

KU-LINER工法による管路更生について

Pipe Rehabilitation by KU-LINER Method

山室成樹* 霜村 潤*

Shigeki Yamamuro Jun Shimomura

我が国の農業を支えてきた基幹的農業水利施設は老朽化が進んでおり、劣化度にあわせた補修、保全を計画的に行う取組み、ストックマネジメントが進められている。その一つの既設管路更生工法としてポリエチレン製ライナ材を使用する KU-LINER 工法を製品化し、施工実績もある。その適用範囲拡大に対する要望もあり、本報告では、曲管を含む管路への適用限界についての試験を行った結果を報告する。

The basic agricultural irrigation facilities that have been supporting Japan's agriculture have been aging, and they are repairing and conserving systematically according to the degree of deterioration, and stock management is being promoted. The KU-LINER method is one of the existing pipeline rehabilitation methods with polyethylene liner and was sold in the market. It is requested to expand the scope of application. We report the result of tests on the limits of applicability to pipe line with bend pipes.

1 はじめに

我が国の農業を支えてきた基幹的農業水利施設の相当数は、戦後から高度経済成長時代にかけて整備されてきたことから老朽化が進んでおり、近年、標準耐用年数を経過している基幹的な水利施設は再建設費ベースで約4.6兆円、全体の25%といわれている。さらに今後10年のうちに標準耐用年数を超過する施設を加えると全国全体の40%、7.3兆円にのぼる(2017.3の推計による)¹⁾。このような水利施設を長期間にわたって使用するために、老朽化したものを全面的に取換える再建設から、施設の劣化状況を把握し、その劣化進行状況にあわせて細かな補修、保全を予防的に行う維持管理へと移行しており、補修・補強・改修・更新・更生などを計画的に行い、既存施設の有効利用と長寿命化を図る取組み「ストックマネジメント」が進められている。

当社はこれまでダクタイル鉄管や繊維強化プラスチック複合管といった圧力管路で全国に多くの納入実績があるが、管路が布設後半世紀余りを経過する中で、管理設敷地の地表の状況も大きく様変わりし、更新(布設替え)ができず更生工法を選択せざるを得ない状況に遭遇するケースもある。そこで更新、更生の両面から対応できる複合的な資機材メーカーとして管路更生に取り組んでいる。具体的には農業用圧力管路を更生して長寿命化を図る各種工法をはじめ、調査診断技術や、維持管理のための管内メンテナンスの技術を提供している。保有するメニューは、更生工法では、① KU-LINER 工法²⁾、② KF-LINER 工法、③ L-PIP 工法³⁾、④ 薄肉 FRPM 管パイプ・イン・パイプ工法と⑤ 馬蹄形 FRPM 管パイ

プ・イン・トンネル工法の5種類で、適応内径としては100mm～3,250mmまでに対応している。調査診断システムでは、管内カメラ調査システム、管内径計測システム、既設管強度計測システム(開発中)がある。そして管内メンテナンス技術では、管路の流下機能を回復させるための洗管工法(SCOPE工法AG)がある。これらの技術は、資機材メーカーとしての長い歴史のなかで蓄積された多くのノウハウを活かしたものである。

熱可塑性樹脂(PE100)製のポリエチレンライナ(以下、ライナと称す)を用いた管路更生工法(KU-LINER工法)について、既報²⁾で紹介した。今報では、要望の多い曲管への施工性について試験を行い確認した結果を報告する。

2 工法について

2.1 工法の原理

ライナの原料であるPE100は熱可塑性樹脂である。ライナは工場で作断面の製品を製造した後に、管路内に引込めるように断面の一部を押込んでハート形に縮径加工をする。縮径したライナは専用ドラムに巻かれ、施工現場に運ばれた後、既設管にウィンチで引込まれる。引込み後、ライナ内に高温の水蒸気と圧縮空気を送込み、すなわち加熱・加圧してライナを拡張することで円形状に復元する。拡張したライナは既設管内面に密着し、新しい管路を形成する。図1にこの原理を模式的に示す。また、ライナ形状を図2に、専用ドラムに巻いたライナの荷姿を図3に示す。

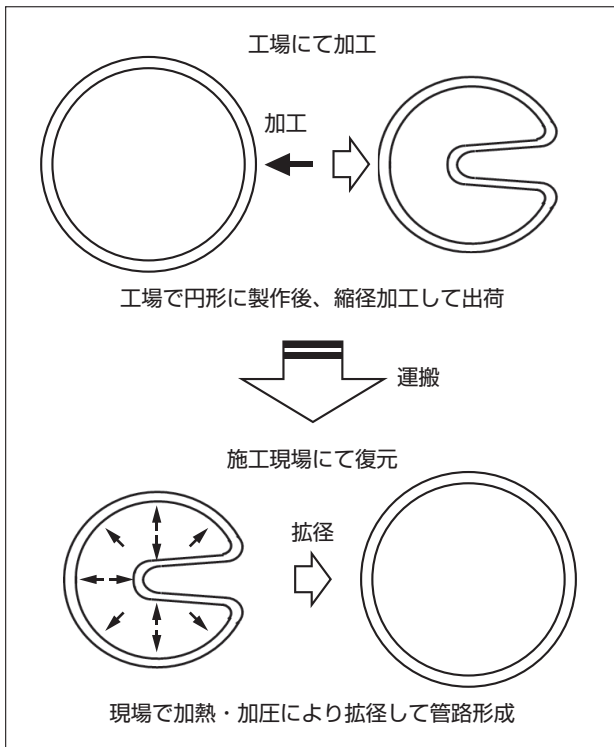


図1 ポリエチレン更生材による更生工法の原理



図2 ライナ、縮径形状



図3 ドラムに巻き付けたライナ

2.2 ライナ材について

ライナは耐圧クラスでSDR13.6、17、26、32があるが、例としてSDR17 (SDR= [管の外径] / [管の厚さ]) の仕様を表1に示す。ライナを既設管内に引込んだ後、ボイラからの蒸気 (温度約120℃、圧力は最大0.2MPa) により円形に復元する。復元後は0.3MPaの圧縮空気により冷却して形状を保持する。

表1 ライナの仕様、SDR17の場合

呼び径	100	150	200	250	300	350	400
厚さ [mm]	6.5	9.5	12.7	15.6	18.2	21.3	24.3
最大施工長 [m]	600	600	395	284	225	120	111
単位重量 [kg/m]	1.7	3.8	6.7	10.4	14.8	20.3	26.5
用途	農業用水、工業用水、下水道、その他の有圧管路						
耐圧	1MPa : ISO 基準 (設計係数 1.25)						

2.3 施工可能範囲について

KU-LINER工法の施工可能範囲を表2に示す。施工長は呼び径・SDR値・管路状況などにより異なるが、一例として呼び径200・SDR17の場合は直管路で395mまで施工可能である。それ以上はバット融着による延長も可能で、上限はウィンチの引込み能力とライナの引込み抗力に依存する。

表2 KU-LINER工法の施工可能範囲

項目	施工可能範囲
既設管の破損	ライナ挿入可能なら適用可能
既設管のクラック	適用可能
継目の段差	25 mm 以下
継手の隙間	100 mm 以下
屈曲角	22.5° 以下
滞留水	管内径の25% 以下
侵入水	0.05 MPa、2 L/min 以下

3 構造設計

本工法による更生管は自立管として設計している。その考え方は、既設管の強度や剛性を期待せず、更生管に作用する外力に対し、期待される効果の持続期間にわたって自ら耐荷能力および耐久性を保持する構造とするものである。農業用水向けには、「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル、パイプライン編」⁴⁾に記載されている構造設計手法に基づき、既設管の埋設条件や地盤条件、埋設深さ、活荷重、内外水圧などにより荷重を決定し、続いて管体の横断方向の構造計算を行う。

3.1 材料の構造性能

構造設計に必要な材料の耐荷性に関する物性値の性能照査手法は上記マニュアルに規定されている。これにより、以下の項目について本工法の基準値を設定し確認した。

表3 材料構造性能試験項目 (抜粋)

測定項目	関連規格	試験速度 mm/min	社内基準値
短期引張強度	JIS K 7161	10	20 MPa 以上
短期曲げ弾性係数	JIS K 7171	2*	0.82 GPa 以上
引張破断伸び	ISO 6259	25	350% 以上

* 推奨試験片、80mm × 10mm × 4mm の場合

3.2 引張試験

JIS K 7161 に基づいて試験を行った結果の例を図4に示す。

短期引張強度は 22.0 MPa であり、基準値 20 MPa を満足した。

3.3 曲げ試験

JIS K 7171 に基づいて試験を行った結果の例を図5に示す。

短期曲げ弾性係数は 1.16 GPa であり、基準値 0.82 GPa を満足した。

3.4 引張破断伸び試験

ISO 6259 に基づいて試験を行った結果の例を図6に示す。

引張破断伸びは 520 % であり、基準値 350 % を満足した。

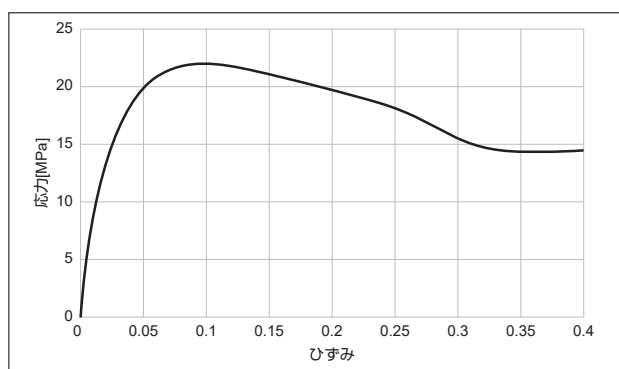


図4 短期引張試験結果

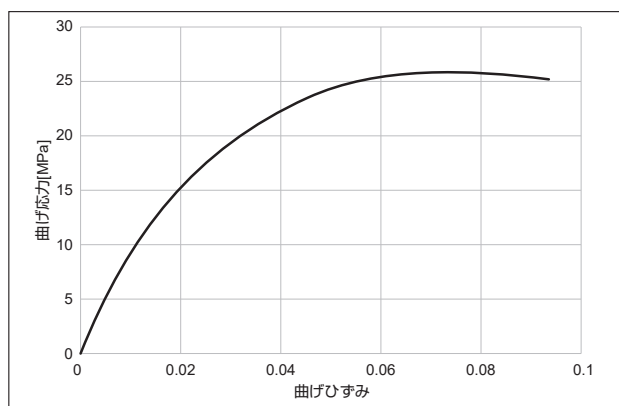


図5 短期曲げ試験結果

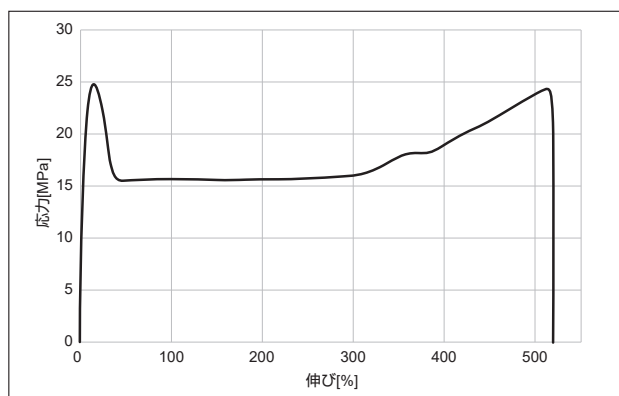


図6 引張破断伸び試験結果

4 施工性能確認試験

4.1 曲管への施工

KU-LINER の施工適用範囲は、屈曲角は 22.5° 以下が標準だが、45° での施工要望もある。そこで屈曲角 45° で曲率半径を変えた曲管路での実験により施工性を確認した。

4.1.1 曲率半径 1,200 mm の場合

FRPM 管の曲管は呼び径 400 までは標準曲率半径が 1,200 mm である。呼び径 200 の FRPM 管を元に内径を $\phi 195$ へ調整した 45° 曲管を製作し、施工性能確認試験を行った。図7に曲管の平面図を、図8に試験管路の設置状況を示す。拡径が終了した後に管路を解体し、中のライナの状態を確認した。図9に確認したライナの外観を示す。

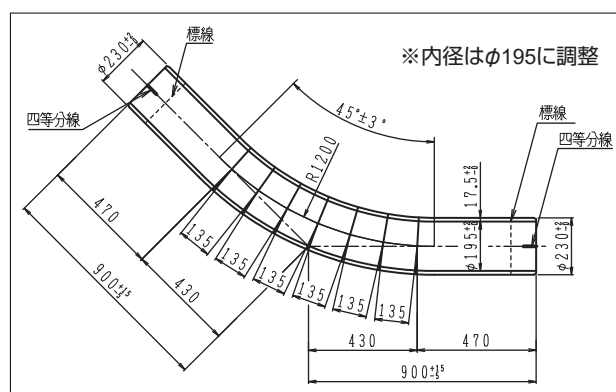


図7 呼び径200 FRPM45° 曲管設計図



図8 45° 曲管部を持つ呼び径200のFRPM管路



図9 45° 曲率半径1,200 mm 曲管部施工時のライナの外観

呼び径 200 の KU-LINER は外径が 190 mm である。この実験では、FRPM 管の内径をライナ外径 +2.6 % の 195 mm に調整して製作した。その結果、内表面にはシワなどの異常はなく、外表面上には多節曲管の跡が残る程に既設管内面形状への追従性も高いことが分かったが、曲管最外部のライナ厚さは基準値 12.7 mm に対して 12.6 mm であった。また、曲管部背面での既設管とライナとの隙間は管の直径の 3.5 % であった。縮径時と拡張時のライナから引張試験片を切り出して試験を行った結果、全測定点において引張強さの基準値 20 MPa 以上を満足していた。また、ライナが曲げられた状態で拡張されることにより、曲管部外側のライナ厚さが薄くなる傾向があることが分かった。

4.1.2 曲率半径 600 mm の場合

ダクタイル鉄管の呼び径 200、45° 曲管は曲率半径が 600 mm である。そこで FRPM 管で同じ曲率半径の曲管を製作し試験を行った。結果を図 10 に示す。曲管部内側には凹み状の拡張不良が発生し、外側のライナ厚さは基準値を下回っていた。以上より、45° 曲管への施工は、曲率半径が大きい場合のみ施工が可能であることが分かった。



図 10 45° 曲率半径600 mm 曲管施工時のライナ内側の凹み不良

4.2 曲管に施工したライナの繰返水圧試験

曲管に KU-LINER を施工した場合、曲管部外側には既設管との間に隙間が発生することが分かった。この影響について、実使用を模擬した繰返し水圧を与え、ライナの挙動を確認した。

供試管はダクタイル鉄管の呼び径 350、22.5° 曲管とし、呼び径 350、SDR17 (外径：340 mm、管厚：21.3 mm) の KU-LINER を内面に施工した。施工時の隙間は 17 mm、口径の 4.9 % であった。

加圧方法は充水した管路内を圧縮空気に加圧するもので、圧力は 0.05 ~ 1 MPa (設計水圧) とし、加圧サイクルは約 10 回 / 分 (5.98 秒 / 回) で合計 36,500 回加圧 (流水停止頻度：2 回 / 日、寿命：50 年として算出) した。なお、1 MPa に加圧後、0.05 MPa に減圧するまでを 1 回とした。ひずみゲージ、変位計でライナの挙動を観測した。変位計は非接触式のものを採用し、正值はライナが膨らんだことを意味する。測定位置は空気供給側を入口とし、管中央、管の奥にて計測し、管の最上部を天、最下部を地とした。図 11 に試験体と測定位置を、図 12 に試験状況を、図 13 に変位計の測定結果を示す。

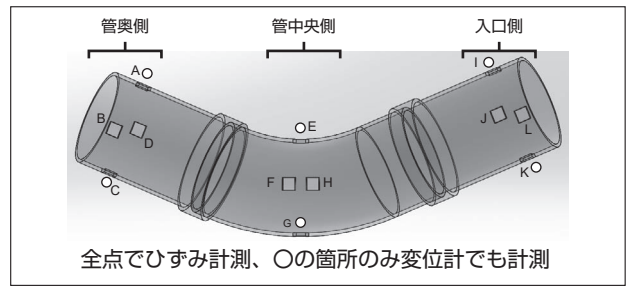


図 11 繰返水圧試験体と変位計測定位置

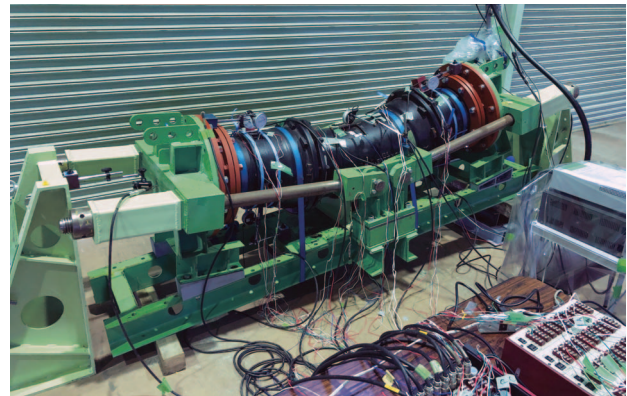


図 12 繰返水圧試験の概況

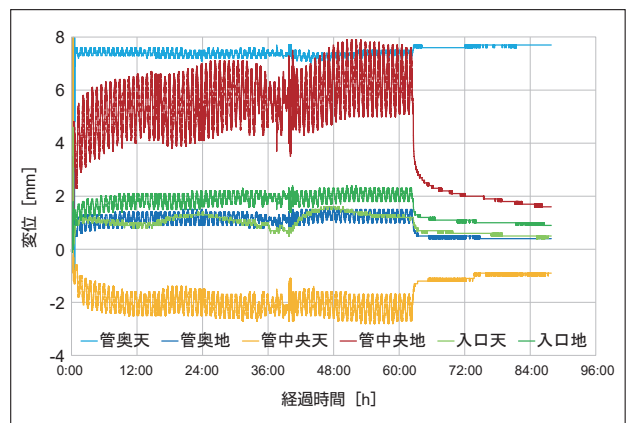


図 13 繰返水圧試験時のライナの変位測定結果

図 13 から、ライナは曲管内を膨張しながら外側へ変形し、隙間を有したまま周期変動することが分かった。また、繰返し回数が 3 万回までは変位の振幅が一定のまま変形量が徐々に増加したが、3 万回を超えると管中央変位 (管中央天の変位 - 管中央地の変位) の振幅は 3 mm 程度と変わらないが変位は概ね一定に推移していた。繰返し水圧に対して、ライナが膨張収縮を繰返ししながら既設管に馴染んでいくものと考えられる。加圧機構の特性で、繰返し最小試験水圧は 0.05 MPa と 0 MPa にはできなかったが、試験後に 0 MPa になったところ、ライナはおおよそ試験開始前の形状に戻っており、材料弾性領域での変形であったと考えられる。なお、繰返し荷重試験後の材料強度試験結果を直管部施工のライナ強度と比較した結果を表 4 に示す。

引張弾性係数は上昇し、引張強さは低下する傾向にあったが、材料弾性域での変形であることから性能は満足していると考えられる。

表4 ライナの繰返水圧試験前後の強度物性値比較

管奥側					管中央側					入口側				
測定位置	引張弾性係数 [GPa]		引張強さ [MPa]		測定位置	引張弾性係数 [GPa]		引張強さ [MPa]		測定位置	引張弾性係数 [GPa]		引張強さ [MPa]	
	実測値	直管との差分	実測値	直管との差分		実測値	直管との差分	実測値	直管との差分		実測値	直管との差分	実測値	直管との差分
A	1.03	0.10	22.2	-0.40	E	1.06	0.13	21.3	-1.27	I	0.96	0.03	22.9	0.27
B	1.10	0.17	20.9	-1.68	F	1.06	0.13	21.0	-1.60	J	0.99	0.06	21.3	-1.29
C	1.16	0.23	21.6	-1.00	G	1.15	0.22	22.2	-0.41	K	1.03	0.10	21.9	-0.71
D	1.00	0.07	21.5	-1.06	H	1.10	0.17	21.2	-1.37	L	0.99	0.06	21.5	-1.06

5 まとめ

KU-LINER の短期強度試験を実施し、基準値を満足していることを確認した。45° 曲管への施工について確認した結果、曲管の曲率半径が大きい場合は施工が可能で、小さい場合はライナの肉厚が規定肉厚より薄くなり施工不可となることが分かった。これより推奨施工条件として、既設管の曲率半径は 5d 以上 (d:ライナの外径) としている。また、曲管施工時に既設管とライナとの間の間隙について、繰返し水圧試験を行って耐久性を確認したところ、ライナ強度は基準値を満足していることが分かった。

当工法の特長として、以下の点が挙げられる。

- ・高密度 PE は耐薬品性、耐酸性、耐摩耗性など、化学的に安定している
- ・形成後は自立管として機能し、耐圧強度は 1 MPa を有する
- ・ライナが二次製品であるため品質が安定する
- ・伸縮性に富み、既設管に追従しやすく、また耐震性も高い
- ・内面が滑らかで、管路の水理特性が向上する
- ・非開削での更新工事が可能で、口径によっては距離数 100 m の更新も可能
- ・工事に使用するのは蒸気と圧縮空気だけで臭気などの環境影響がなく、工事後の品質も安定

6 おわりに

今後は KU-LINER 工法の普及のみならず、調査・診断から更新・更生までのさまざまな製品・工法を提供し、我が国の農業用水管路の維持管理に貢献し、さらには農業の持続的な発展に貢献ができれば幸甚である。

参考文献：

- 1) 農林水産省 農村振興局整備部設計課 水資源課：農業水利施設におけるストックマネジメントの取組について、2021/3/25 更新、p3, <https://www.maff.go.jp/j/nousin/mizu/sutomane/attach/pdf/index-42.pdf>

- 2) 技術情報・製品紹介：KU-LINER、クリモト技報、No.68 (2019)、pp.55-58
- 3) 奥田忠弘、間宮 聡、大塚 聡：L-PIP 工法の開発、クリモト技報、No.69 (2020)、pp.31-36
- 4) 一般社団法人 農業土木事業協会：農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル、パイプライン編 (2017)

執筆者：

山室成樹

1988 年入社

ロボット、鉄管生産技術、騒音低減製品、燃料電池、MR 流体、CAE 技術などの開発業務を経て、管更生工法開発に従事



霜村 潤

1990 年入社

鉄管製造設備管理、鉄管製造、新商品企画・開発を経て、洗管工法および管更生工法開発に従事

