自治体の取り組み

地中熱・太陽熱を利用した無散水融雪

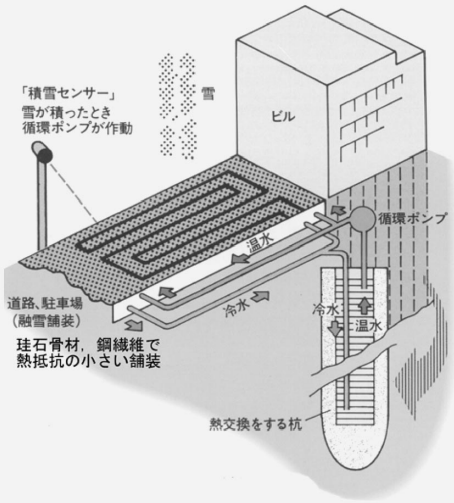
福井県雪対策・建設技術研究所
雪対策技術研究グループ　総括研究員　宮本（みやもと）　重信（しげのぶ）

1. はじめに

地域に相応しい建設技術を研究開発することは，地方では官民いずれでもほとんど行われない。これは優れた技術を民間建設業が開発しても直ちに評価され公共事業の採用にはなりにくいことによる。また設計会社にとっても，新技術はリスクと手間が嵩むが，それが評価され受注が増えることは少ない。こうした閉塞を総合評価，PFI，VE 提案などで改善しようと試みられている。

さて，福井県では福井ならではの建設技術の開発を約20年前から部内に研究組織を設けて産学とつないで実施してきた。15℃の地下水を歩道内に埋設された放熱管に流し歩道を無散水融雪し，冷却した７℃の水を車道に散水して融雪するという1986年の世界で最初の実用は，今日では北陸・東北の代表的な融雪になった。

その後の建物のコンクリート基礎杭を地中熱集熱の熱交換杭に兼用利用しての融雪システム基礎杭（パイプ・イン・パイル）利用地中熱融雪（**図－１**）も，世界最初のもので，これも県内で４カ所実用化している（**写真－１**）。この技術は，冷暖房にも適用されている。また，この兼用技術は，国内の地中熱利用で現在開発の戦略として位置付けられている。



図－１　建築基礎杭利用地中熱融雪

写真－１　建築基礎杭利用地中熱融雪

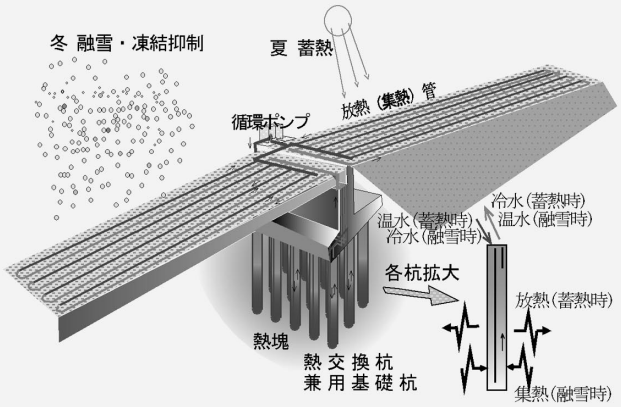
その後2002年からの３年間，NEDO の基盤先導研究として「技術融合による地中熱融雪システムのコスト縮減と省エネ化の研究開発」を６大学と１高等専門学校（高専）で共同研究を行い，夏の熱を冬まで保存して融雪というシステムを開発した。

省エネで，地下水を使用せず，さらに建設費も安価で，路面凍結もなくなることから，研究は，直ちに県の二つの橋梁と県内の設備業界の駐車場，福井駅隣接の福井市道で適用されつつある。

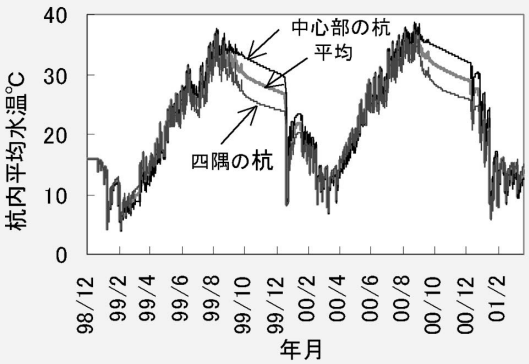
以下，それらの実用例を紹介する。

2. 橋梁基礎杭で夏の熱を地中保存した融雪

杭長35m，右岸２行６列12本と左岸３行８列の



図－２　橋梁基礎杭利用夏の蓄熱融雪



図－３　図－２での杭内平均水温変化（計算値）

写真－２　橋梁基礎杭への送水管の施工

写真－３　専用熱交換杭の施工

橋台の基礎鋼管杭を地中熱交換器に兼用利用し車道・歩道の橋面1,750m^{2}の融雪を実施した（**図－２**，新清永橋）。橋梁の基礎杭は鋼管杭で内径が平均で55cm と大きく設置間隔が約２m と狭いことで，杭相互の熱干渉から熱が夏に蓄熱しても冬まで拡散しない。夏の蓄熱は，杭内水温が路面温度より12℃高いと循環ポンプを稼働することでなされ，新たな設備は要しない。数値シミュレーションの**図－３**が示すように，杭内平均水温は夏の終わりに37℃に至り，その後次第に低下するが，融雪や路面凍結抑制運転開始時でも，中心部の杭内水温は30℃，四隅の杭は24℃と高い。雪だるまはすぐ溶けるが，巨大な雪塊は周囲は溶けて

も中心部は長期間残るのと同じである。このために先端閉塞の回転貫入杭が用いられ，杭への配管施工は**写真－２**に示すように容易で，このような季節間蓄熱は国内で最初，基礎杭兼用の鋼管杭でのエネルギー・パイルは世界でも最初のようである。

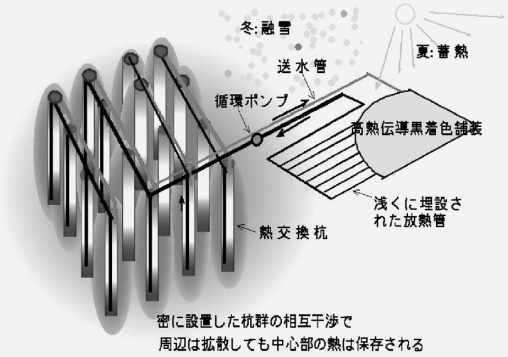
3. 専用杭で夏の熱を地中に保存して融雪（幸橋）

沖積平野では直径14cm の鋼管杭を回転貫入して設置すれば熱交換杭の設置費はボーリングの約１/３にできる。長さが短く多数となる杭を1.6m 間隔に設置し，杭群の相互熱干渉で夏の熱の冬までの保存を可能とした（**図－４**）。周辺杭は拡散しても中心部は冬まで保存される。５行５列25本の長さ18m の杭を1.6m 間隔に設置して（**写真－３**），170m^{2}を融雪した福井市での実験融雪では本来15℃の地中温度は12月初旬26℃を保持した（**図－５**）。そのことで従来の杭本数は半分となった。

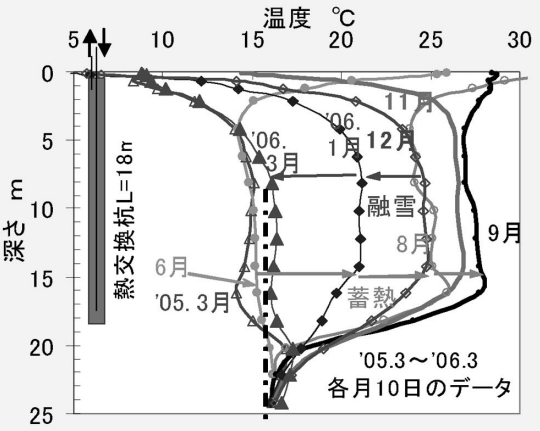
この成果は福井市内の幸橋（橋長140m, 車道・軌道・歩道の融雪面積約3,700m^2）で直ちに適用し，長さ23m の９行42列378本の杭を1.5m 間隔に設置した（**写真－４**）。融雪直前に約２万 m^{3}の地中が約35℃になり，約1,200GJ の蓄熱となる。

4. 放熱管と舗装，床版の技術融合

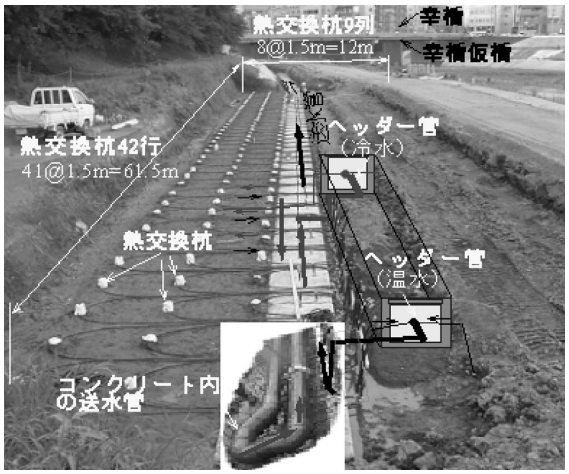
新清永橋での融雪用放熱管は乾燥収縮目地のない連続鉄筋コンクリート舗装の鉄筋に固定され，放熱管の深さまでは通常コンクリートで，その上は鋼繊維補強コンクリート（SFRC）を wet on wet で施工した（**写真－５**）。この方法で腐食と構造的な耐久性が確保でき放熱管は浅くに埋設され熱



図－４　群杭効果を利用した夏の熱の保存



図－５　群杭中心地盤部の温度プロファイル



写真－４　河川敷での巨大熱塊群杭の施工

写真－５　曲げなし鋼管放熱管と舗装

写真－6　写真－5の融雪状況

写真－7　鋼床版橋での鋼管放熱管の設置

写真－8　夏の熱で融雪の駐車場（黒着色セメント・コンクリート舗装）

抵抗は小さくなった。また目地ごとの鋼管放熱管の曲げは不要となり，直線配管され，総コストは下った。これは**図－2**のシステムに組み込まれ，**写真－6**の融雪となった。

幸橋（鋼床版橋）の放熱管でもSFRCで覆うことで浅い埋設を可能とし，そのSFRC骨材には福井特産の高熱伝導骨材（珪石）を使い熱抵抗を小さくした（**写真－7**）。さらにアスファルト舗装をSFRCとすることで当初の鋼床版橋を合成鋼床版橋として設計し，実質的に6,800万円のコストを縮減した。

駐車場でも，路盤や既存アスファルト舗装の上に耐熱ポリエチレン放熱管を設置し，55mmの薄層SFRC舗装とすることで，ここでもコストと熱抵抗を削減した融雪面を実現した（**写真－8**）。

5. おわりに

地中熱融雪は従来15万円/m^{2}であったが，橋梁基礎杭兼用季節間蓄熱方式では2.5万円/m^2，専用杭では約４～５万円/m^2,鋼床版橋（幸橋）では床版合成化での1.7万円/m^{2}のコスト縮減を考慮すると3.3万円/m^{2}となった。電気の使用量も循環ポンプだけなので融雪面積当たりで５W/m^{2}に過ぎず，省エネである。電熱融雪と比べると，工事費はほぼ同じで，消費電力量は約１/20となる。

以上の技術は，暖地積雪の福井の気象，沖積平野が広がる福井の大地が作らせた熱･床版･舗装･杭・コンクリート材料などの技術を融合した技術である。同時に，このシステムと各要素技術は，札幌での実験や気象データを取り込んだ数値シミュレーションなどから，福井以外でもコスト縮減と地球温暖化防止につながるだろう。