

鋼板挿入ドリフトピン接合による柱梁接合部の計算 (手引き：参考1-11～14頁)

(1) 各部寸法と材料定数

- 柱の断面寸法及び材料定数

柱幅  $B_C = 120 \text{ mm}$  , 柱せい  $H_C = 450 \text{ mm}$   
 樹種及び強度等級: オウシュウアカマツ対称異等級集成材 E120-F330  
 繊維平行方向ヤング係数  $E_{C0} = 11000 \text{ N/mm}^2$

- 梁の断面寸法及び材料定数

梁幅  $B_B = 120 \text{ mm}$  , 梁せい  $H_B = 450 \text{ mm}$   
 樹種及び強度等級: オウシュウアカマツ対称異等級集成材 E120-F330  
 繊維平行方向ヤング係数  $E_{B0} = 11000 \text{ N/mm}^2$

- ドリフトピンの寸法及び材料定数

直径  $d = 12 \text{ mm}$  , 有効長さ  $l = 106 \text{ mm}$   
 材料規格: SS400 , 鋼材の基準強度  $F = 235 \text{ N/mm}^2$   
 ヤング係数  $E_s = 205000 \text{ N/mm}^2$   

$$I_s = \frac{\pi d^4}{64} = \frac{\pi \times 12^4}{64} = 1018 \text{ mm}^4$$

- 計算条件

挿入鋼板厚さ  $t = 9 \text{ mm}$   
 木材のめり込み剛性  $k$

$$k_0 = \frac{E_0}{31.6 + 10.9d} = \frac{11000}{31.6 + 10.9 \times 12} = 67.73 \text{ N/mm}^3$$

$$k_{90} = \frac{k_0}{3.4} = \frac{67.73}{3.4} = 19.92 \text{ N/mm}^3$$

$$M_y = \frac{F_y \cdot d^3}{6} = \frac{235 \times 12^3}{6} = 67680 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

ドリフトピンの基準材料強度

$$F_{E1} = 235 \text{ N/mm}^2$$

木材の基準支圧強度<sup>※2</sup>  $F_{E2}$  繊維平行方向  $F_{e0} = 19.4 \text{ N/mm}^2$   
 繊維直交方向  $F_{e90} = 9.7 \text{ N/mm}^2$

※1 ドリフトピンの有効長さ $l$ はドリフトピンと木材が接する長さとし、挿入鋼板厚さ9mm＋クリアランス1mm＋ドリフト両端のテーパ加工・合計4mm＝14mmを除く長さとした(120mm－14mm＝106mm)

※2 樹種がオウシュウアカマツの場合の基準支圧強度は木質構造設計規準・同解説(日本建築学会, 2006年)に明記されていないため、安全側の評価となるように、樹種グループがJ3の場合の値を採用した。

(2) ドリフトピン単体性能の計算

柱・梁のどちらも同一断面・樹種・強度等級のため、ドリフトピン単体の性能は同じ値を採用する

・繊維平行方向のすべり係数(手引き:式(2-2-1~5))

$$\begin{aligned}
 K_{S0} &= \frac{1}{1.3} \times \frac{1}{\frac{L_1}{2} + H} \\
 &= \frac{1}{1.3} \times \frac{1}{\frac{4.0E-05}{2} + 2.9E-06} \\
 &= 33591 \text{ N/mm} \\
 L_1 &= \frac{\lambda_1}{S_1} \times \frac{\cosh(\lambda_1 l) + \cos(\lambda_1 l)}{\sinh(\lambda_1 l) + \sin(\lambda_1 l)} \\
 &= \frac{0.031}{812.76} \times \frac{\cosh(3.286) + \cos(3.286)}{\sinh(3.286) + \sin(3.286)} \\
 &= 4.0E-05 \\
 H &= \frac{\lambda_1}{S_1} \times \frac{1}{\sinh(\lambda_1 l) + \sin(\lambda_1 l)} \\
 &= \frac{0.031}{812.76} \times \frac{1}{\sinh(3.286) + \sin(3.286)} \\
 &= 2.9E-06 \\
 S_1 &= k_{0d} = 67.73 \times 12 = 812.76 \text{ N/mm}^2 \\
 \lambda_1 &= \left[ \frac{S_1}{4E_s I_s} \right]^{1/4} = \left[ \frac{812.76}{4 \times 205000 \times 1018} \right]^{1/4} \\
 &= 0.031 \\
 \lambda_1 \cdot l &= 0.031 \times 106 = 3.286
 \end{aligned}$$

・繊維直交方向のすべり係数(手引き:式(2-2-1~5))

$$\begin{aligned}
 K_{S90} &= \frac{1}{1.3} \times \frac{1}{\frac{L_1}{2} + H} \\
 &= \frac{1}{1.3} \times \frac{1}{\frac{8.0E-05}{2} + 1.5E-05} \\
 &= 13935 \text{ N/mm} \\
 L_1 &= \frac{\lambda_1}{S_1} \times \frac{\cosh(\lambda_1 l) + \cos(\lambda_1 l)}{\sinh(\lambda_1 l) + \sin(\lambda_1 l)} \\
 &= \frac{0.023}{239.04} \times \frac{\cosh(2.438) + \cos(2.438)}{\sinh(2.438) + \sin(2.438)} \\
 &= 8.0E-05 \\
 H &= \frac{\lambda_1}{S_1} \times \frac{1}{\sinh(\lambda_1 l) + \sin(\lambda_1 l)} \\
 &= \frac{0.023}{239.04} \times \frac{1}{\sinh(2.438) + \sin(2.438)} \\
 &= 1.5E-05 \\
 S_1 &= k_{90d} = 19.92 \times 12 = 239.04 \text{ N/mm}^2 \\
 \lambda_1 &= \left[ \frac{S_1}{4E_s I_s} \right]^{1/4} = \left[ \frac{239.04}{4 \times 205000 \times 1018} \right]^{1/4} \\
 &= 0.023 \\
 \lambda_1 \cdot l &= 0.023 \times 106 = 2.438
 \end{aligned}$$

・繊維平行方向の降伏耐力(手引き:式(2-3-1~4))

$$\begin{aligned}
 \text{モードⅠ} \quad P_{y1} &= F_{E2} \cdot d \cdot l = 19.4 \times 12 \times 106 \\
 &= 24677 \text{ N} \\
 \text{モードⅢ} \quad P_{y2} &= F_{E2} \cdot d \cdot l \times \left[ \sqrt{\left\{ 2 + \frac{8}{3} \gamma \left( \frac{d}{l} \right)^2 \right\}} - 1 \right] \\
 &= 19.4 \times 12 \times 106 \\
 &\quad \times \left[ \sqrt{\left\{ 2 + \frac{8}{3} \times 12.11 \left( \frac{12}{106} \right)^2 \right\}} - 1 \right] \\
 &= 13663 \text{ N} \\
 \text{モードⅣ} \quad P_{y3} &= F_{E2} \cdot d \cdot l \times \left[ \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3} \gamma} \right] \\
 &= 19.4 \times 12 \times 106 \\
 &\quad \times \left[ \frac{12}{106} \times \sqrt{\left( \frac{8}{3} \times 12.11 \right)} \right] \\
 &= 15875 \text{ N} \\
 \gamma &= \frac{F_{E1}}{F_{E2}} = \frac{235}{19.4} = 12.11 \\
 \text{降伏耐力} \quad P_{y0} &= \min(P_{y1}, P_{y2}, P_{y3}) \\
 &= \min(24677, 13663, 15875) \\
 &= 13663 \text{ N}
 \end{aligned}$$

・繊維直交方向の降伏耐力(手引き:式(2-3-1~4))

$$\begin{aligned}
 \text{モードⅠ} \quad P_{y1} &= F_{E2} \cdot d \cdot l = 9.7 \times 12 \times 106 \\
 &= 12338 \text{ N} \\
 \text{モードⅢ} \quad P_{y2} &= F_{E2} \cdot d \cdot l \times \left[ \sqrt{\left\{ 2 + \frac{8}{3} \gamma \left( \frac{d}{l} \right)^2 \right\}} - 1 \right] \\
 &= 9.7 \times 12 \times 106 \\
 &\quad \times \left[ \sqrt{\left\{ 2 + \frac{8}{3} \times 24.23 \left( \frac{12}{106} \right)^2 \right\}} - 1 \right] \\
 &= 8411 \text{ N} \\
 \text{モードⅣ} \quad P_{y3} &= F_{E2} \cdot d \cdot l \times \left[ \frac{d}{l} \sqrt{\frac{8}{3} \gamma} \right] \\
 &= 9.7 \times 12 \times 106 \\
 &\quad \times \left[ \frac{12}{106} \times \sqrt{\left( \frac{8}{3} \times 24.23 \right)} \right] \\
 &= 11228 \text{ N} \\
 \gamma &= \frac{F_{E1}}{F_{E2}} = \frac{235}{9.7} = 24.23 \\
 \text{降伏耐力} \quad P_{y90} &= \min(P_{y1}, P_{y2}, P_{y3}) \\
 &= \min(12338, 8411, 11228) \\
 &= 8411 \text{ N}
 \end{aligned}$$

## (3) 回転剛性の計算 (手引き: 式(2-2-6~8))

| No. | 座標 [mm] |        | $\phi_i$<br>[rad.] | $K_{\phi_i}$<br>[N/mm] | $r_i$ | $K_{\phi_i} \times r_i^2$ |
|-----|---------|--------|--------------------|------------------------|-------|---------------------------|
|     | $x_i$   | $y_i$  |                    |                        |       |                           |
| 1   | 90      | 0      | 1.571              | 13935                  | 90.0  | 1.13E+08                  |
| 2   | 77.9    | 45     | 1.047              | 16325                  | 90.0  | 1.32E+08                  |
| 3   | 45      | 77.9   | 0.524              | 24825                  | 90.0  | 2.01E+08                  |
| 4   | 0       | 90     | 0.000              | 33591                  | 90.0  | 2.72E+08                  |
| 5   | -45     | 77.9   | -0.524             | 24825                  | 90.0  | 2.01E+08                  |
| 6   | -77.9   | 45     | -1.047             | 16325                  | 90.0  | 1.32E+08                  |
| 7   | -90     | 0      | -1.571             | 13935                  | 90.0  | 1.13E+08                  |
| 8   | -77.9   | -45    | -1.047             | 16325                  | 90.0  | 1.32E+08                  |
| 9   | -45     | -77.9  | -0.524             | 24825                  | 90.0  | 2.01E+08                  |
| 10  | 0       | -90    | 0.000              | 33591                  | 90.0  | 2.72E+08                  |
| 11  | 45      | -77.9  | 0.524              | 24825                  | 90.0  | 2.01E+08                  |
| 12  | 77.9    | -45    | 1.047              | 16325                  | 90.0  | 1.32E+08                  |
| 13  | 128     | 34.3   | 1.309              | 14503                  | 132.5 | 2.55E+08                  |
| 14  | 93.7    | 93.7   | 0.785              | 19705                  | 132.5 | 3.46E+08                  |
| 15  | 34.3    | 128    | 0.262              | 30687                  | 132.5 | 5.39E+08                  |
| 16  | -34.3   | 128    | -0.262             | 30687                  | 132.5 | 5.39E+08                  |
| 17  | -93.7   | 93.7   | -0.785             | 19705                  | 132.5 | 3.46E+08                  |
| 18  | -128    | 34.3   | -1.309             | 14503                  | 132.5 | 2.55E+08                  |
| 19  | -128    | -34.3  | -1.309             | 14503                  | 132.5 | 2.55E+08                  |
| 20  | -93.7   | -93.7  | -0.785             | 19705                  | 132.5 | 3.46E+08                  |
| 21  | -34.3   | -128   | -0.262             | 30687                  | 132.5 | 5.39E+08                  |
| 22  | 34.3    | -128   | 0.262              | 30687                  | 132.5 | 5.39E+08                  |
| 23  | 93.7    | -93.7  | 0.785              | 19705                  | 132.5 | 3.46E+08                  |
| 24  | 128     | -34.3  | 1.309              | 14503                  | 132.5 | 2.55E+08                  |
| 25  | 175     | 0      | 1.571              | 13935                  | 175.0 | 4.27E+08                  |
| 26  | 151.6   | 87.5   | 1.047              | 16325                  | 175.0 | 5.00E+08                  |
| 27  | 87.5    | 151.6  | 0.523              | 24847                  | 175.0 | 7.61E+08                  |
| 28  | 0       | 175    | 0.000              | 33591                  | 175.0 | 1.03E+09                  |
| 29  | -87.5   | 151.6  | -0.523             | 24847                  | 175.0 | 7.61E+08                  |
| 30  | -151.6  | 87.5   | -1.047             | 16325                  | 175.0 | 5.00E+08                  |
| 31  | -175    | 0      | -1.571             | 13935                  | 175.0 | 4.27E+08                  |
| 32  | -151.6  | -87.5  | -1.047             | 16325                  | 175.0 | 5.00E+08                  |
| 33  | -87.5   | -151.5 | -0.524             | 24825                  | 175.0 | 7.60E+08                  |
| 34  | 0       | -175   | 0.000              | 33591                  | 175.0 | 1.03E+09                  |
| 35  | 87.5    | -151.5 | 0.524              | 24825                  | 175.0 | 7.60E+08                  |
| 36  | 151.6   | -87.5  | 1.047              | 16325                  | 175.0 | 5.00E+08                  |

※座標は回転中心を原点とする

$$R_J = 1.46E+10 \text{ N}\cdot\text{mm/rad.}$$

$$\rightarrow 14600 \text{ kN}\cdot\text{m/rad.}$$

柱側と梁側でドリフトピン配置が同じであることから、 $R_{JC} = R_{JB} = R_J$

柱側と梁側の回転バネを1つのバネに集約した場合の回転剛性は、式(2-2-9)より以下となる

$$R_{J-total} = \frac{R_{JC} \cdot R_{JB}}{R_{JC} + R_{JB}} = \frac{14600 \times 14600}{14600 + 14600}$$

$$= 7300 \text{ kN}\cdot\text{m/rad}$$

## (4) 降伏モーメントの計算 (手引き : 式(2-3-5~7))

| No. | 座標 [mm] |        | $\phi_i$ [rad.] | $P_{y\phi_i}$ [N] | $K_{\phi_i}$ [N/mm] | $r_i$ [mm] | $M_{y_i}$ [N·mm] |
|-----|---------|--------|-----------------|-------------------|---------------------|------------|------------------|
|     | $x_i$   | $y_i$  |                 |                   |                     |            |                  |
| 1   | 90      | 0      | 1.571           | 8411              | 13935               | 90.0       | 9.79E+07         |
| 2   | 77.9    | 45     | 1.047           | 9306              | 16325               | 90.0       | 9.25E+07         |
| 3   | 45      | 77.9   | 0.524           | 11816             | 24825               | 90.0       | 7.72E+07         |
| 4   | 0       | 90     | 0.000           | 13663             | 33591               | 90.0       | 6.60E+07         |
| 5   | -45     | 77.9   | -0.524          | 11816             | 24825               | 90.0       | 7.72E+07         |
| 6   | -77.9   | 45     | -1.047          | 9306              | 16325               | 90.0       | 9.25E+07         |
| 7   | -90     | 0      | -1.571          | 8411              | 13935               | 90.0       | 9.79E+07         |
| 8   | -77.9   | -45    | -1.047          | 9306              | 16325               | 90.0       | 9.25E+07         |
| 9   | -45     | -77.9  | -0.524          | 11816             | 24825               | 90.0       | 7.72E+07         |
| 10  | 0       | -90    | 0.000           | 13663             | 33591               | 90.0       | 6.60E+07         |
| 11  | 45      | -77.9  | 0.524           | 11816             | 24825               | 90.0       | 7.72E+07         |
| 12  | 77.9    | -45    | 1.047           | 9306              | 16325               | 90.0       | 9.25E+07         |
| 13  | 128     | 34.3   | 1.309           | 8633              | 14503               | 132.5      | 6.56E+07         |
| 14  | 93.7    | 93.7   | 0.785           | 10414             | 19705               | 132.5      | 5.82E+07         |
| 15  | 34.3    | 128    | 0.262           | 13114             | 30687               | 132.5      | 4.71E+07         |
| 16  | -34.3   | 128    | -0.262          | 13114             | 30687               | 132.5      | 4.71E+07         |
| 17  | -93.7   | 93.7   | -0.785          | 10414             | 19705               | 132.5      | 5.82E+07         |
| 18  | -128    | 34.3   | -1.309          | 8633              | 14503               | 132.5      | 6.56E+07         |
| 19  | -128    | -34.3  | -1.309          | 8633              | 14503               | 132.5      | 6.56E+07         |
| 20  | -93.7   | -93.7  | -0.785          | 10414             | 19705               | 132.5      | 5.82E+07         |
| 21  | -34.3   | -128   | -0.262          | 13114             | 30687               | 132.5      | 4.71E+07         |
| 22  | 34.3    | -128   | 0.262           | 13114             | 30687               | 132.5      | 4.71E+07         |
| 23  | 93.7    | -93.7  | 0.785           | 10414             | 19705               | 132.5      | 5.82E+07         |
| 24  | 128     | -34.3  | 1.309           | 8633              | 14503               | 132.5      | 6.56E+07         |
| 25  | 175     | 0      | 1.571           | 8411              | 13935               | 175.0      | 5.04E+07         |
| 26  | 151.6   | 87.5   | 1.047           | 9306              | 16325               | 175.0      | 4.76E+07         |
| 27  | 87.5    | 151.6  | 0.523           | 11821             | 24847               | 175.0      | 3.97E+07         |
| 28  | 0       | 175    | 0.000           | 13663             | 33591               | 175.0      | 3.39E+07         |
| 29  | -87.5   | 151.6  | -0.523          | 11821             | 24847               | 175.0      | 3.97E+07         |
| 30  | -151.6  | 87.5   | -1.047          | 9306              | 16325               | 175.0      | 4.76E+07         |
| 31  | -175    | 0      | -1.571          | 8411              | 13935               | 175.0      | 5.04E+07         |
| 32  | -151.6  | -87.5  | -1.047          | 9306              | 16325               | 175.0      | 4.76E+07         |
| 33  | -87.5   | -151.5 | -0.524          | 11816             | 24825               | 175.0      | 3.97E+07         |
| 34  | 0       | -175   | 0.000           | 13663             | 33591               | 175.0      | 3.39E+07         |
| 35  | 87.5    | -151.5 | 0.524           | 11816             | 24825               | 175.0      | 3.97E+07         |
| 36  | 151.6   | -87.5  | 1.047           | 9306              | 16325               | 175.0      | 4.76E+07         |

※座標は回転中心を原点とする

$$M_y = 3.39E+07 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

$$\rightarrow 33.90 \text{ kN}\cdot\text{m}$$

(5) 降伏回転角（手引き：式(2-3-8)）

柱側・梁側それぞれの降伏回転角

$$\theta_y = \frac{M_y}{R_J} = \frac{33.90}{14600} = 0.0023 \text{ rad.}$$

1つの回転バネに集約した場合の接合部の降伏回転角

$$\theta_{y\text{-total}} = \frac{M_y}{R_{J\text{-total}}} = \frac{33.90}{7300} = 0.0046 \text{ rad.}$$

計算値と実験値の比較を図 1.8 に示す。同図より、概ね計算値は実験値を安全側に評価できている。なお、引きボルト接合部と同様に、計算では低減係数 $\alpha^*$ を考慮していないが、使用環境や加工や施工のばらつきなど、建物の状況に応じ許容値の低減は必要である。

※低減係数 $\alpha$ とは、門型ラーメンの構成材料の耐久性・使用環境の影響、施工性の影響及び構造計算の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。基準耐力に低減係数 $\alpha$ を考慮した値が許容耐力となる。

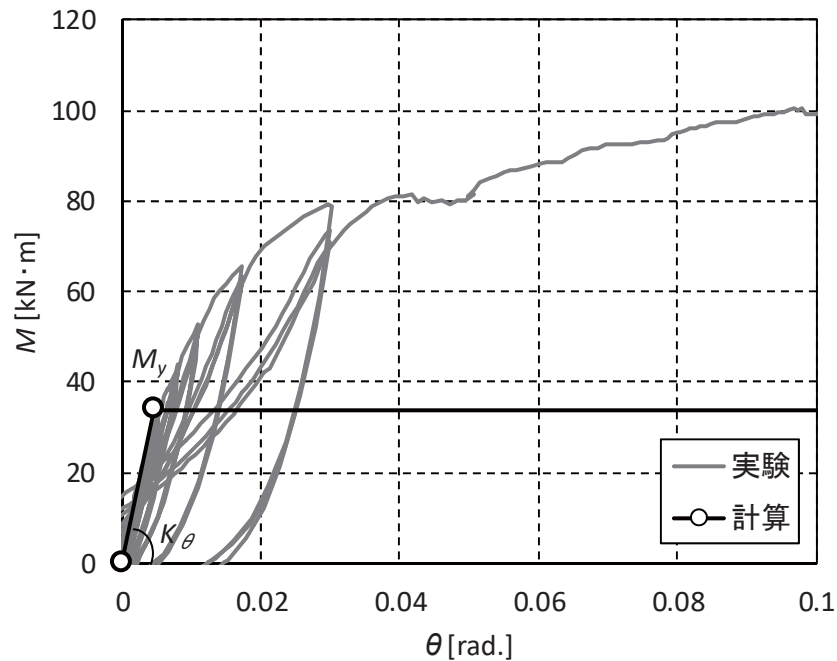


図 1.8 計算値と実験値の比較