

使用過程ホイール・ボルト、ナットの 性能確認実験結果について

令和4年12月
国土交通省自動車局

使用過程のホイール・ボルト、ナットの性能について締め付けトルクと軸力の関係について確認するために、次の調査を行った。

試験1 繰り返し締め付け試験

新品ホイール・ボルト、ナットの締結時における給脂の有無が、繰り返し締結を行った場合の軸力に及ぼす影響について調査した。

試験2 清掃及び給脂による軸力改善効果試験

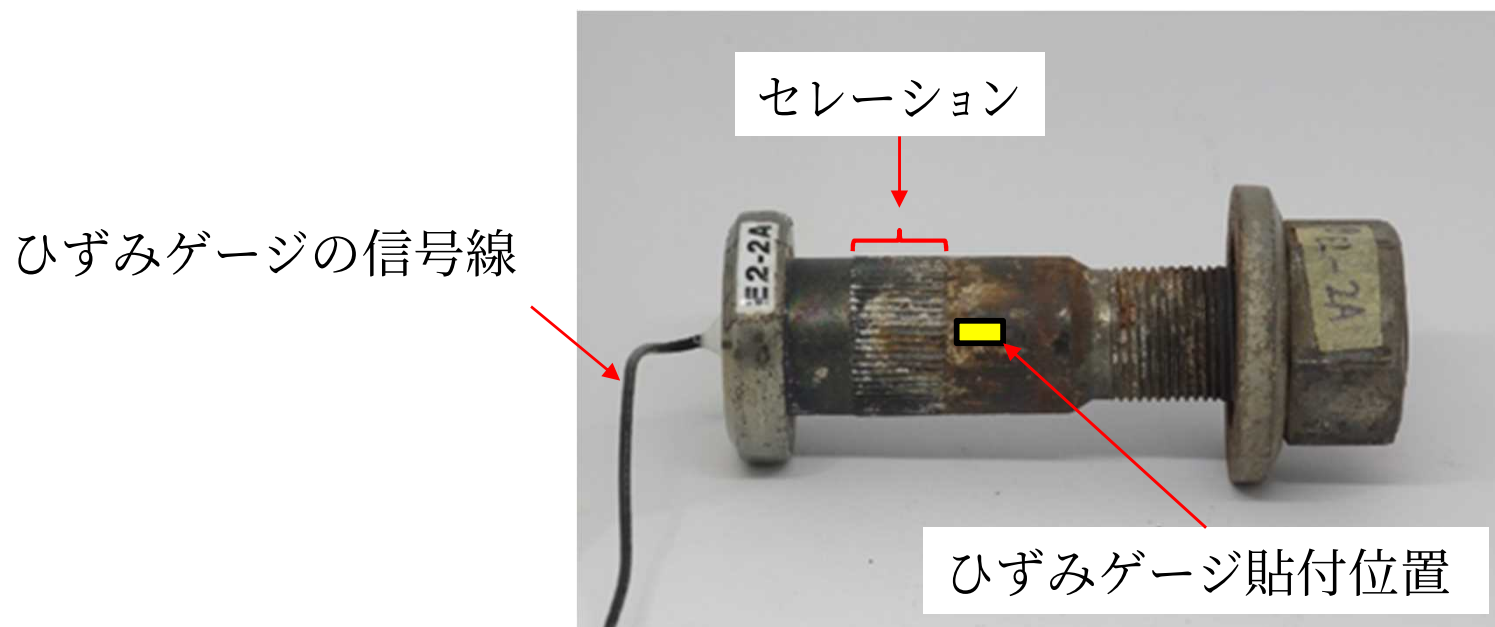
使用過程車の左後輪より回収した、使用年数7年のホイール・ボルト、ナットの各部清掃及び指定箇所への給脂が、規定トルクでの締結時の軸力改善に及ぼす効果について調査した。

試験3 ホイール・ボルト、ナットの使用年数等が軸力に及ぼす影響に関する試験

使用過程車より回収した、使用年数の異なるホイール・ボルト、ナットを規定トルクで締め付け、使用年数が軸力に及ぼす影響について調査した。

また、取付けられていた車輪による軸力の違いについても調査した。

ボルトの軸力測定は、ボルトの頭端部から中心方向に穴を開け、穴の内側にひずみゲージを貼付して行った。ひずみゲージ貼り付け位置等を示す。

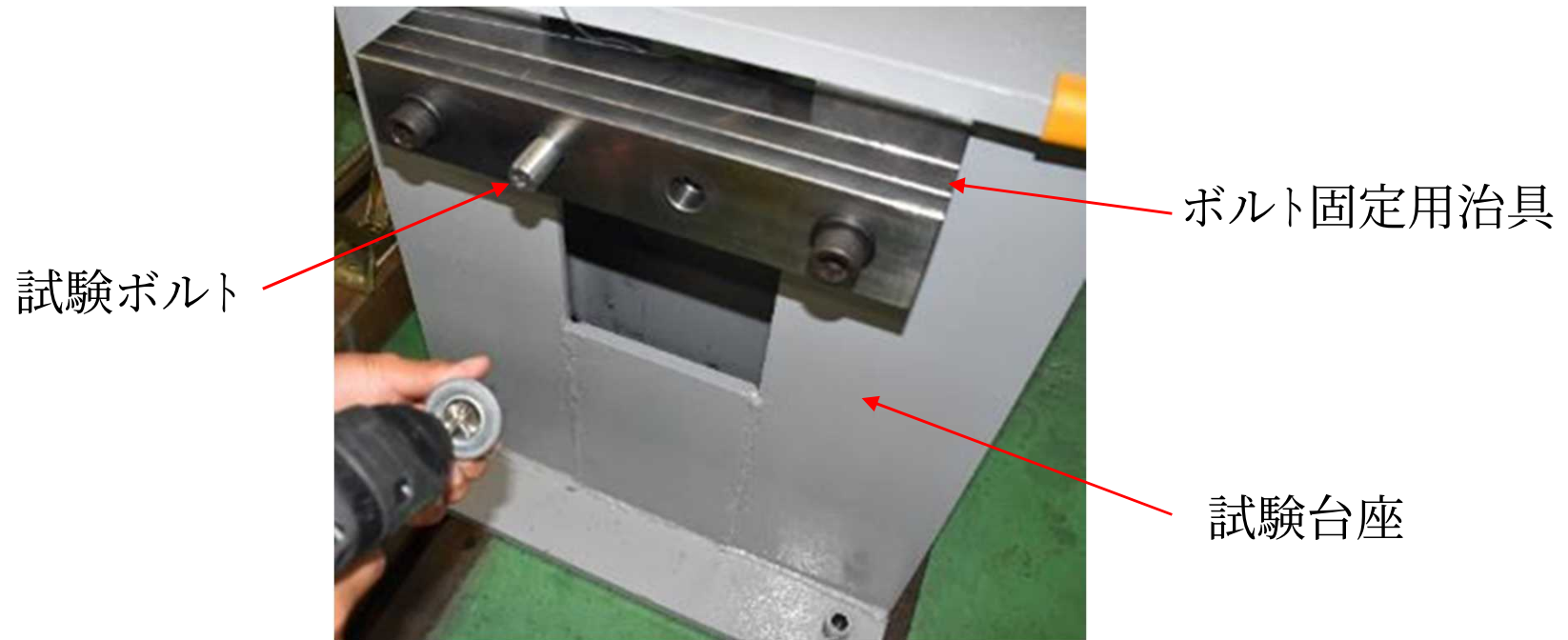


軸力測定用のひずみゲージを貼り付けたボルト

ひずみゲージを貼ったボルトは、計測器メーカーにおいて引張り荷重試験を行いひずみから軸力へ変換するための校正を行った。

試験用治具等

実車のハブ、ドラム、ホイールの部材の板厚寸法と同等なボルト固定用治具を製作した。
試験用治具等の外観を示す。



試験用治具等の外観

ボルト、ナットの清掃・給脂方法

ボルト、ナットの清掃・給脂は、整備の現場で行われている作業を想定して行った。

試験用ボルト及びナット清掃には電動式ワイヤーブラシ及びパーツクリーナーを使用し、ねじ面等に過度なダメージをあたえないように注意して行った。



電動式ワイヤーブラシを使ったボルトの清掃



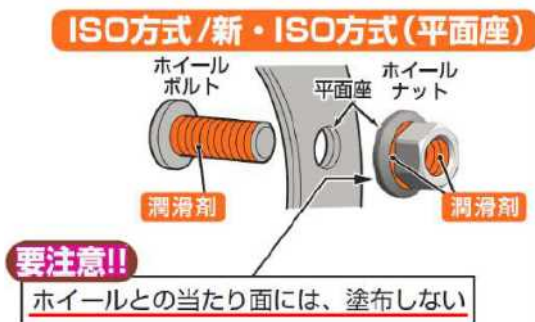
パーツクリーナーによるボルト清掃



電動式ワイヤーブラシを使ったナットの清掃及び
パーツクリーナーによるナット摺動面清掃



給脂は4サイクルエンジンオイル(10W40)を自動車メーカーの指定する箇所に行い、ナット座面に潤滑油が付着しないよう注意した。



自動車工業会パンフレットより



ボルトのねじ部の給脂



ナット摺動部の給脂



ナットのねじ部の給脂

試験1 繰り返し締め付け試験の実施方法

目的:

ホイール・ボルト、ナット締結時における給脂の有無が繰り返し締結を行った場合の軸力に及ぼす影響を確認する

供試体:

「給脂有り」用と「給脂無し」用で新品のボルトとナットをそれぞれ1組

条件:

「給脂有り」では、全ての指定箇所※に給脂を行った。

※「指定箇所」とは、ボルト及びナットのねじ部並びにナットの摺動部を指す

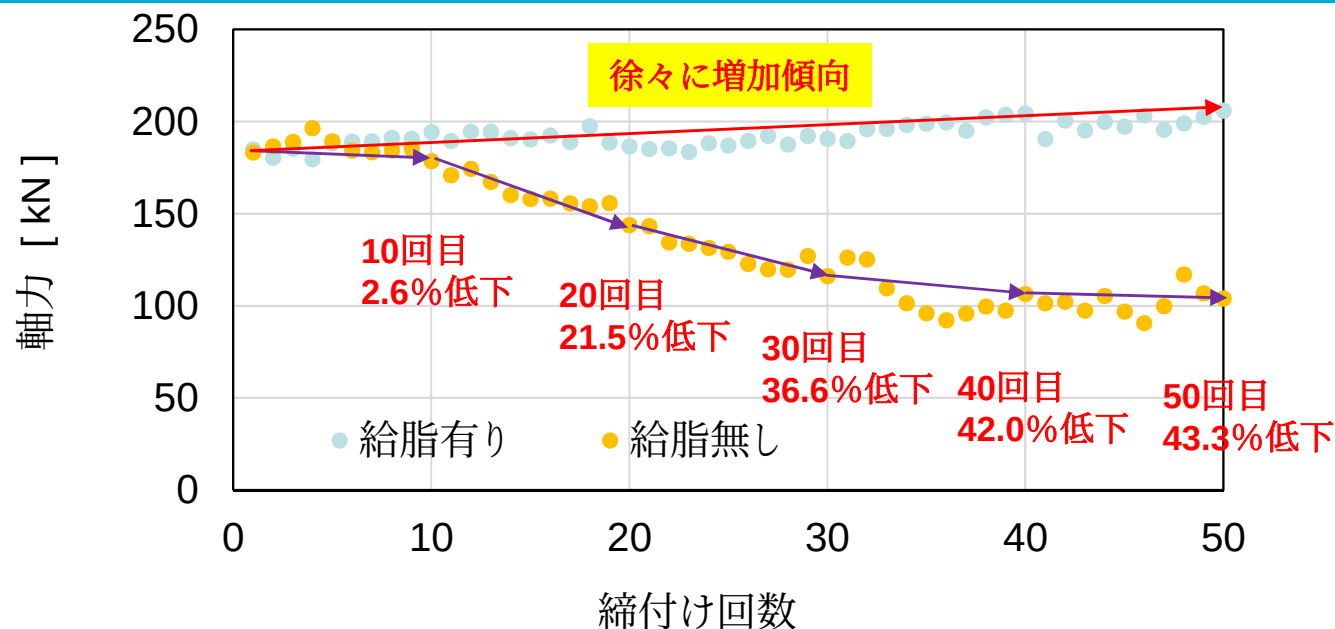
「給脂無し」では、全ての指定箇所に給脂を行わなかった。



自動車工業会パンフレットより

試験方法:

トルクレンチを用いてナットを徐々に締め付け、 $100\text{N}\cdot\text{m}$ から最大 $600\text{N}\cdot\text{m}$ まで $100\text{N}\cdot\text{m}$ ごとに軸力を測定した。それぞれの繰り返し回数は50回とした。



「給脂有り」のボルト、ナットについて

締め付け回数が増えるにしたがい、軸力がほぼ一定から若干増える傾向 (12kN程度増加) を示した。これは、給脂して繰り返し締め付け試験を行ったために、ねじ部や摺動面などで「なじみ」が生じ摩擦抵抗が減り軸力が微増した可能性がある。

「給脂なし」のボルト、ナットについて

締め付け回数が増えるにしたがい軸力が低下し締め付け回数が35回以降で約100kNでほぼ一定となった。これは、ねじ部や摺動面の潤滑が不十分なままに繰り返し締め付けを行ったことにより、ボルト・ナットのねじ部やナット・ワッシャ間の摺動面が損耗し、摩擦係数が高くなったために軸力が低下したものと考えられる。

さらに、市場で運行される車両では雨水や粉じん等の進入により表面処理層が剥離されること等により一層の摩擦係数の増大により軸力が低下する可能性が考えられる。

試験1の結果に対する考察

- ・ボルト、ナットは、指定箇所への給脂を行わない場合締め付けを繰り返すにつれ規定トルクに対して発生する軸力が徐々に低下することが確認された。
- ・一方、適切に給脂を行うことにより、繰り返し締め付けを行っても軸力の低下が抑えられることも確認された。
- ・したがって、適切な給脂の実施により、タイヤ交換等の定期的なナット取り外し・締め付けに発生する軸力低下を、抑えることができると考えられる。

目 的:

ホイール・ボルト、ナット締結時における各部清掃及び指定箇所への給脂が軸力改善に及ぼす効果を確認する

供試体:

使用年数 7年 左後輪 10組

条 件:

10組のボルトとナットについて、条件1から条件5の順番で清掃及び給脂を行い、締め付け試験を実施した。

条件1 無清掃 (回収したままの状態)

条件2 清掃のみ (ボルト、ナットの各部清掃)

条件3 清掃＋ねじ部給脂 (ボルト、ナットの各部清掃及びねじ部へ給脂)

条件4 清掃＋指定箇所給脂 (ボルト、ナットの各部清掃及び指定箇所へ給脂)

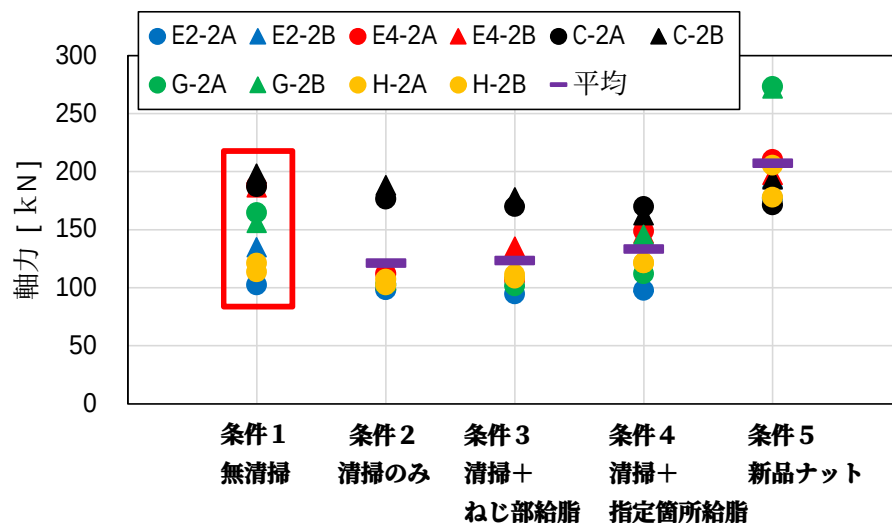
条件5 新品ナット (ボルトの清掃及びナットを新品に交換し指定箇所へ給脂)

試験方法:

トルクレンチを用いてナットを徐々に締め付け、 $100\text{N}\cdot\text{m}$ から最大 $600\text{N}\cdot\text{m}$ まで $100\text{N}\cdot\text{m}$ ごとに軸力を測定した。

試験2の結果

それぞれについて条件1 (無清掃) →条件2 (清掃のみ) →条件3 (清掃+ねじ部給脂) →条件4 (清掃+箇所給脂) →条件5 (新品ナット) の順番で締め付け試験を実施した。
まずは条件1 (無清掃指定) について考察する。
締め付けトルクが600N・m時の軸力を図に示す。



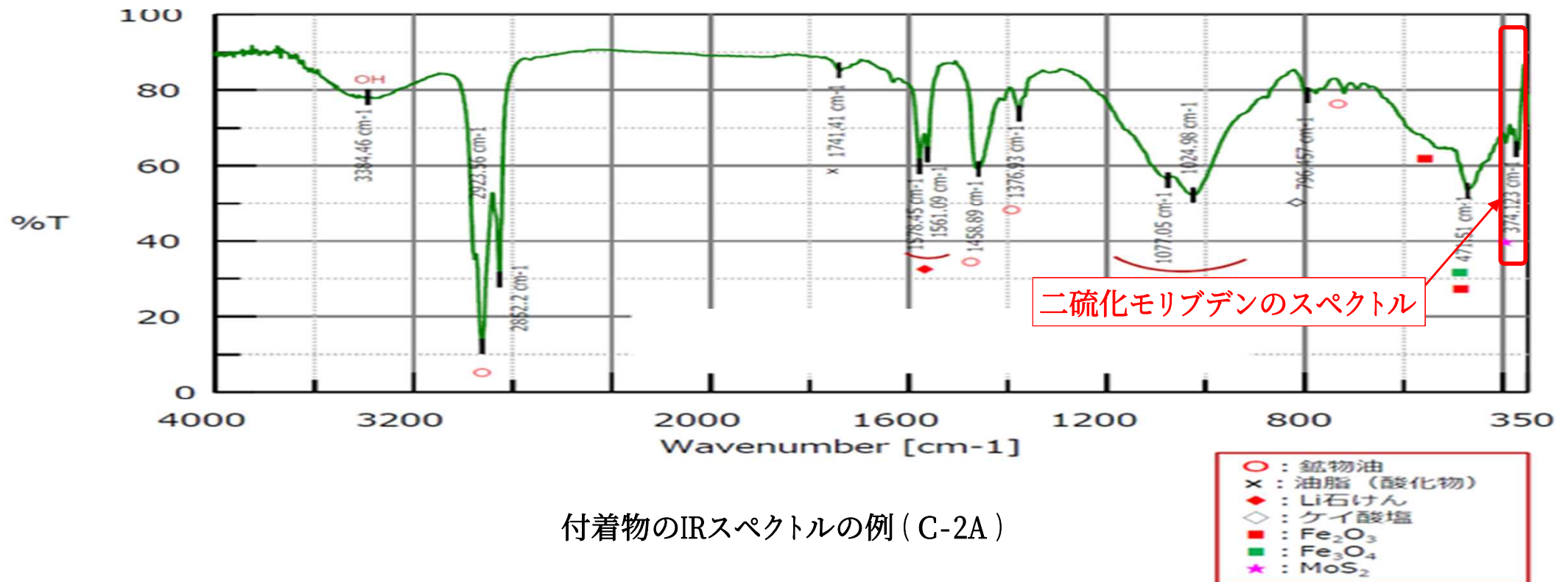
平均値	標準偏差
155.3kN	35.2kN

軸力の平均値が155.3kNであるのに対して標準偏差が35.2kNであり、供試体の軸力にバラツキが大きい。

試験2の結果

条件1のばらつきの検証のため、試験終了後に3組のボルト、ナットの残留物分析を行った。その結果、全てのボルトから日本自動車工業会がねじ部等への使用を推奨していない二硫化モリブデン (軸力を必要以上に増加させる可能性があるグリス成分)が微量ながら検出された。

このことにより、「条件1:無清掃」の状態は、二硫化モリブデンが残留している等供試体ごとの状況のばらつきが大きく、他の条件との適切な軸力の比較が難しいことから、ボルトの軸力比較は、回収ボルトを清掃した「条件2:清掃のみ」、「条件3:清掃+ねじ部給脂」、「条件4:清掃+指定箇所給脂」、「条件5:新品ナット」で行うこととした。



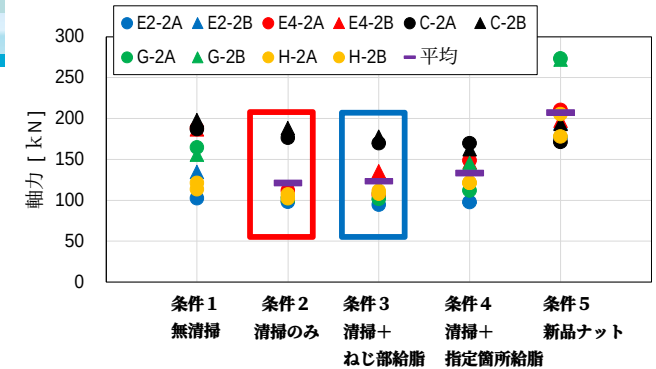
試験2の結果

○「条件2:清掃のみ」

条件1で使用したボルトとナットに清掃のみを行ったもの

平均値	標準偏差
121.1kN	32.7kN

軸力の平均値は約121.1kNであり、標準偏差は32.7kNであった。



軸力が低いのは物理的な清掃とともにパーツクリーナーによりボルトねじ部、ナットねじ部、ナット摺動部 (ナットとワッシャーとの接触面) の残留油脂が除去されたため、接触面の摩擦係数が大きくなり、締め付けトルクが軸力に変換される割合が低下したものと考えられる。

○「条件3:清掃+ねじ部給脂」

条件2で使用したボルトとナットを清掃した後にねじ部のみ給脂を行ったもの

平均値	標準偏差
123.1kN	28.8kN

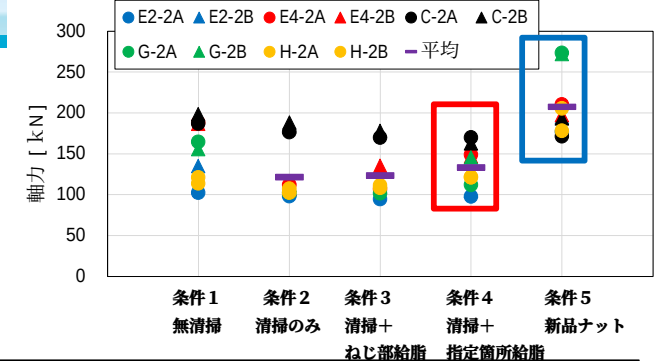
軸力の平均値は約123.1kNであり、条件2とほとんど変わらなかったが、標準偏差は28.8kNとやや少なくなった。

ボルトねじ部への給脂により、軸力の値には大きく影響はしなかったが、そのバラツキは小さくなった。この原因として「条件2:清掃のみ」の場合よりもねじ部の摩擦抵抗のバラツキが小さくなったためと考えられる。

試験2の結果

○「条件4:清掃+指定箇所給脂」

条件3で使用したボルトとナットを清掃した後に指定箇所(ねじ部と摺動部)に給脂を行ったもの



軸力の平均値は約133.1kNであり、「条件2:清掃のみ」に比べて平均値では、12kN軸力が回復した。標準偏差は24.9kNと軸力のバラツキは条件3より更に小さくなった。

条件4の試験結果より、ナット摺動面への給脂が軸力向上に有効であると考えられる。ただし、下記の条件5で新品ナットを用いた場合の軸力に比べると、全体的に軸力が低いという結果となった。

○「条件5:新品ナット」

条件4で使用したボルトに新品のナットを用い指定箇所(ねじ部とワッシャ部)に給脂を行ったもの

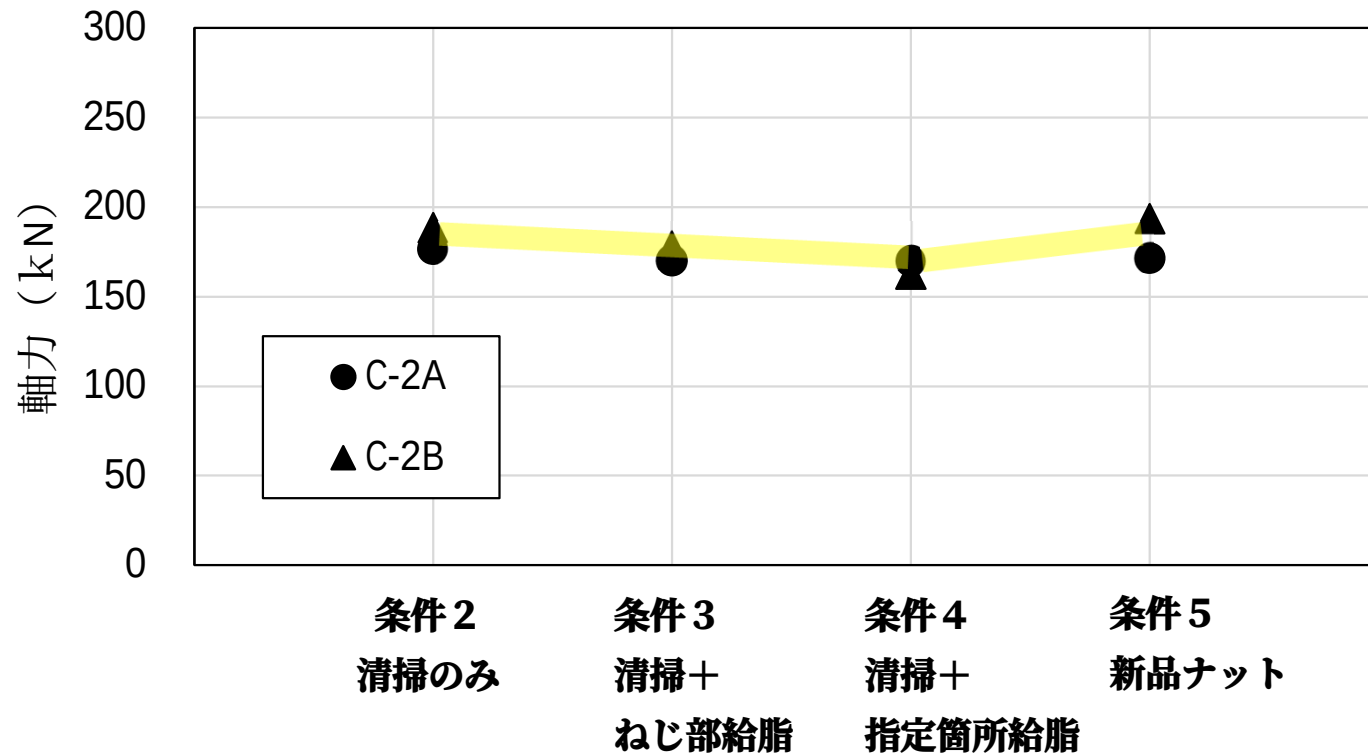
平均値	標準偏差
207.3kN	36.6kN

軸力の平均値は約207.3kNであり、他の条件に比べて高い軸力を示した。標準偏差は36.6kNと大きかった。

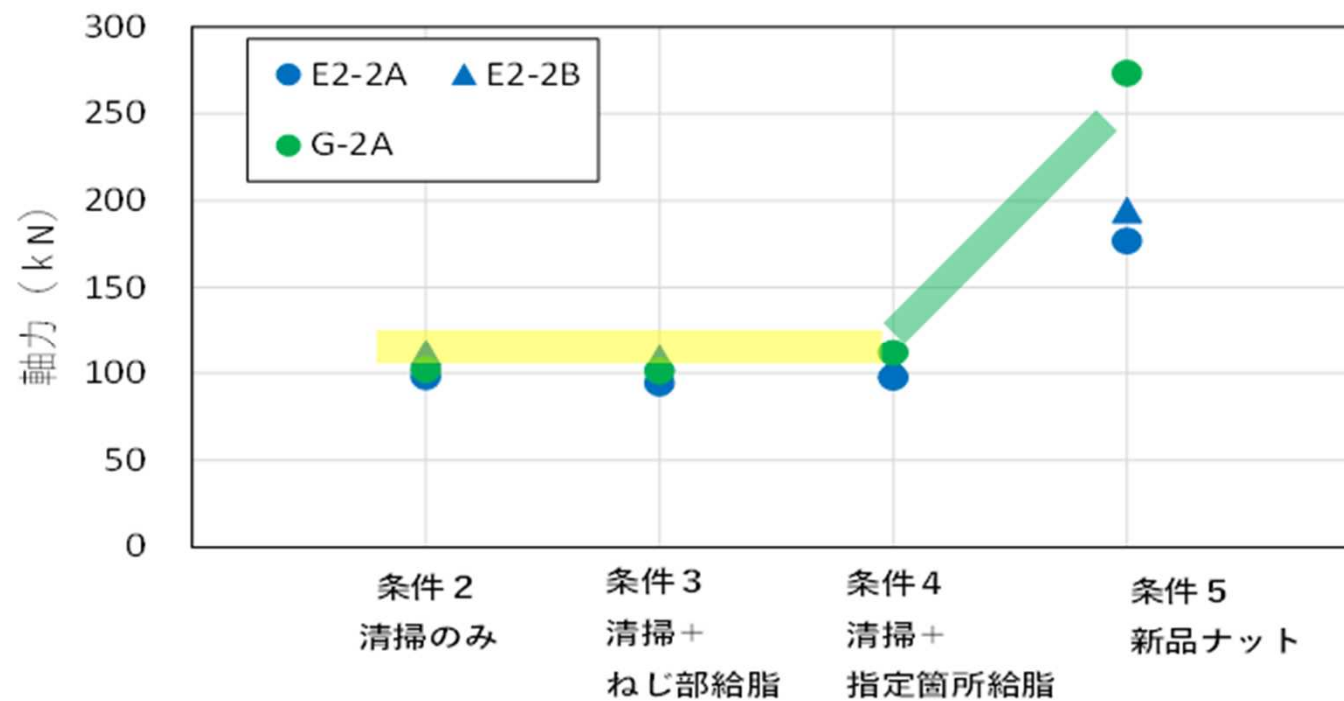
全ての供試体について、新品ナットに交換することで軸力が大幅に回復するか、高い状態を維持した。

試験を行った10組の供試体は、回収状態(条件1)での軸力のバラツキが大きく、また、条件2、条件3、条件4、条件5での軸力の変化が一様でなかった。そこで、締め付けトルク600N・m時の各条件による軸力の変化をパターン別に整理した

(a) 全条件で軸力が高いケース：条件2から条件5まで160kN以上の高い軸力を示したケース

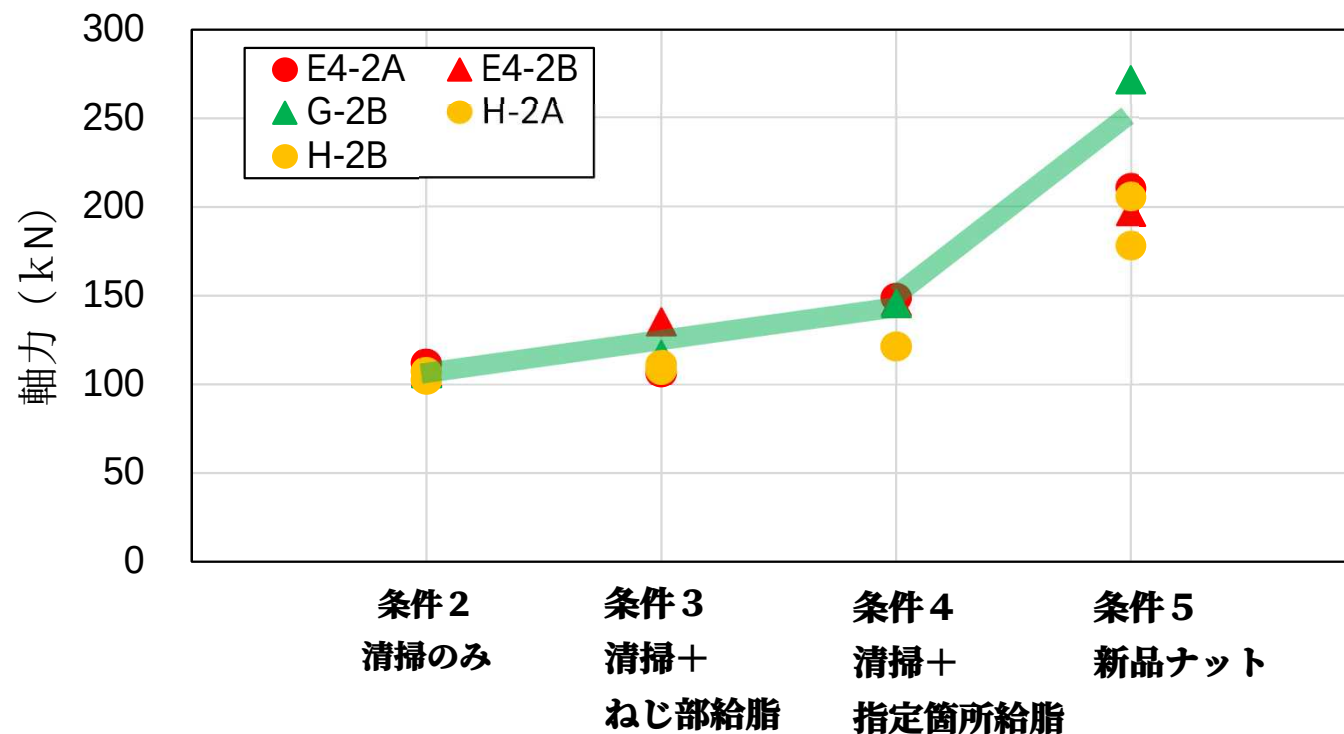


(b) 条件2～4で軸力が低いケース: 条件2から条件4まで100kN～120kN程度と比較的低い軸力であったが、条件5の新品ナットでの試験では180kN以上の高い軸力を示した。これは、ナット摺動部等の表面が損耗していた可能性が考えられる。



試験2の結果

(c) 軸力が増加するケース: 条件2、条件3、条件4と軸力が順次増加した。条件3の「ねじ部給脂」に比べて条件4の「指定箇所給脂」の方が軸力が高く、標準偏差も28.8kNから24.9kNと小さくなっていることから、給脂により安定して軸力が得られている。一方で、この場合であっても条件5の新品ナットでの試験に比べ軸力が低いことから、(b)と同様に、ナット摺動部等の表面が損耗していた可能性が考えられる。



試験2の結果に対する考察

- ・供試体として使用した市場回収品のボルトとナットは全て、新品ナットに交換することで軸力が大幅に回復するか高い状態を維持した。
- ・一方で、清掃及び指定箇所への給脂により、約半数は軸力が上昇したものの残りの半数は上昇が確認されず、またいずれもナットを新品に交換した場合の軸力までは回復しないという結果となった。
- ・その理由としては、ナット摺動部等の表面が損耗していた可能性が考えられる。

試験3 ホイール・ボルト、ナットの使用年数等が軸力に及ぼす影響に関する試験の実施方法

目 的:

使用年数の異なるホイール・ボルト、ナットを用いて締結試験を行い使用年数が軸力に及ぼす影響を調査した。また、ホイール・ボルト、ナットの取り付け位置が軸力に及ぼす影響を確認する

供試体:

使用年数	3年	左後輪	10組	※試験2の条件4と同じ
使用年数	7年	左後輪	10組	
使用年数	7年	右後輪	10組	
使用年数	7年	左前輪	10組	
使用年数	10年	左後輪	10組	

使用年数7年の左後輪については、試験2の条件4と条件とが同じであるため、試験結果もこれを用いた。

条 件:

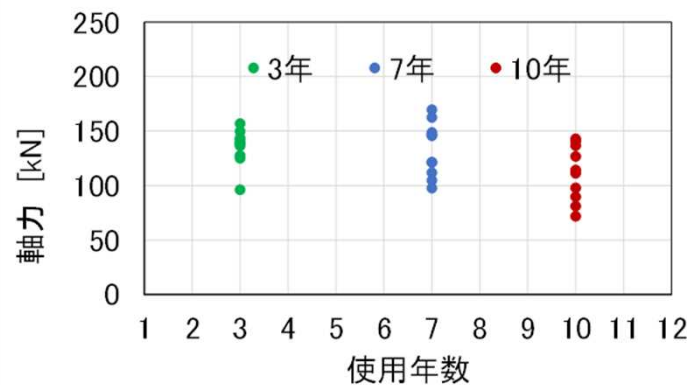
ボルト、ナットの清掃及び給脂は、全て清掃後に指定箇所に給脂を行った。
トルクレンチを用いてナットを徐々に締め付け、 $100\text{N}\cdot\text{m}$ から最大 $600\text{N}\cdot\text{m}$ まで $100\text{N}\cdot\text{m}$ ごとに軸力を測定した。

試験3の結果

○使用年数と軸力の関係

表に各使用年数間の2標本t検定結果を示す。

※2標本t検定とは2つの標本(たとえば、3年使用と7年使用)の平均に有意な差があるかどうかを統計的に検定するものである。



ボルト及びナットの使用年数と軸力の関係

	サンプル数	平均	標準偏差	3年 左後輪	7年 左後輪	10年 左後輪
サンプル数				10	10	10
平均				135.6 kN	133.1 kN	111.4 kN
標準偏差				16.7 kN	24.9 kN	25.5 kN
3年 左後輪	10	135.6 kN	16.7 kN	—		
7年 左後輪	10	133.1 kN	24.9 kN	0.798	—	
10年 左後輪	10	111.4 kN	25.5 kN	0.024	0.070	—

ボルト及びナットの各使用年数間の軸力に関する2標本t検定結果

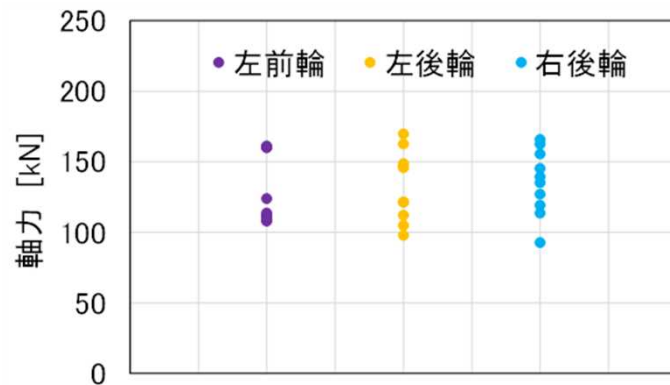
3年使用と7年使用では、軸力の平均値の差は2.5kNであり有意差は認められなかった。

3年使用と10年使用では、軸力の平均値の差は24.2kNであり5%の有意水準で有意差が認められた(緑色セル)。7年使用と10年使用の比較では、軸力の平均値の差は21.7kNであったが限界値5%をわずかに超えていて有意差なしと判定された(黄色セル)。

試験3の結果

○使用場所と軸力の関係

表に各使用場所間の2標本t検定結果を示す。



ボルト及びナットの使用場所と軸力の関係

	サンプル数	平均	標準偏差	7年 左後輪	7年 左前輪	7年 右後輪
サンプル数				10	10	10
平均				133.1 kN	127.1 kN	135.6 kN
標準偏差				24.9 kN	23.5 kN	23.1 kN
7年 左後輪	10	133.1 kN	24.9 kN	—		
7年 左前輪	10	127.1 kN	23.5 kN	0.583	—	
7年 右後輪	10	135.6 kN	23.1 kN	0.819	0.423	—

ボルト及びナットの各使用年数間の軸力に関する2標本t検定結果

すべての条件間で有意差の限界値5%を大きく越えていることから有意差が認められなかった。

試験3の結果に対する考察

- ・使用年数が3年と10年のホイール・ボルト、ナットの軸力の平均値に差が認められたことから、7年を超える使用で軸力が低下する可能性が考えられる。
- ・左前輪、左後輪、右後輪で7年使用されたボルト、ナットでの軸力を比較したところ、使用箇所による明確な軸力の差は見られず、取り付けられている車輪の位置は、ボルト、ナットの劣化度合いに影響を与えないと考えられる。

性能確認試験結果の考察

- ・本試験の結果を踏まえると、ボルト及びナットの清掃及び給脂に関しては、ナットを繰り返し締め付けることにより生じるボルト、ナットの劣化を抑止する効果が高いと考えられる（試験1）。
- ・一方で、使用過程時のボルトやナットの状態が異なるためばらつきはあるものの、総じてナットを新品と交換した場合軸力が大幅に上昇すること、清掃及び指定箇所への給脂は一定程度の軸力向上が認められるものの、ナットを新品と交換した場合までは回復しないことが確認された（試験2）。
- ・さらに、使用年数が10年のナットは使用年数3年のナットに比較して軸力が低下する傾向がみられたことから、使用経過年数によりナットの劣化が一定程度進むと考えられ、試験2の結果も踏まえると、その場合にあっては劣化したナットを新品に交換することによる軸力の回復について検討すべきと考えられる（試験3）。

以下ご参考

試験1の繰り返し締め付け試験用ホイール・ボルト、ナットは、市場で購入したISO方式の新品のものを使用した。



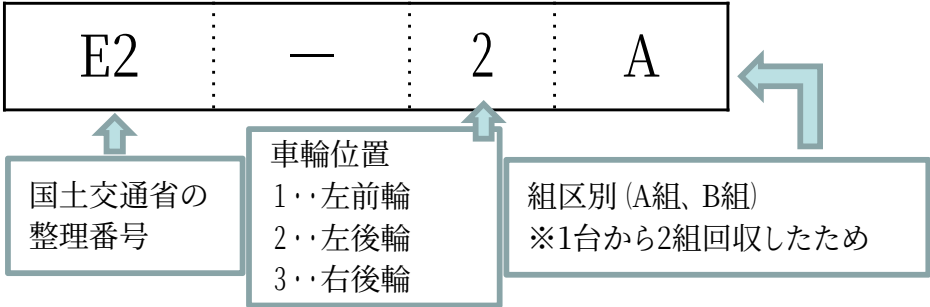
試験1で使用したホイール・ボルト、ナット

試験2で使用したホイール・ボルト、ナットの例 (使用年数: 7年、装着部位: 左後輪)

番号(メーカー)	写真		
E2-2A (A 社)			

試験2で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 7年、装着部位: 左後輪

供試体の記号



試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例を示す。

番号(メーカー)	写真		
L-2A (A 社)			

試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 3年、装着部位: 左後輪

番号(メーカー)	写真		
E2-1A (A 社)			

試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 7年、装着部位: 左前輪

番号(メーカー)	写真		
C-2A (A 社)			

試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 7年、装着部位: 左後輪

番号(メーカー)	写真		
H-1A (A 社)			

試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 7年、装着部位: 右後輪

番号(メーカー)	写真		
J-2A (A 社)			

試験3で使用したホイール・ボルト、ナットの例
使用年数: 10年、装着部位: 左後輪

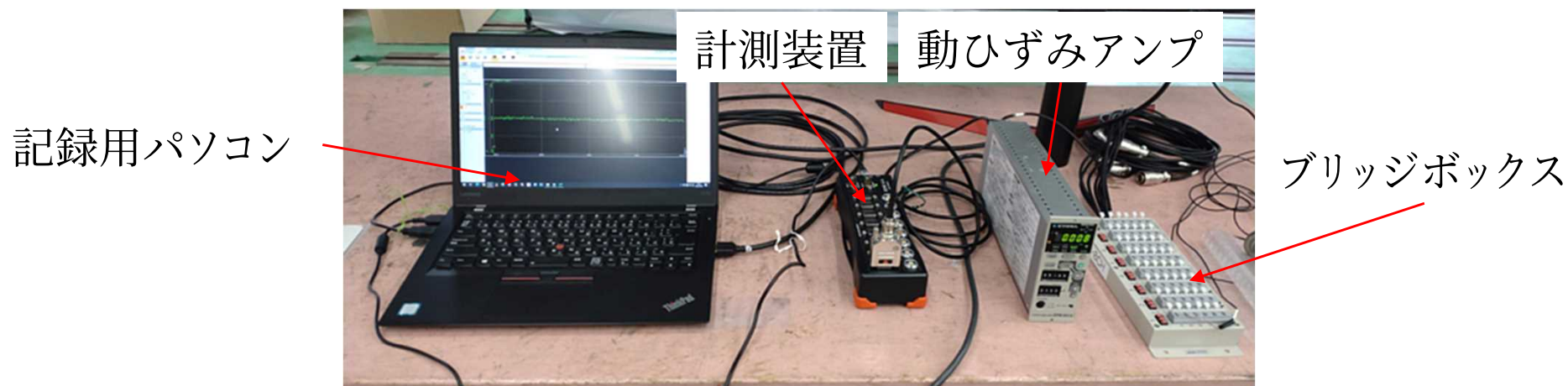
計測装置等

ナットの締め付けは、最小 $100\text{N}\cdot\text{m}$ から最大 $600\text{N}\cdot\text{m}$ (規定トルク) まで段階的に行うため、測定範囲の異なる2種類のトルクレンチを用いた。トルクレンチには締め付け時のトルク値が表示される機能が備えられている。トルクレンチの外観を示す。



ナット締め付けに使用したトルクレンチ

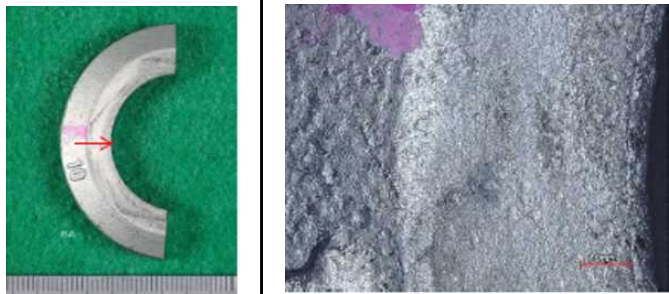
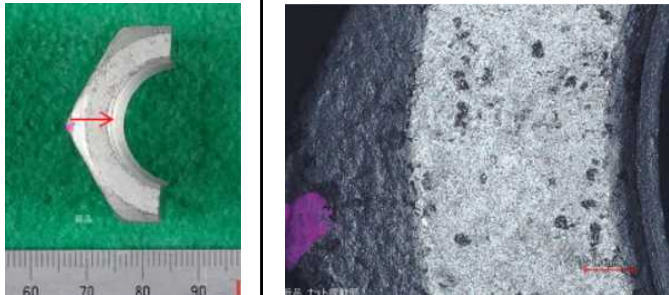
ナット締め付け時のボルトの軸力計測はブリッジボックス (1ゲージ3線法) 及びストレインアンプ (動ひずみアンプ) を介して記録装置にデータを収集した。ブリッジボックス及びストレインアンプ等、使用した計測器を示す。



試験に使用した計測器

指定箇所に給脂をしても軸力の向上が見られないものもあった。これはナット摺動部の接触面が過度に損耗していた可能性が考えられる。

条件4で軸力が回復しなかった供試体のワッシャー、ナットを分割した拡大写真を示す。

部位 \ 供試体	新品	E2-2A
ワッシャー摺動部 外観写真と拡大写真		
ナット摺動部 外観写真と拡大写真		

給脂により軸力が回復しなかった供試体については、ナット摺動面の表面状態が給脂による潤滑効果が得られないほど損耗していた可能性も考えられるが、当該摺動部の摩擦係数等についてのデータがないため、あくまで推測とする。