

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4812726号
(P4812726)

(45) 発行日 平成23年11月9日(2011.11.9)

(24) 登録日 平成23年9月2日(2011.9.2)

(51) Int. Cl. F 1
GO 1 N 3/34 (2006.01) GO 1 N 3/34 D

請求項の数 6 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2007-258007 (P2007-258007)	(73) 特許権者	391046414 国際計測器株式会社 東京都多摩市永山6丁目2番1号
(22) 出願日	平成19年10月1日(2007.10.1)	(74) 代理人	100078880 弁理士 松岡 修平
(65) 公開番号	特開2009-85850 (P2009-85850A)	(72) 発明者	村内 一宏 東京都多摩市永山6丁目2番1号 国際計測器株式会社内
(43) 公開日	平成21年4月23日(2009.4.23)	(72) 発明者	松本 繁 東京都多摩市永山6丁目2番1号 国際計測器株式会社内
審査請求日	平成21年12月9日(2009.12.9)	(72) 発明者	宮下 博至 東京都多摩市永山6丁目2番1号 国際計測器株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 疲労試験装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

サーボモータによってワークに繰り返し荷重を加える疲労試験装置であって、
前記繰り返し荷重の周期を変化させながら前記ワークの変形加速度が所定の設定波形に従って変動するよう該ワークに繰り返し荷重を加える試験手段と、
前記ワークの変形加速度を検出する加速度検出手段と、
前記サーボモータを制御する制御手段と、
 を備え、

前記制御手段は、前記加速度検出手段が所定期間中に計測した変形加速度の最大値に対する該最大値と前記設定加速度との差分の割合に比例する大きさだけ前記サーボモータの回転軸の振幅を変化させることにより、該最大値と該設定加速度との比が所定の範囲内に収まるように前記サーボモータを制御する、ことを特徴とする疲労試験装置。

【請求項2】

前記制御手段は、前記変形加速度の最大値と前記設定加速度との比が前記所定の範囲から外れたときに前記サーボモータの回転軸の振幅を変化させる、ことを特徴とする請求項1に記載の疲労試験装置。

【請求項3】

前記所定の範囲とは、0.95から1.05の間である、ことを特徴とする請求項1又は2に記載の疲労試験装置。

【請求項4】

前記所定の範囲とは、0.99から1.01の間である、ことを特徴とする請求項3に記載の疲労試験装置。

【請求項5】

前記疲労試験装置が前記ワークにねじり荷重を加えるねじり試験装置であり、該ワークの変形加速度は該ワークの特定の位置における該ワークの回転軸回りの角加速度である、ことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の疲労試験装置。

【請求項6】

前記疲労試験装置が送りねじ機構を介して前記ワークに引張、圧縮又は曲げ荷重を加える万能試験装置であり、該ワークの変形加速度は該ワークの特定の位置における加速度の該送りねじ機構の送り方向成分である、ことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の疲労試験装置。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ねじり、引張、圧縮、曲げ方向の繰り返し荷重をワークに加える疲労試験装置に関する。

【背景技術】

【0002】

材料に静荷重や繰り返し荷重を加えてその材料の物性を計測する疲労試験装置として、特許文献1に記載のもののようなサーボモータを用いたものが広く利用されている。サーボモータは、目標となる角度（設定角度）をサーボアンプに入力することによってサーボモータの回転軸の位相をその角度に移動させるものである。サーボモータには軸の位相の変化を検出するためのロータリーエンコーダが設けられており、サーボアンプは、ロータリーエンコーダの検出値から判断される回転軸の位相と、設定角度との差分に基づいてサーボモータに与える駆動電力を生成する。

20

【特許文献1】特開昭63-37233号

【0003】

ねじり試験を行うねじり試験装置は、ワークの一端を把持するチャックとサーボモータの回転軸との間に設けられた減速機（減速ギアなど）によって、サーボモータのトルクを増幅してワークに付与している。また、引張、圧縮、曲げ試験を行う万能試験装置は、サーボモータの回転軸に送りねじ機構等の直動変換器を設けて、サーボモータの回転運動を直進運動に変換している。

30

【0004】

近年、応答性の高いサーボモータが実用化されつつあり、正弦波や矩形波、三角波といった波形の繰り返し荷重を高い周波数でワークに加えることが出来るようになりつつある。このような試験装置においては、疲労試験の一種である、ワークの変形加速度（ねじり試験においては角加速度）の振幅を一定に保ちながら周波数を変化させる、加速度振幅一定スイープ試験を行うことができる。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

40

【0005】

このようなスイープ試験においては、ワークの変形加速度の振幅を一定のものとする必要がある。従来においては、ねじり試験装置であれば減速機の減速比、万能試験装置であれば直動変換器の変換率（送りねじ機構であれば、送りねじのリード）に基づいて、サーボモータの角加速度を制御することによって、所望の角加速度や加速度でワークが繰り返し荷重を受けるようにしていた。しかしながら、特に高周波域においては、ワーク自身、或いは動力伝達系（減速機及び直動変換器）の弾性や粘性のため、サーボモータの回転軸の位相の変化量と動力伝達系の特性に基づいて演算されるワークの角加速度や加速度の理論値と、実際のワークの角加速度や加速度は必ずしも一致しない。このため、従来の疲労試験装置は、高周波域を含めた広い周波数帯において加速度振幅一定スイープ試験を行う

50

ことができなかった。

【0006】

本発明は上記の問題を解決するために成されたものである。すなわち、本発明は、高周波域を含めた広い周波数帯において加速度振幅一定スイープ試験を行うことのできる疲労試験装置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】

【0007】

上記の目的を達成するため、本発明の疲労試験装置は、ワークの変形加速度を検出する加速度検出手段と、加速度検出手段の検出結果に基づいて、繰り返し荷重の周期に拘わらずワークの変形加速度の最大値と所定の設定加速度との比が所定の範囲内に収まるようにサーボモータを制御する制御手段と、を有する。

10

【0008】

また、制御手段は、加速度検出手段が所定期間中に計測した変形加速度の最大値に対する該最大値と設定加速度との差分の割合に比例する大きさだけサーボモータの回転軸の振幅を変化させることにより、変形加速度の最大値と設定加速度との比が所定の範囲内に収まるようにサーボモータを制御することが好ましい。

また、制御手段は、変形加速度の最大値と設定加速度との比が所定の範囲から外れたときにサーボモータの回転軸の振幅を変化させてもよく、ワークに加える繰り返し荷重の周期が変化するたびに上記制御を行ってもよい。

【0009】

また、所定の範囲内とは、例えば0.95から1.05の間である。或いは、所定の範囲内とは、0.99から1.01の間である。

20

【0010】

また、例えば、疲労試験装置が該ワークにねじり荷重を加えるねじり試験装置であり、ワークの変形加速度はワークの特定の位置におけるワークの回転軸回りの角加速度である。

【0011】

或いは、疲労試験装置が送りねじ機構を介してワークに引張、圧縮又は曲げ荷重を加える万能試験装置であり、ワークの変形加速度は、ワークの特定の位置における加速度の該送りねじ機構の送り方向成分である。

30

【発明の効果】

【0012】

以上のように、本発明によれば、高周波域を含めた広い周波数帯において加速度振幅一定スイープ試験を行うことのできる疲労試験装置が実現される。

【発明を実施するための最良の形態】

【0013】

以下、本発明の実施の形態につき、図面を用いて詳細に説明する。図1は、本発明の第1の実施の形態の疲労試験装置1のブロック図を示したものである。本実施形態の疲労試験装置1は、試験片(ワーク)にねじり荷重を反復的に加えることができる疲労試験装置である。

40

【0014】

図1に示されるように、本実施形態の疲労試験装置1は、ワークWにねじり荷重を加える装置本体10と、装置本体10のサーボモータ12を駆動するためのサーボアンプ20と、サーボアンプ20を制御する制御部30と、を有する。

【0015】

装置本体10は、チャック11a、11bと、サーボモータ12と、減速機13と、トルクセンサ14と、角度センサ15とを有する。チャック11a及び11bは、ワークWを両端から把持する。減速機13は、サーボモータ12の駆動軸と一方のチャック11aの間に配置され、サーボモータ12の駆動軸のトルクを増大してワークWに与える。また、他方のチャック11bは、トルクセンサ14を介して図示しない装置本体のフレームに

50

固定されている

【0016】

以上説明した構成において、サーボモータ12を駆動すると、チャック11a、11bに把持されたワークWにねじり荷重が加わり、その大きさはトルクセンサ14によって計測される。また、角度センサ15が減速機13の出力軸に設けられ、チャック11a付近におけるワークWのねじれ角度を検出する。

【0017】

サーボモータ12は、サーボアンプ20によって制御される。すなわち、サーボアンプ20は、制御部30から送信される設定角度(目標とするサーボモータの回転軸の角度)に基づいてサーボモータ12を駆動するための駆動電力を生成し、これをサーボモータ12に送ってこれを駆動させる。サーボモータ12には、サーボモータ12の回転軸の回転数や角度等を検出するためのロータリーエンコーダ12aが設けられている。ロータリーエンコーダ12aの信号出力はサーボアンプ20に接続されており、サーボアンプ20はロータリーエンコーダ12aの計測結果に基づいて駆動電力のフィードバック制御を行う。

10

【0018】

次いで、制御部30の構成につき説明する。図2は、本実施形態の制御部30のブロック図である。図2に示されているように、本実施形態の制御部30は、コントローラ31、信号変換手段32、A/D変換手段33、トルクセンサ用アンプ34a、角度センサ用アンプ34b、操作手段35、波形発生回路36、フレキシブルディスクドライブ(FDD)37、メモリ38及びアナログポート39を有する。なお、図1及び図2においては、制御部30は一つのブロックとして記載されているが、実際は複数のユニットによって形成される。例えば、トルクセンサ用アンプ34a、角度センサ用アンプ34bはそれぞれが独立したユニットとして形成される。また、操作手段35は、コントローラ31を含むユニットのケース外面に設けられる制御パネルであるが、ケーブルを介してコントローラ31に接続される独立したユニット(例えばパーソナルコンピュータ)であってもよい。

20

【0019】

本実施形態の制御部30は、トルクセンサ14、角度センサ15(共に図1)によって検出されたワークWのトルクや角度を参照しながら、トルク又は角度の経時変動が所望の波形を示すように、サーボアンプ20(図1)に設定角度を送信するものである。

30

【0020】

ワークWに与える作用(荷重や変形量)の波形は、操作手段35を用いて設定される。操作手段35は、例えばキーボードなどの入力手段と、この入力手段による入力結果を確認するための表示手段とを備えており、本実施形態の疲労試験装置1のオペレータは、操作手段35を操作して、繰り返しねじり試験を行う際のトルク、角度、又は角加速の範囲を設定することができる。例えば、正弦波状に往復ねじり運動を行う際の角度変動の振幅を設定することができる。操作手段35による設定結果は、コントローラ31に送信され、メモリ38に保存される。

【0021】

また、波形発生回路36は、所望の周期・タイミングで正弦波、三角波、矩形波などの信号波形を生成する回路である。より具体的には、 $f(t)$ を時刻 t を引数とする関数としたときに、式 $s = f(t)$ で示される値 s を順次コントローラ31に出力するものである。なお、上式において、例えば波形が正弦波であれば、周期を T 、位相を a として、 $f(t) = \sin(2\pi(t - a)/T)$ である。ここで、周期 T 及び位相 a は、操作手段35を操作することによって任意の値に設定可能である。

40

【0022】

コントローラ31は、波形発生回路36からコントローラ31に送信される値に、操作手段35によって設定された値を乗じて目標波形を演算し、この目標波形からサーボアンプ20に送るべき設定角度を演算する。そして、操作手段35にて設定された演算された

50

設定角度は、信号変換手段 3 2 を介してサーボアンプ 2 0 に送信される。

【 0 0 2 3 】

以上のような構成により、ワーク W のねじり角が、正弦波、三角波又は矩形波といった規定の波形に従って変動するように、サーボモータ 1 2 を駆動することが出来るようになっている。

【 0 0 2 4 】

また、本実施形態の疲労試験装置 1 は、ワーク W の角加速度を正弦波波形に従って変動させると共に、この波形の周波数を徐々に増減させることによって、広い周波数域にて繰り返し荷重をワークに加えることができる、角加速度振幅一定スイープ試験を行うことができる。

10

【 0 0 2 5 】

このようなスイープ試験においては、ワーク W に加わる角加速度の上下限、すなわち振幅を一定にすることが望ましい。しかしながら、スイープ試験において振幅を一定に保つためには、特に高周波域において減速機 1 3 (図 1) 等の伝達系やワーク W 自身の弾性による応答遅れや、これらの摩擦や粘性による減衰の影響を考慮したうえで、サーボアンプ 2 0 に送る目標値 (目標波形) を演算する必要がある。本実施形態においては、ワーク W の実際の変位の計測値に基づいて、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度をフィードバック制御し、所望の振幅でスイープ試験が行われるようにしている。以下、その具体的な手順を説明する。

【 0 0 2 6 】

20

図 3 は、本実施形態において、疲労試験装置 1 に取り付けられたワーク W に対して、加速度振幅一定周波数スイープ試験を行う手順を示したフロー図である。以下の説明は、このフローに基づいてなされる。

【 0 0 2 7 】

まず、疲労試験装置 1 のオペレータは、操作手段 3 5 を操作して、「周波数スイープを行う上限周波数 F_{max} 及び下限周波数 F_{min} 」「周波数スイープを等差間隔と等比間隔のいずれで行うか」「周波数スイープの間隔 f 」「ワーク W の角加速度の振幅 s 」「スイープ回数 K 」といったパラメータを制御部 3 0 に入力する (ステップ S 1) 。

【 0 0 2 8 】

上記のパラメータの内、間隔 f は、周波数スイープを等差間隔で行う場合は差、等比間隔で行う場合は比である。本実施形態においては、周波数スイープが行われる周波数を F_n ($n = 1, 2, \dots, N$) とすると、 F_{min} 、 f 、 n 及び F_n の間には数 1 の関係が成立する。

30

【 0 0 2 9 】

【 数 1 】

周波数スイープが等差間隔の場合

$$F_n = F_{min} + \Delta f \times (n - 1)$$

周波数スイープが等比間隔の場合

$$F_n = F_{min} \times \Delta f^{(n-1)}$$

40

【 0 0 3 0 】

また、周波数スイープを等差間隔、等比間隔のいずれで行う場合であっても、 F_n 、 N と F_{max} の間には数 2 の関係が成立する。

【 0 0 3 1 】

【数 2】

$$F_N \leq F_{\max} < F_{N+1}$$

【0032】

すなわち、 F_n の最小値は F_{\min} であり、 F_n の最大値 F_N は F_{\max} を越えない最大の周波数である。

【0033】

次いで、下記の数 3 に基づいて、角加速度振幅一定周波数スイープ試験を行う際に、サーボモータ 1 2 の回転軸の角度の振幅 D_n を求める (ステップ S 2)。 10

【0034】

【数 3】

$$D_n = \frac{\alpha_s \times R}{F_n^2 \times 4\pi^2}$$

【0035】

なお、上記の数 3 において、 R は減速機 1 3 の減速比である。

【0036】

20

続いて、振幅 D_1 、周波数 $F_1 = F_{\min}$ の正弦波を設定角度 (すなわち $D_n \times \sin(2 \times F_n \times t)$) としてサーボモータ 1 2 を駆動する (ステップ S 3)。

【0037】

次いで、ワーク W の角加速度を計測する (ステップ S 4)。本実施形態においては、ワーク W のねじれ角度をより正確に計測するため、ワーク W に加速度センサを取り付け、ワーク W の回転軸回りの加速度を計測している。加速度センサの出力はアンプを介して制御部 3 0 のアナログポート 3 9 (図 2) に接続されており、コントローラ 3 1 は加速度センサが計測した加速度 a_M と、加速度計の取り付け位置とワーク W の回転軸との距離 l から、以下の数 4 に基づいてワーク W の角加速度 α_M (単位: rad/s^2) を得ることができる。コントローラ 3 1 は、角加速度 α_M を少なくとも 1 周期、すなわち時間 $1/F_n$ 計測し、角加速度の最大値 (すなわち、角加速度の振幅) $\alpha_{M \max}$ を得る。 30

【0038】

【数 4】

$$\alpha_M = \frac{a_M}{l}$$

【0039】

次いで、ステップ S 1 にて設定された角加速度 α_s とステップ S 4 で計測された角加速度 $\alpha_{M \max}$ とを比較する (ステップ S 5)。すなわち両角加速度の比が、 $0.95 \leq \alpha_s / \alpha_{M \max} \leq 1.05$ を満たすのであれば、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度を変更する必要はないと判断し (ステップ S 5: YES)、ステップ S 6 に進む。一方、両角加速度の比が上記の規定を満たしていないのであれば、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度を変更する必要があると判断し (ステップ S 5: NO)、ステップ S 2 1 に進む。なお、本実施形態においては、上記のように両角加速度の差が $\pm 5\%$ 以内であることを基準としているが、より正確な試験を行う際は上記基準を $\pm 1\%$ (すなわち $0.99 \leq \alpha_s / \alpha_{M \max} \leq 1.01$) より厳しくしてもよい。 40

【0040】

ステップ S 2 1 においては、ステップ S 1 にて設定された角加速度 α_s とステップ S 4 で計測された角加速度 $\alpha_{M \max}$ のどちらが大きいのかの判定が行われる。すなわち、計 50

測値 M_{max} が設定値 S よりも大きいのであれば (ステップ S 2 1 : YES)、ステップ S 2 2 に進む。

【0041】

ステップ S 2 2 では、サーボモータ 1 2 の回転軸の振幅 D_n を下記の数 5 に基づいて演算し、修正した D_n に基づいて、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度を変更する。次いで、ステップ S 4 に戻り、角加速度の振幅 M_{max} を再度演算する。

【0042】

【数 5】

$$\Delta D_n = \left| \frac{\alpha_{Mmax} - \alpha_S}{\alpha_{Mmax}} \right| \times D_n$$

$$D_n = D_n - \Delta D_n$$

10

【0043】

また、ステップ S 2 1 において、計測値 M_{max} が設定値 S よりも小さいのであれば (ステップ S 2 1 : NO)、ステップ S 2 3 に進む。

【0044】

ステップ S 2 3 では、以下の数 6 に基づいてサーボモータ 1 2 の回転軸の振幅 D_n を演算し、修正した D_n に基づいて、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度を変更する。次いで、ステップ S 4 に戻り、角加速度の振幅 M_{max} を再度演算する。

20

【0045】

【数 6】

$$\Delta D_n = \left| \frac{\alpha_{Mmax} - \alpha_S}{\alpha_{Mmax}} \right| \times D_n$$

$$D_n = D_n + \Delta D_n$$

【0046】

以上のように、ステップ S 1 にて設定された角加速度 S とステップ S 4 で計測された角加速度 M_{max} との比が所定の基準を越えていた場合は、ステップ S 2 1 ~ S 2 3 の処理により、サーボモータ 1 2 の回転軸の振幅が調整されるようになっている。

30

【0047】

ステップ S 6 では、計測値 M_{max} と設定値 S が基準以内に納まった状態で、所定周期繰り返し荷重がワークに加えられまで待機する。次いで、ステップ S 7 に進む。

【0048】

本実施形態においては、周波数を最小値 F_1 から最大値 F_N まで増加させ (往路)、周波数が最大値 F_N に達した後は、周波数を F_1 まで減少させ (復路) る。そしてこれを 1 サイクルとし、K サイクルの試験を実行する。ステップ S 7 では、現在実行しているのが往路であるか復路であるかを判断し、往路であるならば (ステップ S 7 : YES)、ステップ S 8 に進む。復路であるならば (ステップ S 7 : NO)、ステップ S 9 に進む。

40

【0049】

ステップ S 8 では現在試験を行っている周波数が最大値 F_N に達したかどうかの判定を行う。最大値 F_N に達したのであれば (ステップ S 8 : YES)、往路が完了したと判定し、ステップ S 3 2 に進む。一方、周波数が最大値 F_N に達していないのであれば (ステップ S 8 : NO)、ステップ S 3 1 に進む。

【0050】

ステップ S 3 1 では、周波数を増加する。すなわち現在の周波数が F_n であるならば、周波数を F_{n+1} にする。次いで、ステップ S 4 に戻り、この周波数で角加速度の振幅 M_{max} を計測する。

50

【 0 0 5 1 】

ステップ S 9 では、現在試験を行っている周波数が最小値 F_1 に達したかどうかの判定を行う。最小値 F_1 に達したのであれば（ステップ S 9 : YES）、復路が完了したと判定し、ステップ S 10 に進む。一方、周波数が最小値 F_1 に達していないのであれば（ステップ S 9 : NO）、ステップ S 32 に進む。

【 0 0 5 2 】

ステップ S 32 では、周波数を減少する。すなわち現在の周波数が F_n であるならば、周波数を F_{n-1} にする。次いで、ステップ S 4 に戻り、この周波数で角加速度の振幅 M_{max} を計測する。

【 0 0 5 3 】

ステップ S 10 では、現在何サイクル目の試験が完了したかのチェックを行う。すなわち、ステップ S 1 で設定した K サイクルの試験が完了したと判断された場合は（ステップ S 10 : YES）、ステップ S 11 にてサーボモータ 12 の停止を行い、本フローを終了する。一方、ステップ S 10 にて完了したサイクル数が K 未満であるならば（ステップ S 10 : NO）、ステップ S 4 に戻り、次のサイクルの試験を行う。

【 0 0 5 4 】

以上のように、本実施形態によれば、設定した角加速度振幅 s と計測される角加速度振幅 M_{max} が略一致するように、角加速度振幅一定周波数スイープ試験を行うことができる。

【 0 0 5 5 】

以上説明した本発明の第 1 の実施の形態は、ねじり試験装置に関するものである。しかしながら、本発明は上記構成に限定されるものではない。すなわち、本発明はサーボモータを使用する他のタイプの疲労試験装置においても適用可能である。以下に説明する本発明の第 2 の実施の形態の疲労試験装置 101 は、サーボモータによって駆動される送りねじ機構によって、ワークに引張、圧縮、又は曲げ荷重を加える事が可能な、所謂万能試験装置である。

【 0 0 5 6 】

図 4 は、本実施形態の疲労試験装置 101 のブロック図を示したものである。本実施形態の疲労試験装置 101 は、試験片（ワーク）に引張、圧縮、又は曲げ荷重を反復的に加えることができるようになっている。

【 0 0 5 7 】

図 4 に示されるように、本実施形態の疲労試験装置 101 は、ワーク W に荷重を加える装置本体 110 と、装置本体 110 のサーボモータ 112 を駆動するためのサーボアンプ 120 と、サーボアンプ 120 を制御する制御部 130 とを有する。装置本体 110 は、フレーム 111 と、サーボモータ 112 と、直動変換器 113 と、ロードセル 114 と、変位センサ 115 と、アダプタ 118 a 及び 118 b とを有する。

【 0 0 5 8 】

直動変換器 113 は、サーボモータ 112 の回転軸の回転運動を直進方向の運動に変換するためのものであり、送りねじ 113 a と、ナット 113 b と、一对のガイドレール 113 c と、ガイドレール 113 c の夫々に対応したランナーブロック 113 d とを有する。ナット 113 b は、送りねじ 113 a と係合している。また、ランナーブロック 113 d は、ナット 113 b に固定されている。ランナーブロック 113 d は、対応するガイドレール 113 c に沿って移動可能であると共に、この方向以外には移動できないようになっている。このため、ランナーブロック 113 d 及びナット 113 b の運動は、ガイドレール 113 c が伸びる方向に沿った一自由度に限定される。さらに、送りねじ 113 a の軸方向は、ガイドレール 113 c が伸びる方向と平行（すなわち上下方向）であるため、サーボモータ 112 によって送りねじ 113 a を回動させると、ナット 113 b はガイドレール 113 c に沿って移動する。図 4 に示されるように、サーボモータ 112 は、フレーム 111 のテーブル部 111 a の下に固定されており、また、ガイドレール 113 c はテーブル部 111 a の上に固定されている。このため、ナット 113 b はテーブル部 11

10

20

30

40

50

1 a に対して上下動することになる。なお、ナットの上には、ワークWを下から保持するための下部アダプタ118 aが取り付けられる。

【0059】

フレーム111の天井111 bの下面から、上部ステージ116が吊り下げられている。また、テーブル部111 aの上面には、図中上方向に伸びるガイドバー117 cが設けられている。上部ステージ116の左右方向端部には、上下方向に穿孔された貫通孔116 aが形成されており、この貫通孔116 aにガイドバー117 cが通されている。このため、上部ステージ116はガイドバー117 cに沿って上下方向に移動可能となっている。また、上部ステージ116に設けられた図示しないボルトを締めることによって、貫通孔116 aの内径を絞る事が出来るようになっており、これによって、ガイドバー117 cに対して上部ステージ116を固定できるようになっている。

10

【0060】

上部ステージ116の下面には、ワークWを上から保持するための上部アダプタ118 bが取り付けられる。本実施形態においては、上部アダプタ118 bと下部アダプタ118 aとの間でワークWを保持した状態でナット113 bを上下動させる事によって、ワークWに荷重を加える事が出来るようになっている。なお、上部及び下部アダプタ118 a、118 bはそれぞれ上部ステージ116、ナット113 bに対して着脱可能に構成されており、ワークWに加えるべき荷重の種類に応じて適切なアダプタを選択可能となっている。図4は、ワークWに圧縮荷重を加える構成であるため、上部アダプタ118 bの下面及び下部アダプタの上面は平面状に形成されている。ワークWに引張荷重を加える際は、ワークWを把持するチャックが設けられたアダプタ118 a、118 bが使用される。三点曲げ試験をおこなう際は、圧縮試験用のアダプタと三点曲げ用の治具とを組み合わせで使用する。

20

【0061】

また、上部ステージ116は、フレーム111の天井111 bから送りねじ117 aによって吊り下げられている。天井111 bには、送りねじ117 aと係合する回転可能なナット(図示せず)が埋め込まれている。ナットは天井111 bに配置されたモータ117 bによって回転駆動されるようになっている。また、送りねじ117 aと上部ステージ116とを連結するリンクによって、上部ステージ116に対して送りねじ117 aはその軸回りに回転しないようになっている。従って、上部ステージ116のボルトを緩めて上部ステージ116を移動可能とした状態で、モータ117 bによってこのナットを回転させることで、送りねじ117 a及びこの送りねじ117 aと連結している上部ステージ116を上下方向に駆動することができる。この機能は、ワークWの寸法に合わせてアダプタ118 a、118 bの間隔を調整する際に使用される。すなわち、試験を行う際はボルトを締めて上部ステージ116をガイドバー117 cに固定する。

30

【0062】

以上説明した構成において、アダプタ118 a、118 bでワークWを保持してサーボモータ112を駆動すると、ワークWに引張、圧縮又は曲げ荷重が加わり、その大きさはロードセル114によって計測される。また、変位センサ115は、下部のアダプタの変位、すなわちワークWの変形量を検出するセンサ(例えば、ロータリーエンコーダが組み込まれたダイヤルゲージ)である。

40

【0063】

第1の実施形態と同様、サーボモータ112は、サーボアンプ120によって制御される。すなわち、サーボアンプ120は、制御部130から送信される目標値(目標とするサーボモータの回転軸の角度)に基づいてサーボモータ112を駆動するための駆動電力を生成し、これをサーボモータ112に送ってこれを駆動させる。サーボモータ112には、サーボモータ112の回転軸の回転数や角度等を検出するためのロータリーエンコーダ112 aが設けられている。ロータリーエンコーダ112 aの信号出力はサーボアンプ120に接続されており、サーボアンプ120はロータリーエンコーダ112 aの計測結果に基づいてフィードバック制御を行う。

50

【 0 0 6 4 】

次いで、制御部 1 3 0 の構成につき説明する。図 5 は、本実施形態の制御部 1 3 0 のブロック図である。図示されているように、本実施形態の制御部 1 3 0 は、トルクセンサの代わりにロードセルが、角度センサの代わりに変位センサがそれぞれ接続できるようになっているほかは、図 2 に示される本発明の第 1 の実施の形態と同一である。従って、制御部 1 3 0 において本発明の第 1 の実施の形態と同一又は類似の構成要素には同一の符号を配し、また制御部 1 3 0 に関する詳細な説明は省略する。

【 0 0 6 5 】

本実施形態の制御部 1 3 0 は、ロードセル 1 1 4、変位センサ 1 1 5（共に図 4 に記載）によって検出されたワーク W の荷重や変形量を参照しながら、荷重又は変形量の経時変動が所望の波形を示すように、サーボアンプ 1 2 0（図 1）に設定角度を送信するものである。

10

【 0 0 6 6 】

ワーク W に与える作用波形は、操作手段 3 5 を用いて設定される。本実施形態の疲労試験装置 1 0 1 のオペレータは、操作手段 3 5 を操作して、繰り返し試験を行う際の荷重、変形量等の幅を設定することができる。例えば、ワーク W に正弦波状の復繰り返し圧縮変位を加える際の変位の振幅を設定することができる。

【 0 0 6 7 】

コントローラ 3 1 は、波形発生回路 3 6 からコントローラ 3 1 に送信される値に、操作手段 3 5 によって設定された値を乗じて目標値を演算し、この目標値とロードセル 1 1 4 が検出した荷重、又は変位センサ 1 1 5 が検出した変形量（又はそれらの時間微分値である変形速度）とを比較して、サーボアンプ 1 2 0 に送るべき設定角度を演算する。演算された設定角度は、信号変換手段 3 2 を介してサーボアンプ 1 2 0 に送信される。

20

【 0 0 6 8 】

以上のような構成により、ワーク W に加わる荷重やワーク W の変形量が、正弦波、三角波又は矩形波といった規定の波形に従って変動するように、サーボモータ 1 1 2 を駆動することが出来るようになっている。

【 0 0 6 9 】

また、第 1 の実施形態と同様、本実施形態の疲労試験装置 1 0 1 は、ワーク W の加速度を正弦波波形に従って変動させると共に、この波形の周波数を徐々に増減させることによって、広い周波数域にて繰り返し荷重をワーク W に加えることができる、加速度振幅一定スイープ試験を行うことができる。

30

【 0 0 7 0 】

このようなスイープ試験においては、ワーク W に加わる加速度の上下限、すなわち振幅を一定にすることが望ましい。しかしながら、スイープ試験において振幅を一定に保つためには、特に高周波域において送りねじ機構 1 1 3（図 4）等の伝達系やワーク W 自身の弾性による応答遅れや、これらの摩擦や粘性による減衰の影響を考慮したうえで、サーボアンプ 1 2 0 に送る目標値（目標波形）を演算する必要がある。本実施形態においては、ワーク W の実際の変位の計測値に基づいて、サーボアンプ 1 2 0 に与える設定角度をフィードバック制御し、所望の振幅でスイープ試験が行われるようにしている。以下、その具体的な手順を説明する。

40

【 0 0 7 1 】

本実施形態においても、図 3 に示したフロー図に従って加速度振幅一定周波数スイープ試験が行われる。従って、以下の説明は図 3 に基づいてなされる。

【 0 0 7 2 】

まず、疲労試験装置 1 0 1 のオペレータは、操作手段 3 5 を操作して、「周波数スイープを行う上限周波数 F_{max} 及び下限周波数 F_{min} 」「周波数スイープを等差間隔と等比間隔のいずれで行うか」「周波数スイープの間隔 f 」「ワーク W の加速度の振幅 A_s 」「スイープ回数 K 」といったパラメータを制御部 3 0 に入力する（ステップ S 1）。

【 0 0 7 3 】

50

上記のパラメータの内、間隔 f は、周波数スイープを等差間隔で行う場合は差、等比間隔で行う場合は比である。本実施形態においては、周波数スイープが行われる周波数を F_n ($n = 1, 2, \dots, N$) とすると、 F_{min} 、 f 、 n 及び F_n の間には前述の数 1 の関係が成立する。また、周波数スイープを等差間隔、等比間隔のいずれで行う場合であっても、 F_n 、 N と F_{max} の間には前述の数 2 の関係が成立する。

【0074】

すなわち、 F_n の最小値は F_{min} であり、 F_n の最大値 F_N は F_{max} を越えない最大の周波数である。

【0075】

次いで、下記の数 7 に基づいて、加速度振幅一定周波数スイープ試験を行う際に、サーボモータ 12 の回転軸の角度の振幅 D_n を求める (ステップ S 2)。

【0076】

【数 7】

$$D_n = \frac{A_s}{2\pi \times F_n^2 \times L}$$

【0077】

なお、上記の数 7 において、 L は送りねじ 113a のリード (単位 mm / 回転) である。

【0078】

続いて、振幅 D_1 、周波数 $F_1 = F_{min}$ の正弦波を設定角度 (すなわち $D_n \times \sin(2 \times F_n \times t)$) としてサーボモータ 12 を駆動する (ステップ S 3)。

【0079】

次いで、ワーク W の加速度を計測する (ステップ S 4)。本実施形態においては、ワーク W の加速度をより正確に計測するため、ワーク W に加速度センサを取り付け、ワーク W 表面の特定位置における加速度を計測している。加速度センサの出力はアンプを介して制御部 30 のアナログポート 39 (図 2) に接続されており、コントローラ 31 は加速度センサが計測したワーク W の加速度 A_M (単位: mm / s^2) を得ることができる。コントローラ 31 は、加速度 A_M を少なくとも 1 周期、すなわち時間 $1 / F_n$ 計測し、加速度の最大値 (すなわち、加速度の振幅) A_{Mmax} を得る。

【0080】

次いで、ステップ S 1 にて設定された加速度 A_s とステップ S 4 で計測された加速度 A_{Mmax} とを比較する (ステップ S 5)。すなわち両加速度の比が、 $0.95 \leq A_s / A_{Mmax} \leq 1.05$ を満たすのであれば、サーボアンプ 20 に与える設定角度を変更する必要はないと判断し (ステップ S 5: YES)、ステップ S 6 に進む。一方、両加速度の比が上記の規定を満たしていないのであれば、サーボアンプ 20 に与える設定角度を変更する必要があると判断し (ステップ S 5: NO)、ステップ S 21 に進む。なお、本実施形態においては、上記のように両加速度の差が $\pm 5\%$ 以内であることを基準としているが、より正確な試験を行う際は上記基準を $\pm 1\%$ (すなわち $0.99 \leq A_s / A_{Mmax} \leq 1.01$) より厳しくしてもよい。

【0081】

ステップ S 21 においては、ステップ S 1 にて設定された加速度 A_s とステップ S 4 で計測された加速度 A_{Mmax} のどちらが大きいのかの判定が行われる。すなわち、計測値 A_{Mmax} が設定値 A_s よりも大きいのであれば (ステップ S 21: YES)、ステップ S 22 に進む。

【0082】

ステップ S 22 では、サーボモータ 12 の回転軸の振幅 D_n を下記の数 8 に基づいて演算し、修正した D_n に基づいて、サーボアンプ 20 に与える設定角度を変更する。次いで

10

20

30

40

50

、ステップ S 4 に戻り、加速度の振幅 A_{Mmax} を再度演算する。

【 0 0 8 3 】

【 数 8 】

$$\Delta D_n = \left| \frac{A_{Mmax} - A_S}{A_{Mmax}} \right| \times D_n$$

$$D_n = D_n - \Delta D_n$$

【 0 0 8 4 】

10

また、ステップ S 2 1 において、計測値 A_{Mmax} が設定値 A_S よりも小さいのであれば（ステップ S 2 1 : NO）、ステップ S 2 3 に進む。

【 0 0 8 5 】

ステップ S 2 3 では、以下の数 9 に基づいてサーボモータ 1 2 の回転軸の振幅 D_n を下記の数 9 に基づいて演算し、修正した D_n に基づいて、サーボアンプ 2 0 に与える設定角度を変更する。次いで、ステップ S 4 に戻り、加速度の振幅 A_{Mmax} を再度計測する。

【 0 0 8 6 】

【 数 9 】

$$\Delta D_n = \left| \frac{A_{Mmax} - A_S}{A_{Mmax}} \right| \times D_n$$

$$D_n = D_n + \Delta D_n$$

20

【 0 0 8 7 】

以上のように、ステップ S 1 にて設定された加速度 A_S とステップ S 4 で計測された加速度 A_{Mmax} との比が所定の基準を越えていた場合は、ステップ S 2 1 ~ S 2 3 の処理により、サーボモータ 1 2 の回転軸の振幅が調整されるようになっている。

【 0 0 8 8 】

ステップ S 6 では、計測値 A_{Mmax} と設定値 A_S が基準以内に納まった状態で、所定

30

周期繰り返し荷重がワークに加えられるまで待機する。次いで、ステップ S 7 に進む。

【 0 0 8 9 】

本実施形態においては、周波数を最小値 F_1 から最大値 F_N まで増加させ（往路）、周波数が最大値 F_N に達した後は、周波数を F_1 まで減少させ（復路）る。そしてこれを 1 サイクルとし、K サイクルの試験を実行する。ステップ S 7 では、現在実行しているのが往路であるか復路であるかを判断し、往路であるならば（ステップ S 7 : YES）、ステップ S 8 に進む。復路であるならば（ステップ S 7 : NO）、ステップ S 9 に進む。

【 0 0 9 0 】

ステップ S 8 では現在試験を行っている周波数が最大値 F_N に達したかどうかの判定を行う。最大値 F_N に達したのであれば（ステップ S 8 : YES）、往路が完了したと判定し、ステップ S 3 2 に進む。一方、周波数が最大値 F_N に達していないのであれば（ステップ S 8 : NO）、ステップ S 3 1 に進む。

40

【 0 0 9 1 】

ステップ S 3 1 では、周波数を増加する。すなわち現在の周波数が F_n であるならば、周波数を F_{n+1} にする。次いで、ステップ S 4 に戻り、この周波数で加速度の振幅 A_{Mmax} を計測する。

【 0 0 9 2 】

ステップ S 9 では、現在試験を行っている周波数が最小値 F_1 に達したかどうかの判定を行う。最小値 F_1 に達したのであれば（ステップ S 9 : YES）、復路が完了したと判定し、ステップ S 1 0 に進む。一方、周波数が最小値 F_1 に達していないのであれば（ス

50

ステップ S 9 : NO)、ステップ S 3 2 に進む。

【 0 0 9 3 】

ステップ S 3 2 では、周波数を減少する。すなわち現在の周波数が F_n であるならば、周波数を F_{n-1} にする。次いで、ステップ S 4 に戻り、この周波数で加速度の振幅 A_{Mmax} を計測する。

【 0 0 9 4 】

ステップ S 1 0 では、現在何サイクル目の試験が完了したかのチェックを行う。すなわち、ステップ S 1 で設定した K サイクルの試験が完了したと判断された場合は (ステップ S 1 0 : YES)、ステップ S 1 1 にてサーボモータ 1 2 の停止を行い、本フローを終了する。一方、ステップ S 1 0 にて完了したサイクル数が K 未満であるならば (ステップ S 1 0 : NO)、ステップ S 4 に戻り、次のサイクルの試験を行う。

10

【 0 0 9 5 】

以上のように、本実施形態によれば、設定した加速度振幅 A_s と計測される加速度振幅 A_{Mmax} が略一致するように、加速度振幅一定周波数スイープ試験を行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 9 6 】

【 図 1 】 本発明の第 1 の実施の形態の疲労試験装置の概要を示したものである。

【 図 2 】 本発明の第 1 の実施の形態の疲労試験装置の制御部のブロック図である。

【 図 3 】 本発明の第 1 及び第 2 の実施形態における、加速度振幅一定周波数スイープ試験のフロー図である。

20

【 図 4 】 本発明の第 2 の実施の形態の疲労試験装置の概要を示したものである。

【 図 5 】 本発明の第 2 の実施の形態の疲労試験装置の制御部のブロック図である。

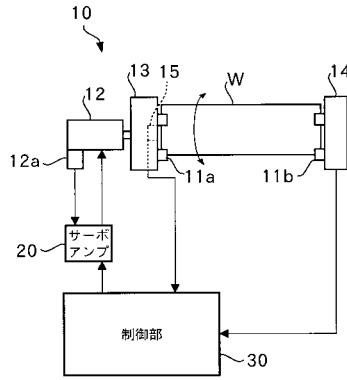
【 符号の説明 】

【 0 0 9 7 】

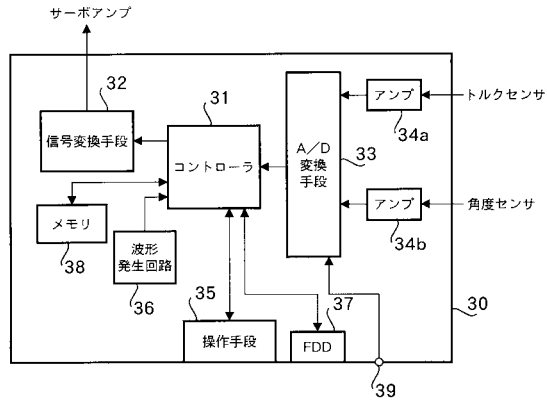
- 1 疲労試験装置
- 1 0 装置本体
- 1 2 サーボモータ
- 2 0 サーボアンプ
- 3 0 制御部
- 3 1 コントローラ
- 3 3 変換手段
- 3 5 操作手段
- 3 7 フレキシブルディスクドライブ
- W ワーク

30

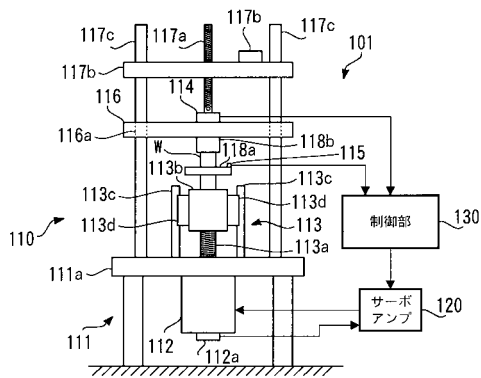
【図1】



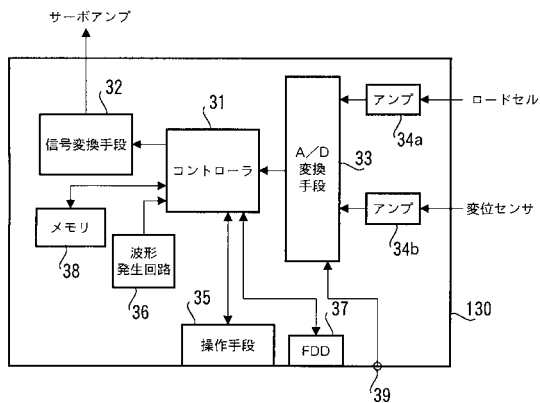
【図2】



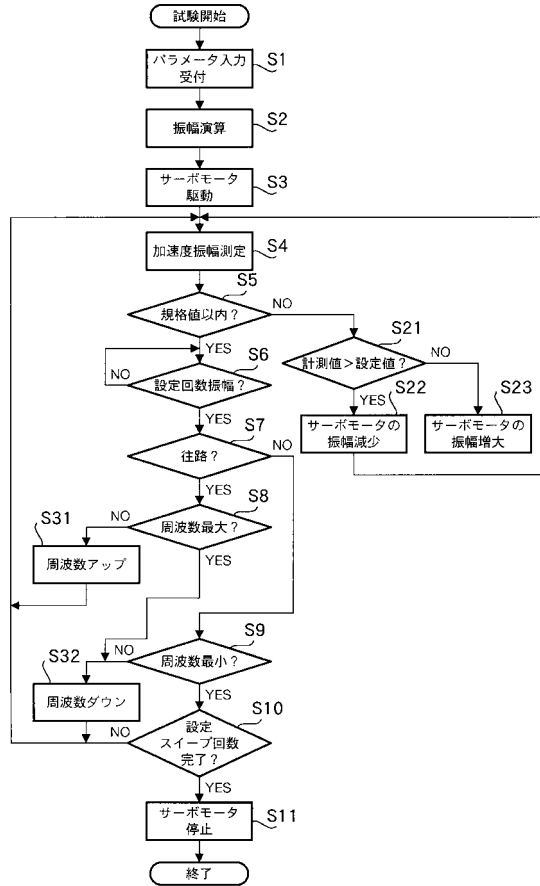
【図4】



【図5】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 田代 和義
東京都多摩市永山6丁目21番1号 国際計測器株式会社内

審査官 高橋 亨

(56)参考文献 特開2001-165832(JP,A)
特開2006-064668(JP,A)
特開2002-039931(JP,A)
特開2001-074627(JP,A)
特開2002-071506(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01N 3/34