

液状化に伴う地盤の変形による溶接接合パイプラインの挙動

金沢大学工学部 正 員 ○宮島昌克

金沢大学工学部 正 員 北浦 勝

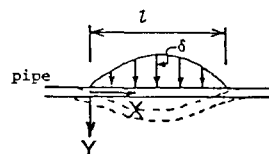
1. はじめに

地中埋設管の震害の多くには、液状化、地すべり、地盤沈下といった地盤の変状が関与していることが一般に知られている。1983年の日本海中部地震においては液状化によって大きな地盤永久変形が生じ、これによって多くの管路が破損したことが明らかにされている。そこで本研究では、このような液状化に伴う地盤の永久変形を受けたときの地中埋設管の挙動を明らかにし、耐震性向上のための基礎的資料を得ることを目的とし、溶接接合パイプラインを取り上げ、解析的な検討を行った。

2. 解析モデル

地盤の永久変形を受ける管路の挙動の特徴を簡便に把握するために、Fig.1に示すような簡単なモデルを考えた。すなわち、管路を弾性床土上の梁とみなし、正弦波で仮定された永久変位が地盤ばねを介して管路に作用するものとした。Fig.1のつりあい方程式は次式となる。

$$\left. \begin{aligned} EI \frac{d^4 v_1}{dx^4} + K_y v_1 &= 0 & x \leq 0 \\ EI \frac{d^4 v_2}{dx^4} + K_y v_2 &= k_y \delta \sin \frac{\pi x}{l} & 0 < x \leq l \\ EI \frac{d^4 v_3}{dx^4} + K_y v_3 &= 0 & l < x \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Fig. 1 Analytical model
(Plane figure)

ここに、 δ は永久変位量の最大値、 k_y は管軸直角方向の単位長さ当りの地盤ばね定数、 EI は管路の曲げ剛性、 v_1 、 v_2 、 v_3 はそれぞれの範囲における管軸直角方向の曲げ変位、 l は永久変位の生ずる範囲である。

境界条件は、

$$\left. \begin{aligned} x \rightarrow -\infty \quad v_1 &= 0, v_1' = 0 \\ x = 0 \quad v_1 &= v_2, v_1' = v_2', v_1'' = v_2'', v_1''' = v_2''' \\ x = l \quad v_2 &= v_3, v_2' = v_3', v_2'' = v_3'', v_2''' = v_3''' \\ x \rightarrow \infty \quad v_3 &= 0, v_3' = 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

となる。式(2)のもとで式(1)を解くと、次式のように変位が与えられる。

$$\left. \begin{aligned} v_1(x) &= \frac{1}{4} e^{\beta_1(x-l)} \left\{ a \cos \beta_1(x-l) + b \sin \beta_1(x-l) \right\} + \frac{1}{4} e^{\beta_1 x} (a \cos \beta_1 x + b \sin \beta_1 x) & x \leq 0 \\ v_2(x) &= \frac{1}{4} e^{\beta_1(x-l)} \left\{ a \cos \beta_1(x-l) + b \sin \beta_1(x-l) \right\} + \frac{1}{4} e^{-\beta_1 x} (a \cos \beta_1 x - b \sin \beta_1 x) + v_0(x) & 0 < x \leq l \\ v_3(x) &= \frac{1}{4} e^{-\beta_1(x-l)} \left\{ a \cos \beta_1(x-l) - b \sin \beta_1(x-l) \right\} + \frac{1}{4} e^{-\beta_1 x} (a \cos \beta_1 x - b \sin \beta_1 x) & l < x \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし,

$$a = \frac{1}{\beta_1} \frac{\delta(\frac{\pi}{l})}{1 + \frac{EI}{k_y} (\frac{\pi}{l})^4} \left\{ 1 + \frac{1}{2\beta_1^2} (\frac{\pi}{l})^2 \right\}, \quad b = \frac{1}{\beta_1} \frac{\delta(\frac{\pi}{l})}{1 + \frac{EI}{k_y} (\frac{\pi}{l})^4} \left\{ 1 - \frac{1}{2\beta_1^2} (\frac{\pi}{l})^2 \right\}$$

$$v_0(x) = \frac{\delta}{1 + \frac{EI}{k_y} (\frac{\pi}{l})^4} \sin(\frac{\pi x}{l}), \quad \beta_1 = 4 \sqrt{\frac{k_y}{4EI}}$$

である。一方、管軸方向に地盤の永久変形が生ずる場合についても、管軸に沿った地盤の変位を正弦波として仮定すると、このときに管に生ずる管軸方向変位を同様に導くことができる。

3. 解析例

呼び径400mmの鋼管路について解析を行った。Fig.2は、解析結果の一例である。本解析においては永久変形を生ずる地盤の硬軟が埋設管の挙動に大きな影響を及ぼすと考えられるので、これを地盤ばね定数の変化として考慮し、これと管路に生ずる最大曲げ応力との関係を求めた。なお、同図では永久変位量の最大値を1mとし、永久変形の生ずる範囲をパラメタとして解析している。Fig.2によれば、永久変位量の最大値が一定であるとき永久変形の生ずる範囲が狭いほど管路に生ずる曲げ応力が大きくなっている。また、地盤ばね定数が非液化化地盤のその1/1000以下であると、曲げ応力が急激に低下することがわかる。配管用アーク溶接炭素鋼鋼管の許容曲げ応力度が1400 kgf/cm² (137200kN/m²)であることを考えあわせると、1m以上の永久変形が50m以下の狭い範囲で生じ、しかも地盤のばね定数が大きいときには管路が破壊に至る可能性も十分考えられる。

Fig.3は、管軸方向に永久変形が生じたときの地盤ばね定数と管路に生ずる軸ひずみの関係を示している。同図においてもFig.2と同様に、一般には永久変形の生ずる範囲が狭いほど、また地盤ばね定数が大きいほど軸ひずみが大きくなっていることがわかる。鋼管の場合、管軸方向の引っ張りに対しては10%以上の伸びが期待できると言われているが、それでも非液化化地盤が極めて狭い範囲で永久変形を生じた場合には管路が破壊することもあると予想される。

以上のことから、地盤の永久変形の生ずる範囲やその地盤が液化化しているか否かといったことが、管路の破壊を論ずるうえで非常に重要であることがわかる。

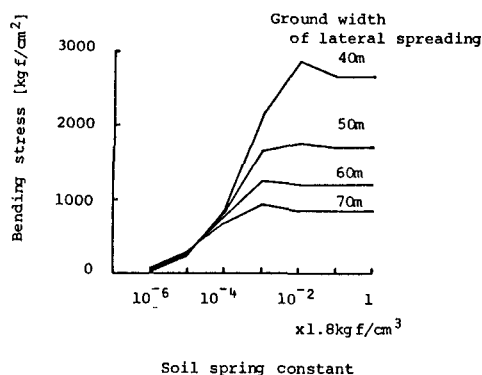


Fig. 2 Relationship between bending stress and soil spring constant

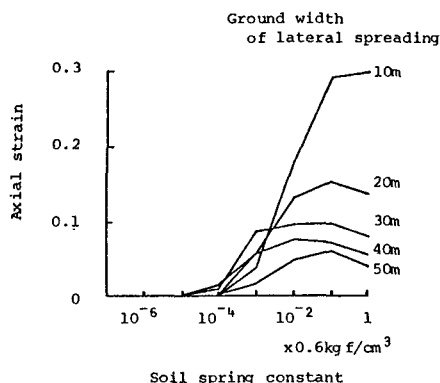


Fig. 3 Relationship between axial strain and soil spring constant