

ホイールボルトナットへ塗布する潤滑剤の開発について

1. はじめに

ボルトの折損の原因は疲労破壊によるものであるが、その要因は様々で、過剰締め付けや部品の劣化不良、過積載による過度な荷重や錆による摩擦過大その他多くの因子が挙げられる。これら要因により疲労破壊が進行することになるが、ホイールボルト折損事故まで至るケースにおいては、これら要因が重複し発生することにより疲労破壊が急速に進みホイール折損したと推測される。

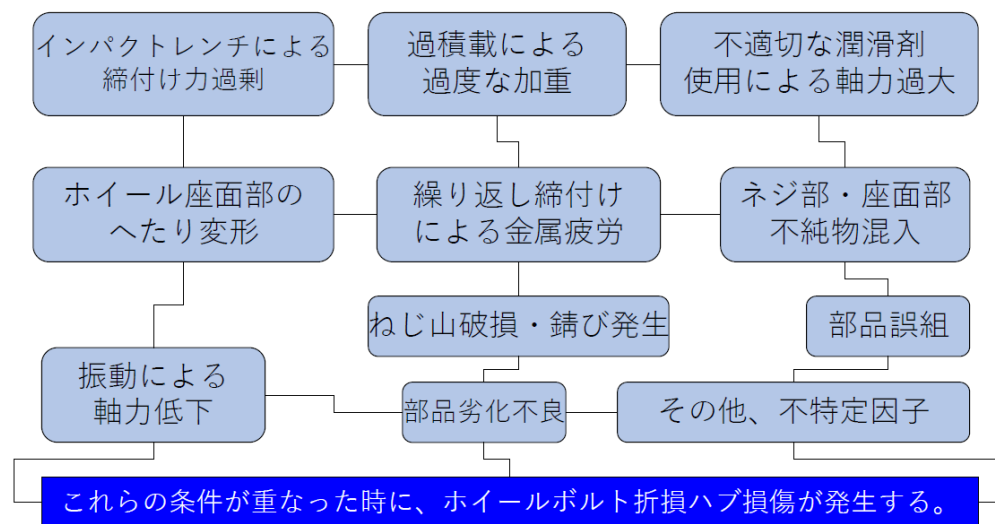


図-1 ホイールボルト折損の要因

したがってこれら要因を一つずつ取り除いていくことにより、各部疲労の進行を抑制し予想外の要因が発生しても疲労破壊まで至らない状況を確保することが可能となる。についてはホイールボルト折損による事故を撲滅することに繋がると考えられる。

本研究では大型ホイールボルトに塗布する油脂類が大型車の走行安全性に与える影響に着目した。大型車ホイールボルト折損の発生要因を取り除く為にはどのような油脂類を塗布すべきかを考察し評価方法を検討、実際にその評価方法に則り試験を行うことにより、大型車ホイールボルトに塗布する油脂類として適切な油脂類の検証を行った。

2. ボルトナット締結時の潤滑剤選定の重要性

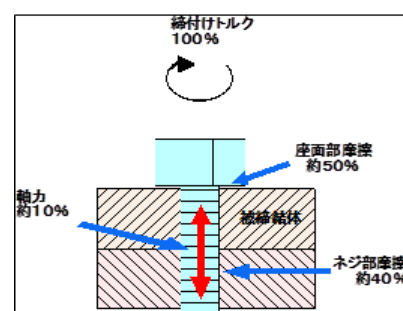
私たちはナットを回転させトルクを与えることによりボルトに軸力を発生させ被締結体を固定する。非締結体を固定するために必要となるのは軸力であるが、与えたトルク（ナットを回転させるエネルギー）がすべて軸力に変換されることはなく、その約90%は座面部摩擦、ネジ部摩擦によって失われ、軸力として被締結体に作用しているエネルギーは約10%であるといわれている。このことは座面部の摩擦状態、ネジ部摩擦状態によりトルク係数が大きく変化し結果軸力に大きく影響を与えることを意味する。ゆえに、座面部及びネジ部の摩擦状態に大きな影響を与える潤滑剤は軸力に与える影響が大きくそしてその役割は想像以上に大きいといえる。

図-2 締め付けトルクと軸力の関係

3.1 トルク法締め付けについて

大型車ホイールボルトナットでは、トルク法締め付けにて軸力管理を行うことが一般的となっている。

トルク法締め付けの特性として、弾性域にて締め付けを行うため繰り返し締め付けに適しており比較的軸力管理が容易であるなどの長所が挙げられる。しかしながらトルク法による軸力管理の短所として、ネジ面摩擦の状態、座面部摩擦の状態にばらつきが生じると同一の軸力が得られないケースが生じてくる。



3.2 ねじの緩みについて

いかなるネジにおいても、ネジの緩み（軸力の低下）は発生する。ねじの緩みには大きく分けて次に記載した2種類の緩みがあるとされる。

（1）ナットが回転しないで発生する緩み

ナット座面部被締結体当たり面凹凸の初期へたり（以下初期緩み）、ナット/被締結体の当たり面の陥没などにより発生

（2）ナットが回転して発生する緩み

外力が加わるとナットは緩む方向に回転し発生し、外力、ネジ部座面部の状態に起因し発生する。

3.3 ホイールボルトナットに塗布する潤滑剤に求められる要因

ホイールボルトナットに塗布する潤滑剤は、トルク法締め付けの短所を補い、緩みによる軸力低下をなるべく抑えることができる潤滑剤が適切であるといえる。

したがって、次に挙げる要因を出来る限り、安定化・低減化が可能となる潤滑剤がホイールボルトナットに塗布する適切な潤滑剤であるといえる。

- （1）トルク法による締め付け時の軸力の安定性。
- （2）繰り返し締め付けを行ったときの軸力の安定性。
- （3）振動によるねじ緩みによる軸力低下。
- （4）錆による腐食を抑制する。

* 実際の車両においては錆の発生がネジ部座面部の摩擦状態を不安定化し、また部品の劣化につながる大きな要因として考えられるため、4番目に「錆の抑制」を考慮すべきと考えた。

4. ホイールボルトナットに塗布する潤滑剤の評価方法及び試験結果

先に記述したホイールボルトナットに使用する潤滑剤に求められる要因について検証を行うことで、より総合的にホイールボルトナットに塗布する潤滑剤を判断することが出来ると考えた。試験試料として現在ホイールボルトナットの塗布剤として広く使用されているエンジンオイル及び当社製品ボルトナット安定化剤について各試験を行った。

4.1 トルク法による締め付け時の軸力の安定性評価方法

本研究では次に挙げる2つの試験機による測定試験によりトルク法による締め付け時の軸力の安定性評価を行った。

- (1) ねじの締め付け試験機による軸力測定試験
- (2) 大型車ホイールハブ・JISホイールボルトナット実機を使用した軸力測定試験

4.1.1 ねじの締め付け試験機概要

試験機 : ねじ締め付け試験機 型式、SS-200M-4 メーカー、美晴工商

試験機本体の試料取り付け部に試料（ボルト、ナット）をセットして駆動モータにより締め付けを行う。その際の締め付けトルク、締め付け軸力、締め付け回転角をリアルタイムで測定することができる。

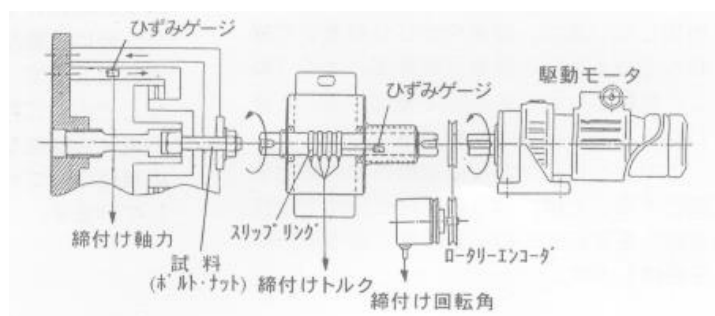


図-3 ねじの締め付け試験機

4.1.2 ねじの締め付け試験条件および試験方法

試験ボルト : 材質 SCM40 強度区分 4.8 M12

試験ナット : テーパー六角ナット

座面板 : スチールホイールで測定

試験試料 : エンジンオイル (10W-30)、ボルトナット安定化剤、無塗布 (ブランク)

締め付けトルク : 100N・m

試験方法

ボルトナットのネジ部、座面部に試験試料を塗布する。

試験機に試験試料を塗布したボルトナットをセットする。

締め付けを行った際の軸力を測定する。

4.1.3 ねじの締め付け試験機による試験結果

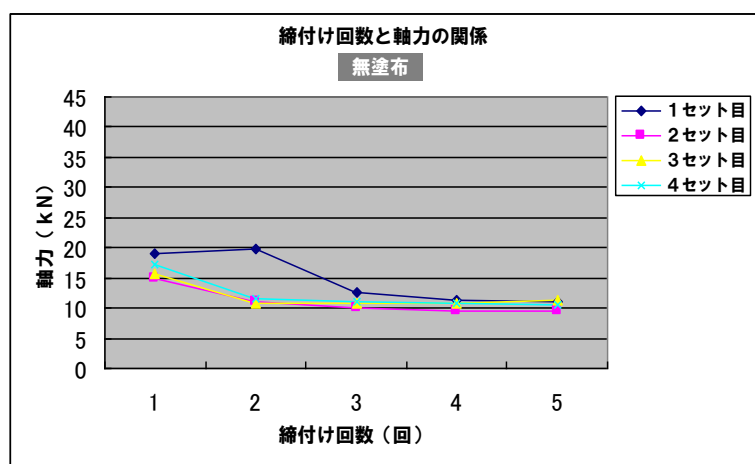
*1セット（ボルトナット）をネジの締め付け試験機にて 100Nm 締め付け時の軸力を 5 回行う。

*上記 1 セット作業を 4 セット行う。

表-1 無塗布での軸力測定結果（kN）

締め付け回数	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
1 セット目	19.1	19.8	12.5	11.3	11.1
2 セット目	15.0	11.1	10.1	9.6	9.6
3 セット目	15.7	10.8	10.7	10.7	11.3
4 セット目	17.3	11.5	11.0	10.8	10.5
平均値	16.8	13.3	11.1	10.6	10.6

平均値 (N=20) = 12.5 (kN) 標準偏差 (σ) = 3.04

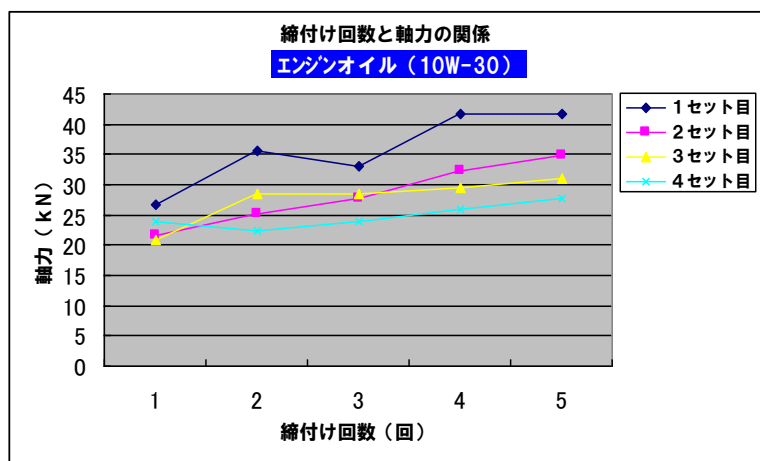


グラフ-1 締め付け回数と軸力の関係（無塗布）

表-2 エンジンオイルでの軸力測定結果（kN）

締め付け回数	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
1 セット目	26.8	35.5	33.0	41.6	41.8
2 セット目	21.7	25.2	27.7	32.2	34.8
3 セット目	20.8	28.5	28.6	29.5	30.9
4 セット目	23.8	22.3	23.8	25.9	27.8

平均値 (N=20) = 29.1 (kN) 標準偏差 (σ) = 5.83

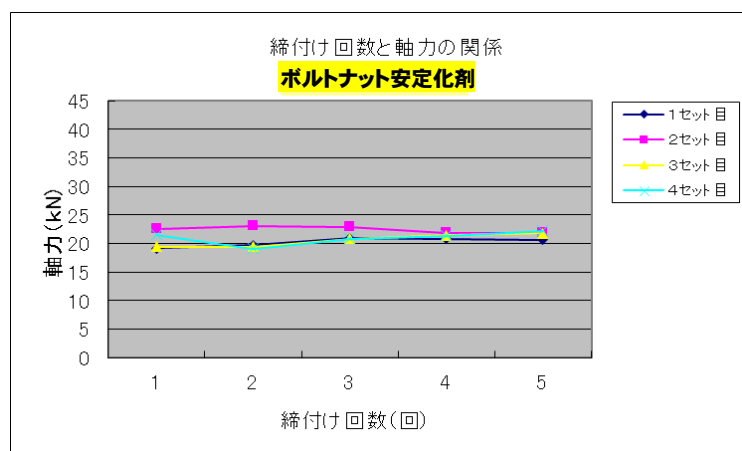


グラフ-2 縮付け回数と軸力の関係 (エンジンオイル)

表-3 ボルトナット安定化剤での軸力測定結果 (kN)

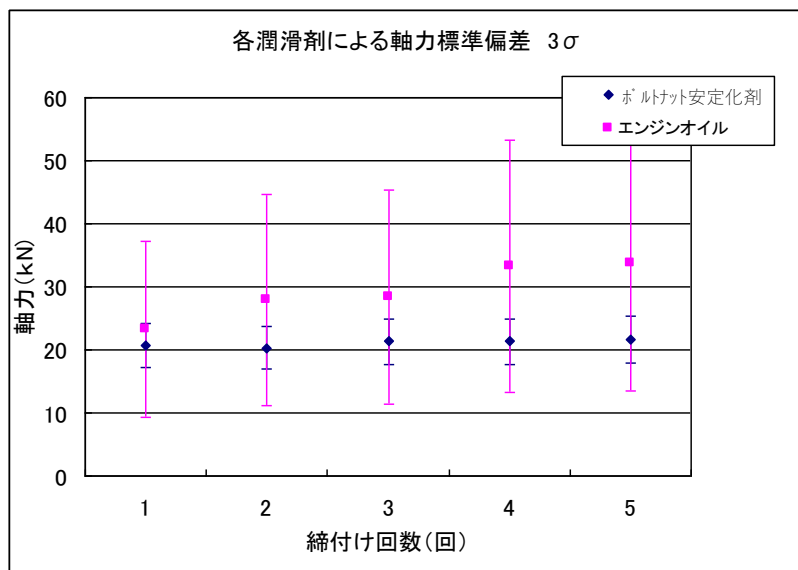
縮付け回数	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
1 セット目	19.2	19.7	20.9	20.8	20.6
2 セット目	22.6	23.1	22.9	21.9	21.9
3 セット目	19.4	19.4	20.8	21.4	21.8
4 セット目	21.5	19.1	20.8	21.3	22.2

平均値 (N=20) = 21.1 (kN) 標準偏差 (σ) = 1.20



グラフ-3 縮付け回数と軸力の関係 (ボルトナット安定化剤)

エンジンオイルの平均値は 29.1 kN、ボルトナット安定化剤の平均値は 21.1 kN となり、ボルトナット安定化剤はエンジンオイルと比較し 27.5%平均軸力が低下したが標準偏差 σ 値は平均して 79.4%程度低減できた。また、標準偏差 $\pm 3\sigma$ まで考慮すると、ボルトナット安定化剤の軸力値はエンジンオイル軸力値に含まれることとなる。(グラフ-4 参照)



グラフ-4 各潤滑剤の軸力のばらつき (3σ)

4.1.4 大型車ホイールハブ・JIS ホイールボルトナット実機を使用した軸力測定試験結果

今回、大型車ホイールハブ・JIS ホイールボルトナット実機を使用した軸力測定を行うため、神戸大学海事科学研究科福岡教授ご指導のもとホイールボルト締め付けトルク-軸力関係を測定するために作成した実験装置を利用させていただいた(図-4参照)。実験装置は実機のハブとブレーキドラムを用いて締結部を構成し、それらを蜂の巣定盤に挿入して固定している。実験に使用したホイールボルトは、軸力測定用のひずみゲージを貼り付けるためにインナーナットの内側のねじとかみ合わない部分のねじを削って円柱形に加工する(写真-1参照)。正面に見えている溝はひずみゲージのリード線を取り出すことを目的としており、ボルト軸心に沿って加工した小さな穴を通して車軸中心側のドラムナット側から取り出す構造となっている。ひずみゲージの出力は静ひずみ計を介してパソコンにて軸力の数値が計算表示される。インナーナットとアウターナットは、ホイール専用のトルクレンチを用いて締め付けることとした。

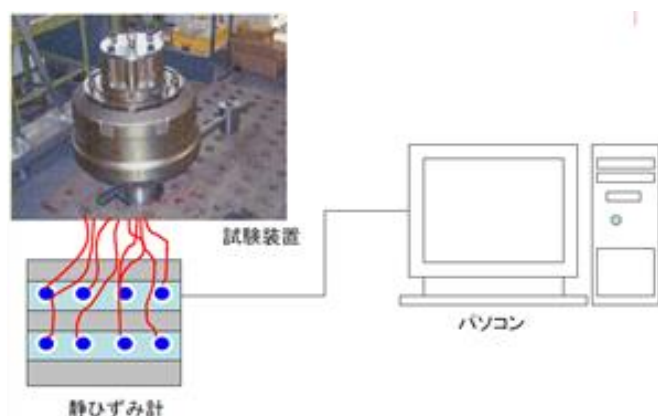


図-4 大型車実機を使用した軸力測定試験機



加工前 測定箇所ネジ部除去 ひずみゲージを貼付 写真-1 ホイールボルトへのひずみゲージ貼付け方法

4.1.5 ねじの締め付け試験条件

締め付けトルク : 600N・m

試験ボルトナット : JIS 方式ホイールボルトナット (インナー・アウター)

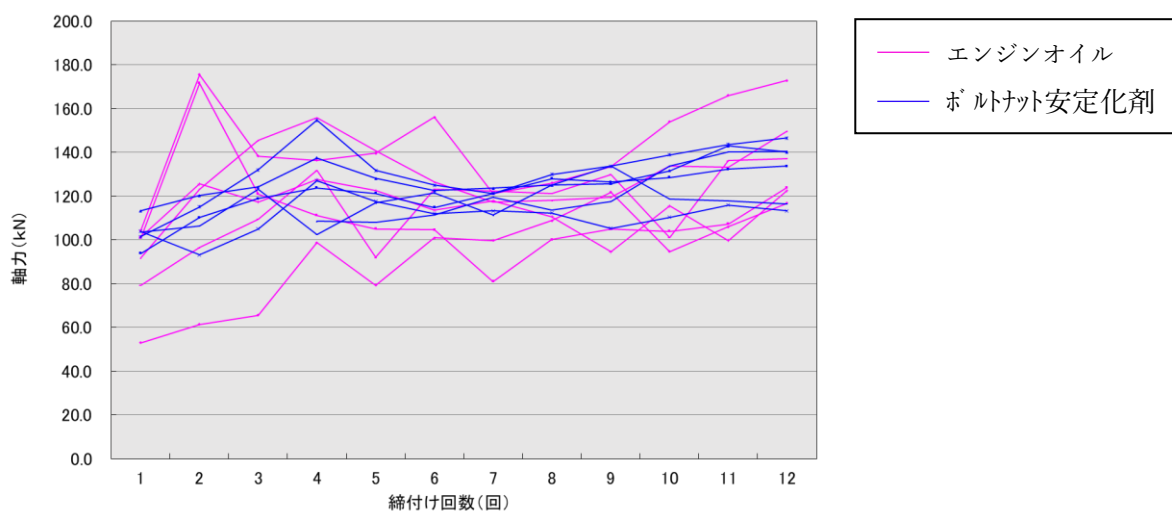
座面板 : JIS 方式スチールホイール

試験試料 : エンジンオイル (10W-30)、ボルトナット安定化剤

トルクレンチ : 東日製トルクレンチ

4.1.6 大型車ホイールハブ・JIS ホイールボルトナット実機を使用した軸力測定試験による測定結果

インナーナット軸力測定結果



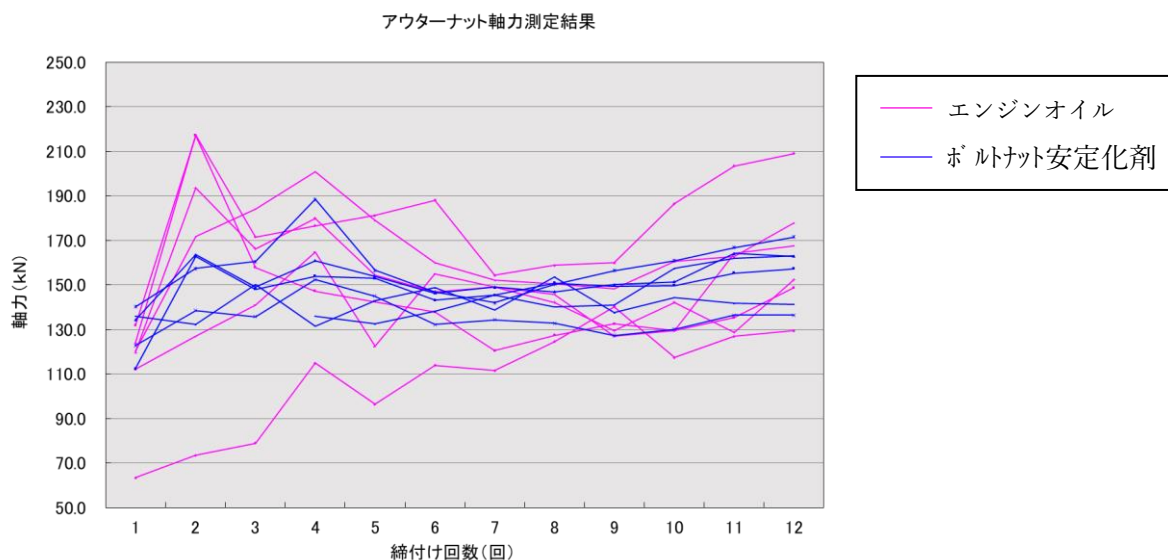
グラフ-5 インナーナット締め付け後のボルト軸力実測値

表-4 インナーナット測定数値集計

	平均値 (kN)	標準偏差 (σ)	最大値 (kN)	最小値 (kN)
エンジンオイル	117.66	24.55	175.60	53.00
ボルトナット安定化剤	121.50	12.63	154.70	93.10

エンジンオイル N=72

ボルトナット安定化剤 N=69 * ボルトのひずみゲージ接触不良により測定不可が N=3 あったため



グラフ-6 アウターナット締め付け後のボルト軸力実測値

表-5 アウターナット測定数値集計

	平均値 (kN)	標準偏差 (σ)	最大値 (kN)	最小値 (kN)
エンジンオイル	147.63	31.04	217.30	63.40
ボルトナット安定化剤	147.14	12.56	188.50	112.40

エンジンオイル N=72

ボルトナット安定化剤 N=69 *ボルトのひずみゲージ接触不良により測定不可がN=3あったため

4.1.7 トルク法による締め付け時の軸力の安定性評価

ねじの締め付け試験機による測定及び、大型車ホイールハブ・JIS ホイールボルトナット実機を使用した軸力測定の試験結果より、軸力の標準偏差値（ばらつき）は小さな値となり、したがって、ボルトナット安定化剤を使用することでよりトルク法締め付けを行った際より安定した軸力を得ることができるといえる。

4.2.1 ねじ緩みとボルトナットに塗布する潤滑剤

ねじの緩みの問題はボルト締結体の種々の力学的特性の中でも最も難しい問題とされる。また、潤滑剤によりこの問題を完全に解決することは難しいとは言ってもないが、潤滑剤の種類によって、ねじの緩みを低減することはできると考えた。「3.2 ねじの緩みについて」の項目にて記載した通りねじの緩みには大きく分けて2種類の緩みがあり、ナットが回転しないで発生する緩みともう一つは、ナットが回転して発生する緩みである。ナットが回転しないで発生する緩みは、ナット座面部被締結体当たり面凹凸の初期へたり（以下初期緩み）、ナット/被締結体の当たり面の陥没などであるがゆえに潤滑剤によりこれらの緩みを低減することはできない。

対してナットが回転して発生する緩みは、外力が加わるとナットは緩む方向に回転し発生し、外力とネジ座面部の摩擦状態に起因するため潤滑剤の種類によっては低減できると考えられる。

当然ホイールボルトナットに塗布する潤滑剤は、緩みの発生が少ない製材、外力が加わった際にもナットが回転する緩みの発生が低減できる製材が適切であるといえる。

4.2.2 外力が加わった際のねじの緩みの評価方法

潤滑剤の種類によるねじの緩みの評価を行うためには同一の外力を加える必要がある。今回は、高速ネジの振動緩み試験機を用いて一定の振動を加えることにより同一の外力とし、潤滑剤種類によるネジの緩みやすさを判断することとした。

4.2.3 高速ねじの振動緩み試験機概要

今回利用したボルトナット振動緩み試験は NAS3350 準用の試験機で、ナット回転によるネジの緩みを評価する際に広く利用される試験機である。

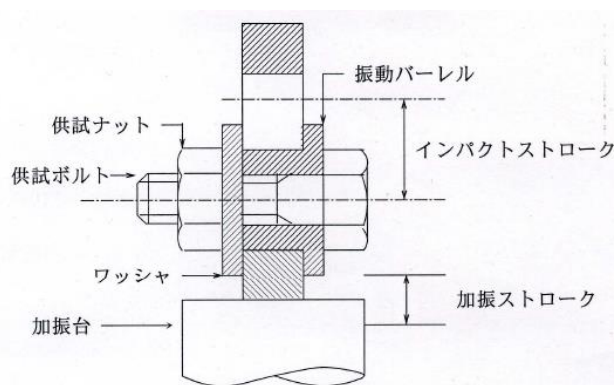


図-5 高速ねじの振動緩み試験機原理



写真-2 高速ねじの振動緩み試験機

振動バーレルとワッシャを規定トルクで試験ナット及びボルトで締結する。これらを試験機にセットし、加振台を一定の振動数、ストローク（加振ストローク）で振動させるとその振動が振動バーレルに伝わり、試験ボルトナットはインパクトストロークの大きさに応じてボルトが上下に振動することとなる。高速ねじの振動緩み試験機により同一のボルトナット、一定の振動を一定時間加えることにより各潤滑剤のナット回転によるネジの緩みの評価を行った。

4.2.4 ねじの振動緩み試験条件

次の条件により、ねじの振動緩み試験を行った。

振動数：1780rpm

加振ストローク：11mm

インパクトストローク：19mm

締め付けトルク：500N・m

試験試料：エンジンオイル 10W-30、ボルトナット安定化剤

六角ボルト：M24 強度区分 10.9

ゆるみの判定は、試験ボルト、試験ナット及びワッシャーの合マークがずれ、ワッシャーが手で回せるようになった時を緩んだとする。17 分間振動を加え、緩まなかった時は戻しトルクを測定する。

4.2.5 ねじの振動による緩み試験結果

表-1 ねじの振動緩み試験結果

試料名	試料 No.	締付けトルク (N・m)	結果	戻しトルク (N・m)
ボルトナット 安定化剤	1	500	17 分間緩まなかった	320
	2	500	17 分間緩まなかった	560
	3	500	17 分間緩まなかった	460
	4	500	17 分間緩まなかった	475
	5	500	17 分間緩まなかった	570
エンジンオイル 10W-30	1	500	17 分間緩まなかった	380
	2	500	5 分で緩んだ	—
	3	500	3 分で緩んだ	—
	4	500	17 分間緩まなかった	400
	5	500	17 分間緩まなかった	400

エンジンオイルを塗布したボルトナットは 5 本中 2 本が完全に緩んだが、ボルトナット安定化剤を塗布したボルトナットでは 5 本中すべて緩みは発生しなかった。ボルトナット安定化剤はエンジンオイルと比較し、振動による緩みの発生を低減することができる、ゆえにボルトナット安定化剤を使用することによりナットが回転する緩みの発生が低減できるといえる。







4.3 錆の発生とボルトナットに塗布する潤滑剤

錆の発生は海岸沿岸地域、降雪地域で特に問題とされる。海水塩分を含んだ湿気、融雪剤（塩化カルシウム）など塩化ナトリウム、塩化カルシウムにより錆の発生が促進され、他地域よりも錆による金属腐食の進行がはやい。特にホイールボルトナットは、走行時の跳ね水や雨等に最もさらされる部品となるため、錆の発生が多くみられる。座面部・ねじ部の表面などねじを締め付ける際、摺動する箇所に錆が発生すると摩擦抵抗が増大したり、金属表面を摩耗したりしてトルク法による締め付け時、軸力不足となる可能性がある。また、赤錆は金属内部に浸食するため部品強度低下の原因にもなる。従って、錆を低減することはトルク法締め付けの際安定した軸力を得るため、ボルト折損を防止するためには必要な要因となっていることは明確である。

4.3.1 錆の発生評価方法

先に述べたとおりホイールボルトナットの錆の発生原因の多くは海水塩分を含んだ湿気、融雪剤（塩化カルシウム）など塩化ナトリウム、塩化カルシウムによるものと考えられる。ゆえに錆の評価方法として JIS Z 2371 に規定される塩水噴霧試験が適当であると考えた。試験概要については、JIS Z 2371 準用のため詳細についてはここでは省略する。

4.3.1 塩水噴霧試験結果

塩水噴霧試験開始前表面状態		
		
無塗布表面状態	エンジンオイル 表面状態	ボルトナット安定化剤 表面状態
塩水噴霧試験 24H 後表面状態		
		
無塗布表面状態	エンジンオイル 表面状態	ボルトナット安定化剤 表面状態

塩水噴霧試験結果より、ボルトナット安定化剤はエンジンオイルと比較し錆の発生を低減できるといえる。

5. まとめ

今回行った各評価試験の試験結果より、ホイールボルトナットに使用する潤滑剤として、ボルトナット安定化剤の有効性が確認できた。(ボルトナット安定化剤=トルクキープ開発段階名称)

6. さいごに

ホイールボルトナットに塗布する潤滑剤を考えることは、タイヤ脱落事故を防止することに繋がると考え本研究は始まった。

ホイールボルトは、タイヤの制動力を車両に伝える、エンジンの駆動力をタイヤに伝えるなどの役割を持ち、動力伝達の大動脈となっている。ゆえにホイールボルトは自動車で使用される多くの部品の中でも最も重要な部品であるといえる。したがって重要部品であるホイールボルトナットに使用する潤滑剤として適切な製材を使用することで車両の安全性が向上することは明らかである。

しかしながら、ホイールボルトナットに使用する適切な潤滑剤の定義は、トルク法による作業の短所を補うものであり、どのような環境下においてもネジの緩みを完全に止めるもの・劣化した部品をもとに戻すものにはなりえないため、大型車にかかわる方々の適切な対応があればこそ車両の安全が成り立つことも忘れてはならない。

以上