U. D. C. 621. 315. 235. 001. 5: 621. 211. 3: 536. 41

高電圧3心OFケーブルのノーオフセット布設実験

Some Experiments on No Offset Installation about High Voltage 3-cores Oil-filled Cables

重	松	梧	良 阝*	Ŧī.	味	善	昭*
	Gorô Shi	gematsu			Yoshial	ki Gomi	
仲	沢	亮	<u></u> **	吉	田	博	通**
	Ryôji Na	akazawa		F	liromich	i Yoshida	L

要 旨

ノーオフセット布設方式の検討を目的として、66 kV 3 心鉛被および 77 kV 3 心アルミ被 OF ケーブルそれ ぞれ 120 m を管路に布設し、ケーブルの両端を固定して通電実験を行なった。その結果日間温度変化が大きい ときには、3 心鉛被ケーブルでは管路内でスネークが局部に集中して生じ、シースひずみが許容値より大きい。 一方アルミ被ケーブルでは割合に分布したスネークが管路内に生ずるため、シースひずみも小さく、ノーオフ セット布設方式がかなりの日間温度変化に対しても可能であることがわかった。さらに、ケーブル伸び出しの 拘束法として、マンホール内ケーブルの外周にテンションメンバーを施し、合成樹脂を注入して硬化させるよ うなケーブル強化法を開発した。

	1. 柏		E	
管路内に布設された	電力ケ	ーブルの熱に	よる伸び出しは,	

表1 ケーブルおよび管路

実験	<i>ъ</i> -				
No.	名移	下 外	径	シース外径	管 路
1	66 kV 3×325 mm 鉛被 OF ケーブル	2	mm	90 mm	内 径 150 mm エタニット管
2	(OFZN)	100		50 11111	内 径 125 mm 石綿セメント管
3	77 kV 3×325 mm アルミ被 OF ケーフ (OFAZE)	2 111	mm	コルゲート 谷 径 92 mm	内 径 150 mm エタニット管

マンホール内にあるケーブルのオフセットで吸収されている。しか し、電力需要の増加に伴うケーブルの大容量化によってこれらのオ フセットは大きくなってきている。反面、既設線路ではマンホール のスペースが十分でなく、また線路の新設、マンホールの改造もそう 簡単に行なえない。そこで注目されるのがノーオフセット布設方式 である。これは、ケーブルがマンホール内へ伸び出すのを拘束し、 熱伸縮を管路内のケーブルのスネークによって吸収しようとする方 法である。したがって、この布設によると、熱伸縮を吸収させるた めの大きなオフセットは不要となり、単に接続作業に必要な寸法の 曲がりだけで済む。そのためマンホールの縮小化はもとより既設の 小さいマンホールでも大サイズケーブルの布設ができるなどの大き な利点がある。

ノーオフセット布設に際しては、管路内でのケーブルの熱伸縮に よる挙動、すなわちスネークの状況、シースひずみ、固定端に生ず る反抗力などをは握しておくことが必要である。そこで、66 kV 3 心鉛被および 77 kV 3 心アルミ被 OF ケーブルを用いて、ノーオフ セット布設に対する模擬通電実験を行なった。この結果に基づいて、 マンホール内へのケーブル伸び出しを拘束するケーブルの強化法を 検討し、簡易な強化法を開発した。

なお,この実験は中部電力株式会社と日立電線株式会社との協同 で行なわれたものである。

2. 管路内ケーブルの挙動

実験線路を日立電線株式会社日高工場構内に布設した。その際, ケーブルの両端を固定し、ノーオフセット布設を模擬した。

2.1 実験方法

直線状に布設された120 m の管路にケーブルを引き入れ,その両端を基礎に固定して不動とした。実験に用いたケーブルおよび管路を表1に示す。なお,内径125 mm の管路は,この鉛被ケーブルに適用できる最小のものである。

図1は管路およびケーブルの布設状況を示したものであるが,半 割管を用いてスネーク量の測定を容易にした。半割管の固定のため に上側を短い半割管で一定間隔ごとに押さえた。固定端にはロード



第 51 巻 第 4 号

セルを取り付け、ケーブルの反抗力を測定した。

通電には2,000 kVA 大電流変圧器を用い,日中に数時間通電 (1,600~2,000 A)して遮断する1日1サイクルの実験をくり返した。 表2は各通電サイクルにおけるケーブル導体の温度上昇を示したも のであるが,導体温度変化としては25℃の日間温度変化および60 ℃の年間温度変化をめやすにしている。

シースひずみの測定は抵抗線式ひずみゲージ(ゲージ長:3mm) で行なわれたが、1サイクル目の通電でスネークの大きく発生した 部分を数個所選んでその部分の鉛被ひずみが詳細に測定できるよう にひずみゲージをはりつけた。なおアルミ被ケーブルではコルゲー トの谷部へひずみゲージをはりつけた。

2.2 実験結果とその検討

2.2.1 スネーク

通電1サイクル目における鉛被ケーブルのスネー クは、ケーブル長さ方向の応力がある一定値に達す ると急激に生じ、そのピッチは約2mで管路内径いっ ぱいの幅になる。さらに温度が上がるに従い次々と 同様なスネークが別々の場所に発生する。温度が下 がると各スネークの横方向の幅(スネーク幅と略す) はしだいに減少するが, 元の布設時の形状にはもど らないである程度残留する。2サイクル目以後の スネークは1サイクル目と同じ位置に生ずるが,前 サイクルで残留しているすべてのスネークは温度上 昇に従い,スネーク幅を一様に増加していく。しか し,前サイクルの最高温度上昇を越える温度変化を 次のサイクルで与えると, 1サイクル目と同様に新 たなスネークが急激に発生する。図2(a), (b)は スネーク分布を示したものであるが、スネークは管 路内の数個所に集中するという興味深い現象があ る。スネークの形状は図3(a), (b)に示すように ほぼらせん形であり、このらせんはすべて導体コア のより合わせと逆のZより方向になっている。スネ ーク幅の変化状況は、スネークが数ピッチ連続して 発生している部分と1ピッチ(または2ピッチ)が弧 立して発生している部分では異なっており、前者で は伸びを数ピッチで分散吸収しているのに対して, 後者では周囲の伸びを1個所で吸収している。した がって,スネーク幅およびシースひずみの変化量は スネークの弧立している部分で最も大きくなる。ま た, スネークピッチは管路内径に関係なくほぼ一定 である。 一方,アルミ被ケーブルのスネークは、ケーブル の剛性が大きいため, 布設後にうねりぐせが残り, それが温度上昇とともに増大して生ずるものであ る。したがって、スネークは鉛被ケーブルのように 急激に発生することなく,図2(c)に示すように全 長にほぼ分散して発生する。スネークのピッチは3 ~5mであり、その形状は図3(c)に示すように正 弦曲線状のものが多いが, SおよびZより方向のら せん状のものも数個所に存在した。またスネークは 温度下降によってほとんど布設時の形状にもどる。 表3はスネーク幅の変化状況をまとめたもので ある。 なお,スネークの発生によってケーブルは軸方向 の移動を起こすが、その移動量はスネークの集中す る鉛被ケーブルのほうが大きく,温度変化25℃で最

15 m		温	度上	: 昇	$(^{\circ}C)$	
旭 电	66 k	V 鉛 被	ケーブ	n	77 kV 7 ル	ミケーブル
0-1-9-70	150 mm	管 路	125 mm	管 路	150 mm	管 路
1	26	(25)	25	(25)	25	(25)
2	26	(25)	21	(25)	24	(25)
3	28	(25)	26	(25)	29	(25)
4	25	(25)	51	(60)	47	(60)
5	25	(25)	23	(25)	51	(60)
6	58	(60)	28	(25)	25	(25)
7	27	(25)	-		28	(25)

表2 通電による導体温度上昇

(注)()内の数字は目標値





--- 68 -----

高電圧3心OFケーブルのノーオフセット布設実験

25

50

39

(注) (変化幅)=(スネーク幅)-(残留スネーク幅)

150



(a) 66 kV 鉛被ケーブル (150 mm 管路)

項目	新尔 贝女	スネーク	泪庇		ス	ネ		7	
	E EG	可能幅	伽及	水	平 方	向	鉛	直 方	向
	内径	$\begin{pmatrix} 管 路 と \\ r - extsf{v} \\ \sigma extsf{v} = 0 \end{pmatrix}$	上 昇	スネーク幅	残 留 スネーク幅	変化幅変化	スネーク幅	残 留 スネーク幅	変化幅変化
5-7N	(mm)	(mm)	(°C)	(mm)	(mm)	(%) (%)	(mm)	(mm)	(%)
66 1-XI & 5	150	50	25	±25	±7	72	50	10	80
UUKV JAI (IX	125	25	25	± 12.5	± 3.5	72	25	10	60

 ± 15

 ± 19

表3 スネーク幅の変化(最大値)

表4 最大シースひずみおよび反抗力

36

56

 ± 8

 ± 8

19

34

管山	項目	最大シースひずみ	」 (曼 大 5 温 度 上	え 抗 ナ 昇 50℃	։)
ケーブル	1 _在	(温度上昇25℃)	圧	縮	弓[張
	150 mm	0.45%	2,50	0 kg	1,10	00 kg
66 kV 鉛 被	日 125 mm	0.33%	3,00	0 kg	1,70)0 kg
77 kV アルミ被	150 mm	0.18%	3,50	0 kg	75	50 kg

363

23

61

-77kVアルミ被ケーブル

40

50

10

10



大約10mmであり,スネークが分散するアルミ被ケーブルでは最 大約3mmであった。

2.2.2 シースひずみ

13

シースひずみについてはスネークによる曲げひずみと軸応力に よる軸方向のひずみの両方を考える必要があり,実験で測定され るひずみはこの両方が合成されたものである。

図4に温度上昇時におけるスネーク部分の最大シースひずみを 示した。鉛被ケーブルのひずみはある点からあまり増加しなくな るが、これはスネーク幅が管路内径で制限されて増加できなくな るためである。鉛被ケーブルの許容ひずみ(合金鉛で0.15%)に

の許容ひずみを越える。一方,77kV3心アルミ被ケーブルのシ ースひずみはアルミ被の許容ひずみ(0.25%)より小さく問題ない といえる。

2.2.3 ケーブルの反抗力

本実験においてケーブルの伸び出しを拘束するため,両固定端 で測定されるケーブルの反抗力はケーブル全長にわたる軸応力に ほぼ相当している。この軸応力によってケーブル長さ方向のひず みが生ずることになる。

鉛被ケーブルの反抗力は、1サイクル目および温度上昇60℃の サイクルにおいては、温度上昇の過程でのこぎり波状の変化を示

達する温度変化は 150 mm 管路の場合で約 7℃, 125 mm 管路の場	すが、これはスネークの急激な発生と同時に軸応力が急減するた
合で約18℃である。同図より温度変化25℃に対するシースひず	めである。そのときのスネークを生ずる反抗力は 150 mm 管路の
みの最大変化幅を求めると表4のようになる。なおこれらの最大	場合 1,600~2,500 kg, 125 mm 管路の場合 2,000~3,000 kg (いず
限のひずみはサイクルを通じてほぼ一定であり、これ以上のくり	れも圧縮力)である。2サイクル目以後の反抗力は、スネーク幅
返し温度変化においてもほとんど変わらないものと考えられる。	の急激な変化がないため、温度変化に従ってなだらかな変化をす
したがって、日間温度変化が大きいときには、66 kV 3 心鉛被ケ	る。
ーブルのシースひずみは布設の限界に近い125 mm 管路でも鉛被	一方、アルミ被ケーブルの反抗力は、スネークの発生が初めか

---- 69 -----



らゆるやかなので,全サイクルを通じてなだらかな変化を示す。 以上実験で得られたケーブルの反抗力をまとめると表4に示した ようになる。なお、引張力は温度下降時にスネークが矯正されるた めに生ずる。



ケーブル強化層断面 図 6

合に小さく,全体の約20%であり残りは軸応力による圧縮量によっ て占められている。

3.2 シースひずみ

シースひずみはスネークによる曲げひずみと軸方向の圧縮による ひずみの和であり, スネーク部のシースひずみは次の式で表わされ る。

ここに, ε: シースひずみ

εb: スネークによる最大曲げひずみ

3. ケーブル挙動の理論的考察

3.1 スネーク

3

管路内ケーブルの熱膨張はスネークと軸方向の圧縮量によって吸 収されると考えられ、次のように表わすことができる。

I_t	$I_s + I_c$.)
ここに,	I _t : 温度上昇によるケーブル伸び	
	Is: スネークによる伸び吸収量	
	Ic: 軸応力によるケーブル圧縮量	
ところで,	これらは次の式で表わされる。	

$I_t = L \alpha$	t
$I_s = \sum_{n=1}^{n} \frac{1}{2}$	$\frac{\pi^2(\delta_1^2 - \delta_0^2)}{ap} \dots \dots$
$I_c = \int_0^L dt$	$\frac{F}{AE} dL \doteq \frac{F_0 L}{AE} \dots \dots$
こに、 L:	ケーブル長さ
α:	ケーブルの線膨張係数
	(銅の線膨張係数でほぼ等価できる)
t:	温度上昇
n:	スネークの数
δ_1 :	スネーク幅
δ_0 :	残留スネーク幅
<i>p</i> :	スネークピッチ
<i>a</i> :	スネーク形状による定数
	(スネークがらせん形状の場合には, a=2, 正弦曲

εc: 軸応力による軸方向のひずみ

D: シース外径

(77 kV アルミ被ケーブルのコルゲートアルミシー

スでは,谷部の外径でほぼ等価できる。)

図5はシースひずみの分析例を示したものである。 ٤٥ および ٤ は それぞれスネークおよび反抗力の測定結果より計算した値である。 εbと εcの和はひずみの実測値とほぼ一致していることがわかり,ま た, スネーク部のシースひずみは, 軸方向の圧縮ひずみが加えられ るため、曲げの圧縮側のほうが引張側より大きくなることがわかる。 このようにして計算すると、シースひずみの大部分はスネークによ る曲げひずみで占められ、その比率は鉛被ケーブルで90~95%、ア ルミ被ケーブルで約70%になる。

4. マンホール内ケーブルの強化法

ノーオフセット布設といっても、ケーブル接続箱の配置上、マン ホール内ケーブルに最小限度の曲がりを設ける必要があることが多 く,この曲がりもオフセットと呼ばれている。ノーオフセット布設 方式ではこのオフセット部ケーブルを強化して, マンホール内への ケーブル伸び出しを拘束することが考えられる。現地の作業ではオ フセットを所定の形状に正確につくることが非常に困難なため、ケ ーブルを強化する施工法は現場合わせに適し、かつ作業性、経済性 が満足されるものでなければならない。次に今回開発したケーブル の強化法とその特性について述べる。

4.1 強化層の構成

— 70 —

開発したケーブルの強化層は図6に示すような断面構成である。 すなわち、鋼線をケーブル外周に縦添えさせ、各層間にガラステー プを巻きつけて最外層をビニルシートでおおい、注入口よりポリエ

線の場合には、a=4をとる。) *F*: ケーブル軸応力 F_0 : ケーブル固定端の反抗力 E: ケーブルの等価弾性係数 これらにより,スネークの状態,スネークによる伸び吸収量など をある程度推定することができる。(3),(4)式よりケーブルの伸 び吸収量を計算すると,両ケーブルともスネークによる吸収量は割

ステル樹脂を注入して硬化させるものである。鋼線の縦添えに際し ては、あらかじめ鋼線をすだれ編みにし、ケーブルを包むようにす ると非常に作業性が良い。また、ポリエステル樹脂については、硬 化時間および浸透性を適当に保つため、配合剤および粘度を検討し て注入条件を選んだ。 なお、この施工法は、さきに中部電力株式会社志賀本町線に対し て実施された鋼テープとエポキシ樹脂を積層する工法(1)(2)よりヒン



(77 kV アルミ被ケーブル)

図7 管路ロケーブル移動量と強化オフセット反抗力

365

トを得て, さらに作業性, 経済性および安全衛生の点に改善を図ったものである。

4.2 強化特性

1.5

77 kV 3 心アルミ被ケーブルを用い,図7 に示す2 種類のオフセ ット部に強化層を施工して,伸縮によって生ずるオフセットの反抗 力を検討する実験を行なった。強化してもケーブルの伸縮移動を完 全に押えられるわけではないが,管路ロケーブル移動量と強化した オフセットの反抗力の関係は図7 に示すとおりであり,強化層の施 工によってオフセット部の反抗力はきわめて大きくなっており,伸 び出しを拘束できることがわかった。

つづいて実際の負荷を模擬して強化したオフセットのくり返し荷 重実験を行なった。くり返し荷重としては,1,000~3,500 kg (圧縮 力)の範囲の変動を与えた。なおこの荷重はアルミ被ケーブルの通 電実験において,温度変化25℃区間で得られたケーブルの反抗力 である。その結果,強化したオフセットの変形量は数サイクル後に 安定し,そのときの管路ロケーブル移動量(変化量)はオフセット大 の場合でもわずか3.5 mmである。一方強化したオフセット部のケ ーブルシースひずみは図8に示すように最大値でも0.1%で管路内 ケーブルのシースひずみより小さくなっている。したがってこの方 法はオフセット部のケーブル強化層として十分なものである。

さらに,図9に示すように,アルミ被ケーブル120mの一端に 設けたオフセットに強化層を施工して通電実験を行なった。その結 果,くり返し荷重実験と同じ成果を得たので,本強化法の実用性を 確認することができた。

5. 結 言

ノーオフセット布設の実験および検討結果をまとめると次のよう



(77 kV アルミ被ケーブル)

図 9 強化オフセットの通電実験状況

ずかなうねりぐせにしたがいほぼ全長に分布して発生する ため,シースひずみも小さくなり,このケーブルではノー オフセット布設が可能である。

- (3) アルミ被ケーブルの伸び出しをマンホール内で拘束するに 要する力は 3,500 kg 程度である。
- (4) ケーブルの熱膨張のうち、スネークによって吸収されるものは全体の約20%だけであり、残りはケーブル自体の圧縮となる。シースひずみについてはスネークによる曲げひずみが大部分を占めている。
- (5) マンホール内ケーブルの強化法として作業性および経済性 にすぐれた新しい工法を開発した。

終わりに本研究に対して種々ご指導いただいた中部電力株式会社

になる。	関係者各位にお礼申し上げるとともに、日立電線株式会社沼尻主任				
(1) 66 kV 3 心鉛被 OF ケーブルのスネークは管路内の数個所	府 研究員,遠藤茂氏のご援助に対して謝意を表する次第である。				
に集中して発生し,日間温度変化が大きいと予想される場	参考文献				
合のシースひずみは許容値を上回った。	(1) 林,網野,沢: 日立評論 48,1326 (昭41-11)				
(2) 77 kV 3 心アルミ被 OF ケーブルのスネークは布設時のわ	(2) 沢, 卜部, 高橋: 電学東京支大 229 (昭 41-11)				
	71				