

技術報文

農業用パイプラインに適用する現場硬化管の

実規模模型実験

農研機構	農村工学研究部門	有吉 充
茨城大学	農学部	毛利 栄征
(一社) 日本管更生技術協会		工藤 章光

1. はじめに

農業用パイプラインは、昭和 30 年代からの高度成長期に整備されたものが多く、耐用年数を迎える施設が今後急増する。老朽化により性能が低下した施設は、敷設替えなどにより随時更新することが望ましい。しかしながら、全面的な敷設替えには多大な費用が必要であり、既設管敷設後の土地利用の変化等から地盤の開削が困難な場合もある。

そのため、既設管の撤去が不要であり、地盤の開削ができない場所でも利用できる現場硬化管（写真-1）が農業用パイプラインの補修に用いられ始めた。現場硬化管は樹脂を含浸させた更生材を既設管内に設置し、熱や光によって硬化させて作成する。既設管を有効利用でき、施工期間及び工費を低減することが可能である。主に下水道分野で用いられてきた技術であり、下水道分野では設計や施工に関する資料が整備されている^{1)~3)}。

しかしながら、下水道分野の手引きやガイドラインを農業用パイプラインに単純に適用することはできない。農業用パイプラインは下水道と異なり、高い内水圧が作用し、屈曲部が多い。管体の劣化ではなく継手部の劣化により、補修が必要となる場合もある。こうした農業用パイプラインの特徴が現場硬化管の挙動に与える影響を明らかにすることは、現場硬化管を安全且つ合理的に利用するために重要である。

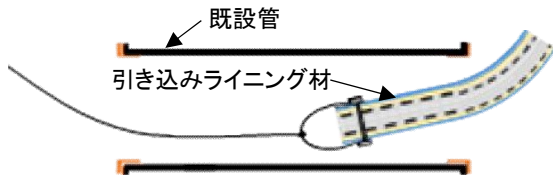
そこで、屈曲部を有するφ1000mmのコンクリート管内に、現場硬化管を設置して、内水圧を作用させる実験を行った。コンクリート管の劣化が現場硬化管の挙動に与える影響や屈曲部の現場硬化管の挙動を調査した。また、今回対象としたような大口径のパイプでは、現場硬化管の硬化時の収縮により、現場硬化管と既設管の間に隙間ができる場合がある。その隙間を充填する場合とそのままにする場合があるため、充填材の有無が、現場硬化管の挙動に与える影響についても検証した。



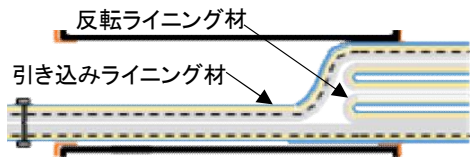
写真-1 現場硬化管の例

2. 現場硬化管の概要

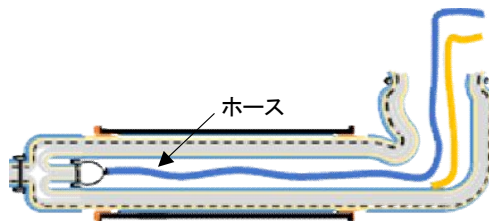
現場硬化管は樹脂を含浸させた更生材を現場で硬化反応させて作成する管路である。フェルトやガラス繊維等が基材として用いられ、含浸樹脂には不飽和ポリエステル樹脂等が使用されている。更生材の既設管への挿入方法には引込みと反転があり、硬化方法には温水や蒸気等の熱によるものと紫外線などの光によるものがある。



1. 引き込みライニング材の引き込み



2. 引き込みライニング材内に反転ライニング材を挿入



3. ライニング材の硬化 (ホースを通して温水を現場硬化管内に入れる)

図-1 引き込み反転式高強度ライニング材の施工方法

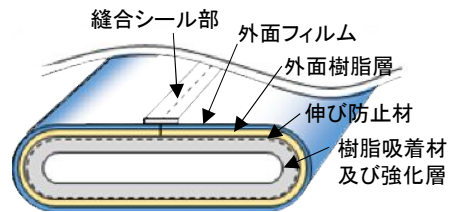


図-2 引き込みライニング材の構成

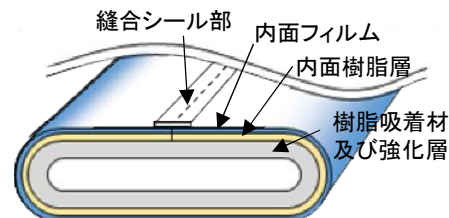


図-3 反転ライニング材の構成 (反転前)

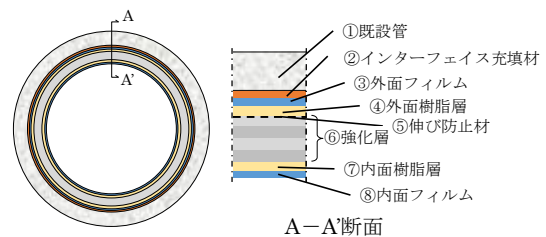


図-4 現場硬化管の最終的な断面の構成

実験で用いた現場硬化管は、引き込み反転式高強度ライニング材である。図-1 に示すように、最初に引き込みライニング材 (図-2) を既設管内に引き込んだ後に、反転ライニング材 (図-3) を引き込みライニング材内に反転挿入し、温水により引き込みライニング材と反転ライニング材を同時に硬化させる工法である。最終的な断面形状は図-4 に示すようになる。大口径で延長が長い農業用パイプラインでは、ライニング材の重量が重くなり運搬が困難となる場合があるが、本工法ではライニング材を二つに分割して軽量化することで、運搬が可能となる。

引き込み反転式高強度ライニングの材質及び含浸樹脂の諸元は、表-1 及び表-2 に示す通りである。また、実験と同じ条件で作成した現場硬化管を対象に、引張試験 (JIS K7161) 及び曲げ試験 (JIS K7171) を実施して求めた弾性係数や引張強さ等の材料特性を表-3 に示す。

3. 実験方法

(1) 目的

実験の目的は、以下の項目が現場硬化管の内水圧に対する挙動に与える影響を明らかにすることである。

- ①既設管の劣化
- ②屈曲部
- ③既設管と現場硬化管の隙間の充填材の有無

(2) 概要

表-1 引き込み反転式高強度ライニング材の材質

種類	名称	材質	厚さ (mm)	目付 (g/m ²)
引き込みライニング材	外面フィルム	ポリエチレン	0.6以上	600以上
	外面樹脂層	ポリエステルフェルト	0.7	—
	伸び防止剤	ポリエステル (不織布/職布) 複合フェルト	1.0	—
	樹脂吸着材及び強化層 I	ポリエステル・グラスファイバーマット複合フェルト	11.0	6,480
	含浸樹脂	不飽和ポリエステル樹脂	—	—
反転ライニング材	内面フィルム	ポリエチレン	0.8以上	800以上
	内面樹脂層	ポリエステルフェルト	1.5	—
	樹脂吸着材及び強化層 II	ポリエステル・グラスファイバーマット複合フェルト	4.0	2,160
	含浸樹脂	不飽和ポリエステル樹脂	—	—

表-2 含浸樹脂の諸元

樹脂名	不飽和ポリエステル樹脂
系統	イソフタル酸系
伸び	2.5%以上
硬化収縮率	7.0%

表-3 現場硬化管の材料特性

曲げ強さ (MPa)	166
曲げ弾性係数(MPa)	9,694
引張強さ (MPa)	94
引張弾性係数(MPa)	9,682
引張破断伸び (%)	2.6

実験模型を写真-2 及び図-5 に示す。延長約 11m

のφ1000mm のコンクリート管 (ヒューム管、内圧 2 種) 内に現場硬化管を設置した。中央部には直管を 3 本配置した。真ん中の直管は、劣化が進んで亀裂が生じた状態を再現するため、管頂・管側・管底で 4 分割したパイプ (以下、このパイプを分割管と呼ぶ) を用いた (図-6)。また、屈曲部の現場硬化管の挙動を検討するため、曲管 (30° 及び 45°) を 2 箇所配置した。なお、内水圧に対する現場硬化管の挙動を検討するため、地盤の埋戻しは行っていない。

実験では現場硬化管に内水圧 1.0MPa を負荷した。



写真-2 実験模型の全体写真

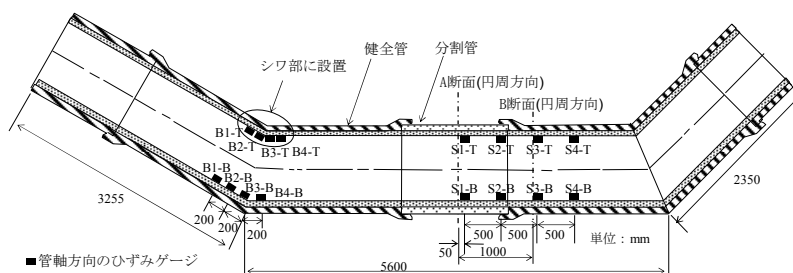


図-5 実験模型の断面図

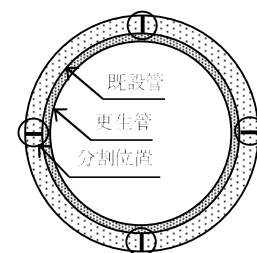


図-6 分割管の分割位置

昇圧は0.1MPa毎に段階的に行い、各段階における圧力の保持時間を5分とした。

実験は2ケースで、既設管と現場硬化管の隙間に充填材を用いない場合（Case1）と充填材を用いた場合（Case2）である。今回の実験と同じ既設管模型を用いて現場硬化管を設置する予備試験を実施したところ、現場硬化管は硬化時に収縮し、既設管と現場硬化管の間に平均で2.5mm（1.0～4.0mm）の隙間が生じた。Case2では、この隙間に充填材として写真-3に示すように、エアミルクを充填した。

(3) 現場硬化管

実験で用いた現場硬化管の諸元は2章で示したとおりである。硬化後に管端部において12°毎に計30点で計測した管厚は16.3～22.4mmで、平均値は19.9mmであった。

品質の良い現場硬化管を作成するためには、硬化時の温度管理が極めて重要である。硬化時の排水槽部での水の温度や熱電対により計測した現場硬化管の温度を図-7に示す。温水の温度は、60～70℃で200分間保持した後、80℃以上で150分間保持し、計画通りに管理できた。

また、屈曲部では、凹部（管上部）が凸部（管下部）よりも延長（管軸方向の長さ）が短くなるため、現場硬化管の管上部全体にしわが発生した（写真-4）。しわの最大深さは、30°の曲管部では約80mm、45°では約90mmであった。

(4) 計測

内水圧、現場硬化管の円周方向及び管軸方向のひずみを計測した。ひずみゲージは現場硬化管の内面に貼付しており、貼付位置は図-5に示した。円周方向のひずみゲージにより、内圧による管の横断面の変形を計測できる。ひずみは既設管に分割管を用いたA断面と健全なコンクリート管（以下、健全管と呼ぶ）を用いたB断面の2断面で計測した。両方の断面とも、管頂から30°毎に計12枚のひずみゲージを現場硬化管に貼付した。

管軸方向のひずみゲージにより、管の縦断方向の変形を計測できる。屈曲部及び直線部において、管頂及び管底で計測した。屈曲部は屈曲角30°の方を計測対象とし、管底では200mm毎、管頂はしわの凸部（写真-5）にて、計8箇所（B1-T～B4-T、B1-B～B4-B）で計測した。また、



写真-3 エアミルクの充填状況

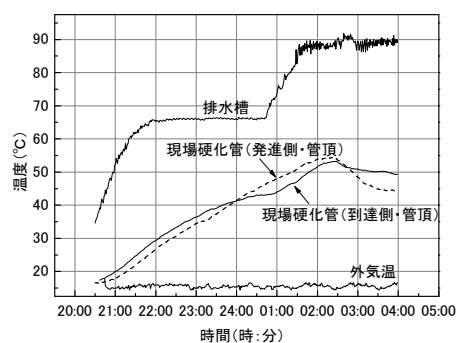


図-7 現場硬化管の硬化時の温度

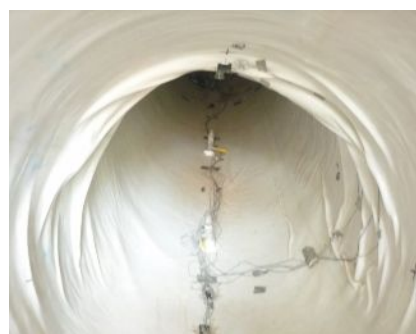


写真-4 屈曲部のしわ

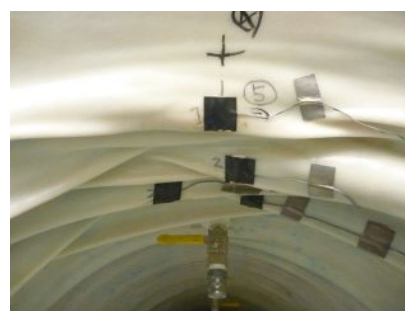


写真-5 管頂のひずみゲージ（黒いテープのほぼ中心にひずみゲージがある。）

直線部のひずみゲージは、**図-5**に示す8箇所（S1-T～S4-T、S1-B～S4-B）で、健全管と分割管の両断面で計測した。

4. 実験結果

(1) 円周方向ひずみ

Case1、2におけるA、B断面の円周方向ひずみの平均値と内水圧の関係を**図-8**に示す。なお、平均値とは、30°毎に計測した12点のひずみの平均値である。充填材が無いCase1では、内水圧600kPa以下においては、両断面ともにひずみは内水圧に比例して増加した。現場硬化管は硬化時に収縮し、既設管との間に隙間が生じるため、内水圧により膨張することが分かる。但し、内水圧が600kPaを越えた場合、既設管が健全なB断面ではひずみの増加量は低下した。これは、内水圧が600kPaを越えたあたりで、現場硬化管が全周にわたり既設管に接触し、変形しにくくなったためである。既設管の管体が健全であれば、現場硬化管と既設管の接触後は、既設管が内圧の多くを負担する。一方、分割管のA断面では最後までひずみが内圧に比例して増加しており、既設管の強度が無い場合には、現場硬化管と既設管が接触した後も、現場硬化管のみで内水圧を受け持つことが分かる。

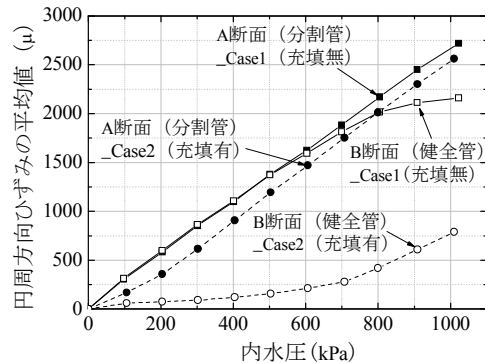


図-8 円周方向ひずみと内水圧の関係

充填材が有るCase2では、管体が健全であれば、発生するひずみは小さい。600kPa負荷時のB断面におけるCase2のひずみは、Case1のわずか13%（Case1:1594μ、Case2:213μ）である。Case2では、現場硬化管に作用した内水圧は、充填材を通して既設管に伝達し、その大部分が既設管により受け持たれた。但し、B断面では、内水圧が700kPaを超えると、ひずみの増加量が大きくなった。充填したエアミルクの圧縮に対する挙動が非線形性を有していることなどが原因として考えられる。また、A断面ではCase1とCase2に生じた円周方向ひずみは同程度である。既設管の強度がなければ充填材の有無に関わらず、内水圧は現場硬化管のみで受け持たれることが分かった。

(2) 屈曲部の管軸方向ひずみ

充填材が無いCase1の屈曲部周辺の管軸方向のひずみと内水圧の関係を**図-9**に示す。屈曲部では、内水圧によりスラスト力が作用する。30°の曲管部における内水圧1MPa負荷時のスラスト力は375kN（農林水産省土地改良事業計画設計基準・設計「パイプライン」に基づいて試算）である。大きさにばらつきはあるが、屈曲部では、管頂には圧縮、管底には引張方向のひずみが生じて

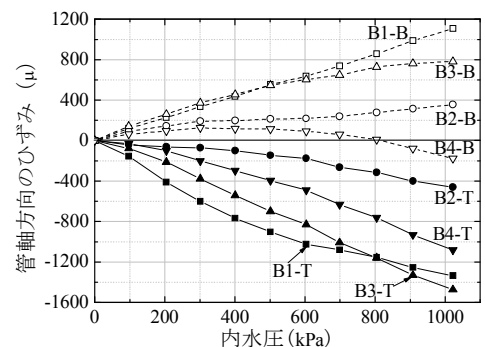


図-9 屈曲部における管軸方向のひずみ (Case1)

おり、現場硬化管は曲げ変形したと推察される。内水圧 1MPa 時には、管頂では最大で-1474 μ 、管底では 1109 μ のひずみが生じて、屈曲部では比較的大きなひずみが発生した。管軸方向の安全性についても注意が必要である。

図-10 に示すように、充填材が有る Case2 では、発生するひずみは、充填材を用いない Case1 よりも全体的に減少した。引張方向のひずみの最大値(471 μ)は Case1 (1109 μ) の約 60%、圧縮方向のひずみの最大値 (-431 μ) は Case1

(-1474 μ) の約 70%減少した。現場硬化管と既設管の隙間を充填することで、円周方向ひずみと同様に、屈曲部の管軸方向ひずみも減少することが分かった。

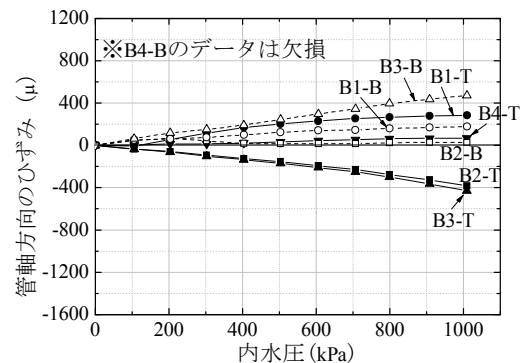


図-10 屈曲部における管軸方向のひずみ (Case2)

(3) 直線部の管軸方向ひずみ

充填材が無い Case1 の直線部の管軸方向のひずみと内水圧の関係を図-11 に示す。屈曲部と異なり、管頂及び管底ともに、ほぼ全ての箇所引張方向のひずみが生じている。但し、1MPa 荷時のひずみは最大でも 512 μ (S1-T) で、屈曲部よりも全体的に小さい。屈曲部と異なり、直線部には曲げ変形が生じにくいためと考えられる。

充填材が有る Case2 でも、図-12 に示す通り、充填材が無い Case1 と同程度であり、1MPa 負荷時の最大値は約 500 μ (S3-B) である。現場硬化管と充填材は接着していないので、直線部における管軸方向の変形に対しては拘束しない。そのため、充填材の有無は、直線部の管軸方向のひずみに対しては大きな影響を与えないことが分かった。

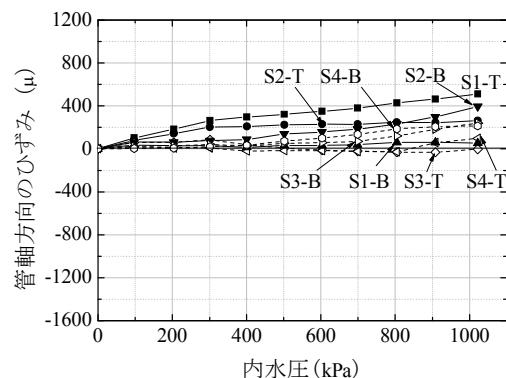


図-11 直線部における管軸方向のひずみ (Case1)

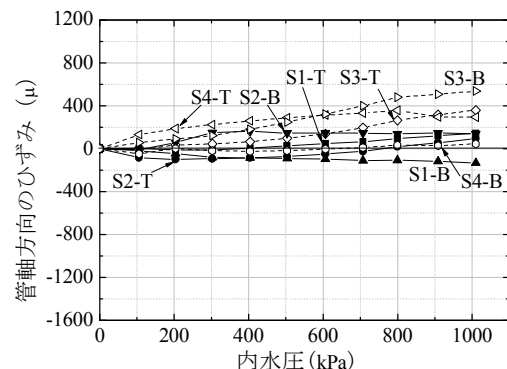


図-12 直線部における管軸方向のひずみ (Case2)

5. まとめ

充填材の有無と農業用パイプラインの特徴である屈曲部、既設管の状態の違いが現場硬化管の内水圧に対する挙動に与える影響を明らかにするため、実規模の模型実験を実施した。得られた主な知見を以下に示す。

- ①現場硬化管が内水圧により膨張し、全周にわたり既設管と接触した後は、既設管の管体が健全であれば、現場硬化管の円周方向の変形は抑制される。
- ②既設管の管体が健全で且つ充填材が有る場合、内水圧の多くを既設管が負担して、現場硬化管に発生する円周方向ひずみは大幅に減少する。

③管軸方向の屈曲部のひずみの最大値は、直線部の2倍以上であった。屈曲部は曲げ変形するため、管軸方向の安全性についても注意が必要である。充填材がある場合のひずみは、無い場合の半分以下であった。

④直線部の管軸方向に発生するひずみに対しては、充填材の有無が与える影響は小さい。

一般的な現場硬化管の設計では、既設管の存在や充填材の有無による影響は考慮しない。しかしながら、これらは現場硬化管の挙動に大きな影響を与えることが分かった。現場硬化管のこうした変形特性を把握することが、老朽化した農業用パイプラインを安全且つ合理的に更生するために重要である。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本下水道協会：管更生の手引き（案），2001.
- 2) 公益社団法人日本下水道協会：管きよ更生工法における設計・施工管理の手引き（案），2008.
- 3) 公益社団法人日本下水道協会：管きよ更生工法における設計・施工管理ガイドライン（案），2011.