

# コンステックHD テクニカルレポート

CONSTEC HOLDINGS TECHNICAL REPORT



# 放熱管方式無散水融雪設備に係る工事コストダウンの取組

グランテック  
技術顧問  
折戸 清治

グランテック  
技術開発室  
高野 薫



## 概要

「無散水融雪設備工事」の概要、工事仕様およびそのコストダウン取組方法を紹介する。ここでの「無散水融雪」の定義は、舗装体の中に放熱管となる鉄管を埋設し、この放熱管の中に地下水を送り、地下水の熱エネルギーを路面に伝導させることで融雪し、路面凍結を防ぐ方法を差す。この「無散水融雪」と北陸で一般的に採用される散水融雪を比較した場合、多くのメリットがあることは認知されている。しかし、散水融雪とコスト比較すると、従来手法による「無散水融雪」は  $m^2$  あたり施工コストが 5.0 ～ 6.0 倍程度になることから採用が見送られるケースが多数であった。本報告で紹介するのは、「無散水融雪」のメリットは保持しつつ、散水融雪と同程度のコストで設備工事を行う為の取組である。

**キーワード：融雪、無散水、凍結、コストダウン**

## 1. はじめに

消融雪技術は、散水融雪技術と無散水融雪技術に大分類される。この中で多く使用されているのは、散水融雪技術である。これが広く普及している代表的な要因として、構造が比較的簡単に消融効果が大きいこと、また低コストで  $CO_2$  排出量が少ないことが挙げられる。しかし、大量積雪時には溶け残しが発生する、多量の地下水汲み上げによって地盤沈下が発生する、歩行環境が悪いなど散水融雪の適用について諸問題が報告されている。

これらの問題を解決する手法として、舗装盤内に熱源を確保して舗装上の積雪を消融雪する無散水融雪技術がある。

この無散水融雪技術の熱源は、化石エネルギー、ローカルエネルギー、自然エネルギーに大分類される。熱源として化石エネルギーを用いる代表例として、「ボイラー方式」と「電熱方式」を紹介する。

「ボイラー方式」は、灯油・ガスなど化石エネルギーを燃料とするボイラーで不凍液などを加熱した熱流動体を、舗装盤内に配管したパイプ内部へ循環させることで熱源を確保し、消融雪を行う技術である。「電熱方式」は、舗装盤内に配列したニクロム線やシーズ線を加熱し、これを熱源として消融雪する方式である。

化石エネルギーを使用する技術は、省エネや環境問題 ( $CO_2$  排出量削減) などの観点から、今後の適用は少なくなるものと考えられる。コスト面の観点から言えば、「ボイラー方式」は使用する設備 (ボイラー自体や不凍液) の継続的なメンテナンスや買替えが必要であり、「電熱方式」はボイラー方式に比べて融雪性能が小さく、これを補うため多量の配列が必要であることからインシヤルコストが高価であり、また維持継続的に熱源を発生させるための電気代、即ちランニングコストが高額である。

本報では、上記に挙げた省エネ・環境負荷の問題を解決できる、「自然エネルギー」を用いた無散水融雪について紹介する。これは井戸から揚水した地下水の通水によって発生させた熱エネルギーのみを用いる「井水式無散水融雪技術」(以下、「本技術」と称す) である。本技術の概要を 2 章で紹介し、当社が現状取り組んでいるインシヤルコストダウン手法を 3 章にて紹介する。



写真 1. 無散水融雪配管工事状況

## 2. 本技術の概要

井戸によって汲み上げた地下水を舗装盤内に埋設させた鉄管(放熱管)に循環させ、路面上の雪を融かす技術(放熱管方式無散水融雪)は、数多くの研究成果が発表されている<sup>[1]</sup>。

この地下水を循環させる仕様は定期的に井戸の逆洗浄を要するなど、設備維持に負担が発生する。そこで、当社における本技術の標準仕様は、給水口より鉄管に通水を行い、有効活用出来る場所へ排水を行なうこととしている(図1)。これによって設備維持の負担を減じることが出来る。

この手法のデメリットとしては、散水融雪と同じく取水した地下水を地上に排出する機構であるため、地域によっては地盤沈下が発生する懸念がある。散水融雪と比較し、取水量を減じることが出来るため総沈下量は低減されるが、地盤沈下が懸念される地域での工事については、リチャージ井戸を掘り、取水した水を地下に戻す復水処理を行う仕様を用いることを原則としている。

本技術の当社における設計検討の手法は「路面消・融雪施設等設計要領 / 社団法人 日本建設機械化協会北陸支部(平成20年5月版)」<sup>[2]</sup>に基づくこととしている。この放熱管方式無散水融雪の設計検討を行う上では、①放熱管の種別、②放熱管の舗装表面までの距離、③舗装の熱伝導率、④流量などの条件によって融雪能力がどのように変化するかを知ることが必要となる。



写真2. 井水式無散水融雪施工事例

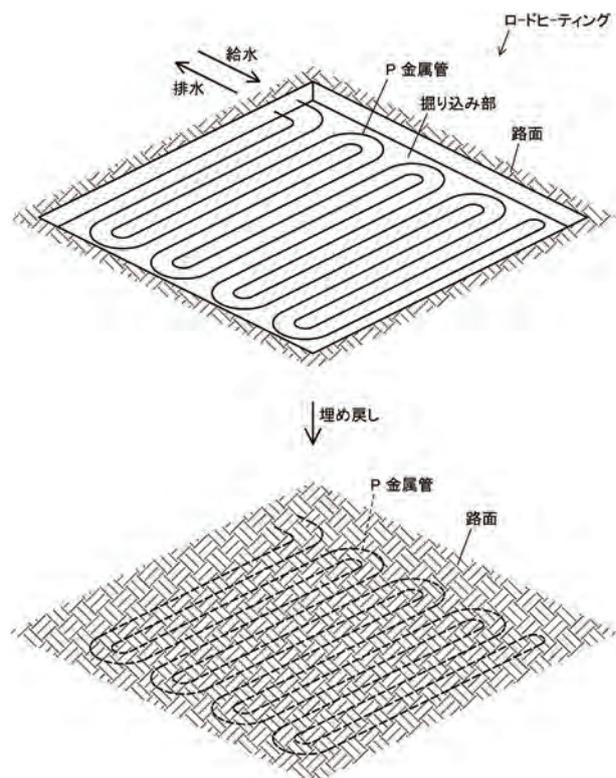


図1. 配管イメージ図

## 2.1 標準仕様や設計検討手法について

- ① 放熱管の種別、標準仕様
- ② 放熱管の舗装表面までの距離

放熱管として使用する鋼管は一般配管用炭素鋼鋼管(JIS G3452)に規定されるSGP鋼管とする。放熱管の被り深さやその他詳細な仕様については表1及び図2を参照されたい。

表1. 放熱管(鋼管)の仕様

呼び	鋼管 外径p (mm)	鋼管 厚さt (mm)	鋼管継手 外径 (mm)	鋼管継手 長さ (mm)	管設置 間隔 (mm)	最小被り 深さ (mm)	最大被り 深さ (mm)
SGP20A	27.2	2.8	31.8	100.0	220.0	35.0	70.0
SGP25A	34.0	3.2	38.1	100.0	250.0	40.0	80.0

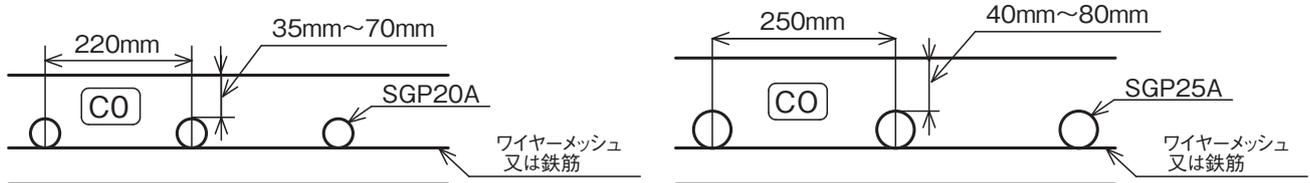


図2. 標準断面図

- ③ 舗装の熱伝導率
- ④ 流体の条件

③、④の計算式の概要をまとめて表2に示す。

表 2. 設計式概要一覧

[計算式一覧]	[凡例]		
	記号	概要	単位
$q = \frac{1}{\eta} (q_s + q_n)$	Q	融雪に必要な熱量	(W/m <sup>2</sup> )
	q'	融雪面積	(m <sup>2</sup> )
$q_s = 2.78 (C \Delta \theta h_s \rho_s)$	$\eta$	路面への熱効率(0.65~0.90範囲)	/
	q <sub>s</sub>	顕熱	
$q_n = 2.78 (J h_s \rho_s)$	q <sub>n</sub>	融解潜熱	(W/m <sup>2</sup> )
	q <sub>u</sub>	上部放熱量	(w/m <sup>2</sup> )
$h_s = 0.425 H_m^{0.7}$	q'	単位ユニットあたりに必要な流量	(l/min)
$T_{\min} = q_u \frac{L_1 + L_2}{2} + q \frac{a'}{2 \pi \lambda p L} \ln \frac{d_0}{d_1} + T_m$	C	雪の比熱	(J/g/°C)
	C <sub>w</sub>	熱源流体の比熱	(J/kg/°C)
$T_{\min} < T < T_1$	$\Delta \theta$	雪温を0°Cまで高める温度	(°C)
	h <sub>s</sub>	設計時間降雪深	(cm/h)
$q' = \frac{q a'}{\Delta T \rho_w C_w}$	h <sub>m</sub>	平均日降雪深	(cm/d)
	J	雪の融解潜熱 J=334	(J/g)
$\Delta T = 2(T_1 - T)$	L <sub>1</sub>	放熱管から路面までの最長距離	(m)
	L <sub>2</sub>	放熱管から路面までの最短距離	(m)
$L_1 = \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 + (L_2)^2}$	$\lambda$	舗装体熱伝導率	(W/m/°C)
	a'	放熱面積	(m <sup>2</sup> )
	$\lambda p$	放熱管熱伝導率(鋼管仕様 $\lambda p=43.0$ )	(W/m/°C)
	L	放熱管長さ	(m)
	d <sub>0</sub>	放熱管外径	(m)
	d <sub>1</sub>	放熱管内径	(m)
	T <sub>w</sub>	路面温度	(°C)
	$\rho_w$	熱源流体の密度	(kg/m <sup>3</sup> )
	$\rho_s$	雪の密度	(g/cm <sup>3</sup> )
	T <sub>min</sub>	放熱管に要求される最低通水温度平均(計算値)	(°C)
	$\Delta T$	放熱により低下した流体温度	(°C)
	T	放熱管平均通水温度(T <sub>min</sub> を考慮し決定)	(°C)
	T <sub>1</sub>	地下水温から決定される熱源流体の温度	(°C)

### 3. 本技術のコストダウン取組

本技術におけるコストダウンの取組を紹介する。本技術のコストは、先に挙げた「ボイラー式」「電熱式」と比較し、導入に際してのイニシャルコスト及びランニングコストは安価であることが多い。しかし、散水融雪と比較すると、 $m^2$ あたりのイニシャルコストが5.0倍～6.0倍程度であると言われている。このコストの明確な差異によって、本技術の採用が見送られるケースが多数であった。

本技術でのイニシャルコストダウンの取組内容は、写真3に示すリターンバンド(鋼管の折り返し部分)をローコストで制作出来る専用機械(パイプ曲げ機)の新規開発、そして鋼管ジョイント部分の制作である。パイプ曲げ機の説明を3.1項で行い、ジョイント部分制作に係る説明を3.2項で行う。

#### 3.1 パイプ曲げ機の開発

自然の低温な熱源(地下水)を利用した本技術では、埋設放熱管には熱抵抗が小さい鋼管を用いることが多い。この鋼管を用いて敷地内に配管する場合、鋼管を折り返し曲げ敷設することが必要である(写真3)。この折り返し部についてはリターンバンドを用いて鋼管と繋ぎ合わせることが一般的であるが、この仕入れ価格が¥4,000～¥5,000/個程度と高額である。このリターンバンドは、写真1からも読み取れる通り、多量の個数を使用するものである。

リターンバンドが高額である理由は、断面を円形に保ったまま正確な寸法でU字に曲げる為には高度な技術を要するためである。一般的に鋼管の曲げ加工に使われるロールベンダーは、様々なサイズの曲げ規格に対応するため、機構が複雑である。これにより、曲げ加工に要する時間も長くなる傾向がある。

以上のことから、リターンバンドによってイニシャルコストが上昇していると考え、これを解決するため、ローコストでリターンバンドを制作出来る「パイプ曲げ機」(以下、「本機械」と称す)を開発した。(写真4および5)

正確な曲げ加工を実施する時間を短縮させるため、本機械では専用金型を油圧シリンダーでパイプに押し当て成形する「金型プレス方式」とし、その金型は実験により円形を保ったまま正確に設計通りのU字曲げが出来る形状を探し出し、採用した。更に正確な寸法を確保出来る工夫として、押圧力にてスプリングバックを調整できる機構を付加させた。

これらの点は「パイプ曲げ技術」として特許申請を行った。上記の工夫により、パイプの脱着時間を含め1分以内に正確な曲げ加工を完了させることに成功している。

本機械の開発により、SGP鋼管の仕入れ価格(定尺5,500mmあたり概ね¥2,000/本)に切断加工費用を累加するのみでリターンバンドの作成が可能となった。



写真3. リターンバンド配管状況

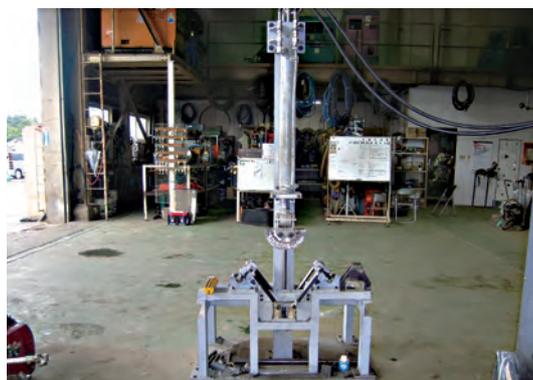


写真4. パイプ曲げ機全景

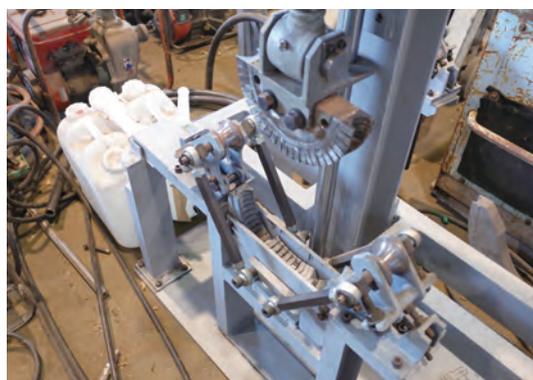


写真5. パイプ曲げ機近景

### 3.2 鋼管ジョイント制作

放熱管を組み立てる際、鋼管をジョイント金具で連結していく必要がある。このジョイント金具はリターンベンド以上に多量に使用する。従来このジョイント金具はLAと呼ばれるゴムシール付き金具を使用している(写真6)。この価格はSGP20A対応型で¥500/個、SGP25A対応型で¥700/個程度であることから、イニシャルコスト上昇の大きな要因となっていた。



写真6. LAの概念写真

このコスト削減のため、放熱管外径よりも僅かに太い内径のパイプを長さ100mmに切断し、これをジョイント金具とした(写真7)。放熱管外径部とジョイント金具内径部は鉄管用接着剤で接着する事により(写真8)、水圧に耐え得ることを確認した。



写真7. ジョイント金具

この技術の適用により、ジョイント金具コストを¥80/個程度まで低下させることに成功した。

### 3.3 ランニングコストの算出

本技術は、従来の「電熱式」「ボイラー式」といった化石エネルギーを用いる無散水融雪技術と比較した場合、ランニングコストが大幅に減少する(表3)。

表3. ランニングコスト比較一覧

名称	本技術 (井水方式)	電熱方式	ボイラー方式
ランニングコスト (m <sup>2</sup> ・年)	¥200	¥2,500	¥1,800



写真8. ジョイント金具接着状況

## 4. まとめ

- ・本技術は、散水融雪の問題点として挙げられる「溶け残し」「地盤沈下」「歩行環境の悪化」を解決出来る技術である。
- ・本技術は、自然エネルギーを用いることで省エネや環境問題(CO<sub>2</sub>排出量削減)を達成できる。
- ・本技術の工夫により、「井水式無散水融雪」のデメリットである”高額なイニシャルコスト”を解消した。
- ・ランニングコストは従来の井水式と同じく他方式より安価である。

## 5. あとがき

「無散水融雪技術」は、「散水融雪と比較し高額である」というパブリックイメージが定着している。本技術の適用及び技術開発における当社の目的は、これまでのパブリックイメージを覆すこと、また新技術の情報周知を行うことで、より安心・安全、そして快適な社会環境の提供に努めることである。

### [参考文献]

- [1] 熊谷元伸・野原以佐武：地下水利用による無散水融雪工法の実用化に関する研究、国立防災科学技術センター研究報告第41号、1988.3
- [2] 社団法人日本建設機械化協会北陸支部：路面消・融雪施設等設計要領、社団法人日本建設機械化協会北陸支部
- [3] 斎藤浩之：消融雪施設の現状と自然エネルギーを活用した融雪技術の紹介、建設の施工企画(745)、2012.3