

ねじ締結体の設計法

第2版のご紹介

一般社団法人日本ねじ研究協会

1 紹介

大変ご好評を頂いておりました“ねじ締結体の設計法”の第2版が発行されました。

以下に、澤 俊行委員長（広島大学名誉教授）のはじめの言葉と目次を掲載します。

本書は、1冊 12,000円（送料別）、会員は 6,000円（送料別）にて配布しますので、入用の方は、住所・氏名・連絡先・部数を明記して FAX（03）3578-1038 でお申込みください。

2 はじめに

2011年（平成23年）に日本ねじ研究協会内の研究委員会（委員長、澤 俊行）が発足した。

当初15名の委員により、2年ほど委員の問題意識を共有するために実用上の問題などを討議し、その結果、実用上で必要なねじ締結体の設計法確立という点でまとまった。世界ではすでにVDI 2230（本協会から1974年版、1977年版、1986年版、2003年版及び2014年版が翻訳され出版されている）が存在している。豊富なデータに裏付けられた優れた設計法であるが、問題がないわけではなく、我々として理解し使いやすい設計法とは言い難い面もあるように思える。本委員会としてはさらにこの上を行く、優れた使いやすい設計法を目指すことになった。2013年（平成25年）から、具体的ねじ締結体設計法の議論が行われ、各委員及び国内研究者のこれまでの研究成果を中心にした内容を系統的にまとめることに主眼を置きながらねじ締結体の設計法を整理し、2016年5月に「ねじ締結体の設計法」として発行するに至った。

しかし発行から3年が経過し、研究委員会での活動成果も蓄積され、上記「ねじ締結体の設計法」を見直す時期に来たと考え、2019年10月に研究委員会の中にねじ締結体設計法検討分科会（SC-1）を設置することになり、ワーキンググループとして竹中正人リーダを中心に鬼頭徹及び蒲原健太郎サブリーダの下に18名の委員で改訂作業を行うことになった。さらに修正された原案をチェックするための編集委員会を設置し、ここでは山崎一生委員を中心に多くの委員がこの改訂作業に係わり完成に至った。今回の改訂で修正及び加筆した部分は以下である。なお2022年2月現在研究委員会の委員数は27名である。

① 全体を通して、誤字、脱字及び表現の間違いを修正し、また、読みやすいように数式、図表等の体裁を整えた。

② 4章「ねじ締結体の締付け」では、ねじの力学について理解しやすいように図と補足説明を追加した。また、設計で定義した条件を製造で実現する締付け方法の留意点を追加した。さらに、付録C「摩擦係数測定について-2」では、初版（付録A、B）の摩擦係数に関するデータに対し、追加実験により拡充したデータを示した。

③ 5章「平座金、座面面圧及び限界座面応力」では、特に限界座面応力（限界面圧）について、これまでの経緯及び新しい知見を加えた。また、付録Eでは、初版（付録D）に対し、新たに得

られたデータや知見を示した。

④ 7章「ねじの疲労」では、疲労に関するこれまでの知見を整理するとともに、新しい知見を加え内容の刷新を計った。

⑤ 8章「実際の設計例」では、理解しやすいように計算例題により詳しい計算手順を加えた。

⑥ 付録Fに新テーマとして「ねじ部品の遅れ破壊」を新たに加えた。

ねじ締結体設計法の基本は、外力作用に対して、ボルトに発生する軸力の増加分（内力係数）をより正確に推定することである。1936年発行のThumとDebusの共著「ねじ接手の疲」（石谷清幹訳，コロナ社，昭和18年）以来現在まで十分な精度での推定ができなかったため、ボルト初期締付け力がより大きく設定できない及びねじの呼び径と強度区分を大きくとりすぎる傾向にあった。最近の研究より従来値に比べて内力係数の値がかなり小さいことが認識されるようになり、この結果を用いてより簡単な手法でのねじ締結体の設計法を示すことを目的としている。特に締結体の内力係数は長い間用いられてきたThumの公式の問題点を明らかにし、日本で開発された新しい算出法を示し、新締付け線図も示している。今後の締結体設計の更なる精密化及び締結体の健全化に向けた寄与が期待される。

さらに中空円筒締結体，T形フランジなどの二本ボルト締結及び円形フランジなどの多数ボルトによる締結に対しても最近得られた知見を示している。ねじ面及び座面の摩擦係数に関しては委員会として実験を行い，データの収集を行っている。限界座面応力に関する実験も行い，従来の限界面圧に対して更なる合理的限界面圧の提案を検討している。平座金の効果及びより大きくなるボルト初期締付け力に対して座面で応力と変形状態に関する知見を示し，座面の塑性変形により生じる平均的へたり量についても検討を加えている。さらに一本ボルトから多数本で締結される締結体に対して，簡単な計算手法により，与えられた条件に対してのボルトの呼び径寸法が求められる計算例題を示し，自動車部品で使用される実務的締結体構造物のボルト設計法も示している。締結体への荷重伝達についても設計例で示している。これらの成果は実務者に役立つ内容と期待している。

この設計法は主にボルト・ナットで締結する場合を扱い，不十分な点はあるが一応体系的に設計できる締結体設計法であると確信している。ねじ締結体に関する知見は実務における使用の過酷化精密化に従い，日々向上するので，今後常に改善を図られるべきであると考えている。委員会としては今後ねじ込みボルト締結体などのいくつかのねじ締付け形態，現在問題になっている薄板あるいは高分子材料などの新材料の締結及びねじの遅れ破壊など，多くの課題に対して検討を予定し，今後さらに必要なデータの収集と研究を積み重ね，ねじ締結体設計の改善と充実を目指す予定である。

終わりに「ねじ締結体の設計法」の改訂作業に尽力頂いた関係各位に深甚なる感謝の意を表したい。

一般社団法人日本ねじ研究協会
研究委員会
委員長 澤 俊行

3 目次

1. はじめに	6
1.1 はじめに（改訂第2版の発行にあたり）	6
1.2 本設計法での対象締結体と概略	8
2. ばね定数	10
2.1 ばね定数の定義	10
2.2 ボルト・ナット系のばね定数と被締結部材（中空円筒）の圧縮ばね定数	12
3. 内力係数と締結体設計概略	21
3.1 軸方向外力が作用する中空円筒締結体の力学	21
3.2 温度変動下での中空円筒締結体の力学	28
3.3 引張荷重を受けるT形フランジ締結体	30
3.3.1 内力係数の解析方法	30
3.3.2 ボルトに発生する最大応力の解析	31
3.3.3 数値計算例と実験による検証	32
3.4 引張荷重を受ける円形フランジ締結体	34
3.4.1 内力係数の求め方	34
3.4.2 解析結果と実験結果との比較	35
3.4.3 まとめ	36
3.5 ねじ締結体の設計方針	37
4. ねじ締結体の締付け	41
4.1 ねじの力学	41
4.2 締付け方法とツール	45
4.2.1 締付け方法の種類	45
4.2.2 締付けツールと締付け精度	46
4.3 ねじ締結体の摩擦係数とトルク係数	51
4.4 ボルト軸力のばらつき	52
5. 座面応力及び限界座面応力（限界面圧）	55
5.1 座面形状とへたり	55
5.2 座面応力	57
5.2.1 座面接触面積と座面応力	57
5.2.2 最近の座面応力に関する知見	572

5.3	その他座面応力に関する知見	59
5.3.1	フランジ付き六角ボルト	59
5.3.2	平座金	60
5.4	限界座面応力（限界面圧）について	62
5.4.1	従来の限界座面応力（限界面圧）	62
5.4.1.1	ユンカーの方法と結果	62
5.4.1.2	日本ねじ研究協会による方法と結果	63
5.4.1.3	VDI 2230に掲載された方法と結果	65
5.4.2	限界座面応力（限界面圧）の新しい知見	69
5.4.2.1	限界座面応力（限界面圧）の定義	69
5.4.2.2	被締結部材を陥没させない座面応力で設計する考え方	70
5.4.2.3	被締結部材の陥没進行がほぼ生じない座面応力で設計する考え方	72
5.4.2.4	より大きい初期ボルト軸力で締付け、被締結部材座面の塑性変形が進展しボルト軸力の低下があっても、必要ボルト軸力を保持すればよいという考え方	74
5.5	限界座面応力（限界面圧）に関するその他の知見	75
6.	ねじのゆるみ	81
6.1	ゆるみの分類	81
6.2	ゆるみの原理	82
6.2.1	回転ゆるみ	82
6.2.2	非回転ゆるみ	83
6.3	ゆるみ止め部品の比較実験	83
6.3.1	ゆるみ止め部品	84
6.3.2	ユンカー（Junker）式ゆるみ試験	84
6.3.3	NAS（National Aerospace Standard）式衝撃ゆるみ試験	86
6.3.4	まとめ	86
6.4	ねじゆるみの有限要素法シミュレーション	87
6.4.1	軸直角方向繰返し荷重を受けるねじ締結体のゆるみ機構	87
6.4.2	被締結部材の表面の平行度がボルト締結体のゆるみに及ぼす影響	87
6.4.3	座面及びねじ部の接触面積の割合がボルト締結体のゆるみに及ぼす影響	88
6.5	実験結果とFEM解析結果との比較	88
6.5.1	被締結部材に傾きがある場合との比較検討	89
6.5.2	接触面積が減少している場合との比較検討	90
6.5.3	まとめ	913

7. ねじの疲労	92
7.1 ねじの疲労破壊と疲労限度の考え方	92
7.2 ねじの疲労強度に対する影響因子	94
7.3 疲労限度線図 (Haigh線図) と切欠き係数 β	97
7.4 疲労強度に関する仮説	99
7.4.1 石橋の仮説	99
7.4.2 ねじ谷底の残留応力に関する吉本の仮説	99
7.5 疲労試験の方法と結果	102
7.6 疲労限度の推定	103
7.7 疲労限度を向上させる方法	106
7.8 まとめ	107
8. 実際の設計例	109
8.1 一本ボルトによる中空円筒締結体の設計例	114
8.1.1 細中空円筒締結体の設計例	114
8.1.1.1 ねじの呼び径が与えられボルトの強度区分を決定する方法	114
8.1.1.2 ボルトの強度区分が与えられねじの呼び径を決定する方法	117
8.1.2 中空円筒締結体の設計例	119
8.1.2.1 ねじの呼び径が与えられボルトの強度区分を決定する方法	119
8.1.2.2 ボルトの強度区分が与えられねじの呼び径を決定する方法	122
8.2 多数ボルトによる締結体の設計例	124
8.2.1 T型フランジ締結体の場合	124
8.2.1.1 ねじの呼び径が与えられボルトの強度区分を決定する方法	124
8.2.1.2 ボルトの強度区分が与えられねじの呼び径を決定する方法	126
8.2.2 円形フランジ締結体の場合	127
8.2.2.1 ボルトの強度区分が与えられねじの呼び径を決定する方法	128
8.2.2.2 ねじの呼び径が与えられボルトの強度区分を決定する方法	130
8.2.2.3 ボルトの強度区分が与えられねじの呼び径を決定する方法(8.2.2.1目と同条件でボルト数が $N = 8$ の場合)	132
8.2.2.4 ねじの呼び径が与えられボルトの強度区分を決定する方法(8.2.2.2目と同条件でボルト数が $N = 8$ の場合)	133
8.3 構造物内のねじ締結体の設計例	135
8.3.1 自動車業界におけるねじ締結体の設計例	135
8.3.1.1 ボルト軸直角方向外力が作用する場合	136
8.3.1.2 ボルト軸方向に外力が作用する場合	141
8.3.1.3 設計フローチャート	1524

8.3.2FEMを用いたねじ締結体の強度推定例	153
8.3.2.1ねじ締結部のモデル化手法	153
8.3.2.2要素試験によるモデル化手法の精度検証	156
8.3.2.3ねじ締結モデルに対する強度評価方法	158
8.3.2.4強度評価例	161
8.3.2.5まとめ	164
付録A摩擦係数測定について-1	167
付録Bねじ締付け試験より得られた摩擦係数を用いた締付け係数 Q の算出法	180
付録C摩擦係数測定について-2	183
付録Dねじ締結体限界座面応力（限界面圧）に関する資料-1	209
付録Eねじ締結体限界座面応力（限界面圧）に関する資料-2	230
付録Fねじ部品の遅れ破壊	260
研究委員会委員名簿（第2版改訂に参加した委員等の氏名）	264
ねじ締結体設計委員会委員名簿（初版作成に参加した委員等の氏名）	265