

異管種の混在状況を考慮した数値解析に基づくガス導管の地震被害分析

千葉大学大学院融合理工学府 学生会員 ○木佐貫 康貴
 千葉大学大学院工学研究院 正会員 劉 ウェン
 千葉大学大学院工学研究院 正会員 丸山 喜久
 東京ガスネットワーク株式会社 正会員 猪股 渉

1. 研究背景と目的

1995年に発生した兵庫県南部地震では、多くのガス導管に被害が発生し、約86万戸が供給停止となった¹⁾。ガス導管の被害の多くは、ねじ継手鋼管の接合部(継手部)の破断が原因であった。一方、耐震管であるポリエチレン(PE)管での被害は見られなかった。このため、兵庫県南部地震以降、ねじ継手鋼管の新たな敷設量は減少し、PE管の敷設割合が高まっている。さらに、近年の地震では、PE管の敷設延長が増加するのに伴い、ガス導管の被害率が低減する傾向が見られている。

以上のことを踏まえると、ガス導管の地震被害を分析するに当たって、耐震管の敷設状況や管網の形状を考慮する必要があることがわかる。そこで本研究では、様々なPE管の敷設割合(PE管率)の1次元配管系の数値モデルを構築し、PE管率と被害率の関係を評価する。また、耐震管と非耐震管の望ましい配置状況を数値解析的に検討する。

2. 1次元配管モデルの構築

2.1 配管モデル

配管モデルは2通り作成した。配管モデル1はガス管12本、配管モデル2はガス管32本で構成される。配管モデル1では、ねじ継手鋼管にPE管を1~3本混ぜた場合について、すべての組み合わせを検討した。配管モデル2では、PE管をバランス良く等間隔に配置した場合、偏って配置した場合の両方について、3種類のPE管率を仮定して検討した。

2.2 部材の力学特性

呼び径50mmのガス管を対象として数値モデルを作成した。管の外径と断面積はそれぞれ60.5mm、677mm²である²⁾。また、ガス管1本あたりの長さは5.5mとしている。

鋼管は、管本体よりも継手の方が小さな引張荷重で破断することから、管体自体は弾性としてモデル化する。弾性係数には、一般的なガス管に用いられている鋼材の値である206000MPaを仮定した。

鋼管のねじ継手とPE管の力学特性を図-1に示す。ねじ継手は中圧ガス導管耐震設計指針に掲載されている実験データ³⁾、PE管は2008年に志村・富永らによって行われた実験データ⁴⁾を参照し、応力-ひずみ関係をバイリニアモデルで近似している。ねじ継手は、ひずみが約0.022に達したところで破断する。

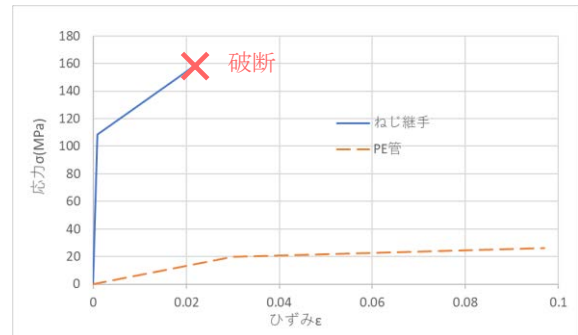


図-1 ねじ継手とPE管の応力-ひずみ関係

2.3 想定した地盤変位

地盤中にある構造物の地震応答は、地盤と構造物の動的相互作用を考慮して求められるものである。しかし、管路は単位当たり長さの質量が小さいので、その固有周期は対象とする地震波の卓越周期よりかなり短いため動的影響が少ない。そのため、地中管路の地震応答解析では、まず管路埋設地点の地盤変形を求め、地盤ばねを介して管路に伝達する解析法が用いられる。この手法は応答変位法⁵⁾と呼ばれ、本研究でもこの手法を用いた。本研究では、高圧ガス導管耐震設計指針⁶⁾を参考に、地盤ばね係数 $6.0 \times 10^3 \text{ N/mm}^3$ 、等価地盤拘束力 $1.96 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ を用いた。

配管モデル1に与える地盤変位分布は図-2のように正弦波の半波長のような形状を仮定した。地盤変位の振幅は、ガス管がすべてねじ継手鋼管の場合に継手が1か所だけ破断するような変位を与えた。

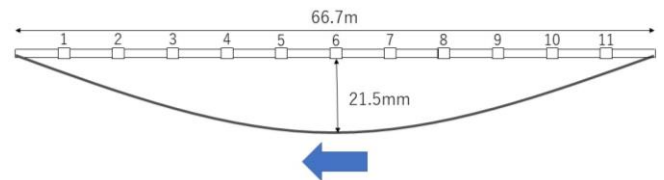


図-2 配管モデル1の地盤変位分布

配管モデル2に与える地盤変位は、高圧ガス導管耐震設計指針のレベル1地震動に対する設計指針を参照し、図-3のような正弦波の1波長分となるように設定した。波長は地盤ひずみが最大となるものを仮定し、その長さは約175mである。また、地盤変位の振幅は、27.4mmである。

キーワード ガス導管, 応答変位法, ポリエチレン管, 耐震設計指針

連絡先 〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 TEL 043-290-3555

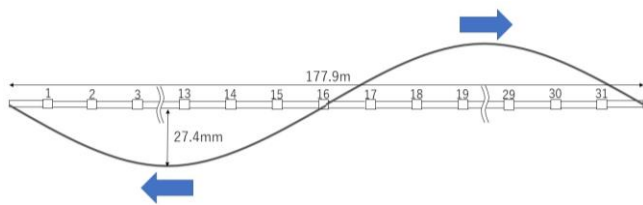


図-3 配管モデル2に与える地盤変位分布

3. 解析結果

3.1 配管モデル1

図4に配管モデル1のPE管率と破断率の関係を示す。PE管率8.3%のときの破断率は58.3%，PE管率16.7%のときの破断率は31.8%，PE管率25%のときの破断率は15.9%となり，PE管率が高くなるにつれて管路の破断率が下がることが確認できた。

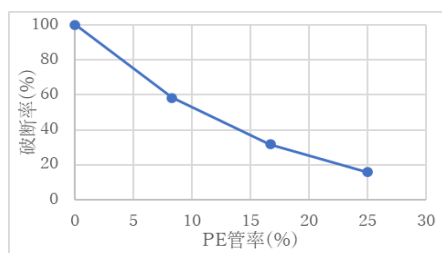


図-4 PE管率と破断率の関係（配管モデル1）

表-1に，PE管が2本混在している場合について，PE管の配置場所と破断率をまとめる。PE管が2本とも図-2の6番の継手より左側にあるすべてのケースで破断した。一方，PE管が2本とも6番より右側にあるすべてのケースで破断しなかった。PE管が6番より左と右の両側に1本ずつある場合で破断したのは6パターンあった。この6パターンは，いずれも相対変位のもっとも小さい6番と7番の継手の間の管がPE管の場合である。PE管の特性である伸び性能が高いということが発揮されなかったためと考えられる。また，PE管が1本や3本の場合でも，同様の傾向であった。

表-1 PE管の配置場所と破断率

	総数	破断した数	破断率
PE左側のみ	15	15	100.0
PE両側	36	6	16.7
PE右側のみ	15	0	0.0
計	66	21	31.8

3.2 配管モデル2

配管モデル2において，すべてのガス管がねじ継手鋼管の場合，2.3節のような地盤変位を入力すると2か所の継手が破断した。表-2にPE管の配置方法と破断状況をまとめる。等間隔にPE管を配置した場合には，PE管率が12.5%のときは破断が発生するが，PE管率25%，37.5%のときは破断しなかった。このことから，PE管率はある程度よりも高い値でないと，等間隔にPE管が配置されていても，破断の発生を防止できないことがわかる。

一方，PE管を偏って配置した場合の結果をみると，片側の端に集中して配置した場合と，両側の端に集中して配置した場合には，PE管率に関わらず2か所が破断した。これは，鋼管が連結されている距離が長い区間が存在するため，鋼管のみの配管モデルと同じような結果を示したものと考えられる。しかし，PE管を中央にまとめて配置した場合は，どの継手も破断しなかった。PE管が配置された中央部分がかもっとも相対変位が大きい場所であったため，PE管のもつ伸び性能が発揮され被害が発生しなかったと考えられる。

表-2 PE管の配置状況と破断状況

	破断数		
	12.5%	25%	37.5%
等間隔	2	0	0
片端に偏り	2	2	2
中央に偏り	0	0	0
両端に偏り	2	2	2

4. まとめと今後の展望

本研究では，1次元配管系の力学モデルを構築し，PE管の配置状況がガス導管被害に与える影響を数値解析的に検討した。小規模な配管モデルを用いてPE管率と被害率の関係を評価すると，PE管率が上昇するほど被害率が減少することが確認できた。また，比較的大規模な配管モデルでPE管の配置状況とねじ継手の破断状況の関係性を評価すると，等間隔にPE管を配置すると破断を生じにくくすることがわかった。しかしながら，PE管率が低いと，PE管が等間隔に配置されていたとしても，破断が生じることがわかった。このことから，PE管率がある程度高くないと，地震被害の軽減効果は期待できないと考えられる。

今後は現在の配管モデルよりも大規模なモデルを構築し，実地盤の状況を反映した地盤変位を想定した数値解析を実行する予定である。また，ガス導管網におけるPE管の効果を定量的に明らかにすることによって，ガス導管の地震被害低減に貢献することを目指す。

参考文献

- 1) 能島暢呂：阪神・淡路大震災における電力・ガス施設の被害と復旧，安全工学，阪神・淡路大震災特集号(その2)，pp.50-56, 1996.
- 2) 西尾宣明：ポリエチレン管の耐震性評価と寿命評価，配管技術，1997
- 3) 一般社団法人日本ガス協会：中低圧ガス導管耐震設計指針，2020.
- 4) 志村俊樹，富永直人：ガス用ポリエチレン管の耐震性に関する研究，PipeTech Vol. 12, 2008
- 5) 高田至郎：ライフライン地震工学，共立出版，1997.
- 6) 一般社団法人日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針，2020.