

関西大学大学院 学生員 ○奥村豊三
関西大学工学部 正会員 西形達明
関西大学工学部 正会員 西田一彦

はじめに

地震時には地下構造物は地上の構造物より被害を受けにくいとされてきたが、阪神淡路大震災においてライフラインである地下埋設管は甚大な被害を受けた。被害状況としては最も継手の抜き出しが多く、次に地盤の変化部や構造変化部における管体の破損が挙げられている。本研究ではとくに埋設管の曲線部に注目し、その地震時の挙動を応答変位法により検討を行った。さらに、埋設管の設置場所近傍に地盤構造の不連続部が存在するような場合を想定した解析も実施した。

1. 解析手法

解析は、動的な問題を静的な問題に置き換えて計算を行う応答変位法を用いている。本研究では図-1に示す一定深さに水平に埋設した管を想定した。直線部の長さを1波長(130m)とし、C、D点に $R=30\text{m}$ の曲線部を設ける。地震の加振方向は x 方向とし、境界条件はA点： x 方向支持、B点： y 方向支持、および回転支持である。また解析には外径 0.96m 、内径 0.8m (肉厚 0.08m)のコンクリートの埋設管を想定し、その物性値を表-1に示す。なお地震波の最大振幅は別途、地震応答解析を行った結果を用いる。

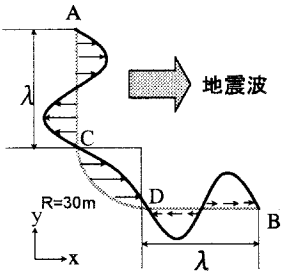


図-1 解析モデル

図-2は入力波の向きに対する地盤ばねを示している。図-1の入力波は、直線部ACに対して図-2で示す軸直角方向の地盤ばね kn を介して作用することになる。また同様に直線部BD間ではせん断方向の地盤ばね ks を介してせん断力として作用することになる。曲線部CD間では、曲線部の接線角度により、軸直角方向とせん断方向の両方が作用する。地盤を表現する弾性ばね kn 、 ks は下水道施設耐震計算例¹⁾に示される方法によって N 値から算定した。

2. 地震応答解析

図-3に解析地盤を示す。(a)水平2層地盤モデル中の埋設管、(b)埋設管が傾斜境界面に近接する場合、(c)埋設管が傾斜境界面と交差する場合の条件を想定し、地震応答解析を行った。この地震応答解析に用いた地震波は、最大振幅 600gal とし、周期は図-3(a)の水平2層地盤の固有周期を持つ正弦波を与えた。加振方向についてはそれぞれの図に示す方向とした。

表-1 解析に用いる埋設管の物性値

弾性係数 (kN/m^2)	ポアソン比	断面積 (m^2)	断面二次 モーメント (m^4)	許容曲げ モーメント ($\text{kN}\cdot\text{m}$)
3.3×10^7	0.3	0.22	0.022	1080

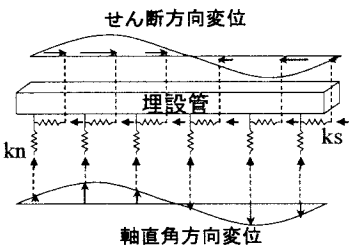


図-2 埋設管に作用する地盤ばね

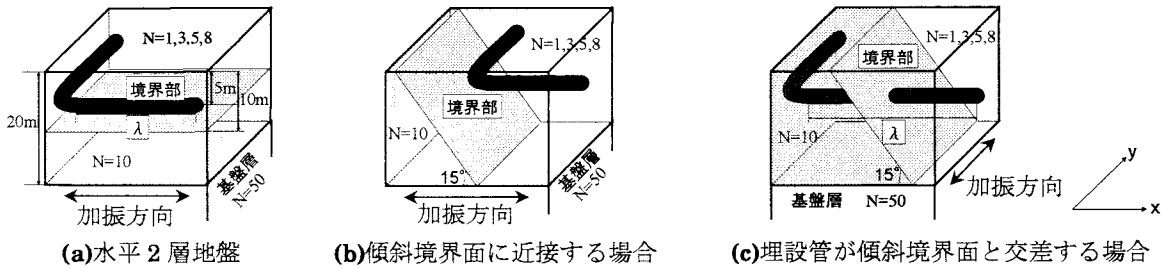


図-3 解析モデル

図-4は水平2層地盤（図-3(a)）の基盤層に対する相対変位量を示したもので、上層地盤のN値を変化させて計算した結果を示している。水平2層地盤では下層地盤で増幅された相対変位量が上層軟弱地盤でさらに大きく増幅され、とくに上層地盤のN値が小さくなるほど相対変位量が顕著に大きくなっている。ここで、埋設管は表層より5mの位置に設置するものと仮定していることから、図の深さ5mにおける変位量を以後の埋設管の応答変位解析に用いている。次に、図-5は傾斜2層地盤（図-3(b)）の地盤応答解析結果から求めた深さ5mにおける変位分布を示している。横軸の0mの位置が2層地盤の境界部に相当し、同様に上層地盤のN値を変化させた結果が示されている。図より境界部分で相対変位量が急激に増幅されている。この場合の埋設管の応答変位解析には最も危険な場合を想定して図中の破線で示される最大変位量を用いることにした。

3. 埋設管の応答変位解析

図-6は水平2層地盤の場合の埋設管の応答変位解析結果の一例として曲線部における曲げモーメントの分布を示したものである。明らかに、埋設管の曲線部において大きな曲げモーメントが作用していることがわかる。そこで、図-7は水平2層地盤の場合の埋設管の曲線部に生じる曲げモーメントの安全率を示したものである。なお、埋設管の許容曲げモーメントは1080kN・mである。図より、上層地盤のN値が増加すると曲線部に生じる曲げモーメントも増加する傾向が見られる。これは地盤のN値が大きくなると地盤の変形量は小さくなるが、地盤ばね定数（kn, ks）がそれにも増して大きくなることが原因となっている。次に傾斜2層地盤（図-3(b)）の場合の埋設管の応答変位解析結果が図-7に示されているが、この場合はN値が低いとわずかに曲げモーメントは増加している。これは地盤構造が変化するような場所では上層地盤のN値が低下すると、埋設管部の相対変位量が非常に大きくなるためである。しかし、水平2層地盤内では曲線部の曲げモーメントの安全率は全体的に1以上となっており、破壊に対する危険性は低いようである。

図-8は図-3(c)に示す埋設管が傾斜2層地盤の境界面を通過する場合の結果であり、埋設管と境界面との交点（直線部）において生じる曲げモーメントの安全率を示している。図から上層地盤のN値が小さいほど、大きな曲げモーメントが発生することがわかる。このように、地盤構造が変化する場所では十分注意が必要であることがわかる。

参考文献) 1)(社)日本下水道協会：下水道施設耐震計算例，管路施設編後編，2001。

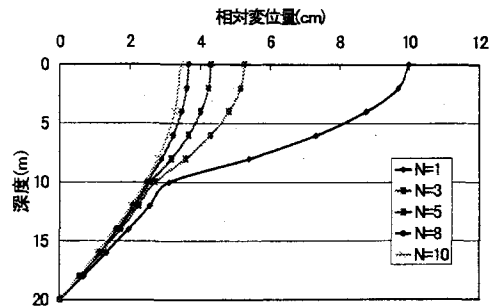


図-4 水平2層地盤における解析結果

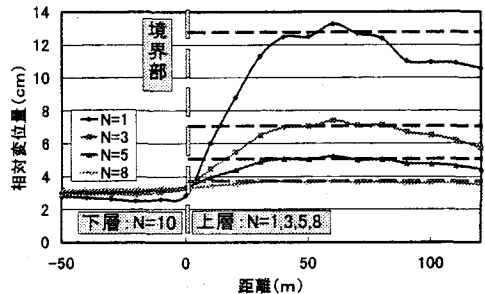
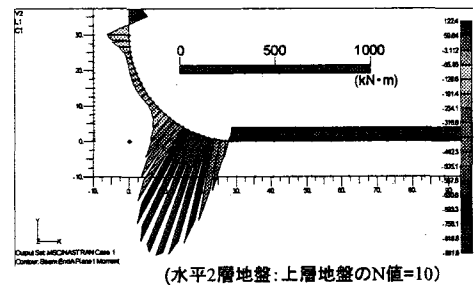


図-5 傾斜2層地盤における解析結果



(水平2層地盤：上層地盤のN値=10)

図-6 曲線部における曲げモーメント分布

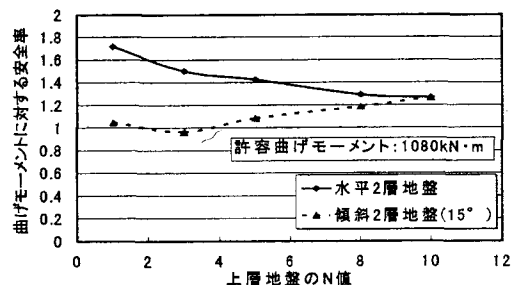


図-7 埋設管の曲線部に生じる曲げモーメント

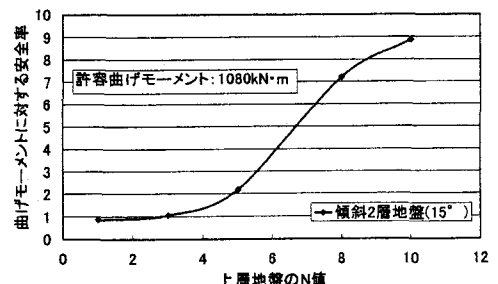


図-8 境界部に生じる曲げモーメント