

横浜市強震記録を用いた地盤増幅度の検討 — ボーリングデータに基づく地盤ゾーニングの試み —

石田 栄介¹・磯山 龍二¹・清水 善久²・中山 渉²・山崎 文雄³・阿部 進⁴・鈴木 誠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 東京ガス(株) 防災・供給センター (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

³ 正会員 東京大学生産研究所 (〒106-8558 東京都港区六本木7-22-1)

⁴ 正会員 横浜市総務局災害対策室 (〒231-0017 横浜市中区港町1-1)

東京ガスが設置を進めている高密度地震計ネットワークSUPREMEにおいて、地震動の空間分布を推定するには、地形・地盤ごとの適切な揺れ易さの評価手法の確立が必要である。このため、横浜市の強震ネットワークで観測された強震記録とその地点の地形・地盤条件との比較検討を行っている。本論文では、横浜市の強震計ネットワークにおける地盤の揺れ易さと平均S波速度との関係を、横浜市の約一万本のボーリング地点に適用し、地盤の揺れ易さと地形性状との関係をGIS上で分析する。また、揺れ易さの周波数特性に関して観測記録とボーリング情報の比較検討を行なう。これらを通じて、地盤・地形デジタル情報を用いた新しい地点増幅度評価方法および地盤ゾーニング方法の基礎検討を行なう。

Key Words: seismic micro zoning, GIS, land condition, soil type, site amplification, Yokohama array

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SUPREMEは、約3,600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¹⁾。センサーの地点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、センサーの地点情報から地震動の空間分布を推定するためには、地盤・地形性状のデータが必要となる。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²⁾。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、横浜市強震計ネットワーク(150地点)観測記録と東京ガスが整備した地盤・地形デジタル情報を用いて、地盤・地形性状と地点の揺れ易さとの関係をGIS上で分析し、地盤・地形データの効果的な活用方法を検討する。

2. GIS分析による地形とSI値増幅度の関係

横浜市強震計ネットワーク150地点について、観測記録から求めたSI値増幅度と地形分類との相関関係を検討した結果、明瞭な関係を得るには至らなかった³⁾。一方、150地点の平均S波速度とSI値増幅度との間にはある程度の相関が得られた⁴⁾。そこで本論では、横浜市内のボーリングデータを用いてSI値増幅度を推定し、推定SI値増幅度と地形分類との関係について分析を行なった。文献⁴⁾では、深さ10mまでの平均S波速度がSI値増幅度と最も高い相関($R=0.69$)を示しており、式(1)を得ている。

$$\log \lambda = -0.51 \cdot \log(AVS10) + 1.50 \pm 0.10 \quad (1)$$

ここで、 λ は推定SI値増幅度であり、S波速度が最大であるiz02地点($V_s=610[m/s]$)からの倍率で表現されている。AVS10は深さ10mまでの平均S波速度である。

一方、東京ガスでは、SUPREMEの構築を目指した地盤データの収集整備を進めている。供給エリア内で約50,000本、横浜市内だけでも約10,000本のボーリングデータ(横浜市整備のデジタルデータ)が防災GISに組み込まれており、N値および各層の土質情報が利用可能である。このN値と土質情報を用いて、文献5)の計算式(2)~(3)および式(4)を用いてAVS10を計算した。

$$V_{si} = 100 \cdot N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 25) \quad (2)$$

$$V_{si} = 80 \cdot N_i^{1/3} \quad (1 \leq N_i \leq 50) \quad (3)$$

$$AVS10 = \Sigma (V_{si} \cdot H_i) / \Sigma H_i \quad (4)$$

ここで、 N_i は各深度*i*におけるN値、 V_{si} はN値に基づく推定S波速度、 H_i は各深度の分担層厚、 Σ は調査開始深度から深度10mまでの合計を表している。150地点について、実際のPS検層データを用いた場合と、N値および土質種別を用いた場合のAVS10の比較を図-1に示すが、両者は良く対応している。

横浜市全ボーリング地点について計算したAVS10を式(1)に代入し、SI値増幅度を求めた。この結果を地図にプロットし、東京ガス地質分類図および150地点の観測記録に基づくSI値増幅度と重ねて図-2に示す。図-2より、ボーリング地点の計算増幅度と地形分類との間には、定性的ではあるものの、空間分布にある種の対応が見て取れる。一方、150地点の観測増幅度とボーリング地点の計算増幅度の分布を比較すると、150地点各点の極々近傍のみが同色を示し、少し離れただけで増幅度が変わってしまう地点が多い。このことから、150地点の観測増幅度と地形分類を直接比較することが困難である理由として、地形の空間変化の激しさ、データの空間誤差、SI増幅度のばらつき等に対して、地点数が150では少な過ぎたのではないかと予想される。

図-3は、ボーリングデータから求めたSI値増幅度を地形分類毎の累積率の形で示している。図-3では、累積率0.5の位置が各地形分類の増幅度中央値であるが、中央値や平均値は2.0~2.3の狭い範囲内に納まってしまい、地形分類間の相違を論じることは難しい。しかし、例えば、SI値増幅度2.5以上の割合を比べてみると、「氾濫平野」、「河川・内水面」、「埋立地」、「海岸平野・三角州」は、3割以上であるのに対し、「丘陵・斜面」、「台地・段丘」、「人工改変地形」は、1割程度しかなく、図-2の空間対応関係が図-3からも読み取ることができる。

また、「丘陵・斜面」と「人工改変地形」、「谷底平野」と「盛土地」は、図-3において類似した曲線を示しているが、図-2を見ても、空間分布にある種の類似性が見ら

れる。このことから、東京ガス地質分類図では、丘陵地に対する改変を「人工改変地形」、谷に対する改変を「盛土地」と単純に分類していることが予想され、人工改変の増幅度への影響を見るためには、より細かい分類が必要になるものと思われる。

また、ボーリングデータのSI値増幅度分布を見ると、同じ地形分類でも地域によって差が出ていることが分かる。例えば、図-2において、西区周辺の「海岸平野」では増幅度2.5以上の点が多く分布しているが、鶴見区周辺では増幅度2.5以上になっている点はそれほど多くない。このように、ボーリングデータの増幅度分布を参考にしながら、同じ地形分類でも地域によって増幅度の設定値に差をつけていくことも必要と思われる。

3. 増幅度の周波数特性の検討

次に、横浜市強震計ネットワークの150地点について、PS検層データに基づく理論伝達関数と観測波形に基づく増幅度の周波数特性に関する検討を行なう。図-4に地点情報表示の一例を示すが、(a)は観測地点周辺の地形条件、(b)はボーリング柱状図・N値・PS検層情報である。図-4(c)は、周波数特性情報で、左側は北南方向、右側は東西方向に関する情報であり、2~4段目は、文献3)中の9地震の観測記録の加速度フーリエスペクトルをiz02地点に対する比の形で表しており、1段目は2~4段目を平均したものである(spec-ratio-ave)。また、図-4(c)の1段目には、PS検層データに基づく伝達関数(tran-ratio)、および、文献3)の地点係数スペクトル(coef-ratio)についても、iz02地点からの増幅度の形に変換して重ねている。図-4はkg08地点についての例であるが、同様の図を150地点全点について整備している。

図-4(c)2~4段目により、周波数特性を岩盤からの比として求めた場合、地震によらず非常に安定した形状を示すことが見て取れる。これは、150地点全体にわたり確認されている。ただし、3段目の1998年5月3日の地震については、表示周波数域全体にわたって他の地震より小さい値を示している。この地震は、震源が伊豆半島東方沖であり、iz02地点と対象地点の震源からの距離の大小関係が逆転していることや表面波の影響⁴⁾等が原因として考えられる。

図-4(c)の1段目を見ると、文献3)の地点係数スペクトル比は、平均フーリエスペクトル比をさらに平滑化したような対応関係にあるが、この関係は150地点全体について言える。距離減衰の影響を無視できる程度2地点間の距離が近い場合は、どちらの方法を使っても、類似した結果が得られることがわかる。

次に、平均フーリエスペクトル比と伝達関数比について考察する。図-4(c)1段目は、高次までにわたって良く対応している例であるが、150地点全体でみても、4~5割の地点について、1次ピーク周期の対応もしくは周波数域全体にわたる傾向の対応が見られる。しかし、明ら

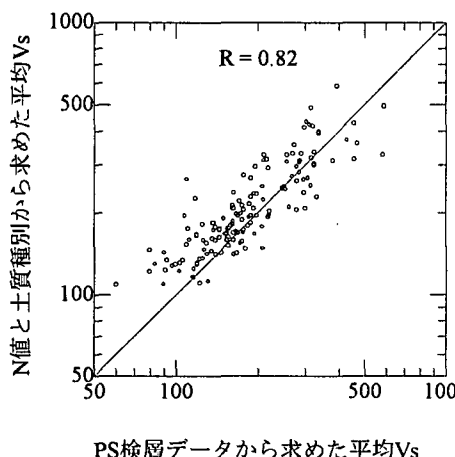


図-1 使用データの違いによる平均S波速度の比較

かに対応していない地点も2～3割ある。これは、ボーリング深さが十分でない、局所的な地形の影響を受けている、などが主な原因として考えられる。今後、個別により詳細な検討を行なっていく予定である。

4. まとめ

SUPREMEでは、約3,600地点の地震波形記録を利

用できるので、設置後中小地震記録が蓄積されてくれば、実観測記録を基に各地点の増幅度データを整備できる。しかし、全地点の新SIセンサーが設置完了するのは8年後であり、その後、中小地震を蓄積していくまでには時間がかかる。それまで、ボーリングデータを用いて計算した増幅度を仮設定しておくことが有効と思われる。また、3,600地点SIセンサーの平均分担面積は、約1km²であり、よりきめこまかい増幅度分布を設定

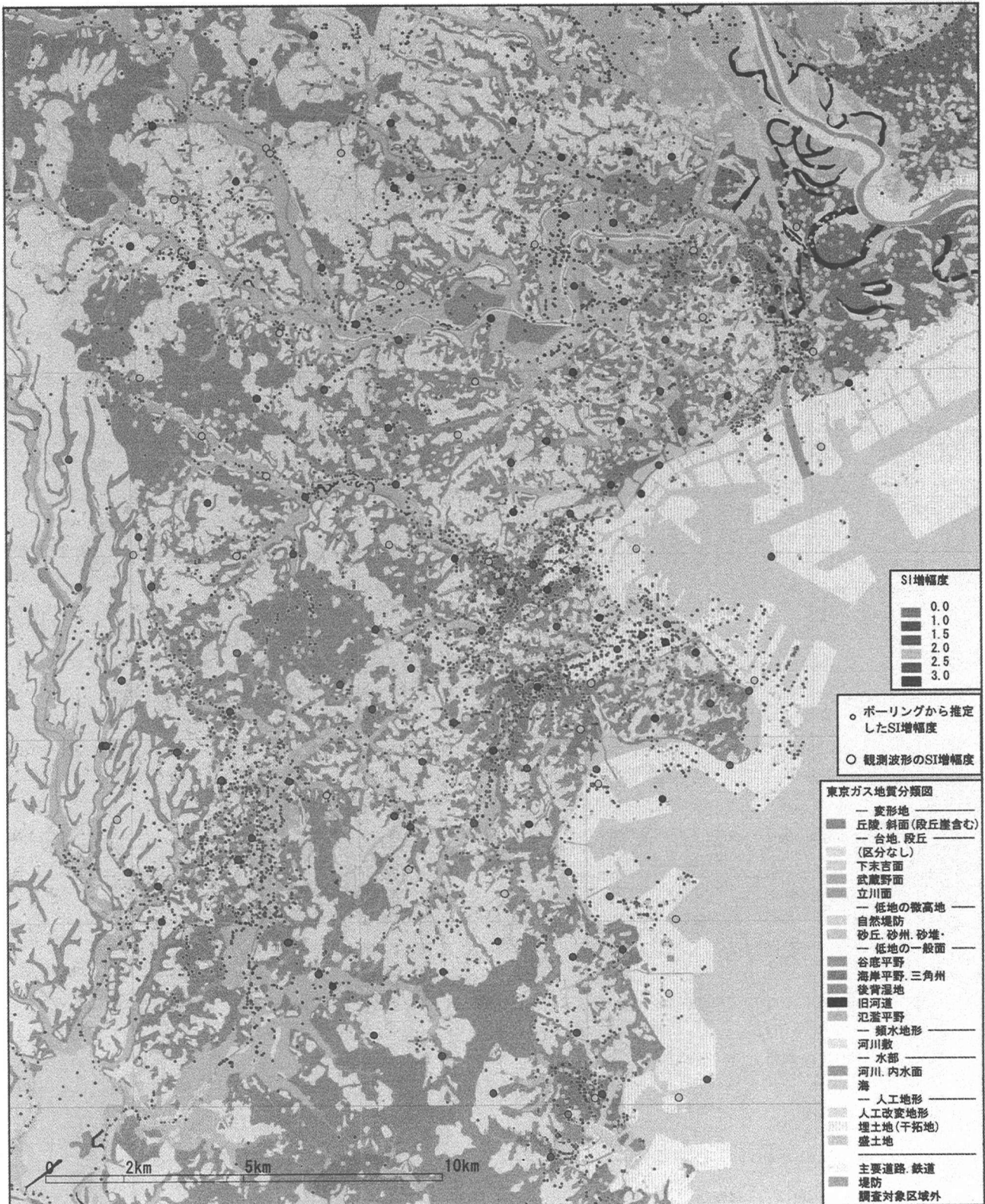


図-2 東京ガス地質分類図と観測地点・ボーリング地点のSI増幅度

するためにも、50,000本のボーリングデータは有用である。さらに、各センサー地点の分担エリアを合理的に設定するためには、ボーリングデータと地形データを組合せた地盤ゾーニング方法を検討していく必要がある。

本論における一連の分析では、横浜市強震計ネットワークの高密度をもってしても、地形分類と増幅度の関係を見出すことは困難であった。しかし、さらに高密度なボーリングデータを用いてGISで分析することにより、地形分類と増幅度の分布関係が全くの無相関では無いことが示された。また、平均値議論では地形間の増幅度特性は明瞭に出てこなかったが、累積率という視点を用いることで、GISと同様に地形間の増幅特性の差を示すことができた。

今後は、地点増幅度の周波数特性とボーリングデータとの関係をより詳細に検討し、ボーリングデータから地点増幅度特性を推定する場合、ボーリングデータ内容や周辺地形状況等が推定精度に与える影響を検討するとともに、地形および地盤情報を組合せた詳細な地盤ゾーニング手法を構築していきたい。

参考文献

- 1) 清水善久：東京ガスの新リアルタイム防災システム-SUPREME-と今後の展望，第1回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集，pp.13-18，土木学会，1999
- 2) 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
- 3) 山崎文雄，山内洋志，清水善久，中山渉，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地形・地盤分類との比較ー，第25回地震工学研究発表会，1999

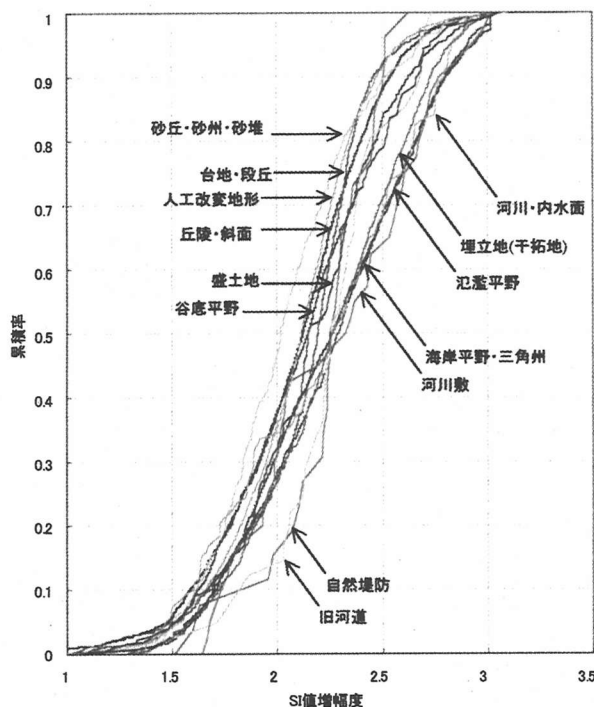
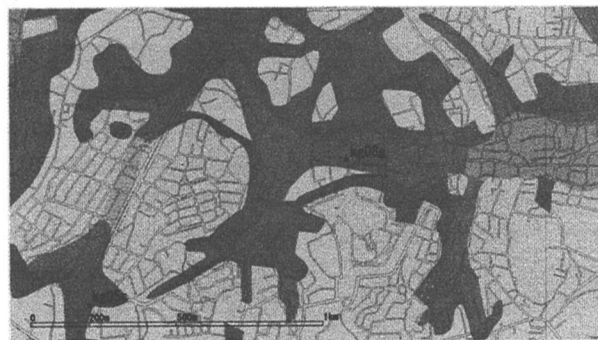
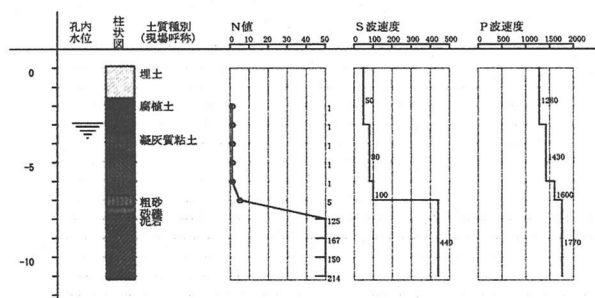


図-3 地形分類ごとのSI値増幅度累積率

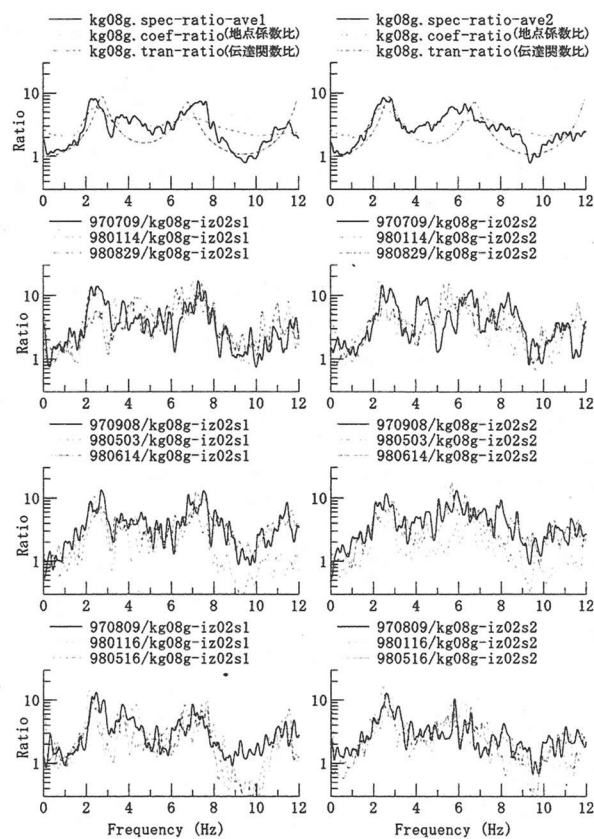
- 4) 末富岩雄，吉田望，清水善久，中山渉，山崎文雄，阿部進，鈴木誠：横浜市強震記録を用いた地盤増幅度の検討ー卓越周期との関係ー，第25回地震工学研究発表会，1999
- 5) 日本道路協会：道路橋示方書(V 耐震設計編)・同解説，p.43，1996



(a) 観測地点周辺の地形情報



(b) 観測地点のボーリング情報



(c) 観測地点の増幅度の周波数特性

図-4 地点増幅度の周波数特性の表示例