ゆるみ防止機能を有するハイパーロックナットの開発* (実証試験による機能検証)

西山修二, 右田博章*1,片岡光正*1,中崎信行*1

Development of Anti-Loosening Performance of Hyper Lock Nut (Function Verification by Proof Examination)

Shuji NISHIYAMA, Hiroaki MIGITA, Mitumasa KATAOKA, Nobuyuki NAKASAKI

Bolted joints are widely used in mechanical structures since the disassembly for maintenance is easy without high cost. However, vibration induced loosing due to dynamic loading has been unsolved subject for a long time. We have developed a new type of nut named 'hyper rock nut (HRN)', which realizes anti-loosening performance without complicated tightening process and tool. In the first report, we have investigated the mechanism of bolted joint with HRN, and tightening behavior and loosening behavior caused by vibration are analyzed by mean of three-dimensional finite element method. In this paper, we have investigated the experimental research to verify industrial utility. The vibration test, proof load test, axial load fatigue testing, corrosion durability test and tightening test are executed. We found some new aspects and superior points for bolted-joint with HRN than that of standard nut. It is concluded that HRN involves sufficient mechanical properties in practical use.

Key Words: Machine Element, Bolted Joint, Fracture Mechanics, Experimental Results

ボルト締結体は維持やメンテナンスに高いコストを必要とせず,また操作が簡単なために,機械構造物に広く使用されている.しかしながら,動的な荷重のために引き起こされるねじの弛みは,いまだに解決されていない.我々は新しいタイプのハイパーロックナット(HRN)とよぶ弛み止め性能を有するナットを開発した.前報では,HRNのゆるみ止めのメカニズムについて三次元有限要素法を適用して解析的に明らかにした.本報では,産業応用を考慮して実験的に検証した.振動試験,保証荷重試験,疲労試験,耐食性試験,締付け試験等の試験を実施した.HRN は締付けトルクは JIS 標準ナットよりも優れている.さらに,工業的有用性を備えたゆるみ止めナットであることを示した.

キーワード:機械要素,ボルト締結体,構造力学、実測結果

1. 緒 言

ボルト締結は,取り付けや取り外しの容易さ,価格の安さなどの面から幅広く使用されている.しかし,ボルト締結体に衝撃や振動,あるいは熱負荷などの動的な外力が作用すると,ボルト締結体は締結力を失い,締結部はその機能をはたさなくなる.現在に至ってもなお産業界において,ボルト・ナットのゆるみに起因

*(株)エコーワールド(〒733-0003 広島市西区三篠町 369)

する事故が多く発生している.ボルト・ナットによる 締結体のゆるみの問題は工学分野において解決すべき 重要な課題の一つである.

前報(1)で著者らは,新しいゆるみ止め機構を備えたハイパーロックナット(Hyper Rock Nut:以下 HRN と略記する)を開発し,三次元有限要素法により解析的にゆるみ防止機能を有することを示した.

図 1 は , HRN(M16)の実物写真を示す . HRN は図 1 に示すとおり , 六角ナットにスリットとナット座面に傾斜面が加工してある .



図1 HRNの外観図

本研究では,ゆるみ試験,保証荷重試験,繰り返し荷 重試験,耐食耐候性試験,締付け試験などの観点から 開発した HRN の工業的有効性について示す.

図2は、HRNの外形寸法を示す、HRNは、ゆるみ止め性能を有するナットである、HRNは六角ナットに図のような平行なスリットを加工して作成する、スリットの位置はナット座面とは反対側のナット上面に近い位置に設けられている、さらに、ナット座面は1°の傾斜面に加工してある。

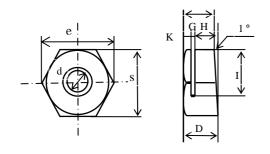


図2 HRNの寸法

表 1 は , HRN の各部の寸法を示す . M10 から M42 までを対象とする . HRN は , 傾斜座面とスリットにより , はめあいねじ部に大きな接触力を発生させ , ゆるみ防止効果を発揮する .

表1	HRN	の諸元

d	M10	M12	M16	M20	M24	M30	M36	M42
е	19.6	21.9	27.7	34.6	41.6	53.1	63.5	75.0
S	17.0	19.0	24.0	30.0	36.0	46.0	55.0	65.0
D	10.0	12.0	16.0	20.0	24.0	30.0	36.0	42.0
G	0.8	1.0	1.2	1.2	1.5	2.0	2.0	2.0
Н	5.7	7.5	10.0	12.5	15.0	18.7	22.4	26.2
I	13.1	14.6	18.7	23.6	28.5	36.3	43.4	51.3
Е	9.7	11.7	15.6	19.5	23.4	29.2	35.0	40.9
K	3.2	3.2	4.4	5.8	6.9	8.3	10.4	12.2
Р	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5
W	12.6	17.8	36.0	72.0	124	258	438	723

ここに,表1の記号の定義は次のとおりとする.d:ねじの呼び径,e:対角寸法(mm),s:平行面間距離(mm) D:ナット高さ(mm),G:スリット幅(mm),P:ピッチ(mm),I:スリット部の深さ(mm),W:重量(g),H:ナット座面からスリットまでの高さ(mm),E:スリット側のナット高さ(mm),K:スリットからナット上面までの長さ(mm)

2.試験方法

2・1 ゆるみ試験 供試体を試験機に取り付け,次の条件で試験を実施する.すなわち,17分間振動試験を実施し,17分後にゆるまなかった時は,戻しトルクを測定する.試験機は高速ねじ弛み試験機を使用する.振動条件として振動数は1780 rpm,加振台ストロークは11 mm,インパクトストロークは19 mm,振動は全振幅を設定する.

図3は試験の概要を示す.ゆるみの判定は供試ボルト,供試ナットおよびワッシャーの合マークがずれ,ワッシャーが指で回せるようになった時をゆるんだと判定する.

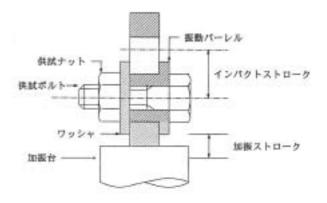


図3 ゆるみ試験装置

2・2 保証荷重試験 JIS B1052の保証荷重試験に準拠して試験を実施する.図4に試験の概要を示す.ナットをそれより強度の高い硬化マンドレル(HRC45以上)にはめ合わせて、保証荷重応力に有効断面積をかけて得られる保証荷重を軸方向に15秒間負荷したとき、ナットが破壊したりねじ山がせん断することなく、この荷重に耐えること.また荷重を取り除いた後ナットがマンドレルから指で取り外せることで保証荷重試験に合格したものと判定する.マンドレルに保証荷重試験に合格したものは、その後、マンドレルに荷重を再負荷し、ナットが破損したときの破断荷重を測

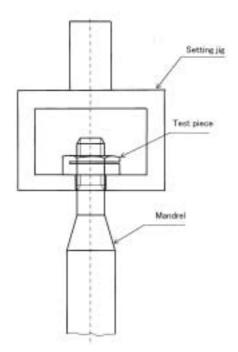


図4 荷重試験取付治具とマンドレル

定する. 試験機は精密万能試験機 オートグラフ AG-250kNI 型(株島津製作所製)を使用する. 荷重の載荷速度は 5mm/min とする.

2・3 繰り返し疲労試験 JISB 1081 ねじ部品の引張 疲労試験法による疲労試験により試験を実施する.呼び 径 M12 強度 10.9 のボルト・ナット,表面処理は黒染め,平均荷重降伏点の70 %荷重において,応力振幅を70,80,90 MPa とし HRN と JIS 標準ナットを各2個,計12個を試験する.試験機器は島津製作所製 EHF-D100 kN型を使用する.ボルトに加わる平均応力は式(1)となる.

$$\sigma_{mean} = \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2)$$

$$\sigma_1 = \frac{F_1}{A_s}$$

$$\sigma_2 = \frac{F_2}{A_s}$$
(1)

また,応力振幅は式(2)となる.

$$\sigma_a = \frac{1}{2}(\sigma_1 - \sigma_2) \tag{2}$$

ここに , σ_1 , σ_2 はそれぞれ上限応力および下限応力を示す . A_s はねじの有効断面積 , F_1 は上限荷重 , F_2 は下限荷重を示す .

HRN は , 傾斜座面とスリットにより , おねじを曲げる力が作用する . この曲げ応力がボルトの疲労強度に及ぼす影響について検討する .



図 5 疲労試験試験片取付治具

図 5 は , 疲労試験器の試験片取り付け装置を示す . **2・4 耐食耐候性試験** 屋外構造物のねじ締結

を用途として使用する場合において, HRNのスリットが腐食の促進に及ぼす影響について検討する. 呼び径 M16,強度88のボルト・ナット締結体を使用する.

表面処理は亜鉛クロメートとし、HRN、Uナット、 ハードロック、JIS 標準ナット、各2個合計8サンプル を試験する、HRN はスリットを有する、このスリット が締結後の経年変化に及ぼす影響について検討する。

試験装置は,ガス・塩水腐食試験機(スガ試験機(株)HKC-12L型)を使用する. 試験は規定のトルクに締付け後,288時間の試験を実施する. また120時間後および216時間後に戻しトルクを計測する.



図6 ガス・塩水噴霧式験装置

図6はガス・塩水噴霧試験装置を示す.

2.5 **締付け試験** JIS B 1084 の締付け試験方法を満足する試験装置を開発する. 各種のボルト・ナット締結体の締付け回転角,締付け軸力および締付けトルクの関係が実測できる. 開発した装置は,駆動用モータ,変速機,角度検出センサ,トルク変換器,ワッシャー型ロー

ドセル, センサインターフェース, およびコンピュータから構成されている.

図 7 は , 各機器の構成と信号の流れを示す . 図の記号は , MSG ギアモータ TML15-120 1.5kW シグマ技研製 , C:変速機 , A:角度検出センサー , T:トルク変換器 TP-100kMCB KYOWA , L:ワッシャー型ロードセル LCW-C-400kN60SA6B KYOWA , TP:試験試料 , SI:センサインタ

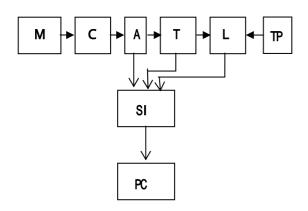


図7 締付け試験器システム構成

ーフェース PCD-300A KYOWA, PC:パーソナルコンピュータをそれぞれ示す.計測精度は,締付けトルクが1kN・mで0.07%,締付け軸力が400kNで0.16%,締付け回転角が350°で0.58%である.



(a) 締付け試験装置



(b)ナット取付部



(c)データ処理装置 図8 締付け試験装置

図8は締付け試験装置を示す.図8(a)は,締付け試験 装置の全体図を示す.図8(b)は,試験片のナットを取り 付ける装置を示す.図8(c)は,データ処理装置を示す.

3.試験結果

3・1 ゆるみ試験 表2は,ゆるみ試験の結果を示す. M16の HRN を3 試料と M12の HRN を1 試料について実施した. HRN の材質は S45C である. 表面処理はめっき無しとした. HRN M16は締付けトルクを225Nm, 255Nm, 350Nmの三種類に設定した. いずれの試験片の場合もゆるまなかった. 戻しトルクは締付けトルクの約80%程度であった. 試料 No.4 においては,戻しトルクが増加した.

表2 緩み試験結果

	DC = 1/201/10/10/10/10/10/10/10/10/10/10/10/10/1					
試料 No.	試験品名	締付け トルク	試験結果	戻し トルク		
1	HRN (M16)	255 Nm	17分間ゆるま なかった .	230 Nm		
2	HRN (M16)	225 Nm	17分間ゆるま なかった .	205 Nm		
3	HRN (M16)	350 Nm	17分間ゆるま なかった .	290 Nm		
4	HRN (M12)	89 Nm	17分間ゆるま なかった .	114.2 Nm		

3・2 保証荷重試験 保証荷重試験の試験結果を表3~7に示す.表3は,M10の場合の試験結果を示す. 各強度区分のナットについて保証荷重試験に合格した.

表 3 保証荷重試験結果(M10)

ねじの	強度	保証荷重	保証荷重試	破断荷重
呼び	区分	(N)	験結果	(N)
M10	4	22560	合格	55441
M10	6	39400	合格	67219
M10	8	50500	合格	72180

表4は,M12の場合の試験結果を示す.各強度区分のナットについて保証荷重試験に合格した.M12強度区分8における破断荷重試験においては,治具が損傷してナットの破断に至らなかった.

表 4 保証荷重試験結果(M12)

ねじの 呼び	強度 区分	保証荷重 (N)	保証荷重試 験結果	破断荷重 (N)
M12	4	32850	合格	77277
M12	6	59000	合格	85813
M12	8	74200	合格	治具損傷

表 5 は , M16 の場合の試験結果を示す . 各強度区分のナットについて保証荷重試験に合格した .

表 5 保証荷重試験結果(M16)

2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1					
ねじの	強度	保証荷重	保証荷重試	破断荷重	
呼び	区分	(N)	験結果	(N)	
M16	4	61780	合格	132200	
M16	6	109900	合格	155710	
M16	8	138200	合格	治具損傷	

M16強度区分8における破断荷重試験においては,治 具が損傷してナットの破断に至らなかった.

表6は,M20の場合の試験結果を示す.各強度区分のナットについて保証荷重試験に合格した.M20強度区分6,8における破断荷重試験においては,治具が損傷してナットの破断に至らなかった.

表 6 保証荷重試験結果(M20)

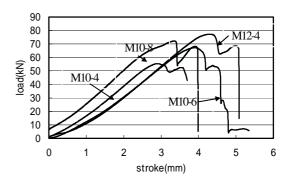
_					
	ねじの	強度	保証荷重	保証荷重試	破断荷重
	呼び	区分	(N)	験結果	(N)
	M20	4	125000	合格	206910
	M20	6	176400	合格	治具損傷
	M20	8	225400	合格	治具損傷

表7は,M24の場合の試験結果を示す.各強度区分のナットについて保証荷重試験に合格した.

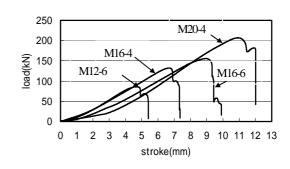
M24強度区分4,6,8における破断荷重試験においては,治具が損傷してナットの破断に至らなかった.

表 7 保証荷重試験結果(M24)

ねじの	強度	保証荷重	保証荷重試	破断荷重
呼び	区分	(N)	験結果	(N)
M24	4	180000	合格	治具損傷
M24	6	254200	合格	治具損傷
M24	8	321800	合格	治具損傷



(a)破断荷重試験結果



(b)破断荷重試験結果 図9 破断荷重試験結果

図9は破断荷重試験の試験結果を示す.図で横軸はボルト締結体の伸びを示す.縦軸は荷重を示す.各試験片ともに,ストロークの増加とともに,荷重が増加し,最大荷重を経た後は破断した.破断は HRN のねじ山が剪断して破壊した.

3·3 **繰り返し疲労試験** 繰り返し疲労試験の結果を 図 10 に示す .

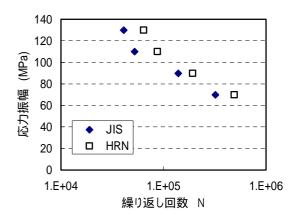


図10 疲労試験結果

図 10 の横軸は繰り返し回数,縦軸は応力振幅を示す.

HRN は JIS 標準ナットと比較して,各応力振幅において,繰り返し回数が優った.応力振幅が 130MPa においては, JIS 標準ナットに比較して 56%繰り返し回数が増加した.また,110MPa は 68%,90MPa は 38%,70MPa は 52%繰り返し回数が増加した.

3・4 耐食耐候性試験 耐食耐候性試験の結果 を表 8 に示す .

表8 試験結果

DC H-VOXING-10						
供試体	戻しトルク Nm					
八山中	初期	120h	216h	288 h		
HRN(1)	335	315	358	358		
HRN(2)	335	310	346	324		
JIS 標準ナット(1)	320	300	300	328		
JIS 標準ナット(2)	320	270	299	318		
Uナット(1)	310	308	354	358		
Uナット(2)	310	226	344	324		
ハードロック(1)	170+100	148+95	174+101	184+114		
ハードロック(2)	170+100	140+78	163+108	178+72		



図11 試験開始前の様子



(a) HRN



(b) JIS



(c)Uナット



(d) ハードロック図 12 48 時間後の状況



(a)HRN



(b) JIS



(c) Uナット



(d) ハードロック 図 13 120 時間後の状況



(a)HRN



(b)JIS



(c)Uナット



(d)ハードロック 図 14 288 時間後の状況

図 11 は試験開始前の試験片の状況を示す. 図 12 は 48 時間後の腐食の状況を示す. 図 13 は 120 時間後,図 14 は 288 時間後の腐食状況を示す.

3·5 締付け試験 締付け試験の結果を次に示す.図 15は M10の HRN の締付け試験の結果を示す.図の横軸は締付け軸力,縦軸は締付けトルクを示す.

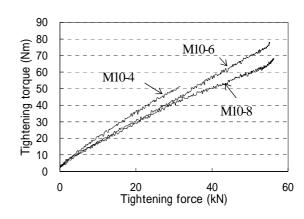


図 15 締付け軸力と締付けトルクの関係(HRN-M10)

図 16 は, M12 の HRN の締付け試験の結果を示す. 図の横軸は締付け軸力, 縦軸は締付けトルクを示す.

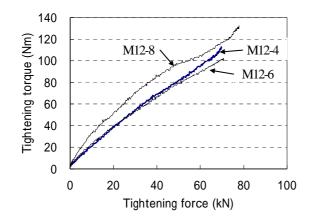


図 16 締付け軸力と締付けトルクの関係(HRN-M12)

図 17 は , M16 の HRN の締付け試験の結果を示す . 図の横軸は締付け軸力 , 縦軸は締付けトルクを示す .

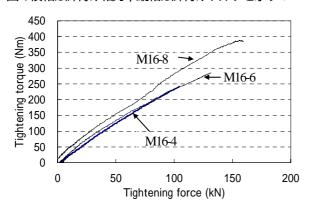


図 17 締付け軸力と締付けトルクの関係(HRN-M16)

図18は,M20のHRNの締付け試験の結果を示す. 図の横軸は締付け軸力,縦軸は締付けトルクを示す.

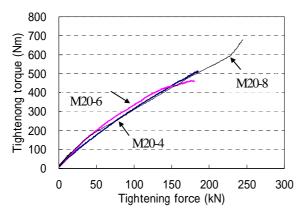


図 18 締付け軸力と締付けトルクの関係(HRN-M20)

図19は,M24のHRNの締付け試験の結果を示す. 図の横軸は締付け軸力,縦軸は締付けトルクを示す.

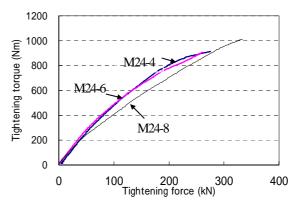


図 19 締付け軸力と締付けトルクの関係(HRN-M24)

4.考 察

実証試験では、ゆるみ試験、保証荷重試験、繰り返し疲労試験、耐食耐候性試験、締付け試験を実施した、ゆるみ試験では、HRNによりゆるみ防止効果の確認をおこなった、供試体(M16、M12)のHRNを高速ねじ弛み試験機を使用して試験した、試験の結果ゆるみはなく、十分なゆるみ防止効果が確認できた、さらに、戻しトルクも十分な値が得られた。

保証荷重試験は、ナットをそれより強度の高い硬化マンドレルにはめ合わせて、保証荷重をかけて軸方向に 15 秒間負荷したとき、ナットが破壊したりねじ山がせん断することなく、この荷重に耐えること、また荷重を取り除いた後ナットがマンドレルから指で取り外せることで保証荷重試験に合格したものと判定した、いずれの供試体も試験に合格した。

繰り返し疲労試験では,HRN と JIS 標準ナットの M12 について,応力振幅が70,90,110,120MPaに ついて繰り返し疲労試験を実施した.試験の結果 HRN の方が全ての応力振幅において,優れていた.

耐食耐候性試験では, HRN のスリットが腐食の促進に及ぼす影響について検討した. 呼び径 M16, 強度 88 のボルト・ナット締結体を使用する.

表面処理は亜鉛クロメートとし、HRN、U ナット、 ハードロック、JIS標準ナット、各 2個合計 8サンプルを 試験した、HRN はスリットを有し、このスリットが締 結後の経年変化に及ぼす影響について検討した結果、特 に問題点は見受けられなかった。

試験装置は,ガス・塩水腐食試験機(スガ試験機) HKC-12L型)を使用し,試験は規定のトルクに締付け後,288時間の試験を実施した.120時間後および216 時間後に戻しトルクを計測した.HRN のスリットが耐食性に影響を及ぼす恐れは見受けられなかった.

締付け試験では、各種のボルト・ナット締結体の締付け回転角、締付け軸力および締付けトルクの関係を実測した、測定した HRN の呼び径は、M10、M12、M16、M20、M24について実施した、強度区分についても4、6、8について実施した、いずれの場合についても、保証荷重試験に合格した、

5. 結 言

複雑な締付け手順や工具等を必要としない,ゆる み防止機能を有するハイパーロックナットを開発した. 開発したナットの性能を評価するために,ゆるみ試験, 保証荷重試験,繰り返し疲労試験,耐食耐候性試験, 締付け試験等を実施した.各種性能試験を行い開発し たハイパーロックナットの有効性を示した.

本研究により新たに,締付け試験装置を開発した. 開発した装置の計測結果において,締付け回転角に一定の係数を乗算して得られた結果を整理すると,解析結果と一致し,さらに再現性も十分あるので,計測装置として実用に供することが可能である.

終わりに,本研究は平成17年度 経済産業省 中小企業ベンチャー挑戦支援事業(実用化研究開発事業)補助によるものである.ここに付記し,関係各位に感謝の意を表する.

1 文

(1)西山 修二,外4名,ゆるみ防止機能を有するハイパーロックナットの開発(第1報,三次元有限要素法による弾塑性解析),投稿中(日本機械学会論文集)

(2)吉本 勇編,ねじ締結体設計のポイント,2002,25-26,日本規格協会.(3)山本晃著,ねじ締結の理論と計算,1992,39-53,養賢堂.

(4)山本晃著,ねじ締結の原理と設計,2004,30-140,養賢堂.

(5)泉聡志・横山喬・岩崎篤・酒井信介,ボルト締結体の締め付けおよびゆるみ機構の三次元有限要素解析,日本機械学会論文集,

第71巻 702号(2005), pp. 204-212.

(6)泉聡志・横山喬・寺岡卓也・岩崎篤・酒井信介・斉藤金治郎・名川政人・野田秀樹, ゆるみ止め性能を有するスーパースリットナット有限要素法による機能検証,日本機械学会論文集,第71巻703号(2005),pp. 380-386.

(7)右田博章,実用新案登録願,弛み止めナット,実願2005-010412. (8)右田博章,特許申請,弛み止めナット,特願2003-319985, 特開2004-156637

(9)福岡 俊道, ボルト締結体の力学と締付け(1), 機械の研究, 第54巻 第2号(2002), pp. 289-295.

(10)福岡俊道,ボルト締結体の力学と締付け(2),機械の研究,第54巻 第3号(2002), pp. 389-397.

(11)福岡 俊道, ボルト締結体の力学と締付け(3), 機械の研究, 第54巻 第4号(2002), pp. 497-504.

(12)福岡俊道,ボルト締結体の力学と締付け(4),機械の研究,第54巻 第5号(2002), pp. 593-600.

(13)福岡俊道,ボルト締結体の力学と締付け(5),機械の研究, 第54巻 第6号(2002), pp. 691-697.

(14)福岡 俊道, ボルト締結体の力学と締付け(6), 機械の研究, 第 54 巻 第 7 号(2002), pp. 759-801.

(15)福岡俊道,ボルト締結体の力学と締付け(7),機械の研究,第54巻 第8号(2002), pp. 887-894.

(16)佐瀬 直樹・西岡 輝・古賀 進一・藤井洋, ねじ締結体のゆるみ機構の解析とゆるみ試験法の開発, 日本機械学会論文集,

第62巻596号(1996), pp. 1527-1532.

(17)岡田 学・賀勢晋司・田中道彦,ボルト締結における座面圧分論文集,第70巻 699号(2004), pp. 3324-3330.

(18)福岡俊道・山崎直樹・北川浩・浜田実,ボルト締付け時における応力の評価,日本機械学会論文集,第51巻 462号(1985),

pp. 504-509.

(19) 賀勢晋司,ゆるみ試験,日本ねじ研究協会誌,第23巻 11号(1992),pp. 352-358.

(20) N.G.Pai, D.P.Hess, EXPERIMENTAL STUDY OF LOOSENING
OF THREADED FASTENERS DUE TO DYNAMIC SHEAR LOADS,
Journal of Sound and Vibration (2002) 253(3), 583-602.

(21)賀勢 晋司, ねじのゆるみ(3) 3.4 ゆるみ試験, 日本ねじ研究協会誌, 23 巻 11 号(1992), pp. 352-358.

(22) N.G. Pai, D. P.Hess, Three-dimensional finite element analysis of threaded fastener loosening due to dynamic shear load, Engineering Failure Analysis 9(2002) 383-402.

(23)高木知弘・福岡俊道,ボルト締付け過程の弾塑有限要素解析,