

超高密度地震計ネットワークを用いたリアルタイム液状化空間分布推定方法

磯山 龍二¹・石田 栄介¹・安田 進²・東畑 郁生³・清水 善久⁴・小金丸 健一⁴

¹ 正会員 日本技術開発(株) 環境防災事業部地震防災部 (〒164-8601 東京都中野区本町5-33-11)

² 正会員 東京電機大学理工学部 (〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂)

³ 正会員 東京大学大学院工学系研究科 (〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1)

⁴ 正会員 東京ガス(株) 防災・供給センター (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

東京ガスの新地震防災システム「SUPREME」では、地震時のガス供給緊急遮断、即時被害推定、及び迅速対応のため、約1km四方に1基という超高密度な地震観測網の整備を進めている。このシステムでは、ガスパ管被害推定に液状化の影響を考慮するための指標として「液状化層厚」を用いており、供給エリア全域にわたる液状化層厚分布を地震動情報に基づいて推定する必要がある。本研究では、観測地点毎に地震動情報から推定される液状化層厚を面的に補間することにより、供給エリア全域の液状化層厚分布推定手法について検討する。東京ガスの所有する約50,000本のボーリングデータを活用し、液状化層厚の最大値の分布を事前に整備することにより、「液状化し易さ」を考慮した補間手法について検討している。

Key Words : SUPREME, GIS, Seismic micro zoning, Liquefaction

1. はじめに

東京ガスの新防災システム「SUPREME」¹⁾における地震時の早期被害推定は、供給エリア内約3,700箇所(約1km²に一箇所)の超高密度な新SIセンサー地点の地震動観測値に基づいて行う。東京ガスではすでに低圧導管の被害推定手法として、管の材質、微地形分類、地表面の地震動強さ、液状化層厚等を考慮した被害率(件/km)の算定手法を開発している。

管の材質については、材質毎の延長集計値が25m 正方メッシュ単位でデジタル整備されており、微地形分類については、10,000分1地図に基づくポリゴンデータが整備されている。また、約50,000本のボーリングデータと微地形分類データを組み合わせて地盤の地震動増幅特性に関する面的なデータ整備を行っており、新SIセンサーのリアルタイム観測情報から地盤増幅特性を考慮した任意地点の地震動強さの推定を可能としている²⁾。

本論では、導管被害推定に必要なとなる液状化層厚の面的分布推定手法について検討を行う。観測地点におけるリアルタイム液状化層厚推定には Towhataら³⁾の方法をSUPREME用に改良して活用する。また、この手法を採用する上で必要となる液状化層限界厚さについては、前出の約50,000本のボーリングデータを活用し、道路橋示方書⁴⁾の液状

化判定手法をSUPREME用に改良して⁵⁾、現実的な巨大地震動に対する液状化層厚計算結果を液状化層限界厚さと見立て、液状化検討対象地域全域について整備した。

2. 新SIセンサー観測地点におけるリアルタイム液状化層厚推定

観測地点で最大加速度とSI値が得られていれば、Towhataら³⁾の方法を用いて下式によりその地点の液状化層厚推定が可能である。

$$H = \frac{\pi}{2\gamma_{liq}} U \quad (1)$$

$$U = \frac{2SI^2}{A_{max}} \quad (2)$$

ここで、 H は推定液状化層厚(cm)、 γ_{liq} は地盤のせん断歪である。 U は液状化時の地表面地盤変位推定値(cm)で、式(2)を用いて推定する。 SI は観測データのSI値(cm/s)、 A_{max} は最大加速度(cm/s²)である。 λ は係数であり、地表付近では $\lambda=2.0$ とされている。式(1)では変位と液状化層厚を比例関係としているが、この関係式に従った場合、変位が生じると必ず液状化層があることになり、実用

上問題がある。現実的には、ある程度の歪、変位までは弾性範囲内で液状化しなくても生じると考えられるので、弾性範囲内の限界値として、弾性歪0.01、弾性変位5(cm)を仮定し、式(1)を以下のように変更して利用することとした。

$$H = \frac{\pi}{2\sqrt{\gamma_{liq}^2 - 0.01^2}}(U - 5) \quad (3)$$

液状化層厚推定法の新旧比較を図-1に示す。本論では、 γ_{liq} として0.01875を用いている。

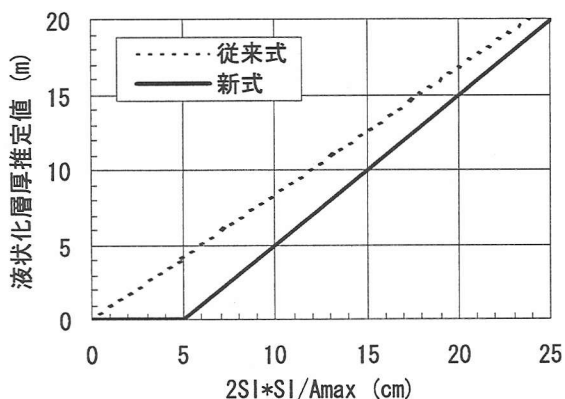


図-1 液状化推定法の新旧比較

3. 液状化層限界厚さの面的整備

ボーリングデータ等の地盤資料から液状化検討対象となる層を知ることができるが、Towhataら³⁾の方法では、液状化層厚推定値が検討対象層の合計厚さより大きくなる場合があり、この場合は、過剰と思われる厚さ分を除外することとしている。ここでは、この「液状化検討対象層の合計厚さ」を「液状化層限界厚さ」と呼ぶこととする。東京ガスでは、新SIセンサー地点そのものの地盤調査は行っていないが、供給エリア内の約50,000本の高密度なボーリングデータ利用可能であり、これらのデータを活用して、空間補間手法により液状化層限界厚さ分布の整備を行う。

道路橋示方書⁴⁾の液状化強度式を用いて、ボーリング地点のPL値を求め補間を行った結果を東京東部低地について図-2に示す。図-2は設計水平震度を一律0.4とした場合の分布であるが、東京東部低地の殆どの領域がPL>5となり、関東大地震の液状化履歴図⁶⁾(図-3)と比較すると過剰評価気味と思われる。一方、東京ガスでは、東京東部低地の砂質地盤についてN値と細粒分含有率の関係に関する研究及びこれら成果の実用化に向けた液状化強度式の改良について検討している⁵⁾。東京ガスで改良した液状化強度式を用いた場合のPL値分布図を図-4に示すが、図-4は図-3の液状化履歴図と良く対応

していると言える。この液状化強度式を用いて、ボーリング地点について設計水平震度一律0.4を与えた場合の液状化層厚を求め、面的補間を行った結果を図-5に示す。SUPREMEでは、図-5をリアルタイム液状化層厚推定における「限界液状化層厚」とすることとした。

4. リアルタイム液状化層厚分布推定

例えば表-1の図のようなケースでは、観測地点の推定液状化層厚から面的な液状化層厚分布の推定において様々な補間方法が考えられる。「これが正しい」と言える方法は無く、どの方法がもっともらしいかといった議論になるが、SUPREMEでは、液状化層厚率(液状化層限界厚さに対するリアルタイム推定液状化層厚の比)の線形補間(表-1では③の手法)を手始めにケーススタディを通じて妥当と思われる手法を検討している。

表-1 液状化層厚の空間補間方法

①	個々の推定地点で液状化対象層厚による足切りをした後、補間する。
②	補間した後、個々の補間地点で液状化対象層厚による足切りを行う。
③	個々の推定地点で液状化対象層厚による足切りをした後、液状化層限界厚に対する液状化層厚の比率を補間する。
④	③と手順を入れ替え、足切前液状化層厚の液状化層限界厚に対する比率を補間した上で、液状化層限界厚による足切りを行う。
⑤	変位Uの増幅度を整備しておき、増幅度を考慮した変位U(= $\lambda SI^2/A_{max}$)

ケーススタディを行うため、想定地震に対する地表面地震動データ²⁾を作成し、擬似的に観測地点に与えた。例として、図-6の立川断層地震(M7.0)を想定した場合の観測地点の液状化層厚率とその補間結果を図-7に示す。また、この地震に対して観測地点の液状化層厚と③の方法で求めた液状化層厚を図-8に重ねて例示する。

5. まとめ

東京ガスが持つ豊富な地盤・地形情報を活用し、GISを用いて液状化層厚を面的に推定する手法について検討を行った。今後は、各種手法内で用

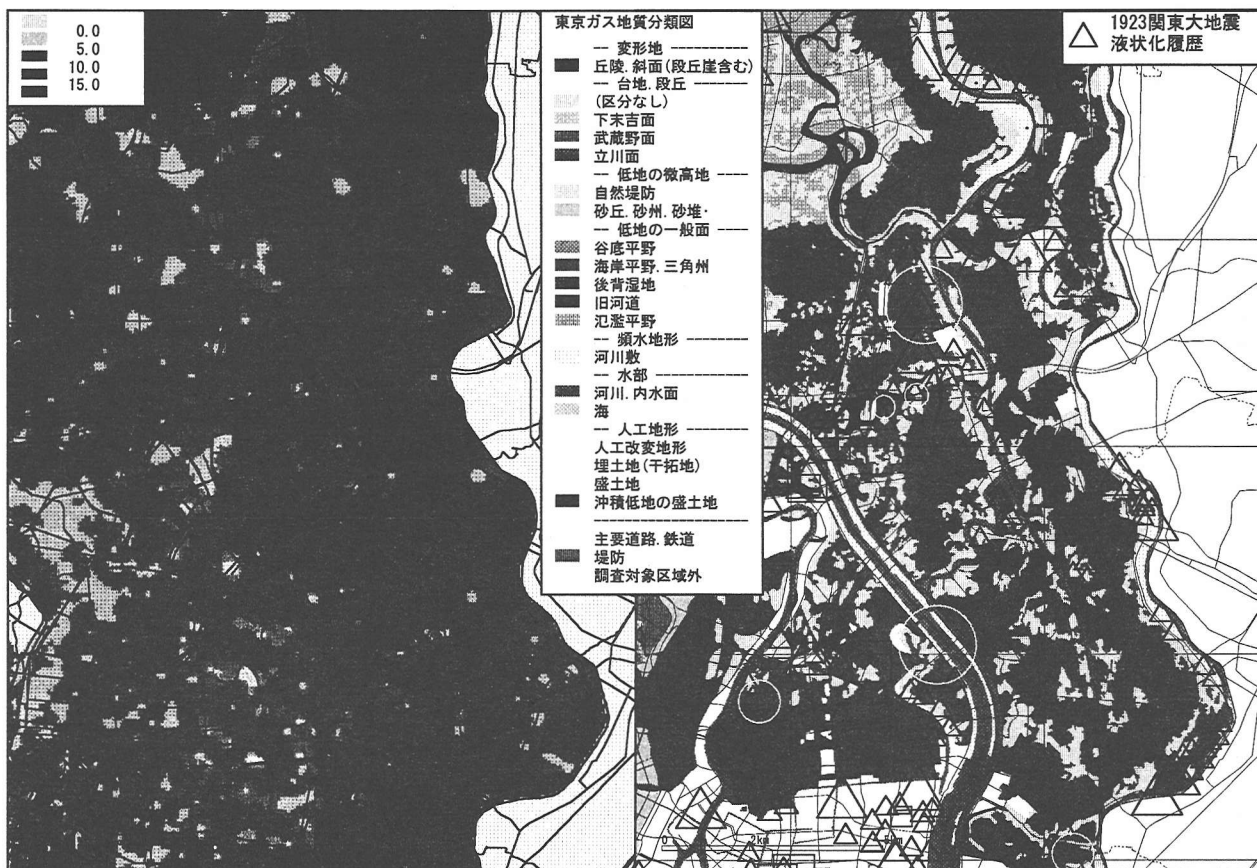


図-2 道路橋示方書⁴⁾の液状化強度式を用いたPL値分布(設計水平震度一律0.4、Type1)

図-3 地盤液状化履歴図⁶⁾

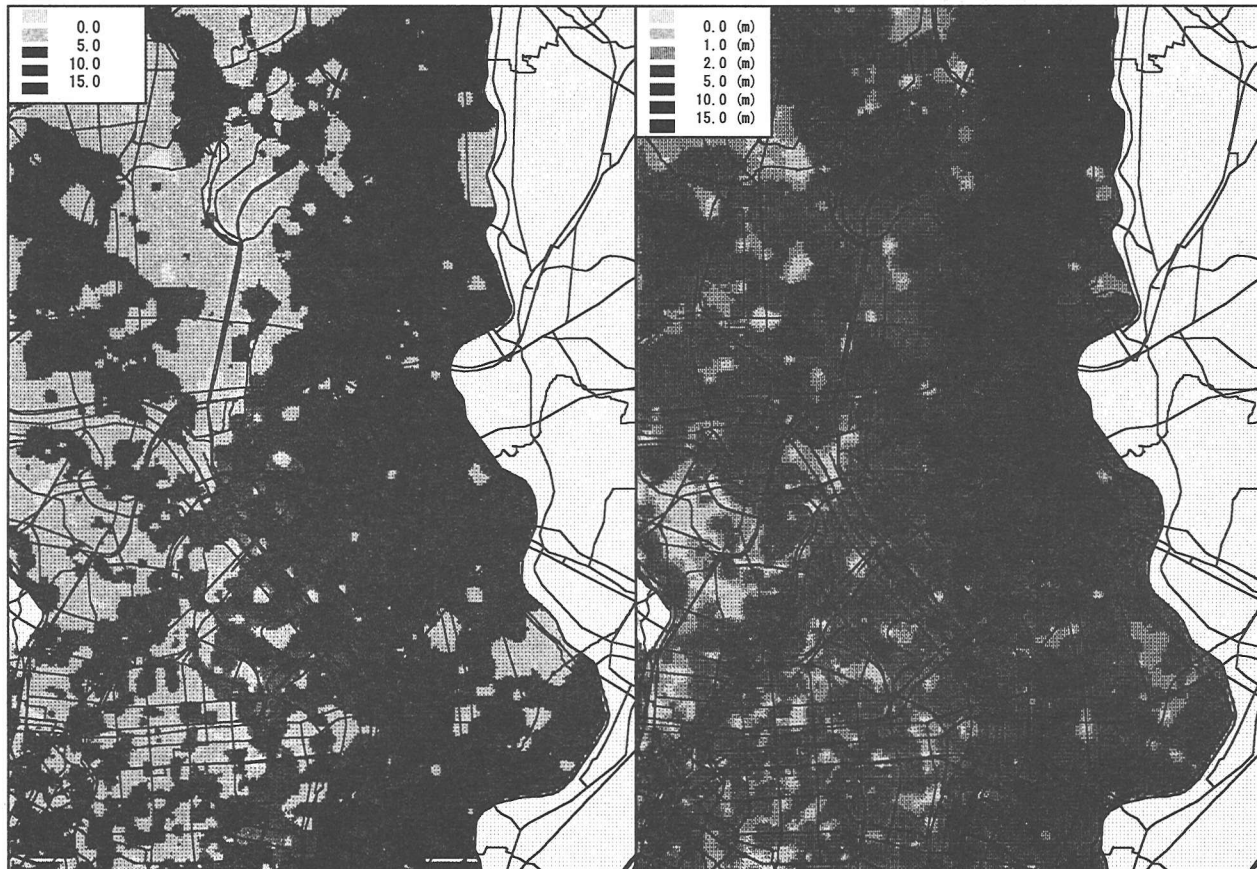


図-4 改良液状化強度式⁵⁾を用いたPL値分布(設計水平震度一律0.4、Type1)

図-5 改良液状化強度式⁵⁾を用いた液状化層厚分布(設計水平震度一律0.4、Type1)

いられる各パラメータについて、物理的な制約条件や影響度を整理し、ケーススタディを通して、より実情に合ったパラメータ値の設定を行っていききたい。

謝辞：本論文をまとめるにあたり、東洋大学・鈴木崇伸助教授、基礎地盤コンサルタンツ(株)・森本巖氏、亀井祐聡氏に貴重なご意見を頂きました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 清水善久：東京ガスにおけるリアルタイム地震防災システム，第2回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集ーリアルタイム地震防災の近未来の姿を探るー，pp127-134，2000.5
- 2) 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，2001.8
- 3) Towhata, et al: Effects of Subsurface Liquefaction on Earthquake Ground Motion at Surface, Proc. 14th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.739-742, 1997
- 4) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996

- 5) 亀井祐聡，森本巖，安田進，清水善久，小金丸健一，石田栄介：首都圏の低地部における液状化推定，第26回地震工学研究発表会，2001.8
- 6) 若松加寿江：日本の地盤液状化履歴図，東海大学出版会，1991

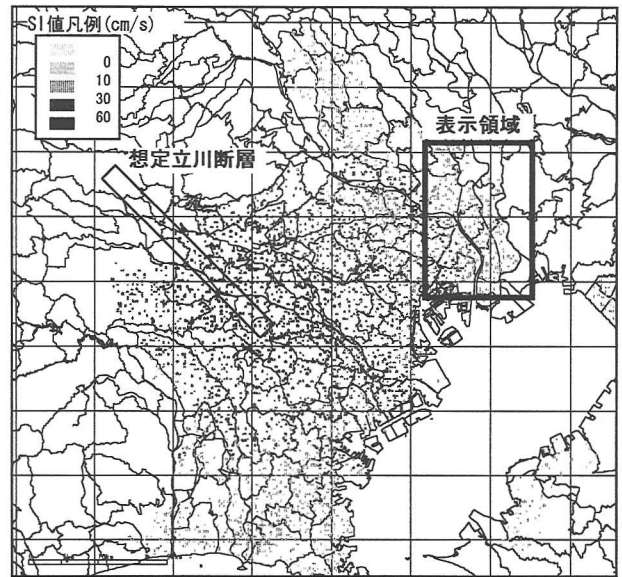


図-6 想定立川断層 (M7.0) と新SIセンサー地点 地表面SI値分布 (cm/s)

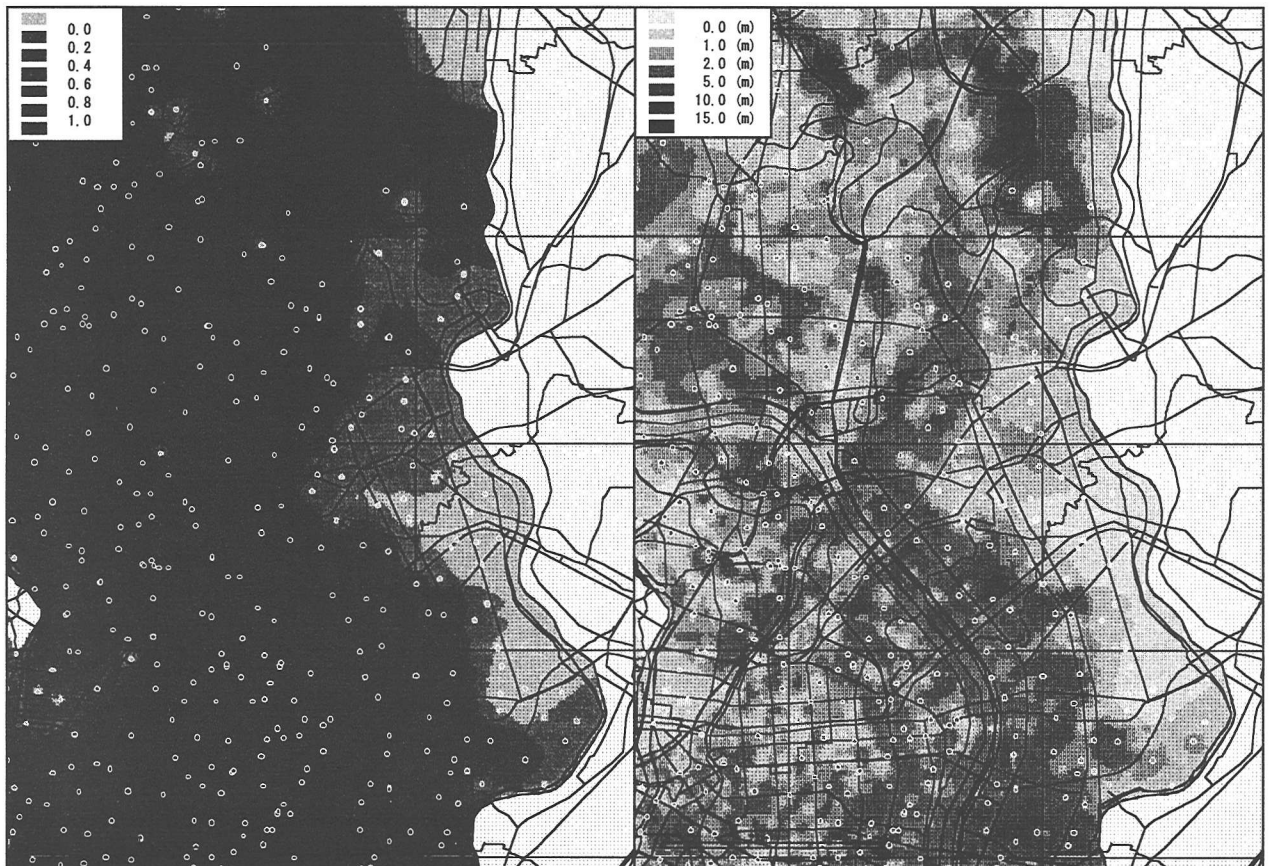


図-7 観測地点の液状化層厚率と液状化層厚率分布の例 (想定立川断層地震 (M7.0))

図-8 観測地点の液状化層厚と液状化層厚分布 (m) の例 (想定立川断層地震 (M7.0))