

ボーリングデータに基づく地層構造モデルを用いた三次元強振動 FEM 解析

九州大学 学生会員 ○田中 雄士
九州大学 正会員 浅井 光輝

1. 緒言

2005 年に発生した福岡西方沖地震では、警固断層の直上東側の一部領域に構造物の被害が集中したことが報告された。防災科学技術研究所の強震ネットワーク（図-1 中の A 地点）において観測された地表面最大加速度は、南北方向 277gal，東西方向 239gal であった。一方で、警固断層直上に位置する（株）建設技術研究所九州支社（図-1 中の B 地点）においては、南北方向 489gal，東西方向 310gal の加速度が観測された。これまでに、FEM 解析等により福岡西方沖地震に関する再現解析は行われてきたが、いまだ観測値と 10%以上の開きがあるなど、完全にはこの現象を再現するには至っていない。解析結果に誤差が生じた要因としては、1. FEM 解析のメッシュサイズが大きすぎ精度が低かったこと、2. 警固断層付近の地層（図 2）が不整形構造となっており、その三次元的な地下構造を適切に反映できていなかったことの両者が考えられる。そこで本研究では、ボーリングデータに基づき、より詳細な地下構造をモデル化した後に、2～5m 程度のメッシュサイズに細分化した詳細 FEM モデルによる三次元強振動 FEM 解析を実施することにした。

2. 解析対象地域

解析対象地域を図-1 に示す。警固断層に並行に座標系を設定し、警固断層と上記 A,B の両地点を含む横 2500m×縦 1500m の領域を解析対象とした。また強振動 FEM 解析を実施する際の地層構造のモデル化および地盤物性値の設定としては、工学的基盤層と表層面の形状・物性値が非常に強く影響を及ぼし、その間に位置する中間層の形状・物性値は解析結果にそこまで影響を与えないとの過去の知見から、中間層は細分化せずに表層・中間層・工学的基盤層の三層構造として三次元モデルを作成する方針とした。実際に、解析対象地域の地下は地学的に図-2 に示す断層構造になっていると予想されている。そこで、図-2 中の中洲層と荒江層を表層、博多粘土層下部、上部を中間層、金武層と姪浜層を工学的基盤層とし

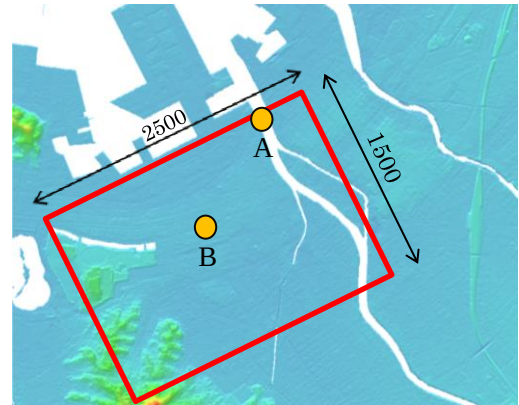


図 - 1 観測地点と解析対象領域

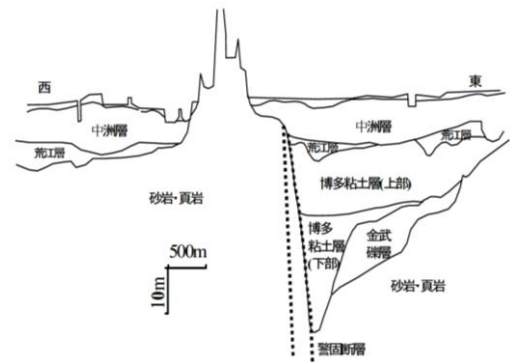


図 - 2 解析対象中の地下構造

て定義し、各層の物性値は文献¹⁾中の笠間らの論文で用いられた物性値を用いることにした。

3. 地層モデル作成手順

本研究では、地表面の標高は国土地理院基盤地図情報数値標高データ(5m メッシュ)を参照し、地下構造の推定には九州地盤情報共有データベースに収録されたボーリングデータを使用することにした。なお、該当地域には 483 本のボーリングデータが含まれていた。その分布を図-3 に示す。

地下構造の推定は石原ら²⁾の手法を参考にし、[1]xml 形式のボーリング柱状図からのデータ抽出、[2]データの整理、[3]水平方向への地層データの補間、[4]以上の作業を全ての層において行う、という手順で 3 層構造のモデル化を行った。以下にその手順の詳細を示す。[1]、[2]のデータの抽出及びデータの整理は、モデル構築の際に必要な情報の抽出と、

情報の規格化のために行った。 N 値のうち、50 を超える値については換算 N 値で置き換えられている場合が多いため、これらは全て 50 に統一した。また、ボーリングデータの中には N 値や土の種類の深さのない不完全なデータもあり、それらは除外した。次に [3], [4] の地層データの補間には逆距離加重法を用いた。逆距離加重法とは、各ノードを中心に影響半径を設定し、影響半径にあるデータの距離に重み付けを行うという方法であり、次式によりグリッド上におけるそれぞれの層の深さ D_{ep} を推定するものである。

$$D_{ep} = \frac{\sum \frac{D_e(i)}{r^\beta}}{\sum \frac{1}{r^\beta}} \quad (1)$$

ここで、 i は地層の種類、 D_e はボーリング地点におけるそれぞれの層の深さ、 r はボーリング地点とグリッド点の距離、 β は重み付け関数を示す。今回は、各ノードからの影響半径内にボーリングデータがある場合に上記の補間方法を用い、それぞれの層の形状を決定した。但し、図-3 に示すように、ボーリングデータの分布は非一様であり、密な地域と疎な地域で分布に偏りがある。そこで、影響半径の設定方法として、データが密になる箇所では影響半径を小さく、疎になるにつれ影響半径を大きくすることにした。まず (a) 近くのデータを強く反映させるために重み関数 β を 3 と設定した。次に (b) 開始時の影響半径を 5m に設定し、影響半径内にボーリングデータが 15 個以上存在した場合にのみ式 (1) によりグリッド上の層の深さを仮設定する。ボーリングデータが必要数だけ存在しない場合には (c) 影響半径を段階的に 5m ずつ大きくし、(b) の操作を繰り返す。(d) 隣接するグリッド上の層深さが決定済みであれば、仮設定した値と比較し、両者の差が 3m 以内の場合のみ仮設定した値を最終値として設定し、両者の差が 3m 以上の場合には手順 (c) に戻る。以上の手順により全てのグリッド上での層深さが決定するまで繰り返すことで、各層の深さを定義した。図-4 には、層深さを決定した際の影響半径の分布を与えている。同図より、ボーリングデータが密集している箇所では影響半径が小さく、逆に疎な領域では影響半径が大きく設定できていることが確認できる。ここでは今

回推定した工学的基盤層の深さのコンター表示を図-5 に示す。また、図-3 中の黒色直線上において推定した工学的基盤層の断面を図-6 に示す。同図にて推定した断面は図-2 で与えた地学的断層構造と類似した面として与えられていることが確認できる。

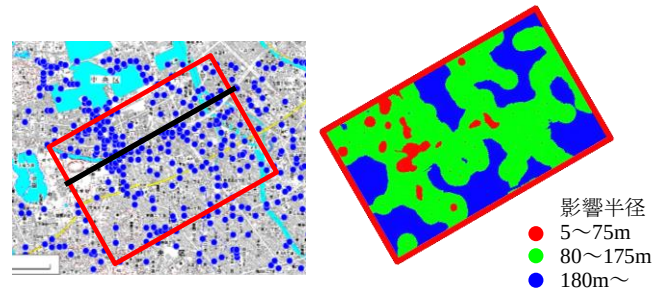


図-3 ボーリング分布図 図-4 影響半径の変遷

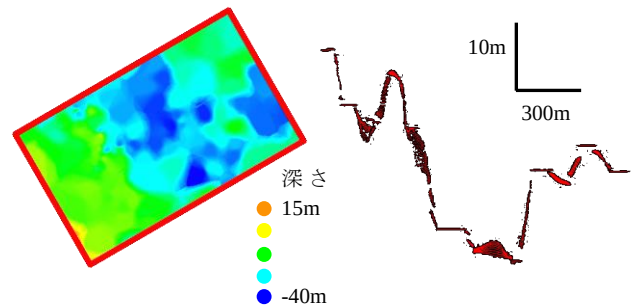


図-5 工学的基盤層モデル 図-6 地下構造断面図

4. 結論

本研究は、2005 年福岡西方沖地震での局所的な地域に構造物の被害が集中した現象をより正確に再現するために、ボーリングデータに基づき地下構造の 3 次元構造を推定し、詳細 FEM モデルを用いて再現を試みるものである。本稿ではその解析モデル作成までの一連の手順の詳細を示した。なお、FEM 解析結果の詳細な説明については、発表当日に行う予定である。

参考文献

- 1) 福岡県西方沖地震地盤工学会調査団
福岡県西方沖地震における被害調査報告
- 2) 石原 与四郎
地盤の 3 次元モデル化 -福岡平野を例として-
地盤工学会誌, 61 (6), 16 - 19 頁, 2013 年
- 3) 土木学会西部支部
2005 年福岡西方沖地震被害調査報告書