

1 はじめに

大地震により大きな地盤変形が生じた場合、埋設管路は管軸方向にすべると考えられている。^{1) 2) 3)}
筆者らは、「地盤による埋設管の拘束を非線形を有するばねとモデル化した埋設管の地震時挙動解析システム⁴⁾」を開発し埋設管路の地震時挙動解析の研究を進めてきたが、ここでは曲管を含む二次元モデルを取り上げ実施したシミュレーションの結果を紹介する。尚、ここで紹介する解析手法は、三次元モデルにも適用できる。

2 解析手法

本手法では、地盤による埋設管の拘束を離散化したばねで与え、時々刻々の地盤変位を強制変位として離散化したばねを介して配管系に静的に与えることにより埋設管の地震時の挙動を解析する。管軸方向の地盤ばねの力学的性質をバイリニアで仮定し図1に示すヒステリシスループを与える。但し、パイプは弾性体とする。時刻 t_i から t_{i+1} の間の地盤変位増分 $\Delta|U_{si}$ が与えられると、図2に示した構造系は、外力が働かないので、式(1)を解くことでパイプ節点の変位増分 $\Delta|U_{pi}$ が求まる。

$$\Delta|U_p = [|K_p + |K_{si}]^{-1} \cdot |K_{si} \cdot \Delta|U_{si} = 0 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $|K_p$; パイプからなる剛性マトリックス

$|K_{si}$; 地盤ばねからなる剛性マトリックス

$\Delta|U_{pi}$; パイプ節点変位の増分

$\Delta|U_{si}$; 地盤変位の増分

ここでは、非線形地盤ばねを扱うので、時刻 t_i から t_{i+1} の間の荷重増分段階において $|K_{si}$ は変化する。そこで、本手法では、計算誤差を出来る限り小さくするため以下に示す変位制御型の増分法により式(1)を解く。⁵⁾ 時刻 t_{i-1} から t_i の間の地盤変位増分 $\Delta|U_{si-1}$ より時刻 i における初期の地盤ばねからなる剛性マトリックス $|K_{s-i}$ が求まったとする。時刻 t_i から t_{i+1} の間の荷重増分第 j 段階の地盤ばねからなる剛性マトリックスを $|K_{sij}$ とすると、 $|K_{si1}$ を次の手法で求める。時刻 t_i から t_{i+1} の間の地盤ばねの相対変位の増分 $\Delta|U_1$ を式(2)で仮定する。

$$\Delta|U_1 = \Delta|U_{pi} - \Delta|U_{si} = \{ [|K_p + |K_{s-i}]^{-1} \cdot |K_{s-i} - I \} \cdot \Delta|U_{si} \dots\dots\dots (2)$$

ここで、地盤変位の増分 $\Delta|U_1$ が $|K_{s-i}$ で仮定した地盤ばねの状態(弾性状態又は塑性状態)と一致していれば、 $|K_{si1} = |K_{s-i}$ となる。一致していない場合は、矛盾の生じた地盤ばねの状態を変えて新たに $|K_{s-i}$ を作り式(2)を解く。この動作を $\Delta|U_1$ が $|K_{s-i}$ で仮定した地盤ばねの状態と一致するまでくり返すことにより $|K_{si1}$ が求まる。次に、第1段階の荷重増分倍率 α_1 を求める。式(2)より、節点 k における地盤ばねの相対変位の増分 ΔU_1^k が求まる。節点 k の地盤ばねの状態変化点までの相対変位を U_1^k とすると、節点 k での状態変化点までの荷重倍率を式(3)で与える。

$$\alpha_1^k = U_1^k / \Delta U_1^k \dots\dots\dots (3)$$

$$\alpha_1 = \min(\alpha_1^n) \quad (n = 1, 2, 3, \dots, k, \dots) \dots\dots\dots (4)$$

式(1)、式(4)より地盤変位 $\alpha_1 \cdot \Delta|U_{si}$ が作用した場合のパイプ変位増分は式(5)で与えられる。

$$\Delta|U_{pi} = [|K_p + |K_{si1}]^{-1} \cdot |K_{si1} \cdot (\alpha_1 \cdot \Delta|U_{si}) \dots\dots\dots (5)$$

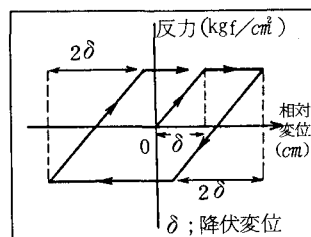


図1 地盤ばねの挙動

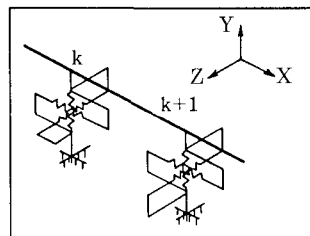


図2 解析モデル

荷重増分第1段階後のパイプ変位は式(6)で与えられる。

$$|U_{pi1}| = |U_{pi}| + \Delta |U_{pi}| \dots\dots\dots (6)$$

同様に、 $\sum \alpha_m = 1$ (α_m ；荷重増分m段階における荷重増分倍率)になるまで、パイプ変位増分 $\Delta |U_{pm}|$ を求め積算することにより時刻 t_{i+1} におけるパイプ変位 ($|U_{pi+1}| = |U_{pi}| + \sum \Delta |U_{pm}|$) が求まる。

以上の手法をくり返すことにより時刻歴を追って、パイプ変位、断面力等が求まる。

3 解析例

解析に用いた配管構造モデルを図3に示す。本モデルの特徴は、曲げ角45°の曲管2つを含む二次元モデルである。パイプ節点間隔は直管部で500mm、曲管部で曲げ角15°間隔である。パイプ諸元を表1、地盤ばねの力学的性質を図4、図5に示す。これはガス導管耐震設計指針¹⁾の標準値を用いた。離散化した地盤ばねの弾性域でのばね係数は、図4、図5に示したばね係数に離散ばねのパイプ受け持ち面積を乗じた値である。

入力地震動を表2に示す正弦波で与える。進行方向・変位成分は図3に示したX方向である。ここでは、時刻間隔0.1秒で計算を行った。

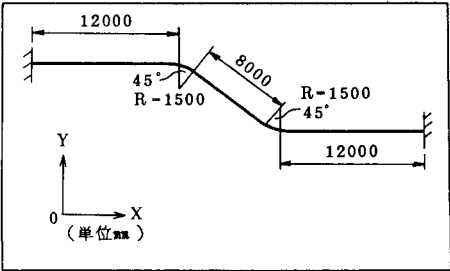


図3 配管構造モデル

表1 パイプ諸元

管径(mm)	管厚(mm)	ヤング率(kgf/cm ²)
2036.0	18.0	2.1×10^6

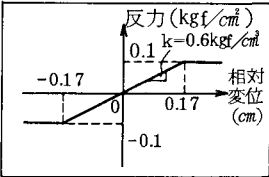


図4 管軸方向地盤ばね

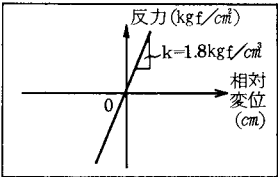


図5 管軸直角方向地盤ばね

表2 入力地震動

周期(sec)	1.0
伝播速度(m/sec)	800.0
振幅(cm)	5.0
伝播方向	X 方向
変位成分	X 方向

4 解析結果及び考察

管路に発生する軸力・曲げモーメント・軸歪の最大値を図6に示した。但し、歪を算出する際には、曲管の応力集中係数は考慮していない。曲管部には、直管と比べ大きな歪が発生している。管路に発生する歪分布は、曲管から離れた管路端付近の直管部では、軸力と曲げモーメント両者の影響を受けるが、曲管及びその付近では曲げモーメント分布と同じ傾向を示す。

このように、曲管を含む管路では、地震時に生じる歪において軸力よりも曲げモーメントが支配的になる場合がある。

今後、更に種々の条件下でシミュレーションを行い埋設管の耐震性の向上に尽したい。

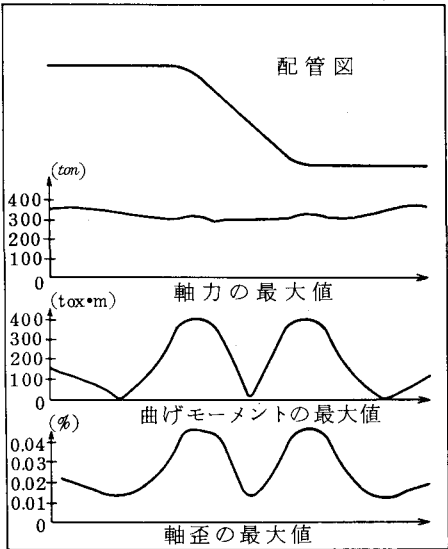


図6 軸力・曲げモーメント・軸歪の最大値

(参考文献)

- 1) (社)日本ガス協会；ガス導管耐震設計指針1981年
- 2) 宮島・宮内・島；埋設導管の摩擦抵抗測定に関する二、三の実験的研究 第10回土質工学研究会 P925～P928 1975年
- 3) 小池；埋設ライフラインパイプの地震時ひずみ 川崎製鉄技報 P314～P332 1980年
- 4) 下川・田中；埋設管の地震時挙動に関する二、三の考察 第18回土質工学研究発表会 1983年
- 5) 服部；建築構造学大系 コンピューターによる構造数値解析法