

研究論文

ISO スチール・ホイール用ホイール・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

服部 幸廣*, 甲村 一貴*, 巨藤 誠*

(2020年10月13日)

Influence of Lubricating Condition on the Relationship between Tightening Torque and Axial Force of the Wheel Bolt for ISO Steel Wheel

Yukihiro HATTORI*, Kazuki KOUMURA*, and Makoto KOTO*

(Received October 13, 2020)

Abstract

Axial force of the wheel bolt for large vehicles was quantitatively measured under the suitable and unsuitable lubricating condition in this study. As a result, in case that engine oil was only applied to the threads of both wheel bolt and wheel nut as suitable lubricant on maintenance, the axial force was about 280kN. On the other hand, in case that grease containing molybdenum disulfide was applied as unsuitable lubricant to the same specified threads, the axial force was reduced to 220kN due to the high shear stress produced by viscosity of the grease. Also, in case that these lubricants were also applied to the back of the metal washer where applying is prohibited on maintenance, the axial force was further reduced. And the axial force was about 250kN under no lubrication.

キーワード: 事故, 整備, トラック, ホイール脱落

Keywords : Accident, Maintenance, Truck, Wheel separation

1. はじめに

国土交通省が公開している車両総重量 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[1]を図 1 に示す。事故件数は平成 14 年度が 11 件, 平成 15 年度は 28 件, 平成 16 年度には 87 件と増大しており, 死亡事故に至った場合も含まれている。国土交通省が平成 16 年度に大型車の緊急点検を実施した結果, 約 2%の車両にホイール・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。その後, 平成 17 年度の 61 件から平成 23 年度の 11 件に至るまでほぼ毎年減少したが, 平成 24 年度の 15 件以降は再びほぼ毎年増大し, 平成 30 年度には 81 件もの脱落事故が発生している。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が歯止めがかかっていない。

ホイール脱落事故の原因はハブ・ホイールなどの車

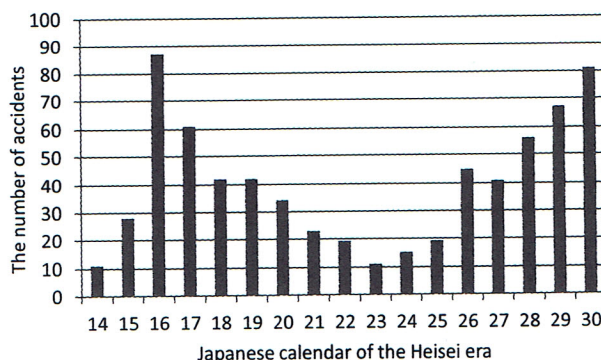


Fig. 1 The number of tire separation accidents of large vehicles

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

* 愛知工科大学自動車短期大学自動車工業学科, 〒443-0047 愛知県蒲郡市西迫町馬乗 50-2
 Department of Automotive Engineering, Aichi University of Technology Automotive Junior College, 50-2 Manori, Nishihiasama-cho, Gamagori-shi, Aichi 443-0047, Japan

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(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[2,3]が, JIS 規格のスチール・ホイールに関する研究であり, ISO 規格のホイールに関する研究ではない。また著者らの調査では ISO スチール・ホイールに関する同様の研究は見当たらない。

著者らはこれまでの研究で, JIS 規格の大型車(後軸二輪)用スチール・ホイール組み付け時の潤滑条件を変えて, 締め付けトルクと軸力の関係を報告している[4]が, 本報では, 図 2 のような後軸二輪車に使用している ISO 規格のスチール・ホイール(インナおよびアウト), ホイール・ボルト, ホイール・ナットを用いて, 異なる潤滑条件下でホイールの組み付けを行い, それぞれの潤滑状態におけるホイール・ボルトの締め付けトルクと軸力の関係を調査した結果について述べる。



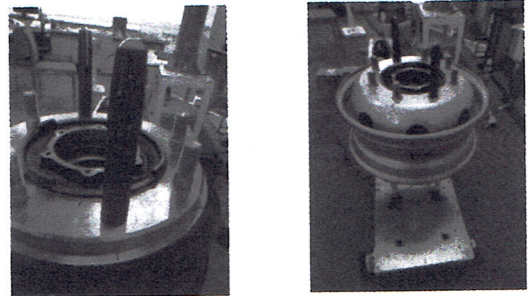
Fig. 2 Assembled double tires (ISO)

2. 実験装置

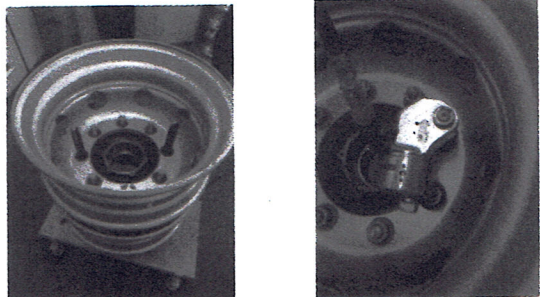
2.1 ISO 規格のダブルホイール

図 3(a)~(e)に実際の車両におけるホイールの取り付け手順と同様の手順で組み付けて行く様子を示す。まず, ドラムのボルト穴 8 箇所, ドラムの内側から外側に向かってホイール・ボルト 8 本を挿入する。そして, ホイール・ボルトの先端をハブ・ホイールのボルト穴 8 箇所に通しておき, プレス機でホイール・ボルトの端面を加圧して, ホイール・ボルトのセレーション部とハブ・ホイールのボルト穴を加締めてドラムとハブ・ホイールを結合する。そして, ハブ・ホイールとインナ・ホイールの中心を合わせるための ISO 規格ホイール用ホイール・セッター(株式会社空研)を対角線上の 2 本のホイール・ボルトに取り付けておく。ドラムとハブ・ホイールがホイール・ボルトで結合され, ホイール・セッターが取り付けられた外観を図 3(a)に示す。次に, ホイール・セッターに

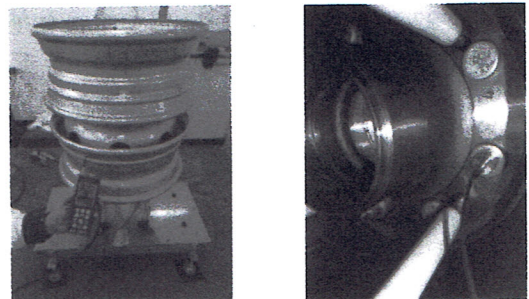
沿ってインナ・ホイールをハブ・ホイールの中心に載せる(図 3(b))。同様にして, ホイール・セッターに沿ってアウト・ホイールをハブ・ホイールの中心に載せる(図 3(c))。そして, ホイール・セッターを取り外し, 油圧レンチ(日本プララド社)を用いてホイール・ナットを規定トルクまで段階的に締め付けて, インナ・ホイールおよびアウト・ホイールをハブ・ホイールに固定する(図 3(d))。組み付けられたホイールの外観を図 3(e)に示す。図 3(f)にドラムを内側から観た様子を示す。ホイール・ボルトの端面は予め旋盤で平面加工を施しておき, その上に締め付け時のホイール・ボルトの伸びを測定するための超音波センサ(日本プララド社)を取り付けた。なお, ホイール・ボルト, スチール・ホイール, ホイール・ナットは使用過程の影響を受けない新品を使用した。



(a) A drum and a hub wheel connected by wheel bolts (left hand side figure) (b) An inner wheel guided by two proper jigs



(c) An outer wheel guided by two proper jigs (left hand side figure) (d) Wheel nuts tightened by oil pressure wrench



(e) Experimental set up (left hand side figure) (f) A sensor on a wheel bolt for measuring axial force

Fig. 3 Assembling procedure of double wheels

2.2 ホイール・ボルトの静的引張試験と伸びの計測

ホイール・ナットを規定トルクまで締め付けたときのホイール・ボルトに生じる軸力をセンサで計測した伸びから求めるため、引張試験機(株島津製作所)を用いて静的引張試験を行い、引張荷重と伸びの関係を校正した。ホイール組み付け時に引張荷重を受けるホイール・ボルトの長さはドラム裏面とアウト・ホイール表面間の距離であるため、この距離と引張荷重がかかるボルトの長さが等しくなるように調節した。図 4 に結果を示す。見かけのばね定数は約 1.24×10^6 N/mm である。

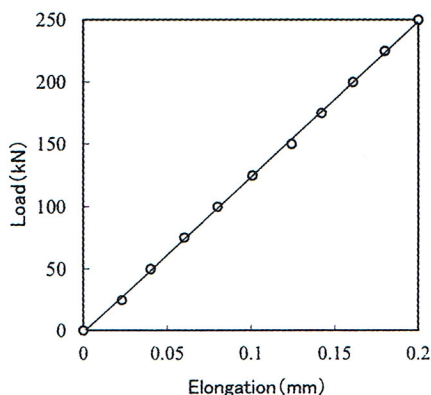


Fig. 4 Relationship between load and elongation of a wheel bolt

3. 実験方法

潤滑条件は、整備書で塗布が指定されている箇所(ボルトおよびナットのねじ部、以下説明略)のみを指定された潤滑剤(エンジン・オイル)で潤滑した場合(エンジン・オイル潤滑 1 と称する)のほか、整備不良を想定した無潤滑および二硫化モリブデン入りグリースで潤滑した場合(モリブデングリース潤滑 1 と称する)、また、本来塗布してはいけない箇所(ホイール・ナット平面座裏面、以下説明略)も潤滑した場合(エンジン・オイル潤滑 2, モリブデングリース潤滑 2 と称する)とした。潤滑剤であるエンジン・オイルはトヨタ自動車(株)(SN10W-30, 鉱物油)、二硫化モリブデン入りグリースは横浜油脂工業(株)自動車用グリース(リテック 703)である。ホイールおよびそれを組み付ける 8 本のホイール・ボルト、ホイール・ナットはすべて自動車メーカーの純正品(新品)を用い、ホイール・ナット締め付け時のホイール・ボルトの伸びの計測は、同心円上に配列している 8 本のホイール・ボルトの中の 4 本(1本おき)で行うこととし、各潤滑条件でそれぞれ 3 回行った(便宜上、伸びを測定する 4 本のボルトを No.1, No.3, No.5, No.7 と称する)。また、ホイール・ナットの締め付けは油圧レンチで行い、ホイール・ボルトの伸びの計測には

超音波センサ(株日本プララド ECM-1)を用いた。測定は既定トルクである 550Nm まで段階的に締め付けながら行い、ホイール・ボルトの静的引張試験で得ている引張荷重と伸びの関係から軸力を求め、締め付けトルクと軸力の関係を調査した。

4. 実験結果と考察

計測した 4 本のボルト(No.1,3,5,7)の結果として、図 5(a)~(d)にエンジン・オイル潤滑 1, 図 6(a)~(d)にエンジン・オイル潤滑 2, 図 7(a)~(d)に無潤滑, 図 8(a)~(d)にモリブデングリース潤滑 1, 図 9(a)~(d)にモリブデングリース潤滑 2 での締め付けトルクと軸力の関係を示す。いずれの図中の実線も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 1 次式で回帰した直線であり、 $\pm 1SD$ (標準偏差)を付記した。これらの結果から、潤滑条件によらずホイール・ボルトの軸力は締め付けトルクと共に増大するが、得られる軸力は潤滑条件により異なることがわかる。潤滑条件別では、塗布が指定されている箇所のみをエンジン・オイルで潤滑した場合の軸力は約 280kN であったが、塗布してはいけない箇所にもエンジン・オイルを塗布して潤滑した場合の軸力は約 240kN に減少した。これは、ホイール・ナット平面座裏面にエンジン・オイルを塗布したことで、平面座裏面とホイール表面との間にエンジン・オイルの粘性によるせん断応力が生じ、締め付け仕事がボルトの引張り仕事に寄与する割合が減少したためであると考えられる。また、無潤滑状態で締め付けた場合の軸力は約 250kN であり、エンジン・オイル潤滑での結果より小さい。これは、潤滑しなかったことで、ボルトとナットの接触箇所で摩擦抵抗が増大し、締め付け仕事がボルトの引張り仕事に寄与する割合が減少したためである。また、軸力のばらつきが他の潤滑条件での結果より大きい。これは、ボルトおよびナットの摩擦面間の微視的な付着、滑りが不安定であるためであると考えられる。そして、塗布が指定されている箇所を二硫化モリブデン入りグリースで潤滑して締め付けた場合の軸力は約 220kN であり、エンジン・オイル潤滑での結果と比べて小さい。これは、グリースの粘性がオイルと比較して大きいため、締め付け時のせん断応力がエンジン・オイルを用いたときよりも増大したためであると考えられる。また、塗布してはいけない箇所にも二硫化モリブデン入りグリースを塗布した場合の軸力は約 200kN に減少した。この原因も、ホイール・ナット平面座裏面に二硫化モリブデン入りグリースを塗布したことで、平面座裏面とホイール表面との間に、グリースによるせん断応力が生じたためであると考えられる。

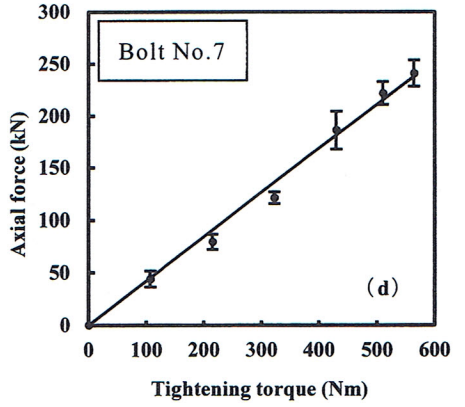
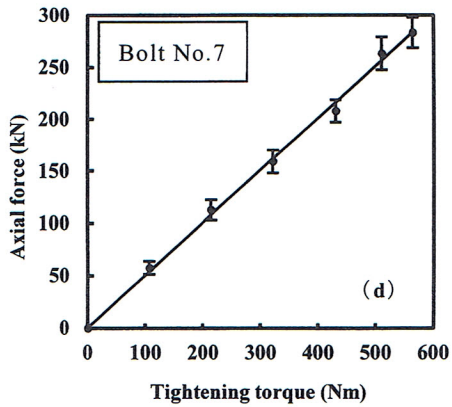
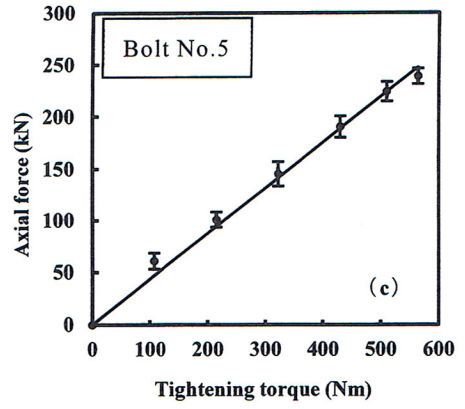
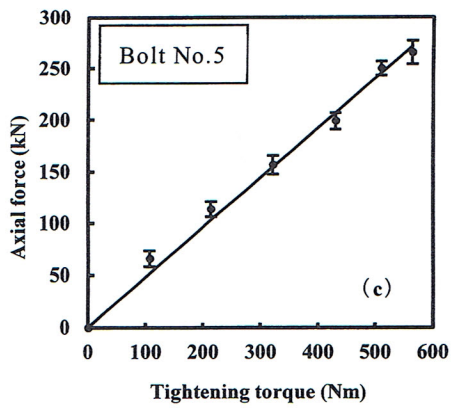
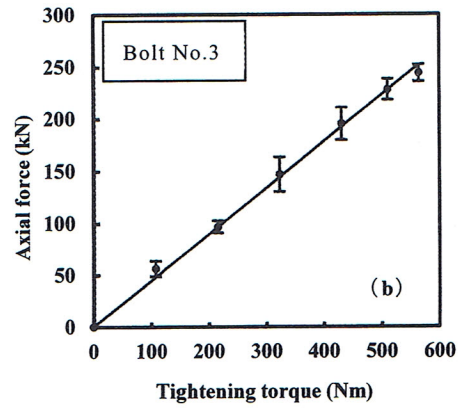
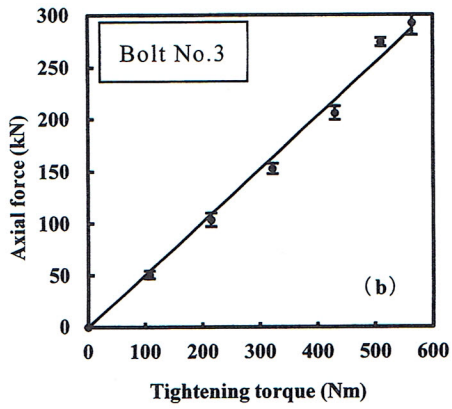
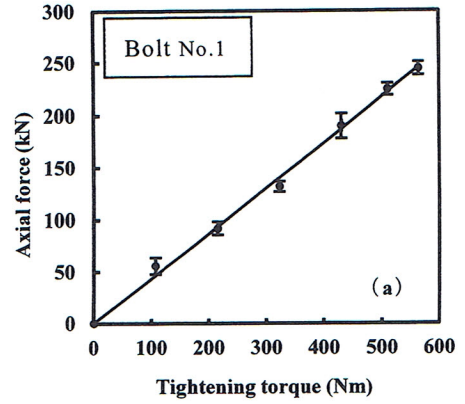
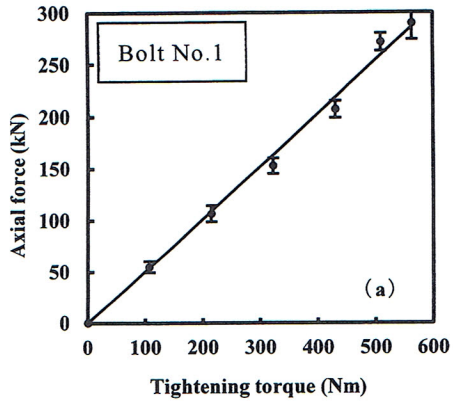


Fig.5 Relationship between axial force and tightening torque of bolt No.1,3,5,7 (Engine oil lubrication 1)

Fig.6 Relationship between axial force and tightening torque of bolt No.1,3,5,7 (Engine oil lubrication 2)

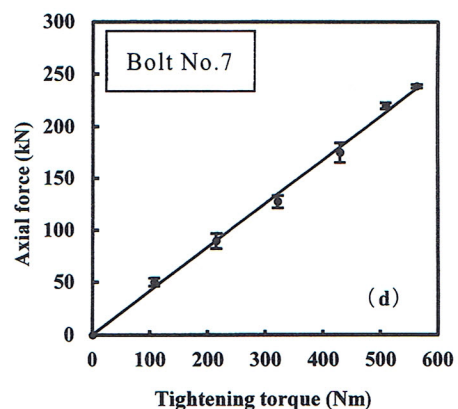
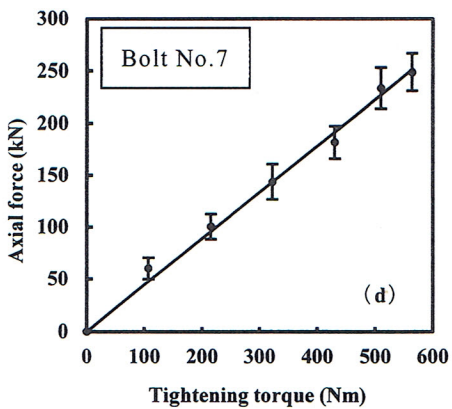
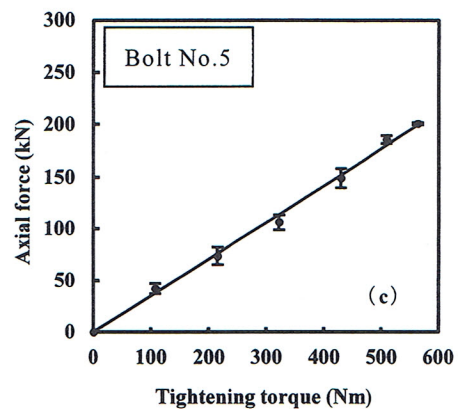
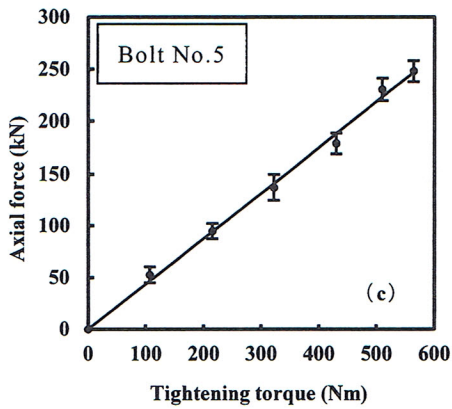
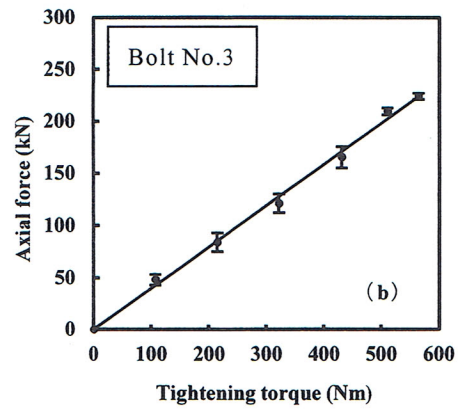
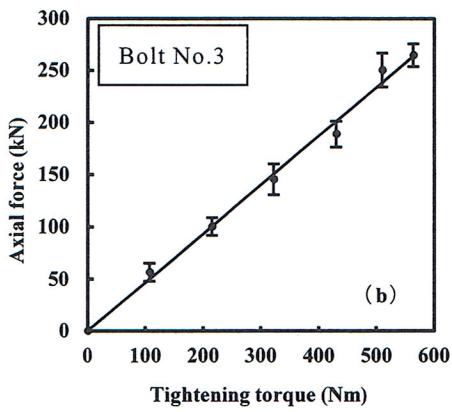
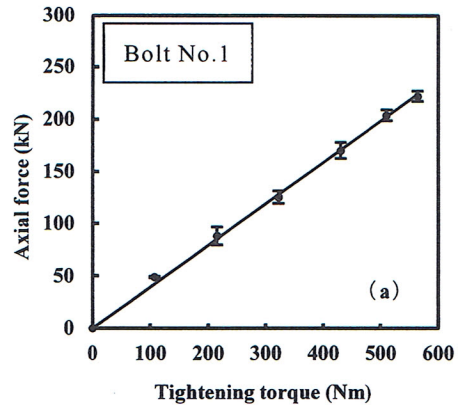
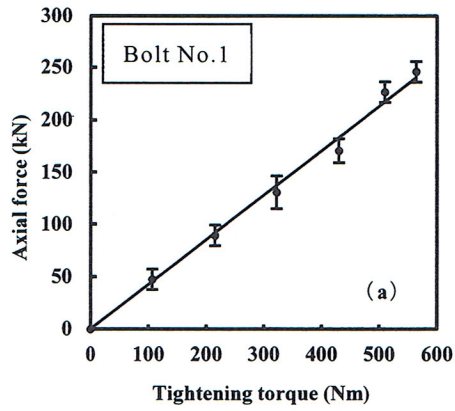


Fig.7 Relationship between axial force and tightening torque of bolt No.1,3,5,7 (No lubrication)

Fig.8 Relationship between axial force and tightening torque of bolt No.1,3,5,7 (Molybdenum disulfide grease lubrication 1)

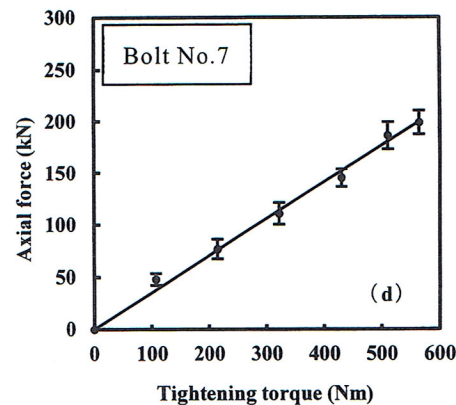
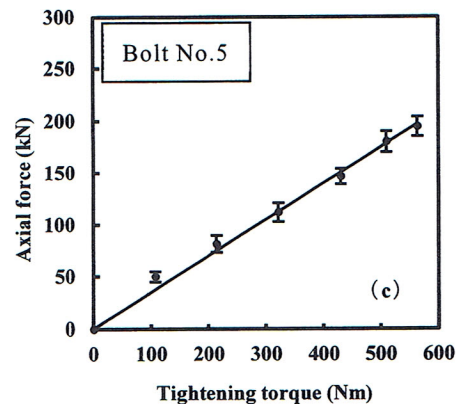
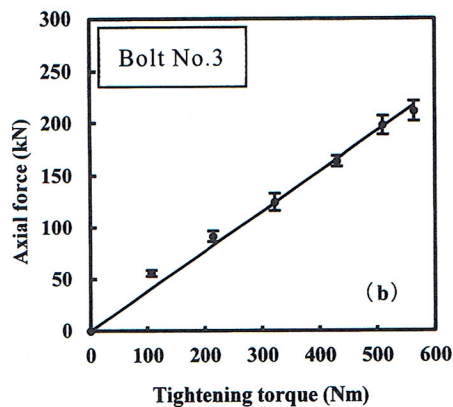
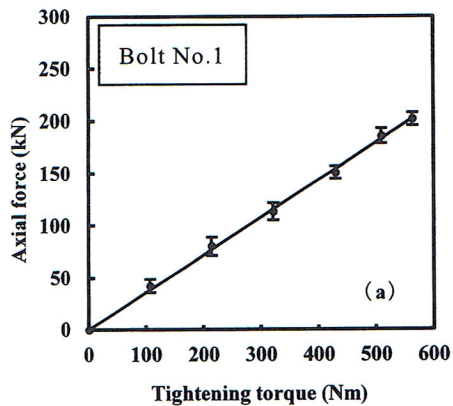


Fig.9 Relationship between axial force and tightening torque of bolt No.1,3,5,7 (Molybdenum disulfide grease lubrication 2)

5. 結言

整備上正規な潤滑条件および整備不良を想定した潤滑条件下で、ISO 規格のスチール・ホイールをホイール・ナットで規定トルクまで締め付けた場合のトルクと軸力の関係を調査し、次の結果を得た。

- (1) 指定されている箇所のみ適切な潤滑剤であるエンジン・オイルを塗布した場合の軸力と比較して、禁止されている二硫化モリブデン入りグリースを塗布すると軸力が低下することを定量的に示した。
- (2) 塗布が禁止されている箇所にもエンジン・オイル、二硫化モリブデン入りグリースを塗布すると、軸力が更に低下することを示した。
- (3) 潤滑剤を塗布しないと軸力が低下するとともに、軸力のばらつきが大きくなることを示した。

6. おわりに

大型車の車輪脱落を防止するためには、ホイール・ボルトの軸力を適正範囲に維持することが重要であり、冒頭で述べた整備不良の撲滅の他、ホイール脱着後に一定距離走行した後の増し締め、運行前点検でのホイール・ナットの締め付け状態の確認を徹底することが必須である。また、原因は解明されていないが、車輪脱落箇所は左後輪(複輪)に集中しているため、現在、その発生メカニズムについて検討している。

謝辞

本研究遂行にあたり、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] 国土交通省，“ボルトの錆や左後輪に注意！車輪脱落事故 3 年連続増加「厳しい状況」～平成 30 年度大型車の車輪脱落事故発生状況を受けて，” 国土交通省ホームページ，(参照日：2020 年 10 月 9 日，https://www.mlit.go.jp/report/press/jidosha09_hh_000231.html)
- [2] (独法)交通安全環境研究所，“大型車のホイール・ボルト折損による車輪脱落事故に係る調査検討会報告書，”pp.50-55, Dec. 2004.
- [3] 福岡俊道，野村昌孝，木澤正彦，福万祥教，“有限要素解析における大型車用ホイール・ボ

ルトの締め付け特性の評価,”日本機械学会論文集, C編, vol.75, no.750, pp.446-453, Feb. 2009.

- [4] 服部幸廣, 甲村一貴, 巨藤誠, “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), ”自動車整備技術に関する研究報告誌, vol.48, pp.42-46, Oct. 2019.