

## 山岳トンネル湧水を利用したパイプヒーティング融雪実験

(株)エイトコンサルタント 正会員 永井泉治  
 山口大学 正会員 吉武 勇  
 山口大学 正会員 浜田純夫

### 1 はじめに

積雪日数が少ない中国地方のような比較的温暖な地域においても、積雪・路面凍結に伴う車輛スリップ事故は多く、特に橋梁やトンネル坑口部などの路面状態の急変部では、頻繁にスリップ事故が発生している。ここで、比較的温暖な地方にある山岳トンネルでは、地山の有する熱量も多く、またトンネル内の気温変化も大きくないことから、トンネル湧水や地熱は安定した熱源となりうるものと考えられる。そこで本研究では、経済的且つ効率的な温水パイプ式ロードヒーティングシステム(以下、パイプヒーティングと称す)の構築を目的に、現在未利用のエネルギー源である山岳トンネル湧水による橋梁融雪実験を行い、その適用性について検討を試みた。

### 2 山岳トンネル坑内温度計測

#### (1) 計測対象トンネル

本研究のパイプヒーティングでは、熱源が地熱またはトンネル湧水であることから、トンネル内部の温度分布や湧水温度の把握が必要とされる。そこで現在供用中の平成トンネル(島根県掛合町)、美郷トンネル(山口県本郷村)および丑の河トンネル(広島県西城町)においてトンネル内の地熱・湧水温度の計測を行った。

#### (2) 温度計測方法

平成トンネルでは、覆工コンクリートの1スパン(10.5m)毎に舗装部から深さ約0.5~1.0mの範囲内に熱電対(T.Type)を埋設し、携帯型データロガーを使用して地熱等の温度計測を行った。また美郷トンネルでは、側壁部孔に熱電対・白金測温体を挿入し温度計測を行った。

#### (3) 温度計測結果

トンネル内地熱・湧水温度の一例として平成トンネルの計測結果を図-1に示す。同結果より、トンネル坑口部は、坑外の温度変動の影響を受けて地熱が変動するが、トンネル中心に近づくにつれ恒温状態に近づいていることが分かる。また、

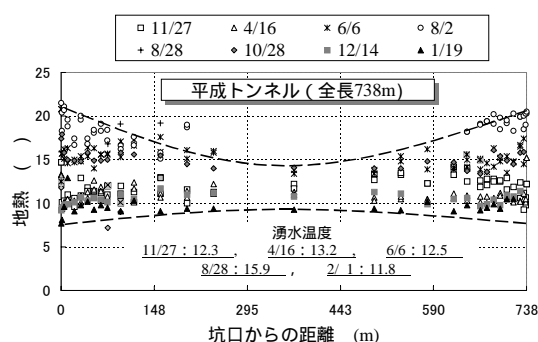


図-1 平成トンネル温度計測結果

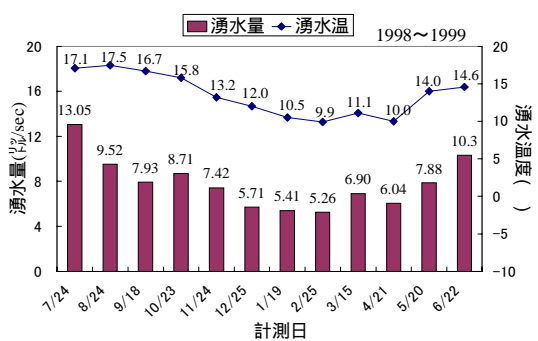


図-2 美郷トンネル湧水温度および湧水量計測結果

を示す。この図より最低でも5(l/sec)程度の湧水量があり、比較的安定した水源(熱源)となる可能性が伺える。また、いずれのトンネルの湧水温度においても、冬期で約10以上と比較的高い温度で安定していた。これらの結果より、トンネル内の地熱や湧水は、年間を通じて安定した未利用の自然エネルギー源であると考えられ、パイプヒーティング等の融雪・凍結防止方法に適用すれば、その効果を発揮できるものと期待される。

### 3 橋梁融雪実験

#### (1) 実験供試体および実験方法

本研究ではトンネル湧水をパイプヒーティングに利用した場合の融雪効果について検討するため、特にコンクリート舗装種類を変えて融雪実験を行った。供試体A(80mm厚)は、ガラス砂および鋼繊維(SF)を使用し、鋼製

キーワード：融雪，パイプヒーティング，トンネル湧水，地熱，  
 連絡先(〒755-8611 山口県宇部市常盤台2丁目16番1号 TEL 0836-85-9332 FAX 0836-85-9301)

パイプ(内径15mm, 外径18mm)を150mm間隔で供試体最下面に配置した。また供試体B(50mm厚)および供試体C(80mm厚)は海砂を使用した一般的な配合条件であり, 供試体A同様のパイプ配置とした。

ここでトンネル坑口部の橋梁を想定するため, トンネル坑口付近にあるコンクリート床版橋に供試体A~Cを敷設し, 各供試体にトンネル湧水の通水を行った。温度の計測にあたっては, データロガー内の記録メディアに10min毎に記録するとともに, 30min毎には各供試体の雪載状況を計測した。なお, 実験当日は29cm/dayの降雪があり, 外気温も比較的低温(最低-6, 平均-4程度)であった。

## (2) 連続運転時における融雪効果

連続運転時における外気温・湧水温および供試体表面部の温度変化を図-3に示す。同結果より, 供試体表面部近傍(深さ10mm)の温度は, いずれも約2以上の温度を保持しており, 特に50mm厚の供試体Bでは, 約5程度まで高まっていることが分かる。また供試体表面の雪載状況に着目すると, 計測期間中(14:00~翌日10:00)において, 目視可能な積雪・残雪は一度もなく, 供試体表面を無雪状態にすることができた。

## (3) 断続運転を想定した融雪実験

トンネル湧水量に比して融雪面積が広範囲となる場合や経済性を求められる場合には, 融雪箇所のブロック化により, 断続的な運転とする場合が多くなるものと思われる。そこで, 本研究では各供試体の融雪能力の定量化および同システムの間欠作動(断続運転)時の融雪効果を確認する目的から, 長期間低温下の外気に曝した供試体上に高さ50mmで雪載し, 連続運転同様, 埋設パイプにトンネル湧水の通水を行った。

図-4に各供試体の融雪量を示す。同厚で異なる熱伝導率を有する供試体A(ガラス砂+S F)と供試体C(海砂)を比較すると, 通水開始60min程度までは大きな差は認められないものの, 90min以降では, 徐々に熱伝導性の高い供試体C上の雪が融けていることが分かる。特に180min後では, 供試体A(ガラス砂+S F)上の融雪量は約3.2cm程度に対し, 供試体Cは約4.2cmと効果の違いが明確になっている。

## 4 まとめ

本研究で温度計測を行った中国地方のトンネルでは, 坑外の温度変動の影響を受けて坑口部の地熱が変動するが, トンネル中心に従い恒温状態となり, 冬季においても約10程度と安定した熱源と成り得る。

水温10程度のトンネル湧水を直接利用した温水パイプ式ロードヒーティングでは, 降雪量29cm/dayに対しても無雪状態とすることが可能であった。

断続運転を行った場合, 異なる熱伝導性のコンクリートでは, 融雪能力に大きな相違が現れる。また, パイプ埋設深さ41mmの供試体では, 通水150min後において, 5cmの雪載に対し雪の高さが全面で約1cm以下とすることができた。

本実験結果より, 湧水が豊富な山岳トンネルにおいては, 地山中の熱源(地熱や湧水)を有効に利用することで, パイプヒーティングが実用可能と考えられる。しかしながら, 多くの山岳トンネルでは融雪が必要な冬期間において, 湧水が必要量確保できないという問題がある。このような場合, 熱量の有効利用を行うためには舗装の高熱伝導化, パイプ配置の最適化およびトンネル外部からの水量・熱量の確保を行い, 出来るだけ少ない水量で融雪可能とする運転システムの構築が必要とされる。

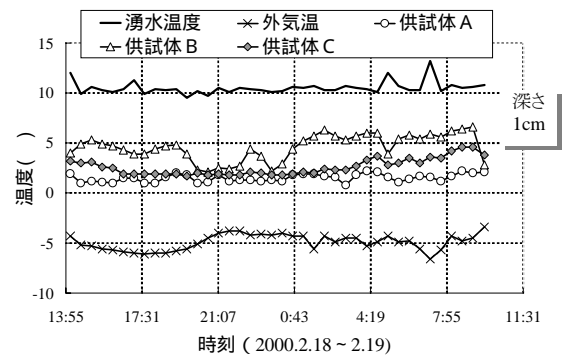


図-3 連続運転時における表面部近傍の温度変化

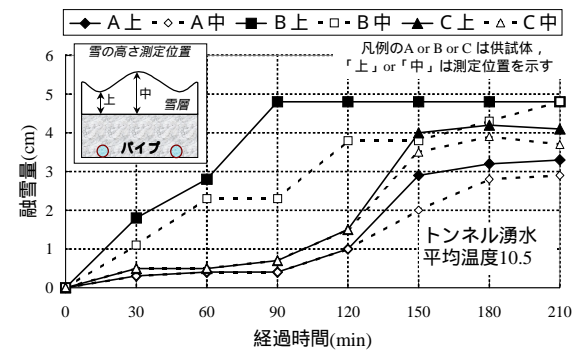


図-4 断続運転における融雪量の比較