

非常用避難口

セクール

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) 本計算書は「避難器具の基準（消防庁告示第二号）」に基づいて計算する。
- b) 設計荷重

(ア) 上蓋積載荷重

閉鎖状態における面積の $0.2[m^2]$ またはその端数ごとに $650[N]$ で与えられる等分布荷重。

弊社製品では $0.36[m^2]$ のため荷重は $1,300[N]$ となるため、上蓋積載荷重は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{上蓋積載荷重} &= \frac{1300[N]}{0.36[m^2]} \\ &= 3611.1\dots[\text{Pa}] \\ &\leq 3700[\text{Pa}] \dots \text{これを計算値とする。} \end{aligned}$$

(イ) はしごつり下げ部積載荷重

当該はしごの最上部の横さんから最下部の横さんまでの部分について、 $2m$ またはその端数ごとに $1950[N]$ で与えられる荷重。

弊社製品ではこの長さが $3.7[m]$ のためはしごつり下げ部積載荷重は以下の通りとなる。

$$\begin{aligned} \text{はしごつり下げ部積載荷重} &= 1950 \times 2 \\ &= 3900[N] \end{aligned}$$

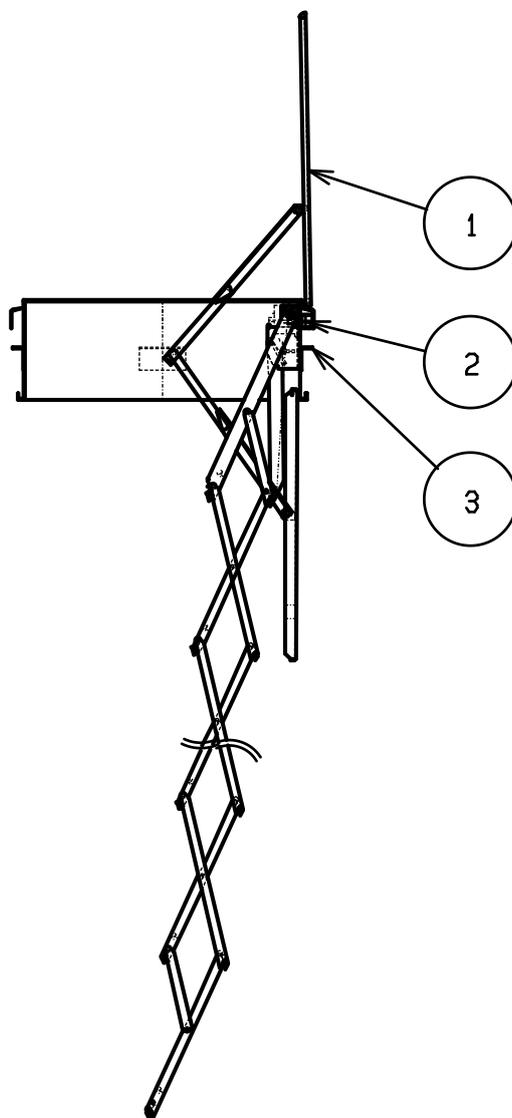
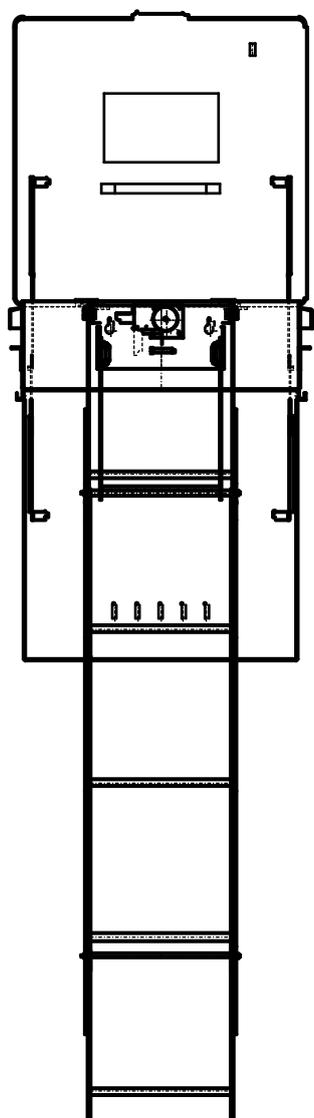
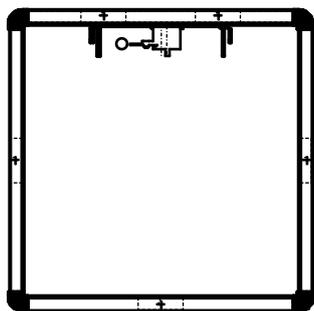
c) 許容応力度

応力の種類 鋼材等の種類	許容応力度 $[N/mm^2]$			
	圧縮(f_c)	引張(f_t)	曲げ(f_b)	せん断(f_s)
一般用鋼材	235.2	235.2	235.2	135.7
ステンレス材		205		118.4
ボルト				132.3

d) 本計算書に使用する力学記号

W	: 設計荷重 (力)	$[N]$
P	: 設計荷重 (単位面積当りの力)	$[N/m^2], [N/mm^2]$
t	: 板厚	$[mm]$
a, d	: 部材長	$[mm]$
b	: 部材幅	$[mm]$
ρ	: 密度	$[g/cm^3]$
α, β	: 周囲支持計算における定数	無次元数
δ	: たわみ	$[mm]$
E	: ヤング係数	$[N/mm^2]$
A	: 有効断面積	$[mm^2]$
f_t	: 許容引張り応力度	$[N/mm^2]$
f_s	: 許容せん断応力度	$[N/mm^2]$
τ	: 荷重によって発生するせん断応力	$[N/mm^2]$
g	: 重力加速度	$[m/s^2]$

2. 概要図 (○内数字は部材番号を表す)



3. 応力算定及び部材の検討

3.1. 算定方針

本計算書は各使用材質に対して検討し、それらが耐力を超えないかを確認し、超えなければ要求強度を満足しているものとする。

3.2. 上蓋の検討（部材番号①）

上蓋の閉鎖時にかかる荷重によるたわみと最大応力を計算する。ただし、上蓋は計算の簡略化のため平板とし、支持は方形周辺支持とする。

(ア) 荷重条件

上蓋にかかる荷重を以下の式によって定義する。

$$P = P_W (\text{自重による荷重}) + P_L (\text{積載荷重})$$

P_W は以下の式によって与えられる。

$$P_W = \frac{a_w \cdot b_w \cdot t \cdot \rho \cdot g}{a_s \cdot b_s}$$

$$P_W = \frac{0.65 \times 0.65 \times 0.002 \times 7.93 \cdot 10^3 \times 9.8}{0.6 \times 0.6}$$

$$P_W = 182.4 [N/m^2]$$

a_w	$= 0.650 [m]$	素材長
b_w	$= 0.650 [m]$	素材幅
t	$= 0.002 [m]$	素材厚
ρ	$= 7.93 \cdot 10^3 [kg/cm^3]$	密度
g	$= 9.8 [m/s^2]$	重力加速度
a_s	$= 0.600 [m]$	支持長
b_s	$= 0.600 [m]$	支持幅

P_L は 1.1 設計条件—b)設計荷重—(ア)上蓋積載荷重によって下記の内容で定義されている。

$$P_L = 3700 [N/m^2]$$

以上によって P は以下の値となる。

$$P = P_W + P_L$$

$$P = 182.4 + 3700$$

$$P = 3882.4 [N/m^2]$$

(イ) 応力、たわみの計算

方形板—周辺支持での最大応力 σ_{max} 、最大たわみ δ_{max} は以下の式によって与えられる。

(参考文献：機械工学便覧 第4章 版4 82ページ長方形—周辺支持)

$$\sigma_{max} = \alpha \frac{P}{t^2} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^2$$

$$\delta_{max} = \beta \frac{P}{Et^3} \cdot \left(\frac{b}{2}\right)^4$$

$$\alpha = 1.15 \quad \text{係数} \\ \text{(a/b=1 のとき)}$$

$$\beta = 0.709 \quad \text{係数} \\ \text{(a/b=1 のとき)}$$

$$P = 3882.4 \text{ [Pa]} \quad \text{荷重}$$

$$t = 0.002 \text{ [m]} \quad \text{素材厚}$$

$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad \text{重力加速度}$$

$$b = 0.6 \text{ [m]} \quad \text{支持幅}$$

(=a支持長さ)

$$E = 2.058 \cdot 10^{11} \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{ヤング係数}$$

以上から最大応力は以下のように計算される。

$$\sigma_{max} = 1.15 \frac{3882.4}{0.002^2} \cdot \left(\frac{0.600}{2}\right)^2$$

$$\sigma_{max} = 100.46 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

ステンレス材の許容応力度 f_t は 1.1 設計条件—c)許容応力度より

$$f_t = 205 \text{ [MPa]}$$

となり、以下の式が成り立つため、上蓋の強度は十分であるといえる。

$$\sigma_{max} < f_t \quad \dots \text{OK}$$

また最大たわみは以下のように計算される。

$$\delta_{max} = 0.709 \frac{3882.4}{2.058 \cdot 10^{11} \cdot 0.002^3} \cdot \left(\frac{0.6}{2}\right)^4$$

$$\delta_{max} = 0.013542 \text{ [m]}$$

$$\delta_{max} = 13.542 \text{ [mm]}$$

3.3. 梯子取付けボルトの検討 (部材番号②)

梯子進展時、人による負荷がかかった状態を想定し、計算を行う。

(ア) 荷重条件

梯子取付けボルトにかかる荷重 W を以下の式によって定義する。

$$2 \cdot W = W_W (\text{自重による荷重}) + W_L (\text{積載荷重})$$

W_W は以下の式によって与えられる。

$$W_W = mg$$

$$m = 16.9 \text{ [kg]}$$

梯子質量

(は-18~11号 12段の場合)

$$g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

重力加速度

上記の条件を代入すると以下の通りとなる。

$$W_W = 16.9 \times 9.8$$

$$W_W = 165.62 \text{ [N]}$$

$$W_W \doteq 170 \text{ [N]} \text{ (10の位で切り上げ)}$$

W_L は以下の式によって与えられる。

$$W_W = den$$

$$d = 1950 \text{ [N]}$$

係数

$$e = 2$$

自治省による

(はしご全長 3.7[m]の場合) 金属性避難はしごの技術上の規格を定める省令の第9条に定められている

$$n = 2$$

安全率

上記の条件を代入すると以下の通りとなる。

$$W_W = 1950 \cdot 2 \cdot 2$$

$$W_W = 7800 \text{ [N]}$$

以上によって W は以下の値となる。

$$2 \cdot W = W_W + W_L$$

$$W = \frac{W_W + W_L}{2}$$

$$W = 3985 \text{ [N]}$$

(イ) せん断応力の確認

梯子取付けボルトにかかるせん断力 τ は以下の式によって与えられる。

$$\tau = \frac{W}{A}$$

$$A = 84.3 \cdot 10^{-6} \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{M12 ボルトの有効断面積}$$

上記の条件を代入すると以下の通りとなる。

$$\tau = \frac{3985}{84.3 \cdot 10^{-6}} = 47.3 \times 10^6 \text{ [N/m}^2\text{]}$$

$$\tau = 47.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

ボルトの許容応力度 f_S は 1.1 設計条件- c)許容応力度より

$$f_S = 132.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

となり、以下の式が成り立つため、梯子取付けボルトの強度は十分であるといえる。

$$\tau < f_S \cdots \text{OK}$$

3.4. アンカーについての検討 (部材番号③)

アンカーには、上蓋閉鎖時には上蓋からの荷重 w_1 、上蓋開放時には梯子取付けボルトからの荷重 w_1 がかかる可能性があるためアンカーにかかる荷重 W は w_1 と w_2 を比較し最大値とする。

(ア) 荷重条件

上蓋からの荷重

$$4 \cdot W_1 = P \cdot a^2$$

$$P = 3882.4 \text{ [N/m}^2\text{]} \quad \text{3.2(ア)で導き出した上蓋への荷重}$$

$$\alpha = 0.6 \text{ [m}^2\text{]} \quad \text{3.2(ア)で設定している上蓋支持長さ (=幅)}$$

上記の条件を代入すると以下の通りとなる。

$$4 \cdot W_1 = 3882.4 \times 0.6^2$$

$$4 \cdot W_1 = 1397.664$$

$$W_1 = 349.416$$

$$W_1 \doteq 350 \text{ [N]}$$

梯子取付けボルトからの荷重 W_2 は3.3より以下の通りに与えられる。

$$W_2 = 3985 \text{ [N]}$$

アンカーにかかる荷重 W は $W_1 < W_2$ より

$$W = 3985 \text{ [N]}$$

とする。

(イ) せん断応力、接合部の強度の確認

アンカーには以下の式で表されるせん断応力 τ が発生する。

$$\tau = \frac{W}{b \cdot t}$$

$$b = 50[\text{mm}] \quad \text{アンカーの幅}$$

$$t = 2[\text{mm}] \quad \text{アンカーの板厚}$$

上記の条件を代入すると以下の通りとなる。

$$\tau = \frac{3985}{50 \cdot 2}$$

$$\tau = 40 [N]$$

ステンレス材の許容応力度 f_S は 1.1 設計条件—c) 許容応力度より

$$f_S = 118.4 [N/mm^2]$$

となり、以下の式が成り立つため、梯子取付けボルトの強度は十分であるといえる。

$$\tau < f_S \cdots \text{OK}$$

アンカーはナゲット径 $5[\text{mm}]$ の 3 点によるスポット溶接によって取付けられている。この部位に以下の式で与えられるせん断応力 τ が発生するため、この大きさを確認する。

$$\tau = \frac{W}{3 \cdot 5 / 2 \cdot 2 \cdot \pi}$$

$$\tau = \frac{3985}{3 \cdot 5 / 2 \cdot 2 \cdot 3.14}$$

$$\tau = 84.8 [\text{MPa}]$$

ステンレス材の許容応力度 f_S は 1.1 設計条件—c) 許容応力度より

$$f_S = 118.4 [N/mm^2]$$

となり、以下の式が成り立つため、梯子取付けボルトの強度は十分であるといえる。

$$\tau < f_S \cdots \text{OK}$$

3.5. 鉄筋についての検討

ハッチはアンカーを介して建物の鉄筋に固定される。この呼び径は D13 であり、JIS G3112 によると断面積は 126.7mm^2 である。

3.4 でアンカーにかかる最大荷重は以下のとおりに求められている。

$$W = 3985 \text{ [N]}$$

これと鉄筋の断面積から、鉄筋にかかるせん断応力から強度の判定を行う。

$$\tau = \frac{3985}{126.7}$$

$$\tau = 31.5$$

鉄筋の許容応力度はボルトの許容応力度と大体同じとして考えるとその大きさ、

f_S は 1.1 設計条件—c) 許容応力度より

$$f_S = 132.3 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

となり、以下の式が成り立つため、鉄筋の強度は十分であるといえる。

$$\tau < f_S \cdots \text{OK}$$

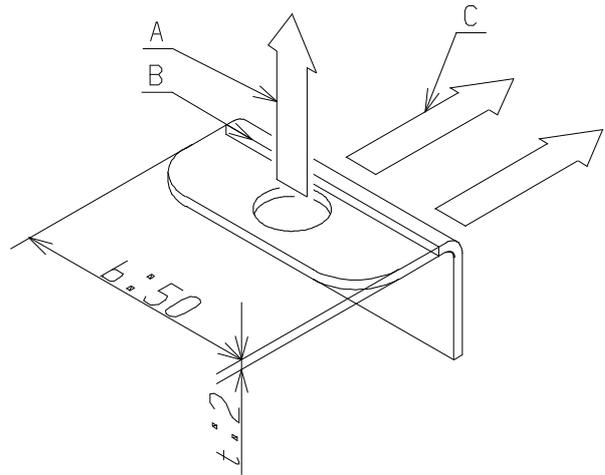
3.6. 固定部材の許容荷重についての検討

ハッチは右図に示す形状のアンカーにて取り付けられる。

固定部材の許容荷重の検討は

- ① : A に示す建物側の鉄筋に対する許容せん断荷重
- ② : B に示すアンカーの断面に対する許容せん断荷重
- ③ : C に示すアンカーの本体への取付に対する許容せん断荷重

以上3点に対して検討し、最も小さいものを許容荷重とする。ただし、この部材はコンクリートに埋まっているため、曲げによる荷重は無視する。



- ① A に示す建物側の鉄筋に対する許容せん断荷重 (F_A)

これは以下の式によって与えられる(A は3.5で使用した鉄筋の断面積, f_s は、3.5で使用した鉄筋の許容せん断応力)

$$F_A = \frac{A \cdot f_s}{n} = \frac{126.7 \times 132.3}{2} = 8381 [N]$$

- ② B に示すアンカーの断面に対する許容せん断荷重 (F_B)

これは以下の式によって与えられる(b, t は材料幅, 板厚, f_s は 1.1 設計条件—c)許容応力度より与えられるステンレスの許容せん断応力, n は安全率)

$$F_B = \frac{b \cdot t \cdot f_s}{n} = \frac{50 \times 2 \times 118.4}{2} = 5920 [N]$$

- ③ C に示すアンカーの本体への取付に対する許容せん断荷重 (F_C)

- ④ これは以下の式によって与えられる (d はナゲット直径, π は円周率, t は材料板厚, 3 はナゲット溶接の打点数, f_s は 1.1 設計条件—c)許容応力度より与えられるステンレスの許容せん断応力, n は安全率)

$$F_C = \frac{d \cdot \pi \cdot t \cdot 3 \cdot f_s}{n} = \frac{5 \times 3.14 \times 2 \times 3 \times 118.4}{2} = 5576 [N]$$

以上から固定部材一箇所当たりの許容荷重は $5576 [N]$ であるといえる。

固定部材は全五箇所取付なため $5 \times 5576 = 27880 [N] \div 27.9 [kN]$ となる。