

# 割れを伴ったドリフトピン接合の強度性能 (第1報)

## — 割れ指標と接合耐力の関係 —

藤原 拓哉

## Strength Performance of Drift Pin Joint with Drying Check (I)

### - Relationships between check index and joint strength -

Takuya FUJIWARA

Strength tests on the drift pin joint with drying check were done to determine whether it could be judged safe if drying check was discovered in the joints used in wooden structures, e.g. facilities for stock raising. The following results were obtained.

- 1) The check penetrated the slit surface and end surface when it was near the drift pin. Afterwards, the maximum load was recorded while the check was expanding. Moreover, deformation ability was markedly lost.
- 2) The total maximum check area in a cross-section showed the highest correlation with the strength; therefore it was appropriate as the check index.
- 3) The estimated value of allowable strength fell below the design value when the total maximum check area in the cross-section exceeded  $60\text{mm}^2$  with a 20mm diameter and 150mm long drift pin. Even for this case, however, in the joint part the remaining safety factor became one or more, if the initial safety factor was large enough.

*key words:* drift pin joint, drying check, joint strength, larch, facilities for stock raising  
ドリフトピン接合, 乾燥割れ, 接合耐力, カラマツ, 畜産用施設

畜産用施設等の木質構造物において、接合部に割れが発見された場合に、安全であるか否かの判断を可能とすることを目的として、割れを伴ったドリフトピン接合部の強度試験を行った。

- 1) ドリフトピン近傍に割れを持った試験体では、スリット面、および木口面への割裂が発生し、その後の割れの拡大の過程で最大荷重が記録された。さらに、変形能が著しく失われていた。
- 2) 割れ指標としては、耐力と最も高い相関を示す横断面割れ総面積が適切であった。
- 3) 許容耐力の推定値が設計許容耐力を下回るのは、ドリフトピン軸径20mm、長さ150mmの場合、横断面割れ総面積が $60\text{mm}^2$ を超えたときであった。しかし、この場合においても初期の接合部安全率が十分に大きければ、残存する接合部安全率は1以上となる。

## 1. はじめに

北海道は牛乳生産量、乳牛・肉牛の飼育頭数のいずれも全国一であり、文字どおり酪農王国であるといえる。これに伴い、北海道内には各種の畜産用施設が建設されている。これら畜産用施設は鉄骨造によることが多いが、木造であることも珍しくはない。畜産用施設には構造部材が直接屋外環境にさらされるという特徴があり、部材表層は乾燥しているものの、部材内部では十分に乾燥していない、いわゆる水分傾斜が存在する場合には部材表層の乾燥収縮の先行により割れが発生しやすいという条件下にある。しかも大規模な施設の場合、鉄骨造のコストに対抗するために、断面が大きくても構造用集成材ではなく心持ち製材等が使われることがある。断面が大きな製材では人工乾燥の直後は水分傾斜が存在する可能性が高く、これが解消されるまでには数か月～1年以上を要すること<sup>1)</sup>から、十分な養生期間を設けることが勧められる。しかし、在庫を減らし、短納期出荷によるコストダウンが一般化している現状では、一定量の需要が継続して見込めない限り、養生は実行し難いと思われる。

構造部材に割れが発生した場合、直感的には強度の低下が懸念されるが、部材単体での曲げ強度や縦圧縮強度に関しては、割れの程度と無関係か、割れの程度が大きいものほど強いという報告さえある<sup>2-5)</sup>。なお、針葉樹の構造用製材のJASでは水平せん断性能への配慮から貫通割れについては制限が設けられている。一方、接合部についてはボルト接合に関して割れに伴う耐力の低下が報告されているが<sup>6)</sup>、定量的なものではない。「木質構造設計規準・同解説」<sup>7)</sup>ではボルト接合に関して割れの存在により終局耐力の低下の可能性が指摘され、割れの排除、もしくは許容耐力の低減が指示されているものの、具体的な制限はない。

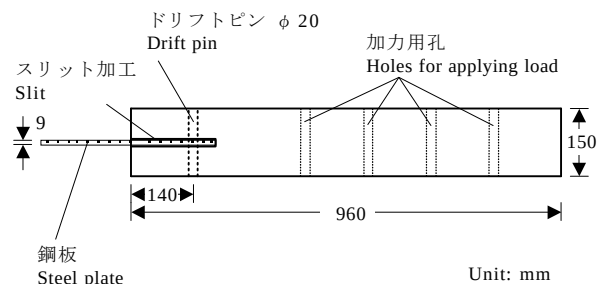
このように割れと接合強度との関係について十分な知見が得られているとはいえない。そこで、接合部に割れが発見された場合に、安全であるか否か、補強、あるいは部材交換の必要性の判断を可能とすることを目的として、割れを伴ったドリフトピン接合部の強度試験を行って、割れが接合部の強度性能に及ぼす影響について検討した。

なお、試験の都合上、割れを生じさせてから接合部を作製しているが、建築施工後に割れが発生した場合を想定したものであり、割れが生じた木材の利用を目的としたものではない。

## 2. 試験体

試験体は下川町産のカラマツ原木から心持ち木取りで $160 \times 190 \times 3,650\text{mm}$ 、および $160 \times 252 \times 3,650\text{mm}$ に製材し、それぞれ半数を天然乾燥ならびに人工乾燥したものである。天然乾燥は6月から2月までの8か月間屋外で行い、人工乾燥は乾球温度を $70^\circ\text{C}$ とし、湿球温度を乾燥室の制御に反映させずに仕上がり含水率17%に乾燥するという故意に割れが頻発する条件で行った。試験時の含水率は天然乾燥材で平均19.0%、人工乾燥材で平均14.0%であった。

実際にドリフトピン接合部に割れが発生する場合、割れはドリフトピン打ち込み位置を通り、荷重負担側とその反対側の両方向に伸びていた。今回はドリフトピンの打ち込み位置は幅の広い材面の中央1か所であり、実際に割れが発生した状態に近づけるため、大きな割れが幅の広い材面の中央付近に存在する個所を選定し、材長960mmの試験体を採用した。さらに鉋削して断面を $150 \times 180\text{mm}$ 、または $150 \times 240\text{mm}$ とし、厚さ9mmの鋼板を挿入するために幅9mmのスリットを加工した。試験体数は各断面11体である。使用したドリフトピンの軸径は20mmで、先穴径は軸径+0mm、端距離は140mmとした(第1図)。なお、一部の試験体については発生した割れに沿って厚さ1mmの鋸を入れ、荷重負担側の割れがスリット面まで貫通する状態にした。



第1図 試験体  
Fig. 1. Specimen.

### 3. 試験方法

#### 3.1 割れの測定

測定対象とした割れはドリフトピン打ち込み位置近傍を通る割れであり、測定箇所はドリフトピン打ち込み位置、木口側材端、さらに両者の間で最も深い割れが観察された場合には、その箇所を含めた。測定項目は割れの深さ、幅、材端からの距離とし、材内部での割れの状態を推定するために、木口面における髓の位置もあわせて測定した。なお、割れ深さの測定には厚さ0.5mmのステンレス製定規を用いた。

#### 3.2 セン断試験

接合部の強度試験は、試験体に挿入された鋼板を支持フレームに固定し、部材側を試験機シリンダーにより引張载荷し、接合部ドリフトピンにせん断力を与えることにより行った。試験には(株)岩崎製繰返し荷重試験機(能力98kN)を用い、単調増加荷重条件にて試験体が破壊、あるいは最大荷重の80%以下に荷重が低下するまで実施した。荷重の計測は容量198kNのロードセルを使用した。また支持フレーム(すなわち挿入鋼板)と部材との相対変位量は精度5/1000mm・最大ストローク50mmのひずみゲージ式変位変換器を使用して、荷重の増減約0.25kNごとに記録した。

### 4. 結果と考察

#### 4.1 割れを伴うドリフトピン接合の破壊性状

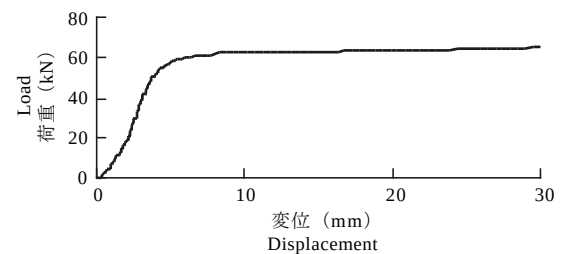
試験体のほとんどは材面上においてせん断力を負担する部分に割れが存在するように作成されており、これらの割れから破壊を生じていた。これに加え、ドリフトピンを打ち込んだ材面と隣接する材面では、ドリフトピンに直交する割れが多数みられたが、これらが破壊に関与することはなかった(第2図)。

比較的大きな割れが存在したものの、その位置がドリフトピンから約30mm離れており、割れの影響が小さい場合の荷重変位曲線の例を第3図に示すが、降伏後も荷重は漸増を続け大きな変形を示していた。一方、割れが破壊に影響した場合の荷重変位曲線の例を第4図に、この例における進行状況を第5～7図に示す。加力開始後、①において、深い割れを持つ面で割裂(スリット面、および木口面への割



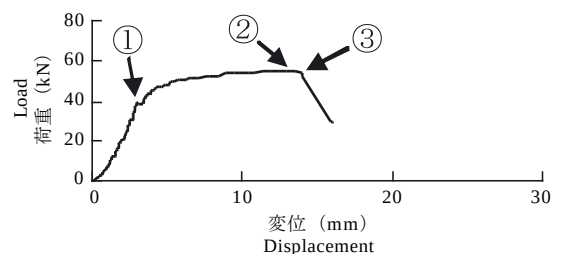
第2図 ドリフトピンに直交する割れ

Fig. 2. A check extends perpendicular to the drift pin.



第3図 荷重 - 変位曲線(割れの影響が小さい場合)

Fig. 3. Load-displacement curve (less affected by check).



第4図 荷重 - 変位曲線(割れが影響した場合)

Fig. 4. Load-displacement curve (affected by check).

注) ①: 割裂発生時, ②: 最大荷重時, ③: 終局時

Note) ①: Cleavage, ②: At maximum load, ③: Ultimate stage.

れの貫通)が発生した(第5図)。なお、割裂発生時に急激な荷重低下はみられることはなく、荷重が低下しない場合がほとんどであった。この例では荷重がわずかに低下したが、その後回復していた。最大荷重②に至るまで割れの拡大が続き(第6図)、先に割裂が発生した面とは反対側の面での割裂あるいはせん断が終局的な破壊③となった(第7図)。割れの影響が小さい場合と比較して、破壊時点での変形は小さく、もろいことが認められた。



第5図 破壊の進行状況（割裂発生時）

Fig. 5. Progress in failure (cleavage).

注) 図中右側の木口面は鏡像である。

白丸は割裂発生箇所を示す。

Note) The end surface at the right is a mirror image.

The circle denotes the part where cleavage occurred.



第6図 破壊の進行状況（最大荷重時）

Fig. 6. Progress in failure (at maximum load).

注) 図中右側の木口面は鏡像である。

白丸は拡大中の割れを示す。

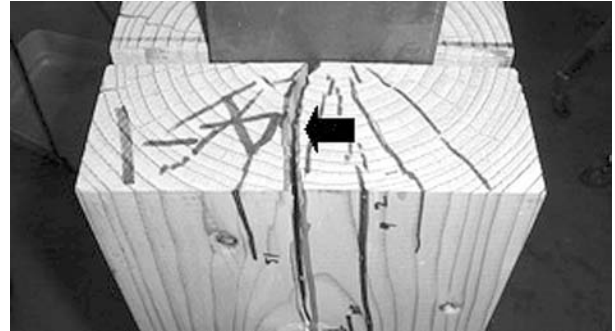
Note) The end surface at the right is a mirror image.

The circles denote the expanding check.

#### 4.2 割れを伴うドリフトピン接合の耐力

一般的に接合部の耐力の特性値は最大荷重  $P_{\max}$  の  $2/3$  の信頼水準 75% における 5% 下側許容限界と降伏耐力  $P_y$  の下側許容限界のうち、小さい方が採用される。しかし、今回は荷重初期における変形曲線が不安定なものが多く、常法では  $P_y$  の算出が困難であったため、耐力としてもつばら  $2/3P_{\max}$  を用いた。せん断試験の結果を第1表に示す。

今回の実験条件におけるドリフトピン接合の降伏耐力（以下、設計耐力）を計算したところ 35.4kN となり、22 体中 7 体の耐力がこれを下回った。なお、設計短期許容耐力（ $2/3 \times$  設計耐力）は 23.6kN となり、割れをスリット面まで拡大したものを含め、耐力が設計短期許容耐力を下回るものではなく、設計短期許容耐力に相当する荷重が作用しても破壊するものはないことになる。



第7図 破壊の進行状況（終局時）

Fig. 7. Progress in failure (ultimate stage).

注) 矢印は終局的な破壊を指す。

Note) The arrow denotes ultimate failure.

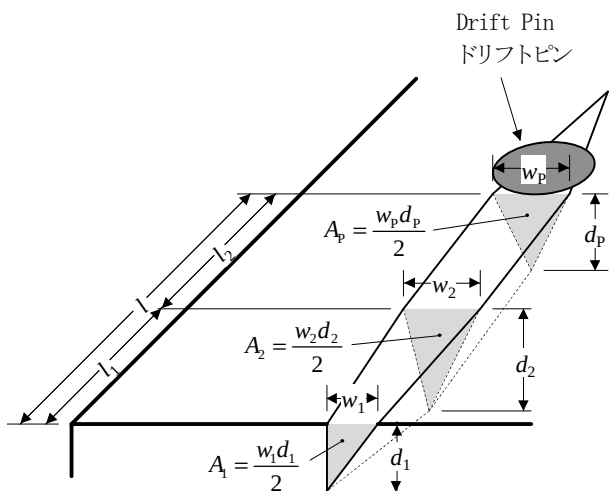
第1表 せん断試験の結果（ $N=22$ ）

Table 1. Results of shear tests.

|      | $P_{\max}$<br>(kN) | $2/3P_{\max}$<br>(kN) | $m$<br>(%) | $\rho$<br>(kg/m <sup>3</sup> ) |
|------|--------------------|-----------------------|------------|--------------------------------|
| Min  | 41.8               | 27.9                  | 12.4       | 448                            |
| Ave. | 55.6               | 37.1                  | 15.8       | 494                            |
| Max  | 68.3               | 45.5                  | 20.2       | 574                            |
| s.d. | 8.0                | 5.3                   | 2.7        | 32                             |

凡例)  $P_{\max}$  : 最大荷重,  $m$  : 含水率,  $\rho$  : 密度

Legend)  $P_{\max}$  : Maximum load,  $m$  : Moisture content,  $\rho$  : Density.



第8図 割れパラメータ

Fig. 8. Parameters of check.

凡例)  $w_1, w_2, w_p$  : 幅,  $d_1, d_2, d_p$  : 深さ（材面に対して垂直方向）,  $A_1, A_2, A_p$  : 面積,  $l_1, l_2, l$  : 長さ

Legend)  $w_1, w_2, w_p$  : Width,  $d_1, d_2, d_p$  : Depth in orthogonal direction on surface,  $A_1, A_2, A_p$  : Area,  $l_1, l_2, l$  : Length.

#### 4.3 割れと耐力の関係

割れのパラメータとして、長さ、深さ、幅があり、このうち深さや幅は長さ方向に変動するため、ドリフトピン近傍での値、最大値、平均値等で評価することが考えられる（第8図）。さらにこれらを組み合

わせた材面における割れ面積、縦断面における割れ面積、横断面における割れ面積で評価することも考えられる。材面、および縦断面における割れ面積はそれぞれ平均幅、あるいは平均深さと長さの積に相当する。一方、横断面における割れ面積は長さ方向に変動するため、評価する位置についても考慮しなければならない。また、複数の割れが存在する場合には、割れ指標として合計、あるいは最大のものを採用する方法がある。そこで最も有効な指標を選定するために、これらすべての指標と耐力との相関係数を計算し、比較検討を行った(第2表)。なお、割れは必ずしも材面に垂直な方向に進展しないため、割れは髓の方向に進展するものとして、材面に垂直

な方向に換算した深さを用いた。以下において、各割れ指標を〔種類、位置、複数時の処理〕で表す。

〔長さ、一、最大〕と耐力との相関係数は有意ではなかったが、〔幅、ドリフトピンに接する横断面(以下、ドリフトピン接面)、最大〕、および〔横断面面積、ドリフトピン接面、最大〕と耐力の相関係数が有意、他の相関係数はすべて高度に有意であった。相関係数の絶対値が最も大きかったのは〔横断面面積、最大面積、合計〕と耐力との相関係数であり、その値は-0.846であった。以下、この〔横断面面積、最大面積、合計〕を横断面割れ総面積と称する。横断面割れ総面積と耐力との関係を第9図に示す。

なお、割れの幅と深さとの間に相関関係が期待さ

れる。しかし、北海道立林産試験場平成16年度重点領域特別研究報告書「カラマツ堆肥舎の管理基準の検討」で幅と深さの間には「乾燥条件別にみるとある程度の相関が認められるものもあるが、乾燥条件ごとに近似曲線は大きく異なり、割れの幅から最大深さを推定するのは実用上困難。」とされている。本研究では乾燥条件が異なる天然乾燥材と人工乾燥材の両方を含んでいることから、幅や深さを単独で用いるよりもこれらを組み合わせて用いるべきであり、幅と深さの両方を含む横断面割れ総面積において評価する方が適切であると考えられる。

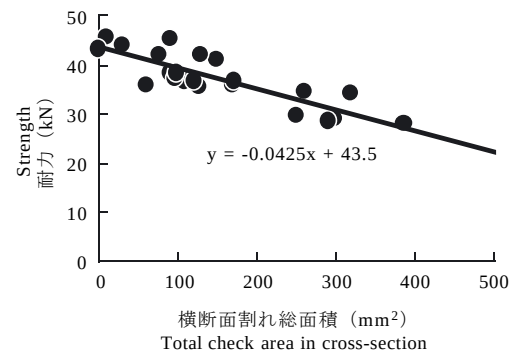
第2表 割れ指標と耐力との相関係数

Table 2. Correlation coefficients between check index and strength.

| 割れ指標<br>Check index                 | 式<br>Formula                                                                                                                               | 複数割れの取り扱い<br>Processing for multiple checks |             |
|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------|
|                                     |                                                                                                                                            | 最大<br>Maximum                               | 合計<br>Total |
| 長さ<br>Length                        | $l_1 + l_2$                                                                                                                                | -0.341                                      | -0.547**    |
| 深さ<br>Depth                         |                                                                                                                                            |                                             |             |
| ドリフトピン接面<br>At tangent of drift pin | $d_p$                                                                                                                                      | -0.641**                                    | -0.684**    |
| 最大<br>Maximum                       | $\text{Max}(d_1, d_2, d_p)$                                                                                                                | -0.705**                                    | -0.731**    |
| 平均<br>Average                       | $\frac{(d_1 + d_2)l_1 + (d_2 + d_p)l_2}{2l}$                                                                                               | -0.756**                                    | -0.716**    |
| 幅<br>Width                          |                                                                                                                                            |                                             |             |
| ドリフトピン接面<br>At tangent of drift pin | $w_p$                                                                                                                                      | -0.506*                                     | -0.629**    |
| 最大<br>Maximum                       | $\text{Max}(w_1, w_2, w_p)$                                                                                                                | -0.633**                                    | -0.760**    |
| 平均<br>Average                       | $\frac{(w_1 + w_2)l_1 + (w_2 + w_p)l_2}{2l}$                                                                                               | -0.563**                                    | -0.670**    |
| 最大深さ<br>At the deepest              | $\begin{cases} w_1 \cdots \cdots (d_1 > d_2, d_p) \\ w_2 \cdots \cdots (d_2 > d_1, d_p) \\ w_p \cdots \cdots (d_p > d_1, d_2) \end{cases}$ | -0.568**                                    | -0.704**    |
| 横断面面積<br>Area in cross-section      |                                                                                                                                            |                                             |             |
| ドリフトピン接面<br>At tangent of drift pin | $A_p$                                                                                                                                      | -0.532*                                     | -0.651**    |
| 最大<br>Maximum                       | $\text{Max}(A_1, A_2, A_p)$                                                                                                                | -0.750**                                    | -0.846**    |
| 平均<br>Average                       | $\frac{(A_1 + A_2)l_1 + (A_2 + A_p)l_2}{2l}$                                                                                               | -0.700**                                    | -0.777**    |
| 最大深さ<br>At the deepest              | $\begin{cases} A_1 \cdots \cdots (d_1 > d_2, d_p) \\ A_2 \cdots \cdots (d_2 > d_1, d_p) \\ A_p \cdots \cdots (d_p > d_1, d_2) \end{cases}$ | -0.724**                                    | -0.824**    |

凡例) 第8図参照, \*: 危険率5%で有意, \*\*: 危険率1%で有意

Legend) See Fig. 8, \*: Significant at the 5% level, \*\*: Significant at the 1% level.



第9図 横断面割れ総面積と耐力との関係

Fig. 9. Relationship between total check area in cross-section and strength.

#### 4.4 割れの制限値

横断面割れ総面積と耐力の相関は高度に有意であり、任意の横断面割れ総面積における耐力は回帰直線を用いて推定可能で、横断面割れ総面積が  $469\text{mm}^2$  のとき、耐力の推定値は設計短期許容耐力である  $23.6\text{kN}$  となる。しかし、実際の耐力は回帰直線により推定された耐力の上下に分布するため、横断面割れ総面積が  $469\text{mm}^2$  のときには  $50\%$  の確率で実際の耐力が設計短期許容耐力を下回る危険な状態となり適切ではない。さらに、設計短期許容耐力は設計耐力に対し安全率  $1.5$  をみたものであると解釈できること、および耐力の特性値はバラツキを考慮した信頼水準  $75\%$  における  $5\%$  下側許容限界（以下、下限値）であることから、耐力の下限値が設計耐力になるときの横断面割れ総面積を割れの制限値として採用する。これにより、実際の耐力が短期許容耐力の  $1.5$  倍を下回る確率を  $5\%$  以下にすることができる。任意の横断面割れ総面積における下限値は次式により求めた。

$$\text{下限値} = a \times \text{横断面割れ総面積} + b - kS_e$$

ここで、

$a$  : 回帰直線の傾き

$b$  : 回帰直線の切片

$k$  : 信頼水準  $75\%$  における  $5\%$  下側許容限界係数（試験体数  $22$  のとき  $1.916$ ）

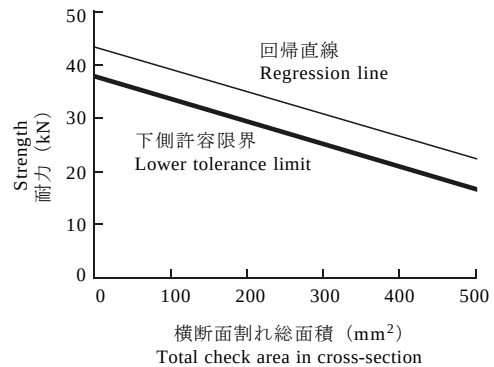
$S_e$  : 回帰直線のまわりの標準誤差

この式から、横断面割れ総面積が  $60\text{mm}^2$  のときに下限値が基準耐力である  $35.4\text{kN}$  となった。横断面割れ総面積と耐力の下限値の関係を第 10 図に示す。

なお、構造設計においては許容耐力  $\geq$  設計荷重であることが求められ、許容耐力と設計荷重の比、すなわち安全率は  $1$  以上あり、設計者の判断によりさらに安全率が上乘せされている場合もある。今、耐力残存率を残存する許容耐力と割れがないときの許容耐力の比、すなわち残存する耐力と割れがないときの耐力の下限値における比として定義すると、残存する安全率は、

$$\frac{\text{残存する許容耐力}}{\text{設計許容耐力}} \times \text{初期安全率}$$

で表される。割れがないときの許容耐力  $\geq$  設計許容



第 10 図 横断面割れ総面積と耐力の下側許容限界との関係

Fig. 10. Relationship between total check area in cross-section and lower tolerance limit of strength.

耐力であることを考慮すると、

$$\text{残存する安全率} \geq \text{耐力残存率} \times \text{初期安全率}$$

となることから、横断面割れ総面積が  $60\text{mm}^2$  を超えた場合においても、初期安全率が  $1/\text{耐力残存率}$  以上あれば残存する安全率は  $1$  以上となる。よって、補修の方針として、横断面割れ総面積が制限値である  $60\text{mm}^2$  を超えていても残存する安全率が  $1$  未満のときに限って適切な補修を行うということが考えられる。この方法により、安全率  $1$  を確保しつつ、補修に関わる費用を下げる事が可能となる。

#### おわりに

軸径  $20\text{mm}$ 、長さ  $150\text{mm}$  の単独のドリフトピン接合のせん断試験を行い、割れ指標として横断面割れ総面積が有効であること、および割れ指標と残存耐力の関係を明らかにした。しかし、通常は今回と同じ寸法のドリフトピンが使われるとは限らず、一つの接合部は複数のドリフトピンで構成されるため、このような場合への対応も必要である。

異なる寸法のドリフトピンに対しては、制限値となる横断面割れ総面積をドリフトピンの軸径と長さの積、すなわちドリフトピン投影面積の相対値として取り扱うことが考えられる。今回の試験で得られた割れの制限値である横断面割れ総面積  $60\text{mm}^2$  をドリフトピン投影面積の相対値で表すと、 $2\%$  となる。

複数のドリフトピンに対しては、各々のピンについて耐力に影響する割れを見極めたうえで横断面割れ総面積を求め、これから推定される残存耐力の総



和をとる方法がある。これは各ドリフトピンに関わる横断面割れ総面積の平均値から得られる耐力残存率を複数のドリフトピンで構成される接合部の耐力残存率としても同値である。

次報では補強による耐力の回復効果について報告する。

## 文 献

- 1) 中畠厚, 土橋英亮: 林産試験場報 **17**(2), 1-5 (2003).
- 2) 荒武志郎, 有馬考禮, 迫田忠芳, 中村徳孫: 木材工業 **48**, 166-170(1993).
- 3) 岡崎泰男, 飯島泰男: 日本建築学会2001年度大会学術講演梗概集(構造III), 東京, 2001, pp.107-108.
- 4) 山之内清竜, 図師朋弘, 國生徹郎, 橋口基由: 第50回日本木材学会大会研究発表要旨集, 京都, 2000, p.614.
- 5) 中嶋康, 東野正: 第52回日本木材学会大会研究発表要旨集, 岐阜, 2002, p.117.
- 6) 原田真樹, 後藤崇志, 軽部正彦, 林知行: 第52回日本木材学会大会研究発表要旨集, 岐阜, 2002, p.227.
- 7) (社)日本建築学会: “木質構造設計基準・同解説—許容応力度・許容耐力設計法—”, (社)日本建築学会, 東京, 2002, p.243.

—性能部 構造性能科—  
(原稿受理: 06.8.21)