

既設老朽管の損傷レベルが更生管力学挙動に与える影響

誌名	農業農村工学会論文集
ISSN	18822789
著者名	澤田,豊 園田,悠介 小野,耕平 井上,一哉 毛利,栄征 有吉,充 河端,俊典
発行元	農業農村工学会
巻/号	82巻3号
巻号補足	
掲載ページ	p. 157-163
発行年月	2014年6月

既設老朽管の損傷レベルが更生管力学挙動に与える影響

澤田 豊* 園田悠介* 小野耕平* 井上一哉*
毛利栄征** 有吉 充** 河端俊典*

* 神戸大学大学院農学研究科, 〒657-8507 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1

** (独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所, 〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

要 旨

近年, 耐用年数を迎える農業用管路の増加に伴い, 非開削での施工が可能な管路更生工法の採用が進展している。しかしながら, 更生管の力学挙動は未解明で, 設計手法も確立されていない現状にある。更生工法では, 老朽化した既設管を撤去せずに管路を更新するため, 半永久的に更生管外周に既設管が残存する。本研究では, 既設管損傷レベルと荷重条件を変化させた土中埋設実験を実施し, 既設管が更生管力学挙動に与える影響について検討した。その結果, 既設管損傷レベルの進行に伴い, 更生管のたわみが増大することが明らかになった。また, 損傷状態によっては, 既設管と更生管が点接触することで, 局所的に卓越したひずみが発生することがわかった。さらに, 地表面偏心荷重の場合, ひずみが卓越する箇所が損傷レベルにより異なることが明らかになった。

キーワード: パイプライン, 更生工法, 模型実験, 土圧, ひずみ, 偏心荷重

1. はじめに

我が国の農業用基幹水路は総延長49,000kmに及ぶが, 近年, 標準的な耐用年数を経過する水路が増加し(農林水産省農村振興局, 2013), 早急かつ適切な更新が求められている。こうした中, 農業用管路においては管路更生工法の採用が進展している。老朽既設管を撤去して再構築する開削工法と比較して, 地盤に既設管を残存させたまま新たな管を挿入する更生工法は, 非開削で効率的な施工が可能である。

現在の農業用管路に関する設計基準は, Marston (1930) と Spangler (1941) の基礎理論を一部修正した Howard (1977) の研究成果に基づき, 我が国の地質, 地形ならびに施工方法に対応できるよう改善がなされてきた(農林水産省, 2009)。しかしながら, 更生管外周に既設管が残存する更生工法に関しては全く規定されていないのが現状である。更生工法の合理的で安全な設計を確立するためには, 残存する既設管が更生管の力学挙動に与える影響を把握することが必要である。

更生管路に関する初期的な研究として, Falter (1996) は, 下水道の改修に使用されるライナー工法を対象に, 外水圧を受けるライナーの構造解析を実施し, 既設管との隙間や初期形状の影響について検討している。高橋ら (2002) は, 高密度ポリエチレン管単体とその外側に陶管の破片を設置した実規模実験, 遠心力模型実験及びFEM解析を実施した。その結果, 既設管が損傷度に応じて, 外力を分担することから, 更生管に発生するひずみやたわみが減少することを

示した。すなわち, 既設管が内側の更生管を補強すると結論付けた。また, Gumbel et al. (2003) は, 更生管にPVC管, 既設管にアルミニウムを用いた遠心力模型実験を実施し, 既設管の劣化が進行するほど更生管の変形量が増大することを明らかにした。さらに, Spasojevic et al. (2007) は同じ更生管と既設管を用いて, 地盤密度, 土被り厚, 空洞発生の有無の条件を変えた遠心力模型実験を実施した。その結果, 最も変形が大きなケースでも3.2%程度のたわみ率にとどまるとした。しかしながら, 新しい技術であるためデータの蓄積が十分ではなく, 上記のように結果が異なる文献も散見されるのが現状である。とくに, 既設管の損傷レベルを数多く設定した研究は少なく, また, 偏心荷重を受けた場合の更生管埋設挙動も明らかになっていない。

本研究では, 更生管外周に損傷した既設管が存在する状況を再現した土槽内での埋設模型実験を実施した。条件として, 既設管損傷レベル(分割数により4種類)と荷重条件(直上, 偏心)を変化させ, 既設管の損傷レベルが更生管の力学挙動に与える影響と偏心荷重下での埋設挙動について検討した。

2. 実験概要

2.1 供試管

内挿する更生管として, JIS-K6741 に規格される硬質塩化ビニル管 VU (薄肉管) (以下, 塩ビ管) を使用した。諸元を Table 1 に示す。

老朽化した既設管として, Fig.1 に示すように, 変形が無

Table 1 更生管（硬質塩化ビニル管）諸元
Dimensions of inner pipe

外径 D (mm)	管厚 t (mm)	環剛性 EI/D_2^3 ※ (kN/m ²)
318.0	9.8	9.0

※ E : ヤング率, I : 単位奥行き当たりの断面二次モーメント,
 D_2 : 管厚中心直径

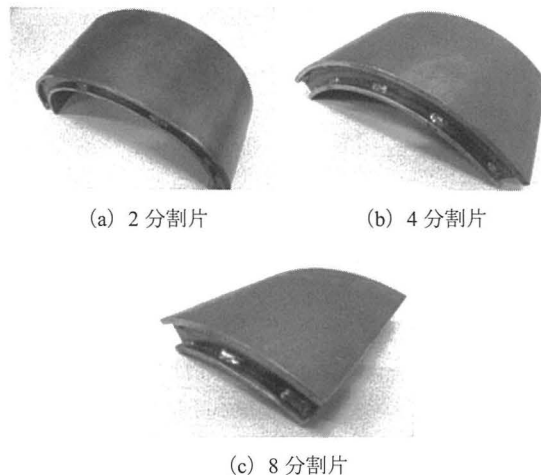


Fig.1 既設管の分割片
Segments of outer aging pipe

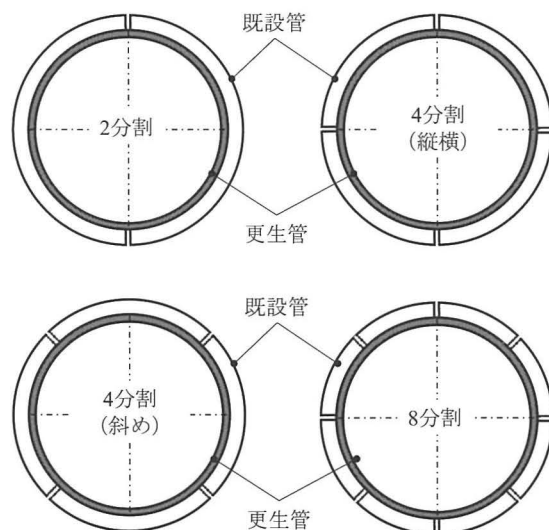


Fig.2 既設管損傷状態の模式図
Schematic diagrams of damage levels of outer aging pipe

視できるスチール製の分割片を用いた。管は一般的に管頂部、管底部、管側部において損傷を受けやすいこと、地震時のせん断変形により斜め方向（斜め45度及び135度）に損傷が発生することを考慮して、**Fig.2**に示すように、2分割、4分割、8分割で損傷状態を再現した。なお、隣接する分割片の隙間を1mmとし、分割片の厚さ（31.8mm）及び重量は農業用管路で採用実績の多いヒューム管に合わせた。

供試管は、**Fig.2**に示す4種類と更生管単体で埋設した場合を加えた計5種類とした。なお、更生工法では、既設管

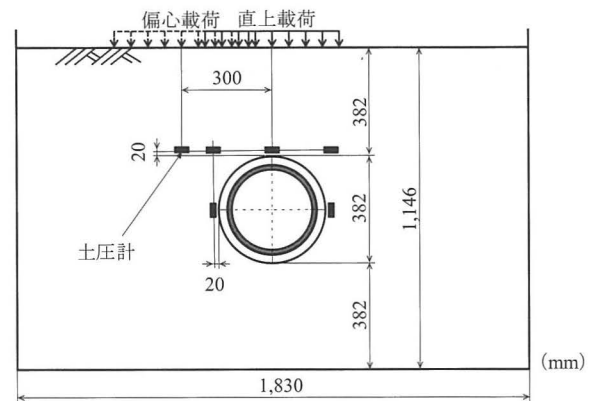


Fig.3 模型断面図
Cross section of experiment

Table 2 埋戻し材料の特性
Properties of backfill material

土粒子密度 (g/cm ³)	2.64
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.58
最小乾燥密度 (g/cm ³)	1.23
内部摩擦角 (°)	39.8
粘着力 (kN/m ²)	0

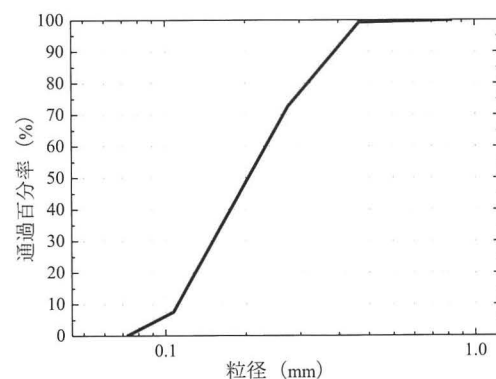


Fig.4 混合珪砂の粒径加積曲線
Grain size accumulation curve of backfill material

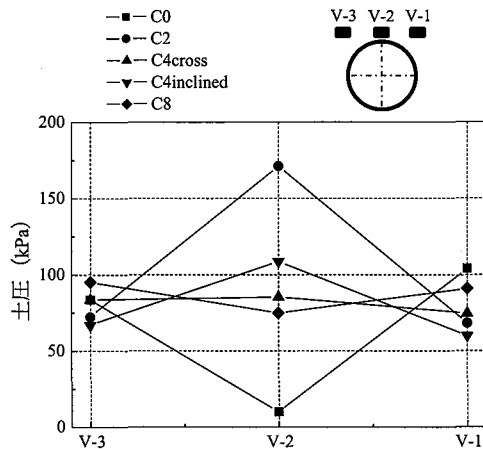
と更生管の間に充填剤を注入する場合もある。本実験では、既設管と更生管は隙間なく配置されているものの、固定はされておらず、相互に滑動できる状態とした。供試管は計測用の本管（管長 300mm）を中央に配置し、壁面と砂との摩擦の影響を軽減するために、本管の前後にダミー管（管長 150mm）を埋設した。

2.2 模型地盤

Fig.3に模型断面図を示す。土槽は鋼板製で、幅1,830mm、高さ1,240mm、奥行き630mmを有する。埋戻し材料には珪砂6号と7号の混合砂（以下、混合珪砂）を使用した。混合珪砂の物理特性を**Table 2**に、粒径加積曲線を**Fig.4**に示す。計量された混合珪砂を、所定の高さ（1層50mm）になるようにハンドコンパクターにより締固め、乾燥密度 $\rho=1.56\text{g/cm}^3$ （相対密度95%）の密詰め状態に作製した。地盤作製時、既設管分割片が移動するのを防ぐため、粘着テープにより固定し、埋戻しとともにテープを除去した。土被りは、土被

Table 3 実験条件
Experimental conditions

ケース	载荷位置	既設管
C0	直上 (C)	なし (更生管単体)
C2	直上 (C)	2 分割
C4cross	直上 (C)	4 分割 (縦横)
C4inclined	直上 (C)	4 分割 (斜め)
C8	直上 (C)	8 分割
E0	偏心 (E)	なし (更生管単体)
E2	偏心 (E)	2 分割
E4cross	偏心 (E)	4 分割 (縦横)
E4inclined	偏心 (E)	4 分割 (斜め)
E8	偏心 (E)	8 分割

Fig.5 直上载荷ケースの鉛直土圧 (100kPa 载荷時)
Vertical earth pressures (centric load, 100kPa)

り厚/外径を全てのケースで同一とするため、既設管がある場合382mm、既設管がない場合312mmとした。

2.3 実験条件

埋戻し完了後、幅500mm、奥行き600mm、厚さ25mmの鉄板を介して、油圧ジャッキにより170kPa (2分割のケースでは185kPa) まで段階的に载荷した。また、载荷位置を300mm偏心させた条件でも実施した。実験条件をTable 3に示す。

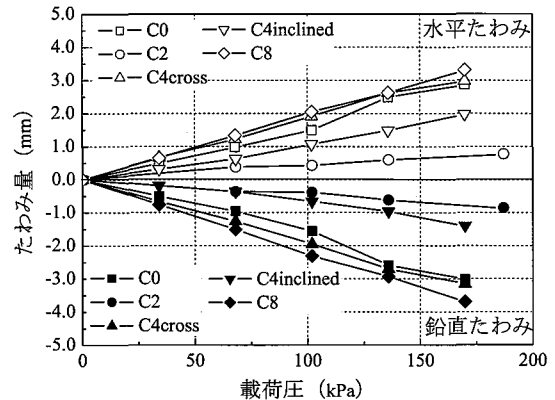
2.4 計測項目

更生管の力学挙動を詳細に把握するため、内面にひずみゲージを11.25度間隔 (計32枚) で貼付し、周方向ひずみを計測した。また、鉛直及び、水平方向にたわみ計を取り付けた。管周辺には、鉛直・水平土圧を計測するため、土圧計 (東京測器研究所製, KDE-200kPa) を設置した (Fig.3)。なお、全ての計測は、本管の軸方向中心位置において実施された。

3. 結果と考察

3.1 更生管外周に残存する既設老朽管の剛性

埋設管がたわみ性もしくは剛性管であるかは、管の剛性だけではなく、地盤の剛性も考慮して決定される (Allgood, 1972)。PC 管やヒューム管が単体で埋設された場合には、

Fig.6 直上荷重と鉛直・水平方向たわみの関係
Relationships between vertical loads and deflections

剛性管として挙動すると考えられるが、老朽化により損傷し、更生管が新たに内挿された場合、既設管が依然として剛性管の挙動を示すかについては不明である。Fig.5に直上100kPa 载荷時における管上部に作用する鉛直土圧 (V-1~V-3) を示す。直上からの载荷であるため、V-1とV-3は左右対称で同程度の土圧を示し、ほとんどのケースで地表面载荷圧100kPaよりも小さい。一方、管頂上の土圧 (V-2) は、既設管の損傷レベルにより異なることがわかる。ここで、管頂上の土圧の大きさにより、次に示すような3種類のグループに分けることができる。①左右の土圧と比較して管頂上の土圧が著しく小さい更生管単体で埋設した場合、②管頂上の土圧が著しく大きい2分割の場合、③左右の土圧が変わらない4分割 (縦横)、8分割、4分割 (斜め) の場合。ただし、4分割 (斜め) は左右と比較して若干管頂上の土圧が大きく、2分割にも近い傾向も示している。たわみ性管の場合、その変形により、管頂への土圧は緩和され、反対に剛性管の場合、管頂に土圧が集中すること (東田・吉村, 1999) を考慮すれば、更生管単体の場合、たわみ性管の挙動を示し、2分割の場合、剛性管の挙動を示しているものと理解できる。すなわち、既設管の管頂と管底に亀裂が生じて、外荷重に対する剛性は十分に保持されているものと考えられる。一方、4分割 (縦横)、8分割、4分割 (斜め) は、鉛直土圧から判断した場合、たわみ性管と剛性管の中間的領域であると判断できる。高橋ら (2002) が指摘するように、亀裂などにより既設管の剛性が失われた場合においても、地盤の拘束力により軸力は伝達され、外荷重の一部が既設管で負担されたものと考えられる。

3.2 更生管のたわみ

Fig.6に直上荷重と鉛直・水平方向のたわみの関係を示す。载荷によるたわみ増分に着目するため、埋戻し後の状態を0とした。2分割された既設管が存在する場合、更生管のたわみは最も小さいことがわかる。減少割合は、更生管単体と比較して25%程度である。2分割の場合、既設管の剛性は依然保たれており、剛性管として外力の大部分を負担したのと考えられる。次にたわみが減少したケースは4分割

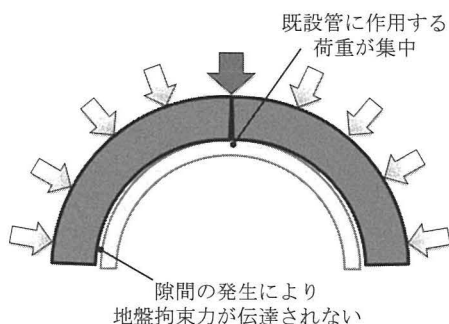


Fig.7 更生管に作用する集中荷重の模式図
Schematic diagram of concentrated load acting on rehabilitated pipe

(斜め)である。更生管単体と比較すると、たわみは半分程度である。直上から荷重が作用した場合、たわみ性管の曲げモーメントは管頂部、管底部、管側部で大きくなるが、4分割(斜め)のケースでは、それらの位置に亀裂がなく、拘束されているために、たわみが大幅に抑制されたと理解できる。一方、4分割(斜め)と同様に4箇所にも亀裂が存在する4分割(縦横)のケースでは、更生管単体と同程度のたわみを示すことがわかる。これらの結果から、亀裂箇所と荷重が作用する方向の両者の関係性が更生管の変形に影響を及ぼすものと考えられる。また、8分割のケースでは、鉛直・水平方向とも更生管単体よりもたわみが大きい結果となった。

土圧の結果において4分割(縦横)と8分割は、たわみ性管と剛性管の間中間的な挙動を示したが、たわみの結果では、更生管単体の場合と比較して、同程度か若干増加する傾向である。既設管は外荷重を軸力として受け持つ特性があるにもかかわらず、既設管がない場合と同程度以上のたわみとなる原因として、後述するひずみ分布から明らかのように、更生管の管頂(管底)への荷重の集中であると考えられる。すなわち、既設管と更生管が完全に一体化していない場合、Fig.7に示すように、既設管は更生管に点で接触すると考えられる。同時に、既設管と更生管に隙間が生じるため、更生管の管頂・管底にのみ荷重が作用し、たわみが増大したものと考えられる。

3.3 局所的な変形により生じるひずみ

Fig.8に直上170kPa 荷重時の内面周方向ひずみの分布を示す。なお、荷重による影響を把握するため、埋戻し後の状態を0とした。2分割のケースでは、ひずみが極めて小さいため、割愛した。既設管がある場合、全てのケースで更生管単体のひずみ分布形状とは異なり、既設管が更生管の変形挙動に影響を及ぼすことがわかる。4分割(縦横)と8分割では、先述したように、既設管と更生管が点接触するため、管頂ひずみが卓越していることがわかる。とくに、8分割では斜め方向にも亀裂があるため、より管頂部に既設管が点接触しやすい状態となり、ひずみの集中が顕著となったものと考えられる。4分割(斜め)では、亀裂箇所にも局所的に大きな引張りひずみが生じた。こうしたひずみ分布の

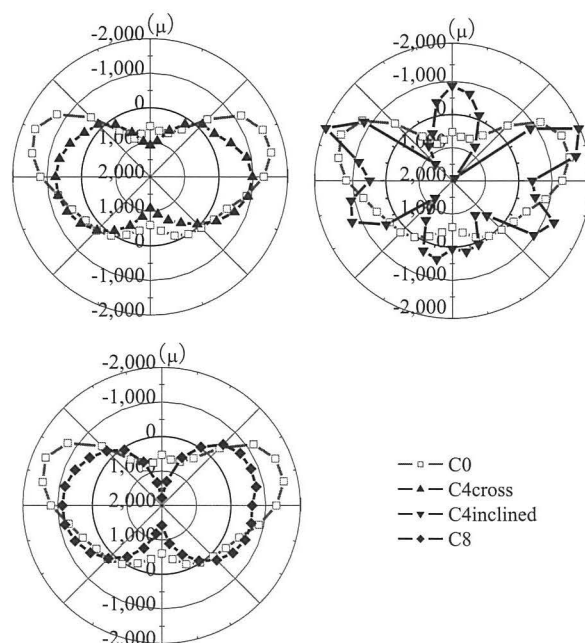


Fig.8 内面周方向ひずみ分布(直上170kPa 荷重時)
Distributions of inner circumferential strains (centric load, 170kPa)

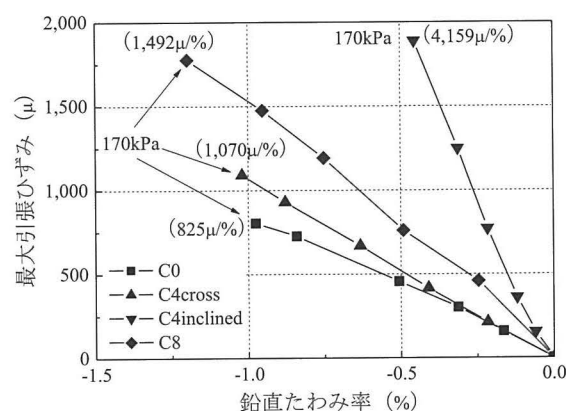


Fig.9 たわみ率と最大引張りひずみの関係
Relationships between ratios of deflection and maximum tensile strains

状態で、地震等の地盤せん断変形を受けた場合、管体破壊の危険性はさらに増大する。Fig.6に示すように、このケースの鉛直・水平たわみは、更生管単体と比較して、半分程度であったことを考えると、たわみだけでは、管の局所変形を評価できないことは明らかである。

管体破壊の危険性を評価するため、Fig.9にたわみ率(%)と管周方向に発生する最大引張(正)ひずみを示す。また、図中の括弧内の数値は、たわみ1%当たりの発生ひずみを示す。いずれのケースもひずみはたわみ率に比例して線形に増加することがわかる。たわみ1%当たりの発生ひずみが最も大きいケースは4分割(斜め)で4,159μである。仮にたわみ性管の許容たわみ率である5%まで変形したとすれば、ひずみは20,000μを超える計算となる。170kPa 荷重した時点のたわみ率は残り3ケースの半分程度であるが、小さなたわみでも、亀裂箇所でもひずみが集中している可能性がある。すなわち、その状態で地震等の強いせん断を受けた場

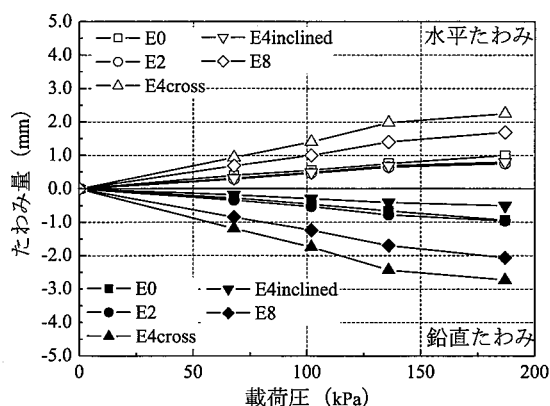


Fig.10 偏心荷重と鉛直・水平方向たわみの関係
Relationships between eccentric loads and deflections

合の危険性が懸念される。4分割（縦横）及び8分割においても、たわみ1%当たりの発生ひずみは更生管単体よりも大きい。これは、先述したように、荷重が管頂に点的に作用することで、管体に局所変形が生じたためである。とくに、8分割の場合、たわみ1%当たり約 $1,500\mu$ のひずみが生じ、更生管単体の約2倍となった。許容たわみ率の5%まで変形した場合のひずみ約 $7,500\mu$ を発生応力に換算すると 25.0N/mm^2 となり、塩ビ管の許容曲げ応力 17.7N/mm^2 を上回る。8分割では、前節で示したように、管の変形量が更生管単体よりも増加する傾向にあることに加えて、同じ変形量でも局所的にひずみが発生する傾向が示された。本実験の8分割で考えた場合、たわみ率が4%の時点で、発生応力が許容曲げ応力を上回る。このように、従来の水平たわみ量を用いる設計手法で安全性が確保されている範囲内であっても、局所変形による管体破損の危険性があることがわかった。

3.4 偏心荷重下の更生管力学挙動

Fig.10に偏心荷重と鉛直・水平方向たわみの関係を示す。荷重によるたわみ増分に注目するため、埋戻し後の状態を0とした。2分割と4分割（斜め）では直上載荷時と同様にたわみが小さいことがわかる。更生管単体の場合は、直上載荷では最大約3mmのたわみであったものの、偏心載荷では、1mmに満たない。一方、4分割（縦横）では、直上載荷時の鉛直たわみ3.1mmに対し、偏心載荷時は2.7mmであり、前者ほど有意差は認められない。更生管単体と4分割（縦横）において傾向が異なる要因として、偏心荷重に対する変形挙動の差異が考えられる。ここで、Fig.11に偏心170kPa載荷時の内面周方向ひずみ分布を示す。なお、荷重による影響を把握するため、埋戻し後の状態を0とした。偏心載荷の場合、管には斜め方向から荷重が作用することが推測される。このことは、更生管単体の場合において、斜め方向に管が楕円変形していることから明らかである。この状態では、斜め方向のたわみ量は増加するものの、鉛直・水平方向のたわみ量の変化は極めて小さいものと考えられる。一方、4分割（縦横）の場合、管頂にひずみが集中することから、直

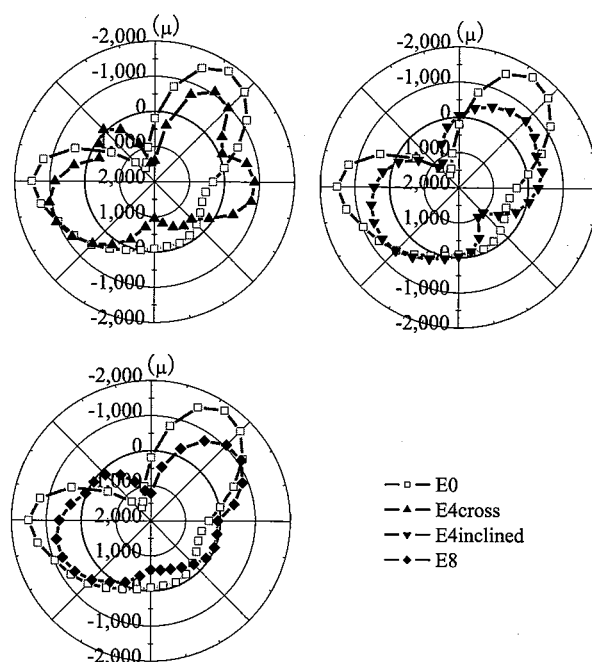


Fig.11 内面周方向ひずみ分布（偏心170kPa載荷時）
Distributions of inner circumferential strains (eccentric load, 170kPa)

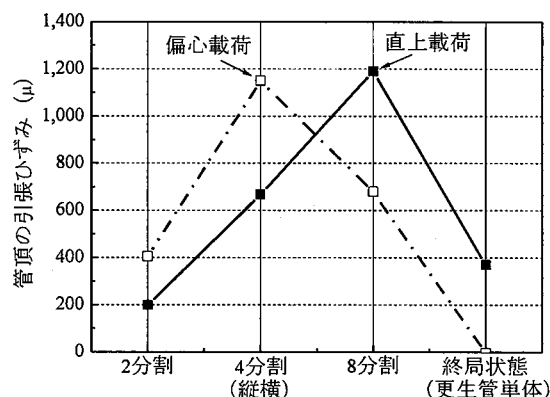


Fig.12 管頂の引張ひずみと既設管損傷レベルの関係
Relationships between tensile strains at top of pipes and damage levels of aging pipes

上載荷時の変形特性と類似していることがわかる。このことから斜め方向から作用した荷重が管頂に伝達されたものと理解できる。また、8分割の場合、4分割（縦横）と更生管単体との中間的なひずみ分布を示している。直上荷重に限らず、偏心荷重下においても管頂への荷重が集中することは、許容値を超える変形を招き、漏水や管体破損への危険性が考えられる。

Fig.12に既設管の損傷レベルと管頂に発生する引張ひずみの関係を示す。ここでは、2分割を最も既設管の損傷が小さい状態、4分割（縦横）、8分割を中程度の損傷状態、更生管単体を終局状態と見なす。直上載荷の場合、損傷の進行とともに管頂のひずみは増大する。一方、偏心載荷の場合、損傷状態が4分割において、管頂ひずみが最大を示し、その後減少する。いずれの載荷状態においても、更生管単体の場合、ひずみが減少することから、既設管の損傷が8分割よ

りもさらに進行し、地盤の拘束力を受けても剛性が完全に失われた状態であれば、ひずみの集中は緩和されることが予想される。すなわち、更生管の力学挙動を検討する場合、初期状態と終局状態だけではなく、その中間的な損傷レベルの検討も必要であることを示唆している。

4. まとめ

本研究では管路更生工法において、残存する既設老朽管が更生管の力学挙動に与える影響を検討するため、既設管の損傷レベルと載荷位置の条件が異なる埋設模型実験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ①既設管の管頂と管底にのみ亀裂がある場合、更生管のたわみ、ひずみとも大幅に減少した。
- ②管頂、管底、管側に亀裂が生じるなど、既設管の損傷が進行した場合、たわみは更生管単体と同等以上になった。この要因として、更生管と既設管に隙間が生じ、更正管の管頂部と管底部に集中荷重が作用することでたわみが増大することが示唆された。
- ③既設管は更生管に点で接触するため、亀裂箇所にも局所的なひずみが発生した。上下左右・斜め方向の 8 箇所にも亀裂が入った既設管の場合、更生管のたわみ 1% に対して発生するひずみは、更生管単体の場合と比較して約 2 倍となり、たわみだけでは、管体の局所変形の危険性を正しく評価できない可能性が明らかとなった。
- ④斜め方向のみに亀裂が入ったケースでは、管頂、管底、管側に亀裂がないことで鉛直・水平方向のたわみは大幅に抑制されるが、斜め方向において局所的なひずみが発生し、地震時における危険性が示唆された。
- ⑤偏心荷重下では、既設管の損傷状態によっては、更生管単体と比較して、最大で 3 倍近い鉛直たわみ量となることがわかった。偏心荷重下においても、管頂に荷重が集中することが要因であるが、これは、許容値を超える変形につながり、漏水や管体破損を招く危険性がある。
- ⑥既設管による地盤補強効果を合理的に反映する手法だけではなく、既設管と点接触することによる局所変形や、周辺環境の荷重条件を評価して、管の構造計算に取り入れる手法が必要であると考えられる。

謝辞：本研究は、JSPS 科学研究費補助金（基盤 A）（課題番号：

24248040、代表：河端俊典）の支援を受けて実施された。また、供試管作製など、高耐圧ポリエチレン管協会のご協力を得た。ここに記して感謝申し上げます。さらに、実験を遂行するに際して協力を頂いた平成 24 年度神戸大学農学部 3 年生三木太貴氏、村井和樹氏に感謝致します。

引用文献

- Allgood, J.R. (1972) : Summary of soil-structure interaction, *Naval civil engineering laboratory technical report*.
- Falter, B. (1996) : Structural analysis of sewer linings, *Trenchless Technology*, **11**(2), 27-41.
- Gumbel, J.E., Spasojevic, A.D. and Mair, R.J. (2003) : Centrifuge modeling of soil load transfer to flexible sewer liners, *New Pipeline Technologies, Security, and Safety*, ASCE, 352-362.
- Howard, A.K. (1977) : Modulus of soil reaction values for buried flexible pipe, *Journal of the Geotechnical Engineering Division*, **103**, 33-43.
- Marston, A. (1930) : The theory of external loads on closed conduits in the light of the latest experiments, *Bulletin 96*, Iowa Engineering Experiment Station.
- 農林水産省 (2009) : 土地改良事業計画設計基準「パイプライン」基準書・技術書。
- 農林水産省農村振興局 (2013) (参照 2013.12.18) : 農業生産基盤の整備状況, (オンライン), 入手先<http://www.maff.go.jp/j/council/seisaku/nousin/bukai/h24_4/pdf/ref-data4.pdf>
- Spangler, M.G. (1941) : The structural design of flexible pipe culverts, *Bulletin 153*, Iowa Engineering Experiment Station.
- Spasojevic, A.D., Mair, R.J. and Gumbel, J.E. (2007) : Centrifuge modelling of the effects of soil loading on flexible sewer liners, *Géotechnique*, **57**(4), 331-341.
- 高橋良文, 出口敏行, 李 黎明, 山田清臣 (2002) : たわみ性更生管における既設管の基礎効果とそのメカニズムに関する研究, *下水道協会誌論文集*, **39**(471), 103-115.
- 東田 淳, 吉村 洋 (1999) : たわみ性埋設管の合理的設計法の提案, *土木学会論文集Ⅲ*, **617**, 49-63.

[2014. 1. 27. 受稿, 2014. 3. 24. 閲読]

[この研究論文に対する公開の質疑あるいは討議(4,000字以内, 農業農村工学会論文集企画・編集委員会あて)は, 2014 年 12 月 24 日まで受付けます。]

Influences of Damage Levels of Outer Aging Pipes on Mechanical Behavior of Rehabilitated Pipes

SAWADA Yutaka*, SONODA Yusuke*, ONO Kohei*, INOUE Kazuya*,
MOHRI Yoshiyuki**, ARIYOSHI Mitsuru** and KAWABATA Toshinori*

* *Graduate School of Agricultural Science, Kobe University, 1-1, Rokkodai, Nada, Kobe, Hyogo 657-8507, JAPAN*

** *National Institute for Rural Engineering, 2-1-6, Kannondai, Tsukuba, Ibaraki 305-8609, JAPAN*

Abstract

Recently, trenchless rehabilitation methods for aging irrigation pipes are often used. In this method, a new pipe is inserted into an aging pipe. Therefore, the rehabilitated pipeline consists of the outer aging pipe and the inner rehabilitated pipe. However, the mechanical influences of the damaged outer pipes on the inner rehabilitated pipes are not clear. In the present study, in order to reveal the influences, model experiments were conducted under the different damage levels of the aging pipe and loading positions. Experimental results indicate that the deflection of the rehabilitated pipe increases according to the damage level of the aging pipe. In addition, the strain concentration occurs at the top and the bottom of the rehabilitated pipe due to the point contact of the edge of the aging pipe. It is also found that the deflection and the strain distribution of the rehabilitated pipe under the eccentric load are significantly affected by the damage level of the aging pipe.

Key words : Pipeline, Rehabilitation method, Model test, Earth pressure, Strain, Eccentric load