

(様式第 1 4 号)

学 位 論 文 要 約

氏名: 大 山 幸 輝

題目: 内面載荷法による農業用パイプラインの耐力評価に関する研究

—埋設管内面に局所的な荷重を作用した管体と周辺地盤の力学的挙動評価—

(Study on Strength Evaluation for Agricultural Pipeline by Internal Loading Method
-Evaluation of Mechanical Behavior of Buried Pipe Loaded Locally from Inner
Surface-)

国営造成の基幹的パイプライン施設の延長は約7,500 km存在し、そのうちの約7割は管内に人が侵入できないφ800 mm未満の中小口径管路が占める。そのため、現状の農業用パイプラインの調査・診断において、人が管内部に進入可能な場合は直接的な目視およびクラック幅やたわみ量等の定量的な計測が行われており、一方で、人の進入が禁止される口径800 mm未満の場合はTVカメラによる視覚調査が行われている。したがって、特に中小口径管路の場合は、定性的な評価によって、施設の性能低下状態を判断せざるを得ない状況であり、機能診断調査は困難を極めているのが現状である。そこで、農業用パイプラインの耐力評価手法として内面載荷法を提案し、適時適切な機能保全対策の選定に必要不可欠となる、埋設管の性能低下状態の定量的な評価手法としての確立を目指している。ただし、内面載荷法の実用化には、地中に埋設された状態の不とう性管およびとう性管に対して本手法を適用した際の荷重－変形量の関係や管の載荷断面での詳細な変形挙動を明らかにし、地盤からの拘束の影響を明確化する必要がある。そこで、本研究では現場を想定した規模の地盤や室内実験を想定した模型地盤を用いて、実験的アプローチにより、とう性管および不とう性管の地盤内挙動を評価した。

第1章では、農業水利施設のストックマネジメント、農業用パイプライン、埋設管の補修・補強技術に関する既往の研究、埋設管を対象とした(構造的)耐力評価手法に関する既往の研究、埋設管の耐力評価手法としての内面載荷法について概説し、本研究の目的を示した。

第2章では、地盤の拘束が不とう性管の荷重－変形量の関係および断面内変形挙動に与える影響を評価するため、地上および地盤内のRC管に内面載荷法を適用した。その結果、埋設RC管における荷重－変形量の関係は、土圧の作用しない管体の場合と同様に強い線形関係を有することを確認した。このとき、載荷中の鉛直・水平土圧および管外面の周方向ひずみ分布から、埋設RC管は地上試験の場合と同様に縦長の楕円形に変形し、載荷部では局所的な膨れが生じることがわかった。また、埋設RC管は管体の場合と比較して、所定の水平変形量を生じる際の管頂部および管底部での周方向ひずみが地盤による拘束の影響で大きくなることがわかった。ただし、埋設RC管の断面内剛性は、載荷軸での地盤からの反力の影響で管体の場合よりわずかに大きくなるが、おおむね管体の剛性が卓越すること

がわかった。さらに、RC管における一載荷断面あたりの管側部における応力は、管軸方向の40 cm以下に伝達することが確認された。

第3章では、地盤の拘束がとう性管の荷重－変形量の関係および断面内変形挙動に与える影響を評価するため、地上および地盤内のPVC管およびFRPM管に内面載荷法を適用した。その結果、まず、地上に静置した非拘束状態のFRPM管の荷重－変形量の関係は、PVC管と同様に強い線形相関を有し、その傾きの比は、環剛性の比とおおむね同様になることを確認した。一方、埋設管における荷重－変形量の関係は載荷初期では線形挙動を示し、ある点を過ぎると傾きが低下した。この非線形挙動は、地盤が圧縮される過程と地盤がせん断変形を起こす過程の2区間に分離することができると考えられた。地上と地盤内での荷重－変形量の傾きを比較すると、環剛性の低いPVC管の方が地盤による拘束の影響を大きく受けることが明らかになった。また、埋設管外面の円周方向では、管頂・管底部において引張ひずみが増加するが、斜め方向の拡張は地盤により拘束され、載荷軸を対称に斜め方向4か所の圧縮ひずみが増加することがわかった。このとき、管頂・管底部におけるひずみに対する斜め方向のひずみの増加は、とう性管の種類によらずおおむね同様の割合で増加することがわかった。一方、それに伴う管側部での引張ひずみの増加傾向は管種による環剛性の違いによって異なる。以上のひずみの傾向より、環剛性の低い管に対しては、背面地盤の剛性の不均一性を踏まえた載荷を行って、管の局所的で過大な変形を防がなければならないと考える。

第4章では、土被り圧の異なる小型模型地盤内のVU管に内面載荷法を適用し、埋設とう性管の地盤内挙動について考察した。その結果、VU管は土被り圧が大きくなるとともに荷重－変形量の傾きが大きくなり、曲線形挙動から線形挙動になることがわかった。また、埋設したVU管に作用した荷重とその垂直方向で測定した変形量の関係は、荷重とその同一方向で測定した変形量の関係と、土被り圧ごとの変形挙動が同様の傾向となることがわかった。鉛直載荷と水平載荷の結果を比較した結果、本研究で用いた模型地盤内のVU管には、圧縮試験機によって外圧を負荷した際に、鉛直方向と水平方向で同等の土圧が発生するため、鉛直載荷－水平変形と水平載荷－鉛直変形の取得データが同等の値を示すことがわかった。繰返し載荷を行ったVU管における荷重－変形量の傾きは、土被り圧の大きさによらず載荷1回目の応力履歴によって地盤の剛性が大きくなるため、2回目以降の傾きの値が上昇することがわかった。また、繰返し載荷時のVU管は、除荷時に地盤が塑性変形を残したまま弾性挙動となることで、管の形状が真円に復元しようとする際に追従変形をしない地盤によって拘束力が発生し、残留変形量が生じると推察された。ただし、2回目以降の残留変形量は小さくなり、おおむね一定となることを確認した。

第5章では、設計基準に則った適切な寸法の大型模型地盤を作製し、圧縮試験機による土被り圧を作用した模型地盤内のVU管を対象として内面載荷法を適用した。その結果、設計基準に則り作製した模型地盤より得られたVU管の荷重－変形量の関係は、現場規模でVU管を用いて実施した実験結果とおおむね整合することを確認した。したがって、本模型による実験によって現場でのVU管の挙動を再現できる可能性が示された。内面載荷法によって埋設VU管に生じる斜め方向の圧縮ひずみは、埋戻し時の管の変形状態の影響を受け、変化が助長される箇所が存在することが明らかになった。土被り圧ごとの鉛直載荷および水平載荷によって得られる荷重－変形量の関係は、おおむね同様の曲線形挙動を示すことを確認した。ただし、水平載荷を手動で行う際は装置の固定に、過剰な初期荷重を要することが課題

となる。載荷方向の荷重－たわみの関係は、載荷方向の荷重－載荷方向と垂直な方向で得た変形量の関係とおおむね同様の曲線形挙動となることを確認した。また、斜め方向の圧縮ひずみが内面載荷法適用時のVU管に生じたことから、載荷断面外の斜め方向のたわみを評価した結果、おおむね変化がないことがわかった。

以上より、不とう性管においては地盤内においてもおおむね管体としての耐力評価が可能であることがわかった。一方、とう性管においては、管体および地盤拘束の影響を受けた埋設管では、内面載荷時の変形挙動が大きく異なることがわかった。これらの結果を踏まえて今後は、不とう性管では実用化に向けた現実的なデータ分析方法を、とう性管では管体と周辺地盤の剛性の分離に向けた評価方法についてさらに検討していく必要がある。

※なお、一部図表等を割愛しています。