

強度計算書

松本工業株式会社

1. 一般事項

1.1 設計条件

a 本計算は金属製避難はしごの技術上の規格を定める省令（平成9年4月24日自治省令第27号改正、以下「設計規格」と記述）に基づいて行った。

b 計算荷重

設計規格によると以下の条件を満たす必要がある。

イ. 最上部の横棧から最下部の横棧までの寸法は最大 3.795m なので縦棒1本につき $500 \times 2 = 1000[N]$ の引張り荷重を加えたとき、永久歪を生じない。

ロ. 横棧1本につき中央 7cm の部分に $1000[N]$ の等分布荷重を加えたとき、永久歪を生じない。

ハ. 上記イ、ロの2倍の荷重を加えたとき、亀裂、破損等を生じない。

上記イ、ロ、ハの条件を同時に満足する計算方法を求める。

設計でかける荷重を F_0 、それによって生じる応力を σ_0 とした場合イから以下の関係が求められる。

$$\sigma_0 < \text{材料の引張許容応力} = 235[MPa] \dots \text{①}$$

ロから以下の関係が求められる。

$$2 \times \sigma_0 < \text{材料の引張強度} = 400[MPa] \dots \text{②}$$

以上のうちより厳しい条件を満たす必要があるので、①、②から

$$2 \times \sigma_0 < 400 < 235 \times 2 = 470 \dots \text{③}$$

引張り強度は許容応力を使って表現すると

$$\text{引張り強度} = 400/235 \times \text{許容応力}$$

$$\text{引張り強度} = 1.702 \times \text{許容応力} \dots \text{④}$$

③に④を代入し整理すると、

$$\sigma_0 < 1.702/2 \times \text{許容応力}$$

$$\sigma_0 < 1/1.175 \times \text{許容応力}$$

$$1.175 \times \sigma_0 < \text{許容応力} \dots \text{⑤}$$

以上より最低の条件が求められた。

余裕をみて以後の計算では以下を満たせばOKとする。

$$1.2 \times \sigma_0 < \text{許容応力}$$

計算荷重 $F_0 = 1200[N]$ を掛けたときに発生する応力 σ が以下条件を満たせば判定をOKとする。

$$\sigma < \text{許容応力} \dots \text{⑥}$$

2 計算に用いる力学記号

本計算で使用する記号、単位を以下に示す。ここに記載のないものは個々に示す。

記号	内容	単位
	長さ	[mm]
T	板厚	[mm]
B	部材幅	[mm]
Z	部材断面係数	[mm ³]
F	引張力 (圧縮の場合負)	[N]
Q	せん断力	[N]
M	モーメント	[N・m]
σ_t	引張応力	[MPa]
σ_c	圧縮応力	[MPa]
σ_b	曲げ応力	[MPa]
σ_s	せん断応力	[MPa]
f_t	許容引張応力	[MPa]
f_c	許容圧縮応力	[MPa]
f_s	許容せん断応力	[MPa]

(1) 許容応力

ワークに使用する材料の許容応力を以下に示す。

応力の種類 材質の種類	許容応力 [MPa]		
	圧縮 (f_c)	引張 (f_t)	せん断 (f_s)
SS400	235	235	
ボルト (磨き棒鋼)		235.2	176.4

ジョイントに用いているリベットは応力としての計算が困難なため、カンメ状態での許容荷重をメーカーの試験成績書から引用する。値については以下のとおり。

力の種類 材質の種類	許容力 [N]		
	圧縮	引張	せん断
アブデル BN01-6019		5400	8500

ただし、この値は非破断保証強度となるため、設計荷重に2をかけた場合に発生する力と比較する必要がある。

3 設計強度計算

3.1 縦棒メイン部材の計算…左右対称により片側のみ計算する。

イ. 吊り下げ金具付近の計算

アームa-cの引張り力を求める。

ピンb周りのモーメントは、横棧を鉛直方向に引っ張ることによって発生するモーメントとアームa-cによって発生するモーメントが釣合っている。横棧を引っ張る力を F_0 、アームa-cに発生する力を F_{ac} とすると以下の関係が成り立つ。

$$120 \times F_0 = 41 \times F_{ac}$$

$$F_{ac} = F_0 \times 120/41 = 1200 \times 120/41 = 3512[N]$$

ピンbでの荷重を求める。

アームb-dの圧線力を F_{bd} とすると垂直成分の和は0になるため以下の関係が成り立つ。

$$F_0 + F_{bd} \cos 16.6^\circ - F_{ac} \cos 8.22^\circ = 0$$

$$1200 + F_{bd} \times 0.958 - 3512 \times 0.99 = 0$$

$$F_{bd} = 2377[N]$$

以上からピンa、b、c、dにかかるせん断応力、アームa-cの引張り応力、アームb-dの曲げ応力を確認する。

ピンa、bはM10のボルトのため、

有効断面積は $58[mm^2]$

ピンaのせん断応力 $3512/58 = 60.5[MPa] < 176.4[MPa] \dots OK$

ピンbのせん断応力 $2377/58 = 41[MPa] < 176.4[MPa] \dots OK$

ピンc、dはリベットのため $F_0 = 2000$ としたときに許容せん断荷重 $8500[N]$ を超えないことが条件となるため、

ピンcのせん断力 $3512 \times 2000/1200 = 5853[N] < 8500[N] \dots OK$

ピンdのせん断力 $2377 \times 2000/1200 = 3961[N] < 8500[N] \dots OK$

アームa-cの引張り応力

$$F_{ac}/(\text{部材板幅} \times \text{部材板厚}) = 3512/(19 \times 4.5) = 41.1[MPa] < 235[MPa] \dots OK$$

アームb-dの曲げ応力

曲げモーメントM

$$M = 25[mm] \times \sin(16.6^\circ + 8.22^\circ) \times F_{ac}$$

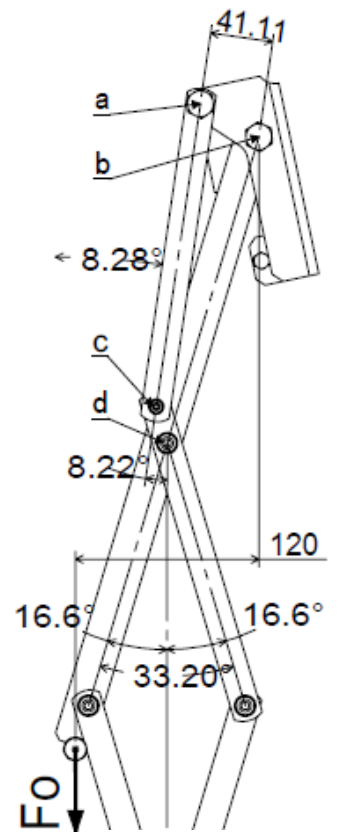
$$25 \times 0.42 \times 3512 = 36876[N \cdot m]$$

断面係数 Z 板厚 t = 4.5 板幅 b = 19

$$Z = 1/6 \times tb^2 = 1/6 \times 4.5 \times 19^2 = 270[mm^3]$$

曲げ応力 σ_M

$$\sigma_M = M/Z = 36876/270 = 136.6[MPa] < 235[MPa] \dots OK$$



ロ. 途中部分の計算

アームf-hのピンgでは F_0 の荷重によって発生するモーメントと横棧から受ける力 F_p によるモーメントが釣合っている。そのため以下の関係が成り立つ。

$$1200 \times 51.5 = F_p \times 24.94$$

$$F_p = 2478[N]$$

ピンfでかかる力を F_f とした場合、 F_f 、 F_0 、 F_p のベクトル和は0になるので、ベクトル和から

$$F_f = 2425[N]$$

(方向は水平右向き 0° とする場合に 11.7°)

この部材での最大曲げモーメント M_{fh} は横棧との接点で発生し、その大きさは

$$\begin{aligned} M_{fh} &= 1200 \times (180 - 24.94) \times \sin 16.6^\circ \\ &= 53158[N \cdot mm] \end{aligned}$$

アームe-fにはピンeで F_0 の反力、ピンfで F_f の反力、横棧との接点で F_p の反力を受ける。

この部材での最大曲げモーメント M_{eg} はピンgで発生しその大きさは

$$M_{eg} = 1200 \times 180 \times \sin 16.6^\circ = 61709[N \cdot mm]$$

アームe-g、アームg-hには進展防止機構に関係が無いので負荷がかからないので計算を省略する。

以上から求められたピンe、f、g、hのせん断力、アームe-g、アームg-hの最大曲げ応力を計算し判定を行う。

それぞれのピンはリベットのため $F_0 = 2000$ としたときに許容せん断荷重 $8500[N]$ を超えないことが条件となるため、

$$\text{ピンeのせん断力 } F_e \times 2000/1200 = 2000[N] < 8500[N] \dots OK$$

$$\text{ピンfのせん断力 } F_f \times 2000/1200 = 0[N] < 8500[N] \dots OK$$

$$\text{ピンgのせん断力 } F_g \times 2000/1200 = 4041[N] < 8500[N] \dots OK$$

$$\text{ピンhのせん断力 } F_h \times 2000/1200 = 2000[N] < 8500[N] \dots OK$$

それぞれのアームは板厚 $t = 4.5$ 板幅 $b = 19$ なので

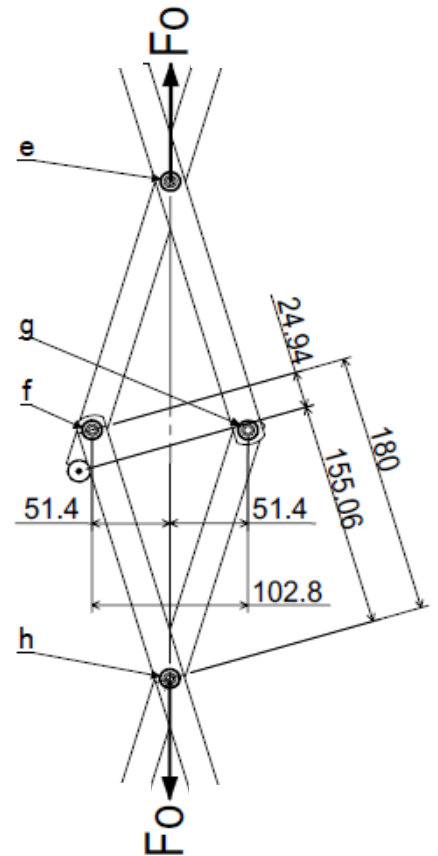
$$\text{断面係数 } Z = 1/6 \times tb^2 = 1/6 \times 4.5 \times 19^2 = 270[mm^3]$$

アームe-fの曲げ応力

$$\sigma_M = M_{fh}/Z = 53158/270 = 196.9[MPa] < 235[MPa] \dots OK$$

アームg-hの曲げ応力

$$\sigma_M = M_{eg}/Z = 61709/270 = 229[MPa] < 235[MPa] \dots OK$$



ハ. 横棧の計算

横棧は断面が異型のため、①外径 $\phi 15.5$ 内径 $\phi 14$ 材料強度半分、②外径 $\phi 14$ 内径 $\phi 11.7$ の合計の断面係数をとるものとして計算する。

この計算で以下のとおりに断面係数 Z は求められる。

$$\text{断面係数 } Z = \pi/32D (D^4 - d^4)$$

$$Z = \pi/32 \times 15.5(15.5^4 - 14^4) + \pi/32 \times 14(14^4 - 11.7^4)$$

$$Z = \pi/496(57720 - 38416) + \pi/448(38416 - 18738.9)$$

$$Z = \frac{3.14}{496} \times 19304 + \frac{3.14}{448} \times 19677.1$$

$$Z = 260[\text{mm}^3]$$

計算の拘束条件は両端固定支持梁の間隔 $307[\text{mm}]$ 中心部 $70[\text{mm}]$ に対する等分布荷重でその合計は $1200[\text{N}]$ として計算する。

この場合の最大曲げモーメント M はその中心部で発生し以下の通りに求められる。

$$M = (1200/2 \times 153.5 - (1200/70) \times 35^2)/2 = 35550[\text{N} \cdot \text{mm}]$$

この曲げモーメントから求められる曲げ応力 σ について判定を行う。

$$\sigma = M/Z = 35550/260 = 136.7[\text{MPa}] < 235[\text{MPa}] \dots \text{OK}$$

以上から計算の対象となった全ての材料について問題無しと判断できる。