

広域を対象とした表層地盤の地震応答評価に関する検討（その1） ボーリング空間密度による応答の差異とその評価方法

鹿島建設(株) 正会員 ○高谷周平 飯山かほり 白鷺 卓 山田岳峰
産業技術総合研究所 非会員 宮地良典 野々垣 進

1. はじめに

ある地域を対象に地盤の地震災害リスクをシミュレーションで評価するためには、地盤の解析モデルを作成する必要がある。モデル作成にはボーリングデータが活用されることが多く、リスク評価対象位置のモデルは既存ボーリングデータを補間して得るのが一般的である^{例えば1)}。一方で、適切な数値モデルを得るにはどの程度の土質構造が必要かはよくわからないのが実状であるため、対象地域において、どの領域の地盤情報を優先的に得るのがよいかを事前に把握できることは有用である。そこで本研究では、ある地域を対象にボーリング情報の空間密度の違いによる応答の違いを定性的に調べ、これを評価する指標を検討した。

2. 検証用モデルの作成

つくば市内南北 24km×東西 20km のエリアに存在する 949 本のボーリングデータ^{例えば2)}を利用し、応答評価位置（以下、 $\mathbf{X}_T$ ）は全てのボーリングデータに空間的に内包される 250m 間隔のグリッド位置（南北 22km×東西 17.5km, 計 5813 点）とした。全てのボーリングを考慮する場合（ケース①）に対してボーリング数を 75%（ケース②）、50%（ケース③）、25%（ケース④）にランダムに減じた比較用モデルを作成した。本研究では、ボーリングの空間密度を表す指標として式(1)の SD を導入した。

$$SD = \sum_{i=1}^{N_B} \frac{1}{|\mathbf{X}_T - \mathbf{X}_{Bi}|} \quad (1)$$

ただし、 $\mathbf{X}_{Bi}$ 、 N_B は $\mathbf{X}_T$ から半径 $R \leq 5$ km に存在する i 番目ボーリング位置ベクトルとボーリング数である。 $|\mathbf{X}_T - \mathbf{X}_{Bi}|$ が 1m 未満の場合は $|\mathbf{X}_T - \mathbf{X}_{Bi}| = 1$ とした。図-1 に SD で色分けした $\mathbf{X}_T$ とボーリング位置を示す。

解析モデルは次の手順で作成した。1) 既存ボーリングをそれぞれ鉛直方向にグリッド化し、各グリッドに N 値や土質区分情報を保持させる。2) 位置 $\mathbf{X}_T$ 直下の地盤を地表標高から基盤面まで鉛直方向にグリッド化する。各グリッドの土質区分は、手順 1) の最近傍グリッドの土質区分を適用し、 N 値は $\mathbf{X}_T$ から半径 5 km 内のボーリングの同一土質区分を持つ手順 1) のグリッドの N 値から逆距離加重法で算出する。3) $\mathbf{X}_T$ の各グリッドに対して Ramberg-Osgood モデル³⁾のパラメータを計算する。なお、 $\mathbf{X}_T$ における水位はボーリングデータの孔内水位から逆距離加重法で補間して求め、これを有効上載圧の算定に用いた。また、 $\mathbf{X}_T$ における解析モデル下端は、グリッド化した N 値を最下端から走査した際に最初に 50 未満となる位置とした。グリッド化の間隔は、本研究では手順 1) の既存ボーリングで 2m, 手順 2) の評価位置で 1m としている。

3. ボーリング空間密度の違いによる応答の差異と新たな指標の導入

ケース①～④に対してそれぞれ解析モデルを作成し、茨城県南部地震の工学基盤波をモデル下端に入力して、 $\mathbf{X}_T$ における地表加速度の最大値（以下、 PGA ）を求めた。ケース①の PGA に対する他ケースの PGA の差分の絶対値 ($| \Delta PGA |$) を図-2 に示す。ボーリング密度が低くなるに従い $| \Delta PGA |$ が増大する様子がわかるが、対象エリアでは図-2 と図-1 には相関性が見られないこともわかる。より精度の高い応答値を得ようとするとき、通常であればボーリング空間密度が低い領域の地下構造情報の取得を優先したくなるが、 $\mathbf{X}_T$ 周辺の土質構造の変化の度合いも考慮すべきと考えられる。そこで、 $\mathbf{X}_T$ 近傍のボーリング空間密度と土質構造の類似性、双方の特性を有する指標として、 SD と次式のコサイン類似度 CS との積 I_{sc} を導入し、各 $\mathbf{X}_T$ に対して算出した。

$$CS(\mathbf{v}, \mathbf{w}) = \frac{\mathbf{v} \cdot \mathbf{w}}{\|\mathbf{v}\| \|\mathbf{w}\|} \quad (2)$$

ここに、 $\mathbf{v}$, $\mathbf{w}$ は $\mathbf{X}_T$ から最も近い 2 つのボーリングの特性を表す列ベクトルであり、ベクトル長は土質区分数
キーワード 地盤モデル, ボーリングデータ, スパース性, 不確定性, リスク評価

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

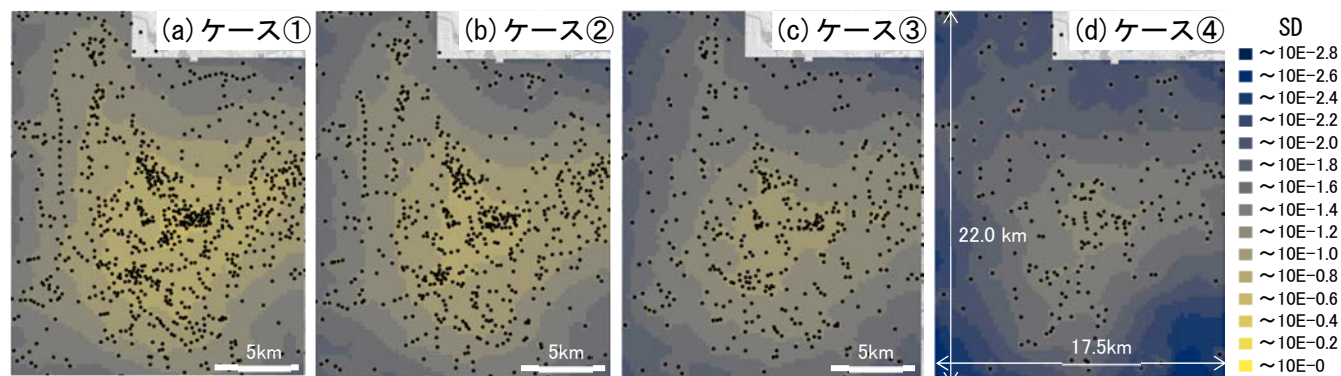


図-1 各ケースにおける評価対象位置の SD 値およびボーリングデータ位置（ボーリングデータは黒点）

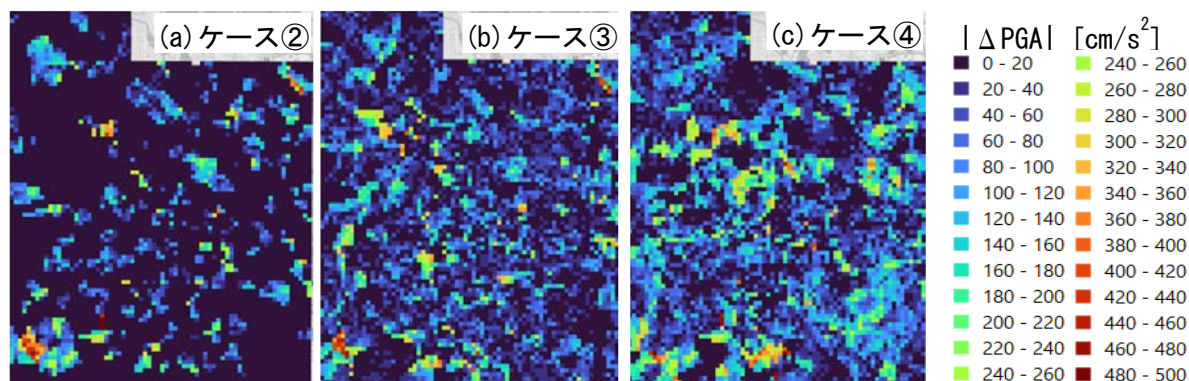


図-2 各応答評価位置 X_T における $|\Delta PGA|$ の空間分布

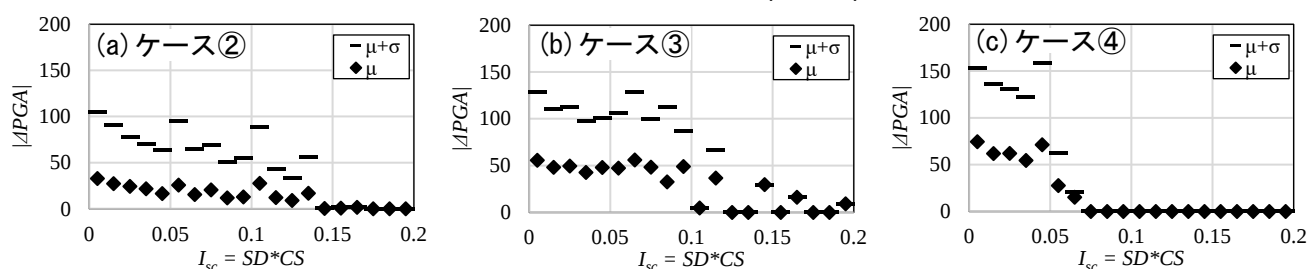


図-3 対象地点近傍のボーリング空間密度と土質構造類似性を表す指標 R と $|\Delta PGA|$ の関係

（ここでは 67），ベクトル各要素の値は各要素番号に対応する土質区分を属性に持つグリッドの総数である。

各 X_T における I_{sc} と $|\Delta PGA|$ の組合せから、 I_{sc} のデータ区間（本研究では 0.01）ごとの $|\Delta PGA|$ の平均 μ と分散 σ を求めた結果を図-3 に示す。ばらつきはあるものの、 I_{sc} が増大するにつれて $|\Delta PGA|$ の平均と分散が明らかに減少している。このことは、評価対象地点近傍のボーリング空間密度と土質構造類似性を適切に評価することで、土質情報を補完する位置の優先順位付けに役立つ可能性があることを示唆している。

4. まとめ

ボーリング空間密度の違いによる推定地盤応答の差異について示した。また、評価対象地点近傍のボーリング空間密度と土質構造類似性、双方の特性を有する簡便な指標を導入することで、ボーリング等の追加情報によって応答に差異が生じやすいか否かを事前に把握するための道筋を示した。本研究において考慮した入力地震動やボーリング空間密度のケースは限定的であるため、今後はより丁寧な検討が必要である。

謝辞

工学基盤の地震動波形は茨城県よりご提供頂きました。モデル作成に際しては都市丸ごとのシミュレーション技術研究組合で開発された Data Processing Platform (DPP) を活用致しました。ここに併せて謝意を表します。

参考文献

- 1) Nonogaki, S., Masumoto, S., Nemoto, T. and Nakazawa, T.: Voxel modeling of geotechnical characteristics in an urban area by natural neighbor interpolation using a large number of borehole logs, Earth Science Informatics, Vol.14, pp.871-882, 2021.
- 2) 宇野沢ほか：2 万 5 千分の 1 筑波 研究学園都市及び周辺地域の環境地質図。特殊地質図，23-2，139p. 3 sheets, 地質調査所，1988.
- 3) Ramberg, W., & Osgood, W. R. : Description of stress-strain curves by three parameters, Technical Note No. 902, National Advisory Committee For Aeronautics, Washington DC, 1943.