

## 孔食を有する鋼製円管の炭素繊維シート補修に関する検討

日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 ○西野晶広, 秀熊佑哉  
ツカサテック 垣尾道夫, 浦添元気  
長野工業高等専門学校 正会員 奥山雄介  
長岡技術科学大学 正会員 宮下 剛  
ものづくり大学 正会員 大垣賀津雄

### 1. はじめに

製鉄・石油精製等の製造業におけるプラント設備では、鉄塔支持型煙突や鉄塔支持型フレアスタックといった鋼製円管が用いられる。これらの多くは、建設後 50 年が経過し、経年劣化による腐食減肉が多数確認されている。これらの損傷を受けた部材は、部材の置き換えや溶接等による当て板が用いられている。しかし、石油精製等のプラント設備では、可燃ガスへ引火する危険性や溶接熱による熱ひずみの発生、部材添接による死荷重の増加など問題点が多い。このような中で、鋼管の強度特性に関する研究も実施されているが<sup>1)</sup>、効率的な補修工法については検討されていない。

そこで、炭素繊維シート接着工法に着目する<sup>2)</sup>。本工法は、部材へ直接、炭素繊維シートを貼り付けるのみであるため、施工が容易で短期間で施工できるといったメリットがある。本研究では、鋼製円管に対する補修・補強材料として、炭素繊維シートの適用性を検討する。ここではまず、炭素繊維シートによる補修効果を確認するために、損傷を有する鋼管を用いた圧縮試験を実施する。本稿では、炭素繊維シートによる補修効果について検討した短柱の一軸圧縮試験結果について述べる。

### 2. 試験概要

試験に用いた鋼管は STK400 (降伏応力 394 MPa) であり、寸法は長さ  $L=750$  mm, 外径  $D=267.4$  mm, 板厚  $t=6$  mm の鋼製円管である。この試験体に対して、腐食を模擬した欠損を与える。本検討では、断面積に対して、25%と15%の欠損となるように試験体中央部に  $\phi 189$  mm および  $\phi 121$  mm の孔を設けた。供試体形状を図-1 に示す。

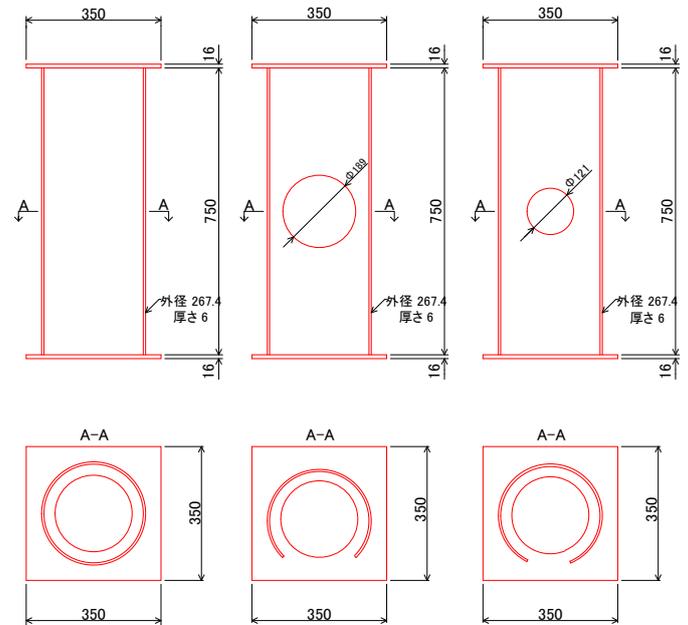


図-1 供試体形状

次に補修方法について説明する。補修は高弾性型炭素繊維ストランドシート(炭素繊維目付量  $600 \text{ g/m}^2$ , 弾性係数  $720 \text{ GPa}$ ) により行う。まず、孔部分を厚さ  $0.3 \text{ mm}$  程度のトタンで塞ぎ、その後、プライマーの塗布、ストランドシートの貼り付けを行う。ストランドシートの貼り付け枚数は、減少した断面積を補うように決定し、ここでは 2 層とした。その後、剥離防止効果を検証するために高強度型炭素繊維シート(引張強度  $4,516 \text{ MPa}$ , 弾性係数  $252 \text{ GPa}$ ) を周方向に 1 層巻き付けたケース(RRH)と巻き付けていないケース(RR)を設定した。

### 3. 試験結果

#### 3.1 最大荷重

試験により得られた最大荷重を表-1 に示す。これより、欠損を与えた供試体では、欠損が 25%の時に

キーワード： 鋼製円管, 鉄塔支持型煙突, 腐食, 補修, 炭素繊維シート

連絡先：〒104-0061 東京都中央区銀座 7-16-3 日鐵木挽ビル 5 階 TEL.03-6859-3441

表-1 試験結果一覧

供試体 名称	欠損の 大きさ	補修方法		最大荷重 [kN]
		軸方向	周方向	
N	-	-	-	1,789
L-N	25 %	-	-	755
L-RR		○	-	871
L-RRH		○	○	950
S-N	15 %	-	-	1,072

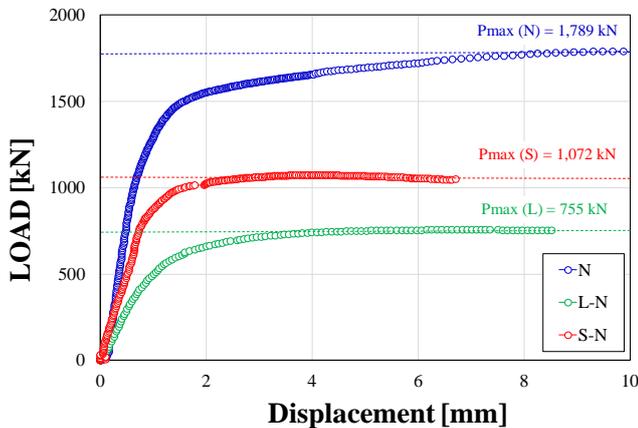


図-2 荷重-変位関係

は健全時の4割程度、欠損が15%の時には6割程度と強度が著しく低下する。これに対して炭素繊維を貼り付けたL-RRやL-RRHでは強度の増加はみられるものの、健全時の最大荷重までは達していないことがわかる。

これらの結果から、本検討で実施した貼り付け方法は、健全時までの回復は見込めないため、貼り付け方法を再検討する必要がある。現在、炭素繊維の積層数を変更した試験および貼り付け方法を変更した試験を実施予定である。

なお、周方向の炭素繊維については、周巻ありの方がシートの破壊までの靱性が高く、強度も高くなるといえる。

さらに、図-2には補修前の荷重-鉛直変位関係を示す。これより、欠損の大きさが大きくなるにしたがって、最大荷重の低下のみではなく、軸方向の剛性が低下していることが確認できる。

### 3.2 破壊形状

次に試験終了時の供試体状況について説明する。

図-3には、試験終了時の供試体状況を示す。まず、健全時のNについてみると、供試体下部で全体的に押しつぶされる「象の足座屈」が発生していること

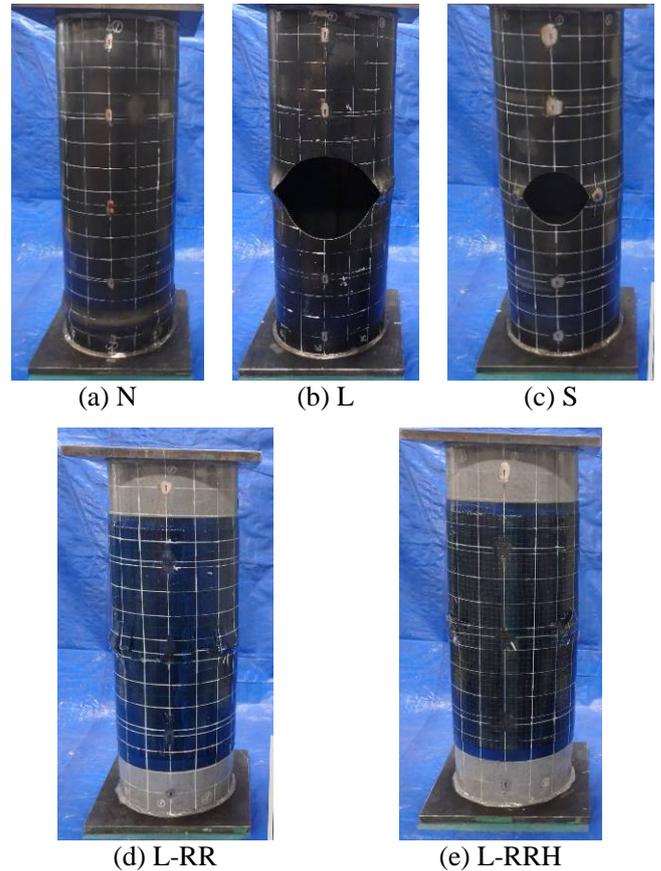


図-3 供試体破壊状況

が確認できる。これに対して、孔食を有するLやSでは、欠損部の両端で局部座屈が発生し、終局に至っていることが確認できる。Lを補修したL-RRやL-RRHでは、いずれも孔周辺の炭素繊維が破壊を生じ、周巻のあるL-RRHでは座屈変形後に周方向の炭素繊維が破断することで終局に至ることを確認した。

### 4. まとめ

本研究では、腐食損傷を生じた鋼製円管に対する補修工法として炭素繊維シートの適用を検討した。この結果、炭素繊維シート補修によって、強度の改善が可能であることを示したが、健全時の強度まで回復させるには至っておらず、今後、貼り付け方法、積層数等について検討を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) 西村宣夫, 村上茂之, 竹内修治, 遊田昌樹: 孔あき鋼管部材の座屈強度に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第3巻, 第10号, pp.29-38, 1996.
- 2) 高速道路総合技術研究所: 炭素繊維シートによる鋼構造物の補修・補強工法設計・施工マニュアル, 2013.