

# (130) 多分岐を有する地中管路の地震時挙動解析

神戸大学大学院 学生員 堀之内伸裕  
 神戸大学工学部 正員 高田 至郎  
 神戸大学大学院 学生員 田邊揮司良

## 1. はじめに

従来の埋設管路の地震時挙動に関する研究は、連続管、継手管、一ヶ所だけに屈曲部あるいは枝管を有する管路などについて実施されているが、枝管が多本数付いているものに対し挙動解析を行った例は見られない。枝管一本の場合の挙動とは異なるものと思われる。そこで本研究では著者ら<sup>1)</sup>により従来開発された地中管路の非線形地震応答解析プログラム ERAUL (Earthquake Response Analysis of Underground Lifelines) を T 字管路についても解析できるように拡張した ERAUL-T プログラムを用いて、地震時の主管および枝管の挙動について検討した。

## 2. 解析理論

(1) 直管部:  $i$  番目要素の左端(L)の物理量と右端(R)の物理量は次の関係で表わされる (Fig.1)。

$$\{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.R} = [F] \{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.L} \quad (1)$$

ここで、 $u$ は軸方向変位、 $v$ は軸直角方向変位、 $\phi$ はたわみ角、 $N$ は軸力、 $M$ は曲げモーメント、 $Q$ はせん断力、 $[F]$ は  $i$  番目要素の格間伝達マトリックス、添え字  $T$  は転置行列を意味する。また、 $i$  番目要素の右端の物理量と  $(i+1)$  番目要素の左端の物理量は次式の関係で表される (Fig.2)。

$$\{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.i+1.L} = [P] \{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.i.R} \quad (2)$$

ここで、 $[P]$ は  $i$ 、 $(i+1)$  番目要素間の格点伝達マトリックスである。

式①を式②に代入することで次の関係が導かれる。

$$\{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.i+1.L} = [P][F] \{u, v, \phi, N, M, Q, 1\}^T_{.L} \quad (3)$$

(2) T字管部: 主管部の  $i$  番目および  $(i+1)$  番目要素の物理量と枝管側  $k$  番目要素の物理量は次のような力および変位の適合条件で関係づけられる (Fig.3)。

$$\{N, M, Q\}^T_{.i+1.L} = \{N, M, Q\}^T_{.i.R} + \{Q, M, -N\}^T_{.k.R} \quad (4)$$

$$\{u, v, \phi\}^T_{.i+1.L} = \{u, v, \phi\}^T_{.i.R} = \{v, -u, \phi\}^T_{.k.R}$$

式①~④を用いれば管路の左端の未知物理量は右端へと伝達され、右端の境界条件を導入することで各要素の物理量は決定される。

## 3. 解析モデル

(1) 入力地震波: 入力波として正弦波を用い、参考文献<sup>2)</sup>,

3) から埋設管と地盤との相対変位が最大となるよう<sup>4)</sup>に振幅1.90cm、波長141mとした。波種は進行方向と運動方向が一致するような波動を仮定している。Fig.4に4ケー

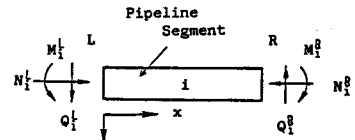


Fig.1 Directions of Forces in Pipeline Segment

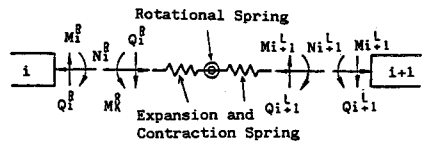


Fig.2 Directions of Forces at Joint

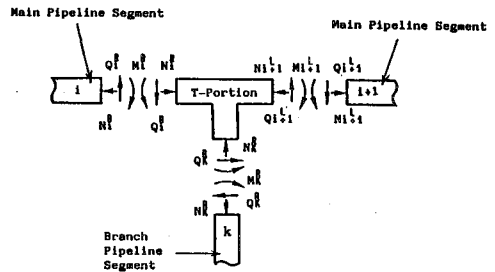


Fig.3 Directions of Forces at T-Portion

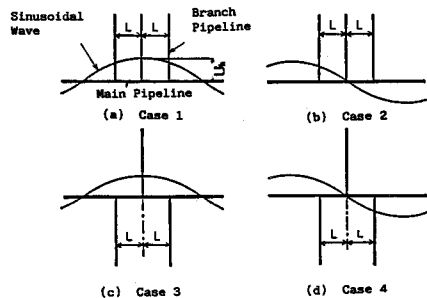


Fig.4 Calculation Models to Investigate Effects of Interval Distance of Branch Pipes

スの解析モデルについて、枝管間隔および入力波との位置関係を示している。

(2)埋設管：管路は主管、枝管共に鋼管であり、管路の諸因子はTable-1に示す。基本モデルとして主管には直径89.1mm、枝管には60.5mmを用いている。また主管および枝管の管径による応答値の違いを調べるため、主管側では60.5,76.3,101.6,114.3mm、枝管では42.7,48.6,76.3,89.1mmの間で管径を変化させている。

(3)地盤および継手バネ特性：地盤バネ特性は参考文献(2),3)を参考としてFig.5のように定めて解析を行った。また継手はSGM継手(Steel Gas Mechanical Joint)を用いた。

#### 4. 解析結果および考察

(1)位相差の影響：入力波の位相差(0°~90°)に

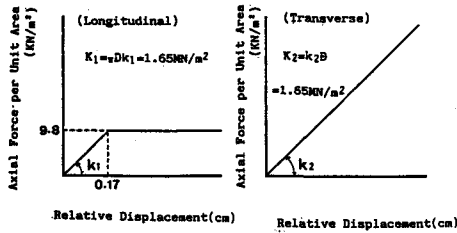


Fig.5 Ground Spring Characteristics

Table-1 Characteristics of Main and Branch Pipes

Pipe	Diameter (cm)	AREA (cm²)	Geometrical Moment of Inertia (cm⁴)	Young's Modulus (kgf/cm²)
Main	8.91	11.2	101.2	2.1x10⁶
Branch	6.05	6.77	27.32	2.1x10⁶

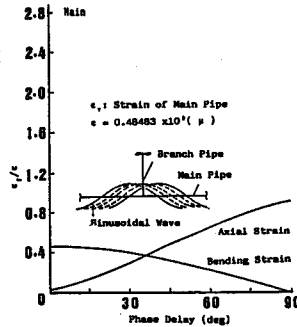


Fig.6-(a) Effects of Phase Delay

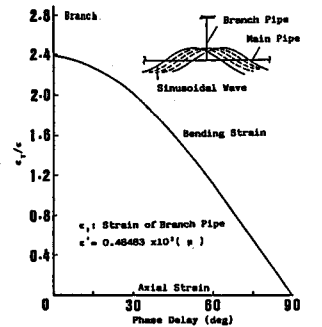


Fig.6-(b) Effects of Phase Delay

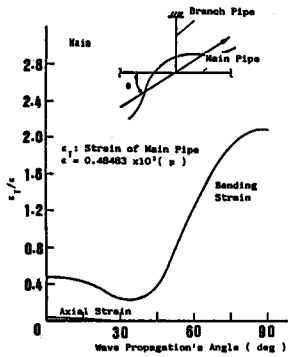


Fig.7-(a) Effects of Wave Propagation's Angle

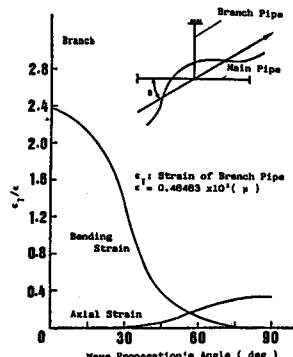


Fig.7-(b) Effects of Wave Propagation's Angle

より、主管、枝管に生じる軸ひずみおよび曲げひずみの影響をFig.6-(a),(b)に示す。最大ひずみが生ずるのは枝管側で最大曲げひずみ比(各々の位相における最大曲げひずみと0°入力時の最大曲げひずみとの比)は2.4であり、その他はかなり小さい値である。

(2)入射角の影響：枝管を一本有するモデルに対する波動の入射角の影響(0°~90°)についてFig.7-(a),(b)に示す。最大曲げひずみを生じるのは、枝管側では0°入力時で、主管側では90°入力時であることが分かる。

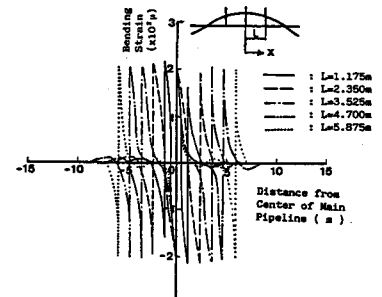


Fig.8 Bending Strain

Distributions along Main Pipeline (Case 1)

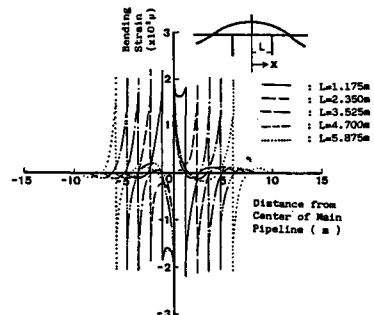


Fig.9 Bending Strain

Distributions along Main Pipeline (Case 3)

(3)枝管間隔の影響: Fig.4 のCASE.1,CASE.3に対する枝管間隔の影響をFigs.8,9に示す。図より、枝管間隔がT字部での曲げひずみ応答に影響を及ぼす範囲は3.0~4.0mであることが分かる。また、弾性床上の梁理論を用いて、枝管一本を有する場合の挙動を計算した。主管に沿った入力波に対する主管側の曲げひずみが0になるT字部からの距離は、 $(5/4\pi) \sqrt{K_2/4EI}$ で与えられる。この関係式を今回のケースについてあてはめると3.5mとなり、シミュレーション結果での枝管間隔の影響範囲とよい一致を示す。

(4)管径の影響: 主管および枝管の管径変動による主管側の曲げひずみの影響をFig.10に示す。主管と枝管の管径の差と曲げひずみはほぼ直線的関係を示すことが分かる。参考文献2),3)と比較すると、若干シミュレーション結果の方が小さめの値となっている。

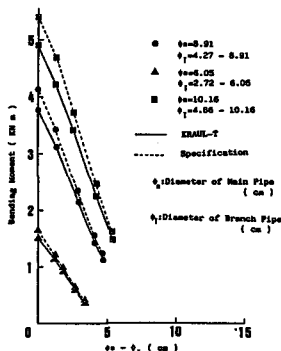


Fig.10 Effects of Pipe Diameter of Branch Pipe

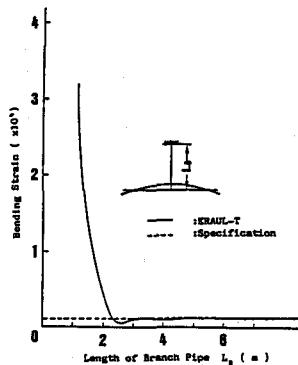


Fig.11 Effects of Pipe Length of Branch Pipe

(5)枝管長の影響: 枝管の管長と枝管部の曲げひずみの関係をFig.11に示す。枝管長が約2.0mより短くなると枝管分岐部に生じる曲げひずみが増加する傾向にあり、それ以上ではほぼ一定値を示すことが分かる。弾性床上の梁理論を用いて、枝管部で曲げひずみが発生する、最大のT字部からの枝管長を求めると次式で表される。

$$L_{max} = \frac{\pi}{\beta_B} + \frac{1}{\beta_B} \tan^{-1} \left( \frac{2\beta_B^2}{\beta_B^2 + 2\beta_B^2} \right) \quad (5)$$

ただし、 $\beta^4 = K_2/4EI$ 、添え字M,Bは各々主管、枝管を意味する。この関係式から曲げひずみが影響する枝管長は2.55mとなり、シミュレーション結果とよい一致を示した。

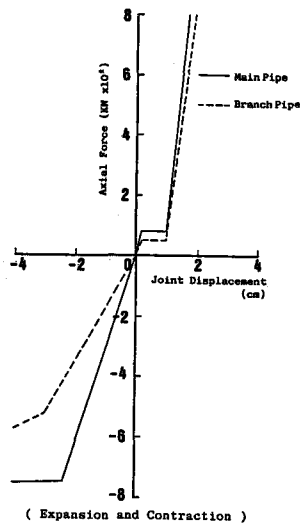


Fig.12 Joint Spring Characteristics

(6)継手の影響: 継手の非線形バネ特性をFig.12に示し、また、主管に沿って波動が入力する場合の継手位置における曲げひずみおよび継手回転角の応答値をFigs.13,14に示す。継手がT字部付近にあると主管、枝管共に最大曲げひずみが小さく、枝管側の継手回転角も小さい。しかし主管側の継手回転角は継手がT字部付近になるほど増加し、逆に枝管側ではT字部より離れるほど増加の傾向にある。これより継手位置に関し実際の設計では、用いる継手の特性および曲げひずみ分布を考慮し、検討すべきである。

(7)多分岐による影響: 一波長内の枝管本数が異なる場合の主管側入力での主管延長に沿った軸ひずみ分布をFig.15に示す。図では、明らかに軸ひずみ量は枝管本数を増すほど増大していることが分かる。これは枝管本数が増えると主管の挙動が地盤の挙動に追従されやすい傾向になり、主管と地盤とのすべりが生じにくく、主管の軸ひずみがすべりを考慮しない場合の最大管体軸ひずみ662μに近い値になるためと考えられる。さらに、主管側および枝管側入力での枝管間隔とT字部の曲げひずみとの関係(Fig.16)では、枝管間隔が増加するほど最大曲げひずみの比が1に近づく傾向にある。ここに曲げひずみ比とは一本分岐に対する多分岐管路の

曲げひずみの比率である。

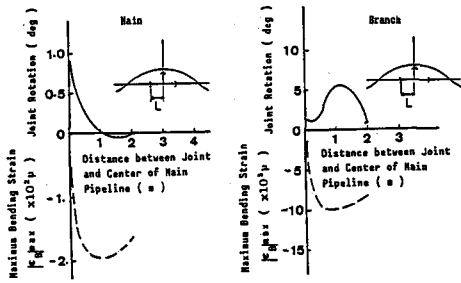


Fig.13 Effects of Location of Joints

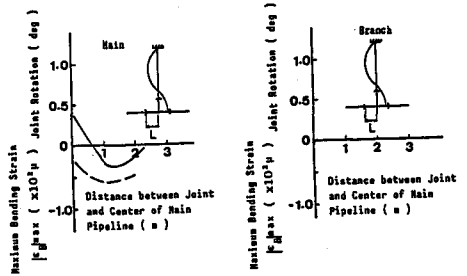


Fig.14 Effects of Location of Joints

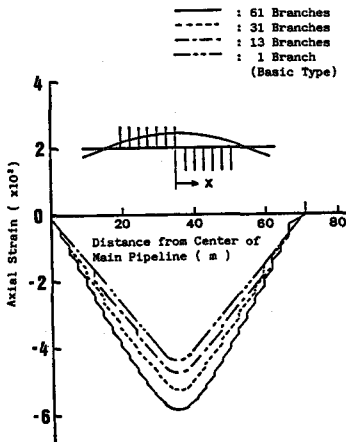


Fig.15 Axial Strain Distributions along Main Pipeline

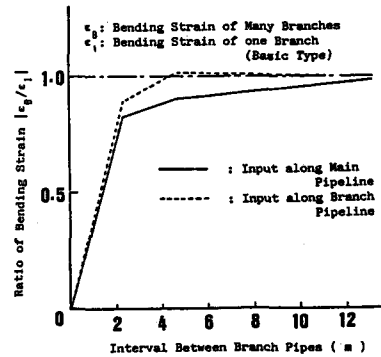


Fig.16 Effects of Interval between Branch Pipes

## 5. 結論

本文は新たに開発した多分岐地中管路解析計算機プログラムを用いて、位相差、入射角、枝管間隔、管径、枝管長、継手および多分岐管路などの影響について計算し、地中埋設管路のT字部の挙動について調べた。枝管路がかなり多く付いているような場合には、地盤と管路の間のすべりを考慮した枝管一本管路の応答評価では、危険側の管路設計となる可能性がある。現実の管路系では多分岐管路と見なせるので充分検討の余地がある。

## 参考文献

- 1) 高田他：硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション, 水道協会雑誌, 第547号, 1980, pp27-39.
- 2) 土岐・椿本他：Recommended Practice for Earthquake Resistant Design of High Pressure Gas Pipelines, Proceedings of the Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, pp.349-356.
- 3) 社団法人 日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針, 1982.3.
- 4) 高田・椿本他：Earthquake Response Simulations of T-shaped Portion in Ductile-Iron Pipelines and Development of Earthquake Resistant Hot Branch Sleeve, 1983 International Symposium on Lifeline Earthquake Engineering, 1983, pp.357-364.