

神戸大学工学部 フェロー 高田 至郎  
 神戸大学工学部 正会員 Nemat Hassani  
 神戸大学大学院 学生員 ○上田 智宏

## 1. はじめに

地盤・構造物系の動的解析では、その汎用性から FEM 数値解析法が実用上広く用いられている。地中管路の解析方法としても、はり構造解析や 3 次元シェル構造解析などが開発されている。はり構造解析では断面変形を取り扱えないため局所的なひずみの解析精度が高くない。一方、3 次元シェル構造解析は断面変形が取り扱えるが、解析に必要なコンピュータ容量が大きく、計算時間が長いことなどの課題がある。本研究の目的は、地中管路を 3 次元シェル要素あるいは 2 次元はり要素によってモデル化し、地震時の両者の比較応答解析を行い、さらに管路の断面変形にともなって発生するひずみを簡便に表現できる等価 2 次元はり有限要素モデルの提案を行うことにある。2 次元のモデル化が可能であるか、あるいは 3 次元シェル構造モデルと 2 次元はり構造モデルとの解析結果の違いが明らかにできれば、耐震設計に有用であると考えられる。本研究では、解析は汎用有限要素解析プログラム「ABAQUS」を用いた。

## 2. 解析手法

解析モデルを図-1, 2, 3 に示す。管路は一体構造の鋼管路として、地表面から 1.2m の位置に地表面と平行に 24m の延長で埋設されている。図-1 の 2 次元はり構造モデルでは管路を太線で示している。3 次元有限要素モデルの時刻歴応答解析では非常に容量が大きくなることを考慮して境界条件を配慮して対称モデルとした。また、管路の断面変形を簡便に表現できる等価 2 次元有限要素モデル (2 次元はり・トラスモデル) として、管軸方向に奥行幅で切った断面を上端・下端ともにはり要素 (矩形断面) で表し、その上端はり要素と下端はり要素間の管路の剛性を、鉛直・斜め 3 方向のトラス要素の連結によって擬似的に表現した。また、トラス要素と並列に、曲げ応力に抵抗するための等価弾性ばね要素を導入した。

地盤は、軟弱地盤として、地盤の材料非線形形としては、弾完全塑性体を仮定し、降伏基準としては、*Mohr-Coulomb* の破壊基準を採用している。

入力地震波については、レベル 2 地震動を想定して、地中管路の比較応答解析を行うために、兵庫県南部地震の際に東神戸大橋地下 33m の位置で得られた最大加速度 446gal の記録の主要動、3 秒間 (図-4) を解析モデルの下端より管軸方向に入力している。

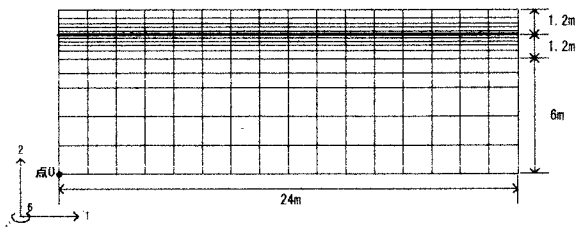


図-1 2次元はり構造モデルのメッシュ図

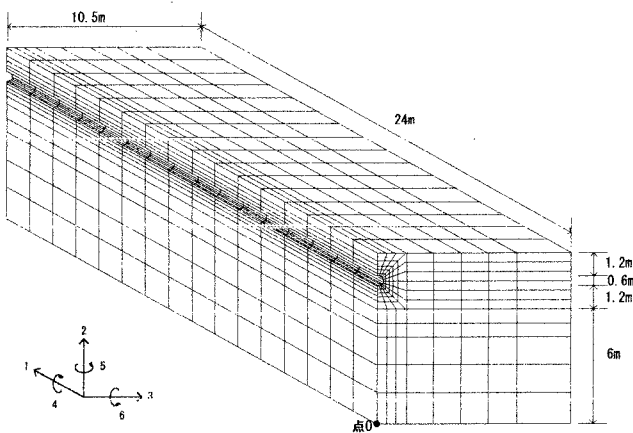


図-2 3次元シェル構造モデルのメッシュ図

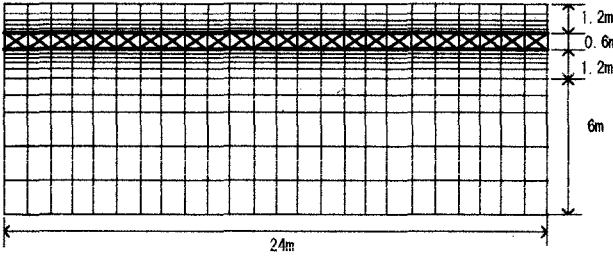


図-3 2次元はり・トラス構造モデルのメッシュ図

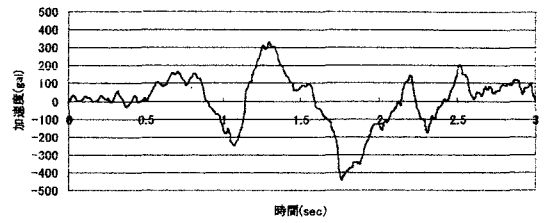


図-4 入力地震波

### 3.解析結果

図-5に示すように、最大ひずみ分布は、2次元はり構造モデルでは、管軸方向に対して、最大ひずみがほぼ均一な応答値を示した。一方、3次元シェル構造モデルは局所的に最大圧縮・引張ひずみが大きくなる地点が見られ、とくに $x=18.75\text{m}$ 付近では、3次元シェル構造モデルのほうが大きな最大ひずみを示し、かつ2次元はり構造モデルの管路要素すべての最大ひずみより大きな応答値を示した。図-6に示す $x=18.75$ 地点での軸（直）ひずみの時刻歴応答についても同様に3次元シェル構造モデルのほうが、2次元はり構造モデルに比べて大きい直ひずみが生じていることがわかる。

提案した2次元はり・トラス構造モデルは、最大ひずみの分布については3次元シェル構造モデルの最大ひずみに近似している傾向にある。また、軸（直）ひずみの時刻歴についても、管位置によっては類似の応答を示した。しかし、図-7に示す $x=12.0\text{m}$ での回転角の時刻歴をみると2次元はりや3次元シェルに比べて異なった挙動を示している。

### 4.結果の考察

解析の結果、2次元はり構造解析では検証できない断面変形にともなう局所的なひずみの有無が認められ3次元シェル構造解析の必要性が認識される。

提案した2次元はり・トラス構造モデルは、曲げに対する抵抗に問題が残るが、断面変形による局所的な最大ひずみに関しては3次元シェル構造モデルの応答に類似傾向にあることが知られた。

### 【参考文献】

- 1) 高田至郎：ライフライン地震工学，共立出版，pp.7-27，1989.9
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説，日本水道協会，pp.241，1979.12

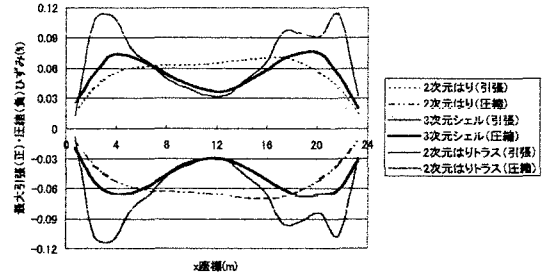


図-5 管軸方向の最大圧縮・引張ひずみ

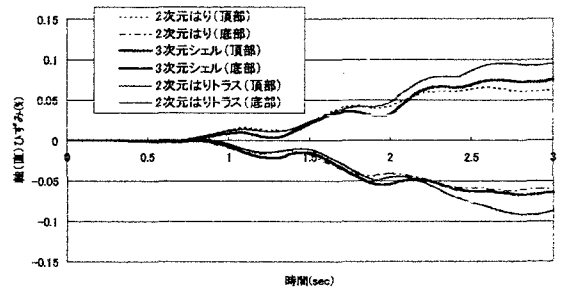


図-6 軸（直）ひずみの時刻歴( $x=18.75\text{m}$ )

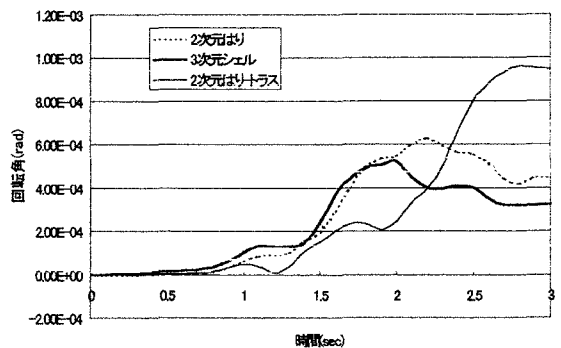


図-7 回転角の時刻歴( $x=12.0\text{m}$ )