



この印刷物は、印刷用の紙へ  
リサイクルできます。

## 防衛大学校理工学2号館の地盤と建物の振動特性

村 越 匠

石 井 真 衣

令和 7 年 9 月

## 防衛大学校理工学2号館の地盤と建物の振動特性

村越 匠 \* 石井 真衣 \*\*

(令和7年3月28日受付：令和7年6月5日受理)

Vibration Characteristics of the Engineering Building No.2, National Defense Academy

By Takumi MURAKOSHI \* and Mai ISHII \*\*

The objective of this study is to examine the vibration characteristics of Engineering Bldg. No. 2, NDA (EB2). To this end, seismometers are installed on the ground surface, the second floor, and the roof of EB2. The analysis is conducted by employing the ratio of the Fourier spectra between observation points and the ratio of the Fourier spectra between components. It is observed that the amplification ratio of the vibration of north-south direction of the building on the south side of EB2 is found to be larger than that of the east-west direction. The natural frequency of EB2 remains consistent irrespective of its height, with horizontal components measuring 3.4 Hz and vertical components measuring 5.4 Hz. The dominant frequency of the H/V spectral ratio of the ground surface is determined to be 4.3 Hz, and the S-wave velocity of the loam layer corresponding to this dominant frequency is measured to be 206 m/s.

**Keywords:** Vibration characteristics, Amplification ratio, Natural frequency, H/V spectral ratio, S-wave velocity

### 1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震では、防衛大学校のある神奈川県横須賀市の気象庁の地震観測点で震度4の揺れを観測した。防衛大学校では建物の倒壊の被害はなかったが、外壁や屋内の被害は発生した。今後の地震に備えるため、構内の地盤構造や地盤および建物の振動特性を把握しておくことは地震防災の基礎的情報として重要となる<sup>eg.1-3)</sup>。

地盤構造については、JSHISの深部地盤構造モデル<sup>4)</sup>による250mメッシュでの平均的な地盤構造がわかっている。防衛大学校理工学2号館（以下、理工学2号館）周辺の地表から深さ30mまでの平

均S波速度は352m/sで、地震基盤面までの深さは2321mである。深さ20m前後までの情報としては、防衛大学校内の複数の地点でのボーリング柱状図がある。ボーリング柱状図によると、理工学2号館周辺の表層にあるローム層の深さは12m程度で、標準貫入試験によるN値は5程度である。地表付近の地盤構造については水平方向の不均質性が大きいため、振動特性や地盤構造を把握するためには目的とする地点の観測データを使った解析が必要となる。

建物については、一般的な学校建物（3・4階）の固有周期は0.2秒から0.5秒程度である<sup>5)</sup>。ただし、振動特性は建物の形状や工法などによりばらつきがある。また、建物と地盤の固有周期が一致すると建物が共振して揺れが大きくなり被害が大きくなる可

\* 防衛大学校 応用科学群 地球海洋学科 講師

\*\* 防衛大学校 本科（第69期）

能性がある。そのため、個々の建物に地震計を設置して建物の固有周期を解析することも重要となる。

地盤と建物の振動特性について、仲野・他 (2017)<sup>6)</sup>は地震動 H/V スペクトル比を用いた手法を提案している。観測における設置、時間などの点で地震動ではなく常時微動による H/V スペクトル比の解析の方が容易で解析事例も多くあるのに対して<sup>e.g.</sup><sup>12)</sup>、地震動 H/V スペクトル比は常時微動に比べて信号が明瞭で地震ごとのばらつきが少なく安定している特徴がある。地震動 H/V スペクトル比を建物の振動特性や地盤構造の解析に利用した例として Combey et al. (2022)<sup>7)</sup>、安井・他 (2014)<sup>8)</sup>などがある。

本研究では、理工学2号館の地盤と建物の振動特性を調べるために、2011年東北地方太平洋沖地震のあとに理工学2号館の地表と建物内に地震計を設置した。得られた理工学2号館の地震動の観測データについて、最大速度振幅および観測点間のスペクトル比、H/V スペクトル比を求めてことで理工学2号館の地盤と建物の振動特性の解析を行った。

## 2. 地震観測・解析手法

### 2.1 建物および地震観測の概要

理工学2号館は防衛大学校の構内の南西側に位置する南北方向 57.55m、東西方向 82.55m、高さ 11.9m の口の字型の3階建てのRC造の建物である(図1)。

本研究では、理工学2号館の南側の屋上(NDA01)、中庭(NDA02)、南側の2階(NDA03)の3箇所に地震計を設置した(図1)。観測装置として、地震計は固有周波数 2Hz の3成分速度型地震計 CDJ-S2C-2、データロガーは計測技研社製 HKS-9550 と HKS-9700 を使用した(表1)。屋上と

表 1 地震観測点の情報

Table 1 Information on the seismic stations

観測点	設置場所	地面からの高さ(m)	地震計	データロガー
NDA01	理工学2号館 屋上	11.9	CDJ-S2C-2	HKS-9550
NDA02	理工学2号館 中庭	0	CDJ-S2C-2	HKS-9550
NDA03	理工学2号館 2階	4.3	CDJ-S2C-2	HKS-9550 (~ 2021.5.12)
				HKS-9700 (2021.5.13 ~)

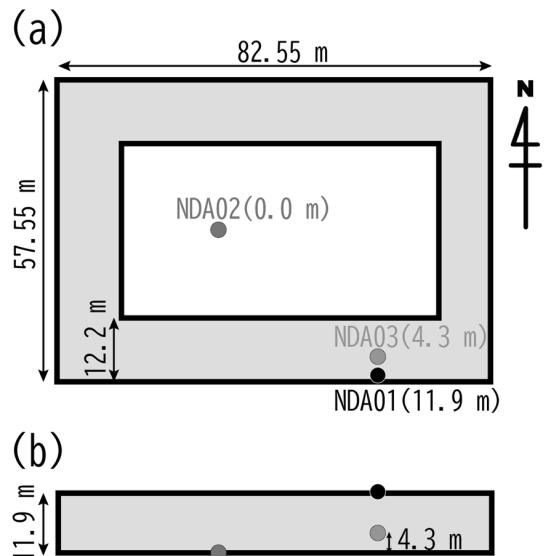


図 1 防衛大学校理工学2号館の地震観測点

(a) 上から見た図 (b) 南から見た側面の図

Fig. 1 Location map of seismic stations in the Engineering Building No.2, NDA

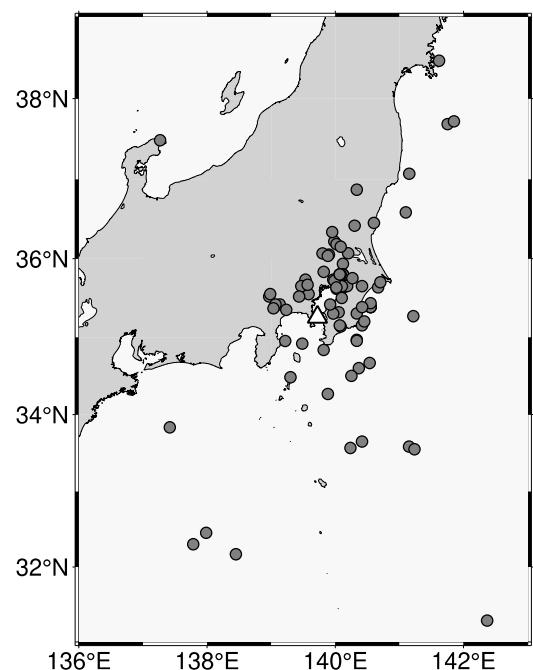


図 2 解析した地震の震源分布図

Fig. 2 Epicenter distribution map

地表（中庭）の観測点は屋外での観測となるため、電源はバッテリーとソーラーパネルを使用している。屋上（NDA01）と中庭（NDA02）は2011年4月1日に観測を開始し、2階（NDA03）は2020年10月5日に観測を開始した。

## 2.2 観測データ

本研究では、理工学2号館の3箇所の地震波形データを比較するため、理工学2号館2階に地震計

を設置した2020年10月5日以降の地震を解析対象とした。気象庁の震度データベース<sup>9)</sup>を使い、2020年10月5日から2024年7月31日の期間に気象庁の横須賀市の観測点で震度1以上となった地震を検索した。解析対象の期間に109個の地震があるが、そのうち3箇所すべてでデータの欠損などの問題がない85個の地震について解析を行った（表2）。85個の地震のうち横須賀市が震度1の地震は69個、震度2の地震は15個、震度3の地震は1個となっ

**表2 解析に用いた地震の震源情報**  
**Table 2 Information on the earthquake source**

No.	地震の発生日	地震の発生時刻	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	M
1	2020年10月28日	15:58:31	35.801	140.102	69	4.4
2	2020年11月22日	19:05:54	36.584	141.100	45	5.7
3	2020年12月6日	13:06:51	33.584	141.151	63	5.0
4	2020年12月18日	18:09:57	34.484	139.301	11	5.0
5	2021年3月20日	18:09:45	38.467	141.618	59	6.9
6	2021年3月28日	9:26:56	33.650	140.417	55	5.6
7	2021年5月14日	8:58:14	37.686	141.752	46	6.3
8	2021年5月24日	4:09:17	35.934	140.118	62	4.3
9	2021年6月9日	17:27:23	35.551	139.583	132	4.4
10	2021年8月12日	20:36:10	34.967	140.334	73	4.2
11	2021年9月13日	6:31:08	34.836	139.818	52	4.2
12	2021年9月14日	7:46:06	32.452	137.985	385	6.0
13	2021年9月29日	17:37:05	38.786	135.650	394	6.1
14	2021年10月21日	17:36:46	32.169	138.450	356	5.6
15	2021年10月28日	9:55:29	36.052	139.901	45	4.5
16	2021年11月1日	6:14:46	36.452	140.602	57	5.3
17	2021年11月17日	2:54:46	35.418	139.136	23	4.4
18	2021年11月20日	8:57:23	35.733	139.533	99	4.6
19	2021年11月29日	21:40:47	31.285	142.368	90	6.4
20	2021年12月2日	1:58:39	36.217	139.984	65	5.1
21	2021年12月3日	2:17:59	35.518	138.969	21	4.1
22	2021年12月3日	6:37:48	35.551	138.984	19	4.8
23	2021年12月30日	9:41:59	35.635	140.118	71	4.2
24	2022年1月2日	10:50:55	35.319	140.052	72	3.5
25	2022年3月31日	20:52:14	35.618	140.019	73	4.7
26	2022年4月13日	1:07:54	34.602	140.367	59	4.3
27	2022年4月19日	8:16:00	36.868	140.336	93	5.4
28	2022年4月27日	9:12:49	35.151	140.417	100	4.3
29	2022年5月3日	19:39:58	35.652	139.469	130	4.6
30	2022年5月14日	19:48:33	34.668	140.535	82	4.6
31	2022年6月25日	18:49:52	34.917	139.484	27	3.3
32	2022年7月5日	9:51:19	34.268	139.885	88	4.6
33	2022年9月3日	11:54:51	35.833	139.819	84	4.2
34	2022年9月22日	7:24:43	35.269	141.217	13	5.3
35	2022年9月23日	9:53:52	36.068	140.200	83	4.7
36	2022年11月3日	19:02:54	35.651	140.168	68	4.0
37	2022年11月3日	20:16:56	35.652	140.185	71	4.5
38	2022年11月4日	3:57:22	35.135	140.083	17	4.2
39	2022年11月4日	5:16:35	35.150	140.069	17	3.7
40	2022年11月9日	17:40:12	36.184	140.018	51	4.9
41	2022年11月14日	17:08:25	33.834	137.418	362	6.4
42	2022年11月17日	21:43:30	35.651	140.068	72	4.3
43	2022年12月16日	9:25:11	36.067	139.800	79	4.3

No.	地震の発生日	地震の発生時刻	緯度(°)	経度(°)	深さ(km)	M
44	2022年12月27日	9:09:34	35.301	139.967	74	4.0
45	2023年1月11日	12:19:45	35.418	139.067	13	4.1
46	2023年1月29日	21:19:48	35.350	139.235	144	4.9
47	2023年3月11日	5:13:46	35.733	139.968	63	4.3
48	2023年3月15日	6:39:05	35.500	140.100	69	3.8
49	2023年3月24日	16:25:35	36.417	140.301	83	4.7
50	2023年4月12日	5:10:49	35.651	140.101	70	3.9
51	2023年5月10日	11:20:56	35.718	139.985	66	3.9
52	2023年5月26日	19:03:24	35.634	140.668	50	6.2
53	2023年6月4日	10:58:33	35.802	140.067	70	4.6
54	2023年6月16日	21:14:03	35.802	140.118	66	4.0
55	2023年6月16日	21:24:10	35.701	140.702	49	4.9
56	2023年7月9日	20:44:04	34.952	140.335	73	3.8
57	2023年7月10日	4:52:23	35.652	140.417	66	4.5
58	2023年7月29日	19:34:12	36.336	139.951	77	4.6
59	2023年9月5日	13:27:16	35.800	140.118	72	4.6
60	2023年9月5日	13:33:05	35.800	140.086	68	4.2
61	2023年10月24日	21:29:42	35.368	139.034	167	4.2
62	2023年11月10日	10:00:11	35.518	139.434	105	4.2
63	2023年12月9日	16:03:45	34.502	140.252	64	4.6
64	2024年1月1日	16:10:22	37.485	137.267	16	7.6
65	2024年1月28日	8:59:29	35.634	140.017	73	4.7
66	2024年2月9日	17:42:33	34.952	139.219	172	4.9
67	2024年2月18日	16:14:45	35.417	139.919	113	4.1
68	2024年2月29日	11:13:09	35.384	140.552	29	4.6
69	2024年2月29日	16:27:21	35.384	140.550	29	4.6
70	2024年2月29日	18:35:42	35.385	140.551	27	4.9
71	2024年3月1日	5:43:17	35.434	140.550	31	5.3
72	2024年3月2日	1:49:04	35.303	140.336	26	5.0
73	2024年3月9日	4:26:42	35.384	140.417	28	4.4
74	2024年3月15日	0:14:36	37.068	141.152	50	5.8
75	2024年3月18日	3:50:20	35.752	140.267	58	4.2
76	2024年3月21日	9:08:04	36.036	139.884	46	5.3
77	2024年4月4日	12:16:30	37.719	141.852	44	6.3
78	2024年4月27日	17:35:35	27.901	139.786	515	6.7
79	2024年5月26日	0:55:37	36.151	140.085	66	4.7
80	2024年5月30日	2:14:56	32.302	137.784	405	5.5
81	2024年6月16日	19:16:36	35.800	140.068	69	4.3
82	2024年6月25日	17:31:01	33.550	141.235	44	5.5
83	2024年7月4日	12:12:30	35.201	140.452	49	5.2
84	2024年7月18日	20:07:36	33.567	140.235	100	5.7
85	2024年7月31日	1:47:16	35.669	139.568	121	4.7

た。図2は解析した85個の地震の震源分布である。図2の△は理工学2号館の位置、丸は震源を示している。

観測した地震波形データは10分ごとのWIN形式のファイルとなっている。地震波形データの読み込みと前処理には、Pythonから利用できるObsPy<sup>10)</sup>とWINフォーマット読み込み用モジュール<sup>11)</sup>を用いた。まず、表2の85個の地震について40.96秒間のデータを切り出した。切り出しの際、両端合わせて2%のコサインテーパーを適用してから、オフセットとトレンドの除去を行った。

図3は切り出した観測波形データの例である。

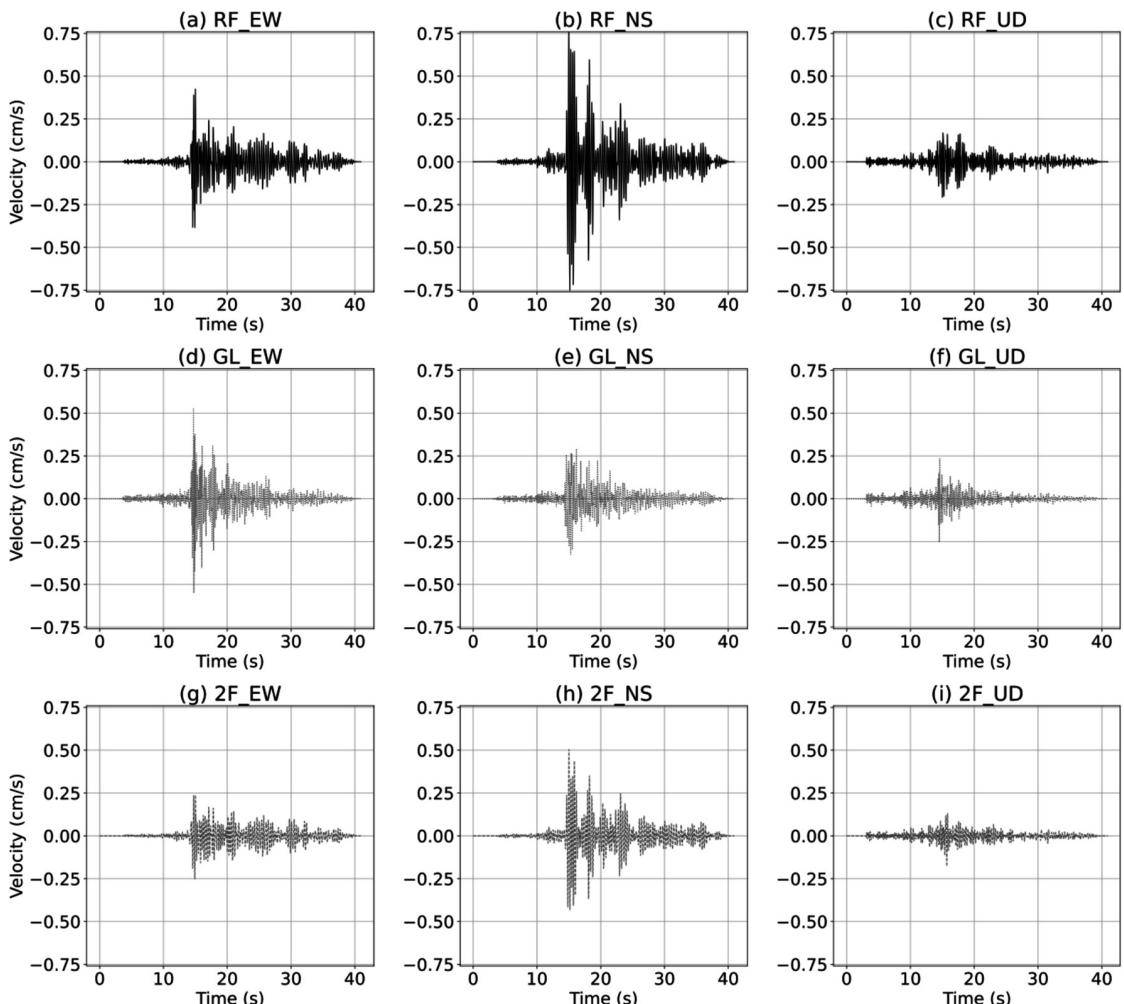


図3 観測データの例  
Fig. 3 Examples of observed waveform

2020年10月28日15時58分に発生した地震（表2のNo.1）の波形で、上から順に理工学2号館の屋上（実線）、地表（点線）、2階（破線）で、左から右に東西成分、南北成分、上下成分となっている。図3(a)から(i)の縦軸は速度振幅(cm/s)、横軸は時間(秒)である。

### 2.3 解析

まず、85個の地震の3成分の観測波形データを用いて、最大速度振幅を読み取り、東西成分、南北成分、上下成分の各成分による比較と、屋上と地表および2階と地表の比を算出した。

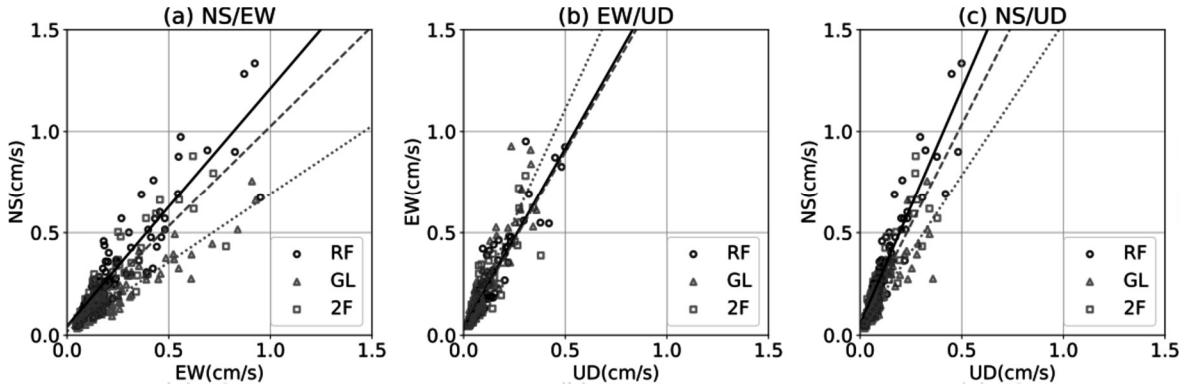


図4 最大速度振幅の分布図

Fig. 4 Distribution of maximum velocity amplitude

次に、3地点の成分ごとのフーリエスペクトルを計算した。スペクトルの卓越周波数を検出しやすくするため、フーリエスペクトルはバンド幅0.6 HzのParzenウインドウ<sup>12)</sup>で平滑化した。得られたフーリエスペクトルを用いて、フーリエスペクトルが最大となるときの周波数と振幅の関係と、フーリエスペクトルの屋上と地表および2階と地表の比を算出した。

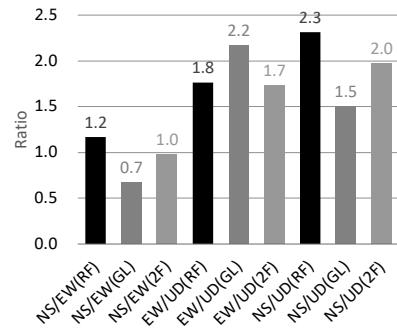


図5 最大速度振幅の比

Fig. 5 Ratio of maximum velocity amplitude

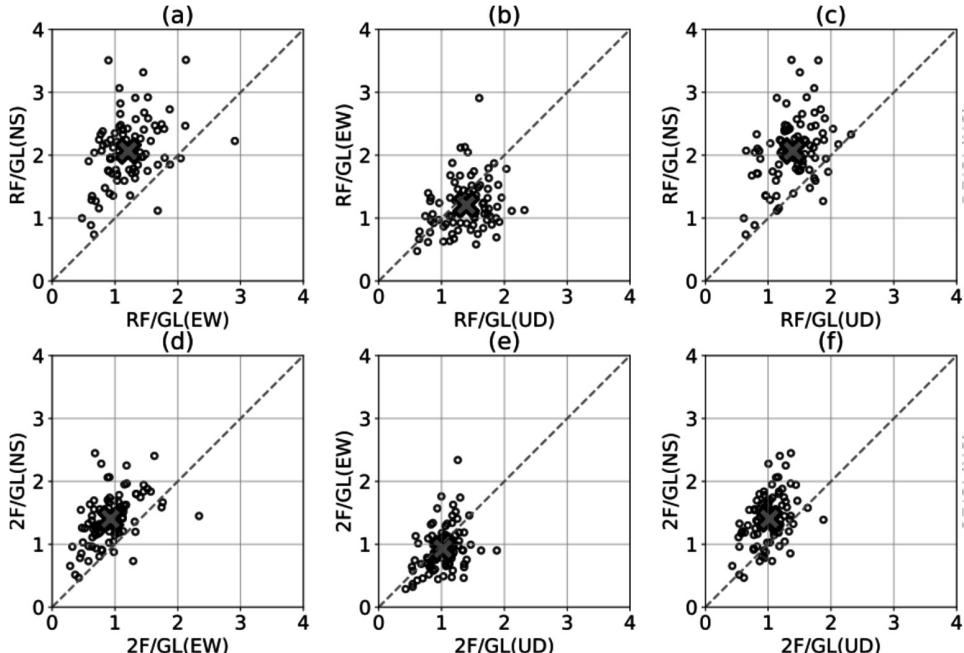


図6 最大速度振幅の地表観測点と建物内の観測点との比の分布図

Fig. 6 Distribution of ratio of maximum velocity amplitude between ground and building seismic stations

さらに、水平2成分のスペクトルの2乗和平方根と上下成分のスペクトルの比であるH/Vスペクトル比も算出した。

### 3. 結果

#### 3.1 最大速度振幅

図4は85個の地震の観測波形データの地点および成分ごとの最大速度振幅を表している。同じ地点の成分による最大速度振幅の大小を比較するため、図4(a)は南北成分と東西成分、図4(b)は東西成

分と上下成分、図4(c)は南北成分と上下成分を縦軸と横軸としている。図4の○は屋上(RF)、△は地表(GL)、□は2階(2F)の観測点、実線、点線、破線は屋上、地表、2階の近似直線である。地震によるばらつきはあるが、直線状の分布となった。

図5は図4の最大速度振幅の近似直線の傾きを表している。地表での最大速度振幅は上下成分、南北成分、東西成分の順に大きくなるのに対して、屋上と2階の最大速度振幅は上下成分、東西成分、南北成分の順に大きくなり、理工学2号館の建物内では共通して南北成分の揺れが大きくなる結果となった。

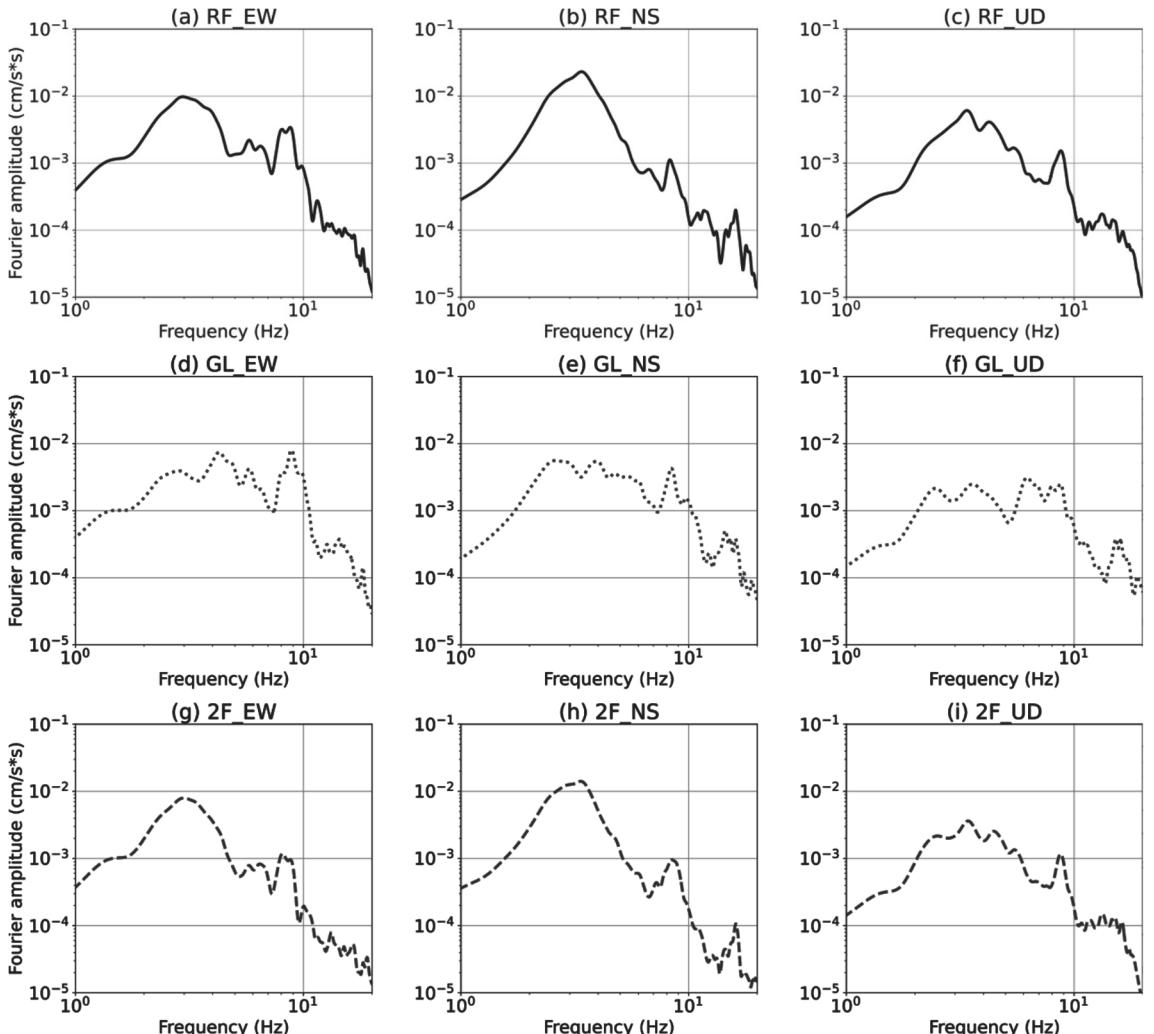


図7 フーリエスペクトルの例  
Fig. 7 Examples of Fourier spectra

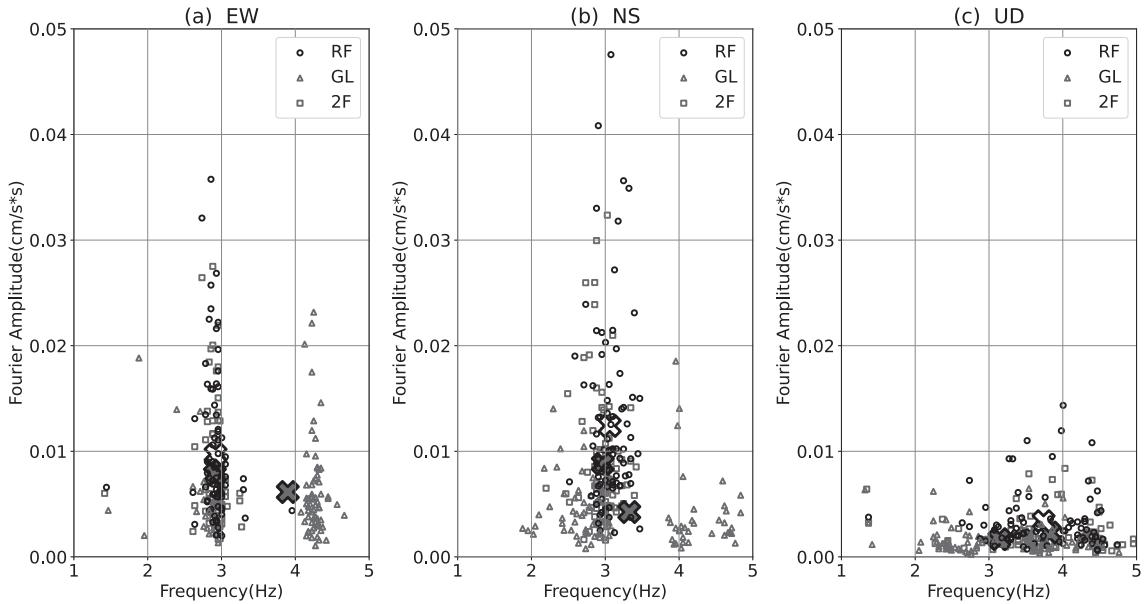


図8 フーリエスペクトルの最大振幅と周波数の分布図

**Fig. 8** Distribution of the maximum amplitude and frequency of the Fourier spectra

図6は最大速度振幅の地表観測点と建物内の観測点との比の分布を表している。図6の×は平均で、点線は比較する2成分の分布の傾向をみるために補助線で傾き1としている。図6(a)から(c)は地表と屋上の最大速度振幅の比、図6(d)から(f)は地表と2階の最大速度振幅の比である。地表観測点を基準としているので、屋上または2階の最大速度振幅が地表観測点より増幅している場合は、1より大きくなる。また、傾き1の補助線から離れて分布する場合は、地表に対する屋上または2階の揺れの増幅率が成分により異なることになる。図6(b),(e)では補助線付近に分布しているが、それ以外では補助線から上側にずれる結果となった。

### 3.2 フーリエスペクトルが最大となるときの周波数と振幅の関係

図7はフーリエスペクトルの例である。図7(a)から(e)は、図3(a)から(e)の屋上、地表、2階の東西成分、南北成分、上下成分の地震観測波形のフーリエスペクトルとなっている。屋上と2階の

フーリエスペクトルは、すべての成分で似た形状となつた。

図8はフーリエスペクトルの最大振幅と周波数の分布を表している。一般的な学校建物の固有周波数は2Hzから5Hz程度<sup>5)</sup>である。理工学2号館の固有周波数を調べるために、フーリエスペクトルの1Hzから5Hzの範囲でのピークを検出した。図8の○は屋上(RF)、△は地表(GL)、□は2階(2F)の観測点、×は各地点の平均である。屋上と2階の東西成分と南北成分は地震ごとの周波数方向のばらつきが少なく3Hz付近に集まっていた。上下成分はどの観測点でも周波数方向のばらつきが大きかった。東西、南北、上下の各成分の周波数の平均は、屋上では2.9Hz, 3.1Hz, 3.7Hz, 2階では2.9Hz, 3.0Hz, 3.8Hz、地表では3.9Hz, 3.3Hz, 3.1Hzとなつた。

### 3.3 フーリエスペクトルの屋上と地表および2階と地表の比

図9はフーリエスペクトルの屋上(RF)と地表(GL)の比を表している。図9(a)が東西成分、図

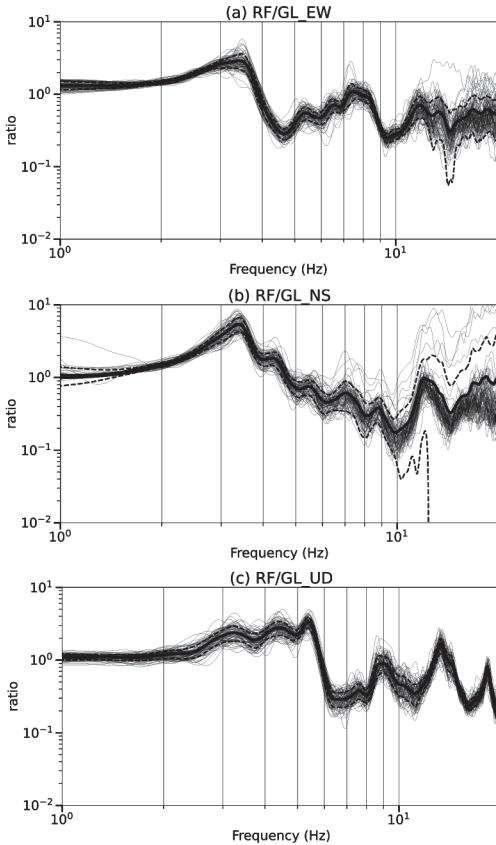


図 9 フーリエスペクトルの屋上 (RF) と地表 (GL) の比

Fig. 9 RF/GL ratio of the Fourier spectra

図 9 (b) が南北成分、図 9 (c) が上下成分である。図 9 の細線は表 2 の個々の地震のスペクトルの比、太線はスペクトルの比の平均、点線は平均値から  $\pm 1\sigma$  を表している。卓越周波数は東西成分 3.4Hz、南北成分 3.4Hz、上下成分 5.4Hz となった。

図 10 はフーリエスペクトルの 2 階 (2F) と地表 (GL) の比を表している。図 10 (a) が東西成分、図 10 (b) が南北成分、図 10 (c) が上下成分である。図 10 の細線、太線、点線は図 9 と同様としている。卓越周波数は東西成分 3.4Hz、南北成分 3.3Hz、上下成分 5.3Hz となった。

### 3.4 H/V スペクトル比

図 11 は H/V スペクトル比を表している。図

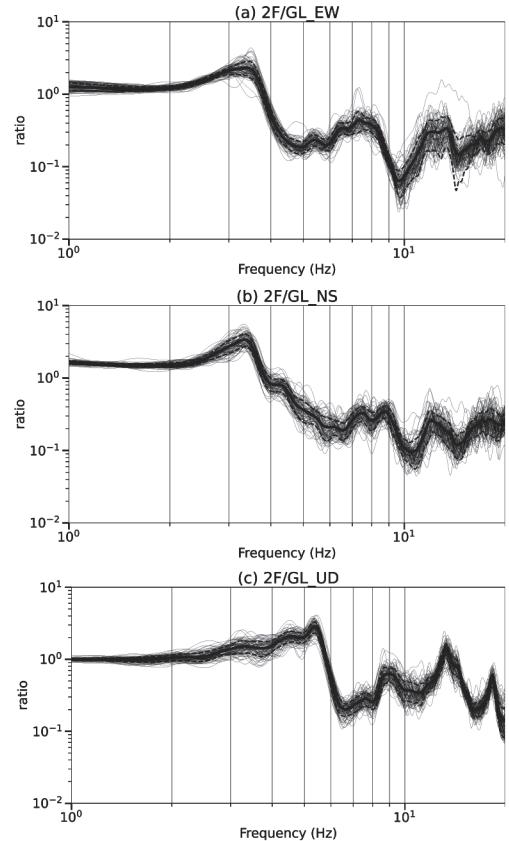


図 10 フーリエスペクトルの 2 階 (2F) と地表 (GL) の比

Fig. 10 2F/GL ratio of the Fourier spectra

11 (a) が屋上、図 11 (b) が地表、図 11 (c) が 2 階である。図 11 の細線、太線、点線は図 9 と同様としている。H/V スペクトル比の形状は屋上と 2 階で相似していた。卓越周波数は、屋上と 2 階は 2.9Hz で地表は 4.3Hz となった。

### 4. 考察

地表に対する屋上および 2 階の揺れの増幅率を図 12 にまとめた。図 12 の斜線なしの棒グラフは、図 5 の最大速度振幅の屋上と地表の比 (RF/GL) と 2 階と地表の比 (2F/GL) である。図 12 の斜線ありの棒グラフは、図 9 と図 10 のフーリエスペクトルの RF/GL と 2F/GL である。屋上と 2 階を比

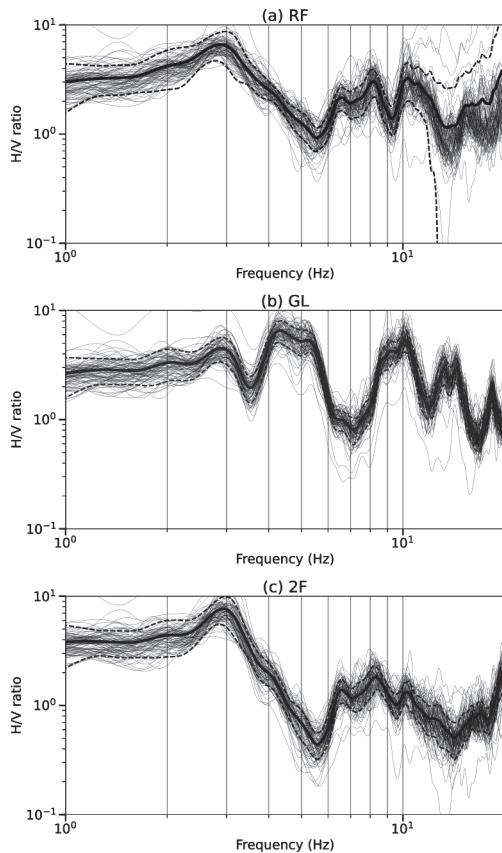


図 11 H/V スペクトル比  
Fig. 11 H/V spectral ratio

較すると、屋上の増幅率は 2 階の 1.2 倍程度であった。また、屋上と 2 階で共通して地表に対しての揺れの増幅率が一番大きくなったのは南北成分であった。これは、理工学 2 号館の南側の建物が東西方向 82.55m、南北方向 12.2m と東西に長い構造（図 1）をしていることによる振動特性だと考えられる。

理工学 2 号館の屋上と 2 階の固有周波数は、東西成分が 3.4Hz と 3.4Hz、南北成分が 3.4Hz と 3.3Hz、上下成分が 5.4Hz と 5.3Hz となり、高さによる差はほとんど見られなかった（図 9、図 10）。また、屋上と 2 階の固有周波数の水平成分は方位による違いではなく 3.3Hz から 3.4Hz となった。

建物の固有周期は建物の高さから簡易的に概算することができる。建築基準法の RC 造の建物の固有

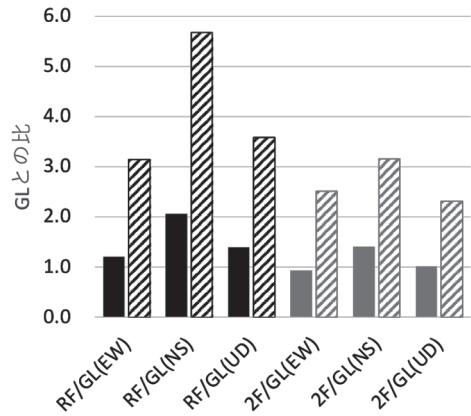


図 12 最大速度振幅とフーリエスペクトルの RF/GL と 2F/GL の最大値の比較

Fig. 12 Maximum amplitudes for RF/GL and 2F/GL ratios in maximum velocity amplitude and Fourier spectra

周期  $T$  (秒) は式 (1) で与えられる<sup>13)</sup>。

$$T = 0.02 h \quad (1)$$

ここで、 $h$  は建物の高さ (m) である。理工学 2 号館の高さは 11.9m なので（図 1），固有周期は式 (1) から 0.238 秒となる。固有周波数  $f_0$  は式 (2) から 4.2 Hz となる。

$$f_0 = \frac{1}{T} \approx 4.2 \quad (2)$$

本研究で求めた理工学 2 号館の屋上の固有周波数は水平成分 3.4Hz、上下成分 5.4Hz で、式 (1) から概算した固有周波数はその平均的な数値となっている。

地盤の S 波速度は振動特性に影響を与えることがわかっている。H/V スペクトル比の卓越周波数に 4 分の 1 波長則<sup>14)</sup> を適用すると、S 波速度と層厚の関係式は式 (3) となる。

$$f = \frac{V_s}{4H} \quad (3)$$

ここで、 $f$  は H/V スペクトル比の卓越周波数 (Hz),  $V_s$  は S 波速度 (m/s),  $H$  は層厚 (m) である。層厚は、理工学 2 号館周辺のボーリングデータの表層にあるローム層の厚さから 12m と仮定する。地表の H/V

スペクトル比の卓越周波数 $f$ は 4.3 Hz であった（図 1 1）。層厚と卓越周波数を式（3）に入れると  $V_s$  は 206(m/s) となった。また、S 波速度は N 値からも概算できる。ローム層に相当する粘性のある洪積層の場合の N 値と  $V_s$  の関係式は式（4）となる<sup>15)</sup>。

$$V_s = 130 N^{0.29} \quad (4)$$

理工学 2 号館周辺のボーリングデータによると、表層のローム層の N 値は約 5 であった。N 値を式（4）に入れると  $V_s$  は 207(m/s) となった。H/V スペクトル比の卓越周波数から推定した地盤表層にあるローム層の S 波速度と、ボーリングデータのローム層の N 値から推定した S 波速度がよく一致する結果となった。

## 5. 結論

本研究では、理工学 2 号館の地表と建物の地震波形データについて、最大速度振幅および観測点間のスペクトル比、H/V スペクトル比を求ることで地盤と建物の振動特性の解析を行った。理工学 2 号館の南側の建物は、南北方向の揺れの増幅率が東西方向に比べて大きくなることがわかった。理工学 2 号館の固有周波数は高さに依存せず、水平成分が約 3.4Hz、上下成分は約 5.4Hz であった。また、地表の H/V スペクトル比の卓越周波数は 4.3 Hz で、地盤の表層にあるローム層の S 波速度は 206(m/s) であった。

## 謝辞

震度情報には気象庁の震度データを使用しました。一部の図の作成には GMT6<sup>16)</sup> を使用しました。防衛大学校理工学 2 号館の図面および防衛大学校構内のボーリングデータについては防衛省・南関東防衛局の資料を利用しました。記して感謝致します。

## 参考文献

- 1) 年繩巧, 高橋悠貴: 明星大学日野キャンパスの地盤特性の分布, 明星大学理工学部研究紀要, [55] (2019), pp. 1-12.
- 2) 小祝碧, 濱崎大樹, 吉田長行: 常時微動測定による建物の振動特性の同定, 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告, 28 (2014), pp. 62-69, doi.org/10.15002/00009852.
- 3) 鍾田泰子, 齊藤栄: 観測記録を用いた神戸大学周辺の地盤震動特性, 神戸大学都市安全研究センター報告, [13] (2009), pp. 227-242, doi.org/10.24546/81001969.
- 4) 防災科学技術研究所: J-SHIS 地震ハザードステーション (2019), doi.org/10.17598/nied.0010.
- 5) 日本地震学会・強震動委員会: 強震動地震学基礎講座第 3 回: 強震動予測で対象となる周期範囲, [https://www.zisin.jp/publications/document02\\_03.html](https://www.zisin.jp/publications/document02_03.html), (2025.3.26 参照).
- 6) 仲野健一, 安井譲, 境茂樹, 前田寿朗: 地震動 H/V スペクトル比を用いた地盤-建物連成系の振動特性把握手法の提案, 安藤ハザマ研究年報, [5] (2017), pp. 1-7.
- 7) A. Combey, D. E. Mercerat, P. Gueguen, M. Langlais and L. Audin, "Postseismic Survey of a Historic Masonry Tower and Monitoring of Its Dynamic Behavior in the Aftermath of Le Teil Earthquake (Ardèche, France)", *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112[2] (2022), pp. 1101-1119, doi.org/10.1785/0120210258.
- 8) 安井譲, 西川隼人, 前田寿朗, 長郁夫, 小嶋啓介, 素嶺一起, 宮島昌克: 地震動 H/V スペクトルによる地盤構造逆解析の適用性—福井地域の記録を用いた事例研究—, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), 70[4] (2014), pp. 628-643, doi.org/10.2208/jscejsee.70.I\_628.
- 9) 気象庁: 震度データベース検索, <https://www.data.jma.go.jp/svd/eqdb/data/shindo/index.html>, (2025.3.26 参照).

- 10) M. Beyreuther, R. Barsch, L. Krischer, T. Megies, Y. Behr and J. Wassermann, “ObsPy: A Python toolbox for seismology”, *Seismological Research Letters*, **81**[3] (2010), pp. 530-533, doi.org/10.1785/gssrl.81.3.530.
- 11) 中川茂樹, 加藤愛太郎:WIN フォーマットデータを ObsPy で読み込む新しいモジュール, 東京大学地震研究所技術研究報告, **26** (2020), pp. 31-36, doi.org/10.15083/0002000903.
- 12) 大崎順彦:「新・地震動のスペクトル解析入門」, 鹿島出版会 (1994).
- 13) 柴田明徳:「最新耐震構造解析(第3版・補訂版)」, 森北出版 (2021).
- 14) 日本建築学会:「地盤震動と強震動予測－基本を学ぶための重要項目－」, 日本建築学会 (2016).
- 15) 内田明彦, 時松孝次, 辻本勝彦:N 値による S 波速度の推定に関する一考察, 日本建築学会技術報告集, **25**[59] (2019), pp. 119-122, doi.org/10.3130/aijt.25.119.
- 16) P. Wessel, J. F. Luis, L. Uieda, R. Scharroo, F. Wobbe, W. H. F. Smith and D. Tian, “The Generic Mapping Tools version 6”, *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, **20**[11] (2019), pp. 5556-5564, doi.org/10.1029/2019GC008515.