

炭素繊維シートが接着された円孔を有する鋼製円管の連成座屈強度に関する実験的研究

日鉄ケミカル&マテリアル 正会員 ○秀熊佑哉, 西野晶弘
ツカサテック 垣尾道夫, 浦添元氣
ものづくり大学 正会員 大垣賀津雄
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

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^{1), 2)}。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による補修・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。

そこで著者らはこれまでに、性能回復を目的とした炭素繊維シートの補修効果の検証のために、孔食を模した円孔を有する短い鋼製円管を用いた圧縮試験³⁾や、耐力向上を目的として補強効果検証ために、健全な長い鋼管柱を用いた圧縮試験⁴⁾を実施してきた。そこで本研究では、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性能回復のための補修対策と、耐力向上のための補強対策の両方の対策を施した試験体を作製し、圧縮試験によりその効果の検証を行った。

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 339 MPa）を使用した。長さは 3,500 mm（細長比パラメータ 0.50）とし、両端ともユニバーサル沓によるピン支持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 S1（目付 900g/m²、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 S2（目付 300g/m²、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、健全を NN、中央に直径 121mm の円孔（15%の断面欠損）を有するものを DR とし、性能回復のための補修対策のみを実施したものを DR1、性能回復のための補修対策と、耐力向上のための補強対策の両方の対策を施したものを

表-1 試験体一覧

供試体	欠損	補強量			
		欠損部		全体	
		軸方向	周方向	軸方向	周方向
NN	無	-	-	-	-
DR	有	-	-	-	-
DR1		S1 6 層	S1 1 層	-	-
DR2				S2 2 層	S2 1 層

注) S1: 高弾性型炭素繊維ストランドシート
S2: 高強度型炭素繊維シート

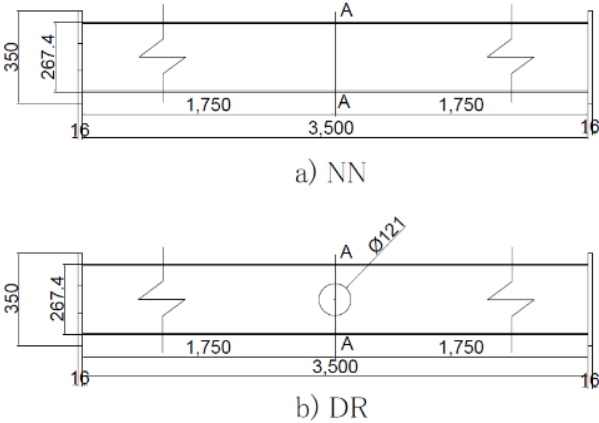


図-1 試験体概要図

DR2 とした。補修対策では、断面欠損による中立軸のずれを健全まで回復させるように補修量を決定し、円孔左右の際に 60mm 幅にストランドシート S1 を 6 層接着した後、周方向に炭素繊維シート S2 を 1 層接着した。補強対策では、文献 4) に従い、全長の 3/4 の長さである 2625mm の範囲にストランドシート S1 を 2 層、周方向に炭素繊維シート S2 を 1 層接着した。DR2 では施工の便宜上、全長に補強対策を施した後、部分貼りである補修対策を施工した。

試験体概要図は図-1 に示す通りであり、鋼材・炭素繊維シート表面の軸方向ひずみ、軸圧縮荷重、鉛直変位を計測した。

3. 結果と考察

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 TEL03-3510-0343

表-2 に最大荷重と強度比、破壊形態を、図-2 に各供試体の荷重-鉛直変位関係を示す。また、図-3 に各供試体の試験後の破壊状況写真を示す。なお、NN の全塑性軸力 P_y は 1,668kN であり、弾性座屈荷重 P_{cr} は 1536kN である。

欠損ありの DR は健全の NN に比べ最大荷重が 63% まで低下し、円孔部での局部座屈により破壊したが、欠損部のみに補強を行った DR1 の最大荷重は DR に比べ 151% 増加し、NN の 95% まで回復している。しかし、800kN の手前で CFRP の破壊が見られ、その時点において円孔付近での局部座屈が発生したと考えられ、健全のような全体座屈ではなく、連成座屈が生じていると考えられる。

DR2 については DR1 と同じ補修に加え、供試体の 3/4 の範囲に補強を行ったことで、最大荷重が健全 NN を上回り、補強範囲外である下端で提灯座屈が発生した。補強により全体座屈が抑えられ、健全部での局部座屈により終局に至り、耐力が向上したと考えられる。

4. まとめ

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性能回復のための補修対策と、耐力向上のための補強対策の両方の対策を施した試験体を作製し、両端ピン固定での圧縮試験によりその効果の検証を行った。

その結果、健全な鋼製円管は全体座屈が発生するが、中央に 15% 断面欠損を有する場合は局部座屈により耐力が 65% まで低下する。欠損部分を補修した DR1 は耐力が 95% まで回復する。欠損部分の補修と全体の 3/4 を補強した DR2 は 7% 耐力が上回り、補強部以外で提灯座屈している。

炭素繊維シート接着は、性能回復のための補修対策と、耐力向上のための補強対策の両方に有効であることがわかった。今後は補強設計法の確立に向けた検証を行う。

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
- 4) 秀熊佑哉, 西野晶弘, 奥山雄介, 大垣賀津雄, 宮下剛, 垣尾道夫, 浦添元気: 炭素繊維シート接着により補強された鋼製円管の耐荷力に関する実験的研究, 土木学会第 73 回年次学術講演会, I-137, 2019. 9

表-2 各試験体の最大荷重と破壊形態

供試体	最大荷重 P_{max} (kN)	NN に対する 強度比	P_{max}/P_y	破壊形態
NN	1,423	1.00	0.86	全体座屈
DR	905	0.63	0.54	局部座屈
DR1	1,366	0.95	0.82	連成座屈
DR2	1,527	1.07	0.92	局部座屈

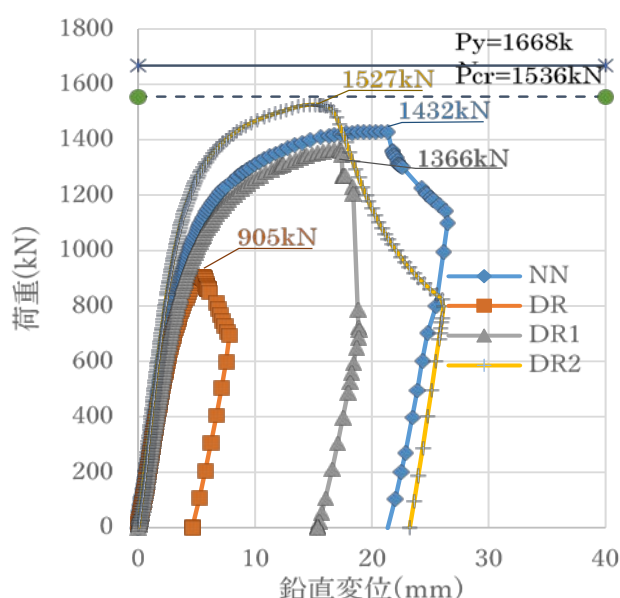
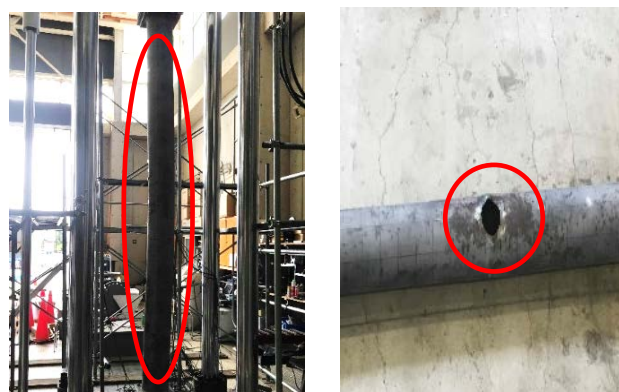


図-2 各試験体の荷重と変位の関係



a) NN 全体座屈

b) DR 中央で局部座屈

c) DR1 連成座屈

d) DR2 下端で提灯座屈

図-3 各試験体の破壊状況