

たわみ性埋設管の座屈モードの検討

新潟大学大学院 学生会員 ○高井 聖
 新潟大学工学部 正会員 大川 秀雄
 新潟大学工学部 正会員 保坂 吉則
 新潟大学工学部 正会員 神立 秀明

1. はじめに

日本では、高度経済成長期などの都市の発展とともに、電気、ガス、水道などのライフラインをはじめとする様々な埋設管が設置された。地中埋設管は一般的に道路の下に埋設されており、常時、被り厚による土圧を受けるとともに、交通荷重やその他の外力も受け続ける。近年、コスト面や地盤変動への追随性からたわみ性埋設管が用いられる割合が徐々に高くなってきた。

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。そのため、地盤特性の影響を大きく受けやすく、たわみ性埋設管は力学・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。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. 既往の研究

近年、たわみ性埋設管の座屈破壊やそれが懸念される工事施工が増え、2004年の新潟県中越沖地震では高速道路盛土内に埋設された排水用パイプが座屈する事例が報告されている。このような座屈の事例はこれからも生じる可能性があり、大城¹⁾、金内²⁾がたわみ性埋設管の変形挙動、地盤の変形挙動を把握、たわみ性管の座屈挙動を再現することを目的とし、集中荷重と分布荷重においてたわみ性埋設管の座屈を実験的に研究し、それらの結果では実被害と同様に管底部からの座屈挙動を示した。

また、東田³⁾が管と地盤の相互作用を考慮し、管と地盤を弾性論による連続体モデルで表現しその解析を用いて座屈挙動の解析を行った。この結果は、実験結果と照合し妥当であるとしたが、上下対称モデルから

導かれた解析であり、あくまでも座屈荷重の目安であるとした。

3. 研究目的

たわみ性埋設管の設計、安全性を検討するには、管への正確な土圧分布や管の変形挙動を明らかにする必要があるが、既往の研究では弾性論においてのかなり正確な土圧分布が明らかになったと考えられる。しかし、座屈モードに関して不明瞭な点が多く、座屈モードに焦点を絞った研究も少ない。そこで、本研究では主に座屈モードに関して考察を行うこととする。

4. 弾性論による座屈モード

既往の研究で東田は座屈の波数 n を(1)のように与えている。

$$n = [\kappa / \{4(1 - \nu_s^2)\}]^{1/3} \dots (1)$$

$\kappa : E_s / S_p$

E_s : 地盤の弾性係数, S_p : 管の曲げ剛性

ν_s : 土のポアソン比

また、筆者らの解析によれば弾性支持された円筒殻の座屈モード次数は以下の(2)となる。

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

K_s : 弾性体の弾性係数, ν : 管のポアソン比

a : 管の半径, E : 管の弾性係数,

I : 管の断面2次モーメント

これら2式は、大変形を考慮しているかどうかの違いである。また、2式とも剛性が大きい管よりも剛性が小さい管の方が座屈モード次数は大きくなることを示している。

キーワード：たわみ性埋設管、座屈モード

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

5. 座屈モード次数の算定

大城, 金内の実験結果を用いて(1)式より座屈モード次数を算定した結果を表 1, 2 に示す. 各実験ともに地盤のポアソン比は 0.3 とおき, 管として用いたマイラー紙の弾性係数 E_p は計測が難しくばらつきが出たため 2 つ与えている. また, 座屈時の地盤弾性係数 E_s は計測ができないため, 大城は三軸圧縮試験 (CD 試験) を行い, 軸ひずみが 0.6~1.0%のときに座屈すると仮定し, その軸ひずみでの最大, 最小の弾性係数と見かけの弾性係数の 3 つを計算に用いた. 金内は実験式よりせん断弾性係数を求め, 弾性係数を算定した. また, ν_p は 管のポアソン比, t は管厚, R は半径を示す.

この結果, 座屈モードは高次モードを示す結果となった. 大城の結果では, 座屈荷重において理論値との比較の精度がもっともよい値を得られた $E_s=22\text{kgf/cm}^2$ で最小の座屈モード次数である $n=35$ となった. また, 金内の結果はより高次のモードを示した.

ここで, 座屈を考慮しない弾性論での埋設管の土圧分布を考えてみる. 地盤自重によるたわみ性埋設管の管頂土圧を表す図 1⁴⁾より管頂土圧 P を求め, その土圧応力を弾性支持されていない管に载荷した時の変形量 w を求めた. 大城の結果を用いた計算結果を表 3 に示す. 当然のことながら管の剛性が小さいため, 計算値は管の外径よりもはるかに大きい現実離れた変形量となった. 弾性支持されると耐えられる土圧が著しく大きくなるというのは, たわみ性管の特徴である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ことを示している.

6. 考察

弾性論による座屈モードでは, 高次モードになるという結果になった. もし弾性支持されていない管であれば, 到底耐えられないような大きな土圧が作用していることになるので, 理論計算では高次モードの座屈に対応するが, 大城, 金内の模型実験の座屈挙動や実際の座屈の報告では, 外見上は低次モードでの座屈が多かった. これは, 実際の地盤が完全弾性体ではなく, 塑性的な振る舞いもすることが原因であると考えられるが, 詳細は未解明である.

表 1.大城の座屈モード次数 n

Ep(kgf/cm2)	Es(kgf/cm2)	v p	t(cm)	R(cm)	n
22700	22	0.27	0.0165	4.0165	35.0
	398				91.8
	91.4				56.2
13800	22	0.27	0.0165	4.0165	41.3
	398				108.3
	91.4				66.3

表 2.金内の座屈モード次数 n

Ep(kgf/cm2)	Es(kgf/cm2)	v p	t(cm)	R(cm)	n
22700	253.34	0.27	0.0165	4.0165	78.9
	297.42				83.3
13800	253.34	0.27	0.0165	4.0165	93.2
	297.42				98.3

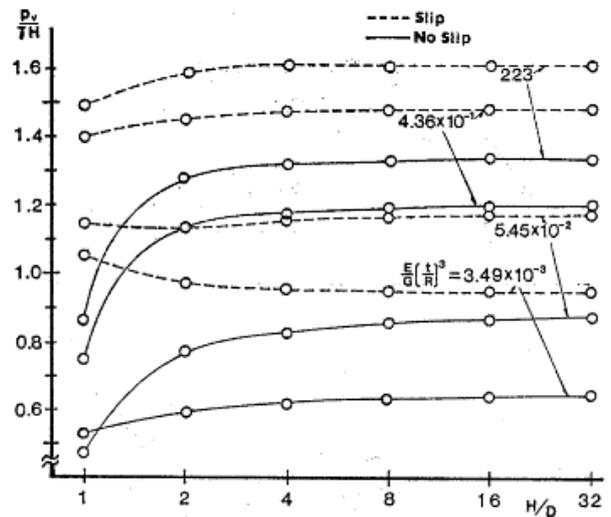


図 1. 地盤自重によるたわみ性埋設管の管頂土圧

表 3.弾性支持されていない場合の管変形量 w

P(kgf/cm2)	E(kgf/cm2)	I(cm4)	w(cm)
0.47	22700	3.74344E-07	265
10.39			5865
1.7			960
0.47	13800	3.74344E-07	436
10.39			9647
1.7			1578

<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)金内溪: たわみ性管の座屈に関する検討 平成 22 年度新潟大学卒業研究論文
- 3)東田淳: 弾性論による地中内設管のバックリング挙動の検討 土質工学会誌「土と基礎」, Vol.49, No.4, pp.19-22, 2001/04
- 4)大川秀雄: 地盤荷重によるたわみ性埋設管の挙動, 土質工学会論文報告集, Vol.27, No.4, pp.167-175, 1987/12