

金沢大学大学院 学生員 ○北島 孝
 金沢大学工学部 正 員 北浦 勝
 金沢大学工学部 正 員 官島昌克
 金沢大学学 生 学生員 野村吉範

1. はじめに

近年、地震時の液状化現象によって引き起こされる、ライフラインの被害を軽減するための研究が数多くなされている。液状化現象がライフラインに被害をもたらす原因として、これまでは浮力による管の浮上が注目されていた。しかし最近になって、液状化が大規模な地盤の永久変形を引き起すことがわかってきており、これがライフラインに多大な影響を及ぼす可能性も十分考えられる。1983年の日本海中部地震の際に能代市の前山を中心として、最大約5mに及ぶ液状化による地盤の大変形が観測されたことなどはその一例である。そこで本研究では、継手を有するパイプラインに注目し、液状化に伴って生ずる地盤の大変形がパイプラインの破壊に及ぼす影響を検討した。

2. 基礎運動方程式

継手を有するパイプラインの挙動を簡便に把えるために、Fig.1に示すようなモデルを用いる。つまり、地中埋設管を弾性床土上の梁とみなし、それぞれの埋設管は伸縮ばねと回転ばねで連結されているものとする。管路の慣性力、減衰力の影響は小さいものとみなして無視すると、埋設管の基礎運動方程式が以下のように得られる。

1) 管軸方向

$$-EA \frac{d^2 u}{dx^2} = K_u (U-u) \quad (1)$$

2) 管軸直角方向

$$EI \frac{d^4 v}{dx^4} = K_v (V-v) + F \quad (2)$$

ここに、 E ：管体の弾性定数、 I ：管体の断面2次モーメント、 A ：管体の断面積、 K_u 、 K_v ：管軸方向、管軸直角方向の単位長さ当りの地盤ばね定数、 u 、 v ：管軸方向、管軸直角方向の地盤変位である。

3. 地盤の永久変形モデル

Fig.2は、日本海中部地震の際に能代市青葉町で生じた地盤の永久変形と地中埋設管の被害状況を示している。図中B、C、D、Eは管路の破壊モードを示しており、それぞれBが直管部におけるめり込み、食い違いを、Cが直管部における亀裂を、Dが異形管類の破損を、Eが継手部の破損を示している。同図によれば、地盤の永久変形は管軸方向といろいろな角度をもって交わっているものの、その大きさに注目すると、急激な増減はない。そこで本研究では、このような地盤の永久変形をFig.

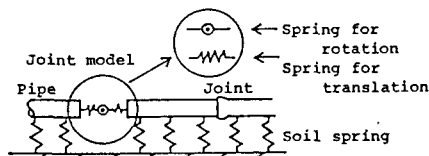


Fig. 1 Analytical model¹⁾

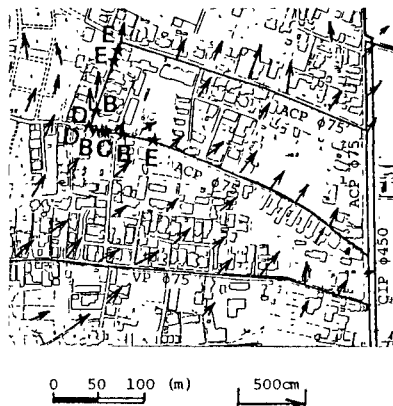


Fig.2 Lateral spreading and pipe damage (Aoba-cho in Noshiro)

3に示すような正弦波でモデル化し、管軸に沿ってある範囲にわたり永久変形が生ずる場合と、管軸直角方向に生ずる場合のそれぞれについて解析を行った。管軸方向、管軸直角方向の地盤変位 u, v はそれぞれ次式で表される。

$$\left. \begin{aligned} u(x) &= D_y \cdot \max \cdot \sin \pi \frac{x}{l} \\ v(x) &= D_x \cdot \max \cdot \sin \pi \frac{x}{l} \end{aligned} \right\} (3)$$

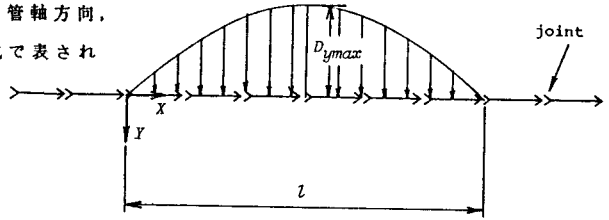


Fig. 3 Model of ground deformation of transversal direction (plane view)

4. 解析手法

本研究では、中村によって提案されている数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法³⁾を用いた。この手法は、従来の伝達マトリックス法のように各格点の物理量を伝達するのではなく、各格点の物理量の間関係式を伝達するというものである。

Eqs. 1, 2より格点伝達マトリックス F と外力ベクトル R は次のようになる。なお、ここでは基準定数 l_0 , E_0, A_0, I_0 を用いて無次元化を行っている。

$$F = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -D \cdot C & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -D & 0 & D^2 \cdot B/2 & D^3 \cdot B/6 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -D \cdot B & -D^2 \cdot B/2 \\ -D \cdot \bar{K}_v & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & D \\ 0 & -D \cdot \bar{K}_u & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (4) \quad R = \begin{bmatrix} 1/2 C D^2 \bar{u} \bar{K}_u \\ -1/24 B D^4 \bar{v} \bar{K}_v \\ -1/6 B D^3 \bar{v} \bar{K}_v \\ D \bar{u} \bar{K}_u \\ -1/2 D \bar{v} \bar{K}_v \\ D \bar{v} \bar{K}_v \end{bmatrix} (5)$$

ここに、 $B=E_0 I_0 / EI$, $C=E_0 A_0 / EA$, $D = \Delta x / l_0$ 。であり、 $\bar{u}, \bar{v}, \bar{K}_u, \bar{K}_v$ はそれぞれ無次元化された u, v, K_u, K_v である。

一方、継手部における格点伝達マトリックス P は、Fig. 4で示すような断面力、変形量の釣合い関係のもとで、次のように得られる。

$$P = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1/K_t & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1/K_j & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} (6)$$

Fig. 4 Equilibrium equation at joint¹⁾

本解析においては、地盤の液状化に伴う地盤の軟化を地盤ばね定数の低下として考慮している。有継手パイプラインとして呼び径400mmのダクタイル鋳鉄管を例にとり解析を行った。解析結果および考察は講演時に譲る。

参考文献

1) 高田至郎・高橋俊二・小部泰男：硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション、水道協会雑誌、第547号、pp.27~39, 1980. 2) 久保慶三郎・浜田政則・磯山龍二：日本海中部地震における地盤の永久変位の測定、第18回地震工学研究発表会講演概要、pp.353~356, 1985. 3) 中村秀治：数値誤差の改善を考慮した伝達マトリックス法の提案、土木学会論文報告集、第289号、pp.43~53, 1979.