

地下タンク内に保存した地下水を用いるパイプヒーティングシステムの温度特性

安村成史¹・志賀亮子²・菖蒲迫正之³・吉武 勇⁴

¹正会員 山口県宇部土木建築事務所 (〒759-2212 山口県美祢市大峰町東分沖田3449-5)
(山口大学大学院 理工学研究科 博士後期課程)

E-mail: yasumura.narifumi@pref.yamaguchi.lg.jp

²正会員 広島市安佐南区役所農林建設部 (〒731-0193 広島市安佐南区古市一丁目33番14号)

E-mail: shiga-r@city.hiroshima.jp

³正会員 株式会社エイト日本技術開発 (〒700-0087 岡山県岡山市津島京町3丁目1-21)

E-mail: shoubuzako-ma@ej-hds.co.jp

⁴正会員 山口大学大学院准教授 理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)

E-mail: yositake@yamaguchi-u.ac.jp

本報告では、地下10m程度にある地下水を備蓄保存して、循環させる「地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングシステム」の設計・施工に関する基礎的データを示す。本システムの供用による路面状況変化および融雪効果について示すとともに、熱源となるタンク内の水温の変化について報告する。本報では3年以上におよぶ実際の国道における運用データを基に、気温・路面温度・タンク内水温・岩盤温度の変化をまとめた。さらに、路面温度がタンク内水温より高い時に強制的に稼働させる(強制運転)ことで、冬期においても短時間でタンク内水温を上昇させることができた。

Key Words : *underground tank, pipe heating system, groundwater*

1. はじめに

近年、高い道路管理水準を求められる傾向にあり、路面の積雪・凍結による交通障害に対して、i) 交通途絶や孤立集落の解消、ii) 除雪の広域ネットワーク化、iii) 旅行時間の定時性、iv) 緊急時の輸送手段の確実性、などが求められるようになってきた。

年間の平均気温が+15℃程度と比較的温暖な地域にある山口県において、冬期の山間部では、最低気温が-10℃以下に達し、多くの降雪や積雪もみられる。積雪・寒冷地区に比べて、雪道運転に不慣れな人が多く、さらにタイヤのチェーンや冬用タイヤの装備率は高くないことから、ひとたび大雪が降ると事故が起りやすく、交通への大きな影響がみられる^{1), 2)}。特に、橋梁での雪や凍結によるスリップ事故が多発している。これらの事故を防止するために数多くの研究が行われている^{3), 4), 5)}。

このような背景から、山口県を含む中国地方では、路面積雪・凍結により危険となる山間部のカーブや橋梁といった局所的な区間を中心に、路面融雪施設の整備が近年活発に進められている。また、近年は

環境問題から地中熱利用についても活発に研究が行われている⁶⁾⁻¹⁰⁾。ここで、比較的温暖な地方においては、地中熱などの自然熱エネルギーの利用可能性が高いことが多く、さらに、降雪時間があまり長くないことから、自然熱エネルギーを用いた無散水融雪施設の適用が望ましいものと考えられる^{11), 12)}。

そこで、本研究では地表近傍(地下10m程度)の深さに構築したタンク内に、路面融雪に必要な熱量(地下水)を備蓄保温し、路面下に埋設したパイプ内に備蓄水を循環させる「地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングシステム」を考案した。そして、山口県内の山間部にある一般国道315号の葉の内3号橋から同4号橋の区間において、このシステムを用いた冬期路面管理を行った。同様のパイプヒーティングシステムとして、2つの大型貯水タンク(最大φ2.6×240m)と集熱器(96@φ0.5×53m)を用いてチェーン着脱場に適用した事例が報告されている^{9), 10)}。本研究で開発したシステムでは、このシステムに比べて小規模な貯水タンク(φ5.5×12.75m)のみで循環水の加温および保温を行い、これを橋梁路面の管理に適用したところに特徴があげられる。本報では、

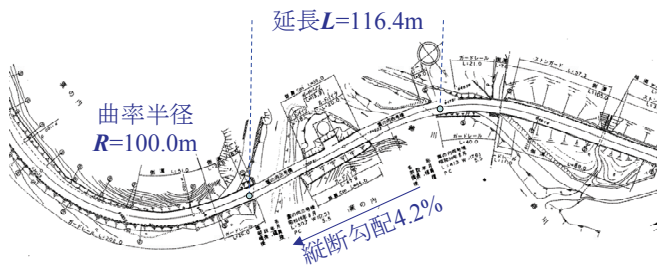


図-1 計画地平面図

システムの設計・施工について概説するとともに、3年以上におよぶ計測による気温・路面温度・タンク内水温・岩盤温度といった温度性状について報告する。

2. 地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングシステム

(1) 計画地と路面融雪方法

路面融雪装置の計画地は、一般国道315号の葉の内3号橋から同4号橋（以下、計画地と呼ぶ）で計画地付近の交通量は約1600台/日であり、標高約570mの山間部である。図-1に示すように、計画地はS字カーブ区間にあり、道路線形は縦断勾配4.2%である。また、中国地方の冬期の山間部においては、降雪量も比較的少なく、長時間におよぶ降雪はあまりみられない。ところが、昼間は比較的温暖な気温となるものの、夜間には、 -10°C 程度まで気温は降下し、路面は積雪・凍結状態となる特徴を有している。このようなことから、冬用タイヤの装着率があまり高くない本計画地では、路面積雪・凍結によりスリップ事故が多発していた。

これまで山口県を含む中国地方の冬期路面管理では、主に機械除雪と塩化カルシウムなどの凍結防止剤散布が行われてきた。本計画地は、河川を横断する箇所であるため、このような凍結防止剤を使用した場合、塩化物が河川内へ流出する危険性が考えられた。また、広く普及している散水工法は、現地において散水に要する水量確保が困難なことから、同計画地においては適さないものであった。そこで本研究では、環境負荷を低減できるとともに経済的な路面管理を行えるよう、地中熱を利用した無散水融雪施設のひとつであるパイプヒーティングを行うこととした。

本計画地で用いた「地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングシステム」の設計にあたり、1992年～2002年の気象データを基に表-1に示す気象条件を仮定し、設計時の設計要領¹³⁾に基づき表-2の

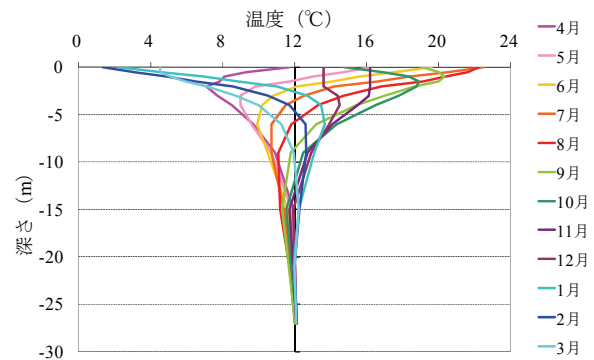


図-2 地中熱の計測結果

表-1 計画地の気象データ

日平均降雪深	cm/day	10.0
時間降雪深	m/h	0.022
雪温 (=気温)	$^{\circ}\text{C}$	-1.9
雪密度	g/cm^3	0.07
風速	m/s	2.0
雪の比熱	$\text{kJ}/(\text{kgK})$	2.1

表-2 必要熱量の算定結果

	融雪	凍結防止
橋梁部必要熱量 (W/m^2)	223	82
土工部必要熱量 (W/m^2)	161	59

表-3 融雪・凍結防止に要する水温

	融雪	凍結防止
橋梁部	11.5°C	4.9°C
土工部	10.9°C	4.6°C

必要熱量を算定した。ここで求めた必要熱量に基づき、融雪面積(橋梁部 430m^2 、土工部 265m^2)に対して、表-3に示すような融雪・凍結防止に要する水温を算定した¹⁴⁾。

(2) 地中熱分布の計測

一般に地表から深さ 10m 程度までは外気温変動の影響を受けるため、季節変化する層(変温層)がある。一方、地下 10m 以深では外気温変動の影響をほとんど受けず一定となり、その温度は、ほぼ年平均気温と一致する⁵⁾。

貯水用のタンク設置を行う上で、地下の地質条件および温度変化を把握するため、本計画地の路肩近くでボーリング調査を行い、このボーリング孔に、計12点の熱電対(T-type)を設置し、1年間(2004年3月～2005年5月)を通じて時間制御による自動計測を行った。その計測結果を図-2に示す。この結果に示されるように、路盤面より10m程度で地中熱はほぼ一定となり、その温度は 12°C 程度であった。またこ

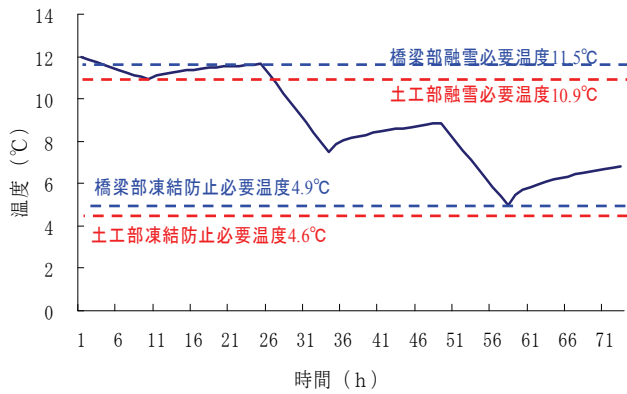


図-5 タンク内の平均水温の解析結果

$$q = \frac{Q}{c_w \cdot \gamma_w \cdot \Delta T_w} \quad (2)$$

ここに、 c_w ：水の比熱(4.19 J/g°C)、 γ_w ：水の密度(1.0×10^6 g/m³)を表す。なお、 ΔT_w はパイプパネル(標準サイズ：3.0×5.1m、パイプ長：約100m)に通水循環した場合の温度低下量を表し、本研究では5°Cと仮定した。

式(1)、(2)を用いて、橋梁部・土工部における必要単位水量(q_{u1} , q_{u2})を計算すると、それぞれ0.65, 0.50 (l/min/m²)が求まる。

これらの必要単位水量を基に、システム最長稼働時間が9時間のときの必要水量 V は、同設計要領¹³⁾により下式から得られる。

$$V = (q_{u1} \cdot A_1 + q_{u2} \cdot A_2) \times 60 / 1000 \times h \quad (3)$$

$$= 225$$

ここに、 V ：必要水量(m³)、 q_{u1} ：橋梁部の必要単位水量(0.65 l/min/m²)、 q_{u2} ：土工部の必要単位水量(0.50 l/min/m²)、 A_1 ：橋梁部の面積(430m²)、 A_2 ：土工部の面積(265m²)、 h ：システム稼働時間(9hr)

これらの結果に基づいて、タンク容量は225m³以上を確保できるサイズ(容量230m³)とした。そして、システム稼働時におけるタンク内の水温低下を予め把握するため、汎用FEM数値解析ソフトウェアを用いた非定常熱伝導解析を行い、タンク容量の妥当性について検証した¹⁴⁾。そして、その解析モデルを図-4に示す。本モデルは、概略設計段階で考えた円筒状のタンクについて、その軸対称性を考慮した上で2次元モデル化したものである。また解

析対象とした岩盤は、タンク壁面から10m(タンク半径の約3.6倍)、およびタンク底面から22.75mまでとし、それぞれの縁部を温度固定境界(12°C)とした。

ここでは、表-4に示す解析条件¹⁷⁾において計算を行った。なお、周辺岩盤およびタンク内の水の初期温度は、ボーリング時の地中熱調査に基づいて12°Cと設定した。なお、1992年～2002年の気象観測データの中で、最長の継続降雪時間が9時間であったことから、そのような気象が3日間連続した場合を想定した解析を行った。

タンク内の平均水温の解析結果を図-5に示す。なお、9時間連続稼働した際の温度低下は、既往の設計要領¹³⁾に基づき算定したものである。これらの結果より、融雪に必要な熱量を約26時間で確保できなくなるものの、凍結防止に必要な熱量は3日間連続稼働した場合においても確保されていた¹⁴⁾。

(4) パイプヒーティングシステム

a) パイプヒーティングの構造

新しく設置される橋梁でパイプヒーティングシステムを行う事例はいくつかみられるが¹⁸⁾、本例のように既設の橋梁にこのようなシステムを設置する事例はほとんどみられない。そこで、パイプヒーティングに用いるコンクリート版の構造について検討がされた事例^{19), 20)}を参考に橋梁の構造を検討した。写真-1に示すように、本計画地における既設の路面舗装を切削し、鋼製のパイプ(15A)を埋設深50mm位置に設置することとした。埋設したパイプは、標準サイズで3.0×5.1mのパネル状になっており、そのパイプ間隔は150mmである。埋設したパイプの総延長は、約4600mにおよぶ。

なお、本システムでは一般的なコンクリート舗装においてもアスファルト舗装に比べ、耐久性や熱伝導率が高いことからこれを用いた。また、橋梁部のコンクリート舗装は、ポリプロピレン繊維補強コンクリートを用いることとし、ひび割れの抑制を図った²¹⁾。

b) システムの運転方法

地中熱地下備蓄タンク方式によるパイプヒーティングシステムは、2005年冬期より運用を開始した。水中ポンプは降雪、気温、路面温度、水分センサーにより自動稼働が可能であるため、外気温が+3°C以下、あるいは橋梁部の路面温度が+1°C以下となった場合にシステムが自動制御するように設定していた。しかし、供用開始後に明らかに路面が凍結しない場合でもポンプが稼働するなど、不要と思われる



写真-1 パイプ設置状況

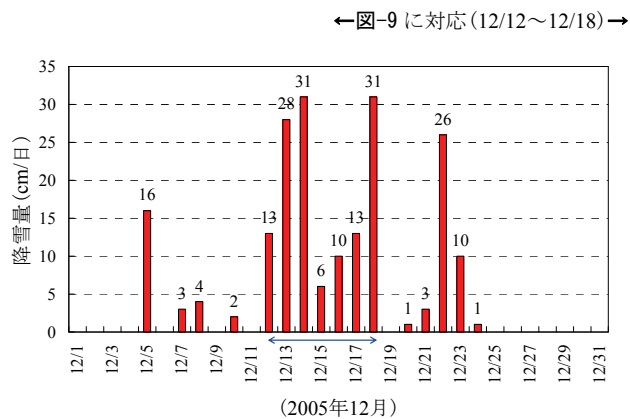


図-6 2005年12月の日降雪量



写真-2 標準運転時の路面状況



写真-4 降雪直後の路面状況

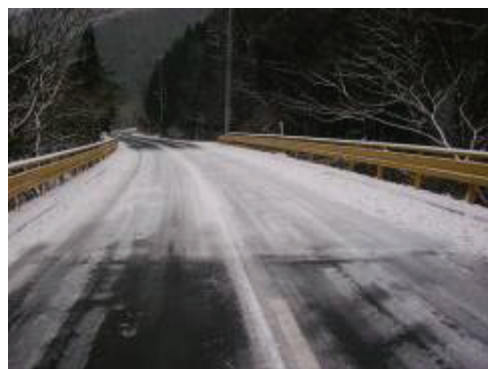


写真-3 周辺橋梁の路面状況



写真-5 降雪後の路面状況 (6時間後)

自動作動が多数みられたことから、作動基準の変更について検討を行った(詳細は後述)。その結果、2006年11月以降は $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以下となった場合にシステムが自動制御するように設定を変更している²²⁾。

(5) 温度計測方法

タンク内の貯留水やパイプヒーティング路面、タンク周辺岩盤の温度変化を把握するため、既設の調査ボーリング孔内、タンク内およびその周辺、ロックボルト周辺、路面内に熱電対を計68点設置した。

これらの熱電対を用いて、継続的にタンク内の水

温、タンク周辺の岩盤温度、橋梁部路面内の温度、土工部路面内の温度、外気温について測定を行った。この温度計測は調査ボーリング孔および路面内については2004年3月~2009年3月まで、タンク内およびロックボルト周辺については2005年9月~2009年3月まで計測を行った。なお、調査ボーリング孔はタンクとパイプヒーティングを行う道路との間に位置し、タンクの端部からおおよそ10m離れている。

本研究では、図-3に示す熱電対設置個所のうち、タンク内水温、外気温の変動をほとんど受けない深さと考えられる路盤面から21m深にあるタンク壁面



写真-6 パイプヒーティング有無の境界
(2005年12月14日撮影)

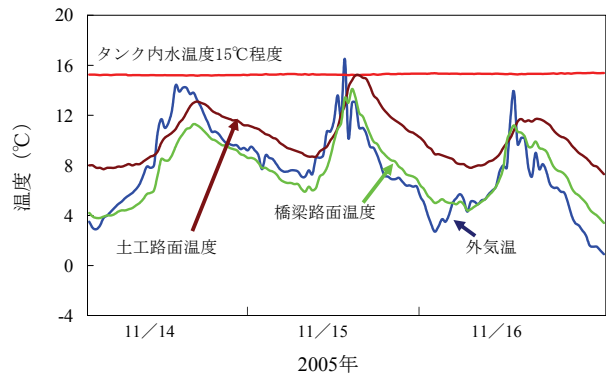


図-7 供用開始前のタンク内水温

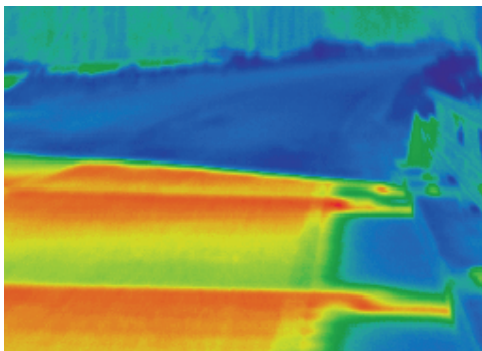


写真-7 設置区間起点側の熱赤外線写真
(2005年12月14日撮影)

およびロックボルト内、調査ボーリング孔内の温度変化に着目することとした。

3. 路面融雪・凍結防止効果と温度計測結果

(1) 路面融雪・凍結防止効果

a) 標準運転時の路面状況

本システムの標準的な運転例として、供用開始後である2005年12月における冬期運転時の路面状況を写真-2に示す。この写真の例に示すように、一般路面と同様に、パイプヒーティングを設置した橋梁上にはほとんど残雪はなく、十分に融雪できていた。

なお、本システムを設置した区間に近接する複数の橋梁では、パイプヒーティングのような路面融雪施設がないため、写真-3のように路面には残雪が圧雪・圧着し、アイスバーンが発生した。このため、アイスバーンの剥ぎ取り作業および塩化カルシウム散布を行うこととなった。これに対し、本システムを設置した区間においては、このような路面管理作業が不要であったことから、冬期路面の維持管理業務における省力化にも貢献できる技術となる可能性

が窺えた²³⁾。

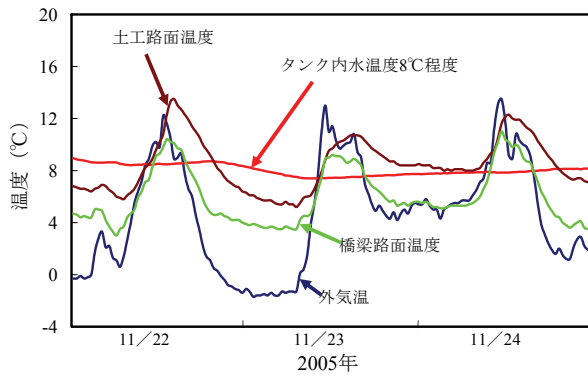
b) 長期運転時の路面状況

本システムの設計に用いた気象データから、最長継続降雪時間を9時間としており、これを超える長時間の連続した運転は想定していなかった。しかし、本システムを供用開始した最初の冬期において、「平成18年豪雪」^{1),2),24)}と命名されるほどの全国的な記録的寒波が到来し、山口県においては、特に2005年12月に、この寒波の影響を大きく受けた。この期間においては、本計画地の外気温はほとんど0°C以下であり、約7日間(12月12日～18日)の連続的な降雪で設計値を大きく上回るものであった。

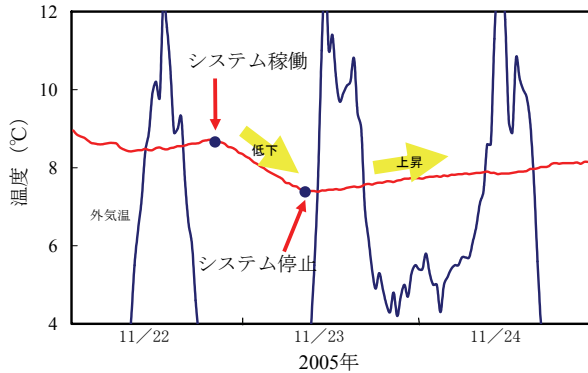
2005年12月の日降雪量を図-6に示す。2005年12月14日には31cm/日の降雪があった。同日における降雪直後の路面状況を写真-4に示す。さらに、この降雪後(6時間後)における路面状況を写真-5に示す²⁵⁾。

写真-4に示すように、同日のような降雪に対しては、パイプヒーティングを設置した区間においても、一般路面と同様に多くの残雪がみられた。しかしながら、これから6時間後においては、写真-5に示すようにパイプヒーティングを設置した路面上の雪は、ほぼ完全に融けており、コンクリート舗装が露出していた。さらに、写真-6は、パイプヒーティングの設置区間と設置していない区間の境界を撮影したものである。パイプヒーティング設置区間外の路面上には残雪しているが、設置区間路面上はほぼ完全に融雪できていた。

写真-6に示す境界部近傍を、熱赤外線カメラを用いて撮影した(写真-7)。これらの写真に示すように、パイプヒーティングが設置されている橋梁部路面では、パイプヒーティング等を行わなくても地中からの熱供給によって徐々に融雪される一般路面に比べ、若干早く無雪状態となるため、写真-3のような路面状態の格差が生じにくい。そのため路面状態の格差



a) 各温度とタンク内水温変化



b) 稼働に伴うタンク内水温の低下と上昇

図-8 冬期標準運転時のタンク内水温

に起因した車両のスリップ事故の低減に寄与できるものと考えられる。

(2) 地中熱地下備蓄タンク内の水温変化

a) 運転開始前の温度変化

本システムの運用開始前である2005年9月から11月までのタンク内水温について検証した。その一例として2005年11月14日～16日におけるパイプヒーティングシステムの非稼働時のタンク内水温、および外気温・路面温度の変化を図-7に示す。この結果より、外気温が+3℃まで低下してもタンク内水温にはほとんど変化がみられず、ほぼタンク内初期温度の+15℃を保持できていた。また、そのほかの期間についてもタンク内水温にはほとんど変化がみられなかった。

b) 標準運転に伴う温度変化

本システムは設置した地域の気候特性上、夜間から早朝にかけて気温が氷点下となり、昼間は比較的温暖な状況である。そのため主に夜間運転し、昼間時に停止する。タンク内の水温については、本システムの稼働に伴い水温が低下し、停止時に水温が上昇する。その一例として、2005年11月22日～24日における冬期標準運転時のタンク内水温、および外気温・路面温度の変化を図-8 a), b)に示す。本シス

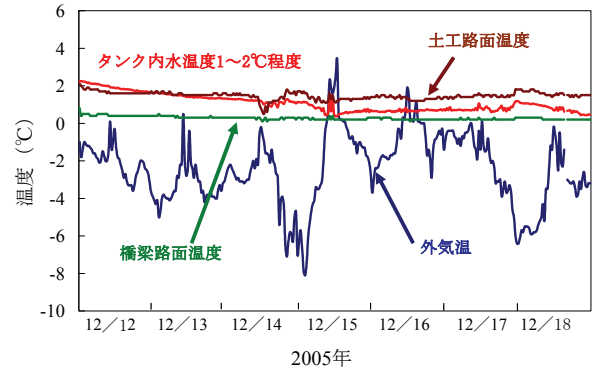


図-9 2005年12月の豪雪時におけるタンク内水温

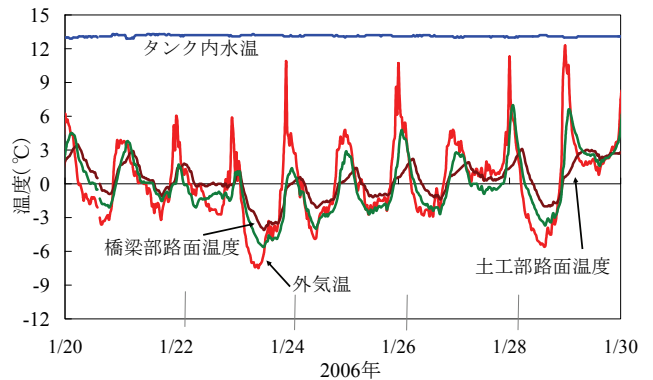


図-10 システム休止中の温度変化

テムでは、路面内に埋設したパイプを通じて冷却された循環水がタンク内に再び戻るため、タンク内水温は一時的に低下するが、システム停止時には、周囲の地熱等によりタンク内水は温められた。

c) 長期運転時の温度変化

本システム供用開始後である2005年12月から2009年3月までの気象観測結果について、1年あたりの路面凍結日数、積雪量の累計、気温が氷点下を下回った日数などにおいて、年ごとの大きな差異はみられなかったが、2005年12月においては、4日以上におよぶ連続した降雪が記録された。この時のタンク内水温はいずれも0～3℃に低下し、連続運転を行っていた。特に、2005年12月の豪雪時²⁰⁾における降雪量は、地中熱地下備蓄タンクの設計に用いた1992年～2002年の10年間および2002年～2004年に観測した降雪量をも大きく上回るものであった。

しかしながら、図-9に示すように、外気温-8℃を観測した2005年12月15日ですえ、橋梁部および土工部の路面温度が0℃を上回っていた。さらに、このように長期間連続運転を行っても、(約+2～1℃にまで水温低下が生じたものの)タンク内水温は0℃以下になることはなく、タンク内およびパイプ内の凍結はみられなかった。

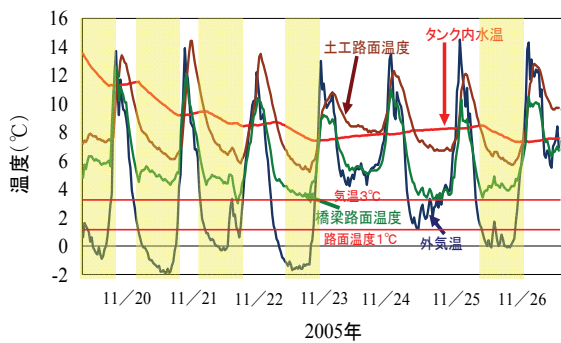


図-11 作動基準変更前の温度変化

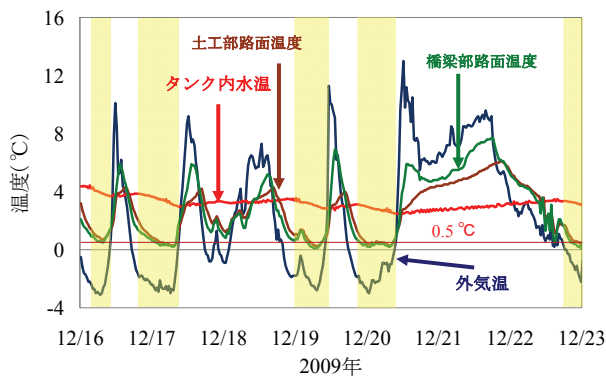


図-12 作動基準変更後の温度変化

このような厳しい気象条件により、タンク内水温が設計値より大きく低下したが、地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングを行った路面では、融雪・凍結防止ができており、前述したように橋梁部の路面においても、地中熱供給のある一般路面（パイプヒーティングなし）より先に、無雪・非凍結状態にすることができた。

d) システム運転休止中の温度変化

本システム設置後に発生した停電などによりシステム全体の停止を一ヶ月程度余儀なくされた。しかし、この間も温度計測ができていたため、冬期における運転休止中のタンク内温度について温度変化のデータが得られた。この休止中であった2006年1月20日から2006年1月30日のタンク内水温および路面温度、外気温の変化を図-10に示す。図-10に示すように、外気温が大きく変化した場合、路面の温度は変化しているが、タンク内水温の変化はほとんど認められない。ここで、外気温の変化よりも路面温度の変化に着目し、システム運転に伴うタンク内水温の変化について検証を行った。

供用開始当初は、外気温が $+3^{\circ}\text{C}$ 以下、あるいは橋梁部の路面温度が $+1^{\circ}\text{C}$ 以下となった場合にシステムが自動作動するように設定したため、明らかに路面が凍結しない場合でもポンプが稼働するなど、不

要と思われる自動作動が多数みられた。このようなことから、作動基準の変更について検討を行った。

図-10によると、同期間における現地の路面の温度変化は外気温の変化に比べて小さかったことから、運転の制御を橋梁部の路面温度変化によることとした。図-11に本システム供用開始当初の温度変化を示す。図-11中の黄色で着色した部分はシステムが稼働した時間である。図-10および図-11に示すような温度結果に基づき、橋梁部道路路面温度が $+0.5^{\circ}\text{C}$ 以下となった場合にシステムが自動作動するように設定を変更した。

図-12に作動基準変更後の温度変化を示す。図-12中の黄色で着色した部分も同様に、システムが稼働した時間を表している。図-12から、同じような気象変化で大きく運転時間が減少したことが認められる。これにより、不要と思われるシステムの自動作動を削減できるため、タンク内水温の低下は減少する。このことは、熱源として自然熱エネルギーのみを利用する本システムにとってより長い降雪などに対応できることを意味する²⁾。

(3) タンク内水温の上昇方法

a) タンク内水温上昇の必要性

中国地方の気象特性を活かした本システムは、昼間に地中熱を備蓄し、夜間に路面へ放熱することを基本としている。そして、本システム設計に用いた気象データから、最長継続降雪時間を9時間としており、これを超える長時間の連続した運転は想定していない。このため、タンク内の水温が充分回復しない状態で連続運転を行う結果となった。このような状況下では、地中熱だけでは採熱が間に合わず、タンク内水温がさらに低下した場合、路面融雪・凍結防止効果が得られない可能性がある。熱源として自然熱エネルギーのみを利用する本システムでは、地中熱地下備蓄タンク内の水温を短時間で上昇させることは不可能である。そこで、タンク内に比べ比較的温度的の高い路面内のパイプに通水することで、低下したタンク内水温を上昇させる方法について検討した。そして、融雪装置の運転に伴う路面温度およびタンク内水温の変化に加え、循環水で低温化するタンクによって、周辺岩盤が徐々に温度低下する程度を把握するため、温度計測結果を用いて検証を行った。

まず外部からの温度変化の影響をほぼ無視できる路盤面からの深さ 21m のタンク内水温、ロックボルトに設置した温度計の温度、および同じ深さにある調査ボーリング孔の温度に着目することとした。ロックボルトに設置した温度計の温度変化はタンク

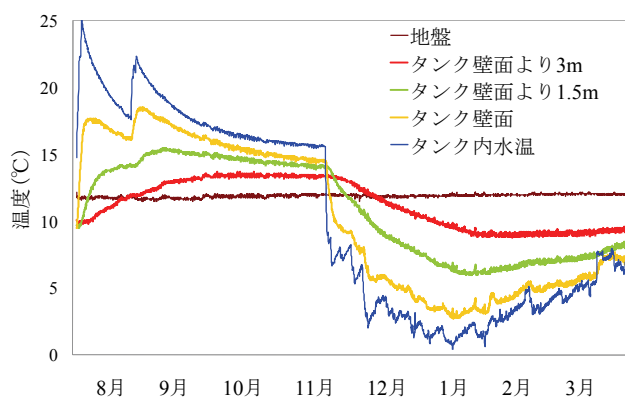


図-13 2008年8月～2009年3月の計測結果

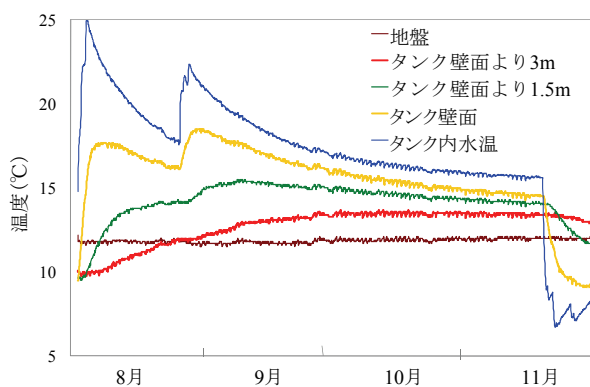


図-14 2008年8月～2008年11月の計測結果

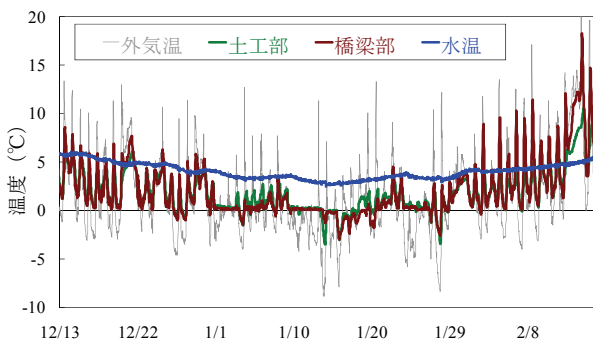


図-15 2008年12月～2009年2月の計測結果

と接する地盤温度，すなわちタンク近傍の地盤温度である．そこで，2008年8月から2009年3月までにおける同深さのタンク内水温，タンク近傍の地盤温度（ロックボルトに取り付けた熱電対を用いて計測），および地盤の温度計測結果を図-13に示す．この深さでは外気の影響をほとんど受けないため，年間を通じて地盤の温度は約12°Cで一定であった．2008年11月下旬にシステムが稼働するとともにタンク内水温は低下し，12月には約3°C，1月には約

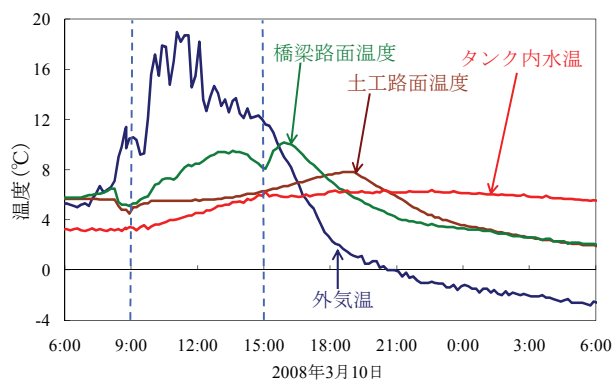


図-16 冬期における逆熱交換実験結果

1°Cであった．一方，タンク壁面より3mの位置の地盤は8°C程度に低下した．このことは，2月以降にみられるタンク内水温の上昇に関係しているものと思われる．

b) 夏期の強制運転による温度変化

橋台のコンクリート基礎杭を熱交換器と兼用して地中熱を集熱し，車道を融雪するシステムにおいて，夏期に循環ポンプを運転させ路面の熱を地中に蓄え冬期の融雪に使う工法（逆熱交換）が実用化されている⁴⁾．また，夏期と冬期両方に循環ポンプを運転させることで，夏には涼しく冬には暖かくする試みが報告されている^{9), 10)}．これらの研究を参考に，路面温度とタンク内水温の温度差が大きい2008年8月上旬および下旬の2回にわたって，それぞれ3日間連続してシステムを稼働させ運転を行った．強制運転における温度計測結果を図-14に示す．

図-14から，タンク内水温は25°Cまで上昇し，冬期運転開始前のタンク近傍の地盤温度およびタンク内水温はともに15°C程度を維持していた．しかし本システムの場合，冬期にパイプ内を循環した水がタンクに還流するため，いったんシステムが稼働すると，急激にタンク内水温が低下する．そのため，夏期に水温を上昇させることは，その効果ごく初期の運転時に限られるものであり，必ずしも効率のよい熱源の確保方法ではなかった．

c) 冬期の強制運転による温度変化

本システムの設置した場所の気候は冬期間であっても数日間，路面温度が0°C以下にならず，且つ最高気温が10°C以上となり路面温度が上昇する日が見られた．このようにタンク内水温が路面温度に比べて著しく低い場合に本システムを稼働させることによりタンク内水温を上昇させられる可能性がある．図-15に2008年12月中旬から2009年2月中旬の土工部路面温度変化，橋梁部路面温度変化，タンク内水温および外気温の計測結果を示す．図-15の結果によると，タンク内水温に比べて路面温度が高く

なっている場合もみられる。一方、1月14日には2008年度の最低気温の -9°C にまで低下している。しかし、日中には 10°C 以上まで外気温は上昇し、24時間連続して気温が氷点下以下となった状況ではない。このようなことから、システムの稼働により低下したタンク内水温を上昇させるため、冬期の比較的気温の高い日中に数時間システムを稼働させる実験を行った。

図-16は2008年3月10日に行った運転時の温度変化を示している。前日夜間から当日早朝の気温は約 5°C であったが、日中には約 20°C まで上昇した。本システムの運転は9時から15時まで行った。その結果、タンク内水温は 3.2°C から 6.0°C まで 2.8°C 上昇した。夏期に行った強制運転の温度上昇と比較するとその効果は小さいが、このように必要な時期に短時間でタンク内水温を上昇させることができたことから、凍結防止・融雪効果に少なからず寄与できるものと考えられる。

4. おわりに

本報では「地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティング」の設計・施工の要点をまとめ、路面融雪効果および熱源について報告した。特に、システム稼働後3年以上における計測結果に基づき、主に融雪・凍結抑制効果および路面・タンク内温度変化についてまとめた。

比較的温暖な地方においては、地下10m程度の深さに構築したタンク内に、路面融雪に要する熱量(地下水)を備蓄保温し、降雪時など必要に応じてパイプヒーティングシステムを稼働させ、システムの非稼働時間中に周辺地中熱等によって、タンク内水温を上昇させることで、経済的かつ効率的な路面融雪を行うことができた。

つぎに、設計値を上回る連続した降雪や連続した低気温が生じたが、橋梁部においても融雪・凍結防止効果がみられ、少なくとも地中熱供給のある一般路面よりも先に無雪状態にすることができた。

そして、熱源となるタンク内水の強制運転による温度上昇について、夏期および冬期の両方で効果が得られることが確認できた。冬期の強制運転でのタンク内水温の上昇効果は、夏期のタンク内水温と路面温度との差が大きい場合と比較するとその効果は小さいが、冬期においても短時間でタンク内水温を上昇できた。このことは、凍結防止・融雪効果に少なからず寄与できるものと考えられる。

本研究を通じて、地中熱地下備蓄タンク方式パイ

プヒーティングに関する多くの基礎的データを収集することができた。これらの詳細な分析を基に、効果的な同システムの運用手法を確立し、今後において同様の融雪システムを検討する場合においてより効率的な融雪システムを開発できるようにする必要があると考えている。

謝辞：本研究は、(社)中国建設弘済会の「技術開発支援制度」による研究助成(助成課題：「中国地方における地熱を活用したパイプヒーティングによる適切な冬季路面管理法の開発」、研究代表者：吉武勇)を受け、実施したものである。また、本システムの開発ならびに各種計測にあたり、山口県周南土木建築事務所の維持管理課各位、(株)エイト日本技術開発の永井泉治氏をはじめとする多くの方々に協力を頂いた。ここに記して、関係者各位に深甚の謝意を表す。

参考文献

- 1) 古堅辰一, 松村光太郎, 荒木紀人, 佐久本光章, 安岡真希: 関西・中国地方の「平成18年豪雪」における交通障害に関する研究, 日本雪氷学会全国大会講演予稿集, Vol.2006, p.112, 2006.
- 2) 福原輝幸, 金澤文彦: 平成18年豪雪がもたらした福井の冬季道路交通問題, 日本雪工学会誌, Vol.22, No.3, pp.78-83, 2006.
- 3) 宮本重信, 室田正雄: 鋼床版橋路面の蓄熱材封入による凍結抑制の研究, 土木学会論文集, No.574/VI-36, pp.73-83, 1997.
- 4) 宮本重信, 竹内正紀, 永井二郎, 菅原桂一郎: 熱交換抗群を用いた合成鋼床板橋での季節間蓄熱融雪の一設計, 土木学会論文集G, Vol.64, No.1, pp.10-25, 2008.
- 5) 谷本俊夫, 吉武勇, 中村秀明, 谷直彦, 浜田純夫: 温水パイプによる橋梁床版の融雪・凍結防止システムに関する研究, 土木学会論文集, No.595/VI-39, pp.103-116, 1998.
- 6) 宮本重信: 地下水を利用した節水型融雪システムの開発, 土木学会論文集, No.492/VI-23, pp.77-86, 1994.
- 7) 森井和宏: 環境に優しい地中熱利用の融雪システムの施工について, ゆき, Vol.66, pp.26-29, 2007.
- 8) 川津孝徳, 加藤禎, 芳賀千賀子: 一般国道13号主寝坂道路における消融雪設備計画~多様な熱源の効率的活用について, 日本雪工学会誌, Vol.22, No.1, pp.14-17, 2006.
- 9) 福原輝幸, 阪本信弘: 地中熱利用による路面温度制御 冬期融雪および夏期路面冷却, 土木学会誌,

Vol.84, No.10, pp.63-65, 1999.

- 10) 福原輝幸, 小寺健太郎, 浅田興志男, 河合源悟: 地中熱を利用した貯水槽集熱システムの性能評価, 土木学会論文集, No.741/VII-28, pp.143-153, 2003.
- 11) 永井泉治, 吉武 勇, 仁尾彰一郎, 浜田純夫: パイプヒーティングによる路面融雪のためのトンネル坑内加温実験とコスト評価, 土木学会論文集, No.707/VI-55, pp.219-224, 2002.
- 12) 永井泉治: 山岳トンネルの熱エネルギーを利用したパイプヒーティングシステムの設計に関する研究, 山口大学博士論文, 2002.
- 13) 建設省北陸地方建設局: 「路面消・融雪施設等設計要領」, 2000.
- 14) 菖蒲迫正之, 安村成史, 永井泉治, 吉武 勇: 地中熱地下備蓄タンク方式による路面融雪の実用化に関する検討, 寒地技術論文・報告集, Vol.20, pp.198-204, 2004.
- 15) 例えば 森山和馬, 林 拓男: 地中熱利用のBHES融雪システム, 自然・未利用エネルギーによる雪寒対策シンポジウム論文集, pp.9-14, 1999.
- 16) 雪センター: 「平成14年度国土交通省における雪に関する施策概要資料」, 2002.
- 17) 日本機械学会: 「伝熱工学資料」改訂第4版, 1986.
- 18) 例えば 宮本重信, 竹内正紀: 橋梁基礎杭を利用した地中への季節間蓄熱融雪, 土木学会論文集, No.797/VI-36, pp.51-62, 2005.
- 19) 吉武 勇, 辻 和秀, 三村陽一, 山口哲矢, 浜田純夫: パイプヒーティングの構造設計に用いるコンクリート版の要素実験, 土木学会論文集, No.770/VI-64, pp.53-63, 2004.
- 20) 辻 和秀, 吉武 勇, 谷本俊夫, 浜田純夫: パイプヒーティング機能を有するコンクリート版のライフサイクルコスト, 土木学会論文集, No.805/VI-69, pp.131-136, 2005.
- 21) 菖蒲迫正之, 安村成史, 石田純一, 海野達夫, 永井泉治, 吉武 勇: 地中熱地下備蓄タンク周辺の恒温層地熱とタンク内水温, 寒地技術論文・報告集, Vol.21, pp.575-580, 2005.
- 22) 東 克樹, 安村成史, 梅田高正, 菖蒲迫正之, 吉武 勇: 地中熱地下備蓄タンク方式パイプヒーティングシステムの効率的な温度管理, 寒地技術論文・報告集, Vol.23, pp.66-70, 2007.
- 23) 菖蒲迫正之, 安村成史, 石田純一, 吉武 勇: 地中熱地下備蓄タンクによる路面融雪効果, 寒地技術論文・報告集, Vol.22, pp.234-238, 2006.
- 24) 国土交通省河川局防災課災害対策室: 「平成18年豪雪」について, 土木学会誌, Vol.91, pp.38-39, 2006.
- 25) 安村成史, 石田純一, 菖蒲迫正之, 吉武 勇: 山口県における無散水路面融雪施設の冬期道路管理への活用, 土木学会第61回年次学術講演会, VI-228, pp.455-456, 2006.

(2010. 5. 12 受付)

THERMAL PROPERTY OF NEW PIPE HEATING SYSTEM USING GROUNDWATER SAVED IN A LARGE UNDERGROUND TANK

Narifumi YASUMURA, Ryoko SHIGA, Masayuki SYOBUZAKO
and Isamu YOSHITAKE

A new pipe heating system which uses only groundwater stored in a large underground tank was developed in the present study. This paper outlines its design and construction, and provides fundamental data on the developed system. Specifically, it reports on snow-thawing effects and ice prevention, and presents thermal properties based on long-term measurement over 3 years. In addition, the paper presents a possible heating method; circulate water in the tank to the pipes when the road temperature is higher than the water temperature. According to the test results, this method could increase the water temperature even by running the water for short periods of time in winter.