

## たわみ性埋設管の座屈に関する検討

新潟大学大学院 学生会員 ○金内 溪  
 新潟大学 正会員 大川 秀雄  
 新潟大学 正会員 保坂 吉則  
 新潟大学 正会員 神立 秀明

### 1. はじめに

埋設管の役割は電気、ガス、水道などのライフラインをはじめとして、多岐にわたっている。そんな中、近年、地盤変形に対する追随性の高さや、コストの縮減の観点から、たわみ性管を用いることが多くなっている。

たわみ性管は剛性が小さく、外力に対して管全体が変形しながらその外力を受け持つという特徴を有する。また、地盤特性の影響を大きく受けるため、たわみ性管は力学・変形挙動の観点から「土と構造物の相互作用」問題として扱われる。これまでにも、たわみ性管に関する研究が行われてきたが、管が変形しながら土圧を受けるため、土圧の正確な測定が困難であるとともに、管の変形挙動を把握することも簡単でない。これらのことから、たわみ性管にかかる土圧分布や、変形挙動を明らかにすることは、埋設管の設計や安全性の検討に重要な問題となる。

### 2. 埋設管の被害事例

たわみ性管は、極度に薄肉化をした場合、管体が座屈し得ることは明らかであるが、実際の被害事例はほとんど報告されたことがなく、実際の変形挙動は未知であった。ところが、2004年の新潟県中越地震において高速道路盛土下に埋設された管の座屈被害が報告された。主働的な外圧が上方から作用したと考えられ、座屈は管底部で生じた(写真1)。

### 3. 既往の研究

このような埋設管の座屈は極めて珍しく、平成19年度新潟大学卒業論文で大城<sup>1)</sup>が、たわみ性管の変形挙動・地盤の変形挙動の把握、たわみ性管における座屈の再現を目的に、マイラー紙製の超たわみ性埋設管模型を用い、実被害で生じた埋設管底部での座屈を念頭に、管底部にターゲットを絞り、座屈研究を行った。

この研究ではほとんどの実験ケースで実被害と同

様の管底部からの座屈を再現することができた。これはマーストン・スパングラの土圧理論における、「埋設管には管底部で最も大きな土圧が生じる」とする理論通りの結果である。



写真1. たわみ性管の座屈

【日本道路公団新潟支社（当時）提供】

### 4. 研究目的

現在、座屈を含め、たわみ性埋設管の研究は広く進められているが、管底部に最も大きな土圧が生じることをふまえた研究や、管と地盤の相互作用を考慮した研究は少ない。そこで、本研究では、管底部の変形挙動や土圧変化に注目し、かつ、次項以降で詳しく説明する、周囲を弾性支持されることの影響を考慮することで、たわみ性管の変形挙動をより深く把握することや、既往の研究で把握しきれなかった周辺地盤の挙動を、模型実験をすることにより、明らかにすることを目的とする。

### 5. 周囲を弾性支持された円筒殻の座屈

図1に示すように、円筒殻に外圧 $q$ が作用するとき、その外圧 $q$ はほぼ一様であるが一定値ではなく、その平均値が $q^*$ であるとする。殻の肉厚や半径が完全に一定でないなどの初期不整や外圧の不等性から、ある場所では半径が縮み、ある場所では半径が伸びる。この

キーワード：たわみ性埋設管、座屈

連絡先：〒950-2181 新潟県新潟市西区五十嵐2の町8050番地 新潟大学工学部 地盤研究室

とき地盤を弾性ばねで仮定すれば、半径が縮めば、その分の作用圧縮力は減少し、半径が伸びればその分の作用圧縮力は増える。円筒殻中心向きの圧縮力を正にとると、次の式で表せる。

$$q = q^* - K_s \frac{w}{a} \quad \dots(1)$$

$K_s$  : 地盤弾性係数     $a$  : 円筒半径  
 $w$  : 半径方向内向き

これに加えて、円筒殻の微小要素における面内力・せん断力のつり合い、モーメントのつり合いを考慮することで、周囲を弾性支持された円筒殻の座屈荷重は以下となる<sup>2)</sup>。

$$q^* = \frac{n^2 - 1}{(1 - \nu^2)a^3} + \frac{K_s}{n^2 - 1} \quad \dots(2)$$

$n$  : 座屈モード次数     $\nu$  : 円筒のポアソン比  
 $a$  : 円筒半径     $EI$  : 円筒の曲げ剛性  
 $K_s$  : 地盤弾性係数

実際の座屈は、最小の  $q^*$  で生じると考えられ、その最小値を与える  $n$  は

$$n^2 - 1 = \sqrt{\frac{K_s(1 - \nu^2)a^3}{EI}} \quad \dots(3)$$

ここで、(2)式の右辺第1項は単に一樣外圧を受けた場合を表す項であり、第2項は周囲が弾性的に支持されていることによる影響を表す項である。(1)式に表されたように、周囲を弾性支持されることによる影響は、決して無視することができない。なお、同形の式を *Ulrich Luscher* が与えているが、(2)式は右辺第1項の分母にポアソン比を含む項の  $(1 - \nu^2)$  が無い。しかし、(2)式は摩擦力の作用により長手方向には伸縮できないといった平面歪的な解になっており、より実条件に合致していると言える。

一樣外圧のみが作用する場合を考えると、(2)式において、 $K_s$  が 0 となり、通常、 $n$  が 2 か 3 のモードで座屈すると考えられる。これに対し、周囲が弾性支持されていると、(3)式から、座屈モード次数が高くなり、一樣外圧のみが作用する場合よりも大きな外圧まで座屈を起こさないとと言える。また、(3)式は  $K_s$  と  $EI$  の比

で表されており、座屈モード次数はこれらの値に影響を受ける。

以上のことから、次のようなことが言える。

- ・地盤弾性係数が一定であれば、円筒の剛性が大きいほど、座屈モード次数は低くなり、弾性支持による効果が減少する。
- ・逆に、円筒の剛性が小さいほど、弾性支持の影響を強く受け、座屈モード次数が増加し、低次モードの座屈より大きな外圧まで座屈を生じない。
- ・つまり、弾性支持された円筒殻の座屈は、円筒の剛性と地盤弾性係数との相対関係に強く依存する。

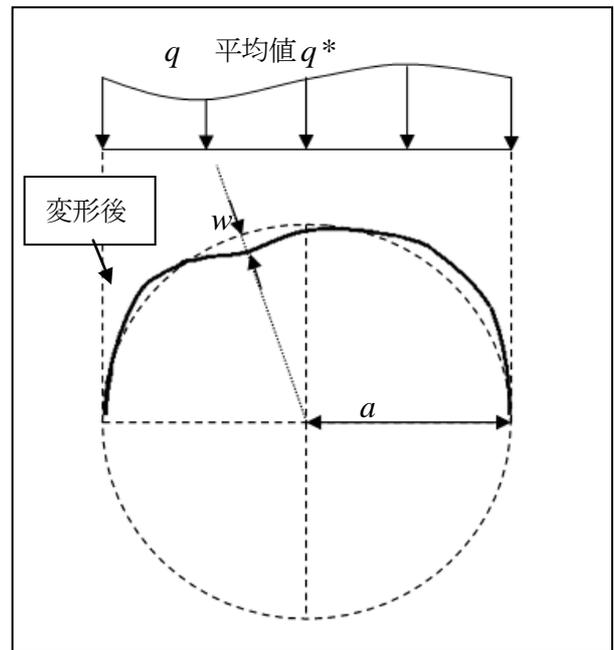


図1、周囲を弾性支持された円筒殻の外圧による変形

#### 4. 今後の検討予定

今後は、管の挙動を管に加わる土圧の変化から把握していく。既往の研究では、極度に管の剛性を低くしたために、管自体の初期不整、剛性の測定の困難さから、管底での測定土圧、座屈時の載荷圧に無視できないばらつきが生じてしまった。そのため、管の材料について再度検討する必要がある。また、地盤からみた管との相互作用から、地盤の挙動を把握していく。以上のことを考慮した上で、座屈モード次数についても検討を行う。

#### <参考文献>

- 1) 大城岳雄：超たわみ性管に関する実験的研究、平成19年度新潟大学卒業研究論文
- 2) 大川秀雄：周囲を弾性支持された円筒殻の座屈（メモ）