

33 kV 系統への OF ケーブルの適用

Application of Oil Filled Cable to 33 kV System

林 秀 雄* 網 野 弘** 沢 孝 雄**
Hideo Hayashi Hiroshi Amino Takao Sawa

要 旨

わが国の 33 kV 系統では主として SL ケーブルが用いられその他のケーブルの使用は少ない。今回、中部電力株式会社の志賀本町線に扇形導体 OF ケーブル約 4,000 m を布設したが、これが 33 kV 系統へ OF ケーブルを多量に使用した最初のものである。扇形導体 OF ケーブルは、同一サイズの SL ケーブルなどに比較すると、送電容量が約 15% 大きくとれ、しかも 1 回線当たりの容量も管径を 125 mm におさえても 20 MVA はとれ、経済的な設計を行なえるという点に特長がある。このケーブルを従来の SL ケーブル用人孔に布設するにはケーブルの熱伸縮によるケーブルシースのひずみを押える工法が必要であるが、本報告ではノーオフセット方式で解決した詳細を述べる。

1. 緒 言

わが国では OF ケーブルは 66 kV 以上の電圧域においては広く用いられているが、それ以下の電圧においてはほとんど使用例がない。すなわち OF ケーブルがわが国で使用されはじめたのが、おもに 66~77 kV であり、それ以下の電圧では往時は OF ケーブルが必ずしも経済的にも、技術的にも他の SL ケーブルや低ガス圧ケーブルに比較して有利ではないと考えられていたためである。最近では都市の電力需要密度が高くなると SL ケーブルや低ガス圧ケーブルに比較して送電容量の大きくとれる OF ケーブルを採用することが、配電変電設備の単基容量を増すことを可能にし、総合的な見地から、経済的な設計を行ないることが明らかとなってきた。33 kV において従来の SL ケーブルでは 1 回線 10 MVA を限度とした容量を扇形導体 OF ケーブルを用いることによって、25 MVA に増大し経済的な新しい設計を行なうことができる。中部電力株式会社においてはこの方式を志賀本町線に採用した。以下その概要を述べる。

2. 扇形導体 OF ケーブル

66 kV 以上の 3 心 OF ケーブルはすべて円形導体であり、扇形導体を用いた例はない。導体断面積の大きいケーブルに扇形導体を採用することは経済的にきわめて有利である。33 kV においては絶縁厚さ 4 mm 以下であり、絶縁層の紙巻後のより合わせにより、絶縁層のしわの発生は少ない。すなわち導体の形状をすべての面で外側に凸の曲率をもたせるように考えれば、紙巻時のしわの発生はさげられ安定した性能が得られる。事実イギリスにおいては 33 kV の 3 心ケーブルはすべて扇形導体⁽¹⁾である。日立電線株式会社ではすでにマラヤ中央電気庁に 33 kV 3 心 0.6 スケアインチ (400 mm²) 扇形導体 OF ケーブルをイギリス仕様で納入したが、円形導体ケーブルとの性能の差は認められなかった。

扇形導体とすると同時により合間げきをすべて油通路として利用すれば、油通路用スパイラル管を用いる必要はなく油流抵抗が軽減され給油区間長が長くとれる。この構造のケーブルは鉛被ケーブルでも可能であるが鉛被がより合間げきに落ちこむことを避ける点に製造上の問題がある。アルミ被ケーブルでは油通路スパイラルのない構造でも製造上の難点はまったくない。

表 1 ケーブル外径および引入可能管径

ケーブル種別 サイズ (mm ²)	SLN ケーブル 外径 (mm)	OF ケーブル 外径 (mm)	管径による制限
150	80	68	100 mm 管可能
200	85	74	
250	90	72	
325	97	78	125 mm 管可能
400	—	82	
500	—	86	
600	—	90	

3. 33 kV における OF ケーブルと SL ケーブルの比較

3.1 製造および布設上の制約によって決まる最大サイズ

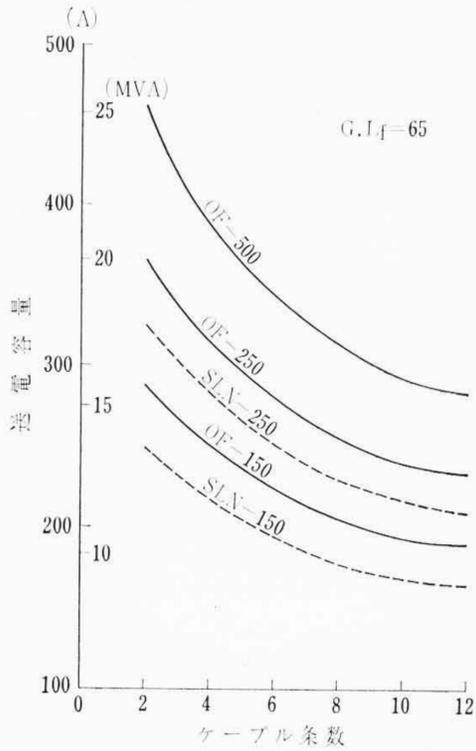
33 kV において一般に使用されている防食 SL ケーブル (SLN) と扇形導体アルミ被 OF ケーブルの導体断面積別のケーブル外径を示すと表 1 のようになる。SL ケーブルは規格では 325 mm² までであるが製造上の最大サイズは 400 mm² 程度と考えられる。一方扇形導体 OF ケーブルにおいては製造上の最大サイズは 600 mm² と考えられる。管径によって布設可能な最大サイズが決まるがその値は表 1 に示すとおりである。新設される管路以外についてみればわが国の 33 kV ケーブル以下を対象とした管路は 125 mm 以下のものが多い。125 mm 管路の布設上の最大サイズは SL ケーブルでは 250 mm² であり、扇形導体 OF ケーブルでは 500 mm² となる。150 mm 管路では SL ケーブル 325 mm²、扇形導体 OF ケーブルで 600 mm² となる。同一管径に対し扇形導体 OF ケーブルは SL ケーブルの導体断面積の約 2 倍のケーブルを布設することが可能である。このことは後述のように既設管路などで管径が与えられ、しかも送電容量を大きくとる必要がある場合には扇形導体 OF ケーブルを使用することがきわめて有利なることを示している。

3.2 送電容量の比較

33 kV SL ケーブルでは 65°C が許容導体温度であるのに対し、OF ケーブルでは 80°C である。ケーブルの絶縁厚さは SL ケーブルにおいて 7.5 mm であり、OF ケーブルでは 3.75 mm である。これは絶縁体部分の熱抵抗に差があることになる。シース渦電流損失は SL ケーブルではほとんど無視できるのに対し、アルミ被 OF ケーブルでは導体断面積 500 mm² を例にとると、導体損失の約 10% である。両者の許容電流を求めれば図 1 の結果となる。管路孔数にもよるが同一サイズにおいて扇形導体 OF ケーブルでは約 15% の増加が可能となる。既設管路ですでにほかの管が低圧ケーブルや SL ケーブルなどによって占められている場合は、新しく布設するケーブルの発熱量は他のケーブルの送電容量を減少させないように制限

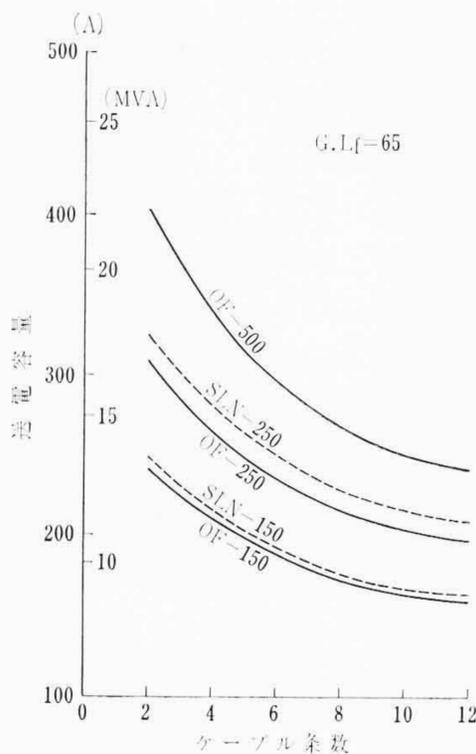
* 中部電力株式会社

** 日立電線株式会社日高工場



(OFケーブルの発熱量に制限を加えない場合)

図1 33 kV 扇形導体OFケーブルとSLケーブルの送電容量の比較



(OFケーブルの発熱量をSLケーブルと同一に制限した場合)

図2 33 kV 扇形導体OFケーブルとSLケーブルの送電容量の比較

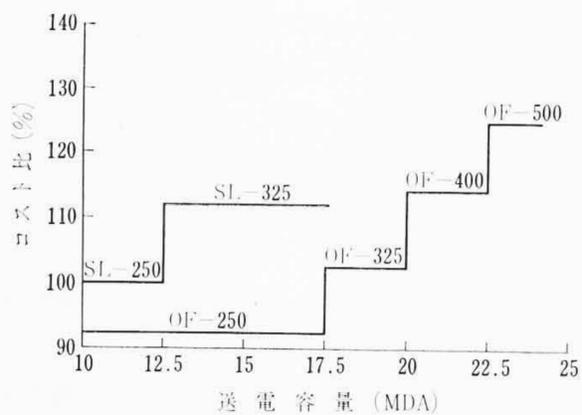


図3 33 kV 扇形導体OFケーブルとSLケーブルの経済比較

することが必要である。したがってSLケーブルの代替品として布設する場合は他回線の送電容量を保証するため、扇形導体OFケーブルの発熱量も制限をうけ、最高許容温度80°Cまでは使用できな

表2 SLNケーブルと扇形導体OFケーブル送電容量比較(同一管径の場合)

ケーブル種別	SLNケーブル	扇形導体OFケーブル	比率
管 路 径	125 mm	4 孔 式	—
引 入 可 能 サ イ ズ	250 mm ²	500 mm ²	—
送電容量	発熱量制限なし	394 A	$\frac{OF}{SLN}=1.40$
	同一発熱量	346 A	$\frac{OF}{SLN}=1.23$

い。発熱量をSLケーブルと等価と考えた場合両者の送電容量は図2のようになる。シース損失分だけ扇形導体アルミ被OFケーブルが不利となるが導体サイズ250 mm²で約5%であり大きな差はない。

つぎに管径が決められて、より大きい送電容量を得ようとする場合について比較する。管径を125 mmと仮定した場合引入可能なケーブルサイズはSLケーブルで250 mm²、OFケーブルで500 mm²となる。両者の送電容量を比較すると、表2のようになり、OFケーブルでは少なくとも20%以上大きな送電容量が得られる。

3.3 経 済 比 較

SLケーブルと扇形導体OFケーブルを経済面から比較する。条件の選び方で結果に差を生ずるが、次のように設定した。

- (1) 送電容量は10 MVAより25 MVAまでを考え、それに見合う導体サイズについて検討する。
- (2) 管路孔数は6孔式管路4条の負荷ケーブルを持つものとする。
- (3) 線路の長さは4,000 mとする。
線路の長さが短い場合にはSLケーブルが有利である。OFケーブルは給油槽、終端箱、接続箱などの付属品が高価であり、1,000 m以下の線路では明らかにSLケーブルより不利である。今回の比較の対象は変電所間連系線とし、線路長を4,000 mとした。またケーブル単長は300 mとしている。
- (4) 経済比較の範囲はすべてのケーブル、付属品の納入、布設工事費用いっさいを含むものとした。しかし管路などの構築費は両者とも同等と考え除いている。
- (5) ケーブル価格のうちに占める銅の比率が大きいため、銅価格によって結果が左右される。今回の比較ではトン当たり34万円を設定してケーブルコストを算出した。

銅価格が上記の値より高い場合には導体サイズの大きい扇形導体OFケーブルは相対的に不利となる。結果を図3に示す。ケーブルサイズが同一である場合はOFケーブルのほうがわずかに安く、同一送電容量の要求に対しSLケーブルの導体サイズが一段あがった場合にはOFケーブルが約15%安くなる。

4. 志賀本町線 OF ケーブルの設計

4.1 潮流および管路

志賀変電所および本町変電所付近の潮流予想図を図4に示す。新設連系線は送電容量として20 MVAを必要とし、またすでに布設済のSLケーブルの送電容量は10 MVAを確保することを条件に、ケーブル種別とサイズが選定された。途中の管路は6孔ないし12孔であり新設部分を除き管径は125 mmであった。最終的に志賀変電所側530 mは500 mm²、その他の部分は400 mm²の33 kV扇形導体OFケーブルが採用された。

4.2 ケーブルの仕様

わが国では33 kV OFケーブルの絶縁厚さは規格化されていないが、イギリスなどの実績⁽²⁾をみると33 kV系統のBILを198 kV

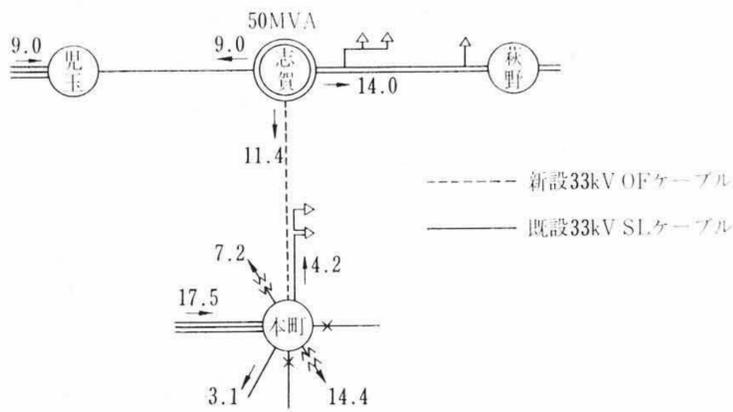


図4 志賀(変), 本町(変)付近の潮流図 (41/8 予想)

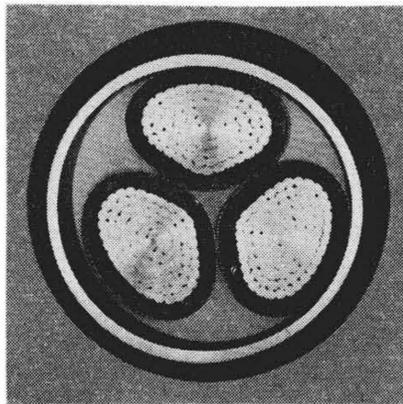


図5 33 kV 3,500 mm² 扇形 導体アルミ被OFケーブル

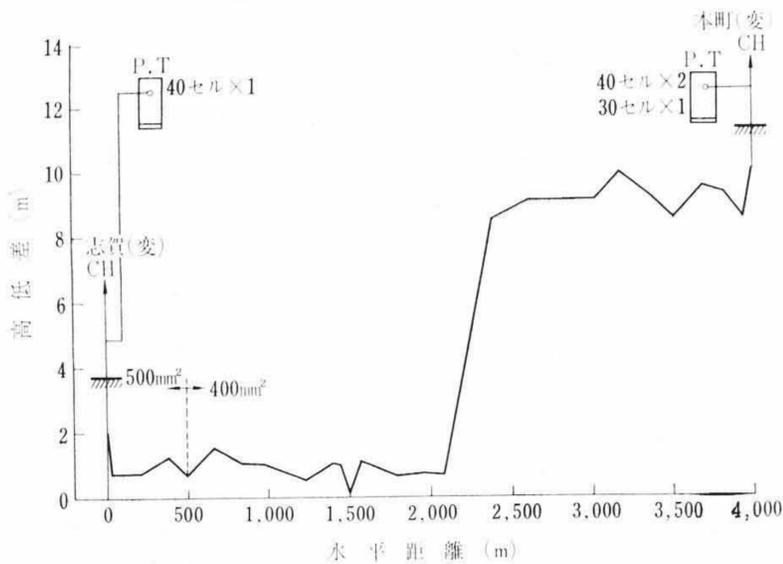


図6 志賀一本町線高低図

として0.13インチ (3.3mm 相当) を採用している。

わが国では33 kV 系統のBILとして200 kV をとり、しかも77 kV などのケーブルではインパルス耐電圧試験値としてさらに BIL の20% あげた値をとっている。今回もその習慣に従いケーブルのインパルス耐電圧試験値を240 kV とした。絶縁厚さはケーブル導体の最小曲率部において最高電位傾度が90 kV/mm をこえないように3.75mm とした。その他のケーブル構造部は導体の形状が扇形である点を除きまったく66~77 kV ケーブルと同一である。ケーブルの最終構造を表3に、またケーブルの断面を図5に示す。表4は77 kV ケーブルに準じて規定したケーブル性能を示したものである。

なお本ケーブルの普通接続箱の導体接続スリーブにははんだ方式を使用している。接続部の全長を1,200 mm におさえ後述するようにノーオフセット方式を採るため、アルミ被と接続銅管は機械的に固定し、鉛工部は機械的応力を分担しないような構造とした。

4.3 ケーブル性能

製品の試験結果は表5に示すように設計上予想した値が得られた。

表3 33 kV 扇形導体アルミ被OFケーブル構造表

項目	単位	数 値							
導 体	公称断面積	mm ²	150	200	250	325	400	500	600
	形 状	—	円形圧縮				扇形圧縮		
体	扇形高さ	mm	14.7	17.0	17.4	20.4	22.1	24.1	26.0
	絶縁	カーボン紙 絶縁 カーボン紙	3.75						
遮へい層厚さ	mm	0.25							
より合径(約)	mm	49.0	54.0	52.0	58.0	61.4	65.6	69.2	
アルミ被	厚 さ	mm	1.6	1.7	1.7	1.8	1.9	2.0	2.0
	谷 径(約)	mm	52.2	57.4	55.4	61.6	65.2	69.4	73.2
	山 径(約)	mm	59.4	65.0	63.0	69.2	73.2	77.4	81.2
ポリエチレン厚さ	mm	3.5							
仕 上 外 径	mm	68	74	72	78	82	86	90	

表4 33 kV 扇形導体アルミ被OFケーブル性能表

項目	単位	規 格 値		
導 体	公称断面積	mm ²	500	400
	抵抗 (20℃)	Ω/km 以下	0.0366	0.0457
絶縁抵抗 (20℃)	MΩ-km 以上	5,200	5,800	
標準静電容量 (20℃)	μF/km	0.96	0.87	
絶 縁 耐 力	kV/min	50/10		
誘 電 正 接		19.1 kV 38.1 kV で0.4% 以下 両測定値間の差0.1% 以下		
防 食 層	絶縁抵抗 (20℃)	MΩ-km 以上	0.05	
	絶縁耐力	kV/min	3/1	
耐 曲 げ 性	—	1) アルミ被ならびに外装表面にき裂を生じないこと 2) 絶縁紙は任意の10層中3層以上裂けないこと 3) 絶縁厚さは構造検査値の90%以上あること 4) 遮へい金属テープにき裂を生じないこと		
長時間絶縁耐力	kV/h	75/3		
誘電正接温度特性	(°C) (% 以下)	室温~95°C (19.1 kV 38.1 kV の測定値の差は0.10% 以下とする。参考試験としては47.8 kV に対し温度特性を測定する。) 0.4		
衝 撃 電 圧	絶 縁 体	kV/回	240/3 (常温および80°C ただし80°C における試験は参考試験)	
	防 食 層	kV/回	40/3	

表5 試 験 成 績

項目	単位	500 mm ² ケーブル	400 mm ² ケーブル
長時間耐圧	kV/h	120/1.05	120/05
衝撃耐電圧	kV/回	330/1……常温 320/1……高温	330/1

4.4 給油系統

扇形導体OFケーブルの油通路の油流抵抗は、扇形導体の曲率によって大幅に変化する⁽³⁾。今回の設計ではケーブルの導体曲率を8 mm としたため全長4,300 m を両端のみから給油することが可能であった。ルート的高低および給油槽容量を図6に示す。

5. ノーオフセット布設

志賀本町線に布設された33 kV 扇形導体アルミ被OFケーブルは、従来使われていたソリッドケーブル用マンホールに布設されたため、十分なオフセット布設ができなかった。この解決策としてケーブル外周にエポキシ樹脂をガラステープ、鉄テープとともに積層固化し、コルセットとしたノーオフセット方式を開発し、実布設に採用し良好な結果を得た。

コルセットを装着したケーブルの曲げ剛性を検討した結果の一例を図7に示した。

図7よりコルセットの種類により曲げ剛性を著しく大きくできる

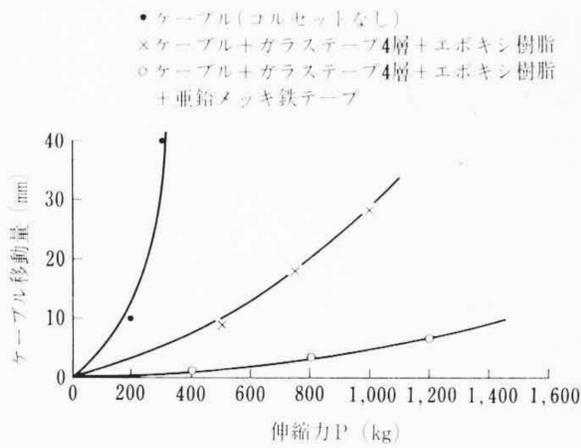


図7 伸縮力とケーブル移動量

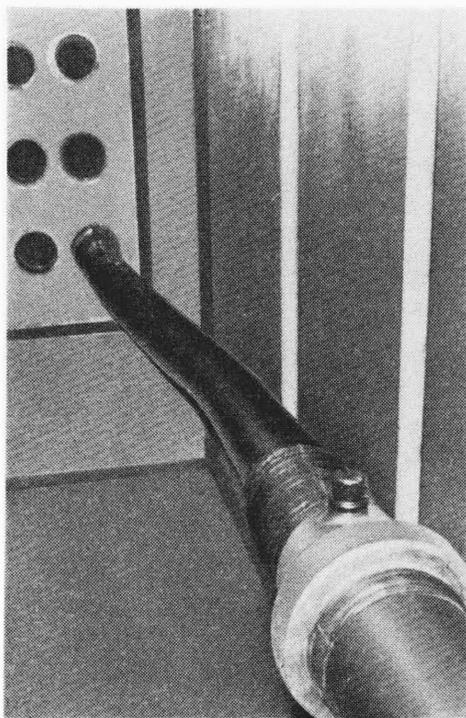


図8 志賀-本町線 33 kV アルミ被 OF ケーブルのノーオフセット布設状況

ことがわかる。さらに検討を加えた結果、ケーブルの熱伸縮力を拘束することにより、オフセット部のアルミ被ひずみを許容値以内におさめることができた。

実布設に先だって長さ 10 m の管路に 33 kV 3×400 mm² 扇形導体アルミ被 OF ケーブルを布設した。また、マンホール内では幅 400 mm、長さ 1,300 mm のオフセットを設け厚さ 20 mm のコルセットを積層し、接続箱を固定して型式試験を行なった。試験は熱伸縮により発生すると考えられる伸縮力 3.5 t を機械的に 500 回繰返し印加して各部のひずみを測定した。管路内およびオフセット部ケーブルのひずみの最大値は、0.16% で許容値 0.25% に対し十分余裕があることがわかった。また繰返しに対してもひずみの進行現象がみられず長期間の使用に耐えうる事が想定された。

志賀本町線のルートは、接続マンホール20箇所、引通しマンホール13箇所構成されており、マンホール内のケーブル部はすべて 20 mm 厚さのコルセットで積層された。コルセットの布設状況は図8に示すとおりである。

ルートのほぼ中間にある引通しマンホールを含む3マンホールおよび管路内のケーブルに、ストレインゲージを取り付けて実負荷によるひずみの測定およびケーブル移動量の測定を行なった。

図9はその測定結果である。

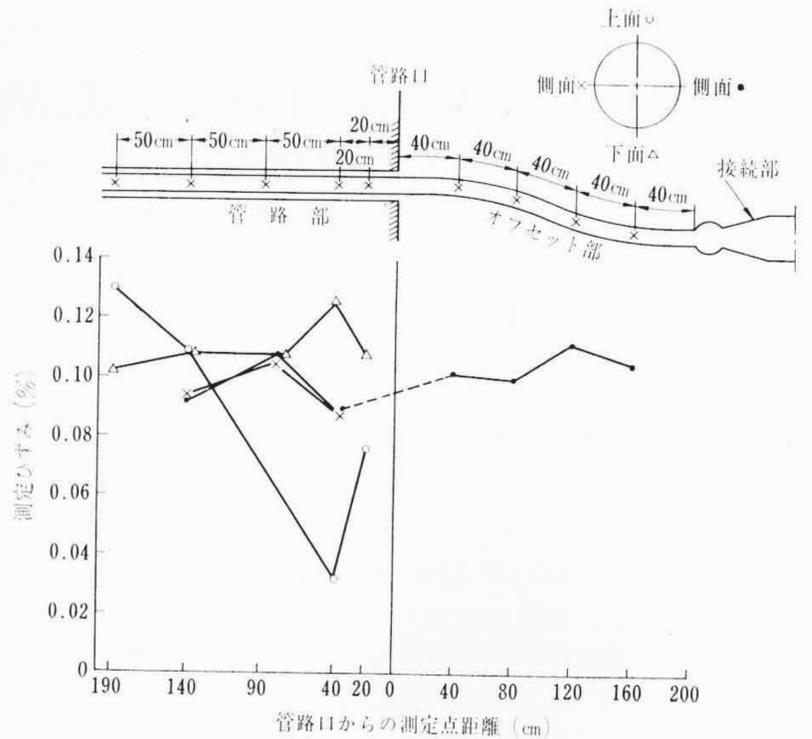


図9 実負荷試験時測定最大ひずみ値

実負荷の変動は比較的大きかったが測定ひずみの最大値は、0.135% であり、また、マンホール内へのケーブル伸び出し量は、1 mm 以下であることがわかった。さらに各部のひずみがほぼ均等であることも判明し今後の使用に対して信頼性が確認された。

本方式の採用により十分なオフセットがとれない場合でも、ケーブル金属被ひずみを許容値以内におさめることができ、布設も容易でかつ経済的である。

本方式の詳細な説明は、稿をあらためて行なう予定である。なお本方式を採用したノーオフセット布設方式は現在特許出願中である。

6. 結 言

33 kV の変電所間連系線に扇形導体 OF ケーブルを使用し次の事項を確認した。

- (1) SLN ケーブルと比較して同一導体断面積で約 15% 送電容量を増加できる。
- (2) 125 mm 管路においては、従来の SLN ケーブルでは送電容量として 15 MVA が限度であったが、扇形導体 OF ケーブルを用いれば 20 MVA は十分可能である。
- (3) 15 MVA 以上の送電容量の線路としては、経済的にも SLN ケーブルより扇形導体 OF ケーブルが有利とみられる。
- (4) 従来の SLN ケーブル用人孔にもノーオフセット方式を用いることにより、扇形導体 OF ケーブルを布設することが可能でありその簡便な方法を開発し実用した。

最後にケーブルの布設に当たり、ご協力いただいた中部電力株式会社送電課および名古屋支店地中線課の関係各位に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) A. N. Arman, F. J. Miranda, G. R. Bishop: P. I. E. E. 108, Part. A, No. 42, 453 (Dec. 1961)
- (2) C. C. Barnes: Electrical Times, 2 (Jan. 1958)
- (3) 今井: 電気学会誌, 85, 836 (昭40)