

トンネル地熱および湧水を利用したパイプヒーティング導入水の加温実験

山口大学大学院 学生会員 ○仁尾彰一郎

山口大学 正会員 吉武 勇

(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 浜田純夫

1 はじめに

比較的温暖な中国地方においても、冬季の山岳道路等では頻繁に車輛のスリップ事故が発生している。本研究は、中国地方の山岳トンネルの出口部付近を対象に、自然未利用エネルギーであるトンネル内の地熱、湧水を利用した融雪システムの構築を目的としている。本報は、融雪所要面積に比してトンネル湧水が不足する場合を想定し、外部から水源確保を行う際のトンネル坑内における加温特性について調べたものである。

(1) 丑の河トンネルについて

本研究で実験を行った丑の河トンネル(延長 715m)は、広島県東北部の山岳地(標高 480m)に位置する。この地方は最大積雪量が 30cm/day にも達し、中国地方の中でも積雪・路面凍結が頻繁に発生する場所である。丑の河トンネルは、東坑口から西坑口にかけて約 3%の勾配を有し、西坑口部がそのまま 5～7%と比較的急勾配の曲線状($R=60m$)のコンクリート橋梁となり、スリップ事故発生の危険性は極めて高いものと予想される(図-1 参照)。

丑の河トンネルでパイプヒーティングを適用する場合、同トンネルにおける湧水量は約 $0.15m^3/min$ 程度であることから、所要の融雪水量を確保できない問題が生じる。ここで丑の河トンネルの湧水は冬季において約 $10^{\circ}C$ 前後と比較的安定しているものの、河川水温は外気に曝されるため、冬季においては湧水に比べて低温となる。同トンネルにおいて本パイプヒーティングを行う場合、この河川水をトンネル坑内で加温することが、熱効率ひいては経済的にも有効な手段になり得るものと考えられる。そこで本研究では、トンネル上流(東坑口)から河川水をトンネル中央排水管内に導入し、水量ならびに熱量の確保を試みた。

(2) 温度計測方法

通水時における地熱・湧水の熱量供給を把握する目的から、熱電対(T.type)を用いて管内水温および岩盤温度(0.5～2.0m 深)の計測を行い、図-2 に示される各計測点に設置された携帯型データロガーの内部メモリに 10 分ピッチで温度データの記録を行った。図-2 に示される各計測点位置は、トンネル東坑口を原点とする長さ方向の座標を示すものである。なお本研究では、通水に用いる河川水量パラメーターを 1.0, 0.5, $0.25m^3/min$ とし、いずれの導入水量の実験においても温度計測期間を 5 時間(10:00～15:00)、その前後をそれぞれ 1 時間(9:00～10:00)および 2 時間(15:00～17:00)とした(図-3 参照)。ここで、降雪が長期におよぶ場合、融雪システムの連続運転が必要となることが予想される。そのため本研究では、長時間通水時における中央排水管内の水温変動およびトンネル周辺の岩盤温度、さらに通水停止後の管内水温と岩盤温度の回復を調べる目的から、導入水量 $1.0 m^3/min$ に限り、別途 24 時間(10:00～翌 10:00)連続して河川水を導入した際の温度計測(通水停止後 6 時間；10:00～16:00)も同時に行った。

2 丑の河トンネル温度計測

(1) 5 時間通水実験

中央排水管内の経時的な流水温度変化を図-4 に示す。①→⑪の順に応じて低温な河川水流入の影響により通水直後は急激に

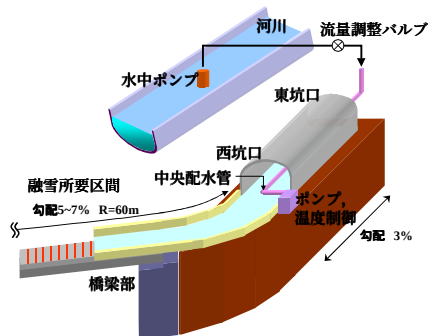


図-1 水循環フロー概念図

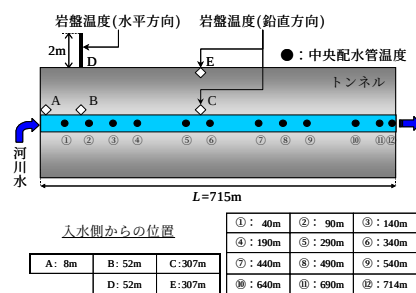


図-2 温度計測点

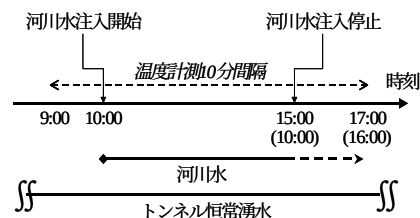


図-3 温度計測フロー

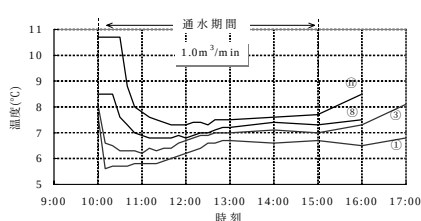
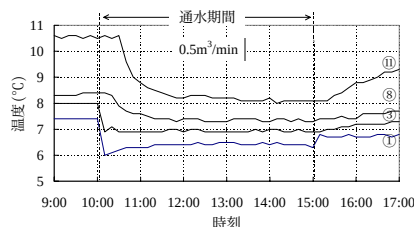
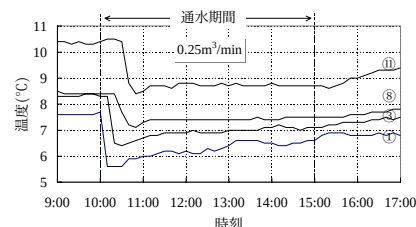
A) 河川水導入力 1.0m³/minB) 河川水導入力 0.5m³/minC) 河川水導入力 0.25m³/min

図-4 流量別による水温の経時変化

低下するが、その後は各測定点とも定常温度に達していることが分かる。また、断水後約 20 分程度からは次第に温度回復の傾向が見受けられる。同結果に基づき、定常状態(13:00 時点、通水後 3 時間)における中央配水管内水温分布結果およびその線形回帰結果を図-5 に示す。河川水量が小さくなるほど温度上昇量は大きくなっていると判断できる。これは、全通水量に対して、比較的暖かい湧水の占める割合が大きくなるため、結果的にこのような温度上昇差が生じたものと考えられる。

(2) 24 時間通水実験

河川水を 1.0m³/min を 24 時間通水した場合における水温変化および中央排水管内水温分布の計測結果をそれぞれ図-6 および図-7 に示す。同図からも、管内水温は外気温の変動に影響を受けるものの、その経時的な水温変化には 5 時間通水時と同様の傾向が見受けられる。また 24 時間通水時における管内水温分布は、どの時間帯においても通水距離に対してほぼ右上がりに温度上昇していることがわかる。したがって、本システムを連続運転する際にも、河川水を通水することで、ある程度の温度上昇は期待できるものと推察される。

(3) 岩盤温度計測

中央配水管に低温な河川水を長期に渡って導入することで、トンネル周辺部の岩盤の熱は水への熱供給により失われると予想される。そこで本研究は、図-2 の計測点において、通水時における深さ 2m までの岩盤温度の計測を行った。なお、A 地点における 2.0m 深では熱電対破損のためデータが得られていない。

岩盤温度計測結果を図-8 に示す。通水時は河川水導入側に最も近い A 地点の 0.5m 深では岩盤温度が低下していることが分かる。しかしながら、中央配水管のごく近傍に配置されている他の地点でも、岩盤温度の変化はほとんど認められなかった。これは、中央配水管内を流れる水(湧水+河川水)に比して、岩盤が極めて大きな熱容量を有していることに起因するものと考えられる。

3 まとめ

- ① 管内の水温は、各流量においても中央配水管に通水させることである程度温められ、その温度上昇量は通水距離にほぼ比例する。また、温度上昇量は湧水の占める割合に影響される。
- ② 通水温は外気温の変動に影響を受けるが、どの時間帯においても通水することで温められる。また低温であるほどその温度差によって地熱から熱供給を多く受ける。
- ③ 水と岩盤間には温度差が大きいほど熱の授受がなされるが、岩盤の熱容量は極めて大きく、岩盤温度の変化はほとんど認められない。

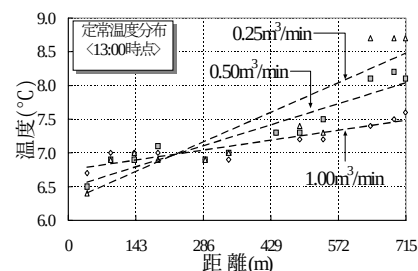


図-5 5 時間通水時の流量別温度変化

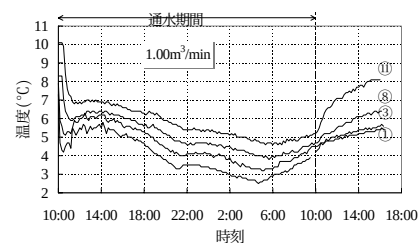


図-6 24 時間通水時の水温の経時変化

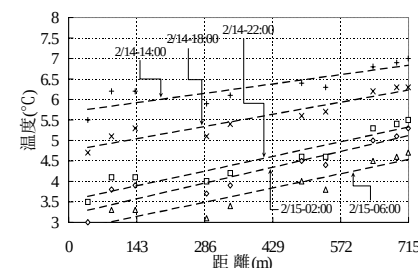
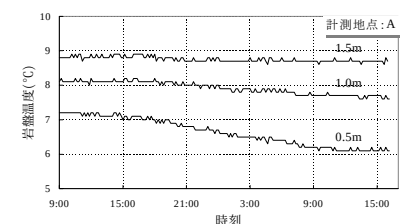
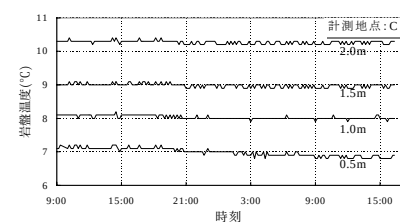


図-7 24 時間通水時の管内温度分布



A) 計測地点 A



B) 計測地点 C

図-8 岩盤温度計測結果