(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2010-152857
(P2010-152857A)
(43)公開日　平成22年7月8日(2010.7.8)

(51)Int.Cl.		F I			テーマコード（参考）
G06F 17/50	(2006.01)	G06F	17/50	680B	5B046
E04B 1/00	(2006.01)	G06F	17/50	604A	
		G06F	17/50	612H	
		E04B	1/00	ESW	

審査請求 未請求　請求項の数 15　ＯＬ　（全 22 頁）

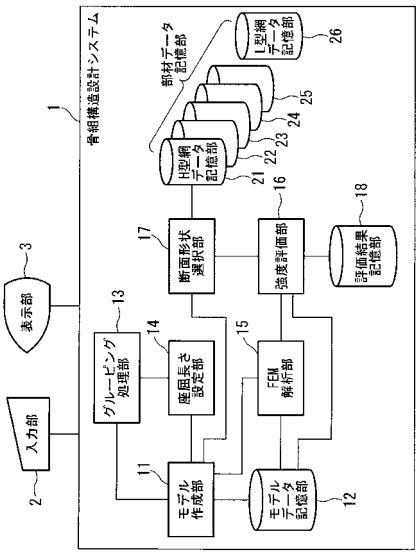
(21)出願番号　特願2009-89219(P2009-89219)
(22)出願日　平成21年4月1日(2009.4.1)
(31)優先権主張番号　特願2008-298403(P2008-298403)
(32)優先日　平成20年11月21日(2008.11.21)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(71)出願人　000000099
株式会社ＩＨＩ
東京都江東区豊洲三丁目１番１号
(74)代理人　100064908
弁理士　志賀　正武
(74)代理人　100089037
弁理士　渡邊　隆
(72)発明者　前田　朝樹
東京都江東区豊洲三丁目１番１号　株式会社ＩＨＩ内

Ｆターム(参考)　5B046 AA03　BA04　DA02　JA01　JA08

(54)【発明の名称】構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラム

(57)【要約】
【課題】骨組構造物の設計にかける手間を大幅に減らす。
【解決手段】骨組構造物に用いる部材の断面積が関係付けられた部材の断面形状データが予め記憶された記憶手段と、予め作成された骨組構造のＦＥＭ解析モデルデータに対して、仮に決定した各部材の断面形状を設定する手段と、断面形状が設定されたＦＥＭ解析モデルデータを読み込み、該ＦＥＭ解析モデルデータを用いてＦＥＭ解析を実行して、各部材の強度を求める手段と、求められた各部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、強度条件を満たさなかった部材について、記憶手段に記憶されている部材データの断面積が現時点の断面積より大きくなる断面形状の部材を選択し、ＦＥＭ解析モデルデータに対して、選択した断面形状を設定して、解析実行手段により再度各部材の強度を求める処理を繰り返すことにより、骨組構造物設計の最適化を行う手段とを備えた。
【選択図】図１



【特許請求の範囲】
【請求項１】
少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて前記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行う構造設計システムであって、
前記構造物に用いることが可能な部材と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データが予め記憶された部材データ記憶手段と、
予め作成された前記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定する断面形状仮定手段と、
前記断面形状が設定された前記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各前記部材の強度を求める解析実行手段と、
前記解析実行手段によって求められた各前記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行手段によって求められる各前記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった前記部材を前記断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化手段と
を備えたことを特徴とする構造設計システム。
【請求項２】
前記最適化手段は、全ての前記部材において解析実行手段によって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を前記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えることを特徴とする請求項１に記載の構造設計システム。
【請求項３】
前記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、
前記部材の種類ごとに前記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データを記憶する前記部材データ記憶手段を備え、
前記最適化手段が、前記部材の置き換えを行う際に当該部材を同一種類の部材と置き換える
ことを特徴とする請求項１または２記載の構造設計システム。
【請求項４】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化手段は、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に前記板部材及び前記補強部材との位置関係を補正する
ことを特徴とする請求項１～３いずれかに記載の構造設計システム。
【請求項５】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化手段は、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、前記解析実行手段にて前記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正する
ことを特徴とする請求項１～４いずれかに記載の構造設計システム。
【請求項６】
少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて前記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行う構造設計方法であって、
予め作成された前記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定する断面形状仮定ステップと、
前記断面形状が設定された前記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各前記部材の強度を求める解析実行ステップと、
前記解析実行ステップによって求められた各前記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行ステップによって求められる各前記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった前記部材を、前記構造物に用いることが可能な部材

と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化ステップと
を有することを特徴とする構造設計方法。
【請求項７】
前記最適化ステップにおいて、全ての前記部材において解析実行ステップによって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を前記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えることを特徴とする請求項６記載の構造設計方法。
【請求項８】
前記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、
最適化ステップにおいて、前記部材の置き換えを行う際に、前記部材の種類ごとに前記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データに基づいて前記部材を同一種類の部材と置き換える
ことを特徴とする請求項６または７記載の構造設計方法。
【請求項９】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化ステップにおいて、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に前記板部材及び前記補強部材との位置関係を補正する
ことを特徴とする請求項６～８いずれかに記載の構造設計方法。
【請求項１０】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化ステップにおいて、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、前記解析実行ステップにて前記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正する
ことを特徴とする請求項６～９いずれかに記載の構造設計方法。
【請求項１１】
コンピュータに、少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて前記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行わせる構造設計プログラムであって、
予め作成された前記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定する断面形状仮定ステップと、
前記断面形状が設定された前記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各前記部材の強度を求める解析実行ステップと、
前記解析実行ステップによって求められた各前記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行ステップによって求められる各前記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった前記部材を、前記構造物に用いることが可能な部材と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化ステップと
を前記コンピュータに実行させることを特徴とする構造設計プログラム。
【請求項１２】
前記最適化ステップにおいて、全ての前記部材において解析実行ステップによって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を前記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えさせることを特徴とする請求項１１記載の構造設計プログラム。
【請求項１３】
前記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、
最適化ステップにおいて、前記部材の置き換えを行う際に、前記部材の種類ごとに前記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データに基づいて前記部材を同一種類の部材と置き換えさせる
ことを特徴とする請求項１１または１２記載の構造設計プログラム。

【請求項１４】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化ステップにおいて、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に前記板部材及び前記補強部材との位置関係を補正させる
ことを特徴とする請求項１１～１３いずれかに記載の構造設計プログラム。
【請求項１５】
前記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、
前記最適化ステップにおいて、前記板部材及び前記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、前記解析実行ステップにて前記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正させることを特徴とする請求項１１～１４いずれかに記載の構造設計プログラム。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、数値解析の結果に基づいて、構造物の最適化設計を行う構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラムに関する。
【背景技術】
【０００２】
骨組構造物や板骨構造物等の構造物の設計作業においては、構造物を構成する部材の断面形状を作業者の経験に基づいて仮定し、この仮定した断面形状を用いて有限要素法によって構造解析を行うためのモデル化を行って各部材に作用する断面力（曲げモーメントやせん断力）を求め、この断面力と部材の断面から部材に発生する応力を計算し、その応力が許容値以内であれば合格であり、許容値以上であれば部材の断面を少し大きくして再度、同じ処理を繰り返すという手順で行われるのが一般的である。
なお、先行技術として、遺伝的探索法を用いた最適化設計装置において、設計変数データの数が膨大となる実設計問題において、自動計算を実施し、最適解を得ることを可能にする装置により、高精度な最適骨組構造設計を実施可能にし、骨組構造の安全性及び信頼性を向上することができる最適化設計装置知られている（例えば、特許文献１参照）。
【先行技術文献】
【特許文献】
【０００３】
【特許文献１】特開２００１－１３４６２８号公報
【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、大規模な構造物にあっては、部材の数が数千個に及ぶため、各部材の設計を最適化するためには、前述した手順を何度も繰り返して行わなければならず、非常に手間と時間がかかるという問題がある。また、作業者の経験に基づいて、最適化設計を行っていたため、必ずしも最適化できたか否かの判断が困難であるという問題もある。
【０００５】
本発明は、このような事情に鑑みてなされたもので、構造物の設計にかける手間を大幅に減らすことができ、確実に最適化された設計を行うことができる構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラムを提供することを目的とする。
【課題を解決するための手段】
【０００６】
本発明は、少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて上記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行う構造設計システムであって、上記構造物に用いることが可能な部材と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データが予め記憶された部材データ記憶手段と、予め作成された上記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮

設定する断面形状仮定手段と、上記断面形状が設定された上記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各上記部材の強度を求める解析実行手段と、上記解析実行手段によって求められた各上記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行手段によって求められる各上記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった上記部材を上記断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化手段とを備えたことを特徴とする。

【０００７】

本発明は、上記最適化手段は、全ての上記部材において解析実行手段によって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を上記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えることを特徴とする。

【０００８】

本発明は、上記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、上記部材の種類ごとに上記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データを記憶する上記部材データ記憶手段を備え、上記最適化手段が、上記部材の置き換えを行う際に当該部材を同一種類の部材と置き換えることを特徴とする。

【０００９】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化手段は、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に上記板部材及び上記補強部材との位置関係を補正することを特徴とする。

【００１０】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化手段は、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、上記解析実行手段にて上記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正することを特徴とする。

【００１１】

本発明は、少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて上記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行う構造設計方法であって、予め作成された上記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定する断面形状仮定ステップと、上記断面形状が設定された上記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各上記部材の強度を求める解析実行ステップと、上記解析実行ステップによって求められた各上記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行ステップによって求められる各上記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった上記部材を、上記構造物に用いることが可能な部材と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化ステップとを有することを特徴とする。

【００１２】

本発明は、上記最適化ステップにおいて、全ての上記部材において解析実行ステップによって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を上記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えることを特徴とする。

【００１３】

本発明は、上記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、最適化ステップにおいて、上記部材の置き換えを行う際に、上記部材の種類ごとに上記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データに基づいて上記部材を同一種類の部材と置き換えることを特徴とする。

【００１４】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化ステップにおいて、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に上記板部材及び上記補強部材との位置関係を補正することを特徴とする。

【００１５】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化ステップにおいて、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、上記解析実行ステップにて上記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正することを特徴とする。

【００１６】

本発明は、コンピュータに、少なくとも骨組構造及び板骨構造のいずれかの構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて上記構造物の強度評価を行った結果に基づいて構造物の最適化設計を行わせる構造設計プログラムであって、予め作成された上記構造物の解析モデルデータに対して、構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定する断面形状仮定ステップと、上記断面形状が設定された上記解析モデルデータを読み込み、該解析モデルデータを用いて解析を実行して、各上記部材の強度を求める解析実行ステップと、上記解析実行ステップによって求められた各上記部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析実行ステップによって求められる各上記部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった上記部材を、上記構造物に用いることが可能な部材と当該部材の断面積とが関係付けられた断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える最適化ステップとを上記コンピュータに実行させることを特徴とする。

【００１７】

本発明は、上記最適化ステップにおいて、全ての上記部材において解析実行ステップによって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を上記断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えさせることを特徴とする。

【００１８】

本発明は、上記構造物に用いることが可能な部材が複数種類存在する場合に、最適化ステップにおいて、上記部材の置き換えを行う際に、上記部材の種類ごとに上記部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データに基づいて上記部材を同一種類の部材と置き換えさせることを特徴とする。

【００１９】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化ステップにおいて、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に上記板部材及び上記補強部材との位置関係を補正させることを特徴とする。

【００２０】

本発明は、上記構造物が板部材と該板部材を補強する補強部材とを備える場合に、上記最適化ステップにおいて、上記板部材及び上記補強部材の少なくともいずれかを置き換えた場合に、上記解析実行ステップにて上記補強部材の強度を算出するために用いられる有効幅を補正させることを特徴とする。

【発明の効果】

【００２１】

本発明によれば、仮定した初期断面形状をもとに、すべての部材が合格するまで構造解析を繰り返すようにしたため、構造設計にかける手間を大幅に減らすことができるとともに品質のよい構造設計行うことが可能になるという効果が得られる。また、合格した部材はできる限り断面形状を小さくするようにしため、確実に最適化設計を行うことが可能になるという効果も得られる。

【図面の簡単な説明】

【００２２】

【図１】本発明の第１実施形態の構成を示すブロック図である。

【図２】図１に示す骨組構造設計システム１の動作を示すフローチャートである。

【図３】図１に示す座屈長さ設定部１４の詳細動作を示すフローチャートである。

【図４】図１に示すグルーピング処理部１３の詳細動作を示すフローチャートである。

【図５】図１に示すH型鋼データ記憶部のテーブル構造を示す説明図である。

【図６】図１に示す座屈長さ設定部１４の動作を示す説明図である。

【図７】骨組構造物のＦＥＭ解析用モデルデータの一例を示す説明図である。
【図８】本発明の第２実施形態の構成を示すブロック図である。
【図９】図８に示す板骨構造設計システム４によって強度評価が行われる板骨構造体を構成する板骨とリブを示す斜視図である。
【図１０】図８に示す板骨構造設計システム４によって強度評価が行われる板骨構造体を構成する板骨とリブを示す断面図である。
【図１１】図８に示す板骨構造設計システム４の動作を示すフローチャートである。
【発明を実施するための形態】
【００２３】
（第１実施形態）
以下、本発明の構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラムの一実施形態である骨組構造設計システム、骨組構造設計方法及び骨組構造設計プログラムについて説明する。
【００２４】
図１は本実施形態の骨組構造設計システムの構成を示すブロック図である。この図において、符号１は、ＦＥＭ（Finite Element Method；有限要素法）解析の結果に基づいて、骨組構造の最適化設計を行う骨組構造設計システムであり、コンピュータ装置から構成される。
この骨組構造設計システム１は、骨組構造を有する構造物の解析モデルデータを用いて構造物の強度評価を行った結果に基づいて骨組構造物の最適化設計を行う。
【００２５】
符号２は、キーボードやマウス等から構成される入力部である。符号３は、液晶のディスプレイ装置等から構成される表示部である。
【００２６】
符号１１は、入力部２から入力される情報に基づいてＦＥＭ解析用のモデルデータを作成するモデル作成部である。
また、このモデル作成部１１は、本発明の断面形状仮定手段として機能し、例えば先に（予め）作成した骨組構造物の解析モデルデータに対して、骨組構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定あるいは再設定する。
【００２７】
符号１２は、モデル作成部１１において作成されたＦＥＭ解析用のモデルデータを記憶するモデルデータ記憶部である。
符号１３は、モデル作成部１１において作成したモデルデータの中から節点で接合された複数の部材が１つの直線を形成している部材を探索し、１つの直線を形成している複数の部材を１つの部材と見なすべき部材の集合をグループ化するグルーピング処理部である。
符号１４は、グルーピング処理部１３においてグルーピングされた１つの部材と見なすべき部材の座屈長さを設定する座屈長さ設定部である。
【００２８】
符号１５は、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析用モデルデータを読み込み、該ＦＥＭ解析モデルデータを用いてＦＥＭ（Finite Element Method；有限要素法）解析を実行して、骨組構造物を構成する各部材の強度を求めるＦＥＭ解析部（解析実行手段）である。
なお、骨組構造物を構成する各部材の強度は、ＦＥＭ解析用モデルデータを構成する各要素における応力や変形量によって一義的に定まる値である。このため、本実施形態においてＦＥＭ解析部１５は、ＦＥＭ解析を実行して各要素における応力や変形量を求めることによって骨組構造物の構成する各部材の強度を求めたこととする。
なお、モデル作成部１１及びＦＥＭ解析部１５は、公知のＦＥＭモデル生成ソフトウェアやＦＥＭ解析ソフトウェア等を記憶しており、該ソフトウェア用いてモデルの作成やＦＥＭ解析を実行する。

【００２９】
符号１６は、ＦＥＭ解析部１５において求めた各要素の応力や変形量（すなわち各部材の強度）に基づいて、強度評価の判定を行う強度評価部である。
符号１７は、強度評価部１６の評価結果に応じて、骨組構造を構成する部材の断面形状を変更するために、ＪＩＳ（日本工業規格）で定められている部材（構造物に用いることが可能な部材）の断面積を含む断面形状を選択する断面形状選択部である。
符号１８は、強度評価部１６における強度評価の情報を記憶する評価結果記憶部である。
【００３０】
符号２１～２６は、ＪＩＳで定められている骨組構造物に用いられる部材の断面形状データが予め記憶されている部材データ記憶部である。部材データ記憶部２１～２６には、Ｈ型鋼、Ｉ型鋼、角鋼管、溝型鋼、丸鋼管、Ｌ型鋼の６種類の断面形状データが予め記憶されている。
ここで、図５を参照して、図１に示す部材データ記憶部を説明する。図５は、Ｈ型鋼データ記憶部２１のテーブル構造を示す図である。ＪＩＳには、断面積の異なる複数のＨ型鋼が定められている。そして、Ｈ型鋼データ記憶部２１は、図５に示すように、ＪＩＳによって定められた面積の異なる複数のＨ型鋼と当該Ｈ型鋼の断面積とが関係付けられた断面形状データを記憶している。そして、Ｈ型鋼データ記憶部２１は、図５に示すように、面積の異なる複数のＨ型鋼に対して、断面積が昇順となるように順番号の識別番号を付与して記憶している。
なお、ＪＩＳで定められているＨ型鋼は、その断面形状が、Ｈ（高さ）×Ｂ（幅）、ｔ１（ウェブ厚）、ｔ２（フランジ厚）の寸法によって定義される。そして、本実施形態においてＨ型鋼データ記憶部２１は、上記寸法を各Ｈ型鋼（各識別番号）に関連付けて断面形状データの一部として記憶している。さらに、Ｈ型鋼データ記憶部２１は、各Ｈ型鋼（各識別番号）に関連付けて、当該Ｈ型鋼のＺ軸、Ｙ軸それぞれの断面二次モーメントの値、捩りモーメントの値、Ｚ軸、Ｙ軸それぞれのせん断面積の値を断面形状データの一部として記憶している。
そして、その他の部材（Ｉ型鋼、角鋼管、溝型鋼、丸鋼管、Ｌ型鋼）についても同様なテーブル構造によって断面形状データが予め各部材データ記憶部に記憶されており、断面積が昇順になるように識別番号が付与されている。つまり、本実施形態の骨組構造設計装置は、骨組構造物に使用可能な部材が複数種類存在し、部材の種類ごとに部材と当該部材との断面積が関係付けられた断面形状データを記憶する複数の部材データ記憶部を備えている。
【００３１】
このような本実施形態の骨組構造設計システム１においては、モデル作成部１１、モデルデータ記憶部１２、強度評価部１６、断面形状選択部１７及び評価結果記憶部１８によって、ＦＥＤ解析によって求められた各部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析ＦＥＤ解析によって求められる各部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった部材を断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える。つまり、本実施形態の骨組構造設計システム１においては、モデル作成部１１、モデルデータ記憶部１２、強度評価部１６、断面形状選択部１７及び評価結果記憶部１８が本発明における最適化手段を構成している。
【００３２】
次に、図２を参照して、図１に示す骨組構造設計システム１の動作（構造設計方法）を説明する。図２は、図１に示す骨組構造設計システム１の動作を示すフローチャートである。
まず、作業者が入力部２を操作することにより入力される情報等に基づいて、モデル作成部１１は、骨組構造の構造物（例えば図７に示すような構造物）のＦＥＭ解析モデルデータを作成する（ステップＳ１）。なお、ＦＥＭ解析モデルデータには、骨組構造物に使用する部材の種類や断面積を特定する情報も含まれる。この使用する部材の種類（Ｈ型鋼

、Ｉ型鋼、角鋼管、溝型鋼、丸鋼管、Ｌ型鋼）や断面積は、作業者が入力部１を介して入力する情報に基づいてモデル作成部１１が部材データ記憶部２１～２６に記憶されている断面形状データを選択して読み出すことによって設定される。

例えば、使用する部材が断面積２６．６７のH型鋼であれば、モデル作成部１１は、H型鋼データ記憶部２１に記憶されている断面形状データから識別番号「８」に関連付けられて記憶されたデータを用いてＦＥＭ解析モデルデータの作成を行う。

また、モデル作成部１１は、作業者が入力部２を操作することにより入力される骨組構造物に対する荷重条件の情報を用いて、設計対象のＦＥＭ解析モデルデータを生成する。

そして、モデル作成部１１が上述のようにして作成したＦＥＭ解析モデルデータは、モデル作成部１１から出力されてモデルデータ記憶部１２に入力され、モデルデータ記憶部１２に記憶される。

なお、ステップＳ１において作成されるＦＥＭ解析モデルデータは、後に行われる最適化処理を行うにあたり、ベースとされるモデルデータである。このため、使用する部材の断面積は任意の値で構わない。したがって、ＦＥＭ解析モデルデータに用いられる上記断面形状データの値は、部材データ記憶部２１～２６に記憶される範囲で任意に選択すれば良い。つまり、ステップＳ１において作成されるＦＥＭ解析モデルデータは、部材データ記憶部２１～２６に記憶された任意の識別番号（図５参照）に関連付けられた値を用いて作成されるものであり、骨組構造物を構成する各部材の断面形状が仮設定されたものである。

【００３３】

次に、作業者が入力部２を介して設計最適化処理の実行を指示すると、座屈長さ設定部１４は、モデル作成部１１によって作成されて、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータに対して、座屈長さの設定を行い、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを更新する。（ステップＳ２）。この座屈長さの設定処理の詳細は、後述する。

【００３４】

次に、モデル作成部１１は、座屈長さの設定が終了すると、ＦＥＭ解析部１５に対して、ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。これを受けて、ＦＥＭ解析部１５は、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込む（ステップＳ３）。そして、ＦＥＭ解析部１５は、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求める（ステップＳ４）。ＦＥＭ解析部１５は、ここで求めた解析結果（各要素毎の応力や変形量）を強度評価部１６へ出力する。これを受けて、強度評価部１６は、骨組構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ５）。強度評価は、各部材毎の応力や変形量の値が予め決められたしきい値を超えたか否かを判定することにより行われる。そして、強度評価部１６は、各部材が強度条件を満足するか否かを評価結果として含むＦＥＭ解析結果を出力する。このＦＥＭ解析結果は、評価結果記憶部１８に入力されると共に評価結果記憶部１８において記憶される。

【００３５】

次に、強度評価部１６は、評価を行った全ての部材が合格（強度条件を満足）したか否かを判定する（ステップＳ６）。この判定の結果、全ての部材が合格していた場合（強度条件を満足する場合）、強度評価部１６は、モデルデータ記憶部１２に記憶されている現時点のＦＥＭ解析モデルデータを別の記憶領域に一時保存するとともに、評価結果記憶部１８に記憶されている現時点の評価結果情報を別の記憶領域に一時保存する（ステップＳ７）。

そして、強度評価部１６は、断面形状選択部１７に対して、不合格と判定されたことのない部材の識別番号を１ランク下げる指示を出す。なお、ここでの不合格と判定されたことのない部材とは、後述するステップＳ１０において識別番号を１ランク上げられたことのない部材（置き換えが行われなかった部材）を指す。これを受けて、断面形状選択部１７は、モデル作成部１１に対して、現時点で設定されている識別番号を問い合わせる。これを受けて、モデル作成部１１は、モデルデータ記憶部１２に記憶されている識別番号を

読み出して、断面形状選択部１７に対して回答する。
なお、図２から分かるように、本実施形態においてはＦＥＭ解析の実行（ステップＳ４）が複数回繰り返される可能性があるが、ステップＳ１において作成されたＦＥＭ解析モデルデータを一度のＦＥＭ解析（ステップＳ４）しか行わない時点でステップＳ７に到達した場合には、ステップＳ１０の処理が行われていないため、全ての部材が不合格と判定されたことのない部材となる。このため、この場合には、ステップＳ８において全ての部材の識別番号が１ランク下げられる。
【００３６】
断面形状選択部１７は、部材データ記憶部２１～２６を参照して、モデル作成部１１から回答された識別番号から１ランク下げた識別番号を特定する。ここでいう１ランク下げるとは、識別番号を１つ小さい値とする（断面積を小さくする）ことである。例えば、現時点の識別番号が「８」であれば「７」とすることである。
なお、断面形状選択部１７は、先に設定された識別番号が記憶された部材データ記憶部に記憶された断面形状データの中から１ランク下げた識別番号を特定する。つまり、１ランク下げる対象の部材がＨ型鋼である場合には、断面形状選択部１７は、Ｈ型鋼データ記憶部２１に記憶された断面形状データの中から１ランク下げた識別番号を特定する。
【００３７】
断面形状選択部１７は、１ランク下げた識別番号を特定すると、特定した識別番号をモデル作成部１１に対して通知し、ＦＥＭ解析モデルデータの更新を指示する。これを受けて、モデル作成部１１は、不合格と判定されたことのない部材を、通知された識別番号が付された部材と置き換えることによってＦＥＭ解析モデルデータを更新する（ステップＳ８）。つまり、モデル作成部１１は、不合格と判定されたことのない部材を、１ランク下の識別番号が付された部材（すなわち、より小さな断面積の部材）に置き換える。そして、モデル作成部１１は、ＦＥＭ解析モデルデータの更新が終了すると、ＦＥＭ解析部１５に対して、再度ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。
【００３８】
これを受けて、ＦＥＭ解析部１５は、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込み（ステップＳ３）、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求め（ステップＳ４）、強度評価部１６は、再び骨組構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ５）。そして、強度評価部１６が再度全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ６）。つまり、本実施形態においては、全ての部材が合格である限り、ステップＳ３～Ｓ８の処理が繰り返えされる。
【００３９】
一方、ステップＳ６においていずれかの部材が合格でなかった場合（強度条件を満たしていない場合）、強度評価部１６は、過去にステップＳ６において全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ９）。
そして、過去にステップＳ６において全ての部材が合格したと判定されていない場合には、強度評価部１６は、断面形状選択部１７に対して、不合格になった部材の識別番号を１ランク上げる指示を出す。これを受けて、断面形状選択部１７は、モデル作成部１１に対して、不合格であった部材に対して、現時点で設定されている識別番号を問い合わせる。これを受けて、モデル作成部１１は、モデルデータ記憶部１２に記憶されている識別番号を読み出して、断面形状選択部１７に対して回答する。
【００４０】
断面形状選択部１７は、部材データ記憶部２１～２６を参照して、モデル作成部１１から回答された識別番号から１ランク上げた識別番号を特定する。ここでいう１ランク上げるとは、識別番号を１つ大きい値とする（断面積を大きくする）ことである。
なお、断面形状選択部１７は、先に設定された識別番号が記憶された部材データ記憶部に記憶された断面形状データの中から１ランク上げた識別番号を特定する。つまり、１ランク上げる対象の部材がＨ型鋼である場合には、断面形状選択部１７は、Ｈ型鋼データ記憶部２１に記憶された断面形状データの中から１ランク上げた識別番号を特定する。

【００４１】
断面形状選択部１７は、１ランク上げた識別番号を特定すると、特定した識別番号をモデル作成部１１に対して通知し、ＦＥＭ解析モデルデータの更新を指示する。これを受けて、モデル作成部１１は、不合格と判定された部材を、通知された識別番号が付された部材と置き換えることによってＦＥＭ解析モデルデータを更新する（ステップＳ１０）。つまり、モデル作成部１１は、不合格と判定された部材を、１ランク上の識別番号が付された部材に置き換える。つまり、モデル作成部１１は、不合格と判定された部材を、１ランク上の識別番号が付された部材（すなわち、より大きな断面積の部材）に置き換える。そして、モデル作成部１１は、ＦＥＭ解析モデルデータの更新が終了すると、ＦＥＭ解析部１５に対して、再度ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。

【００４２】
これを受けて、ＦＥＭ解析部１５は、モデルデータ記憶部１２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込み（ステップＳ３）、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求め（ステップＳ４）、強度評価部１６は、再び骨組構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ５）。つまり、本実施形態においては、一度ステップＳ６において全ての部材が合格と判定されない限りは、ステップＳ３～Ｓ６、Ｓ９、Ｓ１０の処理が繰り返えされる。

【００４３】
そして、不合格の部材の識別番号を１ランクずつ上げた結果、全ての部材が合格になると、強度評価部１６は、モデルデータ記憶部１２に記憶されている現時点のモデルデータを別記憶領域に一時保存するとともに、評価結果記憶部１８に記憶されている現時点の評価結果情報を別の記憶領域に一時保存する（ステップＳ７）。そして、強度評価部１６は、断面形状選択部１７に対して、不合格と判定されたことのない部材の識別番号を１ランク下げる指示を出す。そして、不合格と判定されたことない部材の断面形状を１ランクずつ下げながら、強度評価部１６によって強度評価を行い、ステップＳ６の判定結果がＮｏになるまでステップＳ３～Ｓ８の処理を繰り返す。

そして、いずれかの部材が合格でなくなった時点で、強度評価部１６は、過去に全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ９）。この例では、過去に全ての部材が合格になっているので、強度評価部１６は、モデルデータ記憶部１２に一時保存してあるモデルデータと、評価結果記憶部１８に一時保存してある評価結果情報を元の記憶領域に戻す（ステップＳ１１）。そして、モデルデータ記憶部１２に記憶されたＦＥＭ解析モデルデータと、評価結果記憶部１８に記憶されている評価結果情報とを設計図書情報として表示部３へ表示する。この設計図書情報は、図示しない印刷装置に対して出力することにより、設計図書情報の印刷物を作成するようにしてもよい。

【００４４】
次に、図３を参照して、図２に示す座屈長さの設定処理（ステップＳ２）の動作について説明する。図３は、図１に示す座屈長さ設定部１４の詳細動作を示すフローチャートである。まず、座屈長さ設定部１４は、グルーピング処理部１３に対して、モデルデータ中に定義されている部材のグルーピング処理を実行するように指示を出す。骨組構造物のＦＥＭ解析用モデルデータは、図７に示すように、部材が接続される位置に節点（図７に示す○印）を定義する必要があり、１つのＨ型鋼であっても複数の部材要素に分割して定義するのが一般的である。すなわち、モデルデータ上は、実際の構造物では１つの部材が用いられていても複数の部材で定義されていることになる。

【００４５】
例えば、図７において、符号Ｈ１で示す１本のＨ型鋼が用いられる梁は、５つの節点（Ｓ１、Ｓ２、Ｓ３、Ｓ４、Ｓ５）を定義しなければならないため、梁Ｈ１は、節点Ｓ１、Ｓ２を両端にもつ要素と、節点Ｓ２、Ｓ３を両端にもつ要素と、節点Ｓ３、Ｓ４を両端にもつ要素と、節点Ｓ４、Ｓ５を両端にもつ要素の４つの要素が存在することになる。しかし、実際の構造物には、１本のＨ型鋼が用いられているため、グルーピング処理は、４つの要素を１つの部材と見なして解析が行えるようにグループ化するものである。グルーピ

ング処理部１３は、モデル作成部１１において作成したモデルデータの中から節点で接合された複数の部材が１つの直線を形成している部材を探索し、１つの直線を形成している複数の部材を１つの部材と見なすようにグループ化処理を実行する（ステップＳ２１）。このグルーピング処理の詳細動作は後述する。グルーピング処理部１３は、グループ化した要素（部材）を定義したグループリスト情報を座屈長さ設定部１４へ出力する。

【００４６】

次に、座屈長さ設定部１４は、グループリストに定義されているグループ化部材（１つの部材と見なす部材）のそれぞれに対して、ステップＳ２２～Ｓ３１の処理を行う。座屈長さ設定部１４は、グループリスト上のＩ番目のグループが柱または梁であるかを判定する（ステップＳ２３）。この判定は、垂直か水平であるかによって判定する。この判定の結果、柱でもなく梁でもない場合は、次のグループに処理を移行する。

【００４７】

一方、柱か梁である場合、座屈長さ設定部１４は、グループ化した部材の局所座標系を決定する（ステップＳ２４）。局所座標系は、部材の長手方向をＸ軸とし、局所座標系のＺ軸は、グローバル座標系（モデルデータの座標系）のＹ軸に近い方とした直交座標系を決定する。そして、座屈長さ設定部１４は、Ｉ番目のグループ化部材を構成する１つ１つの部材に対して、ステップＳ２５～Ｓ２８の処理を行う。座屈長さ設定部１４は、各部材（節点で挟まれた部材）に対して、局所座標系のＹ軸方向から接続されている部材があるかをチェックし、接続されていれば、その部材長さをＹ軸方向の座屈長さの候補とする（ステップＳ２６）。また、座屈長さ設定部１４は、各部材（節点で挟まれた部材）に対して、局所座標系のＺ軸方向から接続されている部材があるかをチェックし、接続されていれば、その部材長さをＺ軸方向の座屈長さの候補とする（ステップＳ２７）。

【００４８】

次に、座屈長さ設定部１４は、Ｙ軸方向の座屈長さの複数の候補のうち、最も長い座屈長さ（部材長さ）をＹ軸方向の座屈長さとする（ステップＳ２９）。また、座屈長さ設定部１４は、Ｚ軸方向の座屈長さの複数の候補のうち、最も長い座屈長さ（部材長さ）をＺ軸方向の座屈長さとする（ステップＳ３０）。この処理を、全てのグループ化部材に対して行うことにより、グループ化部材（実際には１本の部材）に対して、Ｙ軸方向及びＺ軸方向の座屈長さを求め、求めた座屈長さの値をモデル作成部１１へ出力する。モデル作成部１１は、座屈長さ設定部１４から出力された座屈長さの値をモデルデータ中に定義して、モデルデータ記憶部１２へ記憶する。

【００４９】

ここで、図３に示す処理動作について、図６を参照して説明する。図６において、符号Ｈ１で示す梁がＩ番目のグループ化部材である場合、座屈長さ設定部１４は、梁Ｈ１の長手方向を局所座標系のＸ軸とし、グローバル座標系のＹ軸に近い方向を局所座標系のＺ軸とした直交座標系を定義する。そして、梁Ｈ１に対して、Ｙ軸方向から延びる部材の接続状態をチェックすると、梁Ｈ１に対して２箇所で部材が接続されているため、Ｙ軸方向の座屈長さの候補ａ、ｂ、ｃを求めることができる。また、梁Ｈ１に対して、Ｚ軸方向から延びる部材の接続状態をチェックすると、梁Ｈ１に対して１箇所で部材が接続されているため、Ｚ軸方向の座屈長さの候補ｄ、ｅを求めることができる。そして、Ｙ軸方向の座屈長さの候補ａ、ｂ、ｃのうち、最も長い候補はｂであるため、Ｙ軸方向の座屈長さを３５００ｍｍと設定する。また、Ｚ軸方向の座屈長さの候補ｄ、ｅのうち、最も長い候補はｄであるため、Ｚ軸方向の座屈長さを４６００ｍｍと設定する。このような処理を実行することにより、作業者が逐一座屈長さを設定することなく、自動的に設定することが可能となる。

【００５０】

次に、図４を参照して、座屈長さを設定するために必要な骨組構造物を構成する部材を定義するための有限要素をグルーピングする処理を説明する。図４は、図１に示すグルーピング処理部１３の詳細動作を示すフローチャートである。まず、グルーピング処理部１３は、モデル作成部１１を介して、モデルデータ記憶部１２に記憶されているモデルデー

タを読み出す。そして、モデルデータを参照して、一直線となっている部材を探索する（ステップＳ４１）。そして、グルーピング処理部１３は、基線データがあるか否かを判定する（ステップＳ４２）。基線データとは、強度部材が配設されることになる軸線沿う基準線の座標データである。

【００５１】

この判定の結果、基線データがある場合、グルーピング処理部１３は、ステップＳ４３～Ｓ４８の処理を探索した一直線の部材に対して行う。グルーピング処理部１３は、部材が小梁か否かを判定し（ステップＳ４４）、小梁でなければ、直線群を基線上でカットし（ステップＳ４５）、部材が小梁であれば、小梁同士の交点を求め、その位置で直線群をカットする（ステップＳ４６）。そして、カットした直線群をグループリストに追加する（ステップＳ４７）。

【００５２】

一方、基線データない場合、グルーピング処理部１３は、ステップＳ４９～Ｓ５２の処理を探索した一直線の部材に対して行う。グルーピング処理部１３は、他の直線との交点を求め、その位置で直線群をカットする（ステップＳ５０）。そして、カットした直線群をグループリストに追加する（ステップＳ５１）。この処理によって、座屈長さを設定するために必要な骨組構造物を構成する部材を定義するための有限要素をグルーピングすることができる。

【００５３】

以上説明したように、仮定した初期断面形状をもとに、すべての部材が合格するまで構造解析を自動的に繰り返すようにしたため、構造設計にかける手間を大幅に減らすことができるとともに品質のよい構造設計行うことができる。つまり、本実施形態においては、ＦＥＤ解析によって求められた各部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析ＦＥＤ解析によって求められる各部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった部材を断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換えるようにしたため、構造設計にかける手間を大幅に減らすことができるとともに品質のよい構造設計行うことができる。

【００５４】

また、合格した部材はできる限り断面形状を自動的に小さくするようにしため、構造物の重量を最小限に抑えることが可能となり、より最適化設計を行うことができる。

つまり、本実施形態においては、全ての部材においてＦＥＤ解析によって求められる強度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えるようにしたため、構造物の重量を最小限に抑えることが可能となり、より最適化設計を行うことができる。

【００５５】

また、骨組構造のレイアウトを判断基準として自動的に座屈長さを設定することができるため、精度良くかつ効率的に最適化設計を行うための骨組構造を構成する部材の強度を適切に評価することが可能になる。

【００５６】

なお、本実施形態における骨組構造設計プログラムは、例えばコンピュータ装置が読み取り可能な可搬媒体（フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等）に記録された状態で、記憶装置や演算装置等を備えるコンピュータによって構成される本実施形態の骨組構造設計システム１に格納されている。

そして、骨組構造設計プログラムは、上記したように骨組構造設計システム１を動作させることによって骨組構造設計システム１に構造物の最適化設計を行わせる。

このような骨組構造設計プログラムは、可搬媒体に限らず、ハードディスクやメモリ等の記録媒体等に記録される場合もあり、可搬媒体、記録媒体に記録された状態、あるいは通信回線を介して頒布可能とされる。

【００５７】

（第２実施形態）

次に、本発明の第２実施形態として、本発明の構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラムの一実施形態である板骨構造設計システム、板骨構造設計方法及び板骨構造設計プログラムについて説明する。

なお、本実施形態の説明において、上記第１実施形態と同様の部分については、その説明を省略あるいは簡略化する。

【００５８】

図８は本実施形態の板骨構造設計システムの構成を示すブロック図である。この図において、符号４は、ＦＥＭ（Finite Element Method；有限要素法）解析の結果に基づいて、板骨構造の最適化設計を行う板骨構造設計システムであり、コンピュータ装置から構成される。

この板骨構造設計システム４は、板骨構造を有する構造物（板骨構造物）の解析モデルデータを用いて構造物の強度評価を行った結果に基づいて板骨構造物の最適化設計を行う。

【００５９】

図９は、板骨構造物を構成する板骨を示す斜視図である。また、図１０は、板骨構造物を構成する板骨の断面図である。これらの図に示すように、板骨Ｘは、所定の厚みｔを有する板部材である。この板骨Ｘの一方側の面には、当該板骨Ｘの補強するリブＹ（補強部材）が張り巡らされている。

そして、板骨構造物は、複数の板骨同士を溶接により接合することによって構成されている。例えば、船体等は板骨構造物である。

【００６０】

図８に戻り、符号４１は、入力部２から入力される情報に基づいてＦＥＭ解析用のモデルデータを作成するモデル作成部である。

また、このモデル作成部４１は、本発明の断面形状仮定手段として機能し、例えば先に（予め）作成した板骨構造物の解析モデルデータに対して、板骨構造物を構成する各部材の断面形状を仮設定あるいは再設定する。

【００６１】

符号４２は、モデル作成部４１において作成されたＦＥＭ解析用のモデルデータを記憶するモデルデータ記憶部である。

符号４３は、モデル作成部４１において作成したモデルデータの中から接合された複数の部材が１つの直線を形成している部材を探索し、１つの直線を形成している複数の部材を１つの部材と見なすべき部材の集合をグループ化するグルーピング処理部である。

符号４４は、グルーピング処理部４３においてグルーピングされた１つの部材と見なすべき部材の座屈長さを設定する座屈長さ設定部である。

【００６２】

符号４５は、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析用モデルデータを読み込み、該ＦＥＭ解析モデルデータを用いてＦＥＭ（Finite Element Method；有限要素法）解析を実行して、板骨構造物を構成する各部材の強度を求めるＦＥＭ解析部（解析実行手段）である。

なお、板骨構造物を構成する各部材の強度は、ＦＥＭ解析用モデルデータを構成する各要素における応力や変形量によって一義的に定まる値である。このため、本実施形態においてＦＥＭ解析部４５は、ＦＥＭ解析を実行して各要素における応力や変形量を求めることによって板骨構造物の構成する各部材（板骨及びリブ）の強度を求めたこととする。

なお、モデル作成部４１及びＦＥＭ解析部４５は、公知のＦＥＭモデル生成ソフトウェアやＦＥＭ解析ソフトウェア等を記憶しており、該ソフトウェア用いてモデルの作成やＦＥＭ解析を実行する。

【００６３】

符号４６は、ＦＥＭ解析部４５において求めた各要素の応力や変形量（すなわち各部材の強度）に基づいて、強度評価の判定を行う強度評価部である。

符号４７は、強度評価部４６の評価結果に応じて、板骨構造を構成する部材の断面形状

を変更するために、ＪＩＳ（日本工業規格）で定められている部材（構造物に用いることが可能な部材）の断面積を含む断面形状を選択する断面形状選択部である。
符号４８は、強度評価部４６における強度評価の情報を記憶する評価結果記憶部である。

【００６４】
符号５１、５２は、ＪＩＳで定められている板骨構造物に用いられる部材の断面形状データが予め記憶されている部材データ記憶部である。部材データ記憶部５１、５２には、板骨Ｘとリブ Ｙの２種類の断面形状データが予め記憶されている。
板骨データ記憶部５１は、面積の異なる複数の板骨と当該板骨の断面積とが関係付けられた断面形状データを記憶している。板骨データ記憶部５１は、面積の異なる複数の板骨に対して、断面積が昇順となるように順番号の識別番号を付与して記憶している。
なお、板骨の縦横の幅は、板骨構造物の構成によって決定されてしまう。このため、板骨の断面形状は、板厚ｔによって定義することが可能である。そして、板骨データ記憶部５１においては、上記板厚ｔを板骨（識別番号）に関連付けて断面形状データの一部として記憶している。
リブデータ記憶部５２は、面積の異なる複数のリブと当該リブの断面積とが関係付けられた断面形状データを記憶している。リブデータ記憶部５２は、面積の異なる複数の板骨に対して、断面積が昇順となるように順番号の識別番号を付与して記憶している。また、リブデータ記憶部５２は、リブの断面形状を定義するための寸法を、リブに関連付けて断面形状データの一部として記憶している。
さらに、板骨データ記憶部５１及びリブデータ記憶部５２は、各識別番号に関連付けて、当該Ｚ軸、Ｙ軸それぞれの断面二次モーメントの値、捩りモーメントの値、Ｚ軸、Ｙ軸それぞれのせん断面積の値を断面形状データの一部として記憶している。

【００６５】
このような本実施形態の板骨構造設計システム４においては、モデル作成部１１、モデルデータ記憶部１２、強度評価部１６、断面形状選択部１７及び評価結果記憶部１８によって、ＦＥＤ解析によって求められた各部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析ＦＥＤ解析によって求められる各部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった部材を断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換える。つまり、本実施形態の板骨構造設計システム４においては、モデル作成部１１、モデルデータ記憶部１２、強度評価部１６、断面形状選択部１７及び評価結果記憶部１８が本発明における最適化手段を構成している。

【００６６】
次に、図８に示す板骨構造設計システム４の動作（構造設計方法）を説明する。なお、以下の板骨構造設計システム４の動作説明は、図１１のフローチャートを参照して行う。
まず、作業者が入力部２を操作することにより入力される情報等に基づいて、モデル作成部４１は、板骨構造の構造物のＦＥＭ解析モデルデータを作成する（ステップＳ６１）。なお、ＦＥＭ解析モデルデータには、板骨構造物に使用する部材の種類や断面積を特定する情報も含まれ、また例えば図８に示すようなリブＹによって区切られた区間の距離、Ｌ１～Ｌ４、Ｗ１～Ｗ６が含まれる。この使用する部材の断面積は、作業者が入力部１を介して入力する情報に基づいてモデル作成部４１が部材データ記憶部５１、５２に記憶されている断面形状データを選択して読み出すことによって設定される。
また、モデル作成部４１は、作業者が入力部２を操作することにより入力される板骨構造物に対する荷重条件の情報を用いて、設計対象のＦＥＭ解析モデルデータを生成する。
そして、モデル作成部４１が上述のようにして作成したＦＥＭ解析モデルデータは、モデル作成部４１から出力されてモデルデータ記憶部４２に入力され、モデルデータ記憶部４２に記憶される。
なお、ステップＳ６１において作成されるＦＥＭ解析モデルデータは、後に行われる最適化処理を行うにあたり、ベースとされるモデルデータである。このため、使用する部材の断面積は任意の値で構わない。したがって、ＦＥＭ解析モデルデータに用いられる上記

断面形状データの値は、部材データ記憶部５１、５２に記憶される範囲で任意に選択すれば良い。つまり、ステップＳ６１において作成されるＦＥＭ解析モデルデータは、部材データ記憶部５１、５２に記憶された任意の識別番号に関連付けられた値を用いて作成されるものであり、板骨構造物を構成する各部材の断面形状が仮設定されたものである。

【００６７】

次に、作業者が入力部２を介して設計最適化処理の実行を指示すると、座屈長さ設定部４４は、モデル作成部４１によって作成されて、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータに対して、座屈長さの設定を行い、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを更新する。（ステップＳ６２）。

【００６８】

次に、モデル作成部４１は、座屈長さの設定が終了すると、ＦＥＭ解析部４５に対して、ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。これを受けて、ＦＥＭ解析部４５は、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込む（ステップＳ６３）。そして、ＦＥＭ解析部４５は、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求める（ステップＳ４）。ＦＥＭ解析部４５は、ここで求めた解析結果（各要素毎の応力や変形量）を強度評価部４６へ出力する。これを受けて、強度評価部４６は、板骨構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ６５）。強度評価は、各部材毎の応力や変形量の値が予め決められたしきい値を超えたか否かを判定することにより行われる。そして、強度評価部４６は、各部材が強度条件を満足するか否かを評価結果として含むＦＥＭ解析結果を出力する。このＦＥＭ解析結果は、評価結果記憶部４８に入力されると共に評価結果記憶部４８において記憶される。

【００６９】

次に、強度評価部４６は、評価を行った全ての部材が合格（強度条件を満足）したか否かを判定する（ステップＳ６６）。この判定の結果、全ての部材が合格していた場合（強度条件を満足する場合）、強度評価部４６は、モデルデータ記憶部４２に記憶されている現時点のＦＥＭ解析モデルデータを別の記憶領域に一時保存するとともに、評価結果記憶部４８に記憶されている現時点の評価結果情報を別の記憶領域に一時保存する（ステップＳ６７）。

そして、強度評価部４６は、断面形状選択部４７に対して、不合格と判定されたことのない部材の識別番号を１ランク下げる指示を出す。なお、ここでの不合格と判定されたことのない部材とは、後述するステップＳ７０において識別番号を１ランク上げられたことのない部材（置き換えが行われなかった部材）を指す。これを受けて、断面形状選択部４７は、モデル作成部４１に対して、現時点で設定されている識別番号を問い合わせる。これを受けて、モデル作成部４１は、モデルデータ記憶部４２に記憶されている識別番号を読み出して、断面形状選択部４７に対して回答する。

なお、図１１から分かるように、本実施形態においてはＦＥＭ解析の実行（ステップＳ６４）が複数回繰り返される可能性があるが、ステップＳ１において作成されたＦＥＭ解析モデルデータを一度のＦＥＭ解析（ステップＳ６４）しか行わない時点でステップＳ６７に到達した場合には、ステップＳ７０の処理が行われていないため、全ての部材が不合格と判定されたことのない部材となる。このため、この場合には、ステップＳ６８において全ての部材の識別番号が１ランク下げられる。

【００７０】

断面形状選択部４７は、部材データ記憶部５１、５２を参照して、モデル作成部４１から回答された識別番号から１ランク下げた識別番号を特定する。ここでいう１ランク下げるとは、識別番号を１つ小さい値とする（断面積を小さくする）ことである。例えば、現時点の識別番号が「８」であれば「７」とすることである。

なお、断面形状選択部４７は、先に設定された識別番号が記憶された部材データ記憶部に記憶された断面形状データの中から１ランク下げた識別番号を特定する。つまり、１ランク下げる対象の部材が板骨である場合には、断面形状選択部４７は、板骨データ記憶部５１に記憶された断面形状データの中から１ランク下げた識別番号を特定する。

【００７１】
断面形状選択部４７は、１ランク下げた識別番号を特定すると、特定した識別番号をモデル作成部４１に対して通知し、ＦＥＭ解析モデルデータの更新を指示する。これを受けて、モデル作成部１１は、不合格と判定されたことのない部材を、通知された識別番号が付された部材と置き換えることによってＦＥＭ解析モデルデータを更新する（ステップＳ６８）。つまり、モデル作成部１１は、不合格と判定されたことのない部材を、１ランク下の識別番号が付された部材（すなわち、より小さな断面積の部材）に置き換える。
このようにステップＳ６８において不合格と判定されたことのない部材を１ランク下の識別番号が付された部材に置き換えた場合には、板骨の厚みが減少あるいはリブの断面積が減少することとなり、ＦＥＭ解析モデルデータにおける板骨とリブとの位置関係が離間等することによって変化してしまう。このため、本実施形態においてモデル作成部４１は、板骨とリブとの位置関係を補正する（ステップＳ８０）。なお、板骨とリブとの重心位置は、断面積が減少した場合であっても固定されている。このため、モデル作成部４１は、板骨とリブの重心位置を検出し、リブが板骨の一面と接触するように当該重心位置を移動させることによって板骨とリブとの位置関係を補正する。
また、ステップＳ６４においては、リブの断面性能を解析するために、リブが接合された板骨の有効幅が用いられる。この有効幅は、ステップＳ６８において不合格と判定されたことのない部材を１ランク下の識別番号が付された部材に置き換えた場合には、変化する。このため、本実施形態においてモデル作成部４１は、有効幅を再算出（補正）する（ステップＳ８１）。
モデル作成部４１は、このようにＦＥＭ解析モデルデータの更新が終了すると、ＦＥＭ解析部４５に対して、再度ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。
【００７２】
これを受けて、ＦＥＭ解析部４５は、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込み（ステップＳ６３）、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求め（ステップＳ６４）、強度評価部４６は、再び板骨構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ６５）。そして、強度評価部４６が再度全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ６６）。つまり、本実施形態においては、全ての部材が合格である限り、ステップＳ６３～Ｓ６８、Ｓ８０、Ｓ８１の処理が繰り返えされる。
【００７３】
一方、ステップＳ６６においていずれかの部材が合格でなかった場合（強度条件を満たしていない場合）、強度評価部４６は、過去にステップＳ６６において全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ６９）。
そして、過去にステップＳ６６において全ての部材が合格したと判定されていない場合には、強度評価部４６は、断面形状選択部４７に対して、不合格になった部材の識別番号を１ランク上げる指示を出す。これを受けて、断面形状選択部４７は、モデル作成部４１に対して、不合格であった部材に対して、現時点で設定されている識別番号を問い合わせる。これを受けて、モデル作成部４１は、モデルデータ記憶部４２に記憶されている識別番号を読み出して、断面形状選択部４７に対して回答する。
【００７４】
断面形状選択部４７は、部材データ記憶部５１、５２を参照して、モデル作成部４１から回答された識別番号から１ランク上げた識別番号を特定する。ここでいう１ランク上げるとは、識別番号を１つ大きい値とする（断面積を大きくする）ことである。
なお、断面形状選択部４７は、先に設定された識別番号が記憶された部材データ記憶部に記憶された断面形状データの中から１ランク上げた識別番号を特定する。つまり、１ランク上げる対象の部材が板骨である場合には、断面形状選択部４７は、板骨データ記憶部５１に記憶された断面形状データの中から１ランク上げた識別番号を特定する。
【００７５】
断面形状選択部４７は、１ランク上げた識別番号を特定すると、特定した識別番号をモ

デル作成部４１に対して通知し、ＦＥＭ解析モデルデータの更新を指示する。これを受けて、モデル作成部４１は、不合格と判定された部材を、通知された識別番号が付された部材と置き換えることによってＦＥＭ解析モデルデータを更新する（ステップＳ７０）。つまり、モデル作成部４１は、不合格と判定された部材を、１ランク上の識別番号が付された部材（すなわち、より大きな断面積の部材）に置き換える。

このようにステップＳ７０において不合格と判定された部材を１ランク上の識別番号が付された部材に置き換えた場合には、板骨の厚みが増加あるいはリブの断面積が増加することとなり、ＦＥＭ解析モデルデータにおける板骨とリブとの位置関係が変化してしまう。このため、本実施形態においてモデル作成部４１は、ステップＳ８０と同様に、板骨とリブとの位置関係を補正する（ステップＳ８２）。また、モデル作成部４１は、ステップＳ８１と同様に有効幅を再算出（補正）する（ステップＳ８３）。

モデル作成部４１は、ＦＥＭ解析モデルデータの更新が終了すると、ＦＥＭ解析部４５に対して、再度ＦＥＭ解析処理の実行を指示する。

【００７６】

これを受けて、ＦＥＭ解析部４５は、モデルデータ記憶部４２に記憶されているＦＥＭ解析モデルデータを読み込み（ステップＳ６３）、ＦＥＭ解析を実行して、各要素毎の応力や変形量を求め（ステップＳ６４）、強度評価部４６は、再び板骨構造物を構成する各部材毎の強度評価を行う（ステップＳ６５）。つまり、本実施形態においては、一度ステップＳ６６において全ての部材が合格と判定されない限りは、ステップＳ６３～Ｓ６６、Ｓ６９、Ｓ７０、Ｓ８２、Ｓ８３の処理が繰り返えされる。

【００７７】

そして、不合格の部材の識別番号を１ランクずつ上げた結果、全ての部材が合格になると、強度評価部４６は、モデルデータ記憶部４２に記憶されている現時点のモデルデータを別記憶領域に一時保存するとともに、評価結果記憶部４８に記憶されている現時点の評価結果情報を別の記憶領域に一時保存する（ステップＳ６７）。そして、強度評価部４６は、断面形状選択部４７に対して、不合格と判定されたことのない部材の識別番号を１ランク下げる指示を出す。そして、不合格と判定されたことない部材の断面形状を１ランクずつ下げながら、強度評価部４６によって強度評価を行い、ステップＳ６の判定結果がＮｏになるまでステップＳ６３～Ｓ６８、Ｓ８０、Ｓ８１の処理を繰り返す。

そして、いずれかの部材が合格でなくなった時点で、強度評価部４６は、過去に全ての部材が合格したか否かを判定する（ステップＳ６９）。この例では、過去に全ての部材が合格になっているので、強度評価部４６は、モデルデータ記憶部４２に一時保存してあるモデルデータと、評価結果記憶部４８に一時保存してある評価結果情報を元の記憶領域に戻す（ステップＳ７１）。そして、モデルデータ記憶部４２に記憶されたＦＥＭ解析モデルデータと、評価結果記憶部４８に記憶されている評価結果情報とを設計図書情報として表示部３へ表示する。この設計図書情報は、図示しない印刷装置に対して出力することにより、設計図書情報の印刷物を作成するようにしてもよい。

【００７８】

以上説明したように、仮定した初期断面形状をもとに、すべての部材が合格するまで構造解析を自動的に繰り返すようにしたため、構造設計にかける手間を大幅に減らすことができるとともに品質のよい構造設計行うことができる。つまり、本実施形態においては、ＦＥＤ解析によって求められた各部材の強度が強度条件を満たしているか否かを判定し、解析ＦＥＤ解析によって求められる各部材の強度が強度条件を満たすまで、強度条件を満たさなかった部材を断面形状データから選択するより大きな断面積の部材に置き換えるようにしたため、構造設計にかける手間を大幅に減らすことができるとともに品質のよい構造設計行うことができる。

【００７９】

また、合格した部材はできる限り断面形状を自動的に小さくするようにしため、構造物の重量を最小限に抑えることが可能となり、より最適化設計を行うことができる。

つまり、本実施形態においては、全ての部材においてＦＥＤ解析によって求められる強

度が強度条件を満たした場合に、置き換えが行われなかった部材を断面形状データから選択するより小さな断面積の部材に置き換えるようにしたため、構造物の重量を最小限に抑えることが可能となり、より最適化設計を行うことができる。

【００８０】

なお、本実施形態における板骨構造設計プログラムは、例えばコンピュータ装置が読み取り可能な可搬媒体（フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ、ＣＤ－ＲＯＭ等）に記録された状態で、記憶装置や演算装置等を備えるコンピュータによって構成される本実施形態の板骨構造設計システム４に格納されている。

そして、板骨構造設計プログラムは、上記したように板骨構造設計システム４を動作させることによって板骨構造設計システム４に構造物の最適化設計を行わせる。

このような板骨構造設計プログラムは、可搬媒体に限らず、ハードディスクやメモリ等の記録媒体等に記録される場合もあり、可搬媒体、記録媒体に記録された状態、あるいは通信回線を介して頒布可能とされる。

【００８１】

以上、添付図面を参照しながら本発明の好適な実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限定されないことは言うまでもない。上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。

【００８２】

例えば、上記実施形態においては、本発明の構造物の最適化設計を行う構造設計システム、構造設計方法及び構造設計プログラムを、骨組構造体あるいは板骨構造体の設計作業に適用する構成について説明した。

しかしながら、本発明はこれに限定されるものではなく、骨組構造と板骨構造との両方の構造を有する構造体の設計作業に適用することも可能である。

【００８３】

また、上記実施形態においては、ＦＥＭ解析を行うことによって構造物の強度評価を行う構成について説明した。

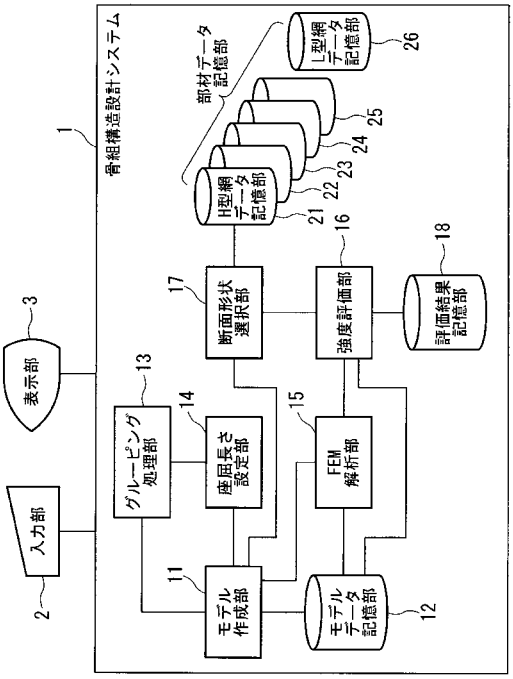
しかしながら、本発明はこれに限定されるものではなく、境界要素法や差分法を用いた数値解析によって構造物の強度評価を行う場合にも適用することができる。この場合には、用いられる数値解析に適した解析モデルデータがモデル作成部によって作成される。

【符号の説明】

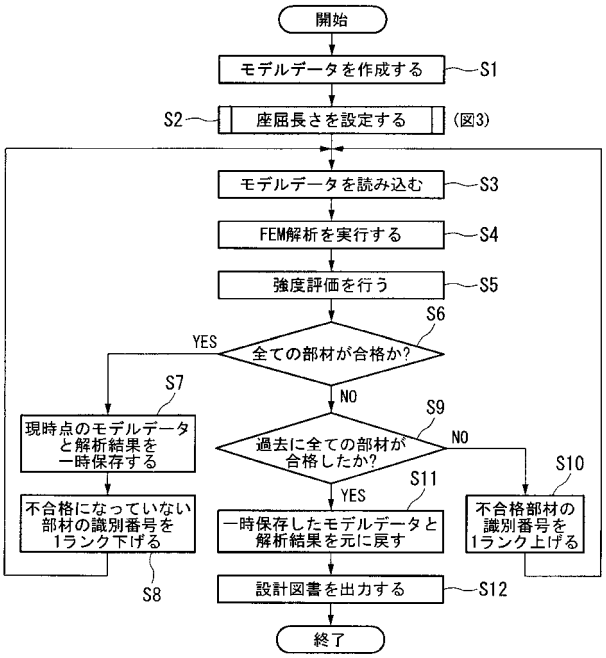
【００８４】

１・・・骨組構造設計システム、２・・・入力部、３・・・表示部、４……板骨構造設計システム、１１，４１・・・モデル作成部、１２，４２・・・モデルデータ記憶部、１３，４３・・・グルーピング処理部、１４，４４・・・座屈長さ設定部、１５，４５・・・ＦＥＭ解析部、１６，４６・・・強度評価部、１７，４７・・・断面形状選択部、２１・・・Ｈ型鋼データ記憶部、２２・・・Ｉ型鋼データ記憶部、２３・・・角鋼管データ記憶部、２４・・・溝型鋼データ記憶部、２５・・・丸鋼管データ記憶部、２６・・・Ｌ型鋼データ記憶部、５１……板骨データ記憶部、５２……リブデータ記憶部

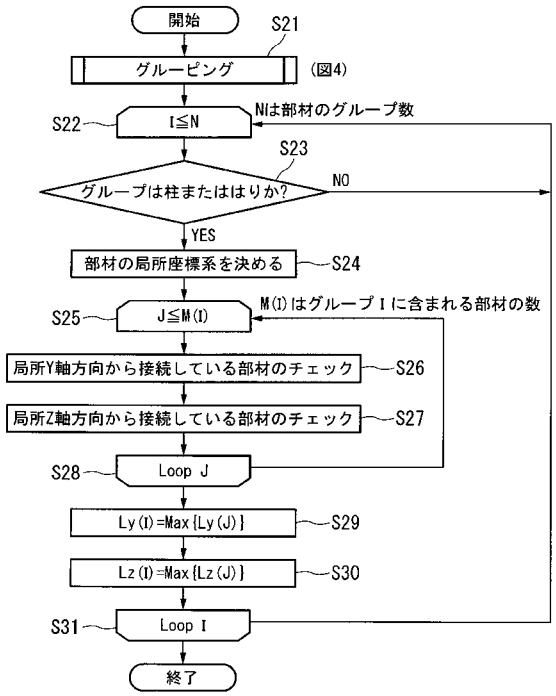
【図１】


骨組構造設計システム
1
部材データ記憶部
L型網データ記憶部
26
H型網データ記憶部
21
22
23
24
25
16
17
18
断面形状選択部
強度評価部
評価結果記憶部
3
表示部
13
14
15
グルーピング処理部
座屈長さ設定部
FEM解析部
入力部
2
11
12
モデル作成部
モデルデータ記憶部

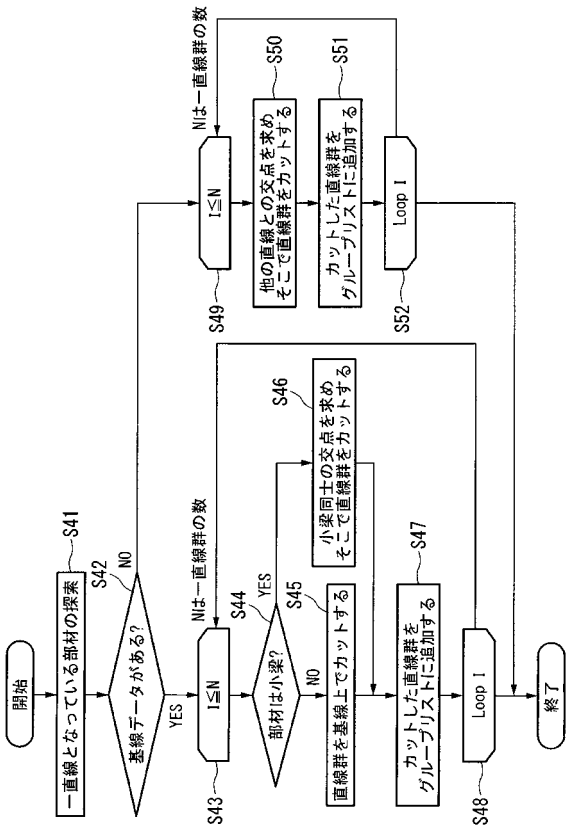
【図２】


開始
モデルデータを作成する
S1
S2
座屈長さを設定する
(図3)
モデルデータを読み込む
S3
FEM解析を実行する
S4
強度評価を行う
S5
S6
全ての部材が合格か?
YES
NO
S7
現時点のモデルデータと解析結果を一時保存する
S9
過去に全ての部材が合格したか?
NO
S10
YES
S11
不合格になっていない部材の識別番号を1ランク下げる
一時保存したモデルデータと解析結果を元に戻す
不合格部材の識別番号を1ランク上げる
S8
設計図書を出力する
S12
終了

【図３】


開始
S21
グルーピング
(図4)
S22
I≦N
Nは部材のグループ数
S23
グループは柱またははりか?
NO
YES
部材の局所座標系を決める
S24
S25
J≦M(I)
M(I)はグループIに含まれる部材の数
局所Y軸方向から接続している部材のチェック
S26
局所Z軸方向から接続している部材のチェック
S27
S28
Loop J
Ly(I)=Max{Ly(J)}
S29
Lz(I)=Max{Lz(J)}
S30
S31
Loop I
終了

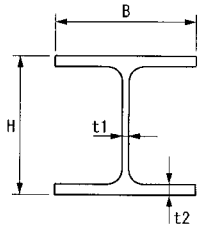
【図４】


開始
一直線となっている部材の探索
S41
S42
基線データがある?
NO
YES
Nは一直線群の数
I≦N
S43
S44
部材は小梁?
YES
NO
S45
直線群を基線上でカットする
S46
小梁同士の交点を求めそこで直線群をカットする
S47
カットした直線群をグループリストに追加する
Loop I
S48
S49
他の直線との交点を求めそこで直線群をカットする
S50
カットした直線群をグループリストに追加する
S51
Loop I
S52
終了

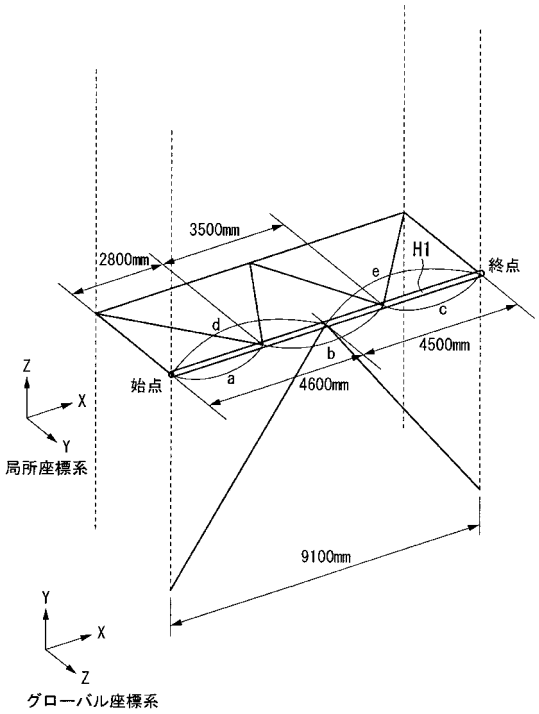
【図５】

識別番号	H×B	t1	t2	断面積			・・・・
1	100×50	5	7	11.85			
2	125×60	6	8	16.69			
3	150×75	5	7	17.85			
4	100×100	6	8	21.59			
5	198×99	4.5	7	22.69			
6	175×90	5	8	22.9			
7	148×100	6	9	26.35			
8	200×100	5.5	8	26.67			
9	125×125	6.5	9	30			
10	248×124	5	8	31.99			
11	250×125	6	9	36.97			
12	194×150	6	9	38.11			
13	150×150	7	10	39.65			
14	298×149	5.5	8	40.8			
15	300×150	6.5	9	46.78			
16	175×175	7.5	11	51.42			
17	244×175	7	11	55.49			
18	200×200	8	12	63.53			
19	294×200	8	12	71.05			
20	200×204	12	12	71.53			
21	244×252	11	11	81.31			
22	298×201	9	14	82.03			
23	208×202	10	16	83.69			
24	248×249	8	13	83.95			
25	250×250	9	14	91.43			
26	250×255	14	14	103.9			
⋮							

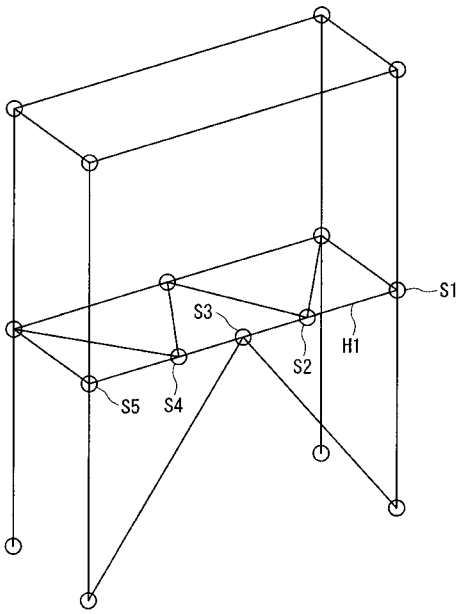
ランクを下げる ←→ ランクを上げる



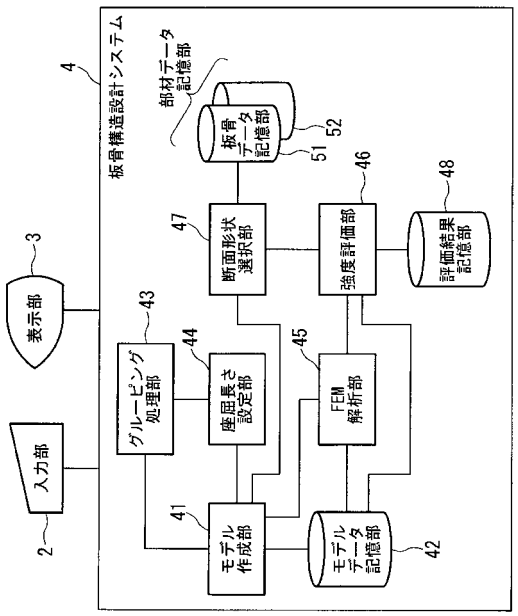
【図６】



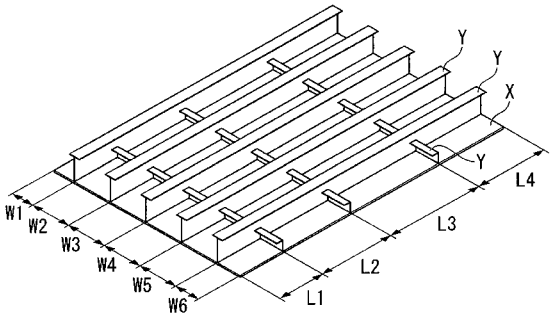
【図７】



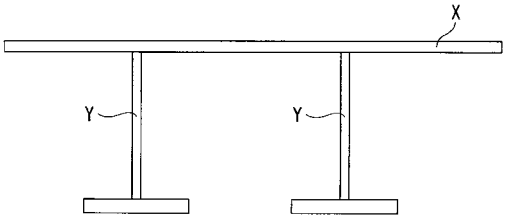
【図８】



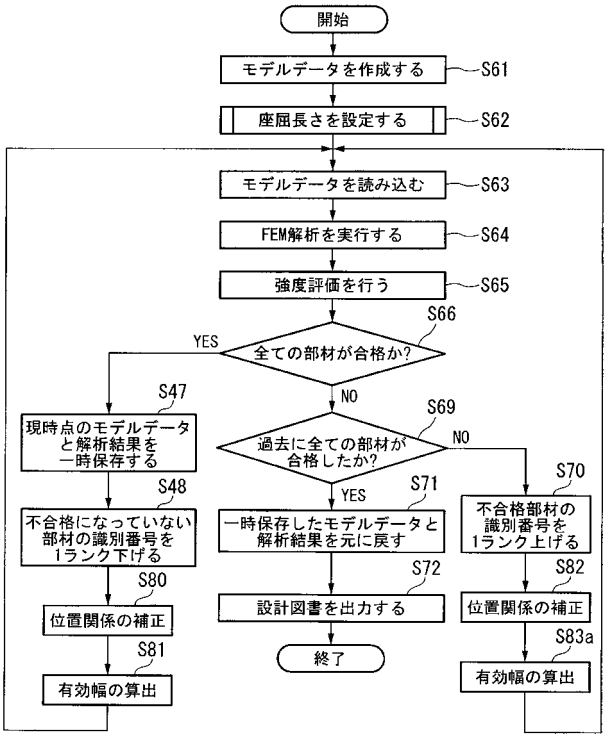
【図９】


Y
Y
X
Y
L4
L3
L2
L1
W1
W2
W3
W4
W5
W6

【図１０】


X
Y
Y

【図１１】


開始
モデルデータを作成する
S61
座屈長さを設定する
S62
モデルデータを読み込む
S63
FEM解析を実行する
S64
強度評価を行う
S65
S66
全ての部材が合格か?
YES
NO
S47
現時点のモデルデータと解析結果を一時保存する
S48
不合格になっていない部材の識別番号を1ランク下げる
S80
位置関係の補正
S81
有効幅の算出
S69
過去に全ての部材が合格したか?
NO
YES
S71
一時保存したモデルデータと解析結果を元に戻す
S72
設計図書を出力する
終了
S70
不合格部材の識別番号を1ランク上げる
S82
位置関係の補正
S83a
有効幅の算出