

# 融雪システムの設計・施工における品質管理と新技術の普及

## —事例と問題の背景—

キーワード： 施工 設計 品質管理 技術評価 入札制度 イチロウ

著者名： 宮本重信\*1

### 1. はじめに

5年ほど以前、建設業の社長から常識では考えられない工事の設計を例示され、こうした頻発で困っていると言われた。県の技術委員会で、筆者は設計品質低下を問題にすべきだとした。同席の現場所長もそんな例は幾つもあると言う。が、入札の所管で、技術委員会では扱われなかった。前後して、公共工事の品質確保の促進に関する法律が平成17年施行された。この法律の背景は、価格のみの競争入札による過当競争や技術力を持たない受注者のダンピングによる不良工事の発生、一方で品質の良いものをつくろうとする企業努力は損なわれることにあると北陸地方整備局はしている<sup>1)</sup>。

約30年間融雪の研究開発に関わってきた筆者には融雪の相談もあった。そこでは、適切な設計ではないケースが少なくなかった。その背景も上記と同じだと思われた。技術力とは無関係に、最近ではくじ引きに近い落札となる。融雪設計の受注後は、特定のメーカー等への技術協力（下請け）で業務が遂行される。その下請け企業は自社製品を比較設計でも有利となるように仕組む。発注者や設計会社は、筆者らの指摘で、間に合うものは、その幾つかを変更した。この設計での不適切な選定は工事費で大きな開きになる。

このように設計や施工での品質の確保がされないのは、企業の技術評価を発注者が行うことが困難なことにある。北陸地方整備局の指摘にもあるように、これははじめに専門的に取り組む企業をも駆逐する。筆者は、福井県に在職中に、開発したシステムの設計を設計会社に技術移転したいと誘ったが、1社も参加しなかった。理由は、専門性を高めても技術評価された受注には繋がらない、儲からないからである。それよりメーカー、設備業者や下請け専門企業に下請けさせれば良いと考える。これでは、品質は向上せず、税金の無駄使いとなり、技術の発展を阻害する。

そのようなことを述べる筆者も実は多くの自分の至らなさと失敗を重ねた。民間ではできない前例のない夢のある技術こそ公的研究機関で開発すべきとやってきた。だから失敗も仕方ないと慰めてくださる方もいるが、彼の技術はリスクがあるから駄目だと陰で言う

方もいる。いずれにせよ痛恨は筆者限りにしたいと、その原因と対策の多くを公表してきた。これも読む方は少なく、最適な設計や施工には至らない。

こうしたことから、不適切な設計や施工の事例と思われる幾つかを紹介する。そして、その背景から入札制度を含めて考える機会にして頂きたい。

### 2. 設計での事例

#### 2.1 根拠なく面倒なシステムは排除

建物を建てる際に基礎杭兼用利用での融雪（図-1）を検討して頂けなかったのかを新潟県六日町役場を尋ねて質問した。役場の方は、その工法をご存じで、委託先の設計会社に検討を依頼した。すると、あれは福井のような地中温度が高温の地域でのみ可能との回答されたという。この融雪システムでは、その地域の気象データを読み込んで非定常数値シミュレーションを行う設計ソフトを筆者らは開発している。このような計算は当時筆者らだけが保持しているが、設計会社からの問い合わせはなかった。彼らがどのような試算で福井だけで可能としたのだろうか。ちなみに、新潟と福井での地中温度の差で融雪能力が大きく異なることはあり得ない。また、降雪負荷が大きければ基礎杭の本数を増やせば対処できる。発注者はコンサルの何でそれを判断したのだろうか。

建設省が能登で鋼床版橋での凍結抑制を施工された直後に、筆者は開発した潜熱蓄熱材凍結抑制工法は仕様の検討して頂けなかったのでしょうかと質問した。これもコンサルからあれは福井の暖地での話で能登では無理だと回答だったという。これも非定常で数値シミュレーションソフトを開発しているが、設計コンサルからは、この能登での問い合わせは無かった。

#### 2.2 群杭効果でUチューブ半減化

近畿の地中熱融雪を融雪に熱心な設備会社が施工を受注した。この長さ100mの多数の1列のUチューブ熱交換杭を短くして本数を増やし、1.5m間隔にすれば、熱交換杭の相互の熱干渉で、夏の融雪の運転での地中蓄熱が冬まで保存される（図-2）<sup>2)</sup>。これにすれば杭の総延長は約半分になるから1億円以上は安価になる。

\*1 地中熱・融雪技術士事務所

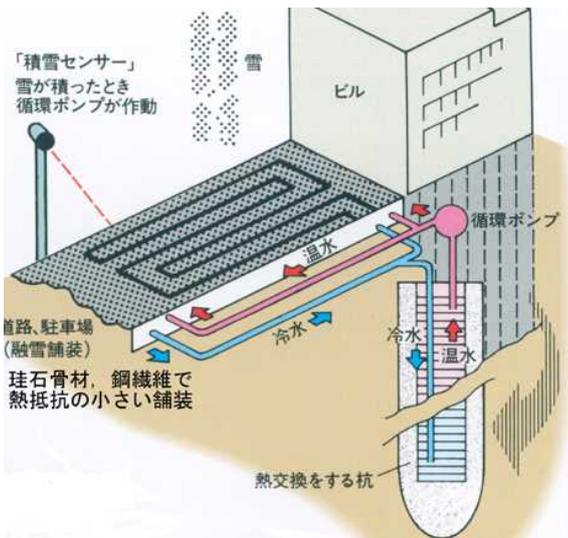


図-1 基礎杭兼用利用の地中熱融雪

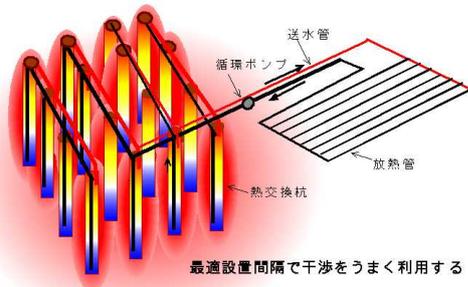


図-2 群杭効果で夏の熱、地中保存の融雪

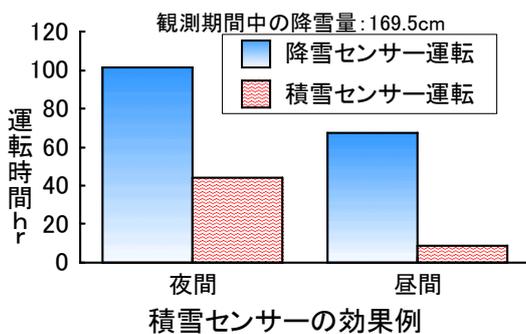


図-3 積雪センサへの変更での省エネルギー

提案が採択になれば半分の 5 千万円は会社の利益になる。会社はそれを受注後に契約後 VE 提案した。十分な数値シミュレーションなしの事前根回しなしでの提案であったことで、その採否を決める審査会では理解されずに採用されなかった。その後提案は行わなわれていない。最初の提案だけは利益となっても、その後は最初から設計に採用されれば工事費は減る。この制度が持つ限界である。次回入札での提案採用でもポイ

ントにする北陸整備の対応はその限界を踏まえたものである。この群杭効果は論文などにも発表してきたが、福井県外では使われたことはない。公共事業では、このようなコスト削減は設計会社にも施工会社にもメリットがない。あるとすれば設計のプロポーザル競争だけだろう。市場の限界を、技術評価やプロポーザルで、職員減で厳しいが、公の取り組みが待たれる。

### 2.3 表面的な基準でなく根本の費用対効果での設計を

ある設計で、3 割ほど散水融雪の能力が設計基準に達しない。それでもう一つ新たに高価な井戸を掘るといふ。そもそも北陸地方整備局の設計基準では、3 時間での最大降雪量の頻度分布を作成し、降雪強度は発生頻度の 85 %を超えるとそれが急激に大きくなることから、費用対効果から発生頻度 85 %の設計としている。従って、3 割ほど能力不足となっても、新規の井戸の設置費が非常に高いなら、費用対効果で、そのままにしてもよいというのが論理的である。実は、その費用対効果の論理を用いて説明すべきが交互散水融雪であると思う。10 分間隔で散水する箇所を交互にする交互散水では、時間の半分は散水しないから、どう考えても融雪融能力は減る。しかし、市街地で新規に井戸は確保できない。そこであみ出したのが交互散水で、これは融雪能力はやや低下するが、融雪延長を 2 倍にでき、交差点がネックの交通渋滞の緩和には寄与する。そのような論理を行えば、最初の 3 割ほど能力が確保できないからと新規に井戸を掘ることは適切かどうかと思う。耐震などとは異なって、融雪はなくてもよいサービスである。近畿地方整備局でも、除雪との併用を前提に、部分的凍結で交通のネックにならないレベルに融雪能力を下げ柔軟に、費用対効果で対応している。

### 2.4 暖房を外気温で運転するような降雪センサ

実は、融雪の設備の能力は費用対効果で低下させても、実際には問題が生じさせない妙手がある。筆者は、融雪路面の積雪の有無を感知する積雪センサによる運転にすれば設備能力の不足を運転でカバーすると、約 25 年前から言っている<sup>3) 4)</sup>。積雪センサならば、降雪時間内に融雪できなくても降雪後に延長運転を行う。この機能から、能力 100 %設備の降雪センサ運転より、能力 70 %設備の積雪センサ運転が路面状況はよくなると思える。この積雪センサと降雪センサでの運転の違いを非定常の数値シミュレーションで行うことも、10 分毎の降雨データが入手できるようになった今ならば可能である。そうした非定常の数値シミュレーショ

ンを行えば設備設計も随分と最適化できる。いずれにせよ、積雪センサなら、累積降雪強度 85 %以上でない普通の降雪などでは断続運転となって、大幅な節水と節電に繋がる。画像処理積雪センサの開発で、その価格が安価になったのだから、融雪の設計にはこれを標準にするべきである。そうすれば不適切な設計で過小設備ができて、延長運転でカバーされる。

地下水規制区域での相談で、代替システムが高くて、交互散水どころか、その数倍の散水融雪を積雪センサを条件にして行ったことがある。実施後現場を見ると、効果は十分で、費用対効果では問題がない。

融雪システムを降雪センサで制御するという事は、冷暖房の運転を室外の気温で行うことと同じである。本質的におかした降雪センサによる運転が、筆者らが積雪センサを造り、地下水融雪で年間 6 割の節水という効果 (図-3) を示してから 25 年間も続く。画像処理型積雪センサは、灯油や電熱の一定規模以上の融雪ならば、その省エネルギーで、数年で償還できる。それだけでなく映像が見られるから信頼性がある。関係者が償還の早い用途に営業していないことが問題だと、今年筆者はボランティアで東と西の JR に営業を行った。

過去に埋設が原因でトラブルって破綻した 7 万円の積雪センサに比べて、画像処理は埋設でないから耐久性のトラブルが少ない。リスクがなくなれば、販売の工夫で量産化されれば安価になる。そうすれば家庭用の融雪にまで普及される。長岡など地下水不足は、降雪センサから積雪センサへの切り替えで状況が変わるだろう。条例で、一定規模以上の融雪にはセンサを義務づけている都市があるが、これを 3 年後からフィードバックセンサへの義務づけにすれば、画像処理型積雪センサの価格は開発と量産で降雪センサなみにもなる。筆者の後輩らは、この開発を進めようとしている。

## 2.5 空気熱源ヒートポンプと地中熱との比較

これは市からの設計完了後の相談であった。学校への坂道で地下水もなく空気熱源ヒートポンプが最も良いと設計コンサルタントが選定したと説明された。筆者らは、坂道の下にある公民館での基礎杭設置事例から杭打ち機を使用して WU チューブを挿入すれば、熱源工事は空気熱源ヒートポンプより数割も安価になると試算した。また、現場の既存コンクリート舗装がしっかりしていることから、この上に放熱管を 50m 直線敷設し SFRC 舗装を実施<sup>5)</sup> (写真-1) した方が、融雪パネルでの設計よりは安価になると回答した。両方で



写真-1 乾燥収縮目地なしで35m曲げなし鋼管放熱管

設置費は 3 割ほどは縮減され、筆者らの群杭効果の季節間蓄熱地中熱融雪なら年間電力使用も約 1/3 にはなる、耐久年も WU チューブの地中熱は空気熱源ヒートポンプの数倍になるとした。そもそも市の方からの相談だったにも拘わらず、その後は担当者からは一切の連絡も無く、工事は進んだ。その後、地元で熱心にこの事業を進められた当時の市議が空気熱源ヒートポンプメーカーと市場の冷凍機で知り合いであることを知った。設計コンサルが、筆者らの幸橋で報じられた季節間地中蓄熱の可能性をなぜ問い合わせなかったのかは分からない。県の研究機関の筆者らに、事例が少ない融雪を設計される際に、県で長年研究している筆者らに相談しないのは、この会社だけではない。工場廃熱利用では設計完了後に、県の担当からの相談が契機になって、放熱管内の熱媒体液が水ではこの現場では破損することが分かり、大幅な設計修正となった。相談するかどうかは担当者に依る。腐食、床版、舗装、熱解析など、手に負えないと思うときは、筆者は国内トップの方に教えて頂くが、それは珍しいようである。技術力も、OECD が開発した PISA の学力試験同様に、知識の総量ではなく必要な知識を収集し、それを実際へ適用していく能力であって、本質を見抜く力や "Know Who" はその際の大きな力である。

## 2.6 基礎杭兼用での漏水 設計と施工

工場製作の PHC (高強度プレストレス) 杭の中空に貯水して、この水を循環して地中熱を集熱する融雪システム (図-1) を開発し、1992 年から運転供用している。これを冷暖房にも県立図書館で大規模に実施した。ポ

ンプ室から注水しようとしたら、基礎杭の中空にポンプ室から水道水を注水すると、85%の杭で、漏水が多くて貯水できないと報告があった。後日、杭工事の施工記録を調べると、この田んぼの中の図書館では油圧ハンマーによる打撃で杭が設置されていたが、持ち込んだ杭が所定の深さまで入らない杭は、頭を切断しなければならない。切断で手間が生じる上に、切断した残りの部分は県が減額するために、無理をして杭を打撃する。最終打撃時でも、杭が3mm以下しか入らなかった杭に漏水が発生していた。無理な打撃貫で、杭底の底鋼板が破損した。これには、その数年前、建設省の舞鶴歩道橋で中掘杭工法で漏水が生じての対応した方法で対処した。舞鶴でも中掘工法の杭底のセメントミルク泥から漏水が生じ、助言していた筆者は責任を感じて、繊維層でのラジエーターの水漏れ防止剤を室内実験した上で紹介し成功していた。この繊維層での方法は、漏水杭の約9割をわずかな漏水にまでに回復させた。残り1割の杭は管路から切り離して使わなかった。

この漏水の公表は、その後、コンクリート基礎杭や鋼管杭での直接貯水循環システム（PIP方式）を少数派にした。鋼管杭内に貯水し、その内部に、ポリエチレン管を入れて熱交換する間接方式となった。これは当然、集熱性能を低下させて、工事費も増やした。

今振り返ると、もう一つ別の方法、漏水をそのままにしてシステムを成立させる方法があったと悔いを残した。それは漏水を放置し、杭内の水位を地下水の水位まで下げてしまうことである。地下水の水位は、福井では基礎杭の頭部からそれほど低くないから問題がない。自吸式ポンプを用いるか、一端サイフォンをつくればラインポンプでも水は循環できる。この方法なら全ての杭を再生できた。失敗への対処に、不十分な対処を重ねたことになる。また、杭壁のセメントからカルシウムが析出し、これが空気中からの二酸化炭素とで炭酸カルシウムとなってバルブを目づまりさせる。冷暖房の熱交換では放置できなくて、小さな膜処理で循環水を処理した。しかし、これもより優れた対処法があると気づき、ある企業に当たったら可能だという。漏水にも効果的なことが手弁当の実験で確認されたので、実際規模で実施したいと思っている。

### 3. 施工でのトラブル

#### 3.1 コンクリート舗装での表面凹凸

熱容量が少ないことで著しく結露凍結する鋼床版橋（天管生橋）、そのコンクリート床版から鋼床版に変化する区間は路面が急に悪くなり、その上カーブ区間で

あることで、この工事に間に合わせて潜熱蓄熱材封入で、地盤部並みに凍結を抑制する工法を開発した。鋼床版に潜熱蓄熱材を封入した角型鋼管を鋼床版橋に埋設して鋼繊維補強コンクリートを打設する。名古屋の高速道路のランプ部分のカーブ区間での幾つかの施工例を見学し、事前に小規模な施工も実施し大丈夫だと発注した。この舗装を下請けされた会社も舗装では国内トップだったが、延長2m周期で振幅3cmほどの凹凸が表面に生じた。これでも平坦性基準はクリアして言う。そうであれば基準が不適切に思われる。コンクリート打設時は、筆者も含めて大勢が見学していたが、この凹凸には気づかなくて乾燥した路面になって始めて凹凸が一瞬で分かった。工事の前日、受注社ではなかったが、鋼繊維補強コンクリート（SFRC）鋼床版で論文博士となられた横河ブリッジ寺田博昌常務にご指導頂いた。彼からは角型鋼管の固定の遊びを見て座金でも入れて遊びをなくすように、またこの簡易フィニッシュャでうまく施工できるか気になると言われた。前者は直ぐに受注先の橋梁メーカーに対応して頂いた。後者は、この舗装会社の研究所所長に電話で尋ねた。大丈夫だとの回答で、施工しての失敗だった。この対処を受注者は取らず、筆者も十分取らせることができなくて、凹凸を薄層アスファルト舗装のオーバーレイで対処した。しかし、これが5年経過で剥がれ始めメンテを要している。その後2橋では別の会社がこのような施工をトラブル無く施工された。

その10余年後、放熱管理設のコンクリート床版舗装での施工で、また同じように凹凸が見らる事態になった。対策として、長い鋼尺で凹凸をチェックするという仕様書まで書き込んだが、現場で見ると凹凸が全くないことで実施しない。立ち会った筆者が自ら2カ所実施したが、現場で目視するとまさかと思うので、厳しくやるように言えなかった。悔いが残る。

このような舗装は、かなり難しいと考えたので、私は設計時に数社の経験者に施工可能かを確認している。また、全国大手であっても、結局現場で実際に作業する下請け企業の職人的な技術に依存することに気づいた。そしてこの種の新清永橋前後での連続鉄筋コンクリート舗装工事などで良い仕事をしてくれた県内M社を、この床版舗装の下請けに際して関係者の評判も聴いて元請けには推薦した。残念ながら、この推薦は実現せずに前掲の天管生橋ほどではないが多少凹凸を招き、また黒色着色でも色斑となり現場の担当者らには迷惑をおかけした。この翌年の工事は、M社が実施し、橋脚部でわずかな微小なひび割れが生じたが凹凸も色斑もなく施工された。手間を惜しまずに入念にやって

いるだけだと M 社と言う。

### 3.2 コンクリート舗装 乾燥収縮ひび割れと湿度センサによる品質管理

鋼床版橋（幸橋）では、放熱管を 1 m 間隔のフラットバーで固定して、それを含めて鋼繊維補強コンクリートで舗装する（写真-2）。この床版と舗装と放熱管は技術融合は、阪大の松井繁之教授や大阪工大堀川都志雄教授らとで NEDO の研究で耐久性等を研究開発した成果である。この合成鋼床版化の研究で、約 7 千万円のコストが縮減された。鋼床版橋は剛性不足で U リブ溶接部の疲労が全国で問題になり、2010 年に鋼床版最小板厚さは 12mm から 25mm にと国土交通省から指示が出た。この指示を遡及して幸橋に適用すると更に数億円のコスト縮減となる。

この現場では大型フィニッシャーで圧縮されたフレッシュなコンクリートが粘弾性により時間遅れで盛り上がり、その際に放熱管は盛り上がりの遮蔽となり、放熱管真上のコンクリート表面が深さ 3mm の凹になった（写真-3）。施工時の鋼尺による表面凹凸のチェックと十分なタンピングが必要であったと反省された。

施工後 1 年半後、この舗装に乾燥収縮ひび割れがから生じ、ひび割れ度 50 ～ 60cm/m<sup>2</sup>、最大ひび割れ幅 0.2mm となった（写真-4）。更に 1 年経過後はひび割れ度は 2%の増加にとどまった。施工時とその後に降雨のあった施工区間にはひび割れが生じなかったことや膨張材には十分な散水養生が必要との既往研究から、散水養生の不十分さがひび割れ発生の原因だと分かった。また、1 m 間隔のフラットバーが乾燥収縮を誘発し、この部分にひび割れが生じた。安全のために連続鉄筋を挿入した電車通過部はひび割れが分散してひび割れが生じなかった。

養生不足による乾燥収縮ひび割れと分かったことから、前掲のケースとは違って受注社の責任、修補で、ケイ酸ソーダ系の水溶液をひび割れに散布する修補が 0.1mm 以上のひび割れに対して実施された。その結果、目視のひび割れは、ほぼ無くなった。この舗装会社は、筆者らと道路会議優秀論文賞を得たが、その後の失敗に向き合って頂き、連著で公表した。その後も信じられない局所的なコンクリートの空洞が局部的に生じて放熱管の腐食が発生した。施工も設計でもミスなしは難しく、修補で対処して下さった<sup>6)</sup>。

コンクリート舗装の散水養生の品質管理は湿度センサは設置するが、肝心な湿度管理を行っていない。これはコンクリートに関わるものの怠慢で品質管理で大きな問題だと筆者は猛省した。放熱管理設の融雪では



写真-2 鋼床版橋での放熱管とSFRCの施工



写真-3 放熱管上での凹みの発生

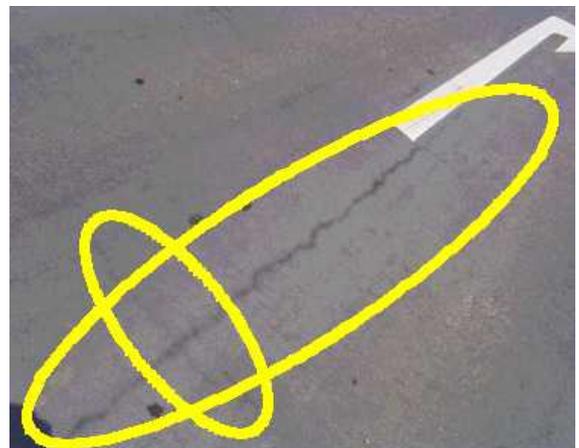


写真-4 散水養生不足による乾燥収縮ひび割れ

耐久性などからセメントコンクリート舗装を用いることが多い。この舗装やコンクリート床版を見ると乾燥収縮ひび割れが多い。ところが、これは工事完成検査の後に生じることもあってか放置されている。こうした現状をなくそうと、岩城圭介ら<sup>7)</sup>のゴアテックスで保護された湿度センサによる散水養生の品質管理を行うことが必要だと考えた。そこで、その後筆者が相談に乗ったコンクリート舗装や床版の発注に際しては、そのような特記を加えた。ところが、データ記憶装置

付きの湿度センサ 2 ～ 3 万円のセンサをゴアテックスで覆って現場管理することに施工社 2 社とも失敗した。難しくはないはずだが、とんでもないお金をかけたが、できなかったという。しかも、舗装表面は凹凸で、土木の担当者から筆者の工法はとなった。ようやく今年、御社ならと筆者が依頼した前述の M 社がこれらを解決してくれた。

#### 4 おわりに

設計では、適切でない設計があって、設置費や耐久性やランニングコストで影響することを示した。これらは筆者が偶々知った事例だから氷山の一角である。また、筆者もまた多くの設計で失敗し、向き合っていることを示した。最適なものを設計施工するには、後からはなぜ気づかなかったか考えなかったと思うものや不注意がある。難しいことだと思う。また、橋梁での融雪では下部工（基礎工）の兼用利用や床版と放熱管の融合が最適化に繋がるから発注者が時機を失うことなく手腕を発揮することが問われる。施工でも、問題の本質を考えた細かい気配りや入念な施工を行わないと取り返しのつかない失敗となる事例、それが繰り返されることを示した。これらは耐久性や走行性に影響している。

逆説的だが、地方で民間企業が公共事業での技術力を高める研究開発の状況があったなら、筆者は福井県に建設技術の研究所をつくらうとは思わなかったし、筆者らが技術開発を実現することも無かっただろう。

一方で、現状は、開発した新技術の普及にも、その施工の品質確保でも極端になっている。地方のコンサルや建設業社が筆者らの研究を利用して営業して受注し、利益を得ようとしても成立しない。だから、売込んで民間で 1 件実施された建築設計の例しか浮かばない。

筆者はメーカーや設計コンサルの個別企業や技術者個人の姿勢を問題にしているのではない。個人も企業も、社会の総アンサンブル体である。地球温暖化抑制や財政健全化が喫緊となる中で、官民が持ち分を發揮し、融雪でも省エネ、コスト縮減、最適メンテをと心底願う。これは、国土交通省が公共工事の品質確保を願ったのと同じ思いである。

イチロウは、4000 本安打達成で、誇れるとすれば悔いの残る 8000 本と向き合ってきたことだと語った。筆者も、多くのシステム開発や関連技術の融合を行ってきたが、失敗も重ねた。定年退職後の今も過去に主導した舗装や配管漏水で、今日は被告席へと県庁で後輩から言われる。自らのシステムの設計や施工の失敗、

耐久性、維持管理に向き合わざるを得ない。針むしろである。今回の発表で、悔いの残る失敗や疑念に関して述べることは、悔いの残る 8000 本への向き合いである。そのことが品管法という法律まで作らざるを得ない現状からは必要に思われた。またイチロウは、数年前、「考える労力を惜しむと、前に進むこと止めてしまう」とも述べている。常識に捕らわれない振り子打法、その後も状況に対応進化した。官民間問わず技術者もそうありたいし、そのような条件の整備を願う。

技術力評価をどう行い公共事業の発注に組み込むかは難しい問題だけに、紹介した事例が参考になれば幸甚である。例えば、融雪での査読論文を数多く書いても設計コンサルとしてはカウントされない。一定規模の融雪では、非定常法数値シミュレーションを設計で行うことを義務づければ、その技術力が条件になる。このように設計では改善の余地がある。国では権限判断を有するプロパー職員が減り<sup>8)</sup>、技術力低下が”問われる公共事業”1982 年当時と更に随分と進行した。県、市町村、民間を問わず、技術を有する職員を大切にしないと大きな損失となる。技術者を大切にできなかった日本の一部大手メーカーの困難を他山の石として頂きたい。

#### 文献

- 1) 国土交通省北陸地方整備局：公共工事の品質確保 <http://www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/hinkaku/html/hinkakuhou.html>
- 2) 宮本重信, 竹内正紀, 永井二郎, 菅原桂一郎熱交換杭群を用いた合成鋼床版橋での季節間蓄熱融雪の一設計, 土木学会論文集 G, 2008.02
- 3) 宮本重信：地下水を利用した節水型融雪システムの開発, 土木学会論文集 No.609/VI-41, 1994.6
- 4) 宮本重信・藤野間幸英：降雪センサーから積雪センサーへ, 第 5 回日本雪工学会大会論文報告集, pp.181-pp.184, 1989.1
- 5) 宮本重信・西澤辰男・武市靖・野田悦郎・高島浩一：融雪用放熱管を有する舗装の設計・施工の合理化例, 土木学会論文集, Vol.66. No.3, 276-287, 2011
- 6) 宮本重信, 竹内正紀, 永井二郎, 菅原桂一郎：熱交換杭群を用いた合成鋼床版橋（幸橋）での季節間蓄熱融雪の設計・施工, 福井県雪対策・建設技術研究所年報, 2005
- 7) 岩城圭介, 平間昭信, 加藤淳司, 寺澤正人, コンクリート内部の相対湿度計測による湿潤養生管理の提案コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.2, 2008
- 8) 全建設省労働組合編：問われる公共事業, 大月書店, 1982