

問題 2－1 ボルト締結体の設計

(1－1) 摩擦係数の推定

図 1-1 に示すボルト締結体にて，六角穴付きボルト（M12）の締付けトルクとボルト軸力を測定した。ボルトを含め材質はすべて SUS304 かそれをベースとしたオーステナイト系ステンレス鋼である。測定時，ナットと下締結体は固着させた。測定データを図 1-2 に示す。データから，オーステナイト系ステンレス鋼どうしの摩擦係数を推定せよ。有限要素法を使わず机上計算せよ。

計算式は，文献 ¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ を参照せよ。

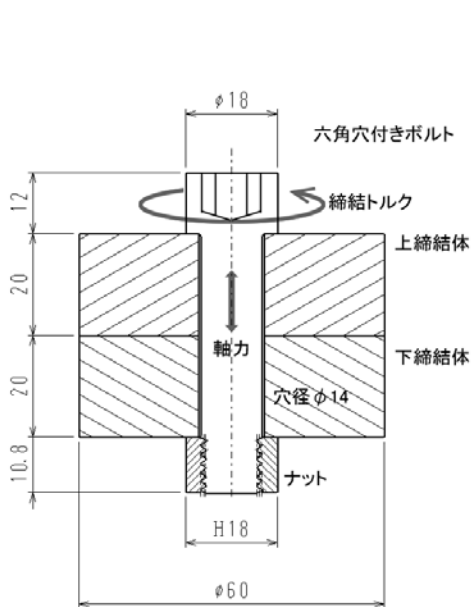


図 1-1 被試験体

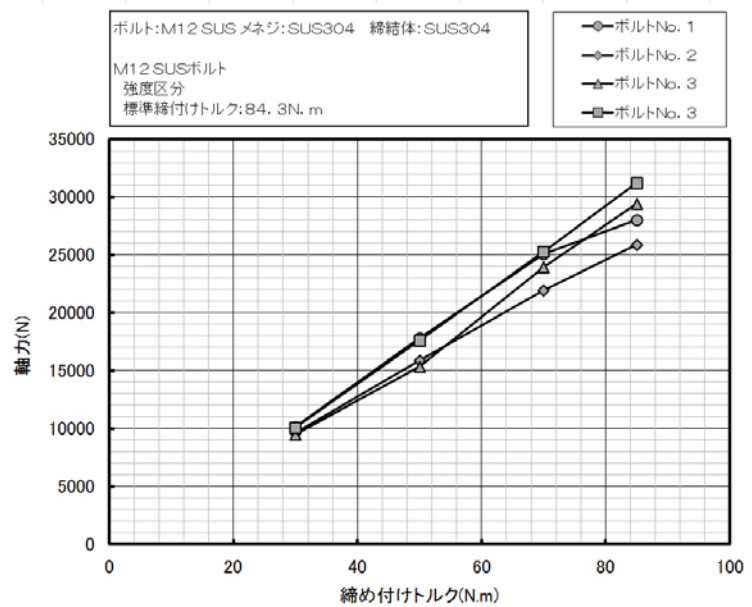


図 1-2 測定データ

1) JIS B 1083 ねじの締め付け通則, 1990

2) JIS B 1080 ねじの締め付け通則, 2008

3) 機械工学便覧 応用編 B1 機械要素設計・トライボロジー, 日本機械学会, 1985

4) ねじ締結体設計のポイント, 財団法人 日本規格協会, 2002 年

(2) ボルト軸部のミゼス相当応力計算

ある会社の事業部では、六角穴付きボルトを図 2-1 の作業標準に示した締付けトルクで機械を組立てていた。ステンレスボルト（図中 SUS と表記している）を作業標準に従って締結したときの、ボルト軸部に発生するミゼス相当応力 σ_{eq} を、M6、M10、M12、M16 について求めよ。ミゼス相当応力は、図 2-1 に示すように、軸力による引張り応力 σ と締付けによるせん断応力 τ が作用しているとして、せん断ひずみエネルギー説から求める。

ここでのステンレスボルトは、JIS B 1054-1 で規定する強度区分 80 のボルトであり、引張り強さ $\sigma_B = 800\text{MPa}$ 、0.2%耐力 $\sigma_{0.2} = 600\text{MPa}$ である。ミゼス相当応力と 0.2%耐力の比 ($\sigma_{eq}/\sigma_{0.2}$) も求めよ。

有限要素法を使わず、Excel シートを作成し机上計算せよ。摩擦係数は 0.191 とする。

I 標準トルク表

呼び寸法	穴 付 き ボ ル ト			六角ボルト (S45C)
	SCM	メッキ	SUS	
M 3		17	15	7
M 4		40	30	18
M 5		81	71	37
M 6		137	121	65
M 8		333	281	135
M10		680	581	280
M12		1150	843	490
M14		1630	1607	800
M16		2800	2197	1200

$1 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 0.1 \text{ N} \cdot \text{m}$

(単位 Kgf・cm)

II 作業

1. 六角棒レンチ

- 1) レンチは六角穴の底部まで確実に入れること。
- 2) レンチは垂直に立てる。
(ボール側を使用する場合は、トルク不足にならないよう副工具を使うこと)
- 3) 周囲に注意を払うこと。
- 4) 倒れないよう身構えること。
- 5) レンチは手前に引くようにして使うこと。

作業ポイント

- ☆六角棒レンチ
- 底部まで入れる
 - 垂直に立てる
 - 手前に引く

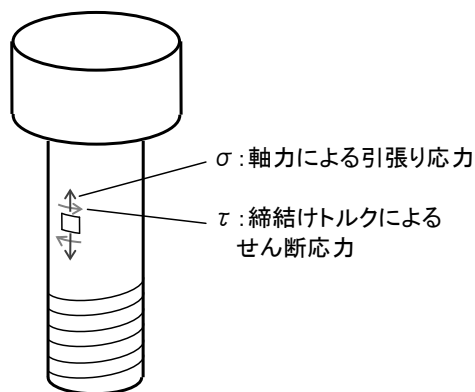


図 2-1 ボルト締結作業標準

図 2-2 ボルト軸部に発生する応力

(3) SCM ボルトの締付けトルクの決定

図 2-1 の締付けトルクは、ミゼス相当応力と 0.2%耐力の比 ($\sigma_{eq}/\sigma_{0.2}$) が 0.6 程度となるように決定されている。図 2-1 の空欄部である、強度区分 12.9 の SCM ボルトの締付けトルクを求めよ。JIS B 1051 に従うと、強度区分 12.9 の SCM ボルトの引張り強さは、 $\sigma_B = 1200\text{MPa}$ 、0.2%耐力は $\sigma_{0.2} = 1080\text{MPa}$ である。

有限要素法を使わず、Excel シートを作成し机上計算せよ。摩擦係数は 0.135 とする。

(4) ステンレスボルトのおねじ谷底の応力

図 4-1 の M12 ステンレスボルトを図 2-1 に従った締付けトルクで締結したとき、28,518N の軸力が発生する。このときのおねじ谷底の応力を求め、おねじ谷底が降伏状態かどうか調べよ。

有限要素法モデルは軸対称二次元モデルを使用し線形解析とする。締付けトルクによるせん断応力は無視し、軸力だけによる応力を求めよ。

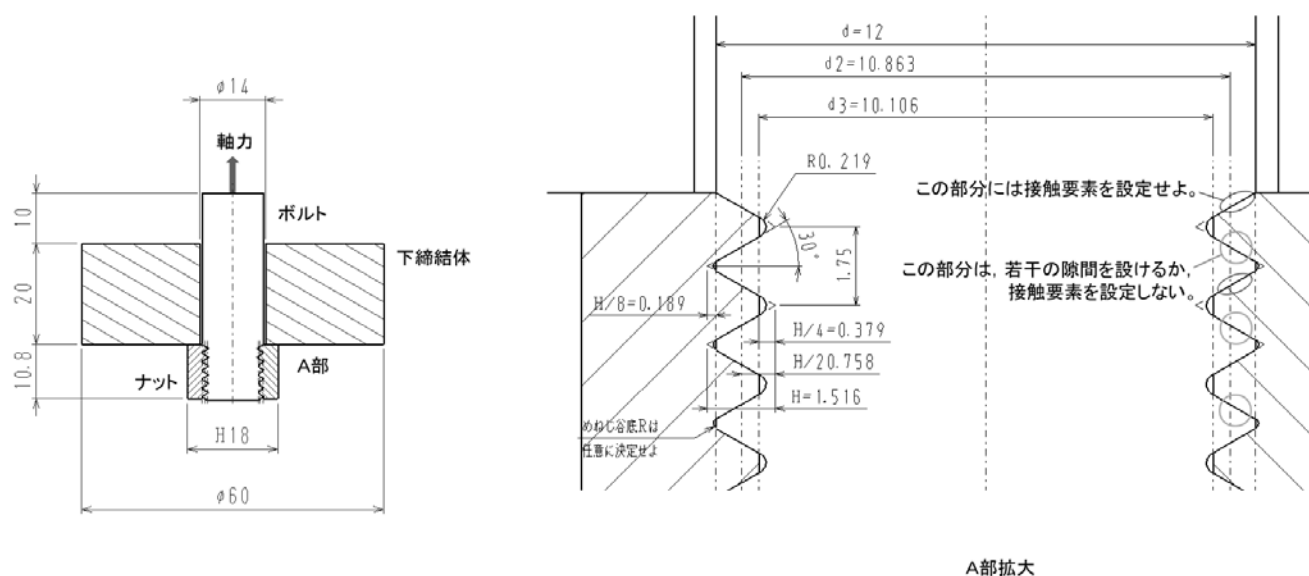


図 4-1 M12 ボルトの形状

(5) メッシュスタディ

問 (4) の有限要素法モデルにおいて、要素サイズを 1/2 にするか 2 倍にするかして再計算し、メッシュサイズにかかわらず同じ結果となることを確認せよ。

(6) ねじ締結体への外力による応力振幅 1

図 6-1 に示すように、M12 ステンレスボルトを用いて、図 2-1 に従った締付けトルクで結合したねじ締結体に外力が作用している。F の大きさはゼロから F まで変動する繰返し荷重である。このときのボルト軸部の応力振幅を求めよ。

$F = 20,000\text{N}$, $30,000\text{N}$, $40,000\text{N}$ とする。ボルト以外の部品（締結体とナット）の弾性係数は鉄よりはるかに大きく、ボルトの締結力により弾性変形しないとする。有限要素法を使用せず、机上で検討せよ。

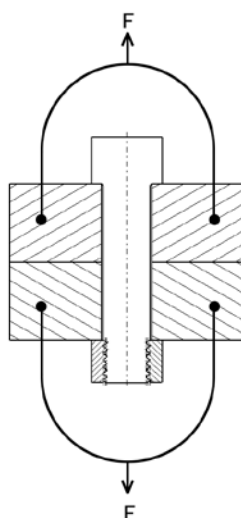


図 6-1 外力が作用した締結体

(7) ねじ締結体への外力による応力振幅 2 締付けトルク不足

問 6 のボルト締結において、図 2-1 で規定した締付けトルクの半分で結合した。このときのボルト軸部の応力振幅を求めよ。

$F = 20,000\text{N}$, $30,000\text{N}$, $40,000\text{N}$ とする。ボルト以外の部品（締結体とナット）の弾性係数は鉄よりはるかに大きく、ボルトの締結力により弾性変形しないとする。有限要素法を使用せず、机上で検討せよ。

(8) ねじ締結体への外力による応力振幅 3

締付けトルク不足が疲労破壊に与える影響を述べよ。

以上

略解)

(1-1), (1-2)

ボルトの軸力, トルク, 応力計算				
参考文献: ねじ締付け通則 JIS B1080(2008)				
問題番号			(1-1), (1-2)	(1-3)
パラメータ	単位	記号, 式		
ボルト呼び	M-		M12	M12
ボルト材質	-		ステンレス 強度区分80	SCMボルト 強度区分12.9
引張り強さ	N/mm2	σ_B	800	1200
	Pa		800000000	1200000000
0.2%耐力	Pa	σ_y	600000000	1080000000
締付け部品材質	-		SUS304	SUS304
おねじ/めねじ摩擦係数	-	μ_{th}	0.191	0.135
ボルト/部品 摩擦係数	-	μ_b	0.191	0.135
摩擦係数コメント				
軸力	N	F	28518.75233	61465.53356
外径	m	d	0.012	0.012
リード	m	p	0.00175	0.00175
有効径	m	d2	0.010863	0.010863
谷径	m	d3	0.010106	0.010106
ボルト頭径	m	Do	0.018	0.018
穴径	m	dh	0.013	0.013
座面平均径	m	Db	0.0155	0.0155
有効断面積	m2	As	8.63347E-05	8.63347E-05
Asとなる直径	m	d _{As}	0.0104845	0.0104845
Tth計算過程	m	$p/2\pi + 0.577\mu_{th}.d2$	0.0014757	0.001124695
ボルト応力計算に使用する径	m	d	0.012	0.012
ねじ部トルク	N.m	Tth	42.08511686	69.12994971
座面トルク	N.m	Tw	42.21488314	64.30831448
締付けトルク	N.m	Tf	84.3	133.4382642
ボルト引張り応力	Pa	$\sigma = F/0.25\pi d2^2$ (上記径)	252161133.6	543474638.6
断面係数	m3	$Z = \pi d2^3/16$	3.39292E-07	3.39292E-07
ボルトせん断応力	Pa	$\tau = T/Z$	124038044.1	203747652.1
ボルト相当応力	Pa	σ_{eq}	331272616.4	648000000
0.2%耐力比	-	$A = \sigma_{eq}/\sigma_y$	0.552121027	0.6
逆算				
トルク係数.d	-	K.d	0.00295595	0.002170945
締付けトルク	N.m	Tf	81.3	81.3
締付け力	N	Ff	27503.85011	37449.13731

(1-3)

I 標準トルク表

呼び寸法	穴 付 き ボ ル ト			六角ボルト (S 4 5 C)
	S C M	メ ッ キ	S U S	
M 3	2 0	1 7	1 5	7
M 4	4 7	4 0	3 0	1 8
M 5	9 4	8 1	7 1	3 7
M 6	1 5 1	1 3 7	1 2 1	6 5
M 8	3 8 0	3 3 3	2 8 1	1 3 5
M 1 0	7 7 4	6 8 0	5 8 1	2 8 0
M 1 2	1 3 5 0	1 1 5 0	8 4 3	4 9 0
M 1 4	2 1 4 0	1 6 3 0	1 6 0 7	8 0 0
M 1 6	3 4 0 0	2 8 0 0	2 1 9 7	1 2 0 0

$$1 \text{ kgf} \cdot \text{cm} = 0.1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

(単位 K g f ・ c m)

(4) ねじの谷底面は降伏することを理解する

(6, 7) 締結力の低下が疲労につながることを理解する