

簡易・高精度埋設管の耐震性評価手法の開発

小金丸健一¹・鈴木信久²・清水善久³・吉崎⁴・真弓敏行⁵・森健⁶

¹東京ガス株式会社 防災・供給センター (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

E-mail:kenici_k@tokyo-gas.co.jp

²JFE技研株式会社 (〒210-0855 神奈川県川崎市南渡田町1-1)

E-mail:nob-suzuki@jfe-rd.co.jp

³東京ガス株式会社 防災・供給センター マネージャー (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

E-mail:yshimizu@tokyo-gas.co.jp

⁴東京ガス株式会社 パイプライン技術センター (〒230-0045 神奈川県横浜市鶴見区末広町1-7-7)

E-mail: yoshi@tokyo-gas.co.jp

⁵JFEエンジニアリング株式会社 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町2-1)

E-mail:mayumi-toshiyuki@jfe-eng.co.jp

⁶JFEエンジニアリング株式会社 (〒230-8611 神奈川県横浜市鶴見区末広町2-1)

E-mail: mori-takeshi@jfe-eng.co.jp

これまで面的な分布を持つ既設の地中埋設管の耐震性は、有限要素法等の詳細な評価が不可能なため、材料強度のみから評価されていた。そのため材料強度の低い部材は、全て耐震対策が必要と見られていたが、被害実績をみても、材料強度の低い部材が全て被害を受けているわけではなく、地盤の違いや埋設管形状の影響を強く受けており、材料強度だけで、耐震対策の要否を決める従来の方法は過剰投資となる可能性が高いことが明らかとなった。そのため合理的な耐震対策を実施するために、これらの影響を盛込んだ簡易かつ高精度な耐震性解析手法の開発を行った。この手法によりピンポイントで要対策箇所を把握することができるようになった。

Key Words : SUPREME, ALID, revetment, liquefaction, ground flow, F_L value

1. はじめに

ガス管や水道管などは都市生活をおくる上で欠かすことのできないライフラインである。そのため事前に耐震性の低い箇所は対策を施し、地震時にも機能を維持できるようにすることが望ましい。しかし直線要素の多いネットワークの上流に属する幹線などのネットワークは、有限要素法を用いて耐震性を求めることが比較的容易であるが、中下流に属する面的に広がったネットワークについては、耐震性を高精度に照査することが現実的にはできないため、材料強度のみから要対策箇所を選定してきた。そのため材料強度の弱い部材は、全て耐震対策が必要と見られていたが、実際には兵庫県南部地震におけるガス導管や水道管などの被害実績から明らかなように、被害甚大地区に限ってみても材料強度の低い部

材が全て被害を受けているわけではなく、地盤の違いや埋設管形状の影響などを強く受けていることは明らかである。これは、材料強度だけで、耐震対策の要否を決める従来の方法は過剰投資となる可能性が高いことを表している。そこで無駄のない合理的な耐震対策を実施し、地震対策の進捗を早めるために、地盤状況や埋設管ネットワークの形状の影響を盛込んだ簡便かつ高精度な耐震性解析手法を開発した。

今回開発した手法は、図-1のように地震時に埋設管に発生する外力と使用されている埋設管の部材の強度を比較する単純なものである。しかし、従来有限要素法を用いなければ算出できなかった埋設管に生じる外力を簡便かつ非常に高精度に算出することを可能としたため、ピンポイントで要対策箇所を把握することが可能となっている。本論文では東京ガ

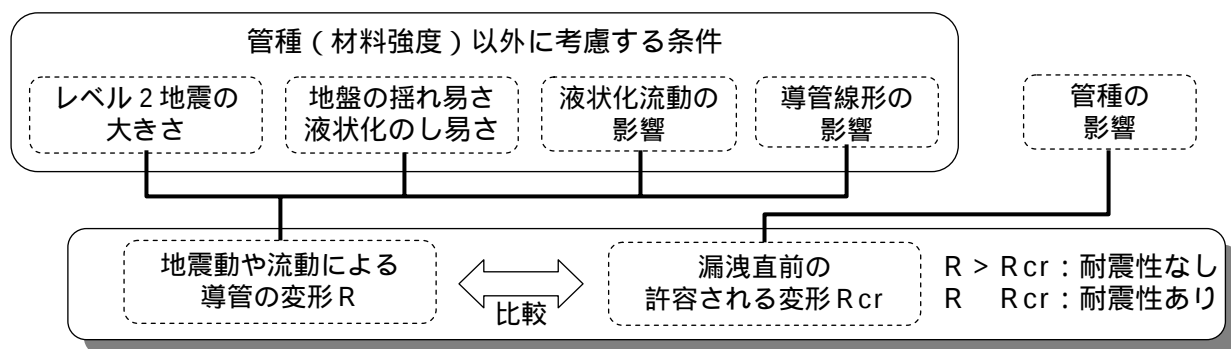


図-1 評価手法の概要

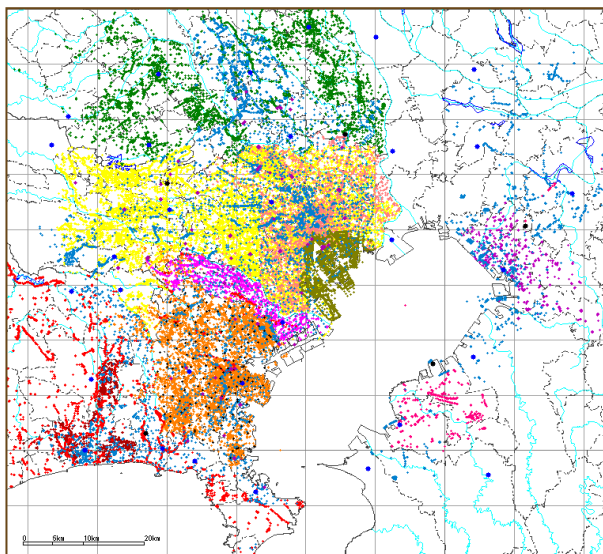


図-2 ボーリングデータ位置図

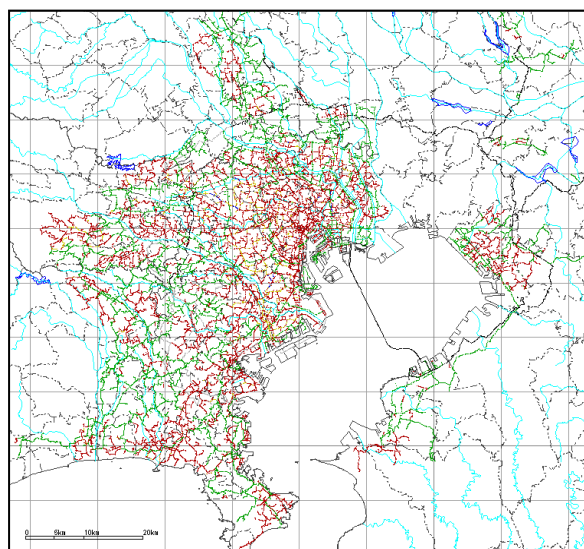


図-3 東京ガスの導管網ネットワーク図

スの中圧導管ネットワークに本手法を適用した事例を述べる。

2. 埋設管に生じる外力

(1) 地盤変位

埋設管に生じる外力は地震時に地盤に発生する変位が摩擦力によって埋設管に伝わることに起因する。一般的に知られているように地盤の変位は地震時の震動に起因するものと液状化による流動で発生する永久変異に分けることが可能である。

基準地震動については、各事業者が必要な耐震性に基づいて設定することが可能であるが、今回中圧ガス導管は、高圧ガス導管に準ずる耐震性が必要であると考え、それぞれ高圧ガス導管耐震設計指針¹⁾および高圧ガス導管液状化耐震設計指針²⁾に基づいて設定した。また震動に起因する地盤変位については高圧ガス導管設計指針に基づき、液状化流動に起因する地盤変位は、高圧ガス導管液状化耐震設計指

針に基づいて算出した。但し液状化強度を算定する際には首都圏地盤の特性を考慮した液状化強度式³⁾を使用している。また護岸背後地盤の地盤流動分布は有限要素法であるALID⁴⁾を基にして作成した簡易ALID式⁵⁾を用いて求めた。

なおそれぞれの変位を算出するには、図-2に示すSUPREME⁶⁾で用いている約70,000本のボーリングデータを用いている。

(2) 埋設管ネットワークの離散化

今回解析の対象となる埋設管ネットワークを図-3に示す。約6,000kmの延長を有し、曲管や分岐管などで複雑に接続されて面的な分布を持っている。このようなネットワークを一度に解析を行うのは莫大な計算量を必要とするため現実的ではない。そのため、異型管部分を境界要素としてネットワークを離散化し、離散化されたセグメント毎に解析を行うことを検討した。まず図-4のモデルについて有限要素法で各埋設管部位に生じるひずみを算出した。ここでは埋設管の口径は100mmと200mmに限定し、直

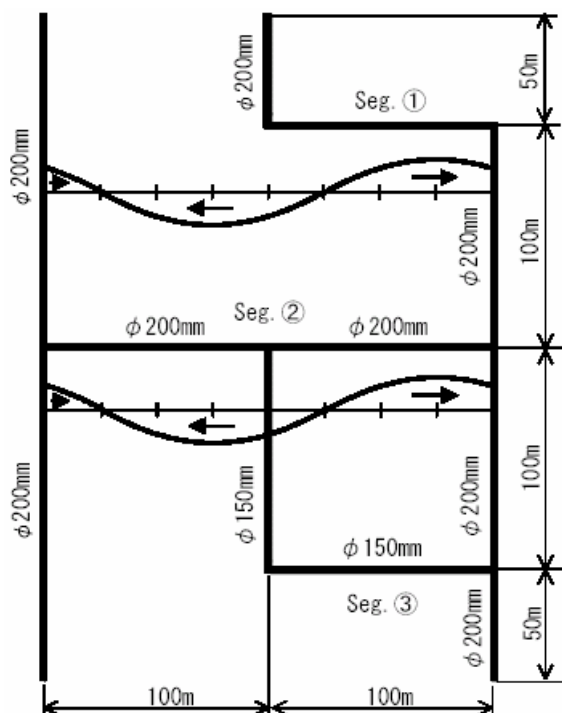


図-3 解析モデル

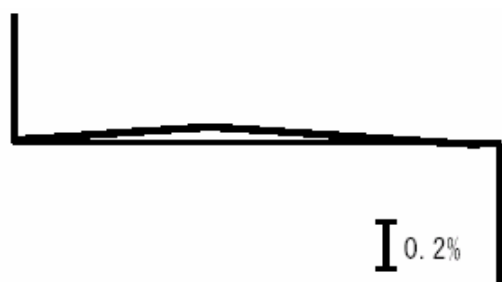


図-4 軸ひずみの分布

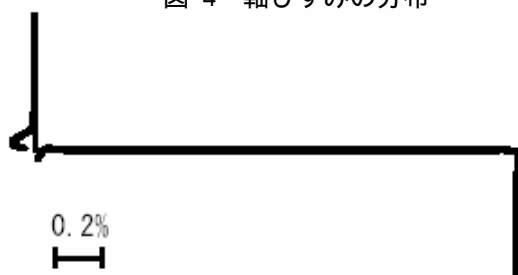


図-5 曲げひずみの分布

管の単位長を 100m として波長 200m の地震波を入力した。図-4、図-5 に解析結果の一例として seg におけるひずみ分布を示す。この結果により、軸ひずみは直管の中央部で最大となり、曲げひずみは曲管に接続する直管部で最大となり、曲管から 10m 離れた位置では完全に減衰することが明らかになった。そのためネットワークをセグメント毎に離散化して解析をおこなっても得られる結果は全体ネットワーク全体を一度に解析したものと同様であることが分かる。

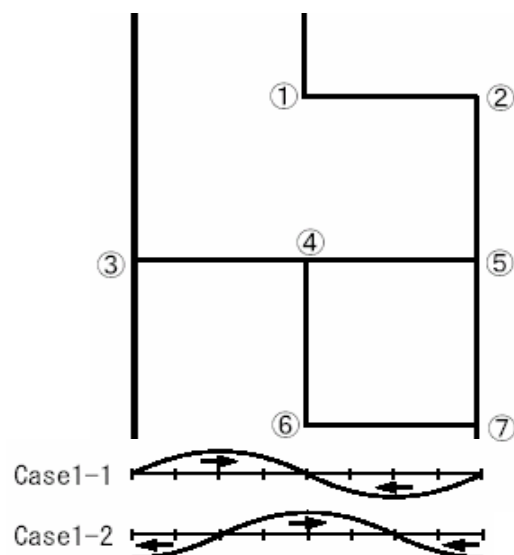


図-6 有限要素法との比較に用いたモデル

表-1 本手法の解析精度

場所	Case1-1 の変位 [cm]			Case1-2 の変位 [cm]		
	本手法	FEM	誤差 [%]	本手法	FEM	誤差 [%]
	-10.42	-10.55	1.2	-17.59	-17.60	0.1
	10.41	10.52	1.0	-17.59	-17.60	0.1
	2.57	2.49	3.2	8.21	8.75	6.1
	2.57	2.49	3.2	-8.21	-8.74	6.1
	-7.56	-7.94	4.8	-25.94	-25.47	1.8
	5.99	5.60	7.0	-6.60	-6.96	5.2

(3)境界要素のデータベース化

(2)で述べたようにネットワークを離散化すれば計算は単純化されるが、それぞれのセグメントにおいて分割する要素数を減らすことはできない。そのため境界要素の力-ひずみ関係等を予め有限要素法で解析した結果をデータベース化しておき、直管部分は非線形のつりあいの式を解くということを行った。本手法の精度を確認するために図-6 のネットワーク・地震動の条件で有限要素法および本手法で算出される埋設管の変形量を算出した。表-1 に変形量の計算結果を示す。表-1 に示すように本手法は有限要素法の結果を境界要素のデータベースとして用いるため非常に高い精度を持っていることが分かる。また計算量の違いを確認するために江東区の一部のエリア約 3,000 セグメントについて計算を行った。有限要素法による計算はスーパーコンピュータを用いて 1 セグメント当たり 5～10 分かったが、本手法を用いた計算は、デスクトップパソコンを用いて 3,000 セグメントの計算を終了するのに 2 分し

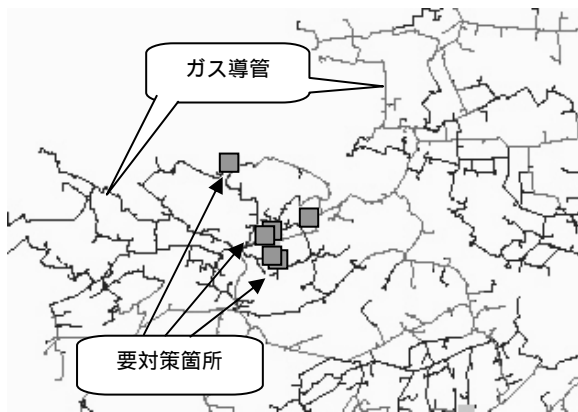


図.4 要対策箇所の抽出

かかからなかった。つまり本手法は、有限要素法の約 1/10000 の時間で計算を終了することが可能であり、非常に簡便であることが分かる。なお本来埋設管ネットワークは 3 次元的な分布をしているが、予め詳細な分析を行い、ネットワークの計算に影響を及ぼさないことが分かったため計算負荷を減らすために二次元のネットワークとして解析を行った。

3 . 強度

予防対策として要対策箇所を絞り込むに用いる場合、大きな安全率を含んでいる設計値（強度を低く見積もっている）を用いるのは目的と合致しない。そのため従来より耐震性が劣るとされてきた部材については、引張り・圧縮試験等を行い、実力値を求めた。

4 . 結果

2 章で算出した埋設管に生じる外力が 3 章で求めた強度を上回るセグメントが、要対策箇所である。東京ガスに適用した結果の一部を図. 4 に示すが、これは従来想定されていた要対策箇所の約 1/10 である。この手法を用いることにより合理的に要対策箇所を絞り込むことが可能となった。

5 . 応用

上記の議論では、基準地震動に対する耐震性を評価してきたが、各セグメントが属する地盤に発生する変位を SI 値毎に算出しておき、それぞれに変位に対し各セグメントが耐震性を持つか求め、被害が初

めて生じる変位、つまり SI 値をそれぞれのセグメントに限界 SI 値として設定することにより、リアルタイム被害推定に応用することが可能である。SUPREME では、SI センサーで観測された SI 値と各セグメントの限界 SI 値を比較して被害の有無を推定している。被害率をベースにした従来のフラジリティカーブを用いた被害推定では、メッシュ毎の被害の状況を推定することが限界であったが、本手法を適用した被害推定ではピンポイントで被害の有無を推定することが可能であり緊急措置のレベルの向上に大きく寄与している。

参考文献

- 1) (社)日本ガス協会: 高圧ガス導管設計指針 JGA 指-206-00, 2000.3
- 2) (社)日本ガス協会: 高圧ガス導管液状化耐震設計指針 JGA 指-207-01, 2001.12
- 3) 亀井祐聡, 森本巖, 安田進, 清水善久, 小金丸健一, 石田栄介: 東京低地における沖積砂質土の粒度特性と細粒分が液状化強度に及ぼす影響, 地盤工学会論文報告集, Vol.42 No.4, pp.101-110, 2002.8
- 4) 安田進, 吉田望, 安達健司, 規矩大義, 五瀬伸吾, 増田民夫: 液状化に伴う流動の簡易評価法, 土木学会論文集, No.638 / -49, pp.71-89, 1999.
- 5) 安田進, 清水善久, 小金丸健一, 松本浩一: 東京地区の護岸背後地盤における流動に関する簡易式, 第37回地盤工学研究発表会, pp.2019-2020, 2002.7
- 6) 清水善久, 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 小金丸健一, 中山渉: 都市ガス供給網のリアルタイム地震防災システム構築及び広域地盤情報の整備と分析・活用, 土木学会論文集, No.738 / I-64, pp.283-296, 2003.7

(2003.10.14 受付)