

(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2011-80211

(P2011-80211A)

(43) 公開日 平成23年4月21日(2011.4.21)

(51) Int.Cl.
E01D 22/00 (2006.01)

F I
E O I D 22/00

テーマコード (参考)
2 D O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 3 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2009-231736 (P2009-231736)
(22) 出願日 平成21年10月5日 (2009. 10. 5)

(71) 出願人 594094124
財団法人阪神高速道路管理技術センター
大阪府大阪市中央区南本町4丁目5番7号
(71) 出願人 509277637
株式会社耐震解析研究所
愛知県名古屋市昭和区福江二丁目9番33号
(74) 代理人 100064414
弁理士 磯野 道造
(74) 代理人 100111545
弁理士 多田 悦夫
(74) 代理人 100129067
弁理士 町田 能章

最終頁に続く

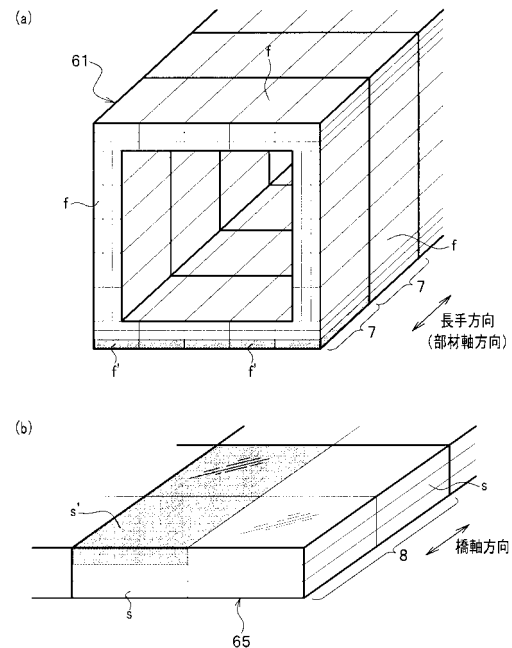
(54) 【発明の名称】 点検対象部材の決定方法

(57) 【要約】

【課題】重点的に点検を行うべき点検対象部材を客観的に把握することが可能な点検対象部材の決定方法を提供すること。

【解決手段】橋梁を構成する複数の部材のうちの一つに着目部材とし、着目部材に断面欠損が発生したと仮定して感度解析用モデルを作成し、終局状態に至るまで弾塑性有限変位解析を行い、その結果に基づいて、着目部材が橋梁の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材であるか否かを判定する。次に、要注意部材に断面欠損が発生したと仮定して経年解析用モデルを作成し、設計荷重に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行う。要注意部材の断面欠損率を変更して擬似経年解析を複数回行い、或る断面欠損率を超えると経年解析用モデルが終局状態に至ると判定された場合に、要注意部材を点検対象部材として決定する。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

複数の部材で構成される構造物を材料の非線形性を考慮可能な要素でモデル化して構造解析用のモデルを作成し、当該モデルを使用して荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、重点的に点検を行うべき点検対象部材を決定する点検対象部材の決定方法であって、

前記構造物を構成する複数の部材のうちの一つを着目部材とし、前記着目部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した感度解析用モデルを作成し、当該感度解析用モデルが終局状態に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、前記感度解析用モデルにおける終局荷重を得る感度解析ステップと、

前記感度解析ステップで得られた終局荷重と断面欠損が無いと仮定した場合の終局荷重とを対比することで、前記着目部材が前記構造物の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材であるか否かを判定する判定ステップと、

前記要注意部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した経年解析用モデルを作成し、当該経年解析用モデルを使用して、設計荷重に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行う擬似経年解析ステップと、を含み、

前記要注意部材の断面欠損率を変更して前記擬似経年解析ステップを複数回行い、或る断面欠損率において前記経年解析用モデルが終局状態に至った場合に、前記要注意部材を点検対象部材として決定する、ことを特徴とする点検対象部材の決定方法。

【請求項 2】

複数の部材で構成される構造物を材料の非線形性を考慮可能な要素でモデル化して構造解析用のモデルを作成し、当該モデルを使用して荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、重点的に点検を行うべき点検対象部材を決定する点検対象部材の決定方法であって、

前記構造物を構成する複数の部材のうちの一つを着目部材とし、前記着目部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した感度解析用モデルを作成し、当該感度解析用モデルが終局状態に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、前記感度解析用モデルにおける終局荷重を得る感度解析ステップと、

前記感度解析ステップで得られた終局荷重と断面欠損が無いと仮定した場合の終局荷重とを対比することで、前記着目部材が前記構造物の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材であるか否かを判定する判定ステップと、

前記要注意部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した経年解析用モデルを作成し、当該経年解析用モデルを使用して、設計荷重に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行う擬似経年解析ステップと、を含み、

前記要注意部材の断面欠損率を変更して前記擬似経年解析ステップを複数回行うことで、設計荷重作用時に前記経年解析用モデルにおいて発生する変位量と前記要注意部材の断面欠損率との関係を取得し、或る断面欠損率を超えたときに前記変位量が急増する場合に、前記要注意部材を点検対象部材として決定する、ことを特徴とする点検対象部材の決定方法。

【請求項 3】

前記着目部材を、ファイバー要素の集合体またはシェル要素の集合体にてモデル化することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の点検対象部材の決定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複数の部材で構成される構造物において重点的に点検を行うべき部材を決定する点検対象部材の決定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

橋梁やトンネルをはじめとする各種構造物に対する維持管理業務においては、近接目視

10

20

30

40

50

による点検を行い、点検結果に基づいて補修計画等を立案している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2007-77653号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

腐食等による損傷箇所や損傷部位に対する点検業務において、点検対象が小規模な橋梁等であれば、比較的容易に隅々まで目視点検を行うことができるが、大規模な橋梁や特殊構造の橋梁が点検対象である場合には、点検箇所が膨大になってしまい、目視点検だけでも多大な費用と時間を要してしまう。また、現在の損傷状態だけでなく、今後の損傷の進展を予測する定量的に予測するのは困難である。重点的に点検を行うべき部材を客観的に把握できれば、効率よく点検を行うことが可能になるが、このような解析手法は未だ確立されていない。なお、「重点的に点検を行うべき部材」とは、構造物の終局状態に対して影響が大きい部材であること、かつその部材の損傷の進展が速いこと意味し、現時点の腐食し易い部材や劣化し易い部材であっても、構造物の終局状態に対して影響が小さく損傷があまり進展しない部材は、「重点的に点検を行うべき部材」には含まれない。

10

【0005】

このような観点から、本発明は、重点的に点検を行うべき部材を客観的に決定することが可能な点検対象部材の決定方法を提供することを課題とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0006】

前記課題を解決する本発明に係る点検対象部材の決定方法は、複数の部材で構成される構造物を材料の非線形性を考慮可能な要素でモデル化して構造解析用のモデルを作成し、当該モデルを使用して荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、重点的に点検を行うべき点検対象部材を決定する点検対象部材の決定方法であって、前記構造物を構成する複数の部材のうちの一つを着目部材とし、前記着目部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した感度解析用モデルを作成し、当該感度解析用モデルが終局状態に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、前記感度解析用モデルにおける終局荷重を得る感度解析ステップと、前記感度解析ステップで得られた終局荷重と断面欠損が無いと仮定した場合の終局荷重とを対比することで、前記着目部材が前記構造物の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材であるか否かを判定する判定ステップと、前記要注意部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した経年解析用モデルを作成し、当該経年解析用モデルを使用して、設計荷重に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行う擬似経年解析ステップと、を含むものであり、第一の発明では、前記要注意部材の断面欠損率を変更して前記擬似経年解析ステップを複数回行い、或る断面欠損率において前記経年解析用モデルが終局状態に至った場合に、前記要注意部材を点検対象部材として決定することを特徴とし、第二の発明では、前記要注意部材の断面欠損率を変更して前記擬似経年解析ステップを複数回行うことで、設計荷重作用時に前記経年解析用モデルにおいて発生する変位量と前記要注意部材の断面欠損率との関係を取得し、或る断面欠損率を超えたときに前記変位量が急増する場合に、前記要注意部材を点検対象部材として決定することを特徴とする。

30

40

【0007】

要するに本発明は、腐食等により生じる断面欠損を反映した構造解析用のモデルを使用して、構造物の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材（すなわち、構造物の安全率を大きく低下させる虞のある部材）を把握するための感度解析を行うとともに、通常の使用状態（設計荷重が作用した状態）で要注意部材の断面欠損が徐々に進行していく様子を模擬した擬似経年解析を行うことで、重点的に点検を行うべき点検対象部材を決定する、というものである。なお、擬似経年解析は、断面欠損の進展状況を考慮し、要注意

50

部材の断面欠損率を変更して複数回行う。二段階の解析（感度解析と擬似経年解析）を行う本発明によれば、重点的に点検を行うべき点検対象部材を客観的に決定することが可能となる。

【0008】

本発明においては、ファイバー要素の集合体（ファイバーモデル）またはシェル要素の集合体（シェルモデル）にて着目部材をモデル化することが好ましい。

【0009】

なお、ファイバー要素およびシェル要素では、部材断面を複数の断面に分割し、各々の分割要素（セル）に応力・ひずみ関係と分担面積を与えることで材料の非線形性を表現する。ファイバーモデルまたはシェルモデルによれば、部材に生じる断面欠損を容易に評価することができる。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、重点的に点検を行うべき点検対象部材を客観的に把握することが可能になるので、効率のよい点検計画を立案することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態に係る点検対象部材の決定方法を実施する際に使用する解析用コンピュータを示す機能ブロック図である。

【図2】(a)は構造物の一例を示す側面図、(b)はファイバーモデルを説明するための模式図、(c)はシェルモデルを説明するための模式図である。

【図3】(a)はファイバー要素を説明するための模式図、(b)はシェル要素を説明するための模式図である。

【図4】本発明の実施形態に係る点検対象部材の決定方法の手順を示すフローチャートである。

【図5】感度解析ステップで得られるデータの内容を説明するためのグラフである。

【図6】断面欠損の進行パターンを示すグラフである。

【図7】擬似経年解析ステップで得られるデータの内容を説明するためのグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0012】

本発明の実施形態に係る点検対象部材の決定方法は、複数の部材で構成される橋梁を対象とするものであり、材料の非線形性を考慮可能な要素で橋梁をモデル化して構造解析（数値解析）用のモデルを作成し、当該モデルを使用して荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行うことで、重点的に点検を行うべき点検対象部材を決定する、というものである。なお、本実施形態では、鋼製トラスと鋼製床版とを具備する鋼構造の橋梁を例示するが、構造物の種類や使用材料等を限定する趣旨ではない。

【0013】

モデルの作成および弾塑性有限変位解析は、図1に示す解析用コンピュータCを利用して実行する。

【0014】

解析用コンピュータCは、記憶手段1と、演算処理手段2と、入力手段3と、表示手段4と、これらを互いに接続するバス線5とを少なくとも備えて構成されている。

【0015】

記憶手段1は、各種プログラムやデータを記憶するものであり、主記憶装置（例えば、DRAMなど）と、補助記憶装置（例えば、書き込み可能な不揮発性の半導体メモリ（フラッシュメモリ）、磁気ディスクドライブ、光学ディスクドライブなど）とを含んで構成されている。記憶手段1には、構造解析用のモデルを作成する際に起動されるエディタプログラム11や弾塑性有限変位解析を行う際に起動される解析プログラム12のほか、基本モデルファイル13、感度解析用モデルファイル14、経年解析用モデルファイル15、欠損パターン規定ファイル16、結果ファイル17などが記憶される。

10

20

30

40

50

【0016】

演算処理手段2は、演算処理を行うMPU（マイクロプロセッサ）などを含んで構成されていて、記憶手段1からエディタプログラム11を読み出して実行すると、解析モデル作成手段21として機能し、記憶手段1から解析プログラム12を読み出して実行すると、構造解析手段22として機能する。

【0017】

解析モデル作成手段21は、構造解析用のモデルを作成する際に使用される。作成されたモデルに関するデータは、基本モデルファイル13、感度解析用モデルファイル14または経年解析用モデルファイル15に格納される。なお、基本モデルファイル13に格納されるモデルは、部材に断面欠損が発生していない状態の橋梁をモデル化して得たものであり、感度解析用モデルファイル14および経年解析用モデルファイル15に格納されるモデルは、一の部材に断面欠損が発生した状態の橋梁をモデル化して得たものである。

10

【0018】

構造解析手段22は、モデルファイル13～15の中からモデルに関するデータを読み出し、読み出したモデルを使用して荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行い、得られた解析結果（例えば、モデルに作用させた載荷荷重と各要素に発生した応力・変位量との関係など）を結果ファイル17に書き込む。

【0019】

入力手段3は、モデルの作成や弾塑性有限変位解析に必要なデータ（例えば、部材の諸元、断面欠損率、載荷荷重、荷重増分量、境界条件など）を演算処理手段2に入力するためのものであり、キーボードやマウス等から構成されている。入力手段3を利用して解析用コンピュータCに入力されたデータは、記憶手段1に一旦記憶された後、演算処理手段2に出力される。

20

【0020】

表示手段4は、入力手段3によるデータ入力を補助するための入力フォーム、記憶手段1に記憶された各種ファイル13～17の内容、演算結果を表す図表などを表示するものであり、ディスプレイ装置からなる。

【0021】

ここで、本実施形態において使用する構造解析用のモデルを説明する。

本実施形態においては、図2の(b)に示すように、長手方向（部材軸方向）に連設された複数のファイバー要素7, 7, ...の集合体（以下、「ファイバーモデル」という場合がある。）にて鋼製トラスを構成する上弦材61をモデル化し、図2の(c)に示すように、縦横に連設された複数の積層型シェル要素8, 8, ...の集合体（以下、「シェルモデル」という場合がある。）にて鋼製床版65をモデル化する。なお、図示は省略するが、鋼製トラスを構成する下弦材62、斜材63および鉛直材64もファイバーモデルにてモデル化する。

30

【0022】

ファイバー要素7は、「平面保持の仮定」および「平面不変の仮定」に基づいて形成された梁要素（一次元要素）の一種であり、材料の非線形性を考慮することができる。図3の(a)に示すように、例えば断面箱型の上弦材61の長手方向（部材軸方向）の一部をファイバー要素7でモデル化する場合には、ファイバー要素7に対応する領域（上弦材61の一部）を複数の棒状領域（セル） f, f, \dots に分割し、各セル f の適所に設けた積分点に「応力-ひずみ関係」と「分担面積」とを与えればよい。ちなみに、上弦材61に発生した「断面欠損」を評価する場合には、ファイバー要素7において、欠損位置に対応するセル f' を消去すればよい。すなわち、部材厚を小さくした解析モデルを作成すればよい。なお、部材厚を小さくせずに、セル f' の分担面積を「ゼロ」に設定するか、あるいは、セル f' の剛性を「ゼロ」に設定することで、断面欠損を評価してもよい。

40

【0023】

また、シェル要素8は、「変形の間、板厚が変化しない」、「中立面に垂直な応力はゼロとし、面内は平面応力状態である」、「時刻0で中立面に垂直であった法線は、時間と

50

ともに変化し直線を保つが、必ずしも中立面に垂直である必要はない（すなわち、面外せん断変形を許す）」との仮定に基づいて形成された板要素（二次元要素）の一種であり、材料の非線形性を考慮することができる。図3の(b)に示すように、例えば鋼製床版65をシェル要素8でモデル化する場合には、シェル要素8に対応する領域（鋼製床版65の一部）を複数の板状領域（セル） s, s', \dots に分割し、各セル s の適所に設けた積分点に「応力-ひずみ関係」と「分担面積」とを与えればよい。ちなみに、鋼製床版65に発生した「断面欠損」を評価する場合には、シェル要素8において、欠損位置に対応するセル s' を消去すればよい。なお、セル s' の分担面積を「ゼロ」に設定するか、セル s' の剛性を「ゼロ」に設定することで、断面欠損を評価してもよい。

【0024】

次に、本実施形態に係る点検対象部材の決定方法の具体的な手順を詳細に説明する。

図4に示すように、本実施形態に係る点検対象部材の決定方法は、準備ステップと、感度解析ステップと、判定ステップと、擬似経年解析ステップと、点検対象部材決定ステップとを含むものである。

【0025】

準備ステップは、竣工時点または現時点における橋梁の終局耐力等を調査するために行われる。準備ステップでは、まず、橋梁を構成する部材に断面欠損が無いと仮定して、構造解析用のモデル（以下、「基本モデル」という。）を作成する（ステップS1）。基本モデルを作成する際には、図1に示すエディタプログラム11を起動する。エディタプログラム11を起動すると、解析用コンピュータCが解析モデル作成手段21として機能し、表示手段4にエディタ画面等が表示されるようになる。オペレータの操作により入力手段3を介して橋梁に関するデータ（部材の形状、座標、要素の種類、要素の分割数、要素に割り当てる応力-ひずみ関数など）を解析用コンピュータCに入力すると、解析モデル作成手段21によって、弾塑性有限変位解析に適した形式のデータが作成される。作成した基本モデルに関するデータは、基本モデルファイル13に格納される。

【0026】

基本モデルが作成されたならば、基本モデルが終局状態に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行い、基本モデルの終局荷重（すなわち、各部材に断面欠損が無いと仮定した場合の終局荷重）を演算する（ステップS2）。解析を行う際には、解析プログラム12を起動し、解析用コンピュータCを構造解析手段22として機能させればよい。解析プログラム12の起動後、オペレータの操作により基本モデルファイル13を指定すると、構造解析手段22によって、基本モデルファイル13の中から基本モデルに関するデータが読み出され、基本モデルに対して荷重増分法による弾塑性有限変位解析が実行される。構造解析手段22は、基本モデルが不安定構造になったときに、「基本モデルが終局状態に至った」と判定し、そのときの載荷荷重を終局荷重として結果ファイル17に書き込む。なお、或る部材に破断や座屈が発生したとしても、不安定構造に至らない場合があるので、本実施形態では、橋梁の重要箇所（例えば、スパン中央や支承部分など）に対応するファイバー要素またはシェル要素の変位量（節点の変位量）が収束しない状態を、「基本モデルの終局状態」とする。

【0027】

感度解析ステップは、一の部材の断面欠損が橋梁の終局状態（終局耐力）に与える影響を調査するために行われる。感度解析ステップでは、橋梁を構成する複数の部材のうちの一つを着目部材として選定したうえで（ステップS3）、当該着目部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した感度解析用モデルを作成する（ステップS4）。

【0028】

着目部材は、一つでもよいが、点検対象部材の「一次候補」であるから、多くの部材を着目部材として選定することが望ましい。二以上の部材を着目部材として選定した場合には、着目部材ごとに感度解析ステップを実行する。なお、本実施形態では、五つの部材（図2の(a)に示す上弦材61、下弦材62、斜材63、鉛直材64、鋼製床版65）を

10

20

30

40

50

着目部材 $1 \sim 5$ として選定する。着目部材 $1 \sim 5$ を区別しない場合には、添え字を省略する。

【0029】

着目部材 の断面欠損率の大きさは、適宜設定すればよいが、着目部材に関わらず同じ値（本実施形態では50%）に設定している。なお、感度解析用モデルを作成する際には、基本モデルを利用するとよい。この場合には、基本モデルファイル13の中から基本モデルに関するデータを読み出し、着目部材 の断面欠損率が所定の大きさ（本実施形態では50%）になるように、着目部材 を表現しているファイバー要素7またはシェル要素8において、複数のセルfまたはセルsのうちの幾つかを消去すればよい。

【0030】

感度解析用モデルが作成されたならば、感度解析用モデルが終局状態に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行い、感度解析用モデルの終局荷重（すなわち、着目部材 に断面欠損があると仮定した場合の終局荷重）を取得する（ステップS5）。解析を行う際には、解析プログラム12を起動し、解析用コンピュータCを構造解析手段22として機能させればよい。解析プログラム12の起動後、オペレータの操作により感度解析用モデルファイル14を指定すると、構造解析手段22によって、感度解析用モデルファイル14の中から感度解析用モデルに関するデータが読み出され、感度解析用モデルに対して荷重増分法による弾塑性有限変位解析が実行される。構造解析手段22は、感度解析用モデルが不安定構造になったときに、「感度解析用モデルが終局状態に至った」と判定し、そのときの載荷荷重を終局荷重として結果ファイル17に書き込む。本実施形態では、橋梁の重要箇所（例えば、スパン中央や支承部分など）に対応するファイバー要素またはシェル要素の変位量（節点の変位量）が収束しない状態を、「感度解析用モデルの終局状態」とする。

【0031】

なお、橋梁の終局耐力に大きな影響を与える部材が着目部材 として選択された場合には、着目部材 に対応するファイバー要素またはシェル要素を中心に変形が進み、破断や座屈によって当該要素が不安定になると同時に感度解析用モデルも不安定構造になるので、それ以降の解析は行われない。一方、橋梁の終局耐力にさほど影響を与えない部材が着目部材 として選択された場合には、着目部材 に対応するファイバー要素またはシェル要素が不安定になったとしても、感度解析用モデルが不安定構造にならない場合がある。この場合には、感度解析用モデルの重要箇所が終局状態に至るまで引き続き解析が行われる。

【0032】

ステップS3で選定した着目部材 について感度解析ステップを実行したならば、感度解析ステップを行っていない他の着目部材 の有無を判定し（ステップS6）、他の着目部材 が存在している場合には、感度解析ステップ（ステップS3～S5）を実行する。すなわち、点検対象部材の候補である着目部材 がn個存在している場合には、断面欠損させるべき着目部材 を順次変更して、感度解析ステップをn回行えばよい。

【0033】

判定ステップでは、感度解析ステップで得られた終局荷重（感度解析用モデルの終局荷重） P_n と、準備ステップで得られた終局荷重（基本モデルの終局荷重） P_0 とを対比することで、着目部材 が橋梁の終局耐力に大きな影響を及ぼす虞のある要注意部材 であるか否かを判定する（ステップS7）。要注意部材 であるか否かの判断は、オペレータが行う。

【0034】

判定方法に制限はないが、影響度の高い着目部材 に断面欠損が生じた場合ほど、終局荷重 P_n が低下する傾向にあるので、例えば、終局荷重の減少率 $P (= (1 - P_n / P_0) \times 100)$ を算出し、減少率 P が予め規定した基準減少率 P_0 以上である場合に、着目部材 を要注意部材 として抽出するとよい。なお、図5に示すグラフは、準備ステップおよび感度解析ステップで得られた解析結果を示すグラフであって、「載荷荷重」

10

20

30

40

50

を縦軸とし、橋梁の重要箇所（例えば、スパン中央など）に対応する要素における「変位」を横軸としたものである。白丸は降伏状態に至ったときの載荷荷重と変位との関係をプロットしたものであり、黒丸は終局状態に至ったときの載荷荷重（＝終局荷重）と変位との関係をプロットしたものである。図5中の曲線 L_0 は、基本モデルに対する弾塑性有限変位解析により得られたものであり、曲線 L_n （ $n = 1 \sim 5$ ）は、感度解析用モデルに対する弾塑性有限変位解析により得られたものである。ちなみに、曲線 $L_1 \sim L_5$ は、着目部材 $1 \sim 5$ に対応している。

【0035】

本実施形態では、曲線 $L_1 \sim L_4$ に対応する着目部材 $1 \sim 4$ を要注意部材 $1 \sim 4$ として選定する。要注意部材 $1 \sim 4$ は、点検対象部材の「二次候補」である。

10

【0036】

なお、判定ステップを、解析用コンピュータCに実行させてもよい。すなわち、演算処理手段2を、前記した判定手順を実行する判定手段として機能させてもよい。この場合、演算処理手段2は、感度解析ステップで得られた終局荷重 P_n および準備ステップで得られた終局荷重 P_0 を結果ファイル17の中から抽出する処理、終局荷重 P_0 、 P_n に基づいて終局荷重の減少率 P を演算する処理、減少率 P が基準減少率 P_0 以上であるか否か判定する処理などを実行し、減少率 P が基準減少率 P_0 以上であると判定した場合には、着目部材に関するデータに「要注意部材である」旨の情報を付加し、結果ファイル17に書き込む。

【0037】

要注意部材を選定したならば、ステップS8に進み、擬似経年解析ステップにおいて要注意部材に適用すべき断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m を設定する。すなわち、各要注意部材に適用すべき断面欠損の進行パターンを設定する。本実施形態では、複数の進行パターンが欠損パターン規定ファイル16に格納されていて、オペレータが進行パターンを指定すると、欠損パターン規定ファイル16の中から当該進行パターンに対応する断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m が抽出される。なお、図6に示すように、断面欠損の進行パターンは、時間の経過とともに断面欠損が進行していく（断面欠損率が大きくなる）様子を模擬したものである。進行パターンAは、断面欠損率が時間経過と比例関係にある場合を規定したものであり、進行パターンBは、時間経過とともに断面欠損率の増加率が増大する場合を規定したものである。なお、図6では、二つの進行パターンA、Bを例示しているが、進行パターンを限定する趣旨ではない。断面欠損の進行パターンは、環境や使用材質によって異なるので、状況に応じて適宜設定すればよい。

20

30

【0038】

擬似経年解析ステップは、通常の使用状態（設計荷重が作用した状態）で要注意部材の断面欠損が徐々に進行していく様子を模擬するために行われるステップであり、断面欠損の進展状況を考慮できるように、要注意部材の断面欠損率を変更して複数回繰り返される（ステップS9～S12）。なお、本実施形態では、橋梁の自重と橋梁を通行する車両の重量との合計値を設計荷重としている。

【0039】

擬似経年解析ステップでは、まず、判定ステップで選定された要注意部材に断面欠損が発生したと仮定して、当該断面欠損を反映した経年解析用モデルを作成する（ステップS9）。経年解析用モデルを作成する際には、基本モデルを利用するとよい。この場合には、基本モデルファイル13の中から基本モデルに関するデータを読み出し、要注意部材の断面欠損率が所定の大きさ（一回目の擬似経年解析ステップでは、 K_1 ）になるように、要注意部材を表現しているファイバー要素7において、複数のセルfのうちの幾つかを消去すればよい。なお、感度解析用モデルを利用して経年解析モデルを作成しても勿論差し支えない。

40

【0040】

入力手段3を介してオペレータの指示を入力することにより、経年解析用モデルを作成してもよいが、解析用コンピュータCに作成させてもよい。この場合、解析モデル作成手

50

段 2 1 は、基本モデルファイル 1 3 の中から基本モデルに関するデータを読み出す処理、結果ファイル 1 7 の中から要注意部材 に関するデータ（要注意部材 を構成しているファイバー要素等の要素番号など）と要注意部材 に適応すべき断面欠損率 K_1 を読み出す処理、要注意部材 の断面欠損率が「 K_1 」になるように要注意部材 を表現している複数のファイバー要素のうちの幾つかを消去する処理、修正された基本モデル（すなわち、経年解析用モデル）を経年解析用モデルファイル 1 5 に書き込む処理などを実行する。

【 0 0 4 1 】

要注意部材 の断面欠損率を「 K_1 」とした経年解析用モデルが作成されたならば、当該経年解析用モデルを使用して、設計荷重に至るまで荷重増分法による弾塑性有限変位解析を行い、設計荷重作用時に経年解析用モデルにおいて発生する変位量を取得する（ステップ S 1 0）。解析を行う際には、解析プログラム 1 2 を起動し、解析用コンピュータ C を構造解析手段 2 2 として機能させればよい。解析プログラム 1 2 の起動後、オペレータが経年解析用モデルファイル 1 5 を指定すると、構造解析手段 2 2 によって、経年解析用モデルファイル 1 5 の中から経年解析用モデルに関するデータが読み出され、経年解析用モデルに対して荷重増分法による弾塑性有限変位解析が実行される。なお、構造解析手段 2 2 は、設計荷重に至る前に経年解析用モデルが不安定構造になったとき（すなわち、経年解析用モデルが終局状態に至ったとき）には、解析を終了するとともに、終了時点において経年解析用モデルに発生した変位量を結果ファイル 1 7 に書き込む。

10

【 0 0 4 2 】

擬似経年解析ステップが終了したならば、ステップ S 1 1 に進み、擬似経年解析ステップの実行回数が m 回に達したか否かを判定する。すなわち、 m 種類の断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m にそれぞれについて弾塑性有限変位解析を行ったか否かを判定する。一回目の擬似経年解析ステップが終了した後は、「No」となるので、ステップ S 1 2 に進み、一回目で適用した断面欠損率 K_1 を「 K_2 」に変更したうえで、ステップ S 9, S 1 0 を行う。なお、ステップ S 1 1 の処理を解析用コンピュータ C が行うように構成してもよい。

20

【 0 0 4 3 】

一の要注意部材 1 に対して m 種類の断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m を適用して擬似経年解析ステップを実行したならば、ステップ S 1 3 に進み、擬似経年解析を行っていない他の要注意部材 $2 \sim 4$ の有無を判定し、他の要注意部材 $2 \sim 4$ が存在している場合には、要注意部材 2 に断面欠損が発生したと仮定して、ステップ S 8 ~ S 1 1 を実行し、その後、要注意部材 $3, 4$ について、ステップ S 8 ~ S 1 1 を実行する。なお、ステップ S 1 3 の処理を解析用コンピュータ C が行うように構成してもよい。

30

【 0 0 4 4 】

総ての要注意部材 $1 \sim 4$ について、擬似経年解析ステップが終了したならば、点検対象部材決定ステップ（ステップ S 1 4）に進み、点検対象部材を決定する。

【 0 0 4 5 】

例えば、要注意部材 に対して m 種類の断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m を適用して擬似経年解析ステップを実行した結果、或る断面欠損率において経年解析用モデルが終局状態に至った場合には、当該要注意部材 を点検対象部材として決定する。すなわち、「或る断面欠損率において経年解析用モデルが終局状態に至った」ということは、「通常の使用状態（設計荷重が作用した状態）であっても、要注意部材 の断面欠損率が或る大きさに達すると、橋梁が終局状態に至る虞がある」ことを意味するので、この要注意部材 を点検対象部材とする必要がある。

40

【 0 0 4 6 】

また、設計荷重作用時に経年解析用モデルにおいて発生する変位量と要注意部材 の断面欠損率 K_1, K_2, \dots, K_m との関係を取得し、或る断面欠損率を超えたときに変位量が急増すると判定された場合には、当該要注意部材 を、重点的に点検を行うべき点検対象部材として決定する。すなわち、「或る断面欠損率を超えたときに変位量が急増した」ということは、「要注意部材 の断面欠損率が或る大きさに達すると、橋梁の安全率が急に小さくなる」ことを意味するので、この要注意部材 を点検対象部材とする必要がある

50

。

【0047】

図7に示すグラフを参照して点検対象部材決定ステップをより具体的に説明する。図7に示すグラフは、要注意部材₁に適用した「断面欠損率」を横軸とし、橋梁の重要箇所（例えば、スパン中央など）における設計荷重作用時の「変位」を縦軸としたグラフである。白丸は降伏状態、黒丸は終局状態に至ったことを示している。図7中の曲線D₁～D₄は、それぞれ要注意部材₁～₄に対応している。

【0048】

例えば、曲線D₁から明らかなように、要注意部材₁を断面欠損させた経年解析モデルにおいて要注意部材₁に断面欠損率 K_{m-1} または K_m を設定すると、設計荷重に至る以前に、経年解析用モデルが終局状態に至るので、要注意部材₁は点検対象部材となる。

10

【0049】

なお、或る断面欠損率において経年解析用モデルが終局状態に至った否かの判断を解析用コンピュータCに実行させてもよい。

【0050】

また、曲線D₂から明らかなように、要注意部材₂を断面欠損させた経年解析モデルにおいて要注意部材₂に設定した断面欠損率が「 K_i 」を超えると、経年解析用モデルの変位量 Y が急増するので、要注意部材₂は点検対象部材となる。

【0051】

なお、変位量が急増しているか否かの判断を解析用コンピュータCに実行させてもよい。この場合には、演算処理手段2に、或る断面欠損率を超える前における変位量の増加率 y_a と或る断面欠損率を超えた後における変位量の増加率 y_b とを演算する処理、増加率 y_b を増加率 y_a で除した値が閾値以上であるか否かを判定する処理を実行させればよい。閾値の大きさは適宜設定すればよい。

20

【0052】

以上の手順により、本実施形態では、要注意部材₁、₂（すなわち、上弦材61および下弦材62）が点検対象部材として決定される。そして、点検対象部材が重点的かつ頻繁に点検されるように点検計画を立案すれば、多数の部材から構成される橋梁を効率的かつ的確に点検することが可能になる。

30

【0053】

このように、二段階の解析（感度解析と擬似経年解析）を行う本実施形態に係る点検対象部材の決定方法によれば、橋梁を構成する複数の部材の中から、重点的に点検を行うべき点検対象部材を客観的に決定することが可能となり、ひいては、効率のよい点検計画を立案することが可能となる。

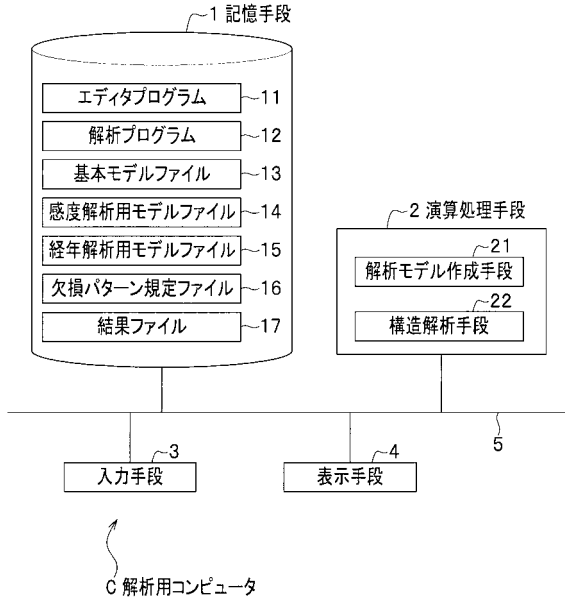
【符号の説明】

【0054】

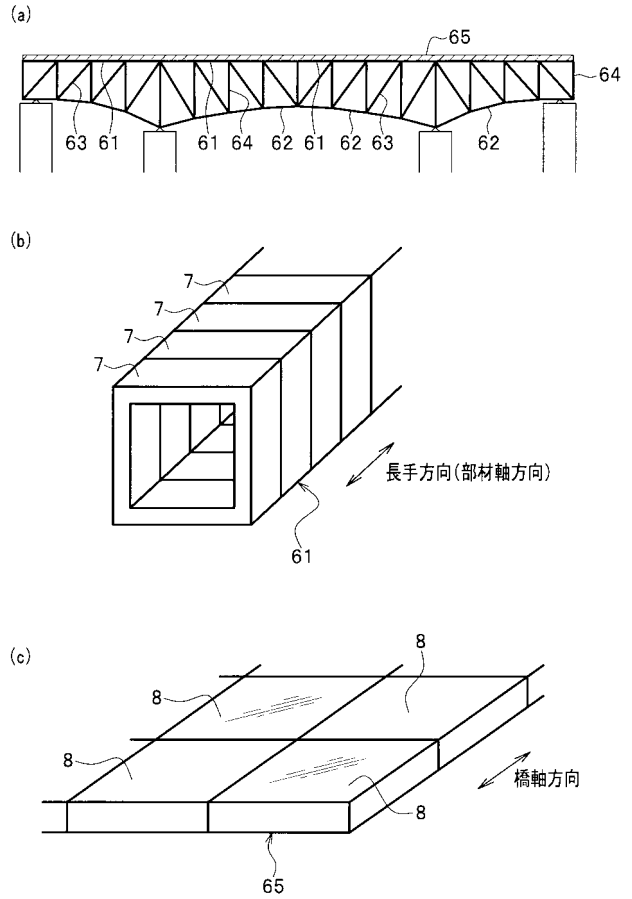
- C 解析用コンピュータ
- 1 記憶手段
- 2 演算処理手段
- 3 入力手段
- 4 表示手段
- 7 ファイバー要素
- 8 シェル要素

40

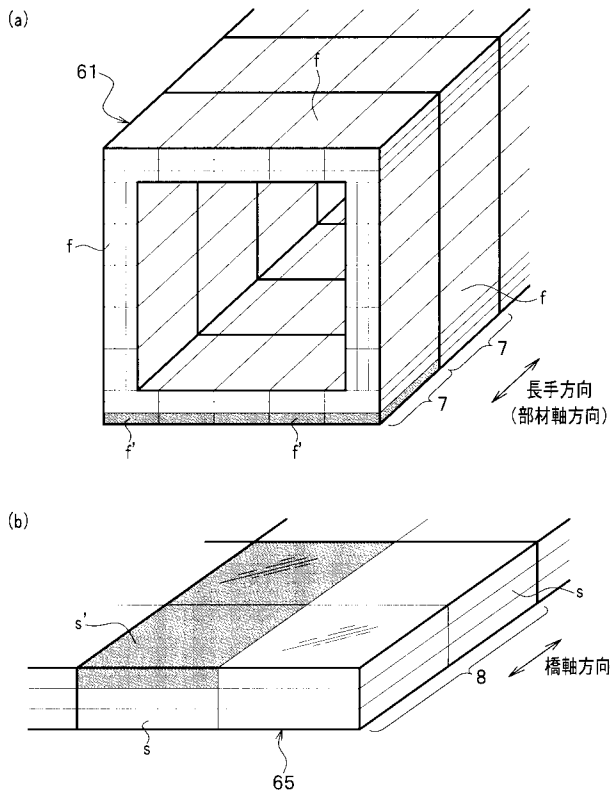
【 図 1 】



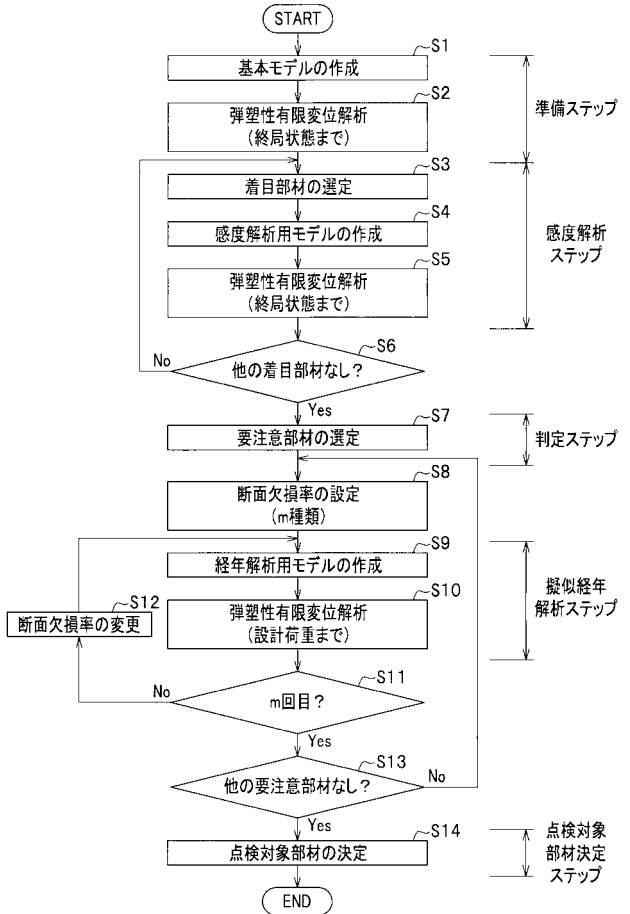
【 図 2 】



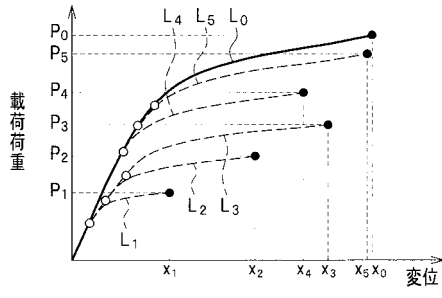
【 図 3 】



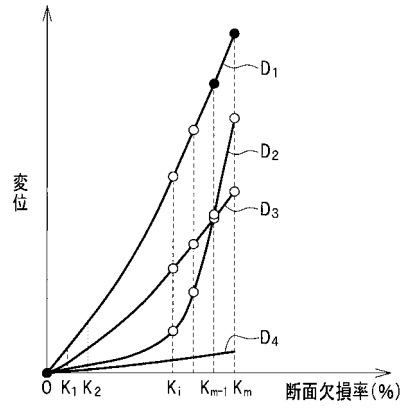
【 図 4 】



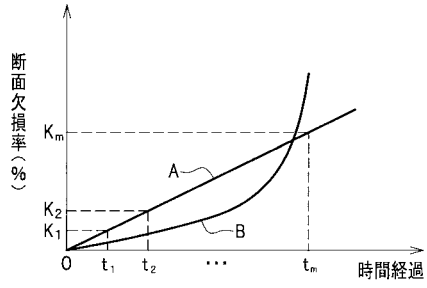
【 図 5 】



【 図 7 】



【 図 6 】



フロントページの続き

(72)発明者 金治 英貞

大阪府大阪市中央区南本町四丁目5番7号 財団法人阪神高速道路管理技術センター内

(72)発明者 野中 哲也

愛知県名古屋市昭和区福江二丁目9番33号 株式会社耐震解析研究所内

Fターム(参考) 2D059 AA16 BB33 GG39