

## 都市の地震防災に関する基礎的研究 —地震観測システムの構築とデータベース化—

1. はじめに
2. 研究項目
3. 東京都土木技術研究所の地震観測データの収集・分析とデータベース化
4. 東京都立大学の地震観測データ（東京都立大学広場 B）の収集・分析とデータベース化
5. 東京都立大学周辺の多摩地域の常時微動観測による地盤の応答特性の検討
6. GIS を用いたデータベース化手法の提案と拡充
7. 東京低地の液状化被害と既往のボーリングデータを用いた液状化判定手法の構築・および河川近傍の液状化地点の常時微動観測とデータベース化
8. まとめ

岩 楯 敏 広\*  
吉 嶺 充 俊\*  
小 田 義 也\*

### 要 約

東京低地や東京湾沿岸の軟弱地盤では、大地震時に地盤の液状化とそれに伴う地盤流動により、河川堤防・護岸などの港湾施設、ガス・上下水道などの埋設ライフラインなど多様な重要施設が被害を受け、人的・物的・経済的に甚大な損害が生じる可能性がきわめて高い。このため、東京都立大学では、多摩地域・逗子地域を対象に地震観測・常時微動観測を実施し、地盤の地震応答特性について検討するとともに、GISを用いた常時微動データの統一的データベース化手法(SPEC\_WAVE2)を提案し、観測データの統一化を図ってきた。

平成15年度においては、今までの研究を取りまとめると共に、総長重点研究として「河川堤防・護岸などの水際構造物の耐震性向上に関する研究」を設定し、東京都立大学及び東京都土木技術研究所で15年度に観測した地震データの収集・分析、データベース化を図り、関東大地震における地盤の液状化被害を分析し、東京都液状化地点として、「葛飾区」、「江戸川区」、「墨田区」、「江東区」の沖積低地4区を選択し、ボーリングデータを用いて液状化危険度評価を行った。さらに、過去に液状化被害を受けた葛飾区の水元公園周辺の6地点を選定し、常時微動観測を実施し、地盤の卓越振動数と液状化危険度(PL値)との関連について検討した。

本報告は、これらの研究を総合的に取りまとめたものであり、今後、東京都の地震防災の基礎資料に資するものと考えらる。

なお、本研究の一部は、東京都土木技術研究所と共同で実施した。

## 1. はじめに

首都東京においては、現在、関東大震災以後約80年が経過し、近い将来東海沖・関東沖でのプレート境界の巨大地震、あるいは東京を中心とする首都圏での内陸活断層による直下型地震が起こることが予想されている。特に、東京低地や東京湾沿岸の軟弱地盤では、大地震時に地盤の液状化とそれに伴う地盤流動により、河川堤防・護岸などの港湾施設、また、高層ビルや石油タンクやLNGタンクのエネギー施設、さらには、ガス・上下水道などの埋設ライフラインなど多様な重要施設が被害を受け、人的・物的・経済的に甚大な損害が生じる可能性がきわめて高い。

このため、東京都立大学では、これらの地震に対して、東京とその周辺地域の都市機能を維持し、都民・国民の生命と財産を保全することを目的に、多摩地域・逗子地域を対象に地震観測・常時微動観測を実施し、GISを用いた常時微動データの統一的データベース化手法(SPEC\_WAVE2)を提案し、観測データの統一化を図るとともに表層地盤の応答特性について検討を進めてきた。さらに、15年度においては、総長重点研究「河川堤防・護岸などの水際構造物の耐震性向上に関する研究」<sup>1)</sup>を設定し、東京都立大学及び東京都土木技術研究所で15年度に観測した地震データの収集・分析を継続実施し、データベース化を図るとともに、関東大地震の地盤の液状化被害の分析し、東京都液状化地点として、「葛飾区」、「江戸川区」、「墨田区」、「江東区」の沖積低地4区を選択し、ボーリングデータを用いて液状化危険度評価を行った。さらに、過去に液状化被害を受けた葛飾区の水元公園周辺の6地点を選定し、常時微動観測を実施し、地盤の卓越振動数と液状化危険度(PL値)との関連について検討した。

本報告は、これらの研究を総合的に取りまとめたものであり、今後、東京都の地震防災の基礎資料に資するものとする。

なお、本研究の一部は、東京都土木技術研究所渡橋道で実施した。

## 2. 研究項目

本研究の研究項目は以下の通りである。

- (1) 東京都土木技術研究所の地震観測データの収集・分析とデータベース化
- (2) 東京都立大学の地震観測データ(広場B)の収集分析とデータベース化
- (3) 東京都立大学周辺の多摩地域の常時微動観測による地盤の応答特性の検討
- (4) GISを用いたデータベース化手法の提案と拡充
- (5) 東京低地の液状化被害と既往のボーリングデータを用いた液状化判定手法の構築・および河川近傍の液状化地点の常時微動観測とデータベース化

## 3. 東京都土木技術研究所の地震観測データの収集・分析とデータベース化

### 3. 1 地震観測の概要

東京都土木技術研究所では、東京都の橋梁・河川構造物および地盤の地震時の挙動調査と耐震安全性を評価することを目的に、東京都内の橋梁(12カ所)、河川構造物(6カ所)および土木技術研究所地盤(1カ所)の合計19カ所において、東京都震災対策条例に基づき強震計を設置し、保守点検と地震観測を実施している(図1)<sup>2,3)</sup>。

### 3. 2 地震観測データ

(1) 平成15年度においては、19カ所の観測地点で25地震の地震データを得た。この中には、宮城県沖、福島県沖、茨城沖、千葉県東(北)方沖などの海洋性地震、茨城県南部、神奈川県西部などの内陸性地震が含まれる。平成15年9月20日の千葉県南部を震央とした地震では、平成10年8月29日以来5年ぶりに大手町で震度4を示した。これらのデータを分析し、データベース化を図った(図2, 図3)

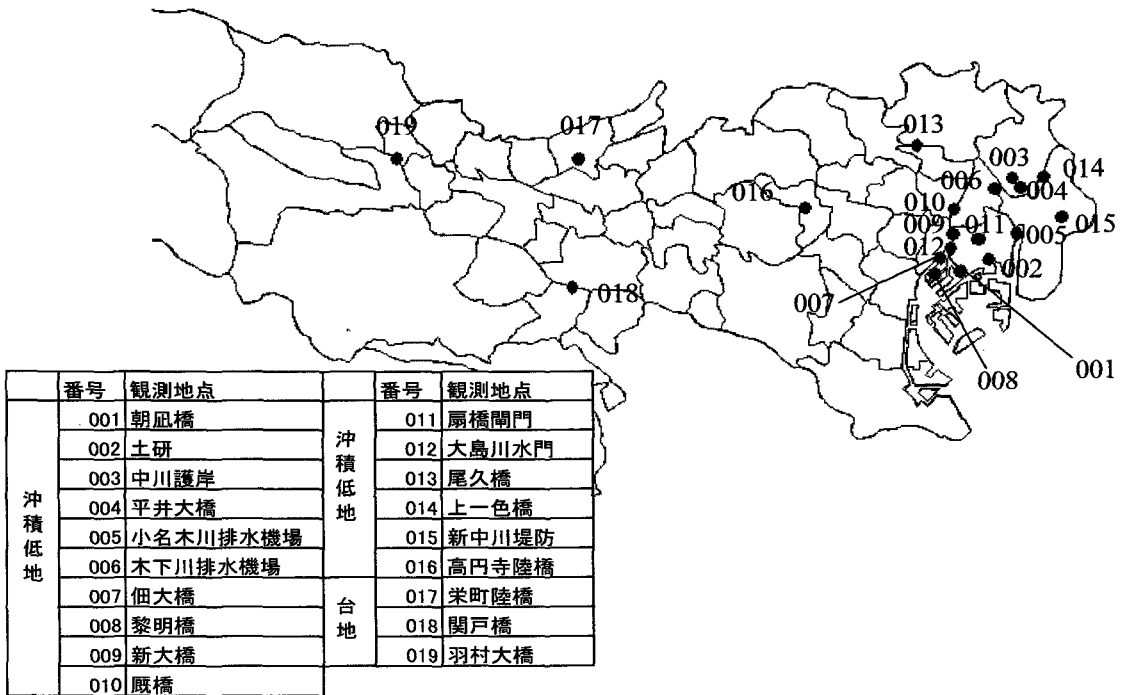


図1 強地震観測地点位置図

#### 4. 東京都立大学の地震観測データ(東京都立大学広場B)の収集・分析とデータベース化<sup>4~7)</sup>

##### 4. 1 地震観測システムの構築

東京都立大学では、広場Bの地中(深さ約33m)と地表に地震計を設置し、平成9年より地震観測を行っている。図4に広場Bの地震観測点とボーリング柱状図を示す。

この地点の地盤構造は、ボーリング調査結果から、上層はN値=10以下の表層地盤(深さ約30m)であり、その下にN値50以上の上総層群平山層(基盤)が存在する。ボーリングデータより得られた広場Bの地盤構造モデルを表1に示す。

##### 4. 2 地震観測データと地盤の応答特性

(1)2003年4月より2004年4月の約13月間で13地震、78個の加速度データを得た。観測地震の諸元を表2、震央分布を図5に示す。また、観測地

震波形の1例を図6に示す。この中で、最大の加速度記録は、千葉県南部地震(2003/9/20, M=5.8)で、地表(水平成分:25.3gal、上下成分:15.6gal)、地下(水平成分:8.3gal、上下成分:4.2gal)を記録した。

(2)図7、図8に、13個の地震波形(NS成分、EW成分、およびUD成分)の加速度スペクトルと伝達関数(地表/基盤)を重ね書きして示す。表層地盤の増幅率は、NS成分、EW成分とも約3倍となった。これらの図より、広場Bの表層地盤で得られた13個の地震波形の特性には、大きな差は見られない。

(3)伝達関数について調べると、表層地盤の卓越振動数は、水平成分がNS=2.1~2.3Hz, EW=2.2~2.4Hzで、NS成分、EW成分には、大きな差は見られない。表層厚さ(H=30m)、 $f=2.1\sim 2.4\text{Hz}$ として、1/4波長則( $f=Vs/4H$ )により、表層地盤のVsを算定すると、 $Vs=252\text{m/s}\sim 288\text{m/s}$ となり、ボーリングデータから推定したVs=250m/sとほぼ対応する。

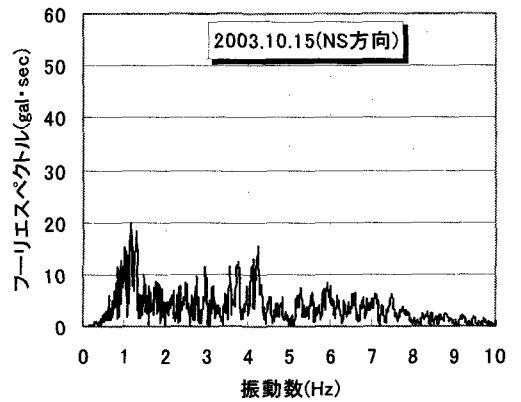
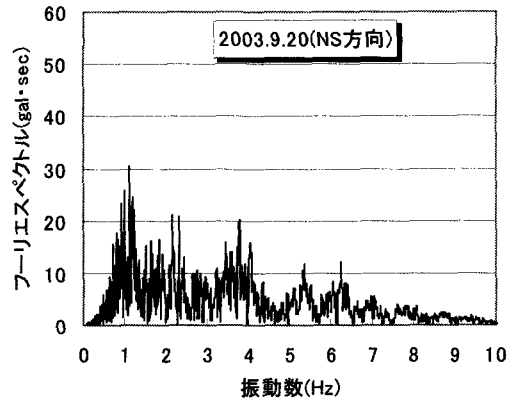
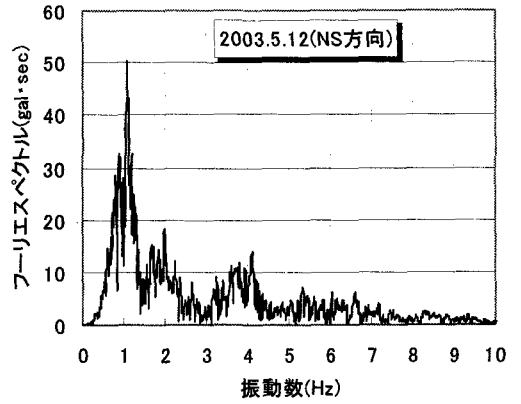
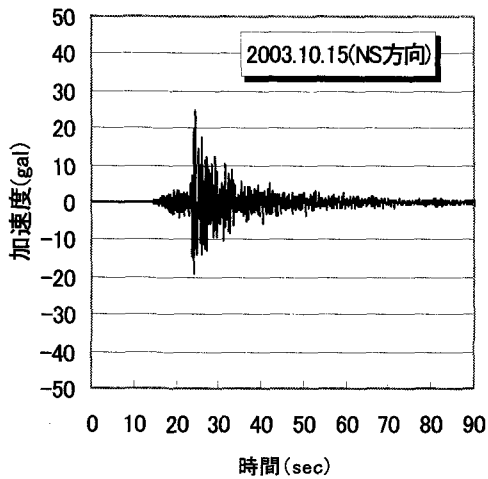
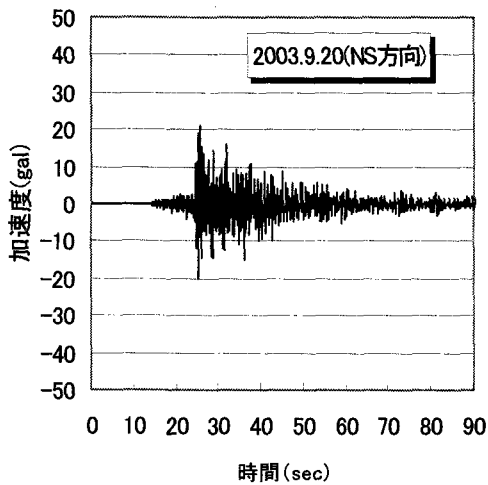
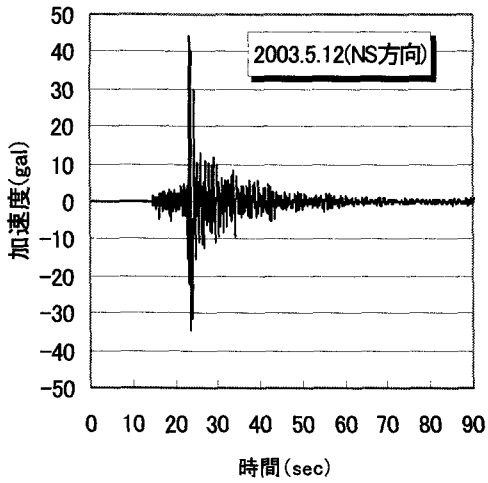


図2 時刻歴加速度波形(土木技術研究所)

図3 フーリエスペクトル(土木技術研究所)

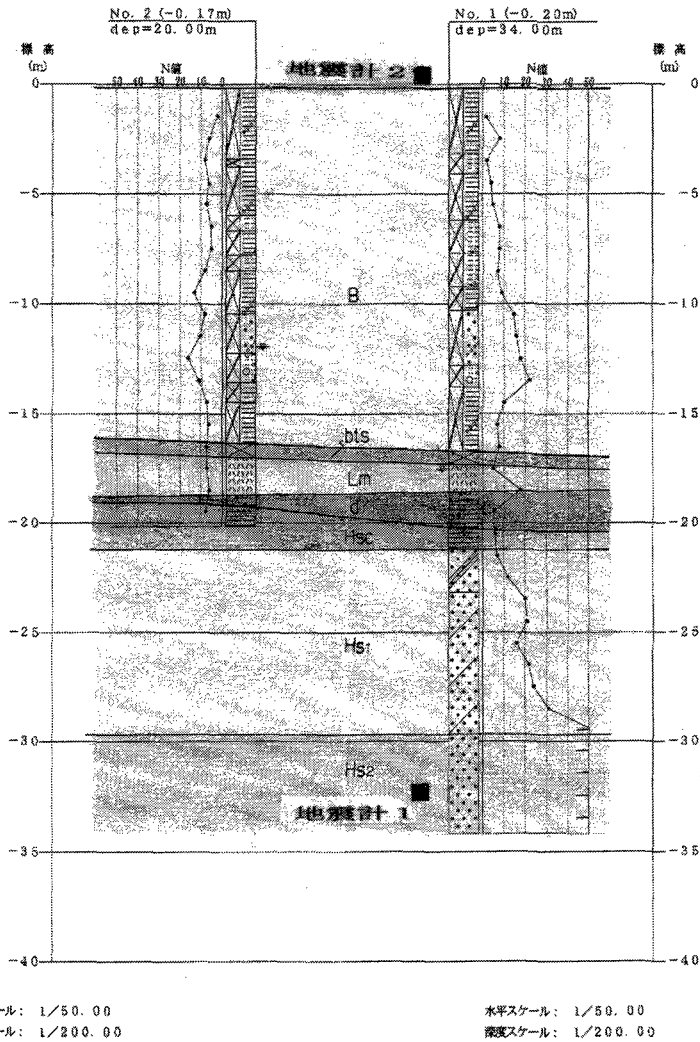
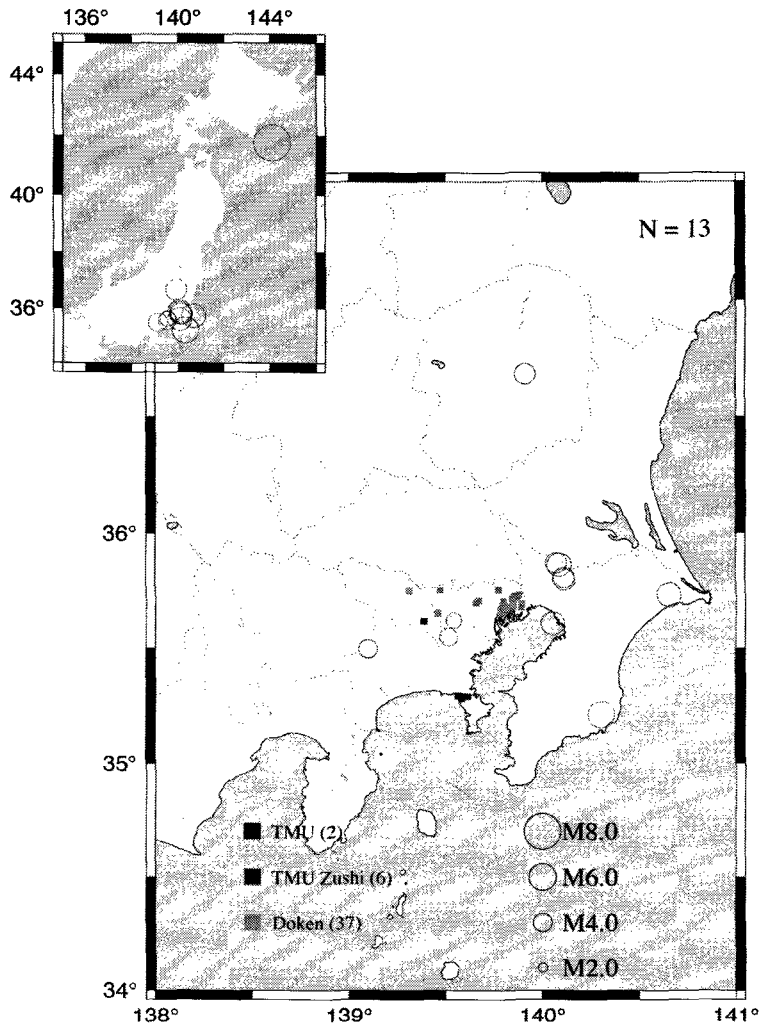


図4 東京都立大広場Bの地震観測点とボーリング柱状図

表1 東京都立大広場Bの地盤構造モデル

地質年代		地層名	主な土質	層厚 H(m)	N 値	Vs(m/s)
第四紀	現世	盛土	礫混じり粘土	16.0	2~13	100.8~188.1
			細砂(*)	うち 3.5	10~22	215.4~280.2
	更新世	旧表土	黒ぼく	0.6	7	153.0
		新規ローム層	火山灰質粘性土	1.3~1.7	5~7	136.8~153.0
		崩積土層	砂礫(*)	0.4	5~18	171.0~262.1
			シルト質粘土	1.2	6~8	145.4~160.0
		最上部砂泥層	砂礫粘土	1.0	6~7	145.4~153.0
第三紀	鮮新世	第1砂質土層	粘土質細砂(*)	8.5	7~52	191.3~373.3
		第2砂質土層	細砂(*)	4.5	54~75	378.0~421.7



観測点(都立大:TMU, 逗子:TMU Zushi, 土木技術研究所:Doken)

図5 観測地震の規模と震央分布図

表2 東京都立大学広場Bの観測地震(2003年4月~2004年3月)

No.	発震時		震央位置	(10進法)		深さ km	マグニチュード
	日	時		緯度	経度		
1	03/04/08	04:17:27	茨城県南部	36.683	139.912	47	4.6
2	03/05/10	11:45:53	千葉県北西部	35.808	140.112	70	4.6
3	03/05/12	00:57:06	茨城県南部	35.865	140.088	47	5.3
4	03/05/12	00:59:17	茨城県南部	35.872	140.072	50	4.6
5	03/05/17	23:33:11	千葉県北東部	35.735	140.653	47	5.3
6	03/07/11	14:23:57	神奈川県西部	35.500	139.098	21	4.1
7	03/07/12	02:31:54	神奈川県西部	35.498	139.098	22	4.1
8	03/08/05	23:49:57	神奈川県東部	35.623	139.540	61	3.4
9	03/08/18	18:59:40	千葉県北西部	35.800	140.112	69	4.8
10	03/09/20	15:54:52	千葉県南部	35.215	140.303	70	5.8
11	03/09/26	04:50:07	釧路沖	41.775	144.082	45	8.0
12	03/10/15	16:30:36	千葉県北西部	35.610	140.052	74	5.1
13	04/03/24	14:06:36	神奈川県東部	35.550	139.513	50	3.9

03.09.20

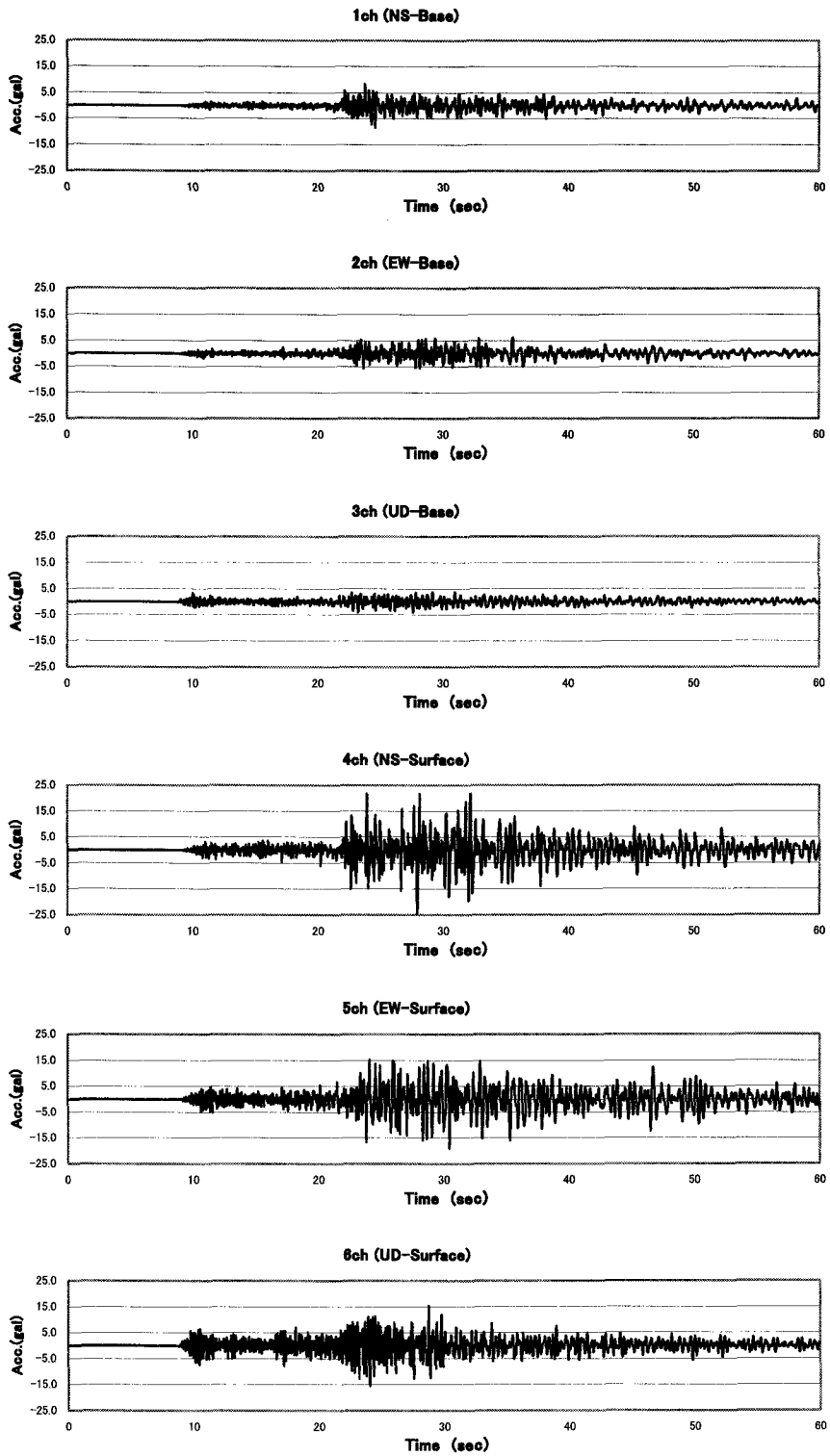


図6 東京都立大学広場Bの観測地震観測波形(千葉県南部地震 2003/9/20)

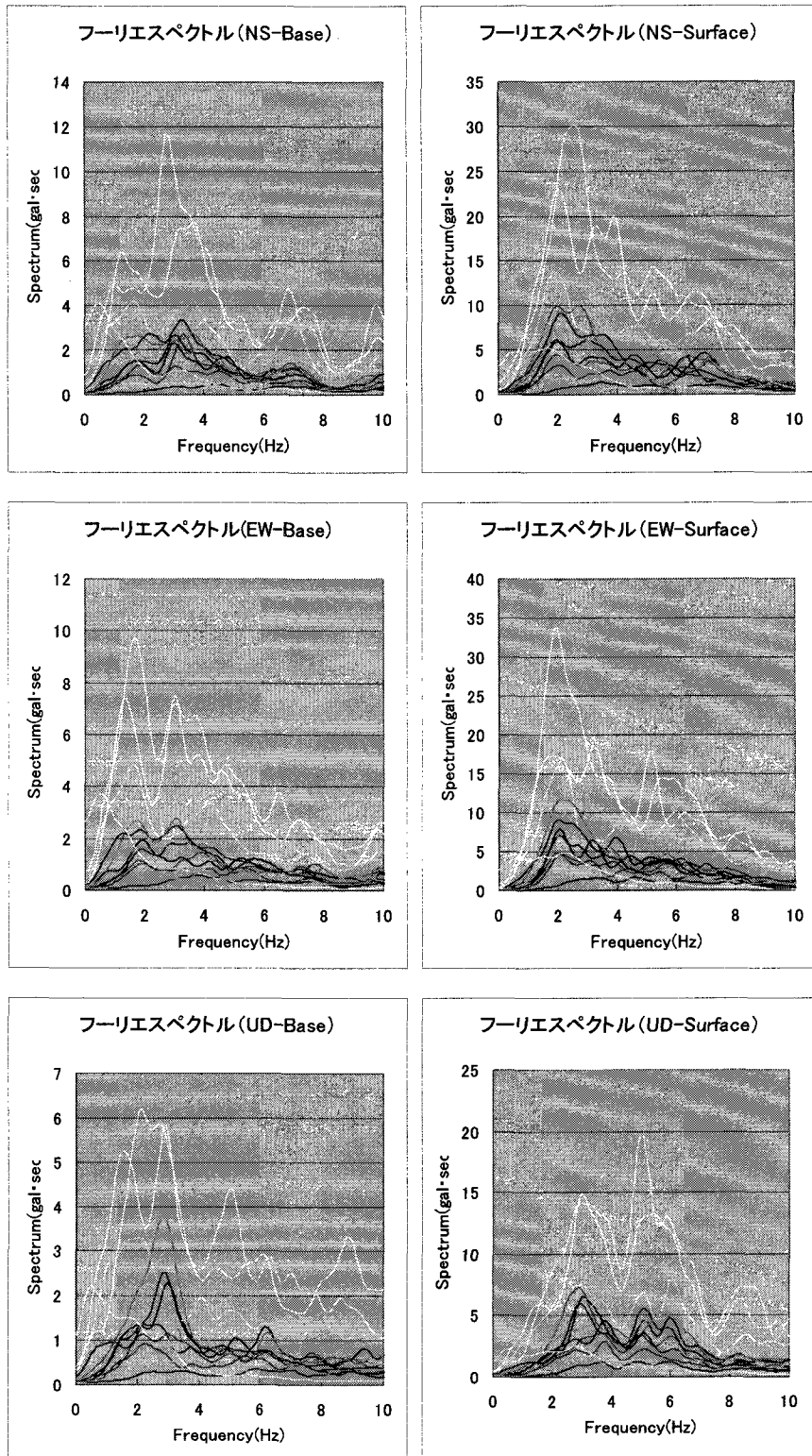


図7 観測地震波のフーリエスペクトルの重ね書き(平成15年度13地震)



4. 3 常時微動観測データによる地盤の応答特性

常時微動観測は、地震観測点を中心に東西・南北方向に約2m間隔に観測点を設定し合計で31箇所を実施した。1測点のデータ数は、0.01秒サンプリングで30000個(5分間)である。解析は、1測点、1ケースにつきノイズの少ない波形が定常と考えられる区間のデータを2046個(約20秒)選び、

FFT解析により水平成分(H)、上下成分(V)のフーリエスペクトルおよびH/Vスペクトル比を求め、表層地盤の卓越振動数を評価した。結果の1例を図9に示す。その結果、表層地盤の卓越振動数は2.6Hz~4.3Hzであり、NS方向とEW方向で若干の差が見られた。この結果は、地震観測データよりもとめた結果(伝達関数)とほぼ対応する。

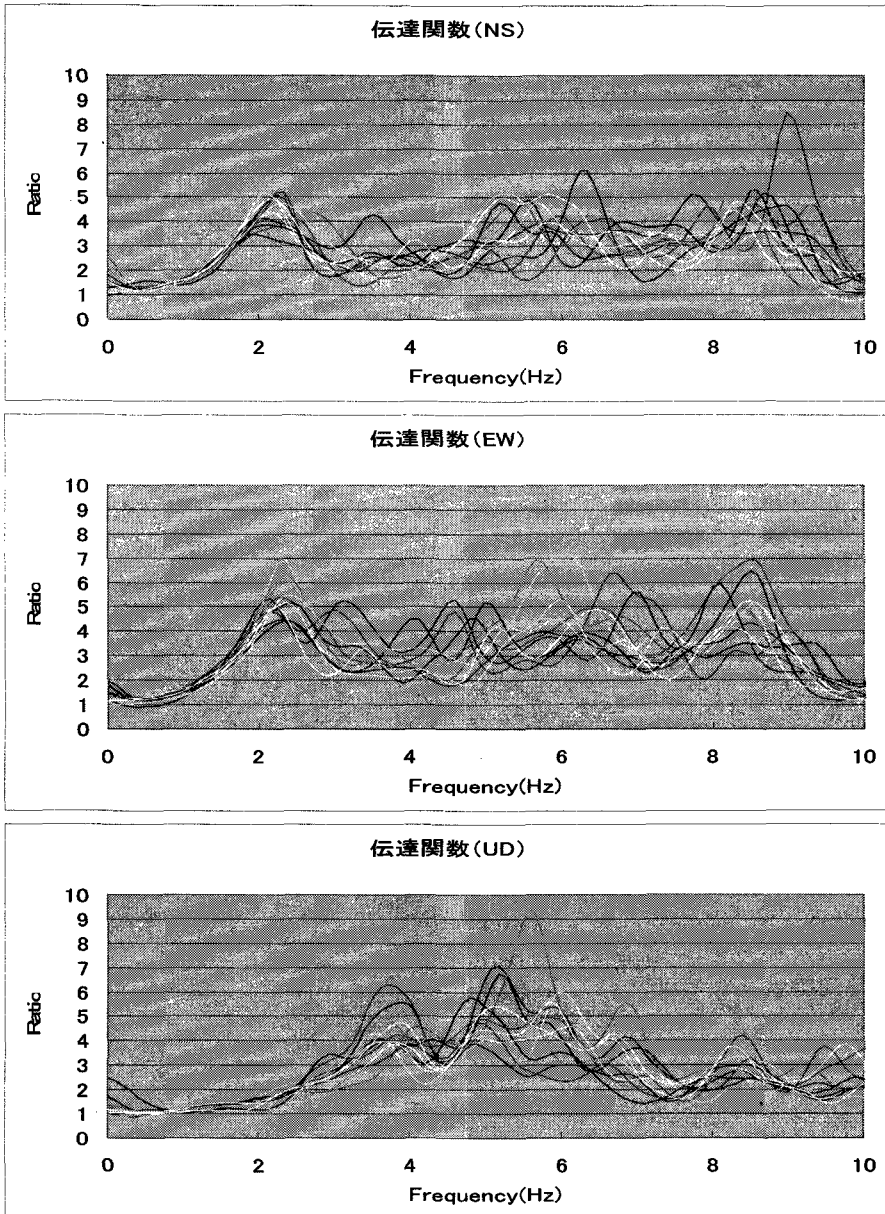


図8 観測地震波の伝達関数(地表/地下)の重ね書き(平成15年度13地震)

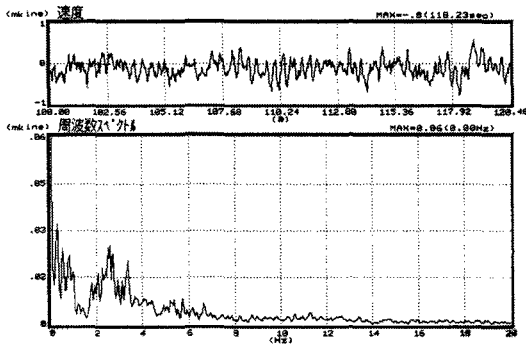


図9 常時微動観測データの時刻歴波形とフーリエスペクトル(広場B)

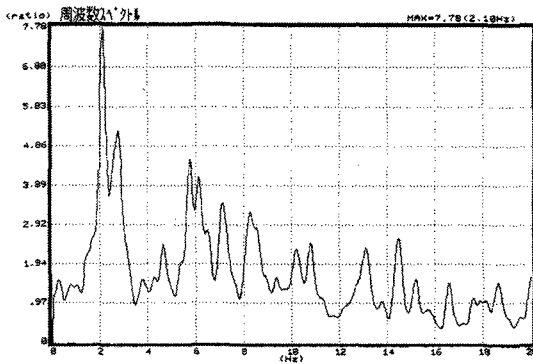


図10 常時微動観測データのH/Vの1例(広場B)

## 5. 東京都立大学周辺の多摩地域の常時微動観測による地盤の応答特性の検討<sup>1~3)</sup>

### 5.1 概要

東京都立大学を中心とした多摩地域(乞田川流域、東京都立大学周辺および南大沢駅南側の宅地造成区)を対象に広域常時微動観測を実施し、地盤条件、地形条件の違いが、表層地盤の応答特性に及ぼす影響等について調べた。さらに、特定な地点(松が谷団地、めじろ台、北野地区、小比企地区)を選定し、高密度地震観測を実施し、微動データの時間的変動や空間的変動すなわち表層厚さの違いや宅地造成に伴う地盤改変(盛土、切土)が地盤の応答特性に及ぼす影響について検討した。図11に、東京都立大学周辺地域および周辺の多摩地域を示す。

### 5.2 観測地点

(1) 東京都立大学周辺全域(2.5km×3.5km:図12) 地形・地質条件から3つの区域、すなわち (a) 小河川沿い(大きな道路沿い)の低地、(b) 都立大近辺の中間地域および(c) 宅地造成地域に分けることができる。広域常時微動観測では、これらの地域を250m×250mに分割し、約140地点で観測を行った。

(2) 公社松が谷団地(図11): 時間的変動を調べるため、東京都立大学付近にある公社松が谷団地において、1時間おきに24回、24時間常時微動観測を実施した。

(3) めじろ台地区(1.5km×2.5km)、小比企地区、北野地区: 空間的変動すなわち表層厚の違いが地盤の応答特性に及ぼす影響を明らかにするため、めじろ台では、60地点、また、小比企地区では、50地点、また、北野地区(丘陵地)では、55地点で観測した。図13にこの地区の地形を示す。

(4) 松が谷団地Bテラス(120m×170m:図11)

盛土、切土による地盤改変が地盤の応答特性に及ぼす影響を明らかにするため、大規模な宅地造成がなされた松が谷団地Bテラスにおいてボーリング地点を含む40地点(10m~20m間隔)で観測を行い、観測データによる卓越振動数および観測地域造成前後の標高データを比較するとともに、造成前のボーリングデータ等を用いて、現在の表層厚さ、物性を評価し、地盤改変(盛土、切土)が、表層地盤の応答特性に及ぼす影響について検討した。

(1) 観測方法: 各観測点において、水平2方向(NS成分, EW成分)と、上下方向の3成分を外乱の少ない静寂な時(夜間)に同時観測した。観測時間は5分間でデータ数は、0.01秒サンプリングで30,000個である。(2) データ解析: 5分間の観測データから比較的定常性を保った20.48秒間のデータを5つ選び出し、それぞれに対してFFT解析をおこない、フーリエスペクトル(NS, EW, UD)およびフーリエスペクトル比(NS/UD, EW/UD, H/V=NS・EW/UD<sup>2</sup>)を求め、その5つを平均したもので評価した。

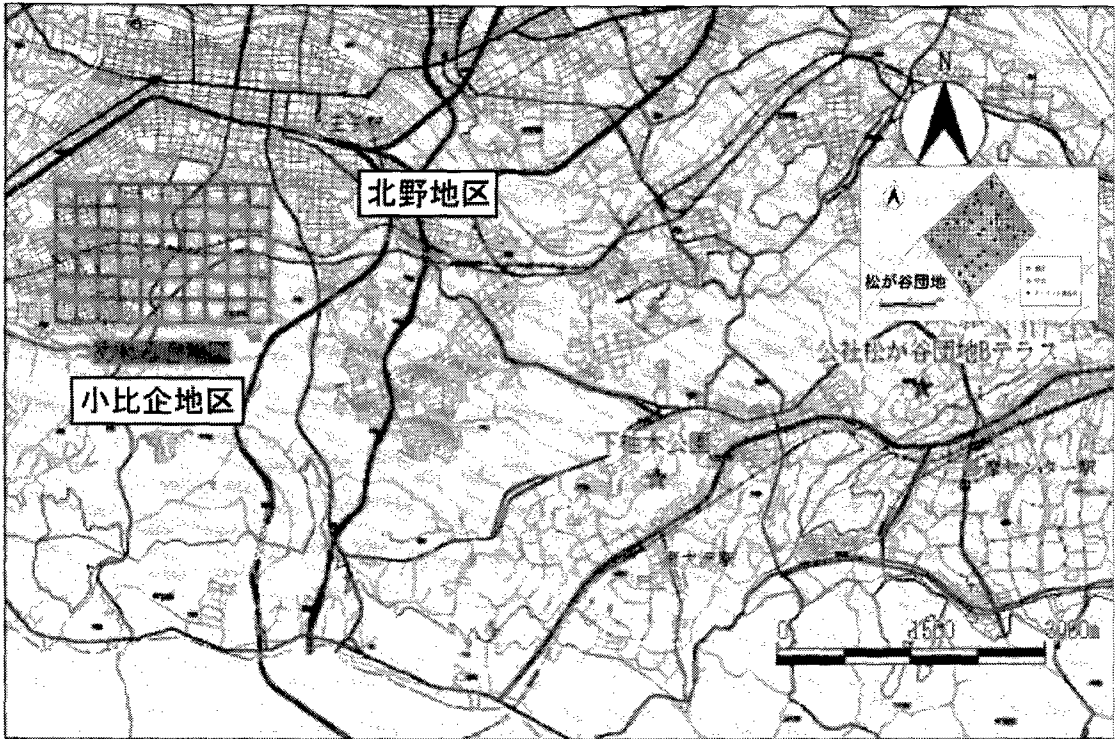


図11 東京都立大周辺全域の地形と観測点

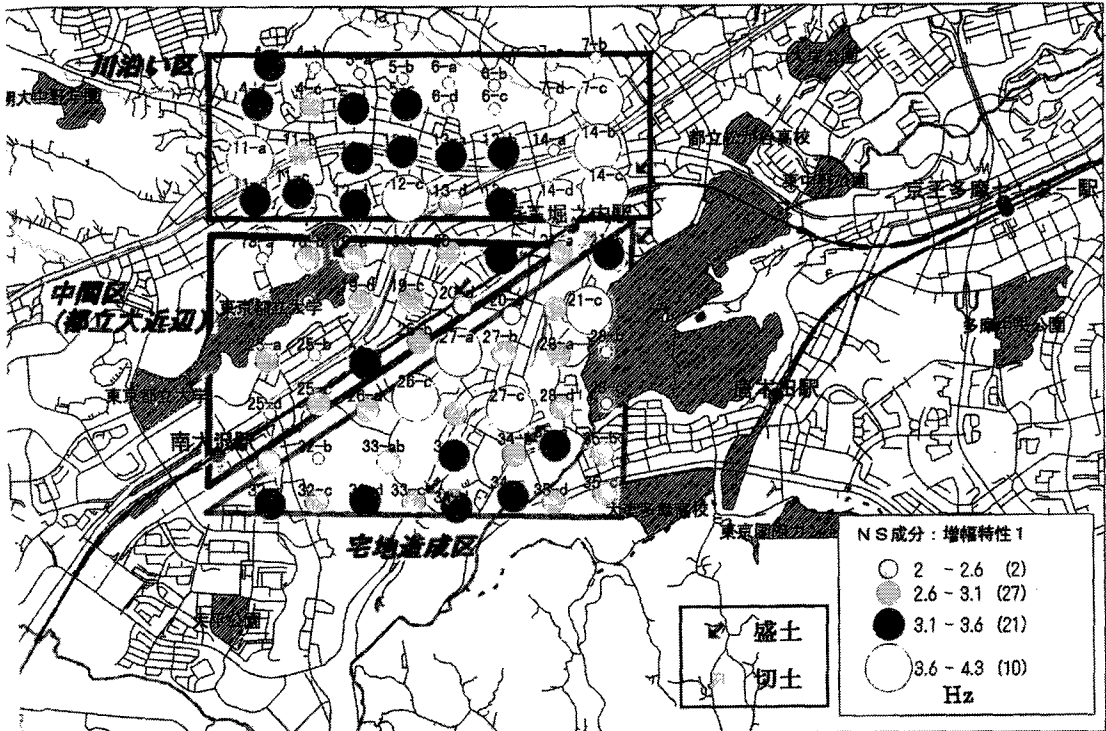


図12 東京都立大学周辺3区域(川治い区、中間区、宅地造成区)

表3 東京都立大学周辺3区域の卓越振動数の比較(理論値Fbと実測値Fa)

区分	基盤までの 層厚 H(m)	N 値	卓越振動数	
			理論値 Fb(Hz)	実測値 Fa(Hz)
川沿い区	5~15	3	5.8~1.9	2.6~4.0
		5	6.8~2.3	
中間区: 都立大周辺 (広場Bの場合)	盛土	16	1.6~2.9	2.6~4.3
	堆積土	14	2.4~2.7	
宅地造成区 (観測点 27-c の例)	盛土(*)	7(9)	4.5(4.0)	2.0~5.6
	堆積土	2	15.9~20.0	

注) 1: H, N 値はボーリングデータより求めた  
 2:  $V_s=80 \times N^{2/3}$  (粘性土と仮定)  
 3:  $F_b=V_s/4H$  (4分の1波長則)  
 4: 実測値は増幅特性の代表的な値を用いた

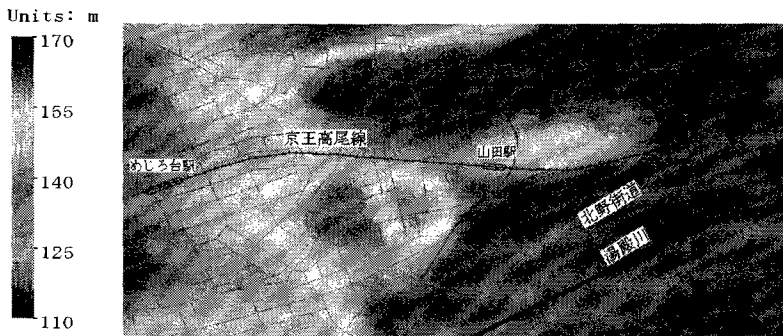


図13 めじろ台地区地形

### 5. 3 東京都立大学周辺の多摩地域の表層地盤の応答特性

#### 5. 3. 1 H/Vスペクトル比から求めた表層地盤の卓越振動数

(1) 図14、図15にこの3区域の全観測点の微動データ(NS方向、EW方向)のフーリエスペクトルおよびH/V(伝達関数)を示す。また、図12に3区域の実測値による地盤特性の分布(H/V:NS成分)を示す。表層地盤の卓越振動数は2.0Hz~5.6Hzに広く分布しており、NS方向、EW方向で大きな差はない。区域の特徴を調べると ①小河川沿いの低地では、3.1~3.6Hz、3.6Hz~4.3Hzが卓越し、②東京都立大学近辺の中間地では河川沿いよりも、若干小さい値を得た。また、③主に京王線以南の宅地造成地では、卓越振動数がかなりばらついていて、この原因は、盛土の厚さの違いによるものと考えられる。

(2) 1/4波長則から地盤の卓越振動数を算定し

常時微動観測結果と比較し、表3に示した。両者は、比較的良好な対応が得られた。

以上の結果、常時微動観測データにより、東京都立大学周辺の表層地盤の卓越振動数が明らかとなった。また、場所による違いの差は、地盤条件(表層地盤の物性および表層厚さ)の違いによると考える。

#### 5. 3. 2 時間的変動の検討

(1) 公社松が谷団地の24時間連続観測を行い、観測データ(NS, EW, UD成分)のスペクトルの時間的変動について検討した。図16~図18に示すように、NS、EW、UD成分のスペクトルは昼と夜でその増幅特性に約2倍の差が生じているが、周波数特性は24時間、時間的変動が無く安定している。

(2) 一方、H/Vスペクトル比(図19)は、増幅特性、周波数特性ともに24時間安定し一定の値を示しており、表層地盤固有のスペクトル特性を示すものと考えられる。

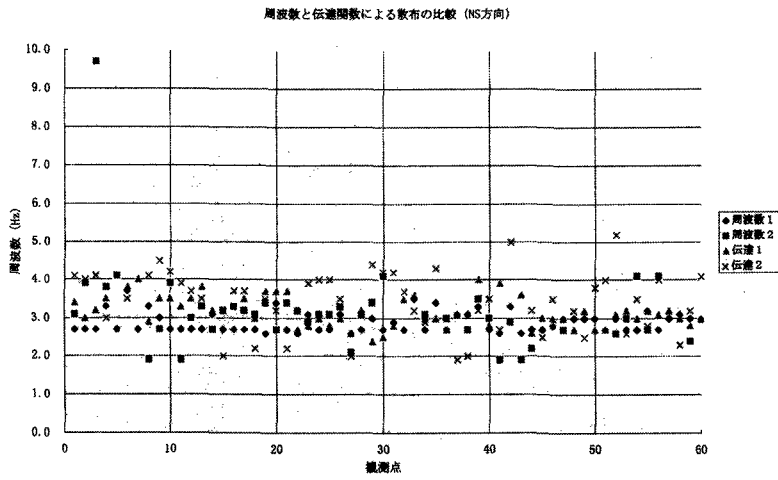


図14 東京都立大学周辺地盤の卓越振動数（フーリエスペクトルとH/V：NS成分）

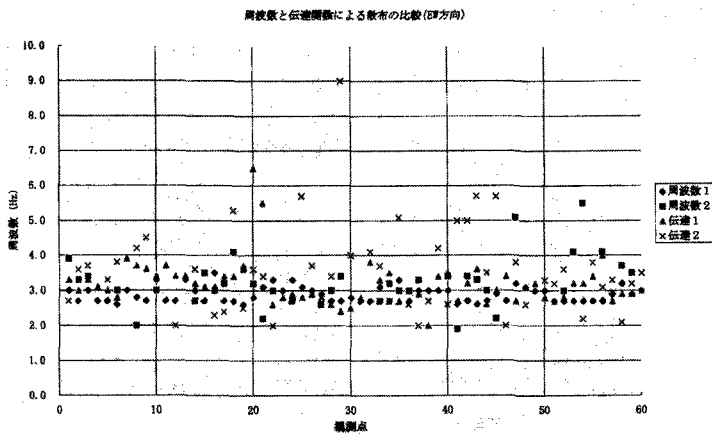


図15 東京都立大学周辺地盤の卓越振動数（フーリエスペクトルとH/V：EW成分）

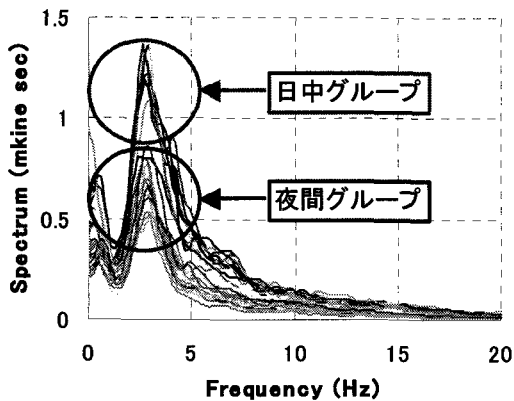


図16 NS成分スペクトル

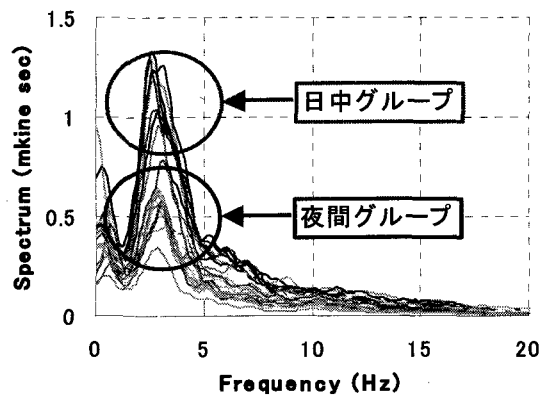


図17 EW成分スペクトル

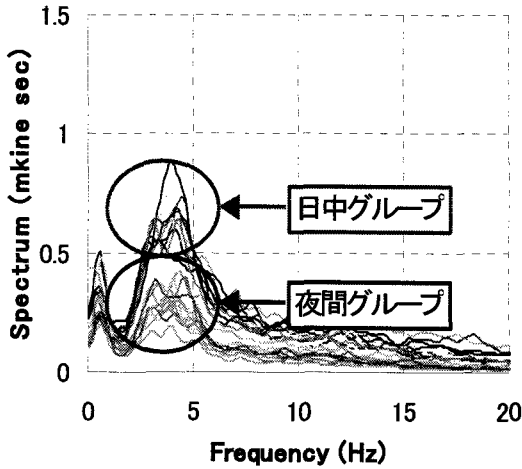


図18 UD成分スペクトル

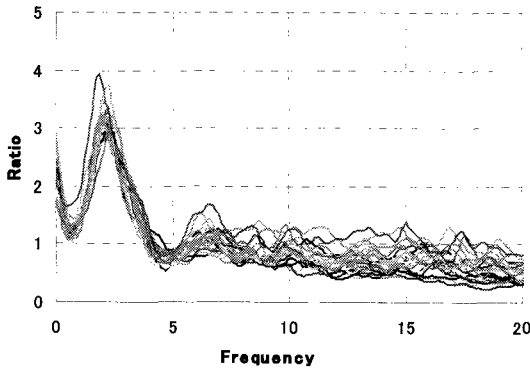


図19 H/Vスペクトル

### 5. 3. 3 広域的空間的変動の検討

(1) 小比企地区および北野地区の卓越振動数

図20に、表層地盤の卓越振動数の分布を示す。これによると、小比企地区、北野地域では、1.5Hz～5 Hzに広く分布しており、丘陵地では、5 Hz以上となっている。

(2) 表層厚さの違いによる表層地盤の検討特性 (めじろ台団地の場合)

(a) H/V スペクトル比から求めた卓越振動数

H/Vから得られた表層地盤の卓越振動数(f)コンターマップを図21に示す。また、八王子市が市内の約2500本のボーリングデータを用いて、地盤をタイプ別に38に分類し作成した地盤モデル(表4は1例)を用いてめじろ台団地の表層厚を評価した(図22)。これらと比較すると、卓越振動数が低い(高い)部分は、表層厚が厚い(薄い)部分に対応している。

(b) 表層厚の推定

八王子市の地盤モデル(表4)による表層地盤のVsと微動データから求めた卓越振動数(f)のVsを用いて、1/4波長則 ( $f=Vs/4H$ ) により、表層厚(H)を算定した。表層厚は、6～25mとかなり幅で変化している。標高と表層厚さとの差をとることにより基盤の形状を推定したが、推定した



図20 小比企地区、北野地区の卓越振動数分布

表4 八王子市地盤モデルの1例

VI					
層番号	深さ[m]	岩相	N 値	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	せん断波速度[m/sec]
①	0~10	ローム	3	1.37	159
②	10~13	粘土	3	1.52	183
③	13~25	細砂	20	1.8	309
④	25 以下	半固結砂岩、泥岩	>50	2	460

VII					
層番号	深さ[m]	岩相	N 値	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	せん断波速度[m/sec]
①	0~5	ローム	3	1.37	149
②	5~15	ローム	6	1.37	173
③	15~20	粘土、シルト	5	1.52	213
④	20 以下	泥岩	>50	2	460

VIII					
層番号	深さ[m]	岩相	N 値	密度[g/cm <sup>3</sup> ]	せん断波速度[m/sec]
①	0~6	ローム	3	1.37	152
②	6~18	ローム	9	1.37	178
③	18~23	粘土	5	1.52	217
④	23~30	砂礫	>50	2	420
⑤	30 以下	半固結砂岩、泥岩	>50	2	460

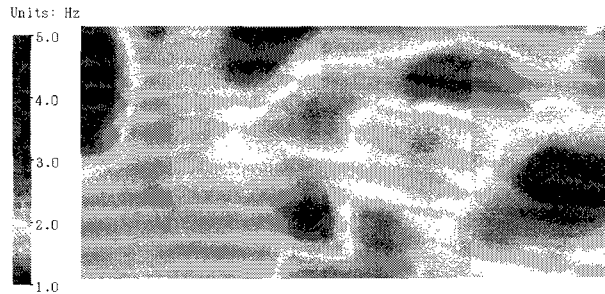


図21 めじろ台地区卓越振動数コンターマップ

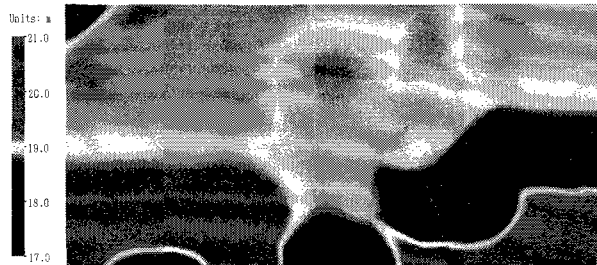


図22 めじろ台地区表層厚

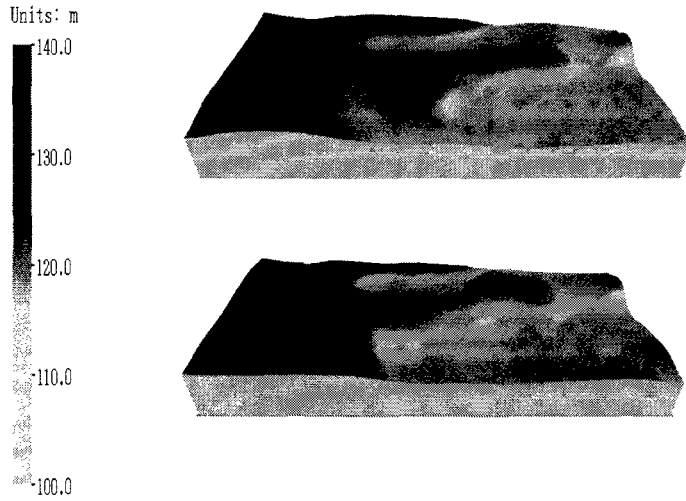


図23 めじろ台地区基盤形状(上:八王子市モデル,下:常時微動)

盛土H/V

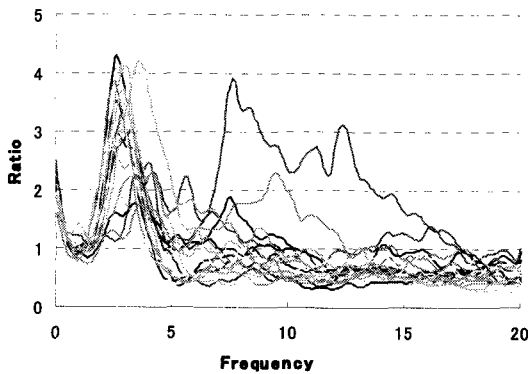


図24 盛土のH/Vの重ね合わせ

切土H/V

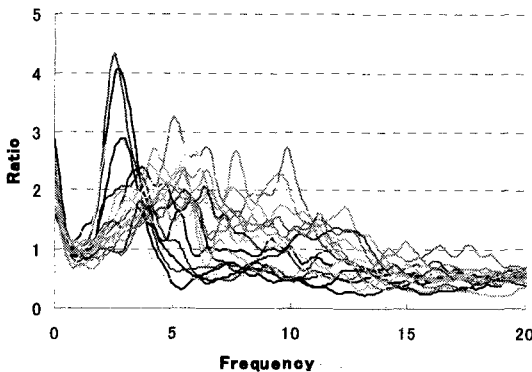


図25 切土のH/Vの重ね合わせ

基盤形状と実際の基盤形状は比較的良好な対応を示した(図23)。

5. 3. 4 盛土、切土による表層地盤の応答特性(局所の変動)の検討

(1) 公社松が谷団地 B テラスの盛土、切土による応答特性を調べるため、盛土、切土のH/Vの重ね合わせ結果を図24、図25に示す。卓越振動数は、3.2Hz(盛土)、4.6Hz(切土)で、盛土が比較的低く、切土が高い。また、スペクトル形状は、盛土は、比較的に明瞭なピークを示すが、切土のピークは、余り明瞭ではない。図26、図27に、常時微動観測結果とボーリングデータから推定した基盤形状と表層厚を比較して示す。表層厚および基盤形状とも、2つの結果は良好な一致を示しており、常時微動観測により、表層地盤の構造(層厚、物性)を妥当に評価出来ることが分かった。

(2) 大規模な宅地造成が施された小比企地区に対しても同様に、表層厚をボーリングデータおよび造成前後標高データから切土、盛土量を算出し推定した結果と常時微動観測データによる卓越振動数を用いて、1/4波長則により表層厚を推定した結果を比較して示す(図28)。盛土量や切土量を考慮しない場合は、両者に大きな差があるが、造成前後の盛土、切土の影響を考慮することにより、良好な対応が得られた(図29)。



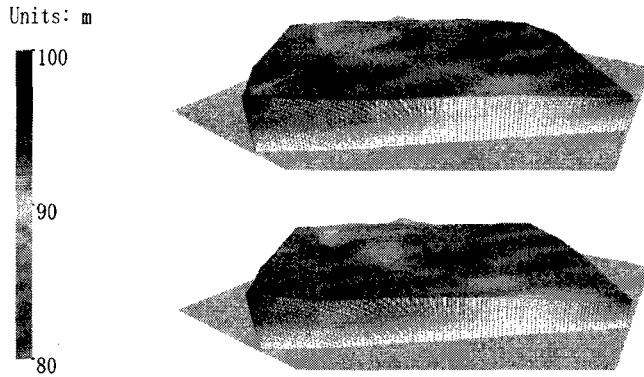


図26 松が谷団地地盤形状(上:ボーリング,下:常時微動)

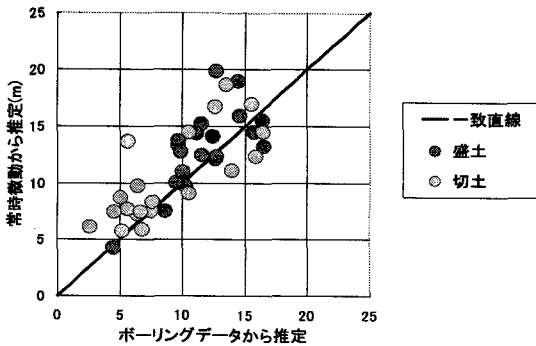


図27 表層厚の比較(常時微動とボーリングデータ)

### 5. 3. 5 まとめ

東京都立大学を中心とした多摩地域を対象に広域常時微動観測を実施し、表層厚さの違いや宅地造成に伴う地盤改変(盛土、切土)が地盤の応答特性に及ぼす影響について検討した結果

(1) 常時微動観測データを用いて推定した地盤構造(表層厚さ、卓越振動数)は、既往の地盤データとよく対応しており、これらを組み合わせることにより、大まかな地盤構造を推定できることが分かった。

(2) 常時微動データの分析により造成地盤の切土、盛土に伴う表層地盤の変状(表層厚と物性)を妥当に評価できた。

### —GISを用いた視覚表示による検討— 常時微動と切盛を考慮したボーリングの表層厚の比較

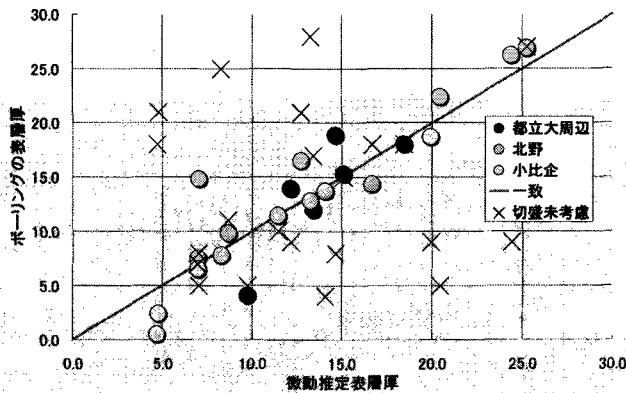


図28 常時微動と切盛を考慮したボーリングの表層厚の比較  
(東京都立大周辺、北野、小比企)

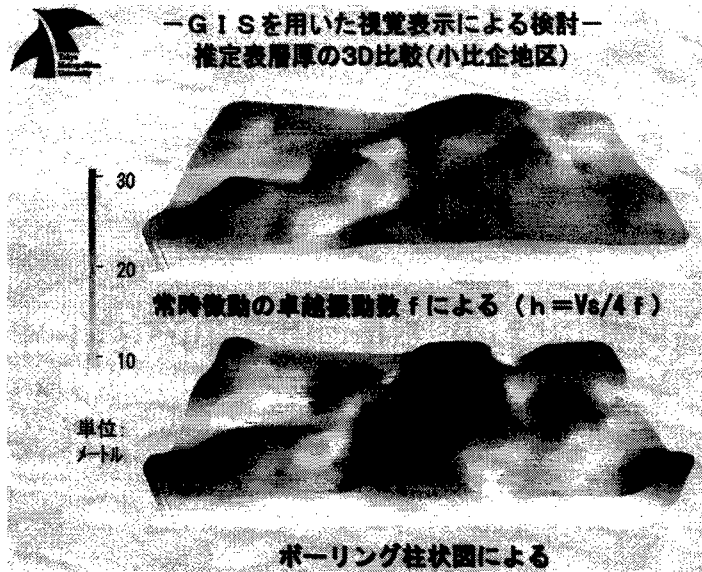


図29 小比企地区の表層厚の3D比較(常時微動とボーリングデータ)

### 6. GISを用いたデータベース化手法の提案と拡充<sup>8,9)</sup>

#### 6.1 概要

本研究室では、以上示したように今まで、東京都立大学周辺の多摩地域の表層地盤で約400点以上、神奈川県逗子地域の他、東京都小笠原父島、中国(西安地域、遼西地域)、フィリピン、イン

ドなどで、常時微動観測を実施して、現在、500点以上のデータを所有している。さらに、東京都の海岸の軟弱地盤や河川流域などを対象に常時微動観測を計画している。しかし、これらは、紙やフロッピーディスク、CD-Rなど様々な形式で保管されているため、データの分析や各地域間の比較を行う際多大の労力と時間を必要としている。このため、本研究では、GISを用いた常時微動データの統一データベース化手法(SPEC\_WAVE2)を提案し、観測データの統一化を図った。図30にGISを用いたデータベースの構造を示す。

#### 6.2 スペクトル図自動表示システム(SPEC\_WAVE2)の構造

(1)概要: SPEC\_WAVE2は、GIS上にシンボルで表示した常時微動観測を行った地点を選択した際に、その地点のスペクトル図を表示出来るもので、単独表示モードと重ね合わせ表示モードがあり、1地点の情報のみならず複数の地点の情報を同時に見ることも可能である。全体の流れを図31に示した。常時微動データは、3つのテーブルから構成されている。

①テーブル1は、各地点の地盤の物性(卓越振動数と、せん断波速度、層厚)など、その地点固有

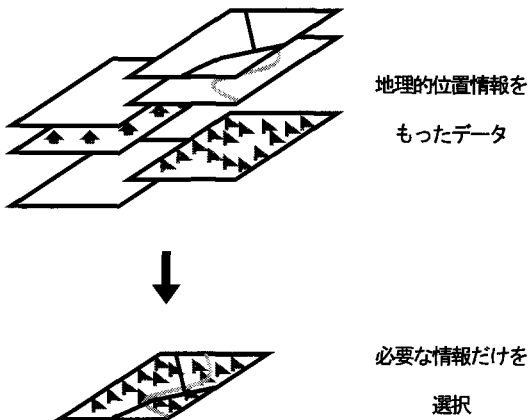


図30 GISを用いたデータベース概念図

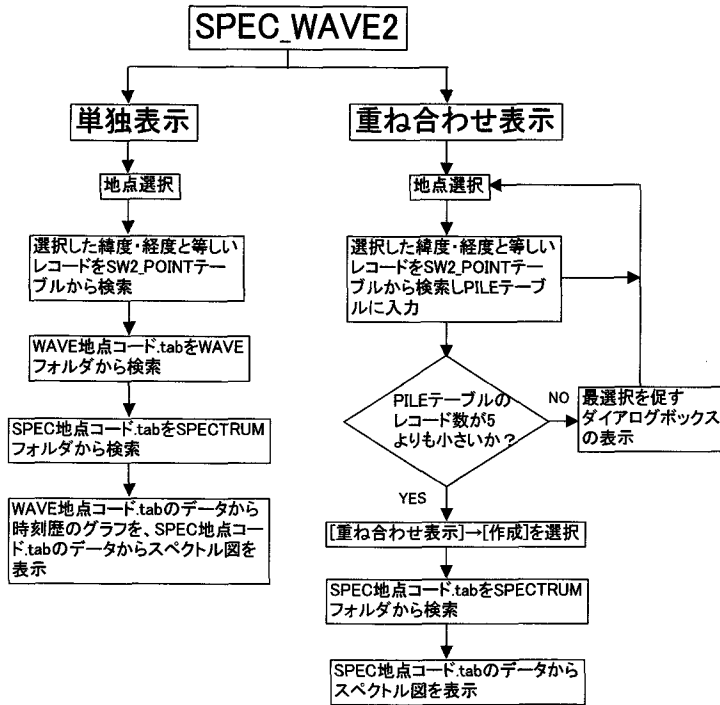


図31 SPEC\_WAVE2 フォローチャート

表5 地点に関するテーブル

地点コード	地点名	Longitude	Latitude	卓越振動数 NS	卓越振動数 EW	卓越振動数 H_V	せん断波速度	表層厚 H
mejirodai01-01	めじろ台	139.3102	35.64684	2.9	2.8	7.2	210	10
mejirodai01-02	めじろ台	139.3128	35.64606	2.9	3.1	2	225	15
mejirodai01-03	めじろ台	139.3148	35.64605	2.8	2.8	2.2	268	12
mejirodai01-04	めじろ台	139.3183	35.64629	2.8	2.8	1.4	180	20

⋮

表6 スペクトルデータに関するテーブル

frequency	NS_avg	EW_avg	UD_avg	NS_1	EW_1	UD_1	NS_2
0	0.0167	0.0168	0.0070	0.0211	0.0161	0.0079	0.0172
0.1	0.0175	0.0176	0.0072	0.0219	0.0165	0.0083	0.0182
0.2	0.0193	0.0195	0.0077	0.0237	0.0176	0.0091	0.0204
0.3	0.0211	0.0213	0.0081	0.0253	0.0185	0.0098	0.0223
0.4	0.0216	0.0218	0.0085	0.0256	0.0185	0.0102	0.0225
0.5	0.0204	0.0205	0.0088	0.0241	0.0173	0.0103	0.0205
0.6	0.0177	0.0177	0.0091	0.0210	0.0153	0.0104	0.0171
0.7	0.0144	0.0144	0.0092	0.0171	0.0129	0.0104	0.0134
0.8	0.0113	0.0113	0.0091	0.0131	0.0107	0.0101	0.0105
0.9	0.0089	0.0089	0.0087	0.0097	0.0090	0.0093	0.0086
1	0.0074	0.0073	0.0081	0.0073	0.0078	0.0081	0.0080
1.1	0.0068	0.0064	0.0074	0.0060	0.0072	0.0069	0.0083
1.2	0.0070	0.0063	0.0069	0.0060	0.0074	0.0065	0.0093

⋮

表7 時刻歴データ(加速度)に関するテーブル

time	NS(1ch)	EW(2ch)	UD(3ch)
0.01	0.61	0.256	0.061
0.02	0.61	0.183	0.125
0.03	0.739	0.162	0.092
0.04	0.684	0.085	0.146
0.05	0.696	0.061	0.192
0.06	0.623	-0.009	0.186
0.07	0.589	0.003	0.134
0.08	0.555	-0.052	0.14
0.09	0.546	-0.046	0.046
0.1	0.5	-0.055	0.07
0.11	0.476	-0.031	0.159
0.12	0.439	-0.018	0.186

の情報を持ったものである(表5)。

②テーブル2は、各地点のスペクトルに関するものである(表6)。

③テーブル3は、各点の時刻歴データに関するもの(表7)である。

(2)表示方法：単独表示と重ね合わせ表示の2つである。

### 6. 3 手法の特徴と結果

本手法により、今まで様々な形で保存されてきたデータを統一的に一元管理できる点に最大の特徴があり、1つの地点を選択した際に、スペクトル図と時刻歴波形を同時に評価でき、また複数の地点(最大5点)を選択することによりスペクトルの重ね書きを行うことができる。図32、図33に単

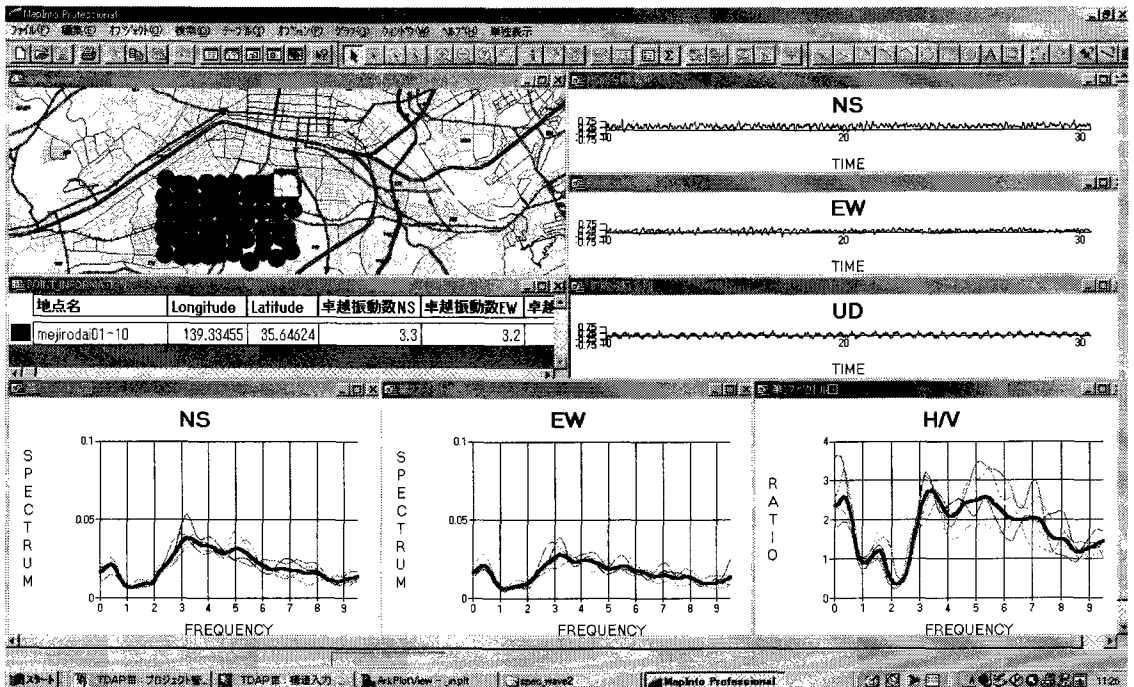


図32 常時微動データの単独表示

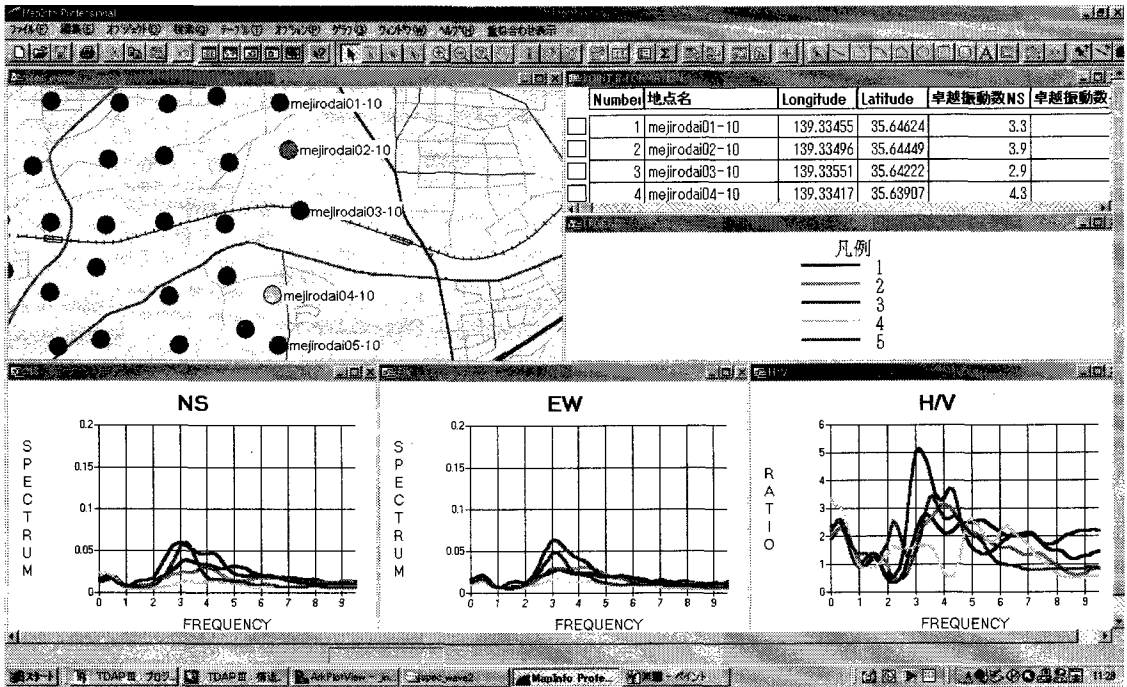


図33常時微動データの重ね合わせ表示

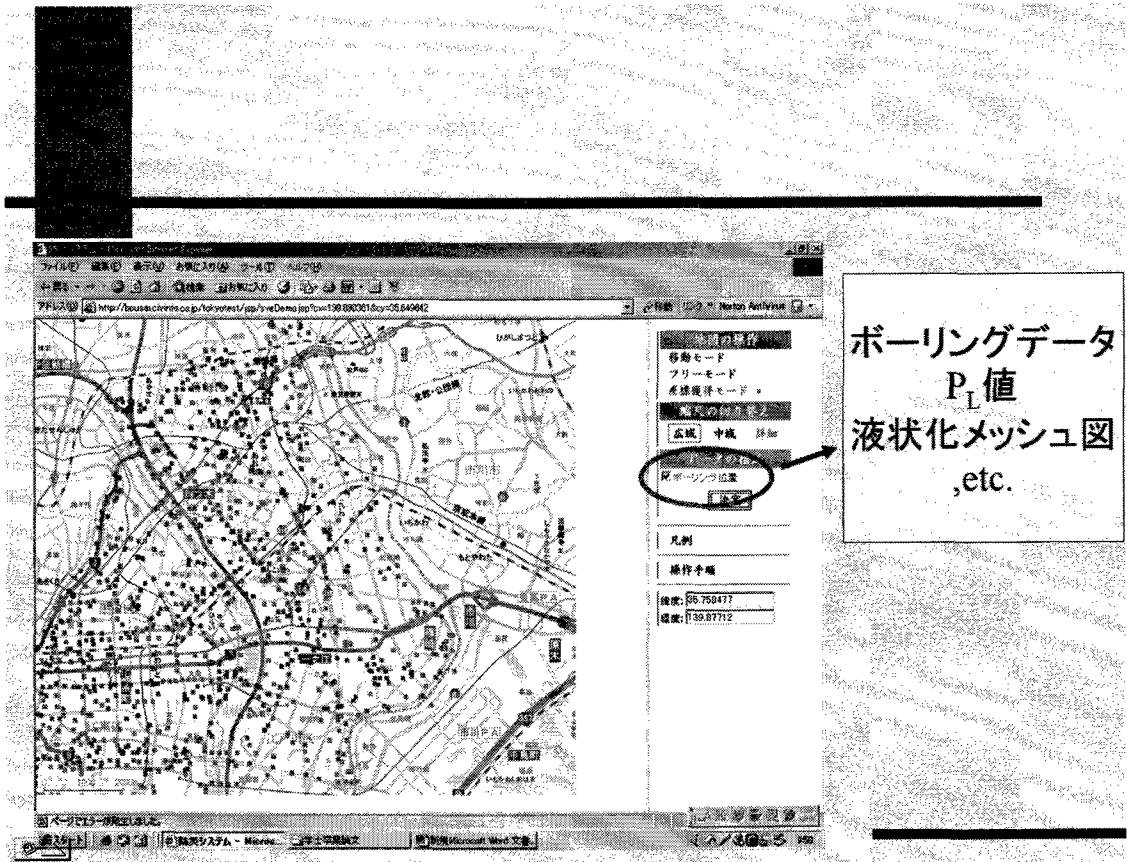


図34 東京低地(葛飾区, 江戸川区, 墨田区, 江東区)のボーリング点の分布

独表示、重ね合わせ表示の例を示した。

今後、多摩地域、逗子地域、東京都低地の微動観測データへの適用を図る予定である。

### 7. 東京低地の液状化被害と既往のボーリングデータを用いた液状化判定手法の構築・および河川近傍の液状化地点の常時微動観測とデータベース化

#### 7. 1 はじめに

関東大地震(1923年)の震度分布と液状化被害の調査・分析、液状化判定のための手法を構築し、東京都土木技術研究所所有の「葛飾区」、「江戸川区」、「墨田区」、「江東区」の沖積低地4区(図34)のボーリングデータ(1241点)に適用し、さらに、

過去に液状化被害を受けた葛飾区の京成金町駅、水元公園周辺の6地点を選定し、常時微動観測を実施し、地盤の卓越振動数と液状化危険度(PL値)との関連について検討した。

#### 7. 2 関東大地震(1923年)の震度分布と液状化被害の分析

(1)震度分布：図35、図36は、被害資料の再評価による関東大地震の南関東全域の住宅家屋全壊率と震度の分布および東京都心部の震度分布を示したものである<sup>10)</sup>。これによると、震源断層面直上では、房総半島の東部を除く全地域で建物の全壊率1%以上、震度6弱以上となっている。特に神奈川県相模平野や足柄平野、千葉県館山から千倉かけての低地部など、扇状地を中心とした沖積平野とその周辺では、全壊率30%以上、震度7

震度の評価基準と気象庁震度階級の定義

震度	住家全壊率	震度階級の定義 (昭和24年~平成8年)
5弱	0.1%未満	強震。壁に割れ目が入り、墓石・石灯ろうが倒れたり、煙突・石垣などが破壊する程度の地震。
5強	0.1%以上、1%未満	
6弱	1%以上、10%未満	烈震。家屋の倒壊は30パーセント以下で、山崩れが起き、地割れを生じ、多くの人々が立っていることができない程度の地震。
6強	10%以上、30%未満	
7	30%以上	激震。家屋の倒壊が30パーセント以上に及び、山崩れ、地割れ、断層などを生じる。

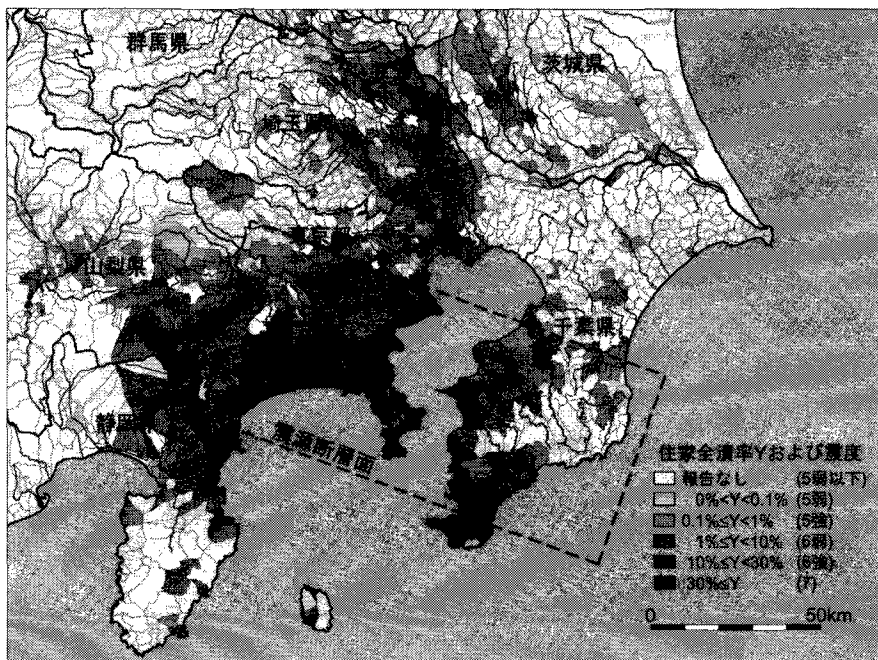
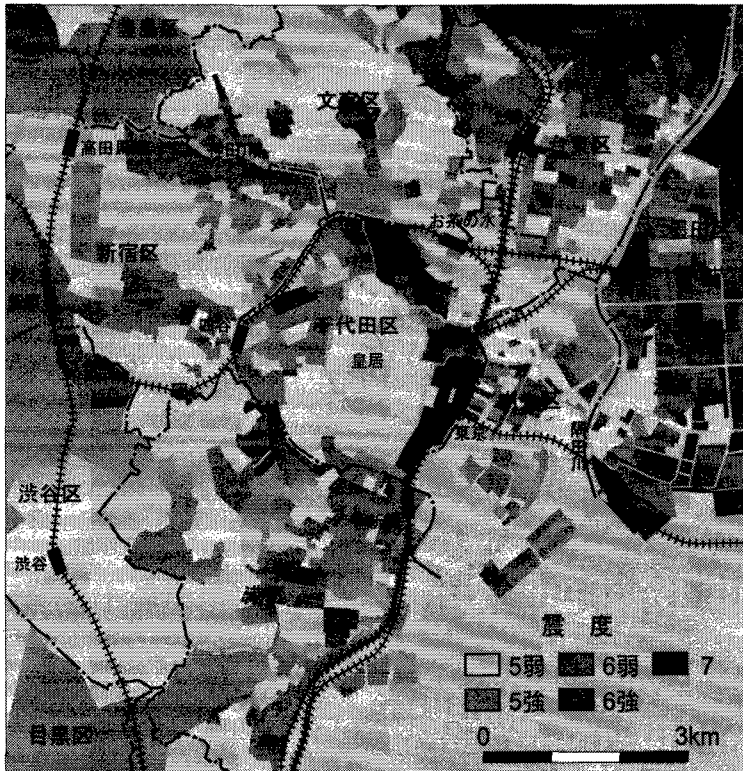


図35 関東地震による南関東全域の住家の全壊率および震度(武村雅之氏提供)<sup>10)</sup>



関東大地震による東京都心部の震度分布(宮城野とIFは現在)

図36 関東大地震による東京都心部の震度分布 (武村雅之氏提供)<sup>10)</sup>

に達している。また、中川低地や荒川低地など、古くに利根川や荒川などの大川によって作られた沖積平野でも震度6強～7となっている。

また、東京都心部では、山の手台地上では震度が低く、大半が震度5強以下であるが、隅田川都東部、墨田区や江東区、台東区の北部など下町低地では、震度6強～7となっている。

(2)液状化履歴：既往の文献などを参照して、図37に東京都の液状化履歴図を示した。既往の文献調査の他、震災体験者の面接調査および郷土史両調査等の調査を行い、液状化被害の実態について調べた結果である<sup>11~14)</sup>。

液状化発生個所のほとんどが江戸川沿い、中川・旧中川・荒川河口沿い、古隅田川沿い(足立区と葛飾区の区境)、新河岸川下流・隅田川上流沿い(昔の荒川沿い)、多摩川沿いの沖積低地、埋立地に分布している。この付近では地割れ、噴砂、地盤の陥没、橋脚の沈下・傾斜などの被害が多く確認されている。

### 7. 3 東京低地の液状化危険度評価(図38)

ここでは、関東大震災で、大きな液状化被害を受けた「葛飾区」、「江戸川区」、「墨田区」、「江東区」の沖積低地4区を対象に、想定地震としてタイプ1地震(プレート境界型地震)による液状化危険度評価を行った。液状化判定は、「道路橋示方書・同解説V耐震設計編(平成14年度版)」に準拠し、FL値、PL値を使用した。

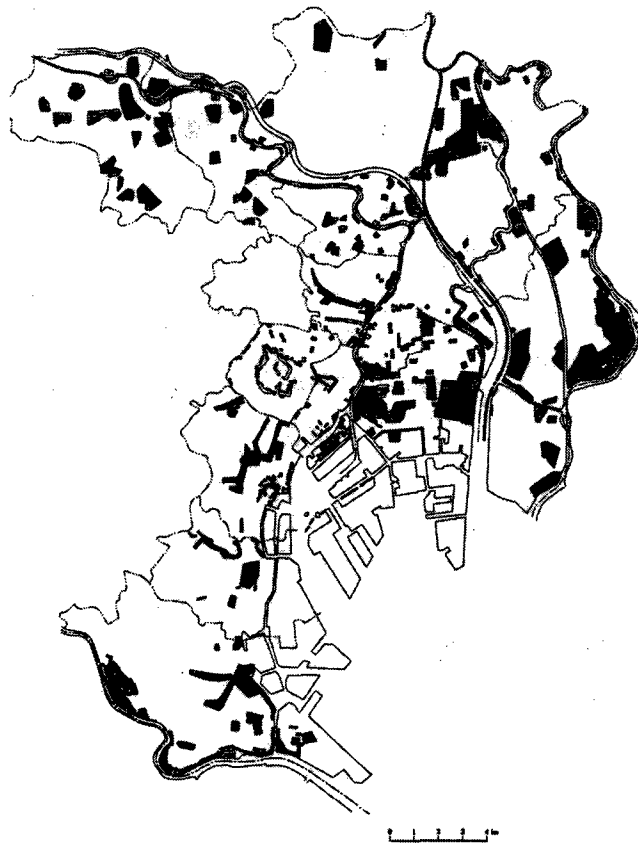
### 7. 4 液状化危険度判定と判定基準

#### (1) FL値とPL値

液状化危険度判定のフローチャートを図39に示す。

#### (a) FL値による判定

ボーリングデータから得られる物性値(N値)に基づいて、深度ごとに砂層の液状化に対する抵抗率FL(動的せん断強度比Rと地震時せん断応力比Lの比により式  $FL=R/L$  で表される)を算出して



凡 例

情報の確定性の区分 液状化程度の区分	情報の確定性の区分		
	地点を確定できる	地点は確定できないが地域までは確定できる	地域としておおよそ確定できる
激しい液状化が生じた地域	● 〃	■	■
軽度の液状化が生じた地域	● 〃	■	■
井水の変化・地割れした地域	● 〃	■	■
地盤災害がない地域	□	□	□
判断保留および未調査地域	□	□	□

図37 関東大地震による東京都の液状化履歴図

### 研究の流れ

ボーリングデータ 計1241点  
(葛飾区・江戸川区・墨田区・江東区)

道路橋示方書・同解説V耐震設計編  
(平成14年度版)

液状化危険度を評価し、GISにデータを蓄積・反映

判定を行う。FL $\leq$ 1.0でその土層は液状化し、FL $>$ 1.0で液状化しないと判断される。

#### (b) PL値による判定

さらにFL $\leq$ 1.0の土層については、判定地点の地盤全体の危険度(滑り・沈下等の危険度)を算出し、これにはPL値(深度方向の液状化抵抗率の分布を深さ方向に重み付けして積分した液状化指数)を用いる。判定に必要な材料の諸定数を図40に示す。また、PL値による判定基準は、図40に示す4段階(PL=0, 0 $<$ PL $\leq$ 5, 5 $<$ PL $\leq$ 15, PL $>$ 15)である。

図38 東京低地(4区)の液状化危険度評価の流れ



# 液状化判定の計算手順

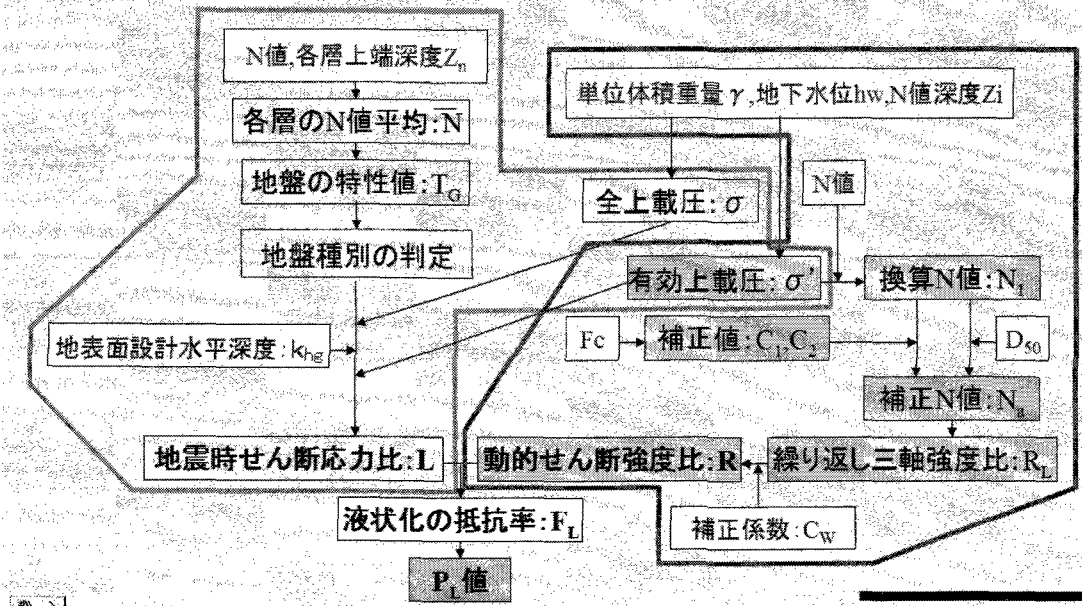


図39 液状化危険度評価判定の計算手順

## 7. 5 液状化危険度判定の例示

図40に現在まで判定した荒川を境界とした東側の40地点のPL値を示す。そのほとんどにおいて液状化危険度の高いことが明らかになった。

## 7. 6 常時微動観測による液状化被害地点の地盤の応答特性

関東大地震等により過去に液状化被害を経験した葛飾区京成金町駅および水元公園周辺地域(6地点)を対象に常時微動観測を実施し、表層地盤の卓越振動数と地盤構造(液状化層厚)等について調べるとともに、各地点の液状化危険度(FL値、PL値)を算定し、液状化危険度と地盤の卓越振動数との関連について検討した。

①図41に、常時微動観測点および各観測点とPL値を示す。

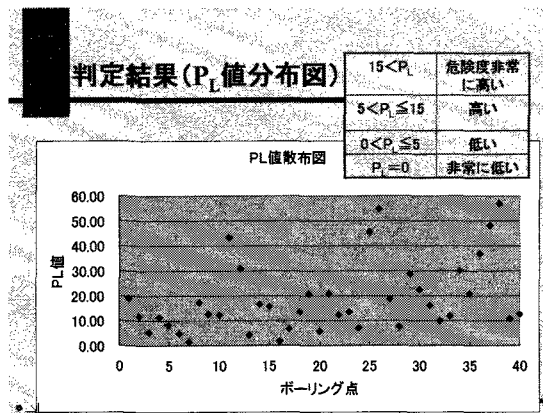


図40 液状化危険度判定結果(各地点のPL値)

②図42(a), (b)~図43(a), (b)に、液状化危険度の高いNo. 2 水元中学校脇歩道(PL値=54.86)と液状化危険度の低いNo. 4(水元公園内2)の地質柱状図と常時微動観測により得られた各成分のスペ

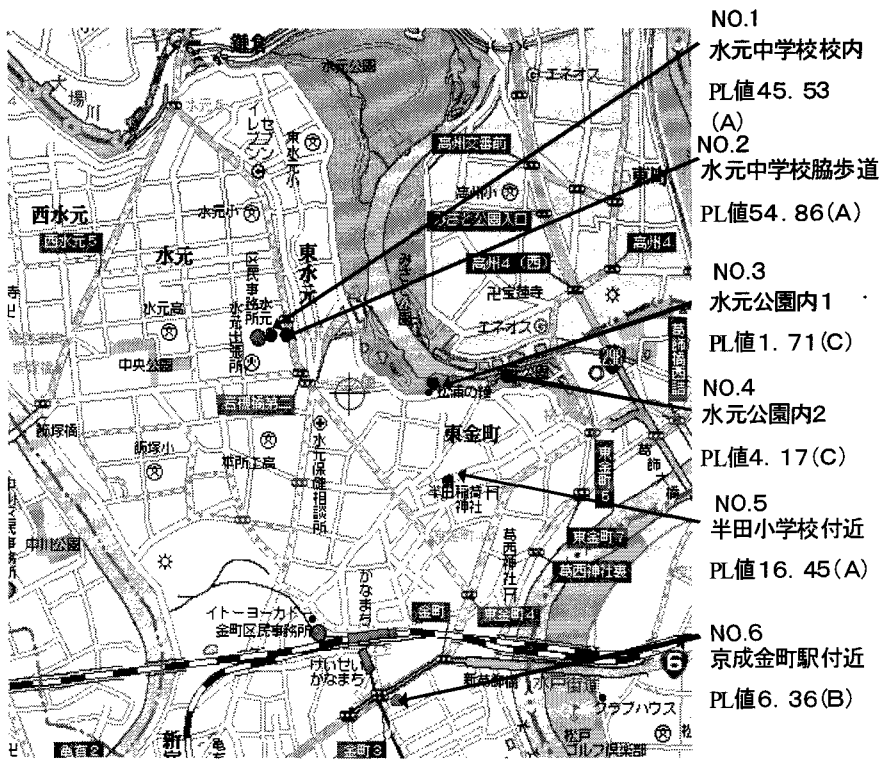


図41 常時微動観測点(葛飾区金町駅,水元公園周辺6地点)

クトル(NS成分、EW成分、UD成分)およびH/Vスペクトル比 (NS/UD, EW/UD,  $\sqrt{NS \cdot EW/UD}$ )を示す。

③図44に、各観測点のPL値と卓越振動数の関係について示す。

これらの図表から、液状化被害地点のPL値は、液状化層厚によりかなりばらついているが、表層地盤の卓越振動数は、大きな差は見られず、1 Hz ~ 2 Hzとなった。

地盤の卓越振動数と液状化危険度(PL値)との明確な相関は見られない。

### 7.7 データベース化

今後、液状化被害地点を対象に、常時微動観測を継続実施し、常時微動観測により得られた地盤の卓越振動数をデータベース化すると共にGISにより「ボーリングデータ(柱状図)」、「液状化危険度マップ(PL値の大きさごとにメッシュで色分け)」して、データベース化を図り、その関連性

について検討する。さらに、これらのデータを用いて、大地震を想定した側方流動量の算定を行う予定である。

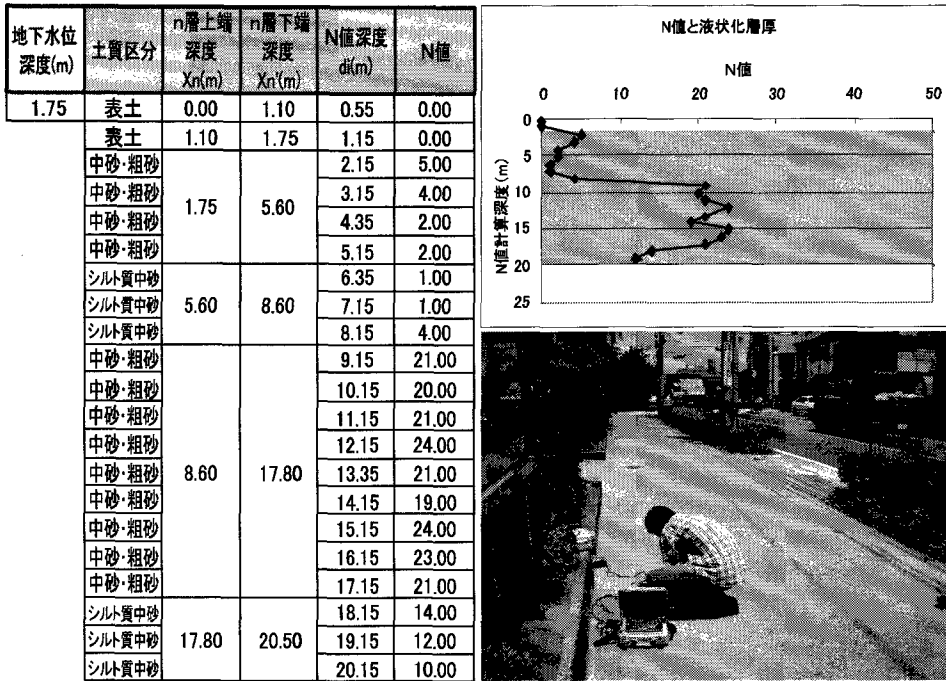
### 7.8 まとめ

(1) 過去の地震により、液状化被害を受けた「葛飾区」、「江戸川区」、「墨田区」、「江東区」の沖積低地4区のボーリングデータ(1241点)を用いて液状化判定のための手法の構築とデータベース化を図った。

(2) 過去に液状化被害を受けた京成金町駅、水元公園周辺地域において常時微動観測を行い表層地盤の卓越振動数と液状化危険度の関係について調べたが、明瞭な相関は得られなかった。

今後、より多くの地点を対象に常時微動観測を実施し、地盤の卓越振動数分布やPL値を算定し、液状化危険度と地盤の応答特性の関連を明らかにし、GISを用いてデータベースの高度化を図る。さらに、三軸圧縮試験による液状化地盤の流動特

(a)構成地盤とN値



(b)地盤の応答特性

PL値54.86

卓越振動数0.98Hz

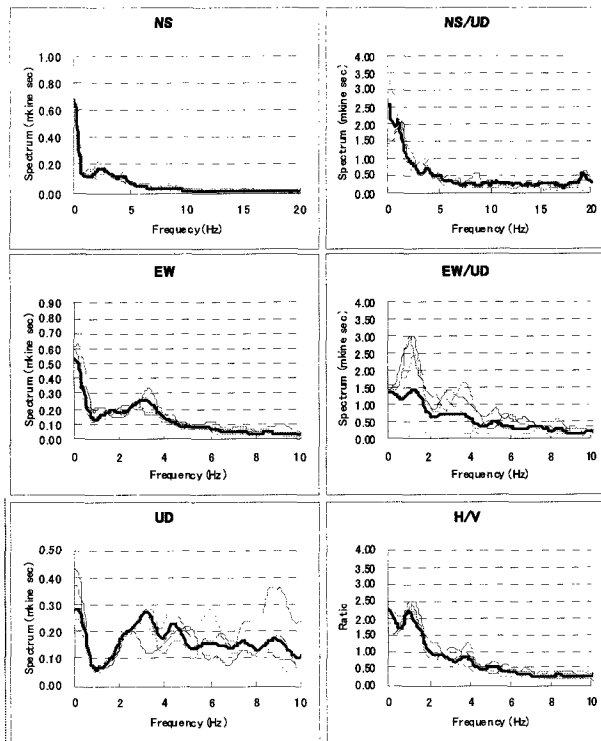
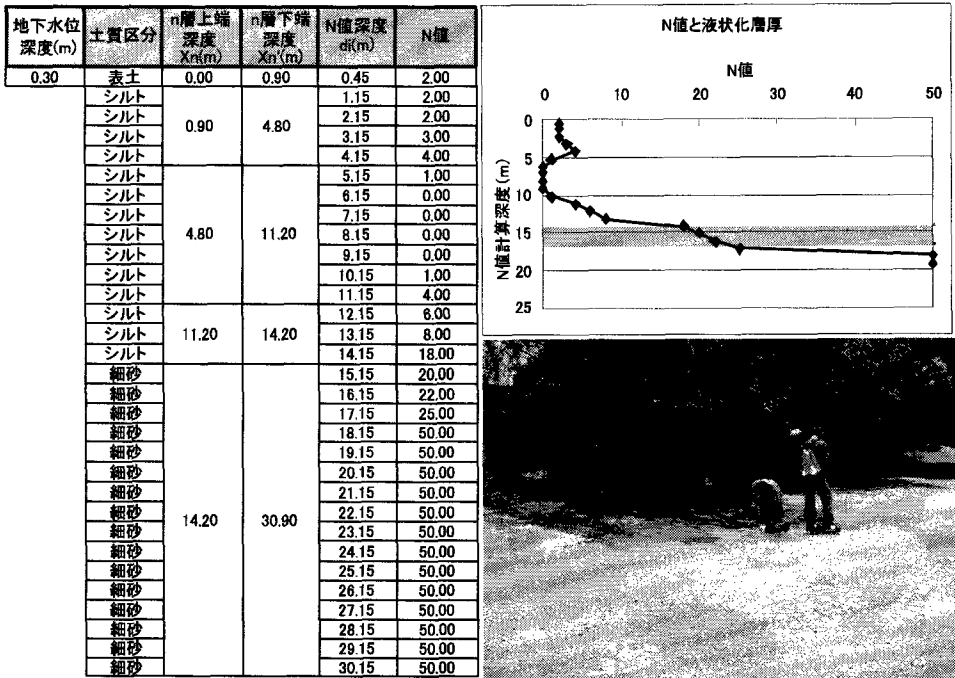


図42 観測地点の土質柱状図と地盤の応答特性 (No. 2水元中学校脇歩道)

(a) 構成地盤とN値



(b) 地盤の応答特性

PL値4.17

卓越振動数 1.95Hz

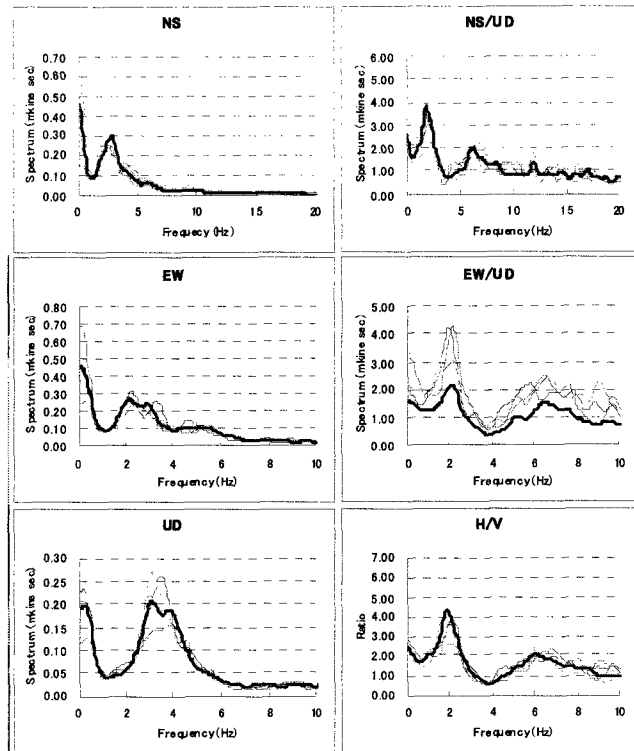


図43 観測地点の土質柱状図と地盤の応答特性 (No. 4水元公園内 2)

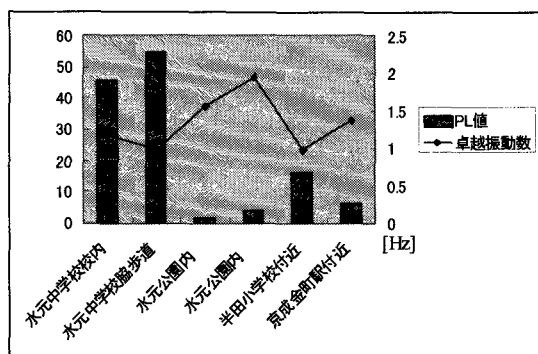


図44 各観測点のPL値と卓越振動数の比較

性を把握すると共に流動解析プログラムの開発を行い、これらのデータを用いて、大地震時の液状化に伴う側方流動の評価を行う予定である。

## 8. まとめ

- (1) 平成15年度に、東京都土木技術研究所所有の19カ所23の地震観測データを分析し、データベース化を図った。
- (2) 東京都立大学では、構内広場Bの地中基盤(-30m)と地表で地震観測を行っているが、平成15年度に13地震を収集した。これらのデータを分析しデータベース化を図るとともに表層地盤の地震応答特性について検討した。
- (3) 都立大学広場Bおよび周辺地盤で実施した常時微動観測データにより表層地盤の応答特性について検討し、常時微動データの時間的変動や空間的変動すなわち表層厚さの違いや宅地造成に伴う地盤改変(盛土、切土)が地盤の応答特性に及ぼす影響を明らかにした。
- (4) GISを用いた常時微動データの統一的数据ベース化手法(SPEC\_WAVE2)を提案し、多摩地域や逗子地域で観測した常時微動観測データの統一化を図った。
- (5) 関東大地震の地盤の応答特性、液状化被害を分析すると共に東京都土木研究所から得た「葛飾区」「江戸川区」「墨田区」「江東区」の沖積低地4区のボーリングデータを用いて、地盤の液状化危険度評価を行い、液状化危険度マップ(FL値、PL値)を作成した。さらに、関

東大地震で液状化被害を受けた河川近傍の葛飾区水元公園および京成金町駅周辺の地盤(6地点)において、常時微動観測を行い、地盤の応答特性(卓越振動数)と液状化危険度(PL値)と関係などについて調べた。

## 謝辞

本研究の一部は、東京都土木技術研究所との共同研究として実施したものであり、地象部小川好氏、岡田佳久氏はじめ多くの方々には、地震観測データやボーリングデータを提供して頂くなど多大な協力を受けた。末筆ながら謝意の一端を表わす次第です。

## 参考文献

- 1) 岩橋敏広, 吉嶺充俊, 小田義也「河川堤防・護岸などの水際構造物の耐震性向上に関する研究」平成15年度 東京都立大学総長重点研究 2003.6
- 2) 岡田佳久, 中村正明, 小川好「SRモデルにおける地盤バネ定数と減衰係数の検討」平15都土木技研年報 199-208 2003
- 3) 岡田佳久, 中村正明, 小作好明, 丸山治男「平成14年度の強震観測記録」平15都土木技研年報 293-296 2003
- 4) 岩橋敏広, 沈 堅貞, 野田幹雄, 森七恵, 鈴木謙治, 安藤幸治, C7-15「都立大学地域の表層地盤の地震応答特性」土木学会 第10回日本地震工学シンポジウム 1998.11
- 5) 岩橋敏広「地震観測、東京都多摩地区」ローカルサイトエフェクトシンポジウム論文集 56-62 土木学会 地震工学委員会 ローカルサイトエフェクト小委員会 1998.12
- 6) 岩橋敏広代表「多摩地域の地震防災に関する総合研究」東京都立大学 都立大学平成9年度特定研究成果報告書 1998.3
- 7) Takahiro Iwatate, Yoshio Kobayashi, Kazuo Nishimura, Tsuyoshi Domon, Takao Nishikawa, Kohei Suzuki and Haruo Yamazaki 'Seismic Site Response Characteristics of Tokyo Metropolitan University (TMU) Area' Memoirs of Faculty of Eng. Tokyo Metropolitan University, No.48, 1998
- 8) 岩橋敏広, 板橋幸世, 倉持江弥, 菊地敏男「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」第26回地震工学研究発表会論文集 2001

- 9) 岩楯敏広, 小林光彦「多摩地域における常時微動の時間的変動と空間的変動」土木学会第57回年次学術講演会 2002.9
- 10) 武村雅之「関東被害資料に基づく関東大地震の震度分布」鹿島出版会、2003
- 11) 震災予防調査会(1925)「関東大地震調査邦文 地震変震災予防調査会報告」第100号甲
- 12) 土木学会(1926)「大正12年関東大震災 震害調査報告」第1巻～第3巻(1984年復刻版、雄松堂出版)
- 13) Takahiro Iwatate, Yoshiya Oda and Koji Ando, 'Identification of Surface Ground Characteristics Using Horizontal Array Earthquake Observation Records and its Application' 13<sup>th</sup> WCEE Vancouver, Canada 2004.08 (in press)
- 14) 鈴木憲一, 岩楯敏広「東京都沖積低地の地盤の液化判定とデータベース化」土木学会第59回学術講演会 2004.9

#### Key Words (キー・ワード)

Disaster Mitigation (地震防災), Geophysical Information System (GIS), Database (データベース), Earthquake Observation (地震観測), Microtremor Observation (常時微動観測)

Elemental Study on Seismic Disaster Mitigation for Urban Structure:  
Development the Standardized Data-base Combining Earthquake and Microtremor  
Observation Data, Soil Data with GIS

Takahiro Iwatate\*, Mitsutoshi Yoshimine\* and Yoshiya Oda\*

\*Civil Engineering Department of Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University  
*Comprehensive Urban Studies*, No.85, 2005, pp.93-123

This study is a joint research collaboration between Tokyo Metropolitan University (TMU) and Research Institute of Civil Engineering Tokyo Metropolitan Government (ICETMG). In order to verify the seismic characteristics of the soft ground and structures in Tokyo, the earthquake observations were conducted at 19 points in Tokyo belong to ICETNG (A-sites), 2 points in Tama (B-sites) and at 6 points in Zushi-city (C-sites) belong to TMU. Microtremor observations were also conducted at the surface ground of these points. From this study, the following results were obtained.

- (1) The observed earthquakes in 2004 of these sites (A, B, and C) were data-based. The data are listed with earthquake origins outline of sites maximum accelerations of the all recorded components, the corrected acceleration time histories, and Fourier spectra.
- (2) The surface ground characteristics of B-sites and C-sites were verified from the observed data of microtremor observations. The predominant frequencies of the sites were data-based from these data.
- (3) New standardized data-base system (SPEC\_WAVE2) combining data of microtremor measurements (time histories, and Fourier spectra), soil data and GIS are developed and the observed data were data-based into the new system.
- (4) Microtremor observations were conducted at Keise-Kanamachi station, Mizumoto Park and other 4 sites suffered liquefaction disaster from past earthquakes, and examined the relationships between the liquefaction potential (FL-value, PL-value) and seismic responses of the surface grounds. From these data, the seismic stability of the surface ground was verified.