



東日本大震災における東京ガスの設備被害の概況と 超高密度地震観測情報に基づく低圧ガス導管被害推定の精度検証

猪股 渉¹⁾、乗藤雄基¹⁾、石田栄介²⁾、塚本博之²⁾、山崎文雄³⁾

1) 正会員 東京ガス株式会社 防災・供給部 防災・供給グループ

e-mail : inomataw@tokyo-gas.co.jp, norito@tokyo-gas.co.jp

2) 正会員 株式会社エイト日本技術開発 東京支社 保全・耐震・防災部

e-mail : ishida-e@ej-hds.co.jp, tsukamoto-hi@ej-hds.co.jp

3) 正会員 千葉大学大学院 工学研究科 建築・都市科学専攻

e-mail : fumio.yamazaki@faculty.chiba-u.jp

要 約

東日本大震災（東北地方太平洋沖地震）において、東京ガスの製造・供給を支える重要設備に被害は発生しなかったが、一部、耐震性の劣る低圧ガス導管に被害が発生し、震度 6 強を観測した茨城県日立市を中心とした約 3 万件のお客さまに対して安全のためガスの供給を停止した。本報告においては、東日本大震災における当社設備の被害状況を整理し、地震観測情報に基づく低圧ガス導管被害推定の精度検証を行ったので、その概略を述べる。

キーワード：東日本大震災、超高密度リアルタイム地震防災システム、ガス導管被害推定

1. はじめに

東京ガスでは大規模地震への備えとして、事業継続計画の観点に基づいて規則類を整備する等、地震防災の PDCA サイクルを構築すると共に予防・緊急・復旧の 3 本柱を軸とした地震防災対策を推進している。中でも地震時の 2 次災害防止のための緊急対策として、超高密度（約 4,000 箇所）に設置した地震計により高精度な被害把握・被害推定を実現するリアルタイム地震防災システム“SUPREME”を導入しており¹⁾、東日本大震災においても確実に稼働、発災直後の地震観測情報の収集とガス導管の被害推定により速やかな初動措置に寄与した²⁾。

本報告では、東日本大震災における当社の対応と設備被害について概略を述べると共に、超高密度観測情報に基づいて算出された低圧ガス導管被害推定結果と、実際の被害データとを比較することで精度検証を行ったので、その内容について以下に述べる。

2. 東京ガスの東日本大震災への対応と設備被害の概況

2.1 SUPREME を軸とした初動措置

3 月 11 日 14 時 46 分、当社供給区域内の日立市では震度 6 強を、また都心部を中心とした供給区域内の広い範囲にわたり震度 5 弱～5 強が観測された。地震発生と同時に各家庭のマイコンメーターの感震

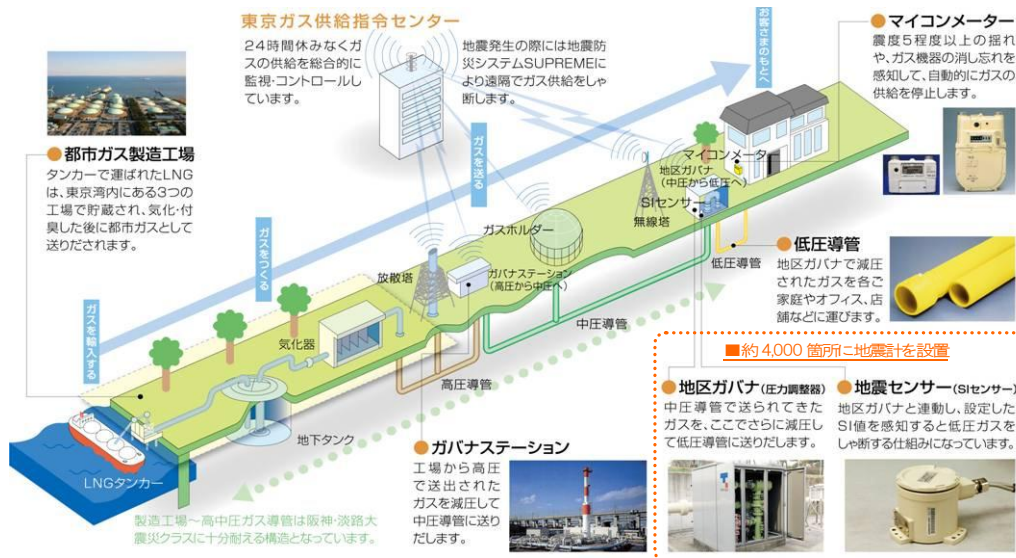


図1 都市ガス供給システムと地震に対する安全対策の概略

遮断機構（200gal程度を超える揺れを感知すると遮断）が作動し、約1,000万件のお客さまのうち推定約300万件のマイコンメーターが自動遮断、まずはお客さまの安全を確保した。

時を同じくして浜松町本社の供給指令センターにあるSUPREMEが稼働し、約4,000基の地区ガバナ（図1）に設置されている地震計（SIセンサー）からの地震情報をNTTdocomoのFOMA回線を介して約5分で収集、供給停止の判定結果が明示された（図2）。地震情報に加えてガス供給圧力情報、停電情報など、地域ごとにきめ細かく被害情報（実測値）を収集すると共に、ガス導管の被害推定、液状化危険度推定³⁾などを実施、初動措置の対応方針を策定するのに十分な情報を短時間で集約した。約4,000基の地区ガバナのうち14基はSIセンサーと連動した遮断装置により（地区の耐震性に応じてSI値40～60cm/s (kine)で遮断）、安全のため低圧ガスの送出を停止した。その内11基については、周囲の地区ガバナとガス導管による接続があり、隣接地区ガバナからのバックアップにより供給を継続したが、ガス導管の接続が無く独立した地区ガバナが供給する3地域については供給を停止した（横浜市1地域、茨城県2地域）。また日立市においては、最大SI値が70cm/sを記録したため、当社が定める供給停止判断基準（判断用地震計のSI値が60cm/s以上を記録）に基づきブロック[※]供給停止を行った。供給停止戸数は日立市全域で30,008戸、その他の3地域で588戸、合計30,596戸を数えた。しかし、SUPREMEを軸とした迅速な対応によりお客さまの安全を確保し、2次災害を引き起こすことは無かった。

※ブロック：当社供給区域内の約47,000kmの低圧ガス導管は、地震時の被害が大きい地域だけを分離してガスの供給を停止するため、179のブロックに分割している。

2.2 製造・供給設備の被害の概況

今回の地震において、重要設備である製造設備、ガスホルダー、高圧・中圧ガス導管の被害は無かった。これら重要設備に対しては日本ガス協会の耐震設計指針、社内基準に基づきレベル2地震動に対する予防対策を実施してきたが、今回の地震においてもその有効性が十分に確認されたものと言える。

一部で残存する耐震性の低い低圧ガス導管については地震による被害を受けたが、道路下に埋設されたガス導管の被害の総計（地震後一定期間の修繕箇所数を集計）は表1に示す通り、276箇所を数えた。また、お客さま敷地内に埋設された灯外内管については、929箇所の被害が確認された（表1）。

電気・水道を含む全てのライフラインが供給を停止した日立地区の30,008戸については、東京ガス社員をはじめ、協力企業等、東京ガスグループのメンバー延べ3,052名が復旧にあたり、病院等の優先支援需要家に対しては先行して臨時供給を行い、およそ1週間後には全てのお客さまへのガス供給再開を実現した。日立地区の復旧完了と共に非常体制を解除、東京ガスの東日本大震災への対応はガス漏えい等に伴う2次災害を引き起こすことなく幕を閉じた。

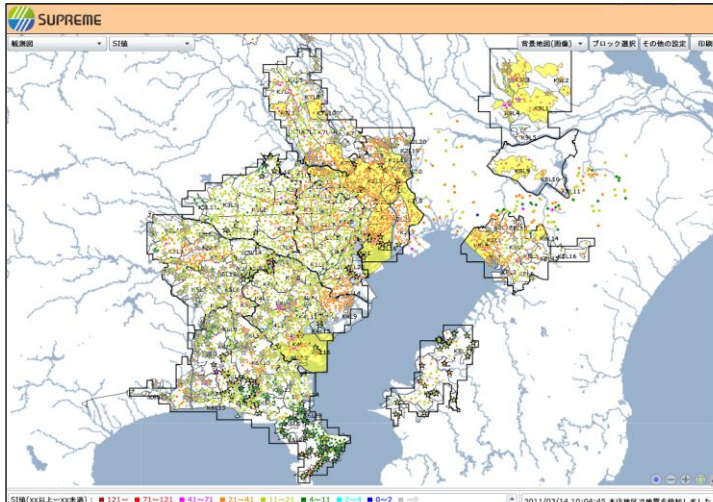


図2 3月11日のSUPREME画面(約4,000箇所の地震観測情報)

表1 設備区分ごとの地震による被害概況

設備区分		被害箇所数
製造設備		被害無し
高圧ガス導管		被害無し
中圧ガス導管		被害無し
低圧ガス導管		
道路下	本支管	145箇所
	供給管(引込み管)	131箇所
民地	灯外内管 (お客様敷地内配管)	929箇所
低圧ガス導管被害合計*		1,205箇所

※道路下, お客様敷地内の埋設導管の合計
(日立支社等, 広域支社を含まず)

3. 超高密度地震観測情報に基づく低圧ガス導管被害推定の精度検証

3.1 SUPREMEによる50mメッシュSI値分布の推定

SUPREMEはリアルタイムで収集した約4,000箇所の地震観測情報を基に、約60,000本のボーリングデータから整備した50mメッシュ単位の地盤増幅度⁴⁾⁵⁾を用いて、最終的には50mメッシュ単位で地表面のSI値を推定し、後述する被害推定に活用する。

東日本大震災においても、僅か5分で収集した約4,000箇所の観測SI値に基づき、およそ10分後には地表面での50mメッシュSI値を推定した。推定に至る流れは以下(①~④)の通りであり、東日本大震災における地表面、基盤面のSI値の分布を図3~図6に示す。

- ① 約4,000箇所の地震計が観測点(地区ガバナ地点)での地表面SI値を観測(図3)
- ② 観測点SI値(①)を地盤増幅度で除することで、観測点直下の基盤面SI値を算出(図4)
- ③ 観測点直下の基盤面SI値(②)を、距離減衰式を用いて50mメッシュ単位での基盤SI値に補間(図5)
- ④ 50mメッシュ基盤面SI値(③)に地盤増幅度を乗ずることで、50mメッシュ単位での地表面SI値を算出(図6)

50mメッシュ単位で推定したSI値を、他機関の観測点(K-NET等118箇所)が存在するメッシュに着目し、「50mメッシュ推定値/他機関観測値」を指標として評価した結果、平均値は0.97とほぼ1に近い値となった。標準偏差は0.21であり、ほとんどが2割以内の誤差で推定出来たと考えられ、約60,000本のボーリングデータに基づき整備した50mメッシュ地盤増幅度の妥当性が確認された。

3.2 SUPREMEによる低圧ガス導管のリアルタイム被害推定

当社では低圧ガス導管のリアルタイム被害推定のために、阪神・淡路大震災等、過去の地震において道路下に埋設された本支管被害の大半を占めるねじ継手⁶⁾を対象として、対数正規分布の累積分布関数を用いて標準被害推定式を作成し、SUPREMEに実装している¹⁾⁷⁾。

リアルタイム被害推定のフローは図7に示す通りであり、被害推定式に50mメッシュ単位の推定SI値を入力することで、ねじ継手の被害率を算出し、標準被害推定式に対して地形区分、管種による補正係数を乗じて管種毎被害率を算出する。得られた管種毎被害率に50mメッシュ内の管種別延長を乗じることで、メッシュ内の被害箇所数を推定し、最終的にはブロック毎の被害箇所数を合算し、第2次供給停止判断、また復旧計画の策定等に活用する。被害推定式は被害実績を統計的に処理した結果を表現する近似式で、揺れが大きくなれば被害が多くなるという関係を表したものであり、ある程度の大きさをもったエリア内でマクロに被害箇所を推定するのに適している。

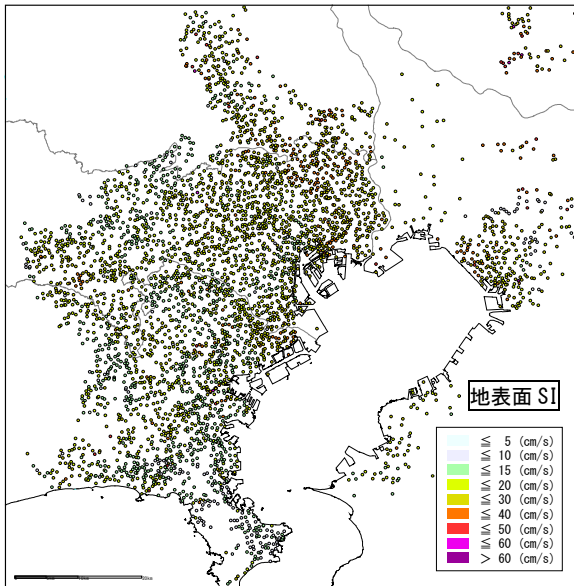


図3 約4,000箇所で観測された地表面SI値分布

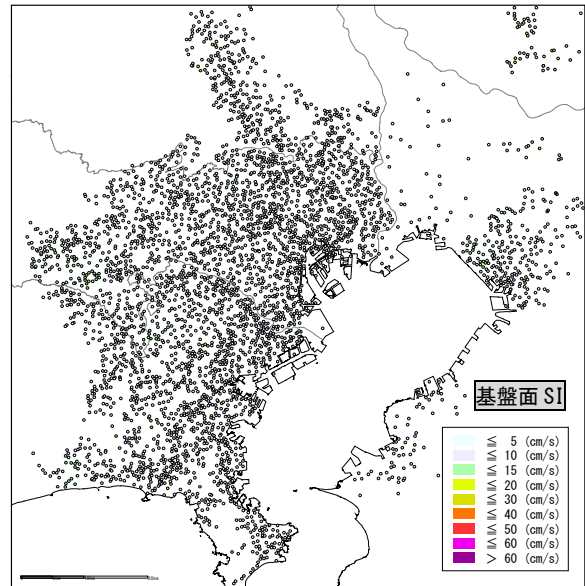


図4 約4,000箇所の観測点直下の基盤面SI値分布

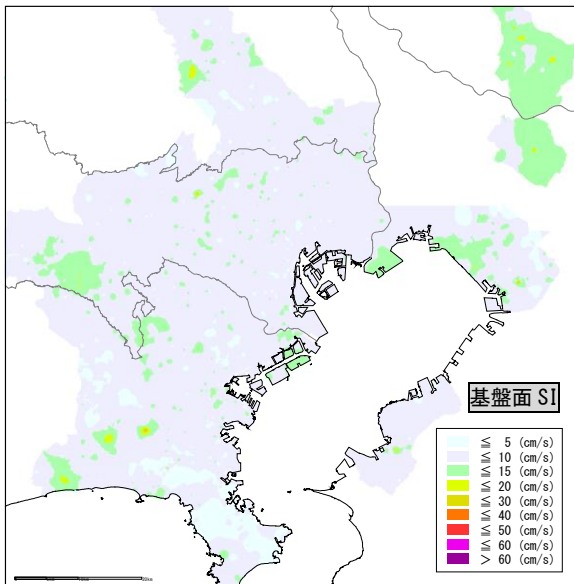


図5 50mメッシュ基盤面SI値分布

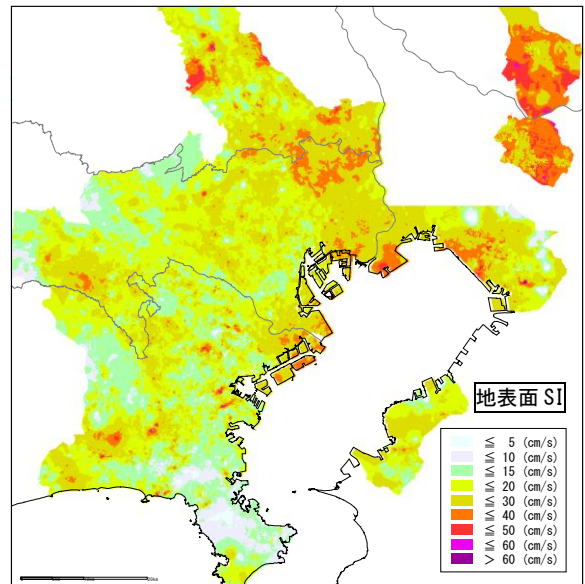


図6 50mメッシュ地表面SI値分布

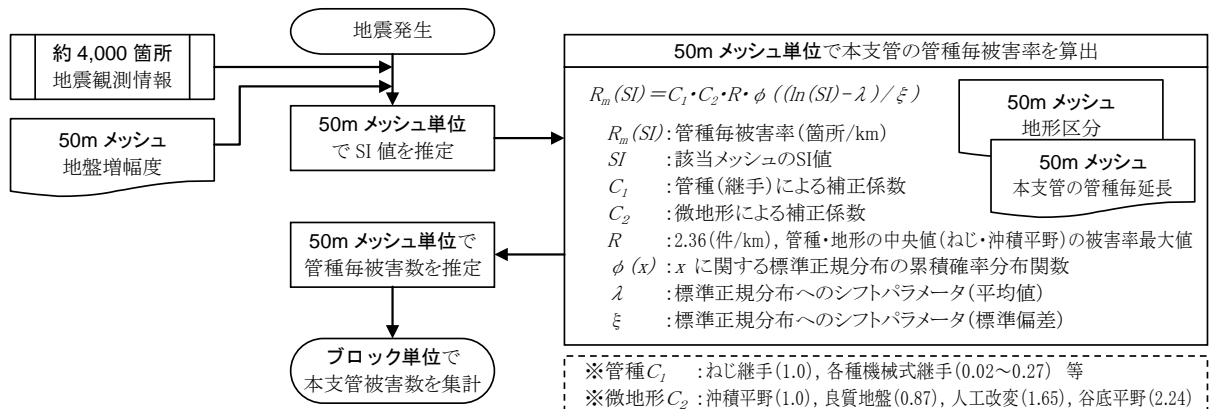


図7 SUPREMEによるリアルタイム被害推定のフロー

3.3 低圧ガス導管被害推定の精度検証

標準被害推定式の関数形を決定する基となっており、東日本大震災においても低圧ガス導管の被害の大半を占めた（本支管、供給管、灯外内管共通）、ねじ継手により接合された本支管を取り上げ、実際の被害データから SI 値と被害率の関係を整理することで、被害推定式の精度について検証を行った。

本支管被害のうち、ねじ継手の被害は 93 箇所を数え、標準被害推定式を補正するための 4 種類の地形区分に分類した結果は表 2 の通りである。中央値となる沖積平野を中心として、面積比に応じた素直な分布となっているが、地形区分毎に被害分析を行うにはそれぞれデータ数が不十分となるため、本論においては全ての地形における被害を合算し、標準被害推定式（地形補正係数：1.0）と比較することで精度検証を行うものとした。

SI 値の分布図に被害地点を重ねた結果は図 8 に示す通りであり、SI 値 20~40cm/s を広範に観測し、低圧ガス導管の埋設延長が長い（≒ねじ継手により接合された本支管の埋設延長が長い）東京都内において、被害地点が相対的に多いことが確認出来る。精度検証を行うために、50m メッシュ単位で推定した SI 値について、1cm/s ピッチで同じ SI 値となる 50m メッシュ内のねじ継手の被害箇所数、ねじ継手本支管の埋設延長を各々集計し、被害箇所数を延長で除することにより、SI 値毎のねじ継手の被害率を算出した（図 10）。

前述の通り、被害推定式は阪神・淡路大震災の被害実績に基づき作成されたものであり、被害数が相対的に多くなる供給停止地区、SI 値が 60cm/s を超える範囲での被害データを支配的要因としてパラメータの同定を行っている。その一方、SI 値が低い領域においては、有効データが不足していることから、特に被害の立ち上がりを表現する範囲において、十分な精度検証が行えていなかった。今回、東日本大震災における被害データは、SI 値が低い領域のものが大半を占めるため、被害推定式の精度検証を行う上では非常に有益なデータ取得となったと言える。図 10 に、上記の手法で算出した全地形に対するねじ継手の被害率を SUPREME の標準被害推定式に重ね合わせて図示したが、被害の立ち上がり部において、概ね良い一致を示しており、マクロな被害把握を目的とする被害推定式の有効性が十分確認出来たものと言える。

表 2 ねじ継手の地形区分毎被害箇所数

低圧ガス導管のうち本支管の被害箇所数		合計 145 箇所
ねじ継手		計 93 箇所
地形区分	(補正係数)	---
沖積平野	1.00	40 箇所
良質地盤	0.87	25 箇所
谷底平野	1.65	15 箇所
人工改変	2.24	13 箇所
その他の継手		52 箇所

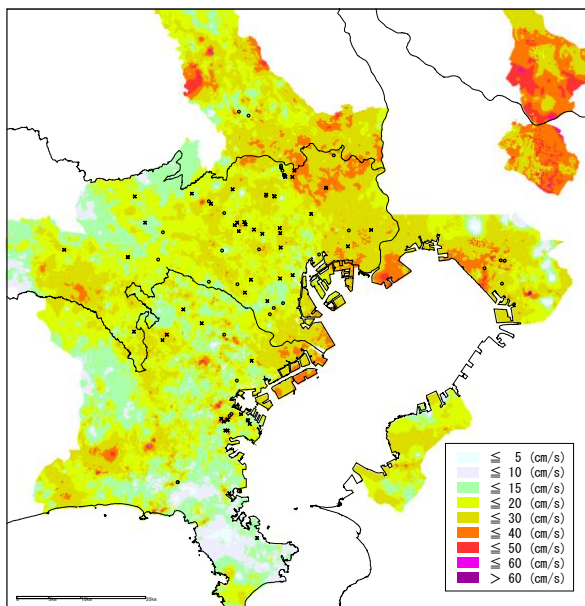


図 8 本支管（ねじ継手）被害地点と SI 値分布

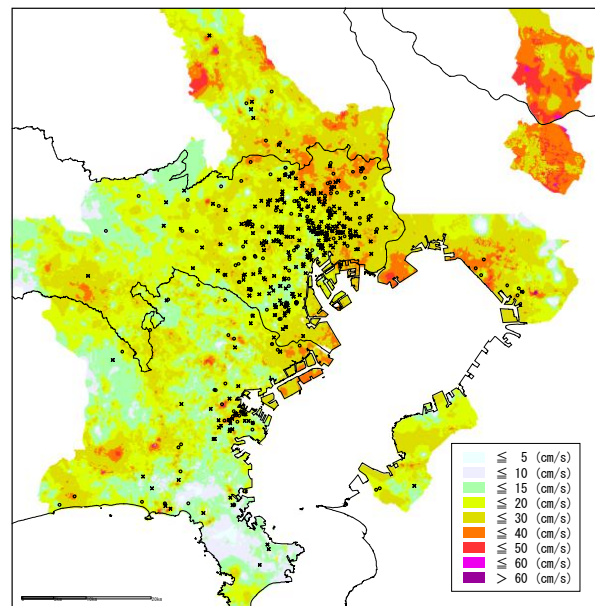


図 9 灯外内管（ねじ継手）の被害地点と SI 値分布

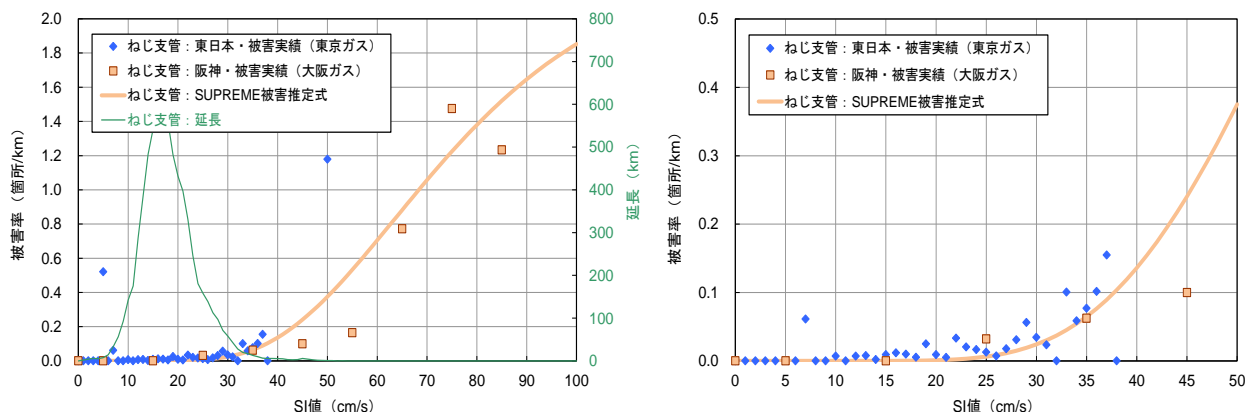


図 10 SI 値毎の本支管（ねじ継手，全地形）被害率と SUPREME 標準被害推定式との比較（左：全体図，右：拡大図）

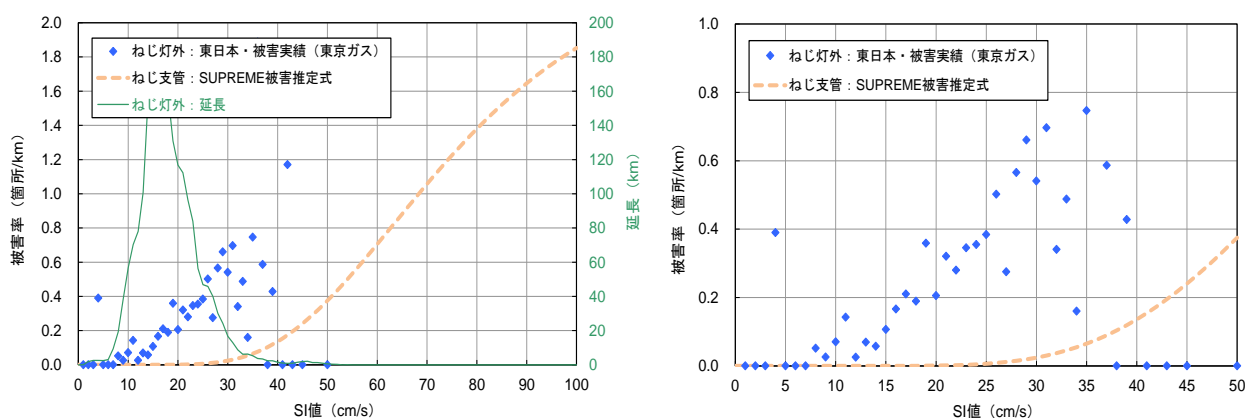


図 11 SI 値毎の灯外内管（ねじ継手，全地形）被害率（左：全体図，右：拡大図）

また、これまでは被害データが十分に揃わず、被害分析の妥当性を確認出来なかったことから、阪神・淡路大震災の被害実績（総数）に基づき、本支管の被害数を単純に定数倍（供給管、灯外内管合わせて 1.96 倍）することで被害の概数を推定してきた、供給管、灯外内管についても SI 値が低い領域において、有効な被害データを取得出来た。

今回、1,000 箇所弱の被害が確認されたねじ継手により接合された灯外内管について、本支管同様に SI 値と被害率の関係を図 11 に示したが、同じねじ継手でも、本支管と比較すると明らかに被害発生の上立ち上がり早く、より小さい SI 値で被害発生し始めることが確認出来た。道路下に埋設されている本支管と比べて口径が小さく（断面剛性も小さいため、耐震性能も劣る）、またお客様敷地内の狭い範囲での配管系となり、マイコンメーター立ち上がり部での被害のように建物に依存する被害が多数確認されていることから、被害発生の傾向の相違は不自然なことでは無いと考えられる。

灯外内管の被害分析については、今回は定性的な被害傾向の把握に止まったが、今後、過去の地震による被害データ（SI 値が高い領域での被害データ）も加味した上で、より詳細な被害分析を行い、本支管とは独立した被害推定式を構築することで、より高精度な被害推定の実現を目指していく。

4 おわりに

東日本大震災の対応を通じて、これまで東京ガスが取り組んできた予防・緊急・復旧対策の 3 本柱に基づく地震防災対策の有効性が確認された。特に初動措置（緊急対策）については、リアルタイム地震防災システム“SUPREME”が確実に稼動し、約 4,000 箇所の高密度地震観測情報に基づく被害把握・推

定をリアルタイムで行う等、十分に機能したと言える。東日本大震災における超高密度地震観測情報の活用結果、また低圧ガス導管（ねじ継手）の被害データを整理したことにより得られた知見を以下にまとめます。

- 50m メッシュ単位の SI 値推定については、推定値と他機関（K-NET 等）の観測値と比較評価することで、これまで整備してきた地盤増幅度の妥当性が確認された。
- 低圧ガス導管の被害推定については、これまで有効データが取得されず、検証が不十分であった SI 値が低い領域での推定精度を確認するのに十分な被害データが取得出来た。被害推定式の基となる、ねじ継手（本支管）の SI 値と被害率の関係を整理したことで、SUPREME の被害推定式の推定精度の高さを検証することが出来た。
- 灯外内管の被害については、同じねじ継手でありながらも、本支管とは被害発生の立ち上がりが大きく異なることが確認された。

今後は東日本大震災における他都市ガス事業者の被害データ等も加味した上で、より詳細な被害分析を行い、低圧ガス導管被害推定の高精度化を目指す。

参考文献

- 1) 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.
- 2) 猪股渉, 乗藤雄基: 東日本大震災における東京ガスの初動措置について, 第 8 回日本地震工学会大会梗概集, pp.226-227, 2011.
- 3) 乗藤雄基, 猪股渉: 東京ガス防災システムによる東北地方太平洋沖地震における液状化推定, 第 8 回日本地震工学会大会梗概集, pp.266-267, 2011.
- 4) 田村勇, 山崎文雄, K.T.Shabestari: K-NET 地震記録を用いた平均 S 波速度による地盤増幅度の推定, 土木学会第 55 回年次学術講演会講演概要集 I-B, pp.714-715, 2000.
- 5) 石田栄介, 磯山龍二, 山崎文雄, 清水善久, 中山渉: 防災 GIS を用いた地盤増幅度の面的整備と地震動面的分布推定に関する検討, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.421-425, 2001.
- 6) 資源エネルギー庁監修, ガス地震対策検討会編: ガス地震対策検討会報告書, 1996
- 7) 細川直行, 渡辺孝仁, 清水善久, 小金丸健一, 小川安雄, 北野哲司, 磯山龍二: 地盤条件を考慮した大規模地震における低圧ガスねじ継手鋼管の被害予測式の検討, 第 26 回地震工学研究発表会講演論文集, pp.1333-1336, 2001.

(受理: 2012 年 4 月 9 日)

(掲載決定: 2012 年 12 月 14 日)

Summary of supply facilities damage of Tokyo Gas caused by the Great East Japan Earthquake and verification of the accuracy of pipeline damage estimation

INOMATA Wataru¹⁾, NORITO Yuki¹⁾, ISHIDA Eisuke²⁾,

TSUKAMOTO Hiroyuki²⁾ and YAMAZAKI Fumio³⁾

1) Member, Manager, Department of Supply control and Disaster management, Tokyo Gas Co.,Ltd.

2) Member, Department of Disaster management, Tokyo branch, Eight Japan Engineering Consultants Co.,Ltd.

3) Member, Professor, Department of Urban Environment Systems, Chiba University

ABSTRACT

The Great East Japan Earthquake did not damage any important facilities used by Tokyo Gas for city gas production and supply operations, but some low pressure pipelines with low earthquake resistance were damaged, forcing the company to suspend supplies of gas to about 30,000 homes to preserve safety. This report briefly describes Tokyo Gas's response to the Great East Japan Earthquake, which is centered on the super-dense real time monitoring earthquake system. And, it verifies about the accuracy of pipeline damage estimation.

Key Words: The Great East Japan earthquake, the super-dense real time monitoring earthquake system, pipeline damage estimation