

モノコック構造体におけるコーナーアングルの応力伝達性

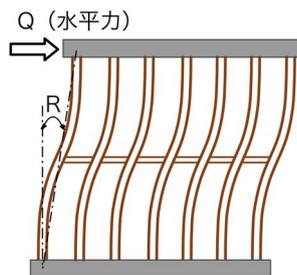
(リブフレーム直交方向の水平方向変形特性)

(1) コーナーアングルの応力伝達性

モノコック構造体（耐震シェルター）を壁方向に加力すれば、上下端が固定された柱列帯が横滑りしたような形状になる。



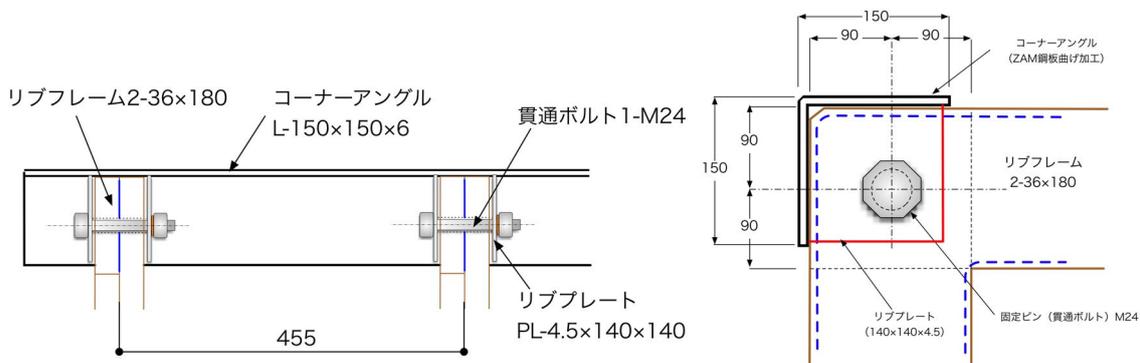
耐震シェルターの壁方向加力試験



壁方向変形モード（模式図）

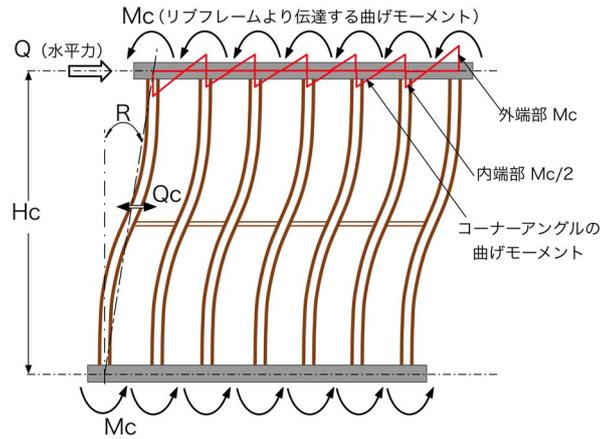
リブフレームのフレーム直交方向（弱軸方向）をつなぐコーナーアングルが固定端を連結している。壁方向の水平耐力を評価するには、その応力伝達性（固定端モーメントの釣り合いと変形性能）を検討する必要がある。モノコック構造体はフレーム方向と鉛直方向には木造の特性が強いが、壁方向には鉄骨造とのハイブリッド構造である。

下図はリブフレームとコーナーアングルの取り合いを示す詳細図である。コーナーアングルは基礎あるいは上下階のコーナーアングルと外端部およびリブフレーム中間部にてボルトで接合される。



コーナーアングル詳細図

リブフレームの端部モーメントはリブプレートと固定ピンを介してコーナーアングルに伝達される。モノコック構造体が壁方向に変形するときのリブフレーム柱端部曲げモーメントを M_c とすれば、コーナーアングル外端部には M_c が、中間のリブフレーム固定部では $M_c/2$ が分配される。つまりコーナーアングルにリブフレームから分配された曲げモーメントが、「変形の適合条件」と「応力のつり合い条件」を満足しつつ変形する（水平方向に変位する）ことにより、リブフレームを集合した Pod が独立したモノコック構造体として機能する。



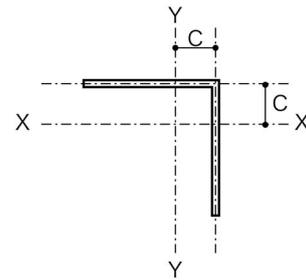
コーナーアングルとリブフレームの応力分配

全面壁（全面ブレース）でなく、開口や付きの壁やリブフレーム弱軸方向の補強を考える場合は、コーナーアングルの曲げ・剪断性能を把握することが必要となる。標準タイプのコーナーアングルは 6mm 厚の ZAM 鋼板（SS400 相当）を曲げ加工したもので、L-150×150×6 と表示する。

コーナーアングルの断面性能と降伏モーメント M_{by} を下記に求める。

① 全断面有効としたとき

- 断面積 $A = 16.8 \text{ cm}^2$
- $c = 3.6 \text{ cm}$
- 断面係数 $Z = 35 \text{ cm}^3$
- 降伏モーメント $M_{by} = \text{約 } 800 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ (SS400 相当材)



コーナーアングル断面

② フランジ/ウェブの 1/2 長の断面を有効としたとき

- 断面積 $A = 8.4 \text{ cm}^2$
- $c = 1.8 \text{ cm}$
- 断面係数 $Z = 9 \text{ cm}^3$
- 降伏モーメント $M_{by} = \text{約 } 200 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ (SS400 相当材)

ただし、幅厚比の規定で塑性ヒンジ形成部分では $b/t \leq 9$ 、それ以外で $b/t \leq 16$ となっており、これを適用すれば有効断面はさらに小さくなる。②の仮定では $b/t = 12.5$ で、規定値の中間値である。

③ 幅厚比規定 ($b/t=16$) に従った場合 (L-96×96×6)

- 断面積 $A = 11.16 \text{ cm}^2$
- $c = 2.4 \text{ cm}$
- $Z = 15.4 \text{ cm}^3$
- 降伏モーメント $M_{by} = \text{約 } 360 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ (SS400 相当材)

耐力確認のためコーナーアングル 3 体の曲げ破壊実験を単純梁形式で行った。ウェブの座屈で耐力が低下したが、そのときの最大耐力から曲げモーメントを算出すれば約 $750\text{kN}\cdot\text{cm}$ であった。このことからほぼ全断面有効とした①に近い結果が得られ、リブフレームの破壊の前にコーナーアングルの降伏（または座屈）が起こらないことになる。ただし上記②や③の有効断面を採用すれば、リブフレームの破壊前に外端部でコーナーアングルの降伏が生じるのでコーナーアングルやリブフレームの断面変更する場合は注意が必要である。また耐震シェルターのようにダブルフレームタイプを使用する場合は、コーナーアングルが先に座屈もしくは曲げ降伏する状況が生じることになる。



コーナーアングルの曲げ破壊実験

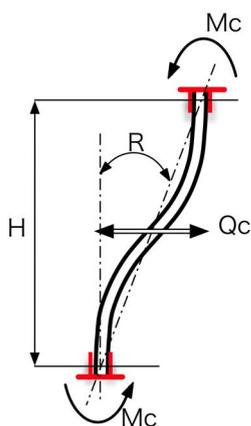
試験日：2012年2月28日

試験体製作：東洋スクリーン工業(株)

試験：スターライト(株)工業栗東工場（100kN 試験機）

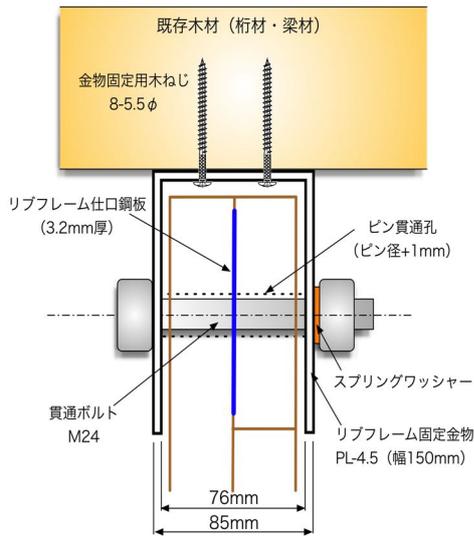
(2) フレーム直交方向の端部固定度と耐力・変形評価

リブフレームの弱軸方向（フレーム直交方向）は並列の柱 2 本が下図のように変形する。水平面が剛床ならずすべてのリブフレームは同じように変形し、端部に M_c の固定端モーメントが生じる。

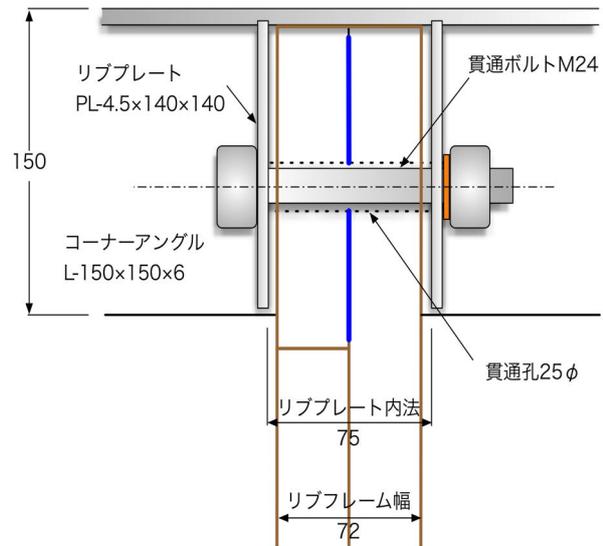


リブフレーム柱の弱軸方向変形モード

リブフレームが単独で耐震補強部材として用いられる場合は専用の金物で固定する。また j.Pod および耐震シェルターではコーナーアングルとリブプレートによって固定ピン（貫通ボルト）を介して固定される。



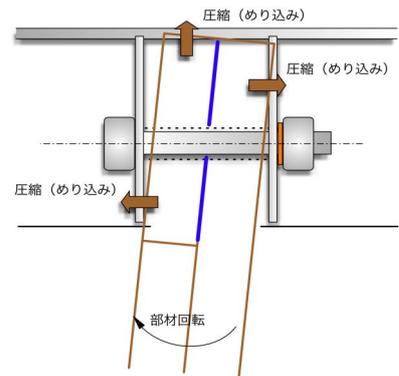
耐震補強リブフレームの固定部



モノコック構造体におけるリブフレームの固定部

これらの詳細図からわかるようにリブフレームと固定金物の間には製作・施工誤差を吸収するために寸法上の余裕を設けている。いわゆるガタ（あそび）といわれる微少な寸法余裕であるが、この余裕が加力方向へ変形したときの剛性低下あるいは繰り返し加力ではスリップ現象となって、構造解析上無視できない。要するにリブフレームが弱軸方向でも抵抗力を発揮するには、固定部と密着しなければならないから、ガタ（あそび）がなくなるまでは部分的にしか働かない（効きが悪い）ということになる。しかも完全に抵抗力が発揮できるのは、全断面のガタが吸収された時点である。逆に強制変形を与えたときの破壊現象がその分だけ遅れるということで、変形能力が増大するともいえる。ここではガタ（あそび）を部材角に変換した量を「変形余裕度」と呼ぶ。

リブフレーム（180シリーズ）が弱軸方向（水平）へ強制変形を受けたとき、端部が完全固定なら端部の抵抗モーメント（ M_c ）は撓角法の基本式より柱1本あたり最大で約 $350 \text{ kN} \cdot \text{cm}$ 、その時の部材角（ R ）は約 $1/20 \text{ rad}$ となる。しかし固定部のリブプレートとリブフレームの余裕が $3 \sim 4 \text{ mm}$ である。右図のように貫通ピン（固定ボルト）を中心として回転するので、中立軸から固定金物（リブプレート）の最内縁までの距離 90 mm で割った角度に傾斜した時点（約 $1/30 \text{ rad}$ ）で固定部の接触すなわち抵抗モーメントが発生し始める。その前にリブフレームの天端がコーナーアングルのフランジに接触することも考えられる。ついで傾斜が進むにつれて反対側のリブプレートにも接触範囲がひろがり、全接触高さの $1/2$ にわたって接触した時点をガタが解消されたと考えると変形余裕度は $2 \times (3 \sim 4) / 140 = \text{約 } 1/25 \sim 1/15 \text{ rad}$ になる。ただしリブフレームの傾斜と接触が進行するにつれて、リブプレートの曲げ変形や木材のめり込みも大きくなるので、リブプレートとリブフレームが密着して最大抵抗モーメントに達するのがさらに遅れる。ここではリブプレートやコーナーアングルの弾性変形による密着の遅れ具合をも考慮して変形余裕度を約 $1/15 \text{ rad}$ とする。そ

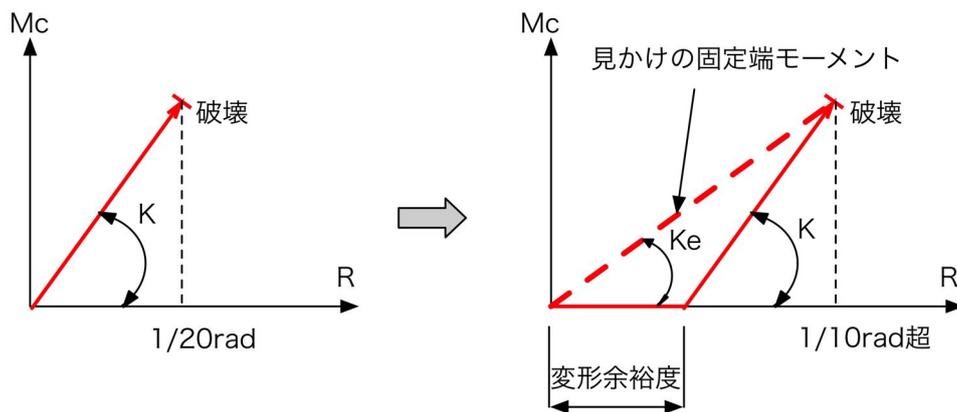


部材回転に伴う固定部の抵抗機構と変形余裕度

のときリブフレーム（直交方向）破壊時の部材角^{*}は完全固定としての $1/20 \text{ rad}$ を加えた変形角、 $1/8.5 \text{ rad}$ に達する。

^{*}固定金物の弾性変形や溶接による元傾斜を考えれば、破壊時の部材角はさらに大きくなるが、ガタ（あそび）の影響に比べて小さいと判断した。

リブフレームが弱軸方向へ強制変形を受けたときは、完全固定としたときより大幅に剛性が落ちてリブフレームの破壊は少なくとも $1/10 \text{ rad}$ 程度までは起こらないと考えられる。以上からブレースや壁板などの耐震補強要素がないモノコック構造体について、リブフレームの上下端からコーナーアングルに伝達される固定端モーメントと部材角（R）の関係は下図のように設定することができる。



フレーム直交方向の固定端モーメント