

# 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法及び KU-LINER 工法

株式会社栗本鐵工所  
霜村 潤

### 1. はじめに

インフラ施設の老朽化が進み、農業水利施設のストックマネジメントが重要性を増す中、当社は2017年（平成29年）にRe-パイプシステム工法協会を設立し、従来の管路資機材メーカーという枠を超えて調査・診断技術、更生・更新工法、洗管工法などのメニューを取り揃え、これらを包括的に実施できる体制作りを進めて

きた（図1）。

このうち、更生・更新工法については、人が立ち入ることのできない呼び径800mm以下の小口径管路から基幹管路となる大口径管路までを広くカバーできる工法バリエーションを有している（図2）本稿では、この中から馬蹄形FRPM管馬蹄形パイプ・イン・トンネル工法及びKU-LINER工法について述べる。

### 1. クリモトータルソリューション



“農水管路のお困りごとにクリモはワンストップでご提案します”

図1 クリモトータルソリューション

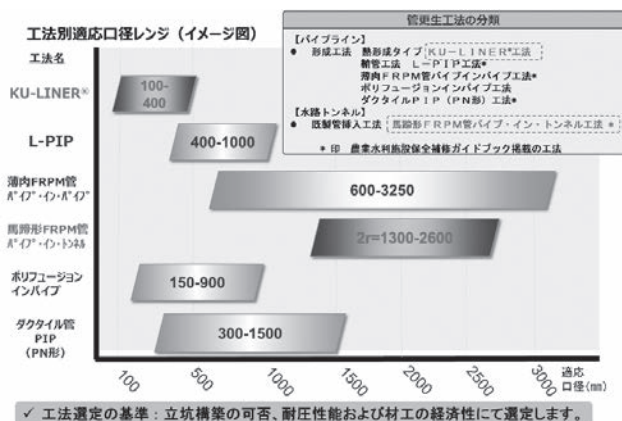


図2 更生・更新工法のバリエーション

## 2. 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法

### 2.1 FRPM 管とは

FRPM 管は、正式名称を強化プラスチック複合管と称し 50 年以上の使用実績を誇る管材である。

FRPM 管の断面構造を図3に示す。最外層と最内層に配した FRP（繊維強化プラスチック）層が中間層の樹脂モルタル層を挟み込むサンドイッチ状となっており、強度とコストを両立した構造である。

特に当社の FRPM 管は、フィラメントワインディング製法を採用しており、FRP 層には周方向に連続した長繊維を配しているため、内外圧に対して安定した性能を発揮することができる。

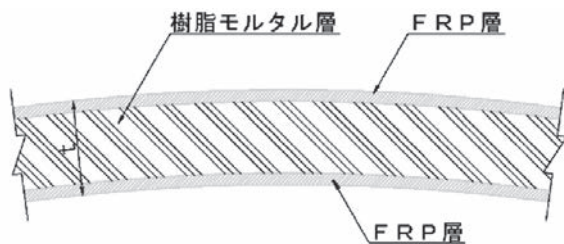


図3 FRPM 管の断面構造

### 2.2 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法

当工法は、水路トンネルの補修・補強を目的とした鞘管工法であり、内挿する管の断面形状が水路トンネルと相似形をした馬蹄形 FRPM

管を用いる（図4）。このように既設トンネルと相似形の断面とすることで同サイズの円形断面の管で補修・補強を行うよりも通水量が約 10% 多く確保できる。

製作できる FRPM 管の口径は  $2r=1,300 \sim 2,600\text{mm}$  で、最大施工延長は 3,000m、継手許容曲げ角度は  $2.5^\circ$  で 0.2MPa の水密性を有する。

### 2.3 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法の特長

当工法の特長を以下に列記する。

- ①工場製造、検査済みの完成品を使用するため安定した品質の更生管路が構築できる。
- ②補修による断面縮小を最小限に抑えることができる。
- ③曲線施工が可能である。
- ④管路の水理特性の改善が図れる（流速係数  $C=150$ ）。
- ⑤構造耐力の改善が図れる。
- ⑥耐食性、耐摩耗性に優れた更生管路が構築できる。

### 2.4 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法による施工

施工の概要図を図5に示す。本工法では、発進立坑内に吊り下ろした FRPM 管を無軌道台車（写真1）で既設管内に搬入し、到達立坑側から順次接合していく。すべての管を接合し終えた後、既設管と更生管の隙間は、水中分離抵

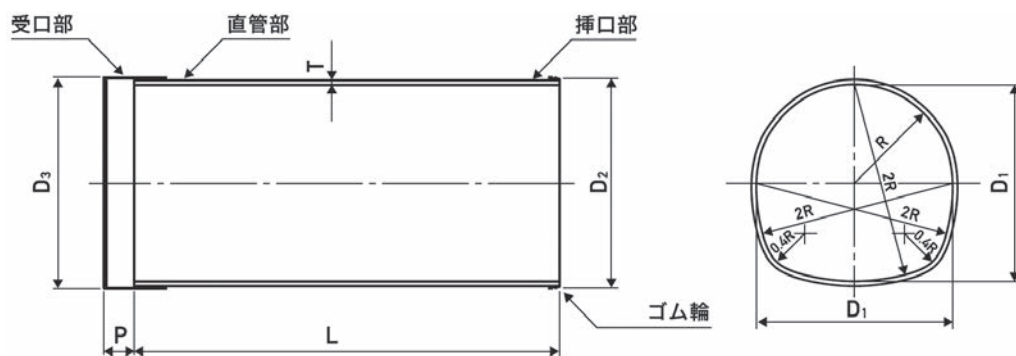


図4 馬蹄形 FRPM 管の形状

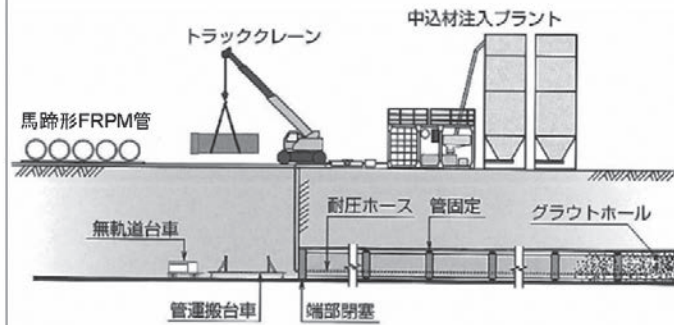
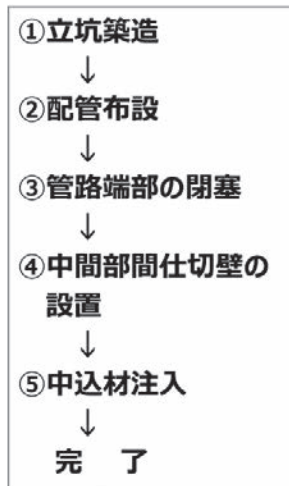


図5 馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法の施工概要図



写真1 無軌道台車と管の搬入状況

抗性を有する耐水型グラウト材で充填する。このグラウト材は湧水や滞留水のある環境下でも打設でき、中継ポンプや間仕切壁がなくても最大 500m の距離を注入できる。

水蒸気の熱で軟化しながら圧縮空気の圧力で既設管の内面に沿うまで拡径することにより、新たな更生管路を構築する。当社では、2018 年に小口径の圧力管路向け工法としてドイツの企業から施工技術を導入した。

### 3. KU-LINER 工法

#### 3.1 KU-LINER 工法とは

KU-LINER 工法は、熱可塑性樹脂の高密度ポリエチレン PE-100 を用いた熱形成タイプの管きょ更生工法である。起源はアメリカであるが、後にヨーロッパで広く普及し 20 年以上の実績がある。

KU-LINER 工法で使用するライナーは、既設管に挿入する前の断面形状がハート形をしており (写真2)、これを既設管に内挿した後、

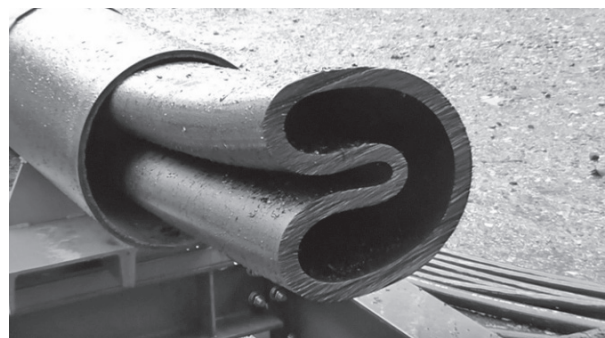


写真2 KU-LINER 挿入前の断面形状

### 3.2 高密度ポリエチレン PE-100 とは

熱可塑性樹脂である高密度ポリエチレンは、材料の温度を 60℃ 以上にすることで外力を加えると容易に変形できるようになり、変形状態の温度を室温付近まで下げれば、その形状を保持する。また、変形した材料に外力をない状態で再び温度を上げると変形前の形状に戻ろうとする。このように材料温度と外力を制御することで繰り返し任意の形状に変えることができる性質を有している。

このうち PE-100 は、長期静水圧試験（複数の供試管に、一定温度下で一定の内圧を負荷して管体が破裂するまでの時間を計測する試験）の結果を ISO 規格に定められた手法で外挿し、20℃ での 50 年後の静水圧強度（周方向応力）が 10MPa 以上であることが確認されたものについて付される呼称である（図6）。

参考に、ISO4427-2 で定められている PE-100 を用いた管材の最大使用圧力の一例を表1に示す。

### 3.3 KU-LINER 工法の適用範囲と特長

KU-LINER 工法の適用範囲を表2に示す。

また、KU-LINER 工法の特長を以下に列記する。

- ①工場にて製造、検査された完成品のライナーを用い、施工現場ではその形状を変えるだけであるため更生管の品質が安定している。
- ②高密度ポリエチレン製のライナーは耐衝撃性、耐摩耗性に優れ、化学的に安定であるため水質への影響がほとんどない。
- ③電気融着（Electro Fusion）や突き合わせ接合（Butt Welding）などの技術を利用でき、曲線管路への対応や施工延長の延伸ができる。
- ④立坑が小さく、土工費の縮減が図れる。
- ⑤設計条件により厚さ規格が選択できる（SDR13.6, SDR17, SDR26, SDR32）。

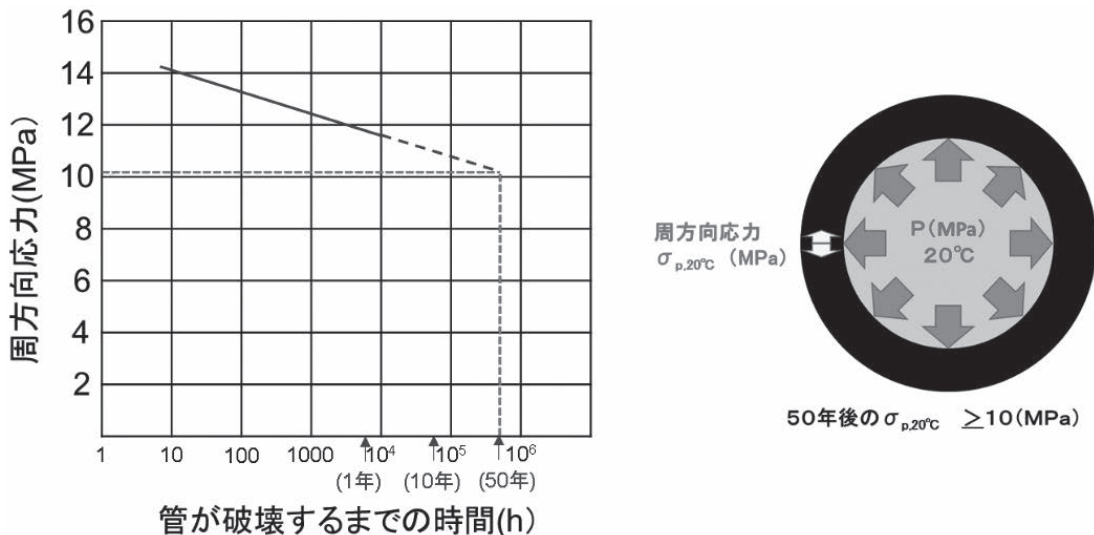


図6 PE-100 の長期静水圧性能概要図

表 1 ISO4427 に記されている PE100 の最大使用圧力

SDR <sup>*1</sup>	SDR13.6	SDR17	SDR26	SDR33
最大使用圧力 (MPa)	1.25	1.0	0.6	0.5

\*1 SDR は、管の基準外径を厚さで除した値の概数。

表2 KU-LINER 工法の適用範囲

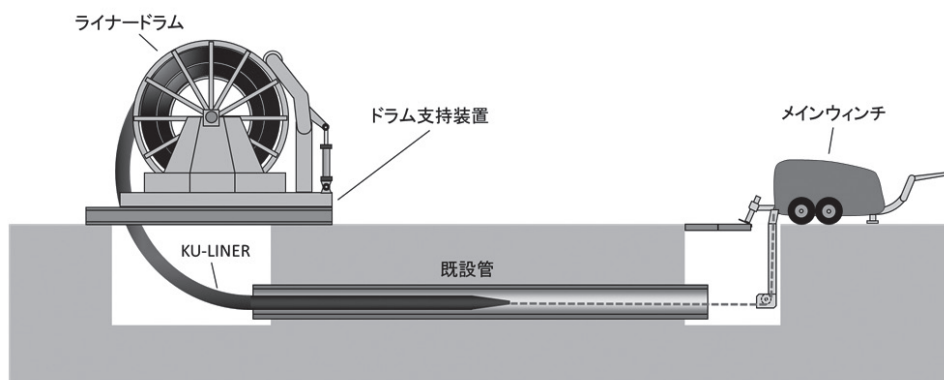
項目	内容
既設管の口径	100mm～400mm
対象分野	農業用水, 工業用水の圧力管路(自然流下管路も適用可)
既設管材質	特に制約なし。ただし強度が低下した管では不可の場合あり。
最大設計水圧	1.25MPa
構造設計	自立管設計が可能。
最大施工延長	呼び径 100, 150…600m 呼び径 200～400…395m (呼び径 200・SDR17)～111m (呼び径 400・SDR17)* スチームユニット1台使用時 *呼び径 200～400 の最大施工延長は, 原則的にライナードラム1巻き分のライナー長さ。
曲線管路	角度 22.5°以下(曲率半径がライナー外径の5倍以上) 曲点が開削できる場合は EF 融着継手の使用で 90°まで可能。

### 3.4 KU-LINER 工法による施工

KU-LINER 工法の施工工程は, 大きく引込工程, 加熱・拡径工程の2つに分かれる(図7)。引込工程では, 発進立坑上に設置したドラム

支持装置(写真3左)でライナードラムを支え, ライナーを繰り出しながら到達立坑側に設置したメインウインチ(写真3右)でライナーを既設管内に引き込む。

【引き込み工程】



【加熱・拡径工程】

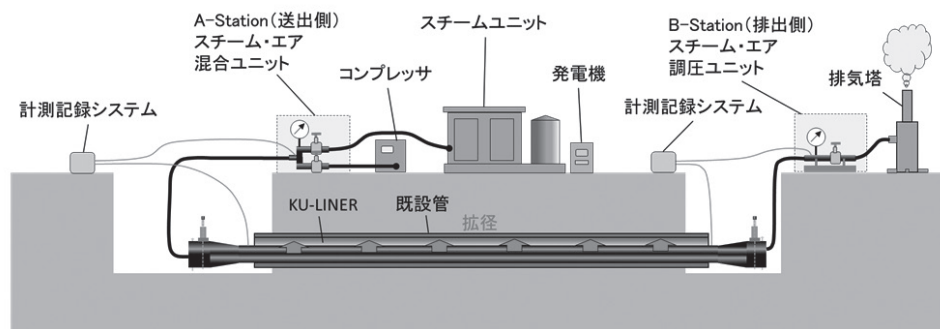


図7 KU-LINER 工法の施工工程

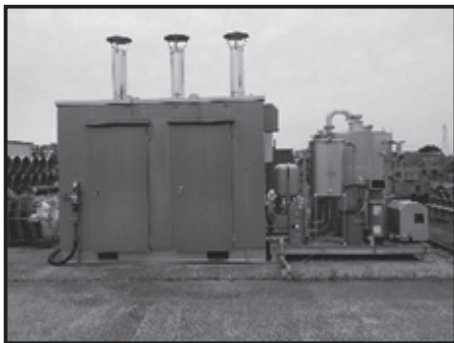


ドラム支持装置



メインウインチ

写真3 ドラム支持装置とメインウインチ



スチームユニット



ボイラー車

写真4 スチームユニットとボイラー車



写真5 更生した屈曲部の内面状況

加熱・拡径工程では、引込んだライナーの内部にスチームユニット（写真4左）、またはボイラー車（写真4右）で発生させた蒸気を送り込み、加熱しながら内部から圧力をかけ、既設

管内面に沿うまで拡径する。

写真5は、既設管が5～10°屈曲した個所をKU-LINERで施工した内面状況であるが、シワ等も生じることなく、滑らかな内面状態に仕

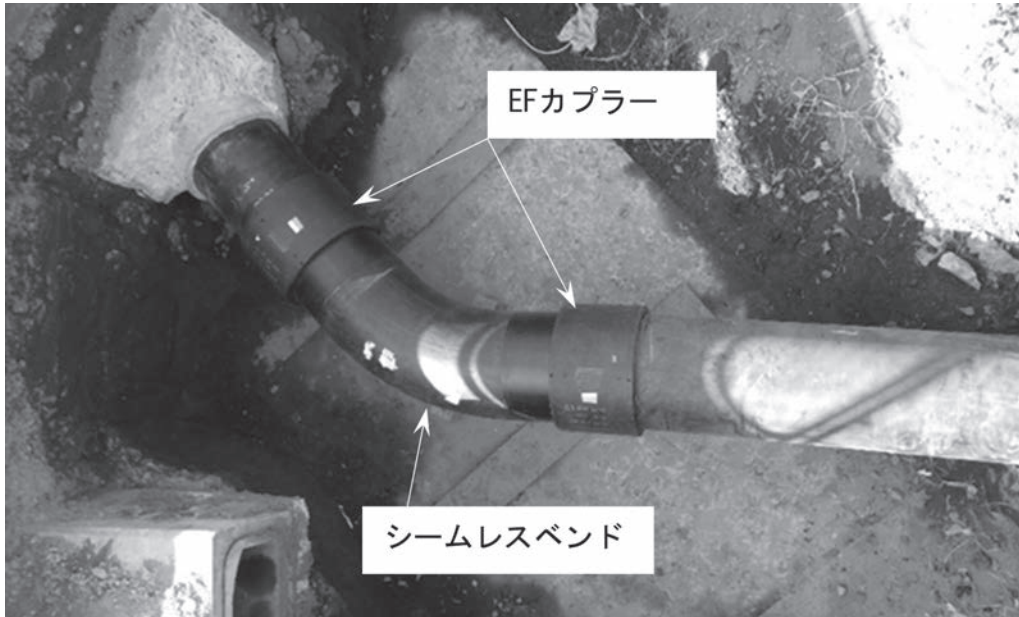


写真6 EF 接合によるベンド部の形成



写真7 専用継手による分岐部の形成

上がっていることがわかる。

角度が $22.5^\circ$ を超えるような場合で、かつ屈曲点が部分的に開削できる場合は、写真6に示すように既製品のシームレスベンドをEFカプラーで接合しベンド部を形成することも可能で

ある。

また、EF継手には多種多様な継手や部品が流通しており、分岐部の形成が必要な場合は写真7に示すような分岐専用の継手を用いることで簡便かつ確実に分岐部の形成ができる。

#### 4. おわりに

馬蹄形 FRPM 管パイプ・イン・トンネル工法及び KU-LINER 工法について述べた。

前者は 50 年以上の実績を有する FRPM 管を用いた信頼性の高い大口径水路トンネル向けの更生工法であり、後者は、国内での展開はまだ途に就いたばかりであるが、海外では 20 年以上に及ぶ実績がある工法である。両者とも、工場生産された二次製品を用いるため更生管の品質は非常に安定していることが第一の特長である。

当社では、今回紹介した 2 工法以外のメニューも併せて幅広い口径レンジに対応できるバリエーションを有しており、Re-パイプシステム工法協会全体では、管路調査からメンテナンスまでパイプラインのストックマネジメントに関して包括的な活動体制を整えている。

今後もこれらメニューをさらに熟成、研鑽し、総力を挙げてストックマネジメント事業への貢献に尽力する所存である。