Development of Techniques for Separating Waterproof Layer from XLPE Cable Sheath by Hot Water Heating

Masato Okazaki Member (Tokyo Electric Power Company)

Masahiko Nakade Member (Tokyo Electric Power Company)

Minoru Okashita Member (Showa Cable Systems Co. Ltd)

Mihoko Tanimoto Non-member (Showa Cable Systems Co. Ltd)

Keywords: XLPE cable, recycle, hot-water, waterproof layer

Waterproof layer is used to prevent penetration of water which is one of the factors of dielectric breakdown in XLPE cables more than 66 kV class. A XLPE cable sheath with waterproof layer is done landfill disposal as industrial waste because separation of waterproof layer is difficult for technology and cost. Thus, we have developed the technology for separating waterproof layer and PVC sheath by hot water heating.

The soaking examination was done by using the sample (width 30 mm, length 150 mm) cut out from the cable sheath with waterproof layer to examine the optimum condition of separation. Figure 1. shows the result. The adhesion power is larger in samples that are untreated, and heated in the air. The sheath material after separating is difficult to recycle because there are a lot of adhesion things such as lead etc. on it. No matter what kind of soaking water, such as tap water, sea water and high temperature steam exposure, it worked. Also, we investigated the characteristic of sheath material after separating. As the result of examination, it was confirmed that sheath material after separating was good for the standard value and recyclable. Thus, it was judged that the separation of waterproof layer and PVC sheath was possible and the sheath material after separating was recyclable by the appropriate selection of soaking condition.

And then, pilot plant was built to investigate the possibility of practical use. As the result from the above examination, the effect was confirmed in the soaking condition of tap water, sea water and the high temperature steam exposure. Because of the cost for

practical use, we selected the hot tap water soaking method for the pilot plant. Sheath with waterproof layer was cut out from actually removed XLPE cable. Figure 2 shows the result depends on the quantity of injection, size of cables and soaking time. Separation by soaking in the hot water of 90 degrees for 16 hours is possible because the quantity of injection and the soaking time to the pilot plant are almost no influence on separating time. And water analyses for used hot water were done due to the anxiety about the pollution by material elution from sheath material etc. In the result of water analyses, a part of analysis item reached the effluent standard. Thus, the attention should be paid to the quality of used hot water and effluent treatment when put it to practical use.

And as the investigation above-mentioned, it was confirmed that the separation of waterproof layer by the hot water heating was possible for practical use technically.

Fig. 1. The change of adhesion power and a sheath state with hot-water of 90 degrees

The quantity of injection
(a) 100 mm²

The quantity of injection
(b) 1000 mm²

Fig. 2. Examination result on the pilot plant (at 90 degrees)

温水加熱による鉛遮水層分離技術の開発

正員 岡崎 匡人* 正員 中出 雅彦*
正員 岡下 稔** 非会員 谷本美穂子**

Development of Techniques for Separating Waterproof Layer
from XLPE Cable Sheath by Hot Water Heating

Masato Okazaki*, Member, Masahiko Nakade*, Member, Minoru Okashita**, Member,
Mihoko Tanimoto**, Non-member

Waterproof layer is used to prevent penetration of water which is one of the factors of dielectric breakdown in XLPE cables more than 66 kV class. A XLPE cable sheath with waterproof layer is done landfill disposal as industrial waste because separation of waterproof layer is difficult for technology and cost.

However, around 20 years passes after waterproof layer was introduced, and social consciousness for environment changes during these 20 years, and responsibility of company for environment of a society grows bigger. We report the result that examined techniques for separating waterproof layer.

キーワード：CV ケーブル，リサイクル，温水，遮水層
Keywords: XLPE cable, recycle, hot-water, waterproof layer

1. はじめに

CV ケーブルの絶縁破壊要因の一つである水トリリー防止のため、1980 年代後半から鉛遮水層を設けたケーブルを使用している。この鉛遮水層付きケーブルは、撤去後には導体などの銅線はリサイクルをしているが、鉛遮水層付きシースは、鉛遮水層と PVC シースの分離が技術的、費用的に困難であったことから、産業廃棄物として埋立処分されている。

しかし、鉛遮水層付きケーブルは初期導入後 20 年以上が経過し、今後撤去量の増加が予想されることから、このような鉛遮水層付きシースについてもリサイクルを推進することが望まれている。そこで温水等を用いて加熱することより鉛遮水層と PVC シースを分離する技術に関する基礎検討ならびにパイロットプラントの構築による実用化可能性についての検討を行った。更に、処理費用の削減を目的として、温水を繰り返し使用することによる影響評価も実施したので以下に報告する。

2. CV ケーブルの構成材のリサイクルの現状と鉛遮水層分離技術の概要

〈2・1〉 CV ケーブル構成材のリサイクルの現状 CV ケーブルの構成材で、導体のリサイクルは古くから行われている。しかし、被覆材については一部リサイクルが行われ始めてきているのみである。表 1 に、CV ケーブルの構成材とそのリサイクル状況について示す。

半導電層および架橋ポリエチレン絶縁体は、それぞれの分離が困難であること、架橋ポリエチレン絶縁体は架橋しているために熱可塑性がなく再生は困難であることから、

表 1 CV ケーブル構成材のリサイクル状況
Table 1. The situation of recycling of XLPE cable composition materials.

XLPE cable composition		Situation of recycling
Conductor		Copper(Material recycle)
Semi conductor layer		Industrial waste
XLPE insulation		Industrial waste
Wire shield		Copper(Material recycle)
Tape		Industrial waste
Sheath	Non waterproof layer	Reproduction PVC (Material recycle)
	With waterproof layer	Industrial waste

* 東京電力（株）技術開発研究所
〒230-8510 横浜市鶴見区江ヶ崎町 4 番 1 号
R & D Center, Tokyo Electric Power Company
4-1, Egasakicho, Tsurumi-ku, Yokohama 230-8510

** 昭和電線ケーブルシステム（株）技術開発センター
〒229-1133 相模原市南橋本 4-1-1
Engineering R & D Center, Showa Electric Wire & Cable Co. Ltd.
1-1-4, Minami-hashimoto, Sagami-hara 229-1133

多くは産業廃棄物処理されている。燃料の一部としてサーマルリサイクルを行っている事例もある。また、架橋ポリエチレンのマテリアルリサイクルとしての検討⁽³⁾⁽⁴⁾も行われている。

布テープ類は基布に樹脂が塗布されていることから、それらの分離が困難であり、多くは産業廃棄物処理されている。

シースは、鉛遮水層無しのもは再生PVCとしてマテリアルリサイクルが可能であるが、鉛遮水層付きシースは、シースと鉛遮水層の分離が困難であることから産業廃棄物処理されている。なお、PVCは加工性に優れていることから、電線被覆用以外の用途でも幅広く使用されている。また、鉛についてもリサイクルが進んでおり、再生鉛を使用したバッテリーなどが既に実用化されている。

〈2・2〉鉛遮水層分離技術の概要 現行の撤去CVケーブルのリサイクル工程においては、剥線機を用いてある程度の長さに切断したケーブルの被覆部分を長手方向に縦割りにし、導体と被覆物を分離している。この工程において、絶縁体やシースなどの被覆物は長手方向に半割れの状態で回収されている。

PVCシースと鉛遮水層を分離するため、半割れの状態の鉛遮水層付きシースを温水に浸漬することにより、融点近傍での加熱による接着層の軟化、接着剤の膨潤による接着力の低下などによりPVCシースと鉛遮水層の剥離力を低下させる技術を開発した。

3. 温水等による鉛遮水層分離技術の基礎検討

〈3・1〉ミニサンプルによる分離条件の検討 分離条件の最適値を検討するため、未使用の鉛遮水層付きケーブルシースより幅30mm×長さ150mmのサンプルを切り出し、表2に示す条件で浸漬試験を行った。なお、海水には人工海水を使用した。

鉛遮水層とPVCシース間の剥離力(N/30mm幅)の測定と剥離後のシース材料の状態観察(目視)により試験結果を評価した。なお、剥離角度は180度、剥離速度は100mm/minとした。

図1、図2に剥離力およびシース材状態の測定結果を示す。剥離後のシース材料の状態観察結果は、接着剤の付着面積、金属層の付着状態を評価した。剥離後のシース材料に接着層の付着無く完全に剥離できたものを◎、接着層が付着していたが付着面積が4割以下であったものを○、5割以上付着しているものを△、金属層が付着しておりリサ

イクル困難であるものを×とし、図1、図2に付記した。未処理および気中での加熱のみのサンプルについては剥離力が大きく、シース材料の状態も付着物が多いことからリサイクル困難であると考えられる。90℃24hr水中浸漬ならびに高温(90℃、120℃)蒸気24hr曝露の条件では剥離力が低下し、処理後のシース材料状態も良好でリサイクル可能であった。また浸漬水については、海水と水道水の条件には大きな差はなかった。

図1 温水加熱による剥離力・シース状態変化
Fig.1. The change of adhesion power and a sheath state with hot-water.

表2 ミニサンプルによる試験条件
Table 2. Conditions of Exmination of miniture samples.

Atmosphere	Temperature	Time
Air	30℃	15min
Tap water	60℃	1 hour
Seawater	90℃	4hour
Steam	90℃	24hour
	120℃

図2 蒸気加熱による剥離力・シース状態変化

Fig. 2. The change of adhesion power and a sheath state with steam.

〈3・2〉短尺サンプルによる確認 現状、撤去ケーブルのリサイクル工程の第一段階としては、適当な長さに切断したケーブルを剥線機でケーブルの被覆部分を長手方向に縦割りにし、導体と被覆物を分離している。被覆物は長手方向に半割れの状態で回収されている。このため、実作業に近い半割れの状態のサンプル（長さ 300 mm）を用いて剥離が可能であるか確認した。併せて供試ケーブルの導体サイズによる差異、ならびにケーブル製造者による差異についても確認した。

分離条件は、前述のミニサンプルによる試験において効果があると確認できた条件のうち、90°C 海水 24 時間浸漬ならびに 120°C 蒸気 24 時間曝露とした。試験結果は、ミニサンプルによる試験と同様に鉛遮水層と PVC シース間の剥離力、剥離後のシース材料の状態を評価した。

(1) 導体サイズによる差異の確認 未使用のケーブルシースより切り出した半割れ状態のサンプル（長さ 300 mm）を用いた。導体サイズによる差異の確認のため、PVC シース外径 $\phi 34$ mm (66 kV80 mm² 相当) および $\phi 86$ mm (66 kV2000 mm² 相当) の 2 種類のサンプルを用いた。

図3にサイズ効果の確認結果を示す。シース外径が大きなサンプルにおける剥離力は、シース外径が小さなサンプルにおける剥離力よりも大きいことを確認した。シース外径が大きくなるに従い、鉛遮水層とシース間の接着面積が大きくなることなどが影響していると考えられる。

(2) 製造者による差異の確認 ケーブル製造者により鉛遮水層の構成などが異なるため、各製造者による差異を確認した。複数の製造者の撤去 CV ケーブルの鉛遮水層付きシースから切り出したを半割れ状態のサンプル（長さ 300 mm）を使用した。なお、撤去ケーブルは、66 kV200～400 mm² を使用した。

図4に製造者による差異の確認結果を示す。なお、図中 A, B, C, D, E は各製造者の別を示し、B-1, B-2 および

図3 サイズ効果の確認結果

Fig. 3. The effect of cable size.

図4 製造者による差異の確認結果

Fig. 4. The difference of makers.

E-1, E-2 はそれぞれ同一の製造者の異なるケーブルであることを示す。鉛遮水層の構成、接着層や補強層の材質の製造者間の差異、ならびに布設状態の差異が影響し分離効果には差異が確認された。

一部のサンプルでは、処理を行っても剥離力が低下せず、分離したシース面に補強層もしくは金属層（鉛層）が残存した。しかし、このサンプルについても、温水への浸漬時間を更に長くすることにより、剥離力は低下しないものの、剥離後の PVC シースに鉛層の残存がなくなり、リサイクル可能な状態になることを確認した。

〈3・3〉分離後のシース材料の特性調査 鉛遮水層と分離したシース材料が再生利用可能であるか確認した。また処理条件がシース材料の特性に与える影響についての検討を行った。検討に際し、シースサンプルには未使用ケーブルから切り出したもの（幅 30 mm × 長さ 150 mm）を使用し、分離条件を 90°C 海水 24 時間および 90°C 蒸気 24 時間の 2 条件とした。

上記の分離条件で分離したシース材料は、熱間ロールを用いてシート状に再加工したのちに特性評価を行った。また、比較試料としてシース材料のペレットからシート状に

表3 分離後のシース材料の特性調査結果

Table 3. The quality of the seath material after separating.

Characteristic	Unit	The original	Seawater 90°C24hour	Steam 90°C24hour
Specific gravity	—	1.4	1.4	1.4
Tensile strength	MPa	>20	>20	>20
Heat aging	%	>90	>90	>90
Heat transformation	%	<10	<10	<10
Cold resistance	℃	-20	-16	-19
Heat stability	hrs	>6	>6	>6
Volume resistivity	$\Omega \cdot \text{cm}$	1e14	1e14	1e14
Oil resistance	%	>90	>90	>90
Hardness	—	>45	>45	>45
Water resistance	%	1	0.8	0.9
Oxygen index	—	>25	>25	>25

成形した試料を未処理試料として評価した。表3に未処理試料と比較した分離後のシース材料の特性調査結果を示す。

評価の結果、90℃海水24hr浸漬処理によって、耐寒性が低下したが、規格値は満足していた。また、その他の特性については分離処理前後で変化しないことを確認した。このことから、本処理により分離したシース材料はリサイクル可能であると考えられる。なお、後述の水質分析結果にも示した、シース材料(PVC)の可塑剤が浸漬水中に溶出し、柔軟性が失われたことが耐寒性低下の原因であると考えられる。

〈3・4〉基礎検討結果のまとめ 基礎検討により、未処理および加熱のみのサンプルについては剥離力が大きく、分離後のシース材料の状態も付着物が多いことからリサイクル困難であることが確認された。また、水道水、海水中での加熱、及び高温蒸気中での暴露において効果が認められた。なお、剥離力が低下する要因は、融点近傍での加熱による接着層の軟化、水分による接着剤の膨潤、可塑化などが考えられる。また、分離後のシース材料については、リサイクル可能であることが確認された。これらから、適切な浸漬条件を選定することにより、鉛遮水層とPVCシースの分離が可能であると判断できることから、次章に示すパイロットプラントを構築し、実用化の可能性を調査した。

4. パイロットプラントによる実用化検討

〈4・1〉パイロットプラントの概要 開発した鉛遮水層分離技術の実用化の可能性をパイロットプラントを構築し調査した。なお、基礎検討結果では水道水浸漬、海水浸漬、高温蒸気中の暴露の各条件において効果が確認されたが、実用化時の費用等を勘案し、パイロットプラントは水

図5 パイロットプラントの外観

Fig. 5. Appearance of the pilot plant.

表4 パイロットプラントによる試験条件

Table 4. Examination conditions on the pilot plant.

Samples	The quantity of injections to the plant	Conditions	Water quality analysis items
66kV 100mm2	100% 50%	90°C,16hour 90°C,24hour	pH,n-hexaneextracts, Iodine consumption,
66kV 1000mm2	25%	90°C,48hour	lead,copper,iron,SS, BOD

道水を用いた温水浸漬方式を採用した。現行のCVケーブルの撤去工程では、ケーブルは1.5m程度の長さに切断された状態で運搬される。このことから、パイロットプラントの大きさは、長さ1800mm×幅900mm×高さ800mmとし、3.2mm厚銅板を用いて製作した。構築したプラントの外観を図5に示す。

〈4・2〉分離試験結果 複数の撤去CVケーブルより切り出した遮水層付きシースを用いて、表4に示す試験条件で温水加熱による鉛遮水層分離試験を行った。実用化時を想定して、遮水層付きシースは半割れの形状(長さ1.5m)とし、また投入量はパイロットプラントに収容可能な最大量(シース材料480kg)を100%とし、加えて最大量の50%、25%についても確認した。

図6に投入量、浸漬条件別の剥離に要する時間ならびに剥離後のシース材の状態を評価した結果を示す。なお、剥離に要する時間とは、10試料をパイロットプラントから取り出した後、全ての剥離が完了するまでの時間を試料数で除した値とした。100mm²、1000mm²とも投入量、浸漬時間は剥離時間にあまり影響しないことがわかったが、短尺サンプルによる確認と同様に、1000mm²は100mm²に比較して分離作業に時間を要することを確認した。なお、いずれの条件においても分離後のシース材料の状態は良好であった。

また、使用後の温水について、シース材料等からの物質溶出による汚染が懸念されることからの水質分析を行った。

(a) 100 mm² (b) 1000 mm²

図6 パイロットプラントによる試験結果

Fig. 6. Examination result on the pilot plant.

調査した水質分析項目を表4に示す。水質分析の結果, pH, 鉛およびその化合物は, 一部の浸漬条件において一部自治体の排水基準値に達していた。

〈4・3〉 温水の繰り返し使用条件における検討 パイロットプラントによる実用化検討の結果, 温水浸漬により鉛遮水層の分離が可能であることを確認したが, 実際の分離処理においては, 温水の入れ替えに要する作業費用, 排水処理費用の削減のため, 温水を繰り返し使用することが予想される。このため, 温水の繰り返し使用による剥離作業への影響を調査した。また, パイロットプラントによる実用化検討時に使用後の温水が一部自治体の排水基準値に達していたことから, 繰り返し使用した場合の使用後の温水の水質を分析した。

試験条件は, 90°Cの温水中に24時間浸漬することとし, それを5回繰り返すことで繰り返し使用を模擬した。また, 試験には撤去ケーブル(66kV500mm²)から切り出した半割れの状態の遮水層付きシース(長さ1.5m)を供試し, 24時間毎経過毎に未処理品と交換した。

図7に剥離時間の変化を示す。図7から温水の繰り返し使用時にも剥離時間が增大しないことを確認した。剥離後のPVCシースに鉛層の残存がなくなり, リサイクル可能な状態になることを確認した。

水質分析の結果では, 前述のパイロットプラントによる実用化試験時に一部自治体の排水基準を超過したpH, 鉛お

図7 温水の繰り返し使用による剥離時間の変化

Fig. 7. The change of the adhesion time by consecutive processing.

(a) n-hexane extracts

(b) Lead and its compounds

図8 排水分析結果

Fig. 8. Result of water quality analysis.

およびその化合物に加え, 繰り返し使用によりn-ヘキサン抽出量についても一部自治体の排水基準を超過した。図8に鉛およびその化合物, n-ヘキサン抽出量の水質分析結果を示す。鉛およびその化合物, n-ヘキサン抽出量については, 繰り返し処理数が増加するとその数値が増加することを確認した。なお, n-ヘキサン抽出量については, 別途抽出物の組成分析を実施したところ, シース材料(PVC)の可塑剤であるフタル酸エステル系であることが確認された。pHについては一部の条件で排水基準を超過したが, 全体的にアルカリ性側の排水基準値に近い数値となった。水質分析の結果から, 実用化するには温水の水質, 排水処理に留意する必要があると考えられる。

5. ま と め

CV ケーブルの絶縁破壊要因の一つである水トリリー防止のために使用されている、鉛遮水層付き PVC シースの鉛遮水層と PVC シースを分離する技術を開発した。

基礎検討の結果から、水道水、海水など浸漬水の種類に関わらず水中での加熱、及び高温蒸気中での暴露により効果があること、分離後のシース材料については、リサイクル可能であることを確認した。

パイロットプラントによる実用化検討の結果では、90°C の温水中に 16 時間浸漬することにより分離が可能であり、温水を繰り返し使用しても剥離時間、剥離後のシース材料の状態には影響しないこと、また実用化する際には使用後の温水の水質、排水処理に留意する必要があるが、技術的には実用化可能であることを確認した。

主に水トリリー防止の為に採用された鉛遮水層も 1980 年代半ばに導入されてから既に 20 年以上が経過し、この 20 年の間に企業の環境に対する社会的責任は益々大きくなってきている。今回報告した内容が将来的に環境対策の一助となれば幸いである。

(平成 18 年 2 月 22 日受付, 平成 18 年 6 月 1 日再受付)

文 献

- (1) 岩崎公裕・中出雅彦・谷本美穂子・岡下 稔・平井 進:「温水加熱による鉛遮水層分離技術に関する調査研究」, 平成 16 年電気学会全国大会, Vol.7, No.S13-5, pp.7-S13(15) (2004)
- (2) 岡崎匡人・岩崎公裕・中出雅彦・谷本美穂子・岡下 稔・平井 進:「温水加熱による鉛遮水層分離技術に関する調査研究」, 平成 17 年電気学会電力・エネルギー部門大会, No.302 (2005)
- (3) 渡邊彰三・古村清司・長屋重夫・森田広昭・仲本隆男・平井 進・会田二三夫: 昭和電線レビュー, Vol.52, No.1, pp.65-69 (2002)
- (4) 徳田 繁・堀川佐奈栄・根岸邦夫・植杉賢司・蛭川 寛: 古河電工時報, Vol.111, pp.90-94 (2003)

岡 崎 匡 人 (正員) 1972 年 8 月 19 日生。1995 年 3 月東京大学工学部計数工学科卒業。同年東京電力(株)入社。現在, 同技術開発研究所送変電技術グループ所属。主として地中電力ケーブルの研究開発に従事。

中 出 雅 彦 (正員) 1961 年 4 月 24 日生。1987 年 3 月東京工業大学エネルギー科学専攻修士課程修了。同年東京電力(株)入社。現在, 同電力技術研究所送変電グループ所属。主として地中電力ケーブルの研究開発に従事。

岡 下 稔 (正員) 1963 年 6 月 16 日生。1988 年 3 月関西大学大学院工学研究科修士課程修了。同年昭和電線電纜(株)入社。現在, 昭和電線ケーブルシステム株式会社技術開発センター基盤技術・分析グループ所属。主として, 電力ケーブルの材料開発および製造技術開発に従事。高分子学会会員。

谷 本 美穂子 (非会員) 1969 年 7 月 4 日生。1992 年 3 月中央大学理工学部工業化学科卒業。同年昭和電線電纜(株)入社。現在, 昭和電線ケーブルシステム(株)技術開発センター基盤技術・分析グループ所属。主として, 電力ケーブルの材料開発に従事。