

活断層地形近傍における地中管路の被害特性と被災メカニズム解析

神戸大学工学部 高田至郎・
 神戸大学自然科学研究科 李騰雁 **
 神戸大学大学院 大芦克己 ***
 神戸大学大学院 前田俊宏 ****

本論文は兵庫県南部地震における活断層地形近傍の地中管路の被害の特徴について述べたものである。はじめにGISを用いて、神戸市の会下山断層周辺の地中管被害の分布の特徴について統計的分析を行った。ここでは断層位置と被害の関連、および断層周辺の地盤と被害の関連について考察した。次に断層周辺をモデル化し、活断層の存在による地盤の振動モードの違い、および地震動へ及ぼす影響について考察を加えた。その結果、活断層の存在によって地盤の振動が影響をうけ、断層周辺の複雑な地形が地中管路の被害に影響を及ぼすことなどが知られた。

1. はじめに

兵庫県南部地震により上水道、ガスなどのライフライン施設は甚大な被害を受けた。液状化地域や軟弱地盤地域などはもちろんのこと、従来はあまり注目されなかった六甲山地周辺の活断層が存在している地域でも、地中管路の被害は顕著であった。国内には多数の活断層が存在しており、活断層の影響を考慮した地中管路の耐震性の検討が必要とされる。本文では、神戸市の会下山断層に着目し、断層地形の被害への影響について、統計的手法とモデル化による解析から考察を行う。

2. GISによる断層地形と被害の統計的分析

兵庫県南部地震による地中管路の被害が甚大な地域の一つとして会下山断層周辺があげられる。ここでは、会下山断層周辺の断層地形と被害の関連についてGISを用いて統計的分析を行う。

(1) 断層周辺の被害の特徴

会下山断層周辺のガス管路の管理用エリアにおけるガス管の被害件数と配水管被害率の関連をを図1に示す。また、図1に示されるガス管路の管理用エリアとガス管被害の分布を図2に、またその周辺の配水管被害を図3に示す。

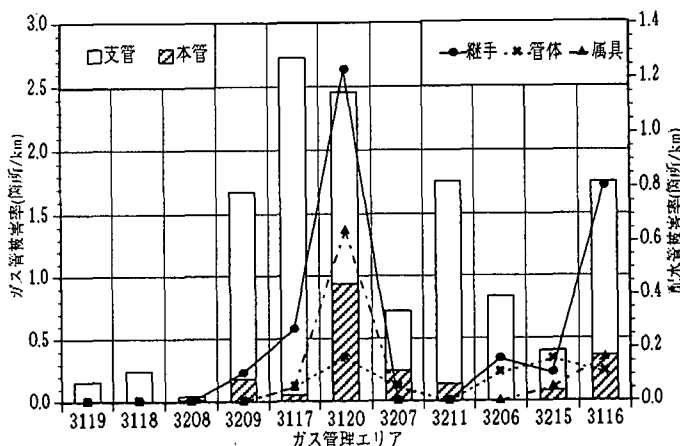


図1：ガス被害と配水管被害率の関連

図1より配水管被害は、おおよそガス管の本管被害と類似した分布をしていることが分かる。また、図2、図3より、長田断層と会下山断層に挟まれた地域においてどちらの被害も集中してみられる。しかし、配水管被害が断層の南側に多くみられるのに対し、ガス管被害は、断層を中心に北側にも分布しており、被害の分布する範囲の違いが分かる。

キーワード：兵庫県南部地震, GIS, 活断層, 地中管路の被害

- ・ 神戸大学工学部, 078-803-1040
- ** 神戸大学自然科学研究科, 078-803-1040
- *** 神戸大学大学院, 078-803-1040
- **** 神戸大学大学院, 078-803-1040



図2：会下山断層周辺の配水管被害分布

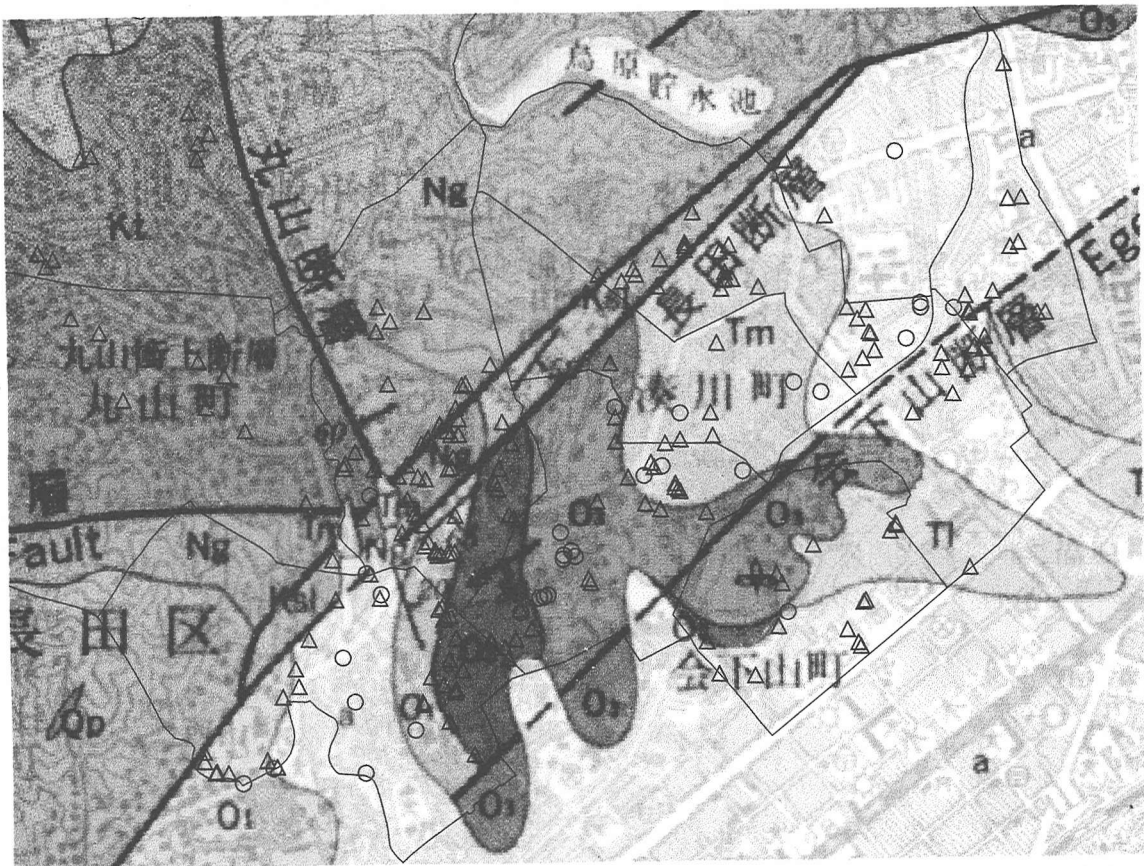


図3：会下山断層周辺のガス管被害分布

(2) 地質分類と被害の関連

会下山断層周辺における配水管とガス管の地質分類別の被害状況を図4、図5に示す。

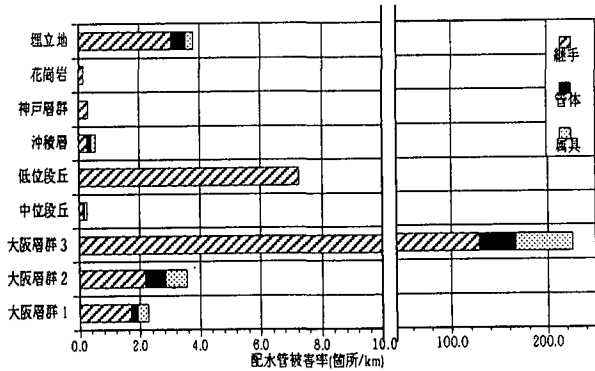


図4：地質分類と配水管被害の関連

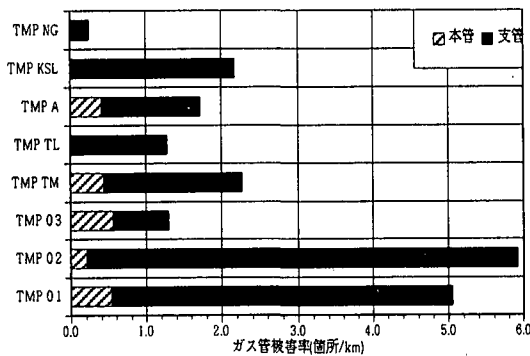


図5：地質分類とガス被害の関連

配水管被害率は大阪層群、低位段丘において高く、特に大阪層群3においては、非常に高い値となっている。大阪層群は、長田断層と会下山断層に挟まれた地域において不規則に分布しており、これらの地域において、断層近傍地形の影響により被害が集中したものと考えられる。被害形態別では継手被害が多く、周辺の地盤の変位に対し管体自体は耐えることができたが、それにより継手部に変位が集中し、継手の抜け、破壊などが生じたものと考えられる。またガス管の被害は、沖積層において多く見られる。大阪層群においても配水管同様被害が多く見られるが、配水管被害の少ない花崗岩においても支管の被害が多い。

(3) 断層からの距離と被害の関連

断層からの距離と被害の関連を図6に示す。配水管被害は会下山断層とその南側において被害率が高くなっているのに対し、ガス管被害は長田断層から会下山断層にかけて被害が多くなっている。断層からの距離が離れるにつれて、被害率は低下しており、断層の周辺部において断層地形の影響を受け被害が集中していることが確認される。

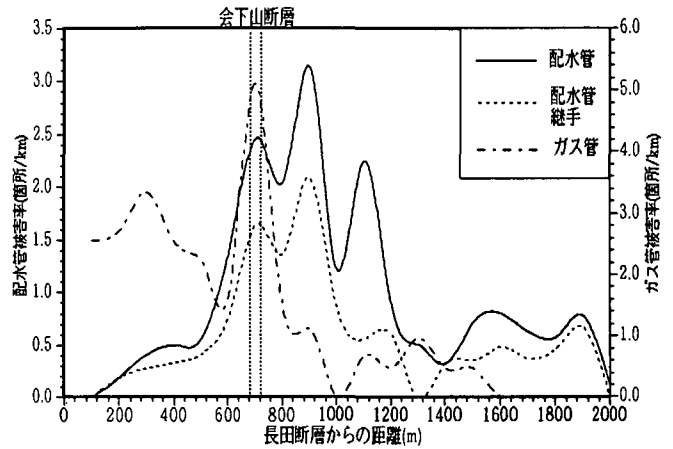


図6：断層からの距離と被害の関連

(4) 地盤の傾斜度と被害の関連

地盤の傾斜度と被害の関連を図7に示す。配水管被害は、20～30%程度の傾斜において被害が多く、またガス管被害は15%程度の傾斜において被害が多く見られる。断層周辺の傾斜地において、不整形地盤が地中管路へ大きな影響を与えると考えられる。

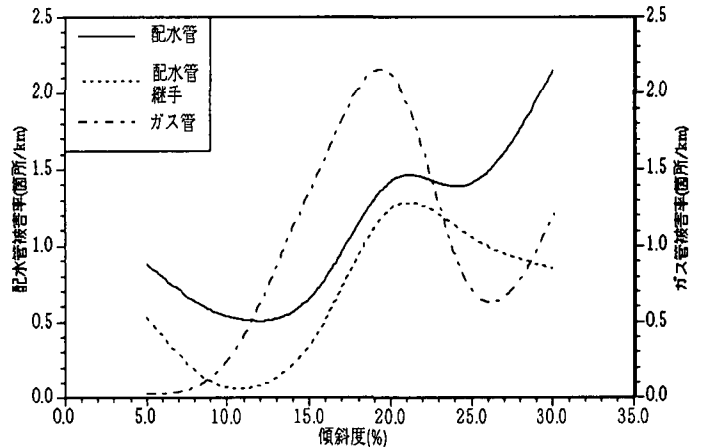


図7：傾斜度と被害の関連

断層周辺部の地盤の特徴として、傾斜地であること、地質分布が複雑なことなどがあげられる。断層自体のズレが表層まで達していない場合であっても、これらの周辺地形の影響により、地中管路に大きな被害を生じるものと考えられる。また、断層の基盤面のくい違いによる、表層での地震動の増幅効果なども考えられ、これらの相乗的な効果により断層周辺における被害が大きくなるものと考えられる。今後、これらの断層周辺地形における地中管路の被災のメカニズムを地震動の増幅効果の影響とあわせて明らかにする必要がある。

3. 活断層地形が地震動特性に与える影響

前節ではGISを用いて、兵庫県南部地震における会下山断層周辺の断層地形と地中管路の被害との関連性について統計的分析を行った。本節では、それらの断層周辺における地下構造を基に、断層地形が地震動特性に与える影響について2次元有限要素法を用いて解析し、対象地域の被害特性として継手被害が多数見受けられたことに鑑み、地中管路の被害要因ここでは主に継手の抜け被害との関連性について検討する。

(1) 対象断面の地盤構造

図-8に解析対象断面の位置および地形図を示す。本解析対象地域の地形的特徴は、北東-南西方向に長田・会下山断層および最近の調査により新しく見つかった伏在断層が存在しており³⁾ 地下構造が北西方向に不連続である(図-9)。長田区と須磨区の区境であるこの地域は主に大阪層群が地表に露出している地域であり、南側では大阪層群上に沖積層が堆積している。また、長田・伏在断層においては基盤が数百mのオーダーで食い違っており、不整形な基盤を有している。

(2) 解析条件

解析モデルは図-9の実際の地下構造を参考に図-10に示すように、上部大阪層群、下部大阪層群と不整形な岩盤の3層とし、水平距離4000mの範囲とし、深さ方向は1000mまでとした。本解析対象地域直下の推定地質パラメータを表-1に示す。本解析において対象とする活断層部分のモデル化としてジョイント要素を配置し、基盤岩に地震波を与えた。そのバネ常数の変化パターンは、矢田らの研究⁴⁾を参考にし、接線方向のバネ常数の低減率を0.01とした。また、内部減衰としてRayleigh減衰を1次、2次ともに減衰常数0.01として与え、両端には粘性境界を考慮した。入力地震動は、図-11に示すように神戸海洋気象台の加速度波形を修正したものを水平方向に入力し、土の挙動は弾性挙動とした。

表-1 推定地質パラメータ

層	せん断波速度 Vs(m/s)	ヤング係数 E(tf/m ²)	ポアソン比 ν	密度 $\rho(t/m^3)$
①上部大阪層群	400	8.064×10^8	0.4	1.8
②下部大阪層群	1000	5.460×10^9	0.3	2.1
③花崗岩(地震基盤)	3000	5.346×10^{10}	0.1	2.7

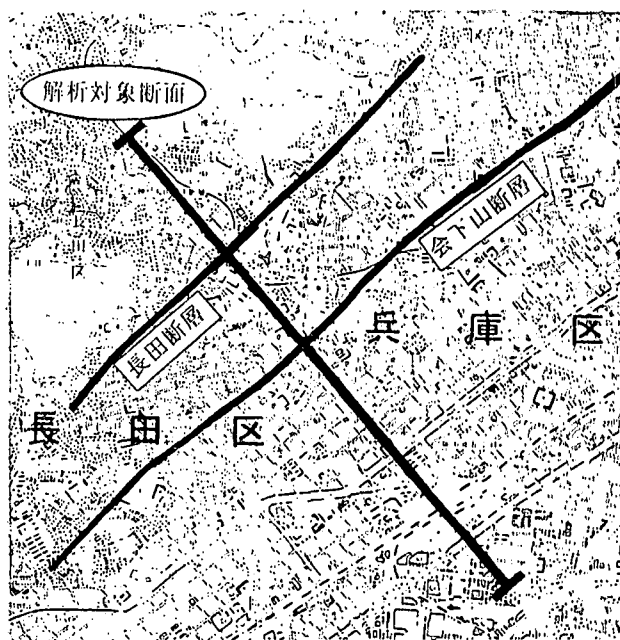


図-8 解析対象地域付近の地形図

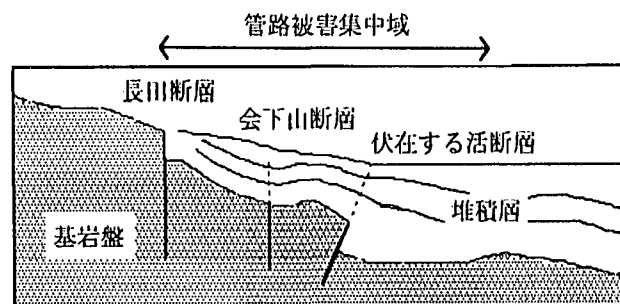


図-9 対象地域付近の地下構造

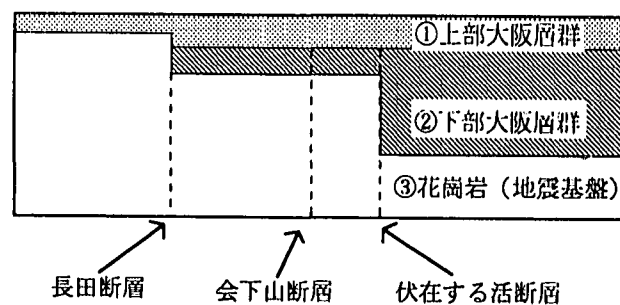


図-10 解析モデル

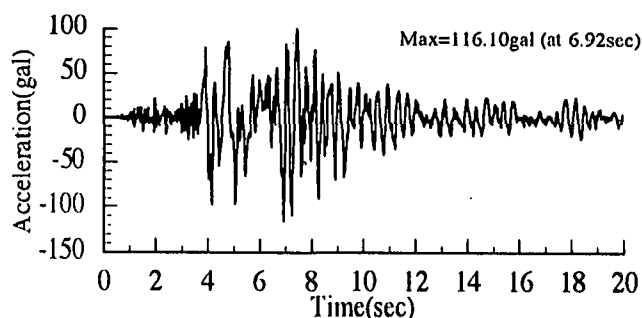
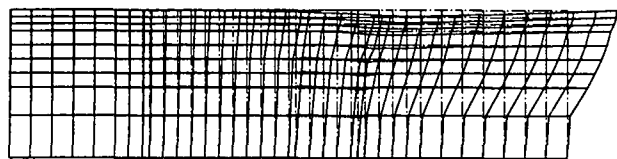
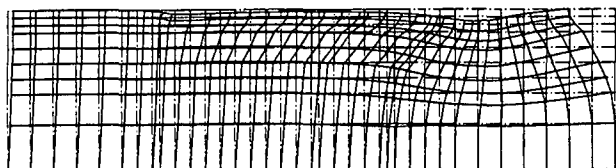


図-11 入力地震動(水平方向)

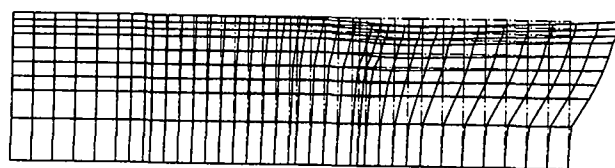
1次モード



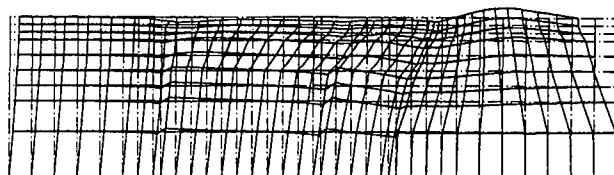
2次モード



1次モード



2次モード



(a)断層を考慮しない

図-12 地盤の振動モード

(b)断層を考慮

(3) 解析結果と考察

a) 振動モード

まず、断層の存在が地盤の固有振動数に与える影響について考察する。そもそも活断層はその内部に粘性土を含んだ不連続な亀裂性岩盤であることが分かっており、これらの活断層に大きな外力が加わると地盤の振動特性が異なる。ここでは長田・会下山および伏在する活断層をソリッド要素で表現し、断層部分に粘性土の弾性係数を与えたときの固有振動数の変化を解析した。なお、モード特性の差異を表現するため変位の応答倍率を350倍とした。図-12より1次モードにおいてはほとんど違いはないものの、2次モードにおいては断層部分の変形により明らかに違いが現れ、断層を考慮した時の方が固有周期が長くなる傾向にある(表2)。また、今回の固有値解析においては活断層を縦に配置したが、実際の活断層のように断層を斜めに配置した場合には、1次モードにおいても差異が出てくる可能性があると思われる。

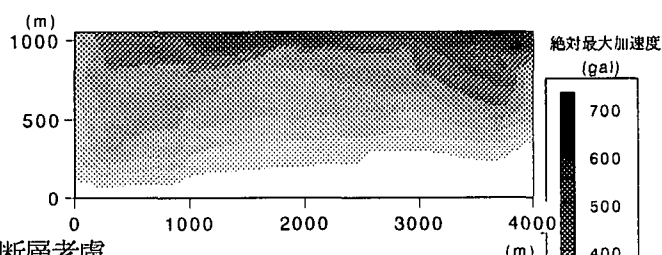
b) 最大加速度分布

図-13に水平方向の絶対最大加速度コンター図を示す。基盤の不整形のみによる最大加速度分布は基盤の食い違い部分から少し離れた位置において加速度が最も増幅している傾向がある。また、活断層を考慮したときの加速度の増幅は、断層を挟んだ地表において最も加速度が増幅している傾向にあり、断層を考慮しない場合よりも加速度が増幅している。

表-2 各モードにおける固有周期(sec)

	1次モード	2次モード
断層を考慮しない	0.8324	0.5807
断層を考慮	0.8634	0.6250

断層考慮せず



断層考慮

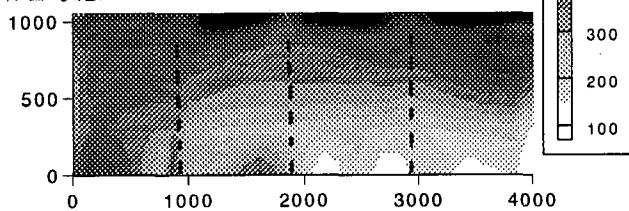


図-13 水平方向の絶対加速度コンター図

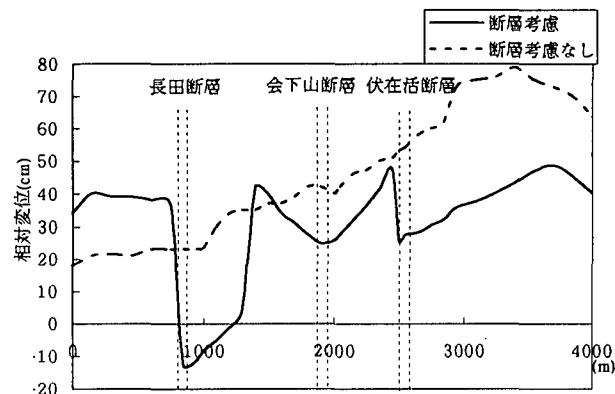


図-14 最大水平変位時刻での水平方向変位分布

c) 最大変位

地中管路は地表面から数メートルの位置に埋設されているため、本解析モデルにおいては地表面の変位とほとんど同じ挙動を示すこととなる。地表面の変位が最大となる時刻における地表面の水平方向の変位分布図を図14に示す。図より、断層を考慮した場合、断層部分において水平方向の変位が著しく変化しているため地中管路に与える影響も大きいものと考えられる。実際の対象断面における被害の中においては継手の抜け被害が一番多く、断層を考慮することにより、断層近傍部分における地中管路の継手被害と相関性があると思われる。

5. おわりに

本稿においては、兵庫県南部地震における活断層地形近傍の地中管路の被害について、GISを用いて統計的分析を行うとともに、断層周辺をモデル化し、継手被害との関連性について検討した。

まとめを、以下に述べる。

①傾斜地や不均一な地質分布などの影響により、断層周辺部は地中管路に大きな被害を生じる傾向がある。

②基盤の不整形による水平方向の絶対最大加速度は基盤の食い違い部分から少し離れた位置において最も増幅している。

③活断層地形を考慮することにより、その近傍において地盤の水平変位の変化が最も大きくなり、断層近傍部分における地中管路の被害との相関があると思われる。

④今後、断層地形近傍における地中管路の被災メカニズムをより詳細に検討する必要がある。

【参考文献】

- 1)ライフライン地震工学：高田至郎；共立出版株式会社(19919)
- 2)ガス地震対策検討会報告書：ガス地震対策検討会議；(19963)
- 3)阪神・淡路地域活断層：阪神地域活断層調査委員会；(19963)
- 4)矢田敬・竹内則雄・大久保誠介：断層挙動の一解析手法について；土木学会第50回年次学術講演会概要集；(1995)
- 5)関西における地下空間の活用と技術；(19948)
- 6)大林組技術研究所報特別号：大林組；(19963)

Damage Characteristics and Damage Mechanism Analysis for Buried Pipelines near Faults

Shiro TAKADA, Teng Yan LI, Katsumi OASHI, Toshihiro MAEDA

The January 17, 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake caused extensive damage to lifeline structures. The present paper attempts to grasp the characteristics of damage to underground pipes using GIS and two-dimensional finite element approach. In the finite element approach, joint elements are considered in the model at fault locations. The underground pipes tend to be damaged by inclined topography and non-uniform distribution of geological features near faults. Present analysis suggests to need to examine the earthquake proofness of buried pipelines near faults.