新潟市域沖積層の地震時地盤応答特性に関する基礎的研究

1. はじめに

新潟市は、海岸線に平行する砂丘列と砂丘間の河川 や後背低地が分布する地形条件で、全域に約40mに及 ぶよく締まった砂丘砂層が堆積しており、その下の粘 土層、シルト層を介して沖積層基底となる工学的基盤 は最深で150mに及ぶ、表層部は砂丘の形成過程や河川 の作用によって複雑な微地形分類を有するなど、この 地域独特の地形・地質条件となっている.

研究の目的

本研究は、新潟市域の沖積層の地盤モデルを作成し、 一次元応答解析を行うことで、層構成が地震動の増幅 特性に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする.

新潟市中央区,東区,江南区を中心とした,信濃川 と阿賀野川で挟まれた領域(15km×15km)を検討範囲と し、これを75m×75mのメッシュで分割して40000本の 地盤柱状モデルを作成し、応答解析を実行する.

3. モデル化の方法

新潟市のボーリングデータを概観すると,浅層は軟 弱な砂層に覆われるが,ある深度で急激に N 値が上昇 して均質で硬い砂地盤になる傾向が読み取れる.そこ で N 値 20 を閾値として砂層を二分する工学的境界面を 設定することとし,その深度をボーリングデータ毎に 求めた.また,軟弱層の層厚分布は微地形条件と良い 対応があることが示された¹¹ことから,微地形区分²¹ ごとに平均した N 値分布を求めて N 値 20 に達する深度 の確率を調べた.これら 2 種類の境界面深度情報から Simple Kriging とベイズ更新を用いて空間補間し,対 象地域全体の N20 境界面の深度分布を求めた.

一方,深層部はデータが少ないことから,地質学の 知見に基づく沖積層基底の深度分布を表すコンター図 と地盤断面図²⁾を利用して境界面分布を決定した.

3.1 Kriging とベイズ推定の関係

Kriging はあるいくつかの観測点 x_i があるとき、それ らの空間的相関性を用いて推定したい点の物性値 $\hat{\varepsilon}_i$ を 確率場に内挿していく空間補間の手法である.重みを v_i とし、以下の式で推定値 $\hat{\varepsilon}_i$ を求めることができる.

$$\hat{\varepsilon}(x) = \sum_{i=1}^{n} \nu_i (z_i - \mu z) \tag{1}$$

さらに推定値の誤差を最小にする重みは,以下の式 で求められる.

$$\nu^{sk} = \mathcal{C}^{-1} \gamma \tag{3}$$

(3)を満たせば同時に(2)も満たすことができ、各重 みを求めたことで推定値 $\hat{\epsilon}(x)$ を求めることができる.

また、多次元正規分布の考えから、ベイズ推定と Simple Kriging は同一のものと証明できる.

新潟大学	学生会員	○尾崎	佑輔
新潟大学	正会員	保坂	吉則
新潟大学	正会員	大竹	雄

$$Z \sim N(\mu, V) = N\left(\begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} V_{11} & V_{12} \\ V_{21} & V_{22} \end{bmatrix}\right)$$
(4)

この式から求まる期待値は,

$$E[Z_1|z_2] = \mu_1 + V_{12}V_{22}^{-1}(z_2 - \mu_2)$$
(5)

これを Simple Kriging の問題に置き換えると、ベイズ推定と同じ式になる.

$$E[\varepsilon(x)|\varepsilon(X_{obs})] = \gamma^T C^{-1}(X_{obs} - \mu z)$$
(6)

3.3 各手法の適用方法と結果

ボーリングデータから読み取った N=20 の深度情報に 基づいて補間した結果では、例えば海岸砂丘における N 値 20 面の起伏は、砂丘列の形成過程から推定される海 岸線に平行な細長い形状になっていないことが確認¹⁾ されている.これはボーリング点の不足と偏りから生 じたと考えられる.

そこで、微地形区分ごとに求めた N=20 深度情報を対 象区域の各メッシュに配置し、まず Simple Kriging に よって連続した N=20 境界面を作成した. つぎにこれを 事前情報とし、ボーリングデータの深度情報を観測値 としてベイズ更新した結果を、標高分布として図 1 に 示す. 推定結果は、周辺より標高が高く軟弱層が薄い 砂丘列の状況や、軟弱層が厚い後背湿地や河道の状況 が地形情報とうまく対応していると考えられる.



図 1 ベイズ更新後の N 値 20 面標高

4. 一次元応答解析

応答解析では 40000 点での計算を考慮し,一次元応 答解析プログラム(DYNEQ)を使用した.

まず工学的基盤の深さの影響を検討するため,表層 から工学的基盤までをすべて砂とした単層モデルでの 解析を行った.つぎに前述の方法で作成した多層モデ

キーワード	N值,地形	, Simple Kriging, ベイス	推定,一次元応	谷解析	
連絡先	〒950-2181	新潟市西区五十嵐2の町8050	新潟大学大学院	自然科学研究科	TEL025-262-7479

(2)

ルで同様の解析を行い,この地域の応答特性を検討した.各層の構成と物性値は表1の通りで,*G,h~* γ 関係 は土木研究所の式を用いた.

工学的基盤への入力波は、比較的線形的な挙動を想定した加速度の小さいレベル1地震(I種地盤)の波-1と、新潟市域周辺の主要断層から作成した模擬波³⁰の中から、非線形的な挙動が現れるがレベル2地震より小さな加速度の波を選び、波-2とした。入力波の加速度時刻歴は図2に示す.最大加速度は波-1が102gal,波-2が338galである.



5. 解析結果

解析結果を加速度の増幅率で比較する. 単層モデル の加速度の増幅率と固有周期の関係を図 3 に示す. 波 -1 の場合は 1/4 波長則で求めた沖積層の固有周期の違 いによって増幅が異なり, 1.5s より短周期側で増幅率 が高くなった. 波-2 の加速度増幅率は, 固有周期によ らず全体的に 1 前後となったが, これはひずみが大き く出たことで減衰が大きくなったためと考えられる.

多層モデルに波-2 を入力した場合の加速度増幅率の 分布を図4に示す.図1のN値20面深度と比較すると, 軟弱な砂層1が厚いほど加速度増幅率が大きくなる傾 向が見られる.波-1の場合は軟弱層厚との関連はあま り見られず,単層モデルと類似の傾向であった.

図5は、固有周期と加速度増幅率の関係を、砂層1 の層厚で5段階に分けて示したものである.波-1の場合、軟弱層厚が厚いほど増幅率が高くなる傾向が見られるが、それよりも地盤全体の固有周期の影響のほうが大きいことがわかる.波-2の場合は、軟弱層の厚さと地盤全体の固有周期の両方に依存して増幅率が変化していることがわかる.層厚増加に伴って急激に増幅率が高くなるが、これが9mを超えると増幅率が低下する傾向を示した.砂層1内での非線形性が強くなり、地震動が長周期化するためと考えられる.

6. まとめ

ベイズ推定により求めたN値20の面から,新潟市域 の軟弱層厚をモデル化した.その地盤モデルに基づく 一次元応答解析を行ったところ,加速度の増幅率は沖 積層全体の固有周期と表層の軟弱地盤の層厚,および, 工学的基盤への入力加速度が相互に影響してくること がわかった.









〈参考文献〉

- 1)保坂吉則・大竹雄・尾崎佑輔・大貫敦史:地形情報 とボーリングデータを併用した新潟市域における 表層地盤モデル作成の試み,第52回地盤工学研究 発表会講演集,2017(投稿中).
- 2) 鴨井幸彦,安井賢,ト部厚志:新潟及び内野地域の 地質.地域地質研究報告(5万分の1地質図幅),産業 研地質調査総合センター,2016.
- 3) 千代透:新潟市域特有の地盤応答特性を考慮した地 震マイクロゾーニングのための基礎的研究,新潟大 学修士論文,2016.