

サイフォン管渠におけるスリーブイン・ライト工法の安全性評価

Safety Estimate of Sleeve in Light Method for Siphon Pipeline

間宮 聡* 別當欣謙*

Satoshi Mamiya, Yoshinori Betto

老朽化した管路の補修・改修工法として FRPM 管（以下、更生管）を既設管内に挿入し、既設管と更生管の隙間に中込材を充填する工法「スリーブイン・ライト（以下、SIL 工法）」の研究を行ってきた。本報ではサイフォン形状の管渠において SIL 工法を適用し、中込材打設時における更生管の安全性および中込材の充填性を確認する実証試験を実施した。中込材打設時には、更生管挙動のモニタリングのため更生管に発生する歪みを監視しながら施工を行い、7.5m の高低差の管路においても更生管の許容座屈応力以内になるよう中込材を 3 回打設することで、安全な施工が出来た事を確認した。また、中込材打設時における充填確認には、更生管頂部に取付けたグラウトホールからのリーク確認および既設管に取付けた熱電対の温度変化から、管頂部付近の完全な充填性を確認した。

The authors have conducted research into a Sleeve in Light Method (hereinafter referred to as "SIL method") that inserts an FRPM pipe (hereinafter referred to as "rehabilitation pipe") into an existing pipe and injecting grouting material in the gap between the existing and rehabilitation pipes as a method for repairing and improving aging pipelines. In this paper, the authors applied the SIL method to siphon pipelines to carry out verification tests intended to verify the safety of the rehabilitation pipe and the fillability of the grouting material during injection. The grouting material was injected while keeping watch on the distortion of the rehabilitation pipe in order to monitor the behavior of the rehabilitation pipe. As a result, it was verified that the rehabilitation pipe could be safely installed even in a pipeline having a 7.5-meter difference in height by injecting the grouting material three times so that the buckling stress of the rehabilitation pipe would fall within the allowable range. Good filling near to the top of the pipes was verified by checking leakages from the grouting hole provided at the top of the rehabilitation pipe, and changes in temperature of the thermocouple mounted on the existing pipe in order to verify the fillability during the injection of grouting material.

1. はじめに

農業用配水施設は施工後数十年を経た施設が多く、いずれ老朽化の時期を迎え施設の補修・改修の困難さに直面するものと考えられる。非開削工法としての更生工法は、自然流下（無圧管）である下水道分野で種々開発された工法が多く、農業用水の特長である圧送管などの諸条件に適合出来ない工法も見受けられる。そこで、農業用管水路の開削工事を実績のある二次製品を既設管路に挿入し、隙間に中込材を充填して更生する鞘管工法「スリーブイン・ライト工法（SIL 工法）」の研究を H16～18 年の間で官民連携推進事業として設計手法の確立から実用化研究までを行った。

本報では、これまで事例のない河川横断下かつサイフォン形状の管渠において SIL 工法を適用し、中込材打設時の管路の安全性および中込材の充填確認における実証試験を実施したので報告する。

工 事 名：紀伊平野 県営右岸幹線水路その 1

(小田井水路紀の川工区その 2) 改修工事

工事場所：和歌山県紀の川市、深田地内

工 法 名：スリーブイン・ライト工法

最大設計水圧：0.095MPa

既 設 管：遠心鉄筋コンクリート管 (RC 管) φ1350

管布設工：PIP 区間 φ1200 薄肉 FRPM 管

内圧 5 種 L=69.85m

立坑区間 φ1200 鋼製異形管

L=7.20m

開削区間 φ1350 FRPM 管

内圧 5 種 L=27.26m

PIP 区間 φ1200 FRPM 管

内圧 5 種 L=15.32m 他

中込注入工：滞水型エアミルク (表 1 参照)

計 測 工：中込注入材温度 FRPM 管歪み

FRPM 管撓み FRPM 管継手部隙間

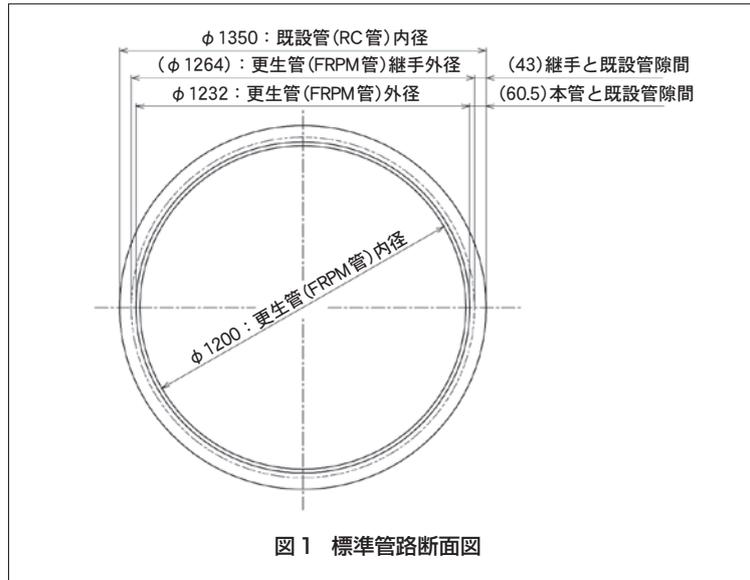
2. 実証試験工事概要

実証試験工事の概要を下記に示す。また、本工事の標準管路断面図および中込材概要をそれぞれ図 1 および表 1 に示す。

* 産業建設資材事業本部 化成品事業部 生産本部 技術開発部

表 1 中込材概要

名称	強度 (28日材齢) (N/mm ²)	空気量 (%)	比重
滞水型 エアミルク	1.0以上	35程度	1.2



3. 既設管路状況

施工開始前に、既設管路内の調査を行った。その結果を図2および表2に示す。管路内は、亀裂が発生している箇所および継手部に段差が生じている箇所を確認した。また、SIL区間において一部河川が横断していることもあり、管路内に湧水が噴出している状態を数箇所確認した。特に、排泥T字曲管付近は、縦断方向における線形において底部の位置であり、溜まり水が最も多く、かつ継目部には2箇所内面バンドおよびモルタルなどで埋めた補修履歴を確認した。継目の隙間は、数箇所30mm以上開いているが、10～15mm程度開いている箇所がほとんどであった。管番号4・5・6に関しては、管長および左右の隙間差からも、水平曲がりかつ縦断方向に12°勾配の線形であった。

4. 検証項目

4.1 中込材打設時における更生管の安全性

本管路は、図2に示すように最大12°程度の曲点を起点に、高低差約7.5m程度の線形である。通常、中込材は、固結するまで液体として存在するため、高低差の大きな本管路において中込材を1回の打設で充填した場合、底部の更生管には打設時の注入圧および打設位置からの中込材自重が過大な外圧として作用し、更生管の許

容座屈応力を上回る可能性がある。本工法では4.1および4.2式から、

- ①中込材打設時における注入圧0.03MPa以内での打設管理
- ②1回の注入高さ2.5mを指標とした分解打設を行うことで更生管の安全性について検証を行った。また、中込材打設前後の更生管内径および更生管継手部隙間寸法測定も併せて行った。検証方法を表3に示す。

$$P_k = \frac{2 \cdot E_b}{1 - \nu^2} \left(\frac{t}{D_o} \right)^3 \cdot \frac{1}{S} \dots \dots (4.1)$$

$$Z = \frac{P_k}{\gamma} \dots \dots (4.2)$$

ここに

- P_k : 更生管の許容座屈圧力 (MPa)
- E_b : 更生管の曲げ弾性係数
- ν : 更生管ポアソン比 (0.3)
- t : 管厚 (m)
- D_o : 管外径 (m)
- S : 安全率 (1.5)
- Z : 打設高さ (m)
- γ : 中込材比重 (1.2)

表3 実証試験における検証方法

項目	測定機器	検証方法
中込材打設時による 更生管の安全性	歪みゲージ	更生管に歪みゲージを貼りつけ、中込材打設時に発生する管歪みを測定し、安全性を検証する。
	デジタル棒尺計	中込材打設前後の更生管の内径寸法差で検証する。
	金尺	中込材打設前後の継手部隙間寸法差で検証する。

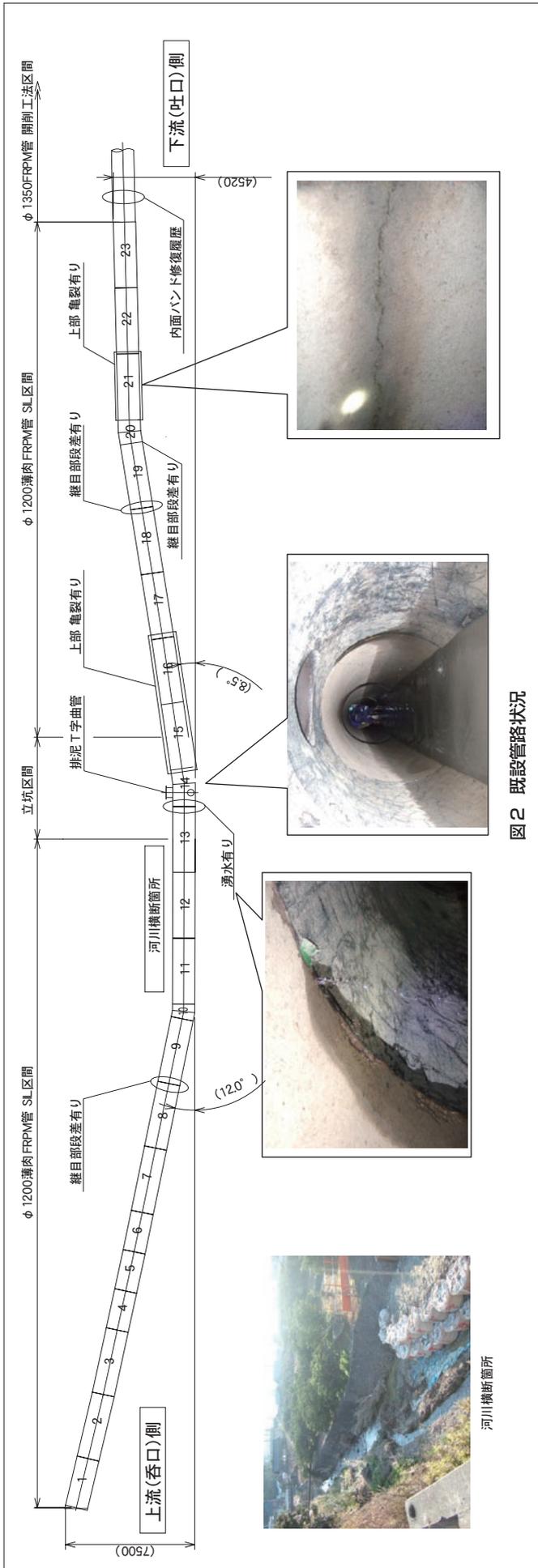


図2 既設管路状況

表2 既設管路調査結果

既設管番号	管種	管種																						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
有効長 (mm)	有効長 (mm)	3,070	4,000	4,003	2,422	2,429	2,435	4,000	4,010	894	4,001	4,000	4,000	2,325	4,021	4,007	3,993	4,004	3,992	1,420	4,027	4,004	4,000	
	内径	1,345	1,350	1,340	1,340	1,340	1,344	1,350	1,328	-	-	-	-	-	1,340	-	-	-	-	-	-	-	-	
	左	1,344	1,349	1,344	1,348	1,348	1,344	1,354	1,340	1,344	1,340	1,342	1,350	1,344	1,356	1,352	1,348	1,350	1,350	1,335	1,345	1,358	1,348	
	右	1,344	1,349	1,344	1,348	1,348	1,344	1,354	1,340	1,344	1,340	1,342	1,350	1,344	1,356	1,352	1,348	1,350	1,350	1,335	1,345	1,358	1,348	
継手隙間	天	17	5	-	-	-	-	-	-	-	30	-	-	-	-	-	-	25	-	-	-	35	-	
	地	17	20	15	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	25	15	-	-	10	-		
管路状況他	左	17	-	15	25	20	12	14	35	10	20	5	0	0	0	5	10	5	0	0	0	35	20	
	右	17	-	5	5	5	2	3	5	10	10	10	10	0	0	10	15	20	0	0	0	20	10	
管路状況他		継目部補修履歴有り 下流側 20 mm 段差 短管 短管 短管 下流側 10 mm 段差 上部クラック大有り 上部クラック有り 継目部補修履歴有り 上部クラック有り 上部クラック有り																						

4.2 中込材打設時における充填確認

本管路は、図1および表2から、既設管と更生管継手部との隙間が40mm程度と狭く、かつ緩やかな水平曲がりおよび縦断方向にも曲点が数カ所存在する。従って、部分的に極端な偏芯状態になり、既設管と更生管の隙間寸法が微少になることも想定される。そこで、このような微少隙間においても中込材が流動出来るよう施工管理を行った。また、管頂部においても空隙無く充填出来ることを確認するため、更生管頂部に設けたグラウトホールからのリーク確認および既設管に設置した熱電対の温度変化で判断した。その検証方法を表4に示す。

表4 実証試験における検証方法

項目	測定機器	検証方法
中込材の充填性	熱電対	既設管の所定位置に熱電対を取付け、中込材が熱電対取付位置に充填されることによる温度変化にて、充填を確認する。
	金尺	更生管接合・固定後、既設管と更生管継手部との隙間寸法を測定する。

5. 計測概要

5.1 計測項目

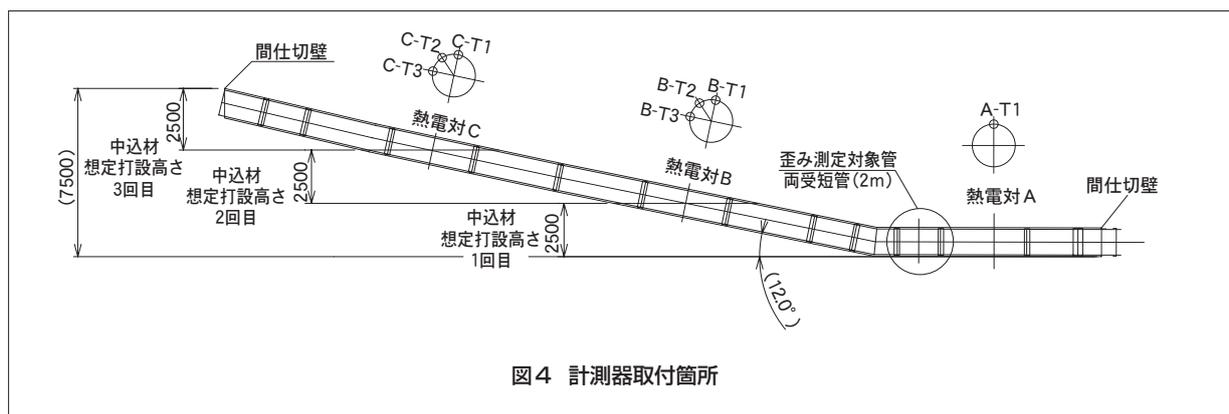
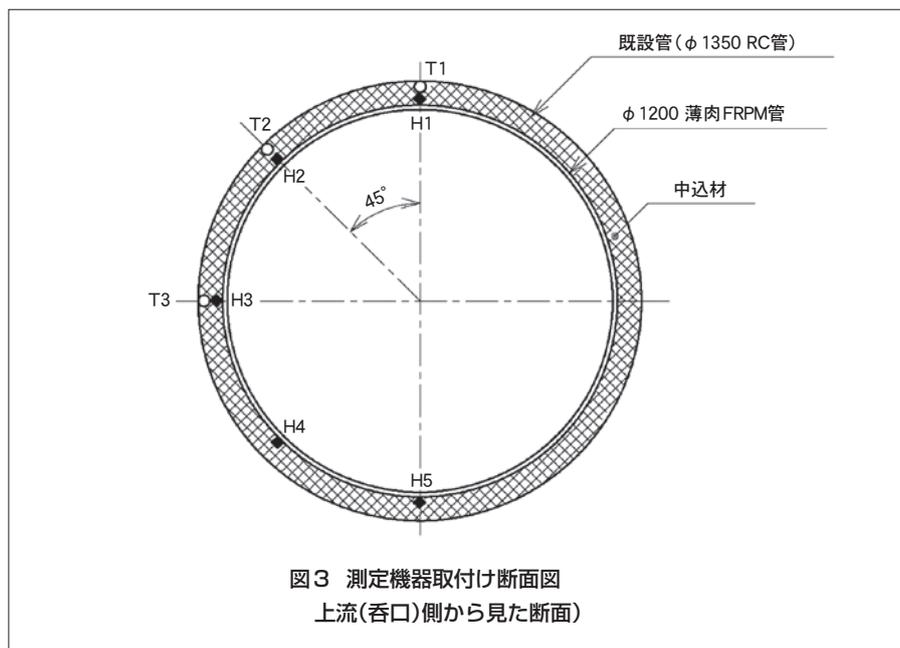
計測機器取付け断面図および計測項目の概要をそれぞれ図3および表5に示す。

5.2 計測機器取付箇所および概要

計測機器取付箇所およびその概要をそれぞれ図4および表6に示す。なお、本管路では、線形条件の厳しい上流側にターゲットを絞り、計測機器を取り付けた。

表5 計測項目概要

計測項目	計測機器	図示記号
更生管歪み	歪みゲージ	◆
中込材温度	熱電対 (T型)	○
外気温	熱電対 (T型)	図外



5.3 計測システム

既設管に取付ける熱電対およびFRPM管外面に取付ける歪みゲージを、ケーブル保護管に通線し、計測室のデータロガーに接続した後、データロガーのインターバルタイマにより指定時刻にデータの収集・記録を行う。中込材打設時には、リアルタイムに計測データをモニターに表示およびアウトプットすることにより確認する。

また、計測データ収集時には、データロガーの内蔵メモ

リに記録されたデータをコンパクトフラッシュにて回収し、パソコンでCSV形式に変換し記録する。なお、打設後2週間経過後は、ハンドヘルドデータロガーにゲージを接続し測定を行う。図5に計測システム図を示す。

5.4 計測期間および頻度

計測期間および頻度を表7に示す

表6 計測機器概要

項目	取付箇所	概要	測定点 (図 3.4 参照)	点数
熱電対 A	立坑端部から、上流側 5m 地点	最も高低差のある箇所での充填確認	T1	1
熱電対 B	中込材 1 回目打設終了想定地点	傾斜部(約12°)での充填確認	T1 T2 T3	3
熱電対 C	中込材 2 回目打設終了想定地点	2.5m 高さの指標	T1 T2 T3	3
更生管歪み	両受短管(2m) 管長 1m 部に設置	中込材打設時における更生管歪みの影響	H1 H2 H3 H4 H5	5

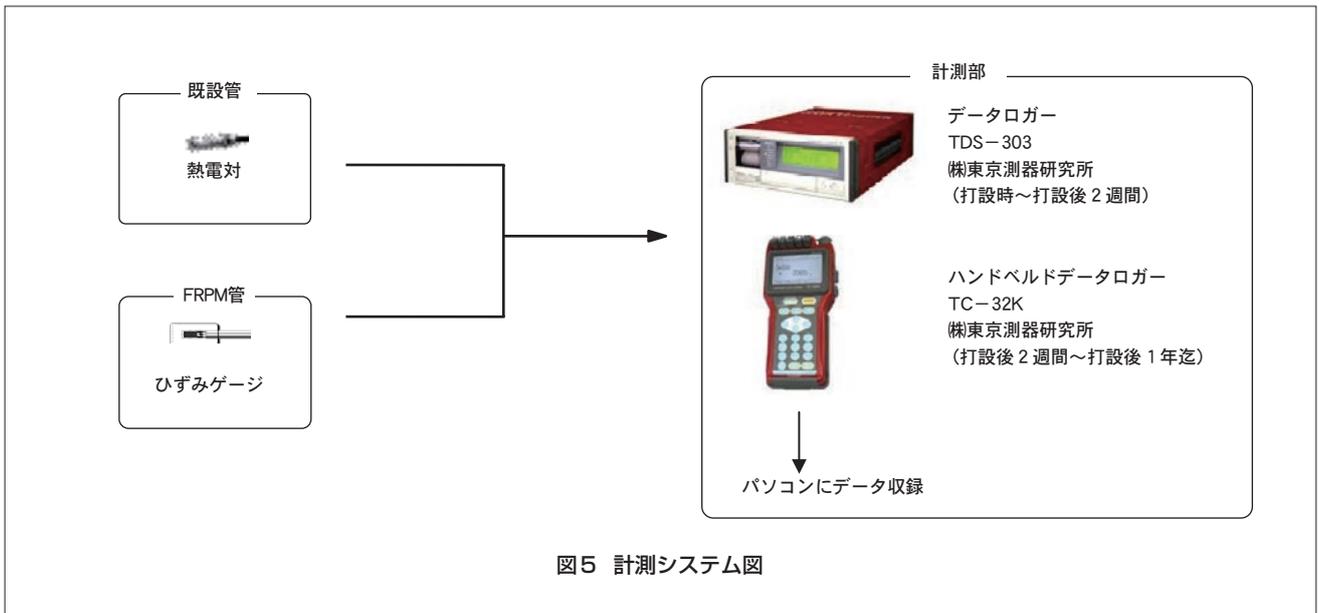


図5 計測システム図

表7 計測期間および頻度

計測項目	計測期間・頻度		
	中込材打設時 ～打設完了1週間 【自動計測】	打設完了1週間 ～2週間 【自動計測】	打設後2週間 ～1年 【手動計測】
更生管 外面歪み	10 分間隔	1 時間間隔	1 ヶ月間隔
中込材温度			
気温			

6. 計測結果

6.1 中込材打設時における更生管の安全性

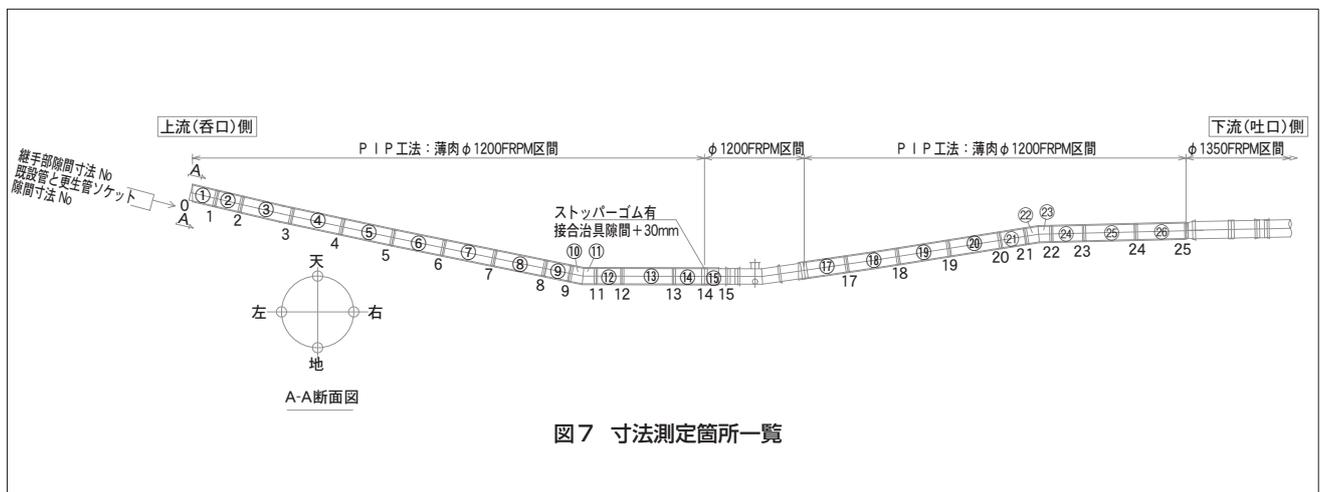
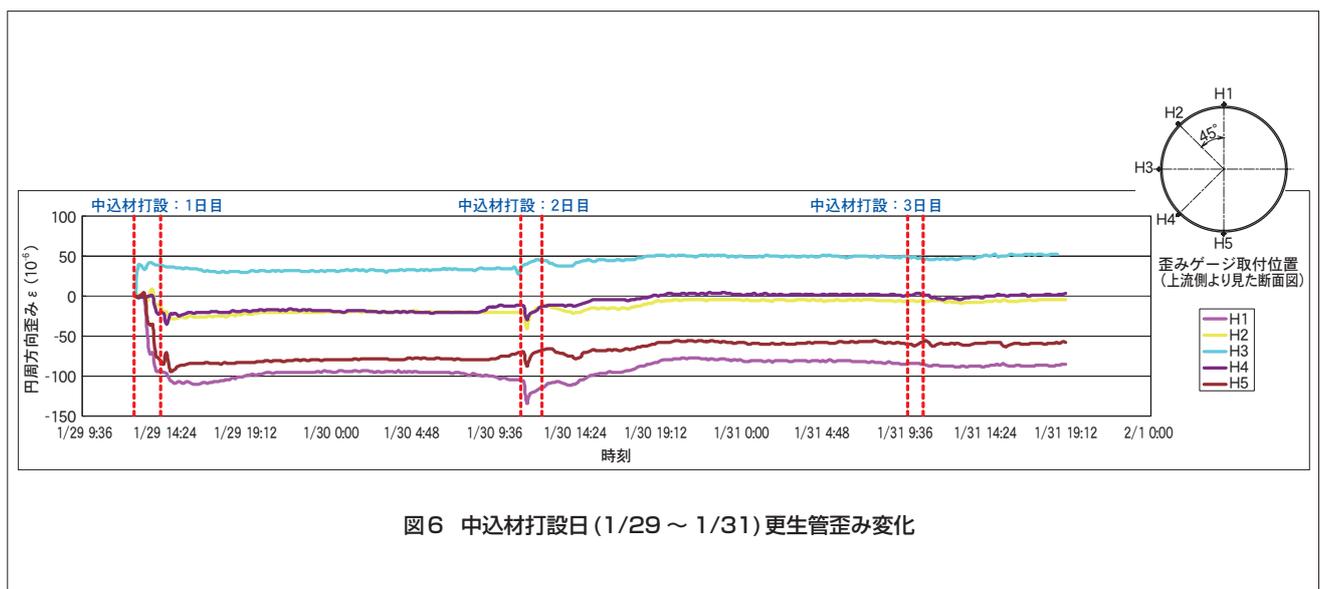
中込材打設時における更生管に発生する歪みの経時変化を図6に示す。図6から、中込材打設時における更生管の最大歪みは、 -134×10^{-6} であり、破壊外圧時の円周方向発生歪み約 $14,700 \times 10^{-6}$ と比較して非常に小さく全く問題がないと判断できる。ただし、2回目および3回目打設は、前日の打設日から約24時間経て行った。2回目に歪みが若干上昇した理由としては、打設時の注入圧が上がったためであり、注入口を上部の更生管に設けた箇所に移動することで、歪みの上昇が抑えられた。中込材打設前後の管内径および継手部隙間変位量の測定箇所を図7に、結果を表8、図8～11に示す。

中込材打設前後の管内径および継手部隙間変位量ともに、1～3mmと測定誤差範囲内の変化量であり、打設前後の管内径および継手部隙間変位は見られていないこ

とが確認できた。以上の結果から、約7.5mの高低差があり、中込材の自重によって更生管に大きな外圧が作用する場合においても、更生管の許容座屈応力以内になるように中込材を3回打設することで、安全な施工ができたことを確認した。

6.2 中込材の打設時における充填確認

中込材打設時における充填確認は、図4に示す熱電対A～Cおよび更生管頂部に設けたグラウトホールからのリーク確認で行った。中込材打設日における熱電対の温度変化および、打設日毎の詳細な温度変化・打設後リーク想定図をそれぞれ図12および図13に示す。全ての熱電対にピークが確認され、中込材は管頂部においても大きな空隙もなく充填されていると判断できた。打設後は、外気温の影響により、最大約11℃であったが、更生管の強度に影響を与えない範囲である。



本管路は、3項の結果からも、水平曲がり部および縦断方向への曲点部が、数箇所存在し、一部既設管と更生管継手部の隙間が極めて狭い箇所が想定される。そこで、中込材が微少な隙間においても充填出来るためにも、事前試験において中込材が流動可能な最小隙間寸法を検討した。¹⁾試験状況および結果を図14に示す。隙間寸法5mmにおいては、上部60mm付近で中込材の流動

が停止したが、10mmの場合は300mmまで到達する結果となった。従って、本実証試験では、既設管と更生管継手部の隙間を10mm以上とし、施工管理を行った。施工後の既設管と更生管継手部の隙間寸法結果を表9に示す。既設管と更生管の最小隙間が15mmであり、10mm以上を確保していることから、微少隙間においても中込材が充填出来ていると判断できる。

表8 中込材打設前後の管内径測定結果

管番号	測定箇所	中込材打設前 (mm)	中込材打設後 (mm)	撓み量 (mm)
①	水平	1,199	1,199	0
	鉛直	1,201	1,201	0
②	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,200	1,201	-1
③	水平	1,201	1,202	-1
	鉛直	1,199	1,201	-2
④	水平	1,201	1,202	-1
	鉛直	1,199	1,199	0
⑤	水平	1,200	1,201	-1
	鉛直	1,199	1,198	1
⑥	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,199	1,198	1
⑦	水平	1,202	1,201	1
	鉛直	1,199	1,199	0
⑧	水平	1,202	1,201	1
	鉛直	1,198	1,201	-3
⑨	水平	1,202	1,201	1
	鉛直	1,198	1,200	-2
⑩	水平	1,200	1,201	-1
	鉛直	1,200	1,200	0
⑪	水平	1,201	1,200	1
	鉛直	1,198	1,198	0
⑫	水平	1,201	1,202	-1
	鉛直	1,199	1,197	2
⑬	水平	1,203	1,201	2
	鉛直	1,199	1,202	-3
⑭	水平	1,201	1,203	-2
	鉛直	1,199	1,196	3
⑮	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,198	1,199	-1
⑰	水平	1,203	1,201	2
	鉛直	1,198	1,201	-3
⑱	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,200	1,200	0
⑲	水平	1,202	1,201	1
	鉛直	1,198	1,201	-3
⑳	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,199	1,201	-2
㉑	水平	1,202	1,201	1
	鉛直	1,197	1,200	-3
㉒	水平	1,209	1,209	0
	鉛直	1,185	1,185	0
㉓	水平	1,207	1,207	0
	鉛直	1,185	1,184	1
㉔	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,199	1,199	0
㉕	水平	1,201	1,201	0
	鉛直	1,198	1,197	1
㉖	水平	1,200	1,201	-1
	鉛直	1,201	1,200	1



図8 継手部隙間間隔(天部)

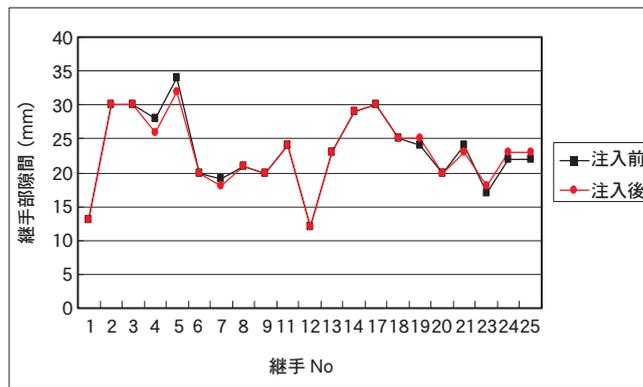


図9 継手部隙間間隔(地部)

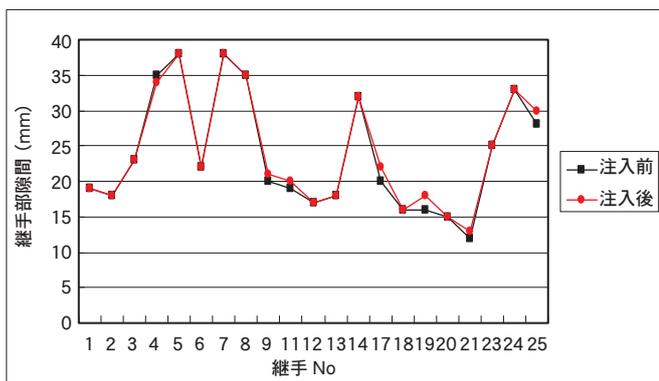


図10 継手部隙間間隔(左部)



図11 継手部隙間間隔(右部)

表9 既設管と更生管隙間寸法測定結果

隙間寸法 No.	天(mm)	地(mm)	左(mm)	右(mm)	判定 ^(※)	備考
0	70	40	60	55	合格	本管との隙間寸法
1	45	35	35	30	合格	
2	50	40	35	35	合格	
3	30	35	22	47	合格	
4	30	40	25	55	合格	
5	30	40	40	45	合格	
6	30	40	45	40	合格	
7	25	45	20	45	合格	
8	45	40	25	50	合格	
9	65	71	62	72	合格	本管との隙間寸法
11	69	65	70	73	合格	本管との隙間寸法
12	46	36	33	33	合格	
13	46	30	36	37	合格	
14	18	34	20	20	合格	
15	42	58	45	42	合格	本管との隙間寸法
17	15	15	20	15	合格	
18	20	35	40	40	合格	
19	25	35	30	30	合格	
20	25	55	30	35	合格	
21	15	40	43	33	合格	
22	59	71	65	63	合格	本管との隙間寸法
23	60	75	60	58	合格	本管との隙間寸法
24	35	35	35	35	合格	
25	45	35	35	35	合格	本管との隙間寸法

(※) 隙間 10mm 以上で合格とする。

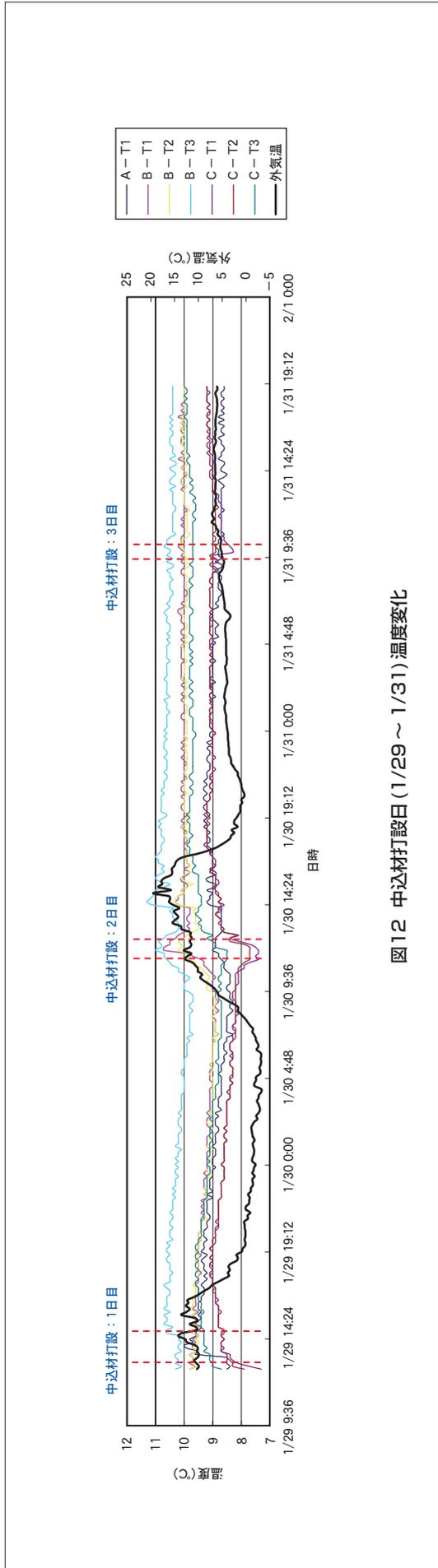


図12 中込材打設日(1/29～1/31)温度変化

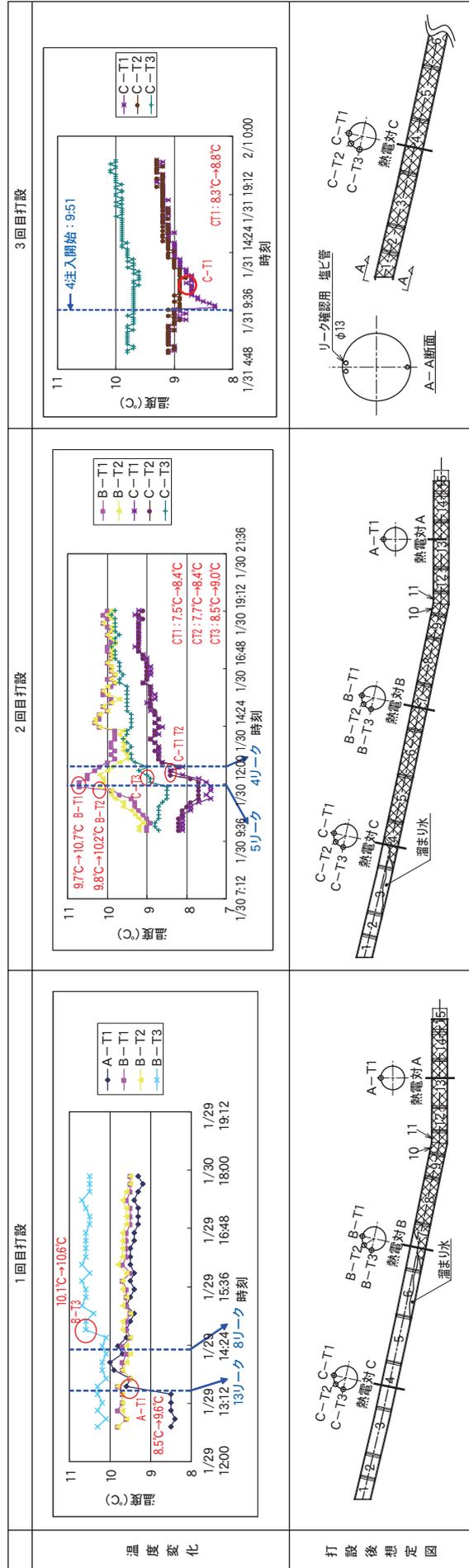


図13 打設日毎の温度変化および打設後スリーク想定図

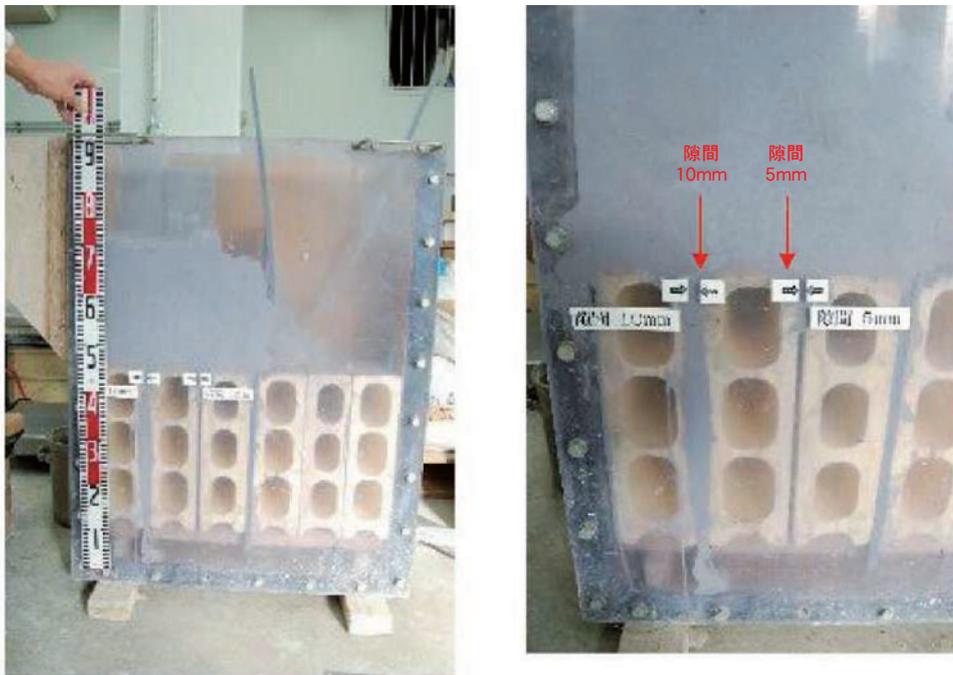


図14 中込材流動性確認試験

6.3 滞水下での施工

本管路は、図2に示すように、サイフォン形状でかつ河川横断箇所が存在するため、管路の底部には雨水および湧水が溜まった状態での施工性が余儀なくされた。しかしながら、表1に示す中込材を使用することにより、これら溜まり水を間仕切壁から排出される状況が確認できたことから、滞水下での施工性に関しても問題なかったと判断できる。

7. おわりに

サイフォン管渠におけるSIL工法の実証試験を行った結果、中込材を3回打設することにより、管路を安全に施工できることを確認できた。今後、通水時の計測も引続き実施し、長期的な工法の安全性を確認する。

中込材打設時の充填確認に関しては、更生管頂部に設けたグラウトホールからのリーク確認および熱電対を用いた充填管理を行い、管頂部付近の完全な充填性を確認した。今後は、さらに、精度の高い中込材の充填確認法として非破壊による診断を評価し、空隙診断ができるよう取組む予定である。

謝辞

本工法をご採用頂きました紀伊平野農業水利事業建設所様に感謝致します。

参考文献

- 1) 東日本高速道路株式会社 中日本高速道路株式会社 西日本高速道路株式会社 「矢板工法トンネルの背面空洞注工 設計・施工要領」非漏出試験法 PP30-31

執筆者

間宮 聡

Satoshi Mamiya

2000年入社

FRPM管の研究・開発に従事



別當欣謙

Yoshinori Betto

2008年入社

FRPM管の研究・開発に従事

