

トンネル湧水の 無散水融雪施設への活用

河原 幸弘¹・日根 幸雄²・榎田 敦之¹・吉武 勇³

¹正会員 (株)エイト日本技術開発 関西支社 (〒532-0034 大阪市淀川区野中北1-12-39)

E-mail: kawahara-yu@ej-hds.co.jp

²非会員 (株)エイト日本技術開発 関西支社 (〒532-0034 大阪市淀川区野中北1-12-39)

³正会員 山口大学准教授 大学院理工学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台二丁目-16-1)

山岳トンネルの湧水は、比較的高い温度（15℃程度）を有すが、大量の水量にも拘わらずほとんど利用されていない。本研究は、この水資源の無散水融雪施設への適用性について検討するものである。特に、舗装内に埋設されたパイプを用いるパイプヒーティングシステムへのトンネル湧水の利用性に主眼をおく。西日本で使用する場合、このようなシステムは冬期において必ずしも一日中稼働させる必要はない。すなわち、湧水を通常は大型タンクに保管しておき、降雪や温度低下時時のみパイプ内に循環させる。既往の研究によると、地下水を用いたパイプヒーティングシステムは、路面上の雪や氷を除去することができる。そのため、提案するシステムは、路面の融雪・凍結防止に充分に寄与できるものと想定される。この論文は、提案するシステムの基本的な設計概念と経済性について論じるものである。

Key Words : tunnel, spring water, road-heating systems, snow melting

1. はじめに

トンネル湧水は年中を通してほぼ一定の水温（西日本では 15℃程度）が期待でき、図-1 の通り比較的大量の水量（0.1～1.0m³/分・km）が湧出するが、ほとんど利用されず放流されているのが現状である。

本稿はその活用方法の一つとして融雪工法に利用する方法を述べる。

無散水融雪工法は熱効率が悪いため、一定の水量で融雪できる面積に限られ、そのため循環する方式が多く用いられているが、本工法はトンネル湧水を水槽に大量保水し、その保水した水を用いて融雪する方式である。

西日本の冬の気候の特徴は、降雪・凍結が単発的に発生しそれ以外の時は比較的暖かい日が続くことである。トンネル湧水を水槽に保水するこの方式で行

なうと、従来の無散水融雪工法の採熱は半分以下の費用で可能になるので紹介する。

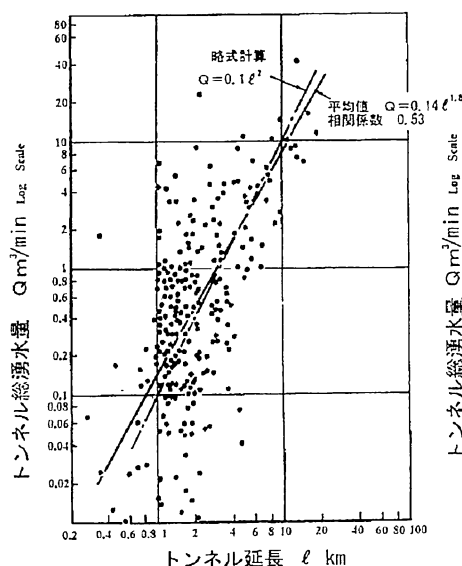


図-1 トンネル湧水量¹⁾

2. トンネル坑口付近での融雪の必要性

「国境の長いトンネルを抜けると雪国だった。」という書き出しで始まる小説があるが、トンネルを抜けると気象状況ががらりと変わっているということがある。まさに快適にトンネル内を走行していて、トンネルを抜けると予想もしていない積雪に遭遇し、慌ててブレーキを踏んでも間に合わずスリップ事故を起こすことが懸念される。

もうひとつは明り区間に積雪した雪が、走行車両が持ち込む空気とともに坑内に持ち込まれ、日照のないトンネル内で凍りついて、トンネル内のスリップ事故が発生することも懸念される。

そのため近畿地方整備局では、前者に対しては車の制動停止距離から明り区間で 110m、後者に対してはトンネル内 10m 程度に無散水融雪設備を設置しているケースが多い。

対象融雪領域は、融雪道路幅を 8m、延長を明り区間 110m＋トンネル内 10m＝120m とすると、融雪対象面積は $(8\text{m} \times 120\text{m} \div 2) 1,000 \text{ m}^2$ 程度となる。

3. 無散水融雪設備の現状

トンネル技術者は融雪設備および無散水融雪工法に関する知識になじみが薄いと思われるので、融雪工法について簡単に紹介をする。

(1) 機械除雪、薬剤散布、散水、無散水

路面が凍結したり積雪したりすると道路機能が十分に発揮できない。凍結・積雪から道路を守る方法として一般には、機械除雪、薬剤散布、散水の方法が多く用いられているが各々の方法にはそれぞれの欠点がある。

機械除雪は、特に設備を必要としないが、①除雪作業費用が高い、②除雪した雪の捨て場が必要となる、③初動が遅い等の欠点がある。

薬剤散布は、安価であるが、①鉄を錆びさせ構造

物寿命を短くさせる、②塩分を含んだ排水が環境を汚染する等の欠点がある。

散水は、初期投資費は比較的安価であるが、①水跳ねがある、②散水した水が凍る等の欠点がある。

以上の欠点を克服する方法として無散水融雪工法がある。

(2) 無散水融雪工法

無散水融雪工法とは舗装を温めて路面の融雪・凍解をする方式で、その熱源は様々であるが、最も安価な工法は地下水・地中熱等の自然エネルギーを利用する方式で、図-2 によると、それでも 10 万円／ m^2 程度のイニシャルコストがかかる。

道路 1 m 当たりで見ると、融雪幅を 8 m とするとイニシャルコストは 80 万円／m となり、トンネル本体建設費の約半分程度の費用となる。

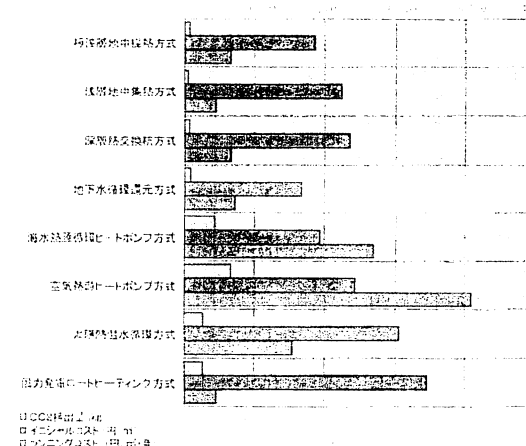


図-2 無散水融雪工法²⁾

図-2 の方式のうち、イニシャルコストが安く、安定的な熱源供給が出来る等の観点から、近畿地方整備局では①極浅層地中採熱方式と②浅層地中集熱方式を積極的に採用している。

① 極浅層地中採熱方式

トンネル内の深度 2 m 程度の極浅い地中に埋め込んだ地中交換器 (φ50 程度のポリエチレン管等) で循環させる水によって地中熱を採熱する方式である。トンネルインバート区間で採用している。

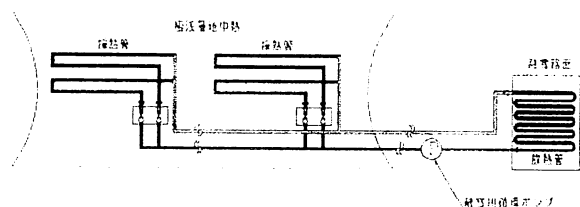


図-3 極浅層地中採熱方式

②浅層地中集熱方式

深さ約 25m 程度までの比較的浅い地中に埋め込んだ集熱水槽（大口径鋼管など）によって水槽内の循環水を採熱する方式である。

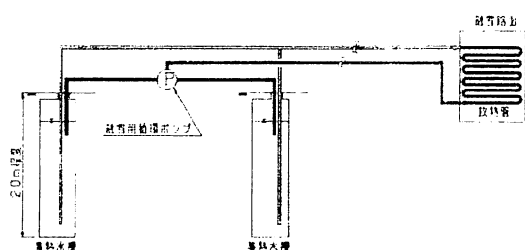


図-4 浅層地中集熱方式

(3)無散水融雪工法の課題

無散水融雪工法は初動が早く、水跳ねがなく、使用水が凍結することもなく、排水もすくない理想的な工法のため、近年、設置する件数も増えてつつあるが、上述の通り大変高価であるため普及が伸び悩んでいる。

もう一つの欠点は、舗装内の放熱管が破断した場合は、破断箇所が見つけないことや、その修理には交通規制を伴う舗装の修理が必要なため、維持管理性が弱点である。

破断がしやすいのは、室内に配置するような細管や精巧な設備をそのまま大自然のもとで、交通荷重が载荷する苛酷な条件の土木構造物に配置しているからと思われ、機械技術者に任せきりにせず、土木技術者がこれらの設備にもっと積極的に参加すべきことが望まれる。

4. 標準的なケーススタディー

近畿地整管内の日本海側の平均的な地域を例にとり、現在多く採用されている無散水融雪工法を紹介するとともに本稿で提案するトンネル湧水を保水して使用する無散水融雪工法を説明する。

(1)設計条件

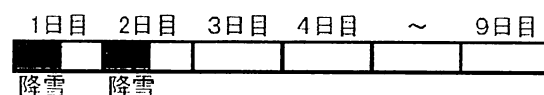
a)気象条件

西日本日本海側の平均的な地域として福井県勝山市を抽出し、その気象条件を表-1 に示す。

表-1 平均的な地域の気象条件

平均的な地域	福井県勝山市
設計日降雪深	11cm／日 (累計発生頻度の 80%)
連続降雪時間	13 時間
連続降雪日	2 日
連続無降雪日	7 日

累計発生頻度の 80%を用いると、9 日のうち、(13 時間×2 日＝)26 時間が降雪で、残りの 190 時間(24 時間／日×9 日－26 時間)が無降雪である。



b)トンネル条件

対面通行

トンネル湧水量 0.2m³/分

c)融雪範囲

トンネル内：トンネル内の吹き込み区間＝ 10m

明り区間：車の制動停止距離＝ 110m

融雪範囲＝10m+110m＝120m

融雪幅＝8.0m

融雪対象面積＝1.000 m²

(2)極浅層地中集熱方式での事例

極浅層地中集熱方式を採用し、インバート上部にφ50 のポリエチレン採熱管を配置して地中熱を採

熱し、温めた循環水をプレキャストコンクリート舗装に配置した放熱管へ循環する方式とした事例である。

上記の約 1,000 m²の融雪対象領域に対して極浅層地中集熱方式を採用すると、経費込みの工事費が約 135 百万円となり、その内訳は、採熱部 35%、放熱部 55%、循環設備費 10%程度である。

(3) 大量保水による無散水融雪工法

トンネル湧水を坑口に設置した保水槽に保水し、その水を舗装に配置した放熱管に導き融雪する。

a) 設計条件

融雪対象面積＝1,000 m²、

気象条件は表-1 の通り

1 m²あたり融雪凍解に必要な水量 0.5 リットル／分³⁾

b) 検討結果

① 保水槽の水量推移

融雪対象面積 1,000 m²当たりの 1 分間必要水量は、
(0.5 リットル／分・m²×1,000 m²)＝0.5m³／分であり、
13 時間連続降雪期間で、(0.5m³／分×13 時間×60 分／時間＝) 390m³の水量が必要となる。

一方、トンネルからは湧水が連続して湧出し、13 時間連続降雪期間中に (0.2m³／分×13 時間×60 分／時間＝) 156m³、次の降雪までの 11 時間に (0.2 m³／分×11 時間×60 分／時間＝) 132m³の湧水を確保できる。

トンネルからの湧水は保水槽に導き、無散水融雪に必要な水は同じく保水槽から取り出すとすると、保水槽の水量は増減を繰り返し、336m³の水量があれば、図-4 の通り、融雪による消費とトンネルからの供給を繰り返し、2 日目に一時空になるが、その後また満杯になり、トンネル湧水だけで無散水融雪が成立する。

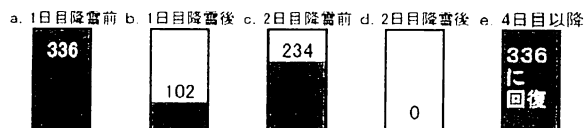


図-5 貯水槽の水量推移

即ち、有効水量約 350m³程度の水槽があれば累計発生頻度の 80%の積雪に対して融雪が可能となる。

② 函渠案の建設費

有効水量 350m³の水槽は、例えば、H＝3.5m (有効水位 2.5m)、B＝5.0m、L＝28.0m (図-6 参照) とすると、建設費は 35.3 万円／m (注) ×28m＝988 万円、経費込みで約 1,500 万円である。

(注) 4.0m×4.0mの函渠工の単価⁴⁾で代用。

即ち、無散水融雪設備の採熱方法として本工法を採用すると、極浅層地中集熱方式では 45 百万円必要であった採熱設備が、15 百万円程度で可能となる。

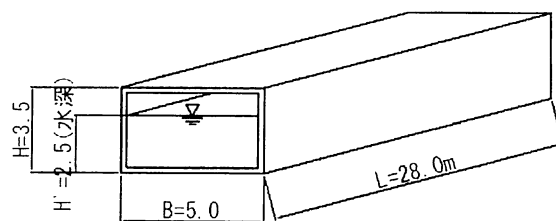


図-6 有効水量 350m³水槽

② トンネル保水庫案の建設費

保水槽内でのトンネル湧水の水温低下を防ぐためにはトンネル保水庫案⁵⁾が考えられる。

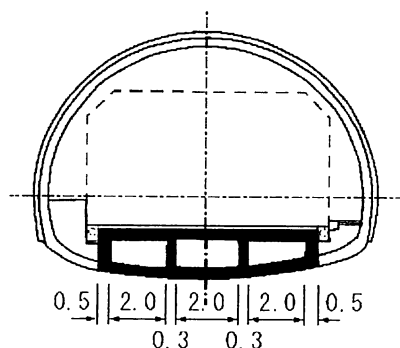


図-7 トンネル保水庫

トンネル保水庫の断面積は 5 m²程度であるため、
(350m³÷5 m²)＝70mの延長が必要となる。トンネル保水庫建設費 30 万円／mであるため、2,100 万円程度の建設費が必要となる。

5. その他のケースでの対応

(1)豪雪での対応

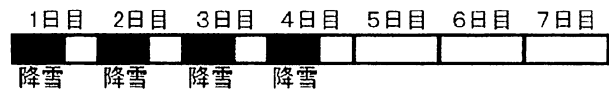
標準的なケーススタディー以上の降雪は、西日本では豪雪の部類に入る。

近畿地整管内での豪雪地帯としては国道9号のハチ北付近が有名である。そこで、ハチ北の気象条件を用いて、先ほどと同じケーススタディーをして見る。トンネル条件（湧水量 0.2m³/分）と融雪範囲（1,000m³）は同じとする。

a) 気象条件

表-2 雪の多い地域の気象条件

雪の多い地域	道の駅「ハチ北」
設計日降雪深	45cm/日 (累計発生頻度の98%)
連続降雪時間	15 時間
連続降雪日	4 日
連続無降雪日	3 日



設計日降雪深 45cm の全てを無散水融雪工法で融雪をするのは得策でないため、45cm のうち 34cm は機械除雪を行うものとして、無散水融雪対象は平均的な地域と同じ 11cm とする。西日本で豪雪地帯といわれるところは、高地を除いて気温は特に低くはないため、1 m²あたり融雪凍解に必要な水量は 0.5 リットル/分を採用する。

b) 貯水槽の水量推移

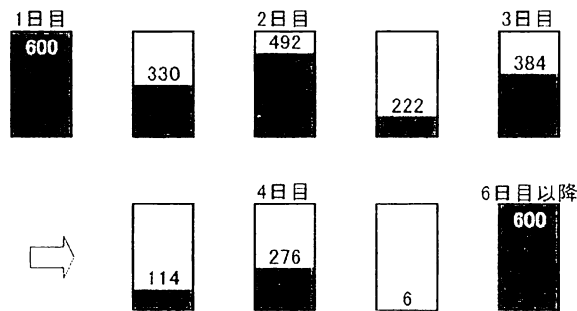


図-8 貯水槽の水量推移

有効水量 600m³ の水槽を建設し、そこにトンネル湧水を貯水し、この水とトンネル湧水を使用すると保水槽は図-8 の通り、4 日目にほぼ空になるが、そ

の後また満杯になる。

即ち、有効水量約 600m³ の水槽があれば累計発生頻度の 98% の積雪に対して融雪可能である。

(2)トンネル湧水量が少ない場合の対応

トンネル湧水量は図-1 の通り非常にバラツキがあるが、0.1～1.0m³ 程度が多い。図-1 は工事中の湧水量で、トンネル供用後は徐々に湧水量が減少する。減少の比率については確たる資料はないが概ね 1/2 程度と言われている。

従って、工事中湧水量 0.1～1.0m³、供用後湧水量 0.05～0.5m³ と考えて、試算する。

上記と同じシステムで、保水槽を建設し、トンネル湧水を保水庫に導き、そこから融雪に必要な水量を取り出すとすると、標準的なケーススタディーで湧水量だけを変化させると、湧水量 0.1m³/分の場合で 558m³、湧水量 0.05m³/分の場合で 669m³ の水槽があれば良い結果となる。

また、一度使用した水は 3～5℃ 程度低下するが、融雪・解凍には十分使用できるため、その水を再度保水庫へ返却し循環して使用すると、1 回目の融雪に必要な水量の水槽があれば良いため、湧水量 0.2 m³/分のときで (390－156m³)＝234m³ の水槽があれば良く、更に小さい水槽で賄える。

表-3 必要水槽容量

湧水量 m ³ /分	水槽なし	必要水槽容積 (融雪面積 1000 m ²)	
	融雪可能 面積	循環なし	循環あり
0.5	1,000 m ²	不要	不要
0.2	400 m ²	336m ³	234m ³
0.1	200 m ²	558m ³	312m ³
0.05	100 m ²	669m ³	351m ³

6. 最後に

トンネル坑口の無散水融雪設備の方式として、大量保水する本方式が採熱に関しては非常に安価であ

ることを説明した。本工法は、北九州、山陰、北陸と広い地域で活用可能である。

西日本でも積雪で苦しんでいる地域は多い。そのため、初動が早く、凍らず、融雪作業を必要としない無散水融雪工法は必要な工法なので是非普及をさせていきたい。

それには、「イニシャルコストが安く」、「維持管理性が良い」ことが絶対条件である。

採熱に関しては、「西日本」で「トンネル湧水がある」との条件付きであるが、本稿で紹介した保水する工法が有利である。

無散水融雪工法は採熱と放熱の部分からなり、経済性、維持管理性とも、より課題の多いのが放熱の部分である。今後は放熱に関しても新しい工法の研究が望まれる。

参考文献

- 1) より良い山岳トンネルの事前調査・事前設計に向けて
土木学会 pp75 2007.5
- 2) 道の駅「ハチ北」融雪事業の軌跡 国土交通省近畿地方整備局豊岡河川国道事務所 pp84～86 2006
- 3) 路面消・融雪施設等設計要領 路面消・融雪施設等設計要領編集委員会 2000.3
- 4) H17 年度工事費概算単価表 近畿地整道路工事課 2005
- 5) トンネルインバート上部の保水庫としての活用法に関する提案 第20回トンネル工学研究発表会 2010

(? 2010, 09 受付)

APPLICABILITY OF TUNNEL SPRING WATER TO ROAD-HEATING SYSTEMS

Yukihiro KAWAHARA, Yukio HINE, Atuyuki ENOKIDA, Isamu YOSITAKE

Spring water in mountain tunnel has relative high temperature (15 degree Celsius), but the water is hardly used in spite of large volume. The present study discusses an applicability of the water to road heating systems. The study mainly aims to use the water in a heating system which employs pipes embedded in road pavement. In case of using such heating system in western Japan, the system is not always operated for all days in snowy season. The water is stored in a large tank in usual days, and is circulated to the pipes in the event of snowing or temperature-drop. According to previous investigations, pipe heating systems using groundwater are able to remove snow/ice on the road surface. Thus, the proposed system must contribute to snow-thawing and ice-prevention on the road. This paper presents fundamental design concept and cost performance of the proposed system.