

下水道未普及解消クイックプロジェクト 露出配管の凍結に関する検討

国土技術政策総合研究所 ○遠藤 淳
深谷 渉
共和技術株式会社 木島 年幸

1. はじめに

下水道未普及地域の早期解消のためには、従来の整備手法にとられない、地域の実情に応じた低コストかつ機動的整備を可能にする新たな整備手法の導入が必要となっており、モデル市町村において社会実験を実施しながら性能等を検証し、類似地域への適用を促進する予定としている。このうち、露出配管については、平成20年度より熊本県益城町において検証が進められている。(http://www.mifukyu.go.jp/)

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閉塞が懸念される。凍結現象の把握を目的として、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、①流下水での凍結の有無、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を観察することを目的とした。

実験装置概要について図-1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。流体には同様の理由で水道水を用い循環利用した。

実験条件については表-1に示す。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を設定した。さらに、凍結閉塞に至る要因として堆積物による滞留を想定し、堰を設置する条件を設定した。この条件においては、流量の異なる4条件を設定し、凍結現象への影響を確認した。

実験は、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。流入タンク、各ケースの流出部水温および外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確認し、水深、氷厚の計測を実施した。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、滞留部の凍結量を算出した。

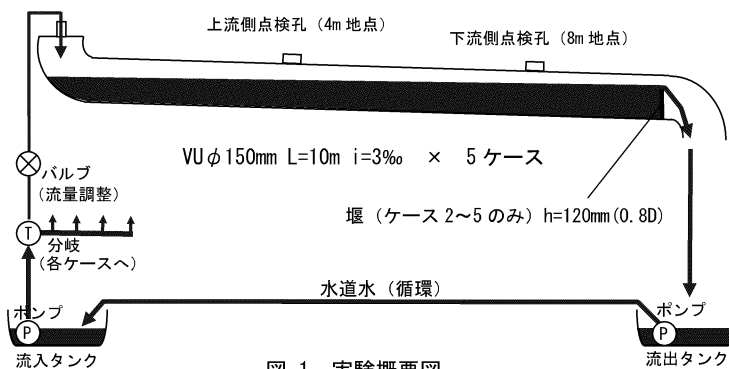


図-1 実験概要図

表-1 実験条件

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

II -4-1-4 (2/3)

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-2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。

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、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 つの点検孔の平均水厚を表-2 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。今回条件では、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、写真からも管内で凍結は確認されているが、すぐに凍結閉塞に至る状況にはないことが示されている。

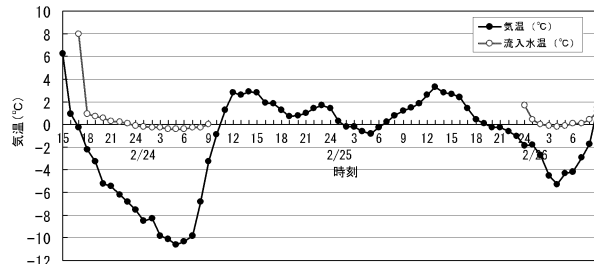


図-2 実験期間中の気温・流入水温

表-2 実験結果

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

4. 考察

フーリエの法則より凍結量は、水温と外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¹⁾ことから、これらについて相関関係の考察を行う。

水温と外気温の温度差および冷却時間については、凍結が発生するためには、管内水温が 0℃以下となることが必要と考え、流出水温が 0℃となる時刻から凍結量計測時刻までを対象とし、外気温と流出水温の温度差を積算温度として算出し、比較を行うこととした。

4-1. 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、ケース 2~4 では、実験時は流水により水面が堰より高く、計測時は流水しないため水面が低くなる。このため、その値には、水面の凍結水量は含まれておらず、管材を通して冷却される凍結量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計算して比較を行うこととした。

積算温度を X 軸、接触面積当りの凍結量を Y 軸に、凍結が観察された 2 回のデータについて、図-3 に示す。ケースごとに、原点を通る一次式で回帰し傾向を把握するとともに、その傾きから凍結速度を算出した。さらに、凍結速度について、図-4 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。データが、少ないこともあるが、よい相関が得られている。この相関を利用して、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外気温 - 15℃における凍結時間を表-3 に示す。

II -4-1-4 (3/3)

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には、表-3の値が参考になると考えられる。特に、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。

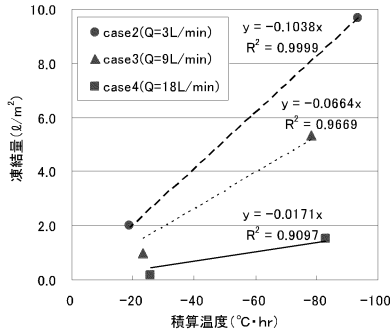


図-3 積算温度と凍結量

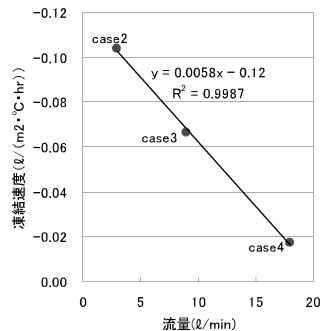


図-4 流入流量と凍結速度

表-3 満管滞留時の凍結時間予測

case	凍結速度 L/(m ² ·°C·hr)	満管時の 凍結積算温度 °C·hr	-15°C 凍結時間 hr
2	-0.104	-371	24.7
3	-0.066	-580	38.7
4	-0.017	-2251	150.1

4-2. 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自然流下区間においては、通常、管内には気相部が存在する。このような場合、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、氷厚さを一様と仮定して、単位長さ当りの凍結水量を算出し、上記の積算温度により凍結速度の試算を行った。各ケースの凍結速度の最大値を表-4に示す。また、参考までに、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外気温-15°Cにおける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唆されている。

4-1の試算結果と差があるのは、粗い方法で予測していることに加えて、滞留部の平均的な凍結現象ではなく、局所的な現象を対象としているためと考える。今回は、十分なデータが得られていないため、あくまで参考値としている。

表-4 満管までの凍結時間

ケース	凍結速度 (L/(m ² ·°C·hr))	凍結積算温 度(満管時) (°C·hr)	凍結時間 (-15°C) (hr)
1	-0.014	-1349	90.0
2	-0.055	-338	22.5
3	-0.053	-349	23.3
4	-0.045	-413	27.5
5	-0.069	-270	18.0

5. まとめ

今回の実験では、実際の流下状況と比較して、低い水温であること、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の違いがあるが、以下のとおりまとめられる。

今回の実験条件では、流管内で凍結は確認されているが、すぐに凍結閉塞に至る状況にはないことが示された。一方で、実験結果の解析より、滞留した場合、気象条件によっては1日程度で凍結閉塞する可能性が示されており注意が必要である。

今回の実験が、寒冷地での露出配管の採用にあたり、一助となることを期待する。

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。

参考資料 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

問い合わせ先: 国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究室 遠藤 淳

E-mail: endou-j92ta@nilim.go.jp