

関西電力株式会社 枚方線 2号線 275 kV 1×1,500 mm²

OF ケーブル および 風 冷 装 置

275 kV Single Core 1,500 mm² Oil-filled Cable and Forced Air Cooling Apparatus for Kansai Electric Power Co.

寺田 茂雄* Shigeo Terada
 鈴木 利彦* Toshihiko Suzuki
 橋本 博治** Hiroji Hashimoto
 比企野 恭二*** Kyôji Hikino
 渡辺 靖明*** Yasuaki Watanabe

要 旨

枚方線 2号線 275 kV 1×1,500 mm² OF ケーブルは北大阪変電所構内に布設され、枚方変電所と宝塚変電所を連絡する超高圧架空送電線の中間にそう入接続されたものである。ケーブル亘長は約 380 m で、架空線の電流容量 1,430 A (680 MVA) に見合った許容電流を得るため、超高圧ケーブルとして初めて本格的な強制風冷を併用して送電容量を約 30% 増大した。

1. 緒 言

電力需要の急増に対応して、近年、単機容量 500 MW 以上の大容量発電機を設置した発電所が建設されている。このような発電機の大容量化に伴って、送電線に要求される送電容量も年々増大してきている。地中ケーブルについても全く同様の傾向にあり、数年前から 1,000~2,000 mm² の大サイズケーブルが各所に使用されるようになった⁽¹⁾。さらに強制冷却によって送電容量の増大を図ることが検討され⁽²⁾、一部で実用されている。

275 kV 大サイズケーブルでも通常の布設方式では 600 MVA/回線以上の送電容量を得ることは困難であり、これ以上の送電容量を得るためにはなんらかの強制冷却を併用することが必要になってくる。したがって、今後、大容量発電所の建設が進むにつれて強制冷却が各所で行なわれるものと考えられる。

枚方線 2号線は超高圧としてわが国最大サイズの OF ケーブルであるとともに、初めて本格的な自動運転風冷装置を設けたものである。以下、ケーブルおよび風冷装置の構造と機能などについて述べる。

2. ケーブルの構造と特性

2.1 ケーブルの構造

ケーブルは 275 kV 1×1,500 mm² 鉛被クロロブレン防食 OF ケーブルで、表 1 および図 1 に示すような構造をもっている。このケーブルは中空 6 分割導体で構成され、その上にステンステープによるバインダが施され、表面平滑で導体が円形をなすように設計されている。

銅が共存する場合、磁油の誘電正接の増大が促進されることはよく知られている⁽³⁾。超高圧ケーブルにおいては誘電正接の増大は許容電流にも影響するので極力これを避ける必要がある。このため導体の素線にはすずめっきを行なった。絶縁紙には脱イオン水洗低損失紙を使用して誘電正接の低減を図った。絶縁紙には 80~150 μ 厚のものを使用し、これをグレーディングした。導体上にはインパルス強度が高く機械的強度も大きなスーパーカレンダー紙を用いた。

大サイズケーブルでは絶縁層外側の電位傾度が高い。また、ケーブルを曲げた状態では鉛被と絶縁体の間に油隙(げき)を生ずるが、大サイズケーブルではこの傾向が比較的著しい。したがって、大サ

表 1 ケーブル構造表

項 目	単 位	数 値
油 通 路	内 径	mm 14.0
	厚 さ	mm 0.8
	外 径	mm 15.6
導 体	公 称 断 面 積	mm ² 1,500
	形 状	— 6 分割中空より線
	バ イ ン ダ 材 質	— 非磁性ステンレス
	外 径	mm 52.6
絶 縁 体 厚 さ	mm	22.0
遮 へ い 層 厚 さ (約)	mm	0.3
鉛 被 厚 さ	mm	3.9
座 床 層 厚 さ (約)	mm	0.5
補 強 層 厚 さ	mm	0.4
ク ロ ロ ブ レ ン 層 厚 さ	mm	4.0
布 テ ー プ 層 厚 さ	mm	1.0
概 算 外 径	mm	118
概 算 重 量	kg/km	41,000
標 準 静 電 容 量 (20℃)	μ F/km	0.35
最 小 絶 縁 抵 抗 (20℃)	M Ω -km	20,000
最 大 導 体 抵 抗 (20℃)	Ω /km	0.0122

注：絶縁体厚さには導体上および絶縁体上カーボン紙各 0.3 mm を含む。

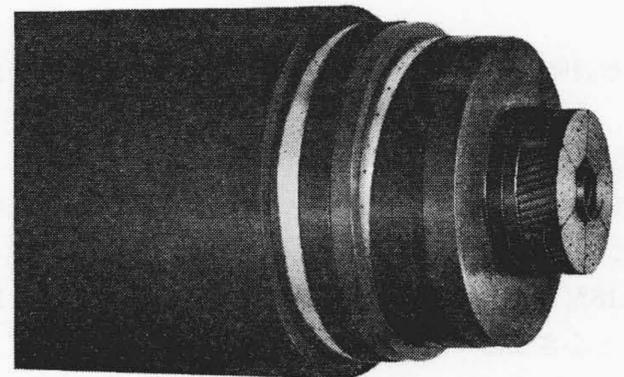


図 1 275 kV 1×1,500 mm² 6 分割導体鉛被クロロブレン防食 OF ケーブル

イズケーブルでは絶縁体上の遮へいが重要になる。カーボン紙のみによる遮へいではインパルス電圧に対して十分ではなく、金属による遮へい層が有効である。このため絶縁層に対する密着性においてもすぐれている金属化成紙による遮へい層を設けた。

鉛被は関西電力株式会社規格どおり E 合金鉛被である。被鉛作業に当たっては分光分析装置を実作業に適用して偏析の管理を行なった。

クロロブレン防食層表面には幅 5 mm の黄色線を全長に刷り込み

* 関西電力株式会社

** 日立電線株式会社日高工場 工学博士

*** 日立電線株式会社日高工場

表2 形式認定試験結果

項目		単位	試験結果					
材料試験	導体抵抗 (20℃)	Ω/km	0.0119					
	静電容量 (20℃)	μF/km	0.321					
	交流耐電圧	絶縁体	kV・分	350・10 良				
		防食層	kV・分	4・1 良				
	絶縁抵抗 (20℃)	絶縁体	MΩ-km	75,000				
		防食層	MΩ-m	370				
	誘電正接	159 kV	%	0.180				
		318 kV	%	0.224				
	ガス放出係数	—	0.0290					
	曲げ試験	—	鉛被外径の19倍・良					
絶縁体耐電圧	長時間 (常温)	kV・h	655・2分					
	衝撃電圧 (常温)	kV・回	1,790・2					
防食層耐電圧	衝撃電圧 (常温)	kV・回	95・1					
試験	誘電正接	測定電圧	kV	159	318			
		温度特性	測定値	23℃	0.180	0.225		
	40℃			0.165	0.210			
	60℃			0.156	0.200			
	80℃			0.179	0.224			
	95℃			0.240	0.285			
絶縁油特性	粘度	測定温度	℃	0	20	40	60	80
		測定値	C・P	59.2	17.3	7.2	3.7	2.4
	破壊電圧 (80℃)	kV	75.1/2.5 mm					
	腐食性	—	変色なし・良					
防食層物理特性	引張り	強さ	kg/mm ²	1.16				
		伸び	%	517				
	老化残率	%	強さ 96.7 伸び 96.2					
	耐油残率	%	強さ 84.3 伸び 78.0					
	難燃性	—	良					
油圧試験	kg/cm ²	54						
プーリングアイ抗張力	t・h	32・0						
参考試験	横圧, ねじり, 外傷を加えた試料で長時間耐電圧試験	kV・h	640・16分					
	鉛被外径の15倍極度曲げ試料で衝撃電圧試験	kV・回	1,730・3					

ケーブル布設時にねじれを生じた場合これを容易に観察できるようにした。

2.2 工場試験結果

形式認定試験結果は表2に示すとおりである。低損失紙を大幅に採用しているため誘電正接特性は良好で、図2に示すとおり159kV 80℃で0.18%と低い値である。また、静電容量から求めた比誘電率も3.48%と小さな値であった。

参考試験としてはケーブルに10.5t/mの横圧, 続いて10mに1回転の割合のねじりを加え, さらに外傷をあたえた試料について交流長時間耐電圧試験を実施した。また、鉛被外径の15倍の極度曲げを行なった試料についてインパルス耐電圧試験を行なった。しかし、電気的特性の低下は特に認められず、解体検査においても絶縁紙のしわや切れは認められなかった。

3. 耐雷設計

このケーブルはわが国で初めて架空送電線の中にそう入された超高圧ケーブルであり、しかも雷撃ひん度の高い山間部に布設されるため耐雷設計についても十分検討した。

図3に示すとおり避雷器がケーブルの一端に設置されているもの

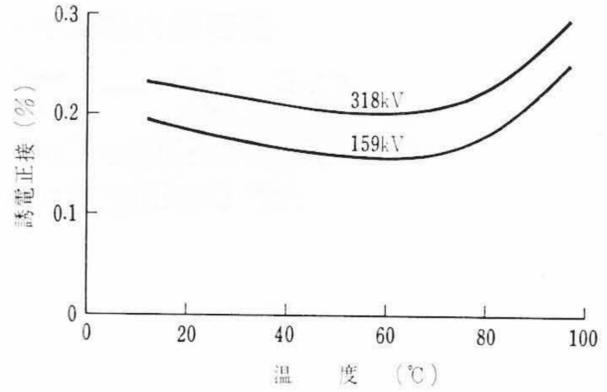


図2 誘電正接—温度特性

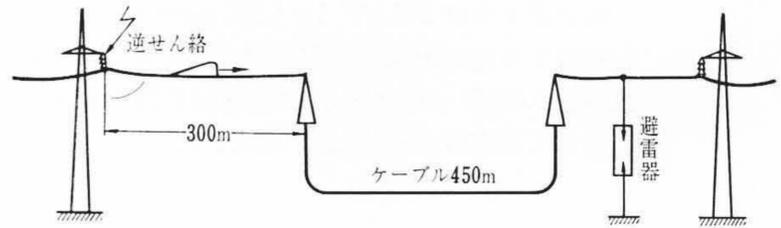


図3 サージ計算回路条件

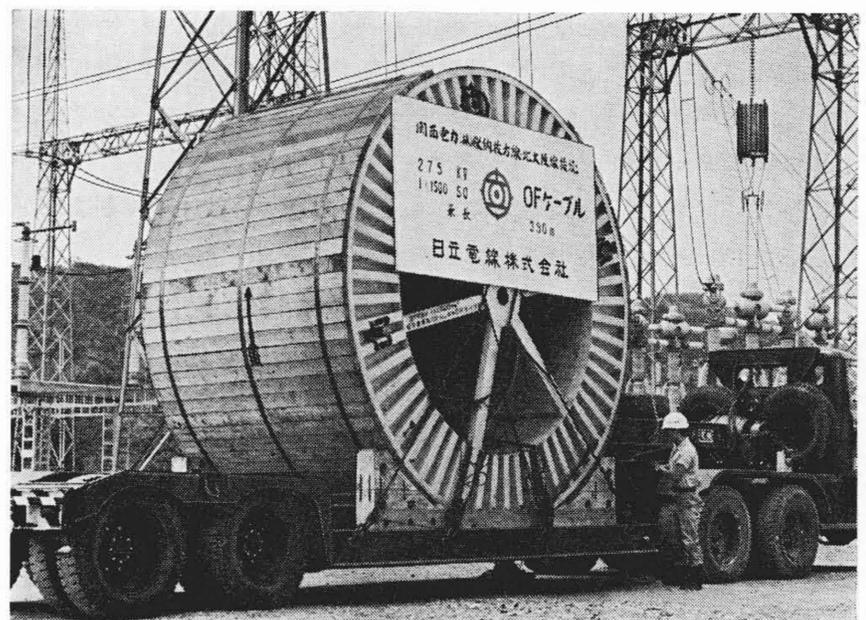


図4 ケーブルドラムの輸送状況

とし、他端から300mの地点にある架空線鉄塔で逆せん絡を生じたものと仮定した。

雷撃電流は100kA, 侵入サージ波高値は1,500kV 波形は1×20 μsと想定した。避雷器の特性としてはJEC-156の定格電圧266kV, 公称放電電流10kAのv-i特性を直線近似して計算に用いた。

この結果ケーブルの電圧は1,200kV以上に達することがわかった。このため避雷器をケーブルの両端に設置することとした。

4. 布設工事

ケーブルは工場からトレーラによって現地へ輸送された。鋼製ドラムを使用し、つば径3,800mm, 外幅2,400mm, ドラム込み総重量は約18tであった。

北大阪変電所は標高約150mの高地にあり、平地から変電所に至る山間道路は狭いうえに曲がりの多いルートであった。このため、実際のケーブル運搬に先立ちあらかじめ大形模擬ドラムをトレーラに積載して試送を行なった。図4はケーブルドラムの輸送状況を示したものである。

ケーブルは変電所構内に構築された全長380mの暗渠(あんきょ)内に布設された。暗渠の構造は図5に示すとおりである。重量が約41kg/mときわめて重いケーブルであり、延線に当たってのコロの

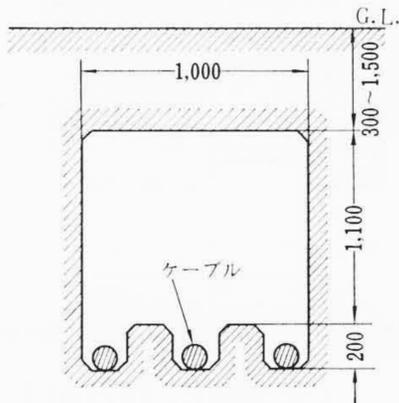


図 5 暗渠の構造

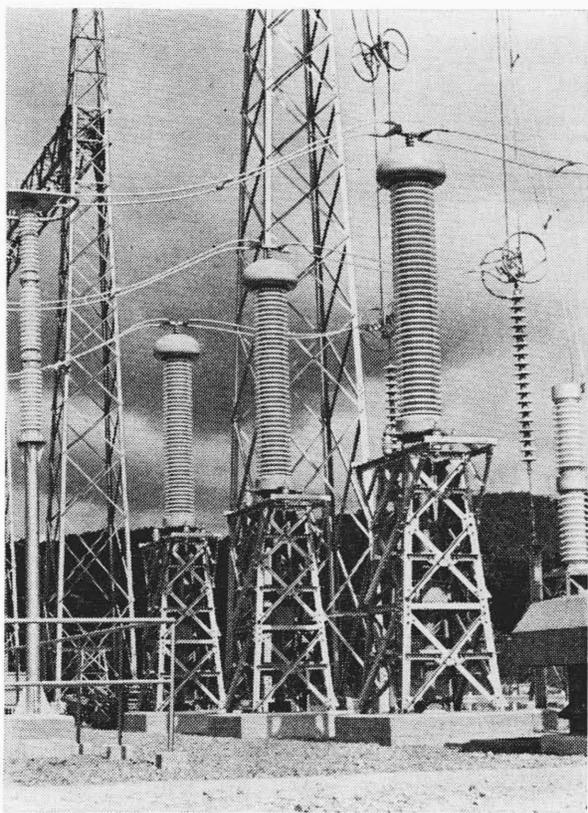


図 6 完成したケーブル終端箱

配置間隔などはあらかじめ行なった工場内の実験から決定された。ケーブルに局部的な横圧を加えないよう特に注意し、暗渠内の曲がり部では壁面に鋼板を張ってすべり板とするなどの処置をとった。ケーブルの引き入れに当たってはドラム側にキャタピラを配置し、ドラムからのケーブルの引き出しをキャタピラで行なうようにした。この方法ではドラムには軽くブレーキをかけておくだけでよく、ドラム側に配置する人員を大幅に減少することができるのとともきわめて円滑な引き入れ作業が可能となった⁽⁴⁾。

ケーブル終端箱完成状況を図 6 に示す。

5. 風 冷 装 置

5.1 基本設計

ケーブル布設用暗渠は変電所敷地端のがけの上に構築されたので地下水による熱抵抗の低減は期待できなかった。風冷なしでは許容電流は

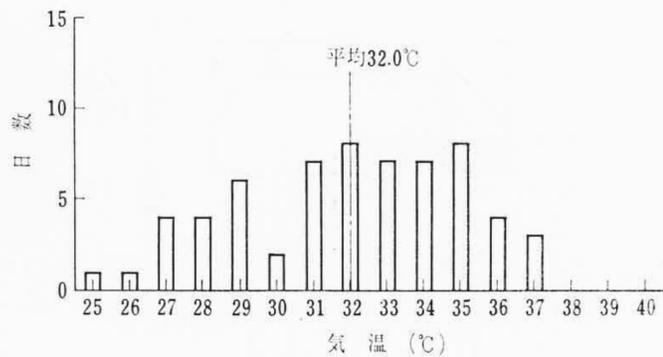
$$L_f=1 \quad \text{で} \quad 1,117\text{A}$$

$$L_f=0.65 \quad \text{で} \quad 1,275\text{A}$$

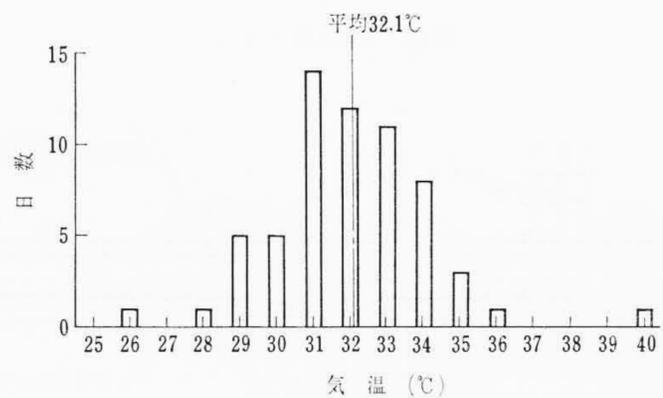
となっていていずれも所要電流の 1,430A に達しない。このため強制風冷を併用することとした。

(1) 発生熱量

風冷計算を行なうに当たってまず暗渠内の発生熱量を求めると次のとおりである。



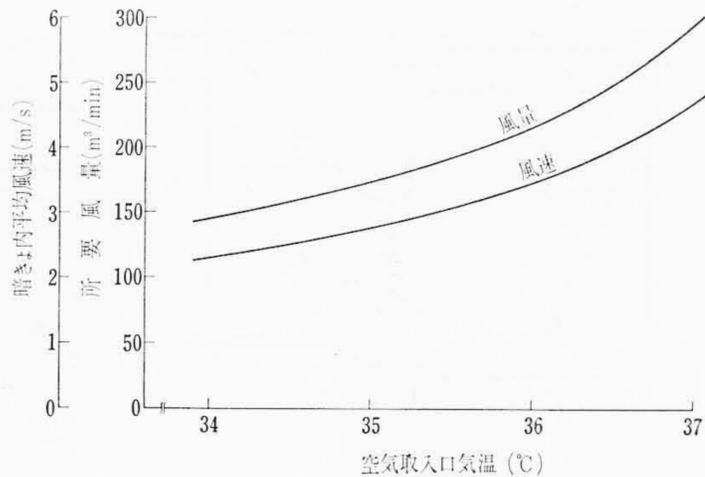
(a) 北大阪変電所構内



(b) 大阪市内(気象台)

(昭和 40~41 年)

図 7 8 月における午後 4 時の気温



(冷却区間長 97 m)

図 8 気温による風冷条件の変化

導 体 損 失	$W_c=1.018$	W/暗渠 1 cm 当たり
シ ー ス 損 失	$W_s=0.051$	W/暗渠 1 cm 当たり
誘 電 損 失	$W_d=0.299$	W/暗渠 1 cm 当たり
鉄 筋 の 鉄 損	$W_i=0.61$	W/暗渠 1 cm 当たり
合 計	$W=1.98$	W/暗渠 1 cm 当たり

このような大電流を通電する場合には鉄筋の鉄損を無視することはできない。上記の値は実験値より換算して算出したものである。

(2) 空気取入口気温の想定

強制風冷設計においては空気取入口気温をどの程度に想定するかが重要な問題となる。そこで現地の過去における夏期気温を調査した。図 7 は北大阪変電所と大阪市内(気象台)の 8 月中の午後 4 時における気温を示したものである。日間最高気温はこれよりも 0.5~1.0°C 程度高いものと考えられる。

一方、空気取入口気温と風冷条件の関係は図 8 に示すとおりとなる。これからも明らかなように気温を高く想定すると所要風量は急激に上昇して経済的には不利となる。今回の場合には

(a) 日間最高気温が 36°C を越える日数は年間 2~3 日であり、これと全負荷が数時間以上連続して通電される機会が重畳する確率はごく低いものと考えられる。

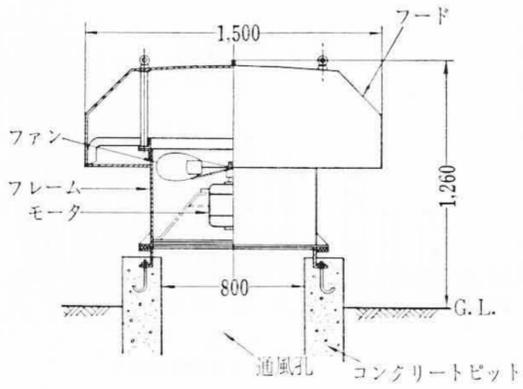


図9 風冷用ファン

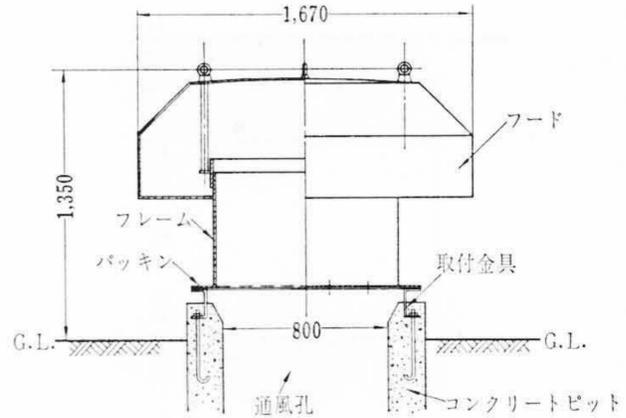


図10 吸気口フード

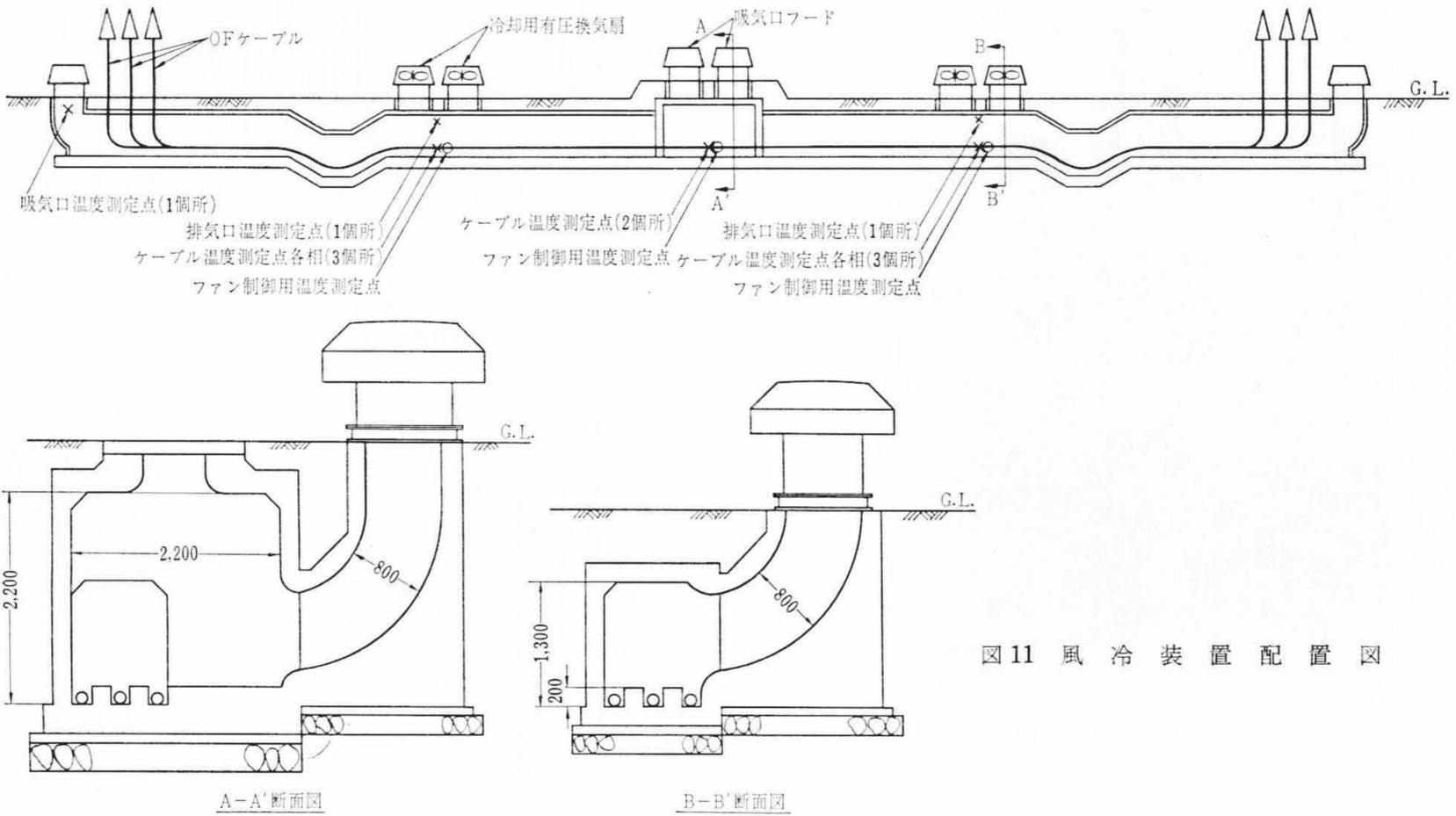


図11 風冷装置配置図

(b) 気温の上昇によってケーブル導体温度が許容値よりも2~3°C程度上昇することがあっても短時間過負荷と同様の考えで許容できる。という考えから空気取入口気温は36°Cに想定することとした。したがって、図8から明らかのように冷却風量は220~250 m³/min、風速で3.5~4 m/sを目標に風冷機器の設計を行なった。

5.2 装置と機能

風冷装置は次の装置で構成されている。これらの形状、寸法およびその配置は図9~11に示すとおりである。

- (1) 冷却用有圧換気扇 (1.5 kW) 4台
 - (2) 吸気口フード 4組
 - (3) 制御盤(記録計, スイッチ類を含む) 一式
 - (4) ケーブル表面温度検出用サーチコイル 一式
 - (5) 80°C異常高温検知線 一式
- また、本装置の機能の概要は次のとおりである。
- (1) 風冷開始ケーブル表面温度 45°C
 - (2) 風冷停止ケーブル表面温度 30°C
 - (3) 警報発信ケーブル表面温度 50°C
 - (4) 風冷ファン風量(無負荷) 310 m³/min
 - (5) 風速(暗渠内において) 3.5~4.0 m/s
 - (6) 風冷区間 約90 m×4区間
 - (7) 風冷装置制御用温度検出 ケーブル表面で3個所

- (8) 自動温度記録
 - { ケーブル表面 8個所
 - { 暗渠内気温 3個所
- (9) 風冷ファン動作時間記録を実施
- (10) 80°C異常高温検知線をケーブルに沿って延線
その動作機構および特長は次のとおりである。
- (1) 周囲温度の上昇あるいは負荷の増加などでケーブル表面温度検出個所3個所のうち、いずれか1個所でも45°Cに達すると4台のファンのすべてが作動して強制風冷を行なう。
- (2) 万一、制御装置またはファンに異常が生じて自動記録を行なっている11個所のうちいずれかが50°Cに達したときは警報を発する。
- (3) ファンが作動して強制風冷を行ない、風冷制御用ケーブル表面検知点3個所の温度がすべて30°C以下に低下するとファンは自動的に停止する。1個所でも30°Cを越えている個所がある間はファンは停止しない。
- (4) 上記のファン動作および停止設定温度は自由に調節することができる。
- (5) ファンは自動、手動、停止の3操作が可能である。
- (6) 風冷装置制御用の温度検出とは別にケーブル表面温度8個所、暗渠内気温3個所の温度を自動記録する。また記録計の1打点を使用して風冷ファンの動作時間を読み取ることができる。

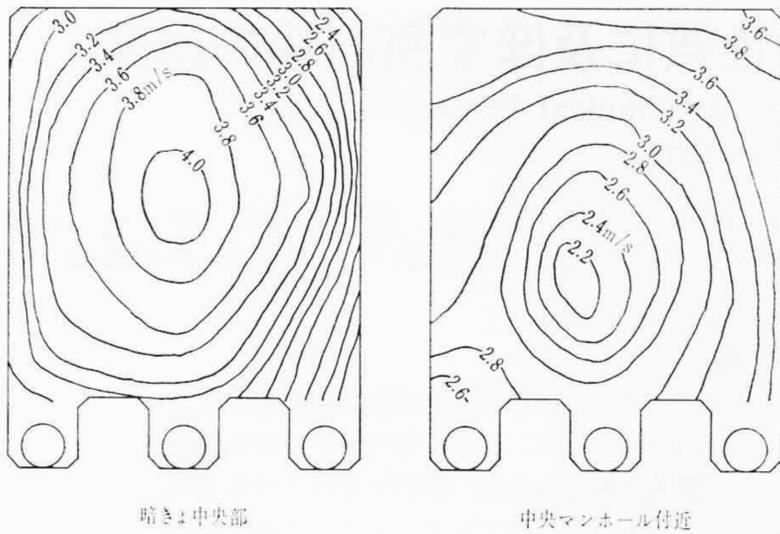


図 12 暗渠内風速分布測定結果

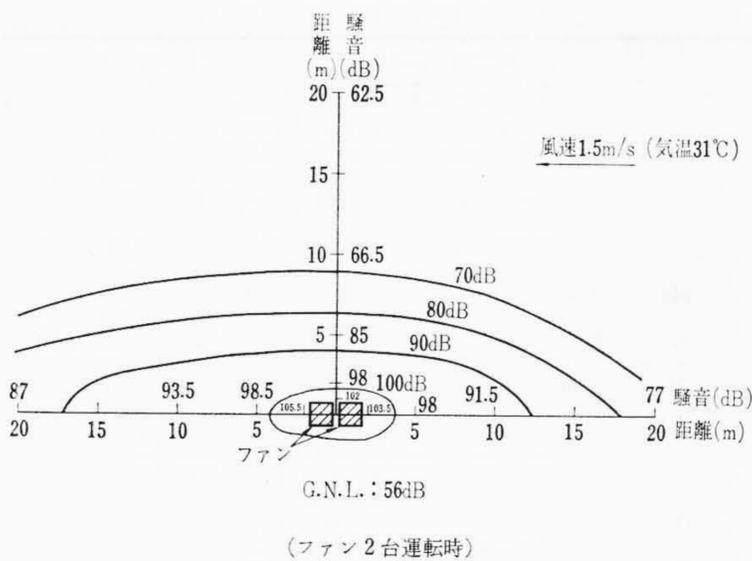


図 13 地上の騒音分布測定結果

5.3 現地据付後の測定結果

(1) 風速分布測定結果

暗渠内の風速分布測定結果の一例を図 12 に示す。これから明らかなように暗渠中央部では層流となっているが中央マンホール付近のように暗渠断面に変化のある場所では渦流となって断面中心部よりも周辺部のほうが風速が大きくなっている。しかし、4 冷却区間の風量は 210~240 m³/min であり、だいたい設計どおりの値が得られた。

おな、このほかに発煙筒を使用して空気取入口、暗渠内部、換気扇出口部などの空気の流れ状況を肉眼で観察した。

(2) 騒音測定結果

(a) 暗渠内の騒音

暗渠内の騒音はファンからの距離によってもあまり変化がなく表 3 に示すとおりであった。なお、ファン停止時のノイズレ

表 3 暗渠内騒音測定結果

ファンの運転台数	4 台	2 台	1 台
ファン直下	117 dB	116 dB	107 dB
10 m	118	114	102
50 m	115	110	99
100 m	115	108	96

ベルは 40 dB である。

2 台または 4 台運転時には音波の暗渠内往復反射およびファン回転数のわずかの差によるものと考えられる音の脈動が感じられた。今回の場合には暗渠であり、常時保守員が点検歩行する洞道ではないので上記のように大きな騒音も特に問題とはならない。しかし常時保守を必要とする洞道では騒音の点からも風速はあまり高くとれないものと考えられる。

(b) 地上の騒音分布

北大阪変電所は山間部にあり、構内に数台の大形変圧器が設置されている。このため風冷用ファンの騒音は地上では実際上問題にはならない。しかし、将来この種風冷装置を市街地区へ設置する場合も考慮して騒音分布を測定した。この結果を図 13 に示す。これから明らかなようにフード付き換気扇を使用しているため騒音の減衰は大きい。変電所構内であり変圧器の騒音などによってファン停止時でもベースの騒音レベルが 56 dB もあるため明確にはいえないが 20~30 m 程度離ればファンの騒音はほとんど問題にはならないと考えられる。

なお、ファン 2 台を隣接して設置した場合には騒音に方向性のあることがわかった。

6. 結 言

以上枚方線 2 号線 275 kV 1×1,500 mm² OF ケーブルとその風冷装置の概要について報告した。本ケーブルは昭和 42 年 8 月に布設、接続および現地直流耐圧試験を終了し、ただちに実運転にはいっている。

最後に本ケーブルおよび風冷装置の布設据付に当たり、ご協力いただいた関西電力株式会社および日立電線株式会社の関係各位に厚くお礼申し上げる次第である。

参 考 文 献

- (1) 渡辺, 網野, 千葉, 卜部, 遠藤: 日立評論 別-43, 12 (昭 36-6)
- (2) 沼尻, 加藤: 日立評論 46, 1840 (昭 39-11)
- (3) 遠藤, 佐藤, 佐藤, 外山: 日立評論 48, 1335 (昭 41-11)
- (4) 橋本, 星野, 卜部, 富田, 庄司: 昭 43 年度, 電気四学会連合大会 1015