

I-544

埋設管路の非線形変形挙動の無次元化表示

日本鋼管(株) 正会員 ○鈴木信久
同 上 正会員 谷村正人

1 まえがき 埋設管路は進行性の地盤沈下の他、地震時に発生する液状化・地割れ等の地盤変状により様々な変形を受けることがある。埋設管路が地盤からこのように大きな変形を受けると、幾何学的にも材料的にも非線形挙動を示すことはよく知られている。このような環境下にある管路の安全性は有限要素法で検討するのが一般的であるが、モデル化等で若干煩雑なステップを踏まざるを得ない。

本報告はこのような繁雑さを避けるため、有限要素法の解析結果をもとに溶接埋設鋼管の非線形変形挙動をシンプルに無次元化表示することを試みたものである。地盤変位パターンは最も典型的な断層型の変形モード¹⁾とし、無次元パラメータには地盤の最大耐力と鋼管の曲げ剛性を組み込んでいる。

2 無次元パラメータの設定 弾性支床の上のはりの変形解析には、管に作用する地盤の反力は管と地盤の相対変位量に比例する、という Winkler の仮定が取り扱いが簡単のため広く採用されている。この仮定は線形変形領域でその妥当性が十分に確認されているものであり、このような管の変形を表すために $\beta^4 = (kD/4EI)$ が効果的なパラメータとなっている。ところが図1のような地盤の変位パターンで地盤の変位量がある程度大きくなると、管本体が降伏したり管に沿って地盤が部分的に降伏するようになる。したがって、このような変形を表すためには β は有効なパラメータとはならない²⁾。

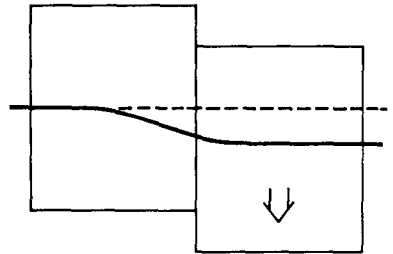


図1 断層型の地盤変形モード

管を弾性として地盤のばね特性を図2のようにバイリニアモデルで仮定すると、等分布荷重を受けるはりの微分方程式、

$$EI y'''' = -qD \quad (1)$$

$$\text{から、} \quad \gamma^3 = qD/EI \quad (2)$$

が得られる。ここに $1/\gamma$ は $1/\beta$ と同様に長さの次元を持つパラメータである。本報告では $c=1/\gamma$ を特性長 (Characteristic Length) と呼んで無次元化基本パラメータとして採用する。この c を使って管の座標、変位量、地盤の変位量および管の曲率は次式のように無次元化される。

$$\bar{x} = x/c, \quad \bar{w} = w/c, \quad \bar{\delta} = \delta/c, \quad \bar{\rho} = c\rho \quad (3)$$

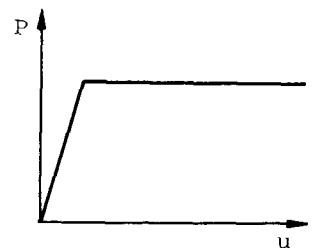


図2 地盤ばねの特性

3 変形解析結果の無次元化表示 数値計算には150A(165.2 mmODx5.0mmWT), 300A(318.5x8.4), 600A(609.6x12.7)の3種類の鋼管を使用した。管軸直角方向の地盤ばね特性は $k=1.0\text{kgf/cm}^3$ 、 $q=1.0\text{kgf/cm}^2$ とした。このモデルで特性長 c はそれぞれ約600、

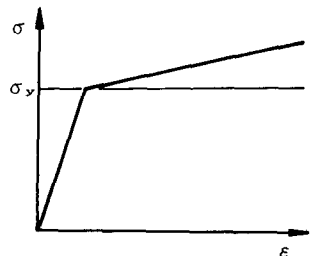


図3 管材料の応力～ひずみ関係

800,1000cmとなる。管軸方向のばね特性については、ガス導管耐震設計指針³⁾のように単位長さ当りの地盤反力が軸直角方向への地盤反力と等しくなるようなモデルを採用した。また鋼管の材料特性は図3に示すようにバイリニアモデルとした。

管を弾性とした計算結果のうち、無次元化した最大曲率 $\bar{\rho}_m$ と地盤変位量 δ の関係を図4に示す。図4に示すように q を一定として得られた線図は、 $c=600\sim 1000\text{cm}$ 程度の実用的な範囲についてみると、最大曲率について約5%程度の差は認められるものの類似した曲線となっており、600Aの計算結果を安全側の代表値とする事ができよう。また、線形領域における地盤の特性値となる k あるいは β の影響はほぼ無視できるものであった。また、 q を $0.1\sim 2.0\text{kgf/cm}^2$ の範囲で変化させた計算結果によると、 $\bar{\rho}_m$ は q をパラメータにすると δ の小さなところでは q の変化に鈍感でほぼ同様な曲線となるが、 δ の大きなところでは敏感に変化し q が大きなほど $\bar{\rho}_m$ は大きな値を示す。

図5には図4と同じ計算モデルについて管の塑性変形を考慮した結果を無次元化して示す。管の塑性変形を考慮したこの結果は全体的には図4に類似した傾向を示しているが、300Aと600Aについては管が降伏を初めてから $\bar{\rho}_m$ は弾性解よりもやや大きな値を示す傾向が認められる。このように管の塑性化を考慮すると、 $\bar{\rho}_m$ は弾性解から離脱して δ の増加と共に漸増するようになるが、この離脱点および離脱後の変化は無次元化した降伏曲率 $\bar{\rho}_y$ をパラメータとして表される。

図6には管の塑性変形を考慮した計算結果のうち、 $\bar{\rho}_m$ の発生位置を示すが、管を弾性とした結果についてもほぼ同じ値が得られた。

4 あとがき 本報告では、特定の地盤変位パターンについて埋設鋼管の非線形挙動を無次元化表示した。地震時に発生する地盤変位のパターンは様々であるうえに、管路の構成も直管だけではないが、管路の変形挙動は本報告と同様な形式で表される。

参考文献

- 1) 鈴木他：埋設鋼管の耐震性～断層型の地盤変位に対する変形特性、日本の水道、pp.50～56、1982.
- 2) 米沢他：地盤のばね特性の評価に関する検討、第34回全国水道研究発表会、pp.181～183、1983.
- 3) (社)日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針、1982.

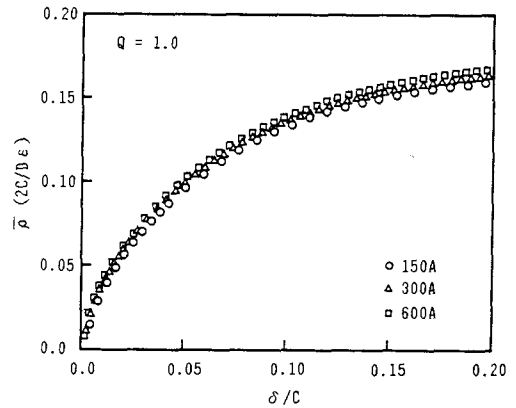


図4 管を弾性とした計算結果

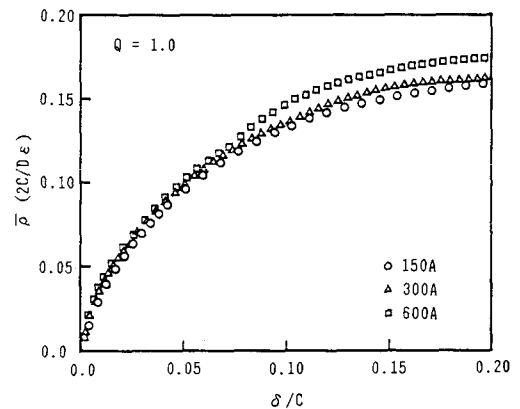


図5 管の塑性変形を考慮した計算結果

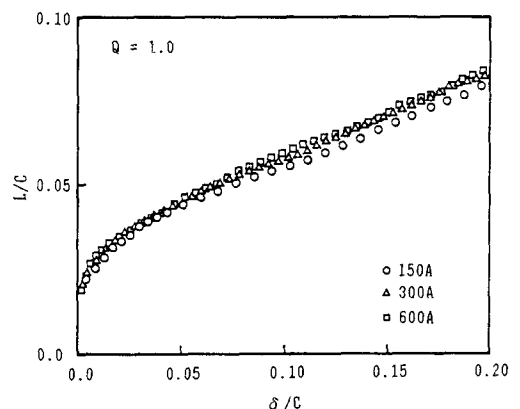


図6 最大曲率の発生位置