

# 下水道未普及解消クイックプロジェクト — 露出配管技術の寒冷地における凍結に関する検討 —

遠藤 淳\* 深谷 渉\*\*

## 1. はじめに

下水道による処理人口普及率は、平成19年度末で、全国平均では71.7%に達する一方で、人口5万人未満の中小市町村では42.7%にとどまっている。

このような状況を早期に解消するためには、従来は使われていなかった安価で早期に施工が可能な新しい整備手法を地域の实情に応じて導入することが必要である。しかし、このような新たな整備手法を導入するためには、性能等を検証するとともに、採用した場合のリスクを明確にしておくことが必要となる。このため、国土交通省では、平成18年度より下水道未普及対象クイックプロジェクトを実施し、モデル市町村において社会実験を行っている。クイックプロジェクトの詳細については、ビジュアルでわかりやすいホームページ (<http://www.mifukyu.go.jp/>) がつくられているので参照されたい。

新たな整備手法の内、露出配管については、図-1に示すように、下水管を道路下等の地中に埋設するのではなく、民地、水路空間、河川護岸等を占有して、地上に管材を露出して敷設するものであり、建設コスト、施工期間とも大幅に改善されるため、非常に期待の大きい技術である。

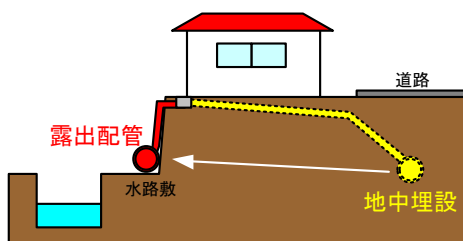


図-1 露出配管のイメージ図

露出配管を採用することで予見されるリスクは、表-1のとおりまとめており、これらを参考に、モデル市町村第1号として、熊本県益城町にて平成20年度より検証が進められている。

一方、露出配管の地域的特性として、真冬日が観測されるような寒冷地で採用する場合には、流下する汚水の凍結による管閉塞が懸念される。

表-1 予見されるリスク (露出配管)

予見されるリスク	主な影響因子
管の破損	故意・不意の(人為的な)外力
凍結による管閉塞・破損	気温、流水の流下速度
下水の腐敗	気温
耐用年数の短命化	気温、紫外線、降雨(酸性雨)
景観の悪化	紫外線や降雨による劣化、落書き

本検討では、露出配管の採用を予定している岩手県二戸市浄法寺町にて、管内の凍結現象の把握を目的に、流水実験を実施したので報告を行う。

## 2. 実験方法

本実験では、凍結現象の把握として、以下の2つを観察することを目的とした。

- ① 流水下での凍結の有無
- ② 堆積物による滞留を想定した場合における流下阻害・凍結閉塞発生の有無

実験装置概要について図-2に示す。管材は、一般的な配管材である塩化ビニル管とし、凍結現象が確認されやすいように管厚の薄いVU管とした。流体についても、同様の理由で水道水とし、循環利用した。

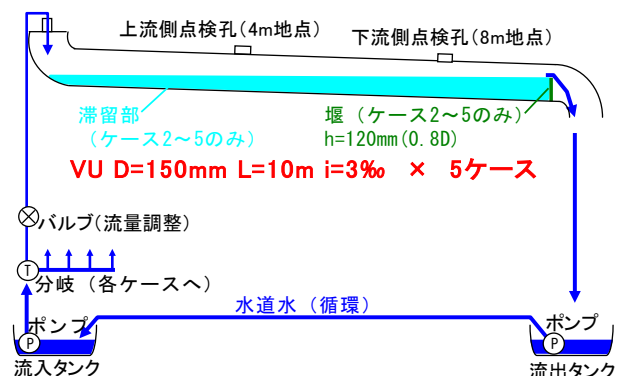


図-2 実験概要図

実験条件について表-2に示す。ケース1~5の5条件を設定した。ケース1の流下条件については、夜間の流量が少ない状況を想定して流量30 l/minに設定した。さらに、ケース2~5については、凍

結閉塞に至る要因として堆積物による滞留を想定し、堰を設置することとした。この条件においては、流量が0～18ℓ/分の異なる4条件を設定し、凍結現象への影響を確認した。

表-2 実験条件

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
堰高	堰なし	120mm(0.8D) 滞留量150ℓ			
流量	3ℓ/分		9ℓ/分	18ℓ/分	0ℓ/分
滞留(流下)時間	1.4分	50分	17分	8.3分	-

実験は、写真-1に示すように、屋外にて平成21年2月23日から26日の夜間3日間実施した。



写真-1 実験装置

実験中の計測については、流入タンク、各ケースの流出水温および気温を連続的に測定するとともに、約3時間ごとに点検孔より流況を目視確認し、点検孔天端からの高さを定規にて計測する方法で、水深および水深方向に水面と底面の氷厚を観測した。また、凍結が確認された場合、翌朝9:00に滞留部の水量を計測し、凍結前の値と比較することで、滞留部（図-2の水色の部分）の凍結量を算出した。

### 3. 実験結果

実験期間中の気温および流入水温について図-3に示す。実験中は3夜とも最低気温は0℃以下となったが、凍結が確認されたのは、24および26日朝の2回であった。

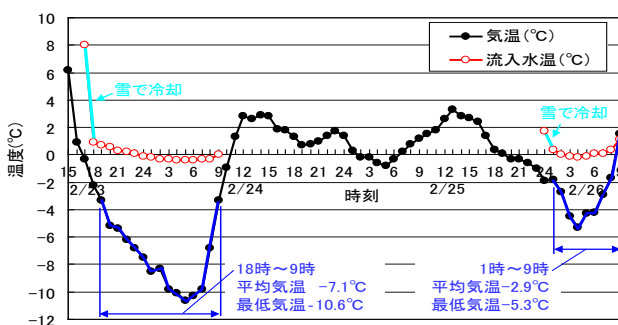


図-3 実験期間中の気温・流入水温（正時）

流入水温については、凍結現象が確認しやすいように、気温が0℃を下回ると流入水を雪で冷却して温度を下げた後、ヒーター等で温度調節を行わず、循環利用した。このため、実験中の流入水温は0℃付近の非常に低い温度となっている。

凍結が観察された翌朝9:00の凍結量、2つの点検孔の平均氷厚を表-3に示す。また、最も継続して低い温度が観測された24日については、管内状況写真も合わせて示している。

表-3 実験結果

ケース	24日 9:00				26日 9:00		
	凍結状況	全凍結容量(ℓ)	平均氷厚(cm)		全凍結容量(ℓ)	平均氷厚(cm)	
			底面	水面		底面	水面
1		-	0.6	0.4	-	0.0	0.0
2		29	1.0	1.1	6	0.0	0.0
3		16	0.8	0.7	3	0.0	0.0
4		4.5	0.8	0.7	0.5	0.0	0.0
5		36	1.5	1.1	19	0.6	0.0

今回条件（平均気温-7.1℃、冷却時間15時間）では、流出流量に変化はなく、流下障害が発生していないことを確認している。また、写真および計測結果から凍結閉塞を懸念する状況にはないことが示されている。

## 4. 実験結果の解析

### 4.1 実験結果の解析方法

フーリエの法則より式(1)に示すように、熱量(凍結量)は、水温と気温の温度差および冷却時間が主要なパラメータとなる。

$$Q = -\lambda \cdot A \cdot \Delta t \cdot \tau \quad \text{式(1)}$$

$$\left[ \begin{array}{l} Q : \text{熱量} \\ \lambda : \text{係数(熱伝導率)} \quad A : \text{伝熱面積} \\ \Delta t : \text{温度差} \quad \tau : \text{時間} \\ \Delta t \cdot \tau : \text{積算温度} \end{array} \right]$$

これらパラメータについては、凍結が発生するためには、管内水温が0℃以下となる必要があると考え、図-4に示すように流水水温が0℃となる時刻から実験終了時刻までを対象とし、流水水温と外気温の温度差(流水水温-気温)を積算温度として算出し、凍結量との相関を解析した。

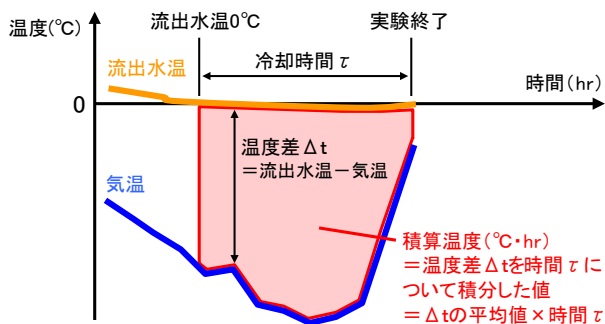


図-4 積算温度について

また、凍結量と積算温度の相関を得ることにより、対象地域の平均気温がわかれば、ある凍結量(例えば、閉塞時の凍結量)に対応する積算温度を平均気温で除することで、凍結時間が容易に算出可能となる。

### 4.2 滞留時の壁面からの冷却による凍結(凍結量データの解析)

凍結量の測定においては、図-5に示すとおり、ケース2~4では、実験時は流水により水面が堰より高くなり、その状態で気相部より冷却され、水面が凍結する現象が確認されている。しかし、実験後の凍結量の測定は、流水しない状態で計測を行うため、その値には、水面の凍結水量は含まれず、管材を通して冷却される凍結量のみを計測しているものと考えられる。よって、管材と水の接触面積あたりの凍結水量を算出し、積算温度との相関を解析した。

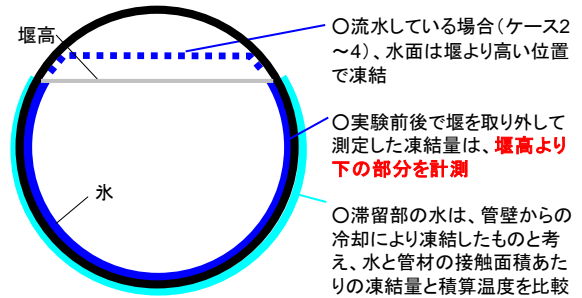


図-5 凍結量データの解析方法

積算温度を横軸、接触面積当たりの凍結量を縦軸に、凍結が観察された2回のデータについて、図-6に値を示す。あわせて、ケースごとに、原点を通る一次式で回帰し、その傾きを凍結速度として算出した。

さらに、凍結速度について、図-7に示すとおり流量との関係を図示するとともに、一次式への回帰を行った。

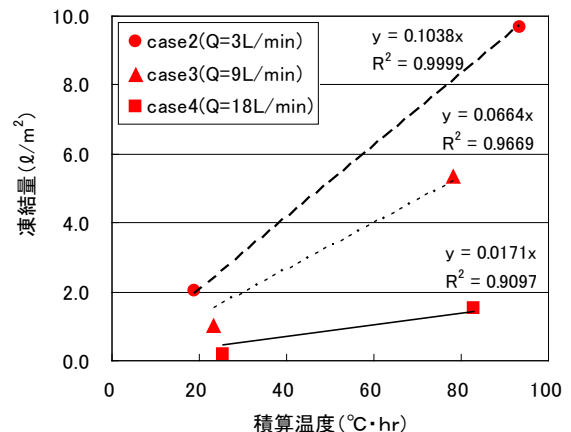


図-6 積算温度と凍結量

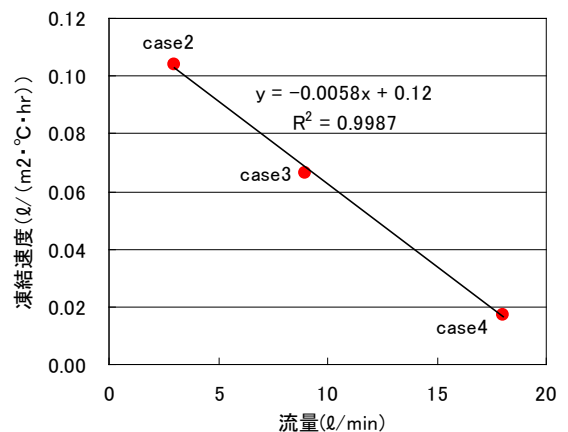


図-7 流入流量と凍結速度

データが、少ないこともあるが、図-6,7ともよい相関が得られている。

また、図-7より滞留した場合には、流量が少ないと凍結速度が大きくなる、すなわち凍結しやすくなることが示されている。

この関数を利用して、今回算出した凍結速度から満管時の水量が凍結するために必要な積算温度および平均気温 -15℃における凍結時間を表-4に示す。

表-4 満管滞留時の凍結時間予測

ケース	堰	流量 (ℓ/min)	凍結速度 (ℓ/(m <sup>2</sup> ・℃・hr))	凍結積算温度 (満管時) (℃・hr)	-15℃での 凍結時間 (hr)
2	あり (0.8D)	3	0.104	371	25
3		9	0.066	580	39
4		18	0.017	2251	150

ここでの解析は、滞留水深が大きくなり、管接触面からの冷却が卓越するような場合への適用が想定される。このような条件で、流量が非常に少ない場合には、気象条件により1日程度で凍結閉塞する可能性が示されていることから注意が必要である。

### 4.3 壁面および水面からの冷却による凍結（氷厚データの解析）

今回対象としているのは自然流下区間であり、通常、管内には気相部が存在する。このような場合、図-8に示すように、実験結果より水と管材との接触面に加えて、空気との接触面（水面）においても凍結が発生している。

本実験では、底面と表面の氷厚さを計測していることから、それぞれの氷厚さは計測値で一樣と仮定して、管の延長方向に単位長さ当りの凍結量を算出し、上記の積算温度により凍結速度の試算を行った。

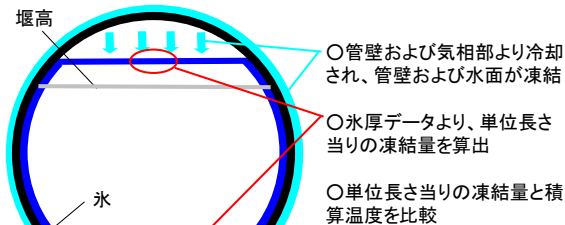


図-8 氷厚データの解析方法

各ケースの凍結速度の最大値を表-5に示す。また、この凍結速度で満管時の水量が凍結するために必要な凍結積算温度および平均気温-15℃での凍結時間を併せて示す。滞留すると凍結閉塞までの時間が短縮され、リスクが高まることが示されている。

表-5 満管までの凍結時間

ケース	堰	流量 (ℓ/min)	凍結速度 (ℓ/(m <sup>2</sup> ・℃・hr))	凍結積算温度 (満管時) (℃・hr)	-15℃での 凍結時間 (hr)
1	なし	3	0.014	1349	90.0
2	あり (0.8D)	3	0.055	338	22.5
3		9	0.053	349	23.3
4		18	0.045	413	27.5
5		0	0.069	270	18.0

## 5. まとめ

今回の実験は、実際の流下状況と比較して、非常に低い水温（0℃）であること、管が外気と遮断されていないこと、溶解物質等の影響が反映されていないこと等、凍結に関しては大きく安全側の条件で実施したところ、その結果は以下のとおりまとめられる。

- ①流水下では、凍結閉塞までには、外気温 -15℃が続いた場合でも、4日程度は要すると試算された。
- ②滞留した場合、凍結閉塞リスクが高まり、外気温 -15℃が続いた場合、1日程度で凍結閉塞すると試算されており、注意が必要である。

今回の結果が、適用の可否、断熱材等の凍結対策の目安となり、社会実験による検証が効率的に進むことを期待する。

## 謝 辞

実験にご協力いただいた二戸市をはじめ関係者の方々に感謝いたします。

## 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会:空気調和・衛生工学便覧 第12版 5材料・施工・維持管理篇 1995

遠藤 淳\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水道研究室 研究官  
Jun ENDO

深谷 渉\*\*



国土交通省国土技術政策  
総合研究所下水道研究部  
下水道研究室 研究官  
Wataru Fukatani