

ポリプロピレン製の荷造りひもを用いた長柱鋼管の座屈補強への一提案

○中央大学 学生員 赤城博斎 日本鉄塔工業(株) 正会員 小瀬古信博
中央大学 正会員 平野廣和 中央大学 正会員 佐藤尚次

1. はじめに

近年、風荷重、地震荷重の影響で、構造物に対する設計時点での要求を超える性能が必要とされる場合が増えてきている。その場合、安価で簡便な補強方法による実現が求められる。例えば、三上ら¹⁾によれば鋼管にメッキを施すだけで、全体座屈の強度が向上することが指摘されている。

大型送電鉄塔などの構造物を補強する場合、この構造上の特徴である多くの突起物が鋼管表面上に存在するので、補強材巻き付けの妨げとなる場合が生じる。さらに、高所の作業であること、各種の鋼管サイズが採用されていること、建設されてから年月が経過しており鋼管表面の劣化などがあり、より簡易に補強できる方法が求められている。このような背景から、低価格かつ何処でも入手可能であり、かつ軽量で扱い易い特徴を有するポリプロピレン製のひも（荷造り用のひも、以下 PP）を使用することを試みる。このポリプロピレンの最大の特徴は、人間の力程度で絞めることで補強効果が期待できる点である。

2. 実験概要

(1) 実験供試体

本実験には、表-1 に示す鋼管を選択した。これは試験機のパフォーマンスを考えた全体座屈の現象が現れる細長比 70.4 とした鋼管である。供試体は無補強 5 本、補強有を 12 本製作した。補強有の詳細は、PP-1～9 までが単純にただ巻くだけで補強したもので一般にゲートル巻きと言われる巻き方である。PP-10 はゲートル巻きの下に軸方向へも PP を入れたもの、PP-11 がゲートル巻きを PP 専用接着剤（鋼管には接着不可）で固めたもの、PP-12 がゲートル巻きをエポキシ接着剤（PP には接着不可）で固めたものである。

PP の巻き方は鋼管の片方から巻き始め端に着いたら折り返し、元の位置まで戻ってきたら PP 専用の市販の止め具で止めるという巻き方を採用した。それを写真-1、2 に示す。

ひずみゲージは、鋼管の長さ方向中央に軸方向と周方向を 1 セットとし 90° ピッチで 4 箇所計 8 個貼付けた。

表-1 供試体諸元

サイズ	材質	径厚比	長さ (mm)	細長比 (基準化細長)	数量	
					補強有	補強無
Φ27.2×2.3	STK400	11.8	885	70.4(1.06)	5	12



写真-1 PP 供試体



写真-2 PP 供試体留め具

(2) 座屈実験

載荷方法は 1 秒間に 1.7(kN) のである。試験機は島津製作所製作の中央大学所有 3 軸圧縮試験機（最大圧縮能力 2000kN）を使用した。

3. 実験結果

実験の最大耐力ならびに強度上昇率の具体的な数値を表-2 に示す。無補強平均耐力 52.44(kN) に対し PP 補強の平均耐力は 54.30(kN) となり強度上昇率で 3.5% との結果を得た。さらに PP-2、3 に関してはそれぞれ 14%、13% の強度上昇を得た。PP-10、11、12 に関しては巻き方がこれまでと違うため、その影響が結果に出た可能性がある。

次に図-2 に鋼管の軸方向に関する荷重とひずみの関係曲線、図-3 に鋼管周方向の荷重とひずみ関係曲線をそれぞれ示す。ここでx軸はひずみ(μ)を、y軸は荷重(kN)を表す。なお、ここでは平均的な座屈耐荷力を示す無補強の供試体と補強有の供試体との比較を行ったものである。これらは軸方向、周方向共に剛性の向上を確認するものであり、それぞれ中央4枚のひずみゲージの値を平均したものである。

表-2 よりPPで補強することによって強度の上昇が確認できているため、軸方向で鋼管の剛性の向上を期待した。図-2、3の荷重がピークに達する部分において、無補強のグラフが先に寝始めるのに対し、補強された鋼管は補強材がたわみが拘束されピークが伸びているのがわかる。このことより、補強材料がたわむ鋼管に抵抗力を加えることにより座屈耐荷力が上昇していると考えられる。「座屈設計ガイドライン」²⁾によれば弾性挙動の限界は柱の初期たわみに依存する。この実験では周方向の補強によって初期たわみの感度を軽減しているものとも思われる。

さらに、これまでのミニモデル実験の延長として既存送電鉄塔の構成部材を使用した実験を行った。表-3 は供試体諸元である。こちらは愛知工業大学所有の大型長柱試験機で実験を行った。表-4 にその結果を示す。数値のみであるがPP ゲートル巻き補強 2 やPP ゲートル巻き補強+軸方向巻き補強 2 では強度上昇率が10%を越えている。

4. まとめ

ここで、ミニモデル実験でのPP 補強で座屈耐荷力上昇平均 3.5%の補強効果を確認し、既存送電鉄塔構成部材での実験では 5.5%の補強効果を確認した。ところで、今回のミニモデルではフープ効果に関しては明確に確認することができなかったが、既存送電鉄塔構成部材の実験データも確認すると鋼管に何らかの補強材料を巻くことで座屈耐荷力が上昇することは掴めた。今後実用化に向け、巻き方によるばらつきをどう低減させるか等の検討を行う。

<参考文献>

- 1) 三上康郎他：送電用鉄塔に用いる鋼管の軸圧縮・曲げ座屈耐力に及ぼす溶融亜鉛めっきの影響について、構造工学論文集 Vol. 50A, 2004. 3
- 2) 土木学会：座屈設計ガイドライン
- 3) 赤城博高他：紫外線硬化型樹脂を用いた長柱鋼管補強方法の検討，土木学会第 58 回年次学術講演会，2004. 9
- 4) 連重俊他：紫外線硬化樹脂を用いた長柱構造応力低減と実大モデル疲労試験，土木学会論文集 No. 735 / -59，pp185-195，2003. 6

表-2 実験結果

サイズ	試験体名	Pmax(kN)	強度上昇率	平均
Φ27.2*2.3 全体座屈	無補強-1	53.85	-	無補強平均 52.44
	無補強-2	53.70	-	
	無補強-3	48.45	-	
	無補強-4	55.45	-	
	無補強-8	50.75	-	
	PP-1	55.25	1.05	PP平均 54.30
	PP-2	59.60	1.14	
	PP-3	59.00	1.13	
	PP-4	56.00	1.07	
	PP-5	55.65	1.06	
	PP-6	53.20	1.01	
	PP-7	53.40	1.02	
	PP-8	53.30	1.02	
	PP-9	51.00	0.97	
	PP-10	51.50	0.98	
	PP-11	52.75	1.01	
	PP-12	51.00	0.97	

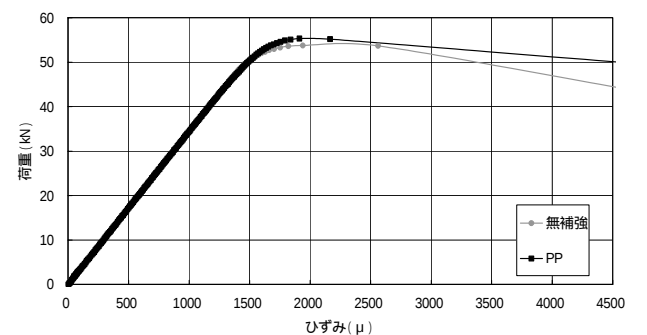


図-2 荷重-ひずみ関係（軸方向）

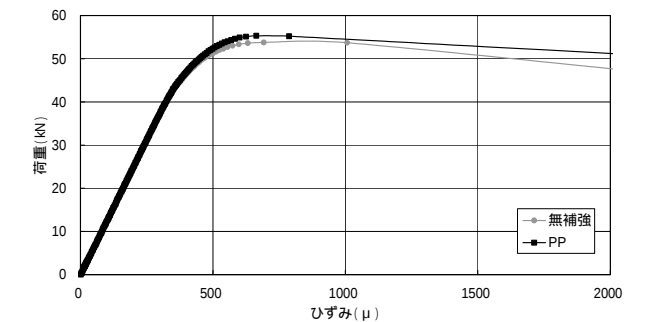


図-3 荷重-ひずみ関係（周方向）

表-3 既存送電鉄塔構成部材実験 供試体諸元

サイズ	材質	径厚比	長さ (mm)	細長比 (基準化細長比)	数量	
					補強有	補強無
Φ139.8*3.5	STK400	40	2924	70(1.07)	6	2

表-4 既存送電鉄塔構成部材実験 結果

サイズ	試験体名	Pmax(kN)	平均	強度上昇率
Φ139.8*3.5	無補強1	487	488.5	-
	無補強2	490		-
	PPゲートル巻き補強1	503	521.5	1.03
	PPゲートル巻き補強2	540		1.11
	PPゲートル巻き+軸方向巻き補強1	492	532.0	1.01
	PPゲートル巻き+軸方向巻き補強2	572		1.17
	PPゲートル巻き+接着剤補強1	477	490.0	0.98
	PPゲートル巻き+接着剤補強2	503		1.03