

地中送電線外部冷却システムモデルの基礎的検討

エム イー シー 正会員 藤本明宏*
福井大学工学部 正会員 福原輝幸**

1. はじめに 地中送電線化は、自然災害に対する安全性に加え、都市部での空間利用や景観保全の観点から、インフラ整備の重要な要素である。したがって、今後予想される送電容量増加や長距離大容量ケーブル開発に伴って大量に発生する熱対策が、安定した電力供給のために重要となる。ケーブルの冷却方式は、外部冷却方式と内部冷却方式に二分され、前者は実用化が進んでいる。

本研究は、外部冷却システムの一つである洞道内間接水冷システムに着目し、その安全性評価のために計算モデル作成を試みた。

2. 解析モデル

2.1 洞道内間接水冷システム Fig.1 は洞道内間接水冷システムの断面を表す¹⁾。このシステムはケーブル内導体、水冷管、洞道で構成される。モデルに用いた洞道内間接水冷システムの構造は以下のとおりである¹⁾。ケーブルは 154kV、 $1 \times 2000\text{mm}^2$ の CV ケーブルであり、断面構造を Fig.2 に示す。水冷管は管内径($\phi 10\text{cm}$)のポリエチレン管であり、行き水冷管と帰り水冷管から成る。特徴は水冷管を天井に並べることにより、空気の対流により上昇してきた熱流(ケーブル発生熱)を吸収して洞道空気を冷却する点にある。

2.2 解析仮定 Fig.3 は洞道空気の断面温度分布を示す¹⁾。断面内温度のばらつきは小さいことから、本解析モデルでは温度は断面一様とする。また、適切な冷却管理がなされるとき洞道空気の縦断方向温度変化は小さくなることから、地盤温度変化は鉛直 2 次元のみで考える。洞道は全長 3400m とし、全区間にわたり埋設深さは洞道上部で 2m とする。

2.3 計算条件 本計算モデルは関西電力株式会社の資料に準じて、水冷管流体の流入水温 16℃、流量 $0.03\text{m}^3/\text{s}$ とする¹⁾。また洞道内では空気移動による顕熱の影響はないものとする。

Table 1 は計算に用いた熱物性値^{1)~3)}を示す。

Table 1 計算に用いた熱物性値

	Cable	Water	Ground	Air
Thermal conductivity (W/mK)	400.20	0.60	2.32	0.02
Heat transfer coefficient(W/m ² K)	8.68	14.04	9.28	-
Volumetric heat capacity (W/kgK)	941	1160	742	0.33
Flow rate (m ³ /s)	-	0.03	-	0

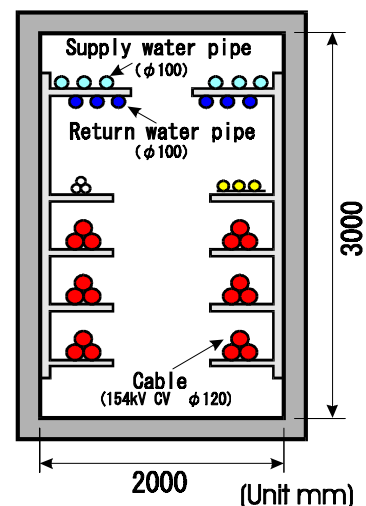


Fig.1 システム断面図¹⁾

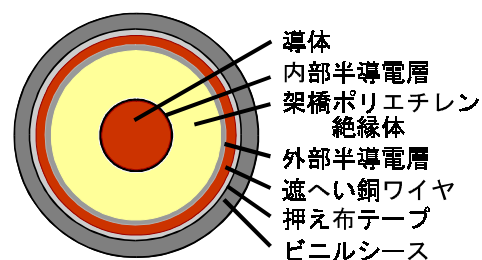


Fig.2 ケーブル断面図²⁾

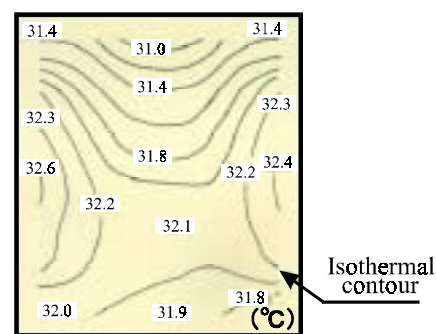


Fig.3 洞道内断面温度分布¹⁾

キーワード：洞道内間接水冷システム、発生熱、熱移動

* 〒651-0086 神戸市中央区磯上通 4 丁目 1 番 6 号シオノギ神戸ビル TEL 078-221-0511 FAX 078-272-1616

** 〒910-8507 福井県福井市文京 3-9-1

TEL 0776-23-0500(2809) FAX 0776-27-8746

2.4 基礎方程式 洞道内間接水冷システム

に関連する基礎方程式は式(1)～式(4)のようになり，熱伝導，熱貫流，移流および発生熱の各項で記述される．式中， t ：時間 x ：縦断方向， y ：水平方向， z ：鉛直方向， T ：温度， (ρc) ：体積熱容量， λ ：熱伝導率， h ：洞道空気と導体，水冷管あるいは地盤との熱貫流率， v ：流速， W_c ：導体発生熱量， η ：微小要素の体積に対する表面積の比，である．なお，添字 c ：導体，添字 w ：水冷管流体，添字 a ：洞道空気，添字 g ：地盤，を表す．なお，地盤の熱伝導率(λ_g)は一定とする．

2.5 初期・境界条件 初期地盤温度は，洞道からの熱影響を受けない十分離れた場所での実測地盤温度を基に線形補間により与えられる¹⁾．地盤の境界条件は次のように与える．地表面温度は実測データがないので，筆者らが別の場所で計測したアスファルト表面温度の日変化で代用される．底部は深さ 20m にとり 15℃ 一定とし，側面部では熱移動がないものとする．

3. 計算結果 Fig.4 は洞道空気温度および水冷管流体温度の縦断変化を示す．これは十分時間が経過したときの空気，流体温度であり，熱的平衡状態に近いとみなせる．ここで注目すべきは，洞道空気温度である．この場合，空気温度は縦断方向に徐々に増加しているものの，両端での温度差は小さい．終端温度は 36.8℃ であり，労働安全衛生規則で定められている規定温度(37℃)以下となることから，この水冷条件では問題ない．水温は行き水冷管内で上昇が激しく，帰り水冷管内では小さく，指数関数的に変化する．水冷管流体の出口温度は 31℃ となり，実測値(30℃)に近い値となる．

Fig.5 は洞道側壁より水平方向に 0.25m，0.75m，1.5m，2.5m および 10m 離れた地点での鉛直方向地盤温度分布を表わす．洞道空気の昇温による周辺地盤の温度上昇範囲は，水平方向に対して 5m 程度となる．

4. おわりに 本計算により，洞道空気温度および流体出口温度はともに実測値程度になることが確かめられ，モデルの基本構成は妥当であると考えられる．今後は，熱移動に関する種々のパラメータを同定し，計算精度の検証を行なう．

最後にデータ提供に心良く応じて頂いた関西電力株式会社 電力システム室 地中送電課の皆様に記して謝意を表します．

参考文献 1) 関西電力株式会社：南港火力線 資料

2) 電気協同研究会：第 53 巻 第 3 号電気協同研究，1998

3) 日本電線工業会：JCS 第 168 E 日本電線工業規格 電力ケーブルの許容電力，1995

導体熱エネルギー方程式

$$(\rho c)_c \frac{\partial T_c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_c \frac{\partial T_c}{\partial x} \right) - h_c (T_c - T_a) \eta_{c-a} + W_c \quad (1)$$

水冷管流体熱エネルギー方程式

$$(\rho c)_w \frac{\partial T_w}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_w \frac{\partial T_w}{\partial x} \right) - (\rho c)_w v_w \frac{\partial T_w}{\partial x} - h_w (T_w - T_a) \eta_{w-a} \quad (2)$$

洞道空気熱エネルギー方程式

$$(\rho c)_a \frac{\partial T_a}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_a \frac{\partial T_a}{\partial x} \right) - (\rho c)_a v_a \frac{\partial T_a}{\partial x} + h_c (T_c - T_a) \eta_{a-c} + h_w (T_w - T_a) \eta_{a-w} - h_g (T_a - T_g) \eta_{a-g} \quad (3)$$

洞道周辺地盤熱エネルギー方程式

$$(\rho c)_g \frac{\partial T_g}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda_g \frac{\partial T_g}{\partial z} \right) + h_g (T_a - T_g) \eta_{g-a} \quad (4)$$

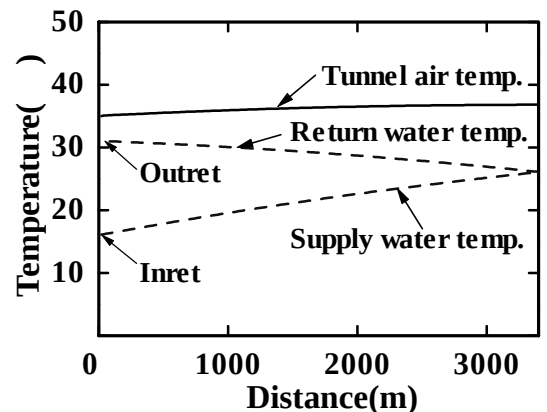


Fig.4 洞道空気および水冷管流体の縦断方向変化温度

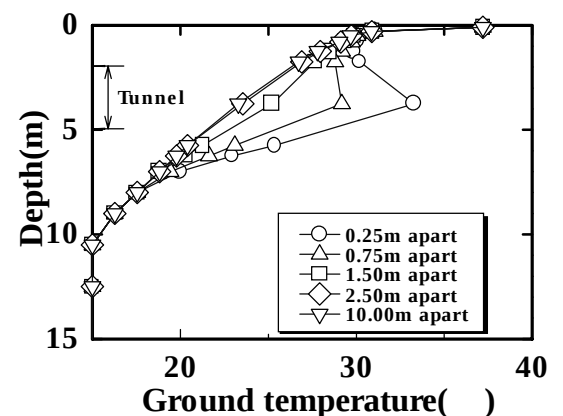


Fig.5 洞道周辺地盤鉛直温度分布