

老朽管の改修方法に関する共同研究

第3回 材料単体の軸方向性能試験および
継手部の曲げ試験

日本管路更生工法品質確保協会では、独立行政法人農業工学研究所（現：農村工学研究所）が公募された共同研究課題「地中に埋設された老朽パイプラインの限界状態評価と補強工法の開発」に平成16年度から参画し、このほど研究が終了したため、本連載講座に報告をすることに至った。

現在、我国の主要な農業用水管路の延長は約4万5000kmに達するとされ、中小の水路を含めると約40万kmに及んでいる。

これらの中には、以前より管路更生工法が採用されているが、設計手法が確立されておらず、対応が様々であるのが現状である。そこで、「土地改良事業計画設計基準 設計『パイプライン』」の改訂にあたり、単独管更生工法単体での強度特性を明らかにするとともに、老朽管に更生された状態での埋設試験を行うことで、老朽管の強度への寄与率を求め、適切な更生管の強度（管厚）を設計するための資料を提供することを目的として、研究を行った。

本連載講座では、試験の内容について報告するとともに、農業用水管路に対する更生工法の適用における設計手法の一考察を提案・報告する。

第3回目今回は材料単体の軸方向性能試験および継手部の曲げ試験を説明する。

1. はじめに

老朽管内部に挿入される更生管は地盤の不同沈下や構造物周辺部の特異な変形、あるいは地震時の挙動を受けて、老朽管の挙動に拘束される形で管軸方向および断面方向に変形することが考えられる。

特に差し込み継手方式を用いている老朽管の場合、管軸方向の変形は既設老朽管に拘束されて変位が継手部に集中する等、挙動が複雑になると考えられ、老朽管に拘束されている更生管の管軸方向の安全性とその特性を明らかにすることに大きな意味があると考えられる。

2. 材料単体の軸方向性能試験

2-1. 試験目的

農水省設計基準「パイプライン」¹⁾では管の軸方向の変形性能について、その縦断方向の抵抗モーメントをもとに照査をすることとしている。

管の縦断方向の抵抗モーメントを把握するために管材料および工法毎に引張に対する性能を把握する。またそれ以外の耐震性能などの縦断方向の性能把握のために、材料の曲げ特性も測定することとする。

2-2. 供試体

管体材料を管軸方向に切り出した試験片とするが、比較のために管周方向に切り出した試験片でも試験を行う。なお、試験片は300mmの更生管から切り出して試験片を作製した。ただし、熱硬化性樹脂材料を用いた更生工法については平板状に硬化させたものから試験片を作製し、熱可塑性樹脂材料を用いた更生工法については管体材料から切り出して平板状に加工した供試体を用いる。

2-3. 試験方法（引張試験）

2-3-1. 試験方法概要

試験方法はJIS K7113「プラスチックの引張試験方法」に準拠する。写真-1に引張試験状況を示す。

2-3-2. 測定項目

測定項目は以下の通りとする。

- ・ 引張荷重－変位
- ・ ひずみ（ひずみゲージによる測定）
- ・ 最大荷重

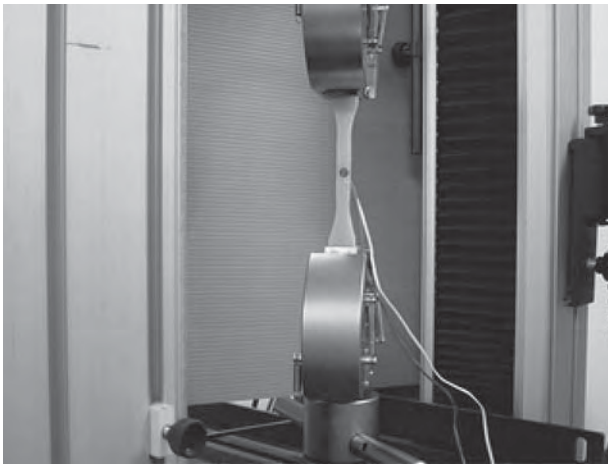


写真-1 引張試験状況

2-4. 試験方法 (曲げ試験)

2-4-1. 試験方法概要

試験方法は JIS K7171 「プラスチックの曲げ特性試験方法」に準拠する。写真-2 に曲げ試験状況を示す。

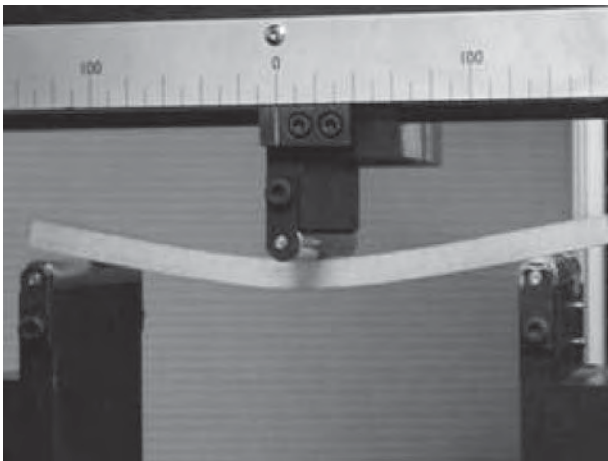


写真-2 曲げ試験状況

2-4-2. 測定項目

測定項目は以下の通りとする。

- ・ 曲げ荷重 - 変位
- ・ 最大荷重

2-5. 試験結果概要

2-5-1. 弾性率

引張試験ならびに曲げ試験結果より算出した引張弾性率、曲げ弾性率を表-1 に示す。

2-5-2. 引張強度・曲げ強度

引張試験および曲げ試験の最大荷重より求めた引張強度、曲げ強度を表-2 に示す。また例として

表-1 引張・曲げ弾性率測定結果 (MPa)

工法名	引張弾性率 (MPa)		曲げ弾性率 (MPa)	
	管周方向	管軸方向	管周方向	管軸方向
ICP	4499.7	4296.6	4831.8	4650.3
FFT	7313.3	7374.8	9186.2	12606.2
ALZ	5363.9	5365.6	5864.6	8020.2
INS	5286.8	6715.0	5691.1	5425.9
OMG	2073.2	2161.9	1754.8	1562.8
HL	8431.2	3571.1	4529.6	3798.8
SLS	12736.4	9346.2	13066.2	8884.2

表-2 引張・曲げ強度測定結果 (MPa)

工法名	引張強度 (MPa)		曲げ強度 (MPa)	
	管周方向	管軸方向	管周方向	管軸方向
ICP	56	60	84	81
FFT	89	167	177	331
ALZ	84	103	125	172
INS	87	83	144	139
OMG	34	35	57	57
HL	185	10	129	97
SLS	297	144	281	172

ICP と HL に関して、図-1 に引張試験結果ならびに、図-2 に曲げ試験結果を示す。ICP では管軸方向と管周方向はほとんど同じ特性を示すが、HL では管軸方向と管周方向はかなり異なる特性を示すことがわかる。

2-5-3. 管の縦断方向抵抗曲げモーメント

上記で求めた引張強度を用い、「パイプライン」に示す管体の縦断方向の設計に従い、管の抵抗曲げモーメントを算出した。算出式は下式で表される。

$$M_R = \sigma_b \cdot Z$$

ここで、

M_R : 管の抵抗曲げモーメント (kN・m)

σ_b : 管軸方向の管材材料の引張強度 (kN/m²)

Z : 管の断面係数

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_c^4 - D^4}{D_c}$$

D_c : 管の外径 (m)

D : 管の内径 (m)

今回、試験に用いた呼び径 300mm の更生管の抵抗曲げモーメントを算出した結果を表-3 に示す。

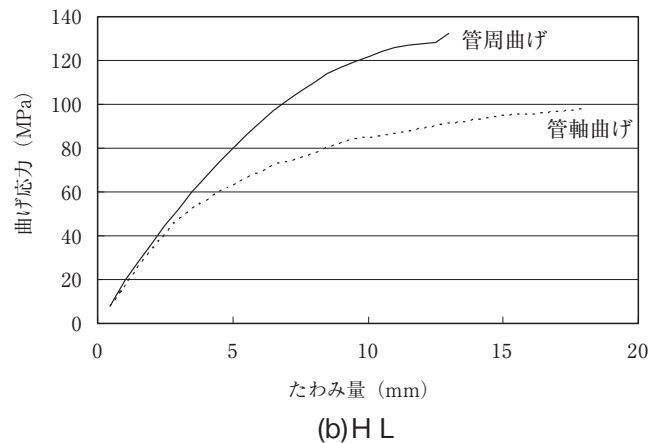
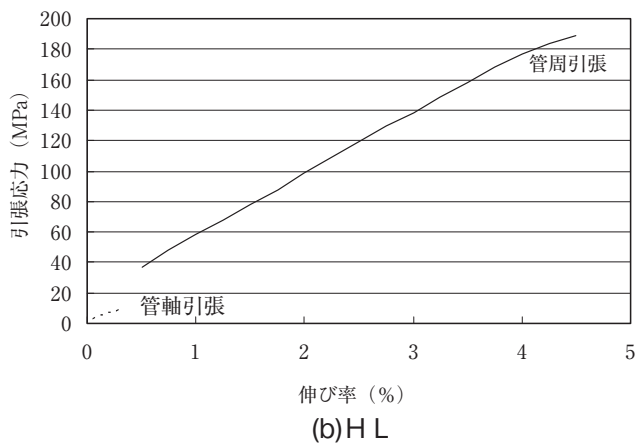
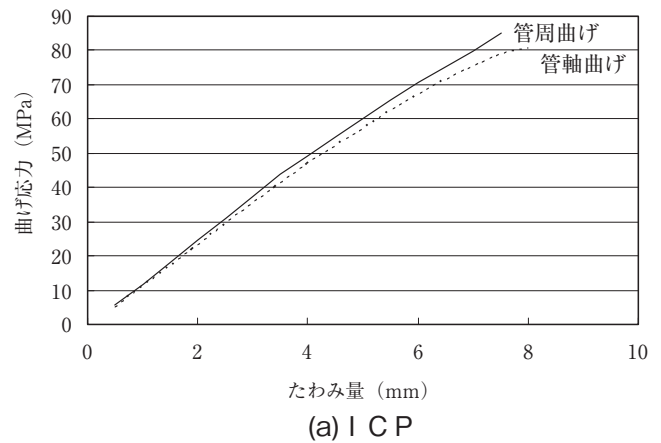
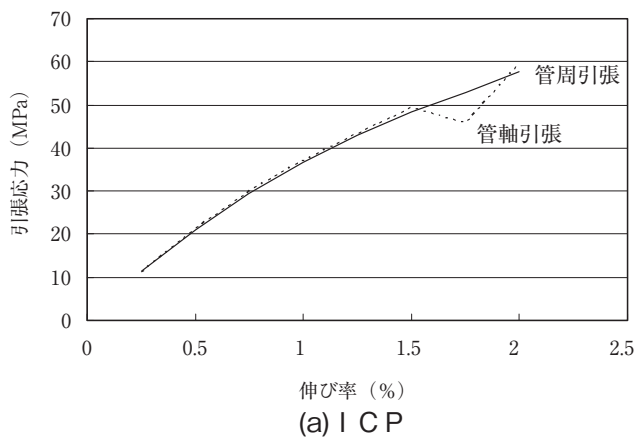


図-1 引張試験結果 (伸び率-引張応力)

図-2 曲げ試験結果 (たわみ量-曲げ応力)

表-3 管の抵抗曲げモーメント

工法名	引張強度 (MPa)	断面係数 ($\times 10^{-4} \text{m}^3$)	管の抵抗曲げモーメント (kN・m)
ICP	60.0	6.4	38.57
FFT	167.2	4.7	79.07
ALZ	103.4	6.0	62.07
INS	82.7	4.5	36.96
OMG	34.9	6.6	23.01
HL	10.1	3.8	3.82
SLS	143.8	4.4	63.20

2-6. 考察

各工法で管軸方向（縦断方向）の特性に大きな違いがあることがわかった。物性（強度・弾性率）の絶対値が異なるのはもちろん、材料の組成、とりわけ繊維強化熱硬化性樹脂を用いた更生工法の場合、強化繊維の配向方向や量によって管軸方向と管周方向の特性の違いやバランスが異なっていると考えられる。

3. 継手部の曲げ試験

3-1. 試験目的

既設管継手部に施工された更生管について3点曲

げ試験を行うことにより、既設管継手部における曲げ特性および止水性能を確認し、更生管として地盤沈下や地震時の縦断方向の変位への追随性を確認することを目的とする。

3-2. 供試体

供試体は長さ1650mmのヒューム管（呼び径300mm）2本を直線上に配置し、間隔を30mm空けた状態で更生管を連続的に施工したものとする。供試体全体の長さは4000mmとする。

また、肉厚は設計条件から求めた各工法の呼び厚で作製する。

3-3. 試験方法

3-3-1. 試験方法概要

試験方法の概要を図-3に示す。農村工学研究所のパイプ継手水密試験装置を用い、両端を支持された供試体の中央部分を下方から強制的に変位を加えることによって継手部分に曲げ変位を与える。端部は水密性を試験するために、止水ゴムによる鋼管フランジとの止水処理を行っている。

供試体を試験装置に水平に設置後、内水圧を負荷し、内水圧を維持した状態で継手部をジャッキにて上方に押し上げる。

ジャッキの荷重ステップは表-4のステップとし、10mm 変位毎に3分間保持する。なお、荷重装置の限界荷重および更生管の内圧保持が不可能な状

況になれば、その時点で試験終了とする。写真-3に試験状況を示す。



写真-3 継手部曲げ試験状況

表-4 荷重ステップ

ステップ	変位量 (曲げ角度)	ステップ	変位量 (曲げ角度)
①	10mm (0.248°)	⑦	250mm (6.205°)
②	20mm (0.743°)	⑧	300mm (7.452°)
③	50mm (1.239°)	⑨	350mm (8.703°)
④	100mm (2.478°)	⑩	400mm (9.959°)
⑤	150mm (3.718°)	⑪	450mm (11.219°)
⑥	200mm (4.960°)	⑫	500mm (12.484°)

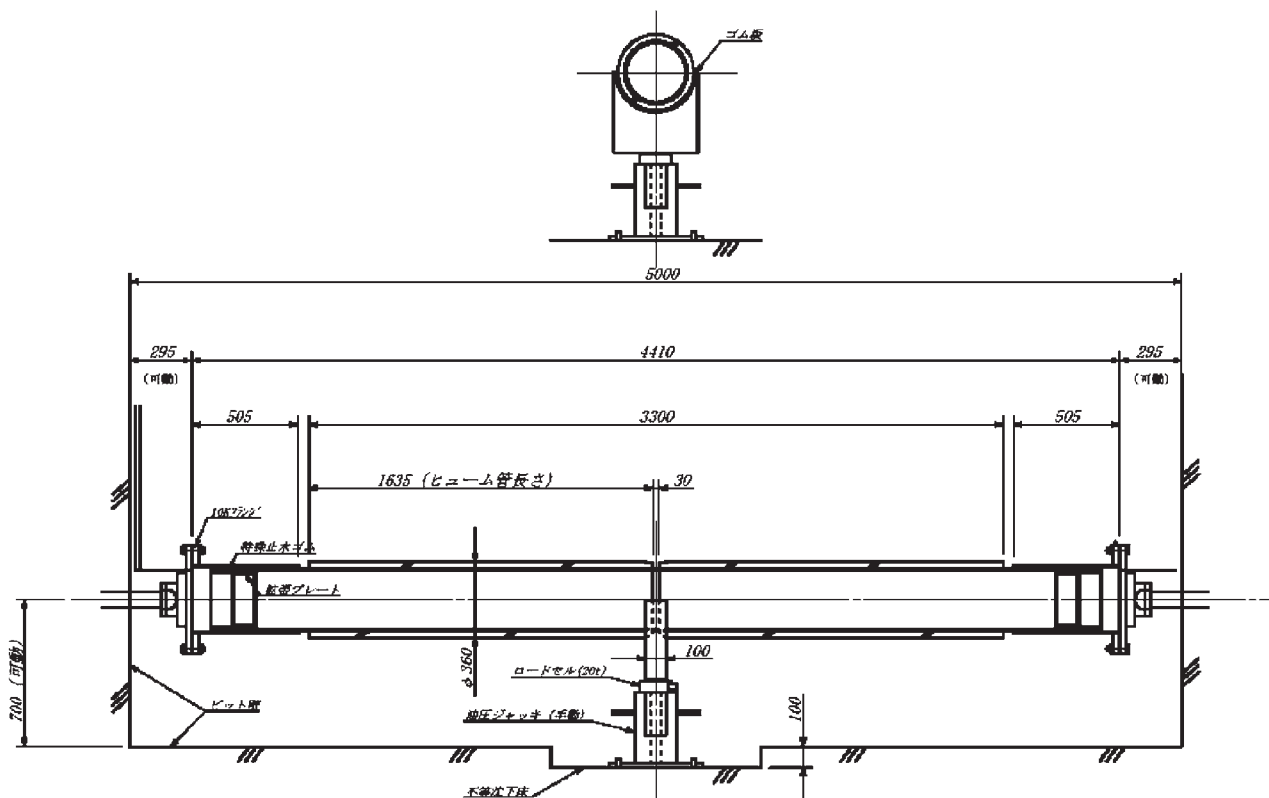


図-3 継手部曲げ試験概要図

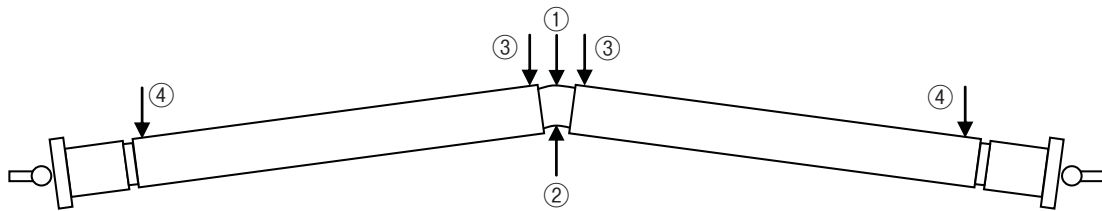


図-4 変位測定箇所 位置

3-3-2. 測定項目

各ステップ毎に以下の項目の計測を行う。①～④は図-4中の位置を示す。

- ・ 管中央（載荷部）外面上部変位量（①）
- ・ 管中央（載荷部）外面下部変位量（②）
- ・ 既設管（ヒューム管）端部
外面上部変位量（両端）（③・④）
- ・ 載荷重（ジャッキ荷重）
- ・ 内水圧
- ・ 漏水の有無、程度（目視）

3-3-3. 内水圧について

供試体の継手部に変位を負荷する前に内水圧をあらかじめ0.4MPaまで上昇させ、10分間水圧を保持する。変位開始後に変形による水圧変動がある場合は水の供給を行って水圧を維持する。また管端止水部等、管体以外からの漏水の場合にも水圧を維持しながら試験を続行する。

3-4. 試験結果概要

試験結果を表-5に示す。また、表-6に各工法の試験終了時における継手部の状況を示す。

7工法の曲げ性能としては2つのグループに分かれた結果となっている。HLとOMGは曲げ角度が10度を越えても漏水が発生せず、大きな変位追従能力を有していることが分かった。特にHLは他の工法に比較して小さな荷重で大きな変形を許容する

表-5 継手部曲げ試験結果

工法名	最大荷重 (kN)	最大角度 (°)	漏水状況
ICP	22.58	3.4	上部破断漏水
FFT	39.59	5.8	下部座屈漏水
ALZ	30.14	4.7	ヒューム管内部右上部破断漏水
INS	22.66	2.8	上部中央破断漏水
OMG	21.60	12.3	なし
HL	7.57	11.8	なし
SLS	29.05	2.7	下部座屈漏水

表-6 試験終了時の継手部状況

ICP		
FFT		
ALZ		
INS		
OMG		
HL		
SLS		

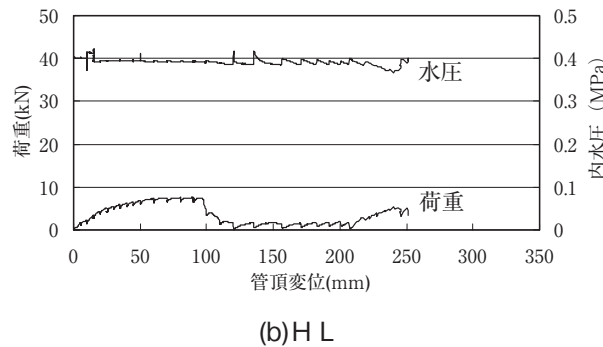
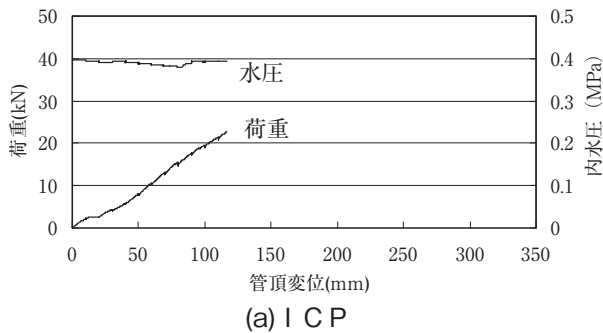


図-5 管頂変位と荷重・内水圧の変化

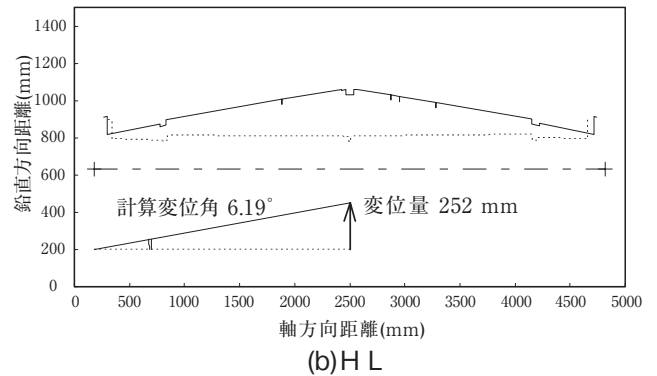
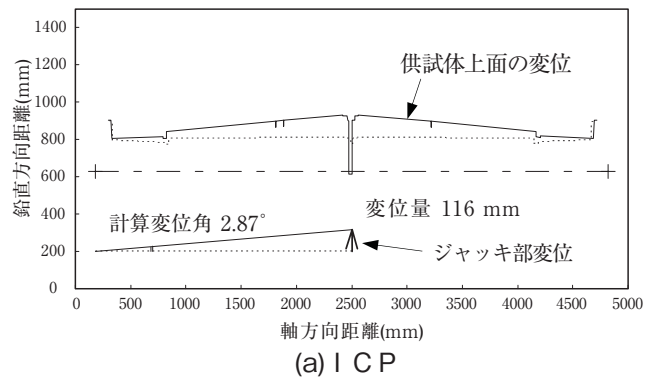


図-6 破壊時曲げ変形状況

構造であり、管の構造形式が反映された曲げ特性を表している。

また例として、ICPとHLに関して図-5に変位と荷重の関係ならびに、図-6に破壊時の曲げ変形状況の測定結果を示す。

3-5. 考察

管の軸方向には老朽管の構造が残存していると考え、更生管に大きな剛性を期待する必要は無く、老朽管の継手部に集中する曲げに対する変形能力が要求される。ただし、老朽管の折損などが有る場合には、ある程度の管軸方向の補強も要求されることも皆無では無いと考えられるため、通常の埋設管に

期待される管軸方向の変形性能と同等の機能まで回復させることも更生管の要求性能としての一つの考え方である。

全項で述べた材料単体の引張試験から求まる抵抗曲げモーメントと比較すると、抵抗曲げモーメントが大きい工法と、継手部曲げ試験における最大荷重の大きい工法とは共通しており、妥当な実験結果であると考えられる。

以上が今回実施した材料単体の軸方向性能試験ならびに継手部の曲げ試験の試験結果である。

次回は、土槽による埋設試験の試験方法と結果について報告する予定である。

【参考図書】

- 1) 土地改良事業計画設計基準 設計「パイプライン」技術書 (平成10年3月 農林水産省構造改善局)

連載講座小委員会

委員長	宮川 恒夫	EX・ダンビー協会	技術委員
委員	大塚 孝	3SICP 技術協会	技術部長
委員	渡辺 充彦	積水化学工業(株)	環境土木システム事業部 課長
委員	眞田 和彦	光硬化工法協会	技術委員長
委員	池ヶ谷貴之	オールライナー協会	技術委員