

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高信頼性と緩み防止機能を併せもつ新形状ボルトの開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成23年 3月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人 名古屋産業振興公社

目 次

第1章 研究開発の概要	
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	3
1-3 成果概要	7
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	
(1) 最適形状の検討	9
(2) 転造成形工程の開発	13
(3) 緩み防止効果の検証と形状へのフィードバック	14
(4) 引張強度、長期信頼性評価と形状の最適化	18
(5) 転造成形用金型の検討	21
(6) 高精度成形条件の確立	21
(7) 効率的な生産方法の検討	21
最終章 全体総括	22

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究の目的

自動車や携帯機器など、振動を受ける製品のねじ締結部では高い信頼性が求められることとなる。このため、従来から様々な緩み防止ナットやボルトが提案されてきた。しかし、これらの緩み防止ナット及びボルトについては、締結時の作業性やコスト面で大きな課題を有している。

このため、本研究開発では、上記課題の解決を目指し、高い信頼性を確保しつつも、コスト面で優位性を持った緩み防止ボルトを開発しようというものである。ボルトのねじ山形状を特殊な形状とすることにより、締め込み時に摩擦トルクが発生せず、標準ボルトと同様に作業でき、しかもナットを使用できない場所でも使用できるよう、ボルト単体で緩み防止効果を得られる緩み防止ボルトを開発する。ねじ山形状の工夫により、コストが圧縮できる転造で製造可能で、しかも緩み防止効果に加え引張り強度や疲労特性を改善した、標準ボルトに比べて高強度、長寿命のボルトを開発する。

(2) 研究の概要

上記(1)で述べた課題を解決するため、

- ・ ボルトのねじ山形状を特殊な形状とすることにより、締め込み時の摩擦トルクを発生させないことで標準ボルトと同様の作業性を確保すること、
 - ・ ボルト単体で緩み防止効果が得られるよう用途面での優位性を見いだすこと、
 - ・ ボルトのねじ山形状を工夫することで、コストの圧縮を可能とする転造による製造法を確立すること、
 - ・ 緩み防止効果はもとより、引張り強度や疲労特性の面で標準ボルトよりも優れた性能を発揮し高信頼性を確保すること、
- を目標とした。

このため、本研究開発では、ねじ山を圧力側に傾斜させると同時にねじ谷に大きなR状を設けた。これにより、ボルトを締め付けた際、ねじ山が起き上がるように弾性変形することで、圧力側フランク面に高い接触圧が発生するとともにかみ合い率が上がり、高い緩み防止効果が得られると期待した。また、ねじ谷の応力集中の緩和による強度・疲労特性の向上も念頭にねじ谷R部形状の検討を行った。

なお、これらの効果は、傾斜させる角度、圧力側に設けるR部の形状により大きく影響を受け、また、熱処理の有無など、材料の変形特性によっても変化する。このため、最大の緩み防止効果が得られるよう、これら諸条件の最適化を図った。併せて、高効率な転造方法を検討し、コスト面での優位性を図った。

(3) 当初の目的及び目標に対しての実施結果

本事業では、ボルト単体で緩み防止効果が得られ、疲労強度も標準ボルトを上回り、作業性も標準ボルトと変わらないまったく新しいボルト(以下、モーシオンタイトと呼ぶ)を開発した。具体的には、緩み防止効果においては高強度区分(以下、8T と呼ぶ)のモーシオンタイト(M12)が米国航空規格NAS3350 に準拠した振動試験において17分間(規定値)緩まず、低強度区分(以下、4T と呼ぶ)でも少なくとも 10 倍程度緩まないことを確認した。引張破断強度(JIS B1052)では目標の 1.2 倍に達しなかったものの従来の標準ボルトと同じ強さを持ち、引張疲労強度(JIS B1081)では目標の引張破断荷重(JIS B1052)が標準ボルトに対する開発目標値(1.2 倍)を達成した。引張疲労寿命(JIS B1081)では 8T ボルトで目標値の 1.5 倍を下回ったものの(約 1.2~1.4 倍)、4T ボルトでは目標値を達成した。(1.6~2.4 倍) 製造コストについてはコスト算出に必要な本数(数十万本)を製造できず検証できなかった。本研究の実施結果を以下の表1-1にまとめる。

表1-1 研究開発目標と実施結果

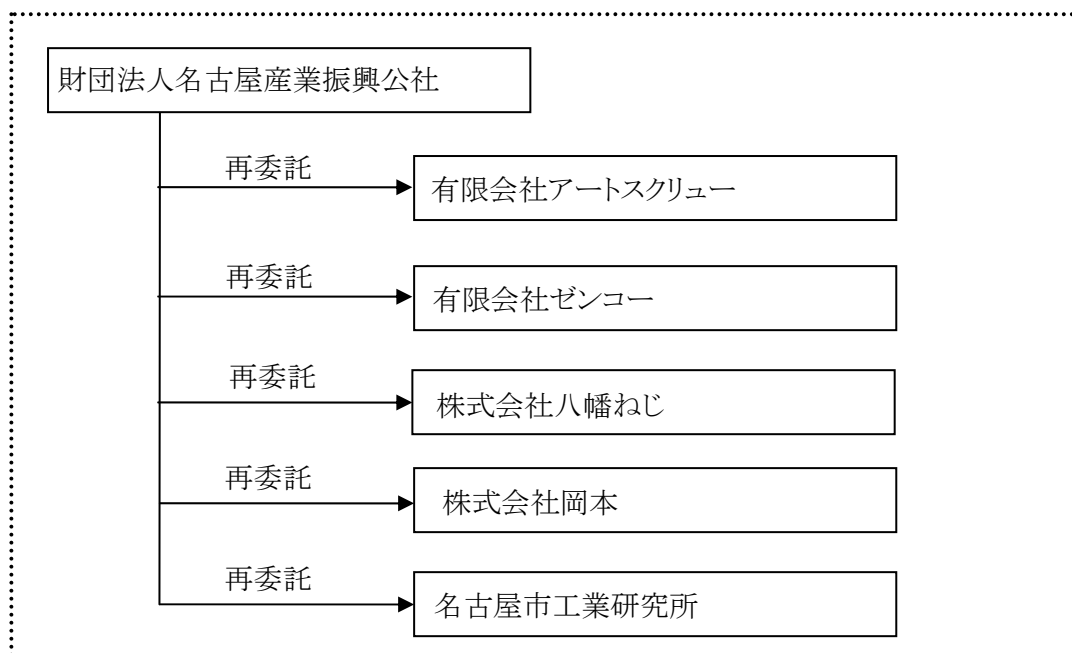
	当初の目標	実施結果
緩み防止効果	米国航空規格 NAS3350 試験(ボルト軸垂直方向加振)相当の試験において 10 分間以上緩まないこと (正規の試験は 17 分間以上)	◎:高強度区分(8T)のボルト (17 分以上)。 △:低強度区分(4T)のボルト (ただし標準ボルトに対しては約 20 倍以上の緩み防止効果)
強度特性 疲労特性	・引張破断荷重(JIS B1052) 標準ボルトの 1.2 倍	△:高強度区分(8T):約 1.0 倍 △:低強度区分(4T):約 1.0 倍
	・引張疲労強度(JIS B1081) 標準ボルトの 1.2 倍	○:高強度区分(8T):約 1.2 倍 ○:低強度区分(4T):約 1.2 倍
	・引張疲労寿命(JIS B1081) 標準ボルトの 1.5 倍	△:高強度区分(8T):約 1.2-1.4 倍 ○:低強度区分(4T):約 1.6-2.4 倍
製造コスト	・ 標準ボルトと同等 ・ 現在普及している緩み防止ボルト及びナットよりも低コスト	未:高強度区分(8T)のボルト 未:低強度区分(4T)のボルト (1 万本程度では問題なし)

上表において、◎:目標を上回る、○:目標を達成、△:目標に達せず、未:未検証

1-2 研究体制（研究組織、研究者氏名、協力者）

(1) 研究組織

1) 研究組織（全体）



総括研究代表者(PL)

有限会社アートスクリー
代表取締役 松林興

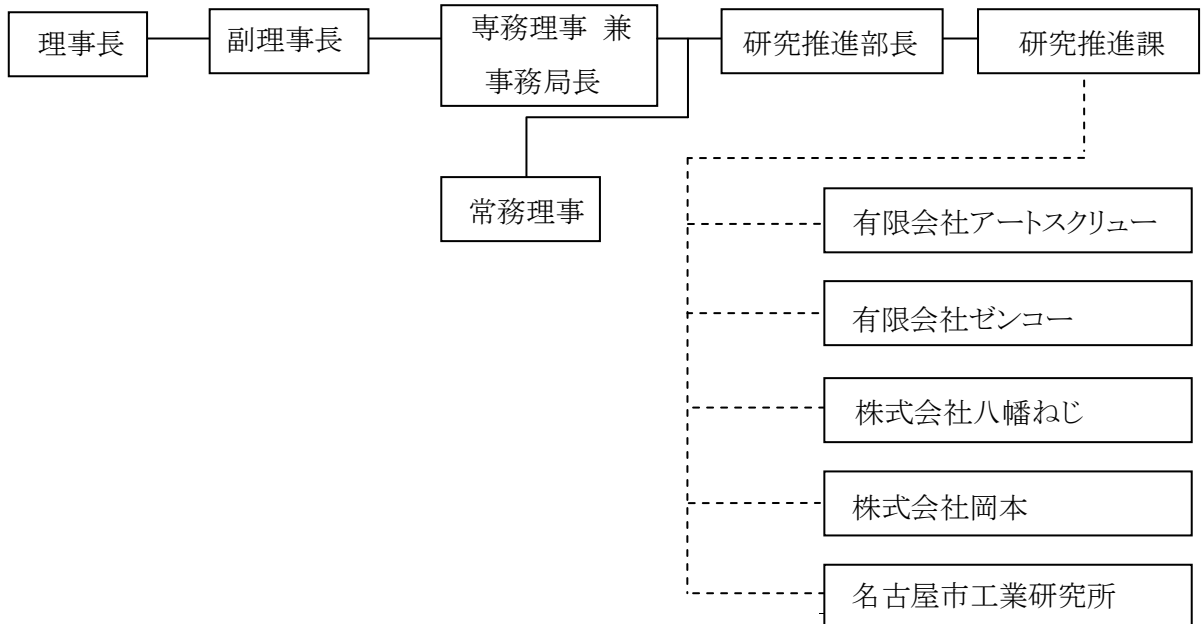
副総括研究代表者(SL)

名古屋市工業研究所
プラスチック材料研究室 二村道也

2) 管理体制

① 事業管理者

[財団法人名古屋産業振興公社]

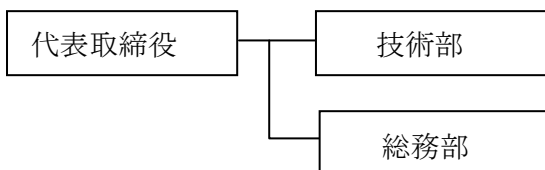


② 再委託先

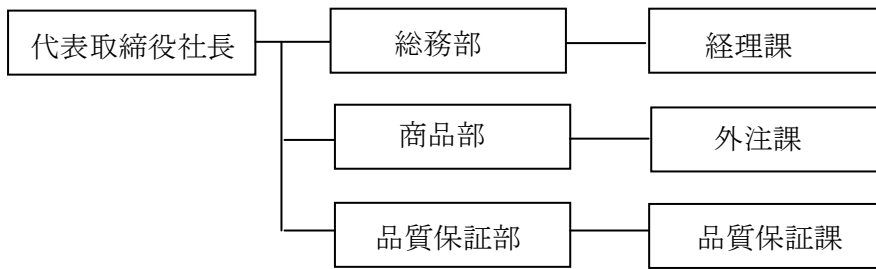
[有限会社 アートスクリュー]



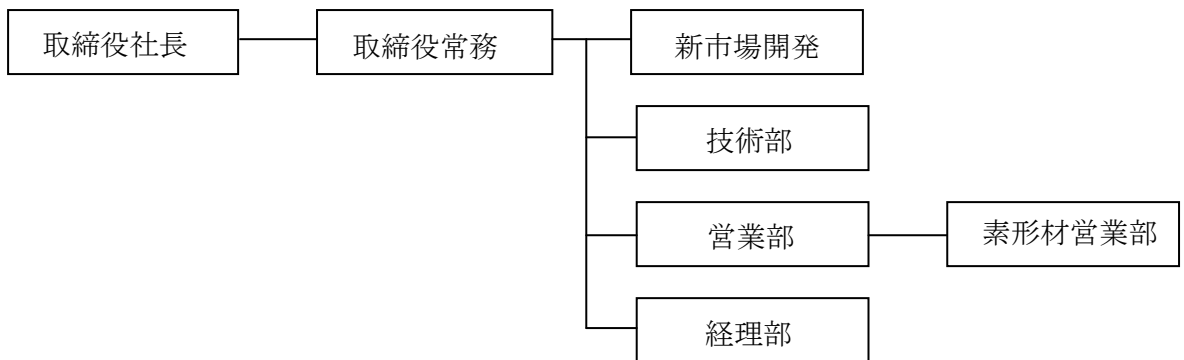
[有限会社 ゼンコー]



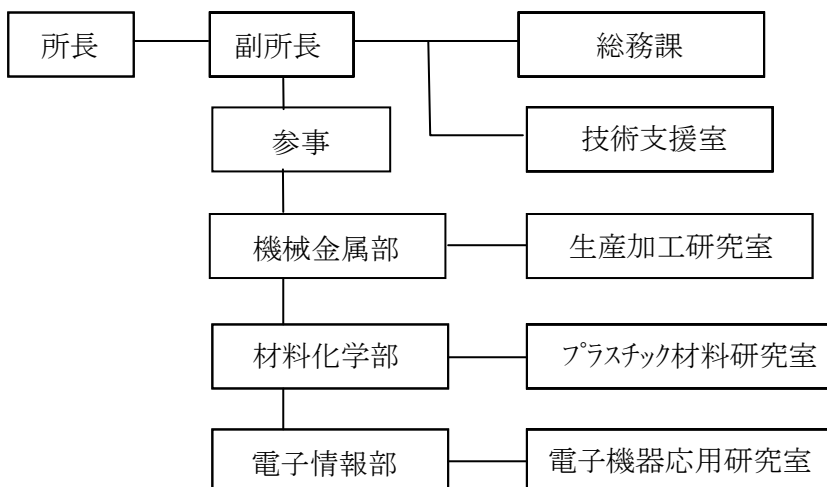
[株式会社八幡ねじ]



[株式会社 岡本]



[名古屋市工業研究所]



(2)管理員及び研究員

【事業管理者】財団法人名古屋産業振興公社

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
浅尾 文博	研究推進部長	⑧
数井 宏充	研究推進課長	⑧
荒井 優佳	研究推進課	⑧

【再委託先】

研究員

有限会社 アートスクリー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松林 興	代表取締役	①、③、④、⑥、⑦

有限会社 ゼンコー

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
松林 興	代表取締役	②、⑤、⑥、⑦
後藤 久雄	工場長	②、⑤、⑥、⑦

株式会社 八幡ねじ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
堤 真澄	品質保証部長	③、④
吉田 秀基	商品部外注課長	③、④

株式会社 岡本

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
西垣 功一	新市場開発部開発技術課長	②、⑤、⑦
須田 貴志	新市場開発部	②、⑤、⑦
広瀬 達也	素形材営業部	②、⑤、⑦
若原 正敏	技術部設計係長	②、⑤、⑦

名古屋市工業研究所

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
二村 道也	材料化学部 プラスチック材料研究室 研究員	①、②、③、④
村田 真伸	機械金属部 生産加工研究室 研究員	①、③、④
八木橋 信	電子情報部 電子機器応用研究室 研究員	①、③、④、⑥、⑦
岩間 由希	電子情報部 電子機器応用研究室 研究員	②、④

1-3 成果概要

本事業では、ボルト単体で緩み防止効果が得られ、疲労強度も標準ボルトを上回り、作業性も標準ボルトと変わらないまったく新しいボルト(以下、モーシオンタイトと呼ぶ)を開発した。具体的には、緩み防止効果においては高強度区分(以下、8T と呼ぶ)のモーシオンタイト(M12)が米国航空規格NAS3350 に準拠した振動試験において17分間(規定値)緩まず、低強度区分(以下、4T と呼ぶ)でも少なくとも10倍以上緩まないことを確認した。

引張破断強度(JIS B1052)では目標の1.2倍に達しなかったものの従来の標準ボルトと同じ強さを持ち、引張疲労強度(JIS B1081)では標準ボルトに対する開発目標値(1.2倍)を達成した。製造コストについてはコスト算出に必要な本数(数十万本)を製造できず検証できなかった。

モーシオンタイトの緩み防止の機構は、ボルトのねじ山を圧力側に傾斜させると共にねじ谷に大きなR形状を設け、締め付け時にねじ山が弾性変形することにより、かみ合い率を向上させることで実現した。この機構は数値シミュレーションによってもその効果を確認した。標準ボルトでは必ず存在する加工上の公差の問題から、ボルトの軸力を集中的に受ける部分は一つのねじ山となる。モーシオンタイトでは複数のねじ山に軸力を分散させて保持するため、同じ設計軸力に対して高い締め付けトルクを加えることができる。さらに軸力によるねじ山への応力集中を緩和させることで長寿命化を図った。

実環境を想定した温度サイクル試験では、かみ合い率の高いモーシオンタイトの方が、おそらく結露が原因と思われる接触面の固着の影響が高く、締め付けトルクよりも高い戻しトルクとなることがわかった。この現象を当初予想はしていなかったが、実環境で発生する金属面の固着や錆等も、モーシオンタイトの緩み止め効果が標準ボルトよりも高まることが示唆された。駅に設置するホームドアの研究施設における屋外での長期間にわたる試験においても、モーシオンタイトの戻しトルクが標準ボルトよりも高く観察されることが確認さ

れており、モーションタイトが実環境でも実験値以上の高い緩み防止効果を持つことが期待できる。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

総括研究代表者

有限会社アートスクリュー

代表取締役 松林興

TEL 052-915-3295

FAX 052-915-3278

E-mail: kou@artscrew.co.jp

事業管理者

財団法人名古屋産業振興公社

研究推進部 研究推進課 浅尾 数井 荒井

TEL 052-736-5680

FAX 052-736-5685

第2章 本論

(1) 最適形状の検討

1) 異なる強度区分やサイズが異なるボルト形状の検討

21年度は数値計算により、ボルトねじ山を傾斜させることで締め付け時にねじ山に発生する反力がより多数の山に分散されることが明らかになった。一方、これらボルトの振動試験では、熱処理した 8T ボルトについては緩み防止効果が得られた。

これらの結果より、反力をねじ山頂部に作用させることによりトルク半径を大きくし、また多くの山に反力を分散させることにより緩み防止を行う、当初の計画通りの作用をするねじ山形状を開発できた。

また、より低トルクや熱処理をしていない 4T ボルトで緩み防止効果を発揮させるため、ねじ山頂部を塑性変形させないよう一定の接触面積を確保する形状のボルトを試作し、振動試験において高い緩み防止効果を得た。

以上の結果から、4T ボルトで緩み防止効果を発揮するねじ山形状の方向性を決定できた。22年度は、この 4T ボルトの形状を決定するための試作からスタートさせることとした。本来、量産工程を行う工場の作業性やダイスの管理などを考えるとねじ山の形状は 1 種類であることが望ましい。4T ボルトで緩み防止効果を発揮するねじ山形状が、8T ボルトと同じ形状であれば、それらの問題は解消される。8T ボルトは、座面側に対し一定の傾斜角が設けられればフランクの接触面の反力が得られ、ある程度緩み防止効果を得られたが、締め付けトルクを大きくすることができない 4T ボルトでは傾斜角を大きくしても反力は得られず、無理をしてトルクを上げると逆にねじ山を塑性変形させてしまう問題が生じた。そこで、ねじ山の一部に極端に負荷がかかる形状ではなく、フランクの接触面積を大きくし、ねじ山全体で荷重を受け止められるように雄ねじと雌ねじとの接触面が平行になるよう設計した。この構造を図2-1に示す。

本設計のポイントは、接触面を平行にしたことであるが、傾斜角は 8T ボルトのように大きな角度ではなく、小さな角度で試みた。これは次の2つの理由による。一つには、傾斜角を大きくすればするほどフランク面同士の接触面積が減少すること、もうひとつには、4T ボルトのようなトルクをかけられないボルトでは、少量のトルクで起き上がりが可能な浅い傾斜が必要であること、である。比較のために、傾斜のない標準ボルトのような 60° の山角度でも試作を行ったが、発生する反力が弱く、振動テストでは緩み防止効果が得られなかった。さらに、ねじ山全体が遊び側フランク方向へ簡単に傾斜しやすく、経年によ

る塑性変形の問題が残った。そこで、浅い傾斜で適正な反力が得られ、弾性変形を保つことができるような形状で設計して試作と評価を繰り返した。

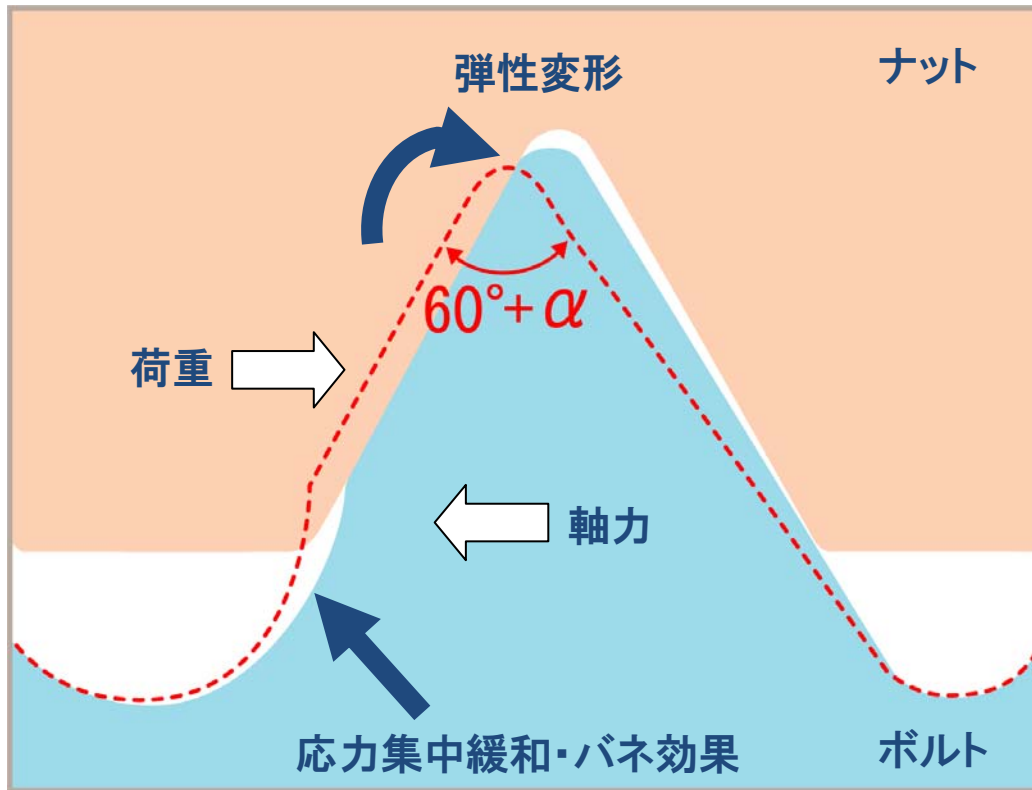


図2-1 ねじ山構造図

2) 数値解析

21年度は、ねじ山の変形の様子を確認することに主眼を置き、計算の高速化のためにねじのリード角を考慮しない軸対称モデル(2次元)で解析した。22年度はリード角まで考慮するため詳細な3次元フルモデルで解析した。使用した解析モデルと主な解析条件を図2-2に示す。ボルトの首から下の部分は弾性体とし、ナットをはじめとするその他の部品についてはすべて変形しない剛体としてモデル化した。

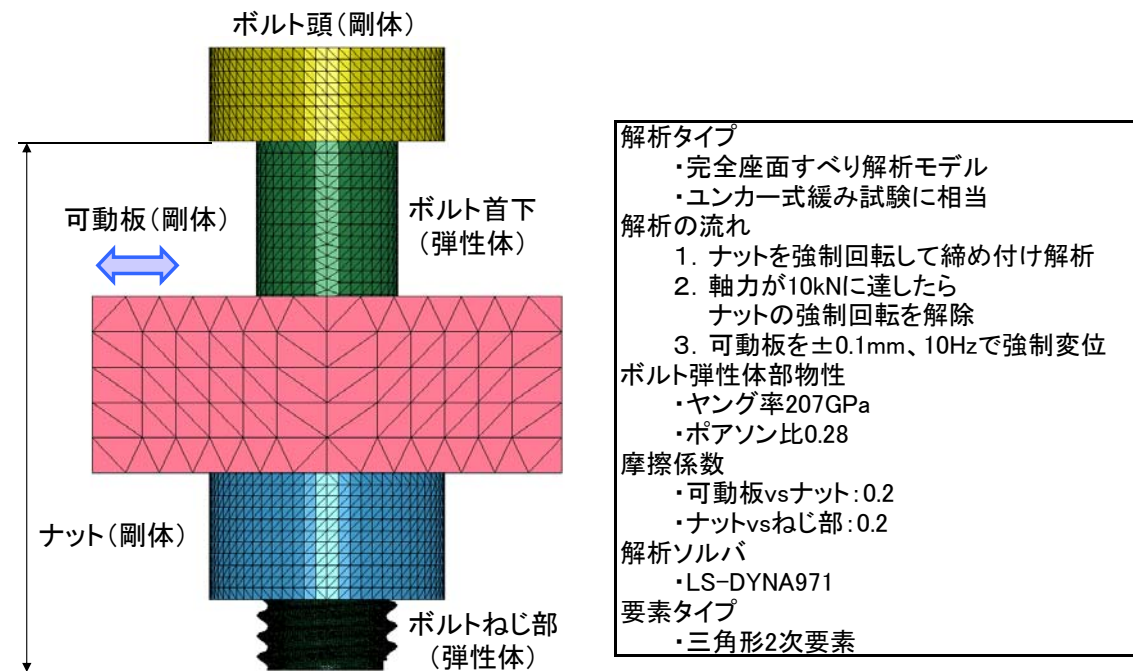


図2-2 解析モデルと主な解析条件

解析の流れは、1.ナットを強制回転させて締め付け解析を行う、2.その際の軸力をモニターしていて軸力が10kNに達したらナットの強制回転を解除(0.1secまで待機)、3.可動板を振幅±0.1mm、振動数10Hzで強制変位させる、とした。標準ボルトとモーショントイトについて同条件下で解析し、締め付け時の応力状態やナットの緩み角度を比較した。

3) 解析結果

1. 締め付けシミュレーション結果

10kN で締め付けた状態での各ボルトのねじ山に発生している応力状態を図2-3に示す。図からわかるように、標準ボルトでは1山目、2山目に応力が集中しているのに対して、モーシオンタイトでは3山目、4山目にまで応力が分散していることが分かる。これにより、ねじ山およびねじ谷の応力が標準ボルトより広く分散していることが、リード角を考慮した3次元モデルにおいても確認できた。

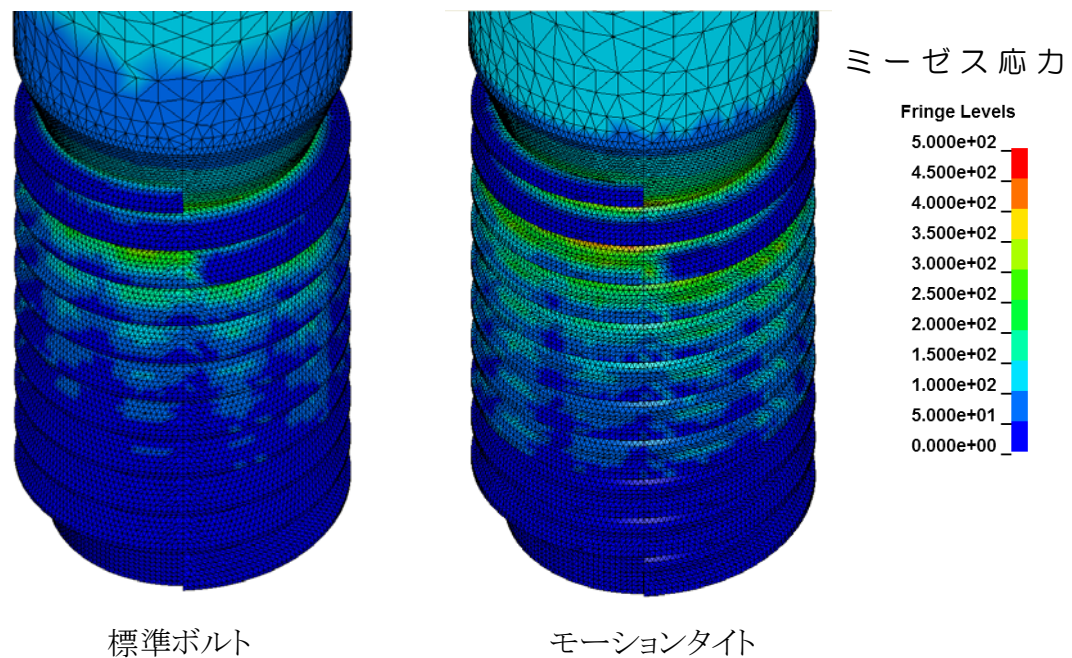


図2-3 10kN 締め付け時の応力状態

2. 緩みシミュレーション結果

可動板を強制変位させた場合のナットの緩みについて、標準ボルトとモーシオンタイトで比較した結果を図2-4に示す。可動板の振動数は10Hz なので、1サイクル 0.1sec である。可動板が動き始めた瞬間、標準ボルトもモーシオンタイトも 0.01deg 程度まで急速に緩みが進行する。その後、標準ボルトは可動板の振動に応じて徐々に緩みが進行するのに対して、モーシオンタイトも若干の角度の変化はあるものの、ほとんど緩みは進行しない。モーシオンタイトでは、ナットとねじ山との接触圧力が分散しているため、左右死点においてナットとボルトの接触面圧が保持されている面積が広がる。それゆえ、モーシオンタイトの方が強制変位に対しても緩みを生じにくいということが、本シミュレーションから推測される。

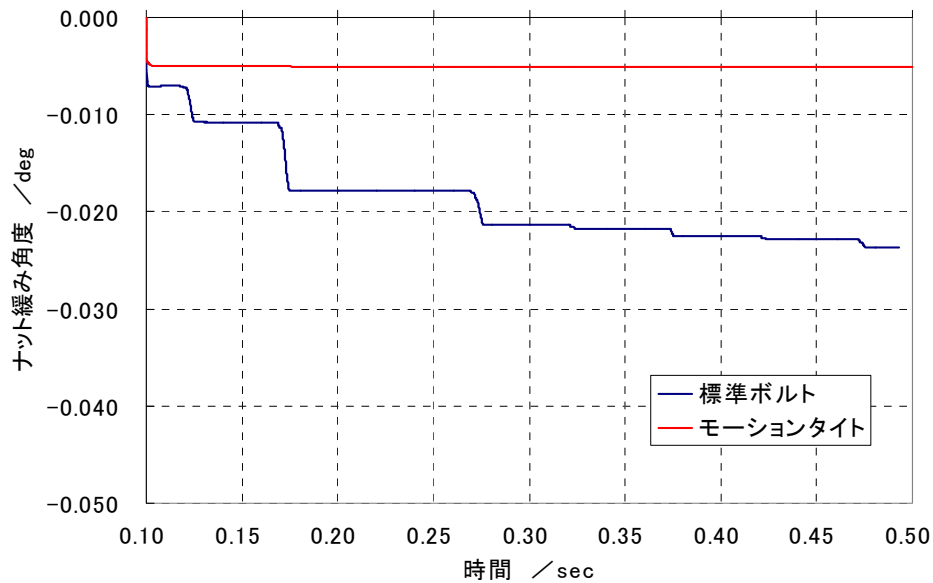


図2-4 ナットの緩み角度の時間履歴

(2) 転造成形工程の開発

モーションタイトの形状確定に向けた、最適形状確認用ダイスの製作を通じて、高精度な形状転写を実現する型及びそれを加工する工程を決定した。ダイス製作からねじ成形、さらにねじの性能評価による形状検証までの検証サイクルを円滑に進めるために、ねじサイズ M12×P1.75 の 1 サイズに絞りダイス設計を行った。モーションタイトの形状確定に向けて、任意に山形状を変えていく必要があるため、山形状の成形加工にはワイヤーカットによる粗加工と電着工具による仕上げ加工を採用した。粗加工にワイヤーカットを採用することで、電着工具に掛かる負荷を軽減して、仕上げ加工における研削加工で工具形状の精度維持を図った。モーションタイトは特殊な山形状である上に寸法精度が 0.01mm オーダーで設計されているため、粗加工であっても、ワイヤーカットによる放電ギャップなどを調整する必要があると有り、試作を繰り返すことによるプログラム修正を行った。この金型で作成したねじ山形状の写真を図2-5に示す。



図2-5 モーションタイトのねじ山形状写真

(3) 緩み防止効果の検証と形状へのフィードバック

1) モーションタイトの推奨締め付けトルク

標準ボルトの締め付けトルクの目安として、ボルトの降伏応力の 6~7 割の軸力が発生するトルクを推奨値とする方法がある。各ボルトの降伏応力の 70%に相当する軸力における締め付けトルクを求めた結果を表2-1 に示す。締め付けトルクは、どの材質においても、モーションタイトは標準ボルトよりも約 1.2 倍となることが分かる。モーションタイトのトルク-軸力特性を測定した結果、ボルトの軸を引っ張る力がねじ山をたわます力に分散されてしまうため、軸力が上がりにくいことがわかった。同一軸力において標準ボルトの 1.2 倍の締め付けトルクをかけることができるため、このことも緩み防止効果にプラスの影響を与えていると考えられる。

表 2-1 標準時の締め付けトルク (M12)

材質	標準軸力 (kN)	標準ボルト (Nm)	
		ノーマル	モーションタイト
4.8 (4T)	20.1	51.7	60.8
8.8 (8T)	37.8	68.5	75.1
SUS	12.1	46.7	56.9

(標準軸力：ボルト降伏荷重の 70%)

2) NAS3350 試験による緩み防止効果の評価

2011 年 2 月 18 日にJQA関西試験センターで行った振動試験結果を図2-6、2-7、2-8に掲載した。M16 ボルトはピッチ 2.0、M12 ボルトはピッチ 1.25 と 1.75 のテストを行った。条件を同じにするために、ボルトは同一ロットの同一鋼材で作成したもので、強度区分は 4Tと 8Tのものをそれぞれ準備し、締め付けトルクは標準ボルトもモーションタイトも同じ数値で締め付けた。

M16 のような大径ボルトは、一般に小径ボルトに比べて緩みやすいと言われている。これは、公差範囲が小径ボルトに比べて大きいため、隙間が大きくなり、又そのためにいわゆる片あたり(雄ねじと雌ねじの接触面積が減る状態)が激しくなるからだと考えられる。実際に、標準ボルトは 4Tボルトも 8Tボルトもすべて 20 秒以内に緩んでいる。モーションタイトは 4Tボルトの場合、低トルク域(120Nm)では同じように緩んでいるが、トルクを上げる(140Nm)と一気に緩み防止効果が発揮され、3 分 28 秒後に緩んでいる。8Tボルトは締め付けトルクが 4Tボルトよりも大きくなるため、さらに緩み止め効果の差が大きく

なり、150Nm で 10 分間緩まず(戻しトルク 9 割維持)、180Nm では 17 分間緩んでいない(戻しトルク 9 割維持)。さらに、特筆すべきは最後の欄に記入されているテスト結果であり、これはモーションタイトと溶融亜鉛メッキ(ドブメッキ)を施したナットとの組み合わせである。メッキが厚いために通常のナットよりも大きくねじ穴が加工(オーバータップ)されていて、標準ボルトを組み合わせた場合、振動テストでは瞬時に緩みが生じるが、モーションタイトは、10 分間緩んでいない。屋外で使用するボルトは防錆のため、溶融亜鉛メッキを施したボルト・ナットが多用されるが、このような場所では、モーションタイトは緩み防止に対して大きな威力を発揮することと考えられる。

M12 ボルトのテスト結果もほぼM16 ボルトと同様な結果であるが、ピッチ 1.25 の細目と 1.75 の並目では、1.25 の方が良い結果が得られている。これは、標準ボルトでも言えることであるが、ピッチが小さいと雄ねじと雌ねじが螺合する山数が増えることやリード角が小さくなるために緩みにくくなるためであると考えられる。

さらに、2 月 21 日にM8 ボルトとM10 ボルトの振動テストを行ったが、同様な試験結果が得られており、ボルトのサイズによってねじ山の形状を変える必要はなく、又 4Tボルトと 8Tボルトのように強度区分が変わっても同一のねじ山形状で加工すれば緩み防止には十分効果があることが判明した。

熱処理をしない 4Tボルトでは、締め付けトルクを必要以上に上げることができないため、ねじ山の反力を十分に得ることができないが、標準ボルトに比べれば約 10 倍以上の時間緩まないという試験結果が得られた。4Tボルトの場合、ダブルナットとの組み合わせやフランジナットとの組み合わせなど、ねじ山の反力を増大させる要素のあるものは、標準ボルトで使用されるよりもさらに良い結果が得られると予想される。これらの組み合わせで 8Tボルト並みの緩み防止効果が得られる可能性があるため、今後のテスト結果に期待したい。

試験結果 :

試験品名	試料No.	締付トルク N・m	結果	戻しトルク N・m
六角ボルト M16×60-4.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	120	18秒で緩んだ	—
	2	140	16秒で緩んだ	—
六角ボルト M16×60-8.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	150	14秒で緩んだ	—
	2	180	19秒で緩んだ	—
六角ボルト M16×60-4.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	120	17秒で緩んだ	—
	2	140	3分28秒で緩んだ	—
六角ボルト M16×60-8.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	150	10分間緩まなかった	132.8
	2	180	17分間緩まなかった	169.6
六角ボルト M16×60-8.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(溶融亜鉛めっき)	1	180	10分間緩まなかった	91.6

M16 ボルト ピッチ 2.0 (並目) の振動テスト結果

- 赤ラインがモーションタイトのテスト結果
- ラインなしは標準ボルトのテスト結果

財団法人 日本品質保証機構

図 2 - 6 試験結果 1

試験結果 :

試験品名	試料No.	締付トルク N・m	結果	戻しトルク N・m
六角ボルト M12-1.25×60-4.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	60	8秒で緩んだ	—
	2	70	14秒で緩んだ	—
六角ボルト M12-1.25×60-8.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	70	54秒で緩んだ	—
	2	80	44秒で緩んだ	—
六角ボルト M12-1.25×60-4.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	<u>60</u>	<u>3分41秒で緩んだ</u>	—
	2	<u>70</u>	<u>8分21秒で緩んだ</u>	—
六角ボルト M12-1.25×60-8.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	<u>70</u>	<u>10分間緩まなかった</u>	<u>63.0</u>
	2	<u>80</u>	<u>10分間緩まなかった</u>	<u>82.4</u>

M12 ボルト ピッチ 1.25 (細目) の振動テスト結果

図 2 - 7 試験結果 2

試験結果 :

試験品名	試料No.	締付トルク N・m	結果	戻しトルク N・m
六角ボルト M12×60-4.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	70	12秒で緩んだ	—
六角ボルト M12×60-8.8 (三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	80	1分47秒で緩んだ	—
六角ボルト M12×60-4.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(三価クロメートめっき)	1	<u>70</u>	<u>5分18秒で緩んだ</u>	—
六角ボルト M12×60-8.8 (モーションタイト 三価クロメートめっき) +六角ナット(S45C三価クロメートめっき)	1	<u>80</u>	<u>17分間緩まなかった</u>	<u>79.6</u>

以上

M12 ボルト ピッチ 1.75 (並目) の振動テスト結果

図 2 - 8 試験結果 3

(4) 引張強度、長期信頼性評価と形状の最適化

4-1 疲労試験

1) 試験方法

疲労試験は、JIS B 1081 ねじ部品の引張疲労試験に記載の組合せ試験法に基づいて実施し、破壊確率 50%に対応する S-N 曲線を求めた。試験機には、疲労試験機サーボパルサ EHF-ED10((株)島津製作所)を使用し、試料には、六角ボルト M12×60-4.8(4T)、M12×60-8.8(8T)の標準ボルトおよびモーショントイトを使用した。疲労試験は、平均応力一定の下、応力振幅を水準とし、各応力段階においてボルトが破断するまでの繰返し数を調べた。平均応力は、標準ボルトの締め付け時の軸力から、各ボルトの降伏応力の 70%とした。なお、繰返し回数が 5×10^6 回に達しても破断しなかった場合、その時点で試験を打ち切った。

2) 試験結果

① 4.8(4T)ボルト

試験結果を図2-9に示す。S-N 曲線上で、モーショントイトは標準ボルトより右上に位置しており、これはモーショントイトが標準ボルトより疲労強度が高く、寿命が長いことを示している。ステアケース法により求めた $N=5 \times 10^6$ 回における破壊確率 50%の疲労強度は、標準ボルトが 68.3MPa であるのに対し、モーショントイトは 81.7MPa であり、モーショントイトは標準ボルトの約 1.2 倍の疲労強度を持つことが確認された。

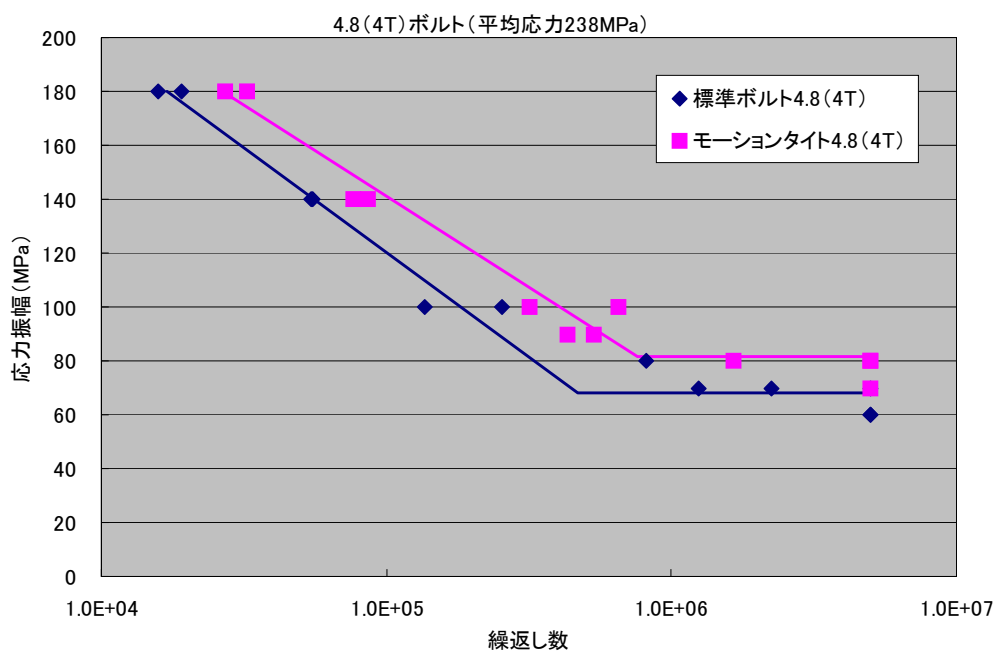


図2-9 S-N 曲線(4.8(4T)ボルト)

② 8.8(8T)ボルト

試験結果を図2-10に示す。4.8(4T)ボルト同様に、S-N 曲線上で、モーショントイトは標準ボルトより右上に位置しており、8.8(8T)ボルトもモーショントイトは標準ボルトより疲労強度が高く、寿命が長い。N=5×10⁶ 回における破壊確率 50%の疲労強度は、標準ボルトが 78.3MPa であるのに対し、モーショントイトは 91.7MPa であり、8.8(8T)ボルトもモーショントイトは標準ボルトの約 1.2 倍の疲労強度を持ち、開発目標値を達成した。これらの結果からモーショントイトが標準ボルトに対して疲労耐久性に優れたボルトであることが示された。

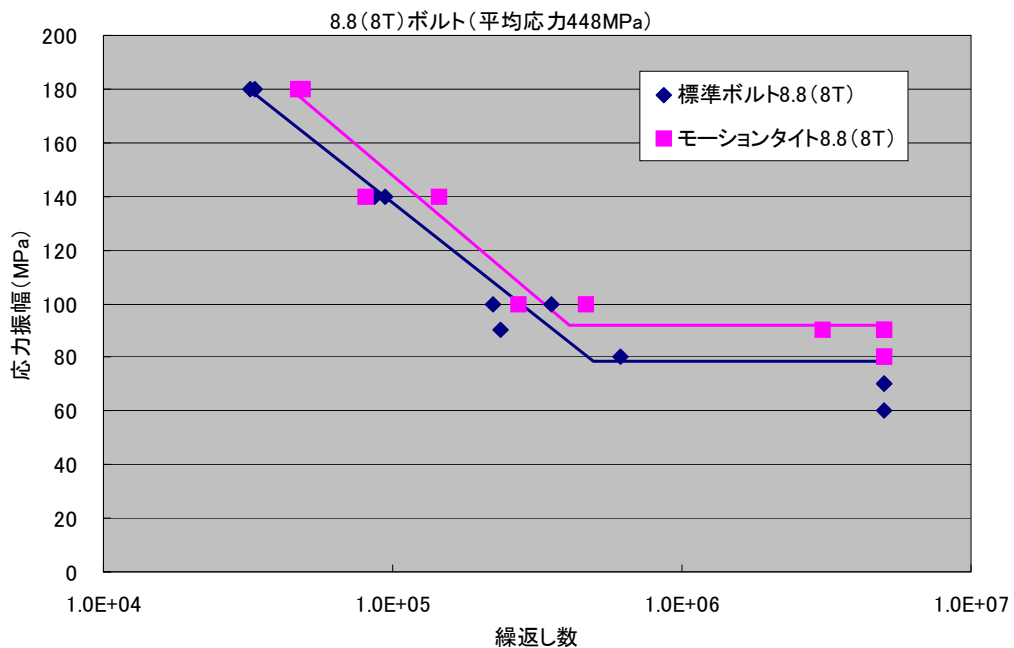


図2-10 S-N 曲線(8.8(8T)ボルト)

4-2 引張強度試験

1) 試験方法

引張強度試験は、JIS B 1051 炭素鋼及び合金鋼製締結用部品の機械的性質に基づいて実施した。試験機には、油圧式万能材料試験機 UH-500kNA((株)島津製作所)を使用し、試料には、M10×50、M12×60、M16×60 の標準ボルト(JIS B 1180 六角ボルト、公差域クラス 6g)およびモーショントイトを使用した。試験は、ボルト引張用治具に試料を取り付けた後、破断するまで徐々に引張荷重を加え、最大点荷重を測定した。

2) 試験結果

モーシオンタイトの引張破断荷重(JIS B1052)は、強度区分 4T, 8T のいずれにおいても、標準ボルトと同じ(1.0 倍)となることがわかった。

谷側の R 形状の付与により、モーシオンタイトの引張破断荷重(JIS B1052)が標準ボルトよりも高くなることを期待していたが、実験により標準ボルトと変わらないことが確認された。当初の計画の目標値である 1.2 倍の引張破断強度は得られなかったが、モーシオンタイトが標準ボルトと同等の引張破断強度を保持していることは証明された。

代表例として M12×60 の 4Tボルト及び 8Tボルトの引張試験結果を表2-2に示す。

表2-2 引張試験結果

試料 No.	4.8(4T)ボルト		8.8(8T)ボルト	
	モーシオンタイト	標準ボルト (JIS 6g)	モーシオンタイト	標準ボルト (JIS 6g)
1	44.50	44.68	79.24	81.00
2	44.26	44.52	79.76	80.60
3	43.50	45.60	79.64	78.36
4	43.54	44.40	79.66	79.84
5	44.60	44.52	80.12	80.76
平均	44.08	44.74	79.68	80.11
Max	44.60	45.60	80.12	81.00
Min	43.50	44.40	79.24	78.36
レンジ値	1.10	1.20	0.88	2.64

(5) 転造成形用金型の検討

モーションタイトを連続成形する場合、ダイスに掛かる負荷は一般のねじの転造とは異なることが推測された。このため、連続成形用ダイスはダイス山形状に掛かる負荷を軽減するために、転造圧の急激な変化を緩和させるように最適形状確認用ダイスより転造距離を長く設定した。製作においては、電着工具による研削加工を採用した。

(6) 高精度成形条件の確立

ねじ山の最終形状が傾斜角の浅いものになったため、転造の際に移動する肉の成形量が減少し、モーションタイトの加工に要していた転がり距離も減少した。加工距離が短くなることで、ダイスのサイズが小さくなり、ストロークの短い転造機で加工ができ、加工時間の短縮にもつながる改良を実現した。

(7) 効率的な生産方法の検討

高速転造に適した連続成形用金型について、長寿命化に資する金型材料や表面処理について検討し、高効率、低コストで成形可能な生産技術の確立を試みた。一定量転造後にリングゲージを用いて成形寸法の変化を判別して、金型の消耗を監視した。

寸法チェックを外径はマイクロゲージを使用し、ねじ山形状はモーションタイト用のリングゲージで測定した。転造前の素材径は 1/100 mm単位で刻んだブランクを広範囲で準備し、リングゲージで通り止まりの管理ができるように一定の寸法公差を設けた。

予算の関係でブランクを大量に購入することはできなかったため、10 万本、20 万本といった大量生産後のダイス表面状態は確認できなかったが、1 万本加工後の状態が使用前とほぼ同状態であることを考えれば、ある程度の耐久性は確保されると予測はできる。但し、正確な生産価格を決定させるために、実際に何十万本と加工した後の摩耗状態を確認し、ボルト 1 本当たりにかかるダイス消耗費を割り出す必要がある。この点はブランクの購入費用として多大な出費が必要となるために、今後の継続課題として残る。

最終章 全体総括

ボルト単体で緩み防止効果が得られ、疲労強度も標準ボルトよりも向上させ、さらに標準ボルトと同じ作業で締め付けができるという、通常のボルトの概念を覆す全く新しいボルト「モーションタイト」を開発した。

ねじ山も山頂部が最初に接触する当初の形状よりも大幅に進化し、最終的に雄ねじフランクと雌ねじフランクが平行に接触する形状となった。これにより、一定の反力と弾性力を保持し、4Tボルトも 8Tボルトも安定した緩み防止力が得られるようになった。緩み防止においては、市場で販売されている製品の大半が、雄ねじと雌ねじの摩擦接触型(プリベリングトルク型)であり、締め付けにかなりの労力を要するうえ、正確なトルク管理ができなため、使用場所が制限されるという欠点があった。モーションタイトは、作業性においても標準ボルトと全く同じであり、トルク管理も可能なため、使用場所は限定されない。

さらに特筆すべきは疲労強度の試験結果である。名古屋市工業研究所で行ったテスト結果では、モーションタイトが標準ボルトに比べて 4Tボルト・8Tボルトとも約 1.2 倍の疲労強度を得ている。疲労強度を向上させるために、さまざまな企業が素材の研究や熱処理の研究をしているのが現状である。それほど疲労強度を向上させることは難しいのだが、モーションタイトはねじ山の形状を変えるだけで約 1.2 倍に向上させることが可能となった。これにより、ボルトの疲労破壊や破断などの不安を少しでも解消でき、使用数量の削減によるコスト低減や重量低減による燃費向上などが可能になると期待している。

この研究開発で、4Tボルトと 8Tボルトにおいては、概ね高い緩み止め効果を得ることができた。しかし、ボルトの材料は鉄だけではなく、ステンレス・真鍮・アルミニウムなどさまざまな材料がある。特に、ステンレスはその防錆能力により、鉄に次いで使用量が多い。このステンレス素材のボルトについてのさまざまなテストは、今後早急に行っていく必要がある。その他、真鍮・アルミニウムによるテストもその後に順次行う予定である。

ねじは、建築・家電・自動車の三大需要業種を中心に、OA機器・機械・レジャーなどさまざまな分野で莫大な数量が使用されているので、既存のねじメーカーとも提携してモーションタイトを広めていきたいと考えている。また、プラスチックねじへの応用も考えており、機会があれば射出成型による試作も進めていきたい。

今後は確実にユーザーを増やせるように、さらなるデータの蓄積やサンプル生産などを行い、国内や海外の展示会にも積極的に出展し、ユーザー開拓に努める予定である。

モーションタイトは、JIS規格やISO規格のように決められた一定の公差範囲を設けて

いるため、どこの工場でも精度の高い同じ製品を生産することが可能である。この新しい規格のねじが、数年後にはデファクトスタンダードとなり、世界中で使用されるようになれば、ねじの緩みによる事故を無くすことも決して夢ではない。