

清水建設(株) 正会員 ○石川 裕
 京都大学工学部 正会員 杉戸真太
 京都大学工学部 正会員 亀田弘行

1. 序 地中埋設管の地震時挙動解析に関する研究は現在までに数多く行われている。しかし、その多くは一体構造管路の直管部を対象としたものであり、継手構造や曲り部を含む構造については未だ十分な成果が得られているとは言い難い。そこで本研究では曲り部を含む継手構造管路の地震時挙動を把握するため、実際の管路に見られるような構造特性を踏まえたモデルを設定し、高田ら¹⁾による手法を用いて地震応答解析を行った。

2. 解析モデルと条件設定

図-1に示すように埋設管路を弾性床土のはりと見なし、地盤の運動は地盤変位が地盤ばねを介して管路に作用する二次元平面内での応答を扱った。また、継手は伸縮ばねと回転ばねにより表わされるものとしてモデル化した。なお、地盤ばね、継手ばねはそれぞれ図-2のような特性をもつものとしている。解析には伝達マトリックス法を用いたが、解析手法の詳細については文献¹⁾を参照されたい。

本研究では京都市上水道システム導・送水管および配水幹線における構造特性を基に図-3のような管路形状を対象に解析を行った。管種はダクタイル鋳鉄管(A型)とし、管径は呼び径1650, 800, 400(mm)の3種類を設定した。表-1に管体諸元を示す。表-1には実際の継手の静的試験結果を基に定めた継手ばね定数値も合わせて示している。曲り部の曲り角度は45°とした。入力変位地震動については正弦波で近似できるものとし、波長120(m)の継波を入力した。変位振幅は8, 4, 2, 1(cm)の4種類であり、また、管への入射方向については図-3に示した通りである。地盤ばね定数については「水道施設耐震工法指針・解説²⁾」を参考に1200, 750, 300(kg/cm)の3種類に対し解析を行った。また、モデルⅣ～Ⅵでは曲り間距離も変化させてその影響を検討した。

3. 数値計算結果と考察

図-4に曲り部での位相を変化させて入力したときの管軸応力、曲げ応力、合成応力の分布図を示す。図より引き抜け側では容易に変位を許すが、押し込み側では変位しないという継手特性のため、地盤ひ

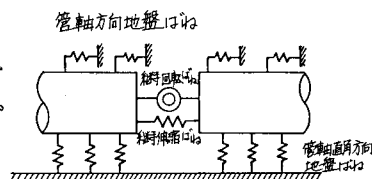


図-1 解析モデル

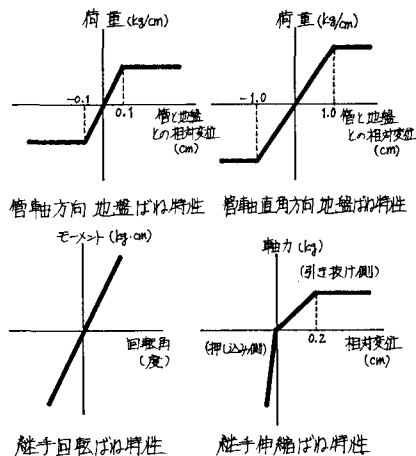


図-2 地盤および継手ばね特性

表-1 管体諸元

呼 び 径 (mm)	1650	800	400
外 径 (cm)	170.1	83.6	42.56
管 厚 (cm)	2.25	1.2	0.75
内 径 (cm)	165.6	81.2	41.06
断 面 積 (cm ²)	1186.5	310.6	98.5
断面二次モーメント (cm ⁴)	4.18×10 ⁶	2.64×10 ⁵	2.15×10 ⁴
一本当り長さ (cm)	400	600	600
弾性係数 (kg/cm ²)	1.6×10 ⁶	1.6×10 ⁶	1.6×10 ⁶
継手伸縮ばね定数 (kg/cm)	5.0×10 ⁴	3.0×10 ⁴	1.75×10 ⁴
継手回転ばね定数 (kg・cm/度)	2.0×10 ⁶	2.0×10 ⁶	2.0×10 ⁶
継手回転ばね定数 (kg・cm/度)	4.0×10 ⁵	4.0×10 ⁵	4.0×10 ⁵

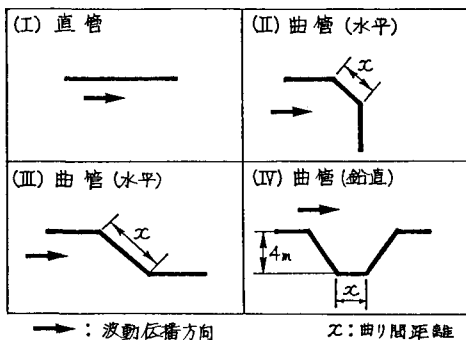


図-3 解析に用いた管路形状

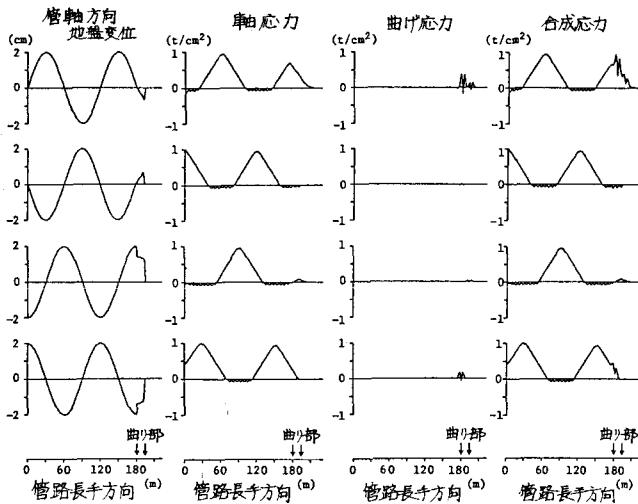


図-4 管の応力に対する入力位相の影響 (モデルⅢ, 呼び径800mm, 地盤ばね定数750 $\frac{kg}{cm^2}$, 変位振幅2cm, 曲り間距離12m)

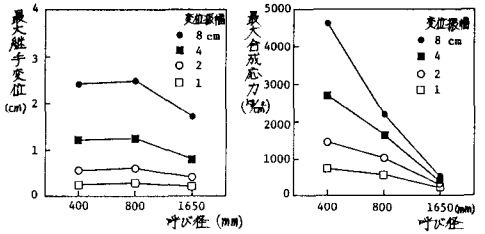


図-5 最大応答量に対する管径の影響 (モデルⅢ, 地盤ばね定数750 $\frac{kg}{cm^2}$, 曲り間距離12m)

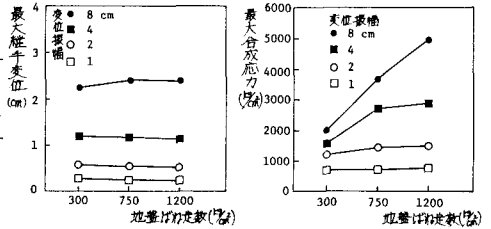


図-6 最大応答量に対する地盤ばね定数の影響 (モデルⅠ, 呼び径400mm)

ずみの圧縮側でのみ管軸応力は大きく現われている。また位相により、直管部ではほとんど問題とならない曲げ応力が曲り部ではかなり大きな値となり、特に曲り部において地盤の圧縮ひずみ最大で入力した場合に顕著である。この場合には曲り部での軸応力も同時に大きくなるので、軸応力と曲げ応力の合成応力は直管部のみでの合成応力の最大値より大きくなる可能性がある。そしてこの傾向は曲りを含む他のモデルでも、また変位振幅が大きくなった場合にも同様である。図-5～図-7はそれぞれ最大継手変位および最大合成応力に及ぼす管径、地盤ばね定数、曲り間距離の影響を各変位振幅ごとに示した図である。曲りを含む場合には左曲管部で地盤の圧縮ひずみが最大となるように入力している。これら各図より、最大継手変位は同一変位振幅の場合には呼び径1650の場合以外ほとんど同一の値となることわかる。すなわち、呼び径1650の場合には管体1本当りの長さが他の場合より短いことを考えれば、最大継手変位に影響するパラメータは変位振幅および管体1本当りの長さであると言えることができる。一方、管体の最大合成応力値は各パラメータの影響を複雑に受け、変位振幅の増大とともに応力値は大きくなるが、同一変位振幅の場合には地盤と管との間のすべりが発生し易いほど応力値は低減する傾向がうかがえる。また、曲り間距離の影響については2つの曲り部が地盤ひずみの同一領域に位置するときのみ問題となり、曲り部の間の地盤ひずみの大小により応力値が変化する。図-8はモデルⅣの1ケースにおける継手変位分布を示しているが、鉛直の曲りを含む場合、曲り部における変位振幅が大きいために、鉛直部が地盤に拘束されて水平部の動きに追従できなくなるため、このように曲り部での継手変位が非常に大きく現われる場合が見られ、この値も直管部のみの場合の最大継手変位量に比して大きな値となる。

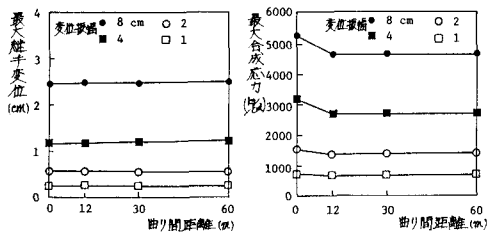


図-7 最大応答量に対する曲り間距離の影響 (モデルⅢ, 呼び径400mm, 地盤ばね定数750 $\frac{kg}{cm^2}$)

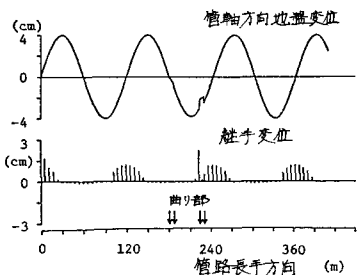


図-8 継手変位分布図 (モデルⅣ, 呼び径400mm, 地盤ばね定数750 $\frac{kg}{cm^2}$, 変位振幅4cm, 曲り間距離36m)

〈参考文献〉1) 高田・高橋・山部: 硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション, 水道施設誌, 547号, 昭54. 2) 日本水道協会: 水道施設耐震工法指針・解説, 1977年版