

## 炭素繊維シート接着により補強された円孔を有する鋼製円管の局部座屈強度に関する実験研究

日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 ○西野晶弘, 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などの鉄塔には、鋼製円管が用いられている。これらの多くは、建設後 50 年が経過し、現行の耐震基準を満たしていない構造物や、経年劣化により腐食劣化している部材が多数確認されている<sup>1),2)</sup>。これらの部材は、部材の置き換えや、溶接やボルトによる当て板添接を用いた補修・補強が用いられている。しかし、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。

そこで著者らは、孔食を模した円孔を有する鋼製円管を用い、炭素繊維シート接着による補強効果を確認するため、孔食の剛性換算分の炭素繊維シートを全周に渡って貼り付けた円管の圧縮試験を実施してきた<sup>3)</sup>。しかし健全同等までの耐力の回復には至らず、補強方法の再検討が必要な結果となった。そこで本研究では、炭素繊維シートの貼付け方法を変えた試験体を用いた圧縮試験を実施し、貼付け方法の影響の検討を行った。

## 2. 試験概要

鋼製円管は、構造用鋼管 STK400 250A (外径 267.4 mm, 板厚 6 mm, 降伏応力 394MPa) を使用した。高さは 750mm (細長比 44.6) とし、両端にエンドプレートを溶接し、両端固定にて圧縮試験を実施した。炭素繊維シートは、軸方向に高弾性型炭素繊維ストランドシート (目付 900g/m<sup>2</sup>, 弾性係数 721GPa, 引張強度 3,080MPa) を用い、周方向に高強度型炭素繊維シート (目付 300g/m<sup>2</sup>, 弾性係数 252GPa, 引張強度 4,516MPa) を用いた。

試験ケースは表-1 に示す通りであり、25%欠損の試験体は欠損側半周に、板厚の剛性換算分である 5 層のストランドシートを貼付け、15%欠損の試験体では、孔食の際に円孔直径 1/2 の幅で、中立軸の位置がおおよそ中央に回復するために必要な層数である 6 層のストランドシートを貼付け、それぞれ周方向に 1 層または 2 層の炭素繊維シートを巻き付けた。試験体および貼

表-1 試験体一覧

試験体名称	欠損率 (%)	シート層数	補強範囲	周巻き
N0	0	0	-	-
N15	15	0	-	-
N25	25	0	-	-
R25-5-1	25	5	半周	1層
R25-5-2	25	5	半周	2層
R15-6-1	15	6	円孔際 孔径の 1/2	1層
R15-6-2	15	6	円孔際 孔径の 1/2	2層

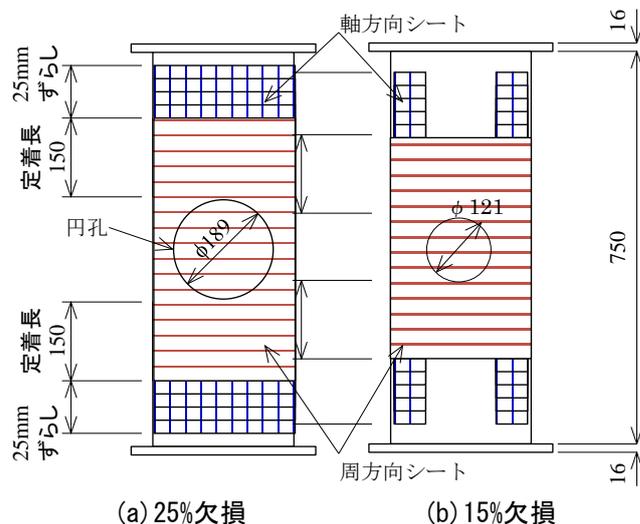


図-1 試験体概要図

付け方法を図-1 に示す。鋼材・炭素繊維シート表面の軸方向ひずみを計測し、軸圧縮荷重、鉛直変位を計測した。

## 3. 結果と考察

圧縮試験の結果から得られた最大荷重と破壊形態を表-2 に、また荷重と鉛直変位の関係を図-2 に示す。円孔により耐力が 42% (25%欠損), 60% (15%欠損) まで低下したが、補強後のすべての試験体において、健全の 85%~90%程度まで耐力が回復する補強効果が確認された。以下に貼付け方法と周巻の影響について考察する。

## (1) 貼付け方法の影響

25%欠損の試験体では、補強後の耐力が健全の 87%程

キーワード 炭素繊維シート, 煙突, 鉄塔, 鋼製円管, 座屈, 補強

連絡先 〒103-0027 東京都中央区日本橋 1-13-1 日鉄ケミカル&マテリアル株式会社 TEL03-3510-0344

度まで回復しているが、板厚 6mm の剛性換算分である 5 層のストランドシートを試験体半周のシート幅で接着しており、補強量の総量は欠損鋼材の 2.34 倍の引張剛性を有しており、一般的な剛性換算よりも多いため効率的な補修方法であるとは言い難い。また、破壊は円孔直上の炭素繊維シートで発生している。

15%欠損の試験体では、補強量も孔食の際に円孔直径 1/2 の幅で、中立軸の位置がおおよそ中央に回復するために必要分で、欠損鋼材の 1.45 倍の引張剛性にもかかわらず、補強後の耐力が健全の 85%~90%程度まで回復しており、25%欠損の補強方法よりも効率的に補強ができているといえる。また、破壊も円孔部ではなく補強部上部で発生しており、荷重と変位の関係も一部非線形区間まで健全と一致する結果となっている。

## (2) 周巻の影響

これまでの実験<sup>3)</sup>では周巻無しよりも有りの方が補強効果が高いことが確認されており、今回の実験では周巻を 1 層、2 層と変化させたが、25%欠損、15%欠損ともに周巻の層数の違いに補強効果の差は確認されなかった。

## 4. まとめ

孔食を模した円孔を有する鋼製円管に対し、炭素繊維の補修量の決定方法を、板厚の剛性換算分の炭素繊維シートを試験体半周のシート幅で接着する場合と、中立軸の位置が中央に回復するために必要な炭素繊維シートを円孔際に円孔直径 1/2 の幅で貼り付ける場合の 2 種類の方法で貼付け、圧縮試験により補強効果の検討を実施した。

その結果、両者の補強方法とも耐力が健全の 85%~90%まで回復しており、補強方法による差はなかったが、中立軸を元に戻す補強方法の方が、補強量が少なくより効率的な補強方法であるといえる。

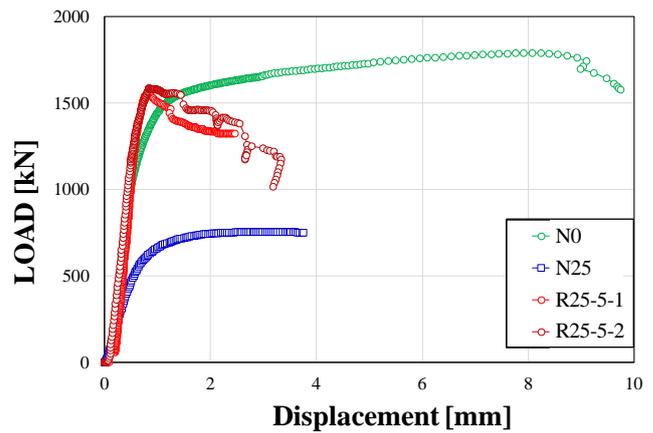
また、炭素繊維シートによる周巻きも 1 層、2 層と積層数を変えて実施したが、今回の実験では補強効果に差が見られなかった。

## 参考文献

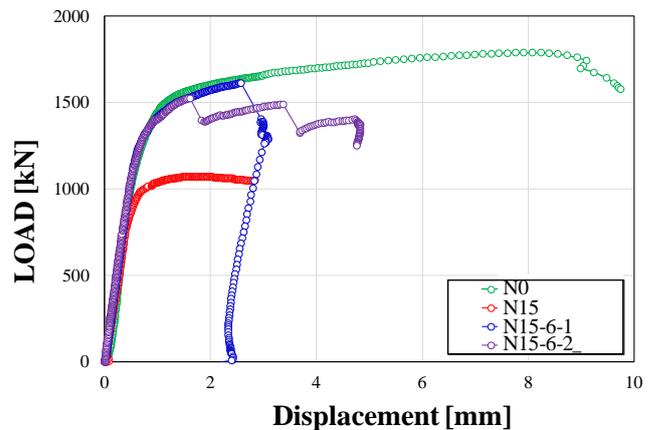
- 1) 西村宣夫, 村上茂之, 竹内修治, 遊田昌樹: 孔あき鋼管部材の座屈強度に関する実験的研究, 鋼構造論文集, 第 3 巻, 第 10 号, pp. 29-38, 1996.
- 2) 西村宣男, 竹内修治, 村上茂之, 竹下主義, 軸屋一美, 伏見義仁: 断面に欠損を生じた円形鋼管部材の座屈強度特性, 鋼構造論文集, 第 6 巻, 第 21 号, pp. 55-66, 1999.
- 3) 西野晶弘, 秀熊佑哉, 垣尾道夫, 浦添元気, 奥山雄介, 宮下剛, 大垣賀津雄: 孔食を有する鋼製円管の炭素繊維シート補修に関する検討, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I-138, 2019. 9

表-2 各試験体の最大荷重と破壊形態

試験体名称	最大荷重 [kN]	N0 に対する強度比	破壊形態
N0	1,789	1.000	下部付近で象足座屈
N15	1,072	0.599	円孔際で座屈
N25	755	0.422	円孔際で座屈
R25-5-1	1,550	0.866	円孔中央付近の繊維破壊
R25-5-1	1,585	0.886	円孔中央付近の繊維破壊
R15-6-1	1,613	0.901	補強範囲上部で破壊
R15-6-2	1,524	0.852	補強範囲上部で破壊



(a) 25%欠損の比較



(b) 15%欠損の比較

図-2 各試験体の荷重と変位の関係



図-3 補強後の試験体 R15-6-1