

# 大型車用ホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係に及ぼす潤滑状態の影響（二硫化モリブデン入り潤滑剤を用いた場合の特性）\*

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

## An Influence of Lubricating Condition on the Relationship between Tightening Torque and Axial Force of the Wheel Bolt for Large Vehicles (The Property in Case of Using Lubricant Containing Molybdenum Disulfide)

Yukihiko Hattori Kazuki Koumura Makoto Koto

First, the mean axial force of the wheel bolts was about 70kN in case of using engine oil as lubricants. Secondly, the one was about 30kN in case of no lubrication. Therefore, although all the wheel bolts are tightened with the proper regular torque respectively, the tightening with no lubrication will make the probability of the tire coming-off accident higher. Thirdly, the one was about 70kN in case of using lubricant containing molybdenum disulfide. This value is close to the one in case of using engine oil. In this study, we have not observed a decline of the bolt axial force in case of using lubricant containing molybdenum disulfide.

**KEY WORDS:** Safety, Wheel, Grease, Fatigue, Maintenance, Lubrication, Molybdenum disulfide (C1)

### 1. 研究の背景と目的

図1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・ナットの脱落により車輪が自動車から脱落した事故件数を年度別に示す<sup>(1)</sup>。平成14年度が11件、平成15年度は28件、平成16年度には87件に増大した。国土交通省はこの平成16年度に大型車の緊急点検を実施しており、約2%のホイールにホイール・ボルトのねじ山変形、折損、ホイール・ナットの緩み、欠落などの異常が見つかった。関係機関はこれらの結果を受けて、大型車の使用者および整備事業者等に車輪脱落事故防止の周知徹底を図った結果、平成17年度の61件から平成23年度の11件に至るまで脱落事故はほぼ毎年減少している。しかし、平成24年度の15件以降は再びほぼ毎年増大し、平成29年度には67件もの車輪脱落事故が発生している<sup>(1)</sup>。この平成29年度には平成16年度に続き大型車の車輪脱落事故防止対策の周知徹底が国土交通省より通達されている。

ホイール脱落事故の原因がハブなどの車両部品の欠陥にある場合もあるが、そ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

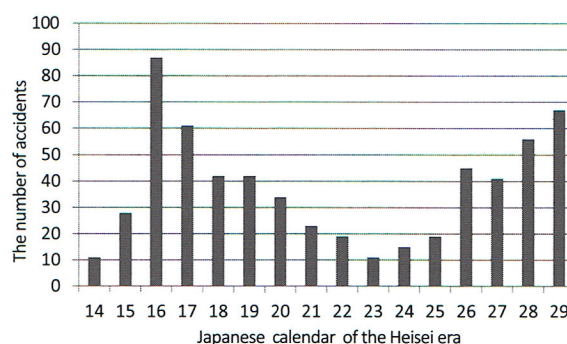


Fig.1 The number of tire coming-off accidents of large vehicles

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り走行中に疲労破壊を起こしタイヤがホイールごと外れる危険性が高くなる。

これまでの研究で旧独立行政法人交通安全環境研究所<sup>(2)</sup>（平成28年から独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所）や福岡ら<sup>(3)~(5)</sup>がボルトの潤滑剤にマシン油を用いた場合の締め付けトルクと軸力の関係を報告しているが、測定するボルト内部にひずみゲージが取り付けられるような穴あけ加工を施したホイール・ボルトを用いており、測定値に影響することが考えられる。また、本学は全国でも珍しく大型車の整備教育を行っており、車輪脱落防止を強く意識したホイール脱着整備の重要性すなわち整備不良の危険性を定量的に教育する必要があるため、本研究では図2のような後

\*2019年8月8日受理、第51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)

軸二輪車に使用しているホイール（インナおよびアウト）、ホイール・ボルト、ホイール・ナット（インナおよびアウト）を用いて、異なる潤滑条件下でホイールの組み付け作業を行い、それぞれについてのホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係を測定しそれらの特性を定量的に明らかにする。



Fig.2 Double-tire construction (rear axle)

## 2. 実験装置

図 3 にドラム、ハブ、インナ・ホイールおよびアウト・ホイールを固定台の上に組み付けた実験装置を示す（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）。インナ・ホイールとアウト・ホイールをホイール・ボルト、インナ・ナット、アウト・ナットでハブに組み付けるための規定トルクは 400Nm と大きいため、締め付け時の反力が十分得られるように固定台は鋼製の構造物とした。また、ホイールの取り付け高さは塩ビ管の長さで調整して作業の効率化を図った。図 4 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。なお、測定はホイール・ボルト全 6 本中の 3 本で行うため、3 箇所ホイール・ボルトの端面に超音波センサを取り付けた。図 5 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。このレンチは油圧ポンプ（同社製）と耐圧ホースで連結されており、締め付けトルクを油圧ポンプの油圧で設定して締め付ける。

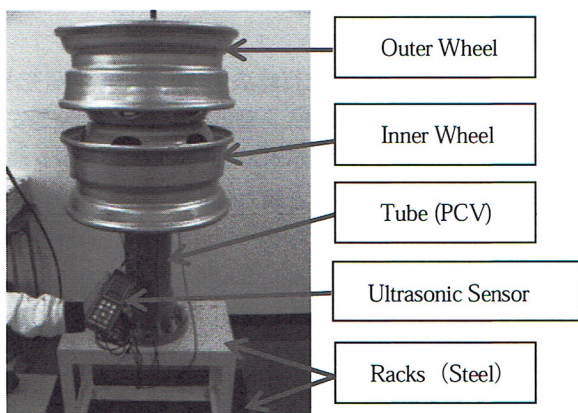


Fig.3 Experimental apparatus

3. ホイール・ボルト端面の加工方法が計測値に及ぼす影響  
ホイール・ボルトの両端面は平面でないため、超音波センサでの伸びの測定ができない。したがって、ボルト両端面を旋盤で平面加工したものと、旋盤加工後更に研削盤で仕上げ加工したものを用意し初期長さを測定した結果、ホイール・ボルトの両端面の加工方法が超音波センサでの計測値に及ぼす影響は極めて小さいことが確認できたため、使用するボルト両端面の平面加工は旋盤加工とした。

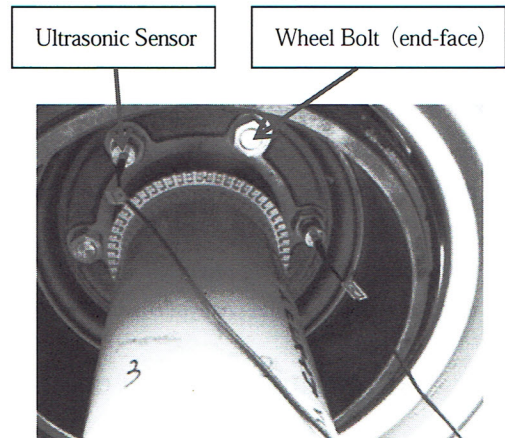


Fig.4 Ultrasonic sensor and end-face of the bolt

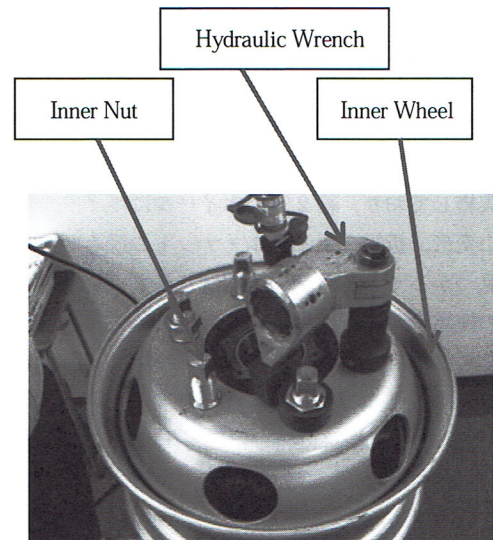


Fig.5 Hydraulic wrench connected with hydraulic pump

## 4. ホイール・ボルトの引張応力とひずみの関係

図 6 にホイール・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た外観を示す。なお、ボルトのひずみを求めるための超音波センサはボルト上端面に取り付けてある。図 7 に静的引張試験で求めた応力とひずみの関係を示す。引張試験を行った 0.45% までのひずみ領域では引張応力とひずみは比例関係にあり、ボルト（ナットと結合した状態）の見かけの縦弾性係数は約  $1.5 \times 10^5$  MPa である。

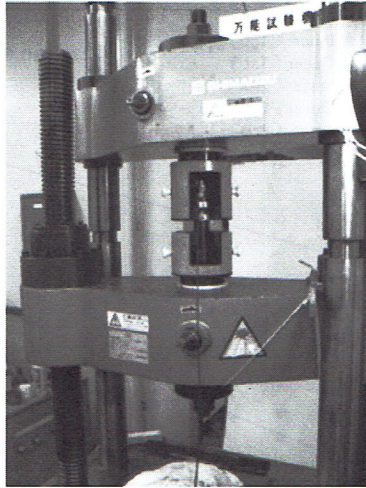


Fig.6 A tensile tester with a wheel bolt

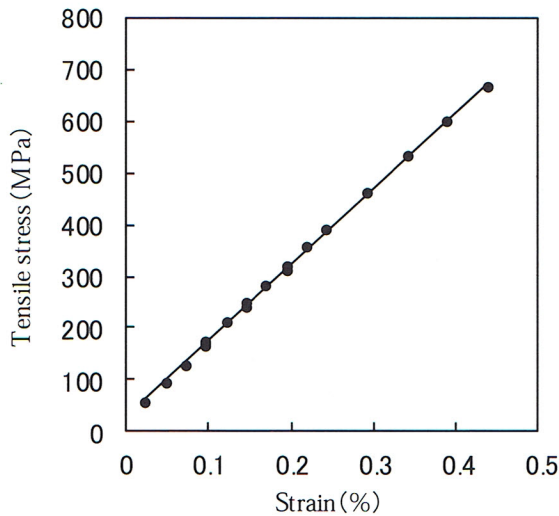


Fig.7 Relationship between stress and strain of the wheel bolt

### 5. 実験方法

ホイール（インナおよびアウト），ハブにインナ・ホイールおよびアウト・ホイールを取り付けるためのホイール・ボルト，インナ・ナット，アウト・ナット全 6 組は全て新品を使用した。インナ・ホイールをホイール・ボルトとインナ・ナットで既定の締め付けトルク 400Nm まで約 100Nm ごとに段階的に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・ナットで既定の締め付けトルク 400Nm まで約 100Nm ごとに段階的に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た。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，潤滑条件を正規の潤滑である「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 回行った後は分解後十分な清掃・脱脂を行った後に次の実験を行うこととし，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・ボルトの見かけの縦弾性係数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調査した。

### 6. 実験結果と考察

図 8(a)～(c)にボルト No. 1，図 9(a)～(c)にボルト No. 3，図 10(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。図中の実線はインナ・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を用いて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。潤滑状態によらずアウト・ナットの締め付けにより生じる軸力はインナ・ナット締め付けによる軸力より小さい。これは，福岡らの研究<sup>(4)</sup>と同様の結果である。福岡らによると，アウト・ナットの締め付け時に発生する軸方向力が全てホイール・ボルトの軸力増加に寄与することはなく，その一部はアウト・ホイールを経てインナ・ホイールを押し下げ，インナ・ナット座面の面圧を低下させるように働くからである。

潤滑条件別に観ると，規定の潤滑方法であるエンジン・オイルによる潤滑での軸力は約 70kN であった。これは，規定の潤滑条件下で締め付けた場合の値であり，軸力が過大か過少かの判断基準となる。

無潤滑状態でのホイール・ボルトの軸力は約 30kN と小さく，エンジン・オイルによる潤滑での軸力約 70kN の 40% 程度しか得られていない。無潤滑時は締め付け時にボルト，ナット，ホイールの各摺動部の摩擦係数が増大し，締め付けトルク（エネルギー）の多くが摺動部の摩擦や熱に変換されるため，ホイール・ボルトに働く引張仕事は減少するためである。したがって，ホイール取付け作業時に潤滑を忘れると軸力が不足し，たとえ規定トルクで締め付けてもホイール脱落の可能性が高まると考えられる。

二硫化モリブデン入りグリースによる潤滑での軸力は約 70kN であり，エンジン・オイルで潤滑した結果とほぼ同様となった。著者らは二硫化モリブデン（固体潤滑剤）がボルト，ナット，ホイール座面間の摩擦係数を大幅に減少させると考え，無潤滑の場合とは逆に締め付けトルク（エネルギー）の多くがホイール・ボルトの引張仕事に変換されるため軸力が過大になると考えたが，今回調査した JIS 方式のホイール，ホイール・ボルト，ホイール・ナットでは過大な軸力は確認されなかった。大型トラックのホイール脱着整備では二硫化モリブデン入り潤滑剤の塗布は禁止されており，この結果に対する更なる研究が必要である。また，ホイール，ホイール・ボルト，ホイール・ナットには本研究で調査対象とした JIS 規格以外に ISO 規格があり，その構造，締め付け方法，潤滑方法は大きく異なる。本研究の成果を活かし異なる規格の調査をする予定である。

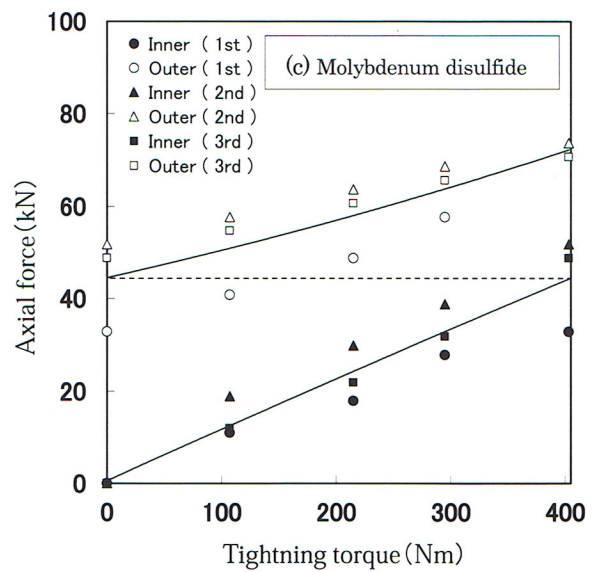
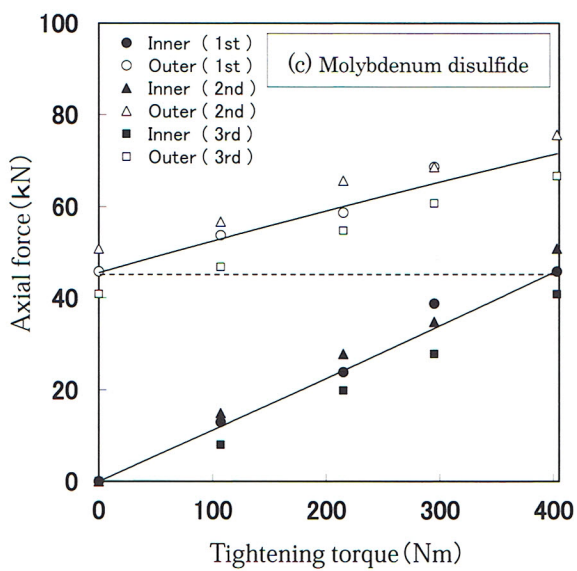
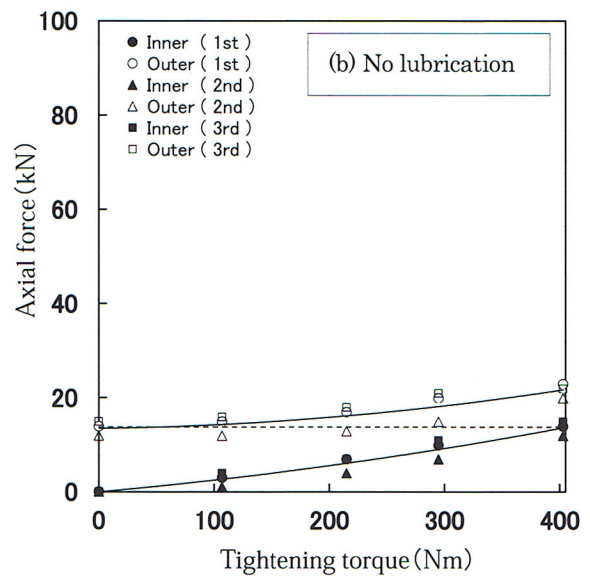
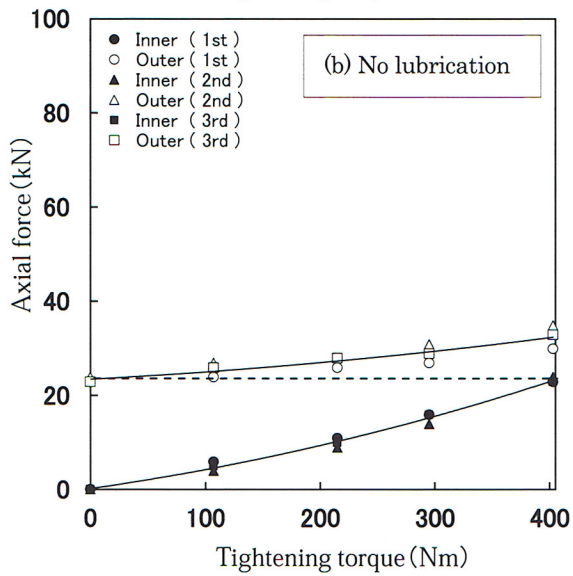
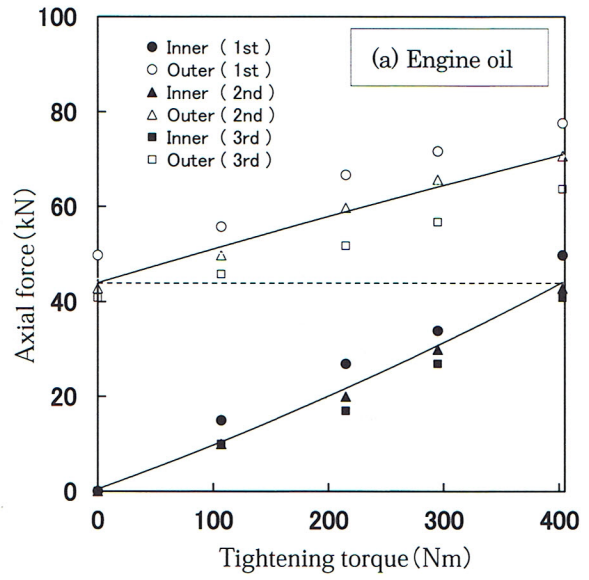
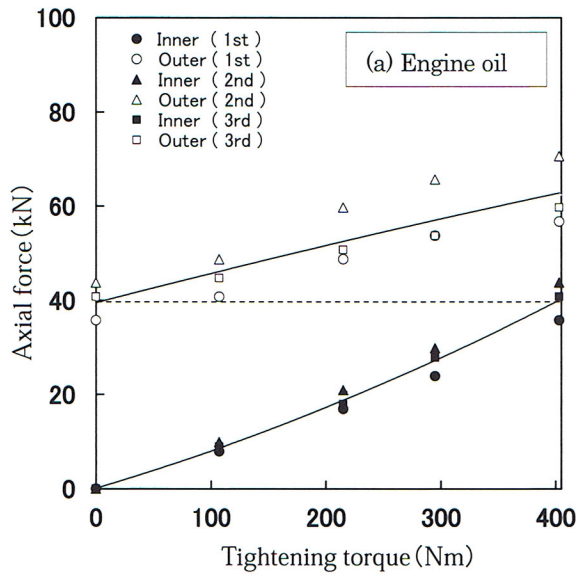


Fig.8 Relationship between tightening torque and axial force  
(Results of bolt No.1)

Fig.9 Relationship between tightening torque and axial force  
(Results of bolt No.3)

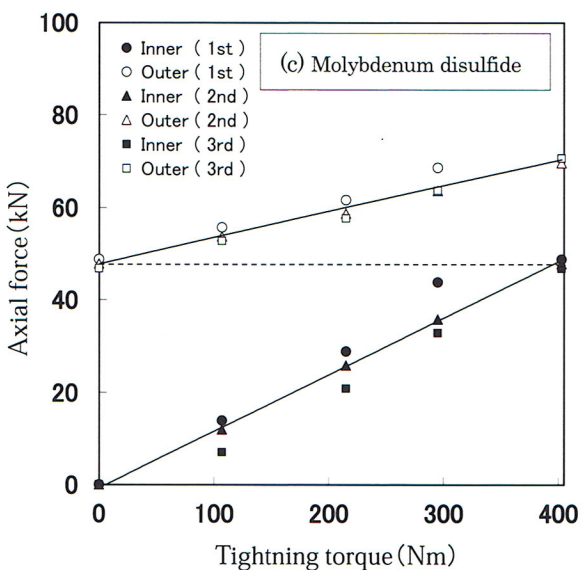
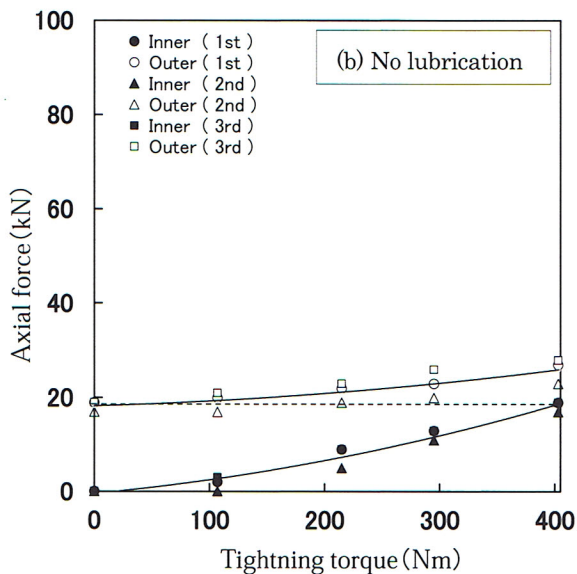
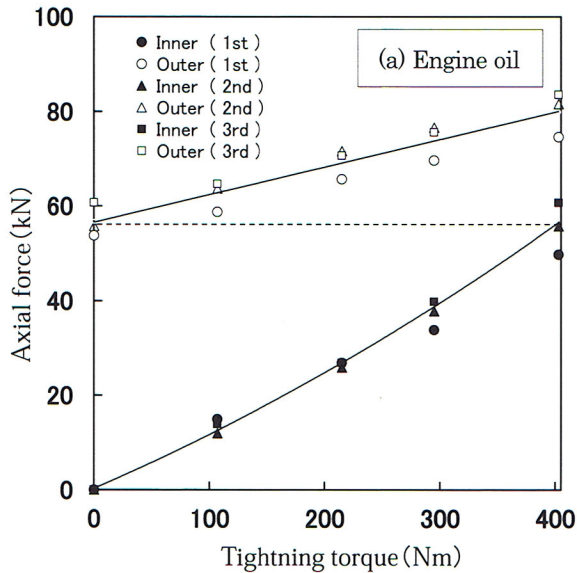


Fig.10 Relationship between tightening torque and axial force (Results of bolt No.5)

## 7. 結 言

- (1) アウタ・ナット締め付けにより生じる軸力は潤滑状態によらずインナ・ナット締め付けによる軸力より小さくなる。
- (2) エンジン・オイルによる潤滑でのホイール・ボルトの軸力は約 70kN であった。
- (3) 無潤滑状態でのホイール・ボルトの軸力は約 30kN であり、エンジン・オイル潤滑での軸力の約 40% しか得られず、たとえ規定トルクで締め付けても潤滑しなければ軸力低下によるタイヤ脱落の可能性が高まると考えられる。
- (4) 二硫化モリブデン入りグリースによる潤滑でのホイール・ボルトの軸力は約 70kN であった。これは、エンジン・オイルで潤滑した結果とほぼ同様であり、今回調査した JIS 方式のホイールの取付けでは過大な軸力は確認されなかった。

## 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 教授、ホイール・ボルト両端面の平面加工にご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) 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/>
- (2) 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)
- (3) Fukuoka, T., Nomura, M., Kizawa, M. and Fukuman, Y. : Evaluation of the Tightening Process of Wheel bolts for Large Vehicles by Finite Element Analysis, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.75, No.750, p.446-453 (2009.2)
- (4) Fukuoka, T., Nomura, M., Fukuman, Y., Kamihira, T. and Sugimoto, Y. : Evaluation of Preload Scatter of Wheel bolts and safety Assessment of Large Vehicles, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series A, Vol.75, No.759, p.1577-1584 (2009.11)
- (5) Fukuoka, T., Nomura, M. and Kamihira, T. : Development of Tightening Apparatus with Multiple Shafts and Torque Control Mechanism for Wheel Bolts of Large Vehicles, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.76, No.76, p.1970-1977 (2010.8)
- (6) 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