

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2） 地質境界情報を考慮した地盤モデルの自動作成

鹿島建設(株) 正会員 ○飯山かほり 高谷周平 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が、経済産業省「第二期知的基盤整備計画」などもきっかけに都市域の詳細な3次元地質地盤図が整備されつつあり、今後は地質情報の活用がより進展すると考えられる。ただし、特に広範囲の領域を評価対象とする場合はモデル作成コストが高くなることから、作成プロセスの自動化が不可欠となる。本研究では、ボーリングデータと地質境界の双方を考慮して広域地盤の解析モデルを合理的に自動作成する方法を検討した。また、実際にモデルを作成することで本方法の作成条件について考察を加えるとともに、地質境界の反映の有無による地震応答解析結果の差異を確認した。

2. 対象領域とその地質境界面

対象領域は文献1と同様である。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を利用し、モデル化位置（以下 X_T 、その集合を $\{X_T\}$ で表す）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。ボーリングデータとともに、5m間隔の標高値からなる地質境界の情報も利用した。対象エリアのボーリング位置、全評価対象位置 $\{X_T\}$ 、地層の基底面の概要²⁾は図-1のとおりである。

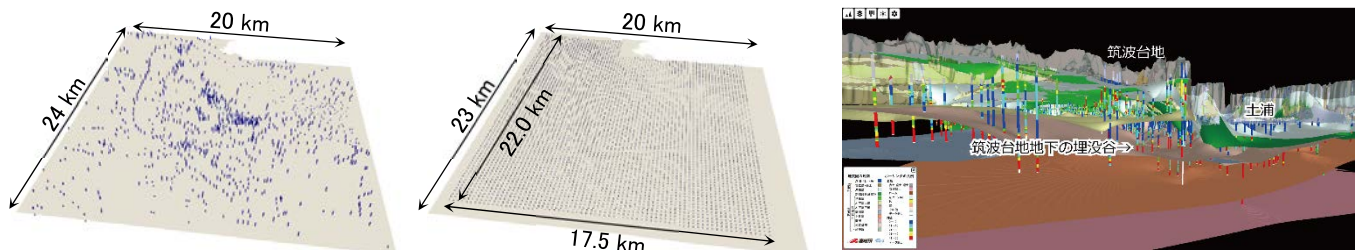


図-1 対象エリアのボーリング位置（左）とモデル化位置（中央）と地層基底面クローズアップ（右）²⁾

3. 地質境界を考慮した地盤モデルの自動作成

地質年代や堆積環境の違いによる土の力学特性については文献3, 4に詳しい研究がなされており、これらを考慮した分類により精度の良い力学モデルの推定が可能であると述べられている。これを参考に、地質ごとに $\{X_T\}$ における土質区分と N 値を次の手順で設定することとした。なお、以下では図-2の記号を用いる。例えば、 Ω_i は地表から $(i-1)$ 番目と i 番目の基底面に挟まれた各地層の分布域を表す記号である。

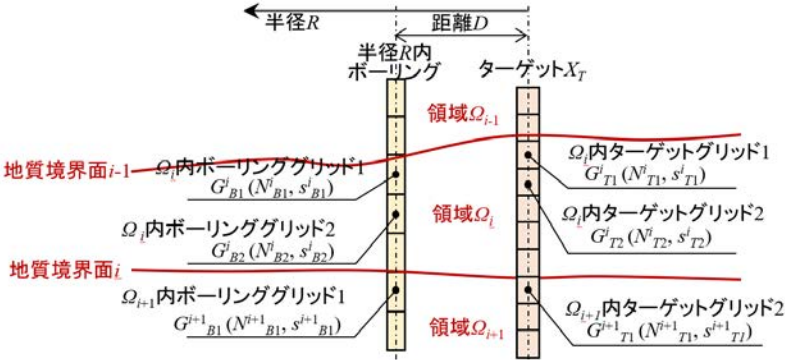
- 1) ボーリングデータを鉛直方向にグリッド化し、地質境界で分割する。
- 2) X_T 直下の地盤を鉛直方向にグリッド化し、グリッド標高と地質境界標高に応じて地質を割り当てる。
- 3) 領域 Ω_i 内の X_T の各グリッドの土質区分には、 Ω_i 内に存在する最近傍 G_{Bj}^i の土質区分 s_{Bj}^i を割り当てる。
- 4) X_T から水平面半径 R 内かつ Ω_i 内に存在する k 番目グリッド $G_{Tk}^i(N_{Tk}^i, s_{Tk}^i)$ の土質区分と同一の土質区分の $G_{Bj}^i(N_{Bj}^i, s_{Bj}^i = s_{Tk}^i) \mid D \leq R$ の N 値の集合 $\{N_{B1}^i, \dots, N_{Bm}^i\}$ から統計値（平均、分散 σ_{NB}^i ）算出する。ただし $G_{Bj}^i(N_{Bj}^i, s_{Bj}^i = s_{Tk}^i) \mid D \leq R$ が存在しない場合は半径 R を考慮せず $G_{Bj}^i(N_{Bj}^i, s_{Bj}^i = s_{Tk}^i) \mid D > R$ のうち最近傍の N_{Bj}^i を適用する。
- 5) σ_{NB}^i の値に応じて解析対象グリッドの N_{Ti}^i を式(1)の条件から決定する。

キーワード 地盤モデル, 地質境界, ボーリングデータ, 統計処理, 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

$$N^i_{Tl} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m N^i_{Bj} \text{ (if } \sigma^i_{NB} < \sigma_t), N^i_{Tl} = N^i_{Bj_n} \text{ (if } \sigma^i_{NB} \geq \sigma_t) \tag{1}$$

ここに、 m は $G^i_{Bj}(N^i_{Bj}, s^i_{Bj}=s^i_{Tk}) \mid_{D \leq R}$ の数、 σ_t は仮定する定数、 $N^i_{Bj_n}$ の添字 j_n は $G^i_{Bj}(N^i_{Bj}, s^i_{Bj}=s^i_{Tk}) \mid_{D \leq R}$ のうち G^i_{Tl} の最近傍のグリッド番号 j である．統計値を取る半径 R を 200m, 500m, 1000 m ($\sigma_t=5$) と変化させて表層地盤モデルを試作した． $\{X_T\}$ の全 412,141 グリッドに対する式(1)の適用結果を表－1 に示す．対象領域では $R=1000m$ を設定した場合は 50%のグリッドで σ^i_{NB} が 5 を下回った．これは同一地質内・同一土質区分の N 値のばらつきが比較的小さいことを示している．一方、 $R=200m$ の場合は R を小さくした場合は X_T の近傍にボーリングがないものが 76%存在しており、周辺土質の特徴を十分に反映できないことがわかる．当然ながら作成されるモデルは σ_t や R の設定に依存する． σ_t や R は対象に応じた特性を踏まえて設定する必要がある．



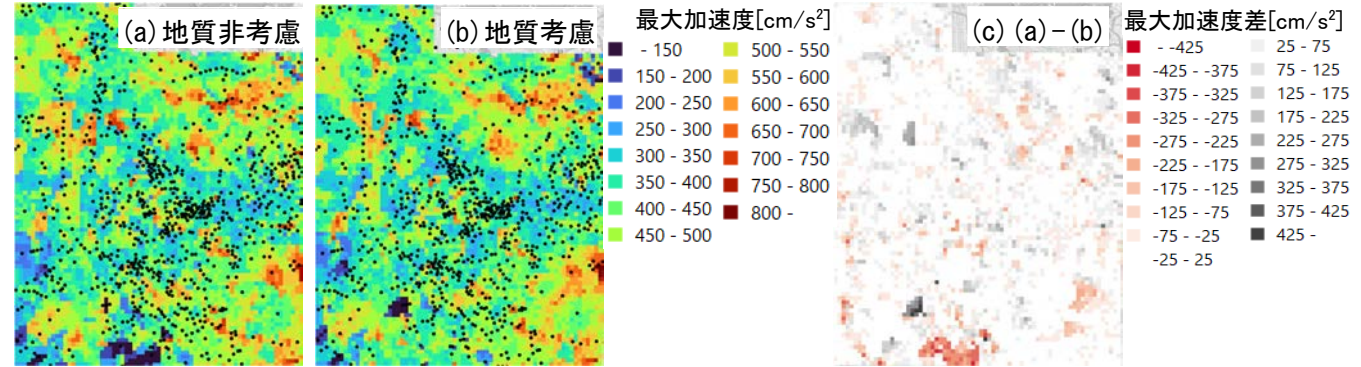
図－2 評価対象位置と関連ボーリングに関する各種記号

表－1 半径 R の設定による全ターゲットグリッドの N 値設定の割合[%]

半径 R	1000m	500m	200m
$\sigma^i_{NB} < 5$	50.0	44.4	17.2
$\sigma^i_{NB} \geq 5$	44.1	24.1	7.0
その他※	5.9	31.5	75.8

※半径 R 内にボーリングが存在しなかったケースの割合

最後に、地質境界情報非考慮・考慮双方のモデルで地震応答解析を行った．非線形解析モデルの設定条件や入力地震動は文献 1 と同じである．図－3 に最大加速度分布と両者の差分を示す．同図 (a) と (b) を比較すると空間分布の傾向は類似しているように見える．ただし、同図 (c) の差分からは最大で 400 cm/s^2 を超えるような箇所が見られた．地質の考慮によって応答量が大きく変化する可能性があることに、注意が必要である．



図－3 地質境界のモデルへの反映有無による最大加速度分布（ $R=1000m$ ）とその差分

4. おわりに

地盤の地震災害リスクをシレーションで評価するための解析モデルを合理的に作成することを目的に、ボーリングデータおよび地質境界を考慮した広域地盤の 1 次元モデルを自動作成する方法とその特性を示した．今後はモデル作成の方法をブラッシュアップし、地盤や構造物のリスク評価等にも適用していく予定である．

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) 高谷，飯山，白鷺ほか：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），土木学会年次学術講演会，2023.
2) 坂田ほか：茨城県つくば市および周辺地域の 3 次元地質地盤情報整備，日本地質学会学術大会講演要旨，T13-P-2，2022.
3) 若松加寿江，吉田望，三上武子：地質年代・堆積環境を考慮した土の繰返し変形特性の支配要因の検討，地盤工学ジャーナル，Vol. 5，No. 3，pp. 463-489，2010.
4) 若松加寿江，吉田望：土の繰返しせん断特性のモデル化と地質年代・堆積環境の影響，地盤工学ジャーナル，Vol. 8，No. 2，pp. 265-284，2013.