

強震時の地盤大変位入力に対する地中パイプラインの応答特性

熊本高等専門学校 正会員 ○湊田 邦彦
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株) 清田 直子

1. はじめに

都市施設として地中パイプラインが担う役割は非常に大きく公共性も高いことから、地震時のパイプラインの応答に関する研究は、非常に重要であるといえる。本研究では、巨大地震を想定した入力地盤変位に対するパイプラインの応答特性を明らかにすることを目的とする。ここでは、防災科学技術研究所が運用する強震観測網K-NETで観測された先の東日本大震災での強震記録¹⁾を参考に、パイプラインへの入力地盤変位を設定し、修正伝達マトリックス法及び弾性床土上の梁理論に基づく擬静的解析手法により、地中パイプラインの変位や断面力に関する応答を求め、継手や管体の破損も含めた検討を行う。

2. 解析手法

Fig.1は地中パイプライン(管路)の解析モデルであり、管路本体を弾性床土上の梁とみなし、継手は伸縮ばね及び回転ばねによって連結されたものとしてモデル化する。このモデルにおいて、管路軸方向および軸直角方向の運動に関しては慣性力及び減衰力は小さいものとして省略すると、次の釣り合い式が成立する^{2)~4)}。

$$-EA \frac{\partial^2 u}{\partial X^2} = k_x(U-u) \quad \dots \text{軸方向} \quad (1)$$

$$EI \frac{\partial^4 v}{\partial X^4} = k_y(V-v) \quad \dots \text{軸直角方向} \quad (2)$$

ただし、 u, v および U, V はそれぞれ管および地盤入力変位の、それぞれ軸方向および直角方向の変位を、 k_{sx}, k_{sy} はそれぞれ軸方向および軸直角方向の管路の単位長さ

当たりの地盤ばね定数、 E, A および I は、それぞれ管体の弾性定数、断面積および I は管体の断面二次モーメントである。式(1)、(2)を解く方法として伝達マトリックス法を用いると、1 管体における左端($x=0$)の物理量(変位と断面力)を条件として右端の物理量が求められる、次式の関係が得られる。

$$V^R = FV^L \quad (3)$$

ただし、 V^R, V^L は 1 管体の右端、左端の変位および断面力 6 成分を要素とする状態量ベクトル、 F は管路(はり要素)の幾何的条件と荷重項によって表される格間伝達マトリックスである。次に管路継手部においては、管路要素が軸方向ばね(k_t)と回転ばね(k_r)によって連結されるとして、次式が得られる。

$$V_{k+1}^L = P_k V_k^R \quad (4)$$

ここに、 P_k は格点伝達マトリックスであり、継手ばねを要素として、継手部を超えて k 番目管体の右端の状態ベクトルを $k+1$ 番目管体の左端に伝達する。

そこで式(1)、(2)を状態方程式の形に書き直し、修正伝達マトリックス法を適用すると解が得られる^{2)~4)}。

3. 数値計算結果と考察

数値計算には、修正伝達マトリックス法に基づいた擬静的解析手法として開発された解析プログラム「PIPE」を使用する^{2)~4)}。地盤、管及び継手特性等の諸条件を設定し、パイプラインの変位や断面力などの地震応答について数値計算を行う。解析に用いた諸量の標準値を Table.1 に示す。管種ダクタイル鋳鉄管、管体 5m を継手で結合した延長 100m、管径 1.1m、管厚 16mm、軸方向解析の場合 1 端固定・他端自由、軸直角方向解析の場合両端固定とする。入力地盤変位は管軸に沿って一定の分布とし、強震時の最大変位が数十 cm 程度生じることから、その大きさを普通地盤の場合 0.1~5.0m とした。液状化地盤の場合は、側方流動による大変位を想定して 1.0~5m まで検討する。地盤ばねは、設計指針等に見られる普通地盤の地盤反力係数を参考として $9.8 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ (10^7 kgf/m^2) を標準値とし、液状化時の地盤ばね定数は標準値の 1/1000 と仮定する。Fig.2 に地盤ばねの特性を示す。

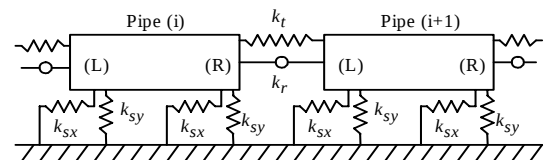


Fig.1 Modeling of a Pipeline-Soil System

キーワード パイプライン, 弾性床土のはり, 修正伝達マトリックス法

連絡先 〒866-8501 熊本県八代市平山新町 2627, TEL 0965-53-1346

Table 1 Reference pipe parameters

Physical items	Values(unit)
Material of segment	Ductile cast iron
Nominal diameter	1100 (mm)
Thickness	16 (mm)
Total length	100 (m)
Tensile strength	3.92×10^5 (kN/m ²)
Bending strength	5.59×10^5 (kN/m ²)
Allowable joint expansion	50 (mm)
Allowable joint rot. angle	5 (degree)

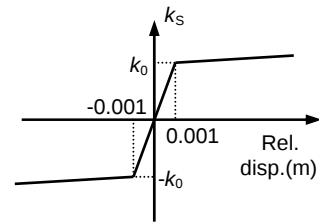
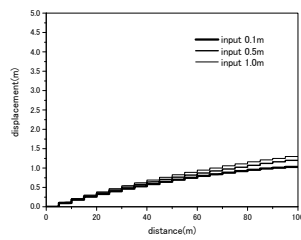
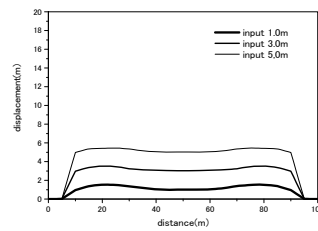
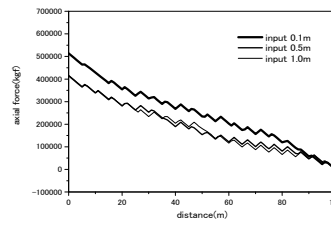


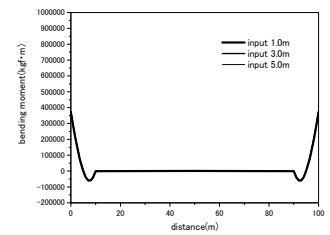
Fig.2 Characteristics of soil spring

(a) Axial
Fig.3 Displacement of GM-type joint

(b) Lateral

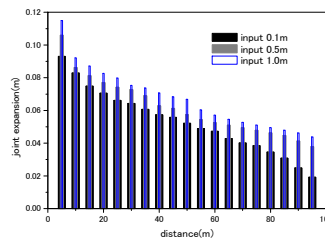


(a) Axial force

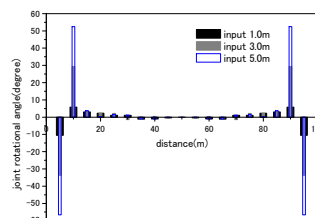


(b) Bending moment

Fig. 4 Cross sectional force of GM-type joint

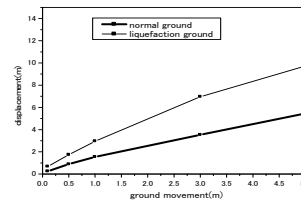


(a) Expansions

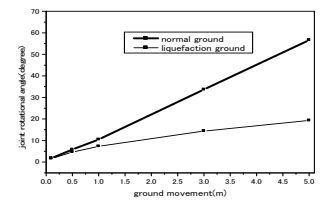


(b) Rotational angle

Fig. 5 Displacements of GM-type joint



(a) Lateral disp.



(b) Joint rotational angle

Fig. 6 Displacements of GM-type joint

Fig.3～6はGM型継手管路の応答であり、順に、変位応答分布、断面力応答分布、継手変位応答分布、入力地盤変位に対する変位応答・継手回転角応答の変化を示している。Fig.3より、パイプラインの変位応答は入力地盤変位が増すほど大きくなること、Fig.4より、パイプラインの軸力は入力地盤変位が増すほど小さくなること、曲げモーメントは入力地盤変位増加に対して大きさは変わらない結果となっている。Fig.5の継手変位応答は、伸縮量と回転角応答のいずれも固定端に近い場所で大きくなっており、入力地盤変位が大きい場合には許容値を上廻って破損することがわかる。Fig.6より、軸直角方向変位および継手回転角応答は入力地盤変位の増加とともに増大しており、入力地盤変位が1 m程度以上で許容値より大きくなり破損する可能性があることがわかる。

4. まとめ

本研究では強震時の入力地盤大変位に対するパイプライン応答の数値解析を行い、その地震応答特性について検討した。主な成果として、普通地盤の場合、パイプライン変位は軸方向・軸直角方向ともに、曲げモーメントおよび継手の伸縮量と回転角も、それぞれ、入力変位の増大に伴って応答値が増加すること、変位の増大に伴って応答値が増加し、継手変位の限界値を超えて破損するにいたることなど、さらに、液状化地盤の場合もGM型継手では大きな値を示すため破損することが示された。

参考文献

- 1) K-NET, 最大加速度リスト, 防災科学技術研究所, 2011.
- 2) Fuchida, K., Proc. of 5th U.S. Natio. Conf. on Earthq. Eng., 959-968, 1994.,
- 3) Fuchida, K., et.al, Proc. of Third China-Japan-US Tri. Symp. Lifel. Earthq. Eng., pp.141-148, 1998.,
- 4) Fuchida, K., Proc. of Seventh Int. Conf. on Earthq. Resis. Eng. Struct., 369-379, 2009.