

# 表層地盤における地震時応答特性の検討と GIS を用いたデータベース化

佐久間 穰<sup>1</sup> 岩楯 徹広<sup>2</sup> 板橋 幸世<sup>3</sup> 倉持 江弥<sup>3</sup> 菊地 敏男<sup>4</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京都立大学大学院 工学研究科 教授(〒192-0397 八王子市南大沢 1-1)

<sup>2</sup>工修 帝都高速度交通営団 (〒110-0015 東京都台東区東上野 3-19-6)

<sup>3</sup>東京都立大学(〒192-0397 八王子市南大沢 1-1)

<sup>4</sup>工博 (株)大林組技術研究所 (〒204-0011 東京都清瀬市清戸 4-640)

都立大学では、本学の位置する多摩地域の地震防災の基礎データを取得するため、都立大周辺の多摩地域を対象に、常時微動観測、地盤調査、ボーリングデータの収集分析を行うとともに、GIS を用いた評価システムを構築し、視覚表示による地盤特性のデータベース化を図ってきた。さらに大学構内広場 B に鉛直アレー地震観測システム(地表面と・33mの基盤面に地震計を設置)を構築し、地震データの収集・分析と地盤応答特性について検討を行っている。本報告は、大規模な宅地開発がなされた小比企地区を対象に実施した GIS による地盤データの分析結果、震度分布予測結果を示したものである。さらに、大学広場 B 観測された地震データ、常時微動観測データにより地盤応答について検討したものである。

Key Word: Earthquake observations, Microtremor measurement, Seismic response analysis,  
Seismic characteristics

## 1. はじめに

東京都立大学が位置する多摩地域における地震防災の基礎地盤データを取得するため、本学周辺地域において常時微動観測を実施してきた。本報告では収集した地盤情報のデータベース化を行い、そのうち近年大規模な宅地造成が施された小比企地区について、GIS を用いた視覚表示による地盤特性の解明に有効なシステムを構築し、検討を行った。また、対象地域の地盤特性を用いて震度分布予測を行った。

さらに、東京都立大学構内の広場 B においてボーリング調査ならびに地震計の設置を行い、地表面および工学的基盤面の 2 点にそれぞれ水平 2 方向、鉛直 1 方向の地震検出器を設置し、強震記録観測を実施している。これらの強震観測をもとに地震特性や震源からの伝播特性について検討すると同時に広場 B における地震時応答特性について検討を行った。また、ボーリングデータから広場 B 周辺の地盤構造を推測し、1 次元応答解析を行うことにより、同広場における地震時応答の過程を理論的に解明した。これらの強震記録を使用した検討と並行して常時微動観測を行い、同広場における振動特性について検討した。

## 2. GIS による地盤情報のデータベースの構築

対象地域である小比企地区を図 1 に示す。観測した波形を FFT 解析し、伝達関数 (H/V H:水平成分 V:上下成分のスペクトル比)を求め図示し、観測地点とリンクさせた。これより、図 2 のように



図 1 対象地域

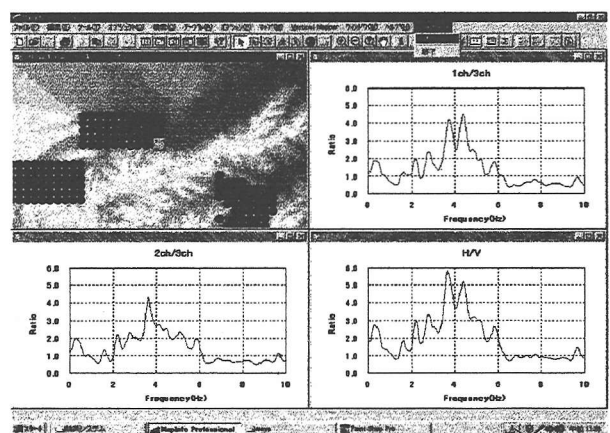


図 2 スペクトル表示

観測地点を選択するのみでスペクトル比図が表示できる。このスペクトル比のピーク値から、地盤の卓越振動数を算出した。同様に、ボーリングデータについてもデータベース化することで、GIS 上で

ボーリング地点を選択することにより、図3に示すように土質柱状図や地質推定断面図を作成することが可能となった。このボーリングデータより、地盤モデルを作成し、一次元応答解析により卓越振動数を算出した。

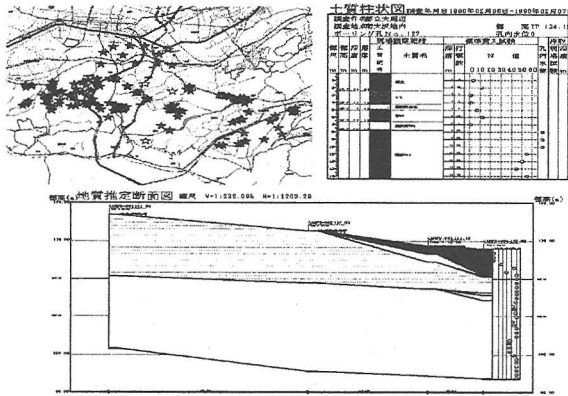


図3 土質柱状図と地質推定断面

### 3. GISを用いた視覚表示による検討

図4は常時微動およびボーリングデータによる卓越振動数をGIS上で重ねて比較している。図の○印は常時微動、メッシュはボーリングデータの卓越振動数を表し、振動数ごとに色分け表示している。図より、造成の少ない対象地域西側に比べ、造成による地形変化が著しい中央部から東側では、色の一致していない箇所が多く、振動数の差異も大きいことがわかる。この振動数の不一致については、造成前後の切土および盛土の影響があると考え、検討を行った。

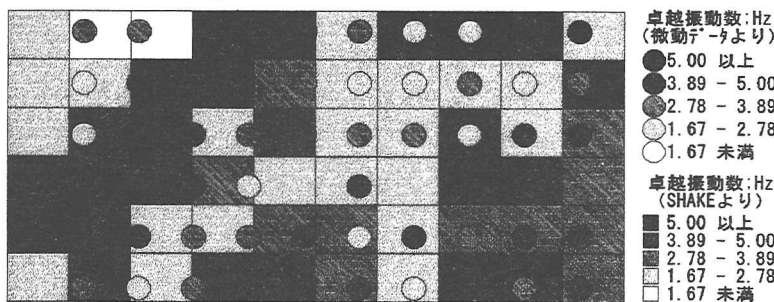


図4 常時微動とボーリングデータによる卓越振動数比較

図5に、推定表層厚の3D比較を示す。上図は、常時微動観測より得られた卓越振動数  $f_0$  と土質柱状図のN値より算出した最大せん断波速度  $V_s$  を用いて4分の1波長則 ( $h = V_s / 4f_0$ ) より求めた表層厚、下図はボーリング柱状図による工学的基盤までの表層厚である。山の部分は表層厚が厚く、反対に谷の部分は表層厚が薄いことを示す。常時微動とボーリングによる表層厚に一致していないところが見られるが、この差は宅地造成にともなう切土盛

土の影響であると考えられる。

図6に、常時微動観測地点とボーリング地点が約50m以内で接近する13地点における、切土盛土の影響を考慮した表層厚比較を示す。横軸に微動推定表層厚を、縦軸にボーリングの表層厚をとったものである。×は切土盛土を考慮していないボーリング表層厚で、○は現在の標高と土質柱状図に記載されている標高の差によって表される切土盛土を考慮したボーリング表層厚である。一致直線に近づくほど、常時微動とボーリング表層厚の差が小さいことを示す。この図より切土盛土を考慮することによって、ある程度常時微動とボーリングの整合性が得られてくることが分かる。

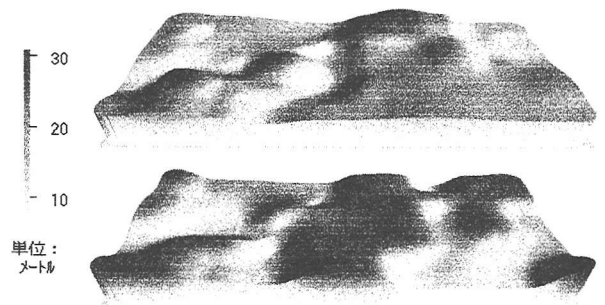


図5 推定表層厚の3D比較

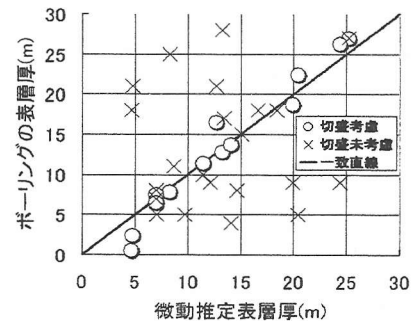


図6 切土盛土を考慮した表層厚比較

### 4. 地盤情報を考慮した震度分布予測

多摩地域など表層地盤の改変が多い地域で、造成前のボーリングデータによる震度分布予測を行うよりも、現地盤を反映している常時微動データによる震度分布予測を行うことができれば、地震防災において有効であると考えた。そこで、東京都にある主要な活断層の一つであり、対象地域に近い立川断層を想定震源として震度分布予測を行った結果を

図7、図8、図9に示す。これは、震源からの基盤最大加速度と、卓越振動数によってI II III種に分類された地盤種別から算出される。東京都が公表している地盤種別(図7)、常時微動(図8)およびボーリングデータ(図9)の卓越振動数による地盤種別から求められた震度分布予測を比較すると、若干の変化があった程度で三者とも大きな相違はなかった。これは、II種の卓越振動数範囲が1.67~5.0Hzと広く、多くの地域がII種と分類されたためと考えられる。

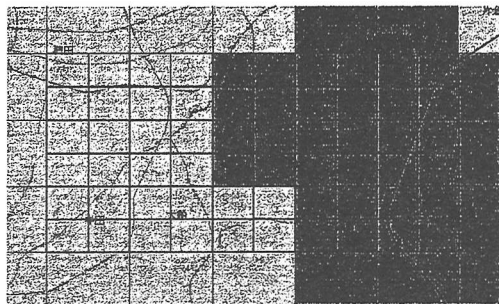


図7 東京都のデータによる深度分布予測

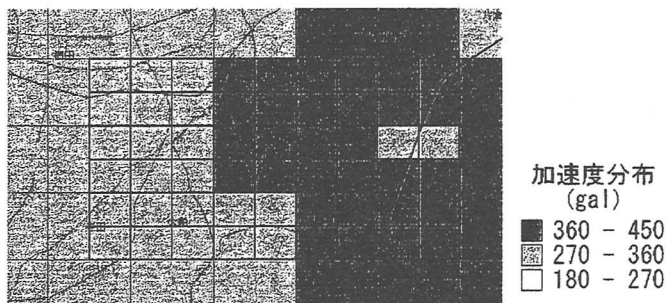


図8 常時微動による震度分布予測

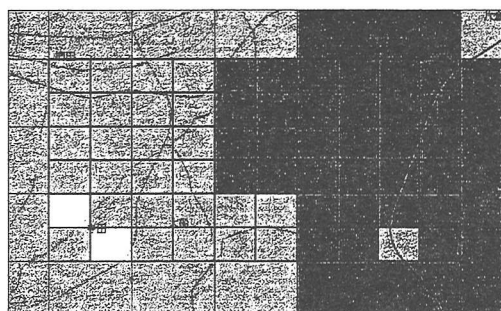


図9 ボーリングによる震度分布予測

## 5. 都立大学広場Bの地盤構造と地震観測

### 5.1 地盤構造

図10に、広場Bのボーリング柱状図と地震計設置点を示す。地震計は、表層と上総層群平山層の基盤(-33m、N値50以上)に設置されている。図11に、広場B周辺の旧地表面のグラフを示す。これらの図より判断すると、観測点は、谷筋に向かう丘陵に位置している。都立大建設時に谷を埋め立てて平滑化さ

れており、現在では約16m程度の埋土または盛土の存在が確認できる。

### 5.2 地震観測データ

広場Bの観測点では、平成13年3月までに、約40個の地震データを記録している。この内、最大の記録は1998年8月29日の東京湾を震源とする地震(M=5.4)で、地表面の最大水平加速度は、75galであった。

観測されたそれぞれの地震記録について伝達関数を求め、平均化した。

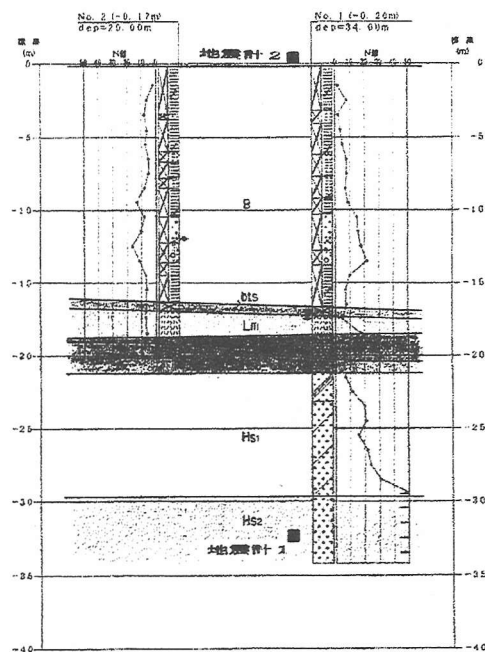


図10 広場Bのボーリング柱状図

## 6. 応答解析

### 6.1 解析方法

本章において検討対象とする地盤形状は図11に示すような原地盤構造をもとに、原地盤の表層深さを一定であると仮定して検討を行った。解析手法は1次元・2次元応答解析である。2次元応答解析については観測地点から水平方向にそれぞれ100m、水平方向計200mの地盤モデルを作成した。地盤物性に関しては、盛土部分である表層の一層目に関してはせん断波速度を $V_s=150\text{m/s}$ 、旧表層については $V_s=250\text{m/s}$ とした。一方、工学的基盤層と開放基盤のせん断波速度については、工学的基盤の定義および多摩地域における地質を参考にし、それぞれ $V_s=350\text{m/s}$ 、 $V_s=700\text{m/s}$ とした。側方境界条件は粘性条件とした。入力波は東京都立大学広場Bにおいて1998年8月29日に記録されたものを使用した。水平方向では2成分のうちEW成分を採用した。

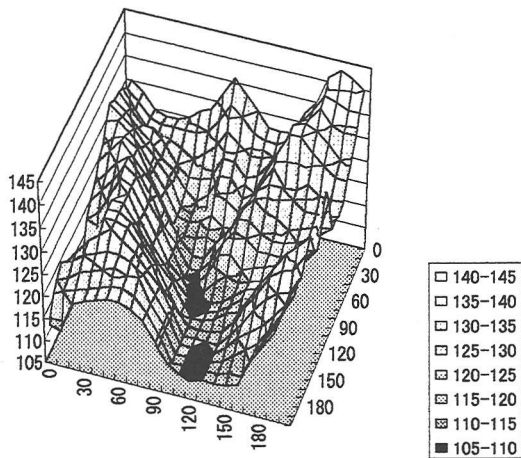


図 11 旧地表面

## 6.2 解析結果

東京都立大学広場 B における地震観測を用いて解析した結果、観測地点の伝達関数は、解析値と実測値とおおよそ良い対応を示している(図 12)。水平成分においては 2、6、9Hz が卓越しており、鉛直成分においては 5Hz 付近が卓越している。1 次元応答解析によると伝達関数は 1.6Hz 付近を示すが、同様の物性を用いて 2 次元応答解析を行った結果は 2Hz 付近を示し、地震観測波による結果とより良い対応を示した。また、2 次元解析結果は、時刻歴加速度波形も実測波形と良い対応を示しており、不整形地盤の評価に対し 2 次元モデルの妥当性が証明された。(図 13)

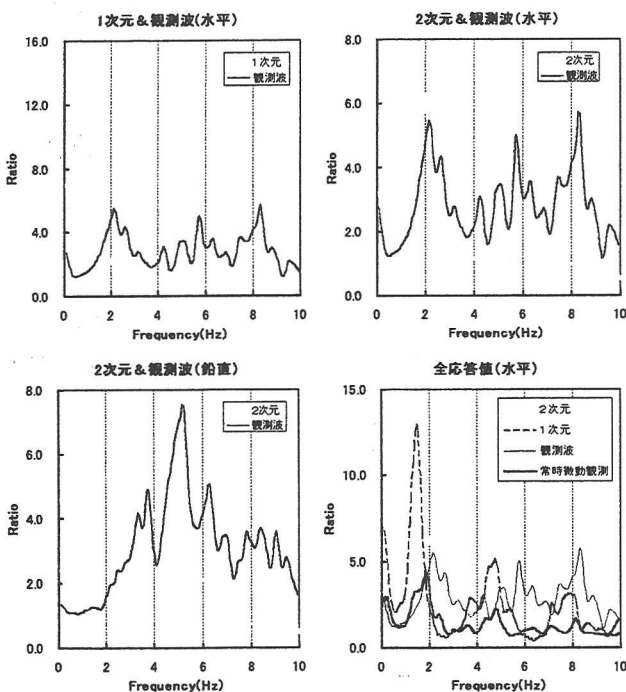


図 12 伝達関数

## 7. まとめ

(1) GIS 上により、対象とした地点を選択するだけで、スペクトル図や土質柱状図、地質推定断面図を作成でき、従来の紙による資料では不可能であった容易な検索を可能とした。また、データベース化することでそれらを利用し、計算や分析を容易に行うことも可能となった。また、視覚表示により従来よりも理解しやすい検討手法を確立することができた。さらに、GIS を用いた分析より切土と盛土の影響を考慮することによって常時微動とボーリングデータの整合性がある程度一致することが分かった。震度分布予測では、東京都のデータ、常時微動およびボーリングデータによる地盤種別にはほぼ差がないため、震度分布に大きな差はなかった。

(2) 1 次元、2 次元応答解析、及び地震観測記録の比較から、東京都立大学広場 B においては造成による局地的な表層厚さの変化により震動特性が変化していることが判明した。

(3) 東京都立大学広場 B のように複雑な地盤構造を有する地盤においては、2 次元応答解析が必要であることが判明した。

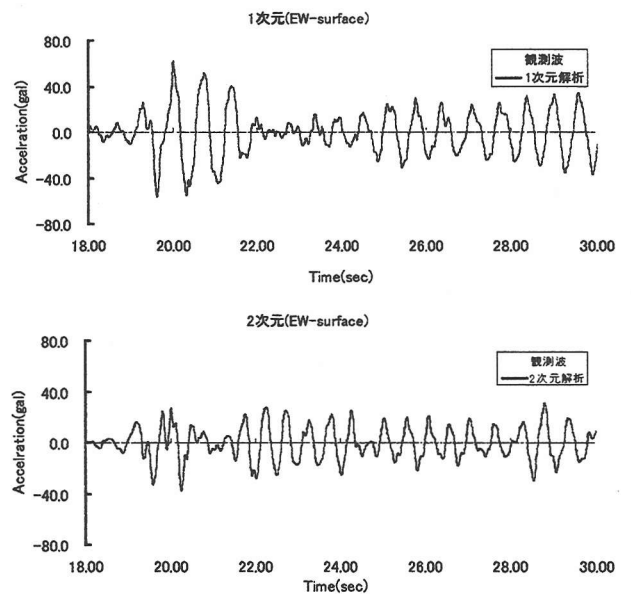


図 13 時刻歴加速度波形