

## 橋梁での基礎杭利用融雪と電気融雪の数値シミュレーション

福井県雪対策・建設技術研究所\* 正会員 宮本重信  
 福井大学工学部機械工学科 竹内正紀

## 1. はじめに

橋面は、雪が積もりやすく、前後が坂道であることが多いので融雪の必要性が高い。さらに橋面は凍結しやすいので、無散水融雪が求められる。そこで、筆者らはこれまで実用化してきた建築物でのPHC基礎杭を地中熱集熱に兼用する融雪システムを発展させて、橋台の鋼管基礎杭を太陽熱蓄熱槽としても使う図-1の融雪システムを施工中である。多数の杭が近接し鋼管で内断面が大きく貯水量の多い橋梁の基礎杭では、夏の蓄熱効果が高いと考えてのことである。

ここでは、福井での気象データを用いて、このシステムと電気融雪の数値シミュレーションを行い比較を行った。

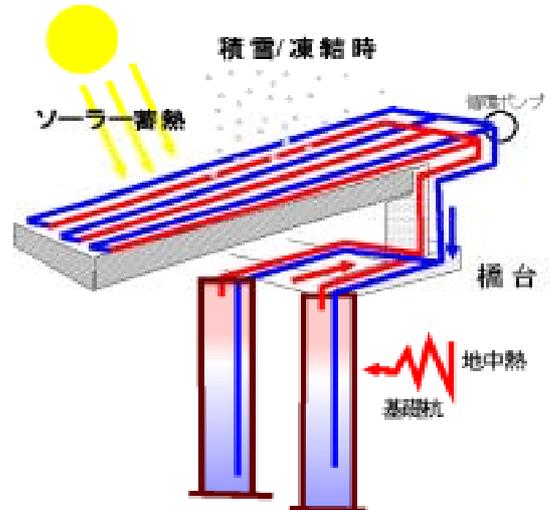


図-1 システム概念図

## 2. 融雪面、基礎杭、数値シミュレーションの条件

熱源となる杭は、橋台の3行(2.5m間隔),8列(2m間隔)に配置された24本の先端閉塞鋼管杭(内径558mm,杭長39m)を用いた。融雪面は車道と歩道で1139 $m^2$ 、放熱管は内径16.1mmの鋼管を連続鉄筋コンクリート舗装のかぶり4cmに15cm間隔で設置するとした。またかぶり部分の舗装には熱伝導率3.1W/mKの珪石骨材の鋼繊維補強コンクリートを用いるとした。

融雪面の数値シミュレーションでは、地表面で長波長放射,日射,顕熱と降雨(降雪)量,蒸発と結露による潜熱を見積もり、舗装・地盤の内部は熱伝導で計算を行った。放熱管は35mでUターンするとして(図-1)、その流れに沿って円形放熱管は境界適合格子法を用いて計算した。杭部では、円形鋼管杭を正方形に置き換え、鋼管外側周囲8mを断熱境界とした。杭の上面の地表面は融雪面と同じように熱収支で計算した。

約10年ぶりの大雪となった2001年大雪を対象に、福井地方気象台の時刻ごとのデータを用いて、2000年7月10日(地中温度15.5 均一)から舗装温度が杭頭水温より12 高くなると循環ポンプを運転し、放熱管出口水温と杭熱媒体水温の差が6 以下になると循環ポンプを停止するとした。循環ポンプは、融雪面積当たり0.032kWと設計された。

比較のための電気ヒーター融雪は、舗装深さ10cmの位置に面状発熱体200W/ $m^2$ を設置するとした。

両方の融雪システムは、路面に積雪があるかどうかを判別する積雪センサで運転制御し、路面の凍結抑制運転も行うとした。

## 3. 数値シミュレーションの結果

図-2に示すように、蓄熱運転によって8月29日には杭内水温は35 に上昇したが、降雪直前の12月11日には26.8 に低下した。その際の水温は、3行8列の四隅の杭では23.8 で、中央に置する杭では28.8 と温度拡散が少ない。このように、内径が大きい鋼管杭が密に設置される橋梁杭では夏の蓄熱は拡散せずに融雪に備えられる結果となった。なお、蓄熱に要した運転時間は280時間であった。

融雪では、融雪なしでの残雪深の計算値は実測値と降雪直後まではよく一致し(図-3)、その後実測は計算値より早く少なくなっている。しかし積雪日数は計算の42日が実測で39日とほぼ一致している。これは、計

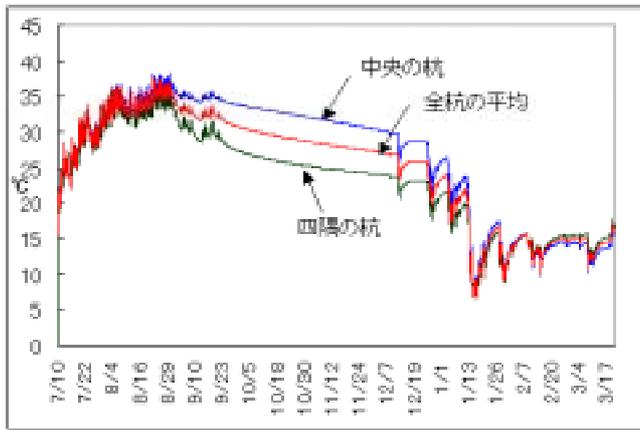


図-2 杭内平均水温の変化

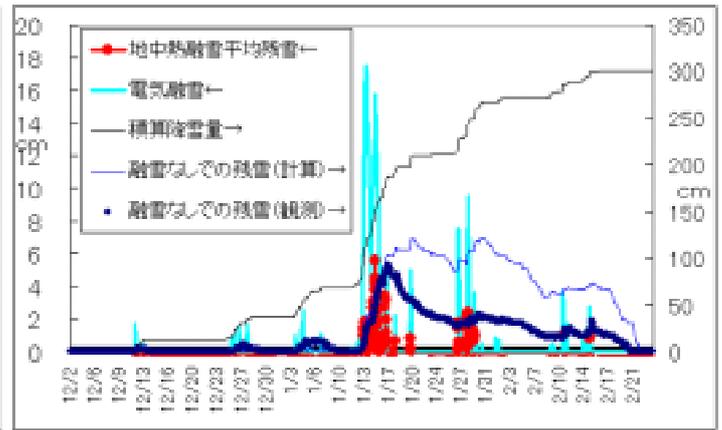


図-3 残雪深と自然積雪深

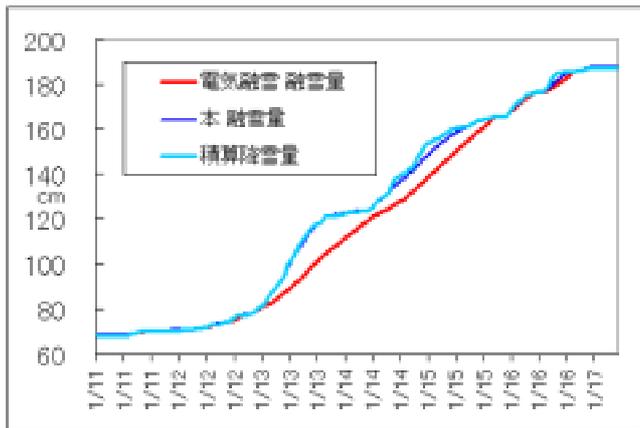


図-4 融雪量と積算降雪量

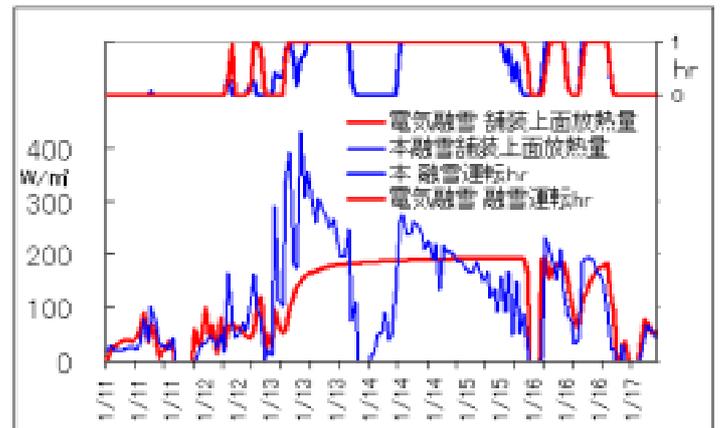


図-5 運転時間と舗装表面への熱量

算では雪の粘性圧縮を考慮せずに、熱収支だけで計算していることによる。融雪システムでは雪の粘性圧縮が生じないうちに雪を溶かすので、本計算方法で十分な精度が得られる<sup>1)</sup>。図-3に示すように、電気融雪では路面積雪後の運転では立ち上がりが遅く3cmほどの積雪となり、また連続した1月13日からの大雪では最大17cmの残雪となっている。これに比べて本システムでは最大で5.6cmの残雪に止まっている。なお降雪量と両システムの融雪量を示した図-4と図-5の上図に示す各時刻ごとの運転時間から、1月12日から16日までの115cmの降雪に、電気融雪では融雪能力がやや不足し、本融雪ではほぼ対処できたため残雪深表示ではその差が大きく表されていることが分かる。図-5の下図にそれぞれの融雪の舗装面での上向きの熱量を示すが、本融雪は、杭内水温が1月12日は21.6（図-2）と高いことから運転中のその熱量は400W/m<sup>2</sup>にも達している。その後水温が7 に低下するにつれて150W/m<sup>2</sup>にまで低下するが、次の寒波までに16 に回復している。なお、期間中の運転時間は融雪が124時間で、凍結抑制は15時間であった。

融雪終了の3月下旬でも杭内水温は最初の15.5 以上で、融雪面当たり76.6kWh/m<sup>2</sup>の夏の蓄熱に対して融雪などは47.6kWh/m<sup>2</sup>であるから、蓄熱の61%が利用できたことになる。年間の使用電力を比較すると、基礎杭利用融雪では蓄熱を含めて426時間1.4kWh/(m<sup>2</sup>年)、電気融雪では187時間37.4kWh/(m<sup>2</sup>年)と試算された。

#### 4. まとめ

橋梁での鋼管基礎杭群を利用した融雪システムでは、夏の太陽熱蓄熱運転は降雪直前までも杭内水温を高温に保持できて、200W/m<sup>2</sup>の電気融雪での残雪が17cmとなる大雪でも5.6cmの残雪に止まるなど非常に高い能力が得られると試算された。また、その年間電力消費は電気融雪の1/27となった。なお、杭利用システムの建設費は電気融雪の半分の約2.5万円/m<sup>2</sup>程と見込まれる。本研究はNEDOのエネルギー有効基盤技術先導研究開発として実施されたものである。

文献1) 地中熱と太陽熱蓄熱を利用した融雪の数値シミュレーション(解析)、(実測との比較)、竹内正紀・宮本重信・加賀久宣・西脇昌哉,第18回日本雪工学会大会論文集,2001.11