

異なるピッチを有するナットとねじ山高さを漸減したボルトの組合せによるボルト強度向上について

肖 陽¹⁾ 万 泉²⁾ 野田 尚昭³⁾ 赤石 雄一郎⁴⁾ 高瀬 康⁵⁾ 西田 新一⁶⁾

Stress Reduction Effect of Tapering Thread Bolts and Nuts Which Have Slightly Different Pitches

Yang Xiao Quan Wan Nao-Aki Noda Yu-Ichiro Akaishi Yasushi Takase Shin-Ichi Nishida

Previously several methods were proposed to reduce the stress concentration through improving bolts and nuts profile. Among those methods, (1) Tapering thread bolt (CD bolt) were proposed for stress reduction and (2) Special nuts were designed to have slightly different pitches. In this paper, a kind of nut is designed with providing slightly different pitches between the CD bolt and nut, so that the prevailing torque is appearing in order to obtain the anti-loosening and stress reduction effects. It is found that the maximum static stress concentration can be decreased by 28.6 %, and the maximum stress amplitude can be decreased by 23.9 % compared with the cases of standard bolts and nuts.

Key Words: (Standardized) Materials, Fatigue, Finite Element Method, (Free) Contact Problem, Machine Element, Bolted Joint (D2)

1. 緒 言

ねじ締結体は、使用頻度、重要度が高い機械要素で産業界にひろく普及しているが、その欠点として破損しやすいことと緩みやすいことが挙げられる。破損はねじ谷底に $K_t=3\sim5$ 程度の高い応力集中が生じ、ねじ谷底の強さが大幅に低下することが原因であり、緩みはねじ面間の摩擦力で防止しているため、振動が作用すれば、ねじの螺旋形状に基づく戻り回転力が発生すること等が理由である。これまで多くの対策が提案されているが、緩み止め機能を強化したものは、強度が低下し、強度を強化したものは、緩みやすい欠点があった。

ボルトの安全性・信頼性を確保するためには、耐緩みのみならず耐疲労の両方を兼ね備えていることが理想的であるが、これまでねじ締結体に関する研究のほとんどが耐緩みに関するもので、耐疲労に関する研究はほとんどおこなわれていない。これはねじ谷底に $K_t=3\sim5$ 程度の高い応力集中が生じるため、その部分の疲労強度を向上させることが極めて難しいことが原因である。

ボルトとナットにピッチ誤差が生じた場合の応力集中への影響については、これまでも検討がなされ、ピッチ差 α によって疲労強度を向上できるという結果が得られている^{(1),(2)}。しかし、それぞれのねじ谷底に生じる応力に注目して、最大応力や応力振幅がピッチ差の変化に対してどのように変化するかを詳しく研究したものは見当たらない。特にボルトとナットに積極的にピッチ差を設けて、耐疲労・耐緩みの向上を試みた研究は見当たらない。そこで著者らはボルトとナットに意図的にピッチ差を設ける方法によってボルト締付時における静的な応力緩和効果も考察した⁽³⁾。そしてピッチ差が疲労強度をどの程度向上させ得るかを、ボルト軸力を変化させた場合のねじ谷底の応力振幅に注目して考察した。

また、応力集中を低減させる工夫としてナットに加工を施す例があるが、ボルトに加工を施す例はほとんど見当たらなかった。そこで、西田はボルトのねじ山高さを漸減させることで応力集中を低減させる方法を提案している⁽⁴⁾。その有効性は疲労試験によって考察されており、商品名「CDボルト」として使用実績がある。著者らは最近その応力集中の緩和効果を向上させる条件について FEM により考察を行った⁽⁵⁾。

本研究では、耐緩み性を持ち、さらに疲労強度を向上させることを目的として、異なるピッチを有するナットとねじ山高さを漸減したボルト（以下では CD ボルトと呼ぶこととする）を組合せた締結体を対象として有限要素法による応力解析を行う。そして、締付け時における応力緩和効果を調べるとともにボルト軸力の変化に対しての疲労限度の向上を議論する。

2. 解析モデルと解析方法

ねじ締結体の応力解析を FEM 軸対称モデルを用いて行う。M12 の場合、ねじ山の螺旋角は約 2.7° と微小であるため、本研究では、ボルト・ナットの解析で通常行われるように軸対称モデルを用いて考察する。解析対象として M12 のボルト・ナットによって内径 13mm、外径 50mm、厚さ 35mm の円筒形被締結物を締結する場合を考える。ボルトは普通のボルトで、ナットはボルトと比べて、ピッチ差 α があるとする。M12 のモデルでは、ボルトのピッチは $1750\mu\text{m}$ であり、ナットのピッチは $(1750 + \alpha)\mu\text{m}$ となる。ボルト・ナットのはめあいねじ部のねじ山数は 8 山とする。ピッチ差があるため、図 1 に示すように、空回し時においても、ナットねじ山両端

*2011 年 3 月 15 日受理. 2010 年 10 月 1 日自動車技術会秋季学術講演会において発表。

1)・2)・3)・4)・5) 九州工業大学(804-8550 北九州市戸畑区仙水町 1-1)

6) 佐賀大学(840-8502 佐賀市本庄町 1 番地)

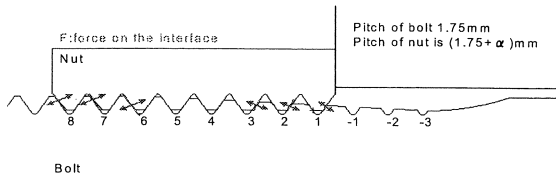


Fig.1 Anti-loosening theory for different pitches

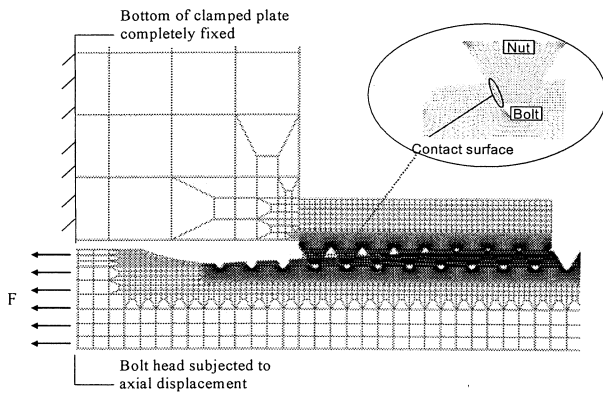


Fig. 2 Axi-symmetric finite element model

部がボルトねじ山と接触し、緩み止め機構が得られる。図1に示すように第1～3ねじ山では、空回し時に通常の接触面と反対側が接触するため、締結時において第1ねじ山谷底の応力集中の緩和ができる。ヤング率 206GPa, ポアソン比 0.3 であり, 各接触面における摩擦係数は 0.15 とする。図2に有限要素に分割した軸対称モデルを示す。ねじ締結体に軸力を与える際の境界条件は, 軸対称モデルでは被締結物のボルトヘッド側の面を固定し, ボルトヘッド部に軸方向強制変位を与える。通常のボルト・ナットと異なり, ピッチ差 α の影響を明確に調べるため, ねじ山同士のクリアランスは 0 と設定する。

3. 緩み止め効果について

ピッチ差は $0 \sim 5\mu\text{m}$ として, ねじ締結体の緩み止め効果を調べる。図1に示すような被締結物とナットが接触しないときの, ナットの締め付けに必要なプリベリントルク T_s は, 通常ボルトの締め付けトルクを求める式(1)を利用すれば簡単に評価できる。すなわち FEM 解析によって図1の第3～6間に生じるボルト軸力 F^* を求め式(1)に用いる。

$$T_s = \frac{d_2}{2} F^* \tan \rho' + \frac{d_2}{2} F \tan \beta + \frac{d_w}{2} \mu_w F^* \quad (1)$$

T_s : 空回し時の締め付けトルク (プリベリントルク) [Nm]

d_2 : 有効径の基準寸法 [m] = 0.01086m

F^* : 図1で第3～6ねじ間に生じるボルト軸力 [N]

ρ' : ねじ間の摩擦角 $[\circ] = (\arctan 0.3)^\circ$

β : ねじのリード角 $[\circ] = 0.051^\circ$

d_w : 座面の有効径 [m] = 0

μ_w : 座面間の平均摩擦係数 = 0.15

Table1 Dimensions of different length L

Pitch difference $\alpha/\mu\text{m}$	α/p % (p: pitch)	Axial force F kN	Prevailing torque T_s Nm	$(T_s/\alpha) \times 10^6$ Nm/m
1	0.06	3.02	4.93	2.47
2	0.11	6.04	9.87	2.45
3	0.17	9.06	14.80	2.46
4	0.23	12.08	19.74	2.49
5	0.29	15.10	24.67	2.48

著者はさきに式(1)を利用する方法でスーパーロックナットの緩み止め効果の研究を行った⁶⁾。有限要素法で求めた軸力を式(1)に代入して, 求めたプリベリントルクは実験結果とほぼ一致しており, 簡便に評価できることを確認した。また, スーパースリットナットの緩み防止機能の確認実験によれば, プリベリントルクが 13.5Nm の場合にねじ締結体は十分な緩み止め性能があり, 最も厳しい米国航空規格 NAS3350 に基づいた高速ねじ緩み振動試験でも緩みが生じないことが示されている⁷⁾。

表1にピッチ差 α と式(1)で求めたプリベリントルクを示す。ピッチ差が大きくなると, プリベリントルクも増加する。

4. 静的荷重に対する応力集中緩和効果について

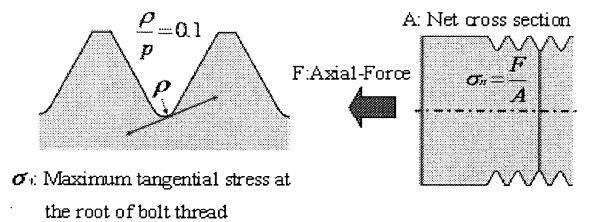
4.1. CD+ピッチ差の締結体の応力集中緩和効果について

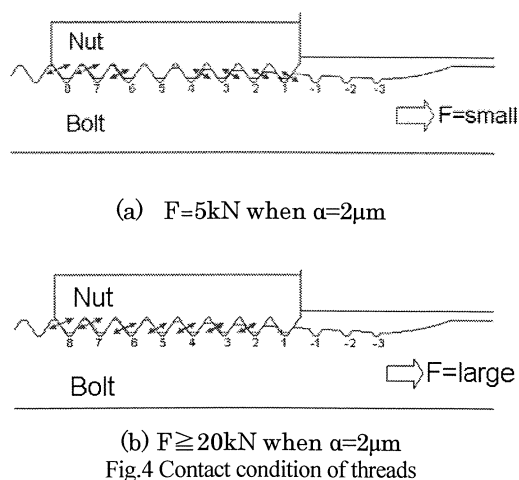
異なるピッチを有するナットと CD ボルトを組合せた締結体を, 以後「CD+ピッチ差」の締結体と呼ぶことにする。ピッチ差があるボルト・ナット締結体の締め付け過程の応力を調べる。ボルト締結体におけるボルトねじ山谷底の応力集中を評価する指標として応力集中係数 K_t を次式で定義する。

$$K_t = \frac{\sigma_{t \max}}{\sigma_n} \quad (2)$$

ここで, $\sigma_{t \max}$ はボルト山谷底の最大接線方向応力 (図3(a)), σ_n はボルト軸力をボルトねじ山谷底断面積 ($A=72.25\text{mm}^2$) で除した値である (図3(b))。

図5にピッチ差 $\alpha=2\mu\text{m}$ の場合にボルト軸力を $F=8\text{kN}$ から 12kN まで変化させたときの各ねじ山に生じる K_t の分布を示す。普通のボルトの場合には, 応力集中係数 K_t は軸力に依存せず一定である。一方, ピッチ差があると, 軸力の増加に伴

(a) Definition of $\sigma_{t \max}$ (b) Definition of σ_n Fig. 3 Definition of K_t



って各ねじ山の接触状態が変化するため、応力集中係数は複雑に変わる。図 4(a),(b) に F が小さいときと F が大きいときの各ねじ山の接触状態を示す。 $F=5\text{kN}$ のような締め付け開始時では、図 4(a) の様な接触状態を反映して第 1 ねじ山の応力は圧縮である。締め付け力 F が大きくなると第 1 ねじ山の応力は増加し、引張応力となる。一方、 ($F \leq 15\text{kN}$ では) 第 1 ねじ谷底に生じる最大応力は F の増加とともに減少する。 F がさらに大きくなって $F \geq 20\text{kN}$ になると、ねじ山の接触状態は図 4(b) の様に通常のボルトと同じようになる。よって第 1 ねじ谷底に生じる最大応力は F の増加とともに大きくなる。ピッチ差を $0\mu\text{m}$ から $4\mu\text{m}$ まで変化させるとき、締め付け力を $F=10\text{kN}$ の場合について、応力集中係数 K_t とボルトのねじ谷底番号の関係を表 2、図 6 に示す。また応力とピッチ差の関係を示すために横軸をピッチ差、縦軸を応力とした場合を図 7 に示す。表 2 より締め付け力が $F=10\text{kN}$ のとき、通常のボルトの締結体では第 1 ねじ谷底で最も大きい応力集中係数 4.68 が発生している。CD+ピッチ差の締結体では通常ボルトと同じくピッチ差 $\alpha=0\mu\text{m}$, $1\mu\text{m}$ の場合に第 1 ねじ谷底で最大応力が生じている。しかし、最大応力はピッチ差 $\alpha=0\mu\text{m}$ では $K_t=4.22$ となり 9.8%低減でき、ピッチ差 $\alpha=1\mu\text{m}$ では $K_t=3.54$ となり 24.4%低減されている。ピッチ差がもっと増加すると、応力集中はさらに低減され、ピッチ差 $\alpha=2\mu\text{m}$ の場合、応力集中は第 3 ねじ谷底で生じ $K_t=3.34$ で 28.6%まで低減される。

Table2 Stress concentration factor K_t when $F=10\text{kN}$
(for different pitches + CD bolts) **boldface** : maximum value

Root no.	$\alpha=0\mu\text{m}$	$\alpha=1\mu\text{m}$	$\alpha=2\mu\text{m}$	$\alpha=3\mu\text{m}$	$\alpha=4\mu\text{m}$	normal bolt-nut
-3	3.33	3.34	3.34	3.38	3.42	3.97
-2	3.03	3.02	3.00	2.99	3.01	3.07
-1	3.15	3.05	2.96	2.31	1.86	3.15
1	4.22	3.54	3.01	4.04	4.92	4.68
2	2.79	3.01	3.14	3.94	5.51	3.03
3	2.02	2.53	3.17	3.74	4.06	2.27
4	1.5	2.20	3.04	3.98	4.54	1.71
5	1.07	1.95	2.93	4.14	5.08	1.25
6	0.74	1.76	2.85	4.08	5.34	0.89
7	0.51	1.66	2.74	3.90	5.07	0.63
8	0.3	1.41	2.48	3.61	4.70	0.26

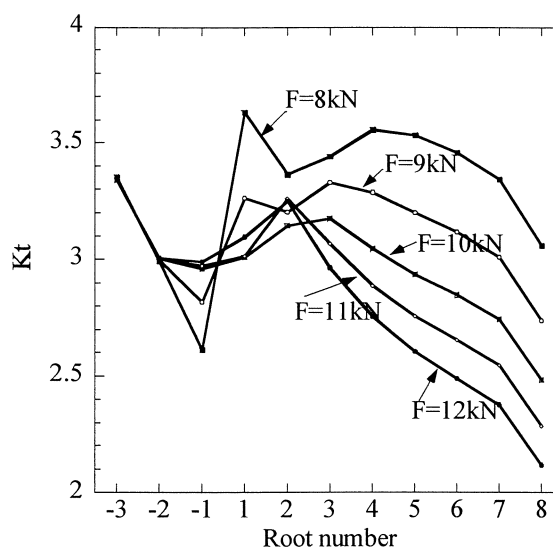


Fig.5 Stress concentration factor K_t for different bolt axial force in Fig. 2 (for different pitches + CD bolts, $\alpha=2\mu\text{m}$)

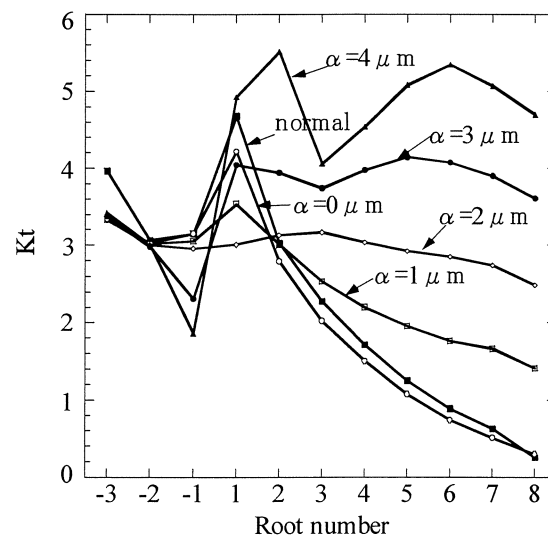


Fig. 6 Stress concentration factor K_t when $F=10\text{kN}$
(for different pitches + CD bolts)

ピッチ差 α を $3\mu\text{m}$ まで大きくすると第 1 ねじ山などの応力集中が大きくなる。この場合、 $\alpha=2\mu\text{m}$ が最適と考えられる。これは図 7 から読み取れ最大応力はピッチ差 $0\sim 1\mu\text{m}$ にかけて減少していき、ピッチ差 $2\mu\text{m}$ で最小となる。

4.2. ピッチ差のみの締結体との比較

異なるピッチを有するナットの締結体を、以後、ピッチ差のみの締結体と省略する。CD+ピッチ差の締結体がピッチ差のみの締結体よりどれだけ応力集中を緩和できたかを比較する。ピッチ差を $0\mu\text{m}$ から $4\mu\text{m}$ まで変化させるとき、締め付け力 F を $F=10\text{kN}$ の場合について、応力集中係数 K_t とボルトのねじ谷底番号の関係を表 3、図 8 に示す。また、ピッチ差と応力の関係を図 9 に示す。表 3 よりピッチ差のみの締結体

ではピッチ差 $\alpha=2\mu\text{m}$ のとき応力集中は最も緩和されている。応力集中は第3ねじ谷底で生じ、 $K_t=3.93$ で16.0%低減できている。CD+ピッチ差の締結体では最適ピッチ差は $\alpha=2\mu\text{m}$ で $K_t=3.34$ となり、ピッチ差のみ締結体よりも12.6%多く低減できている。CDボルトを組合せることにより締結体全体で緩和効果がみられる。特に第3ねじ谷底で大きく低減できている。

5. 変動荷重に対する応力集中緩和効果について

5.1. CD+ピッチ差の締結体の応力振幅緩和効果について

前節で最適のピッチ差 α を静的ボルト軸力 $F=10\text{kN}$ について求めた。しかし、実際のボルトの破壊は金属疲労によって生じることが多い。このような金属疲労ではねじ谷底に繰返される応力振幅が問題となるので、本研究ではボルト軸力が

変動する場合のねじ谷底に生じる応力振幅がどの位置でどの程度の大きさとなるかを考察する。

まず、ボルト軸力が図10に示すように $F=10\pm 1.0\text{kN}$ の範囲で変化するときを考察する。ねじ山の応力の変化は最初の応力の繰り返し $9\text{kN}\rightarrow 10\text{kN}\rightarrow 11\text{kN}$ と2回目の繰り返しでは異なるがそれ以降では同じとなるので、ここでは2回目以降の変化を示す。このときのピッチ差に対する各ねじ谷底の応力を(応力)=(平均応力) \pm (応力振幅)として表4にまとめた。表4より通常の締結体では、疲労強度に影響する最大応力振幅は第1ねじ谷底に生じ、その値は124MPaである。第2～第8ねじ山の応力振幅は比較的小さい。CD+ピッチ差の締結体ではピッチ差 $\alpha=0\mu\text{m}$ で最大応力振幅は55MPaである。ピッチ差 $\alpha=1\mu\text{m}$ では最大応力振幅は58MPaとなり、わずかに大きくなっているが平均応力はピッチ差を設けることで低減でき

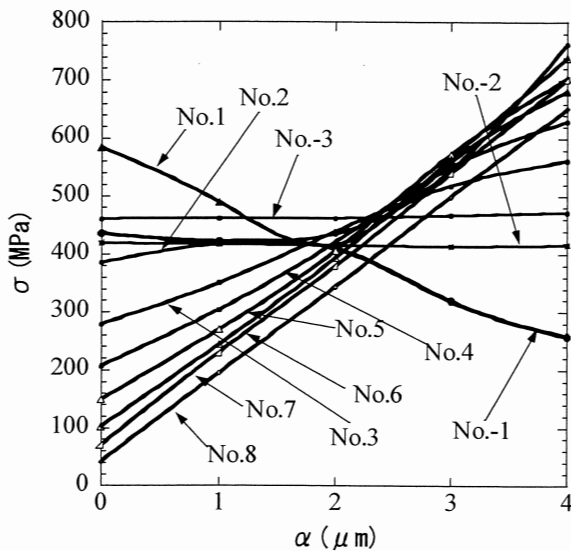


Fig. 7 Relationship between stress concentration and pitch difference
($F=10\text{kN}$ for different pitches + CD bolts)

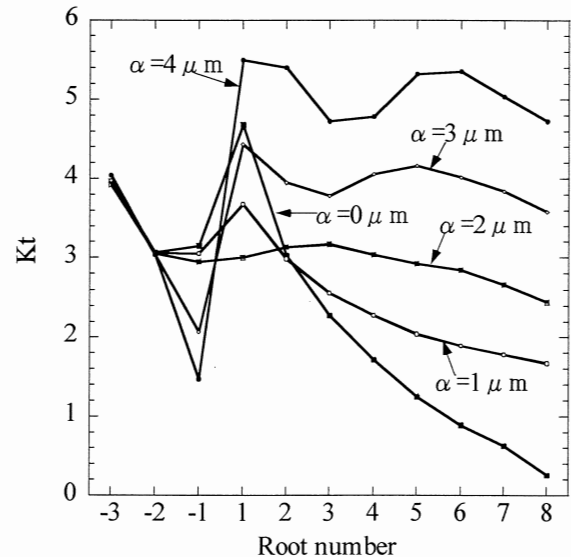


Fig. 8 Stress concentration factor K_t when $F=10\text{kN}$
(for different pitches)

Table3 Stress concentration factor K_t when $F=10\text{kN}$
(for different pitches)
boldface : maximum value

Root no.	$\alpha=0\mu\text{m}$ (normal)	$\alpha=1\mu\text{m}$	$\alpha=2\mu\text{m}$	$\alpha=3\mu\text{m}$	$\alpha=4\mu\text{m}$
-3	3.97	3.97	3.93	3.98	4.04
-2	3.07	3.06	3.05	3.04	3.04
-1	3.15	3.05	2.95	2.06	1.47
1	4.68	3.68	3.00	4.44	5.49
2	3.03	2.99	3.14	3.95	5.40
3	2.27	2.56	3.17	3.78	4.72
4	1.71	2.27	3.04	4.06	4.78
5	1.25	2.04	2.93	4.16	5.32
6	0.89	1.89	2.84	4.02	5.35
7	0.63	1.78	2.66	3.84	5.03
8	0.26	1.67	2.44	3.58	4.72

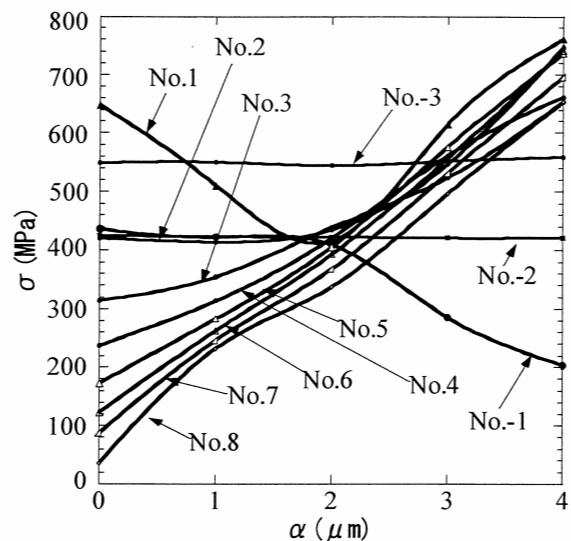


Fig. 9 Relationship between stress concentration and pitch difference
($F=10\text{kN}$ for different pitches)

ている。一方、ピッチ差 $\alpha=2\mu\text{m}$ では第1ねじ谷底で最大応力振幅51MPaが生じ、通常の締結体より23.9%低減できている。ピッチ差 $\alpha=3\mu\text{m}$ になると、第1ねじ谷底で最大応力振幅58MPaが生じ、応力振幅は大きくなり、まったく低減できていない。図11は、表4をもとにx軸をピッチ差、y軸を応力振幅としてその値を、近似線で結んだものである。図11よりCD+ピッチ差の組合せの場合、応力振幅を最も小さくできる最適のピッチ差は $\alpha=2\mu\text{m}$ である。このときの応力振幅は

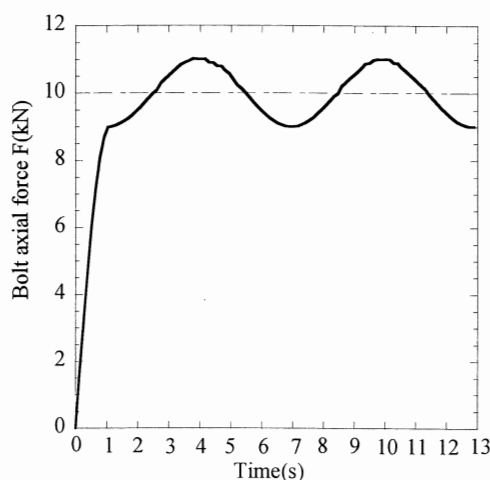


Fig. 10 Relationship of force and time

Table4 Variation of stress amplitude at each thread

$$\sigma = \sigma_m \pm \sigma_a \text{ under } F=10 \pm 1.0 \text{ kN (for different pitches + CD bolts)}$$

boldface : maximum value

Root no.	α					normal bolt-nut
	0 μm	1 μm	2 μm	3 μm	4 μm	
-3	462 ± 46	461 ± 46	462 ± 46	467 ± 45	472 ± 45	536 ± 54
-2	421 ± 42	417 ± 42	415 ± 42	414 ± 41	415 ± 40	425 ± 42
-1	438 ± 44	423 ± 44	402 ± 51	314 ± 58	232 ± 52	436 ± 44
1	553 ± 55	488 ± 58	433 ± 26	564 ± 28	666 ± 20	611 ± 67
2	372 ± 37	408 ± 35	448 ± 48	547 ± 0	744 ± 9	286 ± 28
3	261 ± 26	336 ± 23	439 ± 25	523 ± 19	605 ± 53	195 ± 19
4	183 ± 18	288 ± 16	421 ± 13	545 ± 25	642 ± 25	140 ± 14
5	122 ± 12	251 ± 12	401 ± 8	567 ± 7	706 ± 29	96 ± 9
6	77 ± 8	222 ± 6	378 ± 6	547 ± 3	723 ± 1	62 ± 6
7	48 ± 5	196 ± 4	344 ± 4	498 ± 2	655 ± 2	38 ± 4
8	28 ± 3	141 ± 2	261 ± 1	384 ± 1	507 ± 1	17 ± 2

51MPaであり、通常の締結体に比べて23.9%応力振幅を低減できることになる。

5.2. ピッチ差のみの締結体との比較

次に、ピッチ差のみの締結体と比較する。ピッチ差のみの締結体についてボルト軸力が図10に示すように $F=10 \pm 1.0 \text{ kN}$ の範囲で変化するときの(応力)=(平均応力) \pm (応力振幅)を表5にまとめた。ここで表5をもとにピッチ差と応力振幅の関係を図12に示す。図12よりピッチ差のみの場合、応力振幅を最も小さくできる最適のピッチ差は $\alpha=2\mu\text{m}$ である。このと

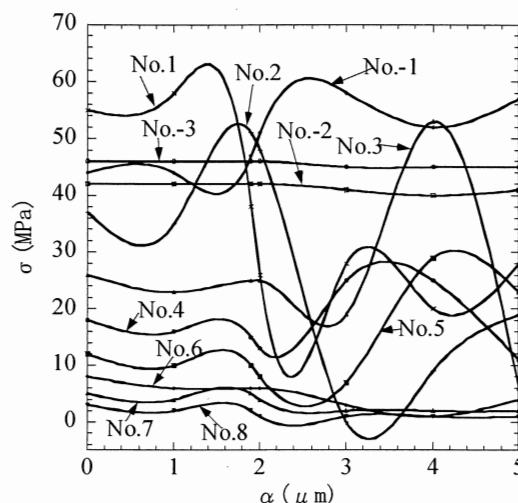


Fig. 11 Relationship between stress amplitude and pitch difference

$$(F=10 \pm 1.0 \text{ kN for different pitches + CD bolts})$$

Table5 Variation of stress amplitude at each thread

$$\sigma = \sigma_m \pm \sigma_a \text{ under } F=10 \pm 1.0 \text{ kN (for different pitches)}$$

boldface : maximum value

Root no.	α				
	0 μm	1 μm	2 μm	3 μm	4 μm
-3	536 ± 54	537 ± 54	539 ± 53	546 ± 52	553 ± 52
-2	425 ± 42	432 ± 42	422 ± 42	421 ± 42	421 ± 42
-1	436 ± 44	422 ± 44	397 ± 54	270 ± 66	139 ± 66
1	611 ± 67	504 ± 62	434 ± 22	607 ± 19	740 ± 22
2	286 ± 28	381 ± 28	449 ± 47	550 ± 1	746 ± 2
3	195 ± 19	319 ± 19	438 ± 23	528 ± 19	654 ± 12
4	140 ± 14	280 ± 14	420 ± 12	556 ± 22	663 ± 24
5	96 ± 9	248 ± 10	400 ± 8	570 ± 5	732 ± 13
6	62 ± 6	220 ± 6	377 ± 5	547 ± 2	722 ± 3
7	38 ± 4	190 ± 4	337 ± 4	492 ± 2	649 ± 2
8	17 ± 2	137 ± 2	258 ± 1	381 ± 1	505 ± 1

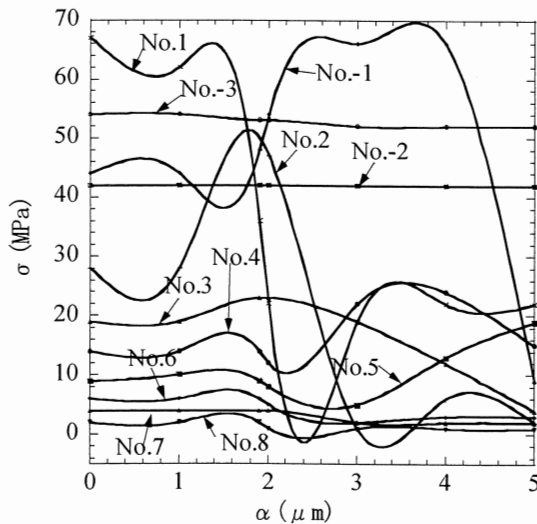


Fig. 12 Relationship between stress amplitude and pitch difference
($F=10 \pm 1.0 \text{ kN}$ for different pitches)

きの応力振幅は 54MPa であり、通常ボルトに比べて 19.4% 応力振幅を低減できることになる。ピッチ差のみの締結体と CD+ピッチ差の組合せの締結体を比較すると、CD+ピッチ差の組合せ締結体のほうが 4.5%多く低減できている。図 11 と図 12 を比較すると、ほとんど同じ傾向になっており、ピッチ差のみ締結体と CD+ピッチ差の組合せ締結体の最適ピッチ差は $\alpha=2\mu\text{m}$ である。ただし、CD+ピッチ差の組合せ締結体のほうが CD ボルトを組合せていることで締結体全体の応力振幅を緩和できている。

6. 接触状態と最大振幅の関係

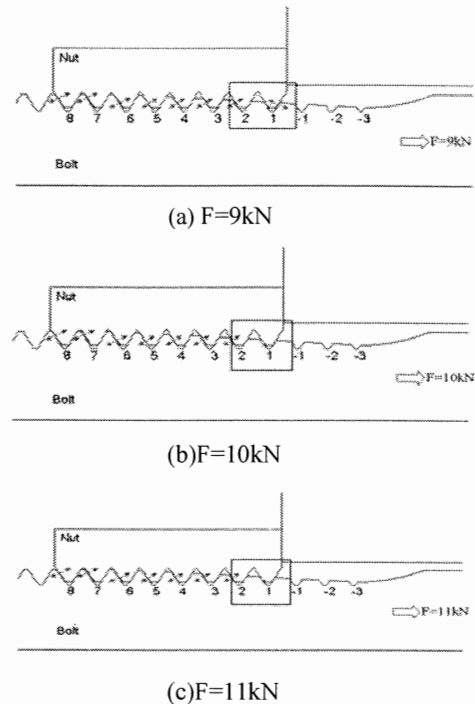
ピッチ差があれば、第 1 ねじ谷底の応力集中が緩和できることが前節までに示された。ねじ山同士の接触状態はこの最大振幅の変化に重要な影響があるのでこの点を調べる。前章で導いた最適ピッチ差は 10kN で $\alpha=2\mu\text{m}$ となった。

図 13 より最適ピッチ差の $\alpha=2\mu\text{m}$ のとき $F=9\text{kN}$ (荷重変動の最小値) では第 1 ねじ山の反対の面が接触している。しかし、 $F=11\text{kN}$ (荷重変動の最大値) では第 1 ねじ山は接触していない。よって $F=11\text{kN}$ 付近では通常第 1 ねじ山が負担する荷重を第 2 ねじ山以降が分担するため、第 1 ねじ山の応力振幅が低減できる。即ち、ボルト軸力 $F=F_{\min} \sim F_{\max}$ の範囲で変化するとき、 $F=F_{\min}$ の場合と $F=F_{\max}$ の場合の接触状態が異なるときのピッチ差が最適なピッチ差である。

7. 結 言

ボルト締結体における緩み止め方法として提案された、ナットとボルトにピッチ差を設定する方法に関して、特にその応力集中の緩和効果を中心に、有限要素法により解析及び考察を行い、以下の結論を得た。

(1) ピッチ差を $0 \sim 5\mu\text{m}$ の範囲で変化させて、ねじ締結体の



□:different contact surface

(○) Contact surface

Fig. 13 Contact surface for $\alpha=2\mu\text{m}$

($F=10 \pm 1.0 \text{ kN}$ for different pitches + CD bolts)

緩み止め効果を調べた。ピッチ差があることで緩み止め効果が生じることを明らかにした。ピッチ差が大きくなると、プリベリントルクが増加して、より大きな緩み止め効果が得られる。

(2) 静的荷重がボルトに作用するとき、ピッチ差 α を適切に設定することにより各ねじ山に生じる最大応力を低減することができる。例えば荷重 10kN のとき $\alpha=2\mu\text{m}$ (ピッチ 1.75mm の約 0.11%) の場合では最大応力を 28.6%低減できる。またピッチ差のみ締結体よりも 12.6%多く低減できる。

(3) ボルト軸力が変動するときピッチ差 α を適切に設定することによりボルト第 1 ねじ山の応力振幅を 20%以上低減できる。例えばボルト軸力 $F=10 \pm 1.0 \text{ kN}$ の範囲で変化するとき、CD+ピッチ差のみの場合、応力振幅を最も小さくできる最適のピッチ差は $\alpha=2\mu\text{m}$ (ピッチ 1.75mm の約 0.11%) である。このときの応力振幅は 51MPa である。よって、この場合に通常ボルトに比べて 23.9%応力振幅を低減できる。またピッチ差のみの締結体よりも 4.5%多く低減できる。

(4) ピッチ差があることで、第 1 ねじ山に生じる応力振幅を低減できることは、各ねじ山の接触状態を調べることで説明できる。

参 考 文 献

- (1) 丸山一男:有限要素法および銅めっき法によるねじ結合体の応力解析(第 3 報), 日本機械学会論文集, Vol. 41, No. 348, p. 2292 - 2302 (1975)。

- (2) Maruyama, K., et al.: An Idea to Predict the Fatigue Failure of the High Strength Bolt, Bull. Japan Soc. of Prec. Eng., Vol. 15, No. 4, p. 273-274 (1981).
- (3) 野田尚昭, 肖陽, 高瀬康, 西田新一: 異なるピッチを有するボルト・ナットの組合せによる応力集中緩和効果について, 自動車技術会学術講演会前刷集, No. 51-09, p. 7-10 (2009).
- (4) Nishida, S., et al.: Screw Connection Having Improved Fatigue Strength, United States Patent 4,189, 975, (1980).
- (5) 久原昌浩, 肖陽, 野田尚昭: ねじ山高さの漸減により応力集中を緩和させる条件, 日本機械学会論文集, A, Vol. 74, No. 746, p. 1305-1313 (2008).
- (6) 名川政人, 野田尚昭, 市原寛之, 山田真裕, 斉藤金次郎: きわめて緩みにくいスーパーロックナットとスーパーロックボルトについての研究, 機械設計, Vol. 47, No. 8, p. 35-42 (2003).
- (7) 泉 聡志, 横山 喬, 寺岡卓也, 岩崎 篤, 酒井信介, 斉藤金次郎, 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の有限要素法による機能検証, 日本機械学会論文集, A, Vol. 71, No. 703, p. 380-386 (2005).