

個別要素法による継手部を有する管路の大変形解析

神戸大学 学生会員 ○森田典和
神戸大学 正会員 RADAN IVANOV
神戸大学 フェロー会員 高田至郎

1. 目的

地中管路の震害として異型管部，分岐管部，継手部の破壊が際立っており，管路特殊部の性能は管路系の耐震性に大きい影響を与える．また，継手部が破断した後の管路の挙動も明らかにするためには，不連続管路としての解析をしなければならない．そこで本研究では，継手部を有する地中管路を個別要素法を用いて解析する．

2. 解析手法

2.1 概要

本研究で用いる個別要素法は，媒質を小要素あるいは粒体の集合体として取り扱うシミュレーション手法であり，不連続面で区切られた要素の集合体において個々の要素ごとに独立した2階常微分の運動方程式をたて(式・(1)，式・(2))，これを差分近似して，時間領域でステップ・バイ・ステップで前進的に解くことにより要素の挙動を追跡し，その集合体としての動的挙動を解析しようとするものである¹⁾．この時間要素に作用する力は，要素の接触点を通じて伝達され，作用反作用の法則に従う(図・2)．

$$\ddot{\mathbf{x}}_i + \alpha \dot{\mathbf{x}}_i = \mathbf{F}_i / m_i + \mathbf{g} \tag{1}$$

$\mathbf{x}_i$: 要素の座標， α : 減衰定数， $\mathbf{F}_i$: 要素に働く合力， m_i : 要素*i*の質量， $\mathbf{g}$: 重力加速度，

$$\dot{\boldsymbol{\omega}}_i + \alpha \boldsymbol{\omega}_i = \mathbf{M}_i / I_i \tag{2}$$

$\boldsymbol{\omega}_i$: 要素の回転変位， $\mathbf{M}_i$: 要素に働く合モーメント， I_i : 要素*i*の慣性モーメント

管路のモデル化は図・1 の中に示されるように管の要素とそれをつなぐはりで接続されている．要素間の力の伝達ははりを通して行われる(図・2)．はりに管路の材質特性や継手の特性，地盤の特性を入力することで，管自体と地盤，継手の挙動をモデル化する．式・(3)，式・(4)に管要素はりの力およびモーメントの算出式を示す．

$$F_i^s = \frac{12EI}{l^3}(x_i^s - x_j^s) - \frac{6EI}{l^2}(\theta_i - \theta_j) \tag{3}$$
$$M_i = \frac{6EI}{l^2}(x_i^s - x_j^s) - \frac{4EI}{l}(\theta_i - \frac{\theta_j}{2}) \tag{4}$$

2.2 管路のモデル化

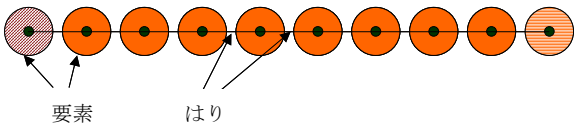
以下の諸元の管路をモデル化するために，要素に各要素で分担される重量を入力し，その要素をつなぐはりに，断面積，ヤング係数を入力した．また，はりは圧縮・引張ともにひずみ0.12%で塑性化するとした．

2.3 地盤のモデル化

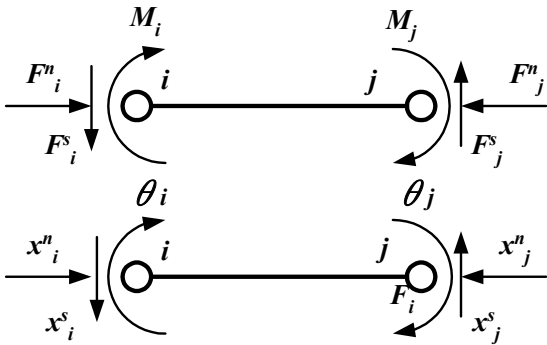
管軸直角方向の地盤バネ係数は次式で与えられものとする²⁾．

キーワード 個別要素法，地盤反力を示すはりの回転

連絡先 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町 神戸大学自然科学研究科 TEL078-803-6047



図・1 管路のモデル化



図・2 反力と変位

表・1 管特性

外径 D (m)	0.2
肉厚 (cm)	0.5
断面積 (cm ²)	30.615
ポアソン比 ν	0.3
密度 ρ (kg/cm ³)	1.97×10 ⁻²
ヤング係数 (kgf/cm ²)	2.1×10 ⁶
塑性域の E (kgf/cm ²)	弾性の 7/1000

$$k = \frac{1}{3} \cdot K_{30} \cdot \left(\frac{D}{17}\right)^{-\frac{3}{4}} \quad (5)$$

ここで D : 管の外径(m)であり, K_{30} は通常の 30(cm) 平板載荷試験により求められる地盤反力係数である。

今回は $K_{30}=3.0(\text{kgf/cm}^3)$ の地盤(ゆるい普通土)の値を用いて管軸直角方向の地盤ばね係数を算出した。単位面積当たりの地盤拘束力は $0.15(\text{kgf/cm}^2)$ とした²⁾。これらの反力が要素にかかるように地盤を表す要素と管自体の要素の間に等価はり(地盤ばね)を導入して表現した(図-3)。また、地盤変位が増大してくると管路に水平または直交して支持しているばねは、水平または直交からずれてくるので、地盤反力を示すはりは管とともに回転できるように工夫した。

2.4 継手のモデル化

継手についても同様に図-4、図-5 の特性を示すはりでモデル化した。

3. 解析例

全長 20m の管路を 20 個の要素に分割し、1m 単位のはりでモデル化した。外力として管路中央部より左側地盤要素に $v=(0,0,1)\text{m}$ の速度を与えた(図-6)。地盤反力を示すはりが回転しないケース(図-7)と回転するケース(図-8)を比較した。図-7 より管軸直角方向の地盤はりが管に作用する力は Z 方向のみであるのに対し、図-8 では管の変形とともに等価はりの方向が変化することにより、地盤はり反力は Z 方向のみではなく X 方向も生じていることがわかる。図-9 に垂直地盤はりの軸直の X 成分と Z 成分を示した。管自体が解析開始時の X 軸から傾いていくほど、方向性の効果が大きくなることがわかる。

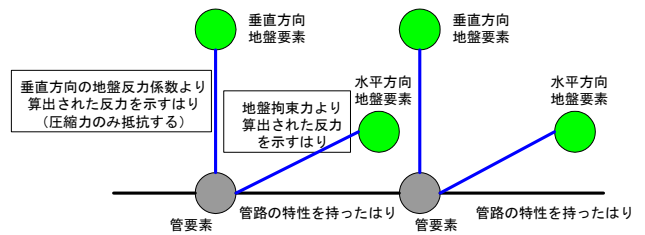


図-3 地盤反力に等価なはりの設定

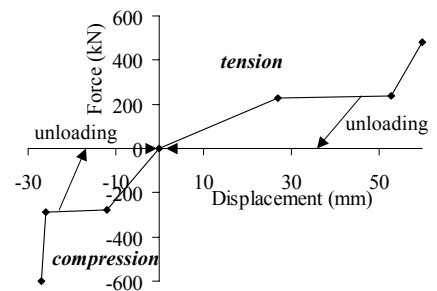


図-4 継手の応力-ひずみ関係

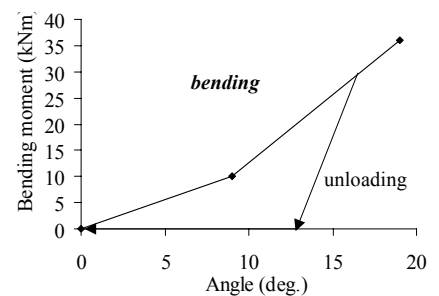


図-5 継手の $M-\phi$ 関係

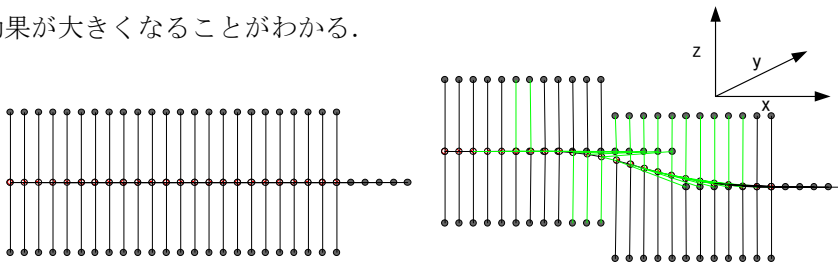


図-6 解析モデル

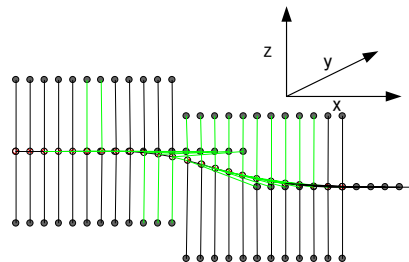


図-7 回転しないケース

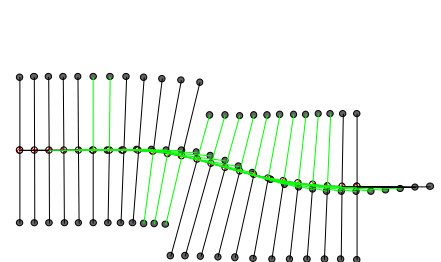


図-8 地盤はりが方向修正するケース

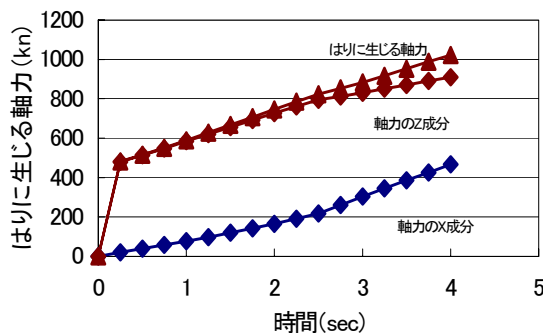


図-9 中心左側 1 本目の上盤地盤はりの軸力

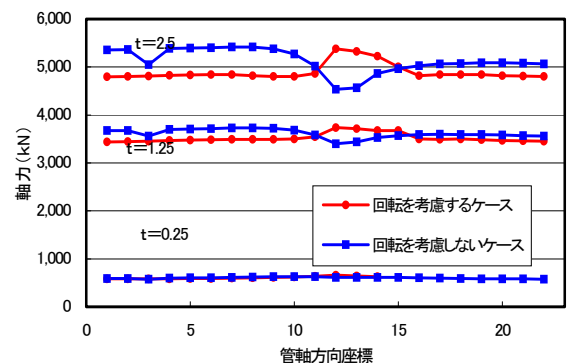


図-10 軸力の比較

【参考文献】

- 1) 伯野元彦：破壊のシミュレーション，森北出版，1997.10
- 2) ガス工作物設置基準調査委員会：ガス導管耐震設計指針，日本ガス協会 1982.3