活断層を横断する地中管路の大変形挙動解析およびその評価

神戸大学工学部　フェロー　高田至郎　　神戸大学工学部　正員　李騰雁
神戸大学大学院　学生員　福田克己　　住友金属工業（株）　正員　○田島知治

1. はじめに

淡路島から六甲にかけての活断層運動により 1995 年に発生した兵庫県南部地震は，かつてあまり例のない大都市直下型の地震である．この兵庫県南部地震におけるライフライン被害の一つの特徴として，会下山断層や渦ヶ森断層などの既存断層近傍の地中管路が大きな被害を受けた．また過去の地震においても断層を横断する地中管路の被害が多くみられ，今後断層を横切る地中管路の地震対策は必要と考えられる．

その地震対策として，アラスカパイプラインでも用いられている浅埋め工法がある．これは，管路を浅く埋めることによって，地震時に断層運動により大きな変形を受けたときに，管路が地表面から外に飛び出すことによって，管路に働く応力を小さくし，断層運動による管路への影響を小さく押さえる方法である．

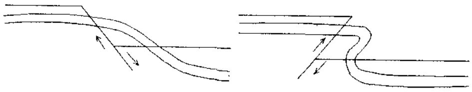
本解析においては，実際にこの浅埋めの検討として，管路が図-1 に示すように地表に出る状況に至る場合の管路の挙動を汎用プログラム ABAQUS を用いた解析によって検討する．

2. 解析方法

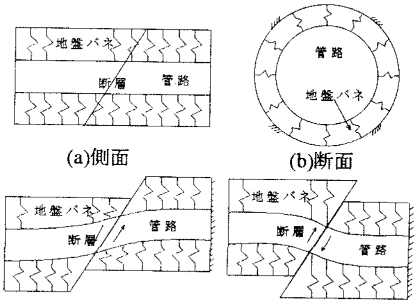
地中管路のモデル化については，地盤をバネとしてモデル化を行い，管路についてはシェル要素を用いる．また，断層運動については，強制変位を与えることにより考慮している．（図-2 参照）

本解析におけるもっとも重要な着眼点として，管路が地表に出る状況をどのようにモデル化するかということがある．さまざまな手法が考えられるが，本解析においては，管路が地表に出る状況を，地盤バネによって表現する．

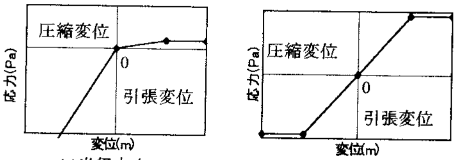
この地盤バネを特定する方法について以下に述べる．図-3 に示すものが通常の場合に用いられる地盤バネ特性であるが，この地盤バネ特性を図-4 に示すように地盤バネの特性を変化させることにより行う．この地盤バネ特性は，管路が地表に出る時点におけるバネの相対変位量を調べ，それ以降のものについては，応力をゼロとすることにより，管路に生ずる地盤による影響が無くなるようにすることにより，応力を解放した状態とし，管路が地表に出たという状況を設定している．実際の解析においては，計算が不安定になるという問題が発生したため，図-5 に示すものを使用した．



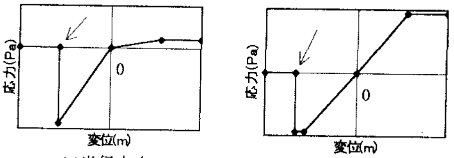
(a)正断層　(b)逆断層
図-1 断層モデル



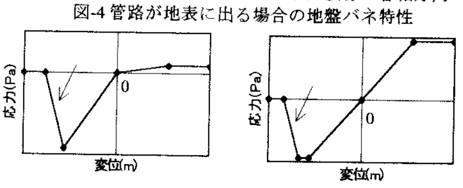
(a)側面　(b)断面
(c)正断層　(d)逆断層
図-2 モデル



(a)半径方向　(b) 接線・管軸方向
図-3 通常の地盤バネ特性



(a)半径方向　(b) 接線・管軸方向
図-4 管路が地表に出る場合の地盤バネ特性



(a)半径方向　(b) 接線・管軸方向
図-5 実際の解析に用いた地盤バネ特性

Shiro TAKADA, Tengyan LI, Katsumi FUKUDA, Tomoharu TAJIMA

3. 解析結果

解析の結果について以下に述べる．

正断層運動においてはまず，図-6,7 に示す変形形状をみてもわかるように，管路の地表突出の有無によって明らかに結果に差が出ていることがわかる．より詳しく検討するために軸方向ひずみに着目する．図-8 に埋設深さを 0.25m として管路が地表に出る場合の軸方向ひずみ分布である．(a)は断層変位量が約 0.2m 時であり，管路はまだ地中に存在している状態，（b）は断層変位量約 0.65m 時であり，管路が地表に出始めた後の状態である．管路が地表に出ることによって，ひずみの分布は変化しており，ひずみの集中する（図中にまるで示す）部分が変わってきていることがわかる．このことから，管路が地表に出ることによって，管路に発生するひずみの集中する部分が変化するといえる．

図-6 管路が地表に出ないときの変形形状

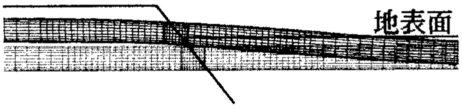
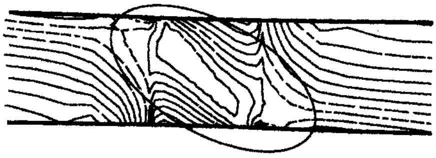


図-7 管路が地表に出る場合の変形形状


(a)断層変位量 0.2m 時

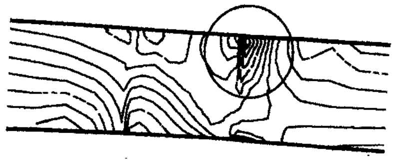

(b)断層変位量 0.65m 時

図-8 管路が地表に出るときのひずみ分布

つぎに，最大ひずみと断層変位量との関係を図-9 に示す．断層変位量が約 0.6m の時点においては，管路が地表に出る場合のものの方が，管路が地表に出ない場合に比べて大きなひずみが発生している．しかし，その後管路が地表に出る場合のものについてはひずみ値があまり上昇しなくなり，ほぼ横這いになっており，断層変位量が 1m に至った時点においては，管路が地表に出る場合のひずみ値が小さくなっていることが知られる．このことから，管路が地表に出ることにより，ひずみを小さく抑えることが可能であると考えられる．

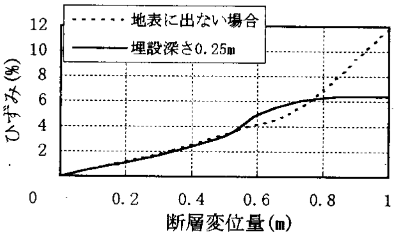


図-9断層変位量とひずみの関係

つぎに，断層付近の地盤を柔らかくした場合についての検討を行った．表-1 に示すようないくつかのケースについて，比較検討を行ってみたが，図-10 に示す断層変位量とひずみの関係をみると，断層付近の地盤を柔らかくすることによる効果が確認されている．

表-1解析ケース

	外に出る	地盤改良	地盤剛性
ケース1	○	－	4. 5E+6Pa/m
ケース2	○	－	9E+6Pa/m
ケース3	○	○	9E+6Pa/m

逆断層においても解析を行い比較検討してみたが，とくに管路が地表に出ることによる影響はみられないという結果であった．この原因としては，逆断層においては，管路が地表に出る状況を設定した場合であっても，管路が地表に出る部分は断層付近のごく一部に限られてしまっており，大きな影響をおよぼすほどではないためである．

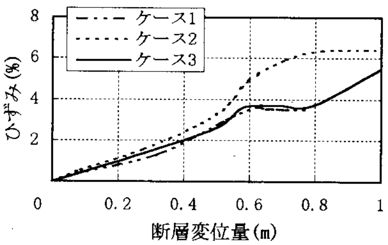


図-10各ケースにおける比較

4. まとめ

今回の解析から，まず浅く埋設された管路が，断層変位時に管路が地表に突出することによって，とくに正断層においてひずみを小さく抑えることができることが分かった．また，とくに，管路に大きなひずみが発生する前に管路が地表に出る場合については効果が大きいことがわかった．また地盤を改良することによる効果も確認された．