

第 I 部門

地震動の位相差と断層変位を考慮した地下埋設管の地震時挙動

京都大学 学生会員 ○檜原 新山
 京都大学 正会員 清野 純史
 京都大学 正会員 古川 愛子

1. 研究の目的と背景

地下埋設管のような長大な構造物は断層を横断して建設せざるを得ない場合があり、地震時に地盤の揺れに加えて断層変位による外力が作用する危険がある。構造物の安全を確保する上で、断層変位を考慮した地震時挙動を明らかにすることが重要であると考えられ、近年、盛んに挙動解析が行われている。しかし、それらの多くは静的解析によって強制変位を与えた後、地震動による動的応答解析を行っており、本来同時に作用する地震動と断層変位が相互に影響することを考慮できていない¹⁾。そこで、本研究では断層変位と地震動を同時に入力する非線形 2 次元有限要素法による動的解析を行い、その影響を調べた。

2. 解析の概要

解析には図 1 のような地盤—地下埋設管モデルを用いた。幅 101m、深さ 20m の均質な地盤の地表面から 2m の深さに長さ 101m の地下埋設管が設置されている。側方および底面の境界は粘性境界とした。本研究では対象地盤が撓曲するような場合のみを想定したため、モデル内に断層面は設けなかった。地盤には 4 節点の平面ひずみ要素を使用し、応力—ひずみ関係は線形モデルと非線形（完全弾塑性）モデルを比較した。地下埋設管は水道配水用ポリエチレン管を想定し、2 節点の弾性梁要素を用いた²⁾。パラメータを表 1、2 に示す。

地下埋設管は細長い構造をしているため、地震動が構造物の各節点に到達する時間ずれが影響するものと考えられる。そこで、本研究では基盤面の各節点に位相差をもつ地震動を逐次入力し、時間ずれの影響を考慮した³⁾。

図 2 は入力地震動に使用した Ricker Wavelet の時刻歴加速度波形であり、最大加速度は約 600gal である。伝播速度は 2000m/s とし、伝播方向は基盤面の

左端から右端とした。図 3 は基盤に入力した断層変位の時刻歴変位波形である。変位の大きさは 10cm であり、入力基盤面の左端から 0~50m に位置する各節点に対して行った。

通常地震応答解析では、地震動の加速度波形を慣性力として各節点に一樣に入力する。この手法では節点ごとに異なる位相差をもつ地震動の入力や断層変位によって基盤を変位させることが難しい。そこで本研究では、地震動及び断層変位を速度に変換し、基盤面の各節点に取り付けたダッシュポットを介して入力するという手法を取った。

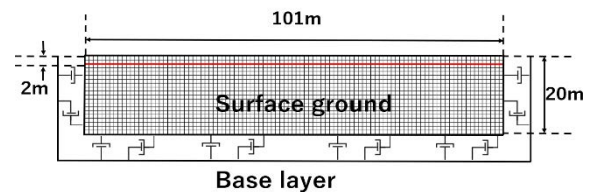


図 1 地盤—地下埋設管モデル

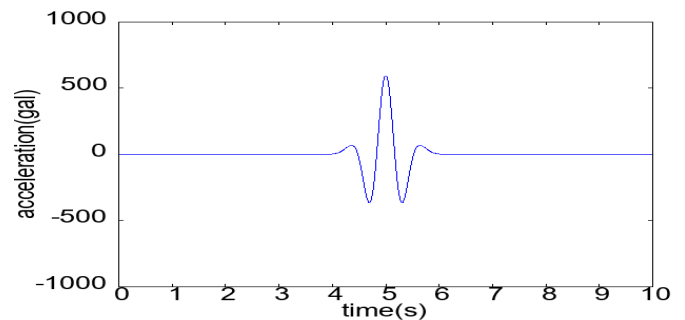


図 2 地震動の時刻歴加速度波形

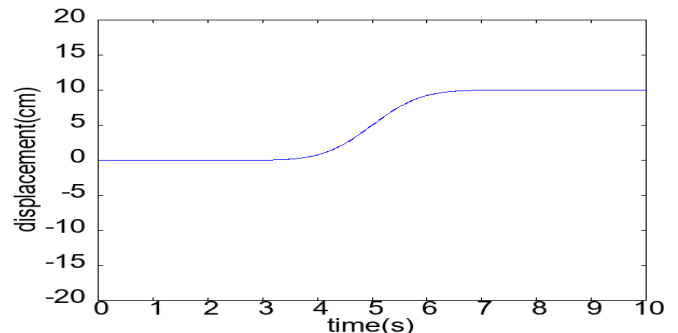


図 3 断層変位の時刻歴波形

表 1 地盤材料のパラメータ

	せん断波速度 (m/s)	ポアソン比	レイリー 減衰 α	レイリー 減衰 β	単位体積重量 (kN/m ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)
表層	120	0.300	2.70×10^{-2}	6.78×10^{-2}	14.7	0.00	30.0
基盤層	500	0.300	-	-	17.6	-	-

表 2 埋設管のパラメータ

	ヤング率 (kN/m ²)	ポアソン比	呼び径 (m)	外径 (m)	単位体積重量 (kN/m ³)
埋設管	1.00×10^6	0.46	7.5×10^{-2}	9.0×10^{-2}	9.31

3. 解析結果

図 4 は $t = 10.0$ s における地盤—地下埋設管モデルのスナップショットである（変形の倍率は 100 倍）。この図から撓曲によって基盤面の左側が変位している様子が確認できる。

図 5, 6 は埋設管の左端から 50.5m に位置する要素の軸ひずみ時刻歴波形である。method1 は地震動と断層変位を同時に入力する方法であり, method2 は地震動のみを入力した場合の応答と断層変位のみを入力した場合の応答を足し合わせたものである。線形地盤では method1 と method2 の結果は一致している。一方, 非線形地盤では method1 に対して method2 は僅かに大きな軸ひずみが得られており, 断層変位と地震動を個別に計算する手法では応答を過大に評価することが分かる。

4. 結論

地盤が非線形性を有する場合には地盤変位と地震動を個別に計算する手法との違いが表れるため, 構造物の地震時挙動を正確に評価するためには, 断層変位と地震動を同時に入力する解析手法が望ましい。しかしながら, 本研究では個別に入力する手法は応答を過大評価する傾向にあり, 安全側に計算されているとも言える。様々なケースを比較し, どちらの手法が最適か検討することを今後の課題としたい。

TIME = 10.0000[S]

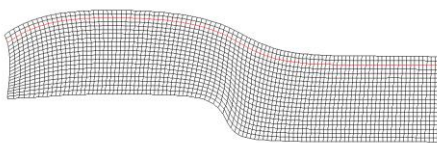
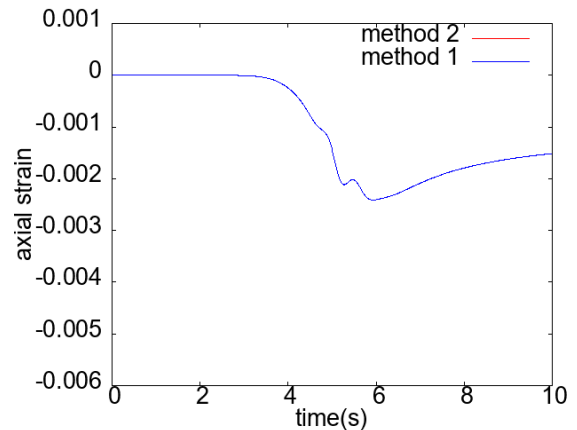
図 4 $t = 10.0$ s における地盤の変形の様子

図 5 線形地盤における軸ひずみ時刻歴波形

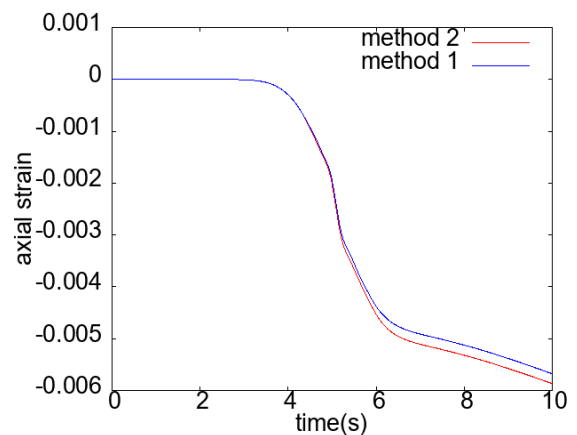


図 6 非線形地盤における軸ひずみ時刻歴波形

参考文献

- 1) シールドトンネル設計マニュアル, 阪神高速道路株式会社, 2011
- 2) 水道配水用ポリエチレン管の耐震設計の手引き, 水道配水用ポリエチレン管の耐震性評価検討委員会, 2018.
- 3) 清野純史・小野祐輔・藤井康夫・藏重幹夫・李圭太: 半地下線状構造物が隣接する河川堤防の地震時挙動に及ぼす影響, 土木学会地震工学論文集, Vol. 27, pp. 1-8, 2003.