

I-424 液状化に伴う埋設パイプラインの浮上

NKK 正会員 鈴木 信久

NKK 正会員 矢野 達夫

1 まえがき

下水道管やマンホールをはじめ、埋設型の貯槽類では、地盤の液状化によって浮上した被害事例が報告されている¹⁾。既往の地震による被害調査報告を見ると、溶接パイプラインが浮上した例は見あたらないようである。これは、液状化領域に溶接パイプラインが偶然埋設されていなかったためか、浮上に対して溶接パイプラインの安全性が高いのかの何れかによるものと考えられる。そこで本論文では、液状化した地盤によって発生する浮力を外力として溶接パイプラインの変形を解析し、溶接パイプラインの安全性を検討する。

2 解析の前提条件

パイプラインを埋設した地盤の一部が液状化し、パイプラインが浮力によって曲げ変形を受けるように持ち上げられた状態を図1に示す。これを解析モデルとし、次のような前提条件の下にパイプに変形を解析する。①パイプは弾性体とする、②液状化領域の浮力は一定とする。③非液状化領域の地盤ばねは線形とする。

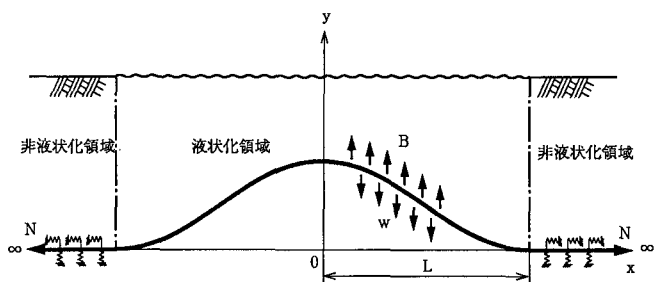


図1 液状化した地盤中の埋設パイプラインの浮上変形

3 埋設パイプラインの浮上変形解析

図1に示すパイプの変形は(1)式に示す微分方程式で表され、一般解は(2)式で表される。

$$y'' - \kappa^2 y = -\frac{\gamma^3}{2} (L^2 - x^2) - \frac{M_B}{(EI)_p} - \kappa^2 y_B \quad (1)$$

$$y = C \cosh(\kappa x) + \frac{\gamma^3}{2 \kappa^2} (L^2 - x^2) - \frac{\gamma^3}{\kappa^4} + \frac{M_B}{N} + y_B \quad (2)$$

ここに、 $\gamma = \{T/(EI)_p\}^{1/3}$ 、 $\kappa = \{N/(EA)_p\}^{1/2}$ 、 T ：パイプの単位長さ合成浮力（ $=B-W-qD$ ）、 B ：パイプの単位長さ浮力、 W ：パイプの単位長さ重量、 q ：液状化領域における最大地盤反力、 M_B ：境界点における曲げモーメント、 y_B ：境界点におけるパイプの鉛直変位、 C ：未定係数で、 M_B および y_B は次式。

$$M_B = -(EI)_p y''(L) = -(EI)_p \{C \kappa^2 \cos(\kappa L) - \frac{\gamma^3}{\kappa^3}\} \quad (3)$$

$$y_B = -\frac{M_B}{2 \beta^2 (EI)_p} - \frac{T L}{2 \beta^3 (EI)_p} = C \frac{\kappa^2}{2 \beta^2} \cosh(\kappa L) - \frac{\gamma^3}{2 \beta^2 \kappa^2} + \frac{\gamma^3 L}{2 \beta^3} \quad (4)$$

したがって、(2)式は(5)式のように書き換えられ、定数 C は(6)式で表される。

$$y = C \left\{ \cosh(\kappa x) - \left(1 - \frac{\kappa^2}{2 \beta^2}\right) \cosh(\kappa L) \right\} + \frac{\gamma^3}{2 \kappa^2} (L^2 - x^2) + \frac{\gamma^3}{2 \beta^2} \left(\frac{L}{\beta} - \frac{1}{\kappa^2} \right) \quad (5)$$

$$C = \frac{\gamma^3 \{1 + \beta L - \kappa^2 L / (2 \beta)\}}{\kappa^3 \{\beta \sinh(\kappa L) + \kappa \cosh(\kappa L)\}} \quad (6)$$

さらに、液状化領域における変形後のパイプの弧長の増分 ΔL が、パイプの軸変形量 Δ と $x=L$ におけるパイプの軸方向変位量 u_0 の和に等しい（ $\Delta L = \Delta + u_0$ ）ことから最終的に次の非線形式が得られる。

$$\left(1 + \frac{1}{\alpha}\right) r^2 \kappa^2 + \frac{C^2}{4} \{ \kappa L - \sinh(\kappa L) \cosh(\kappa L) \} \kappa + \{ \kappa L \cosh(\kappa L) - \sinh(\kappa L) \} \frac{C r^3}{\kappa^3} - \frac{r^6 L^3}{6 \kappa^4} = 0 \quad (7)$$

4 数値計算例

数値計算モデルとして、150A（呼び径：150mm，外径=165.2mm，管厚=5.0mm）、300A（300, 318.5, 6.9）、600A（600, 609.6, 9.5）、900A（900, 914.0, 12.7）の4種類のモデルを設定した。ただし、液状化した地盤の単位体積重量は 1.9 t/m^3 とし、非液状化地盤の地盤反力特性は高圧ガス導管耐震設計指針²⁾の値（軸方向： $k_1 = 0.6 \text{ kgf/cm}^3$ ，軸直角方向： $k_2 = 1.89 \text{ kgf/cm}^3$ ）を採用した。

液状化幅（液状化長さ）をパラメータとし、パイプの変形曲線を図2に示す。図中の1.5mの破線は、標準的な土被りを表しており、計算結果がこの破線を超えた場合には、パイプが地上に突出することになる。パイプの変位量を管径をパラメータとして比較すると、管径が大きくな方が浮上量は大きくなっている。

また、パイプの重量が浮上量に及ぼす影響を図3に示す。この計算では、管体重量を20%増加させて影響を調べているが、浮上量は5%程度しか低減されておらず、直接的な効果は期待できない。

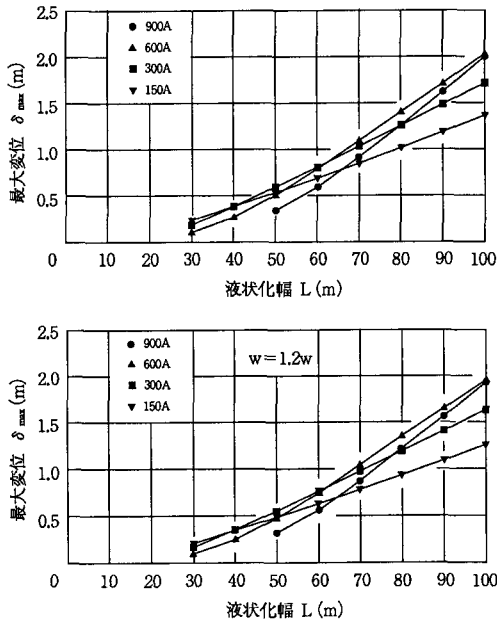


図2 パイプラインの浮上変形曲線

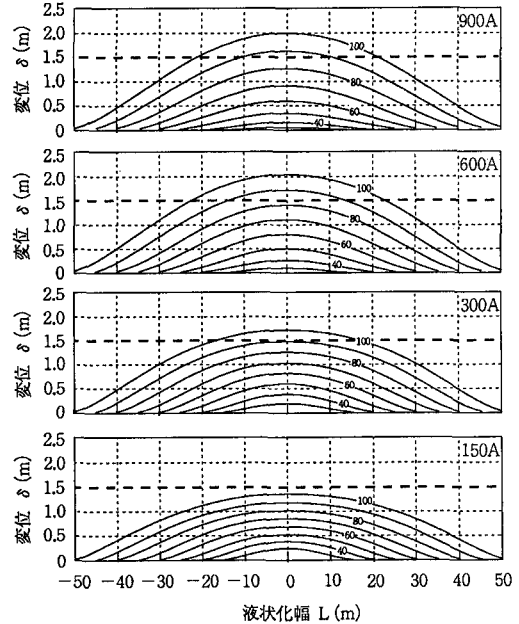


図3 浮上量に及ぼす管体重量の影響

5 まとめ

本論文では、液状化領域に埋設された溶接パイプラインを対象とし、液状化した砂地盤の浮力によって発生する変形を解析した。同じ液状化幅に対するパイプの浮上量は、大きな管径の方が大きく、小さな管径ほど小さくなる傾向にあることを示した。本文には示していないが、下水道のヒューム管のように、継手部の曲げ剛性が管体と比較して小さな場合には、液状化幅が10～30mでパイプは地上に突出することになる。この点を考え合わせると、溶接パイプラインの方が浮上しにくいことになる。

参考文献

- 1) (財)地震予知総合研究振興会：-日米共同研究-地盤変状と地中構造物の地震被害に関する研究，昭和63年度調査報告書，821p.，1989。
- 2) (社)日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針，1982。