

リブフレーム固定部の構造特性

耐震シェルターおよび耐震補強リブフレームにおけるピン固定部の復元力特性（剛性と耐力）は下記によって求める。

1) 対象とするリブフレーム（標準仕様）

【150シリーズ】：スギ材（E70）2-36×150

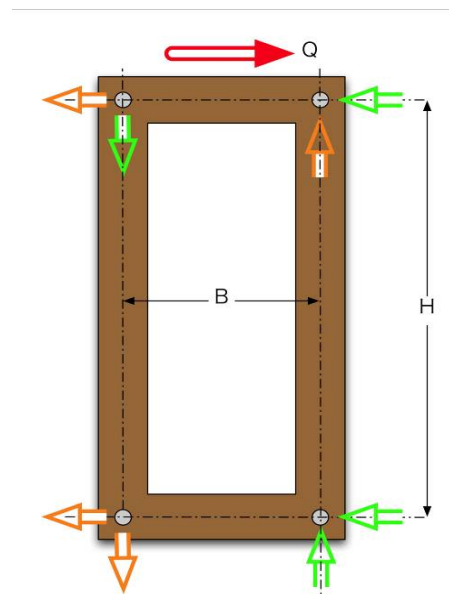
【180シリーズ】：スギ材（E70）2-36×180

いずれの場合もピン位置はリブフレーム仕口の中心とする

2) 固定部に働く応力

リブフレームがせん断変形によって水平に抵抗するためには、その取り付け部が一定の耐力と剛性を確保している必要がある。リブフレームの取り付けは右図に示すようにコーナー4カ所（リブフレーム仕口の中心位置）で1本のピン（貫通ボルト）にて固定されている。水平力 Q を受けたときに各支点に生ずる反力がピンの負担する応力であり、鉛直と水平の2方向の力である。リブフレームせん断力に対する鉛直反力と水平反力はリブフレームの高さ H と幅 B の比率によって決まり、4点ともそれぞれ等しい大きさになる。

この支点反力に対して取り付け部は事項に示す4つの構造要素で抵抗するので、それぞれの材料力学特性から支点の耐力と剛性が求まる。



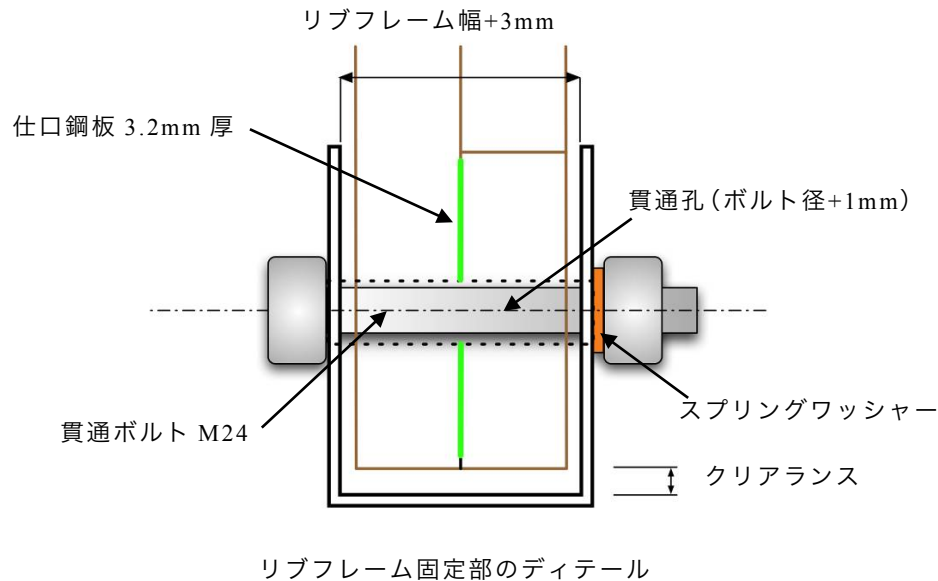
リブフレーム固定部に働く応力

3) 耐力と剛性に関わる構造要素

- ① ピン（貫通ボルト）の曲げ・せん断特性
- ② リブフレーム仕口部の支圧（めりこみ）特性
- ③ 取付用金物の圧縮・引張特性（金物・木ねじ・ガセットプレートとその溶接部）
- ④ 母材の弾性（既存梁またはコーナーアングルの耐力・剛性）

このうち①および②のみ考慮し、③および④については剛接合されていると見なす。

4) ピン（貫通ボルト）の耐力



① ピンの仕様

材質：仕上げボルト 4.8

$$\text{基準強度 } F=240\text{N/mm}^2 \quad E_s=2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

② ピンの降伏耐力

M24 (仕上げボルト 4.8) の場合

$$\text{曲げ耐力} \quad M_y = F \cdot Z_B = 240\text{N/mm}^2 \times 1357 \rightarrow \underline{32.5\text{kN} \cdot \text{cm}}$$

$$\text{せん断耐力} \quad Q_y = \frac{F}{\sqrt{3}} \cdot A_B = 180\text{N/mm}^2 \times 452 \rightarrow 81\text{kN}$$

(ただし建築構造ポケットブックによれば、ねじ部は上記の 3/4 耐力となるが、全塑性モーメントは形状係数 1.7 なので、1.7 倍となるボルトの終局曲げ耐力を上記の値と考える)

ピンのスパン (l) はリブフレーム幅+3mm なので、 $l = 7.5\text{cm}$

ピンを両端固定として圧縮または引張する外力 (W) を 3 角形分布荷重とすれば、(耐力は端部の曲げモーメントで決まる)

$$\text{最大モーメントは、} M = \frac{5 \cdot W \cdot l}{48}$$

となり、これがピンの $M_y (=32.5\text{kN} \cdot \text{cm})$ に達するのは、

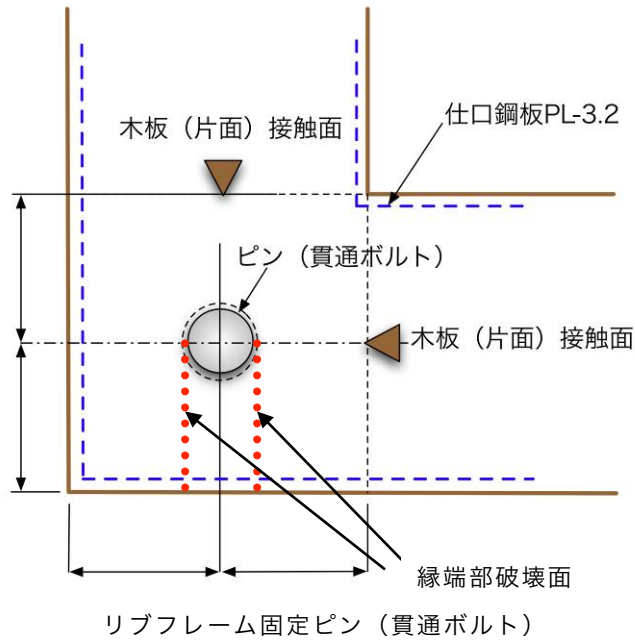
ピンの外力 W が 41.6kN (=W_y) の時である (この時、せん断耐力は余裕あり)

(参考) M20 (仕上げボルト 4.8) の場合：

$$\text{曲げ耐力} \quad M_y = 18.8\text{kN} \cdot \text{cm}$$

$$\text{ピンの降伏外力} \quad W_y = \underline{24.1\text{kN}}$$

5) ピン貫通部分の耐力



ピンが上下または左右に W の力で移動する時、貫通孔周りの木材および仕口鋼板が支圧（めりこみ）で抵抗するので、この降伏抵抗力を求める。また併せてピンの縁端部が外側へ抜け出す耐力も検討する。

① 貫通孔まわりの抵抗要素

仕口鋼板 (SS400)	PL-3.2 (SS400)
木材 (スギ E70)	繊維方向および繊維直交方向 (各 36mm 厚)
貫通孔の径	25mm
縁端距離	75mm

② 支圧耐力

木材のめりこみ強度 $=6\text{N/mm}^2$ 、圧縮強度 $=25\text{N/mm}^2$ 、せん断強度 $=2\text{N/mm}^2$
 鋼板の支圧強度を $F/1.1=235/1.1=213\text{N/mm}^2$ とすれば、
 貫通孔の直径 d の範囲で等分布するとして支圧耐力 F_p を計算することができる
 $F_p=25 \times (213 \times 3.2 + 25 \times 36 + 6 \times 36) = 44940\text{N} \rightarrow \underline{44.9\text{kN}}$

③ 縁端部せん断耐力

貫通孔の縁端部せん断耐力は木材のせん断耐力（2面）と鋼板の支圧耐力を足し合わせて求める

$$Q_p = 25\text{mm} \times 3.2\text{mm} \times 213\text{N/mm}^2 + 2 \text{面} \times 75\text{mm} \times 72\text{mm} \times 2.0 \text{ N/mm}^2 = 17040\text{N} + 21600 \text{ N} = 38640\text{N} \rightarrow \underline{38.64\text{kN}}$$

④ リブフレーム仕口のせん断耐力

リブフレーム仕口の端部では片側の木板がつながっておらず、鋼板 3.2mm と木板 36mm（繊維直交方向）の直接せん断耐力にて検討する

$$\text{鋼板のせん断耐力} = 3.2\text{mm} \times 130\text{mm} \times 135\text{N/mm}^2 = 56160\text{N}$$

$$\text{木板のせん断耐力} = 36\text{mm} \times 150\text{mm} \times 2\text{N/mm}^2 = 10800\text{N}$$

したがって、仕口のせん断耐力は $Q_y = 56160 + 10800 \rightarrow \underline{66.9\text{kN}}$ となり充分余裕がある

上記の計算から、150 シリーズのリブフレームでは縁端部のせん断耐力で決まり、

$$Q_p = 38 \text{ kN}$$

この耐力は 3.2 で求めたピン (M24 仕上げボルト 4.8) の曲げ降伏耐力 41.6kN よりやや小さい

同様に、180 シリーズのピン貫通部耐力を求めることができる

150 シリーズと異なるのは、縁短距離 75→90mm

$$F_p = 25 \times (213 \times 3.2 + 25 \times 36 + 6 \times 36) = 44900 \text{ N}$$

$$Q_p = 25 \text{ mm} \times 3.2 \text{ mm} \times 213 \text{ N/mm}^2 + 2 \text{ 面} \times 90 \text{ mm} \times 72 \text{ mm} \times 2.0 \text{ N/mm}^2 = 42960 \text{ N}$$

→ j.Pod でも縁端部せん断耐力で決まり、 $Q_p = 42.96 \text{ kN}$

ただし、ピン M24 (仕上げボルト 4.8) の降伏耐力はやや小さく、約 41.6kN である

6) ピンとその貫通部分によるリブフレーム固定部の支点反力剛性

上記で検討した抵抗力に応じた剛性を求める。計算は各抵抗力 (1N) あたりの変位量を求めて、それぞれを足し合わせると単位支点反力に対応した変位 (mm) を得る。その逆数が支点反力剛性 (K_v , K_h : N/mm) として求まる。ただし、本計算では下部支点到に挿入したパッキン材の影響を無視し、水平および鉛直ならびに圧縮および引張の剛性はすべて等しいものとする。

① ピンの曲げ・せん断変形による剛性

可撓長さ $L = 75 \text{ mm}$ (両端固定)

ボルト径: M24

$$E = 2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \quad G = 0.79 \times 10^5 \text{ N/mm}^2 \quad I = 16286 \text{ mm}^4 \quad A = 452 \text{ mm}^2$$

3 角形分布荷重 (トータル荷重 = W) による中央たわみは

$$\text{両端固定として、} \delta_c = \frac{7 \cdot W \cdot L^3}{1920 \cdot E \cdot I} \quad (\text{両端ピン支点とすれば} \frac{W \cdot L^3}{60 \cdot E \cdot I} \text{で、約 4.5 倍})$$

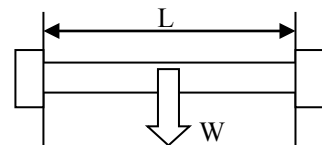
ボルト頭およびワッシャー部分の回転を考慮してこの 2 倍の変形量を見込むと、

$$W = 1 \text{ N} \text{ のとき、} \delta_c = 0.10 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

一方、せん断変形量は $\delta_c = \tau / G \times L$ なので

$$W = 1 \text{ N} \text{ のとき、} \delta_c = (0.5 / 452 \times 75) / 0.79 \times 10^5 = 0.105 \times 10^{-5} \text{ mm}$$

$$\text{両者を足し合わせて、} \delta_c = 0.205 \times 10^{-5} \text{ mm/N}$$



② ピンの支圧・めり込み変形による剛性

リブフレームの仕口は鋼板を挟んで多数の釘で 2 枚の木板材 (片側は繊維方向、片側は繊維直行方向) が一体化した複合材である。この複合材が一様に圧縮または引張されるときに等価な弾性係数を求め、応力集中を考慮して支圧(めり込み)変形量を求める。なお支圧変形する領域はピンの直径に等しいと仮定する。

スギ材リブフレームの構成材料

(単位は N、mm) :

$$\text{鋼板: } t_s = 3.2 \quad E_s = 2.05 \times 10^5$$

$$\text{木板: } t_l = 36.0 \quad E_l = 0.07 \times 10^5$$

$$\text{木板: } t_r = 36.0 \quad E_r = E_l / 25 = 0.003 \times 10^5$$

ベイマツ集成材リブフレームの構成材料：

鋼板：ts=3.2 Es=2.05×10⁵

木板：tl=50.0 EI=0.11×10⁵

木板：tr=50.0 Er=EI/25=0.005×10⁵

等価弾性係数は下式で示される：

$$E_{eq} = (ts \times Es + tl \times EI + tr \times Er) / (ts + tl + tr)$$

【スギ材リブフレームの場合】

$$E_{eq} = 0.123 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$$

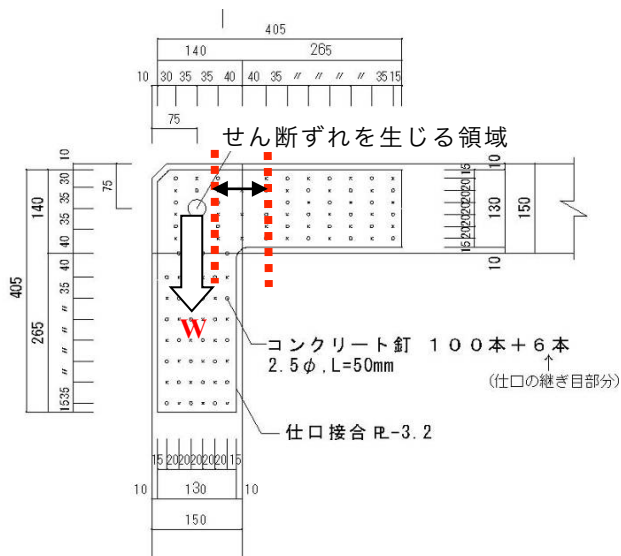
支圧（めり込み）のような局所的な圧縮変形では、応力集中係数φ（3.0）を考慮して上記の同様圧縮剛性の1/3の支圧弾性係数を採る

したがってW=1Nの力でM24のピンがめり込む量は、

(t=75mm ゆえ支圧面積=1800mm²)

$$\delta p = \frac{\sigma}{E} \cdot \phi \cdot Lp = \underline{0.33 \times 10^{-5} \text{ mm/N}}$$

③ リブフレーム仕口のせん断ずれによる剛性



ピンがリブフレームの面内で引張または圧縮されるとき、仕口部分はせん断変形を生じる。ただし、もっとも大きくせん断ずれを起こすのは上図の木板接触面である。この面では仕口鋼板のみが連続しており、連続する側の木板も繊維直行方向にせん断力が働くのでほとんど剛性を持たない。したがってせん断ずれによる変形は鋼板のみのせん断変形が仕口近傍の釘打ち第1列の間で生じる変形量とする。

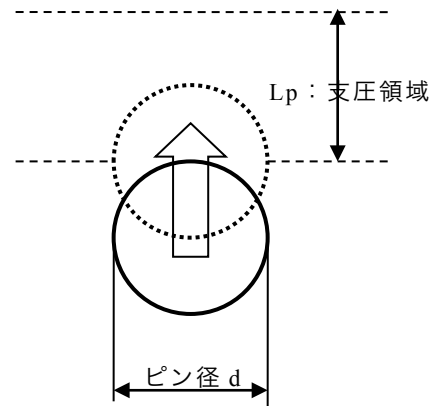
【150 シリーズ】

鋼板成は130mmなので、断面積は3.2×130=416mm²

せん断変形領域は80mm

したがってW=1Nによるせん断ずれ量は

$$\delta = (1/416) / G \times 75 \text{ mm} = \underline{0.225 \times 10^{-5} \text{ mm/N}}$$



【180 シリーズ】

鋼板成は 160mm なので、断面積は $3.2 \times 160 = 512 \text{mm}^2$

せん断変形領域は同じく 75mm である

したがって $W=1\text{N}$ によるせん断ずれ量は

$$\delta = (1/512) / G \times 75 \text{mm} = \underline{0.19 \times 10^{-5} \text{mm/N}}$$

9) すべての変形を考慮した支点反力剛性

上記①～③で求めた単位支点反力による変位量を足し合わせて支点移動量を求めると、

【150 シリーズ】

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{K_h} = (0.205 + 0.33 + 0.225) \times 10^{-5} = 0.76 \times 10^{-5} \text{mm/N}$$

【180 シリーズ】

$$\frac{1}{K_v} = \frac{1}{K_h} = (0.205 + 0.33 + 0.19) \times 10^{-5} = 0.725 \times 10^{-5} \text{mm/N}$$

10) 支点の耐力と剛性のまとめ

【150 シリーズ】 2-36×150 (E70 相当スギ材) ・ M24 (仕上げボルト 4.8) の場合

$$K_h = K_v = 1.30 \times 10^5 \text{N/mm}^2$$

$W_y = 40 \text{kN}$ (ピンの曲げ降伏)

$F_p = 45 \text{kN}$ (支圧耐力)

$Q_p = 38 \text{kN}$ (縁端部せん断耐力)

【180 シリーズ】 2-36×180 (E70 相当スギ材) ・ M24 (仕上げボルト 4.8) の場合

$$K_h = K_v = 1.35 \times 10^5 \text{N/mm}^2$$

$W_y = 40 \text{kN}$ (ピンの曲げ降伏)

$F_p = 45 \text{kN}$

$Q_p = 43 \text{kN}$

(注) 耐力算出の 3 種類の破壊モードは変形性能において大きな違いがある。

W_y : ピンの曲げ降伏耐力なので、歪硬化によって破断までは耐力上昇がある。

F_p : ピン貫通部への支圧(めり込み)によるので、耐力上昇は望めないが直ちに破壊するわけではなく変形性能は大きい。

Q_p : 縁端部のせん断破壊(すなわち木材のスッポ抜けが起こる)なので、もっとも脆性的な破壊形式である。リブフレームの縁端距離が木質構造規準における規定値の半分程度しか確保できていないので、支点反力の大きいケース(リブフレームのアスペクト比が大きい場合の脚部)は縁端部の補強を別途考慮する必要がある。