

防災対策用ガラス繊維強化プラスチック管 (H-FRP管) φ170の開発

Development of a φ170 Fiberglass Reinforced Plastic Pipe (H-FRP Pipe) for Disaster Prevention Measurement

宮里 昭太郎*

Shotaro Miyazato

電力ケーブルによる事故の1つに地絡事故がある。地絡とは、ケーブル内部の絶縁層が経年劣化等により損傷することで、ケーブルと地面の絶縁が低下し、ケーブルから地面に向けて瞬間的に電流が生じる現象で、一般的な漏電よりも大きな電流が発生し、そのエネルギーによって火災等の災害を引き起こす恐れがある。地中送電ケーブルは、電力需要の増加に応じて高圧化および大容量化していることから地絡による被害が大きくなることが懸念されており、特に地上部に露出している橋梁添架部においては、被害が拡大する恐れがあるため十分な対策が必要となる。そこで、橋梁添架部のケーブル保護管である橋梁添架部用FRP管では、FRP管内におけるケーブル地絡事故にも対応できる管材として防災対策用ガラス繊維強化プラスチック管H-FRP(Hi-grade Fiberglass Reinforced Plastics)管を約35年前に開発した。

H-FRP管は、従来の橋梁添架用FRP管よりも管厚を厚くすることで、地絡による管内の圧力上昇に耐える構造としている。これまでφ200およびφ185が製品化されているが、狭隘部での設置案件では既存製品で対応できないことから、今回新たにφ170を開発し円周方向および軸方向引張試験を実施し、目標とした強度を確認できたので報告する。

One type of accident related to power cables is a ground fault incident. A ground fault occurs when the insulation layer inside the cable is damaged due to aging or other factors, leading to a reduction in insulation between the cable and the ground. This results in a momentary current flow from the cable to the ground, which can generate larger currents than typical leakage currents and pose a risk of disasters such as fires due to the energy released.

With the increasing demand for electricity, underground transmission cables are being upgraded to higher voltages and larger capacities. This raises concerns about more severe damage from ground faults. Particularly in bridge-mounted sections exposed above ground, there is a risk that the damage could be more extensive, necessitating sufficient countermeasures.

To address this, we developed a disaster prevention measure approximately 35 years ago. The H-FRP pipe has been designed with a thicker wall than conventional FRP pipes used for bridge attachment, enabling it to withstand the pressure increase inside the pipe due to ground faults. So far, the H-FRP pipes of φ200 and φ185 sizes have been commercialized, but in narrow installation areas, the established products were insufficient. Therefore, we have developed a new φ170 size H-FRP pipe and conducted circumferential and axial tensile tests to confirm that it meets the target strength requirement. This report summarizes our findings.

1 はじめに

都市景観の向上や都市災害の防止等を目的として、都市部での電力供給には地中送電線路が多く用いられている¹⁾。地中送電ケーブルは、電力需要の増加に応じて高圧化および大容量化しているが、それに伴ってケーブル地絡による被害の拡大が懸念されている²⁾。地絡とは、ケーブル内部の絶縁層が経年劣化等により損傷することで、ケーブルと地面の絶縁が低下し、ケーブルから地面に向けて瞬間的に電流が生じる現象^{3),4)}で、一般的な漏電よりも大きな電流が発生し、そのエネルギーによって火災等の災害を引き起こす恐れがある。なかでも275 kV以上の超高压系統では、地絡によって引き起こ

される被害が大きくなる可能性があり、近年でも停電事故が発生している。特に、地上に露出している橋梁添架部においては被害が拡大する恐れがあるため十分な対策が必要となる。

橋梁添架部におけるケーブル保護管は、橋梁への重量負荷が小さく、耐候性に優れた管材が求められている。当社の橋梁添架用FRP管は軽量かつ耐候性や耐食性に優れていることから、全国の電力会社等における、地中送電線の橋梁添架部や専用橋に多く採用いただいている。そこで、超高压系統における需要増加に応えるため、ケーブルの地絡事故にも対応できる管材として防災対策用ガラス繊維強化プラスチック管H-FRP管が約35年前に開発された。

*化成品事業部 技術開発部 東京設計課 東京設計グループ

H-FRP管は、従来の橋梁添架用FRP管よりも管厚を厚くし、地絡によるケーブル爆発のエネルギーやそれに伴う火災に耐えうる構造としており、φ200およびφ185を製品化している。

今回、狹隘部で使用したいとの要望があり、新たにH-FRP管φ170を開発した。

2 H-FRP管の成形方法

H-FRP管は、地絡発生時における管内の圧力上昇に耐えうる構造とする必要がある。この場合、円周方向への強度が求められることから、成形方法はフィラメントワインディング成形方法を採用した。

フィラメントワインディング成形方法は、熱硬化性不飽和ポリエステル樹脂を含浸させた高強度のガラス繊維を円周方向および軸方向に芯金へ巻き付けて加熱硬化し、管を成形する。成形方法の概要を図1に示す。成形方法の特徴は、ガラス繊維の投入量を調整することで要求性能を満足するような強度や管厚等の設計が可能となることである。

3 地絡試験

H-FRP管の開発に当たり、地絡に耐えうる構造を検討するため、開発当初に電力中央研究所にて地絡試験を実施し、性能確認を行っている⁵⁾。供試管は、φ200のFRP管とし、橋梁添架用FRP管φ200の標準管厚である5mmと管厚を厚くした7mmで試験を実施した。試験方法は、鋼製の模擬洞道内にFRP管および地絡用ケーブルを設置し、ケーブル外層よりφ3mmの釘を

打ち込んで地絡点を設けた後に表1の試験条件にて通電させ、地絡後における管の状態確認を行った。

試験結果を表2に、地絡試験の状況を図2に示す。管厚5mmの場合は管体に穴とその周辺にクラックが発生したのに対して、7mmの場合は管の破損が確認されなかった。また、管路の発炎に対する消炎性能は、管厚7mmが発炎までに要する時間が短くなった。以上の結果より、地絡対策に必要な管厚は7mm以上である。また、φ185においても管厚7mmで同様の地絡試験を行い、管の破損がなく、性能上問題ないことを確認している。

以上の結果より、今回開発したφ170の管厚は、φ185と同等の7mmに設定した。これは、地絡による管内の圧力上昇に対して、管内径が小さい方が円周方向の強度が高くなるためである。

4 H-FRPφ170の開発

4.1 製品仕様

H-FRP管φ170を開発するにあたり、管の仕様および強度の設定を行った。

管の仕様は、性能に影響を及ぼす管厚ならびに継手構造を決定する必要がある。3項の結果から、地絡試験を満足しているφ200およびφ185と同じ仕様とするため、管厚は7mm、継手構造は同じ構造とした。以上より決定したH-FRP管φ170の形状および寸法を表3に示す。

地絡発生時には、過電流によりケーブルに生じる熱エネルギーによって周囲の空気が膨張することで、管内の圧力が上昇する。そのため、管の強度は円周方向および

表1 地絡試験条件

地絡電流 (kA)	50
通電時間 (s)	0.2
地絡方向	下向き
ケーブルの種類	500 kV OFAZ ケーブル (1 × 2500 mm ²)

表2 地絡試験結果

管厚		5 mm	7 mm
管の 損傷状況	試験結果	・管体に穴が3箇所発生 ・穴を中心に左右300mmの間にクラックが発生	破損なし
	判定基準	管が破損しないこと	
	判定	×	○
消炎性	試験結果	発炎より約2分で自己消炎	発炎より約1分で自己消炎
	判定基準	自己消炎すること	
	判定	○	○
	総合判定	×	○

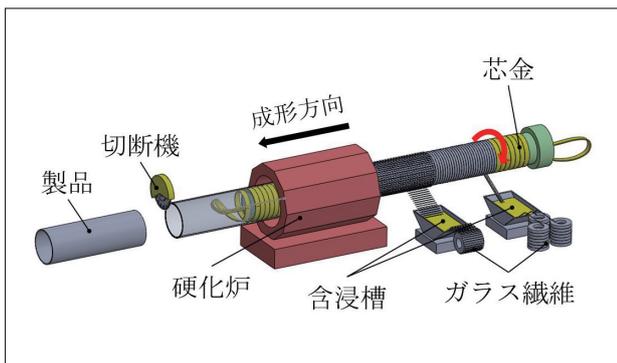


図1 フィラメントワインディング成形



図2 地絡試験の状況

軸方向の引張強さを設定した。円周方向引張応力については、地絡発生時に管内面へ作用する圧力から式(1)を用いて目標値を設定した。表1の試験条件にて実施したφ185の地絡試験結果では、地絡発生時における管内の圧力上昇は5.4 MPaであり、管体に生じる円周方向発生応力を算出すると71.4 MPaとなるため、この結果を参考にφ185の規格値を定めている。今回開発したφ170では、275 kV、CAZV ケーブル(1×1600 mm²)を使用するため、φ185の結果から地絡による管内面への圧力を推定すると4.9 MPaであり、管体に生じる円周方向発生応力は59.5 MPaとなる。それぞれの算出結果を表4に示す。管厚はどちらの口径も7 mmのため、管内径を小さくした場合、管体に生じる円周方向発生応力も小さくなる結果となるが、安全側に強度設定するためにφ185と同等以上の引張強さを目標とした。また、軸方向引張強さも同様に、地絡試験を満足した管材と同等以上の物性値とするため、φ185の規格値を目標とした。なお、φ200の円周方向および軸方向引張応力の規格値はφ185と同じであり、それぞれの規格値は顧客と協議した上で決定した値である。

$$\sigma = \frac{P \cdot D}{2t} \dots\dots\dots (1)$$

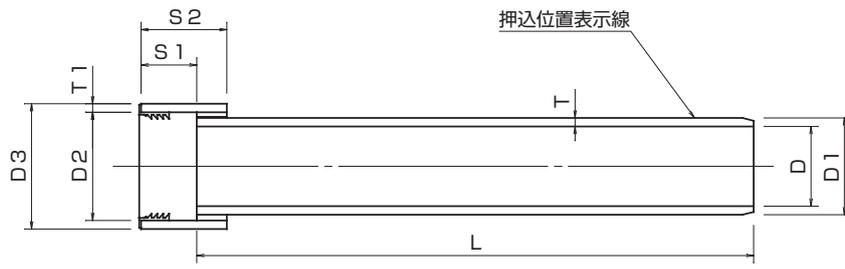
ここに、 σ : 管体に生じる円周方向発生応力 (MPa)
 P : 地絡発生時における管内の圧力上昇値 (MPa)
 D : 管内径 (mm)
 t : 管厚 (mm)

4.2 円周方向引張試験

JIS K 7037 プラスチック配管系-ガラス強化熱硬化性プラスチック (GRP) 管-見掛けの初期周方向引張強さの求め方を参考に、幅30 mmのリング状試験片を図3に示す引張試験治具に設置後、5 mm/minの速度で鉛直方向に引張り、試験片が破壊するまで載荷した。破壊荷重から破壊応力を算出した結果を表5に示す。

表5に示す通り、最小162.4 MPa、平均167.6 MPaと目標値である最小80.0 MPa、平均95.0 MPaを上回ることを確認した。

表3 H-FRPφ170の形状および寸法



種類	管体部				継手部					参考質量	
呼び径	内径 D (mm)	管厚 T (mm)	接合部外径 D1 (mm)	管長 L (mm)	内径 D2 (mm)	厚さ T1 (mm)	内面長さ S1 (mm)	長さ S2 (mm)	外径 D3 (mm)	継手 (kg/個)	本管 (kg/m)
170	170	7	184	2000 1000	194	7	130	190	208	1.6	7.0

表4 地絡発生時の管体発生応力

	φ185 (t=7 mm)	φ170 (t=7 mm)
地絡発生時における管内の圧力上昇 P (MPa)	5.4	4.9
管体に生じる円周方向発生応力 σ (MPa)	71.4	59.5

表5 円周方向引張試験結果

試験体 No	円周方向引張強さ (MPa)		
	測定値	最小	平均
1	169.1	162.4	167.6
2	171.2		
3	162.4		
目標値		80.0	95.0

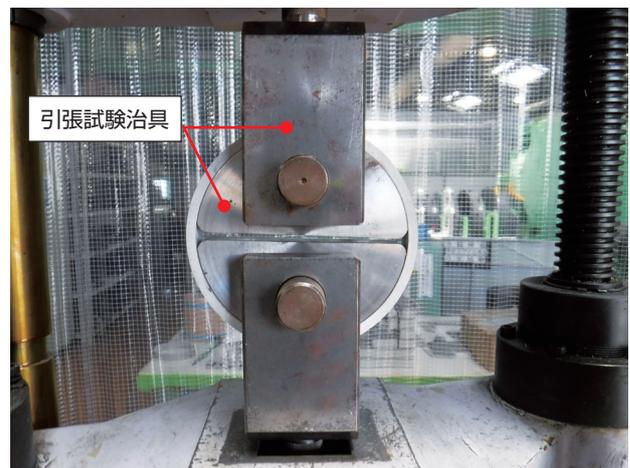


図3 円周方向引張試験

4.3 軸方向引張試験

JIS K 6911 熱硬化性プラスチック一般試験方法に準拠し、図4に示す試験片を5 mm/minの速度で鉛直方向に引張り、試験片が破壊するまで載荷する。破壊荷重から破壊応力を算出した結果を表6に、試験状況を図5に示す。

表6に示す通り、最小159.7 MPa、平均169.7 MPaと目標値である最小120.0 MPa、平均140.0 MPaを上回ることを確認した。

5 まとめ

狹隘部での設置案件に対応するため、新たにφ170のH-FRP管を開発した。開発にあたり、管の仕様および強度設計を行った上で円周方向および軸方向の引張試験を実施した。試験の結果、目標値以上の引張強さであることを確認し、3項の地絡試験に合格した管材と同等以上の物性値を有する管材であることが確認できた。

今後も、FRP管の特徴である軽量かつ高強度を活かし、電力分野のニーズに応じて、既存製品の改良や新規製品の開発を行っていきたい。

参考文献：

- 1) 東京電力パワーグリッド、送電線
<https://www.tepco.co.jp/pg/electricity-supply/operation/line.html> (参照 2024-06-30)
- 2) 東京電力株式会社 工務部 送変電建設本部：東京電力地中送電技術史 (1995)
- 3) 高木智洋、八木正史：超電導ケーブルの事故時の検証 - 275kV-HTS ケーブルの地絡事故対策と模擬実験 - (1995)
- 4) 一般社団法人電気学会、用語解説第63回テーマ：地絡・短絡 https://www.iee.jp/pes/termb_063/ (参照 2024-06-30)
- 5) 財団法人電力中央研究所：電力中央研究所報告 依頼報告：682510 管路布設500kV OFAZV ケーブルの防災対策の検証 (1983)、p99

執筆者：

宮里 昭太郎

2019年入社

FRPM管の設計、

FRP関連の開発に従事



表6 軸方向引張試験結果

試験体 No	軸方向引張強さ (MPa)		
	測定値	最小	平均
1	177.0	159.7	169.7
2	159.7		
3	174.5		
4	162.4		
5	174.9		
目標値		120.0	140.0

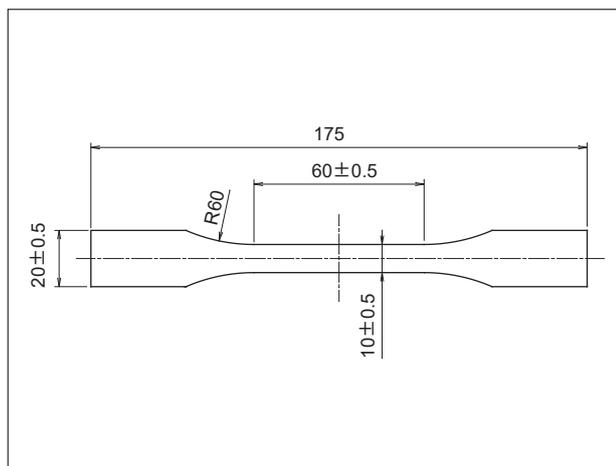


図4 軸方向引張試験片



図5 軸方向引張試験