

水平 U チューブによるトンネル地中熱採取と路面温度の挙動

株式会社栗本鐵工所 正会員 中村明子*

福井大学工学部 正会員 福原輝幸**

国土交通省郡山国道工事事務所

赤川正一***

1. はじめに

従来、地中熱を熱源とした無散水融雪システムでは、その熱源を、深さ約 30～100m の地盤に求めてきた。従ってイニシャルコストが高くなり、これが地中熱を利用した無散水融雪装置の普及の障害となっている。そこで、筆者らは掘削費用低減のため、従来よりも浅い地盤の地中熱（極浅層地中熱）の利用を考えた。その一つが、U 字型の熱交換器をトンネル中央部の極浅層地盤（地表面下約 1.2m）に水平に設置し、トンネル内の極浅層地中熱を採取する、水平 U チューブ(Horizontal U-Tube：以下 HUT と呼称)方式(HUT システム)である。これは、七折峠トンネル（福島県河沼郡会津坂下町地内）の坑口の凍結防止に、我が国で初めて実用化された。

本研究では、HUT システムにとって初の運転となる 2003 年 1 月～3 月の観測に基づいて、HUT システムの路面温度制御能力に関する考察を行う。

2. HUT システムの概要

HUT システムは、Fig.1 に示すような極浅層地盤（深さ 1.14m）に埋設された HUT および無散水舗装体から構成される。HUT は管径 0.04m、長さ 100m のポリエチレン製水道管を、ピッチ 0.3m で 2 つに折り曲げた長さ 50m の U 字型熱交換器である。当該設備では、これを 1 ユニットとして、トンネルの横断方向中央部（西側坑口から 250～750m の地点）の排水溝内に 20 ユニット設置される。

無散水舗装体は厚さ 0.28m のコンクリート盤であり、内部には放熱管として、管径 0.015m、長さ 70m の SGP 鋼管がピッチ 0.1m、被り厚さ 0.07m で埋設される。凍結防止の対象道路面積は 175m² であり、舗装面積当たりの循環流量は 1.1 (l/[min・m²]) である。

冬期の現地観測は、2003 年 1 月 24 日から 3 月 14 日に亘って実施された。なお、HUT システムの運転制御は路面温度を管理指標としており、無散水舗装体の路面温度が 5℃を下回ると運転を開始し、8℃を上回ると運転を停止する。

3. トンネル内の気温

Fig.2 に凍結防止舗装体（以下、制御路面と呼称）が敷設された西側坑口における気温の典型的な日変化パターンを示す。同図より、1 月の気温は日中を通して 0℃以下であり、路面凍結の危険性が高い。また、2 月や 3 月であっても日の出前の数時間は、氷点以下となり、2 月の午前 6 時の平均最低気温は約 -2℃であった。さらに、1 日で最も気温が上がるのは 15 時であり、2 月の平均最高気温は 5℃であった。

なお、本論では詳しく述べないが、観測期間中にトンネルの西側坑口で計測された風速は、時間的変動が大きく、最大風速は 8 (m/s) であった。この点から、トンネル坑口は路面性状が時間的に変化しやすく、凍結予知が難しい場所であると推察される。

Fig.3 にトンネル内縦断方向の気温分布を示す。図中の 0m は制御路面を敷設した西側坑口を意味する。同図より、トンネル内の気温分布は外気の時間的な温度変化に呼応して、全域に亘って日変化をするが、気温の

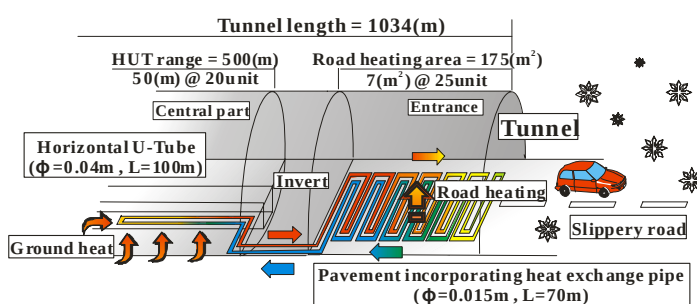


Fig.1 HUT システム概要図

キーワード 極浅層地中熱, HUT

連絡先 * 〒550-8580 大阪市西区北堀江 1-12-19 TEL 06-6538-7731

** 〒910-8507 福井市文京 3-9-1 TEL 0776-27-8595 FAX 0776-27-8746

*** 〒963-0111 福島県郡山市安積町荒井字丈部内 28-1 TEL 024-946-0333

日較差はトンネル外に比べると小さい。なお、気温の日変化の振幅は西側坑口で最も大きく、トンネル中央部のそれより、約 1°C 大きい。

また、東側坑口から 100m の範囲を除けば、トンネル内気温は、西側坑口から東側坑口に向かって上昇する。換言すれば、坑口から 100m 内側までのトンネル内気温は、外気温の影響を受けやすい。

4. 制御路面温度と気温の挙動

Fig.4 は、トンネル中央部(HUT 設置区間)における、路面温度(地表面下 0.01m)と気温の関係を月毎に示す。プロットは 15 分間隔の実測値である。同図より、路面温度と気温はほぼ等しい。

それに対して、Fig.5 に示す西側坑口部における制御路面温度と気温の関係では、気温が氷点以下であっても制御路面温度は常に氷点以上にある。これは、HUT システムによる路面加温効果の有効性を示唆するものである。

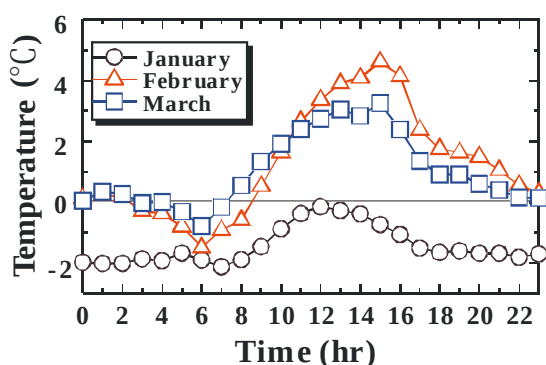


Fig. 2 制御路面を敷設した西側坑口における気温の日変化パターン(2003 年 1 月～3 月)

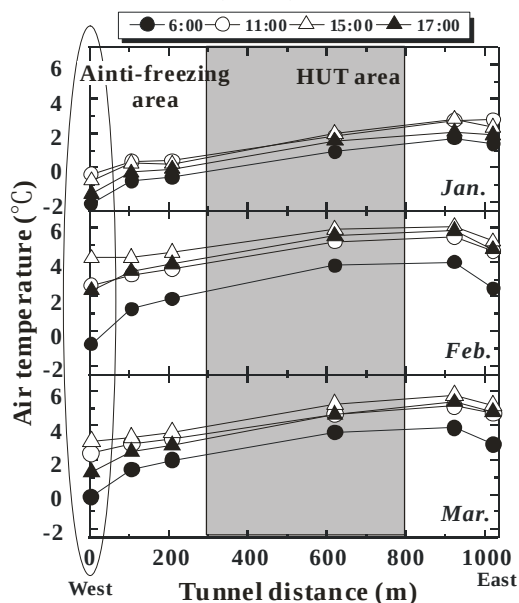


Fig. 3 トンネル内における縦断方向の気温分布

5. 制御路面温度と採熱フラックス

Fig.6 は、単位制御路面あたりの採熱フラックスおよび制御路面温度の経時変化である。平均採熱フラックスは $90.6(\text{W}/\text{m}^2)$ である。また、採熱フラックスは、路面温度の上昇に伴い減少し、路面温度の低下に伴い増加する。すなわち路面温度が低く、凍結の危険性が高くなると、HUT はより多くの極浅層地中熱を採取する。

さらに、3 月に入ってから 100 (W/m^2) 以上の採熱が見られ、長期のシステム運転による熱源の枯渇は生じない。

6. おわりに

今回の観測で、七折峠トンネル内の気温特性を明らかにすることができた。また、HUT システムが路面の凍結防止に対して有効であることが明らかとなった。

今後は HUT システムの伝熱解析を行う。

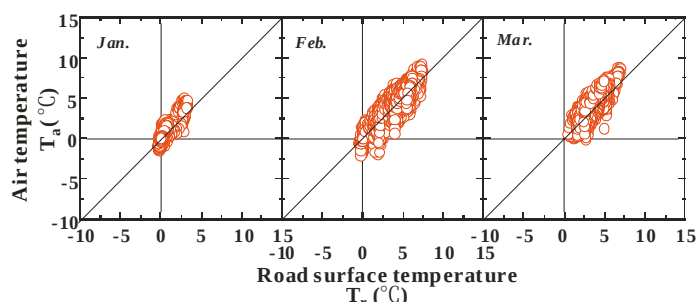


Fig.4 HUT 設置区間における制御路面温度と気温の関係

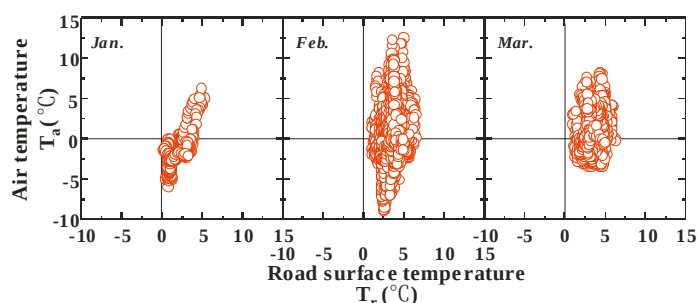


Fig.5 西側坑口における制御路面温度と気温の関係

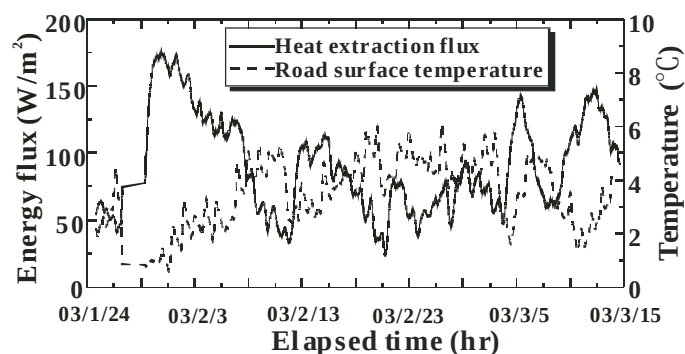


Fig.6 採熱フラックスと制御路面温度の経時変化