

## 老朽管の改修方法に関する共同研究

## 第4回 単独管埋設試験・概要と考察

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）が公募した共同研究課題「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』」（以下、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4回目の今回は「単独管埋設試験・概要と考察」を説明する。

## 1. はじめに

現在、更生管の構造設計では、既設管の構造的な耐力を無視して新たに設けられる更生管のみで土圧や水圧に対する構造的な安全性を確保することとしている。しかし、現実には更生段階の既設管は老朽度がかかなり進んだ終局状態においても、ある程度の構造的な耐力を有している（更生管設置のための有効断面を維持している）ことから、今回は既設管の耐力も考慮した構造設計の有効性を検討していく。

## 2. 更生管埋設試験

## 2-1. 試験目的

更生管単体と、既設管に施工した更生管を用いた埋設試験を行い、それぞれの土中挙動を詳細に検証し、既設老朽管の外圧強度への寄与効果を明らかにすることを目的とする。

## 2-2. 供試体

## 2-2-1. 供試体の選定

今回の試験に参加する更生工法は7工法<sup>注-1</sup>であるが、更生管の曲げ剛性は図-1のように大きく2つのグループに分かれる。そこで、各グループの中

から代表工法1工法を選定し供試体とした。

注-1： 図-1「管片外圧試験」の段階までは8工法が参加。

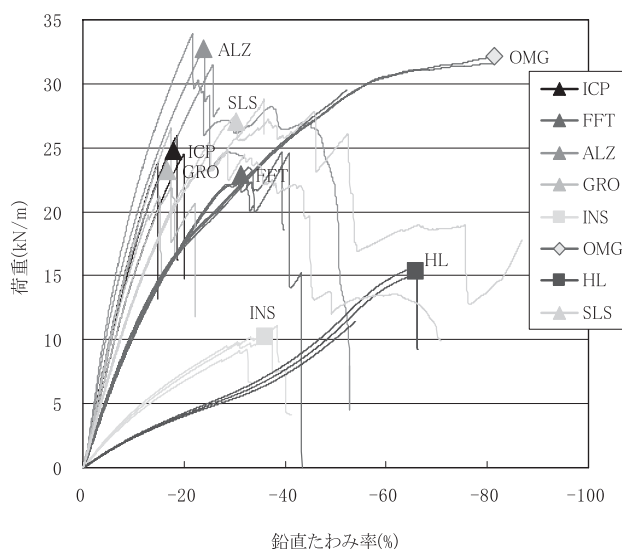


図-1 荷重-鉛直たわみ率曲線（管片外圧試験より）

表-1 グループ分け

高剛性グループ	OMG *, ICP, FFT, ALZ, SLS
低剛性グループ	INS *, HL

\* : グループ代表工法

## 2-2-2. 供試体

本試験においては、下記の3種類の管を用いて埋設試験を行い、既設老朽管の寄与効果を求める。

- ・ 更生管単体：外径 =  $\phi$  300、長さ = 500mm
- ・ 老朽管単体：内径 =  $\phi$  300、長さ = 500mm
- ・ 老朽管 + 更生管：上記2種類の組み合わせ

※ 更生管厚の算出は、農水省の「パイプライン技術書」<sup>1)</sup>の算出方法に従う。

※ 「土被り2.0m相当の自立管仕様」は管片外圧試験と同じ条件である。

※ 老朽管は、ヒューム管を完全に4分割に切断したものをを用いた。

※ 図中の「OMG1/2」はOMG自立管仕様の1/2の更生管厚さを表す。

## 2-3. 試験方法

### 2-3-1. 試験方法概要

供試管を所定の条件で埋設後、以下の3試験を連続して行う。但し、内水圧は試験装置の構造の都合上、付加しないで行うこととした。

### 1. 試験土槽と埋設条件

試験土槽は幅2.0m×奥行0.968m×高さ1.0m。平均乾燥密度 $1.47 \text{ g/cm}^3$ の豊浦砂を空中落下法により均一地盤を作製した。

### 2. 静的載荷試験-1

静的荷重 最大T-25後輪相当荷重まで、段階的に載荷する。

### 3. 繰返し載荷試験

繰返し載荷 土被り2m相当荷重～T-25後輪相当荷重の範囲で10万回(0.5Hz、エアバック)、100万回<sup>注-2</sup>(2.5Hz、載荷板)の回数、速度で載荷する。

### 4. 静的載荷試験-2

鉛直たわみ率が5%まで静的に載荷する。

注-2：試験開始時は繰返し回数を10万回としていたが、試験経過から10万回では少ないと判断され、100万回の載荷を行うこととした。載荷回数の増加に伴い載荷速度を0.5Hzから2.5Hzへ変更した。その際、エアバックでは2.5Hzの速度に追従できないため、載荷板を使用することとした。



写真-1 埋設載荷試験機（エアバック仕様）

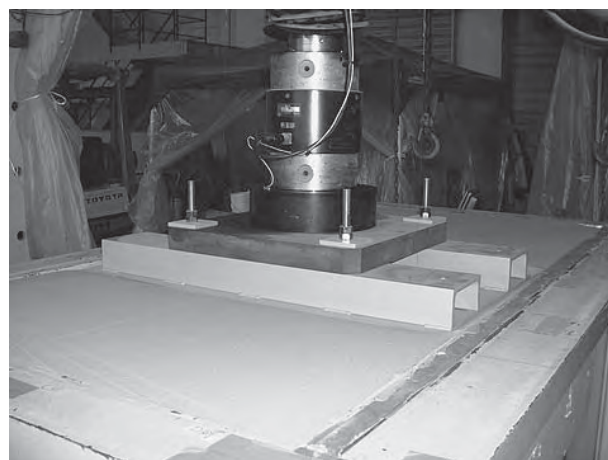


写真-2 埋設載荷試験機（載荷板仕様）

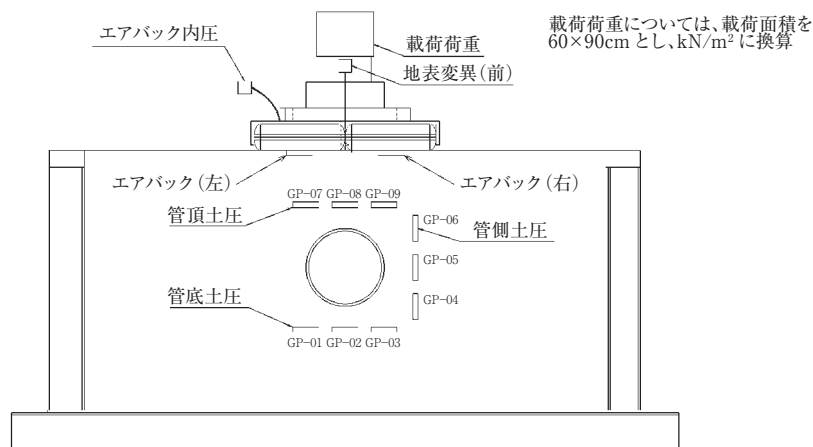


図-2 埋設試験載荷・地盤内土圧計配置

## 2-3-2. 測定項目

埋設試験においては以下の項目について測定する。

- ① 更生管のたわみ量（鉛直・水平）
- ② 更生管の内面ひずみ（半周11点）
- ③ 既設管外周面に作用する土圧（半周5点）
- ④ 管近辺の土圧（9点：図-2参照）
- ⑤ 地盤の沈下量（2点：載荷板、横断方向側部）

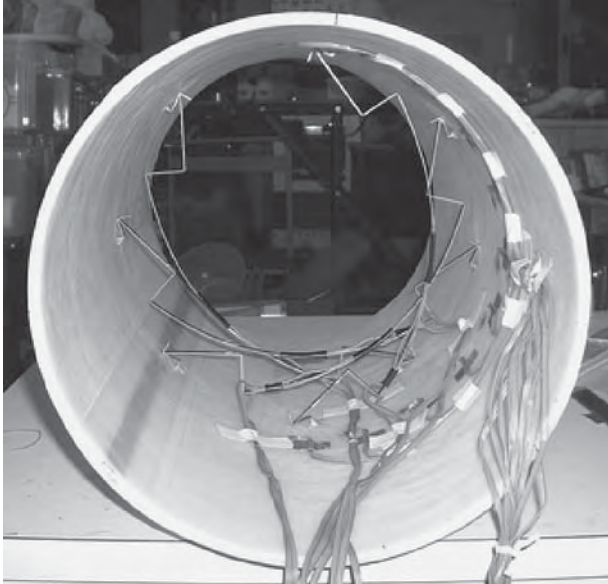


写真-3 ひずみゲージ・燐青銅たわみ計設置状況

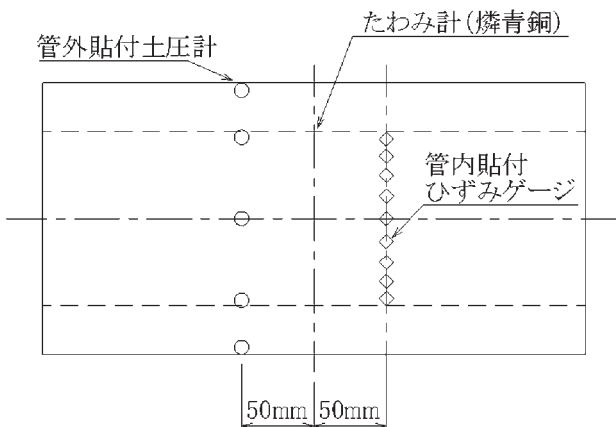


図-3 計測器の設置位置

埋設試験時の供試管と周辺土砂は、供試管の左右において均等な動きをすると推測される。ひずみ計は管頂と管底を含めた半周に設置し、たわみ計は確認のため左右両方に設置する。

## 2-4. 試験結果概要

### 2-4-1. 静的載荷試験-1

#### (1) 鉛直たわみ率と載荷荷重の関係

埋設された供試管は、上載荷重の増加に応じて鉛

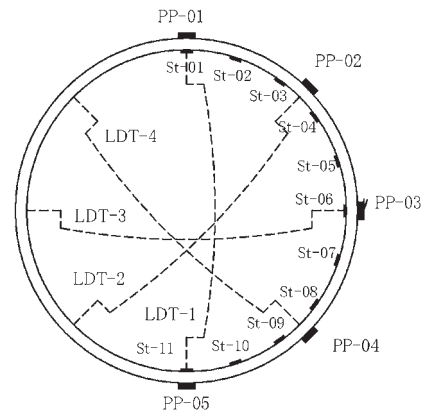


図-4 測定装置設置状況（更生管単体）

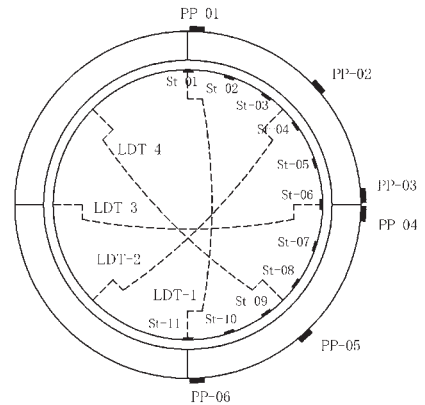


図-5 測定装置設置状況（老朽管+更生管）

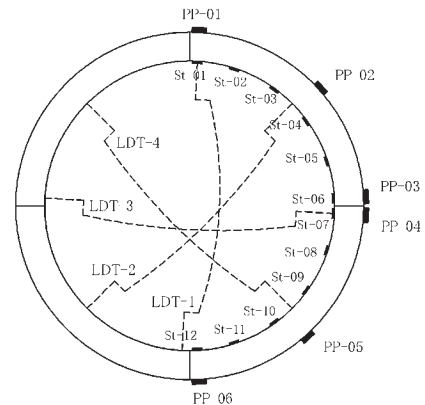


図-6 測定装置設置状況（老朽管単体）

凡例：

PP-01～PP-06：管の外側に貼り付けた土圧計

LDT-1～LDT-4：燐青銅のたわみ計

St-01～St-12：管内面に貼り付けたひずみ計

直たわみ率が変化する。老朽管単体や更生管単体のケースよりも、老朽管+更生管のケースの方が高い剛性であり、同じ荷重を受けても鉛直たわみ率は小さくなると考えられる。図-7、図-8により3つの鉛直荷重と、鉛直たわみ率の関係を以下に示す。

更生管単体よりも老朽管+更生管の方がグラフの右上側にあり、剛性が高い結果となった。これは、更生管外周の既設管による補強効果、あるいは更生管に作用する水平方向の受動土圧分布などの変化の

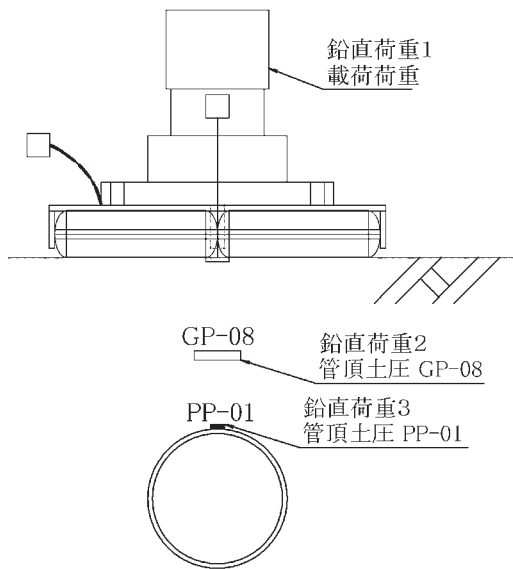


図-7 3つの鉛直荷重

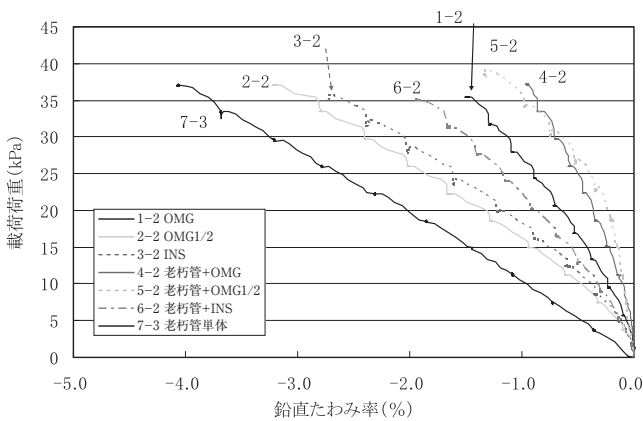


図-8 載荷荷重－鉛直たわみ率（載荷板）の例

結果として管全体の剛性が高まったものと考えられる。このことは、図-9、10に示す管頂土圧と鉛直たわみ率の関係でも同様の結果を示している。

## (2) 管ひずみと載荷荷重の関係

図-11は静的載荷試験結果のうち、横軸を管頂ひずみ、縦軸を管頂土圧 (GP-08) としたグラフで、載荷板による試験ケースを比較したものである。グラフの曲線が右下にあるほど荷重を受けた際のひずみが大きいことを示している。

図-11のグラフを比較すると、更生管単体よりも老朽管+更生管のケースの方がグラフの左上側にあり、管頂における更生管のひずみが小さくなっている。また、それぞれのケースで若干のバラツキが見られるものの、既設管の存在にかかわらず更生管の管頂部のひずみは、それほど大きくない。すなわち既設管の分割部分に当たる更生管には大きな集中応力が生じていないことが分かる。

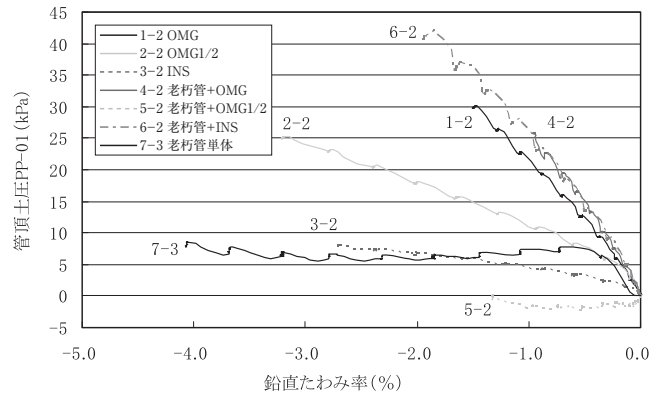


図-9 管頂土圧 (PP-01)－鉛直たわみ率（載荷板）

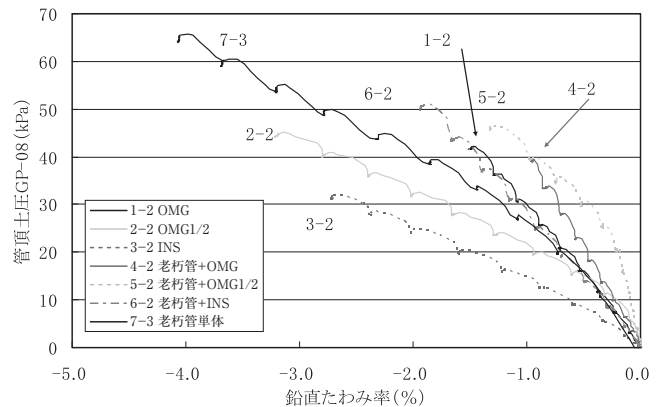


図-10 管頂土圧 (GP-08)－鉛直たわみ率（載荷板）

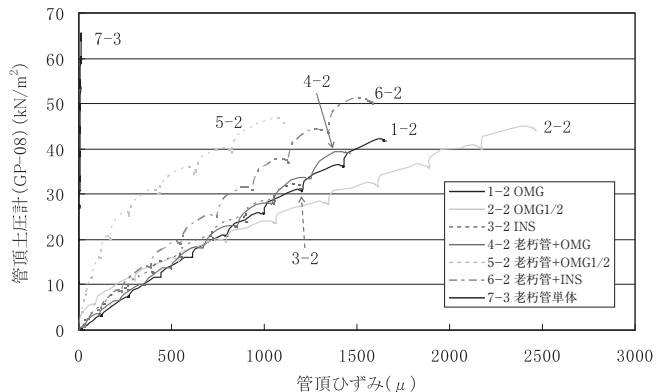


図-11 載荷荷重－管頂ひずみ（載荷板）の例

エアバックによる試験ケースでも同様の傾向が見られ、既設管の補強効果であると推測される。

## 2-4-2. 繰返し載荷試験

### (1) 繰返し載荷回数と鉛直たわみの関係

図-12は繰返し載荷試験のうち、エアバックによる試験ケースを比較したものである。鉛直たわみ率は静的載荷試験の残留ひずみを考慮せず、繰返し載荷によって増減するたわみ率のうち、計測時間帯における最大値を示している。また、グラフが水平に近いほど繰返し載荷によるたわみが小さいことを示している。比較すると、更生管単体よりも老朽管



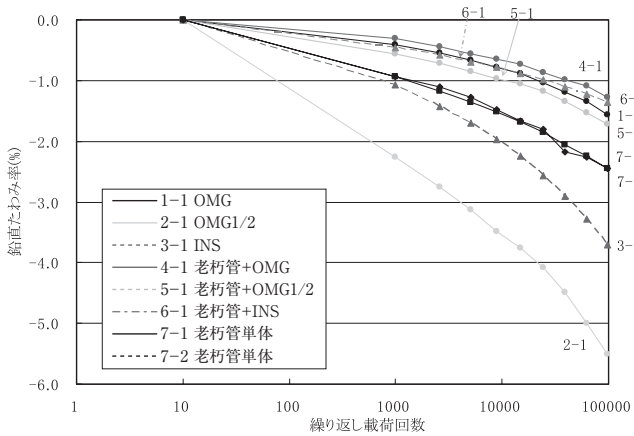


図-12 繰返し回数-鉛直たわみ率(最大値・エアバック)

+更生管の方が平坦なグラフとなった。これは、更生管外周の既設管による補強効果などの影響が大きいことをあらわしている。

### (2) 繰返し载荷回数と管ひずみの関係

図-13は繰返し载荷回数と、管内に設置したひずみゲージによる計測値との関係を示したものである。

管頂ひずみは静的载荷試験の残留ひずみを考慮せず、繰返し载荷において増減する荷重に対し、計測時間帯における最大値を示している。また、グラフが水平に近いほど繰返し载荷による管頂のひずみが小さいことを示している。結果を比較すると、更生管単体よりも老朽管+更生管の方が概ね平坦なグラフであり、繰返し载荷に対する管頂ひずみが小さい結果となった。

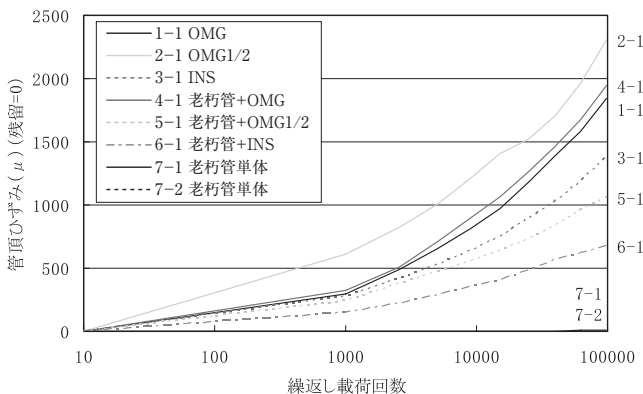


図-13 繰返し回数-管頂ひずみ最大値(エアバック残留ひずみ=0)

### 2-4-3. 静的载荷試験-2

繰返し载荷試験後に管の特性を評価するために、再度鉛直たわみ率が5%までの静的な载荷試験を実施した。地盤は繰返し载荷の影響を受けているので、

初期の均一な状態ではなく、緩みや密実化が生じているので単純に初期の変形曲線と比較することはできないが、更生管の違いによる相対的な特性の変化を見ることができる。

### (1) 载荷荷重と鉛直たわみ率の関係

図-14は5%载荷試験のうち、载荷板によるケースを比較したものである。グラフの曲線が右上にあるほど、荷重を受けてもたわみ率が小さい、即ち剛性が高いことを示している。グラフを比較すると、更生管単体よりも老朽管+更生管の方がグラフの右上側にあり、剛性が高い結果となった。これも既設管の補強効果であると推測される。

### (2) 管ひずみと载荷荷重の関係

図-15は5%载荷試験のうち、エアバックによる試験ケースを比較したものである。グラフの曲線が左上にあるほど、荷重を受けてもひずみが小さいことを示している。

老朽管単体のケースでは、ひずみが殆んど計測されていない(図-15の左端)。これは、既設管が管

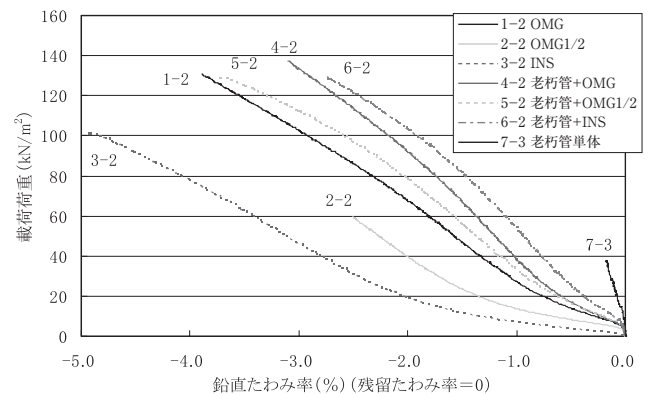


図-14 载荷荷重-鉛直たわみ率(载荷板・残留たわみ=0)

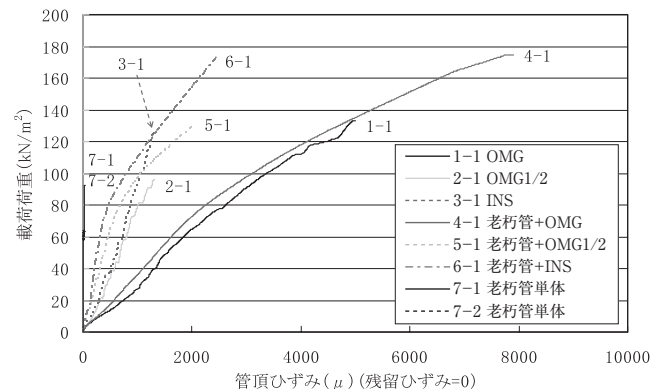


図-15 载荷荷重-管頂ひずみ(エアバック・残留ひずみ=0)

軸方向に4分割されており、管体のひずみではなく分割部分の折れ曲がりにより、管がつぶれたと考えられる。この傾向は載荷装置(エアバック、載荷板)、ひずみ測定位置(管頂、管側、管底)の違いによらず、同様な結果である。グラフを比較すると、更生管単体よりも老朽管+更生管の方がグラフが左上側にあり管頂ひずみが小さい結果となり、ここでも既設管の補強効果を示している。

## 2-5. 考察

静的載荷試験の図-8～10や図-14のグラフ(荷重-鉛直たわみ率曲線)において、更生管単体のケースと老朽管+更生管のケースを比較すると、後者のほうが鉛直たわみ率が小さくなっており、更生管外周の既設管による補強効果であると推測される。

また、図-11のグラフ(管頂における土圧-ひず

み曲線)においては、既設管が更生管を均一に拘束するのではなく、既設管の変形に応じて発生する管側部の受動土圧や管底部の反力などの微妙な相違の影響を受けて既設管の切断部が更生管に集中的な作用を及ぼすことが考えられる。

一方、繰返し載荷試験でも鉛直たわみ率については、静的載荷試験と同様に既設管の補強効果が示されているものの、管ひずみでは大きな変化が見られないケースもある。しかし、実際には有り得ないレベルまで既設管にダメージを与え(4分割に切断)ているにもかかわらず、概ねのデータでは既設管の寄与効果が現れているものと考えられる。

今回は、「農業用水管路に関する単独管更生工法の適用における設計手法」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