

# 大型車用ホイール誤組時の締め付けトルクとボルト軸力の関係(スチール・ホイールをアルミホイール用のホイール・ボルトで締め付けた場合の特性) \*

甲村 一貴<sup>1)</sup> 巨藤 誠<sup>2)</sup> 服部 幸廣<sup>3)</sup>

Relationship between the tightening torque and the bolt axial force under wrong assembling of wheels for large vehicles  
(Characteristics of axial force of wheel bolts in case of that steel wheels were tightened with aluminum wheel use bolts)

Kazuki Koumura Makoto Koto Yukihiro Hattori

We have investigated the axial force of wheel bolts (JIS type) which connect double steel wheels (inner wheel, outer wheel) for large vehicles under the lubricating conditions. Wheel bolts and inner nuts for aluminum wheel were used in this study to compare the results with that using ones for steel wheel. Firstly, under lubrications, the axial force after tightening inner wheel became greater than the results of using wheel bolts and inner nuts for steel wheel. Secondary, unrelated lubricating conditions, an increase of the axial force after tightening outer wheel extremely declined than the results of using wheel bolts and inner nuts for steel wheel. Thirdly, a gap between an inner wheel and an outer wheel was generated by using wheel bolts and nuts for aluminum wheel.

**KEY WORDS: Safety, Body structure, Accident investigation and analysis, wrong assembling, Lubrication (C1)**

## 1. 研究の背景と目的

図1に示すように、車両総重量8トン以上の自動車または乗車定員30人以上の自動車(以下、大型車)であって、車輪を取り付けるホイール・ボルトの折損またはホイール・ナットの脱落による車輪脱落事故は、平成16年度の発生件数<sup>(1)</sup>に迫る勢いで近年再度増加している。国土交通省は平成29年度に大型車の車輪脱落事故防止対策<sup>(2)</sup>の周知徹底を関係団体に通達しているが、通達翌年の平成30年度には81件もの脱落事故が発生しており歯止めがかかっている。

車輪脱落事故の原因のほとんどはホイール脱着時の整備不良である。具体的にはホイール取り付け時のホイール・ボルトの締め付けトルクが過少あるいは過大な場合や、取り付け用のホイール・ボルトと締め付け用のホイール・ナットの潤滑が不適切な場合、ホイールに適さないホイール・ボルトとホイール・ナットを使用した場合(いわゆる誤組)である。これらの整備不良によりホイール・ボルトの軸力が過少あるいは過大となる場合や、ホイール・ボルトに掛かるせん断力や曲げモーメントが増大して走行中に車輪が脱落する。

著者らは本学で図2に示すような大型車の車検整備を通し

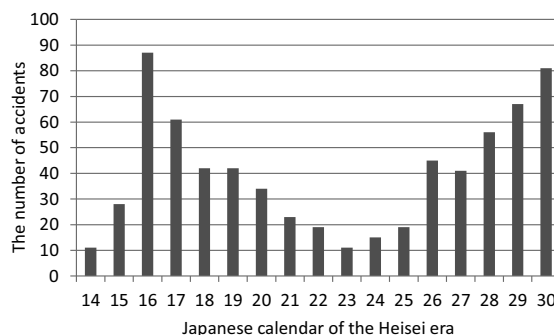


Fig.1 The number of tire coming-off accidents of large Vehicles

て、車輪脱落防止を強く意識した脱着作業の教育<sup>(3)</sup>を実践しており、これに関連する研究活動として、これまでに車輪脱落原因の一つであるホイール・ボルトおよびホイール・ナットの潤滑不良を取り上げ、JIS規格の後軸二輪車用ホイールに使用されているダブル・ホイール、ホイール・ボルト、ホイール・ナットを異なる潤滑条件で組み付け、ホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係を明らかにしている<sup>(4)</sup>。

本研究では、誤ってアルミホイール用のホイール・ボルトとホイール・ナット(インナ)を用いてJIS規格のスチール製ダブル・ホイールを組み付けた場合のホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係を調査し、それらの特性を定量的に明らかにする。

\*2020年9月14日受理。

第52回全国自動車短期大学協会研究発表会において発表。

1)・2)・3) 愛知工科大学自動車短期大学

(443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2)



Fig.2 Double-tire construction (rear axle)

## 2. 実験装置

図 3 にインナ・ホイールおよびアウト・ホイールを固定台の上で組み付けた実験装置の外観を示す (ハブおよびドラムはインナ・ホイール内部に隠れており見えない) . 図 4 にホイール・ナット (インナおよびアウト) 締め付け用の油圧レンチ (日本ブララド社製) を示す. この油圧レンチを用いて規定トルクまで段階的に締め付けていく. 図 5 に平面加工したホイール・ボルトの端面およびボルト端面に取り付けた超音波センサ (日本ブララド社製) を示す. また, アルミホイール用ホイール・ボルト, スチール・ホイール (インナおよびアウト), アルミホイール用インナ・ナット, アウト・ナット (アルミホイールとスチール・ホイール兼用) は全て新品を使用した.



Fig.3 An out view of experimental apparatus



Fig.4 Inner nuts and outer nuts tightened by oil pressure wrench

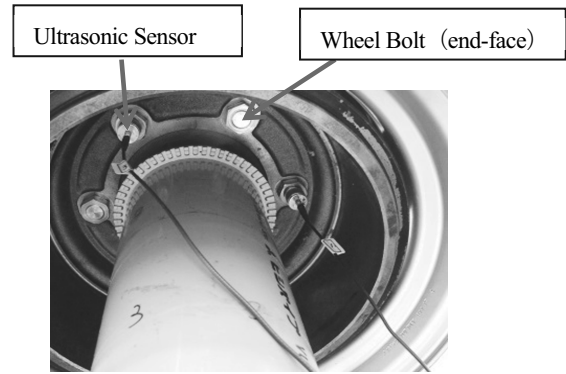


Fig.5 Ultrasonic sensors and end-faces of wheel bolts

## 3. ホイール・ボルトの荷重と伸びの関係

ホイール・ボルトとホイール・ナットを組み付けた状態で引張試験機に取り付け, 静的引張試験で得られた荷重と伸びの関係を図 6 に示す. 弾性領域であるため伸びと荷重は比例関係にある.

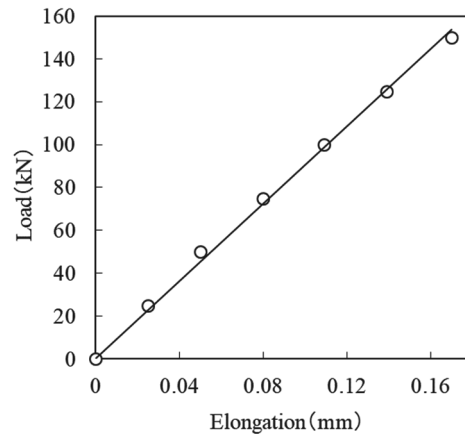


Fig.6 Relationship between load and elongation

## 4. 実験方法

インナ・ホイールをインナ・ナットで約 100Nm ごとに段階的に規定の締め付けトルク 400Nm まで締め付けながらホイール・ボルトの伸びを測定後, アウト・ホイールをアウト・ナットで約 100Nm ごとに段階的に規定の締め付けトルク 400Nm まで締め付けながらホイール・ボルトの伸びを測定した.

なお, ナットの締め付け順序は毎回同一とし, 伸びを測定するホイール・ボルトは全 6 本中の 3 本 (1 本おき) とした. 潤滑条件は正規の潤滑方法である「エンジン・オイル潤滑」, 潤滑忘れを想定した「無潤滑」, 使用が禁止されている「二硫化モリブデン入りグリース潤滑」とした. また, 一連の実験を 1 回行った後は分解して十分な清掃・脱脂を行い, 異なる潤滑条件下で繰り返し 3 回ずつ行った. そして, 得られた伸びを静的引張試験で求めたホイール・ボルトの荷重と伸びの関係をを用いて軸力に換算し, ボルトの締め付けトルクと軸力の関係を整理した.

また、著者らは、潤滑状態以外にインナ・ホイール座面とインナ・ホイール側のインナ・ナット座面の接触状態、およびアウト・ホイール側のインナ・ナット座面とアウト・ホイール座面の接触状態がホイール・ボルトに生じる軸力に影響すると考え、接触する座面に光明丹を塗布して組み付けを行い、正規組み付け時と誤組時の接触状態を調査した。図 7(a)に光明丹を塗布したインナ・ホイール座面を示し、図 7(b)にインナ・ナット座面に光明丹を塗布している様子を示す。また、同様の方法でアウト・ホイール側のインナ・ナット座面とアウト・ホイール座面の接触状態の調査を行った。

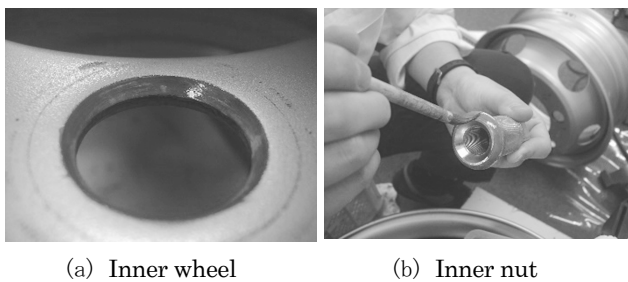


Fig.7 Contact surface of a wheel and a nut

## 5. 実験結果と考察

### 5.1. ホイールとナットの接触状態

光明丹を用いて接触状態を調査した結果に基づいて描いた正規組み付け時および誤組時の断面図を図 8(a) (b)に示す。

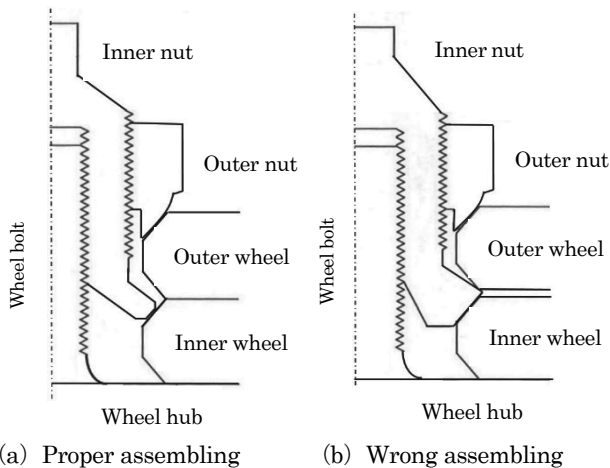


Fig.8 Longitudinal sections of assembled wheels and nuts

正規組み付け時は、インナ・ホイールをインナ・ナットで締め付けるとインナ・ナットの座面がインナ・ホイールの座面に接触するため、インナ・ホイールとハブが締結される。また、アウト・ホイールをアウト・ナットで締め付ける際、アウト・ホイールはインナ・ナットの座面と接触せずインナ・ホイールと面接触する<sup>(1)</sup>。したがって、アウト・ナットはアウト・ホイールを介してインナ・ホイールをハブに押し付ける。一方、

座面部が大きいアルミホイール取り付け用のインナ・ナットを用いた誤組時も正規組み付け時と同様、インナ・ホイールをインナ・ナットで締め付けると、インナ・ナットの座面がインナ・ホイールの座面に接触してインナ・ホイールとハブが締結されるが接触面積は大きい。しかし、誤組時は正規組み付け時と異なり、アウト・ホイールをアウト・ナットで締め付けてもインナ・ホイールとアウト・ホイールは接触せず隙間が生じる。

### 5.2. 正規組み付け時と誤組時の軸力の特性

図 9(a)～(c)にボルト No. 1, 図 10(a)～(c)にボルト No. 3, 図 11(a)～(c)にボルト No. 5 の締め付けトルクと軸力の関係を示す。また、比較のために、スチール・ホイール取り付け用のインナ・ナットでの結果<sup>(4)</sup>の一部を図 12(a)～(c)に示す。いずれの図中の実線もインナ・ホイール、アウト・ホイールの各々において、規定トルクまで順次締め付けて測定した伸びから求めた軸力の平均値と締め付けトルクとの関係を 2 次式で回帰した曲線である。

インナ・ナット締め付け時の軸力については、無潤滑の場合は正規組み付け時と誤組時の値がほぼ同じであるのに対して、エンジン・オイル潤滑、モリブデン潤滑の場合は共に誤組時の値が約 20 kN 増大している。これは、インナ・ナットの座面とインナ・ホイール座面の接触面積の増大が面圧を低下させたためであると考えられる。

また、潤滑状態に関係なく、アウト・ナットの締め付けによる軸力の増大はほとんど生じていない。これは、前述したアウト・ホイールとインナ・ホイールの隙間(図 13)により、アウト・ナットでアウト・ホイールを締め付ける力がインナ・ホイールおよびハブに伝達されないためである。したがって、アウト・ホイールはホイール・ボルトの軸力で固定されるのではなく、主にインナ・ナットとアウト・ナットによる圧縮応力で固定されていると考えられる。

ホイールの隣り合うボルト穴の間(6箇所)で、シックネス・ゲージを用いて測定(0.05mm刻み)した隙間を表 1(a)～(c)に示す。いずれの潤滑状態においても、誤組により隙間が 1.8 mm 程度生じており、走行中はホイール・ボルトに過剰な負荷がかかりボルトが折損することが考えられる。また、アウト・ホイールの締め付けによりこの隙間が約 0.2mm 減少しているが、これは、接触しているアウト・ホイールとインナ・ナットの座面間に鉛直方向の滑りが生じているためであると考えられる。

図 14 に光明丹をアウト・ホイールの座面に塗布して組み付け、分解した後のインナ・ナット座面を示す。アウト・ホイールの座面に塗布した光明丹はインナ・ナット座面の外周部にだけ転写されており、双方は線接触状態にあることから、アウト・ナットによりアウト・ホイールが十分な締め付け力を取り付いていない可能性がある。しかし、本研究ではこの締め付け力を測定していないため今後の課題としたい。

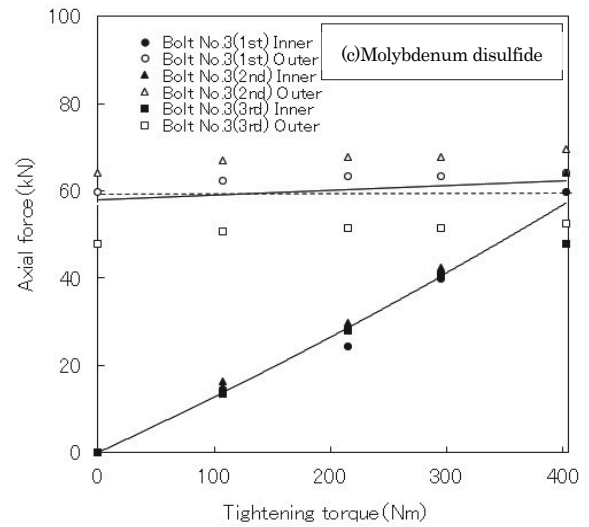
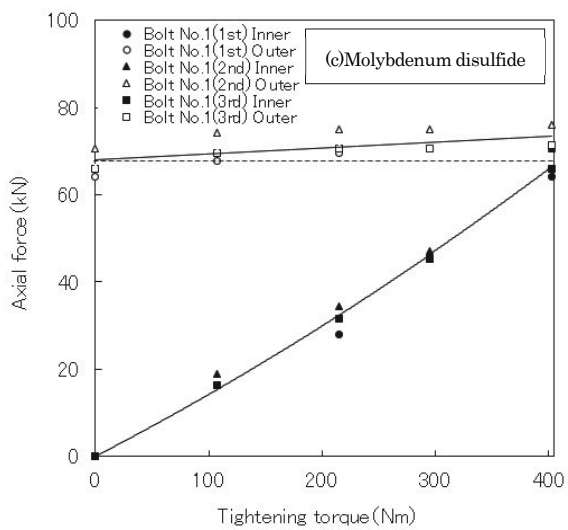
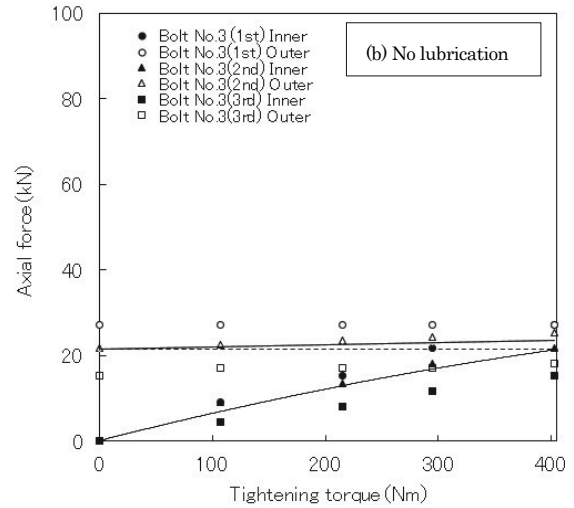
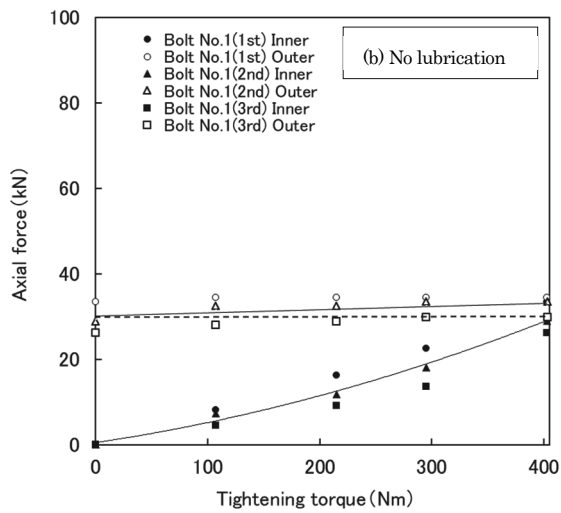
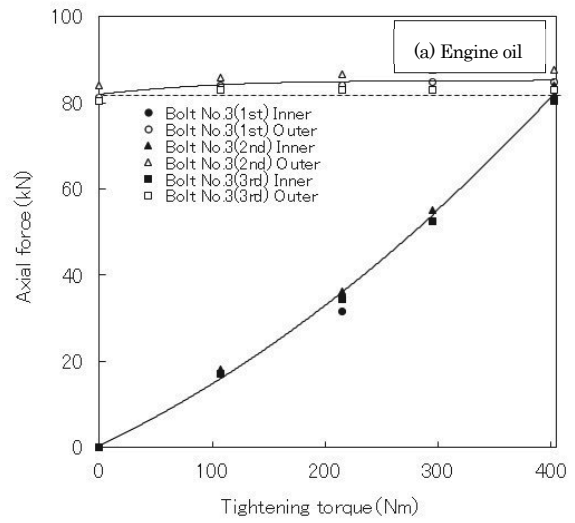
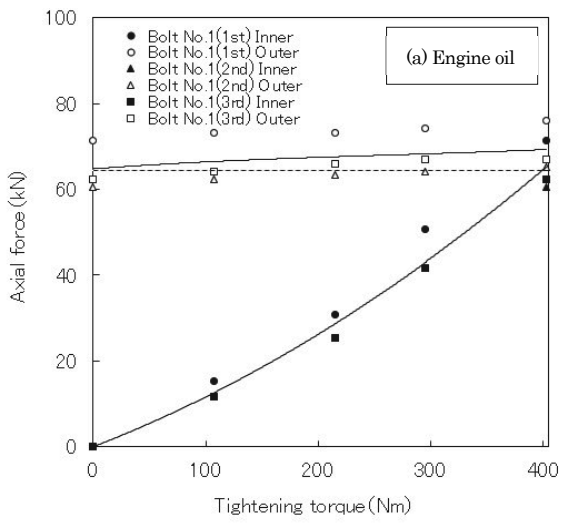


Fig.9 Relationship between axial force and tightening torque (Inner nuts for aluminum wheel are used)

Fig.10 Relationship between axial force and tightening torque (Inner nuts for aluminum wheel are used)

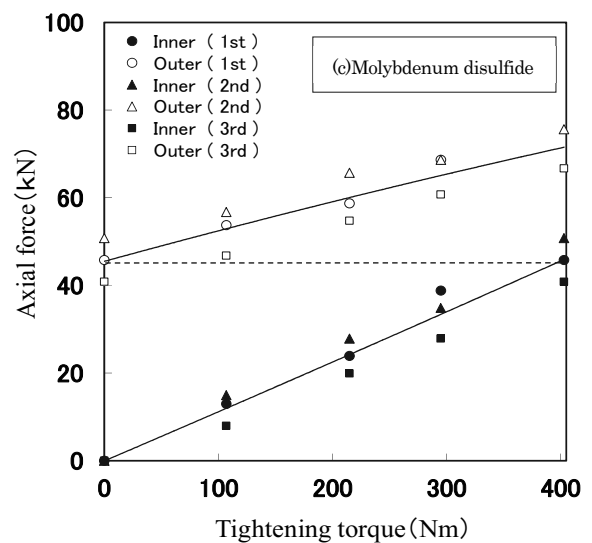
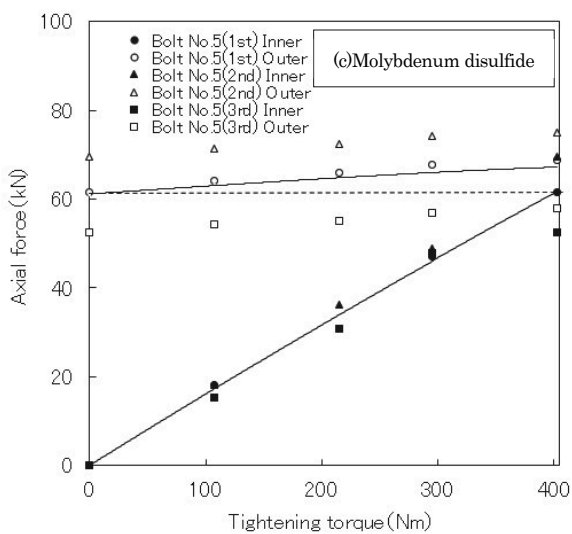
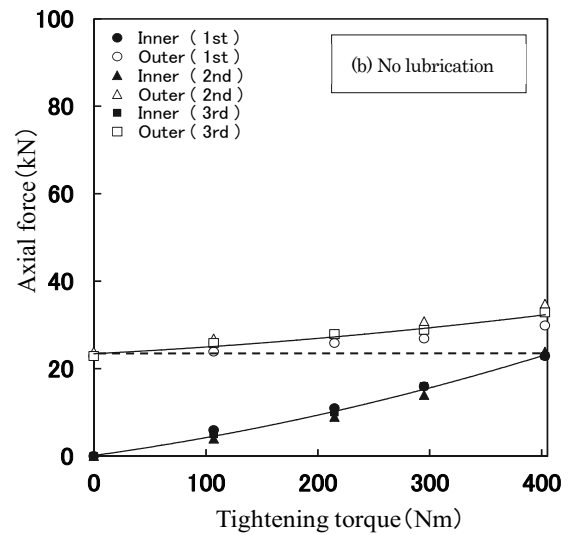
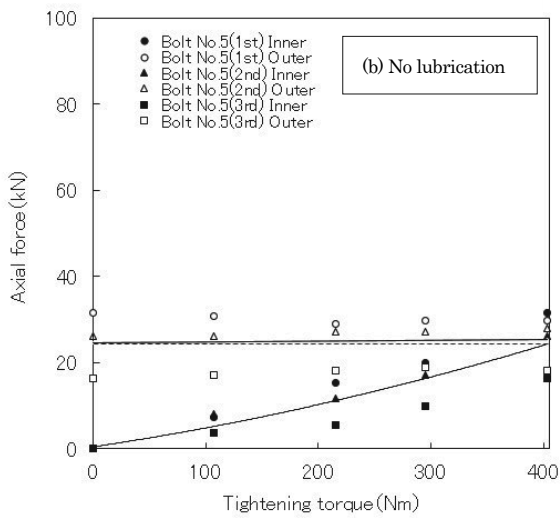
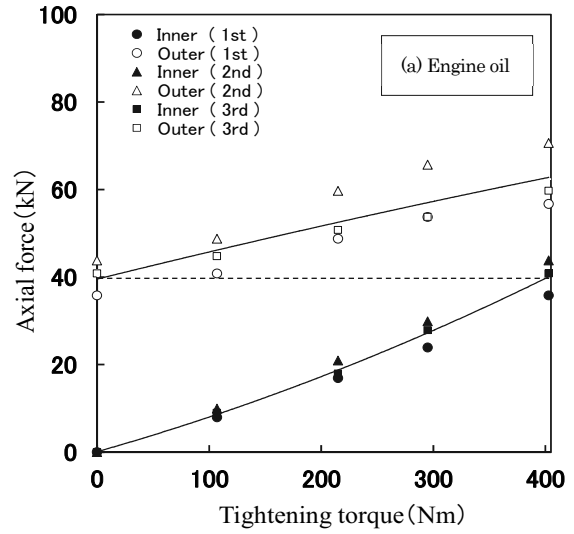
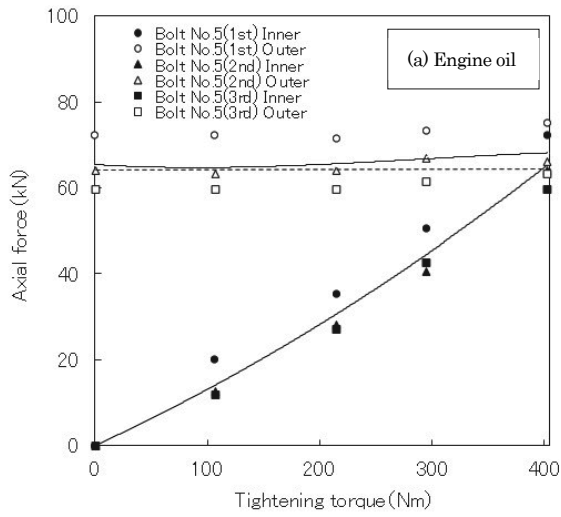


Fig.11 Relationship between axial force and tightening torque (Inner nuts for aluminum wheel are used)

Fig.12 Relationship between axial force and tightening torque (Inner nuts for steel wheel are used)



Fig.13 Generated gap between an inner wheel and an outer wheel

Table 1(a) Measured gap under lubrication by engine oil (mm)

No.	Measurement state	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-1	Ave.
1st	After tightening	1.60	1.55	1.45	1.50	1.65	1.65	1.57
	Before tightening	1.80	1.85	1.85	1.75	1.90	1.85	1.83
2nd	After tightening	1.60	1.55	1.45	1.50	1.65	1.60	1.56
	Before tightening	1.80	1.85	1.85	1.75	1.90	1.85	1.83
3rd	After tightening	1.60	1.55	1.40	1.50	1.65	1.60	1.55
	Before tightening	1.80	1.80	1.80	1.75	1.90	1.90	1.83
Ave.	After tightening	1.60	1.55	1.43	1.50	1.65	1.62	1.56
	Before tightening	1.80	1.83	1.83	1.75	1.90	1.87	1.83

Table 1(b) Measured gap under no lubrication (mm)

No.	Measurement state	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-1	Ave.
1st	After tightening	1.75	1.60	1.60	1.60	1.75	1.75	1.68
	Before tightening	1.80	1.85	1.80	1.80	2.00	1.95	1.87
2nd	After tightening	1.75	1.75	1.70	1.70	1.85	1.80	1.76
	Before tightening	1.80	1.90	1.90	1.85	1.95	1.90	1.88
3rd	After tightening	1.70	1.75	1.70	1.75	1.85	1.75	1.75
	Before tightening	1.80	1.95	2.00	1.85	1.95	1.85	1.90
Ave.	After tightening	1.73	1.70	1.67	1.68	1.82	1.77	1.73
	Before tightening	1.80	1.90	1.90	1.83	1.97	1.90	1.88

Table 1(c) Measured gap under lubrication by molybdenum disulfide (mm)

No.	Measurement state	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-1	Ave.
1st	After tightening	1.60	1.55	1.40	1.45	1.60	1.50	1.52
	Before tightening	1.75	1.85	1.85	1.75	1.80	1.75	1.79
2nd	After tightening	1.60	1.55	1.40	1.45	1.55	1.55	1.52
	Before tightening	1.70	1.90	1.90	1.75	1.75	1.70	1.78
3rd	After tightening	1.60	1.55	1.40	1.45	1.60	1.55	1.53
	Before tightening	1.75	1.85	1.90	1.75	1.85	1.75	1.81
Ave.	After tightening	1.60	1.55	1.40	1.45	1.58	1.53	1.52
	Before tightening	1.73	1.87	1.88	1.75	1.80	1.73	1.79



Fig.14 Line contact mark generated on the contact surface of an inner nut

## 6. 結 言

(1) 潤滑して締め付けた場合、アルミホイール用インナ・ナットを用いてインナ・ホイールを締め付けたときに生じる軸力は、スチール・ホイール用インナ・ナットを用いた場合より大きくなる。

(2) 潤滑状態によらず、アルミホイール用インナ・ナットを用いてアウタ・ホイールを締め付けたときの軸力の増大は、スチール・ホイール用インナ・ナットを用いた場合より極めて小さくなる。

(3) アルミホイール用インナ・ナットの座面形状がスチール・ホイール用と大きく異なるため、アウタ・ホイールとインナ・ホイールは密着せず隙間が生じる。

## 謝 辞

本研究遂行にあたり、一般財団法人東京自動車技術普及協会より助成金を賜りましたことをここに記して謝意を表します。また、引張試験機の取り扱いについて懇切丁寧な御指導を頂きました愛知工科大学 山本照美 名誉教授、ホイール・ボルトの端面加工や治具作製などに御協力頂いた本学ものづくり工作センターの方々に深く感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) National Traffic Safety and Environment Laboratory, Report of the Research Committee on Tire Coming-off Accidents of Large Vehicles due to the Rapture of Wheel Bolts (2004)
- (2) 大型車車輪脱落事故防止のための取組み, (一社) 日本自動車工業会, <http://www.jama.or.jp/truck-bus/>
- (3) 石橋信宏ほか: 5章 ホイールおよびタイヤ, 二級自動車シャシ, 東京, (一社) 日本自動車整備振興会連合会, 2017, p.116-117
- (4) Yukihiro, H., Kazuki, K. and Makoto, K.: An Influence of Lubricating Condition on the Relationship between Tightening Torque and Axial Force of the Wheel Bolts for Large Vehicles (The Property in case of Using Lubricant Containing Molybdenum Disulfide), 自動車整備技術に関する研究報告誌, Vol.50, p.42-46 (2019.8)