斜め入射を受ける地中線状構造物の解析の比較

1 はじめに

水道管,ガス管などの地震時の被害は,接合 部の抜け,圧壊などが多い。これらは,管路が 軸方向の力を受ける事に起因していると考えら れる。ところで,管路に軸方向の変位を与える のは,例えば液状化,斜面崩壊などにより二つ の土塊の動きが大きく異なる場合には顕著に見 られる。

整形地盤でも,地震動が斜めに入射したり, 表面波(Rayleigh 波)などが伝播したりする場合 には同様な被害が発生する可能性がある。しか し,斜め入射,表面波などが作用する問題では, 数値解析も難しい問題である。本報では,実用 的な解析法を検討するためにいくつかの解析法 でモデル地盤を解析し,その差を比較した。

2 解析モデル

図1に対象とした地盤,構造物およびその FEM モデルを示す。地盤はせん断波速度 V_s =150m/s, 単位体積重量 γ_r =19kN/m³の弾性体と設定する。 管路は,連続するはり要素としてモデル化でき ると考えられるポリエチレン管(外径93mm,ヤ ング係数1100MN/m²)と設定する。設置位置は 地盤モデルのメッシュに合わせたので,GL-6m と水道管としては深い位置にある。なお,波動 進行方向の最大メッシュ高さは6mであるので,5 ~ 6Hz より長周期の波を対象としていることにな る。

地震動は地表から15度傾いて入射する S_v 波と する。これに合わせて図1に示すように,解析範 囲も15度傾斜させた。底面には V_s=500m/s, $\gamma_{r}=21$ kN/m³を想定したダッシュポットを取り付 けた。底面および側面は波動の進行方向には変 位せず,振動方向にのみ変位する境界とした。

管路ははり要素としてモデル化する。全ての 管路を含む節点は2方向変位と回転が自由とし, これを地盤ばねを介して地盤と結合させる。地 盤ばねは文献1)にしたがって求める。この際,地 盤係数に対する補正値は概算値を用い,管軸, 管軸直交方向とも同じ値とした。なお,管路の 変形の影響が地盤の応答に影響を与えないよう に,地盤は奥行き100mの長さをモデル化してい 東北学院大学 国際会員 吉田 望 京都大学 国際会員 ,正会員 後藤 浩之

る。

地中の管路の地盤ばねは速度依存性があることが報告されている²⁾。そこで,図2に示すように,二つの実験値の平均をとるような形で速度依存性を考慮した材料特性を設定する。

3 解析法

次の5つの解析法を行う。

- 1) 図1のモデル全体の地震応答解析
- 2) 管路と地盤ばねをとりだし,地盤の変位と速度,および慣性力を考慮する多入力解析³⁾
- 3) 上記と同じだが速度入力のない多入力解析
- 4) 1)の地盤変位を静的に作用させる解析
- 5) 1)と同じだが地盤ばねの速度依存性を考慮す る地震応答解析

なお,速度依存性を考慮する場合には,地盤 と管路の相対速度に比例する抵抗力が作用する。 これは,地盤ばねの剛性比例減衰と同じ定式化 ができる。また,図2は外径600mmの管に対する 実験値であるので,管径による補正が必要で, 道路橋示方書に基づき行う。この際,静的,速



図1 解析モデル



Analysis of underground lineral structures subjected to obliquely incident wave Yoshida, N. (Tohoku Gakuin University), Sawada, S., and Goto, H. (Kyoto University) 度依存ばね定数が比例して変化するというケース(剛性比例減衰の係数β=6.82)と速度依存分は 値が変わらないケース(β=0.324)の二つを考慮 した。

4 解析結果と考察

まず,波動の伝播を確かめるため,パルス波 を作用させた。図3にいくつかの時刻における加 速度の分布を示す。波動はほぼ設定通りに進行 し,左端から反射が起こっていることがわかる。 なお,端部では乱れが見られる。鉛直下方入力 のケースではこの様な乱れは見られないことか ら,要素の辺の向きと波動の伝播方向が異なる こと,台形の要素を使っているなどが原因と考 えられる。なお,要素剛性マトリックスは次数 低減積分(1点積分)を用いて計算している。

地震応答解析では,入力地震動として,1995 年兵庫県南部地震の際にポートアイランド GL-32m で記録された波形の NS 成分を用い,あまり に継続時間が長いと,側方境界の影響が管路に 及ぶと考え,主要動を含む4秒~7秒までの3秒間 を作用させた。

図4に最大加速度分布を示す。振動はほぼ波面 の方向に動いており,モデル化がそれほど妥当 であることがわかる。

図5に1)~3)の三つの動的解析で得られた最大 モーメントを比較して示す。若干の差は見られ るが,ほとんど同じ応答となっている。なお,4) の静的解析の結果も同じ結果であったので,図



図3 パルス波の伝播状況



では省略した。

図6に,地盤ばねの特性の速度依存性を考慮し た解析の最大モーメントを比較して示す。速度 依存性が大きい(速度依存部分と静的部分が比 例)設定となっているケースではモーメントが 小さめであるのに対して,速度依存性が小さい (速度依存の勾配が実験値と同じ)設定となっ ているケースでは,速度依存性を考慮しなかっ たケースとほとんど同じ応答となった。

5 まとめ

斜め入射を受ける管路の解析法を検討するた めにシンプルなモデルを用いていくつかの解析 を行った。その結果,以下の結論が得られた。

- 1)応答変位法を用いる場合には,地盤の変位は 径を構造物に入力すれば十分である。
- 2)地盤ばね定数の速度依存性は効果が大きいと応答を抑える効果がある。ただし、その値についてはさらなる検討が必要であろう。







図6 最大モーメントの比較(速度依存性)

参考文献

- 1)日本水道協会(2009):水道施設耐震工法 指針・解説・設計事例集,2009年版,総論
- 2)島村一訓,竹之内博行,三木千尋,福澤小 太郎:実大実験による埋設パイプラインの 軸方向動的地盤ばね特性の研究,土木学会 論文集,No.612/ -46,pp.55-66,1999
- 3)吉田望,白戸真大(2004):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