

防衛大学校 土木工学教室 正会員 佐藤 祐志

1. まえがき 水道、ガス導管などとして古くから用いられている小口径埋設管の地震時挙動については、震害調査、地震時挙動観測による情報とともに実験的および解析的な面から検討されており、管路の変形が地盤とはほぼ同位相であって管路の固有振動は認められないこと、直線管路に生ずるひずみは軸方向変形によるものが卓越することなどの重要な知見が得られている^(1,2)。しかしながら、埋設管路は、地表面近く広く分布しているため周辺地盤の影響を受けやすく、また構造系としても継手など不連続部分を含んでいるので、実際問題として重要な耐震性の評価には、多くの問題が残っている。

本報告は、管路系の地震時挙動(特に、継手の変形)におよぼす、地盤の性質、継手の変形特性の影響を検討することを目的として行い、数値シミュレーションの概要について述べたものである。解析には、メカニカル継手を有するダクタイル管路と想定したモデルを用いた。

2. 管路系のモデル化とバウメータの性質

埋設管路は、マスの小さな線状構造物であるので、管の変形は地盤の変形に追随するものと考えられ、一般には、弾性支持これをバネまたは弾性モデル化されている。解析の手法としては、実地震波あるいは模擬地震波などによる動的解析法も用いられるが、普通は応答変位法によって解析されることが多い。

本報告では、管路の変形を管軸方向のみと考え、図-1に示すようにモデル化した。解析にあたり、その基本的な仮定は以下のとおりである。

- 1) 管と地盤中にバネで拘束された棒と見做し、それぞれ地点での地盤変位がバネを介して管に作用する。
- 2) 管と地盤に拘束するバネは、完全弾塑性型の非線形性をもつものとする。すなわち、このバネは管と地盤との間の相対変位がある限度(UL)に達するまでは線形バネとして働き、それ以後は、一定のマツカを伝える。
- 3) 継手は、線形バネに置き換える。
- 4) 入力地盤変位モデルについては、種々の考え方があがるが、ここでは、管1本(5m) 毎に独立にある平均値のまわりに確率分布すると考え、正規乱数 $N(0,1)$ で与えることにする。
- 5) 地盤バネ定数および継手バネ定数は、ともにランダム量とする。

以上の考え方に基き、応答計算は、有限要素法により、それぞれの組合せについて100回のシミュレーションを行った。なお、解析に必要な諸数値については、地盤調査結果、地震観測結果から決定されるべきものである。しかしながら、現実の問題として、これらの数値と確定量として扱うにはデータが不足しており、また、本来、これらのバウメータには不確定な要素も多分に含まれていると思われるので、本解析では、ある平均値のまわりにバウメータのあるランダム量として扱った。

3. 解析条件

(1) 管路の諸元

管種 : メカニカル継手を有するダクタイル管
 口径 : 200 (実外径 220mm)
 管路延長 : 30m (5m × 6本)
 境界条件 : 管路の両端は地盤に固定

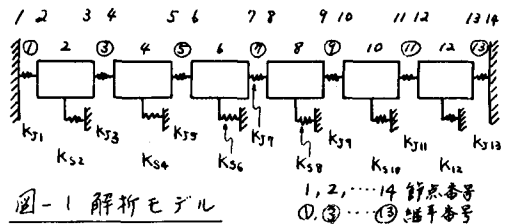


図-1 解析モデル

1, 2, ..., 14 節点番号
 1, 3, ..., 13 継手番号

表-1 継手のバネ定数 (kg/m) : K_j

	K_j	K_j/K_p	K_p : 直管部(5m)のバネ定数
A	7.5	1/2000	
B	75	1/200	
C	750	1/20	

(2) 継手の剛性 各継手のバネ定数 (K_{ji} ; $i=1, 3, \dots, 13$) は表-1の K_j と平均値に比例する確率変数とする。

$$K_{ji} = K_j \{1 + 0.3N(0, 1)\} \dots \dots (1)$$

但し、 $N(0, 1)$ は正規乱数

(3) 地盤のせん断バネ定数 (K_{Si}) 表-2の値と平均値に比例する確率変数とする。

$$K_{Si} = K_S \{1 + 0.3N(0, 1)\} \dots \dots (2)$$

すべり開始時の相対変位 (UL): $0.1, 0.3, 0.5 \text{ cm}$

(4) 地盤変位 節点 (7, 8) の地盤変位および節点間の地盤の相対変位の頻度分布、平均値、標準偏差は図-2, 3に示すとおりである。

4. 解析結果および考察 前述の条件における計算結果の一例として、図-4に管路中央の継手⑦に関する変形の応答値の標準偏差と地盤のせん断バネ定数の平均値 (K_S) との関係、継手のバネ定数の平均値 (K_j) とパラメータとして示した。図-5は、継手⑦の最大拔出量に関する同様の関係を示したものである。それぞれの図には、地盤のせん断バネと線形としたときの応答値と非線形 ($UL=0.1 \text{ cm}$) の場合の応答値をプロットしてある。

これらの図より、継手バネが非常に弱い場合には、継手の変形は地盤バネの性質に関係なく地盤の相対変位に近く、また、継手の変形は、地盤のせん断バネ定数が大きくなるにともなう大きくなる。このことは、本解析においては、地盤の性質に関係なく同一の入力地盤変位を用いたことによるものである。実際には、地盤が硬くなる (バネ定数が大きくなる) に従って、変位振幅は小さくなると思われるので、地盤の性質と変位振幅の相対値との関係についてさらに検討していく必要がある。本報告で触れることのできなかったバネ定数の変動の影響および重回帰分析の結果については講演時に述べたい。

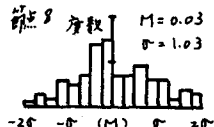
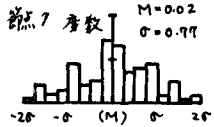


図-2 節点変位の頻度分布

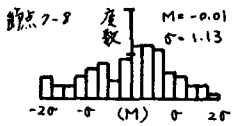


図-3 相対変位の頻度分布

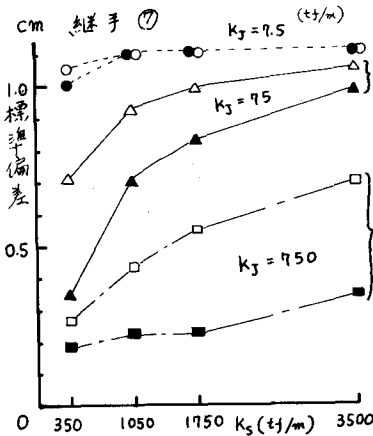


図-4 継手変形の標準偏差

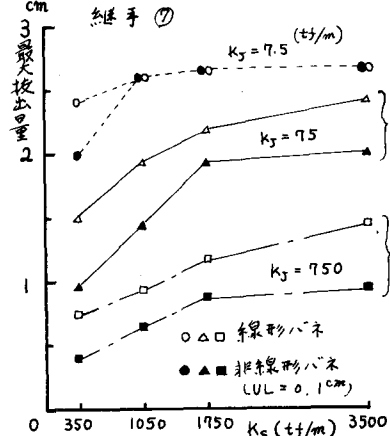


図-5 最大拔出量

5. あとがき 本報告は、埋設管路の耐震性評価に関連して行っている研究の概要について述べたものである。本解析に用いた地盤変位の確率モデルの考え方は、地震時の埋設管の被害率の推定のために西尾³⁾による。提案されたものである。この種のモデルを用いて管路の耐震性を検討するには、変位振幅と地盤の特性との関係などをより定量的に把握する必要がある。この問題も含めて、実在の管を対象とした実験などにより、各種バネ定数の特性についても検討を加えながら解析を進めていきたいと思います。

(参考文献) 1) 横井他: 地震時土の歪より見た埋設パイプラインの耐震性, 電力中央研究所報告(昭45.ス)

2) 高田: 埋設管路-地盤系の復元力特性と地震応答解析, 土木学会論文報告集401, 249 (1976.5)

3) 西尾: 地盤変位の確率モデルによる埋設管の震害の考察, 第16回自然災害科学総合シンポジウム(1979.9)