

# パイプライン附帯施設（弁室）における結露現象について

藤本 嘉三      伊東 啓人

## はじめに

パイプライン施設において、附帯施設の弁室に滞水していることがある。弁室の滞水は、維持管理上の支障となり、弁類の性能低下を早める恐れがあり、その要因解明と保全対策検討が必要である。本調査は、ストックマネジメント高度化事業の一環として、オホーツク地方のパイプラインの機能診断調査により、弁室の一部で確認された滞水について、特に結露による滞水の可能性について調査を行い、滞水の要因解明と調査手法の有効性及び対策提案を行った事例を紹介する。

## 1. 対象施設の概要

### 1-1 地域特性

対象地域は、透水性の高い土質や、地下水位の高い土質が分布する。地形条件は、高地に位置する路線や、段丘部・低平地に位置する路線など様々である。また、気候条件は少雪で寒暖差が大きいことが特徴的である。

### 1-2 施設の構造

滞水状況調査の対象施設は、昭和 60 年代から平成 10 年代にかけて造成された畑地かんがい用のパイプラインの附帯施設（弁室タイプ）であり、施工から 5～20 年余りを経過していた。

弁室構造は、大きく分けて以下の 3 種類に分類される。

Aタイプ：頂底板分離型

Bタイプ：頂底板分離型(本管巻立てタイプ)

Cタイプ：頂版分離・底板一体型

A・Bタイプは、頂・底板スラブと側壁が構造上分離しており、連結プレートとボルトで接続されている。接続部部分には水膨張性止水ゴムが設置され、止水性を確保する構造となっている。

Cタイプは、頂版スラブのみが側壁と構造上分離しており、連結プレートとボルトで接続されている。接続部部分にはA・Bタイプと同様に水膨張性止水ゴムが設置され、止水性を確保する構造となっている。

### 1-3 対象施設の選定

過年度（平成 20～21 年）に実施された機能診断調査結果において、滞水が確認されていた弁室を対象に現地目視調査を行い、その結果から滞水要因を推定した。滞水要因の推定にあたっては以下の項目に留意して行った。

- 弁室内部の浸水跡の有無と位置
- 弁室内部のひび割れや管体継手等からの漏水の有無
- 弁室施工からの浸水速度(浸水深)
- 弁室内の結露状況
- 地形条件

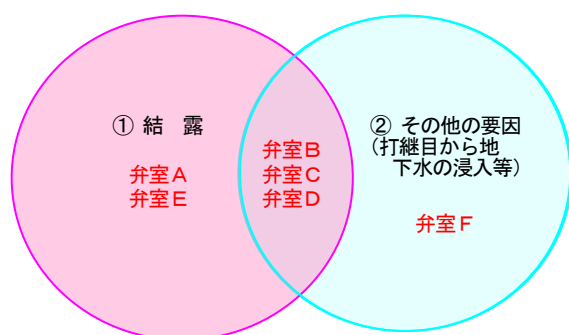
滞水要因の推定結果より、本地域における滞水要因は、ひび割れや管体継手等からの漏水が確認されなかったことから、①結露、②その他（水平打継目等からの地下水浸入等）と判断された。

これを基に、本地域での弁室を滞水要因毎に分類し、図-1のようにグルーピングを行った。

本報告は、滞水要因の代表的な弁室として抽出した 6 施設を対象に、詳細な現地調査を実施し、

その調査結果に基づき滞水原因の解明を行ったものである。

各弁室の諸条件は表－１に示すとおりである。



図－１ 滞水要因によるグルーピング

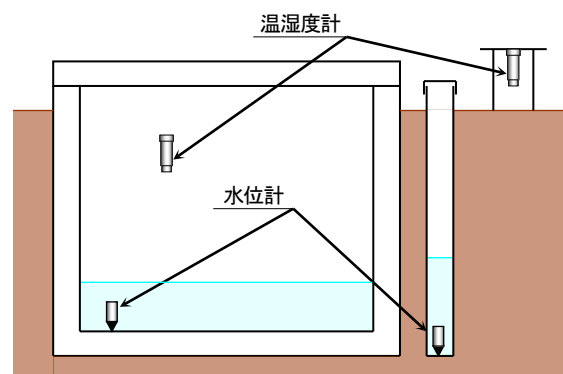
また、詳細調査対象の弁室の抽出は、下記事項に配慮した。

- 各滞水要因が主体と判断される弁室から各々１施設以上（滞水原因の究明）
- 計測機器の設置が可能な弁室規模
- アクセス容易性（各種機器の設置、定期目視調査及びデータ回収等の安全性・用地確保）
- 地下水位観測孔の設置が可能（車両乗り入れとボーリング孔のスペース）

## ２ 現況調査

### ２－１ 調査方法

弁室の滞水状況の調査は、想定される浸水要因を勘案し、以下の項目について調査を行った。



図－２ 観測機器の配置

#### ●地下水位観測（計測間隔：１時間）

調査対象施設周辺の地下水位と弁室内水位、及び降雨との関係を把握する目的で行った。地下水位観測孔にロガー付水位計を設置し、弁室周辺の地下水位の変動状況を観測した。

#### ●弁室内水位観測（計測間隔：１時間）

降雨その他の影響による、地下水位の変化と、弁室内水位の関係を把握することを目的として行った。調査対象施設の弁室内にロガー付水位計を設置し、弁室内水位の変動状況を観測した。（最低計測標高は弁室基礎程度）

#### ●気温・湿度観測（計測間隔：１時間）

弁室内の水位変動と結露の関係を把握する目的で行った。結露の発生は、弁室内温度に対応する飽和水蒸気量の変化と、弁室内空気に供給される外気に含まれる水蒸気量との関係により発生することから、弁室内及び弁室外にロガー付温湿度計を設置し、気温及び湿度を観測した。

表－１ 調査対象弁室一覧表

項 目		単位	弁 室 A	弁 室 B	弁 室 C	弁 室 D	弁 室 E	弁 室 F
設 置 施 設			制水弁	空気弁、制水弁	制水弁、分岐工	排泥弁	制水弁、分岐工	排泥弁
施 工 年 度			H14	H13	H14	H12	H10	H11
経 過 年 数			(年) 8	9	8	10	12	11
弁室内 水深	過年度	(m)	0.55	1.10	0.90	2.00	0.85	5.63
	今回	(m)	0.60	1.60	1.12	3.13	0.92	7.20
弁室 規模 (内空)	長さ	(m)	3.70	2.75	3.36	4.20	4.50	1.50
	幅	(m)	4.60	5.50	5.11	4.20	4.10	1.80
	高さ	(m)	6.50	4.10	4.11	6.00	3.90	7.60
	空容量	(m³)	111	62	71	106	72	21
弁室構造形式			Cタイプ	Aタイプ	Aタイプ	Aタイプ	Aタイプ	Cタイプ
地 形 条 件			高位部	段丘高位部	低位部	低位部	段丘高位部	低位部沢地

※ 断熱材の有無：頂版～有り、側壁～なし（全弁室共通）

表－２ 滞水原因の類型区分基礎表

弁室名称 事 項		弁 室 A	弁 室 B	弁 室 C	弁 室 D	弁 室 E	弁 室 F
水位 状況 (m)	水替え直後	0.04	0.07	0.03	0.06	0.01	0.03
	観測終了時	0.06	0.15	0.29	0.47	0.08	3.71
	水位上昇量	0.02	0.08	0.26	0.41	0.07	3.68
滞 水 状 況		観測期間を通じて、微小ではあるが継続的に水位上昇が見られる。	まとまった降雨時に若干の水位上昇が見られる。	まとまった降雨時に水位上昇が見られる。	まとまった降雨時に水位上昇が見られる。	観測期間を通じて、微小ではあるが継続的に水位上昇が見られる。	常に弁室周辺の地下水位が高く継続的に水位上昇が見られる。
滞水推定要因		結 露	水平打継目等からの浸透および結露	水平打継目等からの浸透および結露	水平打継目等からの浸透および結露	結 露	水平打継目等からの浸透および結露

### ●降雨量観測（１時間データ）

降雨量は近傍アメダス地点の観測値を用いた。

### ●目視調査（１月／回）

弁室周辺及び弁室内において、結露、地表水の浸水状況、継目からの浸入状況、滞留水の濁度等について目視調査を行った。

## ２－２ 調査結果

結露が主要因と判断された弁室A及び弁室Eの調査結果を以下に示す。

なお、７月上旬における弁室水位の大幅な低下は、弁室内部の目視調査のためのポンプ排水の結果である。（弁室E：7/8、弁室E：7/7）

### （１）弁室A調査結果

① 図－３より、地下水位は、降雨時の一時的な上昇を除き、観測されなかった。（弁室基礎より低い。）

② 打継目等からの浸入は見られなかった。

③ 観測期間を通じて、極めて微小ではあるが継続的に弁室内水位が上昇している。

④ 弁室内水位は、降雨による上昇傾向は見られない。

⑤ 弁室内目視調査より、側壁及び頂版の断熱材に水滴が確認され（写真－１）、側壁の水滴は底版へと落下していた。（弁室Eも同様）

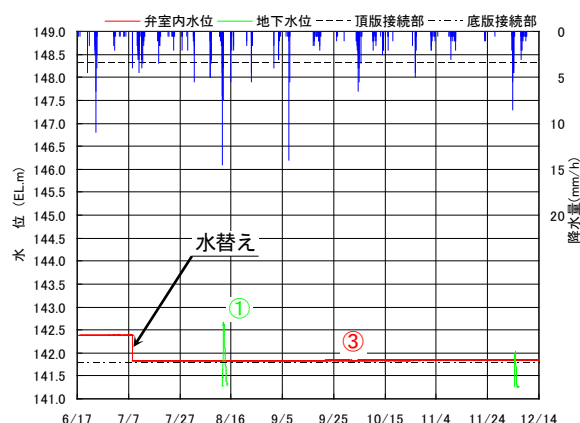
### （２）弁室E調査結果

⑥ 図－４より、地下水位は、常に弁室内水位より高く、降雨の影響で一時的に上昇している。

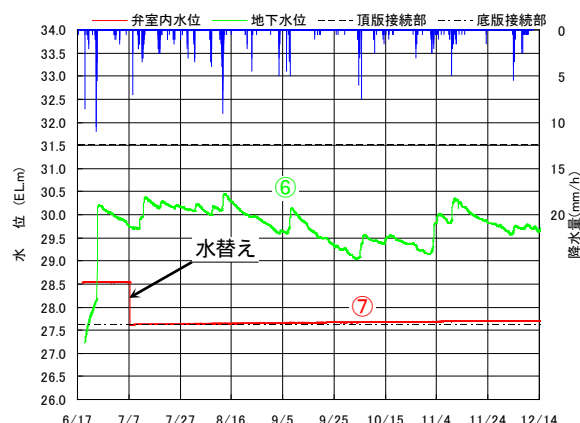
⑦ 弁室内水位は、降雨による上昇傾向は見られ

ないものの、観測期間を通じて極めて微小ではあるが継続的に上昇している。

⑧ ９月下旬から１０月末の期間に地下水位の低下が見られるが、弁室内水位の上昇傾向には変化が見られない。



図－３ 弁室A 観測データ経時変化図



図－４ 弁室E 観測データ経時変化図



写真－１ 弁室A 側壁と頂版断熱材の状況

### 3 滞水原因の解明

#### 3－1 滞水原因の類型区分

パイプラインの附帯施設である弁室の滞水原因推定にあたり、施設及びその周辺、漏水痕跡の現地調査（目視調査・概略測量調査）より、変状等を整理して共通項を抽出した。

更に、弁室内水位、地下水位の計測データ及び近傍アメダスの雨量観測データを時系列に整理し、現地調査結果と合わせて滞水原因を考察した。

現地調査及び計測データによる考察より、弁室の滞水原因は、以下の類型区分（原因パターン）のとおりに特定した。（表－3）

#### <滞水原因の類型区分（原因パターン）>

- ・パターン1：結露
- ・パターン2：水平打継目等からの浸透

表－3 滞水原因の類型区分

類型区分	滞水要因		該当施設 (主たる要因別)
	主要因	他要因	
パターン1	結露	－	弁室A、弁室E
パターン2	水平打継目等からの浸透	結露	弁室B、弁室C 弁室D、弁室F

以降において、全弁室の滞水要因となっている結露について、滞水状況の解明を行った。

#### 3－2 対象施設における結露のメカニズム

##### (1) 結露の種類・区分

結露は、下記のとおり、見える部分と見えない

部分という区分で“表面結露”と“内部結露”に区分される。また、建物内外の気温や湿度の相対的な関係に特徴付けられる季節による区分として、“夏型結露”と“冬型結露”に分けられる。<sup>1)</sup>

##### 【表面結露と内部結露】

壁体の表面で湿り空気中に含まれる水蒸気が凝縮し、液体になるのが表面結露で、材料の内部で水蒸気が凝縮し、液体になるのが内部結露である。

##### 【冬型結露と夏型結露】

冬型結露は、室内空気が露点以下の冷たい部分に触れることにより発生する。夏型結露は、外気に含まれる多量の水蒸気が、屋内の低温部分に触れることによって発生する。

梅雨時は水蒸気が飽和状態になり、気温が20℃前後で高湿状態にあるので15℃前後の物体には結露する。しかも外気に含まれる水蒸気量が多いだけ、一旦発生すると冬の結露よりはるかに液水の量が多くなる。

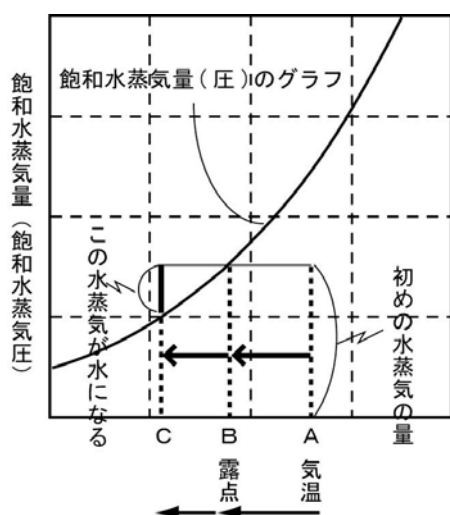
#### (2) 結露のメカニズム

弁室の結露は、弁室内に比して高温で多湿（相対湿度の高低ではなく水蒸気量が多いこと）な外気から供給された水蒸気が、弁室内の側壁等で露点温度まで冷やされることにより、その表面に発生する。（図－5）

※ 露点温度とは、水蒸気を含む空気を冷却したとき、凝結が始まる温度をいう。具体的には、相対湿度が100%の場合は現在の温度がそのまま露点温度である。

相対湿度とは、ある温度の空気が含んでいる水蒸気量（水蒸気圧）の、表－4に示す飽和水蒸気量（飽和水蒸気圧）に対する割合をいい、下式により求められる。

$$\text{相対湿度(\%)} = \frac{\text{その気温の水蒸気量}}{\text{その気温での飽和水蒸気量(既知)}} \times 100$$



図－５ 結露のメカニズム概念図

表－４ 温度と飽和水蒸気量（圧）

温度 (℃)	飽和水蒸気量(圧)		温度 (℃)	飽和水蒸気量(圧)	
	(g/m <sup>3</sup> )	(hPa)		(g/m <sup>3</sup> )	(hPa)
0	4.8	6.10	20	17.3	23.38
1	5.2	6.56	21	18.3	24.86
2	5.6	7.05	22	19.4	26.43
3	5.9	7.57	23	20.6	28.08
4	6.3	8.08	24	21.8	29.83
5	6.8	8.72	25	23.0	31.67
6	7.3	9.34	26	24.4	33.60
7	7.8	10.01	27	25.8	35.64
8	8.3	10.72	28	27.2	37.79
9	8.8	11.48	29	28.8	40.04
10	9.4	12.28	30	30.4	42.41
11	10.0	13.10	31	32.0	44.92
12	10.7	14.02	32	33.8	47.53
13	11.4	14.97	33	35.7	50.32
14	12.1	15.98	34	37.6	53.18
15	12.8	17.05	35	39.6	56.22
16	13.6	18.17	36	41.7	59.39
17	14.5	19.37	37	43.9	62.74
18	15.4	20.63	38	46.2	66.23
19	16.3	21.97	39	48.6	69.90

### （３）結露量の算定例

20℃相対湿度 50%の空気が 5℃まで冷やされたときの結露量を求めてみる。

温度 20℃の飽和水蒸気量(相対湿度 100%)は、表－４より 17.3g/m<sup>3</sup>であるから、温度 20℃相対湿度 50%の空気の水蒸気量は、

$$17.3\text{g/m}^3 \times 50\% = 8.65\text{g/m}^3$$

同様に、5℃の空気が持てる水蒸気量（飽和水蒸気量）は表－４より 6.80g/m<sup>3</sup>であるから、結露量  $v_i$  は、

$$v_i = 8.65 - 6.80 = 1.85\text{g/m}^3$$

となる。

ある時間（又は日数）の結露総量  $V_i$  は、結露量  $v_i$  に通気量  $q_i$  (m<sup>3</sup>) を乗ずることにより求められる。

すなわち、

$$V_i = v_i \times q_i$$

結露期間全体の結露総量  $V$  は、上式の累計値

$$V = \sum V_i = \sum_{i=1}^n v_i \times q_i$$

となる

上式より、結露の絶対量は、「結露量」、「通気量（換気回数）」、「結露期間」がこれを決定づけ、その規模・期間は弁室の気密性（隙間量～通気孔の規模（開口面積））と断熱性が大きな影響をもつと考えられる。

### （４）みかけ結露量の算定

結露量 (g/m<sup>3</sup>) は、外気温・湿度と弁室内温度から算定することができるが、結露時間（一定時間（期間））における結露総量を算定するには、「すきま量」を把握する必要がある。

しかし、これには通常、気密性試験が必要である。今回、気密性試験は行っていないため、弁室内の水位上昇量からみかけ結露量 (g/m<sup>3</sup>) を逆算して求め検証を行う。

みかけ結露量 (g/m<sup>3</sup>) は、弁室水位上昇から求めた結露総量 (g) を弁室空容量 (m<sup>3</sup>) で除した単位空容量当りの値である。

なお、弁室B、弁室C、弁室Dなどの降雨の影響により水位が上昇する弁室については、その期間の水位上昇量を除いた値を採用し、結露量を算定した。

弁室Fにおいては、地下水の影響により常時水位上昇が見られ、結露量の算出が困難であったため対象外とする。

また、弁室内の水位変化は、頂版下面や側壁に結露した水滴が落下した結果として生ずる現象であり、結露してから水滴が落下するまでに時間差が生じる。結露が弁室の水位変化として現れるま

表－５ 弁室水位変化にもとづく結露算出一覧表

期 間	弁室A (通気孔無)		弁室B (通気孔有)		弁室C (通気孔有)		弁室D (通気孔無)		弁室E (通気孔無)	
	弁室水位 (m)	結露量 (g/m <sup>3</sup> )	弁室水位 (m)	結露量 (g/m <sup>3</sup> )	弁室水位 (m)	結露量 (g/m <sup>3</sup> )	弁室水位 (m)	結露量 (g/m <sup>3</sup> )	弁室水位 (m)	結露量 (g/m <sup>3</sup> )
7/11-15	0.039	0	0.077	0	0.031	0	0.060	－	0.004	0
7/16-20	0.040	155	0.080	746	0.031	0	0.060	－	0.006	514
7/21-25	0.039	0	0.078	249	0.033	491	0.059	－	0.011	1,799
7/26-31	0.041	309	0.080	747	0.034	736	0.060	168	0.013	2,314
8/ 1- 5	0.044	773	0.082	1,244	0.034	736	0.062	504	0.015	2,829
8/ 6-10	0.043	619	0.083	1,493	0.034	736	0.063	672	0.016	3,086
8/11-15	0.043	619	0.083	1,493	0.036	1,227	0.063	672	0.017	3,344
8/16-20	0.045	928	0.085	1,991	0.038	1,718	0.065	1,009	0.018	3,601
8/21-25	0.046	1,083	0.088	2,739	0.041	2,455	0.065	1,009	0.021	4,375
8/26-31	0.046	1,083	0.089	2,988	0.040	2,210	0.065	1,009	0.023	4,890
9/ 1- 5	0.047	1,237	0.091	3,487	0.042	2,701	0.067	1,345	0.022	4,633
9/ 6-10	0.047	1,237	0.092	3,737	0.038	1,719	0.068	1,514	0.023	4,891
9/11-15	0.046	1,083	0.092	3,737	0.035	983	0.069	1,682	0.022	4,633
9/16-20	0.048	1,392	0.091	3,487	0.036	1,228	0.068	1,514	0.022	4,633
9/21-25	0.052	2,012	0.089	2,989	0.041	2,457	0.068	1,514	0.027	5,924
9/26-30	0.052	2,012	0.090	3,238	0.044	3,195	0.070	1,850	0.026	5,666

では時間差があるため、結露の算定期間は十分な時間間隔をとった方が妥当である。分析の目的と現象面から考え算定は半旬平均値を用いることとした。(表－５)

#### (５) 対象施設における結露の種類・区分

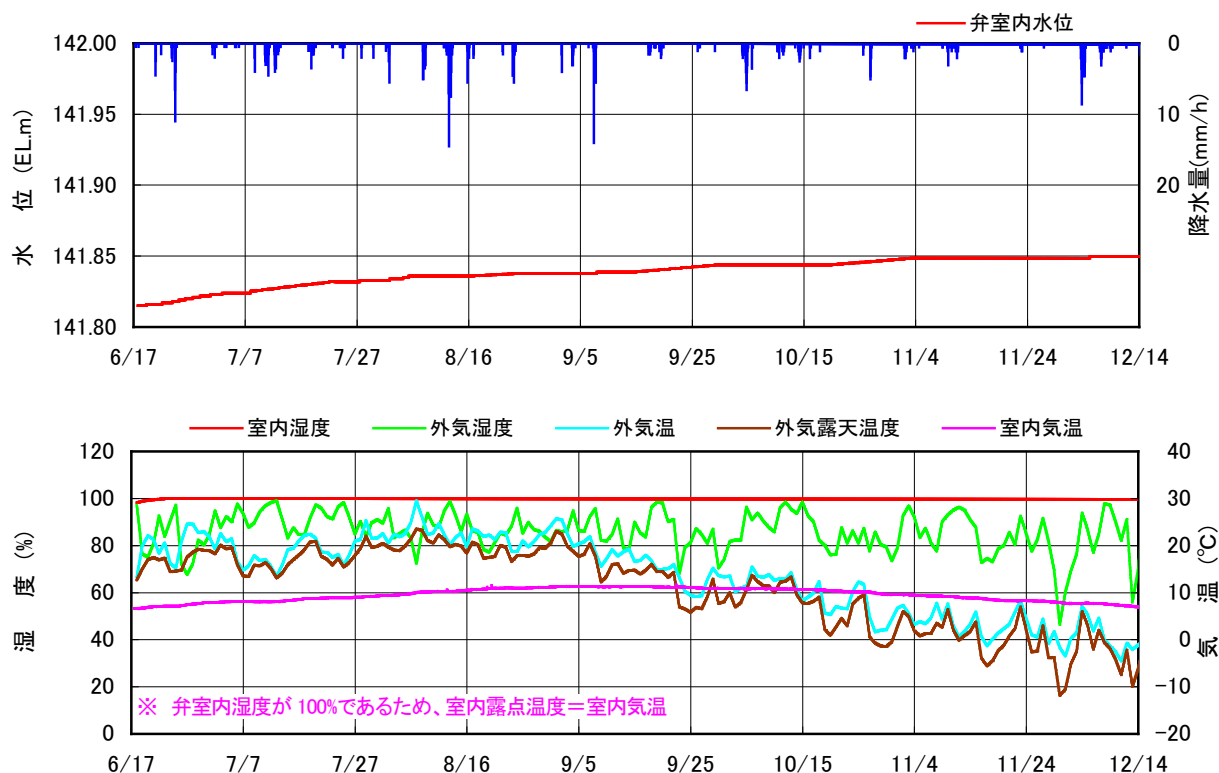
対象施設の構造及び現地調査による目視や温度、湿度等の計測の概要は以下のとおりである。なお滞水原因が結露のみと判断される弁室Aの観測データ経時変化図を図－６に示す。

- ① ６月から９月にかけて結露が要因と考えられる弁室内の水位上昇が確認された。10月以降は結露と考えられる水位上昇はほとんどない。
- ② 弁室の内外における温度及び湿度(相対湿度)の計測より、６月から９月の温度は、常に弁室外に比べて弁室内が低く推移している。
- ③ 同期間の湿度は、弁室外が70～100%に比し、弁室内はほぼ100%で推移しており、水蒸気は飽和状態にあった。
- ④ ６月から９月における弁室内の温度は、弁室外の空気(湿り空気)に対して露点温度以下となっており、弁室外から移動してきた水蒸気は、側壁などの表面で結露として現れる。10月以降

は、この関係がほぼ逆転する。

- ⑤ 上記③④より、主として６月から９月の期間に結露が多いと考えられる。

結露に関係するこれらの特徴から、対象施設の今回観測された期間での結露は“夏型”の“表面結露”であると判断される。



図－6 弁室A観測データ経時変化図

### 3－3 諸量観測値と結露量との関係分析

先述のとおり、弁室内水位を上昇させる結露の供給源は外気に含まれる水蒸気と判断される。

水蒸気は、水蒸気量（圧）の多い（高い）方から少ない（低い）方へと移動するため、結露による弁室水位の上昇は、気温・湿度の観測結果から、外気の水蒸気量が弁室内の水蒸気量を上回る6月から9月の期間に多くなることが予想される。

対象施設（弁室A～E）における弁室内外の気温と湿度の観測値に基づき、弁室内水位の観測値から推定したみかけ結露量と弁室内外の水蒸気量差との回帰分析を行った。

なお、弁室の結露量増加が予想される6月から9月の湿度（相対湿度）は、いずれの施設も弁室内はほぼ100%、外気も80～100%と高く推移することを踏まえ、上記に加えて、みかけ結露量と弁室内外の気温差との回帰分析を行い、水蒸気量差との関係分析と比較することにより、気温のみから結露量を推定する場合の妥当性（精度）につい

て検証した。

#### （1）弁室内外の水蒸気量差及び気温差と結露量の関係分析

外気から弁室内に移動する可能性のある水蒸気量の最大値として、外気と弁室内との水蒸気量差を求め、みかけ結露量との関係について、水蒸気量差とみかけ結露量の半旬値の積算値を用いて一次回帰分析を行った。

なお、水蒸気量差は、弁室内外の気温と湿度の観測値からそれぞれ半旬平均値を算出し、以下の算定式より求めた。

水蒸気量差[g/m<sup>3</sup>]

＝外気水蒸気量[g/m<sup>3</sup>]-弁室内水蒸気量[g/m<sup>3</sup>]

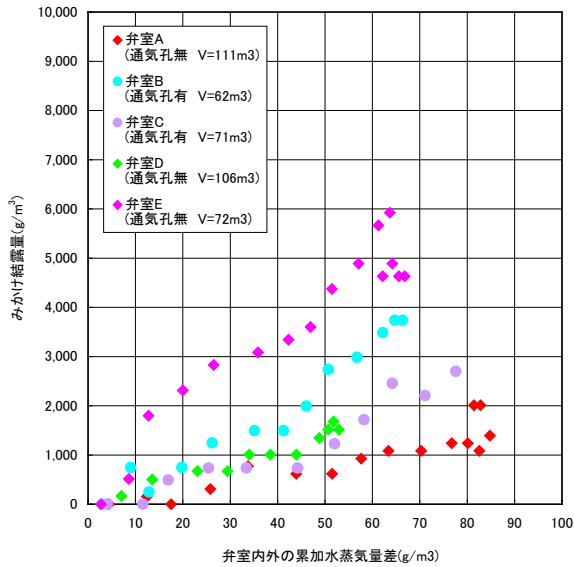
水蒸気量[g/m<sup>3</sup>]

＝飽和水蒸気量[g/m<sup>3</sup>] $\times$ 相対湿度[%]/100

※ 飽和水蒸気量[g/m<sup>3</sup>]は表－4より



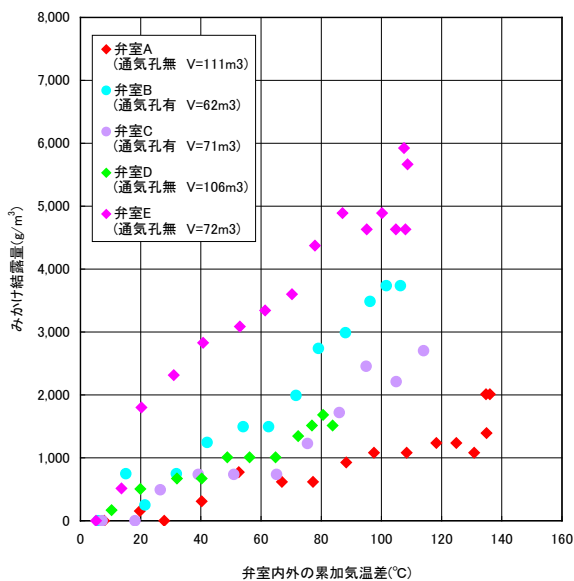
分析結果を図－７・８及び表－６・７に示す。  
いずれの施設も弁室内外の水蒸気量差及び気温差と結露量との間には正の相関関係が認められ、相関係数は高い値を示す。



図－７ 弁室内外の水蒸気量差と結露量の関係図

表－６ 弁室内外の水蒸気量差と結露量の相関式

施設名	関係式	相関係数	通気管	備考
弁室A	$Y=17.389X$	0.897	無	結露量最大
弁室B	$Y=51.873X$	0.967	有	
弁室C	$Y=30.348X$	0.939	有	弁室Dと同程度
弁室D	$Y=28.277X$	0.964	無	
弁室E	$Y=81.250X$	0.952	無	結露量最小

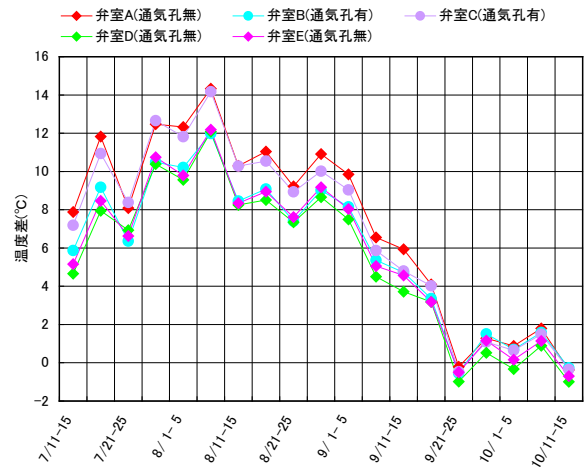


図－８ 弁室内外の気温差と結露量の関係図

表－７ 弁室内外の気温差と結露量の相関式

施設名	関係式	相関係数	通気管	備考
弁室A	$Y=11.080X$	0.914	無	結露量最大
弁室B	$Y=33.152X$	0.969	有	
弁室C	$Y=20.523X$	0.937	有	弁室Dと同程度
弁室D	$Y=18.851X$	0.973	無	
弁室E	$Y=51.209X$	0.956	無	結露量最小

弁室内外の気温差（＝外気温－弁室内気温）を時系列に整理したものが図－９である。気温が高い８月までは、気温差が大きく、９月以降、徐々に気温差が小さくなっている。なお、弁室の通気管の有無（通気管有～弁室B・弁室C）による、弁室内外の気温差に明瞭な差異や傾向は見られない。



図－９ 弁室内外の気温差と通気孔の有無

## （２）弁室規模と結露総量との関係分析

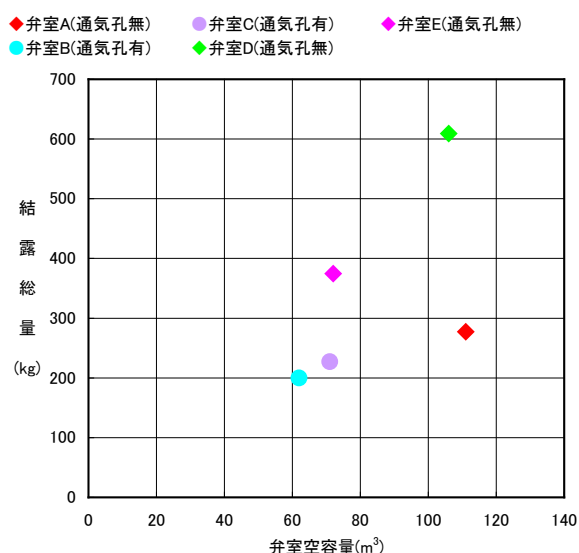
次に、弁室規模と結露総量との関係について分析を行った。（空容量、側壁面積、頂版面積、弁室深さの４ケース）

各ケースとも弁室規模が大きいほど、結露総量も多くなる傾向が見受けられるものの、データ数が少ないこともありその関係は明瞭ではない。

また、通気孔の有無による結露量との関連性は認められなかった。

図－１０に弁室空容量と結露総量との検討結果を示す。





図－１０ 弃室空容量と結露総量の関係

### ３－４ 結露による滞水状況の推定

前述のように、みかけ結露量と弃室内外の気温差には有効な相関関係があることが検証された。

この相関関係に基づき、気温の観測データから得られる弃室内外の温度差（累加）より、結露量を求め、その結露量を水深に換算することで、弃室の滞水状況の概略推定が可能となる。

各弃室の外気温と近傍アメダス地点の気温（半旬平均値）との関係を整理した結果、いずれの施設もアメダス地点と正の相関関係が認められ、アメダス地点の気温から本式を用いて外気温の推定が可能と判断される。（表－８）

弃室内気温に関しては、地温の影響を受けて変動していると思われ、弃室毎の観測値に差が認められた。（６月下旬に最大５℃程度）

従って、弃室内気温のみを計測することで弃室の滞水状況の推定が可能と判断される。

表－８ 近傍アメダス地点気温との関係

施設名	関係式	相関係数
弃室A	$Y=1.0498X-0.93$	0.999
弃室B	$Y=1.0512X-0.53$	0.999
弃室C	$Y=1.0636X-0.82$	0.998
弃室D	$Y=1.0854X-1.66$	0.996
弃室E	$Y=1.1100X-1.78$	0.995

## ４ 調査手法の有効性と課題

滞水が確認されていた弃室を対象に現地目視調査を行った結果、滞水要因を地表水の浸入、地下水の浸入及び結露と判断した。

本調査では、滞水要因の一つと判断された結露について、結露現象の検証、結露過程の解明を目的に、対象弃室内の温湿度・水位計測、及び弃室外の温湿度計測を行った。

### ４－１ 調査手法の有効性

弃室内外の気温及び湿度、弃室内水位の観測データより、結露の発生メカニズムと結露過程について検証した。

- ① 地下埋設物である弃室の内部は外気温との温湿度差があり、夏期には高温の外気の浸入により低温の弃室内（側壁・頂版）で露点温度以下になると結露し、その水滴の落下により滞水を生じさせる。
- ② 結露量は、弃室内外の気温と湿度と通気量に支配されるが、弃室内水位から逆算したみかけ結露量と気温差（＝弃室外気温－弃室内気温）との関係分析により、良好な相関関係が認められた。
- ③ この気温差の蓄積に伴ってみかけ結露量が増加する関係が認められた。（結露過程の検証）
- ④ また、弃室外気温と近傍アメダス地点の気温（半旬平均値）とは、いずれの弃室も良好な相関関係であることが検証され、アメダス地点の気温から各弃室の外気温の推定が可能である。
- ⑤ この結果、弃室内気温のみを計測することで結露による滞水状況の推定が可能となった。

以上のように、本調査で行った、温湿度計による弃室内外の気温及び湿度の計測は、結露現象の検証及び結露過程の解明の調査手法として有用と考えられる。

#### 4-2 対策に向けた提案とモニタリングの必要性

既存の弁室には、頂版下面に断熱材が貼り付けられているものの、コンクリート面との隙間が生じ結露が発生しており、結露の抑制効果が低い。

結露対策として、弁室の断熱性を高めることが結露を抑制する効果があると考え、既存の断熱材を撤去し、コンクリート面（頂版及び側壁）に断熱材を吹付ける断熱工法の適用を提案した。

今後、高度化事業による対策工が実施された場合、施工後のモニタリングにより対策効果の検証と適用性の評価が必要である。

#### 4-3 今後の課題

本調査手法については、一定の有効性評価が確認されたが、本調査結果を踏まえ、今後の課題について以下に例挙する。

- ① 結露量は、弁室内外の気温と湿度と通気量に支配されるが、結露量と通気孔の有無との関連性は認められなかった。限られたデータから断

定することが出来ないため、調査施設の追加等による検証が望まれる。

- ② 今回、通気量測定は行っていないため、今後、通気量測定を行うなど、調査データを重ねて定量化し、通気性の確認が望まれる。
- ③ 本検討の基礎とした観測データは、平成 22 年 6 月中旬～同年 12 月上旬までの短期間の調査結果であり、通年且つ複数年の観測データによる検証が望まれる。
- ④ 冬期間においては、弁室内外の温度差が逆転（10 月～5 月）し、冬型結露が発生させる可能性についても示唆された。（図-11）
- ⑤ 今回は、滞水している弁室について調査を行ったが、滞水が見られない弁室もあり、その差異の要因解明を目的とした調査を実施し、確認することが望まれる。

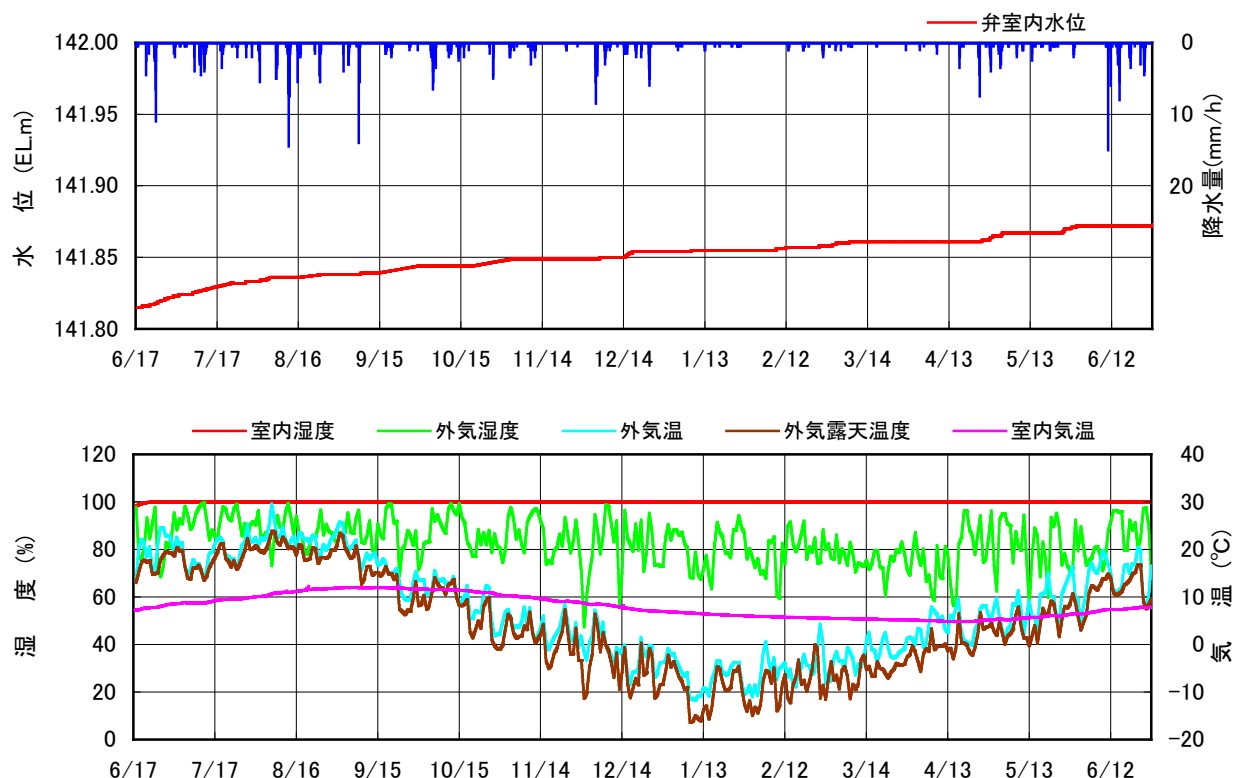


図-11 冬期間の弁室A観測データ経時変化図

## おわりに

平成 20 年度より制度化された「高度化事業」は、ストックマネジメント技術の高度化・標準化に向けた一環として、対象施設の特性を踏まえた調査手法等の検討（Plan）及びその実践（Do）を通じて、調査手法等の有効性を評価するとともに、適用上の問題点や課題を明らかとして（Check）、さらなる解決策を検討・適用（Act）することにより、調査・診断・保全技術のスパイラルアップ（PDCA サイクル）を図っていくための実効手段といえます。

このため、その結果は、一つの業務報告に止まらず、論文発表や研究発表会などを通じて、広く関係者に周知されることが重要と考えます。

なお、本報告の基礎とした観測データは、平成 22 年 6 月中旬～同年 12 月上旬までの、単年でしかも初夏～秋にかけての短期間であり、限られた範囲の調査結果に基づく検討結果であることに留意しつつ、他地域の弁室の滞水状況調査や維持管理の参考となれば幸いです。

今回、本調査の機会を与えて下さいました関係機関に対し厚く御礼申し上げますと共に、本報文集において弊社の調査実績について発表の機会を頂きました北海道土地改良設計技術協会に謝意を表します。

（株）アルファ技研

## 参考文献

- 1) 住宅の結露防止－防露手法の基礎から防露設計法まで－：防露設計研究会、2004.3.30