

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



(43) 国際公開日
2010 年 12 月 16 日(16.12.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/143324 A1

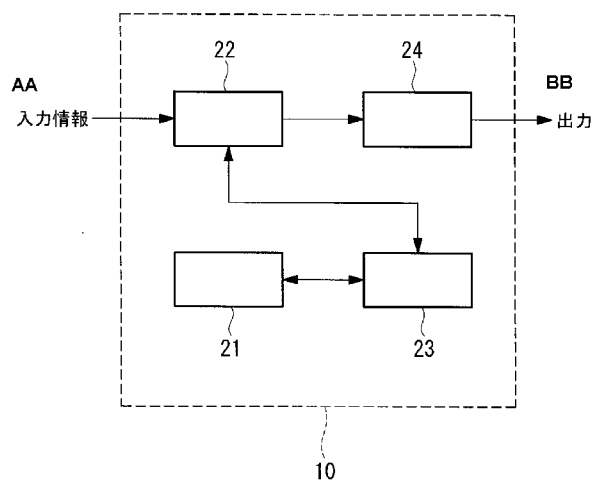
- (51) 国際特許分類:
G01N 3/08 (2006.01) G21C 17/00 (2006.01)
F22B 1/16 (2006.01) G21D 1/00 (2006.01)
F22B 37/20 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/071149
- (22) 国際出願日: 2009 年 12 月 18 日(18.12.2009)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2009-139463 2009 年 6 月 10 日(10.06.2009) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三菱重工業株式会社(MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.) [JP/JP]; 〒1088215 東京都港区港南二丁目 1 6 番 5 号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者; および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 小川 直輝 (OGAWA, Naoki) [JP/JP]; 〒6768686 兵庫県高砂市荒井町新浜 2 丁目 1 番 1 号 三菱重工業株式会社 高砂研究所内 Hyogo (JP). 嶋村 健吾 (SHIMAMURA, Kengo) [JP/JP]; 〒6528585 兵庫県神戸市兵庫区和田崎町一丁目 1 番 1 号 三菱重工業株式会社 神戸造船所内 Hyogo (JP).
- (74) 代理人: 藤田 考晴, 外(FUJITA, Takaharu et al.); 〒2208137 神奈川県横浜市西区みなとみらい 2-2-1 横浜ランドマークタワー 37F Kanagawa (JP).
- (81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: INPLANE COMPRESSIVE STRENGTH EVALUATION DEVICE AND METHOD

(54) 発明の名称: 面内圧縮強度評価装置及び方法

[図2]



AA INPUT INFORMATION
BB OUTPUT

(57) Abstract: The purpose of this invention is to ensure cost reduction and increase of evaluation accuracy. Provided is an inplane compressive strength evaluation device (10) which comprises a storage unit (21), a first analysis unit (22), an adjustment unit (23), and a second analysis unit (24). When an inplane compressive strength evaluation is actually performed by using a test specimen, the storage unit (21) stores an evaluation result relating to a load and the amount of displacement of the test specimen as first information. The first analysis unit (22) creates a structural model of the test specimen and performs a simulation of inplane compressive strength evaluation, to thereby obtain second information which is an evaluation result relating to the load and the amount of displacement of the structural model. The adjustment unit (23) adjusts the element factor of the structural model, which affects the inplane compressive strength, so as to make the second information closer to the first information. The second analysis unit (24) develops the structural model into the structural form of an actual tube support plate and uses the developed structural model to perform inplane compressive strength evaluation in a state where the element factor when the second information becomes closest to the first information is maintained.

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2010/143324 A1



添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

コスト低減並びに評価精度の向上を図る。供試体を用いて実際に面内圧縮強度評価を行ったときの荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果が第 1 情報として格納されている記憶部 (21) と、供試体の構造モデルを作成し面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第 2 情報を得る第 1 解析部 (22) と、第 2 情報が第 1 情報に近づくように、面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子を調整するための調整部 (23) と、第 2 情報が第 1 情報に最も近づいたときの要素因子が維持された状態で、構造モデルを管支持板の実機の構造形状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う第 2 解析部 (24) とを具備する面内圧縮強度評価装置 (10) を提供する。

明 細 書

発明の名称： 面内圧縮強度評価装置及び方法

技術分野

[0001] 本発明は、蒸気発生器に用いられる管支持板に関する面内圧縮強度を解析する面内圧縮強度評価装置及び方法に関するものである。

背景技術

[0002] 原子力発電所では、原子炉において加熱された一次冷却水を蒸気発生器へ供給し、蒸気発生器において一次冷却水の熱により二次冷却水を加熱して二次蒸気を生成し、この二次蒸気を蒸気タービンに供給して蒸気タービンを回転し、発電機を駆動している。

[0003] 図9は、原子力発電所で用いられている蒸気発生器の概略構成を示した図である。図9に示すように、蒸気発生器1は、堅型の外筒2、外筒2と一体的に形成された管板3、及び管板3に両端が挿入・接合されている多数の逆U字形の伝熱管7を備えている。種々の曲げ半径を有する多数の伝熱管7は伝熱管束を形成し、これは内筒4によって囲まれると共に多数の管支持板5により水平方向に支持されている。

管支持板5には、多数の伝熱管7が貫通するための貫通孔が形成されている。管支持板5は、伝熱管7の振動防止や相互間の間隔保持のために使用される。つまり、管支持板5を多数の伝熱管7が貫通しているため、伝熱管7の相互間の間隔が保持できるとともに、伝熱管7の振動防止を図り、更に、地震などにより横荷重（水平方向に作用する荷重）が作用したときに、この横荷重を管支持板5が支えるようになっている。

[0004] このような構成の蒸気発生器において、高温の加熱流体6は第1水室8に流入し、この加熱流体6が伝熱管7を貫流し、熱を与えて低温になり、第2水室9から流出する。加熱流体6は、例えば原子炉冷却材である。また、給水ノズル30を通して流入した給水31は、内筒4と外筒2との間を流れ下り、管板3の上面で反転して伝熱管7に沿って上昇する。その際、給水31

は、熱交換により加熱流体 6 から熱を奪い、昇温し、沸騰し、蒸気になる。その蒸気 33 は、蒸気ノズル 34 から流出し、例えば蒸気タービンに向かう。

[0005] 図 10 は、管支持板 5 を蒸気発生器 1 の上方から見た平面図である。図 10 に示すように、管支持板 5 の外周には、所定の間隔をおいて、ウェッジ 50 が設けられている。このウェッジ 50 は、管支持板 5 が蒸気発生器内に配置されたときに、内筒 4 と管支持板 5 との間の隙間を埋めるためのものである。

また、管支持板 5 の中央部分（図ではハッチングを施した部分）には、伝熱管 7 を貫通させるための多数の（例えば、数千個）の貫通孔 100（図 11 参照）が形成されている。例えば、図 11 に示すように、貫通孔 100 の形状は六角形状をしており、この六角形状を形成する六つの辺 101, 102, 103, 104, 105, 106 のうち、一つおきの辺 102, 104, 106 には、貫通孔 100 の中心に向かって突出する突出部 100a, 100b, 100c が形成されている。なお、図 11 には、4 つの貫通孔 100 のみが示されているが、実際には、管支持板 5 には、このような貫通孔 100 が、基盤の目状に縦横方向に整列した状態で配置されている。このような各貫通孔 100 を伝熱管 7 が貫通している状態において、伝熱管 7 の外周面と貫通孔 100 の内周面との間には隙間が設けられており、この空間が二次冷却水や蒸気の流通路とされる。貫通孔 100 は、伝熱管 7 を支持する機能の他、内筒 4 内を上昇流通する二次冷却水や蒸気を流通させる流路としての機能を果たしている。

[0006] ところで、地震等により蒸気発生器 1 が大きな横荷重を受けると、管支持板 5 にも横荷重が伝搬される。その際、管支持板 5 の面内圧縮強度が弱いと、貫通孔 100 が潰れて伝熱管 7 に接触し、伝熱管 7 が変形（損傷）するおそれがある。このような事態の発生を防ぐため、管支持板 5 は一定の面内圧縮強度を有する必要がある。

[0007] 従来、このような管支持板 5 における面内圧縮強度の評価は、管支持板 5

と同じ構造を有する小型の供試体を作成し、この供試体に横荷重を徐々に加えていき、管支持板 5 に形成された貫通孔 100 が潰れて伝熱管 7 に接触したときの横荷重の値（以下「スティック荷重」という。）を読み取ることで行われていた。このように供試体を用いて評価を行うのは、管支持板 5 の実寸は少なくとも直径 3 m、大きいものでは直径約 6 m にも及ぶことから、試験設備や条件等の種々の制約を受け、実機での面内圧縮強度評価が難しいからである。

このように供試体を用いて面内圧縮強度の評価を行うことで、実機において、横荷重がかかったときに、管支持板 5 にどのような変形が生じ、また、最も損傷を受ける管支持板内部における位置を推定することが可能となる。

先行技術文献

特許文献

[0008] 特許文献1：特開 2008-209063 号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] ところで、貫通孔 100 は、図 11 に示したような配置とされているが、例えば、図中の矢印 A の向きに荷重がかかった場合と、図中の矢印 B の向きに荷重がかかった場合とで面内強度が変わってくる。つまり、管支持板 5 は、荷重が与えられる方向によって面内強度が変化するという異方性を有する。このため、異方性を考慮して面内強度評価を行おうとすると、矢印 A の向きに荷重をかけるための供試体と、矢印 B の向きに荷重をかけるための供試体との少なくとも 2 つの供試体を作成しなければならず、供試体の製作に多大な費用と労力を投じなければならないという問題があった。

[0010] また、供試体の製作には製作誤差がつきものであるが、公差をふった供試体を製作することはコスト面からしてほとんど不可能であり、よって公差評価を行うことができないという問題があった。

[0011] 更に、上述したように、実機における評価が不可能なために、供試体での

評価を行うわけであるが、供試体による評価結果を実機に適用し、実機における面内圧縮強度の評価結果を推定する場合に、推定した評価結果を裏付ける情報が乏しく、信頼性が低いという問題があった。

[0012] 本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであって、コスト低減並びに評価精度の向上を図ることのできる面内圧縮強度評価装置及び方法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

[0013] 上記課題を解決するために、本発明は以下の手段を採用する。

本発明の第1の態様は、蒸気発生器の内部に配置され、伝熱管が貫通する多数の貫通孔が形成された管支持板の面内圧縮強度を評価する面内圧縮強度評価装置であって、実際に使用される前記管支持板と略同じ構造を有する供試体を作成し、該供試体に形成された前記貫通孔の各々に所定長さの伝熱管を挿入した状態で荷重を与えて面内圧縮強度評価を行ったときの荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果が第1情報として格納されている記憶部と、前記供試体の構造モデルを作成し、前記面内圧縮強度評価と同じ条件で面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第2情報を得る第1解析部と、前記第1解析部によって得られた第2情報が前記記憶部に格納されている前記第1情報に近づくように、面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子を調整するための調整部と、前記第2情報が前記第1情報に最も近づいたとき、又は、第2情報と第1情報との差が許容範囲内となったときの前記要素因子が維持された状態で、前記構造モデルを前記蒸気発生器に実際に適用される前記管支持板の構造形状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う第2解析部とを具備する面内圧縮強度評価装置である。

[0014] 上記第1の態様によれば、実際に使用される管支持板と略同じ構造を有する供試体を作成され、この供試体に形成された貫通孔の各々に所定長さの伝熱管を挿入した状態で荷重が与えられることにより、実際に面内圧縮強度評価が行われる。そして、このときに得られた荷重と供試体の変位量とに関する

る評価結果が第1情報として記憶部に格納される。

また、第1の解析部により、供試体の構造モデルが作成され、この供試体の構造モデルを用いた面内圧縮強度評価が実際と同じ条件でシミュレーションされ、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第2情報が取得される。第1情報と第2情報とが得られると、調整部により、第2情報が第1情報に近づくように、構造モデルの要素因子が調整される。このとき調整される要素因子は、面内圧縮強度に影響を与える要素因子である。そして、第2解析部により、第2情報が第1情報に最も近づいたときの要素因子が引き継がれたまま供試体の構造モデルが展開されて実機レベルの構造モデルが作成され、この構造モデルを用いて面内圧縮強度評価が行われる。

[0015] このように、供試体を用いて行われた実際の面内圧縮強度評価の評価結果に近いシミュレーション結果が得られるように、供試体の構造モデルの要素因子の調整が行われ、最も実際の評価結果に近い評価結果が得られたときの要素因子を持つ構造モデルを実機に展開して面内圧縮強度評価をシミュレーションするので、実験結果の再現性が担保された構造モデルを用いて実機のシミュレーションを行うことが可能となり、実機における評価結果の信頼性を高めることができる。

また、従来は異方性を考慮するために供試体を少なくとも2つ用意する必要があったが、本発明では、実際の管支持体の面内圧縮強度評価の特性を把握するために供試体を作成すればよいので、供試体は一つで足りる。従って、供試体の作成に要する費用や労力を軽減することができる。更に、シミュレーションであれば、様々な条件（角度や大きさ等）で荷重を与えることができ、バリエーション豊富な評価を行うことができる。

上記面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子とは、例えば、構造モデルの材料因子及び構造モデルの変形を規定するための変形要素因子が挙げられる。材料因子としては、例えば、材料硬化則等が挙げられる。また、変形要素因子は、3次元モデル（ x ， y ， z ）を2次元モデル（ x ， y ）で簡易的に評価するために用いられる要素であり、例えば、平面応力要素、

平面ひずみ要素等が挙げられる。平面応力要素は、 z 軸方向の応力をゼロ、つまり、構造モデルが z 軸方向に自由に変形することを規定する要素である。平面ひずみ要素は、 z 軸方向のひずみをゼロ、つまり、構造モデルが z 軸方向に変形しないことを規定する要素である。例えば、平面応力要素は、 z 軸方向の厚みが薄い場合に適用され、平面ひずみ要素は、 z 軸方向に十分な厚みがある場合に適用される。

[0016] 上記面内圧縮強度評価装置において、前記第 2 解析部は、前記管支持板の外周に所定の間隔をあけて配置されたウェッジに対して、正弦波状または余弦波状に分布する荷重を与えることにより、面内圧縮強度評価を行うこととしてもよい。

[0017] このように、管支持板の外周に正弦波状または余弦波状に分布する荷重を与えることにより、地震等により振動が管支持板に伝搬されたときに管支持板に与えられる荷重を模擬することができ、現実に応じた荷重を管支持板に与えることが可能となる。これにより、実際に地震等が発生したときの管支持板及びその内部の挙動等を把握することができる。

[0018] 本発明の第 2 の態様は、蒸気発生器の内部に配置され、伝熱管が貫通する多数の貫通孔が形成された管支持板の面内圧縮強度を評価する面内圧縮強度評価方法であって、実際に使用される前記管支持板と略同じ構造を有する供試体を作成し、該供試体に形成された前記貫通孔の各々に所定長さの伝熱管を挿入した状態で荷重を与えて面内圧縮強度評価を行い、荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果を第 1 情報として得る工程と、前記供試体の構造モデルを作成し、前記面内圧縮強度評価と同じ条件で面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第 2 情報を得る工程と、前記第 2 情報が前記第 1 情報に近づくように、面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子を調整する工程と、前記第 2 情報が前記第 1 情報に最も近づいたとき、又は、第 2 情報と第 1 情報との差が許容範囲内となったときの前記要素因子が維持された状態で、前記構造モデルを前記蒸気発生器に実際に適用される前記管支持板の構造形

状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う工程とを含む面内圧縮強度評価方法である。

発明の効果

[0019] 本発明によれば、コスト低減を図ると共に評価精度を向上させることができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0020] [図1]本発明の一実施形態に係る面内圧縮強度評価装置の概略構成を示したブロック図である。

[図2]本発明の一実施形態に係る面内圧縮強度評価装置が備える機能を展開して示した機能ブロック図である。

[図3]供試体の概略構成を示した図である。

[図4]面内圧縮強度評価に使用される載荷治具の概略構成を示した図である。

[図5]面内圧縮強度評価の評価結果の一例を示した図である。

[図6]実機における面内圧縮強度評価のシミュレーションにおいて、ウェッジに与えられる荷重の一例を示した図である。

[図7]本発明の一実施形態に係る面内圧縮強度評価装置の動作フローを示した図である。

[図8]実際の供試体に係る面内圧縮強度評価の評価結果とシミュレーションによる面内圧縮強度評価の評価結果とを比較して示した図である。

[図9]原子力発電所で用いられている蒸気発生器の概略構成を示した図である。

[図10]管支持板を蒸気発生器の上方から見た平面図である。

[図11]貫通孔の形状及び配置の一例を示した図である。

発明を実施するための形態

[0021] 以下に、本発明に係る面内圧縮強度評価装置及び方法の一実施形態について、図面を参照して説明する。

本発明の一実施形態に係る面内圧縮強度評価装置は、原子力発電所で使用される蒸気発生器の内部に配置され、伝熱管が貫通する多数の貫通孔が形成

された管支持板の面内圧縮強度を評価する装置である。蒸気発生器の構造並びに本実施形態に係る面内圧縮強度評価装置が評価の対象とする管支持板は、図9及び図10に示した構造をしており、これらの説明については、上述の通りである。即ち、管支持板5は、図10及び図11に示されるように、その中央部分に、伝熱管7を貫通させるための多数の貫通孔100が形成されている。管支持板は、図9に示される蒸気発生器1の内部に水平状態で配置されるものであり、伝熱管7が貫通孔100を鉛直方向に貫通する。貫通孔100の形状は、例えば、図11に示すように、六角形状をしている。また、伝熱管7が貫通孔100を貫通した状態で、伝熱管7の外周面と貫通孔100の内周面との間には隙間が設けられており、この空間が二次冷却水や蒸気の流通路とされる。

[0022] 図1に、本実施形態に係る面内圧縮強度評価装置の概略構成を示す。図1に示すように、本実施形態に係る面内圧縮強度評価装置10は、コンピュータシステム（計算機システム）であり、CPU（中央演算処理装置）11、RAM（Random Access Memory）等の主記憶装置12、補助記憶装置13、キーボードやマウスなどの入力装置14、表示装置15、及び外部の機器と通信を行うことにより情報の授受を行う通信装置16などで構成されている。

[0023] 補助記憶装置13は、コンピュータ読取可能な記録媒体であり、例えば、磁気ディスク、光磁気ディスク、CD-ROM、DVD-ROM、半導体メモリ等である。この補助記憶装置13には、各種プログラム（例えば、面内圧縮強度評価プログラム）が格納されており、CPU11が補助記憶装置13から主記憶装置12にプログラムを読み出し、実行することにより種々の処理を実現させる。

[0024] 図2は、面内圧縮強度評価装置10が備える機能を展開して示した機能ブロック図である。図2に示されるように、面内圧縮強度評価装置10は、記憶部21と、第1解析部22と、調整部23と、第2解析部24とを備えて構成されている。

[0025] 記憶部 21 には、蒸気発生器に実際に使用される管支持板 5 と略同じ構造を有する供試体を作成し、該供試体に形成された貫通孔 100 の各々に所定長さの伝熱管 7 を挿入した状態で荷重を与えて面内圧縮強度評価を行ったときの荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果が第 1 情報として格納されている。

[0026] 面内圧縮強度評価については、例えば、以下のように行われる。

まず、シミュレーションに先駆けて行われる面内圧縮強度評価では、蒸気発生器 1 に実際に使用される管支持板 5 と略同じ構造を有する供試体を作成される。図 3 に供試体の概略構成を示す。図 3 に示すように、供試体 60 は、四角形とされており、多数の貫通孔 100 が外枠部 40 で挟まれた構成とされている。外枠部 40 は、四辺のうちの対向する二辺（図 3 では X 方向に沿う二辺）にのみ設けられている。

[0027] 図 4 は、面内圧縮強度評価に使用される載荷治具の概略構成を示した図である。載荷治具の基底には、ウェッジ 50 が配置されており、このウェッジ 50 の上に、供試体 60 が固定される。このとき、供試体 60 は、外枠部 40 が底面及び上面になるように、即ち、図 3 において、X 方向が水平方向、Y 軸が鉛直方向となるように、載荷治具に固定される。この状態で、供試体 60 の各貫通孔 100 には、所定長さの伝熱管 7 が挿入される。供試体 60 の各貫通孔 100 に伝熱管 7 が挿入された状態で、供試体 60 の上面部から荷重が与えられることで、面内圧縮強度評価が実施される。面内圧縮強度評価では、荷重を所定量単位で与えていき、そのときの供試体 60 の鉛直方向における変位量を供試体 60 の両側面に配置された 2 つの変位計（図示略）により読み取ることで行われる。図 5 に、面内圧縮強度評価の評価結果の一例を示す。図 5 において、横軸は変位量、縦軸は荷重を示している。荷重が小さい領域では弾性変形により変位量の変化はあまりみられないが、荷重がある値を超えると、弾性変形から塑性変形に変わることにより、所定量当たりの荷重に対する変位量が大きくなる。

[0028] また、面内圧縮強度評価では、図 5 に示すグラフを得る他、スティック荷

重の検出が行われる。このスティック荷重とは、荷重を管支持板 5 の外周から与えることで、徐々に板内部に形成された貫通孔 100 が変形し、いずれか一つの貫通孔 100 の内周面とその貫通孔 100 を貫通している伝熱管 7 の外周面とが接触したときの荷重の値をいう。このスティック荷重は、例えば、所定単位で荷重を与える度に試験員が全ての貫通孔 100 の状態を確認し、貫通孔 100 の内周面が伝熱管 7 の外周面に接触している貫通孔を一つでも確認したときに、そのときに与えていた荷重の値を読み取ることにより検出される。

[0029] 面内圧縮強度評価を行うことにより図 5 に示すような荷重と変位量とが対応付けられた情報（以下「第 1 情報」という。）及びスティック荷重が得られると、この第 1 の情報及びスティック荷重は面内圧縮強度評価装置内の記憶部（図 2 参照）に格納される。

なお、本実施形態では、図 4 に示すような構造の載荷治具を用い、供試体 60 の上面部から荷重を与え、この荷重を基底に配置されたウェッジ 50 で受けるような構造としたが、面内圧縮強度評価に用いられる載荷治具の構造はこの限りでなく、供試体 60 に荷重を与え、荷重と変位量との関係が得られるような試験が可能な治具であれば足りる。

[0030] 図 2 に戻り、第 1 解析部 22 は、上述した実際の面内圧縮強度評価に使用された供試体 60 の構造モデルを作成し、実際の面内圧縮強度評価と同じ条件の面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とが対応付けられた第 2 情報を得る。

具体的には、第 1 解析部 22 は、入力装置 14（図 1 参照）から入力される情報に基づいて、上述した実際の面内圧縮強度評価に使用された供試体の構造モデルを作成するためのプログラムを有しており、このプログラムを実行することで、供試体の構造モデルを作成する。

入力装置 14 から入力される情報としては、例えば、形状因子、材料因子、境界条件、変形要素因子等が挙げられる。形状因子としては、例えば、モデル全体の大きさ、貫通孔の形状、配列等が挙げられる。材料因子としては

、例えば、ヤング率や材料硬化則等が挙げられる。境界条件としては、例えば、ウェッジ50の位置や、供試体60の端部の拘束条件等が挙げられる。また、変形要素因子は、構造モデルの変形を規定するための変形要素因子であり、3次元モデル(x , y , z)を2次元モデル(x , y)で簡易的に評価するために用いられる要素である。具体的には、平面応力要素、平面ひずみ要素等が挙げられる。平面応力要素は、 z 軸方向の応力をゼロ、つまり、構造モデルが z 軸方向に自由に変形することを規定する要素である。平面ひずみ要素は、 z 軸方向のひずみをゼロ、つまり、構造モデルが z 軸方向に変形しないことを規定する要素である。例えば、平面応力要素は、 z 軸方向の厚みが薄い場合に適用され、平面ひずみ要素は、 z 軸方向に十分な厚みがある場合に適用される。

[0031] オペレータによって入力装置14を介して上述の種々の情報が入力されると、第1解析部22はこれらの情報に基づいて構造モデルを作成する。そして、第1解析部22は、数値解析手法を用いることにより、実際の面内圧縮強度評価と同じ条件の面内圧縮強度評価をシミュレーションする。これにより、荷重と構造モデルの変位量とが対応付けられた第2情報が取得される。なお、数値解析手法の一例としては、有限要素法が挙げられる。

[0032] 調整部23は、第1解析部22によって得られた第2情報が記憶部21に格納されている第1情報に近づくように、該構造モデルにおいて面内圧縮強度に影響を与える要素因子を調整する。

具体的には、調整部23は、まず、記憶部21に格納されている第1情報と第1解析部22によって得られた第2情報との差分を算出し、この差分の最大値が予め設定されている許容範囲内であるか否かを判定する。

[0033] この結果、差分の最大値が許容範囲内でなければ、構造モデルを作成するのに用いられた上記各種要素因子のうち、材料因子及び変形要素因子の少なくとも一方を変更して、構造モデルを変更する。具体的には、本実施形態では、材料因子として材料硬化則が調整される。また、変形要素因子としては、例えば、予め設定されている平面応力要素、平面ひずみ要素等の複数の変

形要素因子の中からいずれかの要素が選択される。

[0034] そして、変更後の構造モデルを用いた面内圧縮強度評価が第 1 解析部 2 2 によって再度行われることにより、前回とは異なる第 2 情報が得られると、調整部 2 3 は、この第 2 情報と第 1 情報とを再度比較し、差分の最大値が許容範囲内であるか否かを判定する。そして、調整部 2 3 は、差分の最大値が許容範囲内となるまで、材料因子の材料硬化則と変形要素因子の組み合わせを繰り返し更新し、許容範囲内となる因子の条件を求める。

[0035] 第 2 解析部 2 4 は、調整部 2 3 による調整により、第 2 情報と第 1 情報との差分が許容範囲内となったときの材料因子を有する構造モデルを、蒸気発生器 1 に実際に適用される管支持板 5 の構造形状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う。具体的には、実機への展開に際し、実機に関する種々の情報が入力装置 1 4 から入力される。ここで入力される情報は、例えば、形状因子と境界条件である。第 2 解析部 2 4 は、第 1 解析部 2 2 が構造モデルの作成に用いた種々の入力情報のうち、形状因子と境界条件とを今回新たに入力された入力情報に更新することで、実機の構造モデルを作成する。

[0036] 第 1 解析部 2 2 で用いられた供試体の構造モデルを実機へ展開する際に、材料因子は、そのまま引き継がれる。このように、材料因子について、供試体の値をそのまま採用して実機の構造モデルを作成することにより、面内圧縮強度の評価に影響度の高い特性をそのまま引き継いだ形で実機の構造モデルが作成される。従って、この構造モデルを用いて行われる実機の面内圧縮強度評価の評価結果は、信頼性が高いものとなる。

[0037] 実機の構造モデルにおける面内圧縮強度評価のシミュレーションについては、図 6 に示すように、各ウェッジ 5 0 に対して、正弦波状（または余弦波状）の荷重を与えることにより実施される。このような荷重を与えたときの荷重と変位量を得ることにより、面内圧縮強度評価が行われる。また、実機における面内圧縮強度評価のシミュレーションにおいても、スティック荷重を検出することとしてもよい。

[0038] 次に、上述した構成を備える面内圧縮強度評価装置 10 の作用について、図 7 を参照して簡潔に説明する。

まず、面内圧縮強度評価装置 10 における面内圧縮強度評価に先立って、供試体 60 を用いた実際の面内圧縮強度評価が行われ（ステップ S A 1）、このときに得られた荷重と供試体の変位量とが対応付けられた第 1 情報が記憶部 21 に格納される（ステップ S A 2）。

面内圧縮強度評価装置 10 における面内圧縮強度評価では、第 1 解析部 22 によって供試体 60 の構造モデルが作成され、この供試体 60 の構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を実際と同じ条件でシミュレーションされ、荷重と構造モデルの変位量とが対応付けられた第 2 情報が取得される（ステップ S A 3）。

[0039] 第 1 情報と第 2 情報とが得られると、調整部 23 により、第 2 情報が第 1 情報に近づくように、構造モデルの材料因子が調整されるとともに変形要素因子が選定される（ステップ S A 4）。そして、第 2 解析部 24 では、第 2 情報が第 1 情報に最も近づいたときの材料因子を持つ構造モデルが蒸気発生器に実際に適用される管支持板の構造形状に展開され、展開された構造モデルを用いて面内圧縮強度評価が行われる（ステップ S A 5）。実機の構造モデルにおいて得られた面内圧縮強度評価結果は、記憶部 21 に格納されるとともに、グラフ化されて表示装置 15 に表示されることで、オペレータに提示される（ステップ S A 6）。

[0040] 以上、説明してきたように、本実施形態に係る面内圧縮強度評価装置及び方法によれば、実際に行われた面内圧縮強度評価の評価結果に近いシミュレーション結果が得られるように、構造モデルのパラメータの合わせ込みを行い、最も実際の評価結果に近い評価結果が得られたときの要素因子を持つ構造モデルを実機に展開して面内圧縮強度評価をシミュレーションする。これにより、実験結果の再現性が担保された構造モデルを用いて実機のシミュレーションを行うことが可能となり、実機における評価結果の信頼性を高めることができる。

- [0041] 更に、供試体と同じ特性を持つ構造モデルが作成できれば、シミュレーションにより荷重の与え方は自由に設定できる。そのため、従来は異方性を考慮するために供試体を2つ用意する必要があったが、本実施形態では、供試体を1つ作成すれば足り、供試体の作成に要する費用や時間を軽減することが可能となる。
- [0042] なお、本実施形態では、調整部23が自動的に材料因子の材料硬化則や変形要素因子を更新し、適切な値を得るものとして説明したが、材料因子や変形要素因子の調整については、例えば、オペレータが入力装置14から材料因子の値や変形要素因子を再入力することにより、調整されることとしてもよい。この場合、例えば、表示装置15に図8に示すような第1情報と第2情報とを比較して示したグラフを表示し、この表示画面を確認しながらオペレータが入力装置14から新たな材料因子の値を入力することにより、材料因子を調整する態様が考えられる。
- [0043] また、本実施形態では、第1情報と第2情報との差分の最大値が許容範囲内となった場合に、構造モデルの要素因子の調整を終了し、このときの要素因子を持つ供試体の構造モデルを実機に展開することとしたが、これに代えて、例えば、第1情報と第2情報との差分の最大値が最小になった場合に、構造モデルの要素因子の調整を終了することとしてもよい。
- [0044] また、本実施形態では、第1情報及び第2情報として、荷重と変位とが対応付けられた図5に示すような特性を採用し、これらの特性の差分の最大値が許容範囲内となった場合に構造モデルの要素因子の調整を終了したが、第1情報及び第2情報として、スティック荷重を採用することとしてもよい。この場合、調整部23では、例えば、実際の内面圧縮強度評価において得られたスティック荷重と、第1解析部22によって得られたスティック荷重との差分が最も小さくなった場合、または、スティック荷重の差分が予め設定されている許容範囲内（例えば、5%以内）となった場合に、構造モデルの要素因子の調整を終了することとしてもよい。

符号の説明

- [0045] 1 蒸気発生器
- 5 管支持板
- 7 伝熱管
- 1 0 面内圧縮強度評価装置
- 1 1 C P U
- 1 2 主記憶装置
- 1 3 補助記憶装置
- 1 4 入力装置
- 1 5 表示装置
- 1 6 通信装置
- 2 1 記憶部
- 2 2 第 1 解析部
- 2 3 調整部
- 2 4 第 2 解析部
- 4 0 外枠体
- 5 0 ウェッジ
- 6 0 供試体
- 1 0 0 貫通孔

請求の範囲

[請求項1]

蒸気発生器の内部に配置され、伝熱管が貫通する多数の貫通孔が形成された管支持板の面内圧縮強度を評価する面内圧縮強度評価装置であって、

実際に使用される前記管支持板と略同じ構造を有する供試体を作成し、該供試体に形成された前記貫通孔の各々に所定長さの伝熱管を挿入した状態で荷重を与えて面内圧縮強度評価を行ったときの荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果が第1情報として格納されている記憶部と、

前記供試体の構造モデルを作成し、前記面内圧縮強度評価と同じ条件で面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第2情報を得る第1解析部と、

前記第1解析部によって得られた第2情報が前記記憶部に格納されている前記第1情報に近づくように、面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子を調整するための調整部と、

前記第2情報が前記第1情報に最も近づいたとき、又は、第2情報と第1情報との差が許容範囲内となったときの前記要素因子が維持された状態で、前記構造モデルを前記蒸気発生器に実際に適用される前記管支持板の構造形状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う第2解析部と
を具備する面内圧縮強度評価装置。

[請求項2]

前記第2解析部は、前記管支持板の外周に所定の間隔をあけて配置されたウェッジに対して、正弦波状または余弦波状に分布する荷重を与えることにより、面内圧縮強度評価を行う請求項1に記載の面内圧縮強度評価装置。

[請求項3]

蒸気発生器の内部に配置され、伝熱管が貫通する多数の貫通孔が形成された管支持板の面内圧縮強度を評価する面内圧縮強度評価方法で

あって、

実際に使用される前記管支持板と略同じ構造を有する供試体を作成し、該供試体に形成された前記貫通孔の各々に所定長さの伝熱管を挿入した状態で荷重を与えて面内圧縮強度評価を行い、荷重と該供試体の変位量とに関する評価結果を第1情報として得る工程と、

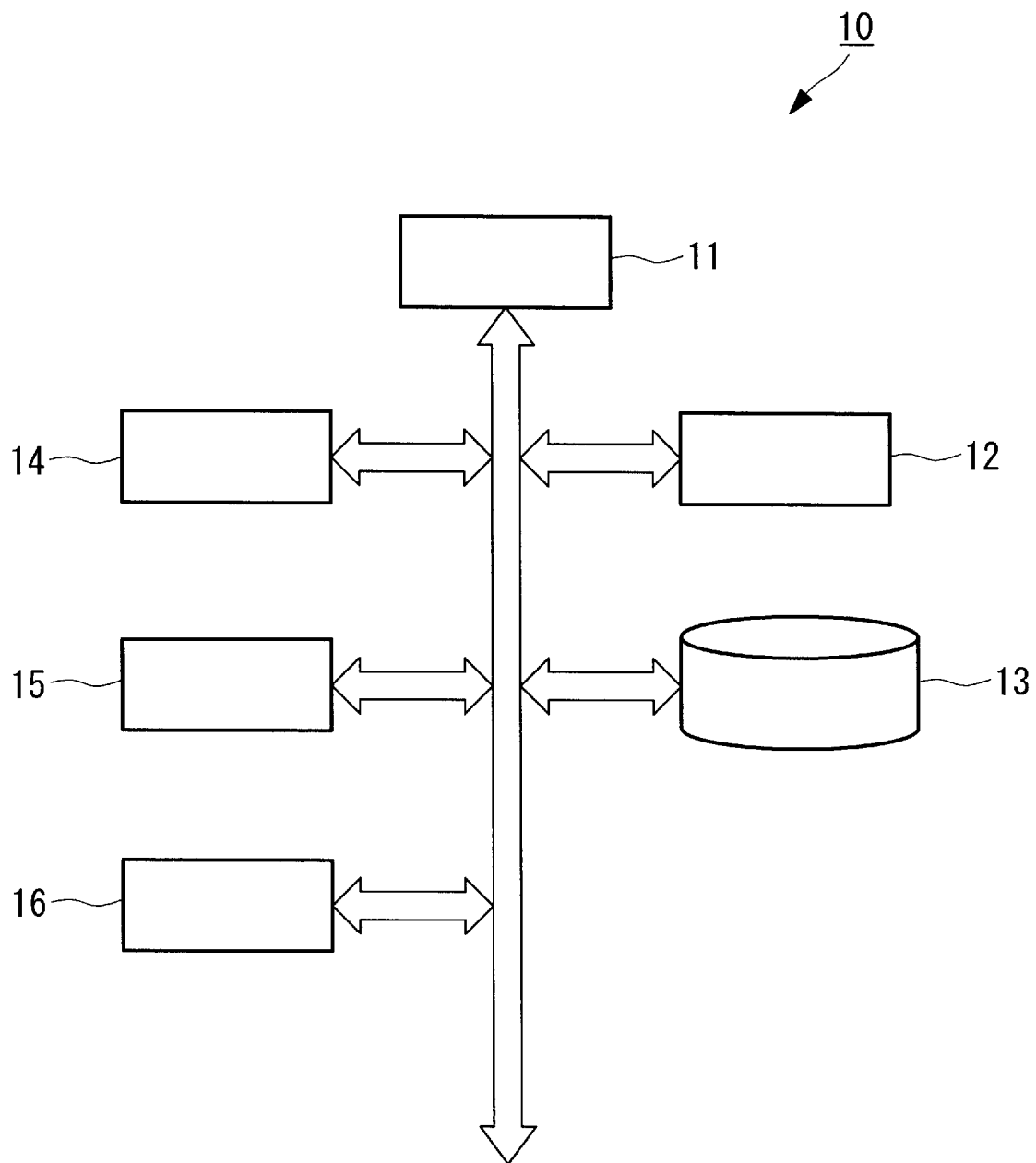
前記供試体の構造モデルを作成し、前記面内圧縮強度評価と同じ条件で面内圧縮強度評価をシミュレーションすることにより、荷重と構造モデルの変位量とに関する評価結果である第2情報を得る工程と、

前記第2情報が前記第1情報に近づくように、面内圧縮強度に影響を与える構造モデルの要素因子を調整する工程と、

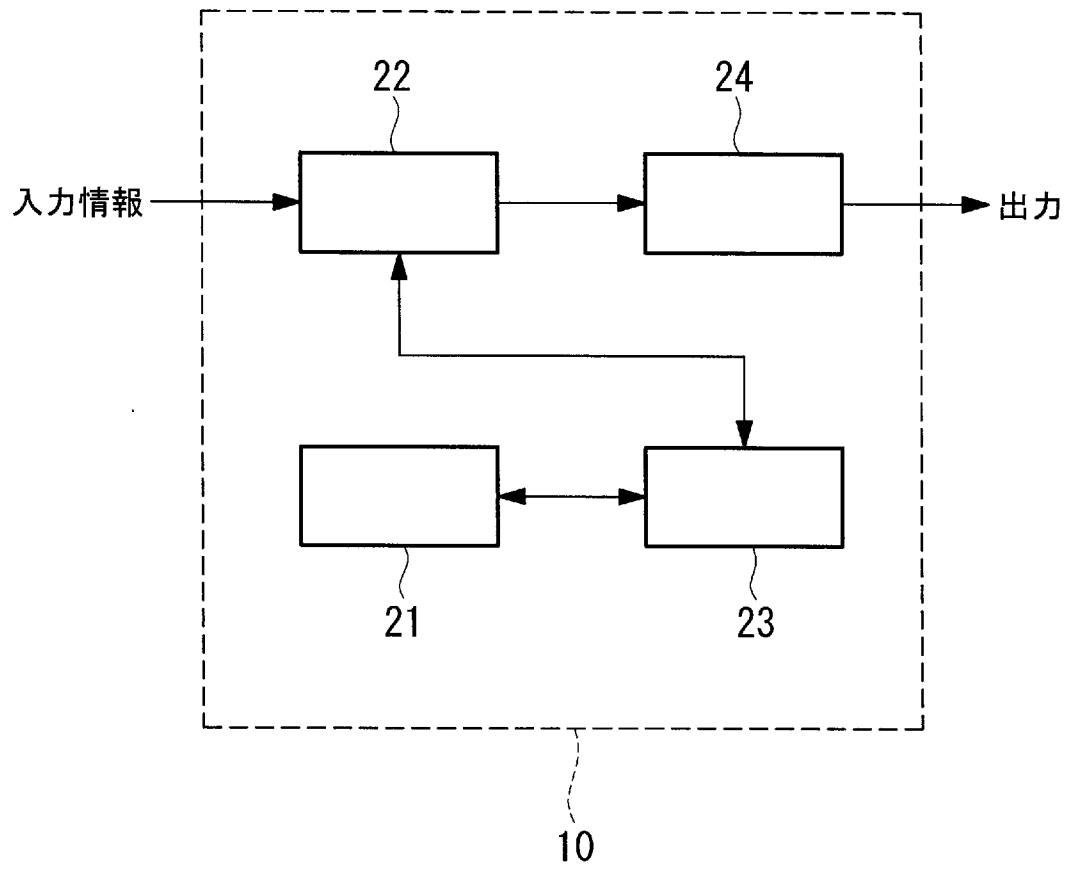
前記第2情報が前記第1情報に最も近づいたとき、又は、第2情報と第1情報との差が許容範囲内となったときの前記要素因子が維持された状態で、前記構造モデルを前記蒸気発生器に実際に適用される前記管支持板の構造形状に展開し、展開した構造モデルを用いて面内圧縮強度評価を行う工程と

を含む面内圧縮強度評価方法。

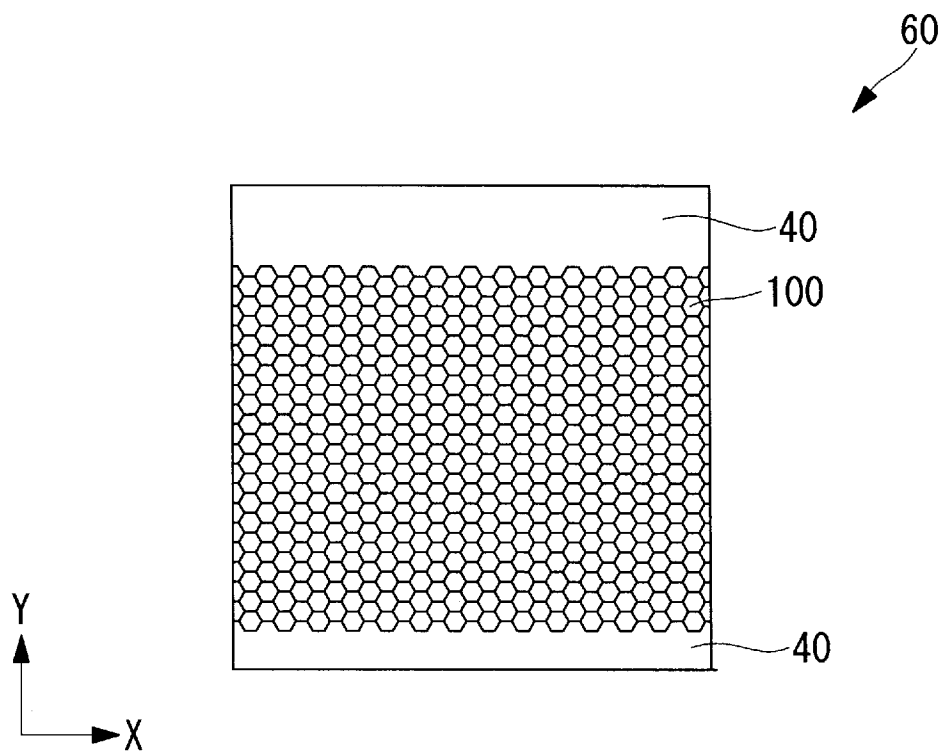
[図1]



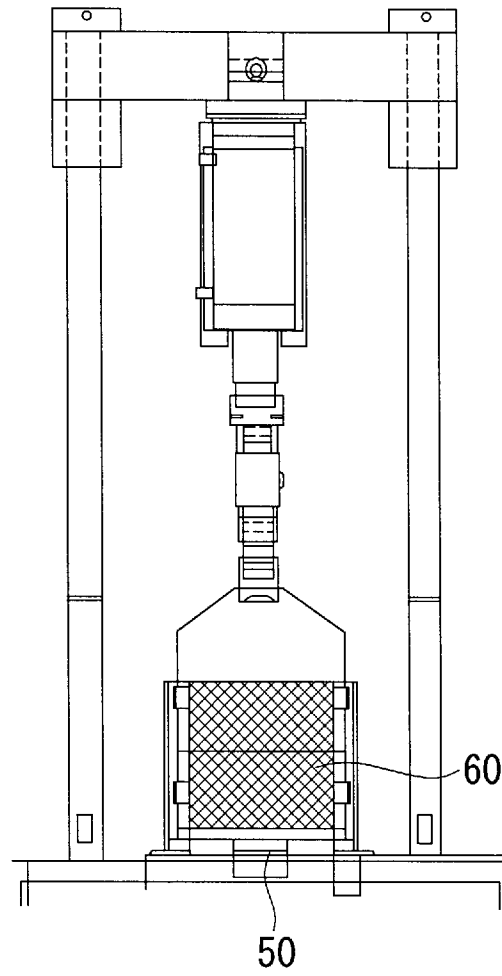
[図2]



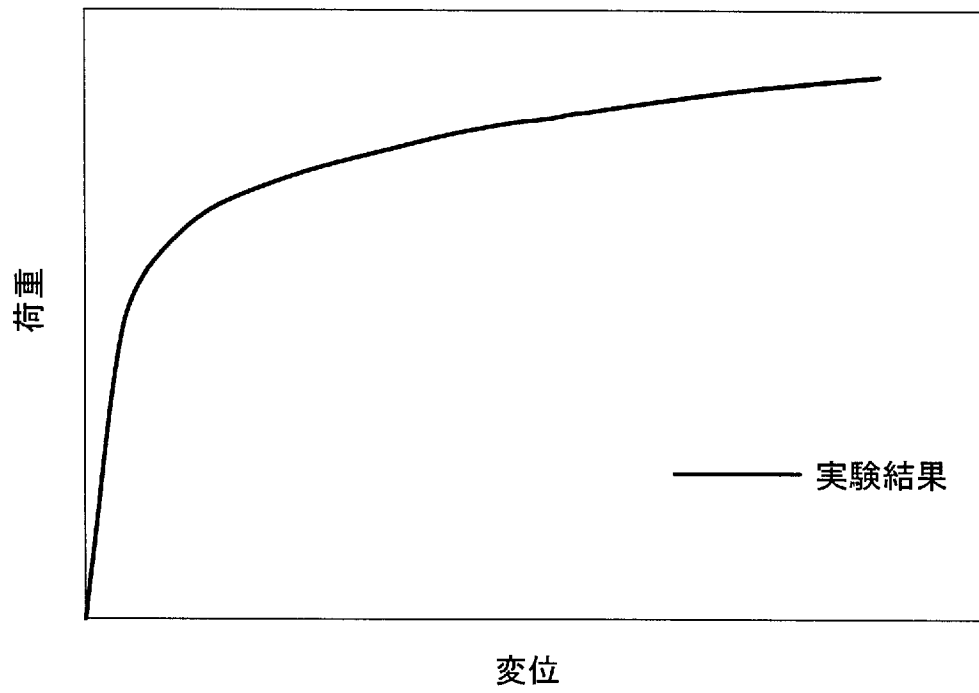
[図3]



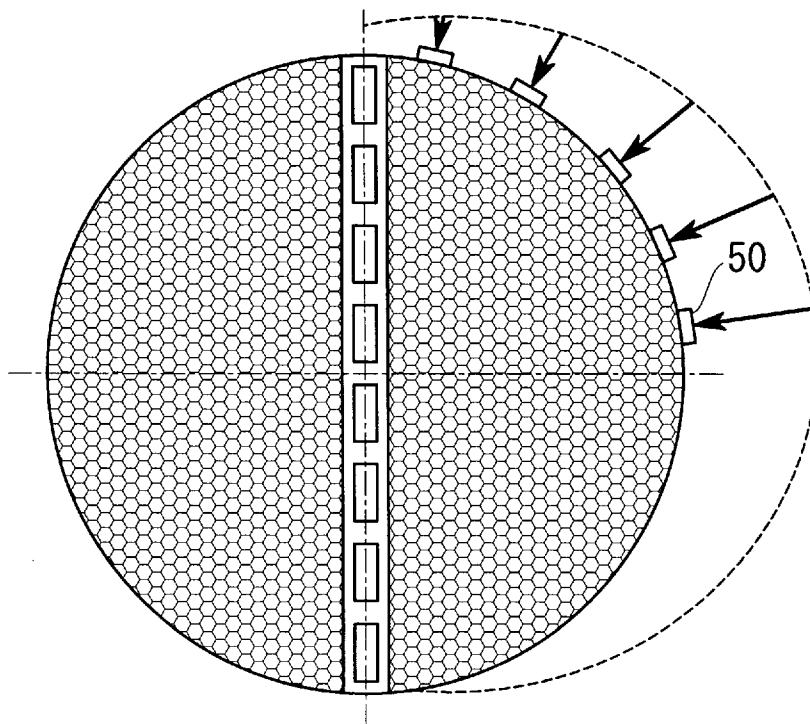
[図4]



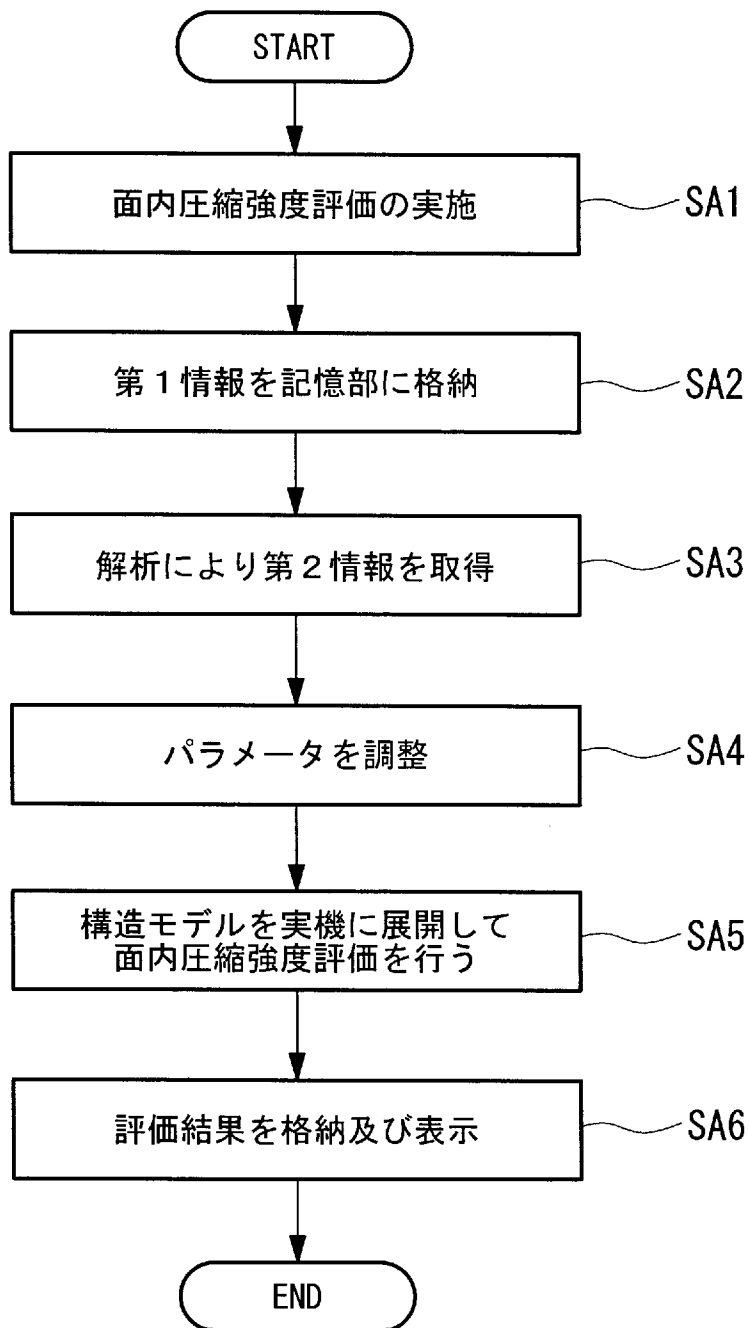
[図5]



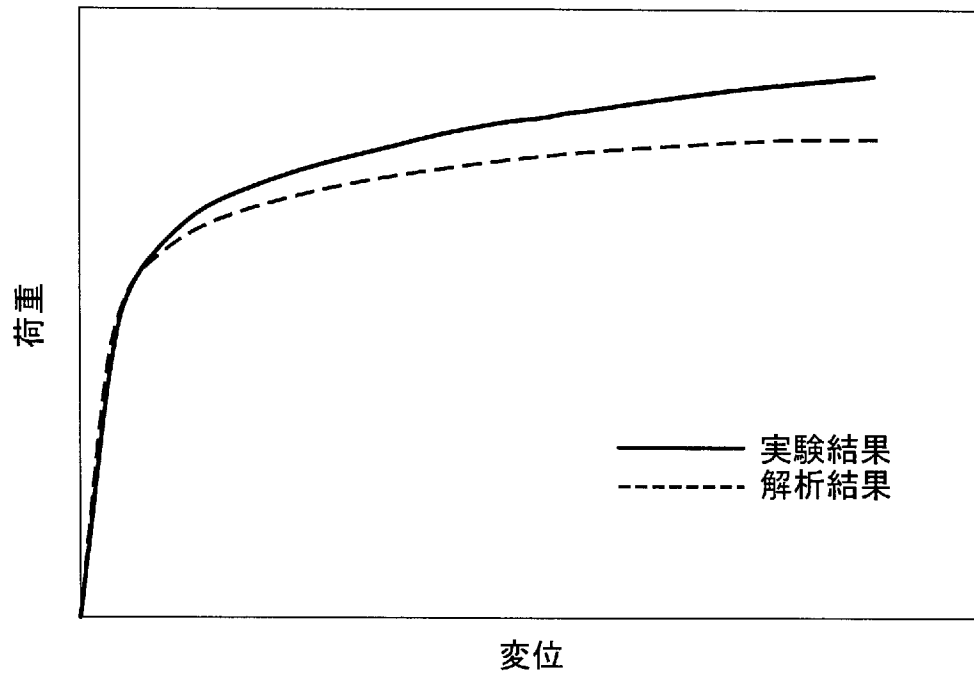
[図6]



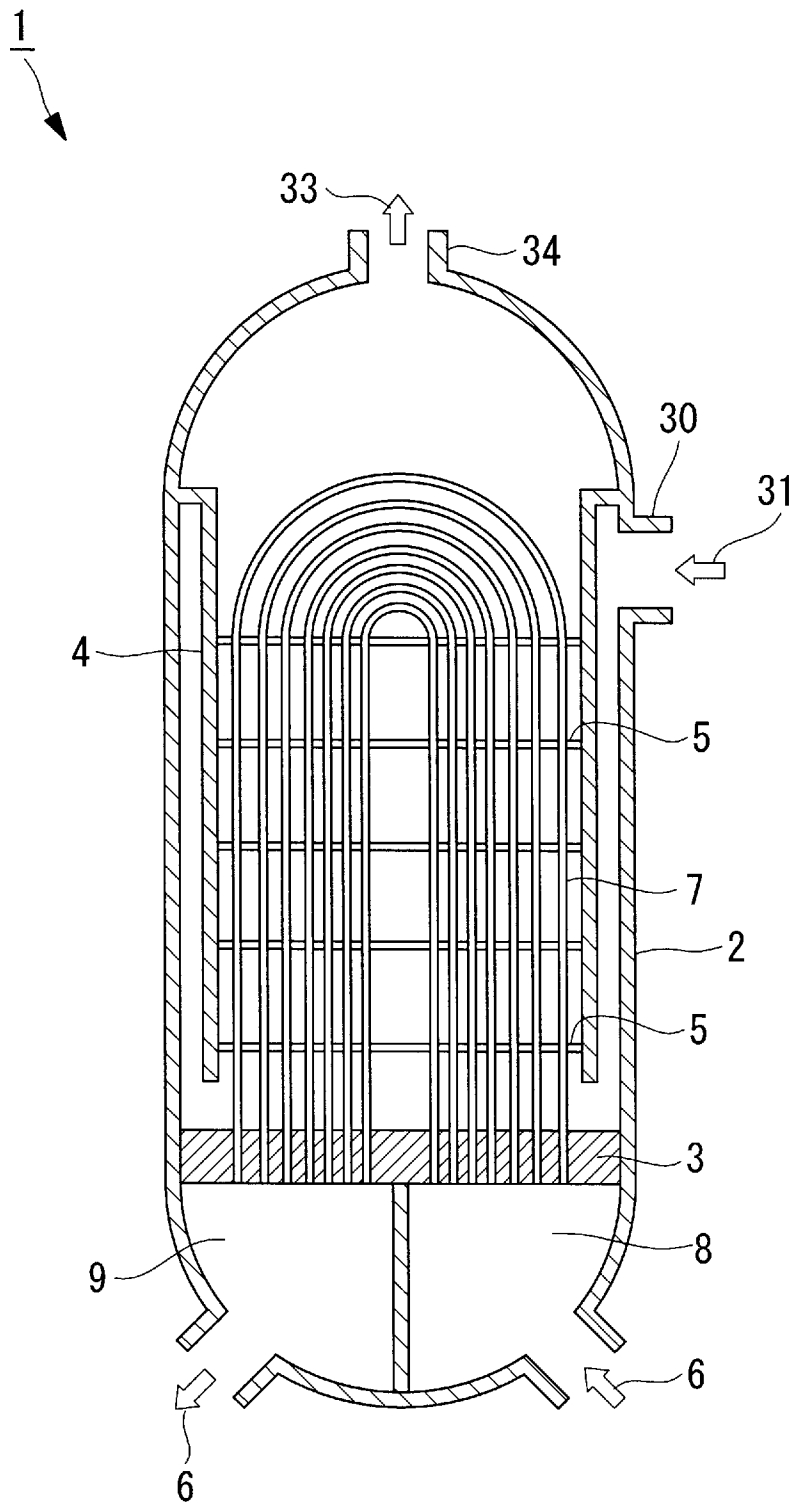
[図7]



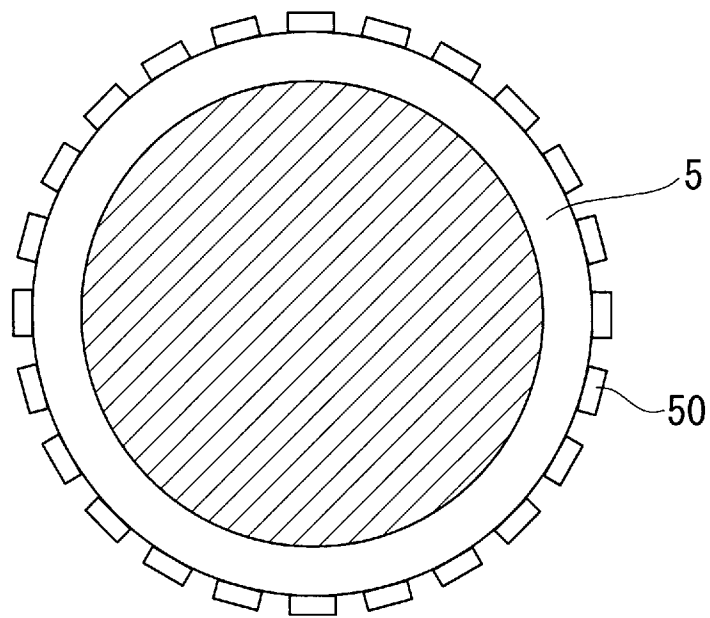
[図8]



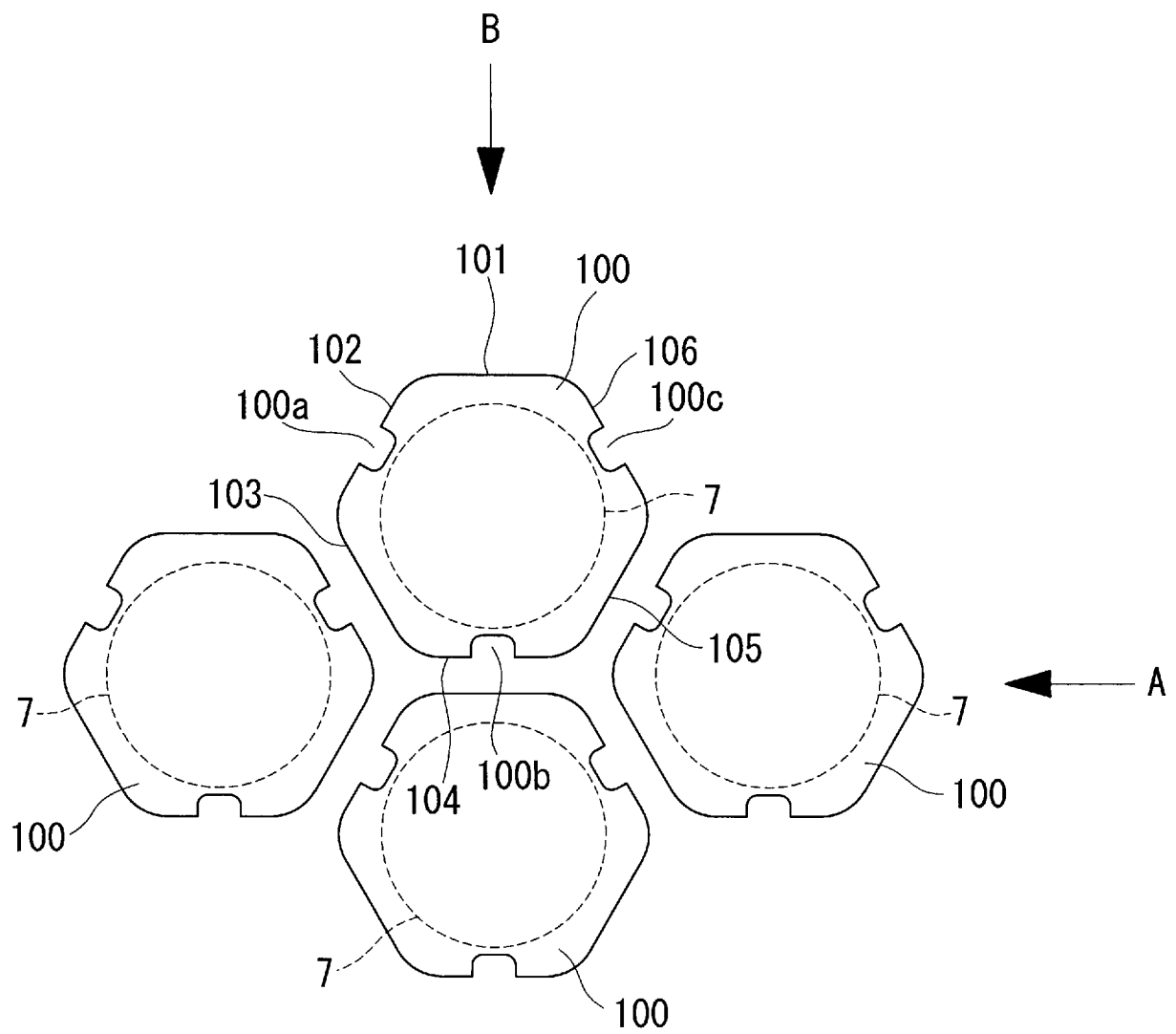
[図9]



[図10]



[図11]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/071149

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N3/08(2006.01)i, F22B1/16(2006.01)i, F22B37/20(2006.01)i, G21C17/00(2006.01)n, G21D1/00(2006.01)n

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01N3/08, F22B1/16, F22B37/20, G21C17/00, G21D1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2010

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2010 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2010

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2008-209063 A (Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.), 11 September 2008 (11.09.2008), entire text; all drawings & EP 2123977 A & WO 2008/120487 A1 & AR 64892 A & CA 2677871 A	1-3
Y	JP 2006-258588 A (Olympus Corp.), 28 September 2006 (28.09.2006), entire text; all drawings (Family: none)	1-3
A	JP 2006-285381 A (The Yokohama Rubber Co., Ltd.), 19 October 2006 (19.10.2006), paragraphs [0034] to [0047]; fig. 5 (Family: none)	1-3



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

02 February, 2010 (02.02.10)

Date of mailing of the international search report

16 February, 2010 (16.02.10)

Name and mailing address of the ISA/

Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N3/08(2006.01)i, F22B1/16(2006.01)i, F22B37/20(2006.01)i, G21C17/00(2006.01)n,
G21D1/00(2006.01)n

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (I P C))

Int.Cl. G01N3/08, F22B1/16, F22B37/20, G21C17/00, G21D1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 1 0 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 1 0 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 1 0 年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

JSTPlus(JDreamII)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2008-209063 A (三菱重工業株式会社) 2008.09.11, 全文, 全図 & EP 2123977 A & WO 2008/120487 A1 & AR 64892 A & CA 2677871 A	1 - 3
Y	JP 2006-258588 A (オリンパス株式会社) 2006.09.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1 - 3
A	JP 2006-285381 A (横浜ゴム株式会社) 2006.10.19, 段落【0034】 - 【0047】, 第 5 図 (ファミリーなし)	1 - 3

☐ C 欄の続きにも文献が列挙されている。

☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

0 2 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査報告の発送日

1 6 . 0 2 . 2 0 1 0

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (I S A / J P)

郵便番号 1 0 0 - 8 9 1 5

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

高橋 亨

電話番号 0 3 - 3 5 8 1 - 1 1 0 1 内線 3 2 5 2

2 J

4 0 7 6