

I-544 地盤の永久変位による埋設パイプラインの変形挙動

NKK 正会員 ○舩田直之
同 上 正会員 鈴木信久

1 まえがき 本報告は、液状化によって発生する地盤の永久変位¹⁾に対する埋設パイプライン(610mmOD, 12.7mmWT)の変形を非線形有限要素解析プログラムで解析し、数値解析に必要なパラメータの影響度を調べたものである。パラメータとしては、永久変位の分布幅(W)、分布パターンの形状係数(n)、液状化地盤における地盤ばねの低減係数(R)を採用している。また、パイプラインのモデル化では、半無限長の埋設パイプラインの軸方向変形特性と等価な非線形境界要素を導入して要素数を削減し、計算時間を短縮して効率的な解析を行っている。

2 地盤の永久変位分布 地盤の変位ベクトルが図1の様にパイプラインの軸と直交するものとして、地盤変位分布を(1)式で表す。

$$V = V_{\max} \cos^n(\pi X/W) \quad (1)$$

ここに、V:地盤変位量、 $V_{\max}$:最大地盤変位量、n:形状パラメータ、W:地盤変位幅 である。(1)式で与えられる地盤変位分布は軸対称で、形状パラメータnの値によって様々な分布パターンとなる。n=0.0~5.0として、正規化した変位分布を図2に示す。解析では、n=0.0, 0.2, 1.0, 2.0, 5.0、W=10, 30, 50(m)、 $V_{\max}=2$ (m)とした。

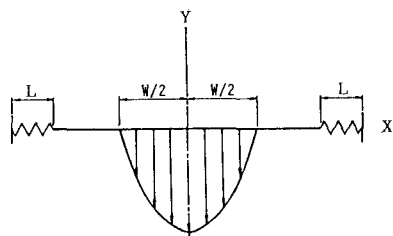


図1 解析モデル

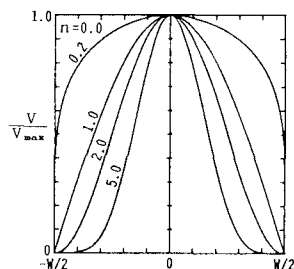


図2 正規化した入力変位分布

3 非線形有限要素解析 パイプ材料の応力~ひずみ関係を図3の様に仮定した。地盤ばね特性を、管軸方向には図4、管軸直角方向には図5の様に仮定した。図1のモデルのうち、Lは非線形境界要素の長さで(2)式で表される。

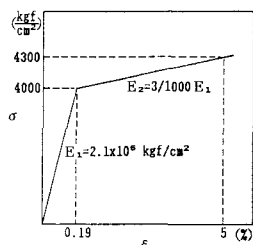


図3 パイプの材料特性

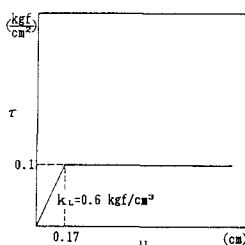


図4 地盤のばね特性(軸方向)

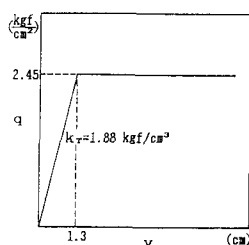


図5 地盤のばね特性(軸直角)

$$L = (EA/N) u_p = (EA/EA \alpha u_p) u_p = 1/\alpha \quad (2)$$

ここに、E:パイプの弾性定数、A:パイプ断面積、 $\alpha = (\pi D k_L / EA)^{1/2}$ 、D:パイプ外径である。また、非線形境界要素のN~ u_p 関係は、次式を満足する様に与えられる。

$$N/N_{cr} = [EA \alpha \{u_{cr}(2u_p - u_{cr})\}^{1/2}] / [EA \alpha u_{cr}] = \{u_{cr}(2u_p - u_{cr})\}^{1/2} / u_{cr} = (2u_p/u_{cr} - 1)^{1/2} \quad (3)$$

4 最大ひずみの解析結果 形状パラメータ n を変化させた解析結果のうち、パイプラインに発生する最大ひずみの変化を図6に示す。図中上側が引張ひずみで、下側が圧縮ひずみである。引張ひずみは $V_{\max}=120\text{cm}$ 程度までは $n=2.0$ が最大であるが、それ以降は $n=5.0$ を除く他の結果も同程度の値になっている。 $n=5.0$ の引張ひずみは $V_{\max}=80\text{cm}$ 程度までは $n=0.2, 1.0, 2.0$ と同様な増加傾向を示すが、それ以降は漸増しているが他よりも小さい。パイプラインに引張軸力が発生しているため、圧縮ひずみは引張ひずみよりもやや小さくなっているが、全体的な増加傾向は引張ひずみと同様である。

液状化地盤における地盤のばね特性の低減係数 R を変化させた結果を図7に示す。この最大ひずみの変化は図6の結果と異なり、 $R=1/1$ 以外はかなり滑らかな変化を示している。また、 $R=1/2$ の結果は図6の $n=2.0$ と同じものである。 $R=1/1$ の引張ひずみは $V_{\max}=90\text{cm}$ までは $R=1/2$ と同様に増加し、 $V_{\max}=140\text{cm}$ 程度まではほぼ単調に増加しているが、それ以降はひずみが減少する傾向にある。 $R=1/10$ は $V_{\max}=20\text{cm}$ 程度から、 $R=1/100$ は変形の初期段階から小さいひずみで、ほぼ一定になっている。

液状化領域の幅を変化させた結果を図8に示す。 $W=30\text{m}$ の結果は図6の $n=2.0$ と同じものである。また、これは他の W よりも大きな値を示している。 $W=10\text{m}$ のひずみは $V_{\max}=20\text{cm}$ 程度で飽和し、それ以降は一定値となっている。一方 $W=50\text{m}$ では、最大ひずみは地盤の変位量とほぼ線形関係にあり、 $W=30\text{m}$ の結果に漸近している。

5 あとがき

一例であるが、地盤の永久変位による埋設パイプライン(610mm OD)の変形を解析し、次の結果を得た。① $V_{\max}$ が2mに達すると形状パラメータの影響はなくなり、パイプの最大ひずみはほぼ一定になる。② 液状化領域のばね特性が低下するとパイプのひずみも低下する。③ $V_{\max}$ が2m以下では永久変位幅が $W=30\text{m}$ でパイプのひずみは最大になるが、 $W=50\text{m}$ のひずみもこれに漸近する。したがって、液状化による地盤の永久変位に対するパイプラインの安全性評価に際しては、地盤変位パターンよりも地盤のばね特性と液状化幅の検討が重要になってくる。また、非線形性の強い変形解析では、地盤の最大耐力が重要なパラメータであり、変形の初期におけるばね特性の影響を余り受けない²⁾ことから、地盤のばね特性をバイリニアモデルで仮定した。

参考文献

- 1) 浜田ほか: 液状化による地盤の永久変位の測定と考察, 土木学会論文報告集, 第376号, 1986年12月。
- 2) 鈴木, 谷村: 埋設管路の非線形変形挙動の無次元化表示, 土木学会第43回年次講演会概要集/ I, 1988。

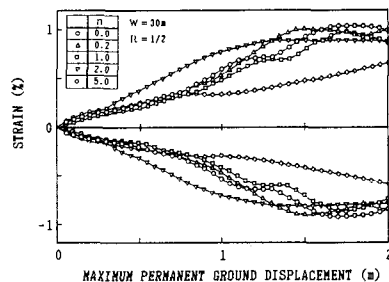


図6 n をパラメータにしたひずみの解析結果

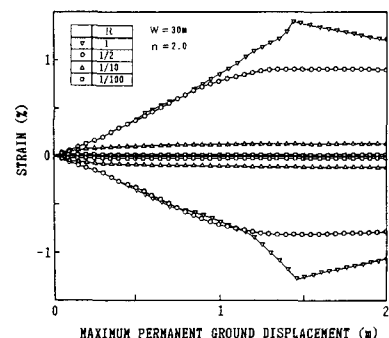


図7 R をパラメータにしたひずみの解析結果

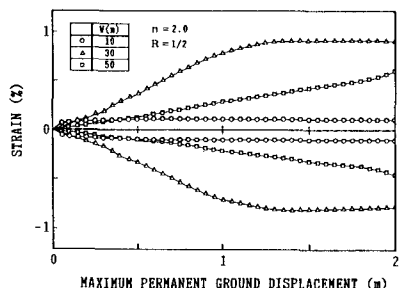


図8 W をパラメータにしたひずみの解析結果