



Evaluation Method and Behavior of Buried Flexible Pipe under External and Internal Pressure

Ariyoshi, Mitsuru

(Degree)

博士 (農学)

(Date of Degree)

2018-09-25

(Date of Publication)

2019-09-01

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲第7312号

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1007312>

※ 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。



博士論文内容の要旨

氏 名 有吉 充

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。)

Evaluation Method and Behavior of Buried Flexible Pipe under External and Internal Pressure

(埋設たわみ性パイプの内外圧作用時の挙動と評価手法)

指導教員 河端 俊典

本論文は、地中に埋設されたたわみ性管の安全性評価手法と、内外圧作用時の変形に関する研究である。現場におけるたわみ性管の安全性は、通常、たわみ率(たわみ量/管の直径)により評価している。しかしながら、農業用パイプラインに広く利用されているFRPM管では、地盤の不同沈下等により管の一部に荷重が集中して、たわみ率が許容値(5%)以下で破損する場合がある。その場合、たわみ率だけでは安全性を正確に診断することが困難である。そこで、たわみ性管に生じている曲げひずみを計測する新たな手法を開発した。曲げひずみを用いれば、管の局所的な変形の把握が可能で、管の破壊ひずみと比較して、安全性を定量的に評価できる。この手法を用いることで、これまで見逃していた局所的に変形した危険な箇所を、漏水に至る前に発見できるようになる。

一方、同じたわみ性管である塩化ビニル管は、たわみ率が50%以上でも破壊しない延性材料である。しかしながら、現場で多数の破損事故が生じており、その原因は不明である場合が多い。そこで、破損原因を解明するため、現場から掘り出した管の偏平試験、繰り返し載荷試験を実施した。一般に、掘り出した管の偏平試験が行われることは少なくないが、繰り返し載荷試験はほとんど行われていない。本研究では、国内ではほとんど着目されていない疲労による破壊を破損原因と想定し、繰返し載荷試験を実施した。また、疲労を生じさせる外力を明らかにするため、現場において、施工時、トラック走行時、内圧作用時に生じる塩化ビニル管のひずみを計測した。破損原因を明らかにすることで、適切な対策をとることが可能になり、同様の被害を防止することに繋がる。

また、たわみ性管の内外圧作用時の変形については、Iowa State Universityを中心に数多くの研究が行われており、設計手法は確立している。しかしながら、1980年代に国内に持ち込まれた更生管(既設管の更生に用いられるたわみ性管)は、設計手法はまだ新しく、農業用パイプラインに適したより合理的な手法が求められている。従来の更生管の研究は外圧による変形に着目したものがほとんどであるが、本研究では、農業用パイプラインに作用する内圧による更生管の変形に着目した。特に、既設管と更生管の隙間の充填、既設管の劣化、曲管が更生管の内圧による変形に与える影響を口径1000mmの実大規模の更生管を用いた模型実験により明らかにした。また、口径300mmの更生管を用いた模型実験を実施して、既設管の状態が、更生管の外圧による変形に与える影響を検討した。さらに、VU管(低圧・排水用の塩ビ管)などの低剛性のたわみ性管の挙動を明らかにすることを目的に、VU管と、埋設管に使用されることがないダクト管(給排気用の薄肉の塩ビ管)を用いた埋設模型実験を行った。

各章の要旨を以下に説明する。

第2章では、曲率半径を計測して、たわみ性管の曲げひずみを推定する手法の有効性を検証した。口径800mmの鋼管を地中に埋設して変形させ、提案した手法で計測したひずみが、ひずみゲージで計測したひずみと同程度になることを確認し、提案した手法で曲げひ

(氏名：有吉 充 No.2)

ずみを推定できることを示した。

第3章では、提案した曲げひずみ推定手法のFRPM管への適用性を検証した。口径800mm、1200mm、2000mm、2400mmの4種類のFRPM管を変形させ、提案した手法で計測したひずみが、ひずみゲージで計測したひずみと同程度になることを確認し、口径毎に適切なベース（曲率を計測する装置の一部）の長さを提案した。また、提案した手法の現場での適用を想定し、口径と管厚に実測値ではなく規格値を用いた場合でも、適切なベース長を用いれば高い精度で曲げひずみを推定できることを示した。

第4章では、更生管の内圧による変形を明らかにするため、口径1000mmのコンクリート管の中に更生管を作成し、1MPaの内圧を負荷する実大規模の模型実験を行った。更生管の円周方向ひずみは内圧とともに増加するが、既設管が健全であれば、更生管が既設管に全面的に接触した後は、円周方向ひずみは内圧が増加してもほとんど増加しない。また、既設管と更生管の隙間を充填することで、内圧により生じる円周方向ひずみを大幅に減少できることを確認した。また、曲管ではスラスト力が作用するために、内圧に応じた縦断方向のひずみが発生することが分かった。

第5章では、既設管の状態が更生管の外圧による変形に与える影響を明らかにするため、口径300mmのコンクリート管内に作成した更生管を地中に埋設し、地表面から荷重を与える模型実験を行った。既設管がひび割れた程度では更生管はほとんど変形せず、既設管の鉄筋が切断し、完全に分割した場合に、更生管にたわみやひずみが発生した。従来の埋設管に作用する鉛直土圧は、管上部では全体、管下部では一部（設計支持角）から管に作用すると想定している。しかし、更生管では、既設管と更生管の接触箇所から土圧が伝達されるため、管上部でも一部であり、実験の結果から、管上部と管下部で対称の土圧分布になると想定した。想定した土圧分布から、更生管に発生する応力の最大値とたわみを計算した。また、既設管が分割した場合でも、土圧の全てが更生管に伝わるのではなく、土圧の一部は既設管が負担することを確認した。特に、分割前から作用していた土圧の多くは既設管が負担し、分割後に増加した土圧の多くは更生管が負担することが分かった。

第6章では、低剛性のたわみ性管の内圧と外圧に対する挙動を明らかにするため、口径200mmのVUとダクト管を地中に埋設して、内外圧を負荷する模型実験を行った。設計における管の変形は、曲げのみで軸力による変形を想定していないが、低剛性のたわみ性管では、軸力による変形が大きいことを確認し、VU管においても、軸ひずみは曲げひずみに対して無視できない大きさであることを明らかにした。また、軸ひずみは、曲げひずみと異なり、地盤の剛性の影響をあまり受けないことが分かった。さらに、低剛性のたわみ性管は内圧による膨張量が大きく、管の変形に伴って、管に作用する土圧分布が変化することを示した。

第7章では、現場における塩ビ管の破損原因を明らかにするため、掘り出した管の偏平試験、繰り返し載荷試験を実施した。静的に載荷する偏平試験では50%たわんでも損傷は見られなかったが、繰り返し載荷試験ではたわみ率0.6%~1.5%でも管頂に亀裂が生じた。また、現場で施工時、トラック走行時、内圧作用時に管に生じるひずみを計測し、設計で試算されるひずみとは異なり、トラック走行によって生じるひずみは、内圧によって生じるひずみよりも大幅に小さいことを明らかにした。これらの実験結果は、本現場の塩ビ管の破損は、内圧の変動による疲労であることを示唆している。

氏名	有吉 充		
論文 題目	Evaluation Method and Behavior of Buried Flexible Pipe under External and Internal Pressure (埋設たわみ性パイプの内外圧作用時の挙動と評価手法)		
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		印
	副 査		印
要 旨			
<p>現在までに建造されてきた国営農業水利施設は、25 兆円を超えるストックとなっている。しかしながら、その多くの施設は、40 年の耐用年数を迎え、その機能保全が極めて重要な施策になってきている。特に、農業用パイプラインは老朽化が進行しており、更新等が必要な時期を迎えつつあり、適切な安全性の評価とその挙動に関する解明が急務となっている。</p> <p>このような背景を受け、本論文は、地中に埋設されたたわみ性管の安全性評価手法と、内外圧作用時の変形に関して研究されたものである。一般的に現場におけるたわみ性管の安全性は、たわみ率により評価されているが、農業用パイプラインに広く利用されているFRPM管では、地盤の不同沈下等により管の一部に荷重が集中して、たわみ率が許容値(5%)以下で破損する場合がある。その場合、たわみ率だけでは安全性を正確に診断することが困難である。そこで、たわみ性管に生じている曲げひずみを計測する新たな手法を開発した。曲げひずみを用いれば、管の局所的な変形の把握が可能で、管の破壊ひずみと比較して、安全性を定量的に評価できる。この手法を用いることで、これまで見逃していた局所的に変形した危険な箇所を、漏水に至る前に発見できるようにする。</p> <p>一方、同じたわみ性管である塩化ビニル管は、たわみ率が50%以上でも破壊しない延性材料である。しかしながら、現場で多数の破損事故が生じており、その原因は不明である場合が多い。そこで、破損原因を解明するため、現場から掘り出した管の偏平試験、繰返し載荷試験を実施した。一般に、掘り出した管の偏平試験が実施されることは希にあるものの、繰返し載荷試験はほとんど実施されていない。本研究では、国内ではほとんど着目されていない疲労による破壊を破損原因と想定し、繰返し載荷試験を実施した。また、疲労を生じさせる外力を明らかにするため、現場において、施工時、トラック走行時、内圧作用時に生じる塩化ビニル管のひずみを計測した。破損原因を明らかにすることで、適切な対策をとることが可能になり、同様の被害を防止することに繋がる。</p> <p>また、たわみ性管の内外圧作用時の変形については、Iowa State Universityを中心に数多くの研究が遂行されているが、近年使用が増加してきている更生管は、明確な設計手法は確立されておらず、農業用パイプラインに適したより合理的な手法が求められているところである。本研究では、農業用パイプラインに作用する内圧による更生管の変形に着目し、特に、既設管と更生管の隙間の充填、既設管の劣化、曲管が更生管の内圧による変形に与える影響を口径1000mmの実大規模の更生管を用いた模型実験により明らかにした。また、口径300mmの更生管を用いた模型実験を実施して、既設管の状態が、更生管の外圧による変形に与える影響を検討した。さらに、VU管などの低剛性のたわみ性管の挙動を明らかにすることを目的に、VU管ならびにダクト管を用いた埋設模型実験を行った。</p> <p>以下に、本論文の内容ならびに審査結果について述べる。</p> <p>本論文は、8章から構成されており、各章の概要は以下のとおりである。</p> <p>第1章は序論であり、前述の研究の背景と目的、既往の研究について詳細に述べられている。</p> <p>第2章では、曲率半径を計測して、たわみ性管の曲げひずみを推定する手法の有効性が検証されている。φ800の鋼管を地中に埋設して変形させ、提案された手法で計測したひずみが、ひずみゲージで計測したひずみと同程度になることを確認し、提案した手法で曲げひずみを推定できることを明らかにしている。</p>			

氏名	有吉 充
<p>第3章では、提案した曲げひずみ推定手法のFRPM管への適用性を検証している。φ800, φ1200, φ2000, φ2400の4種類のFRPM管を外圧により変形させ、提案された手法で計測したひずみが、ひずみゲージを用いて計測されたひずみと同程度になることを確認し、口径毎に適切なベース(曲率を計測する装置の一部)の長さを新しく提案した。さらに、提案された手法の現場への適用を考慮に入れて、管の口径と管厚に実測値ではなく規格値を用いた場合でも、適切なベース長を用いれば、高い精度で曲げひずみを推定できることを明らかにしている。</p> <p>第4章では、更生管の内圧による変形を解明するために、φ1000のコンクリート管の中に更生管を作製し、1MPaの内圧を負荷する実大規模の大型模型実験を実施した。その結果、更生管の円周方向ひずみは、内圧とともに増加するが、既設管が健全であれば、更生管が既設管に全面的に接触した後は、内圧が増加しても、円周方向ひずみはほとんど増加しないことが明らかになった。また、既設管と更生管の隙間を充填することで、内圧により生じる円周方向ひずみを大幅に減少できることが明らかになった。また、曲管ではスラスト力が作用するために、内圧に応じた縦断方向のひずみが発生することを明らかにしている。</p> <p>第5章では、既設管の状態が更生管の外圧による変形に与える影響を明らかにするため、φ300のコンクリート管内に作成した更生管を、地中に埋設し、地表面から載荷する模型実験を実施した。その結果、既設管がひび割れた程度では更生管はほとんど変形せず、既設管の鉄筋が切断し、完全に分割した場合に、更生管にたわみやひずみが発生することを明らかにしている。</p> <p>従来の埋設管の設計に際しては、管に作用する鉛直土圧は、管上部では全体、管下部では設計支持角に応じて作用すると仮定されている。しかしながら、更生管では、既設管と更生管の接触箇所から土圧が伝達されるため、管上部でも全体に載荷されず、実験結果から、管上部と管下部で対称の土圧分布になると想定した。この想定した土圧分布を用いて、更生管に発生する応力の最大値とたわみ量を算出した。また、既設管が分割された場合においても、土圧の全てが更生管に伝達されるのではなく、土圧の一部は既設管が負担することが確認された。特に、分割前から作用していた土圧の多くは既設管が負担し、分割後に増加した土圧の多くは更生管が負担することを明らかにしている。</p> <p>第6章では、低外圧剛性のたわみ性管の内圧と外圧に対する挙動を明らかにするため、φ200VUならびにダクト管を埋設し、内外圧を負荷する模型実験を実施した。</p> <p>設計における管の変形は、曲げモーメントによるもののみで、軸力による変形は想定されていないが、低外圧剛性のたわみ性管では、軸力による変形が大きいことを確認し、VU管においても、軸ひずみは曲げひずみに対して無視できない大きさであることを明らかにした。また、軸ひずみは、曲げひずみと異なり、地盤の剛性の影響を大きく受けないことが明らかになった。さらに、低外圧剛性のたわみ性管は内圧による膨張量が大きく、管の変形に伴って、管に作用する土圧分布が変化することを明らかにしている。</p> <p>第7章では、現場における塩ビ管の破損原因を明らかにするため、掘り出された管の外圧偏平試験、繰返し載荷試験を実施した。</p> <p>静的に載荷する外圧偏平試験では、50%変形でも損傷は見られなかったが、繰返し載荷試験では、たわみ率0.6%~1.5%でも、管頂部に亀裂が発生した。また、現場において、施工時、トラック走行時、内圧作用時に、それぞれ管体発生ひずみを計測したところ、設計で算出されるひずみとは異なり、トラック走行によって生じるひずみは、内圧によって生じるひずみよりも極めて小さいことを明らかにしている。すなわち、これらの実験結果は、現場の塩ビ管の破損は、内圧の変動による疲労であることを示唆しているものと考えられる。</p> <p>第8章では、第2章から第7章で得られた結論を取りまとめ、研究成果を総括している。</p> <p>上記の通り、本研究は、局所ひずみ計測方法の考案や、更生管を考慮した内外圧載荷時挙動の解明、大規模な現場繰返し載荷埋設実験、外圧低剛性パイプの埋設挙動の解明などから、近年の埋設管路を取り巻く様々な境界条件下での埋設管の安全性評価、ならびに有益な埋設挙動特性を研究したものであり、数多くの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、学位申請者の有吉充は、博士(農学)の学位を得る資格があると認める。</p>	