。

40

【0 0 4 5】

具体的には、図1 4に示されるように、各六面体要素2 4の中心2 4 cがフィラーdの輪郭2 7の座標よりも、該フィラーdの中心2 8（図1 3に示す）側に配されるものをフィラーモデル部2 3の六面体要素2 4とし、それ以外をマトリックスモデル部2 2の六面体要素2 4としてモデル化している。

【0 0 4 6】

これにより、三次元空間2 1には、図1 5に示されるように、マトリックスモデル部2

50

2とフィラーモデル部23とを含む第1の有限要素モデル20Aが形成される。この例では、理解しやすいように、フィラーモデル部23が着色されて表示される。

【0047】

前記三次元空間21は、図13に示されるように、例えば一辺の長さL6が50～150nm程度の立方体に形成される。また、本実施形態の六面体要素24は、図14に示されるように、8つの節点25と、各節点25、25を間を直線で繋ぐ12本の辺26とで形成され、その一辺の長さL7が0.1～3nm程度の立方体に形成される。

【0048】

次に、前記第2工程S2では、図14に示されるように、第1の有限要素モデル20Aにおいて、コンピュータ1が、マトリックスモデル部22とフィラーモデル部23との境界の節点25Aを、フィラーモデル部23の表面の凹凸が小さくなる向きに移動させて、該境界の節点25Aを含む六面体要素24を変形させた第2の有限要素モデル20B（図17に示す）を作成する。

10

【0049】

具体的には、図16（a）、（b）に示されるようにコンピュータ1が、予め記憶されているフィラーdの中心28（図15に示す）と、各境界の節点25Aとを通る直線29において、境界の節点25Aを、該直線29とフィラーdの輪郭27との交点30へ移動させるのが望ましい。

【0050】

これにより、境界の節点25Aを含む六面体要素24のみが変形し、図17に示されるフィラーモデル部23の表面の凹凸が小に形成された第2の有限要素モデル20Bが形成される。一方、境界の節点25Aを含まない六面体要素24は、変形されることなく、第1の有限要素モデル20Aのときと同じ形状が維持されるので、処理時間を大幅に短縮する。そして、第2の有限要素モデル20Bの各マトリックスモデル部22及びフィラーモデル部23の各座標は、コンピュータ1に記憶される。

20

【0051】

また、各六面体要素24には、該六面体要素24を構成する節点25の番号や、節点25の座標値等、シミュレーションによる数値解析に必要な情報や、図12に示されるマトリックスゴムc及びフィラーdの物性に応じた材料定数等が定義され、コンピュータ1に記憶される。

30

【0052】

図18には、図12に示されるフィラー配合ゴムbを0～80%伸長させたときの応力と伸びとの測定結果が破線で示される。また、図18には、本実施形態の第2の有限要素モデル20B（要素数：64000個）を0～80%伸長させたときの応力と伸びとのシミュレーション結果（実施例2）が実線で示されるとともに、図15に示される第1の有限要素モデル20A（要素数：64000個）のシミュレーション結果（比較例2）が二点鎖線で示される。

【0053】

これらの結果より、実施例1は、比較例1に比べてシミュレーション精度を向上しうることが確認できる。これは、実施例1の第2の有限要素モデル20Bが、フィラーモデル部23の表面に形成される凹凸を小さくできるため、フィラーモデル部23に接触するマトリックスモデル部22の剛性が大に見積られることを抑制でき、シミュレーション精度を向上し得たと推察される。

40

【0054】

なお、第2の工程S2において、複数の境界の節点25Aが、同一の前記直線29上に位置する場合、前実施形態で説明したように、境界の節点25A、25Aが重複するおそれがある。

【0055】

このような重複を抑制するために、第2工程S2では、前実施形態と同様に、コンピュータ1が、境界の節点25Aを前記交点30に移動させる前に、同一の直線29上で複数

50

の境界の節点 25 A が重複するかを確認する工程と、上記工程で重複すると判断された場合の境界の節点 25 A と交点 30 との距離（図示省略）を計算して、該距離に 0 よりも大かつ 1 よりも小の係数を乗じた修正距離で直線 29 に沿って移動させる工程が含まれるのが望ましい。

【0056】

以上、本発明の特に好ましい実施形態について詳述したが、本発明は図示の実施形態に限定されることなく、種々の態様に変形して実施しうる。

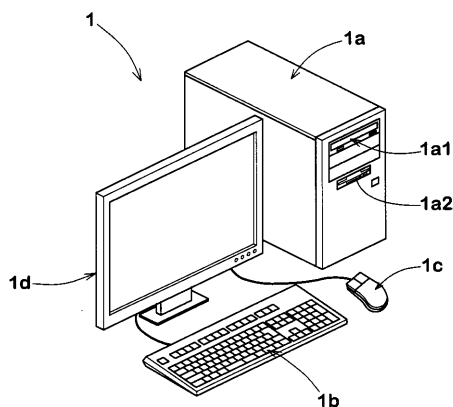
【符号の説明】

【0057】

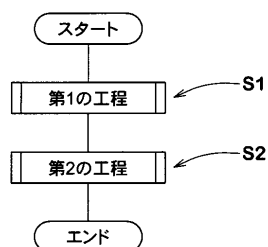
- 1 コンピュータ
- 2 有限要素モデル
- 4 マトリックスモデル部
- 5 フィラーモデル部
- 6 要素
- 7 節点
- b フィラー配合ゴム
- c マトリックスゴム
- d フィラー

10

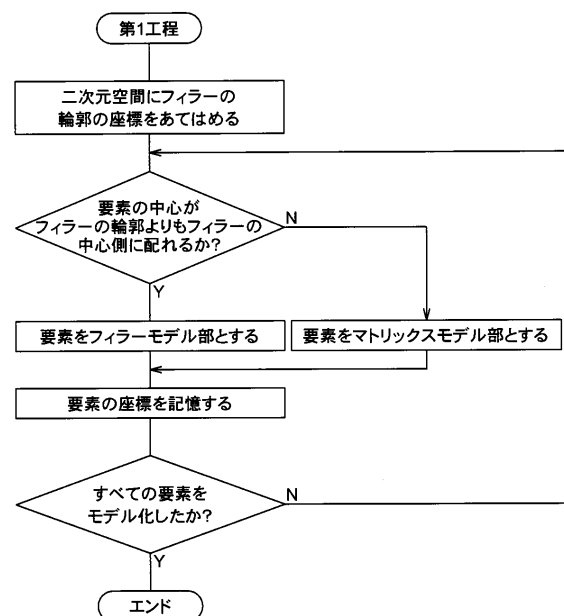
【図 1】



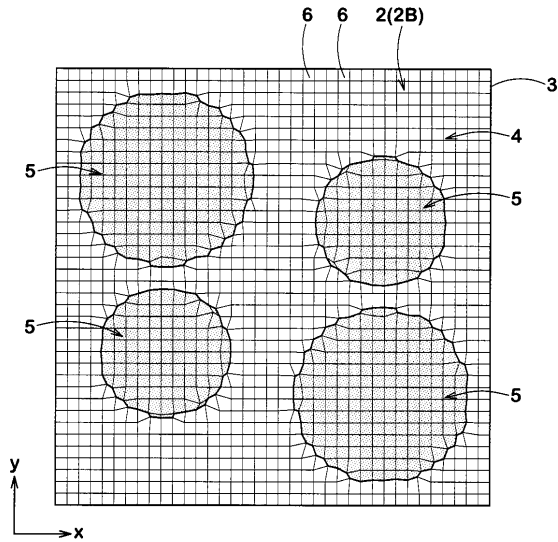
【図 2】



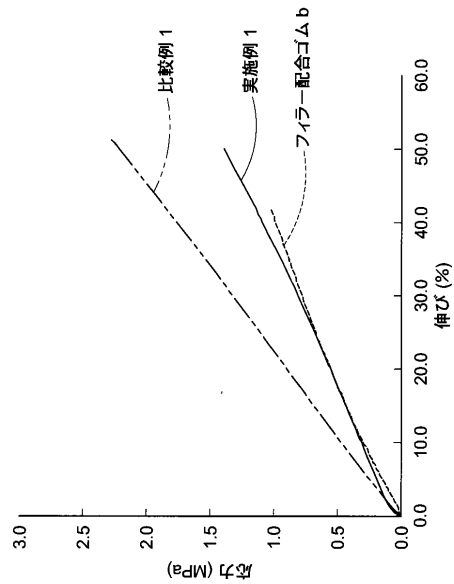
【図 3】



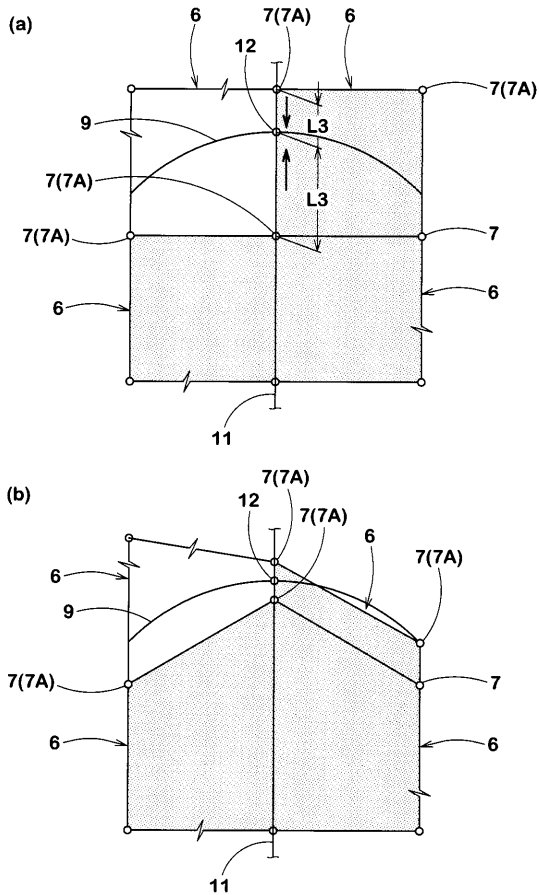
【図 8】



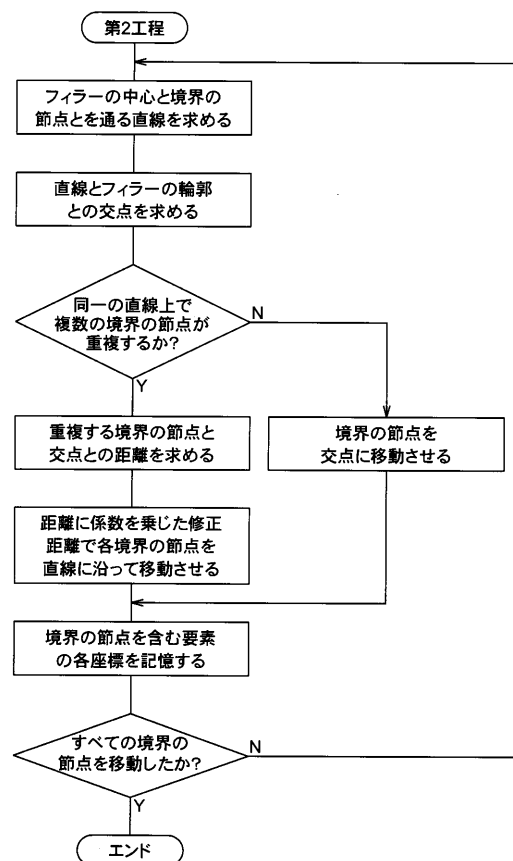
【図 9】



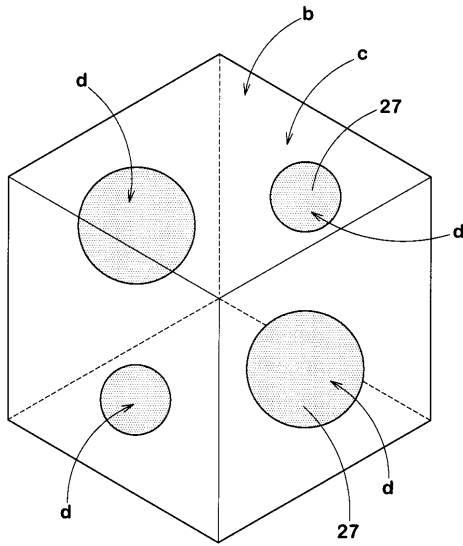
【図 10】



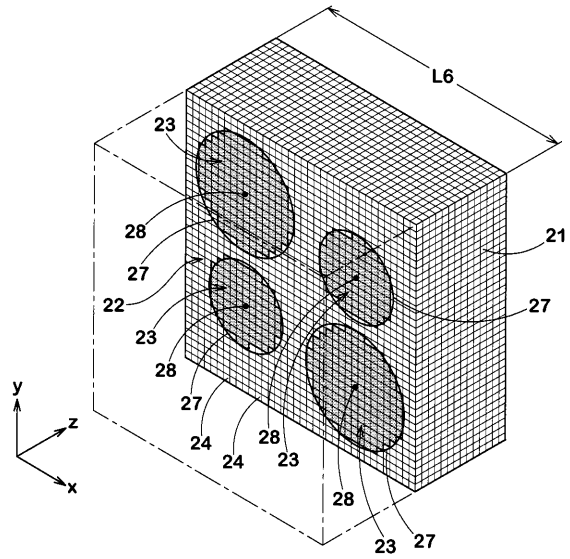
【図 11】



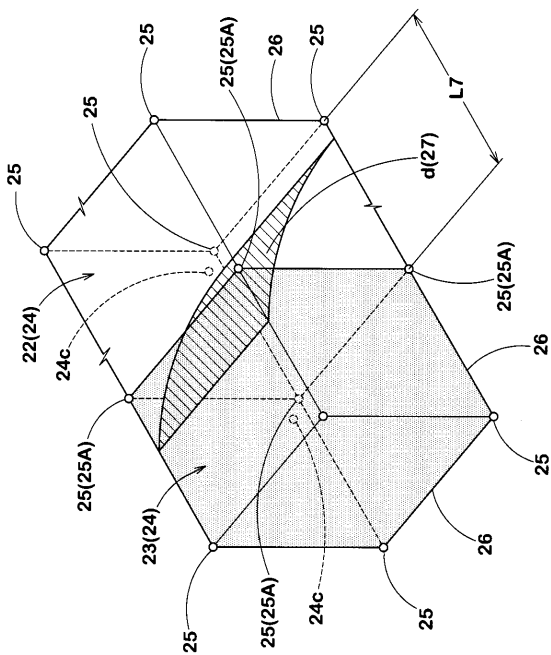
【図 1 2】



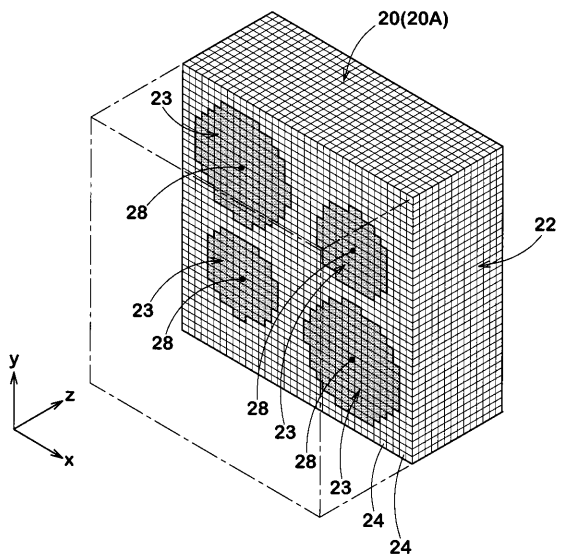
【図 1 3】



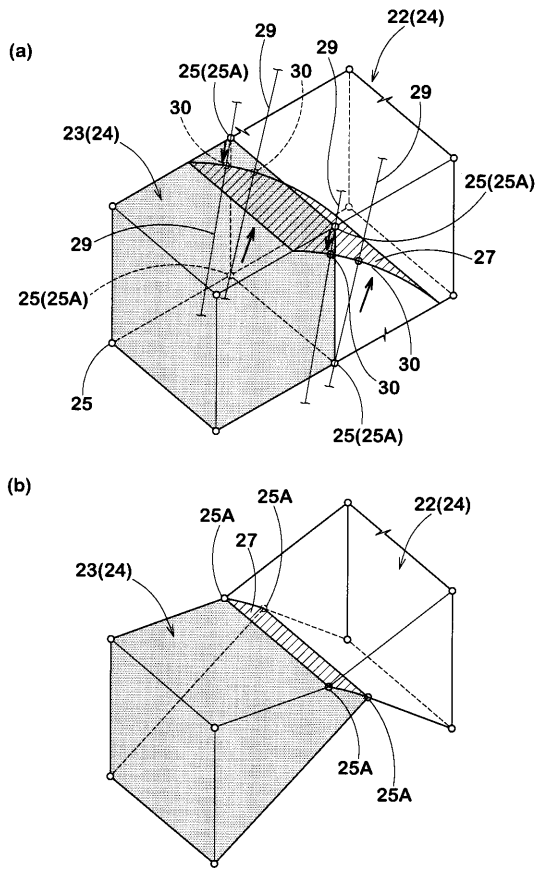
【図 1 4】



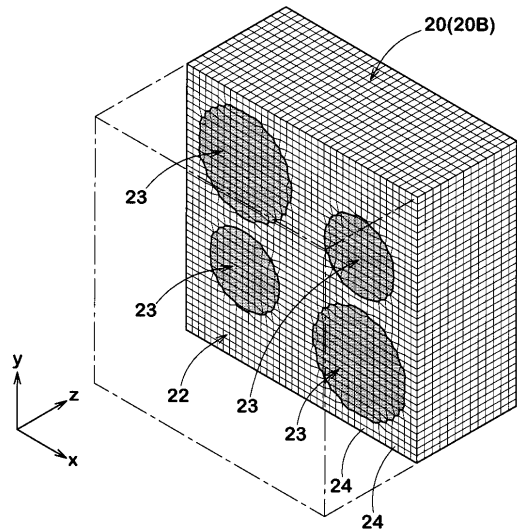
【図 1 5】



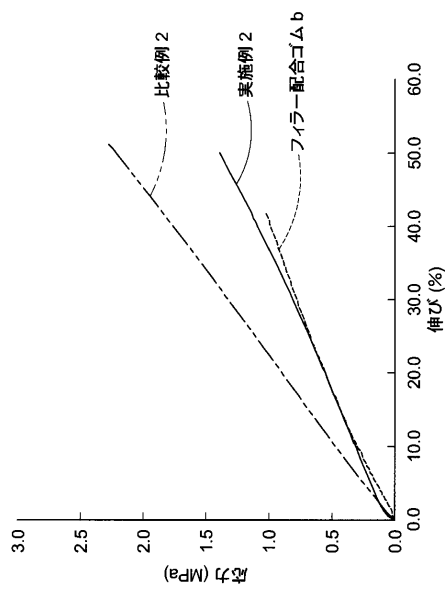
【図 16】



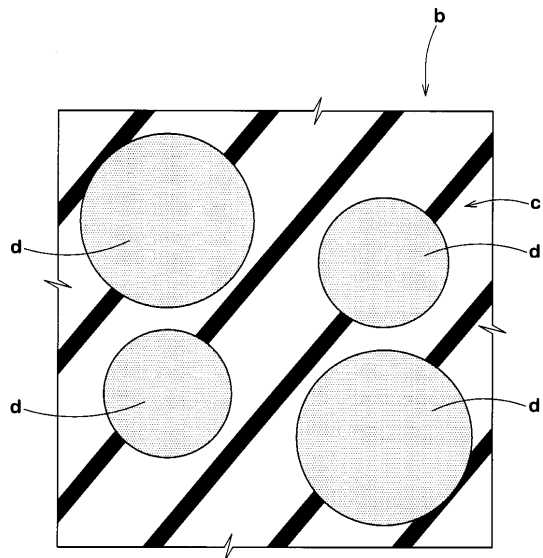
【図 17】



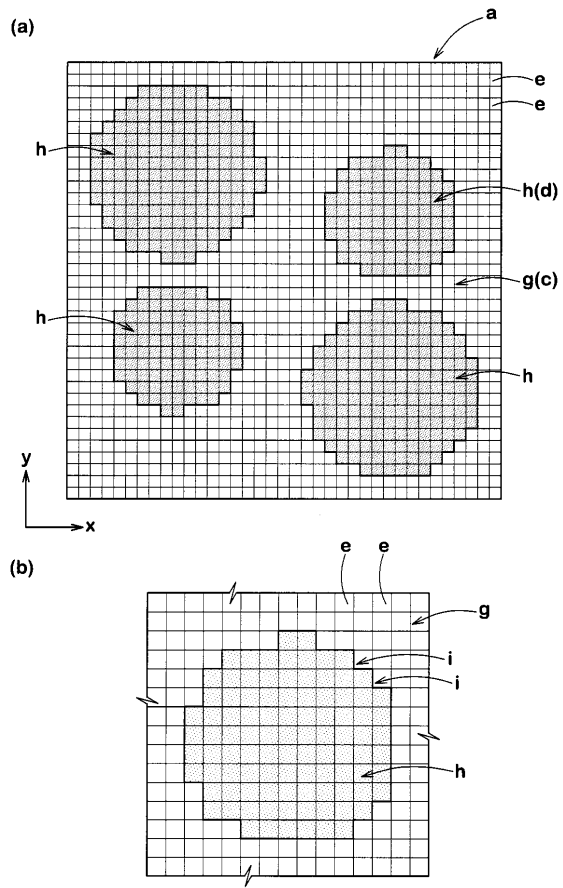
【図 18】



【図 19】



【図 20】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平11-025293 (JP, A)
特開2009-282569 (JP, A)
特開平11-283050 (JP, A)
特開2004-110212 (JP, A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50
Google Scholar