

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 7 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2012～2014

課題番号：24248040

研究課題名(和文) 管路更生工法の力学挙動の解明ならびに耐震性を考慮した限界状態設計手法の確立と検証

研究課題名(英文) Study on Mechanical Behavior of Liners in Damaged Host Pipes and verification of the limit state design of rehabilitated pipes considering earthquake

研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA, TOSHINORI)

神戸大学・(連合)農学研究科(研究院)・教授

研究者番号：20335425

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 33,000,000円

研究成果の概要(和文)：現在の管路更生工法技術は、下水道分野で使用されているが、複雑な構造を有する農業用水用管路への適用に対しては、力学的に解明されていない。本研究は、管路更生工法の農業用水特有の力学条件下での埋設挙動やその耐震性能を、大規模な埋設実験や振動台実験ならびに数値解析から明らかにし、老朽管路の長寿命化に資するものである。

300mmの供試管を対象に、老朽既設管が更生管に及ぼす影響を大型埋設実験より明らかにした。また、遠心力模型実験により、大口径管の埋設挙動特性を解明した。さらに、150mの模型管路を用いて大型振動実験を行い、液状化地盤において老朽既設管が更生管に与える軸方向の挙動を解明した。

研究成果の概要(英文)：Irrigation pipeline is increasingly getting older and losing its function due to deterioration. The concept of rehabilitation for aging pipelines, which can improve the performance of a damaged pipe by installing new pipeline inside of the existing aging pipeline, has gained increasing attention. In this study, to clarify the effect of damaged outer pipe on the inner pipe, a lot of model tests were conducted under 1G and 20G conditions. In addition, shaking table tests were conducted for the pipe in liquefied ground.

Results indicated that bending deformation of the inner pipe was restricted at the joint position, and the degree of stress concentration was depended on the number of joints. And, deformation-mode of the pipe was mainly classified into two patterns, and bending strain was developed at the base and the middle of the pipe. It was revealed that the host pipe give the negative impact on the inner pipe, and structural design based on only the inner pipe was not sufficient.

研究分野：農業農村工学

キーワード：パイプライン 動的挙動 長寿命化 振動実験 模型実験 遠心力模型実験 相互作用 老朽化

1. 研究開始当初の背景

近年農業水利施設の老朽化により、その多くが更新の時期を迎えていることは枚挙にいとまがない。過去に築造された基幹農業水利施設は膨大な量であるが、特に水路は約45,000kmに達しており、次世代へ継承していく必要のある重要な水利施設である。その中でも特に昭和50年以前に敷設されたパイプラインは、その80%程度がPC管、いわゆる継手構造を有するコンクリート製管である。そのため、現在では、単なるコンクリートの劣化による管体破損ばかりでなく、昨今の地震による継手部被災により、漏水や破裂など大きな問題が多発しており、農業用水用パイプラインの機能低下問題として顕著化している。この事実を受け、当該施設の改修が急務となっている。

一方、地震発生周期説や本年発生した東日本大震災、さらに東海・南海地震への注意喚起などを考慮すると、全国的に近年の巨大地震発生確率は極めて高くなってきており、パイプラインなど農業用施設の耐震性向上を考慮した施設の改修が急務であることは言うまでもない。

2. 研究の目的

欧州を中心に開発・発展してきた下水道管路更生工法技術は、現在では日本においても下水道分野で果敢に使用されているところである。しかしながら、圧力管路でありかつ屈曲部や河川横断など極めて複雑な構造を有する農業用水用パイプラインへの適用に対しては、力学的には全く解明されておらず、設計すら困難な状況にある。

よって、本研究は、下水道管路更生工法技術を、極めて複雑な構造を有する農業用水用パイプラインへの適用するために、未解明である管路更生工法の農業用水特有の力学条件下での埋設挙動やその耐震性能を、大規模な埋設実験、遠心力模型実験、振動台実験ならびに数値解析から明らかにし、農業用水用パイプラインにおける管路更生工法の耐震性を考慮した設計ならびに老朽パイプラインの長寿命化に資するものである。

3. 研究の方法

研究の目的を遂行するために、初年度は主に、神戸大学農学研究科を中核に、老朽管の地盤内評価に着目した土槽内埋設実験を遂行し、老朽管の損傷レベルが更生管に与える影響を検討した。さらに偏芯荷重載荷時の、老朽管と更生管の相互作用も検討した。

2年目は、大口径管を対象とした模型実験を遂行するため、米国コロンビア大学において遠心力載荷模型実験を遂行し、2000以上のmm大口径更生管の挙動特性を検討した。

3年目、最終年度には、農業工学研究所の

3次元大型振動台実験装置を使用して、特に更生管軸方向に着目した、振動実験を遂行し、埋設更生管路の地震時挙動特性について検討を行った。

4. 研究成果

(1) 1G場での更生管の力学挙動の解明

1G場において、大型土槽を用いた老朽管の更正工法の埋設挙動を把握するため、まず、既存の大型土槽の改造を行うとともに、老朽管の損傷レベルを変えた研究を推進するために、コンクリート老朽管と同様な比重を有する損傷レベルの異なる老朽管モデルパイプを製作した。埋設地盤には、現有の6・7混合珪砂を用い、地表面集中載荷ならびに偏心載荷実験を行った。また、更生管を模擬した模型管には400の塩化ビニル管(VU)を使用した。供試管内面には、円周方向11.25°間隔に計32枚のひずみゲージを貼付した。さらに鉛直・水平・斜め45°方向に計4カ所変位計を設置した。損傷レベルを変えた模擬老朽管は、鋼板製で2, 4, 8分割とした。地表面直上載荷と、中心から300mm離れた偏心載荷を実施し、特に更生管内面ひずみ分布から判断した結果、いずれのケースにおいても、老朽管模型のエッジ部が更生管に接する点で、応力集中を起こすことが確認された。また、直上載荷の場合は、老朽管の損傷レベルが大きいほど、更生管が受ける影響は大きくなることがわかった。

しかしながら、地表面偏心載荷条件では、逆に老朽管の損傷レベルが低いケースにおいて、更生管への影響が大きくなるケースがあることが明らかになった。

また、次年度実施予定の遠心力模型実験に使用する、遠心力砂撒き装置の開発を行い、現地での試運転まで完了した。

(2) 大口径管を考慮した遠心力模型実験

2000クラスの大口徑管の更生管の埋設挙動を解明するために、米国コロンビア大学理工学部において、遠心力載荷模型実験を遂行した。実験に使用した土槽は幅608mm、奥行き400mm、高さ380mmのアルミ製である。模型地盤はネバダ砂によって、相対密度20%の緩詰めで作製した。内側に挿入される更生管模型として、VU管とVP管を使用した。更生管内部にはひずみゲージを32枚貼付した。既設管模型としてアルミ片を使用した。アルミ片は既設管の損傷レベルに応じて、それぞれ2分割片、4分割片、8分割片、16分割片を使用した。

供試管は、更生管の周囲に既設管のアルミ片を取り付けることで作製した。実験は、供試管を乾燥砂に埋設後、21.4Gの遠心力場で地表面から200kPaまで載荷した。なお、載荷には幅150mmのエアバッグを用いた。実験条件として、既設管の損傷レベル、更生管の管種(環剛性)を変化させた。

その結果、遠心力模型実験によって、更生

後の終局状態にある既設管は更生管に対して影響を与えないことが明らかになった。

一方、既設管の損傷レベルによっては局所的にひずみが卓越することから、既設管が更生管に与える影響について検討する際、既設管の損傷が初期状態と終局状態にある場合だけでなく、その中間的な損傷状態においても段階的に検討する必要があることが明らかになった。

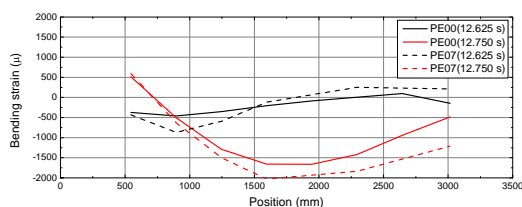
(3)大型振動台実験

更生管の軸方向の動的挙動を解明するため、大規模な振動実験を実施した。更生模型管が最も厳しい条件となるような埋設条件ならびに加振条件を検討した結果、飽和地盤中に模型管を埋設し、2Hz、500galの正弦波を管軸直角水平方向に与えることとした。供試管の応答加速度、曲げひずみ計測結果から、長尺管路の地震時変形挙動ならびに既設管継手部による更生管に対する影響を考察した。得られた結果は以下の通りである。

管路の形状として、先端変位形状と中央変



振動実験供試管準備状況



曲げ歪み分布
黒：加速度最大，赤：0

位形状の2種類のモードが発生することが明らかとなった。

前者の変形モードでは、構造物際である固定端付近に曲げが卓越し、後者では管路中央部で曲げひずみが発達する。

既設管の継手数に応じて、更生管に作用する応力集中の程度は大きく変化する。継手数が少ないほど、曲げ変形はより継手部に拘束され、更生管の曲げひずみが卓越する。

剛性の小さいPE管の方が加振時の変形量は大きい傾向にある。

PE管において、経時による変形および曲げひずみの蓄積が見られた。これは材質によるものと考えられる。

振動台実験では、模型の構造上、管の変位量に対する更生管発生ひずみの関係が明らかになっていない。そこで、FEM解析を用いて模型管を三次元モデルで模擬し、強制変位によって上記2つの変形モードを再現した。得られた結果は以下の通りである。

管路先端に強制変位を与えたとき、曲げひずみは固定端に向かって線形的に増加した。一方、管路中央に強制変位を与えたとき、中央部に曲げひずみが卓越し、また固定端にも同等の曲げひずみが発生した。

管路の変位量と更生管に生じる曲げひずみは線形関係にある。

変位量と曲げひずみの傾きに対して単独管時との比を取ることで、既設管による更生管のひずみの増加を係数化することができた。

以上の通り、地震時における既設管継手による更生管への影響が明らかとなり、内挿管の曲げ剛性だけで曲げに対する強度を評価することは不十分であることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計10件)

Izumi, A., Ono, K., Takahara, S., Sawada, Y., Ariyoshi, M., Mohri, Y. and Kawabata, T., Shaking Table Test for Axial Behavior of Buried Inner Rehabilitated Pipes Affected by Aging Pipes in Liquefied Ground, Proceedings of the International Conference, Pipelines 2015, 査読有, 2015, Baltimore

Ono, K., Sonoda, Y., Ling, H.I. and Kawabata, T., Centrifuge Modeling for Mechanical Behavior of Liners in Damaged Host Pipes, Transportation Infrastructure Geotechnology, 査読有, 2015 掲載予定, Springer

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, 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, 農業農村工学会論文集, 査読有, No.291, 2014, pp.25-31

泉 明良, 澤田 豊, 日野林 譲二, 毛利 栄征, 有吉 充, 河端 俊典, 同一環剛性を有する管厚の異なるたわみ性パイプの力学挙動特性, 農業農村工学会論文集, 査読有, No.292, 2014, pp.231-239
Ono,K, Inoue,K., Sawada,Y., Izumi,A., Sonoda,Y., Miki,T., Mohri,Y., Ling, H.I., Li,L., Hinobayashi,J. and Kawabata,T., Centrifuge model test for buried inner rehabilitated pipes affected by aging pipes with different damage level, Proceedings of the International Conference, Pipelines 2014, 査読有, pp. 1040-1048, ASCE Portland, OR, USA.

Ono,K., Sawada,Y., Izumi,A., Miki,T., Sonoda,Y., Inoue,K., Kawabata,T., Ling, H.I., Li,L. and Hinobayashi,J., Finite Element Analyses on Mechanical Behavior of Inner Rehabilitated Pipes Affected by Outer Aging Pipes, Proceedings of the 24th International Conference of the International Society of Offshore and Polar Engineering, 査読有, 2014, pp.709-714.

Kawabata,T., Sonoda,Y., Ono,K., Mohri,Y., Ariyoshi,M. and Ling,H.I., Mechanical Behavior of Buried Inner Rehabilitated Pipes Affected by Aging Pipes with Different Damage Level, Proceedings of 23rd International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE2013, 査読有, 2013, Anchorage, Alaska, USA

Kawabata,T., Sonoda,Y., Asao,H., Morikami,H. and Nakashima,H., Experiments for Buried Flexible Pipe Supported by Non-Uniform Bedding, Proceedings of 23rd International Offshore and Polar Engineering Conference, ISOPE2013, 査読有, 2013, Anchorage, Alaska, USA.

Sonoda,Y., Kawabata,T., Asao,H., Morikami, H. and Ling,H.I., The Influence of Non-uniform Bedding on the Mechanical Behavior of Buried Flexible Pipe, Proceedings of International Conference for Pipeline Engineering, ASCE, 査読有, 2013, CD

園田 悠介, 河端 俊典, 森上 浩伸, 百々 宏晶, 浅尾 瞳, 基床部の乱れがたわみ性埋設管の力学挙動に与える影響, 土木学会論文集, 査読有, Vol.69, No.2, 2013, pp.779-786

[学会発表](計10件)

河端 俊典, 小野 耕平, 泉 明良, 高原 祥, 毛利 栄征, 有吉 充, 液状化時における更生管軸方向変形挙動に関する振動台実験, 農業農村工学会, 2015.09.02, 岡山大学(岡山県)

河端 俊典, 澤田 豊, 小野 耕平, 高原 祥, 竹川 尚希, 偏心荷重を受ける更生管の力学挙動に関する模型実験, 農業農村工学会, 2015.09.02, 岡山大学(岡山県)

高原 祥, 小野 耕平, 澤田 豊, 河端 俊典, 偏心荷重を受ける更生管の力学挙動に関する3次元有限要素解析, 農業農村工学会, 2015.09.02, 岡山大学(岡山県)

三木 太貴, 泉 明良, 澤田 豊, 河端 俊典, 繰返しせん断変形を受ける更生管の変形挙動に関するDEM解析, 農業農村工学会, 2015.09.02, 岡山大学(岡山県)

泉 明良, 三木 太貴, 澤田 豊, 河端 俊典, 管路更生管の変形挙動に関する繰返しせん断実験, 農業農村工学会, 2015.09.02, 岡山大学(岡山県)

澤田 豊, 井上一哉, 園田 悠介, 小野 耕平, 三木 太貴, 高原 祥, 泉 明良, 毛利 栄征, Ling H.I., 河端 俊典, 損傷レベルの異なる既設管が更生管変形特性に与える影響に関する遠心力模型実験, 農業農村工学会, 2014.08.24 朱鷺メッセ(新潟県)

澤田 豊, 泉 明良, 原田 文, 小林 成太, 河端 俊典, せん断変形を受ける埋設管のたわみ量の評価, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.07.16, 北九州国際会議場(福岡県)

澤田 豊, 園田 悠介, 小野 耕平, 三木 太貴, 高原 祥, 毛利 栄征, 河端 俊典, 老朽既設管の影響を受ける更生管力学挙動に関する遠心力模型実験, 第49回地盤工学学会, 2014.07.16, 北九州国際会議場(福岡県)

小野耕平, 園田 悠介, 三木 太貴, 河端 俊典, 澤田 豊, 毛利 栄征, 有吉 充, 損傷レベルの異なる老朽既設管の影響を受ける更生管の力学挙動, 農業農村工学会,

2013.09.04, 東京農業大学 (東京都)

小野 耕平, 園田 悠介, 河端 俊典, 三木 太貴, 毛利 栄征, 有吉 充, 老朽既設管の影響を受ける更生管力学挙動に関する偏心载荷実験, 第 48 回地盤工学会, 2013.07.23, 富山県民ホール (富山県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

河端 俊典 (KAWABATA, Toshinori)
神戸大学・大学院農学研究科・教授
研究者番号: 2 0 3 3 5 4 2 5

(2) 研究分担者

井上 一哉 (INOUE, Kazuya)
神戸大学・大学院農学研究科・准教授
研究者番号: 0 0 3 6 2 7 6 5

毛利 栄征 (MOHRI, Yoshiyuki)
茨城大学・農学部・教授
研究者番号: 9 0 3 7 3 2 2 4

有吉 充 (Ariyoshi, Mitsuru)
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構・その他の部局等・研究員
研究者番号: 1 0 4 1 4 4 4 2