



# A Study on Dynamic Behavior for Buried Pipe Rehabilitation

Izumi, Akira

---

(Degree)

博士 (農学)

(Date of Degree)

2016-03-25

(Date of Publication)

2017-03-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第6652号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1006652>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



別紙様式3 (博士論文審査等内規第2条関係)

## 博士論文内容の要旨

氏 名 泉 明良

専攻・講座 食料共生システム学専攻・生産環境工学講座

論文題目 (外国語の場合は、その和訳を併記すること。)

A Study on Dynamic Behavior for Buried Pipe Rehabilitation

埋設更生管の動的挙動に関する研究

指導教員 河端 俊典

現在、農業用管路は、標準的な耐用年数である40年が経過し、老朽化による漏水や流下能力の低下が問題視されている。さらに、近年、阪神淡路大震災や東日本大震災等の大規模地震が発生しており、近い将来に南海トラフ地震の発生確率が極めて高くなってきている。老朽化した農業用管路は大規模地震に対して十分な耐震性能を有しておらず、地震発生時に大規模な損傷が懸念されている。この2つの観点から、老朽化した管路の改修が急務である。

老朽化した農業用管路の改修工法として管路更生工法の採用が増加している。管路更生工法は、下水道分野で発展してきた工法であり、既設管の内側に新たな管を構築することで、本来の管水路としての機能を確保する工法である。しかしながら、現行の農業用管路の設計基準において管路更生工法の基準は規定されていない。下水道分野における更生工法の設計では、基本的に外側の老朽管の耐力は考慮されていない。一方、農業用管路の設計基準では、パイプ周辺地盤の強度を構造設計に反映させており、老朽管の耐力を考慮しなければならない。農業用管路の設計基準に管路更生工法を適用するために、老朽化した既設管が更生管に与える影響を明らかにすることが必要である。既往研究として、老朽化した既設管が更生管の静的挙動に影響を明らかにするために、鉛直載荷実験や、遠心力模型実験、数値解析等が実施されているが、更生理設管の動的挙動に関する既往研究はほとんどない。そこで、本論文では、更生管模型を用いた小型模型実験および2次元DEM解析、大型振動台実験を遂行し、既設管が更生管横断および縦断方向の動的挙動に与える影響を明らかにした。

本論文は、7章から構成されており、各章の要旨を以下に述べる。

第1章では、管路更生管および埋設管の動的挙動、2次元個別要素法 (DEM) を用いた構造物の力学挙動に関する既往の研究概要をまとめるとともに、本研究の背景と目的について説明した。

第2章では、同工法は既設管内に更生管を挿入することから、通水断面が縮小するという問題点に着目した。通水断面の縮小を抑えるために、更生管の管厚の薄肉化が望まれているが、過度な薄肉化は座屈の発生が懸念されている。そこで、環剛性が等しく管厚の異なるたわみ性管を用いて、模型埋設実験を行い、管厚や地盤剛性が埋設管の静的変形挙動に与える影響を検討した。実験結果から、同一環剛性を有する供試管において管厚が載荷圧に対するたわみ率や曲げひずみ分布に与える影響は極めて小さいが、管厚が薄くなるほど軸応力が大きく、微少区間における軸応力の変化量が大きいことを明らかにした。

第3章では、第2章で得られた実験結果を踏まえて、地震時に管厚がたわみ性管の動的変形挙動に与える影響を明らかにするため土槽境界条件および基礎条件を変化させて振動台実験を実施した。実験結果から、土槽の境界条件や基礎条件にかかわらず静的挙動と同様に管厚が曲げひずみの分布形状に与える影響は極めて小さいことを明らかにした。また、地盤のせん断ひずみと最大軸応力の関係から、管厚が薄いほど、せん断ひずみに対する軸応力の増加割合が大きいことを明らかにした。

(氏名： 泉 明良 NO.2 )

第 4 章では、地盤のせん断変形を受ける際に損傷した既設管が更生管の変形挙動に与える影響を解明するため、地盤相対密度、更生管の環剛性、既設管の損傷程度を変化させて、せん断土槽を用いた繰返しせん断実験を実施した。実験結果から、更生管単独の場合、地盤のせん断ひずみに対して、履歴ループを描き、鉛直・水平方向のたわみ量よりも、斜め方向のたわみ量の方が大きくなることを確認した。また、既設管は、更生管の斜め方向たわみ量を抑制することを明らかにし、その抑制割合は、既設管の損傷程度と地盤の密度に応じて、変化することを明らかにした。既設管の損傷が初期の場合の更生管の斜め方向のたわみ量は、地盤密度にかかわらず更生管単独のたわみ量に対して 0.2~0.4 程度であったが、既設管の損傷が中期以降の場合では、ゆる詰め~中詰め地盤において、0.8~1.0 程度であり、密詰め地盤の場合では、0.6~0.7 程度であった。

第 5 章では、地盤のせん断変形を受ける更生管の変形挙動メカニズムを解明し、地盤のせん断ひずみに対する更生管たわみ量を予測することを目的に、2次元 DEM 解析を実施した。更生管および既設管は多角形要素によってモデル化し、更生管モデルの法線バネ係数と弾性係数の関係を明らかにすることによって、実験で使用した更生管の弾性係数をモデル化した。また、実験の各相対密度の地盤を円要素密度と要素間摩擦角、転がり摩擦を変数としてモデル化した。解析結果から、第 4 章で得られた実験結果を精度良く再現していることを確認した。また、地盤のせん断変形によって更生管斜め方向に圧縮の法線方向土圧が作用し、圧縮土圧が作用した箇所から管周に沿った接線方向の土圧が作用することで、更生管が斜め方向に変形することを明らかにした。また、地盤の変形係数と更生管の環剛性を考慮した、地盤のせん断ひずみに対する更生管単独の斜め方向のたわみ量の予測式を提案した。さらに、提案した予測式に、損傷した既設管の影響を考慮した低減係数を導入し、老朽化した既設管が更生管に与える影響を定量的に評価した。

第 6 章では、地震による地盤液状化時に既設管の継手が更生管の軸方向動的挙動に与える影響を解明するために、既設管の長さおよび更生管の管種 (PVC 管、PE 管) を変化させて振動台実験を実施した。更生管の一端を土槽壁面に固定し、もう一端にコンクリートブロックを打設することで、加振時に作用する慣性力を利用し、地震時の管路の曲げ変形を再現した。実験結果から、既設管の継手が更生管の水平移動量に与える影響は極めて小さいことを明らかにした。更生管として PVC 管を用いた場合、地盤が液状化開始時に既設管の継手部において応力集中が生じ、更生管の曲げひずみが大きくなった。その際のコンクリートブロックの水平移動量と、更生管中心部の曲げひずみの関係は線形性を有しており、水平移動量に対する曲げひずみの増分は、既設管の長さ按比例して増加することを明らかにした。さらに、地震時における更生管路の変形状態は、既設管の有無にかかわらず、弓形と振り子形の 2 つに分類され、弓形に更生管路が変形した場合に、更生管の曲げひずみが大きくなることを明らかにした。

第 7 章では、第 2 章から第 6 章で得られた結論をとりまとめ、今後の課題について述べている。

氏名	泉 明良		
論文 題目	A Study on Dynamic Behavior for Buried Pipe Rehabilitation (埋設更生管の動的挙動に関する研究)		
審査委員	区分	職名	氏名
	主査	教授	河端 俊典
	副査	教授	田中 勉
	副査	准教授	井上 一哉
	副査		

要 旨

現在、農業用管路は、標準的な耐用年数である40年が経過し、老朽化による漏水や流下能力の低下が問題視されている。さらに、近年、阪神淡路大震災や東日本大震災等の大規模地震が発生しており、近い将来に南海トラフ地震の発生確率が極めて高くなってきている。老朽化した農業用管路は大規模地震に対して十分な耐震性能を有しておらず、地震発生時に大規模な損傷が懸念されている。この2つの観点から、老朽化した管路の改修が急務であることは言うまでもない。

老朽化した管路の改修工法として、近年、管路更生工法の採用が増加している。管路更生工法は、下水道分野で発展してきた工法であり、既設管の内側に新たな管を構築することで、本来の管路としての機能を確保する工法である。しかしながら、現行の農業用管路の設計基準において管路更生工法の基準は規定されていない。下水道分野における管路更生工法の設計では、基本的に外側の老朽管の耐力は考慮されていない。一方で農業用管路の設計基準では、パイプ周辺地盤の強度を構造設計に反映させていることから、根本的に下水道分野の設計手法と異なる。農業用管路の設計基準に管路更生工法を適用するためには、老朽化した既設管が更生管に与える影響を明らかにすることが不可欠である。

現在までに、関連既往研究として、老朽化した既設管が更生管の静的挙動に影響を明らかにするために、鉛直載荷実験や、遠心力模型実験、数値解析等が鋭意遂行されているが、更生埋設管の動的挙動の解明は未だ明らかにされていない。

当研究論文は、更生管模型を用いた小型土槽埋設実験、2次元個別要素法 (DEM) 解析ならびに大規模振動台実験を遂行し、老朽化した既設管が、更生管横断および縦断方向の動的挙動に与える影響を明らかにしたものである。以下に、本論文の内容ならびに審査結果について述べる。

本論文は、7章から構成されており、各章の要旨は以下のとおりである。

第1章では、管路更生管および埋設管の動的挙動、DEM解析を用いた構造物の力学挙動に関する既往の研究概要をまとめるとともに、本研究の背景と目的について述べられている。

第2章では、同工法は既設管内に更生管を挿入することから、通水断面が減少するという問題点が発生する。すなわち、通水断面の減少を抑えるために、更生管管厚の薄肉化が望まれているが、過度な薄肉化は座屈の発生が懸念される。そこで、環剛性が等しく管厚の異なるたわみ性管を用いて、鋼板製土槽内で、模型埋設実験を行い、管厚や地盤剛性が埋設管の静的変形挙動に与える影響を検討した。実験結果から、同一環剛性を有する供試管において管厚が載荷圧に対するたわみ率や曲げひずみ分布に与える影響は極めて小さいが、管厚が薄くなるほど軸応力が大きく、微小区間における軸応力の変化量が大きいことを明らかにしている。

第3章では、第2章で得られた実験結果を踏まえて、管厚がたわみ性管の動的変形挙動に与える影響を明らかにするために、土槽境界条件および基礎条件を変化させた大規模振動台実験を遂行した。実験結果から、土槽の境界条件や基礎条件にかかわらず、静的挙動と同様に管厚が曲げひずみの分布形状に与える影響は極めて小さいことが明らかとなった。また、地盤のせん断ひずみと最大軸応力の関係から、管厚が薄いほど、せん断ひずみに対する軸応力の増加割合が大きいことを明らかにしている。

氏名	泉明良
<p>第4章では、地盤のせん断変形を受ける際に損傷した既設管が、更生管の変形挙動に与える影響を解明するため、地盤の相対密度、更生管の環剛性ならびに既設管の損傷程度を変化させて、せん断土槽を用いた繰返しせん断実験を実施した。実験結果から、更生管単独の場合、地盤のせん断ひずみに対して、変形挙動は履歴ループを描き、鉛直・水平方向のたわみ量よりも、斜め方向のたわみ量の方が卓越することを明らかにしている。</p> <p>また、既設管は、更生管の斜め方向たわみ量を抑制することを見い出すとともに、その抑制割合は、既設管の損傷程度と地盤の密度に応じて、変化することを明らかにした。具体的には、既設管の損傷が初期の場合の更生管の斜め方向のたわみ量は、地盤密度にかかわらず更生管単独のたわみ量に対して0.2~0.4程度であったが、既設管の損傷が中期以降の場合では、ゆる詰め~中詰め地盤において、0.8~1.0程度であり、密詰め地盤の場合では、0.6~0.7程度であることを明らかにしている。</p> <p>第5章では、地盤のせん断変形を受ける更生管の変形挙動メカニズムを解明し、地盤のせん断ひずみに対する更生管たわみ量を予測することを目的に、2次元個別要素法 (DEM) 解析を実施している。更生管および既設管は多角形要素を用いて32角形のトラス構造によってモデル化し、更生管モデルの法線バネ係数と弾性係数の関係を明らかにすることによって、実験で使用した更生管の荷重変形特性を模擬した。また、地盤モデルとして、平均粒径4mm、均等係数1.52の円要素 (土粒子) を間隙比0.216となるように配置し、実験の各相対密度の地盤を円要素密度と要素間摩擦角、転がり摩擦を変数としてモデル化している。</p> <p>さらに、解析結果から、第4章で得られた実験結果を精度良く再現していることを確認するとともに、地盤のせん断変形によって更生管斜め方向に圧縮の法線方向土圧が作用し、圧縮土圧が作用した箇所から管周に沿った接線方向の土圧が作用することで、更生管が斜め方向に変形することを明らかにしている。</p> <p>また、地盤の変形係数と更生管の環剛性を考慮した、地盤のせん断ひずみに対する更生管単独の斜め方向のたわみ量の予測式を提案している。またさらに、提案した予測式に、損傷した既設管の影響を考慮した低減係数を導入し、老朽化した既設管が更生管に与える影響を定量的に評価した。この提案は、今後の設計に対して極めて有益なものであると判断される。</p> <p>第6章では、地震による地盤液状化時に既設管の継手が、更生管の軸方向動的挙動に与える影響を解明するために、既設管の長さおよび更生管の管種 (PVC管、PE管) を変化させて大規模な振動台実験を実施した。当振動実験は、更生管の一端を土槽壁面に固定し、もう一端にコンクリートブロックを設置することで、加振時に作用する慣性力を利用し、地震時の管路の曲げ変形を再現したものである。</p> <p>実験結果から、既設管の継手が更生管の水平移動量に与える影響は極めて小さいことを明らかにした。更生管としてPVC管を用いた場合、地盤が液状化開始時に既設管の継手部において応力集中が生じ、更生管の曲げひずみが大きくなった。その際のコンクリートブロックの水平移動量と、更生管中心部の曲げひずみの関係は線形性を有しており、水平移動量に対する曲げひずみの増分は、既設管の長さに比例して増加することを明らかにしている。さらに、地震時における更生管路の変形状態は、既設管の有無にかかわらず、弓形と振り子形の2つに分類され、弓形に更生管路が変形した場合に、更生管の曲げひずみが大きくなることを明らかにしている。</p> <p>第7章では、第2章から第6章で得られた結論をとりまとめ、今後の課題について述べている。</p> <p>上記の通り、本研究は、今後、長延長の農業用水管路が耐用年数を迎えるに当たって不可欠となる管路更生工法に関して研究したものであり、管路更生工法の動的挙動解明について重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。よって、学位申請者 泉明良は、博士 (農学) の学位を得る資格があると認める。</p>	