

地中管路被災の方向性と震源近傍地震動特性

高田至郎¹・Nemat Hassani²・福田克己³・北田敬広⁴

¹フェロー 工博 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

²正会員 工博 神戸大学助手 工学部建設学科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

³学生員 大学院学生 神戸大学大学院自然科学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

⁴学生員 大学院学生 神戸大学大学院自然科学研究科 (〒657-8501 兵庫県神戸市灘区六甲台町 1-1)

本稿では、まず兵庫県南部地震において複数の地域の配水管路、ガス管路および通信用管路に関して断層走行と実際に被害が起こった管路敷設方向における被害率との関係について分析を行った。つぎに、S波のラディエーションパターンを考慮した小地震の重ね合わせにより震源断層近傍における断層走行方向と直交方向の地震動推定を行い、その推定地震動を入力波として断層直交方向・走行方向の地中管路挙動を3次元有限要素法プログラムを用いて解析を行った。その結果、統計的分析による管路被災分析結果および方向性を考慮した推定地震動による管路応答解析結果はともに断層直交方向のほうが卓越していることが明らかとなった。

Key Words : Damage Ratio, Burial Direction, S-wave radiation pattern, Normal or parallel to the fault direction

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震において甚大な被害を受けたライフラインは市民生活と都市活動に重要な役割を果たしていることが、改めてクローズアップされることとなった。今回の兵庫県南部地震においては、観測された強震記録波形から求めた加速度応答スペクトル・速度応答スペクトルがともに震源断層走行方向より断層直交方向のほうが明らかに大きいことがわかっている¹⁾。そこで、まず配水管路、ガス管路および通信用管路に関して断層走行方向と実際に被害が起こった管路敷設方向における被害率との関係について分析を行った。

2. ライフライン埋設管路敷設方向と被害率の関連

(1) 各ライフライン施設における被害分析

a) 配水管

図1に示すように、各対象断層を基軸にとったとき、その軸からの角度を30度ごとに6つのエリア

に分割する。その上で各地域における地中管路点データ1点1点の始点終点のx座標、y座標をもとに断層走向方向からの角度を決定した。具体的に図のエリア3、4に属する地中管路は断層に対して垂直方向に近い方向を成しており、エリア1、6に属する地中管路は断層に対して水平方向に近い方向を成している管路であるといえる。今後、とくに敷設距離が他のエリアよりも大きく、被害に関して対照的なエリア3と6の管路に着目していくことにする。

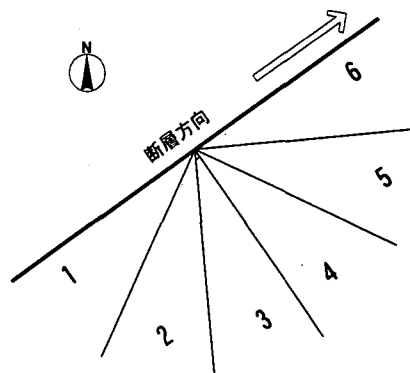


図1 配水管敷設方向のエリア分け

配水管に関して分析地域を中央区、灘・東灘区、兵庫区、須磨区とし、それぞれに関して近傍にある諏訪山、五助橋、会下山、須磨断層を対象断層とした。また、沿岸部埋立地域における配水管被害が断層からの影響を受けるというよりも地盤の液状化による影響を大きく受けることを考慮して埋立地を除外して分析を行った。他のエリアと比較して配水管敷設延長の大きいエリア3とエリア6の被害率を各地域ごとに比較したものを表1、図2に示す。

表1 各地域のエリア別敷設距離・被害件数・被害率

エリア3			
対象地域	敷設距離(km)	被害件数	被害率(件/km)
灘・東灘区	152.05	150	0.99
中央区	74.92	61	0.81
兵庫区	51.13	28	0.55
須磨区	46.24	22	0.48

エリア6		
敷設距離(km)	被害件数	被害率(件/km)
228.83	166	0.73
107.85	44	0.41
60.93	23	0.38
59.42	26	0.44

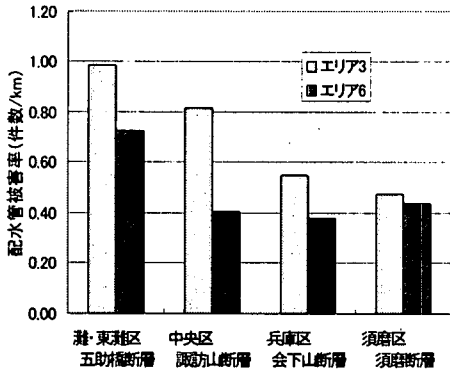


図2 各地域における敷設方向別被害率

このエリア3、6はそれぞれ断層走向方向に直交、並行に近い方向になっている。総体的に断層に直交方向であるエリア3の被害率のほうが断層に並行方向よりも配水管被害率が高い値となっているのがわかる。また、配水管被害の大きかったとされる、灘・東灘区域と中央区の配水管路に関して2つのエリア間に被害率に顕著な差が生じているのに対し、被害の少ない地域ではそれほど差が生じていない。このことから配水管被害の大きかったとされる地域では地震動の卓越方向が配水管被害に与える影響は大きかったと推測される。

b) ガス管

ガス管路被害は対象地域を中央・灘・東灘区とし、表2に大阪ガス公表データ²⁾と今回分析に用いたデータとの比較を示す。今回使用した被害データは信頼度を考慮して実際の総被害件数よりも少ないものとなっている。

敷設方向と被害率の関係について配水管と同様な

表2 被害データの比較

導管	大阪ガス公表被害データ (供給停止エリア)		使用被害データ (神戸市中央・灘・東灘区)	
	高圧導管	被害なし	被害なし	被害なし
	中圧導管	2箇所	2箇所	2箇所
	低圧導管	1171箇所	713箇所	713箇所

分析を行った。中央・灘・東灘区のガス管路と被害データを使用し、対象断層を諏訪山断層に設定した。表3に各エリア別ガス管路敷設延長、被害件数、被害率を示す。他のエリアと比較して敷設延長の大きいエリア3とエリア6における被害率を比較したものを図3に示す。またとくに先の地震において管種別に見て最も甚大な被害を受けたとされるねじ継手についても敷設方向別被害率の比較を行った。配水管同様、断層に直交方向であるエリア3の被害率のほうが断層の走行方向であるエリア6よりも被害率が若干高い値となっているのがわかる。とくにねじ継手に関しては被害率差が顕著であり、断層に直交方向である管路が走行方向の管路よりも被害率がおよそ1.7倍にもなっている。

表3 エリア別敷設距離・被害件数・被害率

	敷設距離(km)	被害件数	被害率(件/km)
エリア1	201.89	33	0.16
エリア2	228.67	55	0.24
エリア3	813.05	292	0.36
エリア4	143.82	34	0.24
エリア5	231.12	35	0.15
エリア6	1147.95	266	0.23

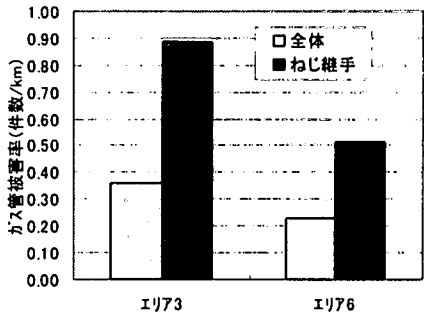


図3 敷設方向別被害率

c) 通信管

NTTで実施された管路の被害調査は、スパンごとに管路を2管、ランダムに抽出して、マンドレル通過試験を行い、マンドレルがスムーズに通過するか否かで被害判定を行っている。その結果、地震による管路設備被害は約6%とされている²⁾。今回、通信に関する分析は灘・東灘区(灘・御影・東灘ブロック)の管路と被害データを使用し、対象断層を五助橋断層に設定した。また、今回使用したデータからマンドレル3号が不通過の場合、管路に被害が生じていると考え、全亘長に対する不通区間の割合を算出した。図4にエリア3とエリア6における不通区間の割合を比較したものを示す。

結果として全体では若干、断層に対して直交方向

の管路が走行方向の管路よりも被害率が高くなっているが、配水管・ガス管と比較すると、被害の少ないブロックで被害差が大きくなるなど被害傾向に違いがある。これは通信管の被害調査が定期的に行われるものであり、地震以外の要因による被害が含まれていることを十分考慮する必要がある。

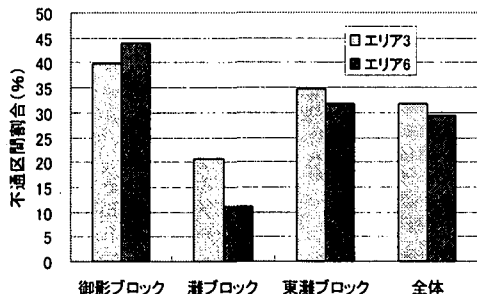


図 4 ブロック別不通区間割合

(2) 被害分析結果ならびに考察

全般的に、断層に対して垂直方向に埋設されている地中管路被害が大きくなった原因として、地中管路に入力される地震動の卓越方向が影響していると考えられる。地震動は断層に直交方向が卓越するために、断層に直交方向の地中管路に対しては管軸方向の地震動が卓越することになる。このことにより地中管路の管軸方向が引張あるいは圧縮され、とくに継手部においては継手の抜け被害が配水管・ガス管ともに目立って多くなり、その他では管体において管軸方向座屈が生じるなど全体的に断層走行方向の地中管路よりも被害率が高くなったと考えられる。また配水管やガス管に関しては地震による被害が大きくなればなるほど、断層に対する管路の敷設方向と被害に密接な関係が生じるものと推測される。

3. 敷設方向による地中管路応答の差異

つぎに、S 波ラディエーションパターン³⁾を考慮した小地震の重ね合わせにより震源断層近傍における断層走行方向と直交方向の地震動推定を行い、その推定地震動を入力波として断層直交方向・走行方向の地中管路挙動を 3 次元有限要素法プログラムを用いて解析を行った。

(1) 解析条件

まず、統計的波形合成法に基づいて断層からの距離をパラメータとしたときの地中基盤波の推定を行う。その際、変位振幅の方位特性である S 波ラディエーションパターンを考慮し、それらの重ね合わせによって大地震波の震源断層走行方向および断層直

交方向における地震動の推定を行う。つぎに、この推定した地中基盤波を 3 次元地盤に入力した際の断層走行方向および断層直交方向に埋設された地中管路の応答解析を行う。解析においてモデル化した 3 次元地盤の概要を図 5 に示す。地盤は縦横 100m、深さ方向 25m の均一地盤 (N 値 10) を想定した。地盤の端部は粘性境界としており、Mohr-Coulomb の破壊基準を採用している。今回の解析に用いた管路はφ150mm の溶接鋼管であり、地表面から深さ 1.5m、断層直交方向・走行方向に梁要素で配置した。入力地震動は、ラディエーションパターンを考慮して統計的波形合成法により求めた断層からの距離 1~10km の 10 ケースの推定基盤波を地盤最下部面に 1 の方向 (断層走行方向) および 2 の方向 (断層直交方向) の 2 方向に 5 秒間入力している。一例として図 6 に断層からの距離が 2km における入力地震動を示す。

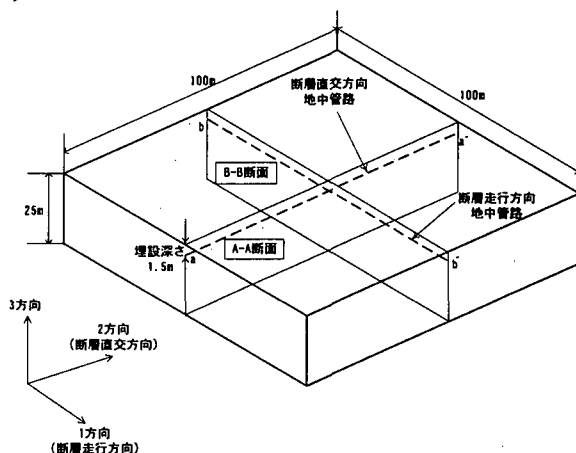


図 5 3 次元地盤モデル図の概要

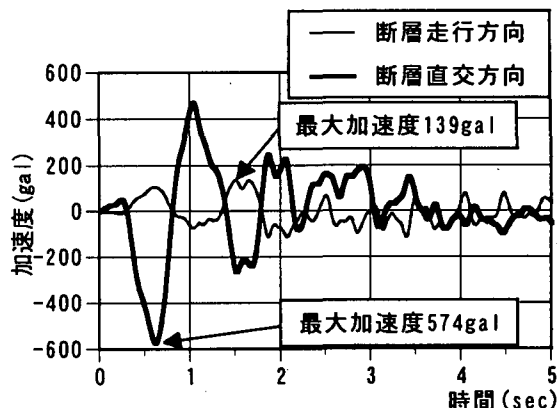


図 6 入力地震動の一例 (断層からの距離 2km)

(2) 解析結果と考察

一例として、図 7 に断層距離が 2km における断層直交方向・走行方向それぞれの管路において最大ひずみが発生した要素における軸方向管路ひずみの時刻歴を示す。断層直交方向・走行方向の結果ともに軸方向ひずみは引張側の 1 方向に残留ひずみが発生

する応答となっており、断層からの距離 2km では断層直交方向・走行方向の管路最大ひずみは 0.18%、0.14 %の結果となり、断層直交方向の管路ひずみが断層走行方向の管路ひずみを上回る結果となった。つぎに、各断層からの距離と管路最大ひずみの関係をプロットし近似すると図 8 のようになる。図より、断層直交方向と走行方向の両者を比較すると断層からの距離がおおよそ 7km までにおいては明らかに断層直交方向の軸方向管路ひずみの方が大きいことが知られる。さらに、断層直交・走行方向の管路最大ひずみの比と断層からの距離との関係を図 9 に示す。この図からも、断層からの距離が 1~7km の断層近傍域においては、断層直交・走行方向の管路最大ひずみの比は断層からの距離による変動はあまり顕著に見受けられず、おおよそ 1.2 から 1.3 倍であるが、断層からの距離が 8km を越えると管路最大ひずみの比は 1.1 倍以下となることが知られた。

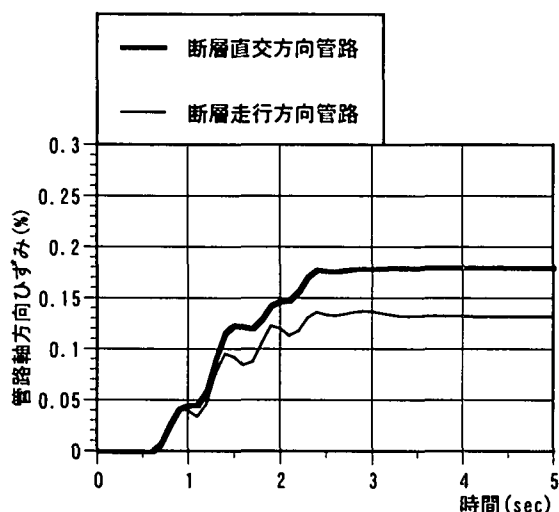


図 7 管路の最大ひずみが発生した要素における軸方向ひずみ時刻歴 (断層からの距離 2km)

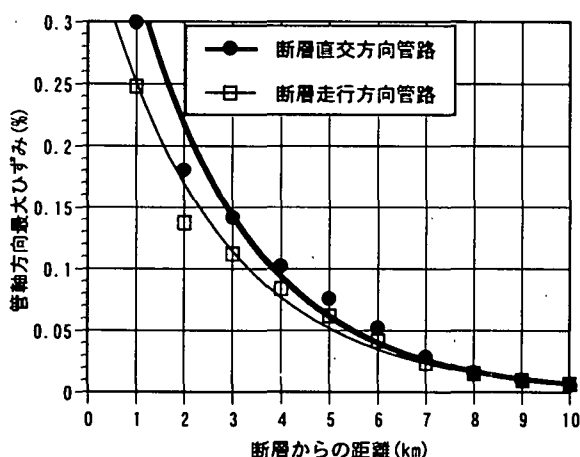


図 8 断層からの距離と軸方向管路最大ひずみの関係

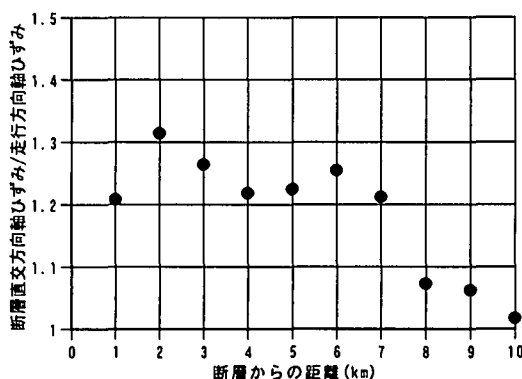


図 9 断層からの距離と軸方向ひずみの比

4. まとめ

本稿では、各ライフライン施設の地中管路に関して断層走行方向と実際に被害が起こった管路敷設方向における被害率との関係について分析を行うとともに、震源断層近傍における断層走行方向と直交方向の地震動推定を行い、その推定地震動を入力波として断層直交方向・走行方向の地中管路挙動を 3 次元有限要素法プログラムを用いて解析を行った。

その結果、実際の被害から分析を行った結果については配水管・ガス管ともに断層に対して直交方向に埋設された管路が断層に対して並行方向の管路よりも被害が大きくなることが確認された。

また、解析においては断層からの距離が 7km 以内では断層直交方向に埋設された管路の軸方向ひずみは断層走行方向に埋設された管路ひずみのおおよそ 1.2~1.3 倍程度となり、断層近傍における地中管路においては断層走行方向と比較すると直交方向に埋設された管路応答のほうがより厳しい結果となったが、断層からの距離が 8km 以上になると断層直交・走行方向の管路最大ひずみの比は 1.1 倍以下となりほとんど方向性による差はないものとなった。

以上の結果から、断層近傍に埋設される管路の耐震設計には、かかる方位特性による相違を配慮する必要がある。

参考文献

- 1) 森 健：活断層近傍における地震動観測およびアスペリティーモデルによる強振動予測に関する研究，神戸大学大学院自然科学研究科修士論文，pp. 7-8，1998. 2
- 2) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：阪神・淡路大震災調査報告 ライフライン施設の被害と復旧，pp. 401-462，1997. 9
- 3) T.Hirasawa and W.Stauder: On the seismic body waves from a finite moving source, Bull. Seism. Soc. Am. Vol.55, No.2, pp.237-262, 1965.4.