

地震時における不整形地盤の非線形性を考慮した埋設管被害について

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○井上 佳樹

京都大学大学院工学研究科 正会員 清野 純史

1. はじめに

2007年7月16日、新潟県中越沖を震源とする M_J 6.8の地震が発生した。最大震度は6強であり、ガス導管の長柱座屈による被害が15箇所発生した。しかし、実被害例を詳細に説明した例は未だにない。

本研究では、数ある埋設管座屈の要因の中でも、新潟県柏崎市の特徴的な不整形地盤による影響に着目し、地震時において不整形地盤が埋設管に及ぼす影響を、柏崎市の地盤を対象とした地盤応答解析によって明らかにすることを目的とする。

2. 解析モデルと解析手法

(1) 解析に用いる地盤モデル

新潟県地盤図より、空間データ補間法であるクリギングを用いて、ガス導管の被害地点の周辺地盤の地盤構造を推定し、ガス導管と座屈発生地点を通る側線の断面における地盤構造を本研究の解析モデルとした。解析モデルを図1に示す。堆積層におけるS波速度及び密度は、表層ではそれぞれ70m/s, 1.6ton/m³, 第二層ではそれぞれ170m/s, 1.7ton/m³, 第三層では270m/s, 1.7ton/m³, 基盤では500m/s, 1.8ton/m³, とした。モデル断面の長さは10240mとし、断面におけるガス導管とその被害箇所をそれぞれ赤線と青点で示している。

(2) 解析手法と解析に用いた地震波

本研究での地盤応答解析には Aki and Larner 法 (以下 AL 法) を用いた。AL 法とは線形応答解析手法であり、対象とする地盤の水平方向の不規則構造に周期性を持たせることによって Fourier 級数展開の形に置き換え、これを不規則境界面の変位、応力の連続条件に適合させるように近似的に解を評価する方法である。また、地震時に大きな軸ひずみが発生しガス導管は座屈に至ったことから、地盤の非線形性を考慮する必要があると考えられる。したがって、本研究ではAL法を用いた等価線形解析も行った。以下に手順を示す。AL法による線形応

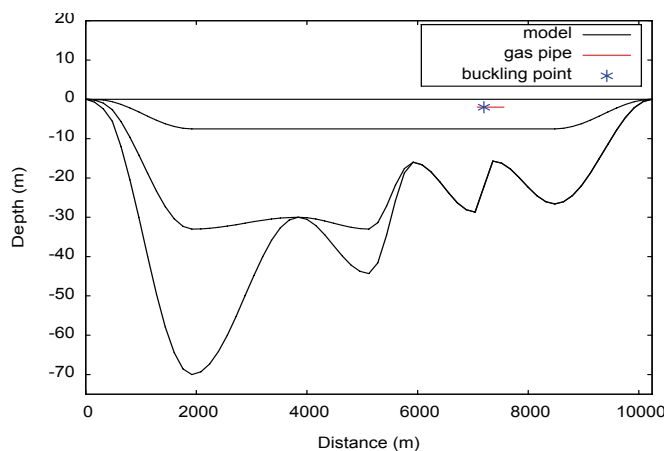
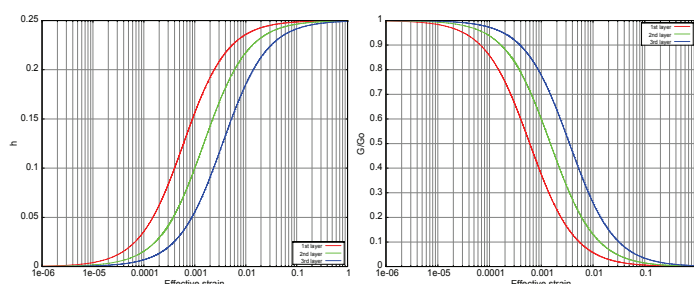


図 1 解析モデル



(a) 剛性骨格曲線

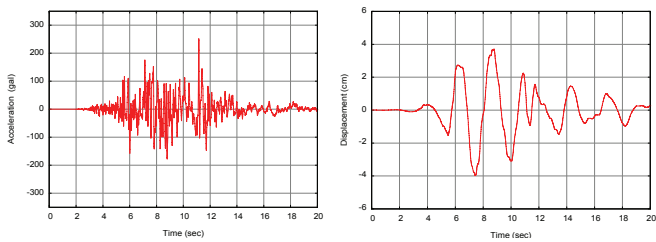
(b) 減衰骨格曲線

図 3 地盤の非線形特性

答計算から求められたせん断ひずみによる各地点の剛性低下, 減衰の増加から新しい剛性, 減衰を決定し, それらをパラメータとして再度 AL 法による計算を行い, 同様に新しい剛性, 減衰を決定する。この剛性, 減衰と前のステップの剛性, 減衰との差が許容範囲外であれば, 同様の計算を繰り返し, 許容範囲内であれば, 一つ前のステップで計算された軸ひずみが地盤の非線形性を考慮した軸ひずみとして用いる。実際に地下 2m にある埋設管の変形と軸ひずみの関係を検討するため, 入力波は実観測波を用いた。新潟県中越沖地震で柏崎刈羽原子力発電所の地下 99.4m で観測された加速度時刻歴の 20 秒間をとりだし, 解析モデルの側線の方位に応じて EW 成分, NS 成分を合成したものを図 4(a)に示す。この加速度時刻歴を積分して求めた変位時刻歴を図 4(b)に示す。

キーワード：埋設管, 座屈, 不整形地盤, AL 法, 等価線形解析, 軸ひずみ

連絡先 (〒615-8246 京都府京都市西京区京都大学桂 TEL075-383-3252)



(a) 入力速度時刻歴 (b) 入力速度時刻歴

図 4 入力波

3. 解析結果

入射波は全て鉛直入射とした。地下 2m における地盤の軸ひずみのひずみ波形を線形解析，等価線形解析についてそれぞれ算出した結果を図 5(a)，図 5(b)に示す。

図 5(a)及び図 5(b)より，地下 2m における地盤のひずみ波形は，線形解析結果と等価線形解析結果では差が見られない。また，各地点の地下 2m における地盤の最大圧縮ひずみを図 6 に示す。図 6 についても線形解析結果と等価線形解析結果では差が見られなかった。またガス導管の座屈発生地点における最大圧縮ひずみについては，線形解析で最大 0.0151%に対し，等価線形解析では最大 0.0154%となり，等価線形の方がやや大きくなった。ここで，極めて長い延長距離を持つ直線状の配管系で，口径が小さくかつ，埋設管周囲の地盤ばねが柔らかければ長柱座屈の可能性が出ることが試算されている。その結果を表 1 に示す。本研究で取り上げている被害のあったガス導管は口径が 50mm かつ直線配管延長は 480m である。等価線形解析で求められた地盤の最大圧縮ひずみは，表 1 の座屈時のガス管ひずみに達しないことがわかった。

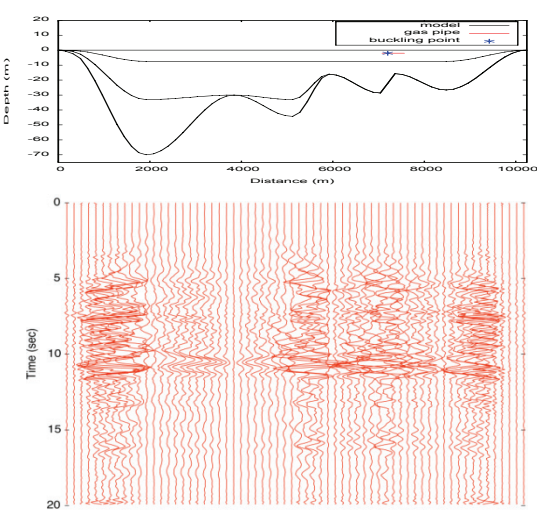


図 5 (b) ひずみ波形(等価線形解析)

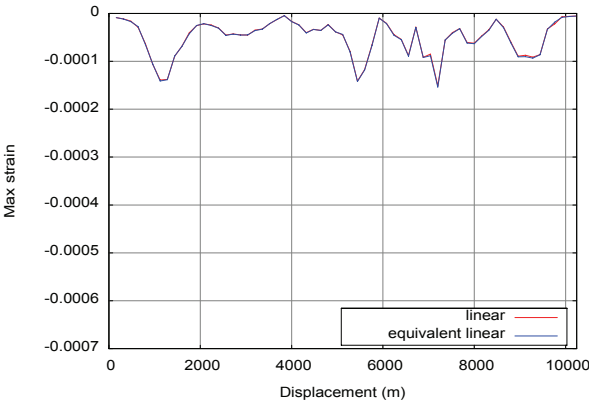


図 6 地下 2mにおける最大圧縮ひずみ

表 1 長柱座屈の試算結果

口径	地盤ばね	座屈荷重(kN)	座屈区間長(m)	直線配管延長(m)	座屈時のガス管ひずみ(%)
100mm	通常	2,101	2.1	780	0.66
80mm	通常	1,219	1.8	581	0.53
50mm	通常	522	1.5	366	0.37
	通常の1/2	369	1.7	259	0.27
	通常の1/10	165	2.6	116	0.12

4. 結論

本研究では，新潟県柏崎市を対象として地盤応答解析を行い，実観測波入力による地下 2m における地盤の最大圧縮ひずみを算出したが，座屈時のガス管ひずみに達さず，不整形地盤によって生じる地盤のひずみのみでは実被害を説明することができなかった。実被害を説明するためには，解析条件を実際の状況を忠実に再現すること，すなわち管路の形状の考慮や柏崎市の地盤構造のより詳細なモデル化が必要である。

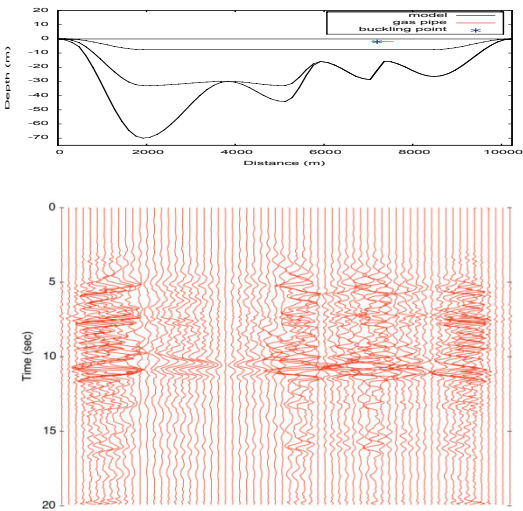


図 5(a) ひずみ波形(線形解析)