

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5698047号
(P5698047)

(45) 発行日 平成27年4月8日(2015.4.8)

(24) 登録日 平成27年2月20日(2015.2.20)

(51) Int.Cl.

G06F 17/50 (2006.01)

F I

G06F 17/50 612H

請求項の数 4 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2011-66191 (P2011-66191)	(73) 特許権者	899000079 学校法人慶應義塾 東京都港区三田2丁目15番45号
(22) 出願日	平成23年3月24日(2011.3.24)	(74) 代理人	100099254 弁理士 役 昌明
(65) 公開番号	特開2012-203547 (P2012-203547A)	(74) 代理人	100108729 弁理士 林 紘樹
(43) 公開日	平成24年10月22日(2012.10.22)	(74) 代理人	100139675 弁理士 役 学
審査請求日	平成26年3月18日(2014.3.18)	(72) 発明者	高橋 邦弘 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内
		(72) 発明者	熊澤 靖元 神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 荷重伝達経路探索装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

離散的な節点において値をもち負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を記憶する剛性指標記憶手段と、探索を行う範囲を示す探索小領域の中心点を設定する中心点設定手段と、支持点近傍の点を最初の中心点として中心点設定手段に設定する初期値設定手段と、探索小領域の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索する最大値探索手段と、最大値をもつ節点を記録する最大値節点記録手段と、最大値をもつ節点の近傍の節点を次の中心点として中心点設定手段に設定する中心点更新手段と、求めた中心点が負荷点近傍である場合に一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する荷重伝達経路出力手段とを具備することを特徴とする荷重伝達経路探索装置。

10

【請求項2】

離散的な節点において値をもち負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を剛性指標記憶手段に記憶し、初期値設定手段で支持点を最初の中心点として中心点設定手段に設定し、最大値探索手段で探索小領域の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索し、最大値節点記録手段に最大値節点を記録し、最大の剛性指標をもつ節点の近傍の節点を次の中心点として中心点更新手段で中心点設定手段に設定し、求めた中心点が負荷点近傍である場合に、荷重伝達経路出力手段で、一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力することを特徴とする荷重伝達経路探索方法。

【請求項3】

請求項2記載の荷重伝達経路探索方法をコンピュータで実行するための処理手順を記述し

20

たコンピュータプログラム。

【請求項 4】

請求項 3 記載のコンピュータプログラムを格納したコンピュータ読取可能な記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、荷重伝達経路探索装置に関し、特に、荷重経路解析における荷重伝達経路の探索に用いる荷重伝達経路探索装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、構造物における荷重の伝達経路を求める方法としては、応力分布を求めて、最大主応力の方向から荷重伝達経路を推定する方法がある。しかし、この方法では、構造物中の空隙の周辺などに応力集中が生ずる場合、構造設計の実態に即した荷重伝達経路とすることができない。もしこれを荷重経路と定義すると、空隙の近傍が大きな荷重を伝達していると結論付けることになり、設計に必要な実態が表現されない。荷重を伝えるには空隙を設けるべきだ、という誤謬が生ずるからである。そこで、本発明者等は、特許文献 4、5 等において、剛性指標 (U^* , U^{**}) を求めて、荷重伝達経路を推定する方法を提案した。剛性指標は、荷重が加わる点すなわち負荷点で最大値 1 になり、構造物が支持される支持点で最小値 0 になる。剛性指標は、ポテンシャル関数と同じ性質をもっており、2 点間の経路によらず、2 点間の剛性指標値の差は同じである。この方法を、ここでは剛性指標法と呼ぶことにする。

【0003】

剛性指標法では、剛性指標の分布の等高線を求め、その稜線すなわち尾根線に相当する曲線を荷重伝達経路として求める。稜線とは、等高線に直交する曲線群のうち、勾配が一番小さい曲線である。荷重経路は剛性指標分布の稜線をたどる。具体的には、特許文献 1 ~ 3 や非特許文献 1 に開示されているように、等高線に直交する曲線群を求める周知の方法により、荷重伝達経路を求める。あるいは、等高線を拡大して、手作業で稜線を描く方法で荷重伝達経路を求めてもよい。構造物内の剛性指標の分布は、負荷点の付近では明瞭だが、支持点の付近になると不明瞭になる。そのため、支持点の付近では一般に稜線がいまいになる。したがって、稜線を求める場合には、負荷点付近から追尾を始める。以下に、上記従来技術について簡単に説明する。

【0004】

特許文献 1 に開示された「等高線データ処理方法」は、既存の地形図から容易に稜線図を作成できる方法である。図 8 (a) に示すように、地形図等の平面上の任意の定められた原点を中心にして、平面上に書かれた等高線を追従させる機構と、等高線の値を予め入力できる入力部を有し、任意の等高線を追従した軌跡を、原点からの距離および角度で表現される極座標データとして取り込む。

【0005】

特許文献 2 に開示された「地形データ処理方法」は、電算機によって地形データ処理する方法である。等高線データを利用して落水線を自動的に発生させ、落水線から水平断面データと垂直断面データを生成する。記憶装置には、プログラムと等高線データと落水線データを記憶する領域がある。等高線位置関係判断手段は、選択した等高線のデータ点と標高が低い等高線データの最寄りのデータ点とを結ぶ線分が、他の等高線を横切らないことを条件として、最寄りのデータ点を含む等高線は選択した等高線の隣に存在する、と判断する。

【0006】

特許文献 3 に開示された「地形データ処理方法」は、手作業で実現していた専門家レベルの解析精度を維持しつつ、斜面の水平断面形をコンピュータ処理により分類する方法である。図 8 (b) に示すように、等高線のデータ点から、標高が 1 ランク低いか高い等高線へ最短距離の線を引いて交点を求める。あるデータ点を始点とし、それより 1 つ小さい

10

20

30

40

50

データ点を終点とするベクトル を演算する。あるデータ点を始点とし、交点を終点とするベクトル、'との外積を演算する。ベクトル、'と、あるデータ点を始点としそれより1つ大きいデータ点を終点とするベクトル との外積を演算する。ベクトルの両外積がともに正又は負であるとき、交点が等高線データの右側左側に位置すると判断する。参照点よりポイント番号が1つ小さいデータ点を始点とし、参照点を終点とするベクトルとベクトル により、参照点が等高線データの左右どちらに突き出ているかを判定する。

【0007】

特許文献4に開示された「荷重伝達経路法に基づく数値構造解析装置」は、計算時間を大幅に短縮するものである。図8(c)に示すように、解析対象構造物の支持点Bを固定し、特定負荷点Aに荷重をかけるようにパラメータを設定する。剛性行列保持手段の全体剛性行列に基づいて、有限要素法計算手段で、解析対象構造物の変形を計算して各点の変位量などの基本データを求める。特定負荷点Aと支持点Bを固定して、変化負荷点Cに3通りの検査荷重を与え、それぞれの変形を有限要素法計算手段で計算して変位量を求める。部分剛性行列計算手段で、解析対象構造物の内部剛性行列と荷重値と変位量に基づく多元連立一次方程式を解き、部分剛性行列 K_{AC} を求める。剛性指標計算手段で、部分剛性行列 K_{AC} と基本データの変位量などから剛性指標 U^* の値を計算する。解析対象構造物の必要なすべての点を順次たどるように、変化負荷点Cを変更して各点の U^* の値を計算する。

【0008】

特許文献5に開示された「構造解析数値計算装置」は、有限要素法を利用する構造解析数値計算装置において、構造物に分布荷重がかけられる場合も、荷重伝達経路を計算できるようにするものである。図8(d)に示すように、構造内部の点を固定しないで荷重をかけた時の相補ひずみエネルギー U と、構造内部の1点を固定して荷重をかけた時の相補ひずみエネルギー U' の比から、各点における U^* 値を求める。実際の計算では、 U と、負荷点Aと構造内部の1点Cとに関する撓み性行列 C_{AC} と、点Cに関する撓み性行列の逆行列 C_{CC}^{-1} と、負荷点Aの荷重 p_A とから、点Cにおける指標 U^* の値($C_{AC} C_{CC}^{-1} C_{CA} p_A \cdot p_A / (2U)$)を算出する。または、 U と C_{CC}^{-1} と点Cの変位 d_C から、点Cにおける指標 U^* の値($d_C \cdot C_{CC}^{-1} d_C / (2U)$)を算出する。

【0009】

非特許文献1には、等高線とその直交線について、次のように解説されている。等高線は、曲面と等間隔な平面群との交線によって表される。これらは、2次元で自由曲面形状を表現するのに広く用いられてきた。切断面の単位法線ベクトルを n_f とする。等高線の方程式は、

$$z = n_f \cdot s(u, v) \quad (u, v) = \text{const} \quad h$$

で与えられる。この式を微分すると、

$$u du + v dv = 0$$

を得る。この式は、パッチ $s(u, v)$ の等高線の微分方程式である。曲面形状の詳細な描画のために、等高線の直交線群を導入する。この線群を等高直交線と呼び、その方程式は次式となる。

$$(v_u E - u_v F) du + (u_v E - v_u F) dv = 0$$

【0010】

図8(e)にモデル曲面を示す。軌跡は、各高さでの極大、極小の傾斜となる点を常に通り、これは等高線の曲率極値点とほぼ一致する。これは、地形図における尾根線あるいは谷線のイメージである。そこでこの軌跡を尾根谷線と呼ぶ。ステップごとの解によりすべての曲線を得ることはむしろ困難なので、ステップ幅制御による微分方程式の解法を用いて解く。図8(f)は、より複雑な場合である。この曲線は、正確に地形の尾根あるいは谷を表している。偶数個の曲線が、極値高さの点において始まるか終わっており、この曲線は、等傾斜線における極値高さの位置にある臍点を通過する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 1 1 】

【特許文献 1】特開平09-282489号公報

【特許文献 2】特開2004-038121号公報（特許第3873121号）

【特許文献 3】特開2006-268053号公報（特許第4389029号）

【特許文献 4】再表2007-052784号公報

【特許文献 5】再表2008-105221号公報

【非特許文献】

【 0 0 1 2 】

【非特許文献 1】穂坂衛著「CAD/CAMにおける曲線曲面のモデリング」東京電機大学出版局（1996）。

10

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 3 】

しかし、従来の方法では、次のような問題がある。（1）数学的な手法により等高線に直交する曲線群を定義し描画するためには、等高線を数式として定義せねばならないが、剛性指標(U^* , U^{**})の等高線は有限要素法などの数値計算により与えられるので、数式化は極めて面倒なことになる。（2）等高線に直交する曲線群を求める周知の方法を用いて稜線をたどる際に、正しい稜線から一度でも外れてしまうと、次々に外れが大きくなり、正しい稜線に復帰できない。ここでは特に2番目の問題点について、以下に詳しく説明する。

20

【 0 0 1 4 】

従来の方法では、図9(a)の流れ図に示すようにして、荷重伝達経路を探索する。すなわち、剛性指標値の高い節点から探索を開始し、球体内で現在地よりも剛性指標値が低い節点を探索する。候補となる点が複数存在するため、最も傾斜の小さい節点を経路として選択すると、等高線によっては余計な節点を選択してしまい、誤った経路をたどってしまうことがある。探索半径内に現在地よりも剛性指標値が小さい節点がなくなれば探索は終了するため、一応の結果は出力されるが、余計な節点を經由し、尾根からかけ離れてしまうと修正がきかず、誤った経路を出力してしまう。

【 0 0 1 5 】

注目点の周囲の領域における剛性指標(U^* , U^{**})分布の、距離に関する変化率を計算して、その最大の値をとる有限要素法における節点を順次たどる方法もある。この方法でも、一旦稜線上から外れてしまうと、稜線に戻ることなく、そのまま最大傾斜の方向の線をたどることになる。つまり、等高線に直交する線群は無数に存在するから、ひとたび稜線以外の直交線に乗ってしまうと、そのままその直交線をたどって描画することになってしまう。一度は稜線から外れても再び稜線に戻るという安定性があることが望ましいが、従来の方法では不安定にしかならない。

30

【 0 0 1 6 】

例えば自動車車体においては、パネルが幾層にも重なってスポット溶接されている。厳密な稜線を描く方法があつたとしても、パネルの継ぎ目あるいはパネルの複雑な凹凸もしくは複数の経路が交錯するような部材の結合部において、経路の探索が不可能となる。ある点の回りの勾配を計算して、次の稜線上の点を捜すような手法では、このような場合に破綻を来たす。

40

【 0 0 1 7 】

経路探索を順方向から探索した場合に、経路が実際の経路から逸れてしまう例を図9(b)に示す。球内の節点から最小値となる剛性指標値を持つ節点に移動するものである。これは、谷に向かってしまう経路であり、実際の経路から大きくずれてしまう。元の節点より剛性指標 U^* 値が小さく、その減少量が一番小さい節点をたどる。周辺の節点を全てたどる形になり、ループしてしまう。経路を外れると復帰できなくなり、それ以上探索できない。

【 0 0 1 8 】

50

図9(c)に、厳密な剛性指標等高線に直交する線分を引くことが困難な例を示す。有限要素法の各節点を経路としてたどる場合は、節点が離散的な点であるため、厳密に等高線に直交する節点を選び出すことが困難である。「等高線に直交する」という条件付きであれば、勾配の小さい節点をたどることで稜線を進むことができるが、そもそも有限要素モデルは節点に値を有しているため、離散的な位置の移動しかできない。そのため、「等高線に直交する」節点をたどることが困難であり、一度逸れてしまうと元の経路にもどることができない。

【0019】

本発明の目的は、上記従来の問題を解決して、剛性指標(U^* , U^{**})分布の等高線の稜線を自動描画して、構造設計の実態に即した荷重伝達経路を安定的に求めることである。

10

【課題を解決するための手段】

【0020】

上記の課題を解決するために、本発明では、荷重伝達経路探索装置を、離散的な節点において値をもち負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を記憶する剛性指標記憶手段と、探索を行う範囲を示す探索小領域の中心点を設定する中心点設定手段と、支持点近傍を最初の中心点として中心点設定手段に設定する初期値設定手段と、探索小領域の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索する最大値探索手段と、最大値をもつ節点を記録する最大値節点記録手段と、最大値をもつ節点の近傍の節点を次の中心点として中心点設定手段に設定する中心点更新手段と、求めた中心点が負荷点近傍である場合に一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する荷重伝達経路出力手段とを具備する構成とした。

20

【発明の効果】

【0021】

上記のように構成したことにより、剛性指標(U^* , U^{**})分布の等高線の稜線を自動描画できる。この荷重伝達経路の描画法は、ある点の周りの勾配を正確に計算する訳ではないので、それ程厳密な探索方法ではないが、稜線の存在箇所を大雑把に把握するから、稜線の位置を大きく誤ることがない。本発明は、通例に反して、支持点付近から逆に経路をたどることを特徴としている。そのため、支持点付近での追尾は不完全となるが、荷重経路は支持点付近になると重要度が減るので、その不完全さは大きな問題とはならない。

【図面の簡単な説明】

30

【0022】

【図1】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置の動作原理を示す概念図である。

【図2】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置における、順方向では探索が破綻する場合の説明図である。

【図3】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置で逆方向探索を行う説明図である。

【図4】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置の動作を示す流れ図である。

【図5】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置の機能ブロック図である。

【図6】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置による2次元構造物の解析例である。

40

【図7】本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置による3次元構造物の解析例である。

【図8】荷重伝達経路探索に関連する従来技術の概念図である。

【図9】荷重伝達経路探索に関連する従来技術の概念図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

以下、本発明を実施するための最良の形態について、図1～図7を参照しながら詳細に説明する。

【実施例】

【0024】

50

本発明の実施例は、支持点近傍の点を最初の中心点とし、節点間距離程度を最初の半径に設定した探索球内の最大の剛性指標をもつ節点を探索して、その節点を次の中心点として探索を続け、途中で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できない場合には、探索球の半径を増加して支持点から再探索し、中心点が負荷点に達した場合に一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する荷重伝達経路探索装置である。

【0025】

図1に、荷重伝達経路探索装置の動作原理を示す。図2に、経路探索原理および順方向の探索では稜線上に最小値が来ないことの説明を示す。図3に、同じく逆方向探索を行う理由を示す。図4に、荷重伝達経路探索装置の動作手順を示す。図5に、荷重伝達経路探索装置の機能ブロック図を示す。図6に、2次元モデルにおける荷重伝達経路の例を示す。図7に、3次元曲板モデルにおける荷重伝達経路の例を示す。

10

【0026】

図1～図7において、剛性指標記憶手段1は、構造体を有限要素法により解析して求めた剛性指標であって、離散的な節点において値をもち負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を記憶するメモリである。初期値記憶手段2は、半径初期値と半径増分値を記憶するメモリである。中心点設定手段3は、探索を行う範囲を示す探索球の中心点を設定する手段である。半径設定手段4は、探索球の半径を設定する手段である。初期値設定手段5は、支持点を最初の中心点として中心点設定手段に設定するとともに半径初期値を半径設定手段に設定する手段である。最大値探索手段6は、探索球の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索する手段である。最大値節点記録手段7は、最大値をもつ節点を記録するメモリである。中心点更新手段8は、求めた節点を次の中心点として中心点設定手段に設定する手段である。

20

【0027】

中断再開手段9は、最大値探索手段で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できない場合に、処理を中断して探索球の半径を半径増分だけ増加して半径設定手段に設定し、支持点を中心点として中心点設定手段に設定して処理を再開する手段である。荷重伝達経路出力手段10は、求めた中心点が負荷点である場合に一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する手段である。負荷点11は、荷重がかかる点である。支持点は、構造体を支持する点の近傍の節点である。探索球13は、中心となる節点から所定の半径の探索範囲を示す球である。節点14は、有限要素法の節点である。荷重伝達経路15は、構造体の負荷点から支持点近傍の探索開始点に至る荷重の伝達経路であり、最も強く荷重を支えている道筋である。剛性指標の等高線16は、剛性指標(U^* , U^{**})の値の同じ点を結んだ曲線である。探索開始点17は、探索を開始する点であり、支持点近傍の節点である。なお、支持点近傍とは、支持点を含め、支持点から節点間距離の数倍程度の範囲のことである。節点近傍なども同様である。

30

【0028】

上記のように構成された本発明の実施例における荷重伝達経路探索装置の機能と動作を説明する。最初に、図1を参照しながら、荷重伝達経路探索方法の概要を説明する。構造体の1点または複数点(支持点)を固定して支持する。構造体の1点または複数点(負荷点)に荷重を負荷する。この境界条件の下で、有限要素法により、剛性指標(U^* , U^{**})を求める。剛性指標は、負荷点で最大値1となり、支持点で最小値0となる。剛性指標についての詳しい説明はここでは省略するので、必要ならば特許文献4、5を参照されたい。

40

【0029】

支持点近傍の点を、荷重伝達経路探索の開始点とする。支持点の近くに節点が無ければ、荷重伝達経路上の近傍にあると見なせる任意の節点を開始点とする。支持点付近は探索しにくいので、実際は支持点から少し離れた個所からスタートしないと成功しない。探索開始節点を任意の節点とすることもできる。その場合は、その節点までの荷重伝達経路が求まる。その節点を中心にして、探索小領域をとる。探索小領域は球でなくても良い。楕円体でも箱型の領域でも良い。経路の方向を予測して、その方向にこの領域を長めにとるなどの工夫することにより、経路探索の効率を上げることもできる。また、有限要素法の

50

メッシュの大きさが一方向に長く分割されていれば、それに応じて探索体積も一方向に長い方が効率的になる。この例では、小領域の代表として球を採用する。球以外の場合は、中心は重心などとする。球半径 r を指定し、その内部にある節点のうち、最大の剛性指標値を持つ節点の近傍に次の中心点を移動する。次の中心点は、最大の剛性指標値を持つ節点でもよいし、その節点に不都合があれば、その節点に隣接する節点でもよい。この移動先の節点から半径 r 内にある最大剛性指標値の節点の近傍に、さらに移動する。これを繰り返す。半径の初期値と半径増分値は、節点間距離程度とする。具体的には、構造体の特性や解析精度などに応じて、実験的に決定するとよい。半径の初期値を適切に設定すれば、半径を変更する必要はなくなる。

【 0 0 3 0 】

従来の経路探索アルゴリズムと異なる点が2つある。1つ目は、経路探索を荷重伝達方向の逆方向からたどることである。2つ目は、探索範囲を球などの小領域として、その小領域内で最大の剛性指標値を持つ節点を選ぶことである。このアルゴリズムを採用することで、3次元の構造体モデルを解析できる。さらに、探索の安定性が高まるので、尾根道から大きく逸れることがない。

【 0 0 3 1 】

具体的な探索方法を説明する。荷重経路を逆方向にたどるため、荷重経路の終着点とすべき解析モデルの支持点近傍の節点のIDを指定する。さらに、探索範囲となる球半径を指定することで、指定した節点IDから指定した球半径内にある最大の剛性指標値を持つ節点IDに移動する。この作業を自動で繰り返す。最終的に負荷点となる節点IDに移動したところで、周囲に自身より大きな剛性指標を持つ節点が存在しなくなるため、探索を終了する。この一連の作業によりたどってきた経路の逆方向の経路が、実際の荷重経路である。探索開始点を、支持点でなく、荷重経路上の近傍にあると見なせる任意の節点とすることもできる。その場合は、その点に至る荷重伝達経路が得られる。

【 0 0 3 2 】

以上のアルゴリズムを簡略化した概念図を図1に示す。黒丸点がモデル節点を表す。探索開始節点17から半径 r の探索球13内にある最大剛性指標値の節点を探索する。その点を四角で示した。四角の点が探索できたら、節点移動の矢印に示すように、次の四角の節点に中心を移動する。その節点から再度半径 r の探索球13内にある節点の剛性指標の値を調べ、最大値をとる節点に移動する。この作業を繰り返す。この繰り返しを行い、最終的に、移動先の中心点の剛性指標値が、その球内の最大剛性指標値となったところで、探索を終了する。多くの場合、この節点が負荷点11である。太い矢印の曲線に示すように、これまで探索した節点を逆にたどる経路が、得られた荷重経路15となる。探索範囲や探索開始節点などを適切に設定すれば、通常では荷重伝達経路を1度の計算で求めることができる。解析対象物が複雑で1度の計算で求めることができない場合は、探索範囲を変更して再試行を繰り返す。

【 0 0 3 3 】

次に、図2を参照しながら、最大値をたどる方法の概要を説明する。従来の方法とは逆順で経路を探索する。剛性指標値の低い節点から探索を開始し、探索球13内で最大の剛性指標値を持つ節点を探す。探索球13内で最大の剛性指標値を持つ節点はただ1つに決定される。また、その経路は剛性指標等高線16の尾根を通る。誤差により尾根から多少ずれてしまった場合でも、探索を続ける内に修正され、尾根に戻る。余計な節点を通ることはないため、正しく経路を出力できる。また、球面上の最大値ではなく、探索球13内部の最大値を求めるようにしたので、細かい経路ではない大筋の経路を求めることができる。一方、探索領域内で最大値ではなく最小値を捜して尾根線とする場合を想定する。この最小値をとる点は残念ながら尾根線の上にはないことが多い。むしろ尾根線上の点は、図の円周上で局所的にはむしろ最大値をとるであろう。したがって順方向から最低値を捜しながら追尾することはできない。

【 0 0 3 4 】

例えば、パネルがスポット溶接されている構造においては、探索点を細かくたどるよう

10

20

30

40

50

な荷重伝達経路ではなく、むしろパネルの繋ぎ目を跨ぐような大筋の経路を得ることができる。荷重伝達経路として知りたいのは、構造体の全体にどのように荷重が伝わるのかという経路の全体像であるから、正確な細かい経路情報より、大筋の経路がわかる方法の方が有用である。詳細な荷重伝達経路より、大筋の経路であっても構造を大局的に判断できる荷重伝達経路の方が現実の設計に役立てることができる。

【0035】

次に、図3を参照しながら、経路を等高線の上から下にたどるより、逆に下からたどる方が安定する理由を説明する。上下共に同一の等高線であるが、水平面内の座標を変えずに、上下方向の座標の正負のみを変えている。図3(a)の太線は稜線であり、図3(b)の太線は谷線である。上から見ると同一の等高線に見えるが、高低が逆である。稜線と谷線が同一の太線となる。もし、稜線から僅かにずれた点から球を重力にしたがって転がすと、小矢印の線をたどる。図3(a)では、線は稜線から離れて行くが、図3(b)では、線は谷線に合致していく。つまり、図3(a)では、ある点から下方向に荷重伝達経路を探索していくと、稜線から外れて行くが、図3(b)では、谷線に近づいて行く。上下方向に座標の正負を変えているが、図3(b)を図3(a)に戻して考えれば、稜線を上から下にたどるのではなく、下から上にたどる方が、探索方法として安定であることがわかる。

【0036】

次に、図4の流れ図を参照しながら、動作手順を説明する。離散的な節点において値を持ち、負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を、予め剛性指標記憶手段に記憶しておく。ステップ11において、初期値記憶手段に半径初期値と半径増分値を記憶する。さらに、初期値設定手段で支持点を最初の中心点として中心点設定手段に設定するとともに半径初期値を半径設定手段に設定する。ステップ12において、以下のように経路探索を行う。ステップ21において、探索開始節点を現在地(探索の中心点)としてセットする。ステップ22において、最大値探索手段で探索球の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索する。ステップ23において、中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見されたか否か検査する。

【0037】

最大値探索手段で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できた場合には、ステップ24において、最大値節点記録手段に最大値節点を記録する。ステップ25において、求めた節点の近傍の節点を次の中心点として中心点更新手段で中心点設定手段に設定して、次の探索球の内部のすべての節点を走査して最大の剛性指標をもつ節点を探索する。最大値探索手段で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できない場合には、ステップ26において、最大値節点記録手段に最大値節点を記録する。さらに、ステップ13、14において、中断再開始手段で、処理を中断して探索球の半径を半径増分だけ増加して半径設定手段に設定し支持点を中心点として中心点設定手段に設定して処理を再開する。ステップ13の検査において、求めた中心点が負荷点である場合には、ステップ15において、荷重伝達経路出力手段で、一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する。探索球の半径などを適切に設定すれば1度目で荷重伝達経路が得られるので、中断再開始手段による繰り返し処理は実質的に不要になる。

【0038】

次に、図5を参照しながら、荷重伝達経路探索装置の各部の動作を説明する。離散的な節点において値をもち負荷点で最大値となり支持点で最小値となる剛性指標を、剛性指標記憶手段1に記憶する。半径初期値と半径増分値を、初期値記憶手段2に記憶する。探索を行う範囲を示す探索球の中心点を、中心点設定手段3に設定する。探索球の半径を、半径設定手段4に設定する。初期値設定手段5により、支持点近傍の節点を最初の中心点として中心点設定手段3に設定するとともに、半径初期値を半径設定手段4に設定する。本当の支持点では等高線が鮮明で無い場合が多い。また、本当の支持点からスタートせずとも、直ちに正しい経路に戻って、その後の探索を続けるところが本手法の特徴である。最大値探索手段6により、探索球の内部のすべての節点を走査して、最大の剛性指標をもつ

10

20

30

40

50

節点を探索する。最大値をもつ節点を、最大値節点記録手段7に記録する。

【0039】

中心点更新手段8により、求めた節点を次の中心点として、中心点設定手段3に設定する。最大値探索手段6で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できない場合に、中断再開手段9により、処理を中断して、探索球の半径を半径増分だけ増加して半径設定手段4に設定し、支持点を中心点として中心点設定手段3に設定して、処理を再開する。求めた中心点が負荷点である場合に、一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として、荷重伝達経路出力手段10で出力する。これらの各手段は、例えばコンピュータのハードウェアとソフトウェアにより実現される。探索球の半径などを適切に設定すれば1度目で荷重伝達経路が得られるので、中断再開手段による繰り返し処理は実質的に不要になる。

10

【0040】

次に、図6を参照しながら、円孔有り平板モデルの例を説明する。これは2次元モデルである。境界条件としては、左端部に引張荷重を与え、その反対側である右端部を拘束している。このときの剛性指標分布と荷重経路を図に示した。なお、経路探索の出発点を右端の丸印で示した。負荷点から支持点への剛性指標分布の稜線をたどって経路が引けていることがわかる。経路を逆にたどる方法で、問題無く負荷点からの荷重経路を引くことができる。なお、経路には多少凹凸がみられるが、これは有限要素法のモデルの解析メッシュ粗さの影響である。メッシュを細かくすることで、このような問題は解消される。

【0041】

20

次に、図7を参照しながら、自動車車体ルーフモデルについて説明する。このモデルは3次元曲板モデルである。このモデルの剛性指標分布は、車体にねじり荷重を与えた場合のものである。経路を把握しやすくするために、ルーフを対角線に横切る荷重経路の探索を行った。この場合は、支持点でなく、荷重経路上の近傍にあると見なせる任意の節点に至る荷重伝達経路を求めたものである。このときは、支持点に至る荷重伝達経路とは一部異なることがある。ルーフの剛性指標分布と荷重経路を図に示す。経路探索の出発点を、右上の丸印で示す。探索範囲は、有限要素法の節点間距離を単位として、 $r = 10$ である。3次元の空間を占める構造モデルにおいても、問題なく荷重経路を探索できることがわかる。

【0042】

30

また、車体全体の荷重経路を一度に探索しようとする、探索範囲はある程度大きくする必要はあるが、それによって得られた経路を参考にしながら、探索範囲を小さくし、経路の途切れが無い範囲ごとに詳しい経路を確認することは可能であり、実用的である。また、これまでは車体全体における荷重経路の1経路分を目視によって求めるのに半日程度の時間を必要としていたが、この手法を用いれば数分の作業で1経路を求めることができ、大幅に時間を短縮できる。

【0043】

上記のように、本発明の実施例では、荷重伝達経路探索装置を、支持点近傍の点を最初の中心点とし、節点間距離程度を最初の半径に設定した探索球内の最大の剛性指標をもつ節点を探索して、その節点を次の中心点として探索を続け、途中で中心点より大きい値の剛性指標をもつ節点が発見できない場合には、探索球の半径を増加して支持点から再探索し、中心点が負荷点に達した場合に一連の最大値節点のデータを荷重伝達経路として出力する構成としたので、近似的であるが構造設計の実態に即した荷重伝達経路を求めることができる。

40

【産業上の利用可能性】

【0044】

本発明の荷重伝達経路探索装置は、自動車車体の構造解析、建築、土木における構造解析、工作機械の高剛性化における構造解析、鉄道車両の構造解析、航空機の構造解析のための解析装置として最良である。

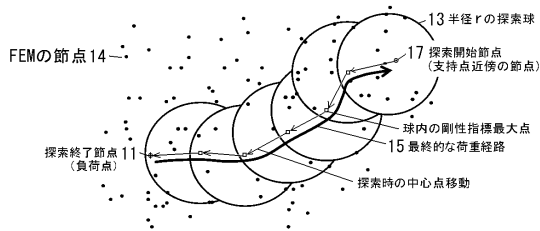
【符号の説明】

50

【 0 0 4 5 】

- 1 剛性指標記憶手段
- 2 初期値記憶手段
- 3 中心点設定手段
- 4 半径設定手段
- 5 初期値設定手段
- 6 最大値探索手段
- 7 最大値節点記録手段
- 8 中心点更新手段
- 9 中断再開始手段
- 10 荷重伝達経路出力手段
- 11 負荷点
- 13 探索球
- 14 節点
- 15 荷重伝達経路
- 16 剛性指標の等高線
- 17 探索開始点

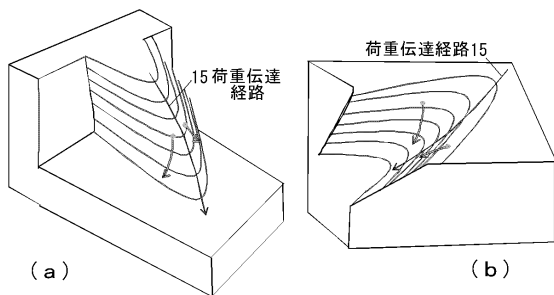
【 図 1 】



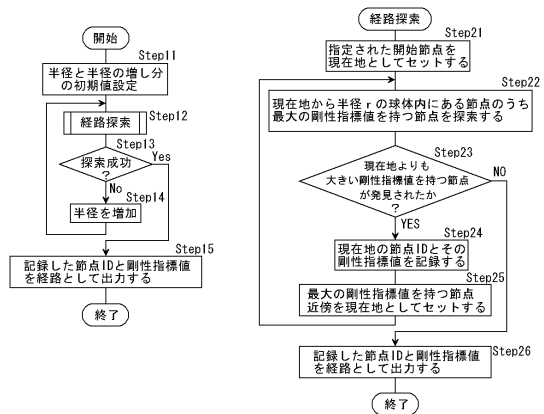
【 図 2 】



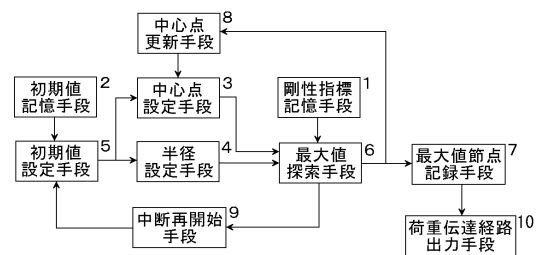
【 図 3 】



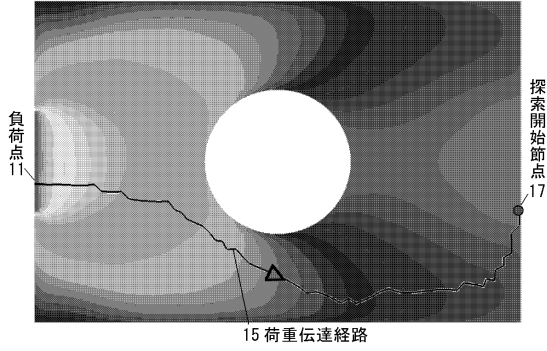
【 図 4 】



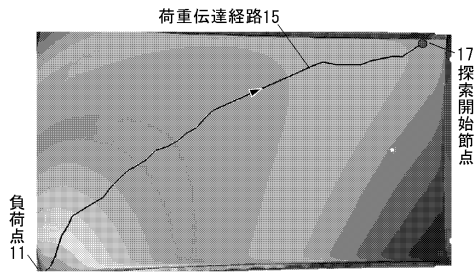
【 図 5 】



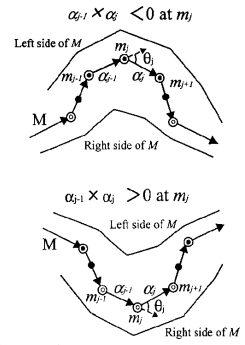
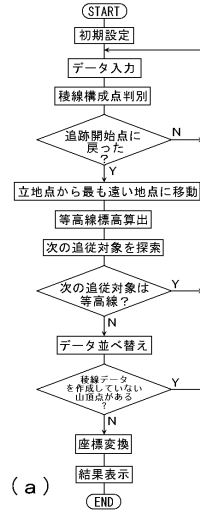
【図6】



【図7】

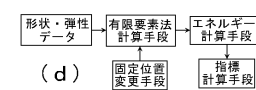
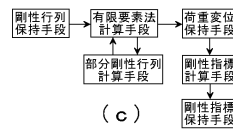


【図8】

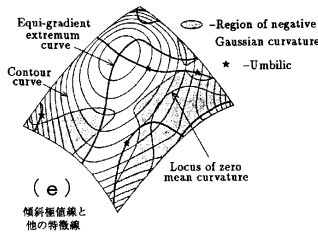


M: contour data.
 m_j : j-th original data point of M.
 ●: point of inflection.
 α : vector (from point m_i to point m_{i+1}).
 θ_i : angle between two consecutive vectors α_{i-1} and α_i ($0^\circ \sim 180^\circ$).
 ⊙: data point at which the outer product $\alpha_{i-1} \times \alpha_i < 0$.
 ⊗: data point at which the outer product $\alpha_{i-1} \times \alpha_i > 0$.
 連続するベクターの外積によって得られる斜面の水平断面図形。

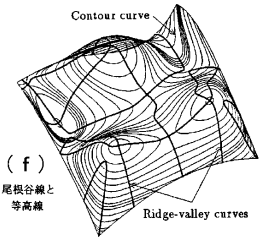
(a) (b)



(d)

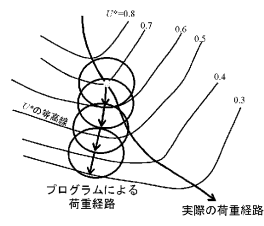
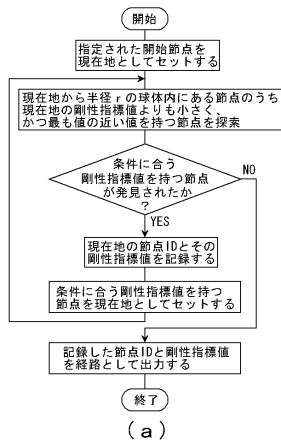


(e)

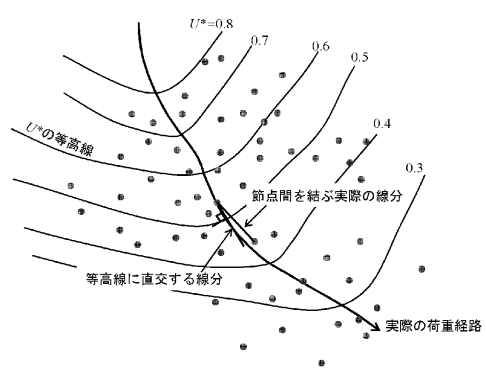


(f)

【図9】



(b)



(c)

フロントページの続き

- (72)発明者 冠木 亮
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内
- (72)発明者 水野 泰介
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内
- (72)発明者 櫻井 俊彰
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内
- (72)発明者 伊賀崎 賢哉二世
神奈川県横浜市港北区日吉3丁目14-1 慶應義塾大学理工学部内

審査官 合田 幸裕

- (56)参考文献 国際公開第2007/052784(WO, A1)
特開2001-134628(JP, A)
特開2004-118820(JP, A)
特開平6-119418(JP, A)
高橋 邦弘, 櫻井 俊彰, 構造物内部における荷重伝達経路の新たな表現方法, 日本機械学会論文集. A編, 日本, 一般社団法人日本機械学会, 2005年 8月25日, 第71巻/第708号, 第1097-1102頁

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G06F 17/50
IEEE Xplore
CiNii
JSTPlus(JDreamIII)