地震時の漏洩通報に基づくガス導管の被害予測結果の更新に向けた基礎検討

千葉大学大学院融合理工学府　学生会員　○河村祥彰　　正会員　丸山喜久
東京ガス株式会社　非会員　水上清二，田村健

1.　研究背景と目的

2011 年に発生した東北地方太平洋沖地震において，東京ガス(株)の供給エリアでは，耐震性が低い一部の低圧ガス導管に被害が発生した．**表-1** に低圧ガス導管の設備区分ごとの被害数を示す．東京ガスでは，リアルタイム地震防災システム SUPREME[1)]を導入しており，供給エリア内に設置されている約4000箇所のSIセンサーによって収集された地震動情報を用いて，ガス導管の被害推定を行っている．

このような地震防災システムは，発災直後の災害対応体制を確立するのに有用であるが，被害予測の精度が悪い場合は，災害対応に遅れが生じ混乱を助長してしまうことも懸念される．そこで，本研究では，地震発生直後に東京ガスに電話で寄せられる漏洩通報情報に基づき，被害予測結果を更新する手法を構築することを目的とする．

表-1　東北地方太平洋沖地震における東京ガス供給エリアの低圧ガス導管の被害数[2)]

道路下	本支管	145箇所
	供給管	131箇所
民地	灯外内管	929箇所

2.　分析対象データ

本研究では，2011 年東北地方太平洋沖地震の際に電話で東京ガスに寄せられたガス漏洩の通報データ，SUPREME によって推定された 50m メッシュごとの SI 値分布，管路延長データ，管路被害データを使用した．また，被害予測結果の更新はLブロック単位で行った．ガス漏洩の通報データには，ブロック番号，住所，設備区分名，管材質名，口径，故障原因名など 20 項目が取りまとめられている．ガス導管の被害データには，被害位置，設備区分，管種，接合方法など 10 項目が取りまとめられている．また，管種・接合方法ごとにガス導管の延長が 50m メッシュ単位でまとめられている．

3.　被害予測結果の更新手法の検討

3.1　既往研究

能島ら[3)]は，地震動情報と実被害情報の統合処理による被害推定の逐次更新手法を提案し，緊急対応を支援する数理モデルを構築している．ここでは，全要素M_Tの構造物群において，被害が独立，一様，ランダムに発生すると仮定する．被害の程度が有無（○か×）の二段階で区別され，被害発生数 n が被害確率 p の二項分布に従うものと仮定する．さらに，地震直後にリアルタイムで得られる地震動強さの情報と被害推定式に基づいて被害確率 p の即時推定が行われ，その平均値μ_p，標準偏差σ_pが与えられているとする．

いま，M_0個の調査をしたところ，n_0個の被害が明らかになったものとすると，被害確率 p の逐次更新された事後平均値μ_p'，標準偏差σ_p'は次式となる．

$$\mu_p' = \frac{n_0 + n_0' + 1}{M_0 + M_0' + 2} \tag{1}$$

$$\sigma_p' = \sqrt{\frac{(M_0 + M_0' - n_0 - n_0' + 1)(n_0 + n_0' + 1)}{(M_0 + M_0' + 2)^2 (M_0 + M_0' + 3)}} \tag{2}$$

ただし，

$$M_0' = \frac{\mu_p(1-\mu_p)}{\sigma_p^2} - 3 \tag{3}$$

$$n_0' = \mu_p\left[\frac{\mu_p(1-\mu_p)}{\sigma_p^2} - 1\right] - 1 \tag{4}$$

M_0'とn_0'(いずれも一般に非整数)は「仮設事前標本」と呼ばれ，被害確率の事前分布はM_0'個あたりn_0'個の被害が確認されたことと等価であると解釈される．この手法を用いることで，時々刻々と入手される被害の確認情報を使って初期の推定結果を逐次更新することが可能になる．

3.2　ガス導管の被害予測結果の更新への適応

既往研究[3)]の手法をガス導管の被害予測結果の更新へ適応する．一般に，ガス導管の被害率は管路延長 1 km 当たりの被害数として定義される[1)]．しかし，需要家か

Key words　東北地方太平洋沖地震，ガス導管，漏洩通報，予測更新

連絡先：〒263-8522 千葉県千葉市稲毛区弥生町 1-33 千葉大学大学院工学研究院 TEL 043-290-3555

© Japan Society of Civil Engineers

らの漏洩通報データの活用を考えた場合，導管延長を基準とした被害率のままでは扱いにくい．

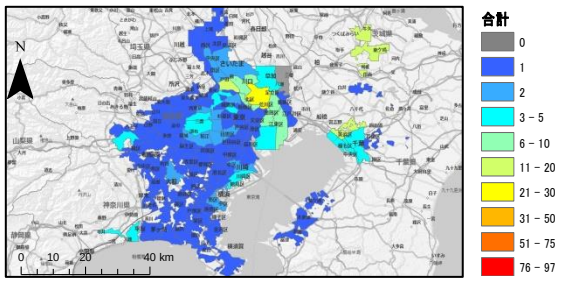
そこで，全てのガス導管の被害は最も近傍の需要家によって検知されるものと仮定し，地震動強さと被害推定式による被害確率の平均値μ_pを式(5)のように定義した．

$$\mu_p = N/M_T \tag{5}$$

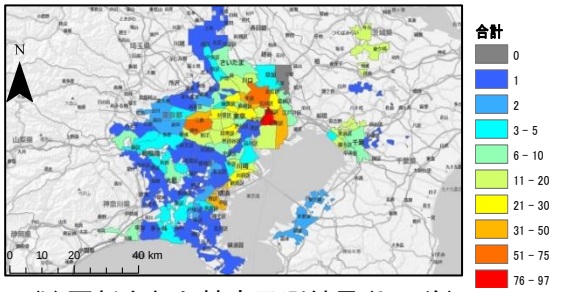
ここで M_T は L ブロックごとの開栓数（需要家数），N は地震直後の推定被害数を L ブロック単位で集計したものである．ここで，推定被害数は本支管，供給管，灯外内管，灯内内管の被害の合計値とする．本支管の被害数は，SI 値と管路延長に基づき被害予測式で推定する[1]．また，供給管と灯外内管の被害数の合計は，**表-1** に基づき本支管の 10 倍，灯内内管の被害数は本支管の 10 倍と仮定した[4]．L ブロックごとの漏洩通報件数を式(1)，(2)の n_0 とみなせば，M_0 を適切に仮定すると，式(1)～(4)によって被害予測結果を更新することができる．

4. 被害予測結果の更新

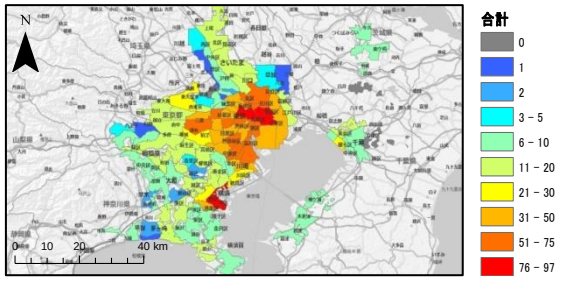
本研究では，7 日分の漏洩通報データに基づき，ガス導管の被害予測結果を 1 日単位で更新する．7 日間かけて全ての需要家が一様に調査されたものと仮定し，1 日あたりの調査済み数 M_0 を $M_T/7$ とした．また，被害予測の変動係数を 0.6 と仮定した．



(a) 地震直後の被害予測結果



(b) 更新された被害予測結果（3 日後）



(c) 実際の被害数

図-1　被害予測結果の更新の地図表示

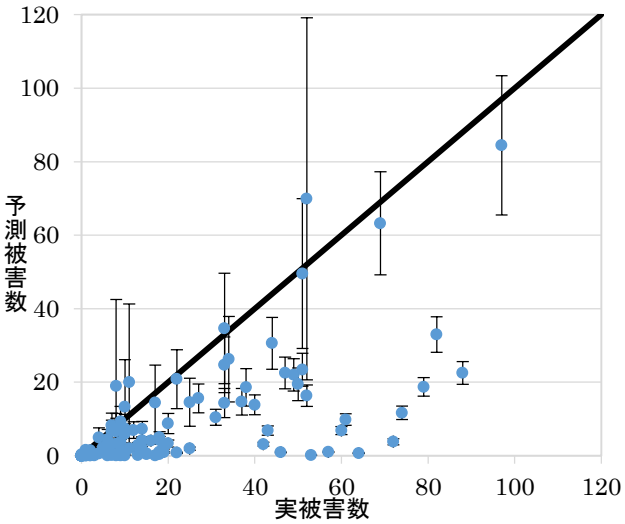


図-2　推定被害数と実被害数の関係（3日後）

図-1 に，(a)地震直後の被害予測結果，(b)更新された被害予測結果（3 日後），(c)実際の被害数を地図表示する．さらに，**図-2** に L ブロックごとの 3 日後の推定被害数と実被害数を比較する．

漏洩通報データに基づき被害予測結果が更新され，実被害数に近づいていることがわかる．3 日後の更新結果によると，実際の被害確率が予測被害確率$\mu_p' \pm \sigma_p'$の範囲内に含まれる L ブロックは 22%に達した．

5. まとめと今後の課題

本研究では，東北地方太平洋沖地震発生後の漏洩通報データを用いて，ガス導管の被害予測結果を更新する手法について検討した．漏洩通報が充分にある L ブロックは適切に被害予測結果が更新され，実際の被害数を精度良く再現することがわかった．今後は，漏洩通報の少ないブロックの被害予測結果を，近傍のブロックの漏洩データに基づき更新するなどの方法を検討する必要がある．

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，石田栄介，塚本博之，山崎文雄：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観測情報に基づく低圧ガス導管被害推定の精度検証，日本地震工学会論文集，Vol. 13，No. 2，pp. 37-44, 2013.
3) 能島暢呂，杉戸真太，金澤伸治：地震動情報と実被害情報の統合処理による緊急対応支援の数理モデル，土木学会論文集，No. 724/I-62, pp. 187-200, 2003.
4) 向後陽平，丸山喜久，猪股渉：東北地方太平洋沖地震における都市ガス導管の被害分析，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol. 72, No. 4, pp. I_140-145, 2016.

© Japan Society of Civil Engineers