

斜め入力をうける管路のモデル化に関する研究

東北学院大学 学生会員 栗田佳祐, 林 昌輝

東北学院大学 正会員 吉田 望

1 はじめに

水道管の様な地中線状構造物では軸方向の変位や曲げ変形により接合部が被害を受ける事が多い。地震動が管路に対して斜めに入射するときには、これらの変位が発生しやすい。

斜め入射を扱うときには、有限要素法を用いるにしても基盤の定義が難しい。地中構造物では応答変位法による解法が一般的であるが、有限要素法による計算が難しいとすれば、その入力波を作る事も難しい。

本論では、その解析法の目処をつけるために、各種の解析法で解析して比較した結果を紹介する。

2 解析モデル

水道管を対象とした場合、管路の材料はダクタイル鉄管とポリエチレン管がある。このうち、前者は接合部を別途モデル化する必要があるなどの手間がかかる。ポリエチレン管では接合部も含めて連続体と考えられる事からこれをモデル化することにした。

計算に用いるのは、水道配水用ポリエチレン管で呼び径 50 のものを用いる。物理、力学特性などは、文献¹⁾に基づいて設定した。

地盤は、やや軟弱な地盤を想定し、せん断波速度 $V_s=150\text{m/s}$ 、単位体積重量 $\gamma_r=17\text{kN/m}^3$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ と設定した。

応答変位法に用いるための地盤ばねは、水道施設耐震工法指針・解説²⁾に基づいて設定する。同指針によれば、相互作用ばねは

$$K_{g1} = C_1 \frac{\gamma_t V_s^2}{g}, \quad K_{g2} = C_2 \frac{\gamma_t V_s^2}{g} \quad (1)$$

と表されている。ここで、 g は重力加速度、 K_{g1} 、 K_{g2} は管軸、直交方向の地盤反力係数である。 C_1 、 C_2 は補正係数で深さと管径の関数として与えられている。ここで、深さ H を FEM のメッシュに合わせて 10m

と設定してこれらの値を求めると、 $C_1=0.82$ 、 $C_2=1.45$ となる。これより、 $K_{g1}=32.0(\text{MN/m}^3)$ 、 $K_{g2}=56.6(\text{MN/m}^3)$ となる。

解析範囲は、幅 250m で地表面の傾斜（斜め入射する波動の入射角）を 18.9 度に設定する。

図 1 に解析モデルを示す。モデルは、地盤を表す要素が 750 個、管路は 50 個、地盤ばねは水平、鉛直両方向に作用させるので、102 個のモデルとなっている。なお、解析では、地盤の奥行きを 100m に設定し、管路の変形が地盤の挙動に影響を与えないようにした（Large mass 法）。

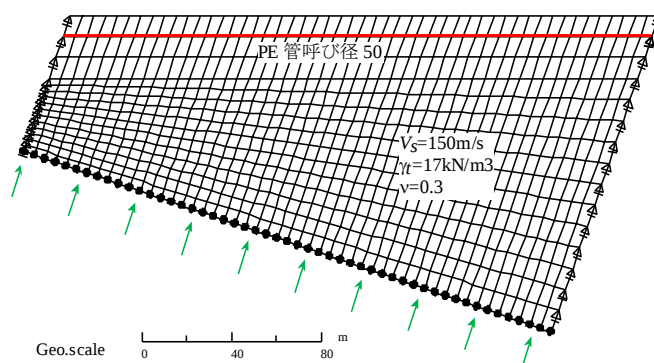


図 1 解析モデル

3 解析方法

解析は次の 4 通りの方法で行う。

- 1) 図 1 のモデルを用いた有限要素解析
- 2) 地盤ばね、管路のみをとりだし、多入力解析で速度と変位を入力
- 3) 2)と同様だが、変位のみを入力
- 4) 静的解析で波動を順次入力

ここで、2)3)の多入力解析は文献³⁾に示される方法に基づいて行う。これによれば、基盤の加速度時刻歴と相互作用ばね端の基盤に対する相対変位と相対速度を入力させれば、管路の変形は再現されている。しかし、簡易に解析を行うとすれば、変位だけを入力の方が楽なので、3)では変位のみを入力するも

のである。また 4)の方法では波動が管路位置に到達する時刻を特定の時刻ごとに求め、それを静的に地盤ばねに作用させているので、地盤の解析を行わなくてよいという利点があり実務的だと考えた。

地震波は、まず基本的な性質を押さえるために、大きさ 500cm/s^2 のパルス波を作用させる。解析は、地盤と構造物に関する汎用解析プログラム STADAS⁴⁾を用いて行う。

4 解析結果と考察

図 2 に有限要素法解析による最大加速度分布と最大モーメントを示す。以下では、管路の挙動を代表するモーメントを比較することで各種解析の適用性を検討する。

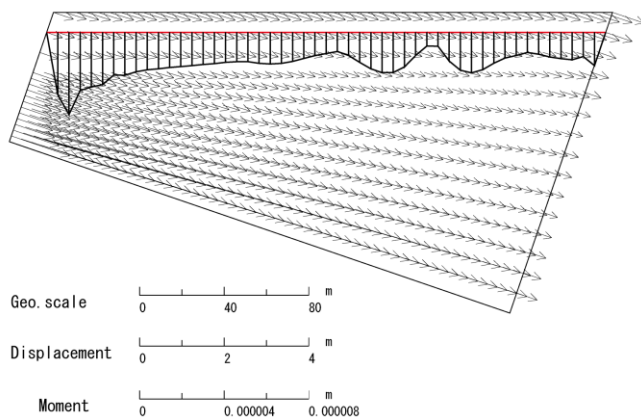


図 2 最大応答値

4.1 多入力解析

図 3 は FEM 解析、多入力解析(変位のみ)、多入力解析(変位と速度)の最大モーメント図である。黒線が FEM 解析、赤線が多入力解析(変位のみ)、緑線が多入力解析(変位と速度)である。

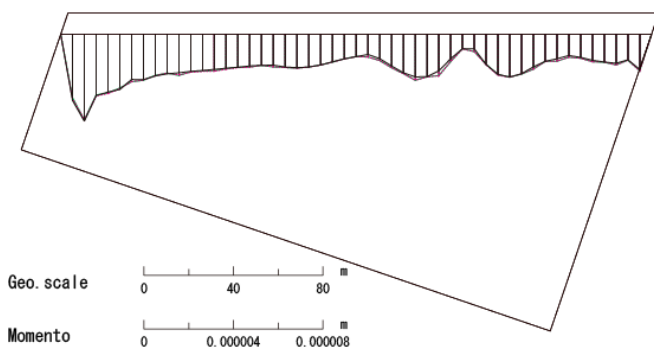


図 3 最大モーメント図

全体的に多入力解析により求まる結果は FEM 解析の結果とほぼ一致する。また、多入力解析において速度による影響はほとんど無い。

4.2 静的解析

図 4 は地震発生から 1.2 秒後のモーメント図である。モーメントの誤差が最も大きかったのは、左から 85m の地点で静的解析 $148.5\text{N}\cdot\text{m}$ 、FEM 解析 $73.6\text{N}\cdot\text{m}$ である。これは両端 10 要素のモーメント図に差があったため、これが影響しているものと考えられる。全体的に見ると静的解析により求まる結果は FEM 解析の結果によく似ている。

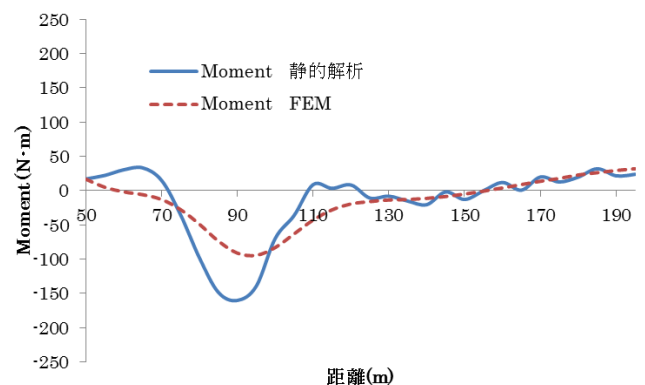


図 4 1.2 秒時点のモーメント図

5 まとめ

斜め入射を受ける管路の設計のための計算法を確立する目的で、各種の解析を行った。どの方法も似たような結果が得られたので、簡易法で計算できる可能性が示された。ただし、本解析ではパルス波のみを対象としており、今後色々な入力に対して検討することが必要であろう。

参考文献

- 1) 水道配水用ポリエチレン管及び継手設計マニュアル、配水用ポリエチレンパイプシステム協会、2015
- 2) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説・設計事例集、2009 年版、総論
- 3) 吉田 望、白戸真大：地中構造物の多入力地震応答解析、土木学会第 59 回年次学術講演会学会、Vol. I, pp. 601-602, 2004
- 4) 吉田望：STADAS, A computer program for static and dynamic analysis of ground and soil-structure interaction problems 使用説明書、Version 4.42, 2011