

# 明星大学日野キャンパスの地盤特性の分布

年 縄 巧<sup>1</sup> 高 橋 悠 貴<sup>2</sup>

## Distribution of Ground-motion Characteristics of Hino Campus, Meisei University

Takumi TOSHINAWA<sup>1</sup> and Yuki TAKAHASHI<sup>2</sup>

Ground-motion characteristics of Hino campus, Meisei University are investigated by making use of 62 borehole data and 100 microtremor recordings. It is found that the north-east end of the campus including the 20th, 23rd, 29th and 30th buildings are underlain by volcanic ash whereas reclaimed area including the 24th, 25th, 26th and 27th buildings are filled with soft soils. The former area includes a strong-motion station where highly amplified ground motion are frequently observed whereas the latter area includes devastating landslide spots during the Ma-on typhoon of Oct. 2004. It is also found that the predominant period of H/V spectrum of microtremor is related to the thickness of subsurface soils. The relationship between H/V spectrum and borehole data enables us to detect vulnerable area during the future devastating earthquakes.

キーワード：地盤特性<sup>1</sup>，ボーリングデータ<sup>2</sup>，常時微動<sup>3</sup>，固有周期<sup>4</sup>

Keywords：Ground-motion characteristic<sup>1</sup>, Borehole data<sup>2</sup>, Microtremor<sup>3</sup>, Natural period<sup>4</sup>

### 1. はじめに

地盤特性は、地形や地質、表層地盤の厚さなどの影響を受け、これらが急変する地域では狭い地域内でも地震動強さが大きく異なることが少なくない。図 1 は明星大学日野キャンパスを 5m メッシュの標高データ<sup>(1)</sup>を用いて 1m の等高線とともに示したものであるが、主要な建築物が並ぶ上段と野球場やテニスコートがある下段との標高差は 20m 以上あり、起伏に富んだ敷地になっている。図中△で示す 3 点（野球場倉庫、正門守衛室、旧天体観測小屋）は 1 層の建物内に強震計を設置した強震観測点であり、建物が小規模なため構造物の影響が少ない自由地盤の地震動が観測されている。

図 2 は 2018 年 2 月 26 日に福島県沖を震源として発生した地震 ( $M_j=5.8$ ,  $D=40\text{km}$ ) の際、3 点の自由地盤観測点で記録された加速度時刻歴波形の南北成分であり、3 成分の記録から計算した計測震度が併記されている。震源が遠いため 3 点の震源距離の違いは無視できるが、3 点の地震動には大きな違いが見られる。すなわち、最大加速度値で見ると野球場倉庫、正門守衛室、旧天体観測小屋は、それぞれ 2.5、3.2、5.3 $\text{cm/s}^2$ であり、野球場倉庫、正門守衛室に対して旧天体観測小屋は 2 倍程度の最大加速度応答を示す、また、計測震度は、それぞれ 1.2、1.4、1.9 であり、これらを四捨五入した震度で見ると、野球場倉庫、正門守衛室は震度 I であるのに対し旧天体観測小屋の震度は II となる。このような地

震動強さの違いは過去の地震にも見られ、総じて旧天体観測小屋のある位置は野球場倉庫や正門守衛室に比べて揺れやすい傾向がある。

図 3 は、図 2 の加速度時刻歴波形をフーリエ変換して 0.4Hz の Parzen ウィンドウをかけた加速度フーリエスペクトルであるが、野球場倉庫、正門守衛室では顕著なスペクトルのピークがないのに比べ、旧天体観測小屋には 0.3s 弱付近に鋭いピークがあり、この地点の浅い表層地盤の影響を受けていると考えられる。このように、日野キャンパスのような狭い敷地内でも表層地盤の影響によって地震動強さが大きく異なる場合があり、敷地内のどの地域が揺れやすいかを予め知っておくことは将来起こり得る大地震に対する被害対策を立てる上で有効である。本研究では、ボーリング調査結果、常時微動観測結果を用いて日野キャンパスの地盤特性の面的分布を求め、地震時に揺れやすい地域を特定することを目的とする。

### 2. 対象地域の地盤情報

#### 2.1 地質学的背景

明星大学日野キャンパスは多摩丘陵上に位置している。図 4 に、明星大学周辺の表層地質図<sup>(2)</sup>を示す（図中赤い□で囲んだ地域が図 1 の範囲に相当する）。この図によれば、日野キャンパスはローム（多摩ローム層以上）に覆われた地域上にあるが「多摩ローム層以上がすべて堆積している場

<sup>1</sup> 明星大学理工学部総合理工学科建築学系 教授 地震工学

<sup>2</sup> 明星大学理工学部総合理工学科建築学系 学部生 地震工学

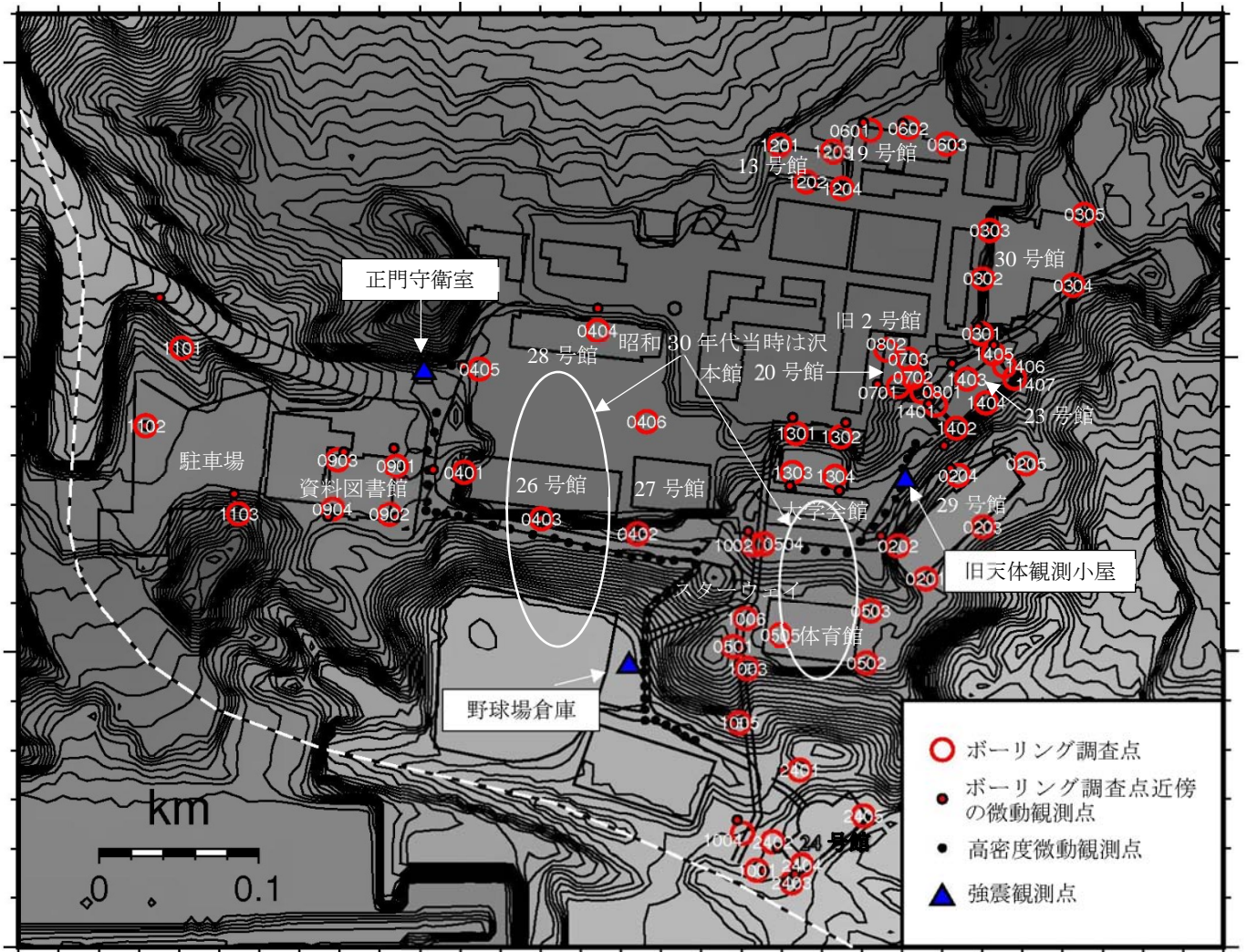


図1 明星大学日野キャンパス敷地図

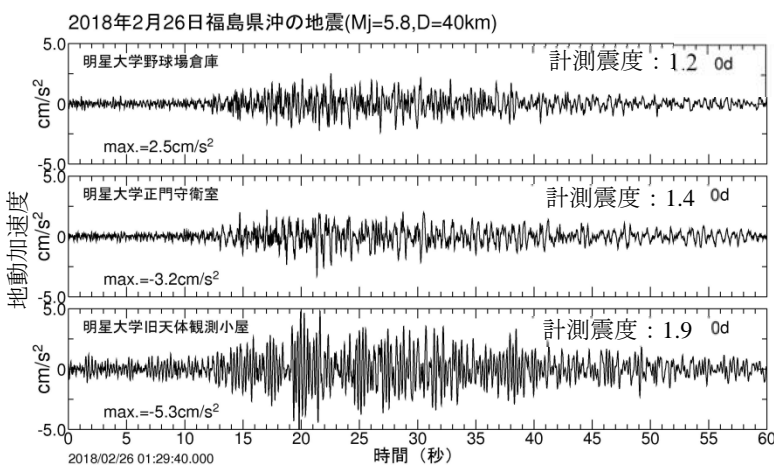


図2 日野キャンパス内の自由地盤観測点の加速度時刻歴波形 (2018年2月26日福島県沖の地震)

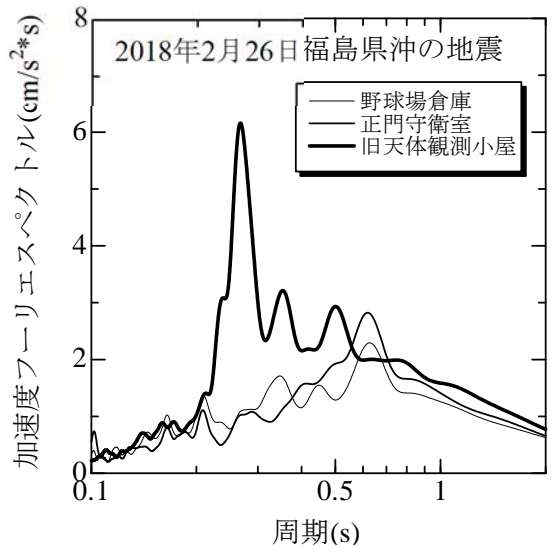


図3 加速度フーリエスペクトルの比較

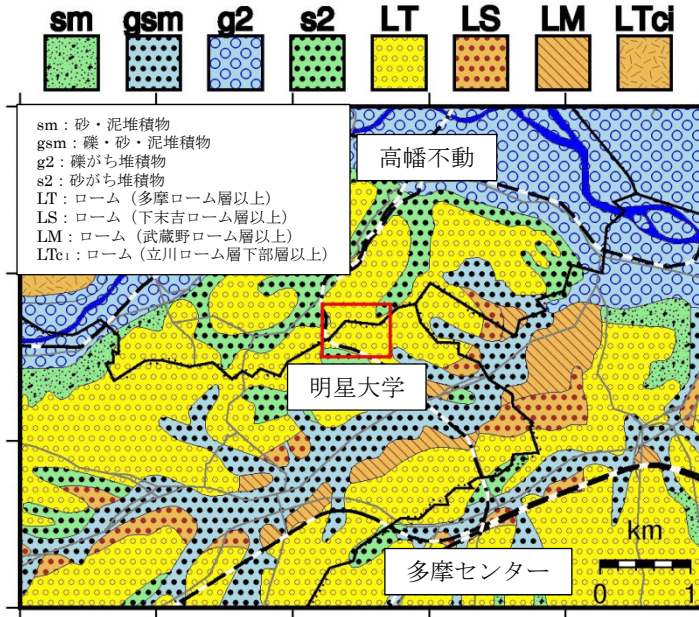


図 4 日野キャンパス周辺の表層地質図

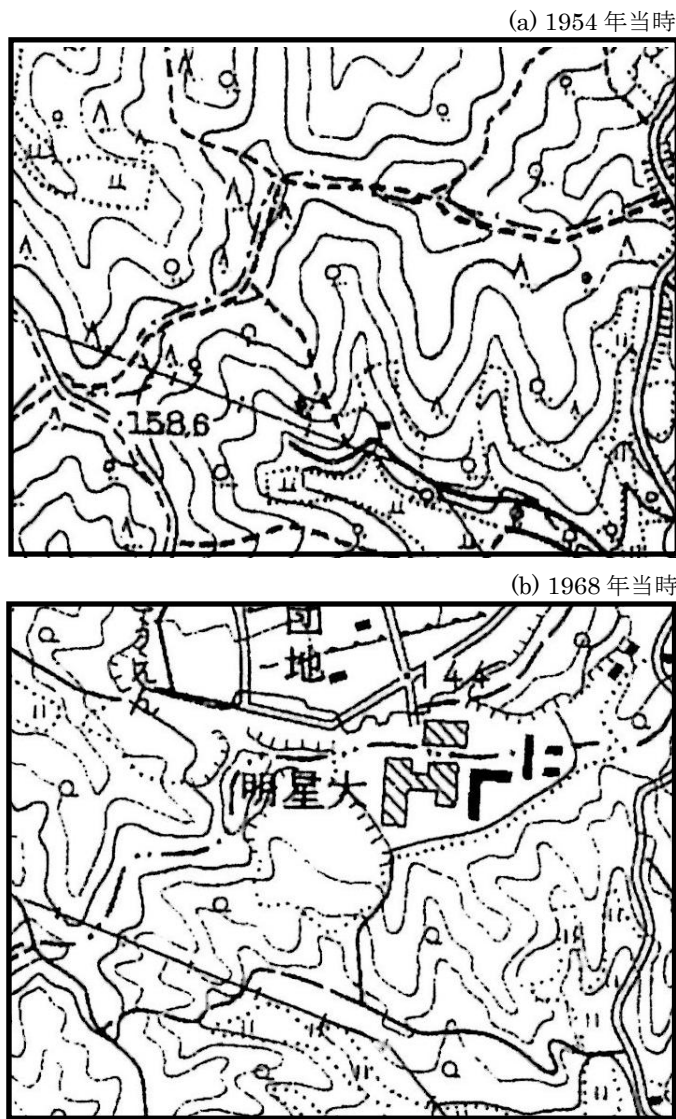


図 5 日野キャンパス造成前後の地形図<sup>(4),(5)</sup>

合はまれである」と但し書きされている<sup>(2)</sup>。したがってこの地域の基底は多摩ローム層であるが、その上に降灰する関東ローム層は風化されている場合が多いと推察される。

矢島等<sup>(3)</sup>によれば、図 1 中の楕円で示す地域は昭和 30 年代当時は沢であり、著者も実際、東側の楕円付近で沢蟹に遭遇したことがある（図 5 に日野キャンパス造成前後の地形図を示す<sup>(4),(5)</sup>）。1954 年当時、谷と尾根だった地域が切り盛りされ平坦な面を作ってキャンパスが造成されたことがわかる。2004 年 10 月 9 日に関東地方を襲った台風 22 号の際には、これら 2 箇所の旧沢で斜面崩壊が生じており、谷筋を埋めた盛土地盤の豪雨時の危険性を示している。

### 2.2 ボーリング調査点

日野キャンパスは、建物建設時の地盤調査によって多くのボーリングデータが得られている。図 1 中の○で示す点がボーリング調査点である。これらの調査点は表 1 中に示す地盤調査報告書<sup>(6)~(18)</sup>を元にプロットしている。また、出典の資料番号 (No.2~No.14) と報告書内の番号を組み合わせたものをボーリング調査点名として○の上にプロットしている。例えば「資料 No.2」は 29 号館周辺の調査報告であるので、この報告書内の 3 番目のボーリング調査点は「0203」と命名してプロットしている。ただし、資料 No.5 については、24 号館近くの点を 2401~2405、体育館 (25 号館) 近くの点を 0501~0503 というように分けている。これらのボーリング調査点は敷地内に 62 点ある。

表 1 ボーリング調査結果が掲載されている報告書

資料番号	調査場所 (建物)	調査時期
No.2 <sup>(6)</sup>	29 号館周辺	2004 年 9 月
No.3 <sup>(7)</sup>	30 号館周辺	2004 年 11 月
No.4 <sup>(8)</sup>	26,27,28 号館周辺	2004 年 2 月
No.5 <sup>(9)</sup>	体育館,24 号館	2002 年 3 月
No.6 <sup>(10)</sup>	19 号館	1982 年 6 月
No.7 <sup>(11)</sup>	20 号館	1985 年 9 月
No.8 <sup>(12)</sup>	旧 2 号館	1982 年 6 月
No.9 <sup>(13)</sup>	資料図書館	1975 年 2 月
No.10 <sup>(14)</sup>	スターウェイ	1998 年 1 月
No.11 <sup>(15)</sup>	駐車場	2004 年 3 月
No.12 <sup>(16)</sup>	13 号館	1968 年 10 月
No.13 <sup>(17)</sup>	大会会館	1993 年 7 月
No.14 <sup>(18)</sup>	23 号館・本館	2000 年 9 月

### 2.3 ボーリングデータの特徴

図 6(a)~(c)に各調査点のボーリングデータを示す。ボーリングデータは土質柱状図と N 値の深度分布からなっており、土質のパターンの凡例を図 6(c)に示す。土質柱状図の 3 列目のセルは左から「○混じり、△質、□」と読む。例えば、1203 の 1.5~3m の土質は「礫混じり、シルト質、ローム」と読める。多くの場合 3 列目のみ、または 2、3 列目のみにパターンが描かれているので、大略的には最も幅の広い 3 列目のセルを見てこの地域の土質の特徴を概観することができる。

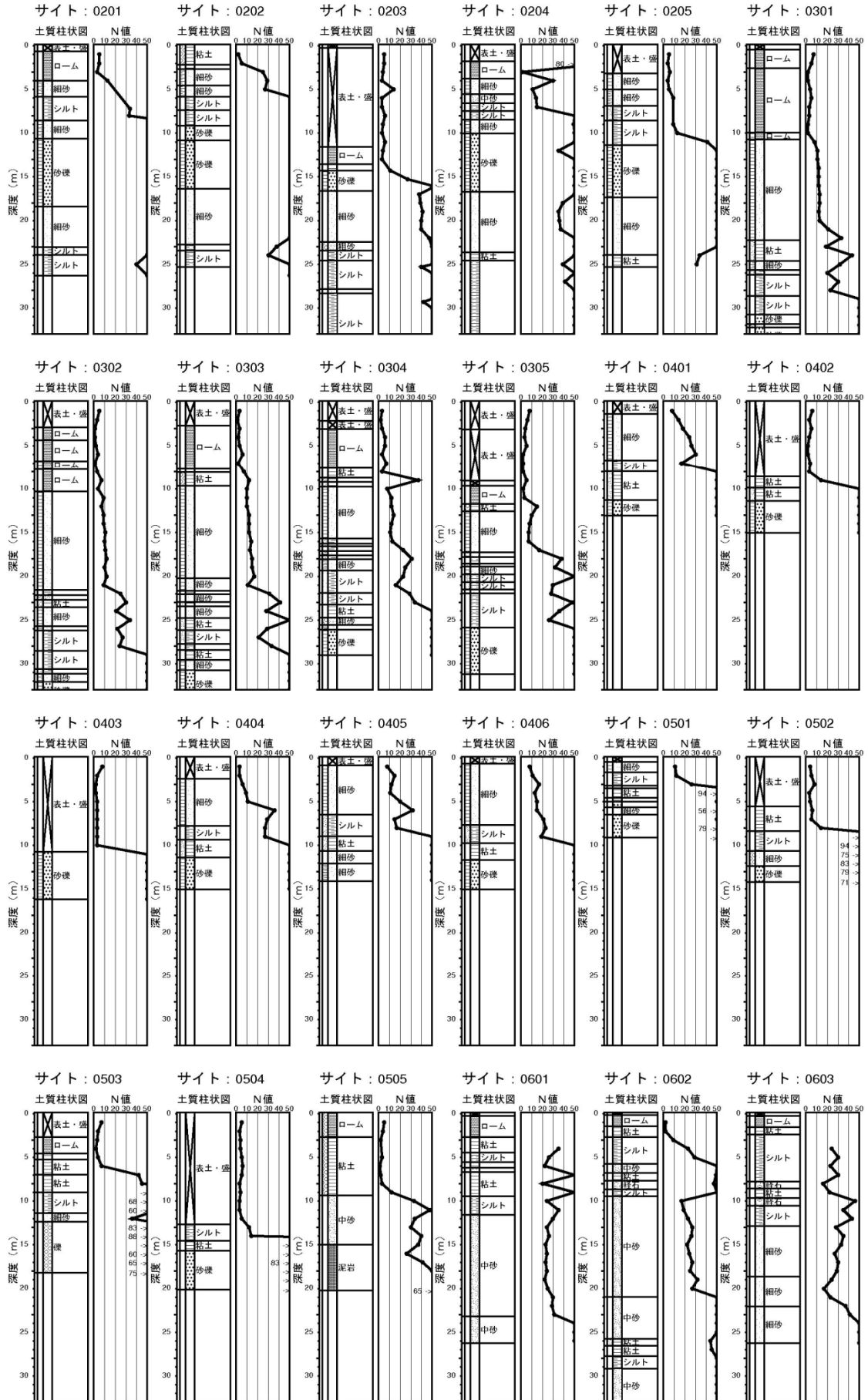


図 6(a) ボーリングデータ(0201~0502)

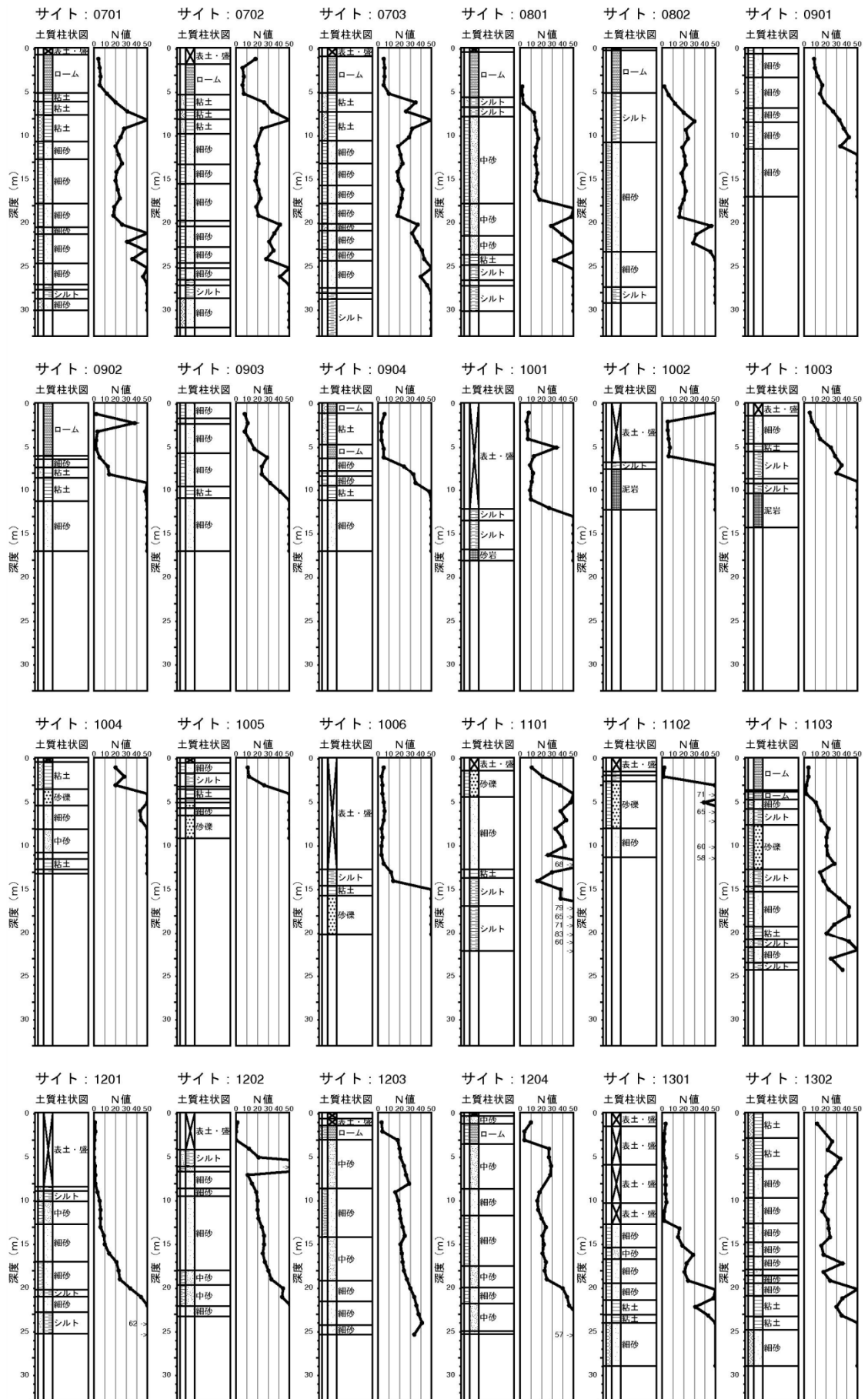


図 6(b) ボーリングデータ(0701~1302)

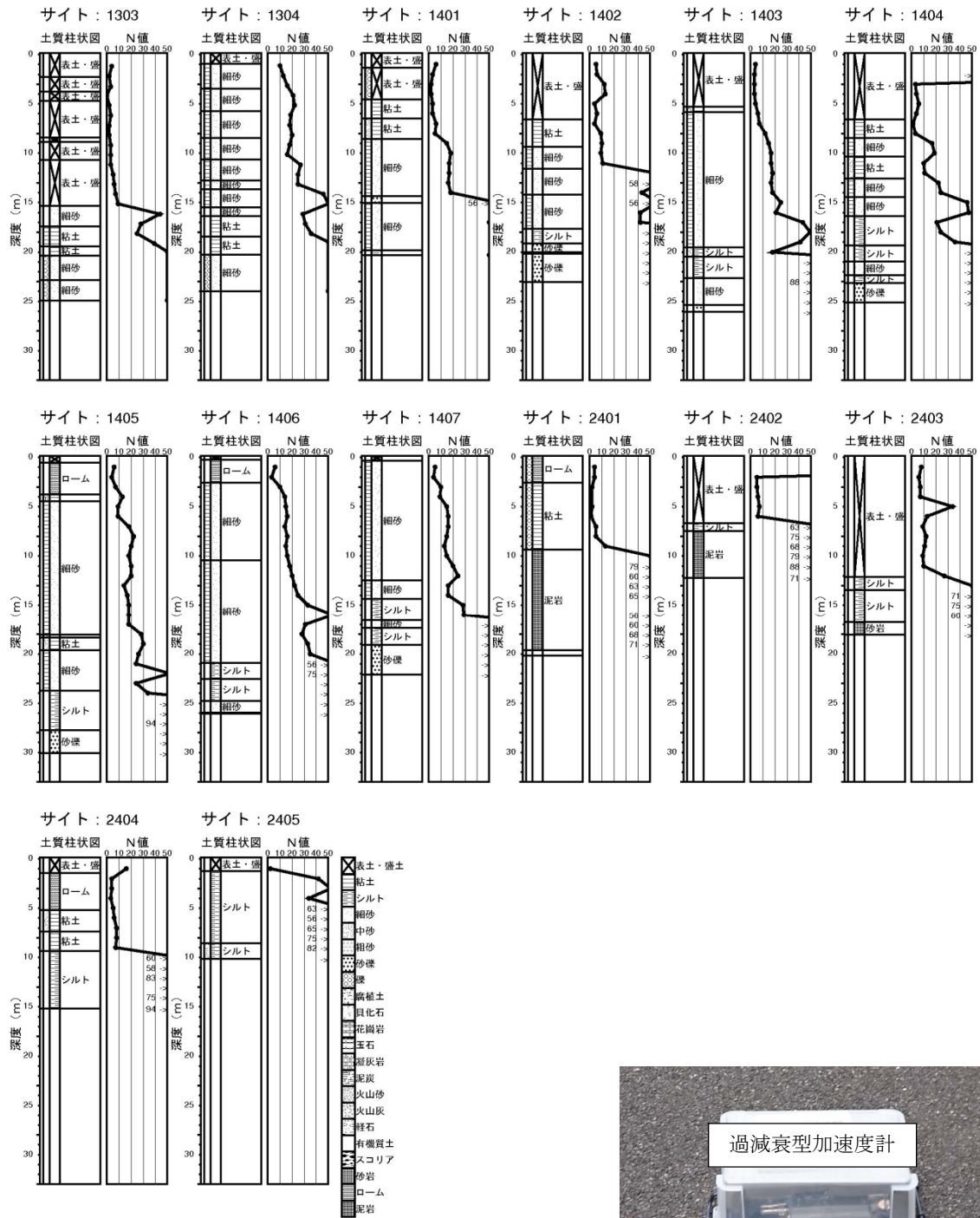


図 6(c) ボーリングデータ(1303~2405)



写真 1 常時微動計測システム

前述のようにこの地域の基底が多摩ローム層であるということもあり、表層がロームで覆われている地点が多い。具体的には、301～304 の 30 号館付近は 10m 程度のローム層で覆われている。また、0201、0204 の 29 号館付近、0505 の体育館付近、0601～0603 の 19 号館付近、0701～0703 の 20 号館付近、0801、0802 の旧 2 号館付近、0902、0904 の資料図書館付近、1103 の駐車場付近、1203、1204 の 13 号館付近、1405、1406 の 23 号館付近、2401、2404 の 24 号館付近は 5m 以下の薄いローム層で覆われている。

一方、日野キャンパスは造成されていることもあり、表層が表土・盛土で埋められている地点も多い。具体的には、0203 の 29 号館付近、0305 の 30 号館付近、0402、0403 の 27・26 号館前、0504 の体育館付近、1001、1006 のスターウェイ沿いは 10m またはそれ以上の厚さの表土・盛土で覆われている。

N 値の深度分布を見ると、0301～0304 の 30 号館付近は自然地盤であるが深度 20m 程度まで N 値 10 以下の層が続き 25～30m で N 値 50 に到達する。この地点はローム層が 10m 程度堆積している地域であるがその N 値は 5 程度以下と小さい。0701～0703 の 20 号館付近も N 値 50 到達深度は 25m 程度と深いだがそれ以浅での N 値が 30 号館付近よりも大きい。しかし表層 5m 程度に堆積しているローム層の N 値は 5 程度以下である。また、1401～1407 の 23 号館付近も N 値 50 到達深度は 15～25m 程度と比較的深い。

地盤コントラストが大きいのは表層が表土・盛土で覆われた地点である。具体的には 0402、0403 の 27・26 号館前、0501～0504 の体育館付近、1001、1002、1006 のスターウェイ沿い、2402、2403 の 24 号館付近は、7～14m 程度、N 値 5 程度の表土・盛土から N 値 50 の層に直接到達する。

ボーリング調査結果をまとめると、キャンパス北東地域の 13、19、30、29、旧 2、20、23、29 号館付近とキャンパス西地域の駐車場、資料図書館付近はローム層が堆積し、30 号館付近が 10m 程度で最も厚い。旧谷筋と見られる 26、27 号館、体育館、スターウェイ、29、30 号館、24 号館付近の一部は厚さ 10m 程度の表土・盛土に覆われている。また、ローム層や表土・盛土の N 値は 5 程度であり、表土・盛土で覆われた地点は地盤コントラストが大きい。2004 年に起きた斜面崩壊もこのように軟らかい表土・盛土で覆われている地点で生じており、ボーリングデータから地盤被害の危険性を予測できる可能性を示している。

### 3. ボーリング調査点近傍での常時微動測定

2. で述べたボーリング調査結果は地盤被害の危険性を予測できる有用な情報である。しかしながら、ボーリングデータが得られる地点は限られており、敷地内全体をカバーしているわけではない。そこでボーリングデータを補完するために、常時微動データを利用することにする。常時微動の水平成分を上下スペクトル成分で除したスペクトル比（以下、H/V スペクトル比）は地盤特性を調べる有効な手

法であり、ボーリングデータや地震観測結果との関連性を論じた数多くの研究例がある<sup>例えば(19)</sup>。ここでは、この敷地内における常時微動 H/V スペクトル比を用いた地盤特性を調べる方法の適用性を調べるためにボーリング調査地点近傍で常時微動測定を行い、ボーリングデータと H/V スペクトル比の比較を行った。

#### 3.1 測定概要

測定は、過減衰型加速度計 (JEP-6A3-2) とデータロガー (LS8800) の組み合わせで 3 成分の加速度波形を収録した。写真 1 に地表面上に設置した計測システムを示す。1 点あたりの測定時間は 10 分である。測定データの解析は、ノイズの混入の少ない 40.96 秒間のデータを 3 区間選び、これをフーリエ変換してフーリエスペクトルを求め、バンド幅 0.4Hz の Parzen ウィンドウで平滑化し、水平成分を上下成分で除した 3 つのスペクトルを算術平均してその点の H/V スペクトル比とした。各測点の H/V スペクトル比 (NS/UD, EW/UD) のうち、スペクトル比の形状が安定している方向のピーク周期 (Tp: s) とピーク値を読み取った。

図 1 に常時微動測定点を●で示す。測定はボーリング調査地点○になるべく近くなるように行ったが、調査地点にすでに建物が建っていたり、調査地点まで近づけなかったりした場合は、少し離れた点で測定を行った。12 のボーリング調査点では測定が不可能であったので測定点総数は 50 であった。

#### 3.2 常時微動測定の H/V スペクトル比

図 7 に主なボーリング観測点の H/V スペクトル比を示す。H/V スペクトル比はその地点の地盤コントラストが大きいと明瞭なピークを持ちその周期は地盤の固有周期と近似できる。0301～0305 (30 号館付近) では 0.4 秒付近に 1001 (スターウェイ沿い) では 0.2 秒付近に明瞭なピークが見られるなど、ローム層や表土・盛土が厚く堆積している地点で明瞭なピークが見られる。ただし、ボーリングデータで見たローム層や表土・盛土で覆われている全ての地点に明瞭なピークが見られるわけではない。これは、ボーリング調査が建物建設前に行われており、常時微動測定時には建物の影響によって自由地盤相当の地盤特性が得られないことが理由の一つとして考えられる。具体的には、建物近傍にある地盤上の振動特性は入力損失によって建物の固有周期程度以下の短周期成分が抑えられる<sup>(20)</sup>。したがって高い建築物ほど固有周期が長くなり振動が抑えられる周期帯域が広がる。高層棟である 27 号館の前にある 0402 の H/V スペクトル比のピークが鋭くないのはこのためと考えられるが、後述するように建物から離れた点での H/V スペクトル比は大きなピーク値を持っている。

#### 3.3 ピーク周期の分布

ボーリング観測点近傍で得られた常時微動 H/V スペクトル比のピーク周期(s)を読み取り、周期の長さに応じて径を変えて●で示すと図 8 のようになる。図中●はピーク周期は読めるがピークが明瞭でない点である。ピーク周期は 0.2～0.5s に分布し、敷地北東部の 30、23、20、29 号館付近は

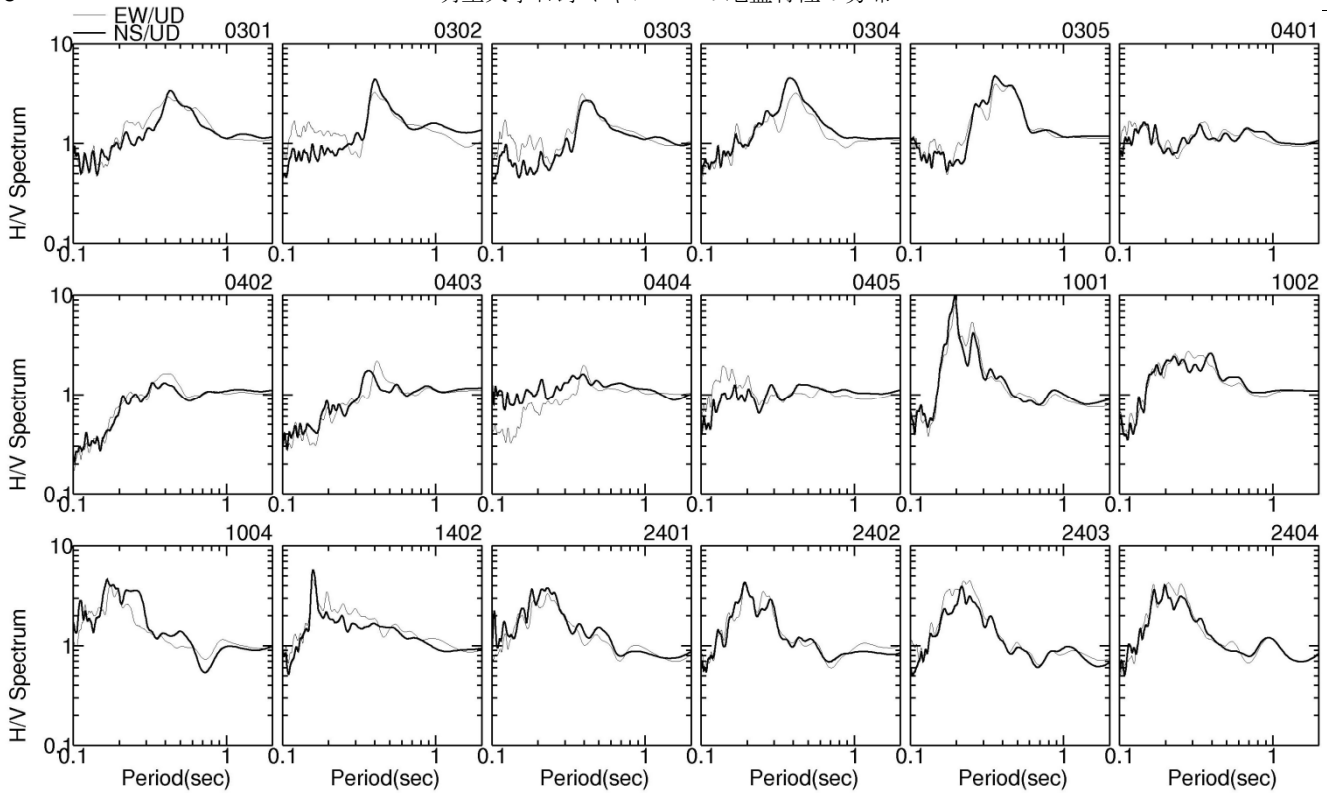


図7 主なボーリング調査点での H/V スペクトル比

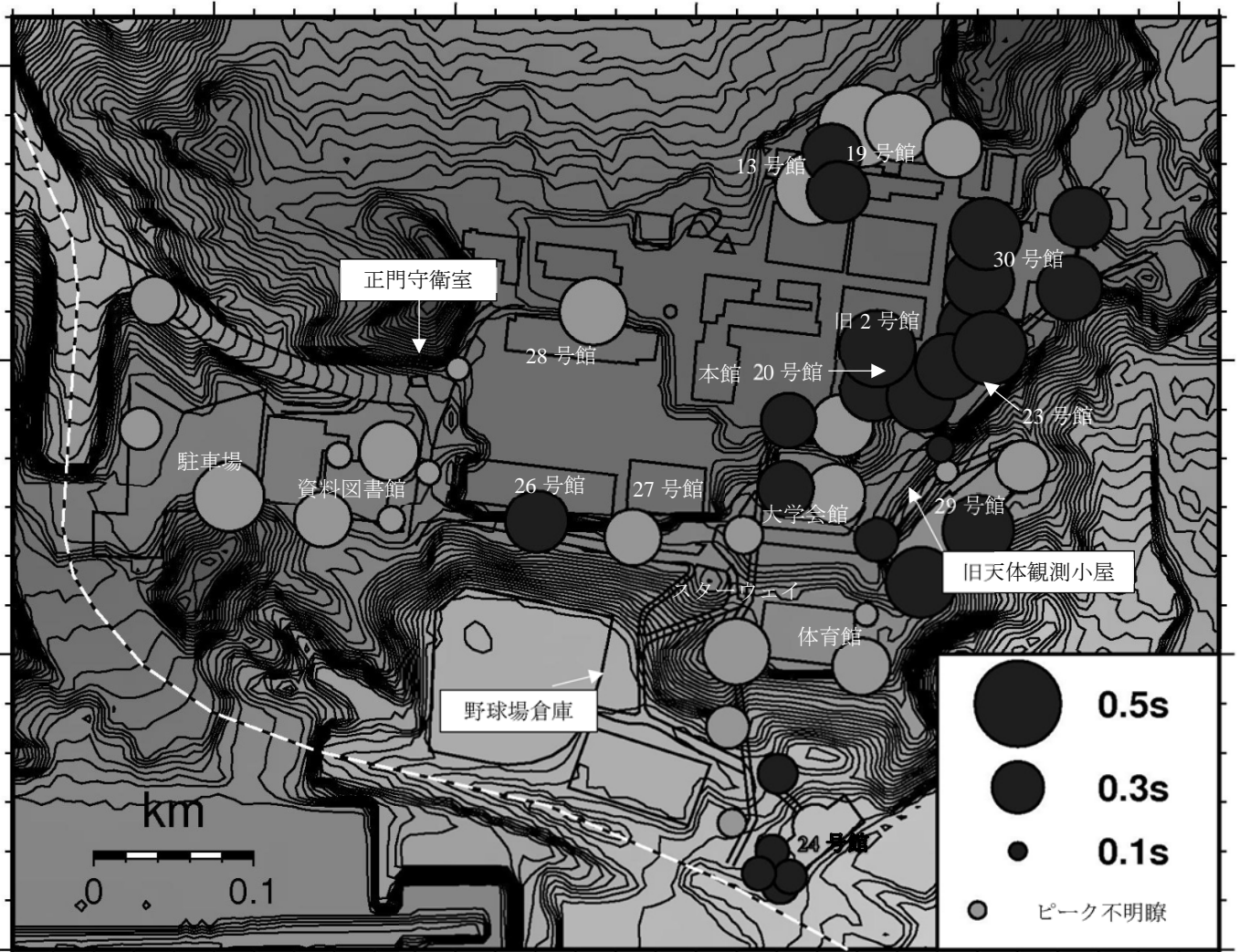


図8 ボーリング調査地点近傍の H/V スペクトル比のピーク周期の分布



ピークが明瞭である点が多い。またスターウェイ南端の 24 号館駐車場付近も周期は長くないもののピークが明瞭であることがわかる。図 5(a)を見るとこの地区は 1954 年当時は荒地であり、地盤が悪いと推察される。

図 9 は、ボーリング調査地点の N 値 50 到達深さ  $D(m)$  と  $H/V$  スペクトル比のピーク周期  $T_p(s)$  のプロットである。図 8 と同様に、ピークが明瞭でない点は●でプロットしている。D の値が大きいほど  $T_p$  の値が大きくなる傾向があり両者に相関が見られ、目視で大まかに回帰すると  $D=50T_p$  となる。これと 1/4 波長則  $T=4D/V_s$  ( $T$ : 表層地盤の固有周期(s)、 $D$ : 表層地盤厚(m)、 $V_s$ : 表層地盤の S 波速度(m/s)) と比較するとこの地域の表層の  $V_s$  は 200m/s 程度と推定される。

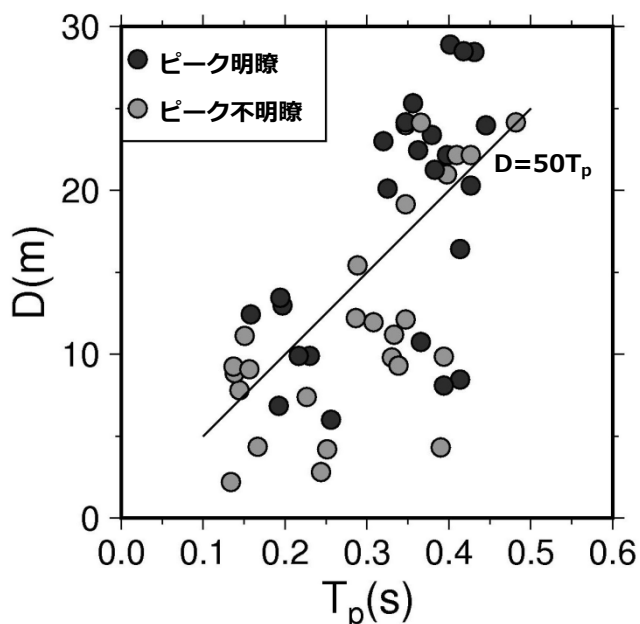


図 9 ボーリング調査地点の N 値 50 到達深さ  $D(m)$  と  $H/V$  スペクトル比のピーク周期  $T_p(s)$  のプロット

#### 4. 高密度常時微動測定

3.でボーリング調査地点で得られた常時微動  $H/V$  スペクトル比のピーク周期は、N 値 50 到達深さ、すなわち表層地盤厚と相関があることがわかった。また、地盤コントラストが大きな点では  $H/V$  スペクトル比に明瞭なピークが見られることもわかった。この知見を基に、敷地内のボーリング調査が行われていない地域についても常時微動測定を行い、各地点の地盤特性を調べることにした。測定は、図 1 中の●で示すように測線を設定して行い、強震観測が行われている正門守衛室から旧天体観測小屋まで (A 測線) と 27 号館前から野球場倉庫まで (B 測線) の 2 測線を設定した。図 10 に微動観測点の位置と測点名を示す。測定間隔は 10m 程度、測点総数は 59 であり、測定方法、解析方法はボーリング調査点で行ったものと同様である。測線上の  $H/V$  スペクトル比の変化を見るために、横軸を測線方向の距離 (m)、左縦軸を  $H/V$  スペクトル比のピーク周期  $T_p(s)$  とし、スペクトル比の大きさを色で表示して図化することにした。

#### 4.1 A 測線 (正門守衛室—旧天体観測小屋)

図 11 に A 測線の  $H/V$  スペクトル比の変化を示す。ここで右縦軸は 3.3 で求めた  $D$  と  $T_p$  の関係 ( $D=50T_p$ ) から推定した表層地盤厚さ  $D(m)$  を示している。正門守衛室を起点として旧天体観測小屋まで描いており、各点の位置がイメージしやすいように地表面の標高と周辺建物の立面図も背景に描いている。図 10 に示すように、この測線は 01~39 の 39 点で測定され、01~08 は南北、08~30 は東西、30~39 は南北方向に伸びているので南北方向の測線を両側に広げて平面的に描いている。

正門守衛室 (01) から 07 付近まではスペクトル比の振幅は 2 程度以下でほぼフラットである。この区間に近いボーリング調査点は 0405、0401 であるが、図 6(a)を見るとどちらも 1m 程度の表土の下に 7、8m の程度の細砂・シルト層があり N 値 50 の層に当たる。01~07 付近の標高は、測線中心付近に比べて高く、切土地盤であったと推察される。

A 測線の東西測線 (08~30) に入るとスペクトル比にピークが見え始め、特に 15~22 と 27 は 0.3~0.4s に 3 以上の鋭いピークがある。この 2 地域は 2004 年の台風時に斜面崩壊した地域に対応する。

図 7 で見たようにボーリング調査点 0403、0402 の  $H/V$  スペクトル比のピーク値は 2 程度以下と小さかったが、これは 3.2 で述べたようにボーリング調査地点は建物近傍にあるため入力損失の影響を受けたためと考えられる。微動観測点 15~22 はボーリング調査点 0403、0402 に近い点であるが、建物から離れているのでこの地点の自由地盤の地盤特性を反映したものになっていると考えられる。

30~94 の南北測線では、35~39 に 0.3s 弱付近に鋭いピークが見られる。35 は旧天体観測小屋近傍の点であり、図 3 で見た地震動の加速度フーリエスペクトルの 0.3s 弱付近の鋭いピークに対応していると見られ、この地点の表層地盤の固有周期と考えられる。

#### 4.2 B 測線 (27 号館前—野球場倉庫)

図 12 に B 測線の  $H/V$  スペクトル比の変化を示す。27 号館前を起点として野球場倉庫まで描いており、地表面の標高も描いている。49、50 は野球場倉庫に近い点であるが、スペクトル比はほぼフラットで顕著なピークを持たない。図 2、3 で見たように、野球場倉庫の強震記録は正門守衛室と同様に旧天体観測小屋と比較して地震動は小さく顕著なスペクトル特性を示さないため、この地点での地震動増幅は小さいと考えられる。この点に限らず、この測線は尾根裾に沿っているため 40 や 43 に見られる 0.2s 以下の短周期のピークを除けば顕著な地震動増幅はないと考えられる。

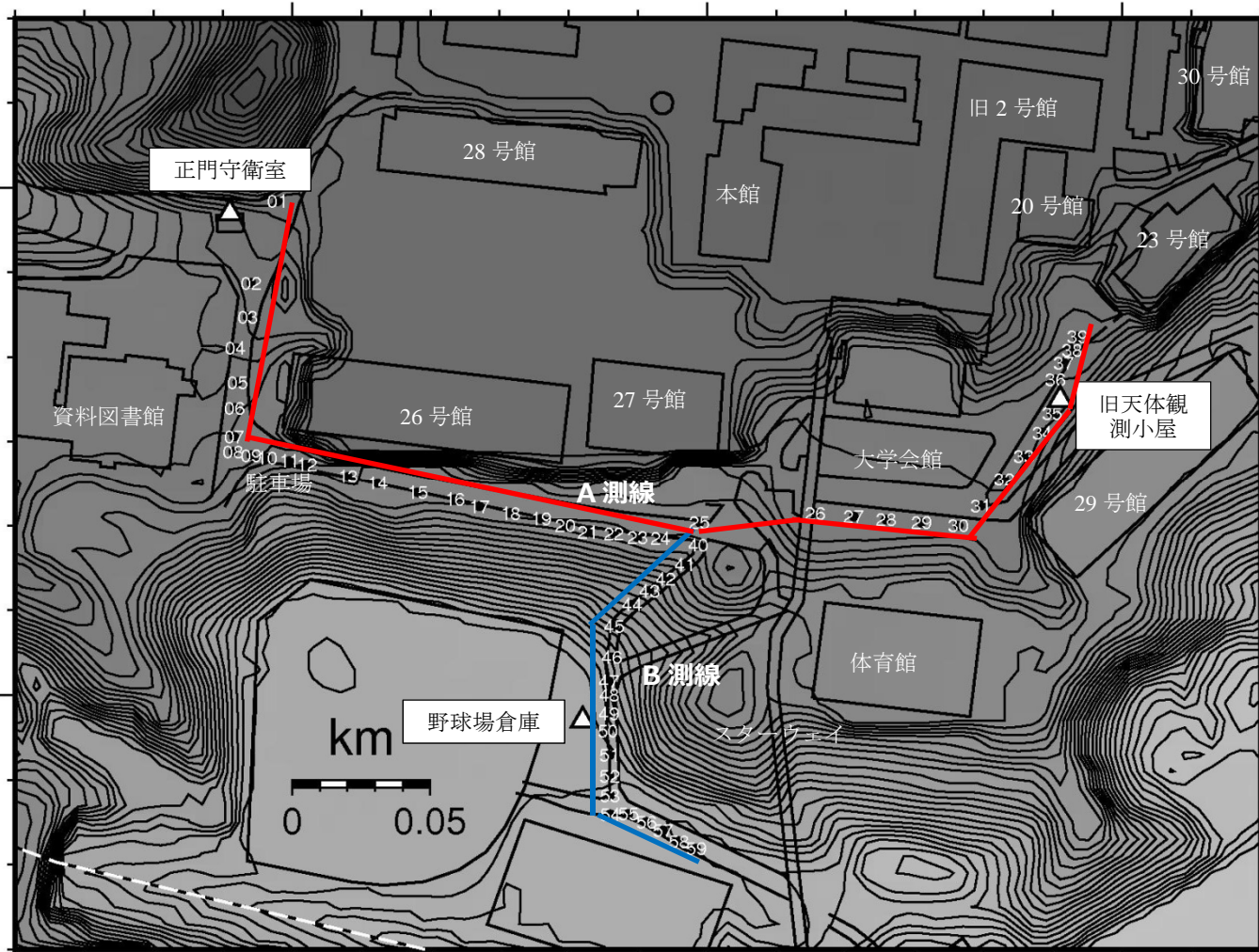


図 10 高密度微動観測点

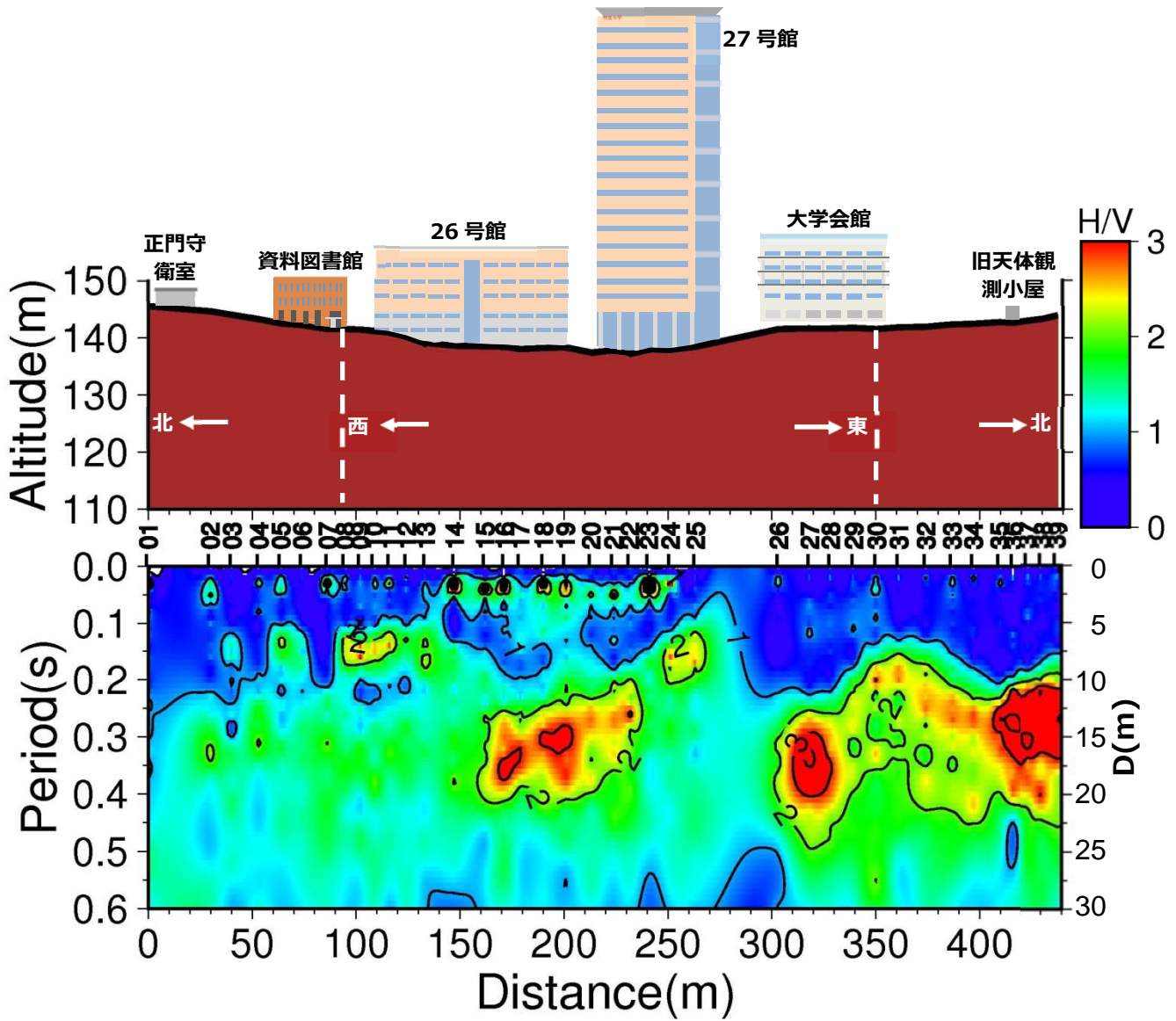


図 11 A 測線の H/V スペクトル比の変化

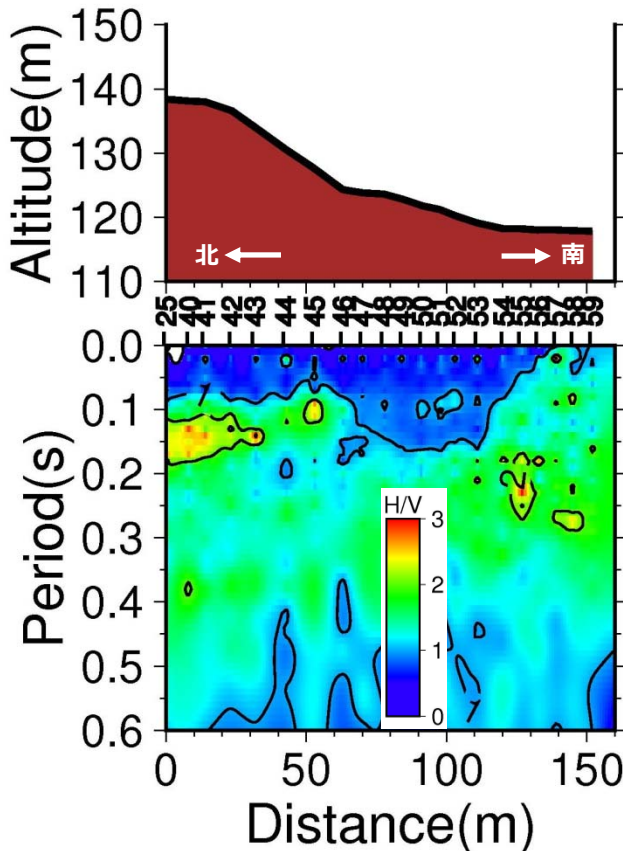


図12 B測線のH/Vスペクトル比の変化

## 5. まとめ

明星大学の建物建設時に行われたボーリング調査の結果と常時微動観測結果を基に日野キャンパスの地盤特性の面的な分布を調べ考察した。本研究で得られた結果を図13を基にまとめると以下のとおりである。

日野キャンパスは多摩丘陵上に位置し、概して地震動増幅が小さい地域に立地しているが、その中で図11のⅠ～Ⅳで示した地域は軟弱な表層地盤によって地震動増幅が生じる可能性がある。軟弱な表層地盤は、Ⅰ、Ⅱは造成時に谷筋を埋めた10m程度の表土・盛土、Ⅲは10m程度の自然に堆積したローム層、Ⅳは造成時に埋めた7～12m程度の表土・盛土である。Ⅰ、Ⅱは斜面崩壊の経験があるが、セメントを用いた地盤改良が行われている<sup>(3)</sup>ので、豪雨時に再度の大規模崩壊を起こす危険性は低いと思われるが、地震による地盤の沈下やひび割れ等が生じる可能性は残るであろう。

## 謝辞

常時微動測定に用いた加速度計とデータロガーは平成28年度重点支援研究の助成で購入したものである。図化の一部にはGMTを使用した。関係各位に謝意を表す。

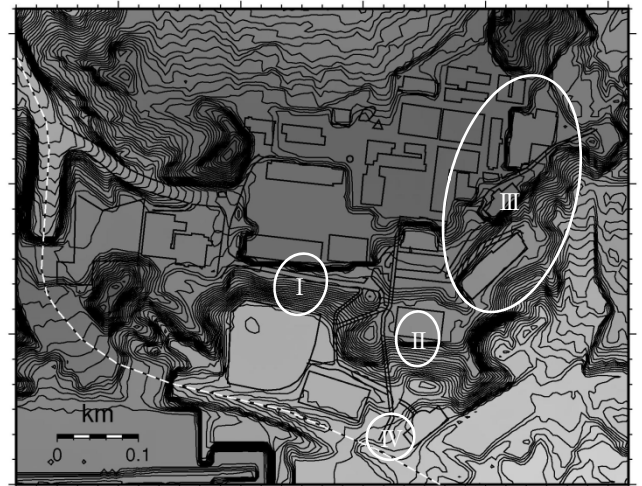


図13 日野キャンパスの大きな地震動増幅が予想される地域

## 参考文献

- (1) 国土地理院：基盤地図情報数値標高モデル（5mメッシュ）  
<https://fgd.gsi.go.jp/download/menu.php> (2018.11.18 アクセス)
- (2) 国土庁土地局国土調査課：「土地分類図（東京都）」（1976）
- (3) 矢島寿一・寺田 雅・中村俊雄・藤村正法：「2004年台風22号による2つの斜面崩壊の解析事例」、明星大学理工学部研究紀要, No.43 pp.69-75 (2007)
- (4) 国土地理院：2万5千分の1旧版地図（武蔵府中:1954年測量）（1957）
- (5) 国土地理院：2万5千分の1旧版地図（武蔵府中:1968年測量）（1969）
- (6) 土質コンサルタント株式会社：「明星大学理工学部 A 棟地盤調査報告書」, (2004)
- (7) 土質コンサルタント株式会社：「明星大学理工学部 B 棟地盤調査報告書」, (2004)
- (8) 土質コンサルタント株式会社：「明星大学新講義棟新築工事地質調査報告書」, (2004)
- (9) 株式会社日さく：「体育館並びに通信教育部棟（仮称）新築に伴う地質調査報告書」, (2002)
- (10) 株式会社日さく：「明星大学校内地質調査（11号館北側）報告書」, (1982)
- (11) 成和機工株式会社：「土質調査報告書（仮称）明星大学20号館他新築工事」, (1985)
- (12) 株式会社日さく：「明星大学校内地質調査（2号館南側）報告書」, (1982)
- (13) 成和機工株式会社：「土質調査報告書 明星大学図書館新築工事」, (1975)
- (14) 株式会社日さく：「日野校地全体見直し計画（新駅開設）に伴う取り付け道路予定地内地質調査報告書」, (1998)
- (15) 株式会社ダイエーコンサルタンツ：「（仮称）明星大学日野校地新設駐車場計画に伴う地質調査委託業務報告書」, (2004)
- (16) カトー基礎調査研究所：「明星大学武道館新築敷地地盤調査報告書」, (1968)
- (17) 成和機工株式会社：「土質調査報告書（仮称）明星大学新大会館新築工事」, (1993)
- (18) 株式会社日さく：「講義棟並びに本館事務棟増築に伴う地質調査報告書」, (2000)
- (19) 年縄巧・西田秀明・翠川三郎・阿部進：「横浜市高密度強震計ネットワーク観測点における強震動と常時微動のスペクトル特性の比較」土木学会論文集 No.640/I-50 pp.193-202 (2000)
- (20) 年縄巧・佐々木理・翠川三郎：「建物振動が周辺地盤の地震動に与える影響」、東京工業大学土木工学科研究報告, No.60, pp.23-32 (1999)