

東京大学 工学部 正員 松本嘉司  
 全上 正員 西岡 隆  
 国鉄 東京第2工務局 正員 高木 登

1 序説

新しい輸送システムとしてパイプラインの建設が多くの地点で計画されているが、このパイプラインは沖積層に埋設されることが多い。特に、軟弱地盤中に埋設されたパイプは、地震時の地盤変形によって震害をうける可能性が考えられる。これまでの地中埋設管に対する地震応答観察結果および震害調査結果によれば、地震時には地中の埋設管路類の固有振動の影響は少なく地盤の変形に追従することが認められている。ここで対象とするパイプラインの直径は40<sup>(cm)</sup>程度であるので、以下の解析ではパイプライン自体の剛性を無視して、地盤の振動変形について解析し、それに追従することによって生ずるパイプラインの断面力を求めてみた。

埋設パイプラインの断面力としては、パイプラインの軸方向の地盤の伸縮振動によるものと、軸直角方向の地盤の変形振動によるものがある。軸方向のものは、パイプラインの表面での土との付着力に起因するものであり、軸直角方向の変形振動によるものに比較して小さいと考えられるので、ここでは主として軸直角方向の振動による断面力に着目したい。

これまでの研究においては地盤の地震振動について解析する手法として、土質諸数値を求めて、連続体または質点系のモデルにそれとあてはめて、シミュレーション的に解析を進める方法がとられてきた。このためには土質諸数値を求めることが先ず必要になるが、実際には動的な意味での土質諸数値を実験的に求めるにはかなり困難があり、その求めた値が実際の地層を構成している土の値と同一のものであるかということについては疑問があった。本研究では土質諸数値をそれぞれをモデルの一部と考えて、そのモデルの構成要素を大幅に変えて解析して、その解析結果をこれまでの地震応答観測または震害調査結果と対比して、モデルの正当性を検定することにした。そうして検定された地盤振動に対して、その地盤との対応においてパイプラインの断面力について検討を加えてみた。

2 軟弱地盤のモデル化

軟弱地盤は実際には一様には構成されていないが、この地盤の変化の様子を最も単純化したモデルとして考えると(図-1)のようになる。

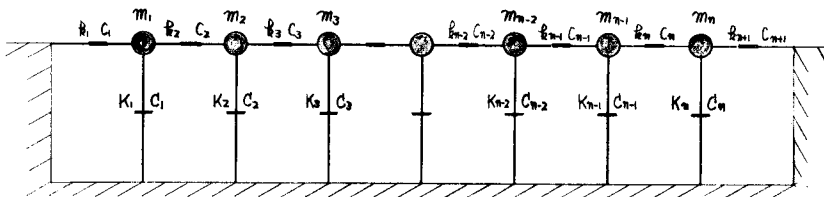


図-1 (a) 地盤のモデル側面図

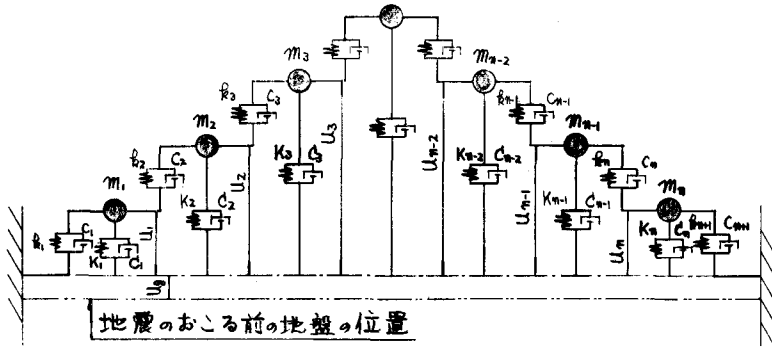
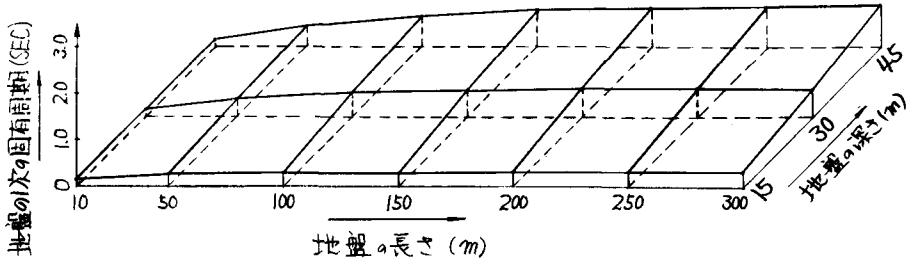


図-1 (b) 地盤のモデル平面図

### 3 軟弱地盤の振動性状

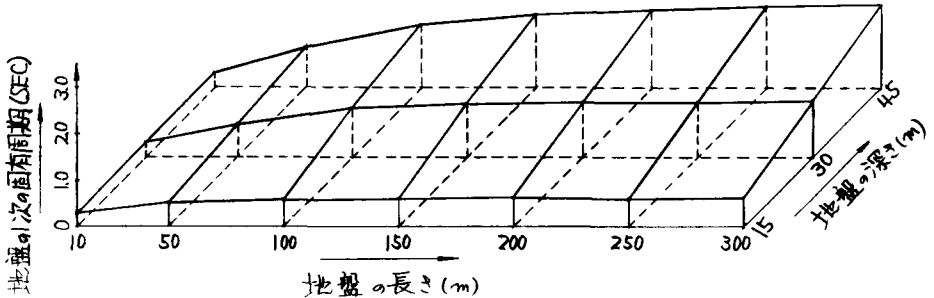
#### 1) 計算した地盤の固有周期

(図-1)の地盤の長さ $L$ と深さ $H$ を変えて、地盤の1次の固有周期を計算した(図-2)。地盤の長さ $L$ が1次の固有周期に影響を与えるのは、地盤が軟弱で、深いほど大きい。また、地盤の長さ $L$ が300(m)では、1質点系(地盤のばねは下ばね $K$ )で計算した1次の固有周期と良く一致することがわかった。



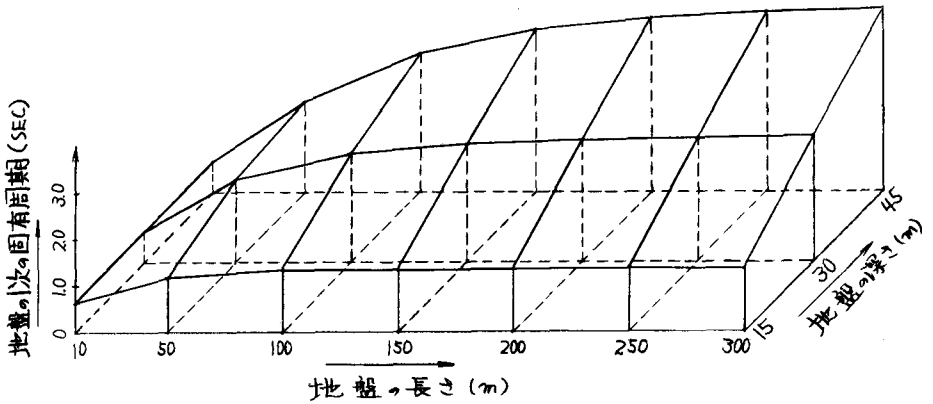
地盤のヤング係数  $20,000(t/m^2)$ 、地盤のポワソン比 0.30

図-2 (a) 地盤の1次の固有周期



地盤のヤング係数  $5,000(t/m^2)$ 、地盤のポワソン比 0.35

図-2 (b) 地盤の1次の固有周期



地盤のヤング係数  $1,000 \text{ (t/m}^2)$ , 地盤のポワソン比  $0.40$

図-2 (C) 地盤の1次の固有周期

## 2) 計算した地盤の最大変位

地盤の最大変位を計算するために下記の方法で行なった。

A法: K次の振動数するときの地盤の変位応答量を求めるのに各次の位相を考慮する方法

$$U_T = \sum_{j=1}^n X_j \beta_j \frac{1}{\omega_j} S_{Tj}$$

ただし

$U_T$  = K次の振動数するときのr点の地盤変位応答量

$$X_{ij} = X_{ij} \theta_{kj}$$

$$\theta_{ij} = \sin(\tan^{-1}(\frac{2\zeta h \omega_i / \omega_j}{1 - (\omega_i / \omega_j)^2}))$$

$X_j$  = j次の振動形

$$\beta_j = j\text{次の刺激係数} (= \frac{\sum_{i=1}^n m_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^n m_i X_{ij}^2})$$

$h$  = 減衰定数

$S_T$  = 速度スペクトル

B法: 各次の地盤変位応答量の2乗和の平方根による方法

$$U_T = \sqrt{\sum_{j=1}^n \{X_{Tj} \beta_j \omega_j S_{Tj}\}^2}$$

ただし

$U_T$  = r点の最大変位応答量

それぞれの方法で解いた地盤(長さ  $200 \text{ (m)}$ , 深さ  $15 \cdot 30 \cdot 45 \text{ (m)}$ , ヤング係数  $20,000 \cdot 5,000 \cdot 1,000 \cdot 200 \text{ (t/m}^2)$ , 減衰定数  $0.2$ )の最大変位量のうち、地盤の1次の固有周期を3秒までのものを(図-3)に示す。図からあかるとおり、

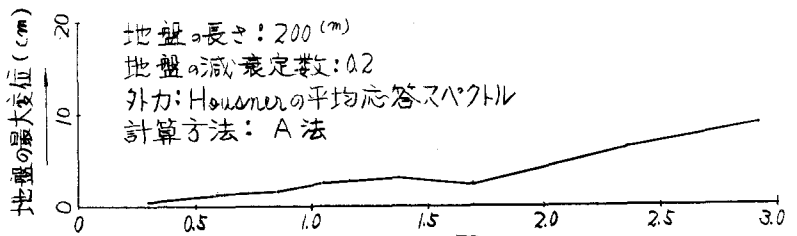


図-3 (A) 地盤の最大変位量

Housner の平均応答速度スペクトルを入力としたときには、地盤の最大変位量は  $0.5 \sim 10$  (cm) であった。なお、A法とB法とで計算を行なったが、地盤の最大変位量に關しては両者の差はほとんどなかった。

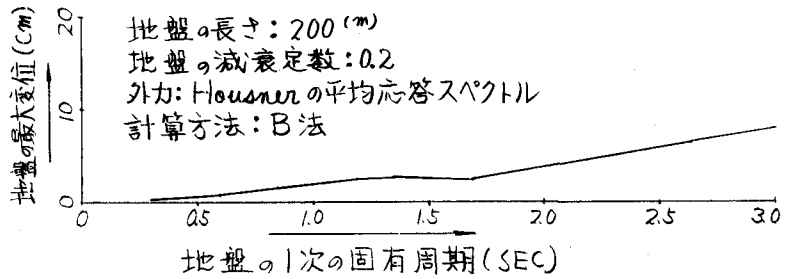


図-3 (b) 地盤の最大変位

#### 4 埋設管の振動性状

パイプの断面力を計算するために下記の方法で行なった。

A法: K次の振動数のときに、各次の位相を考慮して求めた地盤変位から、パイプの断面力を求める方法

$$M_i = -k_i^{-1} D^T U_i$$

$$S_i = (M_{i+1} - M_i) / l_i$$

ただし

$M_i$  = パイプの曲げモーメントベクトル

$S_i$  =  $i$  点のパイプのせん断力

$$D_{i,i-1} = -(1/l_{i-1} + 1/l_i), \quad D_{i,i-1} = 1/l_{i-1}, \quad D_{i,i} = 1/l_i$$

$$k_{i,i-1} = 2(l_{i-1}/6E_i I_i + l_i/6E_i I_i), \quad k_{i,i-1} = l_{i-1}/6E_i I_i, \quad k_{i,i} = l_i/6E_i I_i$$

$l_i$  = パイプの部材長

$E_i$  = パイプのヤング係数

B法: 各次のパイプの曲げモーメントおよびせん断力の2乗和の平方根による方法

$$M_i = \sqrt{\sum_{j=1}^K z_{ij}}$$

ただし

$$z = -(k^{-1} D^T X)^2$$

#### 5 結論

- 1) 地盤の変位量は1次の振動数が卓越する。その結果パイプの曲げモーメントおよびせん断力は地盤の層変りで最大となる。
- 2) 1次の固有周期が3秒迄の地盤の変位は下記の程度である。  
Housner の平均応答スペクトル -----  $0.5 \sim 10$  (cm)
- 3) A法とB法とで行なった地盤の変位、パイプの曲げモーメントおよびせん断力の違いはほとんどなかった。その原因は地盤の変形は、1次の振動数が卓越するためと思われる。