

平成30年度

ポリエチレン(PE)管材を使用した管路更生工法の適用と評価

—施工後3年目調査報告—

小樽開発建設部 農業開発課

○川北 清香

今野 秀一

小樽開発建設部土地改良情報対策官

南雲 人

農業水利施設（パイプライン）の老朽化や破断事故等による補修や補強に伴う管路更生工法は施工実績が少ない状況であり、施設的环境条件等の特性を踏まえ、工法の適用を確認する必要がある。

本報告は、ストックマネジメント技術高度化事業を通じて、PE管材を使用したパイプラインパイプの施工を行い、その適用について施工後3年目の調査報告を行うものである。

キーワード：長寿命化、管路更生工法、パイプインパイプ

1. はじめに

(1) 調査に至る背景と目的

共和用水路で本調査を進めているポリエチレン管（以下PE管）を使用した管路更生工法は、平成28年を初年度とし本年度で3年目を経過した。管路更生工法は自由水面を前提とした下水道分野から研究・施工されており、農業用圧力管水路への適用が可能か検証することを目的としている。

共和用水路では圧力管（FRPM管φ600）の管路更生工法として平成27年に単独管構造の自立型PE管を使用し、施工後3年目の調査結果と適用を報告するものである。

(2) 調査の進め方について

本工法はPE管体が影響を受ける要素とその挙動を想定しつつ、静的・動的な検証を様々な視点で調査が計られるよう試験を進めることとし、間詰め材を使用しない管体の挙動等を監視し検証することとした。

2. 管路更生工法の概要

(1) 調査環境

共和用水路（FRPM管φ600）は、国営かんがい排水事業「共和地区」において昭和62年から平成7年に造成された総延長4.6kmの送水系パイプラインである。試験箇所は傾斜地であるが、上下流のファームポンド（以下FP）の高低差が少ないことから低圧の部類に該当する。

(2) 管路更生工法の分類と利点

対象とした管路更生工法は経済的に有利であること、またPE管は以下の点で優位性があり採用に至った。

- ・他の工法と違い、管路更生に必要な設備（更生材の形成（膨らませる）設備、更生材の硬化設備等）や施工時の品質管理（形成時の内圧管理、硬化材の温度管理等）を必要とせず、施工性や施工後の品質にばらつきが少ない。

(3) 配管構造と管設置

図-1、写真-1に示すとおり更生管は管体2.0mピッチでスペーサーを取付け、外管内部に固定せず設置している。検証にあたっては内外管に与える影響を調査、考察する。

更生管は地上部でスペーサーを装着し、管体をバット融着で接合後、クレーンで既設管内へ設置した。

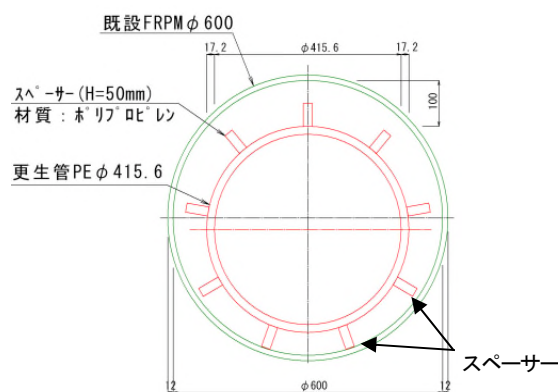


図-1 配管構造図（断面図）



写真-1 PE管挿入状況

3. 調査項目と方法

(1) 調査目的とモニタリング項目

PE管は他の管材に比べ伸縮量が大きいことから管軸方向の伸縮および断面（管周）方向のひずみを中心に観測・調査を行った。その他の影響要因を考慮し、カメラ撮影、目視により変状を確認した。管の揺動を示すひずみについては温度変化、内圧、自重、水重の影響を考慮する。モニタリングの全体計画を表-1に示す。

表-1 モニタリング全体計画

	モニタリング項目	目的(検証内容)	備考
① ひずみ計測 (静ひずみ)	ひずみ計測 (静ひずみ)	間詰め工を施工しない場合における更生管 (PE管) の断面的な膨張、収縮及び軸方向の伸縮を確認する。	通年で自動計測
② ひずみ計測 (動ひずみ)	ひずみ計測 (動ひずみ) 及び加速度計測	間詰をしないことによる更生管 (PE管) の瞬時の動き (揺れ等) を把握する (加速度計測)。動ひずみは静ひずみ計を利用。	人為的バルブ操作により動水圧を変化させ計測する (加速度計測) 動ひずみはバルブ操作時
③ PEフランジ継手の緩み確認	PEフランジ継手部の緩み確認	更生管 (PE管) の振動等によるボルトのトルク管理により確認。	
④ 既設管とPE管の隙間隔計測	既設管とPE管の隙間隔計測	間詰をしないことによる隙間隔の変動を確認する。	実測
⑤ 管軸方向伸縮量計測	管軸方向伸縮量計測	間詰をしないことによる更生管 (PE管) の膨張、収縮による軸方向の伸縮量の確認を行う。	"
⑥ 水理システムに関するモニタリング	水理システムに関する確認	管路更生工法によりφ600mmからφ400に断面が縮小することによる水理性能の低下を検証する。	"
⑦ 既設FRPM管とスベーパー接触部の変状確認 (カメラ撮影)	既設FRPM管とスベーパー接触部の変状確認	更生管 (PE管)、スベーパー、FRPM管損傷等を確認する。	間詰をしないことによる既設管 (FRPM管) の変状の有無を確認する。(カメラ撮影)
⑧ PE管本体等の外観、内面目視	PE管本体等の外観、内面目視	PE管本体の変状の有無を確認する。	調査員の直接目視による確認

静ひずみ、加速度は通年で自動計測し、その他の項目は毎年上流部を掘削により開口し、伸縮の実測を行う。

PE管は、既設FRPM管と継ぎ輪により接続したが、上流側を可動端とし、実測や目視確認は上流側の継ぎ輪を取り外し実施した (図-2, 3参照) なお、管軸方向の伸縮量については自重、温度変化、内圧のひずみ量から計算し、余裕を加えて可動域を設定した。フランジ継手部は緩みの発生を想定し、トルク値を測定した。

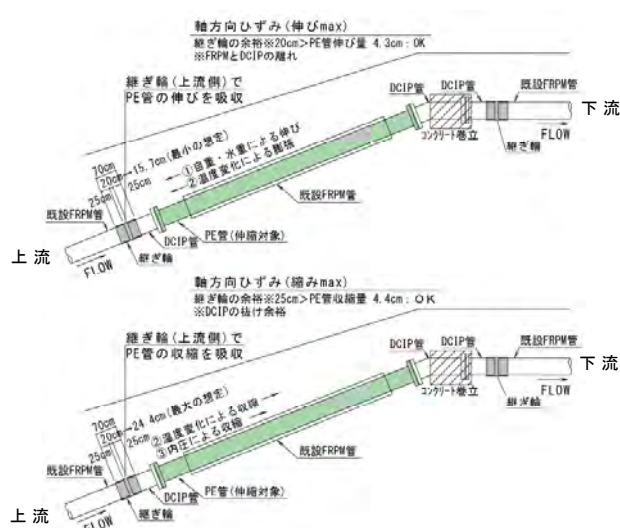


図-2 PE管伸縮の概念図

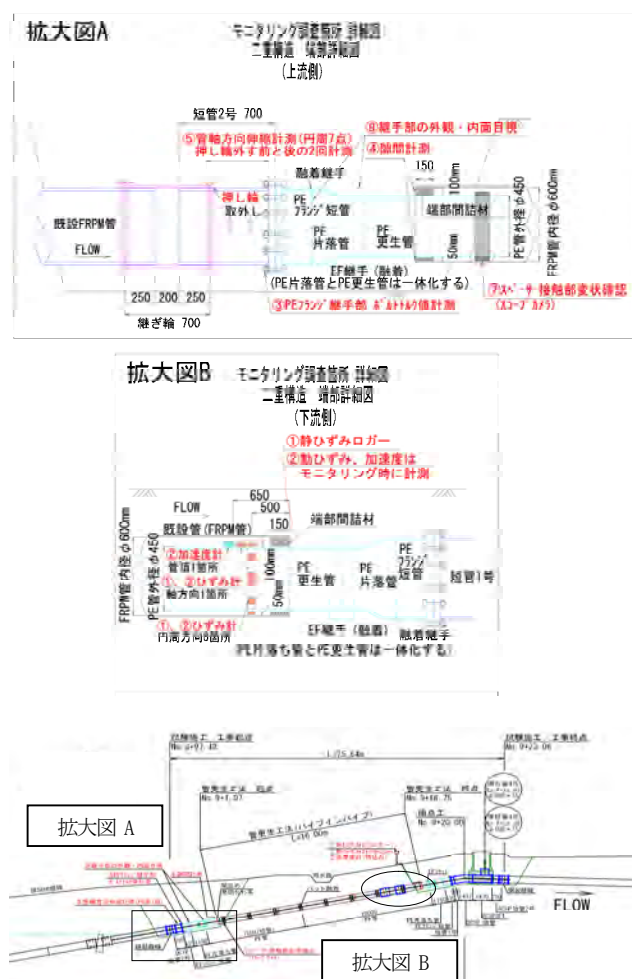


図-3 モニタリング調査箇所全体図

(2) 計測・観測方法ならびに計測値の評価方法

計測数値自体には評価する判断基準がないため、計測値の評価は、初期値あるいは前年度からの数値の増減から判断するものとし、上下限の閾値等は設定せず、変化に特徴的な傾向がある場合にその要因を検討し、材料との関連を検証する。

1) 静ひずみ【項目①】

(1.1) 計測・観測方法

断面方向の伸縮は更生管外面円周方向に8箇所(45度毎)の箔ひずみゲージを設置、軸方向の伸縮は更生管外面管頂部に1箇所設置し、1時間間隔でデータロガーに通年で記録する(図-4参照)。

(1.2) 計測値の評価方法

円周方向の計測結果は、ひずみ計測値で管体に作用する応力変化を確認する。

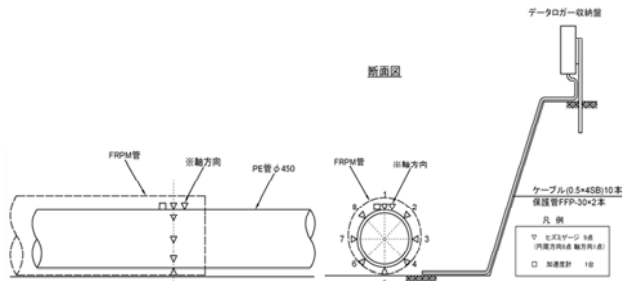


図-4 計器設置配置図(ひずみゲージ、加速度計)

2) 動ひずみ【項目②】

(1.1) 計測・観測方法

更生管管頂部に加速度計を1箇所設置し、管路を充水した後、人為的に下流排泥バルブを操作し、3パターン(バルブ開閉度)に分けて管内流速を変化させ更生管の振動を5～10分計測した。なお、残存する圧力波の影響を受けないようパターン毎に1時間のインターバルをおき、管内水を安定させてから計測を行った。

動ひずみ計測は静ひずみ計測で設置したゲージを兼用する。計測間隔は1回/0.1～0.01秒とし、バルブ操作時の値を記録した。

(1.2) 計測値の評価方法

加速度は、下グラフ(図-5参照)のような±数値(波形)で整理される。数値に増加傾向が確認されれば、管体が振動し易い環境へ変化していると想定され、状態変化の可能性を確認する。

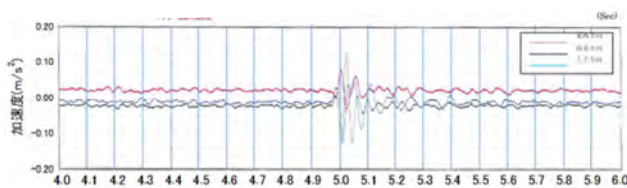


図-5 加速度計測結果の事例(参考)

3) PEフランジ継手の緩み【項目③】

(1.1) 計測・観測方法

フランジ部周辺の漏水の有無を確認し、管内水落水後にデジタルトルクレンチでトルク測定を行い、ボルトの緩みの確認を行う。また、短管2号とPE継手部フランジのゴムパッキンの厚さおよび幅、PE管の出張り長さおよび厚さを計測する(図-6,7参照)。

(1.2) 計測値の評価方法

トルク値はメーカー締付け推奨値(176N・m)および過

年度測定値からの増減、パッキンはフランジ接触面の影響を受けない外周面部位との数値の増減から判断する。

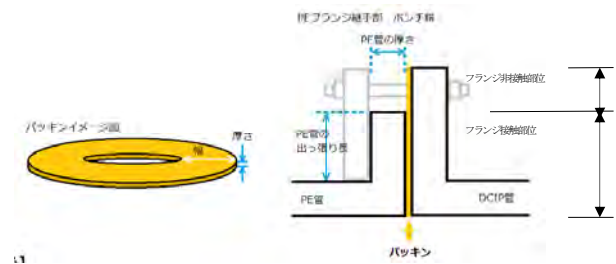


図-6 ゴムパッキン測定

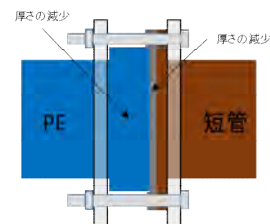


図-7 PE継手部測定

4) 既設管とPE管の隙間間隔計測【項目④】

(1.1) 計測・観測方法

上流部の二重管部にてデジタルノギスを使用し、円周方法に7箇所で既設管－更生管の隙間計測を行う(図-8参照)。

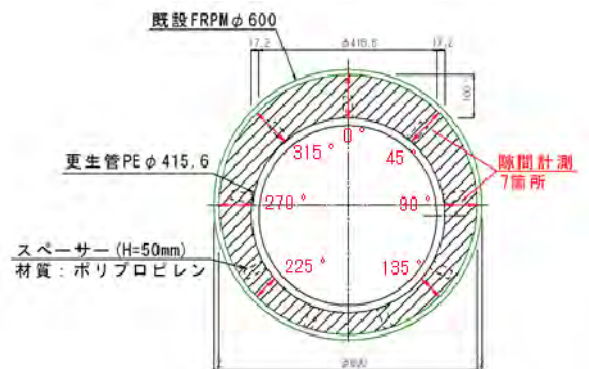


図-8 隙間計測位置図

(1.2) 計測値の評価方法

前年度計測値の増減から更生管の揺動を判断する。

5) 管軸方向伸縮量計測【項目⑤】

(1.1) 計測・観測方法

管路更生工法起点(上流)の継輪下流側とDCIP短管2号の軸方向および継輪上流側と既設管軸方向の間隔を計測する(図-9参照)。

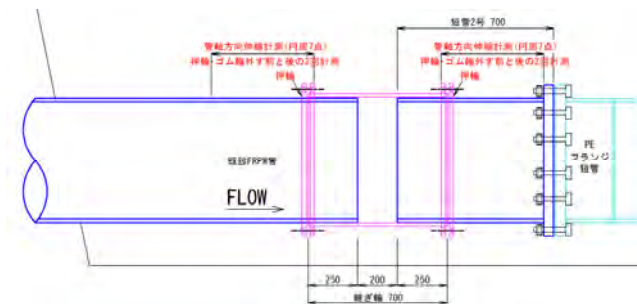


図-9 管軸方向伸縮量計測位置

(1.2) 計測値の評価方法

前年度計測値の増減から更生管の伸縮を判断する。

6) 水理システムに関するモニタリング【項目⑥】

(1.1) 計測・観測方法

上流FPと下流FPの水位を計測し、上流FPでの水理計算上の水位との比較を行う。

(1.2) 計測値の評価方法

水理計算上の水位に比べ実測値が異常に上昇している場合は、PE管のひずみ等による通水阻害について検証する。

7) 外観等変状の目視確認【項目⑦⑧】

(1.1) 計測・観測方法

既設FRPM管、スパーサー接触部にスコープカメラを用いて変状を確認する。またPE管本体の外観を目視確認する（図-10参照）。

(1.2) 評価方法

PE管の揺動・収縮等による変形や損傷について評価する。

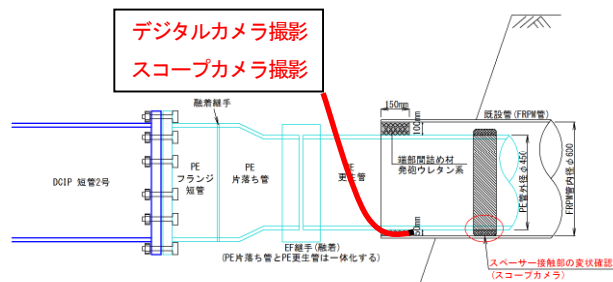


図-10 スパーサー接触部の変状確認位置図

4. 観測・計測結果と評価

(1) 静ひずみ観測結果と評価【項目①】

計測結果は経日変化図によりその傾向を検証した（図-11参照）。なお各ひずみ値の計算方法と補正値を図-12に示す。

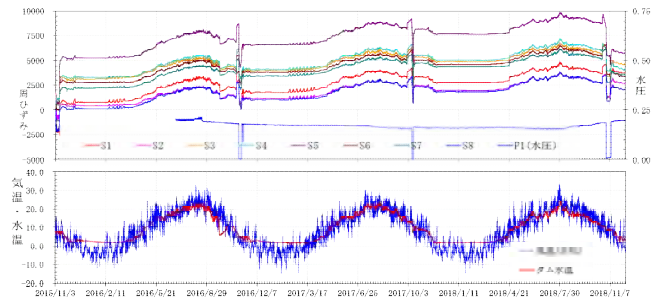


図-11 静ひずみ計測（実ひずみ）および温度経日変化図

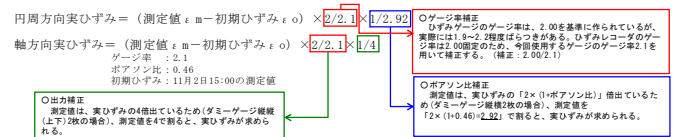


図-12 実ひずみの計算方法

この結果、円周ひずみは4月から8月にかけて上昇し、その後一度低下するが継続してひずみ量が増加した（図-13参照）。なお、軸方向ひずみおよび水圧は殆ど変動していない。

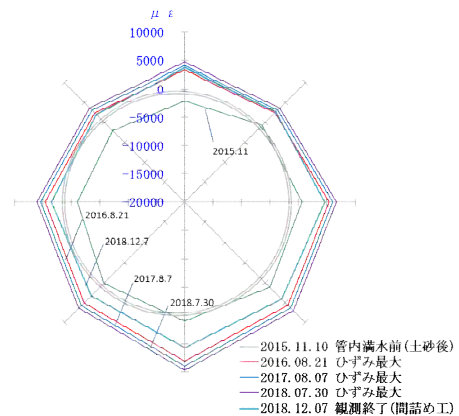


図-13 静ひずみ計測（実ひずみ）断面分布図

当初は円周ひずみの変動は通水量通水量に影響を受けると想定していたが、7月のピーク量と整合は無く、また内水圧は0.2MPaと小さいことから、水温との関係に着目し確認したところ、上流のFP水温と高い相関が確認され、水温の影響が大きいと判断した（図-14参照）。

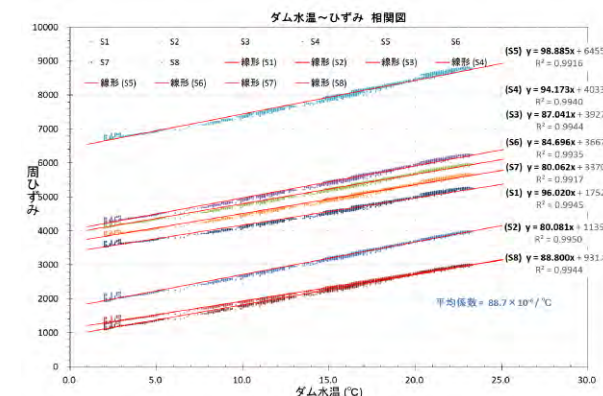


図-14 ひずみ・水温相関図

(2) 動ひずみ観測結果と評価【項目②】

評価は最もひずみ値が大きい下流排泥バルブ10回転(H29)の経時変化図により行った。発生ひずみは収縮側に $339\mu\epsilon$ 、管軸方向の曲げひずみは管下方向に $7\mu\epsilon$ と微小となった。管頂の加速度は2gal程度の加速度振幅を確認した(図-15参照)。

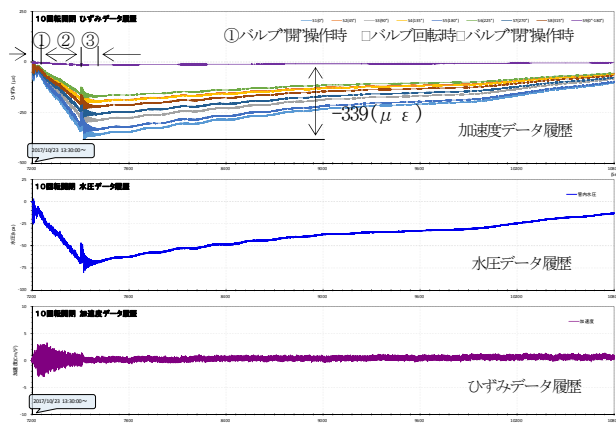


図-15 動ひずみ計測および加速度計測
(10回転開閉)経時変化図(H29)

ひずみ変位では顕著な経年的増加傾向は確認されなかった。人的操作に伴う一時的な増加は確認されたが、バルブを閉じると弾性的に元に戻る傾向を示し、変位は $3.3 \times 10^{-4}\text{cm}$ と微小であった(表-2参照)。

表-2 動ひずみ最大変位一覧表

バルブ 回転数	最大変位 (cm)					
	観測年	1年目	2年目	3年目	差	差
10回転開閉	2015/11/25 : 2016/11/8	0.000292	0.000615	0.000323	0.000463	0.000171
	2017/10/23	0.000629	0.000337			

(3) PEフランジ継手の緩み確認結果と評価【項目③】

評価はトルクレンチによる施工時と試験時(1年経過)のトルク値の比較により行った。結果は表-3のとおり最大で49%、平均で30%トルク値が低下していた。この現象はH28、H29にも確認されていたが漏水は見られなかったことから、管体の揺動などによるボルトの緩みではなく、ゴムパッキンの応力緩和作用によりトルク値が低下したものと想定した。この確認のため、H29にはナットをマーキングし、ボルトに緩みが発生するかを検証した(写真-2)。その結果、想定どおりボルトの緩みは確認されなかった。



写真-2 ナットとマーキング

表-3 PEフランジ継手部の緩み計測結果一覧表

項目	異形管撤去前(10/30)		
	①規定値 (N・m)	②測定値 (N・m)	減少率
1(天)	176	115.0	▲35%
2	176	117.0	▲34%
3	176	185.0	—
4	176	90.2	▲49%
5(右)	176	143.0	▲19%
6	176	108.6	▲38%
7	176	153.0	▲13%
8	176	112.0	▲36%
9(地)	176	113.8	▲35%
10	176	150.4	▲15%
11	176	128.2	▲27%
12	176	126.2	▲28%
13(左)	176	116.2	▲34%
14	176	117.2	▲33%
15	176	128.4	▲27%
16	176	140.2	▲20%
最大値	176.0	90.2	▲49%
平均値	176.0	124.0	▲30%

(4) 既設管とPE管の隙間間隔計測結果と評価【項目④】

評価はノギスを使用し隙間計測を行った隙間計測値から行った。隙間値は図-16のとおり。3カ年の平均値から管下および左下方向へ管軸が寄っている傾向を確認した。仮戻しに大型土のうを用いたため、沈下により外管(FRPM管)が変形したためと推察される。

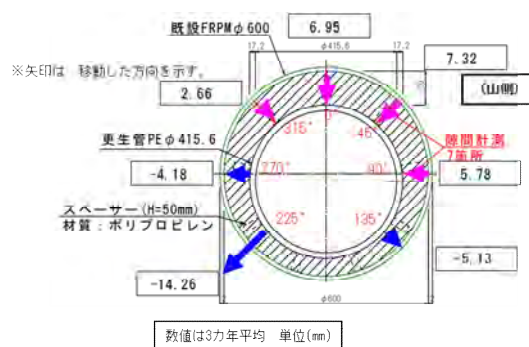


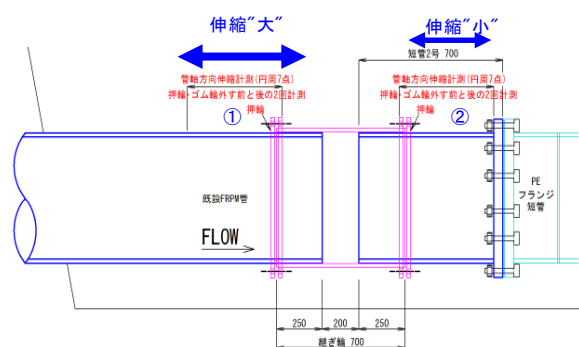
図-16 隙間計測位置と計測値

(5) 管軸方向伸縮量計測結果と評価【項目⑤】

計測結果は表-4のとおり。過年度の計測の傾向として短管2号側での変位は小さく、既設管側が大きく変位していることが確認された。このことはFRPM管の表面とゴム輪の摩擦が短管側(ダクタイル)に比べ小さいため一方側で変位が大きかったと推測される。伸縮は内圧、水撃圧等により影響を受けるが本調査でのひずみ変化は微小であり、温度変化、特に水温との相関が高かったことから水温の変化が伸縮の主な要因と思われる。

表-4 伸縮量計測結果および計測位置図

既設管側管軸方向伸縮量計測結果一覧表				短管2号側管軸方向伸縮量計測結果一覧表			
計測位置	① 管軸方向伸縮量 (mm)			計測位置	② 管軸方向伸縮量 (mm)		
	2年目(設置後)	3年目(撤去前)	(差)		2年目(設置後)	3年目(撤去前)	(差)
	H29. 10. 12	H30. 10. 29			H29. 10. 12	H30. 10. 29	
0'	258	328	70	0'	564	571	7
45'	257	327	70	45'	564	564	0
90'	257	323	66	90'	564	571	7
135'	262	321	59	135'	572	586	14
225'	252	317	65	225'	582	592	10
270'	265	329	64	270'	582	584	2
315'	257	329	72	315'	578	577	-1
外気温	8℃	9℃		外気温	8℃	9℃	
水温		10℃		水温		10℃	
備考	落水時	通水時		備考	落水時	通水時	



(6) 水理システムに関するモニタリング【項目⑥】

上下流のFPの水位を確認したが、上流FPでは水位低下が確認された。小流量でもあり、水位上昇の現象は発生しなかった。かんがい用水の流下に支障となる水理の異常はないと判断した。

(7) 管内外面目視調査【項目⑦⑧】

スコープカメラによるスパーサー接触部およびPE管外面確認の結果、揺動等による損傷は確認されなかったことから、揺動等は微少な動きに限定されていると考えられる（写真-3参照）。



写真-3 左 スパーサー（上流2番目）
右 外面全景

5. PE管材の適用と評価のまとめ

(1) 3年間の調査結果から間詰めを行わないPE管材の適用について以下にまとめる

- ・当初想定した動的变化は微少であった。揺動等による管の変化は殆どなく管体への損傷はなかった。

- ・静的変化では温度、とくに水温により円周方向の膨張・収縮とそれに伴う管軸方向の変化も確認された。僅かな管断面の膨張も毎年確認しているが、PE管のクリープ特性 (ISO 9080) の評価の内数であり、性能に問題ないことが確認された。

- ・当初、管体の揺動等によりフランジボルトの緩みを想定していたが緩みは確認されなかった。

6. 結論

間詰めを行わないPE管を使用した管路更生工法は漏水や既設管への影響、管材の変形や損傷は確認されず、継輪等により適正な伸縮量が確保できれば工法および管材として十分活用可能ではないかと考える。

7. 終わりに

本工法は比較的小口径、低圧、低流量の条件における検証ではあったが、PE管本体及び外管の影響はほとんど見られず健全な状態が確認されたため、今後はFRPM管以外の管種や様々な水理条件への適用拡大が望まれる。