

足場用 FRP パイプの曲げ破壊メカニズムの検討

建設塗装工業 正会員 ○本間伸吾
 建設塗装工業 正会員 鈴木周一
 建設塗装工業 正会員 福島 徹
 宇部日東化成 玉川広一

1. 検討の目的

足場用 FRP パイプは、FRP の高い絶縁性、軽さなどの利点を生かし、鉄道橋や送電鉄塔用の足場材料として利用されている。「FRP パイプを用いたつりだな足場」については、FRP 部材の強度試験の結果をふまえ、(社)仮設工業会より、足場構造としての承認を得ている。

本検討では、FRP パイプの曲げ破壊について、解析的検討を実施し、破壊現象が一定のメカニズムにより生じていることを確認する。これにより、FRP パイプの曲げ破壊強度が安定して得られていることの裏付けを得る。ここでは、主たる支持部材として多く用いられる□60 を対象に検討する。

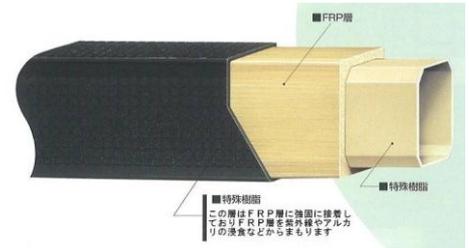


図-1 FRP パイプの構造

2. FRP パイプの強度特性

(1) 曲げ破壊強度

足場用 FRP パイプの曲げ破壊強度は、足場用単管パイプにならない支間 1.8m の三点曲げ試験から求めている。近年の抜き取り試験結果は、図-2 のとおりである。

一方、FRP パイプの構造は、図-1 に示すように、構造部材である FRP 層の内外面を特殊樹脂ではさみ、紫外線や水分による劣化を防ぐ三層構造としている。足場の設計においては、便宜上、全断面が有効とした場合の応力度で設計を行っているが、特殊樹脂のみの層は、本来、構造部材として期待することができないため、以下の検討では、FRP 層のみを有効とした検討を行う。

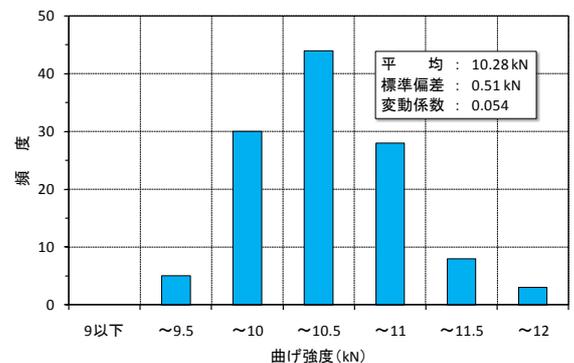


図-2 FRP パイプの曲げ破壊強度

この結果、曲げ破壊応力度は、以下のとおりとなる。

$$\text{断面係数 (FRP 層のみ)} \quad Z = 12,850 \text{ mm}^3$$

$$\text{支点間距離} \quad L = 1,800 \text{ mm}$$

$$\text{曲げ破壊強度平均値} \quad P = 10.28 \text{ kN}$$

$$\text{曲げモーメント} \quad M = PL/4 = (10.28 \times 1,800)/4 = 4,626 \text{ kNmm}$$

$$\text{曲げ破壊応力度} \quad \sigma = M/Z = 4,626/12,850 = 0.36 \text{ k N/mm}^2 = 360 \text{ N/mm}^2$$

(2) 弾性係数

以下の解析に用いる FRP パイプの弾性係数は、上記と同様、FRP 層のみの値を用いる。弾性係数は、FRP パイプ全体および特殊樹脂層のみの値が得られていることから、これらより、以下の式で FRP 層のみの弾性係数を得る。

$$E_2 = \frac{EI - E_1 I_1 - E_3 I_3}{I_2} = \frac{22,489 \times 597,400 - 2,138 \times 104,020 - 2,138 \times 117,440}{375,940} = 34,477 \text{ N/mm}^2$$

ここに、添え字 1:外層 ABS 層 2:FRP 層 3:内層 ABS 層

キーワード FRP, 足場, 座屈

連絡先 〒101-0047 東京都千代田区内神田 3-2-1 建設塗装工業(株) TEL 03-3252-2511

3. 上フランジの座屈耐荷力

FRP パイプの曲げ破壊は、上下フランジとウェブで構成される正方形パイプを対象とすれば、上フランジの座屈がクリティカルになることが容易に想定される。

写真-1 に曲げ破壊の状況を示す。これによれば、FRP パイプの曲げ破壊時には、上フランジにおいて最も著しいき裂が生じており、また、ウェブにおいて断面変化点となるハンチ部延長線でき裂が生じている。

以下では、FRP パイプの曲げ破壊が、まず、上フランジの座屈により生じ、これに伴いウェブにき裂が生じたと仮定し、上フランジの座屈応力度の算出を行う。条件として、フランジがウェブおよびフランジにより4辺固定された板と仮定し、板の座屈応力度を算出する。

$$\sigma_{cr} = \frac{\pi^2 t^2 k E}{12 b^2 (1 - \nu^2)} = \frac{3.14^2 \times 2.75^2 \times 6.99 \times 3,4477}{12 \times 58.5^2 (1 - 0.34^2)} = 495.3 \text{ kNmm}^2$$

写真-1 FRP パイプの曲げ破壊形態

幅 $b=58.5\text{mm}$
板厚 $t=2.75\text{mm}$



上フランジ座屈応力度は、パイプの曲げ破壊応力度に近く、上フランジの座屈がパイプ全体の破壊現象を支配しているものと考えられる。ただし、上フランジ座屈応力度がやや高い値を示しており、これは載荷板のエッジ部での応力集中などが一つの要因であろうと推察される。

4. ウェブの耐荷力

3. では、上フランジがパイプ破壊のクリティカルであるとしたが、ここでは、仮にウェブが先行して破壊すると想定した検討を行う。ウェブの終局耐力算出にあたり一提案されている終局耐力推定式²⁾を用いて、□60FRPパイプにおける載荷点直下のウェブの耐力を検討する。有効とする断面はFRP層のみとする。文献²⁾により、ウェブ局所降伏耐力、ウェブクリッピング、ウェブの圧縮座屈について算定した結果、ウェブクリッピングが最も低い耐荷力を与え、以下の値となった。

$$R_2 = 35.9 t_w^2 \left\{ 1 + 3 \frac{h_f (t_w)}{h (t_f)} \right\}^{1.5} \left(\frac{F_{yw} t_f}{t_w} \right)^{\frac{1}{2}} \times 2 = 35.9 \times 2.75^2 \left\{ 1 + 3 \frac{9.75 (2.75)}{53 (2.75)} \right\}^{1.5} \left(\frac{1,022 \times 2.75}{2.75} \right)^{\frac{1}{2}} \times 2 = 27,000 \text{ N} = 27.0 \text{ kN}$$

曲げ破壊強度が10.28kNであり、3.の結果と併せて考えると、ウェブの崩壊が先行することは無いと言える。

5. まとめ

以上の結果をまとめると以下のとおりである。

- ・ 上フランジの板としての弾性座屈応力度を算定すると、FRPパイプの曲げ破壊応力度に近い値となり、上フランジの座屈がパイプ全体の破壊現象を支配しているものと推察される。
- ・ ウェブの局部的破壊現象の強度を算定すると、FRPパイプの曲げ破壊強度を大きく上回る。ウェブの耐力は、上フランジの曲げ破壊耐力より大きく、上フランジが健全な状態では、ウェブの局部破壊は生じないと言える。
- ・ □60FRPパイプの曲げ破壊は、上フランジの座屈破壊が先行し、上フランジの拘束力が無くなったことにより、ウェブが破壊するという唯一の破壊メカニズムに支配されるため、その曲げ破壊強度がほぼ安定しているものと考えられる。

参考文献

- 1) 座屈設計ガイドライン, (社) 土木学会, 2005年9月
- 2) 建築構造設計規準構造設計指針(案), (社) 日本建築構造技術協会, 2000年3月