JCSS
Japan Calibration
Service System

JCSS
不確かさの見積もりに関するガイド

登録に係る区分:トルク

校正手法の区分の呼称:トルク試験機

種類:トルク試験機及びトルクレンチテスタ

(第 4 版)

(JCG209S21-04)

改正:2026年4月1日

独立行政法人製品評価技術基盤機構

適合性評価推進センター 認定センター

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

目 次

1. はじめに 4
2. 常用参照標準の型式と校正の不確かさ 4
2.1 校正に使用できる常用参照標準 4
2.2 常用参照標準の校正の不確かさ 5
3. 不確かさの評価方法 5
3.1 常用参照標準に起因する不確かさ 6
3.1.1 常用参照標準の校正の不確かさ 6
3.1.2 温度変動の影響 6
3.1.3 出力感度の長期安定性 6
3.1.4 常用参照標準に起因する不確かさ 7
3.2 トルク試験機／トルクレンチテスタに起因する不確かさ 7
3.2.1 校正結果 7
3.2.2 設置を変えた場合の再現性 8
3.2.3 設置を変えない場合の繰り返し性 9
3.2.4 レバー長さを変えた場合の再現性 9
3.2.5 内挿に基づく偏差 10
3.2.6 零点誤差 11
3.2.7 ヒステリシス 11
3.2.8 分解能 12
3.2.9 指示偏差 12
3.3 校正の不確かさ 12
3.3.1 トルクを電気的に指示し、内挿曲線が作成できるトルク試験機／トルクレンチテスタの場合 13
3.3.2 予め決められたスケールを持ち、トルク単位で指示するトルク試験機／トルクレンチテスタの場合 13
3.3.3 増加トルクのみの校正の場合 14
3.3.4 減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合 14
3.3.5 設置変更を行わない校正の場合 14
3.4 有効自由度の評価 14
4. 等級分類 15
4.1 等級判定の原則 16
4.2 等級判定の基準 16
1) 等級判定において測定範囲の下限値 M_A は下記を満たさなければならない。 16
2) 最小の校正ステップ数は下記を満たさなければならない。 16
3) 考慮しなければならない諸特性は下記のとおりである。 16
附属書 A.1 トルク試験機／トルクレンチテスタを用いてトルクを測定する際に考慮すべき不確かさ要因(参考) 18
A.1.1 はじめに 18
A.1.2 トルク試験機／トルクレンチテスタの使用時の温度変動 18

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

A.1.3 トルク試験機／トルクレンチテスタの出力感度の長期安定性 18
A.1.4 補正又は内挿校正式の付与 19
A.1.5 トルク試験機／トルクレンチテスタの使用時における相対拡張不確かさ 20
附属書 A.2 不確かさ計算例(参照用トルクレンチでトルクレンチテスタを校正した場合) 21

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド
登録に係る区分:トルク
校正手法の区分の呼称:トルク試験機
種類:トルク試験機及びトルクレンチテスタ

1. はじめに

このガイドは、JMIF019「トルク試験機／トルクレンチテスタ校正事業者のためのガイドライン」(1)の TTSG-T202/W202「第 2 編 トルク試験機／トルクレンチテスタの校正事業者に必要な校正方法」に従って校正されたトルク試験機／トルクレンチテスタの、校正結果の不確かさを評価する方法を述べる。またトルク試験機／トルクレンチテスタの等級判定基準を示す。さらにトルク計測機器(トルクメータ／参照用トルクレンチ)を常用参照標準として事業を行う登録校正事業者の校正測定能力の評価方法を記述する。なお、不確かさの評価は GUM(Guide to the expression of uncertainty in measurement: 計測における不確かさの表現のガイド)に則って行われる。

なお、このガイドのうち左右二段組で記述されている箇所は、左段が「トルク試験機」の校正、右段が「トルクレンチテスタ」の校正に固有の事項である。

(1) 一般社団法人日本計量機器工業連合会規格

2. 常用参照標準の型式と校正の不確かさ

トルク試験機の校正は、JCSS 校正証明書の添付されたトルクメータを用いて行わなければならない。トルクメータを使用してトルク試験機の校正を行い、不確かさを求めるには、上記校正証明書に記載されているトルクメータの校正の相対拡張不確かさだけでなく、トルクメータの等級分類、校正方法、不確かさの計算方法等について十分な知識を得ておく必要がある。

トルクレンチテスタの校正は、JCSS 校正証明書の添付された参照用トルクレンチを用いて行わなければならない。参照用トルクレンチを使用してトルクレンチテスタの校正を行い、不確かさを求めるには、上記校正証明書に記載されている参照用トルクレンチの校正の拡張不確かさだけでなく、参照用トルクレンチの等級分類、校正方法、不確かさの計算方法等について十分な知識を得ておく必要がある。

2.1 校正に使用できる常用参照標準

JCT20902「技術的要求事項適用指針、登録に係る区分: トルク、校正手法の区分の呼称: トルク試験機、種類: トルク試験機及びトルクレンチテスタ」の 3.2 節、4.4 節、5.1 節及び 6.1 節で要件定義されたトルクメータとする。トルクメータには参照用トルクドライバも含まれる。

JCT20902「技術的要求事項適用指針、登録に係る区分: トルク、校正手法の区分の呼称: トルク試験機、種類: トルク試験機及びトルクレンチテスタ」の 3.2 節、4.4 節、5.1 節及び 6.1 節で要件定義された参照用トルクレンチとする。

常用参照標準が校正されたその増加／減少の方向により、トルク試験機／トルクレンチテスタの校正の方向も次のように制限を受ける。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

1) 常用参照標準がその最小値から最大値まで増加トルクのみの校正を受けている場合 → トルク試験機／トルクレンチテスタは、増加トルクのみの校正が可能である。
2) 常用参照標準が増加トルクに加え、最大値から最小値までの減少トルクの校正も受けていて、ヒステリシス及び零点誤差を含めた不確かさ評価がされている場合 → トルク試験機／トルクレンチテスタは、常用参照標準が校正を受けた最大値までの増加トルクのみの校正及び、最小値から最大値までの間の任意のトルクを最大値とした減少トルクの校正も可能であるが、減少トルクはヒステリシスとして増加トルクの不確かさに含めなければならない。
3) 常用参照標準が増加トルクに加え、最大値から最小値までの減少トルクの校正も受けていて、かつ増加トルクとは別に減少トルクの不確かさ評価がされている場合 → トルク試験機／トルクレンチテスタは、常用参照標準が校正を受けた最大値までの増加トルクのみの校正及び、その最大値から最小値までの負荷の経路でのみ減少トルクの校正も可能である。その場合、減少トルクの不確かさは増加トルクとは別に評価できる。

2.2 常用参照標準の校正の不確かさ

トルク試験機の校正に使用するトルクメータは、トルク試験機の目標とする校正の拡張不確かさに比べて十分小さな不確かさで校正されていなければならない。参照標準となるトルクメータに必要な校正の拡張不確かさとトルク試験機の等級分類との関係については 4 章で述べる。

トルクレンチテスタの校正に使用する参照用トルクレンチは、トルクレンチテスタの目標とする校正の拡張不確かさに比べて十分小さな不確かさで校正されていなければならない。参照標準となる参照用トルクレンチに必要な校正の拡張不確かさとトルクレンチテスタの等級分類との関係については 4 章で述べる。

3. 不確かさの評価方法

校正事業者が顧客のトルク試験機／トルクレンチテスタの校正の不確かさを評価する過程は次のようになる。

1) 校正事業者が所有する常用参照標準の JCSS 校正証明書、温度変動、感度ドリフト等から、常用参照標準に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_tsd} を算出。
2) 常用参照標準が校正されたときの校正範囲、レバー長さの範囲、指示計器の単位やディジタル分解能、設置変更方法、校正シーケンス等を確認し、校正器物であるトルク試験機／トルクレンチテスタの不確かさの評価方法を選定する。
3) 顧客のトルク試験機／トルクレンチテスタの校正の実施、常用参照標準の内挿校正式を用いた(内挿校正式がない場合は線形補間による)各校正ステップでの出力値の補正。校正結果の確定。
4) 諸特性の計算、不確かさの評価、(必要であれば)等級分類、校正証明書の発行。

以下では上記の、常用参照標準の不確かさを含めたトルク試験機／トルクレンチテスタの不確かさ評価方法について述べる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

3.1 常用参照標準に起因する不確かさ

3.1.1 常用参照標準の校正の不確かさ

常用参照標準の校正の相対合成標準不確かさ $u_{c_tsd_cal}$ は、常用参照標準の JCSS 校正証明書に記載されている最大相対拡張不確かさ U_{tsd_cal} 及び包含係数 k から次式で計算される。

$$u_{c_tsd_cal} = \frac{U_{tsd_cal}}{k} \quad \cdots\cdots(1)$$

U_{tsd_cal} は JCG209S11「JCSS 不確かさの見積もりに関するガイド(トルク計測機器)」の 2.4 節に記載されている校正の相対拡張不確かさ U を指す(ステップ毎の値 $U_{tsd_cal,i}$ とするか、ある範囲での一定値 U_{tsd_cal} とするかは校正事業者の判断による)。

3.1.2 温度変動の影響

JMIF015「トルクメータ校正事業者のためのガイドライン」では 18 ° C～28 ° C の温度範囲で±1 ° C で温度が安定した環境でトルクメータの校正を行うことを規定しているのに対し、JCT20902「JCSS 技術的要求事項適用指針(トルク試験機)」では 18 ° C～28 ° C の温度範囲で±2 ° C で温度が安定した環境でトルク試験機の校正を行うことを規定している。

JMIF016「参照用トルクレンチ校正事業者のためのガイドライン」では 18 ° C～28 ° C の温度範囲で±1 ° C で温度が安定した環境で参照用トルクレンチの校正を行うことを規定しているのに対し、JCT20902「JCSS 技術的要求事項適用指針(トルク試験機)」では 18 ° C～28 ° C の温度範囲で±2 ° C で温度が安定した環境でトルクレンチテスタの校正を行うことを規定している。

したがって常用参照標準の校正時の温度と、常用参照標準を使用してトルク試験機／トルクレンチテスタを校正する時の温度とは、必ずしも一致しない。トルク試験機／トルクレンチテスタを校正する際には、両者の温度差を考慮してまず常用参照標準の出力値の温度補正を行う。その上でトルク試験機／トルクレンチテスタを校正している間の温度変動の影響を評価する。温度変動を・ t_{meas}、常用参照標準の出力感度の温度係数を・とすると、相対標準不確かさ u_{tsd_tmp} 出力値の変動幅を矩形分布の全幅として、次式で表される。

$$u_{tsd_tmp}^{\ 2} = \frac{\beta^2}{3}\left(\frac{\Delta t_{meas}}{2}\right)^2 \quad \cdots\cdots(2)$$

温度補正を行うことは必須ではない。温度補正を行うならば、補正後の不確かさ(温度計の不確かさも含めて)を考慮すると共に、校正中の温度の変動の不確かさも考慮する。温度補正を行わないならば、温度差を不確かさとして考慮する必要がある。

3.1.3 出力感度の長期安定性

決められた校正周期でもって、校正回数 n_{cal} = 3 以上の校正が常用参照標準に対して行われている場合、長期安定性に基づく相対標準不確かさ u_{tsd_lgstb} は校正値における平均値の実験標準偏差とみなし、次式で表される。

$$u_{tsd_lgstb} = \frac{1}{\left|\overline{S_{c_mean}}\right|}\sqrt{\frac{1}{n_{cal}(n_{cal}-1)}\sum_{c=1}^{n_{cal}}\left(\overline{S_c} - \overline{S_{c_mean}}\right)^2} \quad \cdots\cdots(3)$$

ここで $\overline{S_c}$ は常用参照標準の各校正時の校正値、$\overline{S_{c_mean}}$ は全校正値の平均値である。校正回

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

数が 3 回に満たない常用参照標準については、これまでの高精度トルク計測機器の実績から推定し、暫定的に u_{tsd_lgstb} = 0.02 %とする。

なお、この要因の評価方法は上記の Type A 評価に限るものではなく、経験に基づいて高精度トルク計測機器使用時の不確かさを加味した Type B 評価を行ってもよい。

3.1.4 常用参照標準に起因する不確かさ

常用参照標準に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_tsd} は、3.1.1.項～3.1.3.項の影響を考慮して、次式で表される。

$$u_{c_tsd}^{\ 2} = u_{c_tsd_cal}^{\ 2} + u_{tsd_tmp}^{\ 2} + u_{tsd_lgstb}^{\ 2} \quad \cdots\cdots (4)$$

3.2 トルク試験機／トルクレンチテスタに起因する不確かさ

3.2.1 校正結果

まず、各校正ステップの増加トルクの出力値 S'_{ije} 及び減少トルクの出力値 S''_{ije} は、各ステップでの指示値 I'_{ije} 及び I''_{ije} から、その校正サイクルの初めの零指示値 I'_{0je} を差し引くことにより得られる。

$$S'_{ije} = I'_{ije} - I'_{0je} \quad \cdots\cdots (5a)$$

$$S''_{ije} = I''_{ije} - I'_{0je} \quad \cdots\cdots (5b)$$

ここで i、j、及び e は、トルクのステップ、サイクル、及びシリーズ(設置方向)のインデックスである。なお、増減トルクの別なく出力値を指す場合には S_{ije} を用いる。

校正結果 $\overline{S_i}$ は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルクの出力値の相加平均とし、式(6)で計算される。

$$\overline{S_i} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e} \quad \cdots\cdots (6)$$

ここで n_{rot} は設置方向数である。S_{i1e} は、ステップ i、第 1 サイクル、シリーズ e 番目における出力値を表している。校正結果には第 2 サイクルの出力値は含めない。

しかしながら等級 1 級又は 2 級の校正において、特段の理由によりトルクメータとトルク試験機との相対的な設置変更ができない場合、①物理的にトルクメータを一旦トルク試験機から切り離し、同じ設置方向で設置を改めて行い、これを設置を 2 方向に変更する代わりとする方法、②一つの設置方向で多数回のサイク

まず、各校正ステップの増加トルクの出力値 S'_{ijeq} 及び減少トルクの出力値 S''_{ijeq} は、各ステップでの指示値 I'_{ijeq} 及び I''_{ijeq} から、その校正サイクルの初めの零指示値 I'_{0jeq} を差し引くことにより得られる。

$$S'_{ijeq} = I'_{ijeq} - I'_{0jeq} \quad \cdots\cdots (5a)$$

$$S''_{ijeq} = I''_{ijeq} - I'_{0jeq} \quad \cdots\cdots (5b)$$

ここで i、j、e、及び q は、トルクのステップ、サイクル、シリーズ(設置方向)、及びレバー長さのインデックスである。なお、増減トルクの別なく出力値を指す場合には S_{ijeq} を用いる。

校正結果 $\overline{S_i}$ は、各設置方向の第 1 サイクル(j = 1)における、増加トルクの出力値の相加平均とし、式(6)で計算される。

$$\overline{S_i} = \frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} S_{i1e1} \quad \cdots\cdots (6)$$

ここで n_{rot} は設置方向数である。S_{i1e1} は、ステップ i、第 1 サイクル、シリーズ e 番目、レバー長さ 1 番目(平均的レバー長さ)における出力値を表している。校正結果には第 2 サイクルの出力値、並びにレバー長さを変えた場合の出力値は含めない。

しかしながら等級 1 級又は 2 級の校正において、特段の理由により参照用トルクレンチとトルクレンチテスタとの相対的な設置変更ができない場合、①物理的に参照用トルクレンチを一旦トルクレンチテスタから切り離し、同じ設置

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

ル繰り返しを行い、後の不確かさ評価において設置変更の影響を見込む方法、の 2 通りが考えられる。②の場合、校正結果はこれらの平均値とはせず、第 1 サイクルの値を校正結果とする。

方向で設置を改めて行い、これを設置を 2 方向に変更する代わりとする方法、②一つの設置方向で多数回のサイクル繰り返しを行い、後の不確かさ評価において設置変更の影響を見込む方法、の 2 通りが考えられる。②の場合、校正結果はこれらの平均値とはせず、第 1 サイクルの値を校正結果とする。

注)①及び②の方法は JMIF019 の第 2 編 TTSG-T202/W202「トルク試験機／トルクレンチテスタの校正事業者に必要な校正方法」で規定されている方法ではない。この方法を採用する校正事業者には、実測データの蓄積と分析が要求される。

3.2.2 設置を変えた場合の再現性

等級 0.2 級又は 0.5 級の校正において、設置方向を 3 方向以上とした場合、校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 b_i は、各設置方向における第 1 サイクルの出力値の実験標準偏差とし、次式で計算される。

$$b_i = \frac{1}{\left|\overline{S_i}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{rot}-1)}\sum_{e=1}^{n_{rot}}(S_{i1e}-\overline{S_i})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7a)$$

相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ は平均値の実験標準偏差であり、次式で計算される。

$$u_{rot,i}{}^2 = \frac{1}{n_{rot}} b_i{}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8a)$$

b_i の計算には第 2 サイクルの出力値は含めない。

$$b_i = \frac{1}{\left|\overline{S_i}\right|}\sqrt{\frac{1}{(n_{rot}-1)}\sum_{e=1}^{n_{rot}}(S_{i1e1}-\overline{S_i})^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7a)$$

相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ は平均値の実験標準偏差であり、次式で計算される。

$$u_{rot,i}{}^2 = \frac{1}{n_{rot}} b_i{}^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8a)$$

b_i の計算には第 2 サイクルの出力値及びレバー長さを変えた場合の出力値は含めない。

等級 1 級又は 2 級の校正において、設置方向を 2 方向とした場合、校正ステップ i における設置を変えた場合の相対再現性 b_i は、各設置方向における第 1 サイクルの出力値の最大値と最小値の差を考慮し、次式で計算される。

$$b_i = \frac{S_{i1e,max} - S_{i1e,min}}{\left|\overline{S_i}\right|} + \frac{r}{\left|M_i\right|} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7b)$$

ここで r は指示が変動していない場合の分解能であり、また M_i は各ステップにおけるトルク値である。分解能については 3.2.8 項で詳細を述べる。相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ は b_i を矩形分布の全幅として、次式で計算される。

$$u_{rot,i}{}^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{b_i}{2}\right)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8b)$$

$$b_i = \frac{S_{i1e,max} - S_{i1e,min}}{\left|\overline{S_i}\right|} + \frac{r}{\left|M_i\right|} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (7b)$$

ここで r は指示が変動していない場合の分解能であり、また M_i は各ステップにおけるトルク値である。分解能については 3.2.8 項で詳細を述べる。相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ は b_i を矩形分布の全幅として、次式で計算される。

$$u_{rot,i}{}^2 = \frac{1}{3}\left(\frac{b_i}{2}\right)^2 \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (8b)$$

b_i の計算にはレバー長さを変えた場合の出力値は含めない。

等級 1 級又は 2 級の校正において、特段の理由により常用参照標準とトルク試験機／トルクレ

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

ンチテスタとの相対的な設置変更ができない場合で、3.2.1 項の②の方法を採用する限りにおいて、本要因は考慮しない。詳細は 3.3 節で述べる。

3.2.3 設置を変えない場合の繰り返し性

等級 0.2 級又は 0.5 級の校正において、設置方向を 3 方向以上とした場合、設置方向 0° でのみ校正サイクルを 2 回繰り返す。校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性 b'_i は次式で計算される。

$$b'_i = \frac{|S_{i21} - S_{i11}|}{\left|\frac{1}{n_{rep}}\sum_{j=1}^{n_{rep}} S_{ij1}\right|} + \frac{r}{|M_i|} \quad \cdots\cdots (9)$$

ここで n_{rep} は同一設置方向での校正サイクル繰り返し回数である。S_{ij1} は、ステップ i、第 j サイクル、第 1 シリーズにおける出力値を表している。

相対標準不確かさ $u_{rep,i}$ は、b'_i を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$u_{rep,i}{}^2 = \frac{1}{3} b'^2_i \quad \cdots\cdots (10)$$

$$b'_i = \frac{|S_{i211} - S_{i111}|}{\left|\frac{1}{n_{rep}}\sum_{j=1}^{n_{rep}} S_{ij11}\right|} + \frac{r}{|M_i|} \quad \cdots\cdots (9)$$

ここで n_{rep} は同一設置方向での校正サイクル繰り返し回数である。S_{ij11} は、ステップ i、第 j サイクル、第 1 シリーズ、レバー長さ 1 番目(平均的レバー長さ)における出力値を表している。

相対標準不確かさ $u_{rep,i}$ は、b'_i を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$u_{rep,i}{}^2 = \frac{1}{3} b'^2_i \quad \cdots\cdots (10)$$

等級 1 級又は 2 級の校正において、設置方向を 2 方向とした場合で、同一設置方向での校正サイクル繰り返しを行わない場合、本要因は考慮しない。詳細は 3.3 節で述べる。

また、等級 1 級又は 2 級の校正においても、常用参照標準とトルク試験機／トルクレンチテスタとの相対的な設置変更を行うことが必要であるが、特段の理由により設置変更ができない場合は、代わりに 3.2.1 項の①又は②の方法を採用しなければならない。①の場合は本要因は考慮しない。②の方法の場合、校正ステップ i における設置を変えない場合の相対繰り返し性及び相対標準不確かさはそれぞれ式(9)及び式(10)で計算される。

3.2.4 レバー長さを変えた場合の再現性

特になし。

校正ステップ i における、レバー長さを変えた場合の相対再現性 $b_{l,i}$ は、最終設置方向における平均的レバー長さと最小レバー長さで得られた出力値の間の偏差とし、次式で計算される。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

$$b_{l,\mathrm{i}} = \frac{S_{\mathrm{i132}} - S_{\mathrm{i131}}}{\left| \frac{1}{n_{\mathrm{lvr}}} \sum_{\mathrm{q}=1}^{n_{\mathrm{lvr}}} S_{\mathrm{i13q}} \right|} \quad \cdots\cdots (11)$$

ここで n_{lvr} はレバー長さの変更回数である。S'_{i13q} は、ステップ i、第 1 サイクル、最終設置方向(ここでは仮に設置方向変更回数を 3 回としている)において、レバー長さ変更 q 番目における出力値を表している。

相対標準不確かさ $u_{\mathrm{lvr,i}}$ は、$b_{l,\mathrm{i}}$ を矩形分布の半幅と解釈し、次式で計算される。

$$u_{\mathrm{lvr,i}}{}^2 = \frac{1}{3} b_{l,\mathrm{i}}{}^2 \quad \cdots\cdots (12)$$

3.2.5 内挿に基づく偏差

まず、n ステップの校正結果 $\overline{S'_{\mathrm{i}}}$ を用いて、増加トルクに対する校正式を最小二乗法により計算し、係数を求める。校正式は次式のように出力値 S'とトルク M を関係づける多項式とする。

$$S' = A_0 + A_1 \cdot M + A_2 \cdot M^2 + \cdots + A_{\mathrm{m}} \cdot M^{\mathrm{m}} \quad \cdots\cdots (13a)$$

校正式に定数項を含めるか否かは校正事業者の手順又は依頼者の仕様による。

また、必要であれば減少トルクに対する校正結果 $\overline{S''_{\mathrm{i}}}$ を用いて、次式のように減少トルクに対する校正式を計算し、係数を求める。

$$S'' = A_0' + A_1' \cdot M + A_2' \cdot M^2 + \cdots + A_{\mathrm{m}}' \cdot M^{\mathrm{m}} \quad \cdots\cdots (13b)$$

このとき、最大トルク M_{E} における計算値が式(13a)と式(13b)とで一致するように係数を決定しなければならない。

一次、二次あるいは三次の校正式を計算するが、ステップ数 n に依存して、適用する次数は下記に従うことが望ましい。

n < 5 : 一次式まで

n < 8 : 二次式まで

n ≥ 8 : 三次式まで

内挿に基づく相対偏差 f_{a} は、各次数の校正式から得られた計算値 $S_{\mathrm{a,i}}$ と校正結果 $\overline{S_{\mathrm{i}}}$ との差より、各ステップに対して次式に従って求める。

$$f_{\mathrm{a,i}} = \frac{\overline{S_{\mathrm{i}}} - S_{\mathrm{a,i}}}{\left| S_{\mathrm{a,i}} \right|} \quad \cdots\cdots (14)$$

相対標準不確かさ $u_{\mathrm{int,i}}$ は、選択した次数の校正式に基づく f_{a} を矩形分布の半幅として、次式から求める。

$$u_{\mathrm{int,i}}{}^2 = \frac{1}{3} f_{\mathrm{a,i}}{}^2 \quad \cdots\cdots (15)$$

次数の選択は校正事業者の手順又は依頼者の仕様による。

(参考)次数の選択の基準として、例えば全ステップにおける f_{a} の最大値が最も小さくなる次

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

数の校正式を選択するという方法がある。

予め決められたスケールを持ち、電気的に指示値を校正値にフィットさせることができないトルク計測機器に関しては、u_{int} の代わりに、3.2.9 項で述べる、相対指示偏差に基づく不確かさ u_{ind} を用いる。

なお、校正証明書にはトルク M から出力値 S'(又は S'')を求める式(13a)及び式(13b)に加えて、出力値 S'(又は S'')からトルク M を求められる次式の校正式を記載することが望ましい。

$$M = B_0 + B_1 \cdot S' + B_2 \cdot S'^2 + \cdots + B_m \cdot S'^m \quad \text{(増加トルクに対して)} \cdots\cdots (16a)$$

$$M = B_0' + B_1' \cdot S'' + B_2' \cdot S''^2 + \cdots + B_m' \cdot S''^m \quad \text{(減少トルクに対して)} \cdots\cdots (16b)$$

各サイクルの初めと終わりにおける零指示値の差を相対零点誤差 f_0 とする。f_0 は次式で計算される。

3.2.6 零点誤差

各サイクルの初めと終わりにおける零指示値の差を相対零点誤差 f_0 とする。f_0 は次式で計算される。

$$f_{0,e} = \frac{S''_{01e} - S'_{01e}}{\left|S'_{n1e}\right|} \cdots\cdots (17)$$

ただし f_0 には増加のみのサイクルは含めない。

ここで、S'_{01e} 及び S''_{01e} は、第 1 サイクル、第 e シリーズで校正されたサイクル初め及びサイクル終わりの零値をそれぞれ表す。また S'_{n1e} は、当該サイクルのステップ n における、すなわち最大トルク負荷時の出力値を表す。

相対標準不確かさ u_{zer} は、f_0 の絶対値の最大値 $f_{0,max}$ を矩形分布の半幅とし、次式で計算される。

$$u_{zer}^2 = \frac{1}{3} f_{0,max}^2 \cdots\cdots (18)$$

$$f_{0,e} = \frac{S''_{01e1} - S'_{01e1}}{\left|S'_{n1e1}\right|} \cdots\cdots (17)$$

ただし、f_0 には、増加のみのサイクル及びレバー長さを変えたサイクルは含めない。

ここで、S'_{01e1} 及び S''_{01e1} は、第 1 サイクル、第 e シリーズ、レバー長さ 1(q = 1、平均的レバー長さ)で校正されたサイクル初め及びサイクル終わりの零値をそれぞれ表す。また S'_{n1e1} は、当該サイクルのステップ n における、すなわち最大トルク負荷時の出力値を表す。

相対標準不確かさ u_{zer} は、f_0 の絶対値の最大値 $f_{0,max}$ を矩形分布の半幅とし、次式で計算される。

$$u_{zer}^2 = \frac{1}{3} f_{0,max}^2 \cdots\cdots (18)$$

3.2.7 ヒステリシス

校正ステップ i における相対ヒステリシス h_i は、同じ増減サイクルの増加ステップと減少ステップの出力値の差を求め、それら絶対値の平均値とする。h_i は次式で計算される。

$$h_i = \frac{\frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} \left|S''_{i1e} - S'_{i1e}\right|}{\left|\overline{S'_i}\right|} \cdots\cdots (19)$$

相対標準不確かさ u_{rev} は、h_i を半幅とする矩形分布を仮定して次式により算出する。

$$h_i = \frac{\frac{1}{n_{rot}} \sum_{e=1}^{n_{rot}} \left|S''_{i1e1} - S'_{i1e1}\right|}{\left|\overline{S'_i}\right|} \cdots\cdots (19)$$

相対標準不確かさ u_{rev} は、h_i を半幅とする矩形分布を仮定して次式により算出する。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

$$u_{\mathrm{rev,i}}{}^2 = \frac{1}{3} h_{\mathrm{i}}{}^2 \quad \cdots\cdots (20)$$

ここで S''_{i1e} は、第 1 サイクル、第 e シリーズで校正されたステップ i の出力値を表す。h_{i} の計算には増加のみのサイクルは含めない。

$$u_{\mathrm{rev,i}}{}^2 = \frac{1}{3} h_{\mathrm{i}}{}^2 \quad \cdots\cdots (20)$$

ここで S''_{i1e1} は、第 1 サイクル、第 e シリーズ、レバー長さ 1(q = 1、平均的レバー長さ)で校正されたステップ i の出力値を表す。h_{i} の計算には増加のみのサイクルは含めない。

3.2.8 分解能

分解能 r は、アナログ表示の場合は読み取り可能な最小目盛比とする。ディジタル表示の場合は最終桁の1増分とする。無負荷状態で指示が変動している場合は、変動幅の半幅とする。r はトルク値で表す。分解能に基づく相対標準不確かさ u_{res} は、矩形分布を仮定して次式のように算出する。

$$u_{\mathrm{res,i}}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r}{2M_{\mathrm{i}}}\right)^2 \quad \text{(指示が変動していない場合)} \cdots\cdots (21a)$$

$$u_{\mathrm{res,i}}{}^2 = \frac{2}{3}\left(\frac{r}{M_{\mathrm{i}}}\right)^2 \quad \text{(指示が変動している場合)} \cdots\cdots (21b)$$

ここで、M_{i} は各ステップにおけるトルクの値[N·m]である。なお、u_{res} は、出力値が各ステップの指示値とそのサイクル初めの零値との差から得られることを考慮して、$\sqrt{2}$ 倍されている。

注)ディジタル表示で指示が変動している場合の変動幅とは、例えば最終桁が 0 と 1 の表示を繰り返している場合は 2 digits であり、0 から 2 まで変動している場合は 3 digits であることに注意しなければならない。

3.2.9 指示偏差

予め決められたスケールを持ち(トルクの単位で直接指示される)、電気的に指示値を校正値にフィットさせることができないトルク試験機/トルクレンチテスタに関しては、u_{int} の代わりに相対指示偏差 $d_{\mathrm{a,i}}$ を計算する。$d_{\mathrm{a,i}}$ は次式を用いて計算される。

$$d_{\mathrm{a,i}} = \frac{\overline{S_{\mathrm{i}}} - M_{\mathrm{i}}}{M_{\mathrm{i}}} \quad \cdots\cdots (22)$$

相対指示偏差に基づく標準不確かさ u_{ind} は次式で計算される。

$$u_{\mathrm{ind,i}}{}^2 = d_{\mathrm{a,i}}{}^2 \quad \cdots\cdots (23)$$

3.3 校正の不確かさ

校正の相対拡張不確かさ U_{i} は、常用参照標準の相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_tsd}}$ と、トルク試験機に起因する相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_ttm,i}}$ の合成により、次式で計算される。

$$U_{\mathrm{i}} = k \cdot u_{\mathrm{c,i}} = k \cdot \sqrt{u_{\mathrm{c_tsd}}{}^2 + u_{\mathrm{c_ttm,i}}{}^2} \quad \cdots\cdots (24)$$

校正の相対拡張不確かさ U_{i} は、常用参照標準の相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_tsd}}$ と、トルクレンチテスタに起因する相対合成標準不確かさ $u_{\mathrm{c_twt,i}}$ の合成により、次式で計算される。

$$U_{\mathrm{i}} = k \cdot u_{\mathrm{c,i}} = k \cdot \sqrt{u_{\mathrm{c_tsd}}{}^2 + u_{\mathrm{c_twt,i}}{}^2} \quad \cdots\cdots (24)$$

U_{i} は各校正ステップに対して求め、校正範囲の中で最も大きい不確かさもそのトルク試験機/トルクレンチテスタの代表的な校正の不確かさとして校正証明書に記載しなければならない。しかし

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

登録校正事業者は、結果として得られた U_i が登録を受けた校正測定能力 U_{BMC} より小さくなった場合でも校正測定能力よりも小さい不確かさを記載することはできない。

トルク試験機に起因する相対合成標準不確かさ u_{c_ttm} は、目標の等級、並びにトルク試験機が予め決められたスケールを持つか否か、また増加トルクのみを評価するか、減少トルクも校正値とみなし、増加トルクとは別に評価するか、等によって異なり、下記のように評価される。

トルクレンチテスタに起因する相対合成標準不確かさ u_{c_twt} は、目標の等級、並びにトルクレンチテスタが予め決められたスケールを持つか否か、また増加トルクのみを評価するか、減少トルクも校正値とみなし、増加トルクとは別に評価するか、等によって異なり、下記のように評価される。

3.3.1 トルクを電気的に指示し、内挿曲線が作成できるトルク試験機／トルクレンチテスタの場合

内挿に基づく相対偏差 $f_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $u_{c_ttm,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_ttm,i}^2 = u_{rot,i}^2 + u_{rep,i}^2 + u_{int,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（0.2～0.5 級の場合）……(25a)

$$u_{c_ttm,i}^2 = 2u_{rot,i}^2 + u_{int,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合）……(25b)

内挿に基づく相対偏差 $f_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $u_{c_twt,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_twt,i}^2 = u_{rot,i}^2 + u_{rep,i}^2 + u_{lvr,i}^2 + u_{int,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（0.2～0.5 級の場合）……(25a)

$$u_{c_trwt,i}^2 = 2u_{rot,i}^2 + u_{lvr,i}^2 + u_{int,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合）……(25b)

ここで等級 1～2 級の場合、同一設置方向でのサイクル繰り返しがないため、設置を変えた場合の不確かさを 2 回分考慮している。

3.3.2 予め決められたスケールを持ち、トルク単位で指示するトルク試験機／トルクレンチテスタの場合

相対指示偏差 $d_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $u_{c_ttm,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_ttm,i}^2 = u_{rot,i}^2 + u_{rep,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（0.2～0.5 級の場合）……(26a)

$$u_{c_ttm,i}^2 = 2u_{rot,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合）……(26b)

相対指示偏差 $d_{a,i}$ が考慮され、相対合成標準不確かさ $u_{c_twt,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_twt,i}^2 = u_{rot,i}^2 + u_{rep,i}^2 + u_{lvr,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（0.2～0.5 級の場合）……(26a)

$$u_{c_twt,i}^2 = 2u_{rot,i}^2 + u_{lvr,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合）……(26b)

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

3.3.3 増加トルクのみの校正の場合

顧客の要求により、トルク試験機を増加トルクのみで校正する場合、式(25a)、(25b)又は式(26a)、(26b)における $u_{c_ttm,i}$ には、相対零点誤差及び相対ヒステリシスに基づく不確かさ u_{zer} 及び $u_{rev,i}$ は含めない。

顧客の要求により、トルクレンチテスタを増加トルクのみで校正する場合、式(25a)、(25b)又は式(26a)、(26b)における $u_{c_twt,i}$ には、相対零点誤差及び相対ヒステリシスに基づく不確かさ u_{zer} 及び $u_{rev,i}$ は含めない。

3.3.4 減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合

顧客の要求により減少トルクの不確かさを増加トルクとは別に評価する場合、該当する校正サイクル全てを増減サイクルとして校正を実施し、それぞれのトルクステップで $u_{rot,i}$、$u_{rep,i}$、$u_{int,i}$ 及び $u_{res,i}$ を要因として考慮する。

顧客の要求により減少トルクの不確かさを増加トルクとは別に評価する場合、該当する校正サイクル全てを増減サイクルとして校正を実施し、それぞれのトルクステップで $u_{rot,i}$、$u_{rep,i}$、$u_{lvr,i}$、$u_{int,i}$ 及び $u_{res,i}$ を要因として考慮する。

3.3.5 設置変更を行わない校正の場合

等級 1 級又は 2 級の校正において、特段の理由によりトルクメータとトルク試験機との相対的な設置変更ができない場合で、①物理的にトルクメータを一旦トルク試験機から切り離し、同じ設置方向で設置を改めて行い、これを設置を 2 方向に変更する代わりとする場合は、式(25b)又は(26b)に従う。②物理的な切り離しを行わず、一つの設置方向で多数回のサイクル繰り返しを行う場合、相対合成標準不確かさ $u_{c_ttm,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_ttm,i}^2 = 3u_{rep,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合のみ）……(27)

等級 1 級又は 2 級の校正において、特段の理由により参照用トルクレンチとトルクレンチテスタとの相対的な設置変更ができない場合で、①物理的に参照用トルクレンチを一旦トルクレンチテスタから切り離し、同じ設置方向で設置を改めて行い、これを設置を 2 方向に変更する代わりとする場合は、式(25b)又は(26b)に従う。②物理的な切り離しを行わず、一つの設置方向で多数回のサイクル繰り返しを行う場合、、相対合成標準不確かさ $u_{c_twt,i}$ は次式で計算される。

$$u_{c_twt,i}^2 = 3u_{rep,i}^2 + u_{lvr,i}^2 + u_{ind,i}^2 + u_{zer}^2 + u_{rev,i}^2 + u_{res,i}^2$$

（1～2 級の場合のみ）……(27)

ここで式(27)では、設置方向を変えてのサイクル繰り返しがないため、設置を変えない場合の不確かさを 3 回分考慮している。

3.4 有効自由度の評価

式(24)において、$u_{c,i}$ はトルク試験機／トルクレンチテスタの校正の相対合成標準不確かさ、k は包含係数であるが、校正の相対拡張不確かさの算出においては、有効自由度と包含係数の評価が必要であり、次のように考えることができる。

まず、u_{c_tsd} を評価する式(4)の中で、正規分布（Type A）として評価されるのは u_{tsd_lgstb} のみである。通常 u_{c_tsd}（0.1 %程度）に比べて u_{tsd_lgstb} は十分小さく（0.02 %程度）、全体として u_{c_tsd} の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさを与える包

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

含係数として $k = 2$ が適用される。

一方、$u_{c_ttm,i}$ を評価する式(25)～(27)において、有効自由度の評価の仕方は等級や校正方法の違いにより異なる。

まず等級 0.2 級～0.5 級の場合、各不確かさ要因の中で、正規分布(Type A)として評価されるのは唯一、設置を変えた場合の再現性に基づく相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ のみである。通常、校正対象となるトルク試験機においては $u_{rot,i}$ は $u_{c_ttm,i}$ に比べて十分小さく、さらに、設置を変えない場合の繰返し性に基づく相対標準不確かさ$u_{rep,i}$に指示計器の分解能(最終桁 1 カウント分)を見込んでいるため、$u_{c_ttm,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(25a)、式(26a))。

次に等級 1 級～2 級の場合、不確かさ要因は全て Type B として評価されるため、$u_{c_ttm,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(25b)、式(26b))。

また等級 1 級～2 級の場合で、特段の理由によりトルクメータとトルク試験機との相対的な設置変更ができない場合も、不確かさ要因は全て Type B として評価されるため、$u_{c_ttm,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(27))。

一方、$u_{c_twt,i}$ を評価する式(25)～(27)において、有効自由度の評価の仕方は等級や校正方法の違いにより異なる。

まず等級 0.2 級～0.5 級の場合、各不確かさ要因の中で、正規分布(Type A)として評価されるのは唯一、設置を変えた場合の再現性に基づく相対標準不確かさ $u_{rot,i}$ のみである。通常、校正対象となるトルクレンチテスタにおいては $u_{rot,i}$ は $u_{c_twt,i}$ に比べて十分小さく、さらに、設置を変えない場合の繰返し性に基づく相対標準不確かさ $u_{rep,i}$ に指示計器の分解能(最終桁 1 カウント分)を見込んでいるため、$u_{c_twt,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(25a)、式(26a))。

次に等級 1 級～2 級の場合、不確かさ要因は全て Type B として評価されるため、$u_{c_twt,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(25b)、式(26b))。

また等級 1 級～2 級の場合で、特段の理由により参照用トルクレンチとトルクレンチテスタとの相対的な設置変更ができない場合も、不確かさ要因は全て Type B として評価されるため、$u_{c_twt,i}$ の有効自由度は十分大きいと評価できる。従って $k = 2$ が適用される(式(27))。

以上より、式(24)における、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさを与える包含係数には $k = 2$ が適用できる。

校正事業者には、これら評価方法の妥当性を確認するために、今後長期にわたって実際の校正サービスの実施に伴うデータの蓄積並びに有効自由度の評価の蓄積が推奨される。特別な場合には、各ステップ毎に Welch-Satterthwaite の式を用いて有効自由度を評価して、信頼の水準約 95 %に相当する拡張不確かさの包含係数を決定することも考えられる(この場合、$k = 2$ とならないかもしれない)。

4. 等級分類

本章に示す等級分類は、JMIF019「トルク試験機／トルクレンチテスタ校正事業者のガイドライン」の TTSG-T203/W203「第 3 編 トルク試験機／トルクレンチテスタの校正事業者に必要な不確かさの評価方法」に規定されたものであり、本ガイドにおいてもこれらの最新版を引用する。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

4.1 等級判定の原則

等級判定の範囲は、校正された全てのトルクに対して、すなわち最大トルクから始まって下限のトルクまで順次考察することによって決定する。等級判定範囲は 4.2 節の要求事項が満たされる最後のトルクまでである。

4.2 等級判定の基準

1) 等級判定において測定範囲の下限値 M_A は下記を満たさなければならない。

(ア)最大トルク M_E の 20 %以下

2) 最小の校正ステップ数は下記を満たさなければならない。

(ア)5 ステップ以上(0.2 及び 0.5 級)

(イ)3 ステップ以上(1 級以下)

3) 考慮しなければならない諸特性は下記のとおりである。

(ア)設置を変えた場合の再現性

(イ)設置を変えない場合の繰り返し性

(ウ)零点誤差

(エ)内挿に基づく偏差又は指示偏差

(オ)ヒステリシス

(カ)分解能

ただし増加トルクのみの校正の場合、又は減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合、(ウ)及び(オ)項は考慮しない。

(ア)設置を変えた場合の再現性

(イ)設置を変えない場合の繰り返し性

(ウ)レバー長さを変えた場合の再現性

(エ)零点誤差

(オ)内挿に基づく偏差又は指示偏差

(カ)ヒステリシス

(キ)分解能

ただし増加トルクのみの校正の場合、又は減少トルクを増加トルクとは別に評価する校正の場合、(エ)及び(カ)項は考慮しない。

表 1 に、トルク試験機／トルクレンチテスタの等級に対応する諸特性の限界値を示す。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

表 1 トルク試験機／トルクレンチテスタの等級判定基準

等級	トルク試験機／トルクレンチテスタの最大許容誤差 ／ %					トルク最小値	校正トルク
	相対再現性	相対繰り返し性	相対零点誤差	相対往復誤差	相対内挿偏差又は指示偏差		計測の不確かさ[注)]
	b, b_l	b'	f_0	h	f_a, d_a	M_A	U_{tsd_cal} ／ %
0.2	0.2	0.10	0.050	0.25	0.10	≧ 1000 r	0.04
0.5	0.5	0.25	0.125	0.63	0.25	≧ 400 r	0.1
1	1	---	0.25	1.25	0.5	≧ 200 r	0.2
2	2	---	0.5	2.5	1	≧ 100 r	0.4

注)校正トルクの計測の不確かさは、常用参照標準の相対拡張不確かさ(信頼の水準約 95 %)である。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

附属書 A.1 トルク試験機／トルクレンチテスタを用いてトルクを測定する際に考慮すべき不確かさ要因(参考)

A.1.1 はじめに

トルク試験機／トルクレンチテスタの校正の不確かさは校正時点でのみ有効であることに注意が必要である。顧客が、校正されたトルク試験機／トルクレンチテスタを用いてトルクを測定する(実際にねじり試験片の破断試験や手動式トルクツールの校正(又は試験)を行う)際には、トルク試験機／トルクレンチテスタの使用時の温度変動、トルク試験機／トルクレンチテスタのトルク計測系の長期安定性、顧客側で校正値に補正を加える、内挿校正式を付与する等のために付加的に生じる不確かさを考慮する必要がある。ここではトルク試験機／トルクレンチテスタの使用時において、特にトルク測定系に関して考慮しなければならない主な不確かさ要因について述べる。

なお、トルク試験機／トルクレンチテスタを使用して試験等を実施する場合には、上記のトルク測定系由来の不確かさの諸要因以外にも、試験片やトルクツール取付け時のアライメント、取付けジグの特性等の負荷作用時に生じる不確かさの要因、そして出力値のばらつき等、様々な要因を顧客側で併せて考慮することが必要である。

A.1.2 トルク試験機／トルクレンチテスタの使用時の温度変動

JCT20902「JCSS 技術的要求事項適用指針(トルク試験機)」では、18 ° C～28 ° C の温度範囲で、かつ±2 ° C で温度が安定した環境においてトルク試験機／トルクレンチテスタの校正を行うことを規定している。

しかしながら一般にトルク試験機／トルクレンチテスタの校正時の温度と使用時の温度とは、必ずしも一致しない。トルク試験機／トルクレンチテスタを使用する際には、両者の温度差を考慮してまずトルク試験機／トルクレンチテスタの出力値の温度補正を行う。その上でトルク試験機／トルクレンチテスタで測定を実施している間の温度変動の影響を評価する。

注)温度補正は必須ではない。温度補正をせずに、校正時の温度からの温度偏差を不確かさに含めるか、温度補正をした後に補正の不確かさを考慮するか、は使用者の判断である。

温度変動を・ t_{ttm}、トルク試験機の出力感度の温度係数を・ $_{\mathrm{ttm}}$ とすると、相対標準不確かさ $u_{\mathrm{ttm_tmp}}$ は出力値の変動幅を矩形分布の全幅として、次式で表される。

$$u_{\mathrm{ttm_tmp}}{}^{2} = \frac{\beta_{\mathrm{ttm}}{}^{2}}{3}\left(\frac{\Delta t_{\mathrm{ttm}}}{2}\right)^{2} \quad \cdots\cdots\cdots\

とみなし、次式で表される。

$$u_{\mathrm{ttm_lgstb}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}(n_{\mathrm{cal}}-1)}\sum_{\mathrm{c}=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\overline{S_{\mathrm{c}}}-\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right)^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A2})$$

ここで $\overline{S_{\mathrm{c}}}$ はトルク試験機／トルクレンチテスタの各校正時の校正値、$\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}$ は全校正値の平均値である。校正回数が 3 回に満たないトルク試験機／トルクレンチテスタについては、製造業者の提示する仕様を参考にするなどして適宜評価する。

(参考)トルク試験機／トルクレンチテスタの上位標準となる高精度トルク計測機器でも長期安定性は相対標準不確かさで 0.02 %程度である。

A.1.4 補正又は内挿校正式の付与

予め決められたスケールを持ち、トルク単位で指示する(内挿校正式を有しない)トルク試験機／トルクレンチテスタであって、3.3.2.項で述べたように校正の不確かさに指示偏差に基づく相対標準不確かさ u_{ind} が考慮された場合、もし顧客側で補正又は内挿校正式を付与したいならば、まず式(26)を用いて U から u_{ind} を除いた後に補正後の指示偏差に基づく不確かさを付加的に考慮するか、任意の内挿校正式を作成し、内挿に基づく不確かさを付加的に考慮する必要がある。

まず各トルクステップで補正を行う場合、補正値を C としたとき(補正値が一定量であるか、トルク M の関数であるかは任意である)、補正後の相対残差 c_{r} は次式で表される。

$$c_{\mathrm{r,i}} = \frac{(\overline{S_{\mathrm{i}}}+C_{\mathrm{i}})-M_{\mathrm{i}}}{M_{\mathrm{i}}} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A3})$$

また相対残差に基づく標準不確かさ u_{cor} は次式で表される。

$$u_{\mathrm{cor}}{}^2 = c_{\mathrm{r,i}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A4})$$

次に、任意の内挿校正式を作成する場合、トルク試験機／トルクレンチテスタの校正証明書から n ステップの校正結果 $\overline{S_{\mathrm{i}}}$ を用いて、増加トルクの校正式を(必要に応じて減少トルクの校正式も)最小二乗法等により計算し、係数を求める。

内挿に基づく偏差 $f_{\mathrm{a_ttm}}$ は、校正式から得られた計算値 $S_{\mathrm{a,i}}$ と出力値 $\overline{S_{\mathrm{i}}}$ との差より、各ステップに対して次式で表される。

$$f_{\mathrm{a_ttm,i}} = \frac{\overline{S_{\mathrm{i}}}-S_{\mathrm{a,i}}}{\left|S_{\mathrm{a,i}}\right|} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A5})$$

相対標準不確かさ $u_{\mathrm{ttm_int}}$ は、$f_{\mathrm{a_ttm}}$ を矩形分布の半幅として、次式で表される。

$$u_{\mathrm{ttm_int}}{}^2 = \frac{1}{3} f_{\mathrm{a_ttm}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A6})$$

偏差とみなし、次式で表される。

$$u_{\mathrm{twt_lgstb}} = \frac{1}{\left|\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right|}\sqrt{\frac{1}{n_{\mathrm{cal}}(n_{\mathrm{cal}}-1)}\sum_{\mathrm{c}=1}^{n_{\mathrm{cal}}}\left(\overline{S_{\mathrm{c}}}-\overline{S_{\mathrm{c_mean}}}\right)^2} \quad \cdots\cdots(\mathrm{A2})$$

内挿に基づく偏差 $f_{\mathrm{a_twt}}$ は、校正式から得られた計算値 $S_{\mathrm{a,i}}$ と出力値 $\overline{S_{\mathrm{i}}}$ との差より、各ステップに対して次式で表される。

$$f_{\mathrm{a_twt,i}} = \frac{\overline{S_{\mathrm{i}}}-S_{\mathrm{a,i}}}{\left|S_{\mathrm{a,i}}\right|} \quad \cdots\cdots\cdots$$

相対標準不確かさ $u_{\mathrm{twt_int}}$ は、$f_{\mathrm{a_twt}}$ を矩形分布の半幅として、次式で表される。

$$u_{\mathrm{twt_int}}{}^2 = \frac{1}{3} f_{\mathrm{a_twt}}{}^2 \quad \cdots\cdots(\mathrm{A6})$$

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

A.1.5 トルク試験機／トルクレンチテスタの使用時における相対拡張不確かさ

トルク試験機の使用時におけるトルク測定系由来の相対合成標準不確かさ $u_{c_ttm_use}$ は次式で表される。

$$u_{c_ttm_use}^{2} = u_{ttm_tmp}^{2} + u_{ttm_lgstb}^{2} + u_{cor}^{2}$$

(補正する場合) ……(A7a)

$$u_{c_ttm_use}^{2} = u_{ttm_tmp}^{2} + u_{ttm_lgstb}^{2} + u_{ttm_int}^{2}$$

(校正式を作成する場合) ……(A7b)

トルク試験機の使用時における相対拡張不確かさ U_{use} は、$u_{c_ttm_use}$ を考慮して、次式で表される。

$$U_{use} = k \cdot \sqrt{u_{c_tsd}^{2} + u_{c_ttm}^{2} + u_{c_ttm_use}^{2}}$$

……(A8)

トルクレンチテスタの使用時におけるトルク測定系由来の相対合成標準不確かさ $u_{c_twt_use}$ は次式で表される。

$$u_{c_twt_use}^{2} = u_{twt_tmp}^{2} + u_{twt_lgstb}^{2} + u_{cor}^{2}$$

(補正する場合) ……(A7a)

$$u_{c_twt_use}^{2} = u_{twt_tmp}^{2} + u_{twt_lgstb}^{2} + u_{twt_int}^{2}$$

(校正式を作成する場合) ……(A7b)

トルクレンチテスタの使用時における相対拡張不確かさ U_{use} は、$u_{c_twt_use}$ を考慮して、次式で表される。

$$U_{use} = k \cdot \sqrt{u_{c_tsd}^{2} + u_{c_twt}^{2} + u_{c_twt_use}^{2}}$$

……(A8)

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

附属書 A.2 不確かさ計算例(参照用トルクレンチでトルクレンチテスタを校正した場合)

0.5 級相当の校正を実施

校正条件(常用参照標準が校正されたときの条件)

常用参照標準	校正範囲	力点の範囲 平均的レバー長さ / mm	指示計器 単位	角ドライブ寸法 / mm 設置変更方法
	/ N･m	最小レバー長さ / mm	ディジタル分解能	作用トルク
参照用 トルクレンチ	50～360		専用ケーブルで接続	20
		800	mV/V	0, 90, 180°, 角ドライブ脱着による
		600	0.000001	右ねじり, 減少トルクは別に評価している

校正条件(校正器物がこれから校正される際の条件)

校正器物	校正範囲	力点の範囲[注1)] 平均的レバー長さ / mm	指示計器 単位	角ドライブ寸法 / mm 設置変更方法[注2)]
	/ N･m	最小レバー長さ / mm	ディジタル分解能	作用トルク
トルクレンチ テスタ	50～360		一体型	20
		660	N･m	0, 90, 180°, 角ドライブ脱着による
		600	0.1	右ねじり, 減少トルクは不確かさに含める

注1) 常用参照標準が校正されたときのレバー長さの範囲を超えて、校正器物のレバー長さの範囲を設定することはできない。

注2) 設置変更回数が一致しない場合、付加的な不確かさを考慮しなければならない場合がある。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

常用参照標準に起因する相対拡張不確かさ

$u_{c_tsd_cal}$	0.0385 %
u_{tsd_tmp}	0.0041 %
u_{tsd_lgstb}	0.0141 %
u_{c_tsd}	0.0412 %
U_{tsd} *)	0.0825 %

出力感度の温度係数はβ = -0.000039

校正時の温度偏差はなし。温度変動は3.6 K

*) 信頼の水準約95 %に相当。

常用参照標準の内挿校正式(増加)

B_3	B_2	B_1	B_0
1.6166813E-02	-4.6639721E-02	3.1106817E+02	-5.8111866E-03

常用参照標準の内挿校正式(減少)

B_3	B_2	B_1	B_0
-2.4036527E-02	9.3260278E-02	3.1095763E+02	-2.2617261E-02

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

校正器物の校正時における常用参照標準の出力値及び補正係数

常用参照標準の出力値 / (mV/V)					
トルク N・m	0° 1サイクル L=660 mm	0° 2サイクル L=660 mm	90° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=600 mm
0	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
50	0.1612820	0.1607890	0.1616450	0.1600250	0.1644920
100	0.3257910	0.3231970	0.3260430	0.3204440	0.3212050
150	0.4812380	0.4809370	0.4808490	0.4841520	0.4805450
250	0.8027770	0.8011160	0.8025960	0.8037570	0.8030490
360	1.1546590	1.1591760	1.1552380	1.1532930	1.1548150
250	0.7920360	0.8027130	0.7990270	0.8024950	0.7987140
150	0.4806370	0.4794460	0.4797330	0.4801270	0.4822580
100	0.3184870	0.3209940	0.3171920	0.3202170	0.3229270
50	0.1597140	0.1589800	0.1596950	0.1632650	0.1540170
0	0.0000780	0.0000780	0.0000670	0.0000700	0.0000760
内挿校正式による計算値 / N・m					
トルク N・m	0° 1サイクル L=660 mm	0° 2サイクル L=660 mm	90° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=600 mm
0	-0.00581	-0.00581	-0.00581	-0.00581	-0.00581
50	50.16274	50.00939	50.27565	49.77174	51.16122
100	101.33301	100.52616	101.41139	99.66986	99.90656
150	149.68301	149.58939	149.56202	150.58937	149.46747
250	249.69087	249.17426	249.63457	249.99567	249.77547
360	359.13456	360.53946	359.31464	358.70970	359.18308
250	246.31358	249.63477	248.48820	249.56696	248.39084
150	149.45400	149.08356	149.17283	149.29537	149.95818
100	99.02203	99.80173	98.61927	99.56007	100.40291
50	49.64395	49.41569	49.63804	50.74826	47.87227
0	0.00164	0.00164	-0.00178	-0.00085	0.00102
校正器物に対するステップ毎の補正係数					
トルク N・m	0° 1サイクル L=660 mm	0° 2サイクル L=660 mm	90° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=600 mm
0					
50	0.9967558	0.9998122	0.9945172	1.0045860	0.9773027
100	0.9868453	0.9947659	0.9860825	1.0033123	1.0009352
150	1.0021177	1.0027449	1.0029284	0.9960863	1.0035629
250	1.0012381	1.0033139	1.0014639	1.0000173	1.0008989
360	1.0024098	0.9985038	1.0019074	1.0035971	1.0022744
250	1.0149664	1.0014630	1.0060840	1.0017352	1.0064783
150	1.0036533	1.0061471	1.0055451	1.0047197	1.0002789
100	1.0098763	1.0019866	1.0140006	1.0044187	0.9959870
50	1.0071721	1.0118244	1.0072920	0.9852554	1.0444460
0					

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

校正器物の出力値及び校正結果

校正器物の出力値 / N･m						
トルク N･m	0° 1サイクル L=660 mm	0° 2サイクル L=660 mm	90° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=600 mm	
0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
50	49.8	49.7	50.0	49.5	50.8	
100	101.0	100.2	101.2	99.4	99.7	
150	149.4	149.4	149.5	150.5	149.4	
250	249.7	249.2	249.5	250.1	250.0	
360	359.4	360.8	359.6	359.2	359.7	
250	246.8	250.1	249.1	250.1	249.0	
150	149.7	149.4	149.6	149.6	150.3	
100	99.1	99.9	98.8	99.7	100.6	
50	49.6	49.4	49.7	50.7	47.9	
0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.0	
校正器物のステップ毎の補正後の出力値 / N･m						
トルク N･m	0° 1サイクル L=660 mm	0° 2サイクル L=660 mm	90° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=660 mm	180° 1サイクル L=600 mm	校正結果
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50	49.64	49.69	49.73	49.73	49.65	49.70
100	99.67	99.68	99.79	99.73	99.79	99.73
150	149.72	149.81	149.94	149.91	149.93	149.86
250	250.01	250.03	249.87	250.10	250.22	249.99
360	360.27	360.26	360.29	360.49	360.52	360.35
250	250.49	250.47	250.62	250.53	250.61	250.55
150	150.25	150.32	150.43	150.31	150.34	150.33
100	100.08	100.10	100.18	100.14	100.20	100.13
50	49.96	49.98	50.06	49.95	50.03	49.99
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

校正器物の校正の不確かさ評価(諸特性及び相対標準不確かさ)

諸特性								
トルク / N・m	b / %	b' / %	b_l / %	f_a 1st / %	f_0 / %	h / %	r / N・m	d_a / %
0	-----	-----	-----	-----	0.000	-----	-----	-----
50	0.102	0.105	-0.161	0.122		0.590	1.00E-01	-0.606
100	0.060	0.004	0.064	-0.020		0.405	1.00E-01	-0.269
150	0.081	0.063	0.014	-0.007		0.315	1.00E-01	-0.097
250	0.048	0.007	0.048	-0.041		0.222	1.00E-01	-0.003
360	0.035	0.002	0.007	0.000		0.000	1.00E-01	0.097
250	0.025	0.011	0.032	0.109		-----	1.00E-01	0.219
150	0.062	0.048	0.024	0.081		-----	1.00E-01	0.218
100	0.052	0.020	0.056	-0.038		-----	1.00E-01	0.134
50	0.125	0.057	0.153	-0.294		-----	1.00E-01	-0.020
0	-----	-----	-----	-----		-----	-----	-----
相対標準不確かさ								
トルク / N・m	u_{rot} / %	u_{rep} / %	u_{lvr} / %	u_{int} 1st / %	u_{zer} / %	u_{rev} / %	u_{res} / N・m	u_{ind} / %
0	-----	-----	-----	-----	0.0000	-----	-----	-----
50	0.059	0.061	0.093	0.071		0.341	0.082	0.606
100	0.035	0.002	0.037	0.012		0.234	0.041	0.269
150	0.047	0.036	0.008	0.004		0.182	0.027	0.097
250	0.028	0.004	0.028	0.024		0.128	0.016	0.003
360	0.020	0.001	0.004	0.000		0.000	0.011	0.097
250	0.014	0.006	0.018	0.000		-----	0.016	0.219
150	0.036	0.027	0.014	0.000		-----	0.027	0.218
100	0.030	0.011	0.032	0.000		-----	0.041	0.134
50	0.072	0.033	0.088	0.063		-----	0.082	0.020
0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

補正を行うことによってd_a、それに基づく等級判定、最終的なUも変わる。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

ステップ毎の等級分類

等級判定(ステップ毎)									
トルク / N・m	b	b'	b_l	f_a 1st	f_0	h	r	d_a	U_{tsd_cal}
0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
50	0.2	0.5	0.2	0.5	0.2	0.5	0.5	2	0.5
100	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.5	1	0.5
150	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2	0.5
250	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5
360	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-----	0.2	0.2	0.5
250	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	-----	0.2	0.5	0.5
150	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-----	0.2	0.5	0.5
100	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	-----	0.5	0.5	0.5
50	0.2	0.2	0.2	1	0.2	-----	0.5	0.2	0.5
0	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

校正器物に対して作成された内挿校正式

(1次式)　　トルクM[N・m]から出力値S[N・m]を算出

$$S = A_0 + A_1 \cdot M + A_2 \cdot M^2 + \cdots + A_n \cdot M^n$$

負荷増加

A_1	A_0
1.0023E+00	-4.7817E-01

負荷減少

A_1	A_0
1.0007E+00	1.0336E-01

校正器物に対して作成された内挿校正式

(1次式)　　出力値S[N・m]からトルクM[N・m]を算出

$$M = B_0 + B_1 \cdot S + B_2 \cdot S^2 + \cdots + B_n \cdot S^n$$

負荷増加

B_1	B_0
9.9771E-01	4.7710E-01

負荷減少

B_1	B_0
9.9931E-01	-1.0310E-01

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

校正器物の校正の相対拡張不確かさ

①

トルク / N・m	u_{c_twt} / %	$U^{*)}$ / %	等級 (ステップ毎)
0	-----	-----	-----
50	0.379	0.762	0.5
100	0.243	0.493	0.5
150	0.193	0.396	0.5
250	0.137	0.286	0.5
360	0.023	0.095	0.5
250	-----	-----	-----
150	-----	-----	-----
100	-----	-----	-----
50	-----	-----	-----
0	-----	-----	-----

1次の内挿曲線を作成し、内挿に基づく偏差を不確かさに含めた場合。減少トルクを不確かさに含める場合(3.3.1.項参照)。

*) 信頼の水準約95 %に相当。

②

トルク / N・m	u_{c_twt} / %	$U^{*)}$ / %	等級 (ステップ毎)
0	-----	-----	-----
50	0.711	1.424	2
100	0.362	0.729	2
150	0.216	0.440	2
250	0.135	0.283	2
360	0.099	0.215	2
250	-----	-----	-----
150	-----	-----	-----
100	-----	-----	-----
50	-----	-----	-----
0	-----	-----	-----

内挿曲線を作成せず、指示偏差を不確かさに含めた場合。減少トルクを不確かさに含める場合(3.3.2.項参照)。

③

トルク / N・m	u_{c_twt} / %	$U^{*)}$ / %	等級 (ステップ毎)
0	-----	-----	-----
50	0.624	1.251	2
100	0.277	0.560	2
150	0.117	0.248	2
250	0.043	0.119	2
360	0.099	0.215	2
250	0.221	0.450	2
150	0.225	0.458	2
100	0.147	0.306	2
50	0.145	0.302	2
0	-----	-----	-----

内挿曲線を作成せず、指示偏差を不確かさに含めた場合。減少トルクを校正値として増加トルクとは別に評価する場合(3.3.4.項参照)。

計算例では検算のために有効数字を多めに記載しているが、校正証明書においては最終的に U は有効数字 2 桁程度とすることが望ましい。

計算例では等級判定はステップ毎に行っているが、最終的には 4 章に従って測定範囲で示される。

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。

主な改正事項

1. 組織改編に伴う名称の変更等

以上

このファイルを複写したファイルや、このファイルから印刷した紙媒体は非管理文書です。