

直接埋設型ベローズの板厚計算方法の開発

古川愛子^{*1}

1. 研究の目的

ベローズ型伸縮可撓継手(以下、ベローズ継手)とは、図-1(a)のように蛇腹状に成型された金属製の薄いパイプからなる管用継手の一種である。地震に起因する大変形から管路の破断を防ぐ目的で埋設管路の継手に使用されることがある。埋設管路に設置される場合には、図-1(b)のように外筒と呼ばれる部品で外側を被覆し、土圧がベローズ本体に直接加わらないような構造にするのが一般的な設計である。近年、ベローズ継手を含む伸縮可撓継手に要求される変位量は増加傾向にあり、それに伴って外筒も大型化している。継手本体の費用の高騰や管路敷設工事の掘削範囲の拡大などの問題が発生する恐れがあるため、大型の外筒を設置することは望ましくない。そこで、ベローズ継手から外筒を取り外し直埋設する場合の設計手法を確立することを目的として研究を行った。

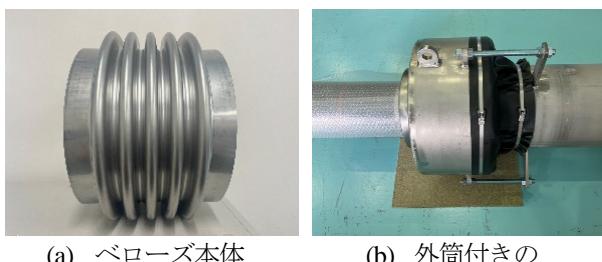


図-1 ベローズ継手

2. 研究の方法

(1) 既往の設計式

ベローズ継手に直接土圧が作用する場合の設計手法は現在確立されていない。そこで、Spangler式と呼ばれる円筒形の埋設管の設計式(1), (2)を参考にすることとした¹⁾。

$$\Delta X = \frac{2 \cdot K_x \cdot (W_v + W_t) \cdot R^4}{E \cdot I + B_1 \cdot E' \cdot R^3} \quad (1)$$

$$\sigma_b = \frac{2}{f \cdot Z} \cdot (W_v + W_t) \cdot \frac{K_b \cdot R^2 \cdot E \cdot I + (B_1 K_b - B_2 K_v) E' \cdot R^5}{E \cdot I + B_1 \cdot E' \cdot R^3} \quad (2)$$

ここで、 W_v ：鉛直土圧荷重、 W_t ：トラック荷重、 R ：平均半径、 E ：ベローズ継手材料のヤング率、 I ：断面二次モーメント、 E' ：地盤反力係数、 f ：形状係数、 Z ：断面係数、 K_b 、 K_x ：基礎反力係数、 B_1 、 B_2 ：側方土圧係数である。水道用埋設鋼管の管厚設計基準では円筒管に対する基礎反力係数は基礎支持角ごとに異なり、表-1のように定めている。また、側方土圧係数を $B_1=0.06146$ 、 $B_2=0.08303$ と定めている¹⁾。

Spangler式は図-2, 3のように鉛直荷重と基礎反力が等分布、側方土圧が放物線分布と仮定した場合に水平方向変形量 ΔX と管底の曲げ応力 σ_b を求める式である。この式は一定な断面を持つ円筒形の管路を想定して導出されたものであり、そのままベローズ継手の設計に適用することはできない。そこで、本研究では式中の係数をベローズ継手用に新たに定めることで、Spangler式をベローズ継手の設計に適用する方法の検討を行った。

表-1 Spangler の式における係数の値¹⁾

基礎支持角 α°)	K_b	K_x
60	0.18859	0.10258
90	0.15699	0.09559
120	0.13770	0.08910
150	0.12790	0.08478

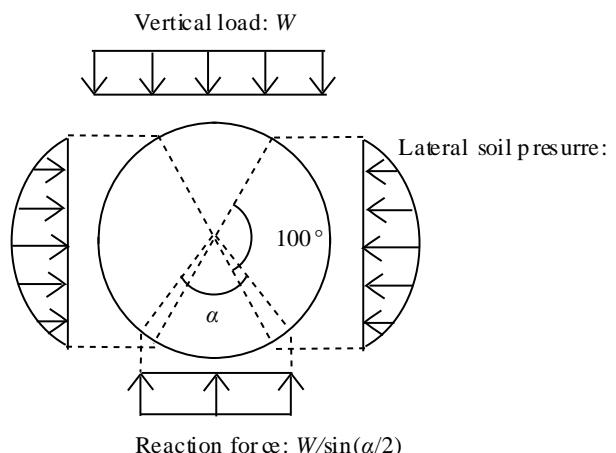


図-2 Spangler の式が仮定する土圧分布

*京都大学・教授

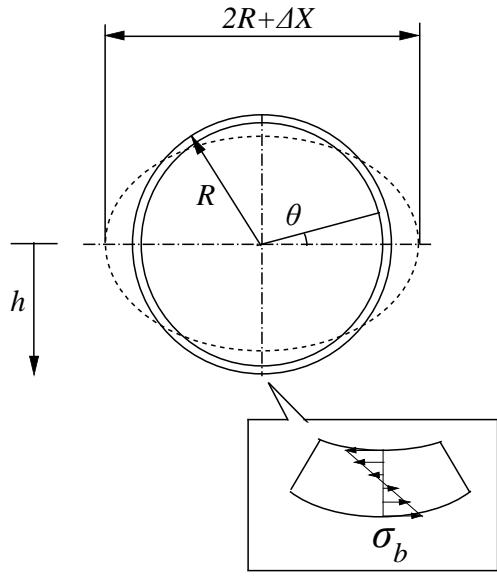


図-3 管路断面に生じる水平変形量と曲げ応力

(2) 有限要素解析

図-4 のような有限要素モデルを用いたパラメトリックスタディを実施し、得られた結果からベローズ継手用の Spangler 式の係数を求めた。パラメータは鉛直荷重 $W:21.6, 27, 54, 81, 108\text{kN/m}^2$ 、地盤反力係数 $E':0.7, 1.4, 2.8, 7.0\text{N/mm}^2$ 、ベローズ継手材料のヤング率 $E:195000, 205000\text{N/mm}^2$ 、口径 $\phi:300, 650, 1100\text{mm}$ 、山の数 $N:5, 10$ 、基礎支持角 $\alpha:60, 90, 120, 150^\circ$ である。

解析の手順を説明する。まず、Step1において側方土圧を無視し、鉛直荷重と基礎反力のみをベローズ継手に作用させて解析を行う。この時、地盤反力係数は $E'=0$ である。Step1で得られた水平方向変形量 ΔX と曲げ応力 σ_b を式(1), (2)に代入して基礎反力係数 K_b, K_x を求める。そして、Step2において鉛直荷重と基礎反力、側方土圧を改めてベローズ継手に作用させて解析を行う。この時、 $E' \neq 0$ であり、 K_b, K_x は Step1 で求めたものと等しいと仮定する。Step2の結果得られた $\Delta X, \sigma_b$ の値を側方土圧係数 B_1, B_2 を求める。

(3) ベローズ継手用の Spangler 式の係数

水平方向変形量 ΔX と管底の曲げ応力 σ_b の解析結果を再現するベローズ継手用の Spangler の式の係数を図-5 示す。これらの値は円筒形の Spangler 式の係数とはわずかに異なっていることが分かる。基礎反力係数 K_b, K_x は、パラメータのうち口径 ϕ と基礎支持角 α にのみ依存し、側方土圧係数 B_1, B_2 は口径 ϕ にのみ依存することが分かった。円筒形の埋設管の設計では異なる口径 ϕ に対しても一定の係数を与えており、ベローズ継手用の係数の傾向とは異なる。

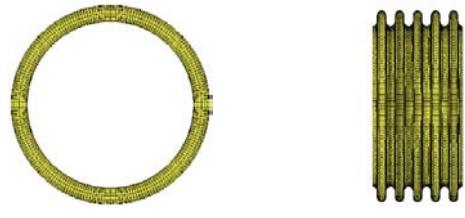


図-4 Spangler 係数算定のための有限要素モデル

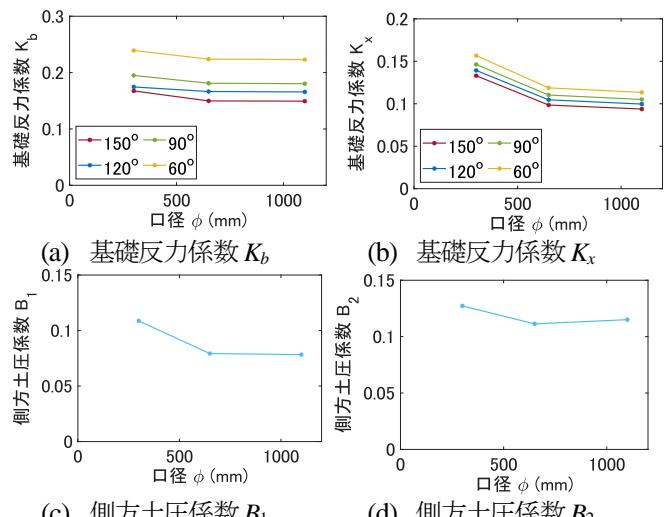


図-5 ベローズ継手用の Spangler 式の係数

3. 得られた成果

有限要素法に基づくパラメトリックスタディを行い、ベローズ継手用の Spangler 式の係数を求めた。これらの値は円筒形の Spangler 式の係数の値とはわずかに異なっており、ベローズ継手用に新たに係数を求めることが重要性が示せた。

4. 謝 辞

本研究は、日本ニューロン株式会社との共同研究として執り行われたものです。研究遂行にあたり、貴重なご助言をくださった日本ニューロン株式会社の関係者各位と、数値解析を担当した京都大学学生の檜原新山君に心より感謝申し上げます。

発 表 論 文

檜原新山、古川愛子、金丸佑樹、小池武、直埋設条件におけるベローズ継手の Spangler 式、第 80 回土木学会年次学術講演会、2025 年 9 月。

参 考 文 献

- 1)日本水道钢管协会:水道用埋設钢管の管厚設計基準 WSP030-99, 日本水道钢管协会技术资料, 1999.