



# ねじ締結体のトラブル 原因と対策

## 一回転ゆるみ編

### 目次

1. ねじのゆるみとは	1
2. ねじのゆるみの種類とその対策	1
● ナットが回転して生じるゆるみ	1
(1) 軸回り方向繰返し外力によるゆるみ	1
(2) 軸方向繰返し外力によるゆるみ	1
(3) 軸直角方向繰返し外力によるゆるみ	2
3. ナットが回転して生じるゆるみ防止の方法	3
4. ゆるみ止め、戻り止め部品の種類	4
(1) 初期ゆるみ対策（ばね性座金方式）	4
(2) 軸力消失防止（機械的回り止め方式）	4
(3) ねじ部密着度増加（戻り止め）	5
(4) 戻しトルク増大（戻り止め）	5
(5) 戻り回転防止（ゆるみ止め）	7
5. ナットが回転して生じるゆるみに対する試験方法	9
6. ゆるみ止め、戻り止め部品の効果	11

\*：前編「ねじ締結体のトラブル 原因と対策 一回転ゆるみ編」は、ねじ締結技術ナビ (<https://navi.hardlock.co.jp/data>) よりダウンロード可能です。是非ご覧ください。



ハードロック工業株式会社

# 1. ねじのゆるみとは

「ねじ締結体のトラブル 原因と対策 一非回転ゆるみ編一」ではナットが回転しないで生じるゆるみ、すなわち①初期ゆるみ、②陥没ゆるみ、③微動摩耗によるゆるみ、④密封材の永久変形によるゆるみ、⑤塗装材や厚めつき材の破損によるゆるみ、⑥過大外力によるゆるみ、⑦熱的原因によるゆるみ、とその対策について概説しました。今回は、ナットが回転して生じる3種類のゆるみについて触れるとともに、その対策について、ばね性座金を用いる初期ゆるみ対策、戻り止め（割りピンなどを用いる機械的回り止め方式、戻しトルクが増大するプリベリングトルクナットなど）、戻り回転を防止するゆるみ止め（ダブルナット、ハードロックナット、嫌気性接着剤）について説明します。また、それに付随してナットが回転して生じるゆるみに対する試験方法（NAS式、ユンカー式）についても触れていきます。

## 2. ねじのゆるみの種類とその対策

### ● ナットが回転して生じるゆるみ

#### (1) 軸回り方向繰返し外力によるゆるみ

軸回りに繰返し外力が加わると、ボルト軸線回りのモーメントが被締結部材に作用し、まず被締結部材同士の接触部が滑り、その滑りが存在する状態でナット又はボルト頭座面でも滑りが生じる場合があります、これによりナットまたはボルトが戻り回転し、軸力の低下つまりゆるみが生じる現象となります。

#### (2) 軸方向繰返し外力によるゆるみ

ボルト軸に外力が加わると、ねじ山に角度があるためナットはボルト軸力の半径方向分力の作用で拡大し、ボルトのねじ部は半径方向に収縮します。一方、外力が減少する時は、その反対の現象が起こります。そのため、外力の増減に際して、ボルトねじ山の下面はナットねじ山の上面を半径方向に上り下りしますが、ねじにリードがあるため下るときも上るときもリードに沿って下る成分を持ちます。その結果、ボルトねじ部は外力増減の1サイクルに

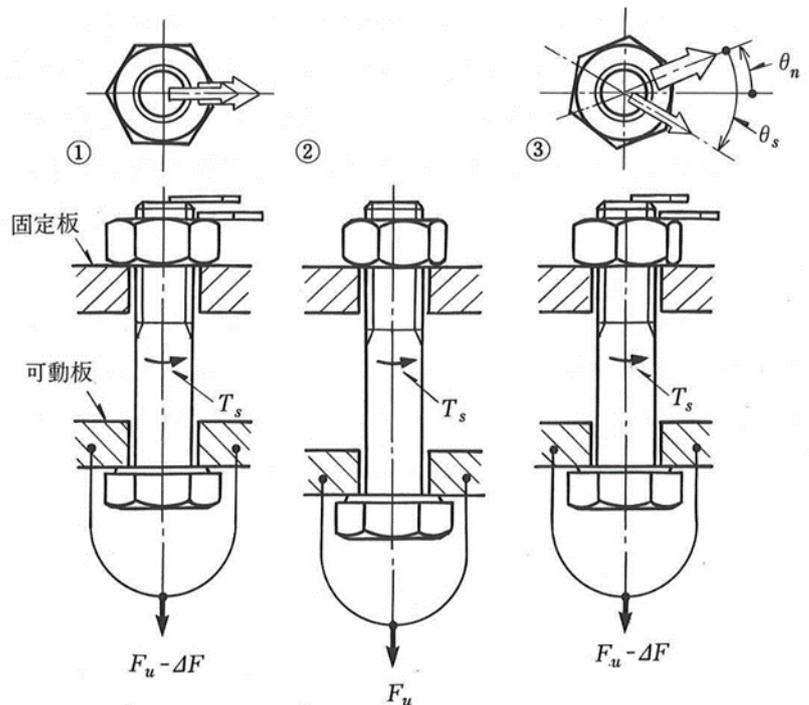


図1. 軸方向の繰返し外力によるナットのゆるみ<sup>1)</sup>。

つきねじ先付近で測って $\theta_s$ だけナットに相対的に上から見て右回りに回転します（図1）。それと同時にナットに半径方向の拡大収縮が起こってナット座面は被締結部材の表面上を半径方向に滑りますが、そのとき発生している軸トルクの影響を受けて、拡大するときも縮小時きも、被締結部材に対し1サイクルにつき $\theta_n$ だけ上から見て左回りに戻り回転します。 $\theta_s > \theta_n$ または $\theta_s = \theta_n$ の場合はゆるみませんが、 $\theta_s < \theta_n$ の場合はナットが戻り回転し、ゆるみます。一般的に、初期軸力の2倍以上外力が繰返し加わると、軸力低下する（ねじがゆるむ）といわれています。

### (3) 軸直角方向繰返し外力によるゆるみ

ボルト軸線に直角方向の繰返し外力が被締結部材に作用するか、被締結部材にボルト軸の直角方向に繰返し外力が作用すると、ボルト軸部が左傾⇒中立点⇒右傾⇒中立点⇒左傾と左右に荷重がかかります。この両区間中に起きるボルト軸部の姿勢変化に伴い、ボルトねじ山の下面がナットねじ山の上面を滑ります。その滑り方向は、ナットねじ面上を上り下りする成分のほか、ねじのリードに沿って下る方向の成分も持つので、ボルト軸部は上から見て右回りの弾性ねじれを生じたり、弾性ねじれを解消しようとする円周方向の成分も持つので、上から見て左回りの戻り回転を生じます。この繰返しサイクルがねじのゆるみを進行させていくことになります。

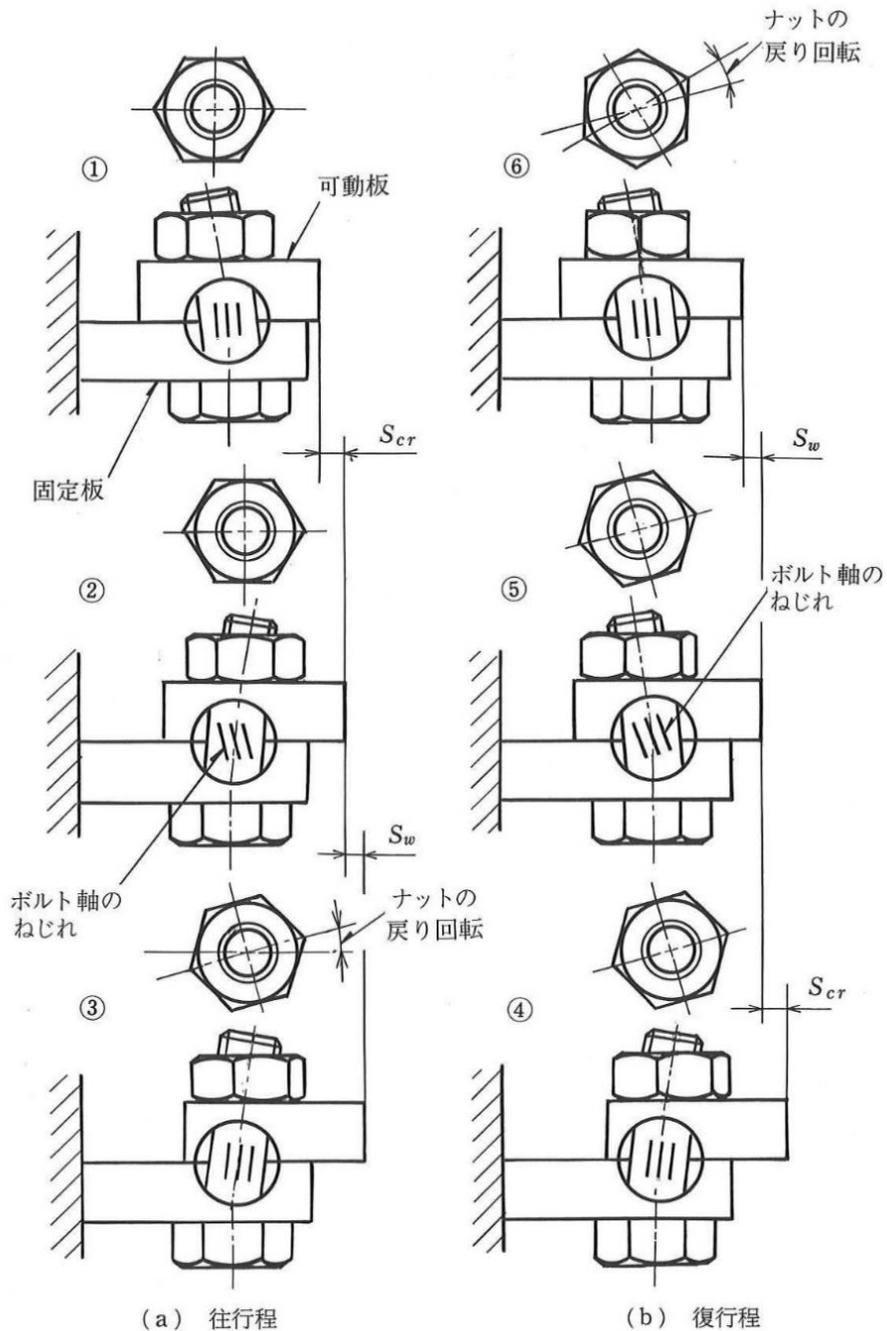


図2. 軸直角方向の繰返し外力によるナットのゆるみ<sup>2)</sup>。

### 3. ナットが回転して生じるゆるみ防止の方法

#### (1) 軸力を大きくする。

- ・軸力を大きくしすぎてボルトナットが塑性変形しないようにする必要がある（必要ならばボルト径を大きくし、強度を上げたり、ボルト本数を増やす）。
- ・ボルト・ナットの座面圧が限界値以下になるように注意する必要がある。

#### (2) 座面の負荷面積を広げ、面圧分布の均一化を目指す。

- ・フランジ付ボルト・ナットを使用する。

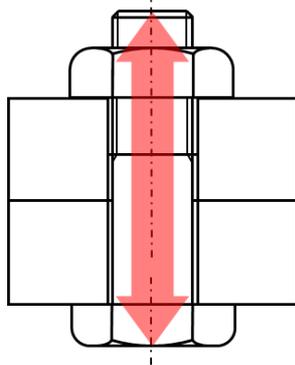
#### (3) ボルトの弾性変形能力の向上を目指す。

- ・軸部を細めたり、グリップ長さ/呼び径を大きくする（ボルトを細く長くする）。

#### (4) ボルト・ナットの回転抵抗を大きくする。

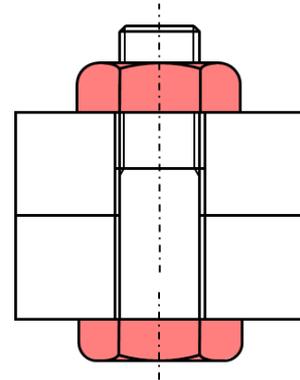
- ・ボルトの回り止めをする。ゆるみ止め、戻り止め部品を使用する。

(1) 軸力を大きくする



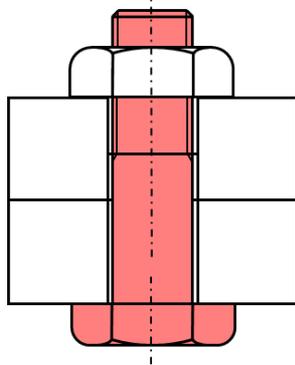
(2) 座面の負荷面積を広げ、面圧分布の均一化を目指す

フランジ付ボルト・ナットの使用



(3) ボルトの弾性変形能力の向上を目指す

ボルトを細く、長くする



(4) ボルト・ナットの回転抵抗を大きくする

ゆるみ止め、戻り止め部品を使用し、ナット座面のすべりを防止

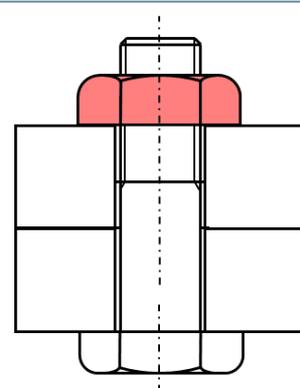


図3. ナットが回転して生じるゆるみ防止の方法。

## 4. ゆるみ止め、戻り止め部品の種類

この章では、前章のナットが回転して生じるゆるみ防止の方法の中で、特にボルト・ナットの回転抵抗を大きくする方法に焦点を当て、ゆるみ止め、戻り止め部品について、対策別に代表的なアイテムを以下に紹介します。

### (1) 初期ゆるみ対策（ばね性座金方式）

ねじ締結時の初期軸力の消失を補うタイプ。

例 1) ばね座金（スプリングロックワッシャー）（図 4）

例 2) 皿ばね座金（図 5）

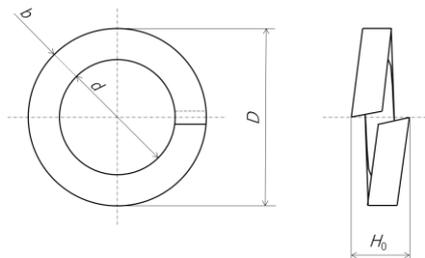


図 4. ばね座金。

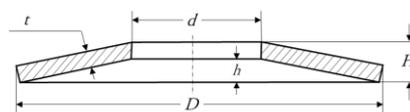


図 5. 皿ばね座金断面図。

### (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。

例 1) 溝付きナット+割りピン（コッターピン）（図 6）

例 2) ワイヤからげ（ワイヤーロック）（図 7）

例 3) 舌付き座金（図 8）、つめ付き座金

例 4) 脱落防止用板ばね、ばね部品

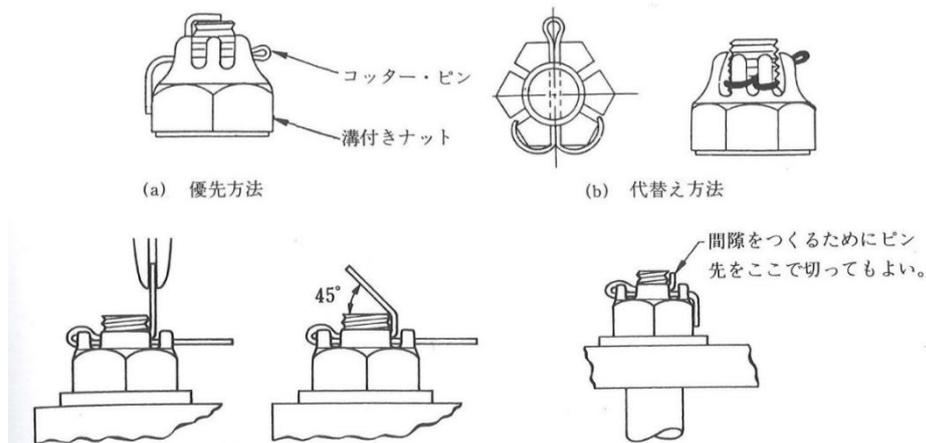


図 6. 溝付きナット+割りピン（コッターピン）<sup>3)</sup>。

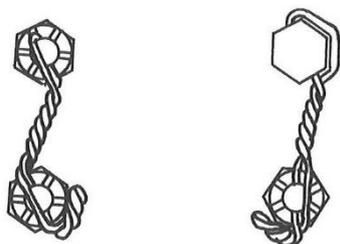


図 7. ワイヤからげ（ワイヤーロック）<sup>4)</sup>。

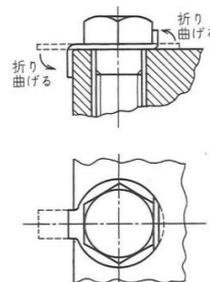


図 8. 舌付き座金<sup>5)</sup>。

### (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。

例 1) 塑性ねじ立てタッピンねじ（図 9）

例 2) コイル状インサート（図 10）



図 9. 塑性ねじ立てタッピンねじ。



図 10. コイル状インサート。

### (4) 戻しトルク増大（戻り止め）

#### ① プリベリングトルク形タイプ（表 1）

ねじ山を変形させたり、ねじの有効径をすぼませたり、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、始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そうとするもの（JIS B 1199- 1, 2, 3, 4）。

#### A. 非金属及び金属インサート型

例 1) 樹脂インサートナット（図 11 (a)）

樹脂リングをナット上面にかしめ一体化したタイプ

例 2) 樹脂コーティングボルト・ナット

樹脂をボルト及びナットのねじ部にコーティングしたタイプ

例 3) 板ばねインサートナット（図 11 (h)）

特殊な板ばねリングをナット上面にかしめ一体化したタイプ

例 4) コイルばねインサートナット

コイルばねをナット上面にかしめ一体化したタイプ

#### B. 全金属製型

例 1) 溝付き型（図 11 (d), (e)）

ナットの一部分に溝割を入れてその部分の内径を小さくし、その摩擦でロックするタイプ。

例 2) ピッチ変形型（図 11 (g)）

ナットの一部分にピッチの差を生じさせ、その摩擦でロックするタイプ。

例 3) 変形ねじ山型

ナット頂部のねじ部を卵形、楕円形などに変形させ、おねじを押し込むと、この変形部をおねじと同じ円形に押し広げるため、この摩擦でロックさせるタイプ。

#### ② フランジ付きのボルト・ナット（図 11 (i)）

#### ③ セレクション付きのフランジボルト・ナット（図 11 (j)）、座金

戻しトルクを増大させる（戻り止め効果を持たせる）ことで戻り回転を遅らせるものは多岐にわたりますが、代表的な 3 例（板ばね・樹脂等をインサートする方式、ピッチに差を持たせる方式、ねじ山を変形させる方式）について締結時のねじの断面図を図 12 に示します。いずれのタイプも基本的には何らかの形で回転抵抗を与え、摩擦の力を用いて戻り回転を遅らせるものになっています。

戻り止め効果を持たせる方式とは別に、機械的回り止め方式（割りピン、ワイヤーロック、舌付き座金、等）があることは上述の通りです。

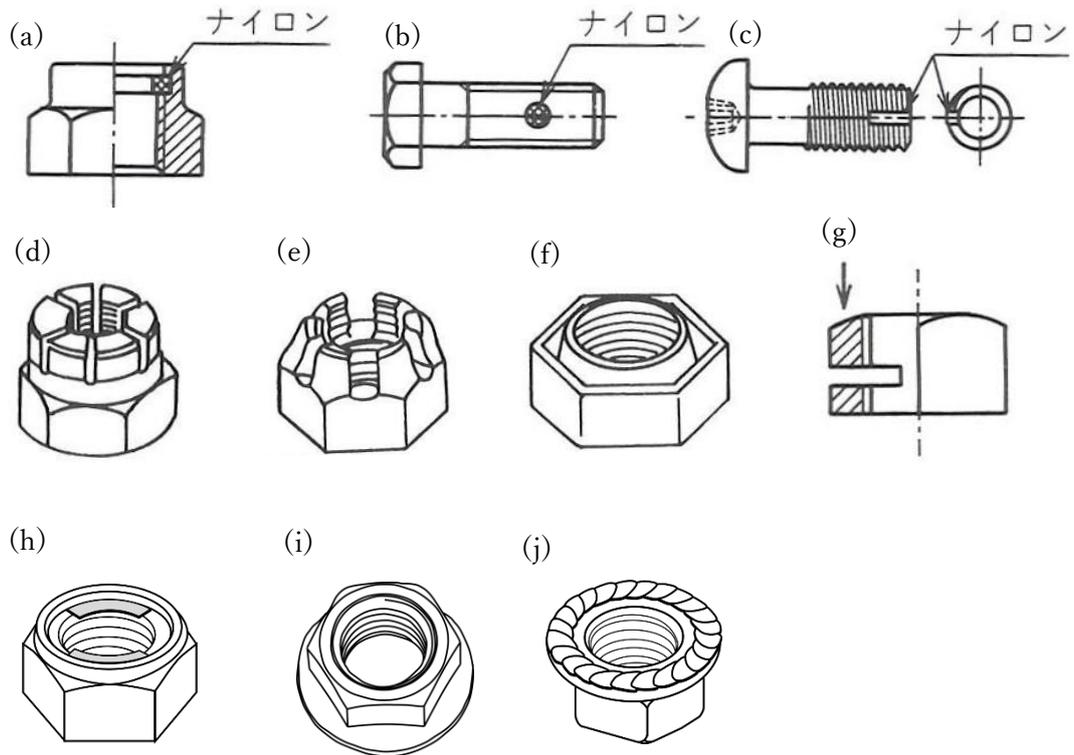


図 11. 戻り止め機能を有するナット・ボルトの例<sup>6,7)</sup>。(a) 非金属インサートナット、(b), (c) 非金属インサートボルト、(d) 細溝付きセルフロックナット、(e) 溝付き構造用ナット、(f) 全金属有効径変形型ナット、(g) 全金属ピッチ変形型ナット、(h) 金属インサートナット、(i) フランジ付きナット、(j) セレーション付きフランジナット。

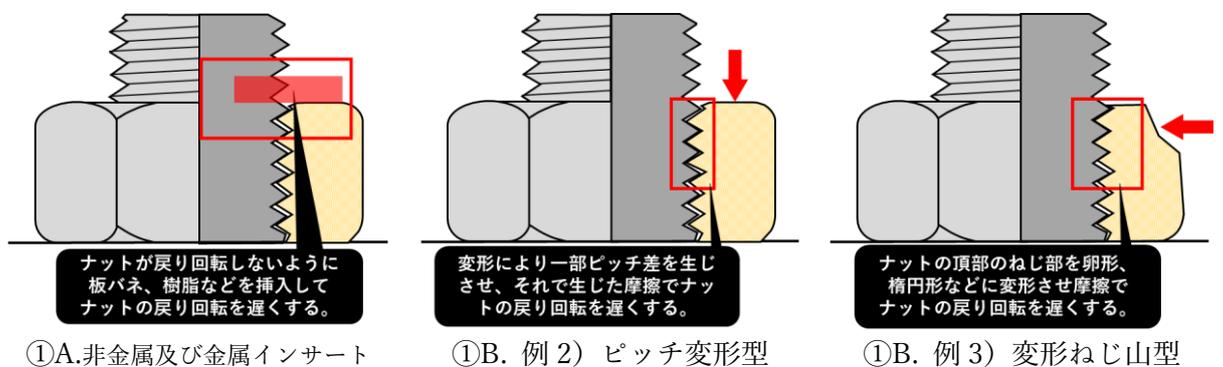


図 12. プリベリングトルク形タイプナット締結時のねじ断面図。

表1. プリベリングトルク形ナットの日本工業規格と国際規格<sup>8)</sup>。

グループ		種類		強度区分	国際規格	日本工業規格
形状	プリベリングトルク機構	スタイル	ねじ			
六角	非金属インサート	スタイル1	並目ねじ	5, 8, 10	ISO 7040	JIS B 1199-1
			細目ねじ	6, 8, 10	ISO 10512	
		スタイル2	並目ねじ	9, 12	ISO 7041	
		低形	並目ねじ	04, 05	ISO 10511	
	全金属製	スタイル1	並目ねじ	5, 8, 10	ISO 7719	JIS B 1199-2
		スタイル2	並目ねじ	5, 8, 10, 12	ISO 7042	
並目ねじ			9	ISO 7720		
フランジ付き六角	非金属インサート	-	並目ねじ	8, 9, 10	ISO 7043	JIS B 1199-3
		-	細目ねじ	6, 8, 10	ISO 12125	
	全金属製	-	並目ねじ	8, 9, 10, 12	ISO 7044	JIS B 1199-4
		-	細目ねじ	6, 8, 10	ISO 12126	

## (5) 戻り回転防止 (ゆるみ止め)

### ①はめ合い隙間除きの強制ロックング

#### ・ダブルナット

下側のナット、上側のナットを順に締付けた後、羽交い締め (ロックング) を行うことで、はめ合いねじ部の遊びを取るにより確実なロックングを行い、ねじ部の摩擦を増大させナットの戻り回転を防止するものです。以下の2種類の方法があります。

- 上ナット正転法: 下ナットを回り止めして上ナットを正転する羽交い締めの方法。
- 下ナット逆転法: 上ナットを回り止めして下ナットを逆転する (戻す) 羽交い締めの方法。

ここで注意すべきは、一般的によく見受けられる締付け方法として、単に下ナット、上ナットを順に締付けるだけ (図14 (b)の状態まで) では、ロックング効果はほとんど得られないことです。ゆるみ止めをもたらすロックング力を得るためには、上ナット正転法、下ナット逆転法いずれの場合を選択しても、最後のステップの羽交い締めまで (図14 (c)の状態まで) 必ず行う必要があります。

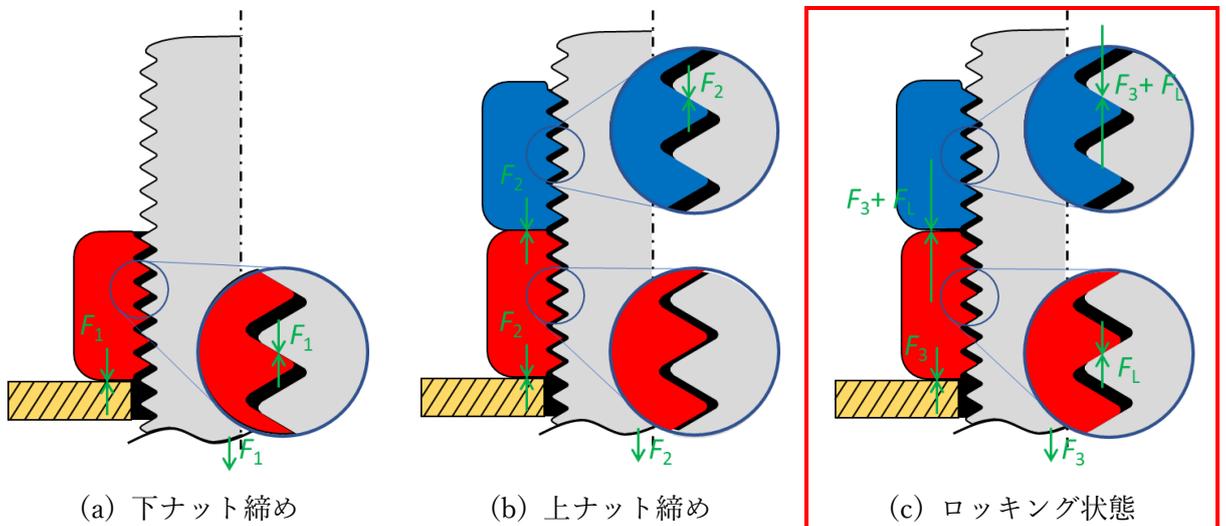


図14. ダブルナット使用におけるねじ山の接触・負荷状態<sup>9)</sup>。F<sub>1</sub>、F<sub>2</sub>、F<sub>3</sub>は軸力、F<sub>L</sub>はロックング力。(b)の段階では下ナットのねじ山には負荷がかかっていないことに注意。

・ハードロックナット

ハードロックナットは、独特な円錐状の凹凸形状を有する2種類のナットで構成されています。凹形状部に関してはねじ部に対して同心加工を施していますが、凸形状部はねじ部から若干偏芯加工しており、この特殊な凹凸ナットを締付けることで、まさしく部材の隙間にハンマーで打ち込んでゆるみ止め性能を得るクサビの仕組みをナットに応用しています。凸ナット（図15の①）を締付けた後、凹ナット（図15の②）を締付けるにつれて、相互の円錐軸のずれにより生じるボルト軸直角方向の力が、凹ナットから凸ナットのねじ部のねじ面をボルト側のねじ部に押し付ける力（せん断力）として作用します。そのせん断力によりナットとボルトのねじ面の摩擦力を増大させ、ゆるみ止め効果を発揮します。

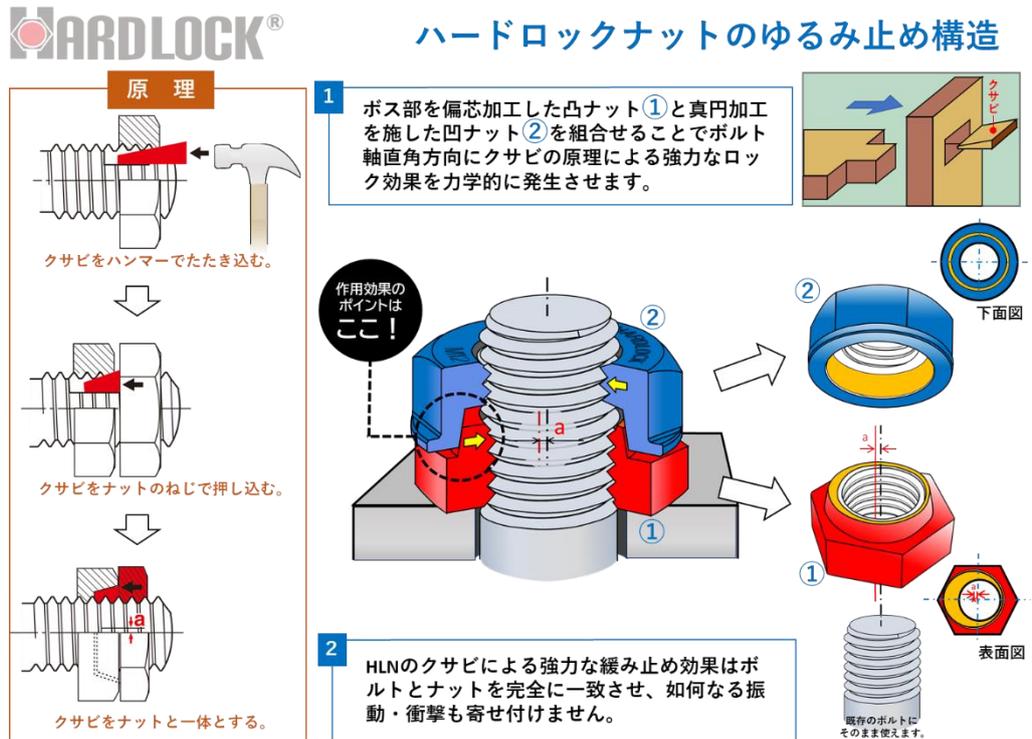


図15. ハードロックナットの原理と特徴<sup>10)</sup>。

2種類の強制ロックタイプ（ダブルナット、ハードロックナット）の締め結時において、ねじのかかり具合を図16に示します。方式の差はあるものの、上下2つのナットを使うことで、ねじ部の遊びを完全になくし、ロックしている（すなわち軸力低下を防止している）ことが分かります。

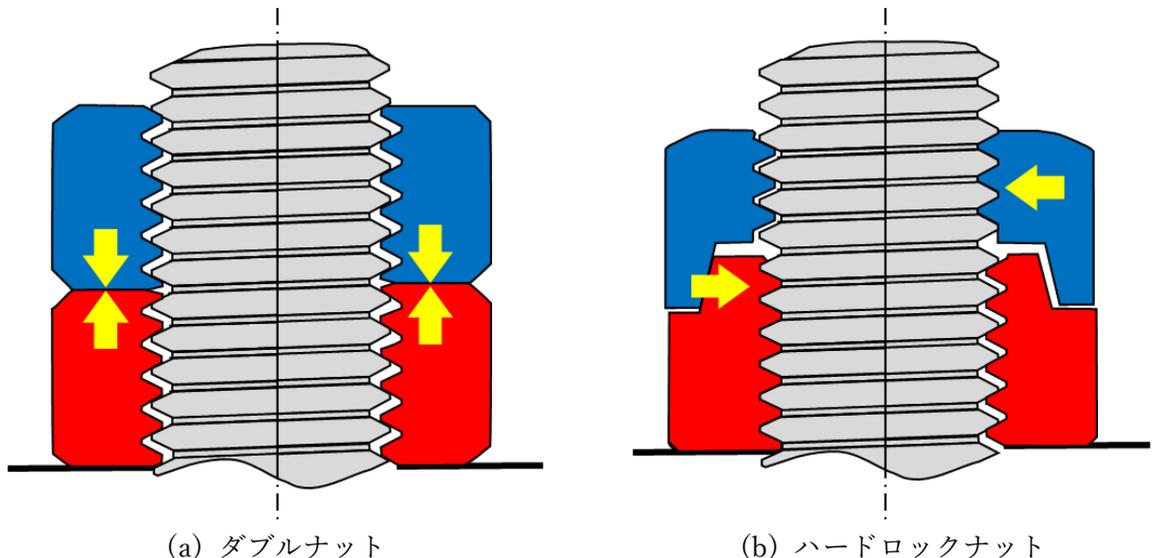


図16. 強制ロックタイプ（ダブルナット、ハードロックナット）の締め結時におけるねじのかかり具合。

## 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

ねじ面に嫌気性接着剤を塗布して、ねじ面間の狭い隙間を硬化させ戻り回転を防止するもので、締付け時に塗布作業するタイプとカプセル封入された接着剤をあらかじめねじ部に付着させたタイプがあります。

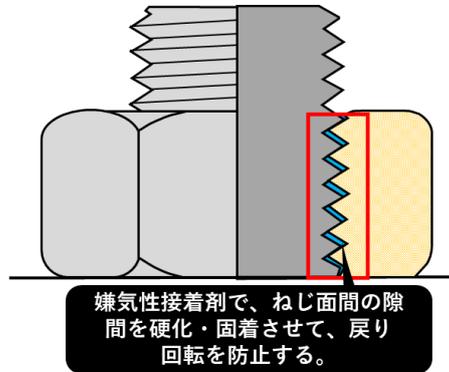


図 17. 嫌気性接着剤使用時のナットの締結時におけるねじのかかり具合。

## 5. ナットが回転して生じるゆるみに対する試験方法

下表2のようなゆるみ試験形式がありますが、代表的なものとして、軸直角振動（ユンカー式）と衝撃の加振式（NAS式）があり、それぞれの試験内容について紹介します。

表 2. ゆるみ試験形式の説明<sup>11)</sup>。

試験形式	説明	
軸直角振動（ユンカー式）	固定板と振動板とを試験ボルト・ナットで締結し、振動板に軸直角方向の外力を加えて振動変位させる。変位は回転成分が入らない平行変位だけとする。	
軸回り振動	トルク式	固定板に対し振動板にトルクを加えてボルト軸の回りに回転変位させる。変位は平行変位を含まない回転変位だけとする。
	加振式	振動板にアームを設けてその先に重りをつける。固定板を振動台に載せ加振することで回転変位を起こさせる。
軸方向荷重増減	ボルト頭及びナット座面にそれぞれ金具をあてがい引張試験機で軸方向の負荷を繰返す。	
衝撃	加振式（NAS式）	試験ボルト・ナットで締付けたねじ締結体を鉛直方向の長穴内に横たえ、長穴の本体を振動台で上下に振動させ長穴の上下端で軸直角方向の衝撃を加える。
	落下式	試験ボルト・ナットで二つの円筒を締付けた締結体を一定の高さから落下させ、二つの円筒を軸方向に分離させるような衝撃を加える。
	ハンマー式	固定体と衝撃受け板とを試験ボルト・ナットで締結し、衝撃受け板にハンマー振り下げによる軸直角方向の衝撃を加える。

・軸直角振動（ユンカー式）ISO 16130: 2015（Aerospace series vibration test）

G.H.ユンカー<sup>12)</sup>は、1966年にDRAHT-Welt誌において、主として軸直角方向の動荷重が作用する継手について行われた試験の中で、通常のねじ締結体はもちろんのこと、いわゆるゆるみ止めねじ締結体でも完全にゆるみ回転させることができることを発表しました。つまり、軸直角繰返し荷重が自己弛緩を起こすために最も過酷な条件を与えることを試験の中で確認しているのです。この結果をもとにユンカー式軸直角ねじゆるみ試験方法が考案され<sup>13)</sup>、ドイツでDIN 65151を経てDIN 25201で規格化され、2015年には、航空宇宙分野に限定されてはいますが、ISO 16130として正式に国際規格化されました。ユンカー式軸直角振動試験では固定板と振動板とを試験ボルト・ナットで締結し、振動板にボルト軸直角方向の外力を加えて振動変位させます。固定板側にロードセルを配し、ねじ締付け時の締付けトルクとボルト軸力の関係や、ねじのゆるみであるボルト軸力の変化を常にモニターできるため、ゆるみ解析には有効な試験と言えます。この規格では、振動変位の大きさ、駆動周波数などの試験条件と試験結果の判定基準を設定しており、メーカー毎の測定条件のばらつきを抑制しています。

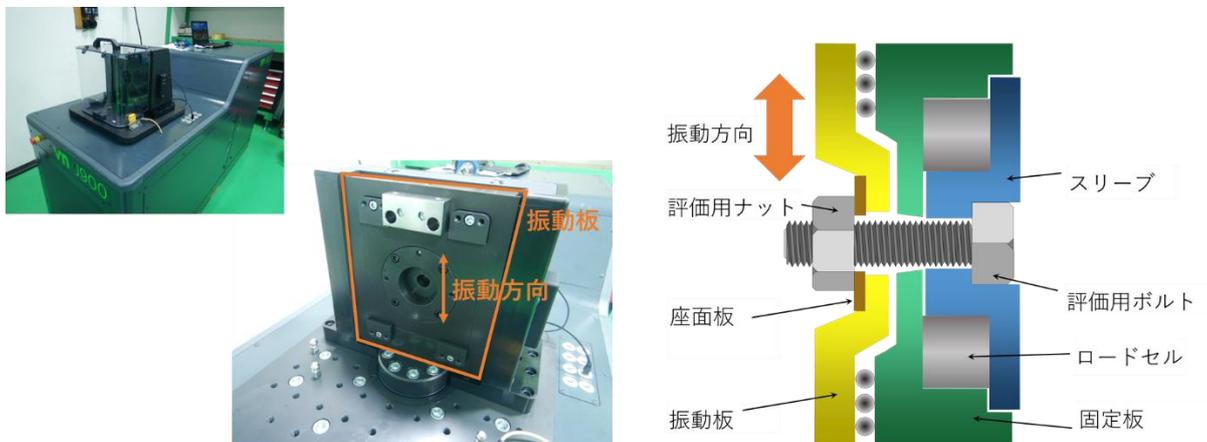


図 18. ユンカー式振動試験装置の主要部例。

・NAS（National Aerospace Standard：米国航空宇宙規格）式

NAS 試験は米国航空宇宙規格で定められたゆるみ止め評価試験です。衝撃カラーとワッシャーをボルト・ナットで締付けたねじ締結体を垂直方向の長穴を有する枠体ごと振動台で上下に振動させます。枠体の長穴上下端にねじ締結体が衝突する際に生じる軸直角方向の衝突衝撃でナットとワッシャーとの摺動、ボルトのたわみ等多様な力がかかり、ナットをゆるませる力が発生します。試験では、振動周波数を 1750-1800 c.p.m.とし、30000 サイクル（約 17 分）振動させた状態で振動によるボルトとナットの相対回転が 360 度（1 回転）以内であることをゆるみの限度としていますが、30000 サイクルまでにナットがゆるんだ場合、ゆるむまでの時間（振動回数）で比較評価します。

NAS 試験はナットがゆるむ過程の軸力変化を測定することが困難なことから、衝撃発生バラツキが発生することから、ねじのゆるみの相対比較には有効ですが、ねじのゆるみの詳細な解析に用いることは困難と考えられています。

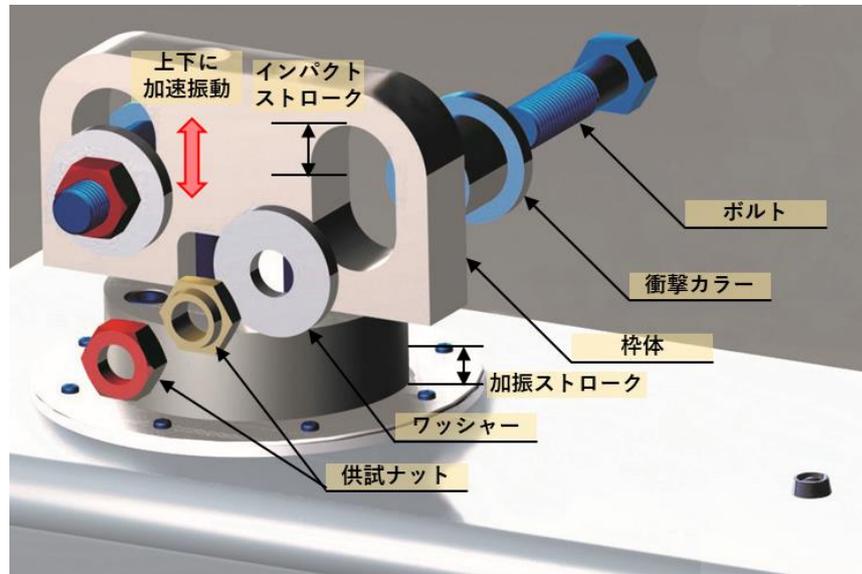


図 19. 加振式衝撃ゆるみ試験（NAS 式）装置の主要部例<sup>10)</sup>。

## 6. ゆるみ止め、戻り止め部品の効果

### ゆるみ止めと戻り止めについて

ゆるみ止めとは、予張力（軸力）の低下を防止するもので、一方、戻り止めとは、締付け軸力または圧縮力に依存しないで回転抵抗を備えたナットと定義され、目的はゆるんだ後にナットが脱落・紛失することを防止することにあるとみなされています。

ここでは、一般的に考えられております初期ゆるみ対策用、ボルト軸力消失防止用（戻り止め）、戻り回転防止用（ゆるみ止め）に分けて、ゆるみ止め、戻り止め部品の有効性に触れていきます。

#### (1) 初期ゆるみ対策用

座金方式タイプがこれにあたり、代表的なものは、ばね座金（スプリングワッシャー）や皿ばね座金で、これらは初期軸力の消失を補う機能であり、座面の滑りを確実に防止する機能は備わっていないため、ナットの戻り回転によるゆるみを防止することはほとんどできないというのが通例です。

#### (2) 軸力消失防止用 戻り止め

ある程度の軸力低下は発生するもののそれ以上は低下しないのが戻り止めタイプで、目的はナットの脱落防止です。これにはかなり確実度の高いものと、単に分解防止用と考えられるものが含まれます。種類として、プリベリントルク形タイプ、フリースピニング形タイプ、機械的回り止めタイプ、ねじ部密着度増加タイプがあります。

その中でも、プリベリントルク形タイプには世界中で多くの種類が存在し、軸力消失度合いは商品によって性能差が存在します。機械的回り止めタイプである溝付きナット+割りピン（コッターピン）やワイヤーロック、舌付き座金に関しては、理想通りの適切な取付け状態のものであれば、品質が厳しい航空宇宙・防衛産業にも採用されるくらいの信頼性の高い対策であり、軸力低下はほとんど発生しません。ただ、適切に取付けるためには、特別な知識と技術が必要な作業となるため、航空宇宙・防衛産業以外の作業工数の削減を目指す業界では、現実的な対策とはいえません。逆に中途半端な取付け状態であれば、ナット脱落防止対策にしかならず、軸力低下起因のボルト折損事故につながりかねませんので、十分な注意が必要となります。

### (3) 戻り回転防止用 ゆるみ止め

軸力の低下をほとんど許さない部類のもので、戻り回転によるゆるみに対する性能が最も高いとみなされております。

但し、ダブルナットの場合、2種類どちらかのロック方法（羽交い締め）を作業現場で完全に再現できるかという点非常に難しいのではないかと考えられます。中途半端な締結状態は逆にゆるみの原因ともなりますので、羽交い締め作業が困難な現場では、別の対策も検討していく必要があります。

同様に、嫌気性接着剤の場合も正しい手順で作業を行わなければ、十分なゆるみ止め効果は発揮されません。一般的なものでは、最初にボルトを完全脱脂し接着剤を塗布した後、約 24 時間乾燥させることで完全に固着します。但し、この条件下で作業できる箇所は非常に限定的で汎用的ではありません。また、作業終了後に、完全に固着できているのかの合否判断ができないことも、現場採用を難しくしている原因の一つではないかと考えられています。

一方、ハードロックナットの場合には、凸ナットをお客様の設定値で締付けていただき、凹ナットを弊社の規定値で締付けるだけで、様々な振動や衝撃に対してもナットの戻り回転を起こさず、初期軸力の低下を防ぐ優秀な製品となっております。また、ダブルナットや嫌気性接着剤と違って、締付け技術が全くない初心者であっても、最高レベルのロック状態が実現でき、再使用してもロック効果が維持できるとあって、なくてはならないゆるみ止めナットとして世界で認識され始めております。

## 参考文献

この資料は主に以下の書籍を参考にして作成されました。

- ・吉本 勇編：JIS 使い方シリーズ ねじ締結体設計のポイント（改訂版），日本規格協会（2002）。
- ・山本 晃：ねじのおはなし（改訂版），日本規格協会（2003）。
- ・山本 晃監修：JIS 使い方シリーズ ねじ締付機構設計のポイント（改訂版），日本規格協会（1973）。
- ・酒井智次：ねじ締結概論，養賢堂（2000），<https://www.yokendo.com/books/9784842503486/>
- ・航空整備士共通実地試験基準 航空機の基本技術（第5版第1刷），日本航空技術協会（2010）。

また、引用文献は以下の通りとなっています。

- 1) 山本 晃：ねじ締結の原理と設計，養賢堂（1995）p. 128, <https://www.yokendo.com/books/9784842595092/>
- 2) 1)と同じ， p. 121, <https://www.yokendo.com/books/9784842595092/>
- 3) 航空整備士共通実地試験基準 航空機の基本技術，社団法人 日本航空技術協会（2010） p. 370-371.
- 4) 3)と同じ， p. 366.
- 5) 編集委員長 吉本 勇：JIS 使い方シリーズ ねじ締結体設計のポイント（改訂版），日本規格協会（2002） p. 241.
- 6) 5)と同じ， p. 240.
- 7) 3)と同じ， p. 329.
- 8) JIS B 1199-1: 2001（プリベリングトルク形ナット—第1部：非金属インサート付き六角ナット） p. 10.
- 9) 山本 晃：ダブルナットの正しい使い方，機械の研究（1989）Vol. 38, No. 9, p. 1023 をもとに作図。
- 10) ハードロック工業株式会社ホームページ， <https://www.hardlock.co.jp/>
- 11) 5)と同じ， p. 244.
- 12) G. Junker and D. Strelow, “Untersuchungen über die Mechanik des selbsttätigen Lösens und die zweckmäßige Sicherung von Schrau-benverbindungen” (Investigation of the Mechanism of Self-Loosening and Optimal Locking of Belted Connections), DRAHT-Welt, Fachbeilage Schrauben Muttern Formteile, Teil I: 52 (1966), Nr. 2, 103-114; Teil II: 52 (1966) Nr. 3, 175-182; Teil III: 52 (1966) Nr. 5, 317-335.
- 13) G. Junker, “New criteria or self-loosening of fasteners under vibration”, SAE Transactions, 78 (1969) 314-335.