

# 地下埋設変圧器の温度上昇

## Thermal Performance of Distribution Transformers in Underground Vaults

青 森 厚 吉\*  
Kōkichi Aomori

### 要 旨

変圧器を地下孔に収納し温度上昇試験を行なうと、定常状態に達する時間は変圧器単体の場合に比べ、はるかに長くなる。これは変圧器周辺の温度、すなわち地下孔壁の温度が非常に長い時定数で上昇し、その影響を受けるためである。そこで地下孔設置変圧器の温度上昇値を地下孔壁の温度が一定と仮定したときの比較的時定数の短い上昇分と、地下孔壁温の上昇による時定数の長い上昇分に分けられるものと考え検討を進めた。

前者については 100 kVA 変圧器を種々の大きさの地下孔に入れ、温度上昇試験を行ないその結果を  $\theta = AW^m(x/d)^n$  ( $\theta$ : 変圧器巻線の温度上昇値,  $W$ : 変圧器損失,  $x/d$ : ピットと変圧器との間げき寸法  $x$ /変圧器寸法  $d$ ,  $A, m, n$ : ピットの構造によってきまる定数) のような実験式にまとめた。

後者については前者の実験に用いた地下孔のうち、最も径の大きい地下孔で長時間(約2,000時間)連続運転を行ない、定常温度上昇値は前者の実験結果に一定値(11°C)を加えれば良いことがわかった。また短期間にこの上昇分の得られる模型実験および一実験から多くの場合の類推を可能ならしめる相似条件を導き、その有用性を確かめた。

### 1. 緒 言

地下埋設変圧器設計上の大きな問題の一つとして、変圧器容量が決められた時必要最小限度の地下孔の大きさを決定することがある。すでに地下埋設変圧器の温度上昇に関する論文は種々発表されているが、まだ地下孔および変圧器の寸法と変圧器の温度上昇値との関係を数式化したものは見当たらない。そこで本論文では 100 kVA 変圧器を種々の大きさの地下孔に収納したときの温度上昇値の実験式について述べる。

地下埋設変圧器の温度上昇値は概括的には

- (1) 地下孔壁の温度が一定と仮定したときの変圧器の上昇分と
- (2) 地下孔壁の温度上昇による変圧器の上昇分

との和と考えられる。このようにすればかなり時定数の短い変圧器固有の上昇分と、時定数の長い地下孔壁の上昇による変圧器の上昇分とに分けて実験・検討が行なえるのできわめて便利である。ただしどこまでを変圧器固有の上昇分とみなすかということはかなりむずかしい問題であるが、変圧器固有の上昇分としてはできるかぎり長時間経過後の上昇分を用い、その時点からの壁温上昇による分をこの値に加え、これをこの地下孔に収納した変圧器の温度上昇値とみなせばよい。

### 2. 変圧器固有の温度上昇値

#### 2.1 実験方法

##### 2.1.1 ピットおよび変圧器寸法

一般に小容量の変圧器は円形ピットに、大容量のものは長方形ピットに収納されるので本論文でも図1に示すような円形、長方形ピットにおける実験を行なった。そして円形ピットには図2(a)の変圧器を、長方形ピットには図2(b)の変圧器を収納し、それぞれピット寸法の異なる3種類のピットについて温度上昇試験を行なった。

ピット寸法の表わし方は種々考えられるが、ここではピットと変圧器との間げき寸法( $x$ )をいたるところ等しくし、この( $x$ )と変圧器寸法( $d$ )との比( $x/d$ )で表わすこととした。ただし、変圧器寸法は図2(b)の場合は二辺の平均値とし、図2(a)の場合はパイプを含むケースの直径とした。また深さは一定とした。

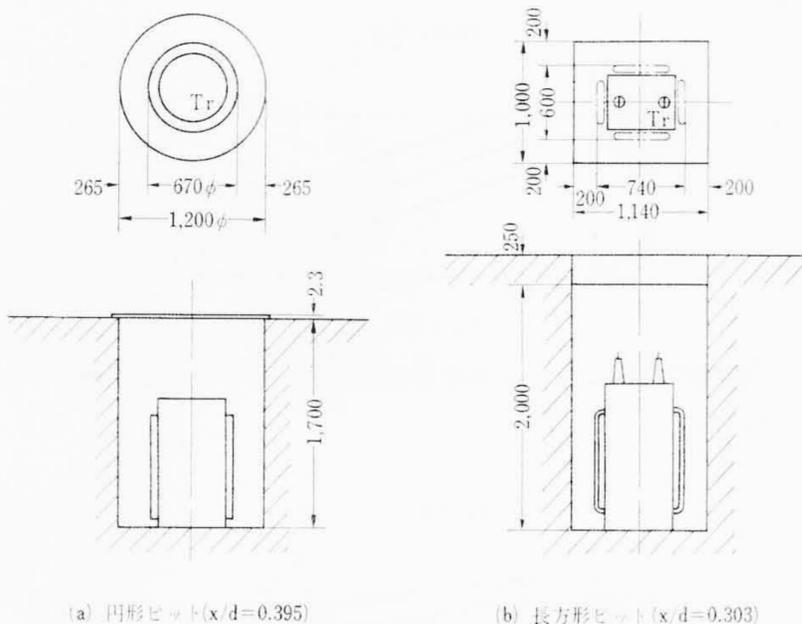


図1 供試ピットの一例

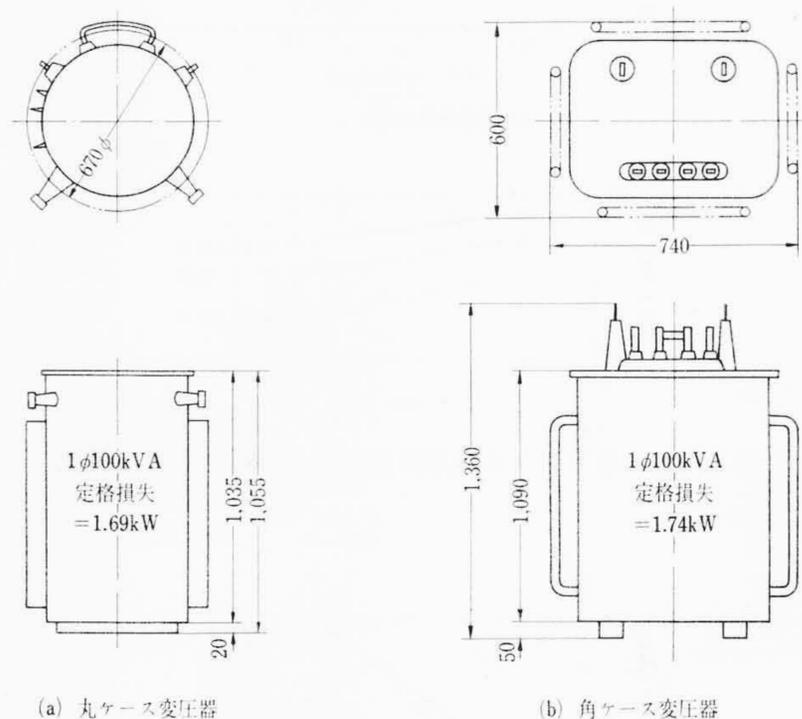
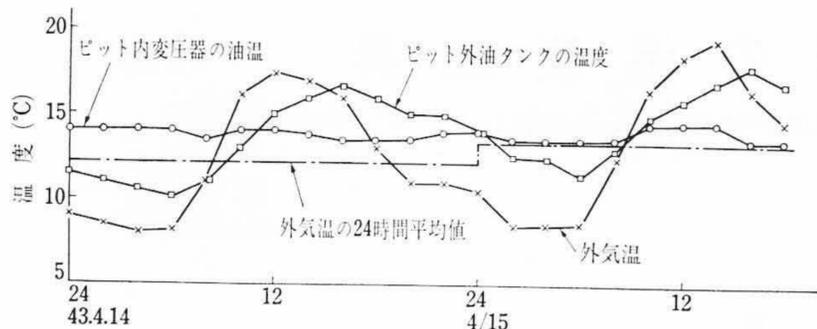


図2 供試変圧器

##### 2.1.2 ピットの構造

実際の地下埋設変圧器ではピットのふたの部分に通風がじゅうぶん行なわれるようなグレーティング構造を採用することが多い

\* 日立製作所亀戸工場



(長方形ピット, 密封,  $x/d=0.725$ )

図3 外気温による変圧器油温の変化の一例

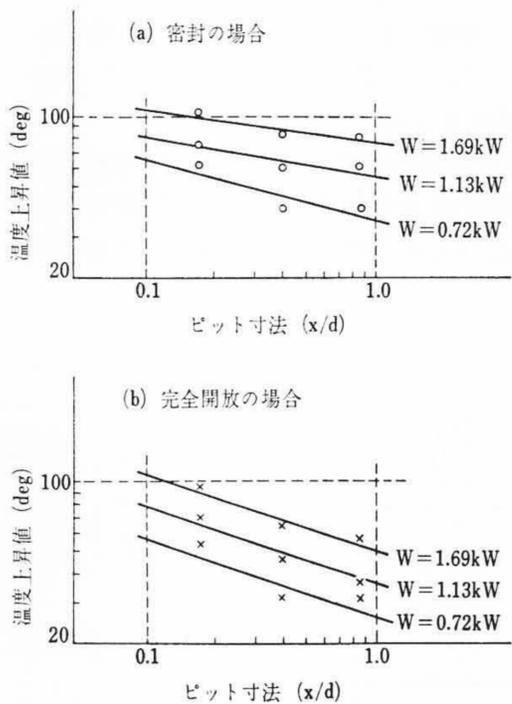


図4 円形ピットにおける変圧器(巻線)の温度上昇値

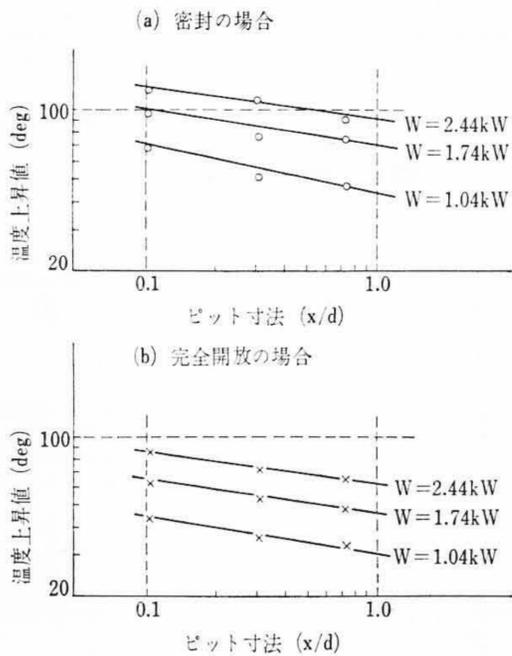


図5 長方形ピットにおける変圧器(巻線)の温度上昇値

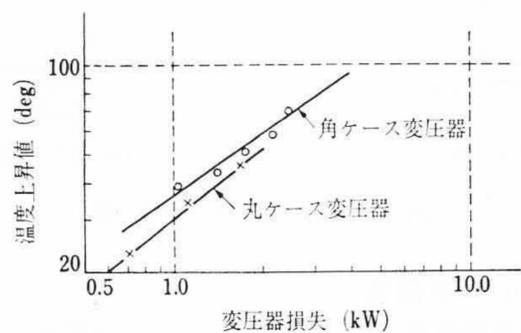


図6 供試変圧器(巻線)の気中における温度上昇値

表1 実験式

ピットの形	円形ピット	長方形ピット
ピットの構造		
密封	$\theta=48 W^{0.915}(x/d)^{-0.20} W^{-0.75}$	$\theta=43 W^{0.859}(x/d)^{-0.195} W^{-0.365}$
完全開放	$\theta=33 W^{0.827}(x/d)^{-0.344}$	$\theta=29.5 W^{0.825}(x/d)^{-0.141}$
気中	$\theta=30 W^{0.801}$	$\theta=36 W^{0.703}$

ただし  $\theta$ : 変圧器の巻線の温度上昇値 (deg)  
 $W$ : 変圧器損失 (kW)  
 $x/d$ : ピット寸法

表2 気中における温度上昇値の比で表わした実験式

ピットの形	円形ピット	長方形ピット
ピットの構造		
密封	$\theta=1.60 W^{0.114}(x/d)^{-0.20} W^{-0.75} T(W)$	$\theta=1.19 W^{0.156}(x/d)^{-0.195} W^{-0.365} T'(W)$
完全開放	$\theta=1.10 W^{0.026}(x/d)^{-0.344} T(W)$	$\theta=0.82 W^{0.122}(x/d)^{-0.141} T'(W)$

ただし  $T(W)$ ,  $T'(W)$ : 円形および長方形ピットの実験に使用した変圧器の変圧器損失Wに対する気中での温度上昇値

が、本実験では厚さ25cmのコンクリートのふた(円形ピットの場合は厚さ2.3mmの鉄板)で完全におおった場合(密封)と、全くふたを取り除いた場合(完全開放)の二種類のピット構造について実験を行なった。

密封の場合は最も冷却効果の悪いピットであり、完全開放の場合はグレーティングおよび整流板などの採用により到達しうる目標値を示す。したがってあらゆる構造のピットにおける温度上昇値はこの間に入るものと考えられる。

2.1.3 測定法および測定時刻

負荷の供給は短絡法で行なわれ、変圧器の巻線温度は抵抗法により測定され、油温、地下孔壁の温度、地下孔内空気温、外気温などはC・C熱電対により測定された。また測定時刻は変圧器固有の温度上昇値がほぼ定常に達する72時間後とした。

2.2 基準温度

地下孔は屋外にあるので周囲温度を試験中一定に保つことは不可能である。したがって変圧器損失以外に外気温の変化によっても変圧器の温度が変化する。この外気温による変化分を差引かねばならないが、この変化分は地下孔に収納した変圧器を無励磁でおいた場合の外気温による温度変化と等しいものと考えられる。しかし、同一条件の地下孔2組にそれぞれ試験用変圧器と基準温度用変圧器を入れて測定することは経済上からも不可能であるので、あらかじめ地下孔ごとに外気温との関係を測定し、外気温からこの変化分を算出する方法を見つけることにした。

図3は外気温による変圧器油温の変化の一例を示したものである。この測定結果から基準温度を密封式地下孔およびピット寸法が0.11以下の地下孔では外気温の24時間平均値とし、また0.11以下の地下孔を除く完全開放式地下孔では地下孔の影響を受けない油タンクの油温とすることにした。

2.3 実験式

円形ピットおよび長方形ピットにおける実験結果を図4、図5に示す。図6は両変圧器の気中における試験結果である。これを実験式にまとめると表1のようになる。

地下孔に変圧器を収納すると大気中に変圧器をおいた場合よりも温度上昇値は大きくなるはずで、大気中においた場合の温度上昇値は各種変圧器に対して従来わかっているので、それに対する比率で表わすと都合がよい。この意味で表1の結果から大気中における温度上昇値との関係を求めると表2のようになる。

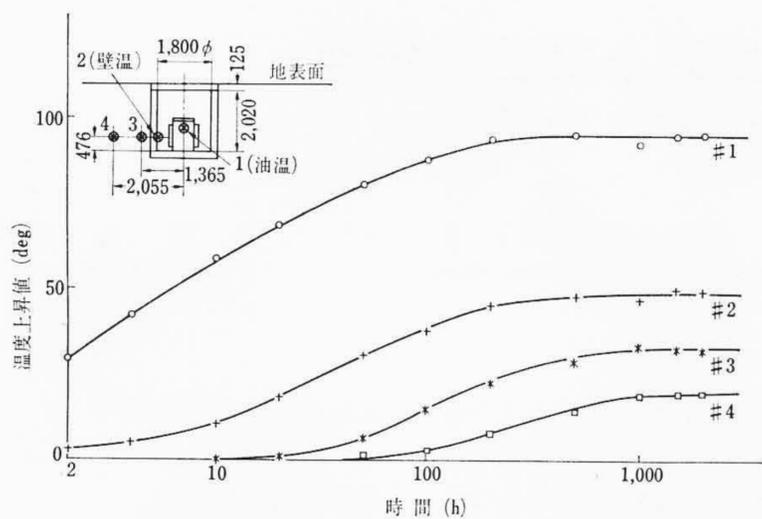


図7 100 kVA用ピット各部の過渡温度上昇曲線

3. 地下孔壁の温度上昇値

3.1 100 kVA用地下孔による実験

地下孔壁の上昇による変圧器の上昇分はピット寸法と変圧器損失によって異なるが、ここではその一例として  $x/d=0.844(1,800\phi)$  の円形ピットに厚さ 12.5 cm のコンクリートのふたをし、変圧器損失を 1.69 kW 一定として約 2,000 時間運転したときの各部の温度上昇値を求めた。図7はその結果を示したものである。これより油温は 300 時間たつと定常値に達し、72 時間後よりも 11°C 高くなっている。また壁温は 500 時間で定常値に達し 72 時間後よりも 15°C 高くなっている。これよりそのほかのピットについても壁温上昇による変圧器の上昇分の見当をつけることができる。

3.2 模型実験

実物ピットを用い壁温上昇による変圧器の上昇分を求めようとすると 3.1 のように数千時間を運転しなければならなくなる。これでは個々のピットについて求めることは実際上不可能であるので、もっと短期間に解の得られる模型実験の検討を行なった。

地下孔形状を一般的に図8のように表わし、ピット壁面からの全放熱量が常に一定であり、また壁温はいたるところ一定であると仮定すると、次元解析からこの地下孔の熱特性は次の4個の無次元パラメータの関数となることがわかる。

$$\varphi\left(\frac{a}{l}, \frac{Q}{a^2 H \theta}, \frac{a H}{K}, \frac{\kappa t}{a^2}\right) = 0 \dots \dots \dots (1)$$

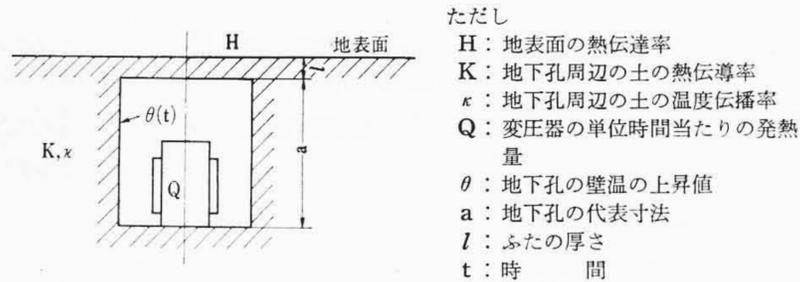


図8 地下孔の一般条件

これからピット間の相似条件は次のようになる。

- (a) 両ピットの形状が相似であること。
- (b) 熱伝達率(H)と熱伝導率(K)の比(H/K)が寸法比(a)に反比例すること。

(1)式の第4項を見ると時定数は寸法比の二乗に比例している。したがって短期間に解を得るためには模型の寸法を小さくすれば良いが、一般に小さくすればするほど誤差が増大するので精度の検討を行なう必要がある。そこで今回は原型の約 14 分の 1 のモデルピットと、その中間の約 3 分の 1 の二種類のピットを作り、モデルと中間のピットの間で相似則の精度を検討し、次に中間のピットから 3.1 の 100 kVA 用ピットを推定した。その結果おおよその推定には相似則がじゅうぶん使えることがわかった。

4. 結 言

地下孔に収納した変圧器の温度上昇値を地下孔壁の温度を一定と仮定したときの変圧器の上昇分と地下孔壁の温度上昇による変圧器の上昇分との和と考えて実験、検討を行なった。

前者については種々の寸法の円形および長方形ピットを作り、これに 100 kVA 変圧器を収納して温度上昇試験を行ない、その結果を本文の表1のようにまとめた。

後者については 1,800φ 円形ピットを約 2,000 時間連続運転し、前者の測定時間 72 時間以後油温が 11°C 上昇することがわかった。

参 考 文 献

- (1) E. A. Goodman: Thermal performance of submersible distribution transformers in vented underground vaults, Allis-Chalmers (Feb. 24, 1967)
- (2) 本間: 次元解析・最小二乗法と実験式, コロナ社
- (3) 機械学会編: 伝熱工学資料

本誌の新年号は、毎年「日立技術の成果」として、愛読者諸兄から多大のご好評をいただいております。昭和45年の新年特集増大号 (Vol. 52, No. 1) も恒例により“昭和44年度における日立技術の成果”号として発行することになりました。なにとぞ、ひきつづきご愛読くださいますようお願い申し上げます。