

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

石田 栄介¹・磯山 龍二¹・山崎 文雄²・清水 善久³・中山 渉³

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 東京大学生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場4-6-1)

³ 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)

東京ガスの新防災システム「SUPREME」における地震時の早期被害推定は、供給エリア内約3,700箇所の超高密度な新SIセンサー地点の観測値に基づいて行われる。しかし、地表に設置されたセンサーの観測値は、表層地盤における地震動増幅特性の影響を強く受けるので、観測地点以外の地震動を補間等で推定する場合は、場所による表層地盤増幅特性の違いを考慮する必要がある。東京ガスでは、表層地盤増幅特性を面的に把握するため、供給エリア内の約50,000本のボーリングデータ及び微地形分類をGISで整備している。本論では、ボーリングデータ及び微地形分類を用いた地盤増幅度の面的整備手法について検討を行う。

Key Words : SUPREME, GIS, Distribution of SI value amplifications, Real-time damage estimation, Surface distribution of seismic motion

1. はじめに

地震時のガス供給停止判断は、ガス導管網の被害状況に対応した形で、迅速かつ適切に行う必要がある。東京ガスの新防災システムSUPREME¹⁾は、約3,700(約1km²に一箇所)の地区ガバナに新SIセンサーを設置し、地震動強さの高密度遠隔監視を行なうものである。センサー地点の観測情報から地震動の空間分布および地盤変状を推定することにより、ガス導管網の被害程度を推定し、ガス供給停止判断や、初期復旧対策に活用する。

地震動強さは、地盤・地形性状の影響を強く受けるので、センサー地点の観測情報から地震動の空間分布を推定するためには、面的(もしくは空間的)な地盤・地形性状のデータが必要となる²⁾。また、埋設管の被害程度も地盤・地形状況によって大きく異なる³⁾。従って、地震直後に埋設管被害を迅速かつ精度良く推定するためには、対象地域全体にわたる地盤・地形情報を事前にデジタル整備しておき、これらの情報に基づいて、地盤の揺れ易さや埋設管被害の可能性について十分検討しておくことが重要である。

本論では、強震観測記録から計算した地盤増幅度と地盤情報との関係に関する分析結果⁴⁾等に基づき、強震観測地点以外の場所についても地盤情報を用いて地盤増幅度を推定し、さらに地形情報も

活用することにより、地盤増幅度の面的整備を行う。また、ケーススタディを通じて、SUPREMEにおけるリアルタイム被害推定への適用性について検討を行う。

2. SI値増幅度の面的分布整備

東京ガスでは、地盤情報として供給エリア内約50,000本のボーリングデータがデジタル化されており、活用可能である。また、地形情報についても「東京ガス地質分類図」が供給エリア全体にわたりポリゴンデータとしてデジタル整備されている。本論では、これらのデータを活用し、地盤増幅度の面的分布を求める手法として、表-1のような手順を考えた。各ステップにおける係数等の設定値は、今後変更できるようパラメータとして残している。

(1) 各層のS波速度の推定

文献4)では、K-NET地震記録を用いて地盤増幅度と平均S波速度との関係式を構築している。一方、デジタル整備されているボーリングデータをみると、N値と土質種別はほぼ全てのデータで整備されているが、K-NET及び横浜市強震観測ネットワーク以外のデータでS波速度が登録されているケースは非常に少ない。そこで、道路橋示方書⁵⁾の方法を用

表-1 SI値増幅度分布計算パラメーター一覧

ステップ	推定式※1	パラメータ	値
1	N値及び土質種別より、 S波速度 $V_{s,i,j}$ を計算 $V_{s,i,j} = 100 \cdot N_{i,j}^{1/3}$ (粘性土, $1 \leq N_j \leq 25$) $V_{s,i,j} = 80 \cdot N_{i,j}^{1/3}$ (砂質土, $1 \leq N_j \leq 50$)		
2	深さ H mまでのS波速度 $V_{s,i,j}$ より、平均S波速度 $AVS_{i,H}$ を計算 $AVS_{i,H} = \sum_j H_{i,j} / \sum_j (H_{i,j} / V_{s,i,j})$ or $AVS_{i,H} = \sum_j (H_{i,j} \cdot V_{s,i,j}) / \sum_j H_{i,j}$	深さ H (m) 平均方法 $avsflg$ 0: 走時による計算 1: 層厚重み平均 不足深さ処理 $depflg$ 0: 調査深さまでとする 1: 最下層を H まで延長	20 0 1
3	平均S波速度 $AVS_{i,H}$ より、 SI値増幅度 λ_i を計算 $\log_{10} \lambda_j = a \cdot \log_{10}(AVS_{i,H}) + b$	傾き a 切片 b	-0.785 2.18
4	ボーリング地点のSI値 増幅度 λ_i より、エリア 内の各メッシュSI値 増幅度 λ を補間 $\lambda = \sum_i ((1/r_i^2) \cdot \lambda_i) / \sum_i (1/r_i^2)$ or $\log_{10} \lambda = \sum_i ((1/r_i^2) \cdot \log_{10} \lambda_i) / \sum_i (1/r_i^2)$	計算メッシュサイズ sz (m) 補間計算場 $logflg$ 0: NORMAL 1: LOG 距離に加える深さ D (m) 最大ボーリング数 N_{max} 最大距離 R_{max} (m) 地形グループ GR	50 1 1 5 5,000 ※2

※1 i はボーリング番号、 j は各ボーリングの層番号を表している

※2 地形グループは、表-2及び図-3参照

いて、下式によりN値と土質種別から各層のS波速度を推定することとした。

$$V_{s,i,j} = 100 \cdot N_{i,j}^{1/3} \text{ (粘性土, } 1 \leq N_j \leq 25) \quad (1)$$

$$V_{s,i,j} = 80 \cdot N_{i,j}^{1/3} \text{ (砂質土, } 1 \leq N_j \leq 50) \quad (2)$$

ここで、 $V_{s,i,j}$ は i 地点・ j 層の推定S波速度(m/s)、 $N_{i,j}$ は i 地点・ j 層のN値を表している。

(2) 平均S波速度の推定

各層のS波速度からその地点の平均S波速度を計算する方法としては、層厚による重み付平均や走時による計算方法が取られることが多い。ここでは、下式に示す深さ20mまでの走時を用いた平均S波速度を計算する。

$$AVS_{i,20} = \sum_j H_{i,j} / \sum_j (H_{i,j} / V_{s,i,j}) \quad (3)$$

ここで、 $AVS_{i,20}$ は i 地点における深さ20mまでの走時による平均S波速度(m/s)、 $H_{i,j}$ は i 地点・ j 層の層厚(m)、 $V_{s,i,j}$ は i 地点・ j 層のS波速度(m/s)、 $\sum_j$ は深度20mまでの各層 j に関する合計を表している。なお、ボーリングデータの中には、調査深度が深さ20mまで達していないケースがあるが、このような場合、ここでは調査深度以深から20mまでの層情報として最下層と同じ情報を仮定し与えている。

PS検層データが整備されている横浜市強震観測ネットワーク150地点について、PS検層から求めた実際の平均S波速度とN値及び土質種別から推定した平均S波速度を図-1に比較する。相関係数は0.87であり、両者は良く対応している。

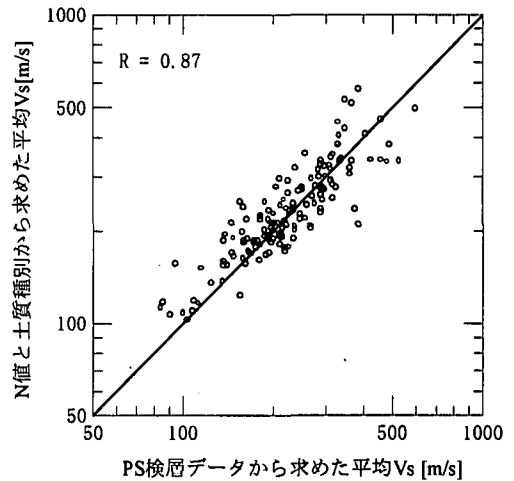


図-1 PS検層、N値各々に基づく平均Vsの比較

(3) SI値増幅度の推定

文献4)の下式を用いてSI値増幅度を推定する。

$$\log_{10} \lambda_j = -0.785 \cdot \log_{10}(AVS_{i,20}) + 2.18 \quad (4)$$

ここで、 λ_j は i 地点のSI値増幅度、 $AVS_{i,20}$ は i 地点における深さ20mまでの走時による平均S波速度(m/s)である。基準となる岩盤の固さを平均S波速度600(m/s)と定義し切片の値を調節している。

PS検層データが整備されている横浜市強震観測ネットワーク150地点について、観測記録に基づくSI値増幅度と深さ20mまでの走時による平均S波速度の関係を図-2に示し、推定式(4)を重ねた。推定式自体は、K-NET観測記録に基づいて作成されたものだが、横浜市強震観測地点においても相関係数は0.65であり、比較的良い対応を示していることが分かる。

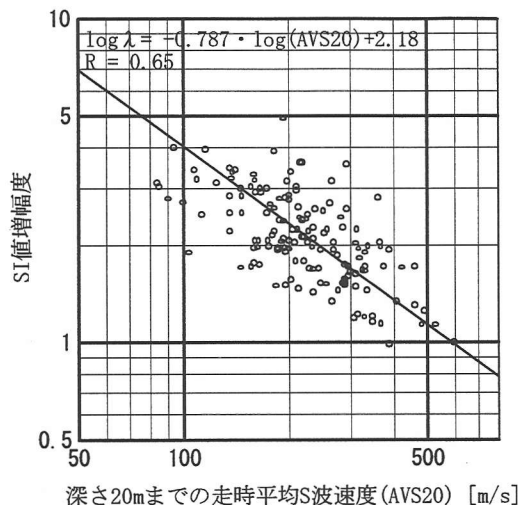


図-2 観測SI値増幅度と平均S波速度の関係

表-2 SI値増幅度分布補間における地形グループ

地形グループ	地形区分	
台地グループ (GR1)	台地-区分なし	丘陵, 斜面
	台地-下末吉面	(段丘, 崖含む)
	台地-武蔵野面	
	台地-立川面	人工改変地形
低地グループ (GR2)	自然堤防	河川敷
	砂丘, 砂州, 砂堆	河川, 内水面
	海岸平野, 三角州	主要道路, 鉄道
	後背湿地	堤防
	旧河道	埋土地(干拓地)
	氾濫平野	
	盛土地	谷底平野
対象外 (GRO)	海	調査対象区域外

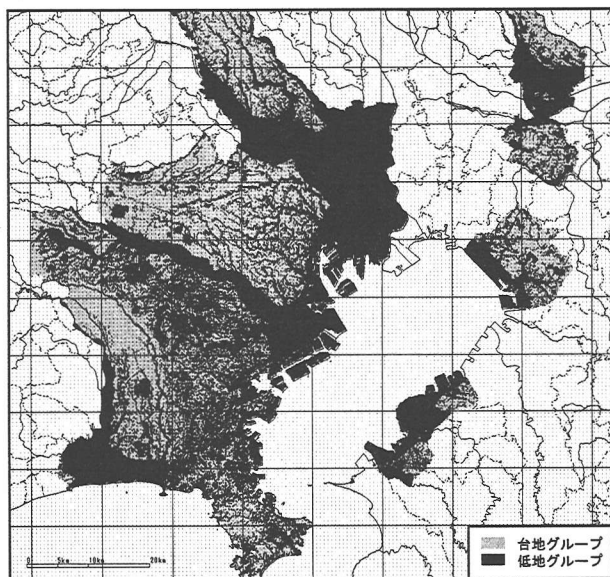


図-3 東京ガス供給エリアの地形グループ

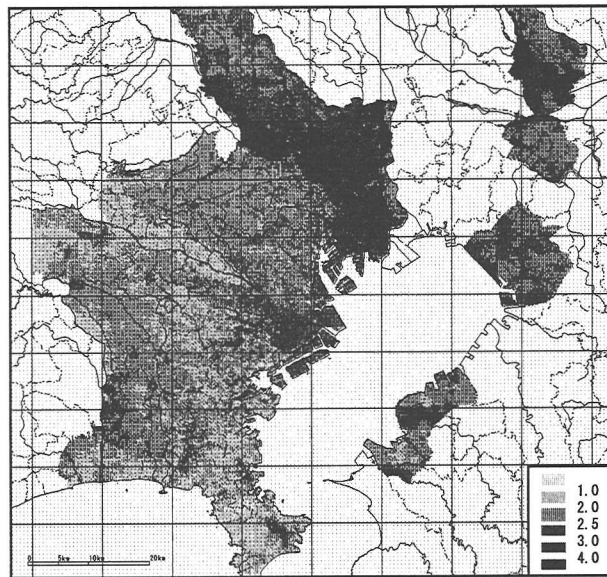


図-4 東京ガス供給エリアの面的な地盤増幅度分布

(4) SI値増幅度の面的補間

式(4)により求めた各ボーリング地点のSI値増幅度に基づき、補間手法を用いて面的なSI値増幅度の整備を行う。補間手法は、参照するボーリング地点*i*から計算地点までの距離 r_i に対し、下式に示す $1/r_i^2$ の重み付き平均を用い、供給エリア内の50mメッシュ中心点全地点について計算を行う。

$$y = \sum_i ((1/r_i^2) \cdot y_i) / \sum_i (1/r_i^2) \quad (5)$$

ここで、 y は補間値、 y_i は参照地点*i*における参照値、 r_i は参照地点*i*から補間計算地点までの距離(m)、 $\sum_i$ は補間計算に用いる参照地点*i*に関する合計を表している。ここでは、式(4)で計算したボーリング地点毎のSI値増幅度の対数値 $\log_{10} \lambda_i$ を y_i に代入し、 $\log_{10} \lambda$ を y として計算している。 λ は補間結果の増幅度である。今回の計算では、

地形グループを表-2のように台地と低地に大きくグループ分けし、グループ地形毎に補間を行っている。計算は50mメッシュ単位で行うが、谷地形を取りこぼしなく表現するために、 2×2 分割した25mメッシュで谷と評価されるメッシュを1つでも含む50mメッシュは谷と評価することとし、谷地形を若干広めに評価している。図-3に供給エリア内の地形グループを示す。補間計算には、5km以内の範囲で同地形の最寄り5地点までを用いることとした。但し、5km以内で2地点に満たなかった場合は、5kmを超えてでも最低2地点の参照値を確保することとした。また、補間計算地点と参照地点が重なった場合に分母 r_i が0となることを防ぐため、深さ1m地点からの距離を r_i としている。供給エリア全体の補間結果を図-4に示す。

3. 地表面SI値分布推定

SUPREMEでは、図-5に示すようなフローに従い、地盤の揺れ易さを考慮した地表面SI値の面的補間を行う。すなわち、観測SI値を地盤増幅度で割ることにより共通基盤SI値とし、式(5)と同じ方法で供給エリア内全50mメッシュ中心点において共通基盤SI値の補間計算を行い、地盤増幅度を掛け戻すことによって地表面SI値分布の面的推定を行う。

想定地震に対して距離減衰式と地盤増幅度の掛け合わせで観測SI値を擬似的に作成し、この値を用いてSUPREMEのケーススタディを行った。想定立川断層地震(M7.0)を与えた場合の共通基盤SI値分布の例を図-6に示す。図中の○マークは、観測地点の値である。SUPREMEで用いる地盤増幅度と同じ

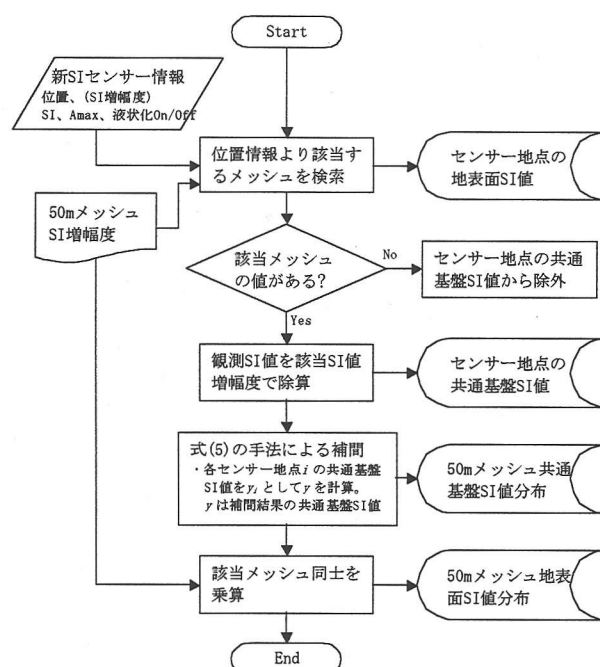


図-5 地表面SI値分布補間推定フロー

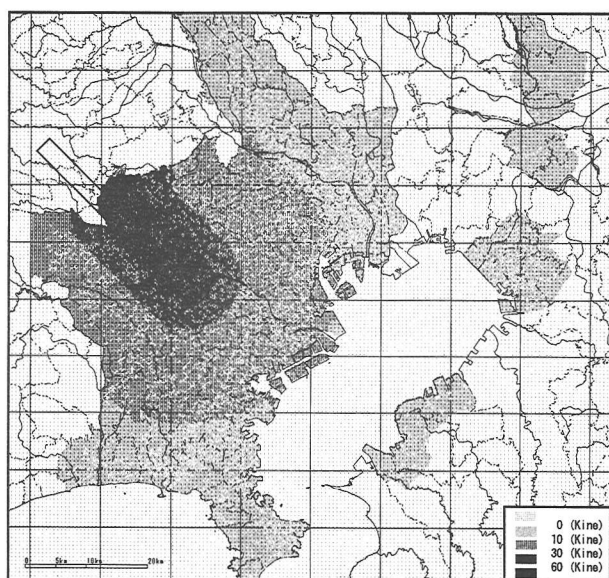


図-6 想定立川地震(M7.0)と基盤面SI値分布

増幅度を擬似観測SI値作成に用いたため、共通基盤SI値分布の補間結果は、元の距離減衰式の分布形状をほぼ再現している。このケースにおける地表面SI値分布の計算結果を図-7に示す。

4. まとめ

地盤・地形情報を活用し、GISを用いて地盤増幅度を面的に整備する手法について検討を行った。また、想定地震を用いてSUPREMEのケーススタディを行うシステムを構築した。今後は、液状化分布推定等と組合せ、ガス導管網のリアルタイム被害推定システムへと展開していく予定である。各種想定地震等に対し、様々なケーススタディを通じて、より実情に合ったパラメータの設定やシステムの洗練を図り、防災訓練や事前の耐震対策等にも役立てていきたい。

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，清水善久，中山渉，山崎文雄，阿部進，鈴木誠：横浜市強震記録を用いた地盤増幅度の検討ーボーリングデータに基づく地盤ゾーニングの試みー，第25回 土木学会地震工学研究発表会，第1分冊，pp. 149-152，1999.7.30
- 3) 磯山龍二，石田栄介，湯根清二，白水暢：水道管路の地震被害予測に関する研究，水道協会雑誌，第67巻，第2号(第761号)，pp. 25-40，1998.2
- 4) 田村勇，山崎文雄：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，第55回年次学術講演会論文集，第I部門，I-B357，2000
- 5) (社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996

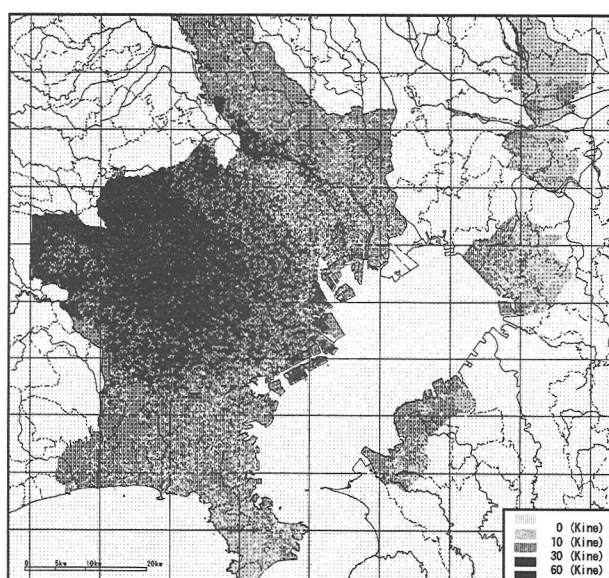


図-7 地表面SI値分布(想定立川地震(M7.0))