

洞道冷却技術の検討

CO₂ヒートパイプ方式による冷却

Study on Cooling Systems for Tunnels

Cooling System by Heat Pipes Using Carbon Dioxide

(工務技術センター 技術G)

高負荷のケーブルが布設されている洞道では、ケーブルの発熱により洞道内の温度が上昇し、送電容量に影響を与える恐れがあるが、ルート全長が均一に上昇するわけではない。そこで、温度が高い区間のみを冷却する方法としてCO₂ヒートパイプ方式を選定し、検証試験を実施した結果、実用性が確認でき、これまでの冷却方式に比べ小規模で効率的な冷却が可能となる見通しを得た。

1 背景・目的

高負荷の超高压ケーブルが布設されている洞道では、ケーブルの発熱により洞道内温度が上昇し、ケーブル送電容量に悪影響を与えることが予想される。

しかし、温度上昇は土壌熱抵抗が高い部分など部分的であり、当該部のみを冷却できれば大規模な設備を必要とせず、最適な設備形成が可能となる。

本研究では、温度上昇部のみを冷却する方法として、二酸化炭素を冷媒としたヒートパイプ方式を選定し、性能・実用性の検証を実施した。

2 研究の概要

(1) 冷却システム規模の設定

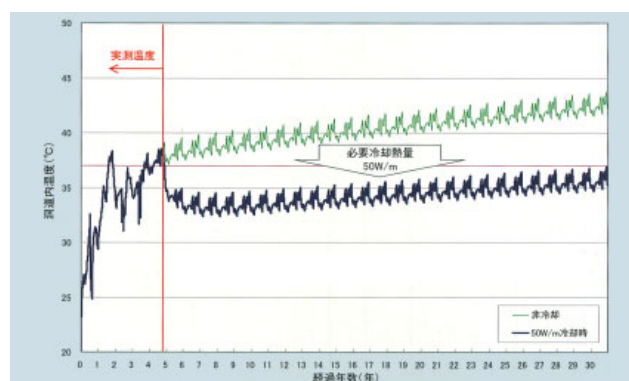
検証のモデルとして川越西名古屋線を選定し、今後30年の温度推移と洞道内の温度を抑えるための必要冷却容量をシミュレーションにより求めた。第1図に示すとおり、冷却をしない場合には45℃付近まで上昇し、冷却容量は約50W/m必要であることが分かった。

また、第2図に現状の洞道内温度を計測した結果を示す。特に温度が高い川越縦坑から1800~3800mの区間を冷却対象区間と仮定して、検討を進めた。

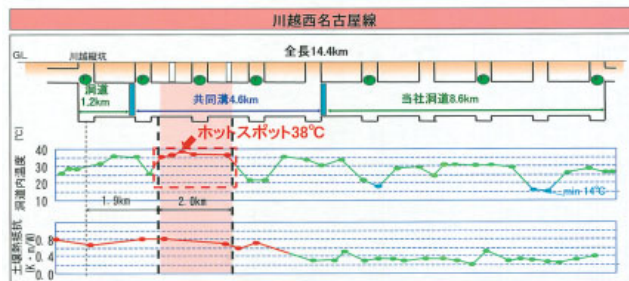
よって今回検討する冷却システムの規模は100kW程度とした。

(Technical Group, Electrical Engineering Technology Center)

Although there is the possibility that the increase in tunnel temperature caused by heat from cables may influence power transmission capacity in tunnels where high-load cables are installed, the temperature of the whole route length does not rise equally. After selecting heat pipe using carbon dioxide as the cooling method of high-temperature zones and carrying out verification tests, we have succeeded in ensuring the practicality of the method, and have gained confidence in utilizing it as a smaller and more efficient cooling system compared to the existing ones.



第1図 洞道内温度推移シミュレーション



第2図 洞道内温度概要

(2) 冷却方式の選定

冷却方式の選定にあたり、モデル区間において冷却性能、建設費、運転メンテナンス性等を比較検討した結果、最もコストの安いCO₂ヒートパイプ方式を候補とした(第1表参照)。

第1表 冷却方式比較

冷 媒	簡易水冷	CO ₂ 冷媒本格冷却	CO ₂ ヒートパイプ	散水冷却	蓄熱材輸送
	水	CO ₂	CO ₂	水	硫酸ナトリウム塩
主要機器	冷却塔 ポンプ 蓄熱層(130m ³)	冷却塔 冷凍器 ポンプ 安全弁・ガス検知センサ	冷却塔 ポンプ 安全弁・ガス検知センサ	ポンプ	冷却塔 運搬システム
得失事項	構造がシンプル 過去に実績あり	CO ₂ 漏洩対策として 安全措置が必要 冷凍器の維持管理が 負担となる	構造がシンプル CO ₂ 漏洩対策として 安全措置が必要 外気温の影響大のため 能力に余裕が必要	×洞道内湿度が100%になる ため蒸発潜熱利用不可 ×金物類への悪影響 白煙対策が必要 ×労働環境悪化	×搬送システムが高価 ×機械駆動部が多く、 維持管理負担大
概算コスト比	1.1	1.1	1	1.3	3.6
評価				×	×

水冷方式は既に冷却設備としての実績があるが、CO₂ヒートパイプ方式には今回のような冷媒を長距離搬送するといった事例がなく、冷媒搬送に関しての以下のような懸念事項がある。

長距離搬送する際の圧力損失によっては大きなポンプが必要となる

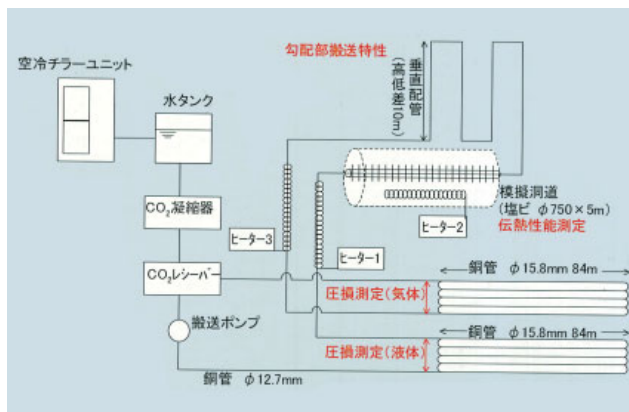
勾配下部に液溜まりが発生し、冷媒がスムーズに流れない可能性がある

CO₂が超臨界状態となった場合に、ポンプが空回りし、損傷する可能性がある

このため、上記の懸念事項および設計に必要となる伝熱特性について、模擬設備による検証を行った。

(3) 検証試験

第3図に示す模擬設備を用いて検証試験を行った。



第3図 模擬試験設備ブロック図

長距離運搬時の圧力損失

既知の圧力損失算定式とほぼ一致し、65A程度の配管を用いることで往復の圧力損失が0.2MPa以下となり、汎用ポンプを使用可能であることを確認した。

勾配部の搬送特性

乾き度0.2～0.3で、流速が遅い場合に液溜まりができる傾向が見られたが、実運用での流速ではスムーズな搬送となることを確認した。

(乾き度：湿り蒸気全体に対する蒸気の重量比率。全部液体時が0で、熱交換により気化が進むと大きくなる。全て気化したときの乾き度が1)

超臨界状態での搬送

運転中にCO₂を過熱し、超臨界状態(31.1、7.38MPa)で運転継続可能であることを確認した。

伝熱特性

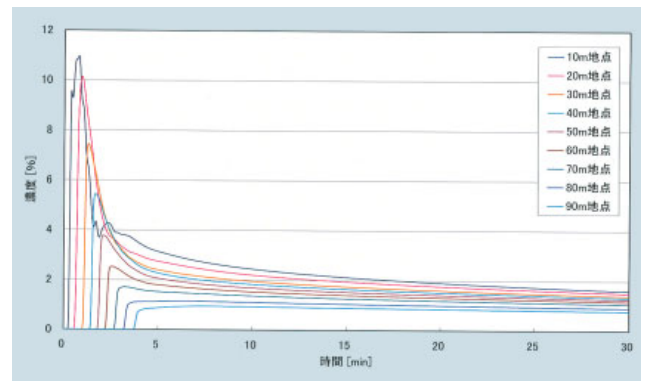
冷却部の管の種類を変え、それぞれの熱交換量を確認した。また、乾き度0～0.8において、熱交換量に変動がないことを確認した。

(4) 安全性検討

CO₂は腐食性がなく、圧力に十分耐える配管を用いるため、誤って切断する等の人為的なミスを除いてはCO₂の漏洩の可能性は極めて低い。

しかし、万一漏洩した場合には酸欠の危険性があるため漏洩時のCO₂濃度の変化をシミュレーションにより求めた。

設備面での安全対策としてガス検知センサーが漏洩を検知した場合に、タンクよりCO₂を外気に放出させ洞道内での漏洩拡大を防ぐ方式とし、その場合の洞道内での漏洩が約40秒間継続すると想定した。シミュレーション結果を第4図に示す。



第4図 CO₂濃度シミュレーション

CO₂の許容限界濃度は7～9%であるが、漏洩後約2分間で50m地点まで離れば(ゆっくり歩いて離れる程度)、CO₂濃度は3%(作業性が低下する)程度になることが確認できる。

(5) 実規模設備設計

模擬設備での確認試験結果を基に実設備における設計を行った。冷却設備の概要を第2表に示す。

第2表 設備概要

配管	往	50A (断熱材60mm厚)
	放熱部	65A フィン巾25mm フィンピッチ13mm
	復	65A (断熱材50mm厚)
ポンプ	2.2kW	
その他設備	密閉式冷却塔 2.2kW タンク 1000×2000 ガス検知センサー・制御盤	

3 まとめ

シミュレーションによる温度推移と必要冷却容量を検討し冷却方式を検討した。CO₂ヒートパイプ方式を採用するにあたっての懸念事項を確認し、基本構成をまとめることができた。

今後、冷却が必要となった場合の基本設計に反映していく予定である。



執筆者 / 陶山 洋
Suyama.Hiroshi@chuden.co.jp