



ねじ締結体のトラブル 原因と対策

—ダブルナット編—

目次

1. ねじ締結体のゆるみの原因	1
2. ゆるみ止め・戻り止め部品の種類	1
3. ダブルナットについて	2
4. 実験1：ユンカー試験によるダブルナットのゆるみ止め特性	4
5. 実験2：ダブルナットの締付け作業性について	6
6. まとめ	7

◇ねじ締結体のゆるみに関しては、「ねじ締結技術ナビ」(<https://navi.hardlock.co.jp/data>) からダウンロード可能です。是非ご覧ください。

(1) [「ねじ締結体のトラブル 原因と対策 —非回転ゆるみ編—」](#)

(2) [「ねじ締結体のトラブル 原因と対策 —回転ゆるみ編—」](#)

◇本編にかかわる動画に関しては、「ねじ締結技術ナビ」(<https://navi.hardlock.co.jp/movie>) から視聴可能です。是非ご覧ください。



ハードロック工業株式会社

1. ねじ締結体のゆるみの原因

ねじ締結体（ボルト、ナット）は、ねじの締付けによってボルト軸部に発生した引張力（ボルト軸力という）と被締結部材に発生した圧縮力（締付力という）とにより一体化されています。このねじ締結体に外力が作用していないときは、ボルト軸力と締付力とは互いに釣り合っており、この状態における両者を総称して「予張力」と言います。締付け直後に発生した軸力は、何らかの原因で低下することがあります。このような軸力の低下を「ねじのゆるみ」と言います。

◇ねじ締結体のゆるみ及び軸力の低下については、「ねじ締結技術ナビ」より以下の資料をご確認頂ければと思います。下記の資料は、本編と同様にダウンロードして頂けます。

- (1) [ねじ締結体のトラブル 原因と対策－非回転ゆるみ編－](#)
- (2) [ねじ締結体のトラブル 原因と対策－ 回転ゆるみ編 －](#)

2. ゆるみ止め・戻り止め部品の種類

ゆるみ止め部品が、ねじのゆるみ防止効果を発揮していると言えるかどうかの判断は、なかなか難しいところがあります。ねじ部品を使用する環境は様々で、使用するサイズや分野も極めて多岐に渡ります。そのため、各々の箇所で合理的な使用を心がけたいものです。

◇以下、本章の内容については、「ねじ締結技術ナビ」より以下の資料の中の抜粋となります。

- (2) [ねじ締結体のトラブル 原因と対策－ 回転ゆるみ編 －](#)

(1) 初期ゆるみ対策（ばね座金方式）

ねじ締結時の初期軸力の消失を補うタイプ。

代表例：ばね座金（スプリングロックワッシャー）

(2) 軸力消失防止（機械的回り止め方式）

ナットが動かないように強制的にボルトに固定するタイプ。

代表例：溝付きナット＋割りピン（コッターピン）

(3) ねじ部密着度増加（戻り止め）

おねじとめねじのはめ合い隙間を可能な限り小さくするタイプ。

代表例：コイル状インサート

(4) 戻しトルク増大（戻り止め）

ねじ山を変形させたり、ねじの有効径をすぼめさせたり、特殊ねじ山形状を用いたり、ナイロン等を介在させたりして、はじめからおねじとめねじ間に干渉を与え、戻り回転に対する抵抗を増やそうとするもの（JIS B 1199-1, 2, 3, 4） ⇒ プリベリングトルク形タイプ等

(5) 戻り止め回転防止（ゆるみ止め）

- ①はめ合い隙間除きの強制ロッキング ⇒ ダブルナット、ハードロックナット
- ②はめ合い隙間内での固化、接着 ⇒ 嫌気性接着剤、接着剤入りカプセル付きボルト

本編では、(5) ①はめ合い隙間除きの強制ロッキングタイプの製品について述べます。

3. ダブルナットについて

2つの六角ナット（ダブルナット）を用いて、羽交い締めと呼ばれるロック操作を行うことにより、はめ合いねじ部の遊びを上下のナットで完全に取り、ねじ部の摩擦を増すことで、ナットの戻り回転（ねじのゆるみ）を防止する機能を実現することができます。

<用語の定義>

- ・上ナット：締付けたナットの次に締付けるナットであり、第2ナット（2番目に締付け）と呼ぶ。
- ・下ナット：被締結物に直接締付けるナットであり、第1ナット（最初に締付け）と呼ぶ。
- ・羽交い締め：ダブルナットをロックする際、2つのスパナの柄部に逆方向の力を加える操作。
- ・並ナット：旧 JIS 規格附属書の 1 種と 2 種ナット（新 JIS 本体規格、スタイル 1 及び 2）
- ・低ナット：旧 JIS 規格附属書の 3 種ナット（新 JIS 本体規格、六角低ナット）

<上ナットと下ナットの組合せの種類>

ダブルナットを羽交い締めした場合、上ナットは締付け軸力とロック力の和を負担し、下ナットはロック力だけを負担するという役割になっています。

(A) 上低下並形

上ナットが低ナットで、下ナットが並ナットの組合せ。

⇒ 街角で散見される組合せですが、軸力負担の観点からは望ましくありません。

(B) 上並下低形

上ナットが並ナットで、下ナットが低ナットの組合せ。

⇒ 締付け軸力とロック力の観点からは正しい組合せですが、下ナットが薄いため特殊な工具でなければ作業ができません。

<作業性の観点>

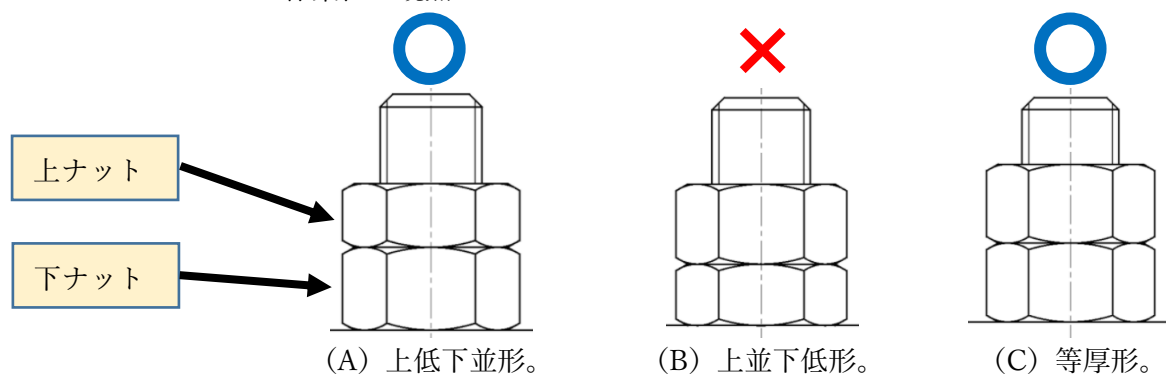


図1. ボルトとナット締結イメージと作業性判定（ナット高さが違うと作業性に影響が出る）。

<締付け軸力とロック力の観点>

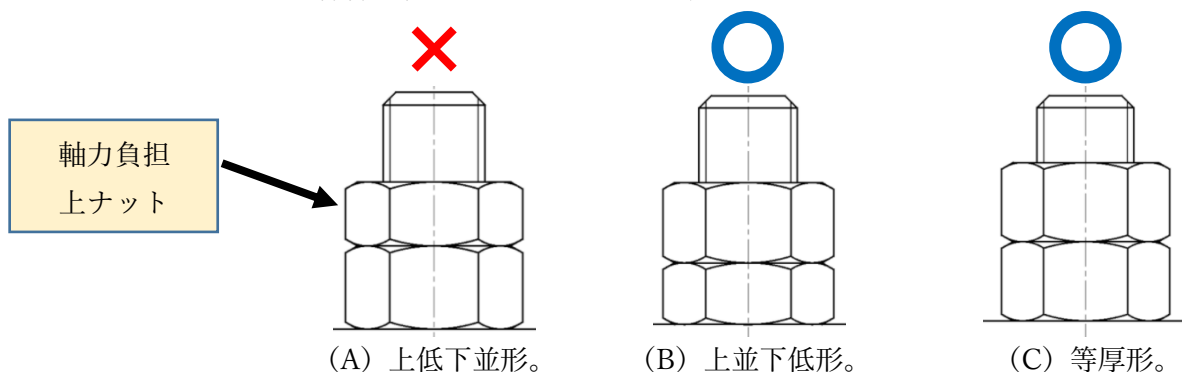


図2. 締付け軸力とロック力の観点から見た判定。

(C) 等厚形

上ナットが並ナットで、下ナットも並ナットの組合せ。

- ⇒ 羽交い締めの際両方に標準厚さのスパナが使えるので、締結組合せとしては一般的です。
ただ、ナットのセット高さが高くなる課題があります。

<羽交い締めによるロックング操作の種類>

- ⇒ ねじのゆるみを防止するために、羽交い締めによるロックング操作が必要です。この作業は2通りありますが、どちらも一方のナットを回り止めした上で、もう一方のナットを締付け方向又は戻し方向に回転させロックングする方法となります。

1. 上ナット正転法

下ナットをスパナで回り止めし、上ナットを他のスパナで締付け方向に回転しロックングする方法。



図 3. 上ナット正転法。

2. 下ナット逆転法

上ナットをスパナで回り止めし下ナットを他のスパナで戻し方向に回転しロックングする方法で国内では一般的に推奨されている方法です。



図 4. 下ナット逆転法。

◇[こちら](#)より「ダブルナットの羽交い締めによるロックング操作が可能なサイズについて」動画、「ダブルナット嵌め合い解説」動画をクリックしてご覧ください。

4. 実験 1：ユニカー試験によるダブルナットのゆるみ止め特性

【背景・目的】

羽交い締めというロックング操作を行ったダブルナットのゆるみ止め特性は極めて高いと言われていています（例えば、山本晃先生著の「ねじのおはなし」（日本規格協会）によると『羽交い締めによるロックング操作を完全に施したものでは、緩み止め性能は極めて優れています』と記されています（改訂版 P.86)）。しかしながら、それが確認できる実験データが少なく、また、あったとしても締結方法などの条件が不明瞭なものばかりです。そこで、本実験では、羽交い締めロックング操作の代表的な上ナット正転法、下ナット逆転法をいくつかのパターンで再現し、ロックング操作を完全に施したものとはどういう締め方なのかを検証するために、最新のユニカー式ねじゆるみ試験機を用いて評価しました。

【試験品】

市販の M12 並目（ピッチ 1.75）の強度区分 10.9 で、首下長さが 50 mm の黒染め全ねじボルトを使用しました。上下ナットともに市販されている強度区分 8T（S45C 製）の生地 of 1 種ナットを用いました。潤滑剤をユニカー試験の座面板、ワッシャー、下ナット座面、ボルトねじ部に塗布しました（下ナットの上面と上ナットの下面には塗布していません）。

【締付け基準トルクの決定】

3 本の締付け試験を行い、潤滑剤塗布条件（トルク係数 0.1 程度）において、M12 強度区分 8.8（S45C）ボルトの降伏点の 70%の軸力（37.8 kN）となる平均 42 N・m を締付け基準トルクとして設定しました。完全なロックング操作の条件を調べるために、このトルクを基準に、下ナットあるいは上ナットを指締め（ ~ 0.3 N・m）、1/4 倍（10.5 N・m）、1/2 倍（21 N・m）、1 倍（42 N・m）、2 倍（84 N・m）の組合せで締付けることとしました。行ったすべての締付け条件を巻末の表 2 に記載しております。

【ユニカー試験条件】

ISO16130（航空宇宙産業向けのねじゆるみを評価する国際規格）に基づいて製作された VibrationMaster 社製ユニカー式ねじゆるみ試験機 VMJ900 を用いてユニカー試験を実施しました（このユニカー試験機の解説動画は[こちらの](#)「ねじのゆるみ評価（ユニカー試験）」になります）。今回の試験の振幅条件は ± 0.35 mm（規格に準じて市販のナットを用いてプレテストを実施し決定したもの）、振動周波数は 5 Hz とし、2000 サイクル経過後の残留軸力率でゆるみ止め効果を評価しました。軸力-サイクル曲線は、各サイクルで最小軸力値を拾うフィルターをかけた後に評価しました。

なお、完全な羽交い締めによるロックング効果を再現するために、初期締付け時に発生するねじ締結体のへたり量（初期ゆるみ）の完全な除去作業として、以下の項目を実施しました。

- ・ボルト・ナットのねじの軸に対するボルト頭部、ナット負荷座面の傾きを除去するために追加工し、その後表面研磨を行いました。
- ・低摩擦用潤滑剤を上ナット下ナット接触面を除くねじ締結体の接触部すべてに塗布しました。
- ・ボルト・ナットの加工時にできた表面の小さな凹凸を平坦化し、ねじのはめ合い状態を最適化するため、基準締付けトルクの半分の値で数回着脱し、なじみを除去した後、本締めを行いました。
- ・ナット締付け時には、余計な負荷がかからないように締付け工具を治具で完全に固定し、連続して安定的に締付けられるようにパワーレンチを用いました。
 - * パワーレンチ：遊星歯車機構により小さな入力トルクで大きな出力トルクが得られる省力工具
- ・羽交い締めによるロックング操作は 2 名で行いました。

【結果】

すべての実験条件の結果について、巻末の表 2 及び図 6 から図 12 に示しました。また、

・市販のナット

市販のナットを締付けただけのもの

・施工法

ダブルナットのロッキング操作は全く行わずに、下ナット、上ナットを 1 倍（42 N・m）ずつで締めただけのもの

・羽交い締めによるロッキング操作が完全に実施できたと考えられる 2 つの方法：

－上ナット正転法

下ナットを 1/2 倍（21 N・m）で締付けた後、下ナットを固定して上ナットを 2 倍（84 N・m）で締付けたもの

－下ナット逆転法

下ナット、上ナットを 1 倍（42 N・m）で締付けた後、上ナットを固定して下ナットを締付けた角度の半分だけ戻し回転を施したものの

の結果について抜粋したものを図 5 に示します。

◇[こちら](#)より「ダブルナット締め付け方法検証」に関する動画、「ダブルナットにおけるユニカー式ねじ緩み試験結果」に関する動画がご覧いただけます。

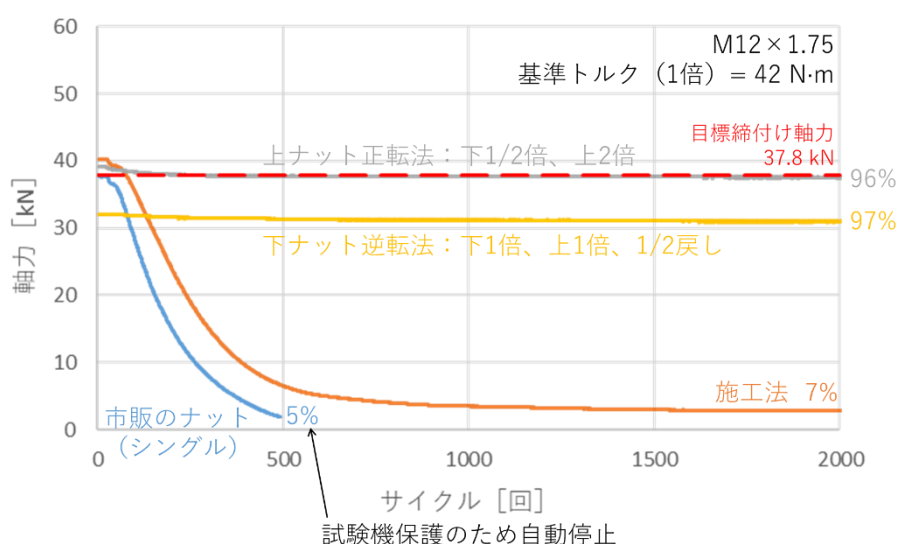


図 5. 市販のナット、施工法、ロッキング操作が完全に実施できたもののユニカー試験結果。

図 5 の通り、市販のナットは±0.35 mm の振幅、5 Hz の振動周波数を与えると約 500 サイクルでゆるみ切りました。施工法はよくやりがちな方法ですが、残留軸力率が 7% と、1 個の市販のナットと結果はほとんど変わりませんでした。この結果より、ロッキング操作を施さないと、たとえダブルナットといえどもゆるみ止め機能が全く発揮できていないことが分かります。

また、ロッキング操作を完全に施したと考えられる 2 通りの方法については、2000 サイクル経過後でも、極めて高い残留軸力率を示しました。このことから、「ねじのおはなし」にも記載されている通り、羽交い締めによるロッキング操作を確実に施すことができるのであれば、ダブルナットは極めて優れていることが確認できます。ロッキング操作時に、急激な締め付けトルクの上昇が（手に）十分感じられるまで締付けることが肝要ですが、今回実施した実験条件（M12、潤滑剤あり）においては、

- ・上ナット正転法：下ナットを適切なトルクで締めた後、下ナットを固定したまま、上ナットは下ナットの 4 倍程度のトルクで締付ける

・下ナット逆転法：上ナットと下ナットを適切なトルクで締付け、上ナットを固定したまま下ナットを下ナットの締付けた角度の半分程度まで戻し回転を施すことが、1つの完全な羽交い締めによるロッキング操作条件の目安として考えられそうです。

一方で、図9や図11のように条件次第ではロッキング操作が不完全なものもあることから、適切な基準トルクの設定、またその基準トルクに対してどう締付けるのかといった点で考慮すべき点が残ります。さらに、締付けトルクによる軸力のばらつきや、下ナット逆転法における軸力低下、加えて、今回の完全な試験条件を作業現場で再現することを考えると、羽交い締めによる完全なロッキング操作は極めて困難であるといえます。

5. 実験2：ダブルナットの締付け作業性について

【背景・目的】

前章において、羽交い締めというロッキング操作を完全に行うことで極めて高いゆるみ止め特性を示すことが明らかとなりました。しかしながら、この羽交い締め作業が実環境下で現実的に1人で行えるものなのでしょうか。実際に締付け試験を行い検証してみました。

【試験条件】

ユンカー試験で結果がよかった上ナット正転法（基準トルク：M12で42 N・m、下ナット：1/2倍、上ナット：2倍）、下ナット逆転法（基準トルク：M12で42 N・m、下ナット：1倍、上ナット：1倍、1/2戻し）のあわせて2条件について、低摩擦用潤滑剤（ワックス系潤滑剤、二硫化モリブデン系潤滑剤：トルク係数 $K=0.1$ ）、一般機械用潤滑剤（スピンドル油、マシン油、タービン油、シリンダー油： $K=0.2$ ）、潤滑剤なし（ $K=0.25$ ）を想定した締付け試験を行いました。M12、M16の2種のサイズを用いています。ボルト・ナットともに一般に広く流通している市販品です。それぞれの場合の締付けトルクについては以下の表の通りで、締付けは、現場作業を考慮して1名で行いました（身長170 cm、体重70 kg、男性）。

表1. 身長170 cm、体重70 kgの男性が行った、各条件における締付けトルクと締付け結果。

	低摩擦用潤滑剤 締付けトルク [N・m]	合否	一般機械用潤滑剤 締付けトルク [N・m]	合否	潤滑剤なし 締付けトルク [N・m]	合否
上ナット正転法 (M12)	下 21/上 84	○	下 42/上 168	○	下 53/上 212	×*
上ナット正転法 (M16)	下 57/上 228	×*	下 113/上 452	—	下 141/上 564	—
下ナット逆転法 (M12)	下 42/上 42	○	下 84/上 84	○	下 106/上 106	×**
下ナット逆転法 (M16)	下 114/上 114	×**	下 226/上 226	—	下 282/上 282	—

合否判定について、

○：羽交い締めができたもの

×：羽交い締めまでできなかったもの

—：直前の試験結果を踏まえ、試験を行わなかったもの。

*：上ナット正転法で上ナットが締付けできなかった。

**：下ナット逆転法で最後の戻し回転ができなかった。

【結果】

実際に締付け試験を行った動画を[こちら](#)（ダブルナットの羽交い締めによるロッキング操作が可能なサイズについて）からご覧ください。

上ナット正転法では、M12 において低摩擦用潤滑剤 ($K = 0.1$) 及び一般機械用潤滑剤 (0.2) の条件では締付けることができましたが、潤滑剤なし (0.25) の条件では、下ナットを固定しながら上ナットを締付けることができませんでした。M16 においては $K = 0.1$ の段階で上ナットの締付けができませんでした。下ナット逆転法でも M12 では $K = 0.1, 0.2$ においては成功したものの、 $K = 0.25$ においては $105 \text{ N}\cdot\text{m}$ の締付け後の、非常に高いトルクにより戻し回転操作ができませんでした。M16 では同様に $K = 0.1$ の状態においても戻し回転が実施できませんでした。

大型のトルクレンチは両手で用い、動画のように片手で使うのは想定されていません。一般的に片手での使用が想定されているスパナでは、M12 だとおよそ 20 cm の長さであることから、仮に全体重 (70 kg) をかけられたとしても $20 \times 70 = 1400 \text{ [kgf}\cdot\text{cm]} \approx 140 \text{ [N}\cdot\text{m]}$ 程度が締付けられる限界となります。以上のことも踏まえますと、1 人での羽交い締めによるロッキング操作は M12 の場合においては潤滑剤を塗布したものに限りです。また、それ以上のサイズでは、非常に困難であることが分かりました。完全なロッキング操作は 1 名では困難で、原則 2 名で行う必要があります。

6. まとめ

上ナット正転法、下ナット逆転法で羽交い締めされた M12 ダブルナットに対し、ユニカー式ねじゆるみ試験を行い、ゆるみ止め効果を調べました。

(1) ダブルナットは完全なロッキング操作が実現できればゆるみ止め効果は極めて高くなることを確認しました。今回実施した実験条件においては、以下のようになりました。

- ・上ナット正転法では、下ナットを基準トルクの $1/2$ 倍、上ナットを基準トルクの 2 倍（すなわち上ナットが下ナットの 4 倍の締付けトルク）でロッキング操作する。
- ・下ナット逆転法では、上ナットと下ナットを基準トルクで締付け、下ナットを締付けた角度の $1/2$ で戻すロッキング操作をする。

(2) しかしながら、高いゆるみ止め効果を得るための締付け条件は完全な羽交い締めによるロッキング操作が前提となっており、加えて、本実験では完全な締結を目指して初期ゆるみ防止対策を実施しましたが、この状態を作業現場で再現することは非常に困難であることが分かりました。

(3) 羽交い締めによるロッキング操作を確実なものにするためには、適切な条件のもと上下ナットの締付け管理が必要です。しかしながら、ナットの種類や作業環境など条件が大きく異なるため、現実的には困難といえます。

また、作業性の面から M12、M16 の羽交い締めによるロッキング操作が上ナット正転法、下ナット逆転法で実際に行えるかを検証しました。

(4) M16 以上のサイズの場合、締付けトルクが高く 1 人での完全な羽交い締めによるロッキング操作が非常に困難であることを確認しました。

(5) なお、市販のスパナを使用しての羽交い締めによるロッキング操作は M12 でも困難です。

(6) 1 名では完全なロッキング操作は困難で、原則 2 名で実施する必要があります。

最後になりますが、参考までにハードロックナットを用いてユニカー式ねじゆるみ試験を行った結果を図 12 に示します。完全な羽交い締めによるロッキング操作を施したダブルナットと同等の結果が得られております。また、ダブルナットでは下ナットを締め上ナットを締める際に軸力が上昇あるいは減少しますが、ハードロックナットの場合は上ナットを締付けても下ナットの軸力が変化しません。加えて、ダブルナットとは違い羽交い締めが不要で、どなたでも 1 名でトルクレンチ 1 本を使って簡単に締付け作業ができる特徴を備えております。

表 2. ユンカー試験結果と試験結果の評価。M12 並目 1 種ナット、潤滑剤ありで、基準トルクは 42 N・m。

締め方	下ナット 締付け トルク [N・m]	上ナット 締付け トルク [N・m]	初期 軸力 範囲 [kN]	軸力 評価	試験 終了時 軸力 範囲 [kN]	残留 軸力率 範囲 [%]	残留 軸力率 評価	作業性 評価	総合 評価
シングル	42 (1 倍)	—	37.8-45.1	△ (1)	1.9-2.3	5	× (0)	○ (2)	3
施工法	42 (1 倍)	42 (1 倍)	40.3-44.7	△ (1)	2.2-2.8	5-7	× (0)	○ (2)	3
上ナット正転法①	指締め	42 (1 倍)	1.3-2.7	× (0)	0.8-2.2	65-86	△ (1)	△ (1)	2
上ナット正転法②	指締め	84 (2 倍)	3.5-5.6	× (0)	3.0-4.7	84-89	○ (2)	△ (1)	3
上ナット正転法③	10.5 (1/4 倍)	42 (1 倍)	16.8-20.7	× (0)	15.8-18.7	91-94	○ (2)	△ (1)	3
上ナット正転法④	10.5 (1/4 倍)	84 (2 倍)	25.0-31.0	× (0)	24.0-29.8	95-96	○ (2)	△ (1)	3
上ナット正転法⑤	21 (1/2 倍)	42 (1 倍)	20.5-29.9	× (0)	1.3-5.4	5-26	× (0)	△ (1)	1
上ナット正転法⑥	21 (1/2 倍)	84 (2 倍)	36.5-42.0	○ (2)	34.9-40.4	96	○ (2)	△ (1)	5
上ナット正転法⑦	42 (1 倍)	42 (1 倍)	43.7-47.1	△ (1)	2.3-17.8	5-41	× (0)	△ (1)	2
上ナット正転法⑧	42 (1 倍)	84 (2 倍)	51.5-59.4	× (0)	5.7-25.0	11-48	× (0)	△ (1)	1
下ナット逆転法①	42 (1 倍)	42 (1 倍)	32.0-41.2	△ (1)	30.9-40.0	96-97	○ (2)	× (0)	3
下ナット逆転法②	42 (1 倍)	42 (1 倍)	35.1-39.4	○ (2)	7.2-13.2	20-34	× (0)	× (0)	2
下ナット逆転法③	42 (1 倍)	42 (1 倍)	35.5-36.2	○ (2)	4.2-9.4	11-27	× (0)	× (0)	2
ハードロックナット	42 (1 倍)	片密着	38.0-41.7	○ (2)	35.6-38.5	92-93	○ (2)	○ (2)	6

軸力評価の基準（基準値：37.8 kN）

- ：±15%以内に入っている（2 点）
- △：±30%以内に入っている（1 点）
- ×：上記以外（0 点）

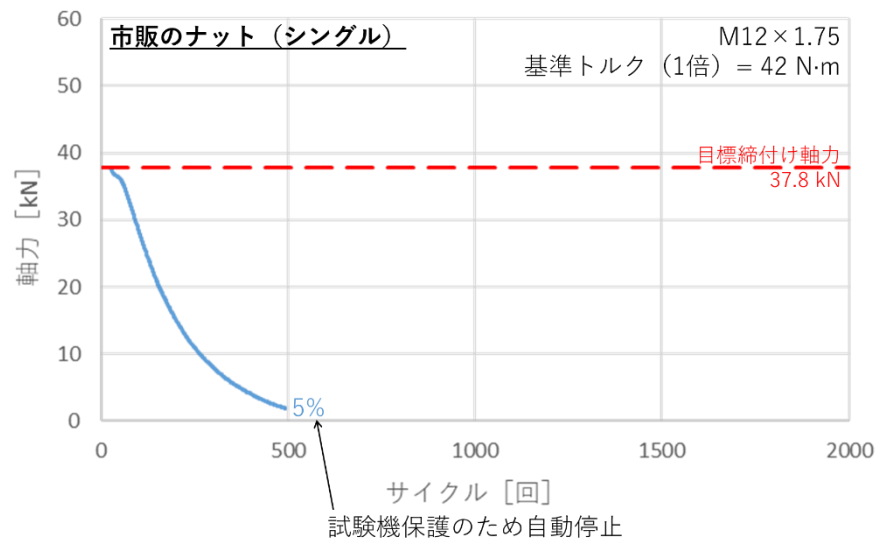
残留軸力率評価の基準

- ：100-70%（2 点）
- △：70-40%（1 点）
- ×：40-0%（0 点）

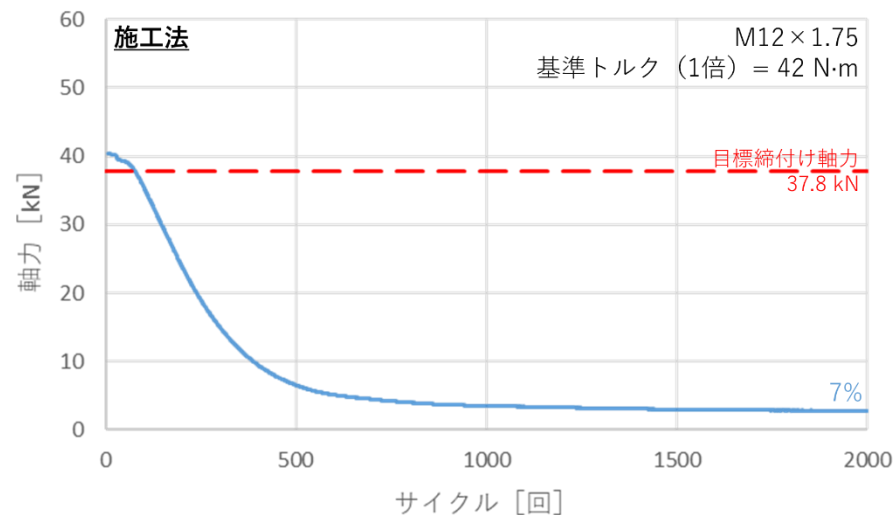
作業性評価の基準

- ：1 人で容易に作業ができる（2 点）
- △：1 人で作業することが難しいと考えられる（1 点）
- ×：1 人で作業することが極めて困難と考えられる（0 点）

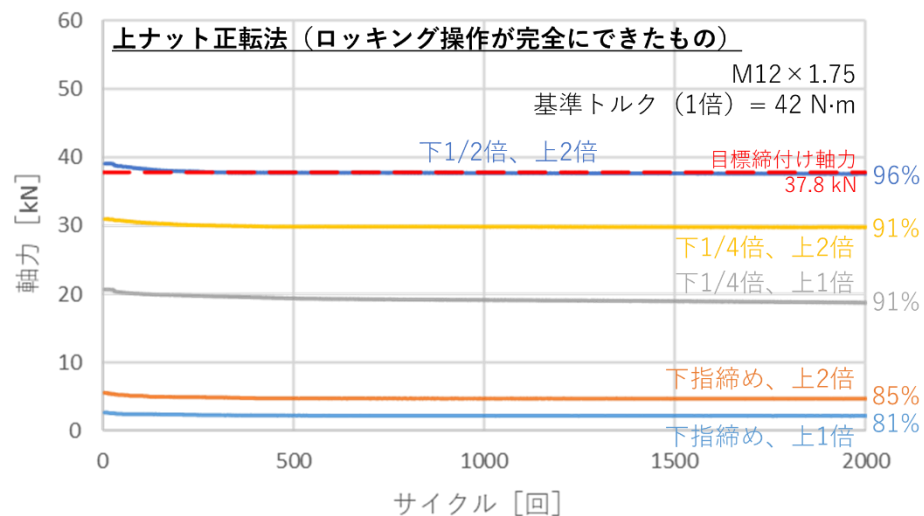
総合評価の点数＝軸力評価の点数＋残留軸力率評価の点数＋作業性評価の点数、で評価した。



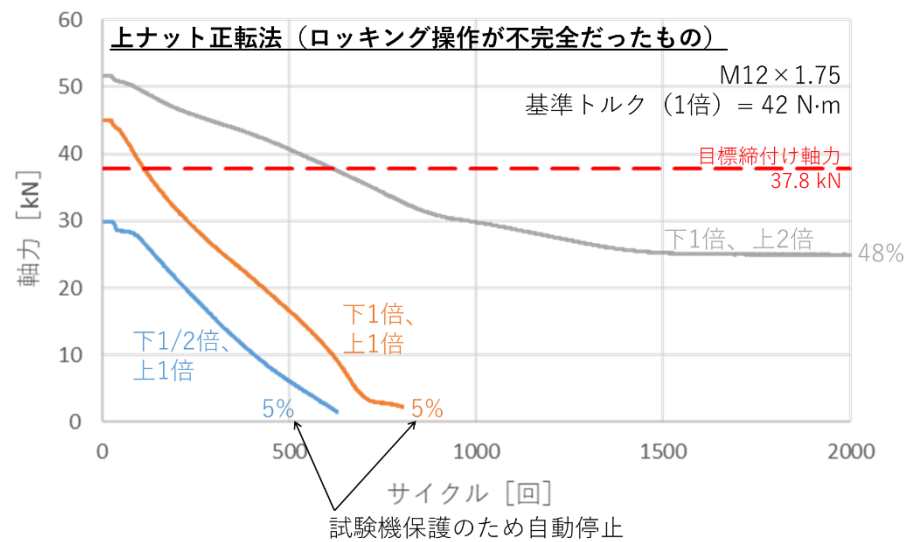
↑ 図 6. 市販のナット（シングル）のユンカー試験結果。



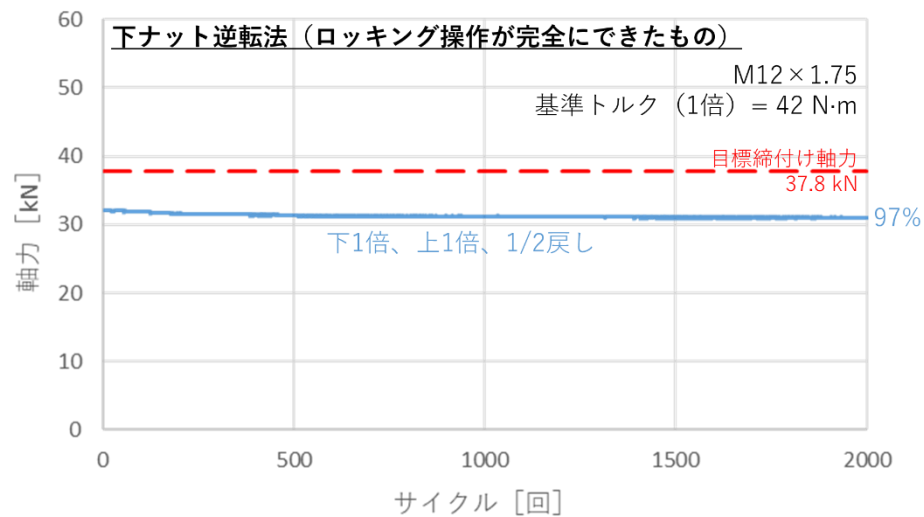
↑ 図 7. 施工法のユンカー試験結果。



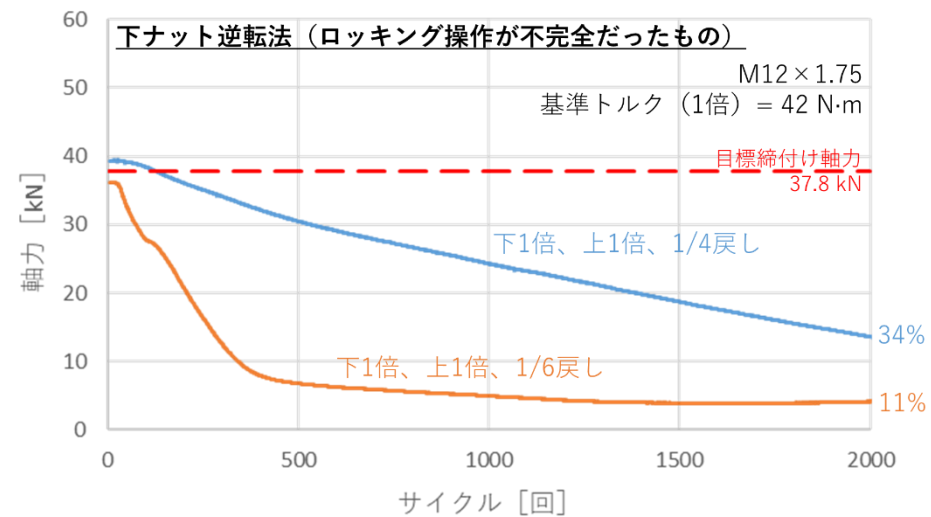
↑ 図 8. 上ナット正転法のユンカー試験結果①。



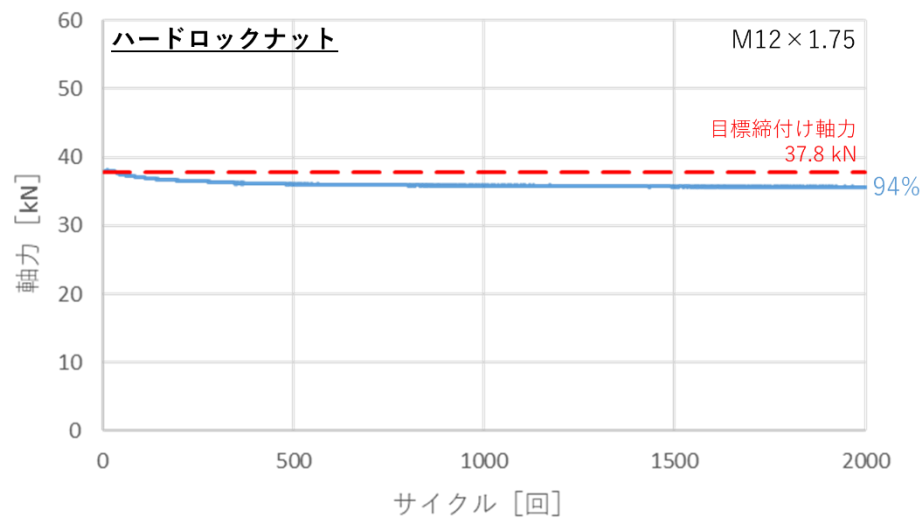
↑ 図 9. 上ナット正転法のユンカー試験結果②。



↑ 図 10. 下ナット逆転法のユンカー試験結果①。



↑ 図 11. 下ナット逆転法のユンカー試験結果②。



↑ 図 12. ハードロックナットのユンカー試験結果。