

ヒートパイプを用いた自然冷熱による凍土壁造成実物大実験と熱解析比較

北海学園大学 工学部 正会員 小野 丘

(株)精研 吉田 聡志, 正会員○伊豆田 久雄, 阿部 裕介

1. 目的

ヒートパイプ(以下, HP と表記)を用いて, 寒冷地で冬季の自然冷熱エネルギーのみで人工凍土壁を造成し, 食料貯蔵に利用することは既に実用化されている¹⁾. 本研究では, 止水, 土留め, 環境対策などにも利用することを目的として, 過去2冬季で HP 周辺地盤の温度測定と熱解析から凍土壁の形状を推定してきた. 本年冬季(2007~2008 年)は, 凍土壁形状や厚みの推定手法の妥当性を確認するため, 掘削と現地測量を行なった. また, 検証された熱解析手法を用いて, 地盤や地域が異なる場合に造成される凍土厚みの推定を行った.

2. 凍土壁造成実物大実験と計測結果

2-1. 実験方法: 北海道石狩郡新篠津村の泥炭地(平均含水比 $w=660\%$, 間隙率 $n=94\%$)に, 図1に示す3本のヒートパイプHP1~HP3(全長8m, 地盤深度4m, フィン長1.9m)と測温管S1~S3, S7(HP列から10m離れ)を埋設し, 冷気で凍土壁が造成されることを確認する実物大実験を行った²⁾. HPは外径60.5mmで, 冷熱を輸送する冷媒が充填されている. 温度センサーを外気中, HP表面, HP付近の地盤に設置した.

2-2. 計測結果

1) 温度の経時変化: 2007~2008 年冬季の日平均外気温は図2の破線のように低下して, HP 地上部の凝縮部(フィン)を冷却した. GL-2.2mにおいて, HP 表面(細線)は, 外気温よりも数℃高かった. 2月末でも HP の冷却の影響を受けない十分離れた地盤S7では10℃程度であったが, HP の列から24cm離れた地盤では2月下旬には0℃を下回った.

2) 凍土壁形状の計測結果: 地盤温度と後述する熱解析から推定された凍土壁の形状を確認するために, 図1で示したように, 凍土周辺の地盤を掘削した. 現れた凍土壁の形状は, 地上からの下げ振りなどを用いて計測した(結果は後述).

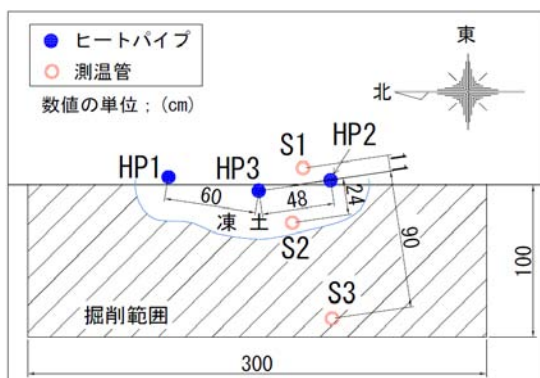


図1 ヒートパイプ HP と測温管 S の配置 (GL-2.2m)

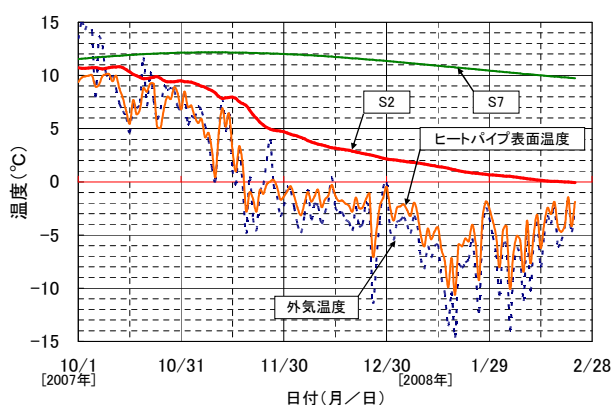


図2 外気, HP 表面, 地盤温度の経時変化



写真1 HP と凍土壁外面

3. 熱解析との比較

3-1. 熱解析手法: 熱解析は, 外気や HP 埋設下方地盤からの熱の影響がほとんど無い地盤内 HP の中間深度付近(GL-2.2m)での二次元モデルと, 3本の HP 間の距離を平均化した三次元モデルについて, 陽解法の熱差分ソフトを用いて行った. 解析に用いた地盤(泥炭と

表1 地盤の熱定数

	熱伝導率(W/m℃)		熱容量(kJ/m ³ ℃)	
	未凍土	凍土	未凍土	凍土
泥炭	0.56	1.70	3650	1700
表土	0.82	1.20	520	330

キーワード 凍土, ヒートパイプ, 熱解析, 野外実験, 掘削

連絡先 〒542-0066 大阪市中央区瓦屋町2丁目11-16 (株)精研 凍結本部 技術部 TEL 06-6769-5039

厚さ0.6mの表土(w=40%)の熱定数を、表1に示す。また、過去2冬季の外気温とHP表面温度の実測データから両者の関係式を導き出し、本年冬季の外気温から熱解析で入力するHP表面温度を決定した。

3-2. 熱解析結果と計測結果と比較：GL-2.2mの地盤温度の経時変化(図3)において、二次元モデルの熱解析結果と計測結果は、良く一致した。二次元モデルの熱解析で得られた掘削時(2/28)の造成凍土の断面形状を、図4に示した。図5では、三次元モデルの熱解析で得られたHP3位置の東西方向の鉛直断面での凍土壁外面(-0°C)および温度分布(2, 4°C)と、掘削後に測量した凍土厚みの計測結果を併記した。

両者はほぼ合っており、本解析手法は、HPを用いて造成する凍土厚みを推定する方法として実用上充分であることが確認された。なお、地表面付近では、計算結果は計測結果よりも少し薄い、これは積雪下の地表面温度の想定が高かったことなどによると考えられる。

4. 他の地盤での造成凍土厚みの推定

札幌近郊という凍結指数が北海道内では比較的小さい地域で、かつ、泥炭という間隙率が非常に大きい地盤においても、0.6mの厚みの凍土壁を造成できることが検証された。更に寒冷的な地域、および、間隙率が小さい地盤でHPを0.5m間隔で設置した場合に造成できる凍土厚みを、本解析手法で推定した。間隙率と凍結指数から推定された凍土厚みを、図6に示す。間隙率が小さい地盤ほど、凍結指数は少なくとも所定の厚みの凍土壁が造成できることが分かる。なお、参考のために代表的な地点での約30年平均の凍結指数を併記した。

5. まとめ

3冬季に渡る実物大の野外実験により、ヒートパイプを用いると、自然冷熱エネルギーのみで人工的に凍土壁を造成できることが実証された。また、本熱解析手法による計算結果は、計測された凍土壁形状とほぼ合うことから妥当性が検証された。さらに、本解析手法を用いて、他の地域の地盤での自然冷気による造成凍土厚みを推定した。

最後に、本実験の実施にあたり、土谷富士夫教授、神谷光彦教授、篠津中央土地改良区のご協力を頂きましたことに感謝致します。

参考文献

- 1) 土谷富士夫：ヒートパイプによる人工永久凍土低温貯蔵庫，雪氷，Vol.66，No.2，pp251-257，2004.
- 2) 吉田聡志他：泥炭地におけるヒートパイプを用いた凍土造成に関する野外実験と熱解析，第42回地盤工学研究発表会，No.474，2007.

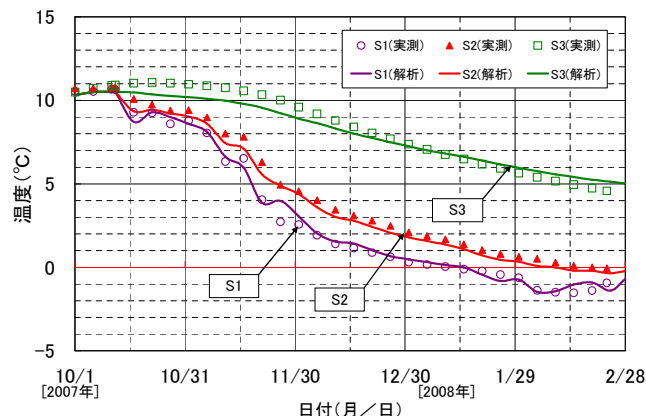


図3 地盤温度の熱解析結果と計測結果の比較(GL-2.2m)

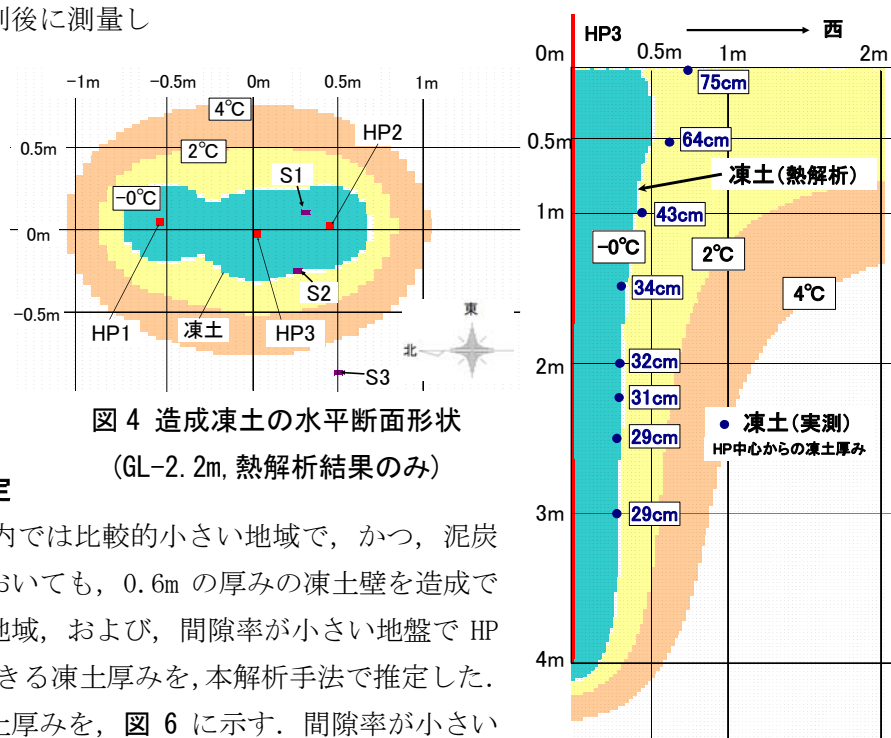


図4 造成凍土の水平断面形状
(GL-2.2m, 熱解析結果のみ)

図5 造成凍土の鉛直断面形状

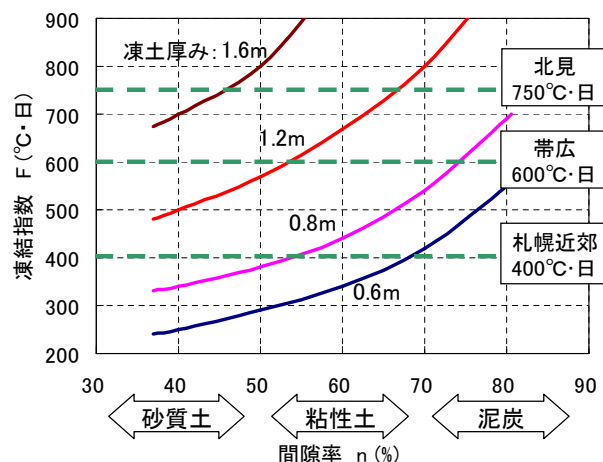


図6 造成凍土厚みの推定結果