

# 研究室紹介(三辻)

- 研究テーマ

建築基礎構造、地盤工学、地震工学など中心に

- 研究室所属学生の活動

3年生:

- 1) JSCA(日本建築構造技術者協会)東北支部の構造デザインコンテストに参加

- 2) Forum8社主催の都市・建築設計コンテスト  
(Design World Cup: CAD+CGソフト)に参加

4年生: 卒論

ほかに各種観測・実験、建物見学、現場見学など

# 研究・教育活動

観測・実験・調査・理論による総合的な研究・教育

建築物の振動測定



耐震・防災研究による地域貢献



建設現場見学会(南陽市)

実務や他分野との連携による実践的な理解

構造・材料

建築

施工・行政

デザイン

歴史・環境・計画



山形駅前再開発計画

構造+デザイン+地域性



学生デザインコンテスト作品

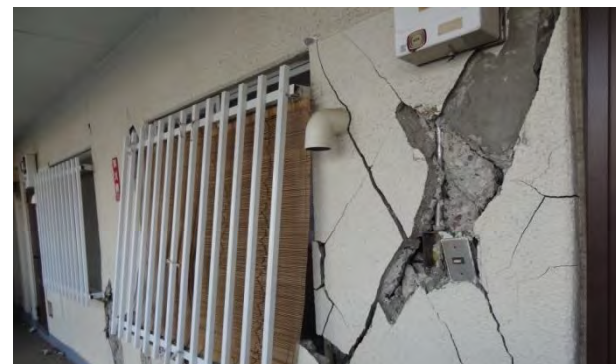
設計による工学知識とデザインの融合





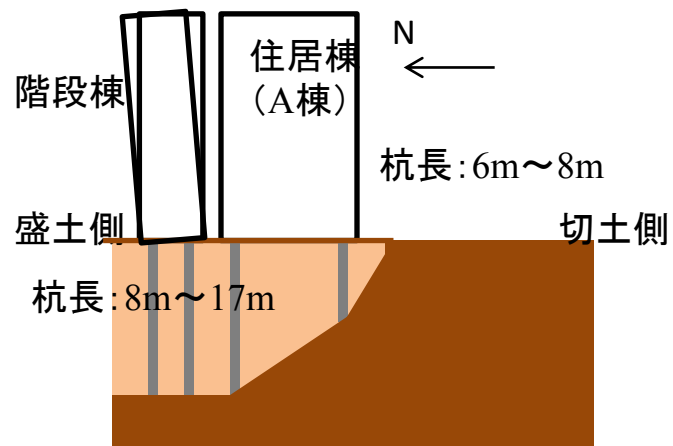
# 最近の研究内容

# 東日本大震災被災建物の調査・分析



調査・観測結果の分析

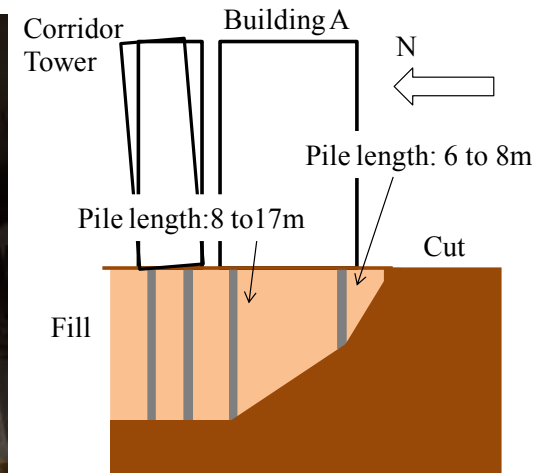
→ 建物挙動の解明・耐震設計の高度化



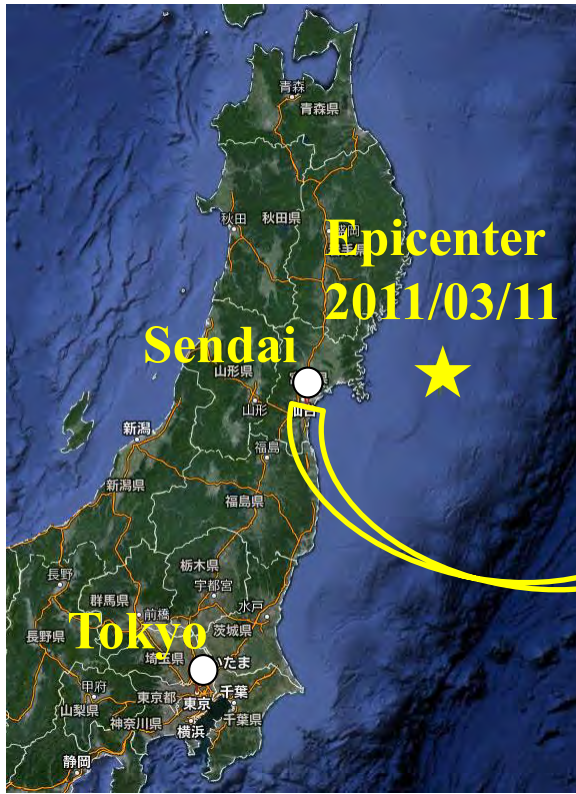


# Introduction

- Damage of Pile-foundation building with the effect of irregular pile-supporting stratum by the 2011 Tohoku Earthquake is focused.
- One of the important characteristics of this building is that the pile lengths are different on each foundation. The authors conducted microtremor measurements and aftershock observations.
- In this paper, a numerical analysis using a 2D FEM model is carried out to study the dynamic behavior of the damaged building during the main shock of the 2011 Tohoku Earthquake, and compared with the extent of the damage. In particular, the response of the pile head is examined considering the effect of the irregular pile length.

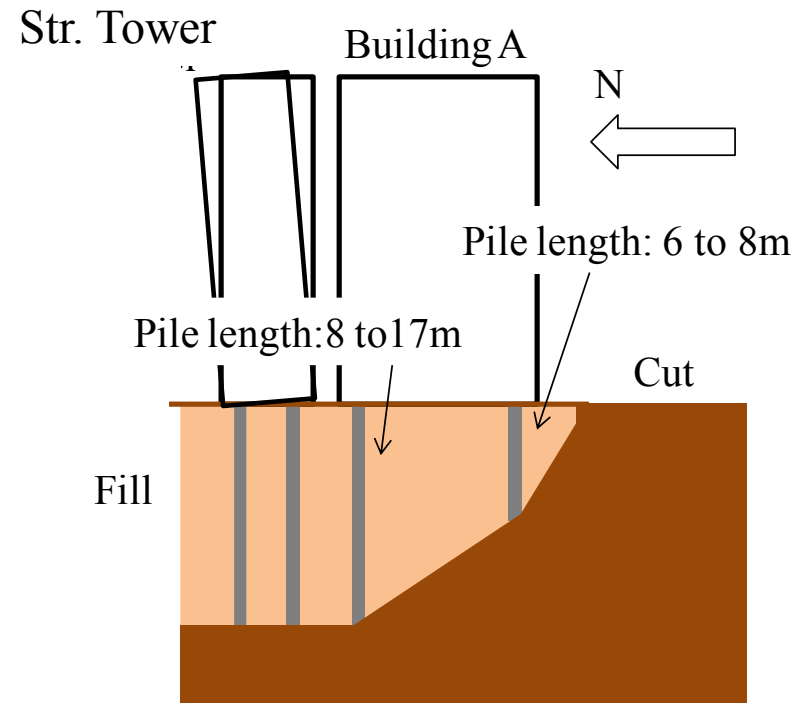


# Site of the damaged building



- 1) Man-made reclaimed area, approximately 5 km north-east of the center of Sendai.
- 2) **Damaged building** exits around the edge of **the fill area**.
- 3) The **blue-colored area** indicates the **fill area** reclaimed by the development of the residential site.

# Outline of the damaged building



1) Building A: **Five-storey RC frame structure** and constructed in 1971, **also suffered from the 1978 Miyagi Earthquake.**

2) Plan :103m in longitudinal and 9m in transverse direction.

3) **Piles in north frames are longer than south frames.**

→ Difference of pile length between north and south is about 10m at most  
After the main shock, the staircase tower has an inclination over an angle of 1/30.

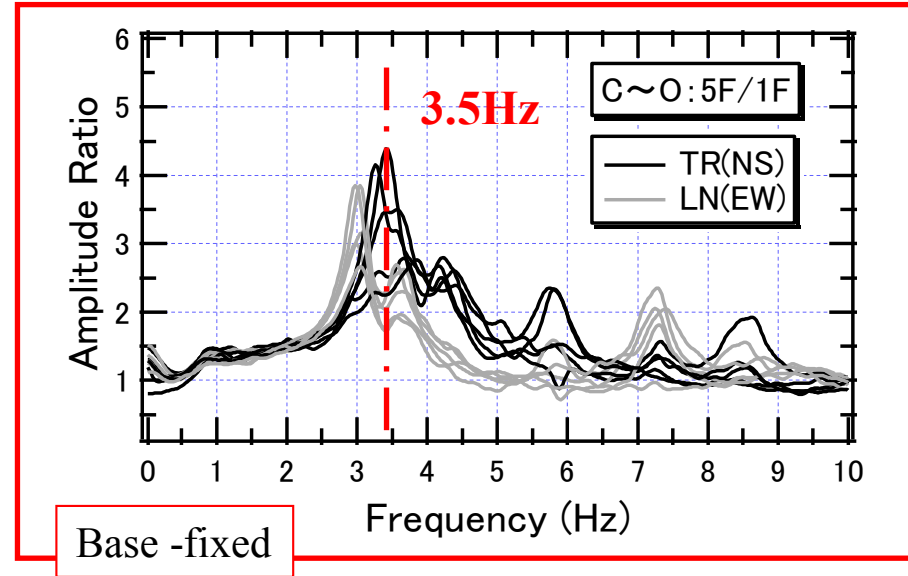
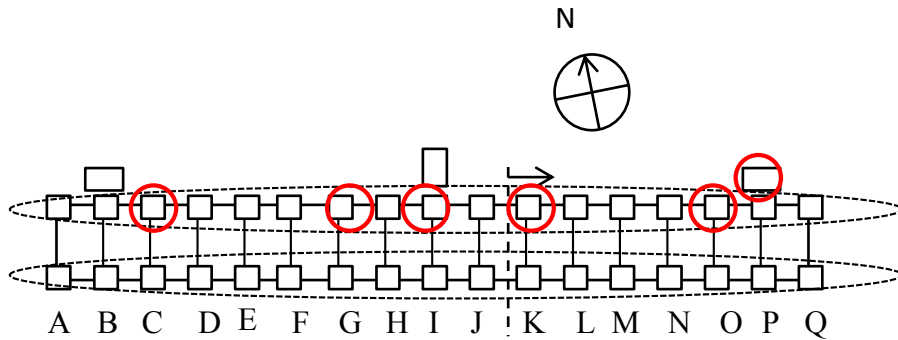






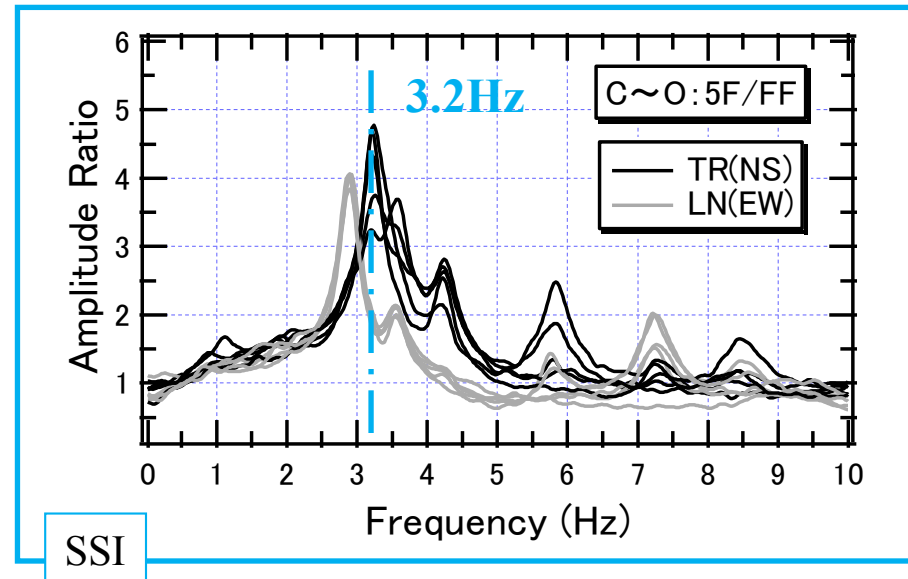
# Microtremor Measurements: Superstructure

The 1<sup>st</sup> natural frequency of the superstructure is estimated **3.5Hz** in TR direction.

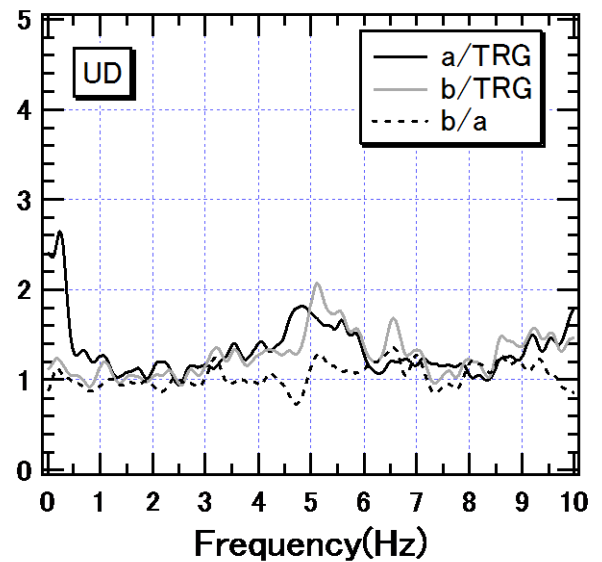
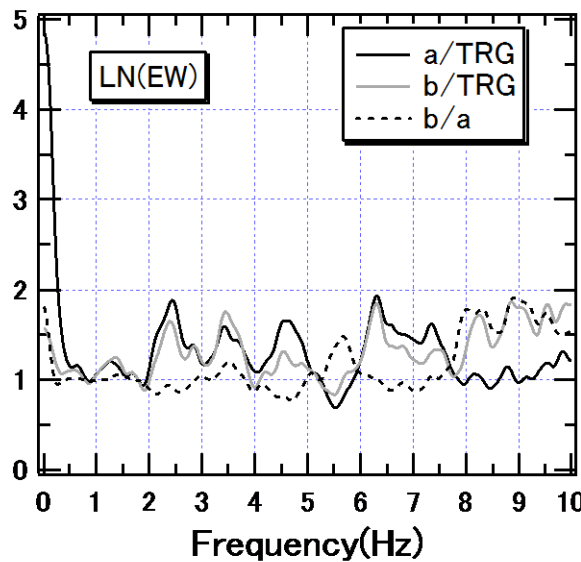
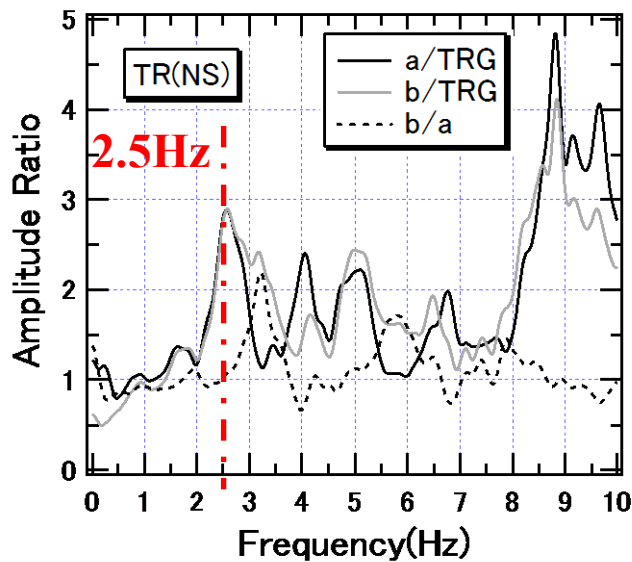
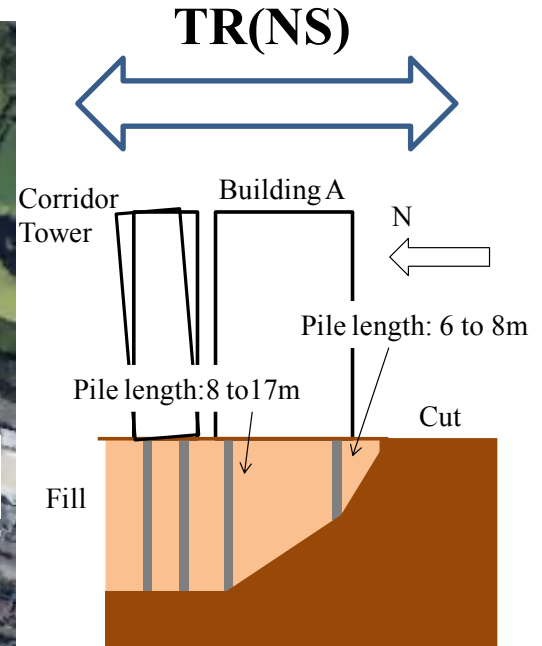


Estimated 1<sup>st</sup> Natural Frequency

	Base -fixed		SSI	
	5F/1F (Hz)		5F/FF (Hz)	
	TR(NS)	LN(EW)	TR(NS)	LN(EW)
C (16m)	3.69	3.00	3.27	2.91
G (10m)	3.56	3.08	3.25	2.91
I (8m)	3.44	3.05	3.22	2.91
K (10m)	3.27	3.00	3.22	2.88
O (12m)	3.86	3.05	3.56	2.91
3rd tower (18m)	2.78	3.91	2.64	3.69



# Local Site Effect





# Estimated Vs of the Site

1D wave propagation characteristics of reclaimed soft soil layer

$$f = \frac{V_s}{4H} \text{ (Hz)}$$

$f$ : Estimated Predominant Frequency = 2.5Hz

$H$ : Depth of reclaimed soft soil layer

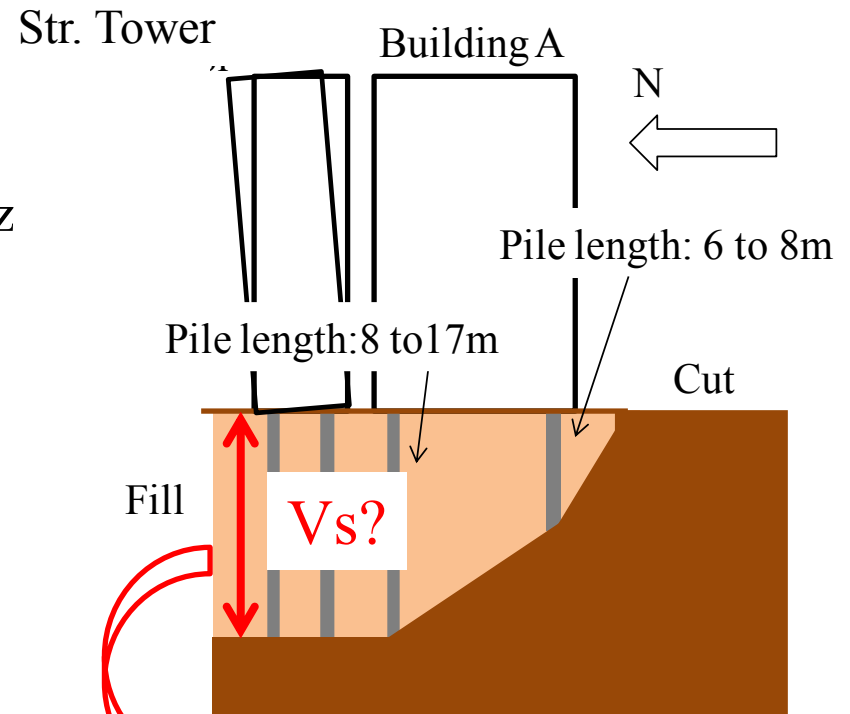
Estimated Vs :

(Case 1)  $H=15\text{m} \rightarrow 180\text{m/s}$

(Case 2)  $H=20\text{m} \rightarrow 240\text{m/s}$

Vs of damaged man-made reclaimed residential area of hill side of Sendai is approximately estimated 180m/s (Sendai city, 2012).

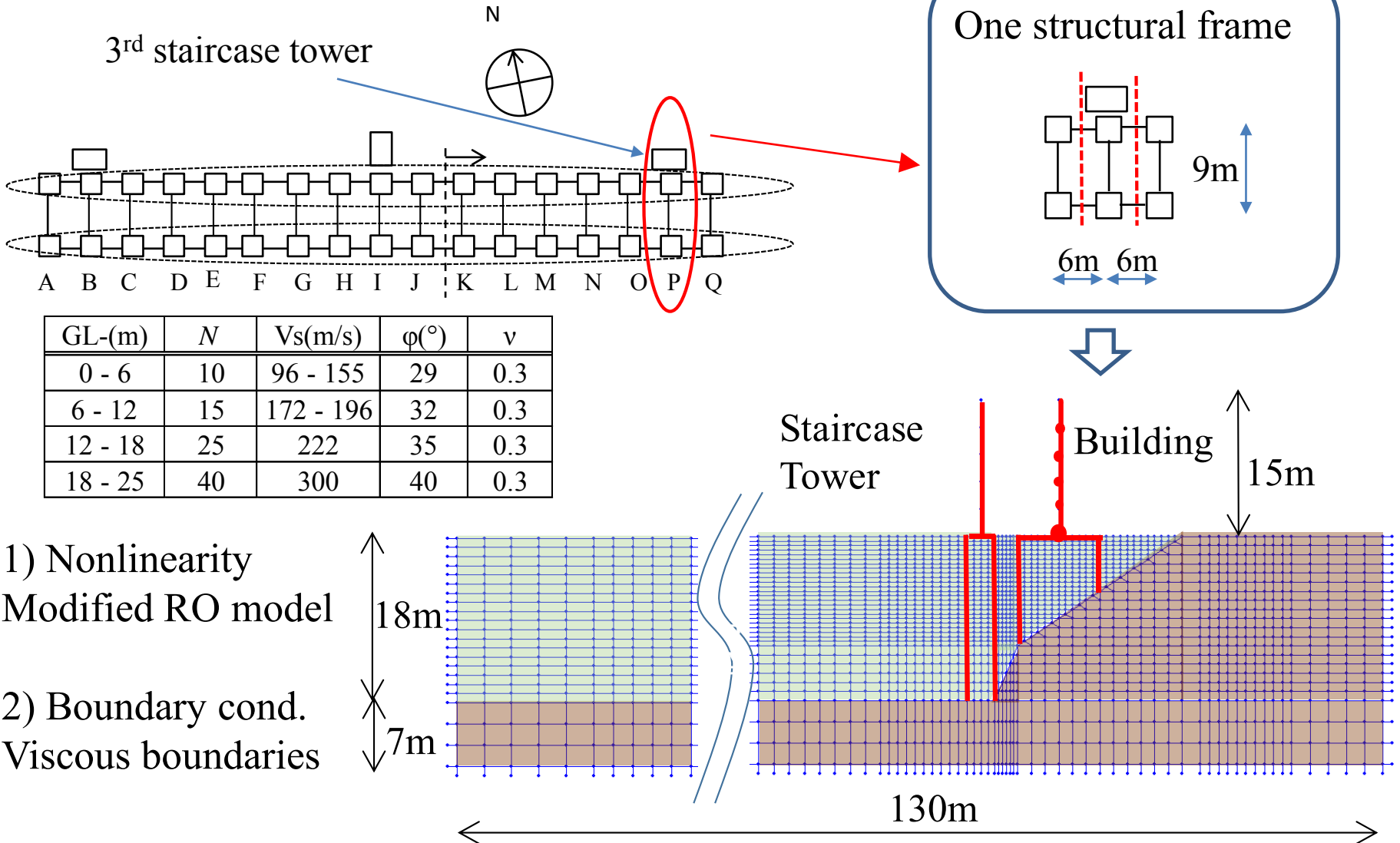
The results above meet good agreements with the damage survey of man-made reclaimed residential area.



Vs of reclaimed soft soil layer estimated

# 2D FEM Model

2D FEM model is organized as **one structural frame** including the 3<sup>rd</sup> staircase tower in the transverse direction (NS).

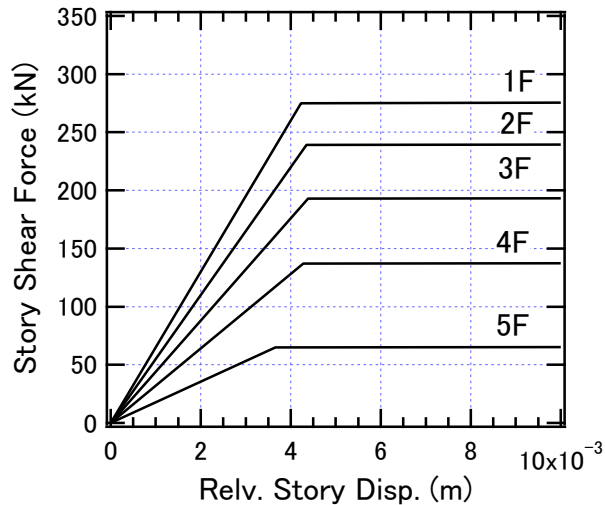




# Non linear characteristics

## Superstructure (MDOF)

The nonlinear characteristics of the superstructure and piles are assumed to be **bi-linear**.

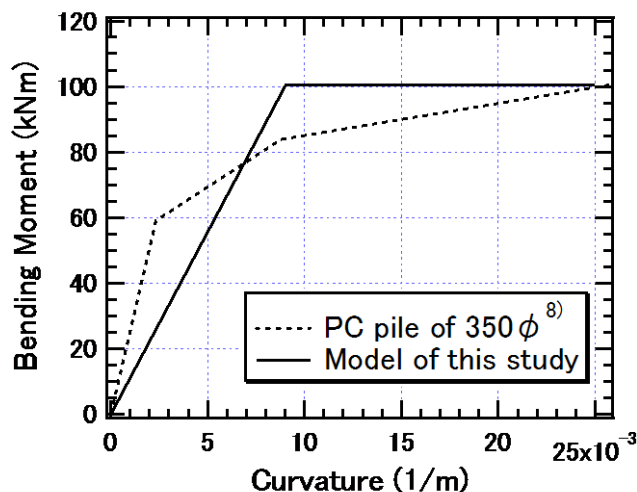


No.	W(kN)	K1(kN/m)	F1(kN)
5	70	0.18×10 <sup>5</sup>	65
4	120	0.32×10 <sup>5</sup>	137
3	120	0.44×10 <sup>5</sup>	193
2	120	0.55×10 <sup>5</sup>	239
1	120	0.65×10 <sup>5</sup>	275

The story shear coefficient of the yield strength is assumed to be  $C_y = 0.5$  on the first floor.

The coefficients for other floors are determined based on the  $A_i$  distribution.

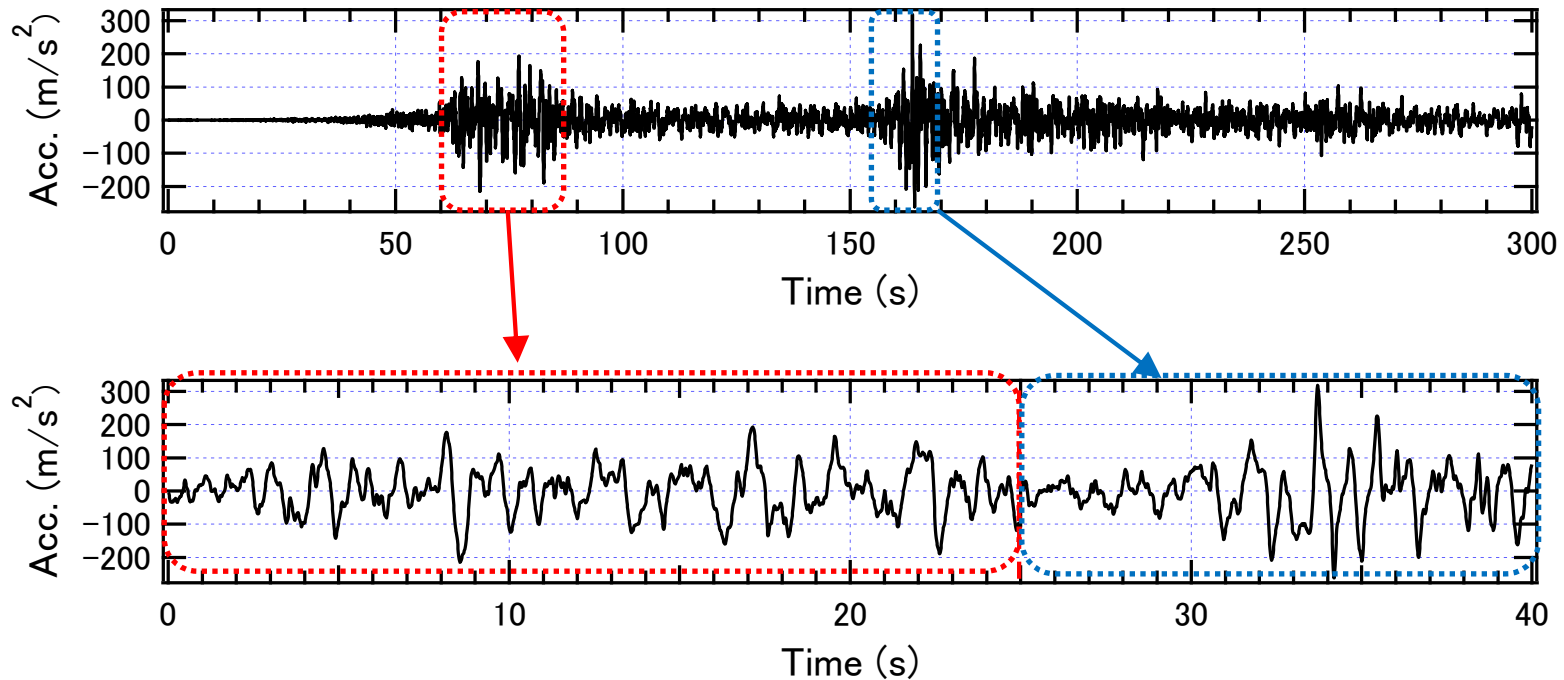
## Pile (Beam element)



	A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E1(kN/m <sup>2</sup> )	E2(kN/m <sup>2</sup> )	M1(kNm)
Pile of Building	6.53×10 <sup>-2</sup>	7.15×10 <sup>-4</sup>	1.82×10 <sup>7</sup>	→0	117.0
Pile of Str. Tower	6.70×10 <sup>-2</sup>	7.33×10 <sup>-4</sup>	1.82×10 <sup>7</sup>	→0	120.0

A(m <sup>2</sup> )	I(m <sup>4</sup> )	E1(kN/m <sup>2</sup> )	E2(kN/m <sup>2</sup> )	M1(kNm)
3.0	3.75×10 <sup>-1</sup>	2.40×10 <sup>7</sup>	→0	1093.5

# Input motion (main shock)



**Input motion** is a record of the NS direction of the site of the **Sumitomo Seimei Building (SU)**, governed by the IRIDeS of Tohoku University.

**The site of SU** is located in the central area of Sendai and approximately 5km north west from the investigated site. It can be **considered the bedrock site** based on the soil conditions and previously observed data.

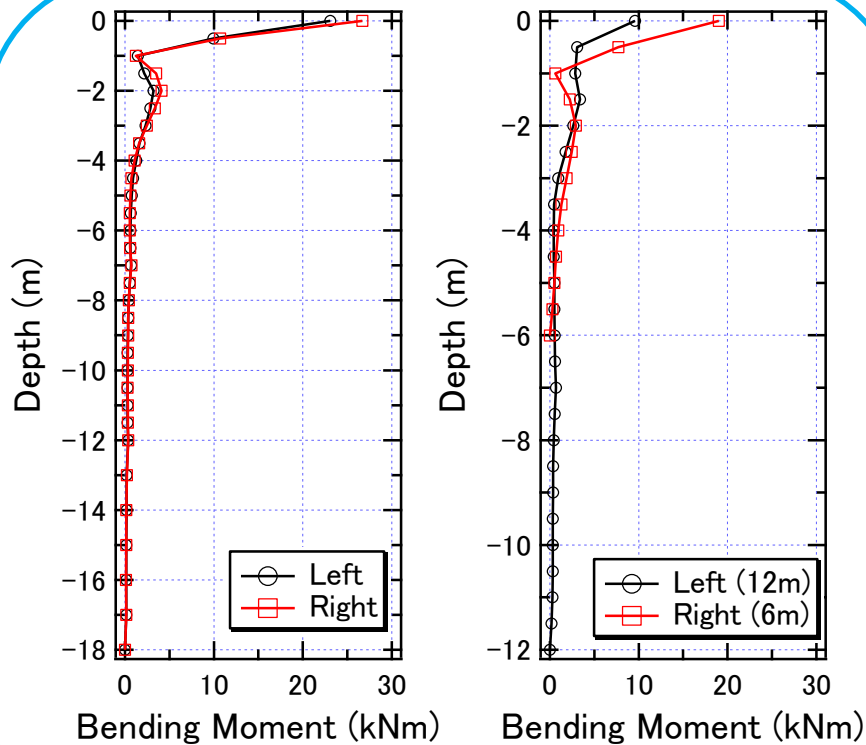
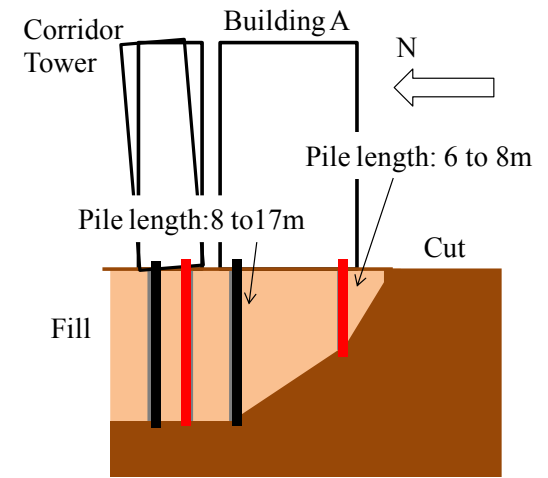
Time increment is  $\Delta t = 0.001(s)$



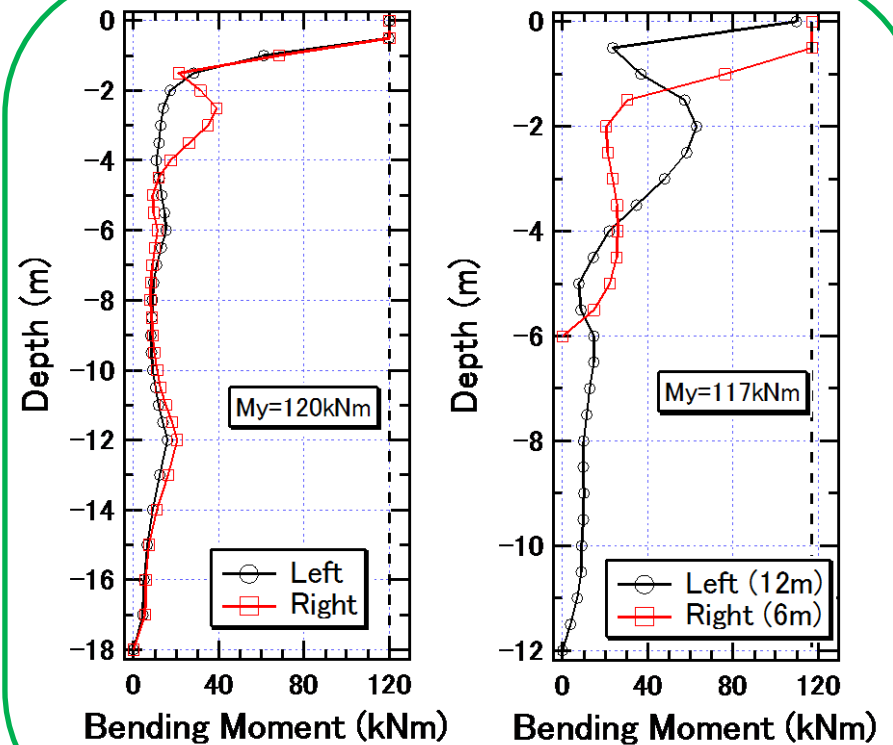
# Maximum bending moment distribution in depth

At the pile head of the **right pile** is **larger** compared to the left pile for **the the building**.

In case of **the staircase tower**, the bending moment at the pile head reaches to **the yield bending moment**.



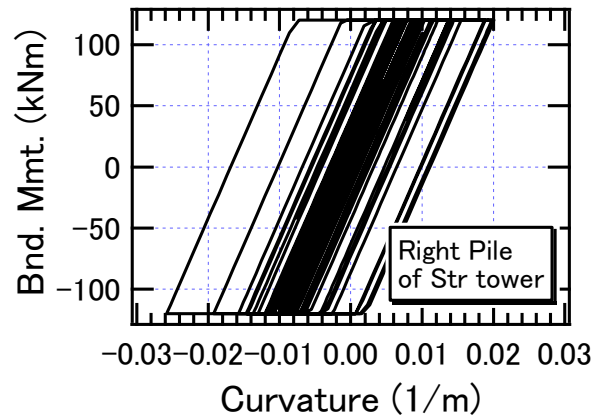
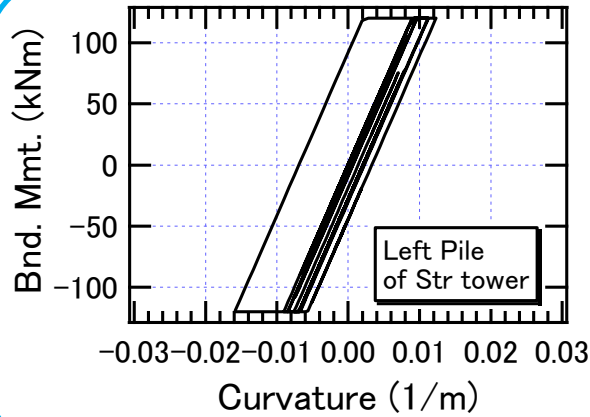
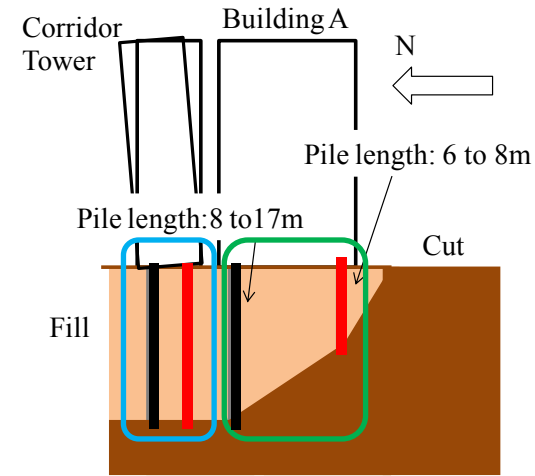
(a) Aftershock



(b) Main shock

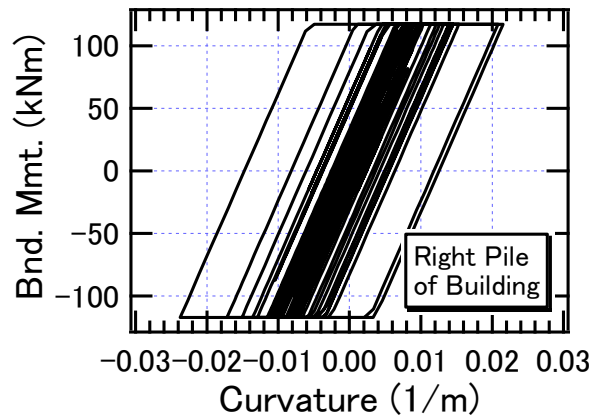
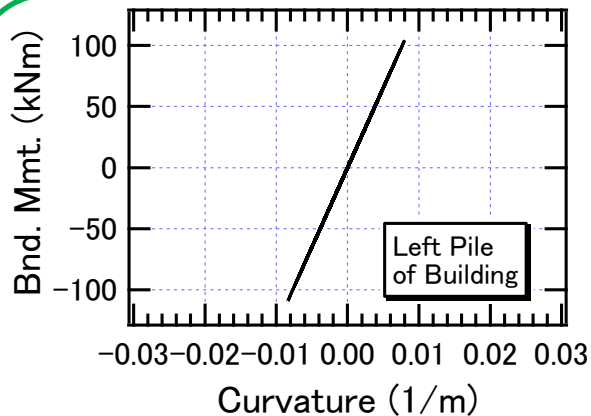
# Bending moment and curvature relations at pile heads

The ductility factors “ $\mu$ ” representing the extent of the structural damage




The ductility factors “ $\mu$ ”

$\mu = 1.8$  for the left pile  
 $\mu = 2.8$  for the right pile in the staircase tower.



$\mu = 2.6$  for the right pile in the building.  
 The relation of the left pile of the building does not show the nonlinearity.

An aerial photograph of a city, likely Sendai, Japan, showing a dense urban landscape with various buildings and a prominent mountain range in the background under a blue sky with scattered clouds. A semi-transparent white box is overlaid on the image, containing the title text.

# 山形盆地の地盤構造推定に関する研究



# はじめに

- 山形盆地：東に蔵王連峰、西に出羽丘陵に挟まれた南北に細長い形状
- 東側に扇状地、西側に沖積平野
- 市街地は北西側に拡大する傾向
- 山形盆地西縁断層など活断層の存在  
→ 地震リスクは決して低くはない

常時微動観測により



- 山形盆地西部の地盤振動特性
- 表層軟弱地盤の特性
- 工学的基盤の不整形性



# 山形盆地の概要



南北に細長く、  
東側は扇状地  
西側は沖積平野







# 常時微動観測

- 山形盆地西部の断層近傍・軟弱地盤地域を中心に22ヶ所で観測を実施
- サンプルング周波数100Hzで10分間の速度波形を計測
- 40.96秒間の区間を切り出してフーリエ解析(H/Vスペクトル比)を行い、アンサンブル平均を求める
- 表層の振動特性と工学的基盤の不整形性の影響



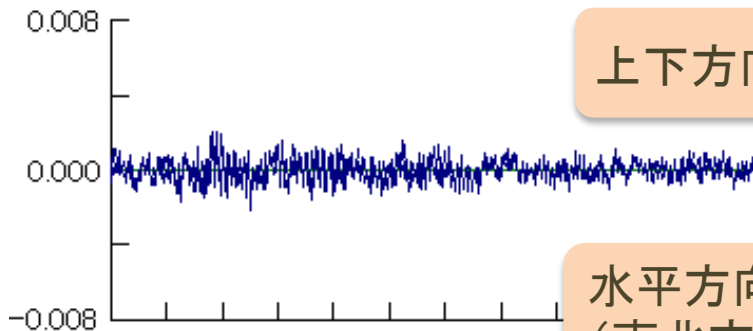
使用したセンサー:

1) McSEIS-MT NEO (応用地質)  
東北大学災害科学国際研究所  
地域地震災害研究分野

2) VSE-15D, SPC-51 (東京測振)  
山形大学

# 観測の様子と観測波形

- ①車、人などの観測に影響を及ぼす事象が少なく、平らな場所を選ぶ
- ②微動計を水平に設置
- ③微動計とPCを接続
- ④観測開始(10分間)



上下方向微動計

水平方向微動計  
(南北方向)

水平方向微動計  
(東西方向)

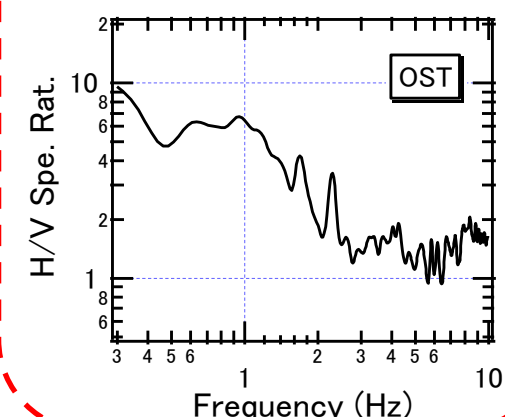
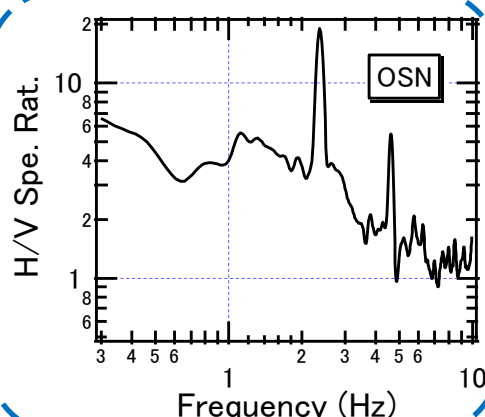
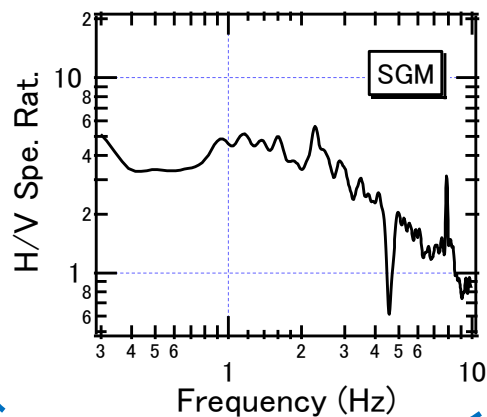
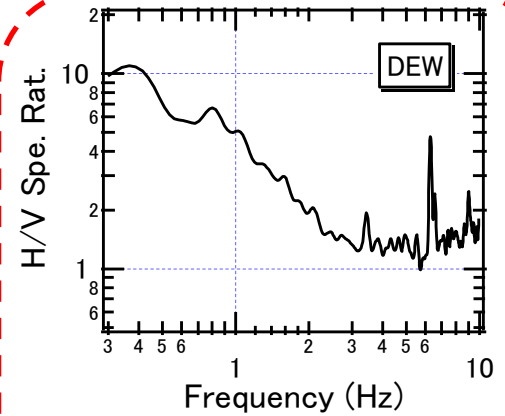
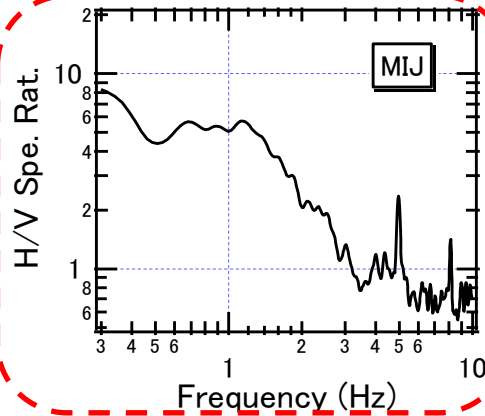
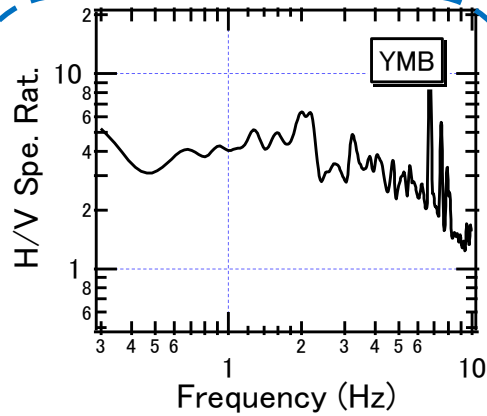
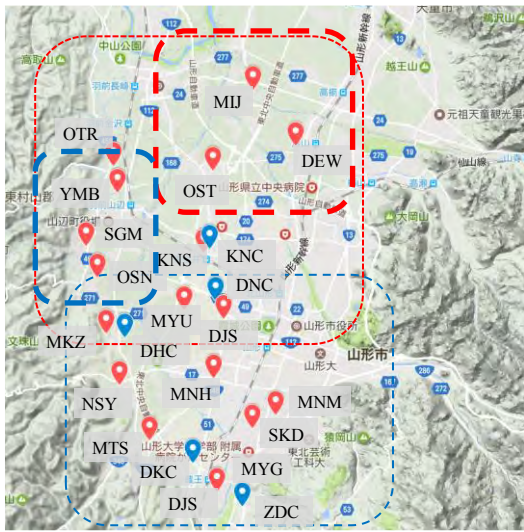


# H/Vスペクトル比(北部・西部)

北部・西部の地盤の卓越振動数:

**北部**→1.0Hz付近

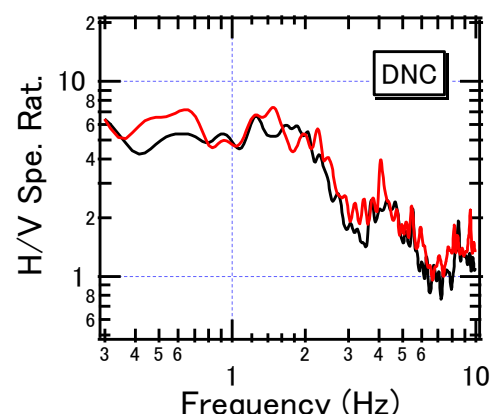
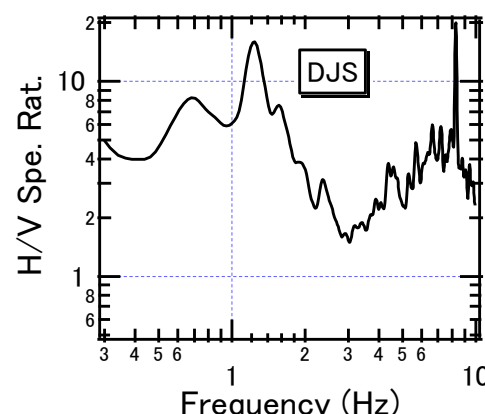
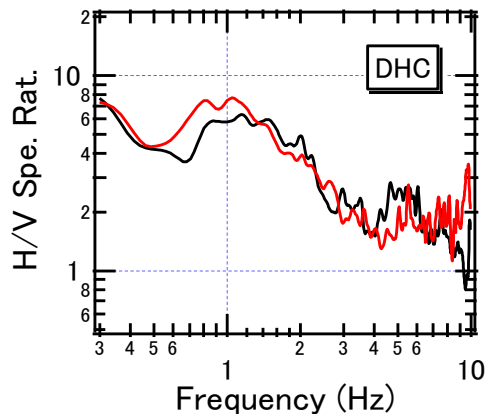
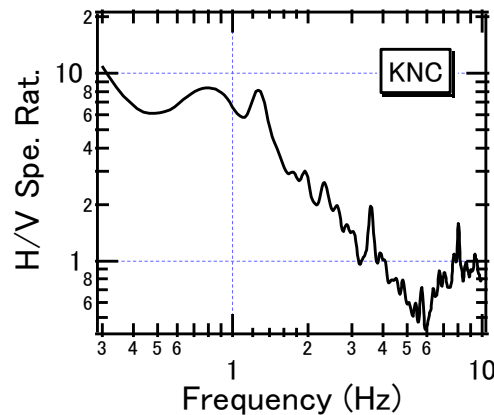
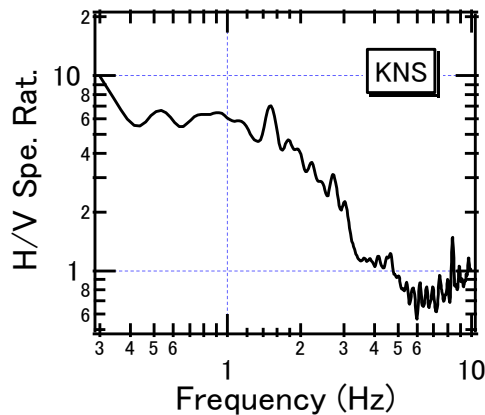
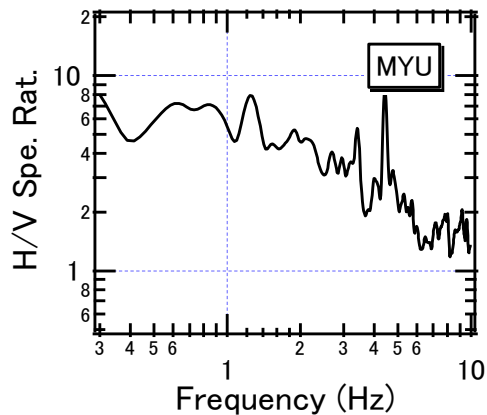
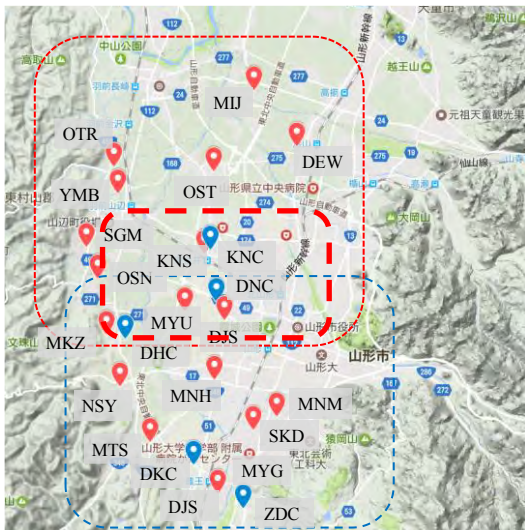
**西部**→2.0Hz付近など比較的高振動数側に



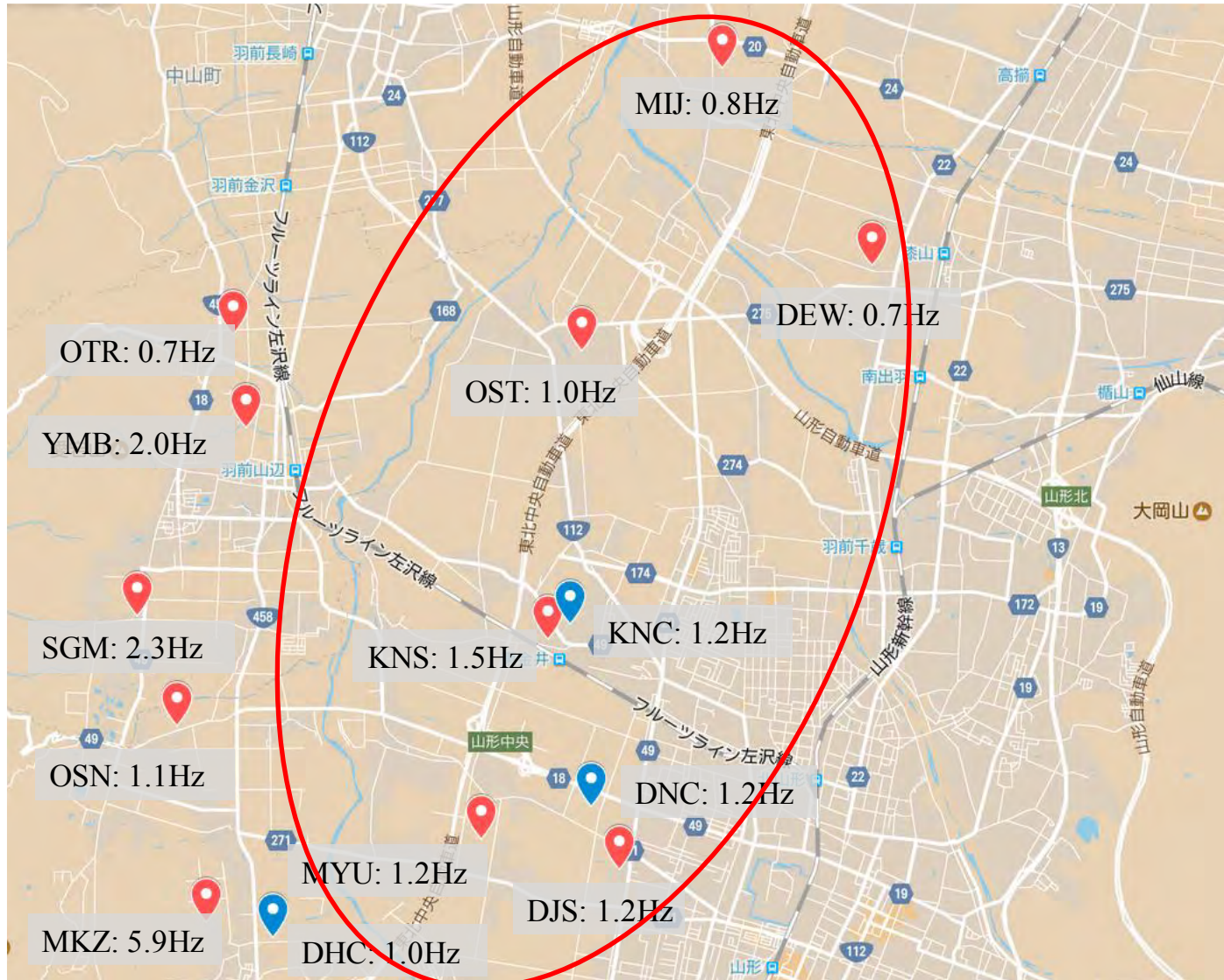


# H/Vスペクトル比（中部）

中部の地盤の卓越振動数：  
1.0Hz付近の比較的低振動数側が多い

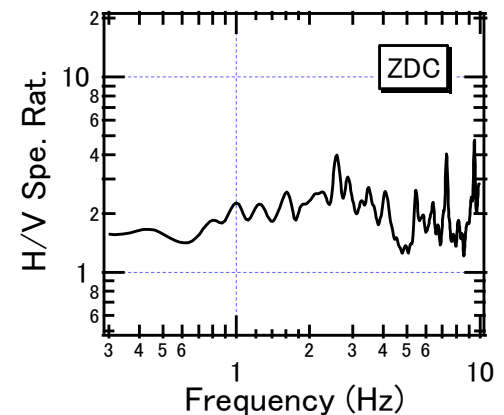
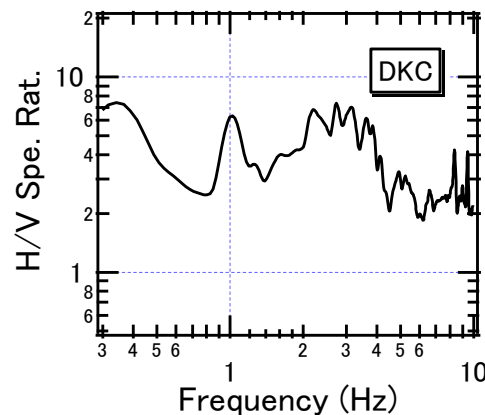
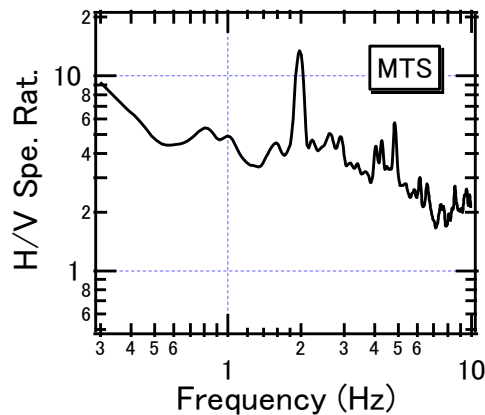
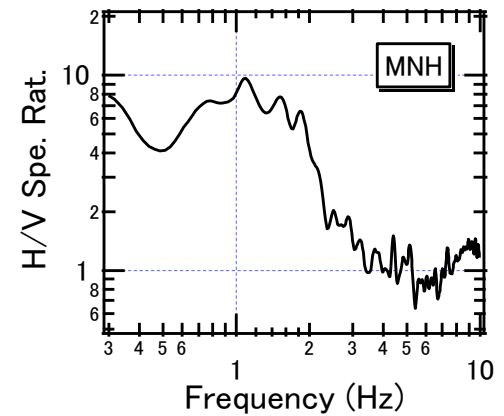
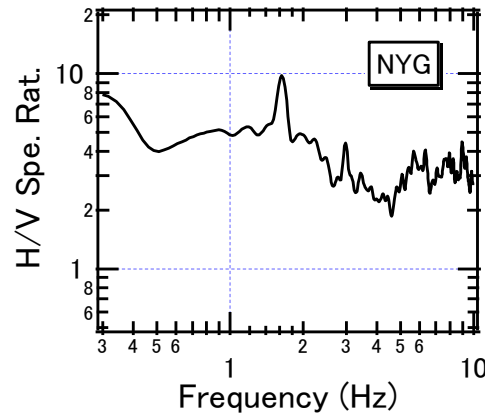
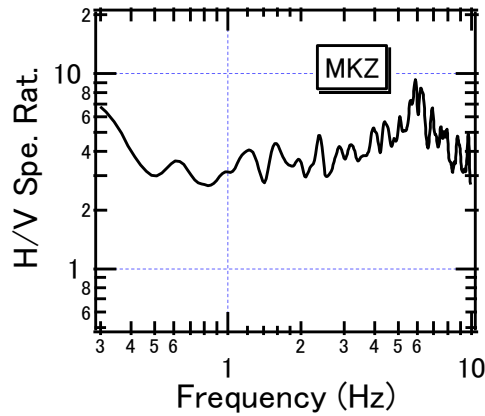
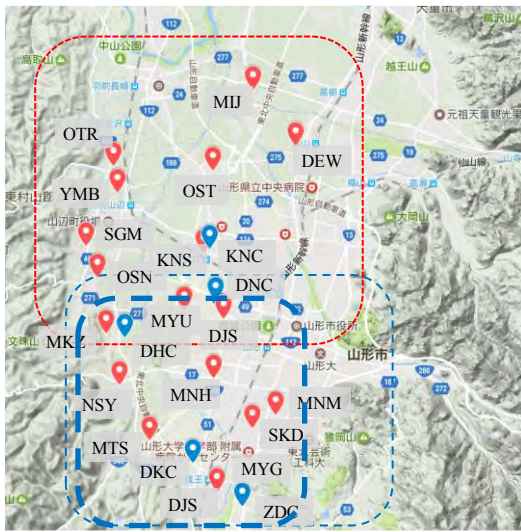


# 卓越振動数の分布(北～中部)



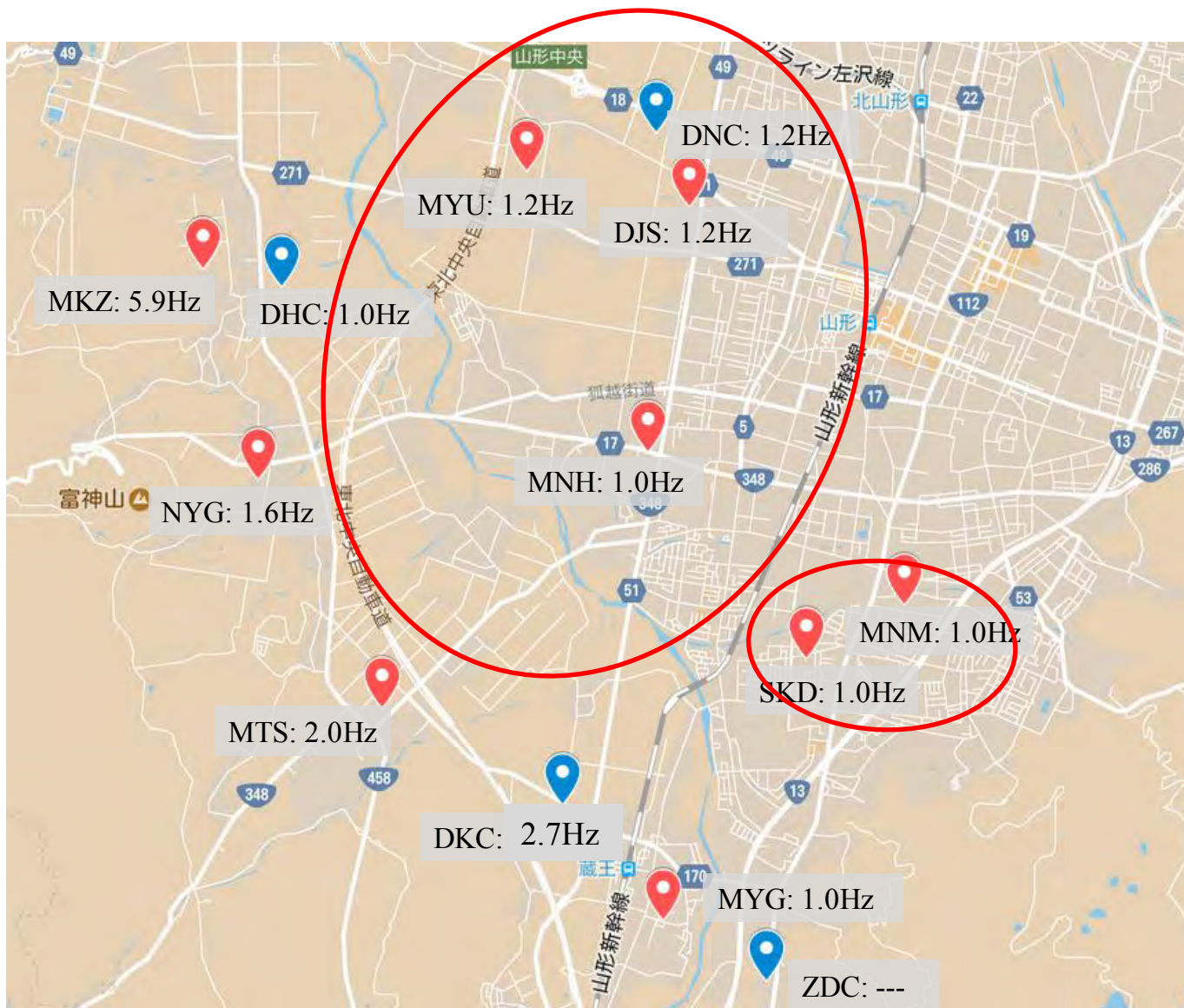
# H/Vスペクトル比(南部)

南部の地盤の卓越振動数：  
南部にいくほど高振動数側に移動する

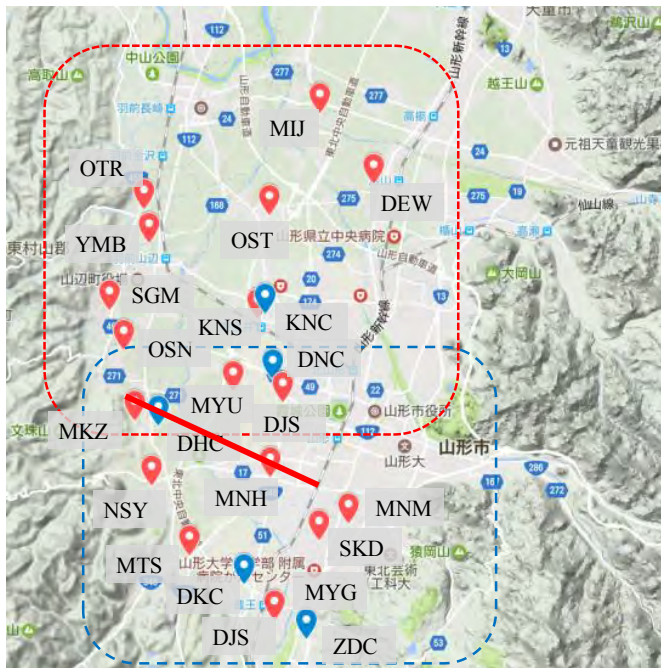




# 卓越振動数の分布(中～南部)



# 表層厚さの推定(東西方向)



東西方向の測線を取り出した一例

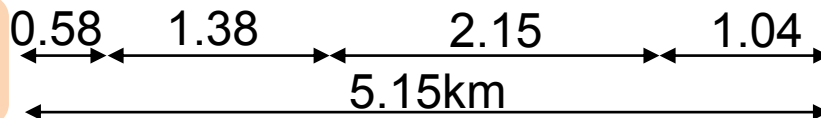


堅固な地盤

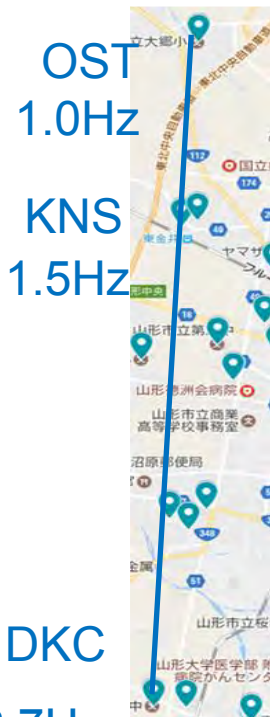
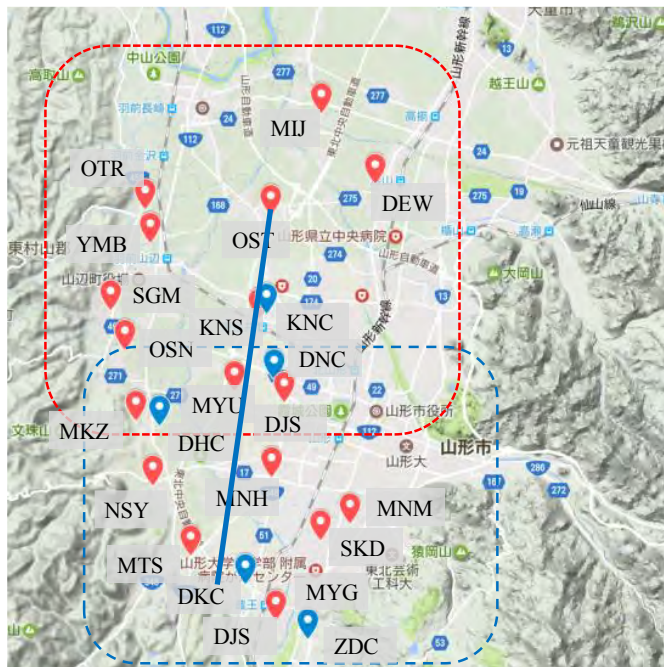
軟弱地盤

軟弱な表層が徐々に薄くなっていく

急激に軟弱地盤に

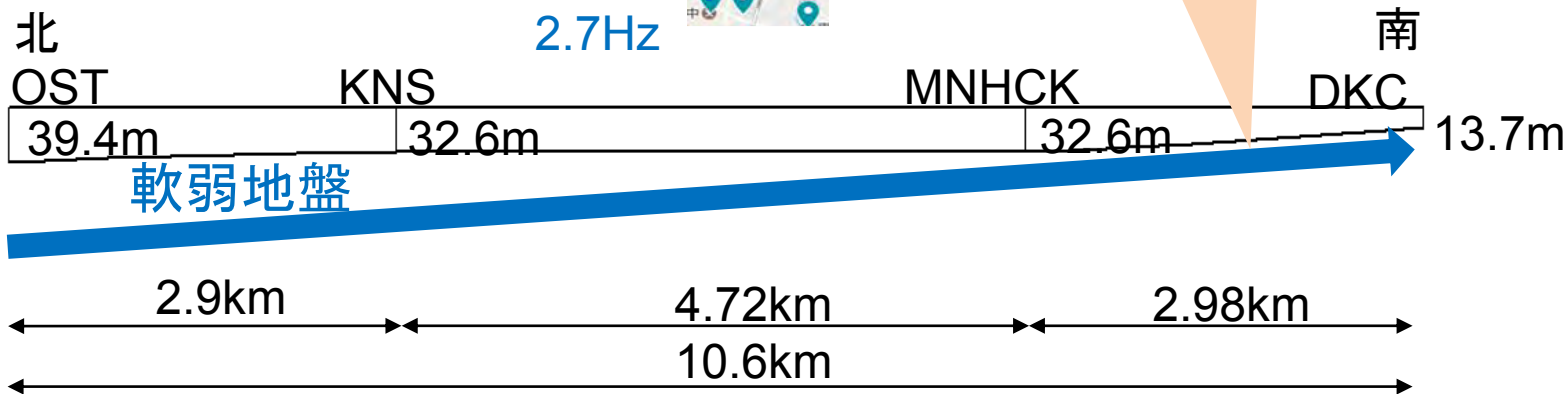


# 表層厚さの推定（南北方向）



南北方向の測線を取り出した一例

軟弱な表層が徐々に薄くなっていく





# 大空間を有する木造建築の振動特性に見られる日変動・季節変動

- 集成材の開発、防火・耐火性能の向上、意匠性、地域産業の振興 → **大規模木造建物の増加**
- 木造建物→同規模のRC造建物などに比べると剛性が低い傾向、大規模木造であれば部材断面大  
→ 振動特性は詳細に検討されるべき

- **大空間を有する木造建物**: 常時微動観測＋地震観測

(1) 建物の基本的な振動特性と表層地盤の影響

(2) 振動特性に見られる日(内)変動・季節変動

# 常時微動観測

上部構造の基本的な振動特性を把握するため、  
建物1階と3階及び地盤上で常時微動観測を行った



建物1階の速度計



地盤上に設置した速度計



# 地震観測＋常時微動観測

建物1階と3階には連続観測可能な地震計を設置

→ 地震観測＋常時微動観測

→ 日内・季節変動の把握



建物1階の地震計

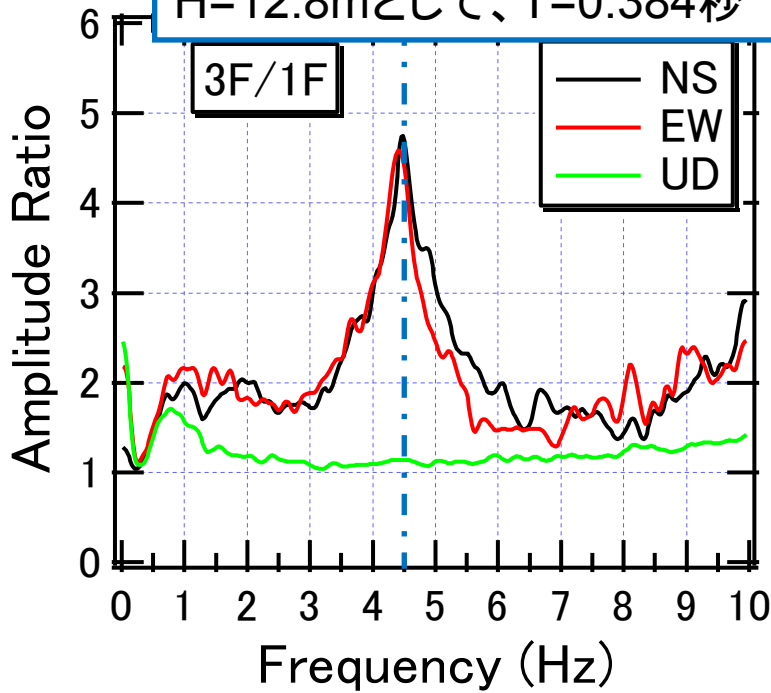


建物3階の地震計

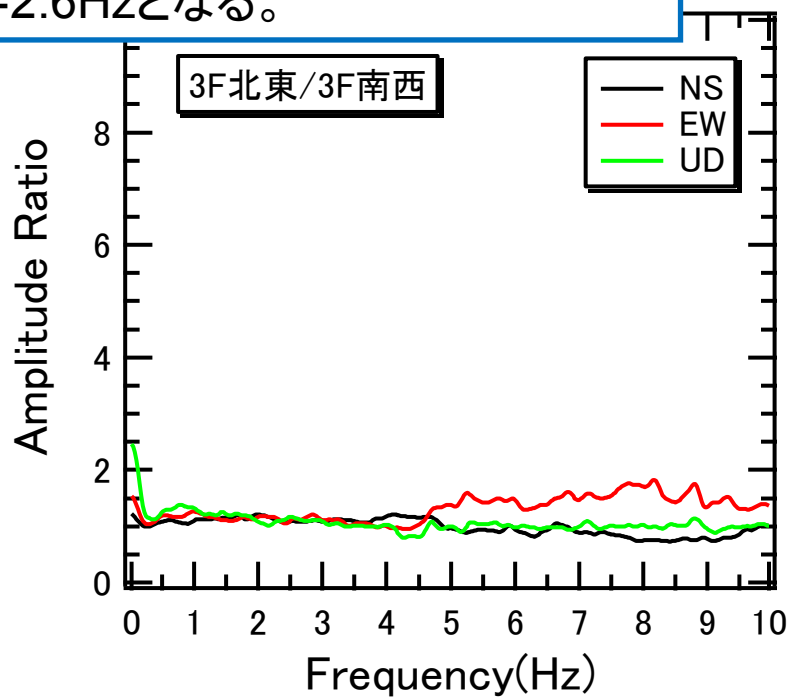


# 上部構造の振動特性

木造建物の設計用1次固有周期の式:  $T=0.03H$ (秒:  $H$ は建物高さm)  
 $H=12.8\text{m}$ として、 $T=0.384$ 秒  $\rightarrow f=2.6\text{Hz}$ となる。



3F/1Fの振幅比

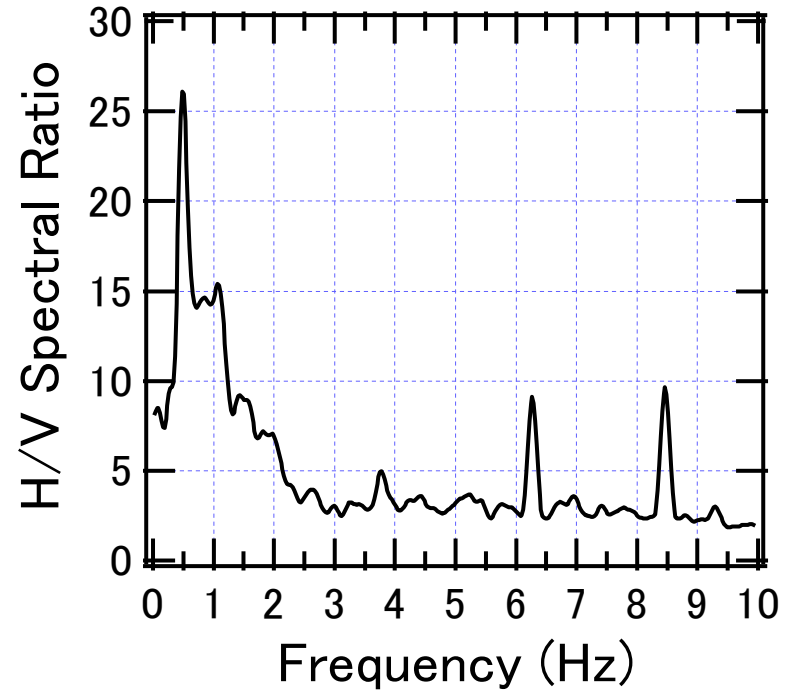
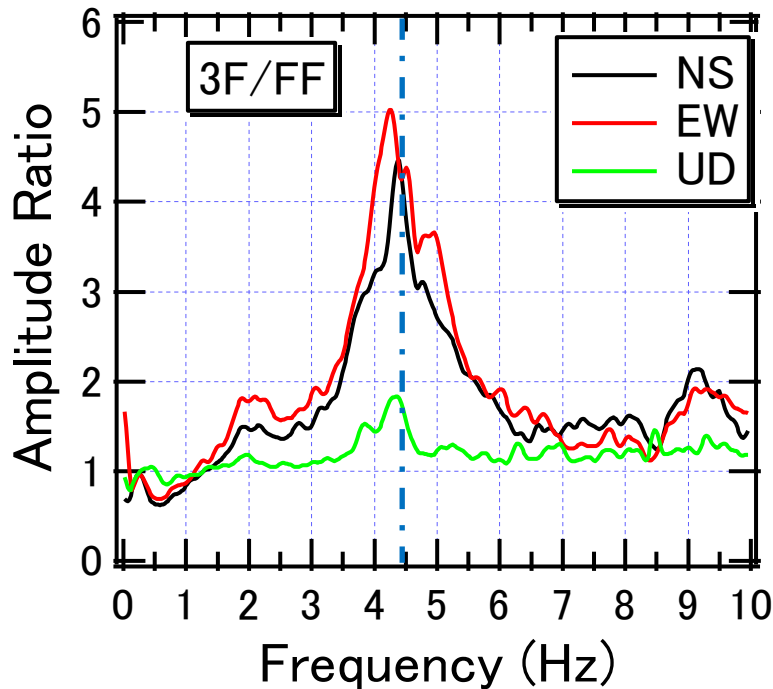


3F(北東)/3F(南西)の振幅比

- 1) 建物の1次固有振動数は4.5Hzと評価される
- 2) せん断質点系(3質点)というよりは1層ラーメン構造のような振動モード
- 3) 北東端と南西端で差はない $\rightarrow$ 水平構面はほぼ剛床

# 地盤の影響

上部構造の1次固有振動数4.5Hz

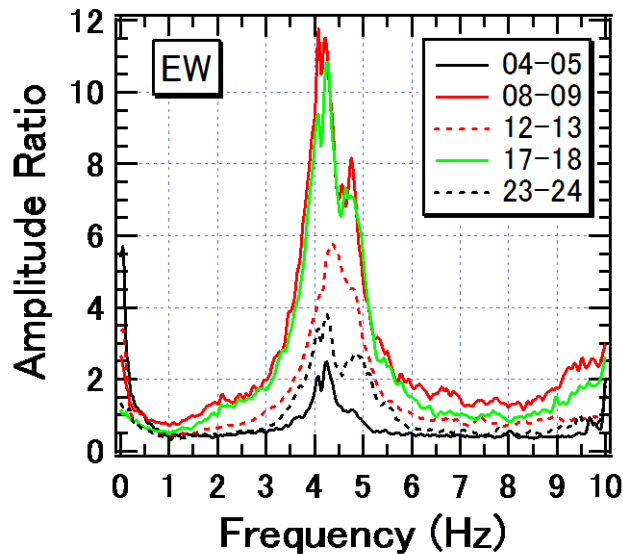
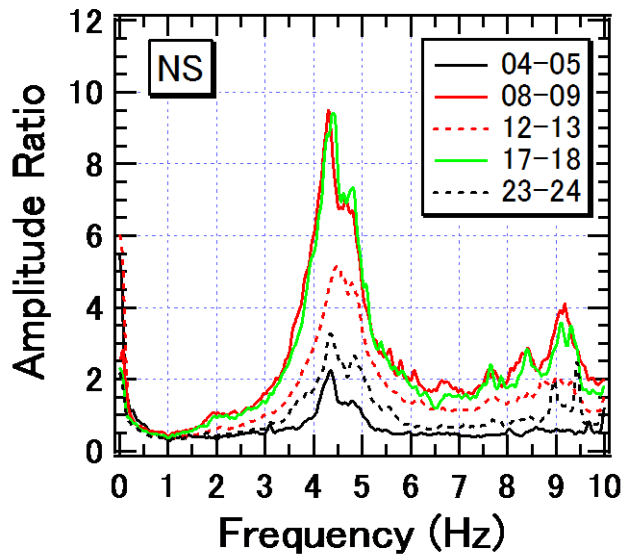


地盤の影響の検討

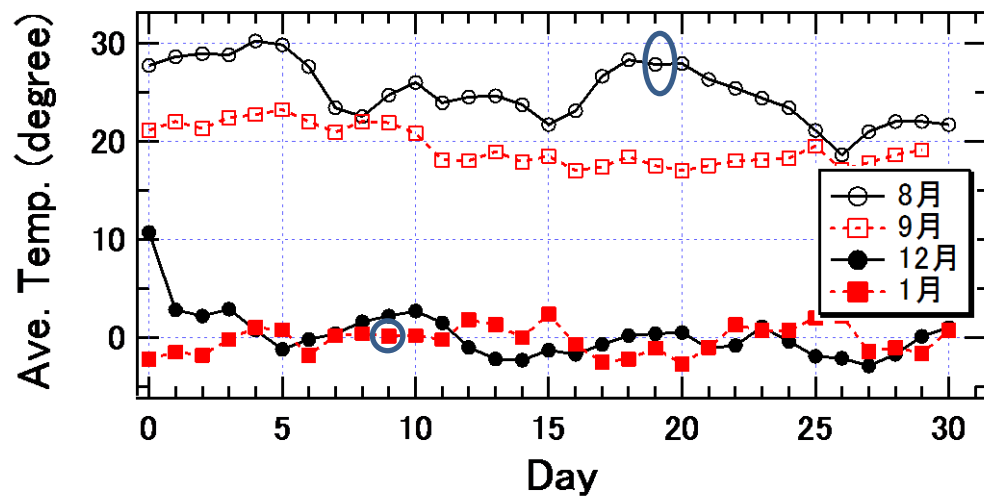
(左:3F/地盤 右:地盤のH/Vスペクトル比)

地盤の影響(動的相互作用)は小さい(EW方向に若干見られる)  
→ 軟弱地盤上に建設されているが、基礎根入れが浅いためでは

# 振幅比における日(内)変動



2015年1月9日  
振幅比の日変動



夏季と冬季の月別日平均気温

1) 人の活動のある時間帯は人の活動の少ない時間帯と比較して、振幅比のピークの値が小さくなる

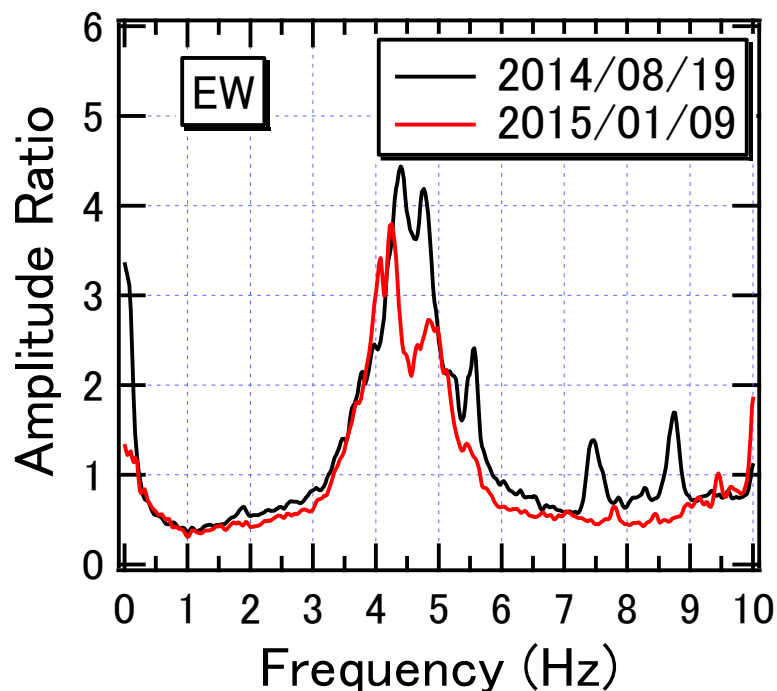
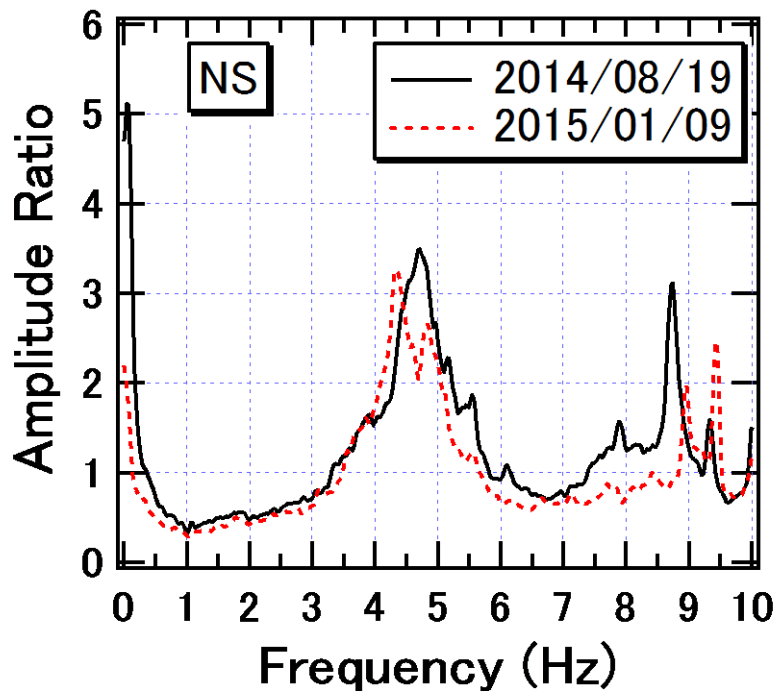
2) 1次固有振動数が低振動数側に移動

3) 人の歩行や活動などにより、振動源が増え、振幅が大きくなった

4) 人の活動のある時間帯では、高振動数側に複数の小さなピーク



# 振幅比における季節変動



深夜 (23:00~24:00)

昼の時間帯 (12:00~13:00) を除き, ほぼすべての時間帯で夏季と冬季に違い

NS・EW両方向とも, 夏季に比べて冬季の方が, 1次固有振動数が低振動数側に移動している

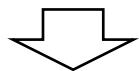
# 固有振動数の変動と積雪

推定した1次固有振動数(単位:Hz)

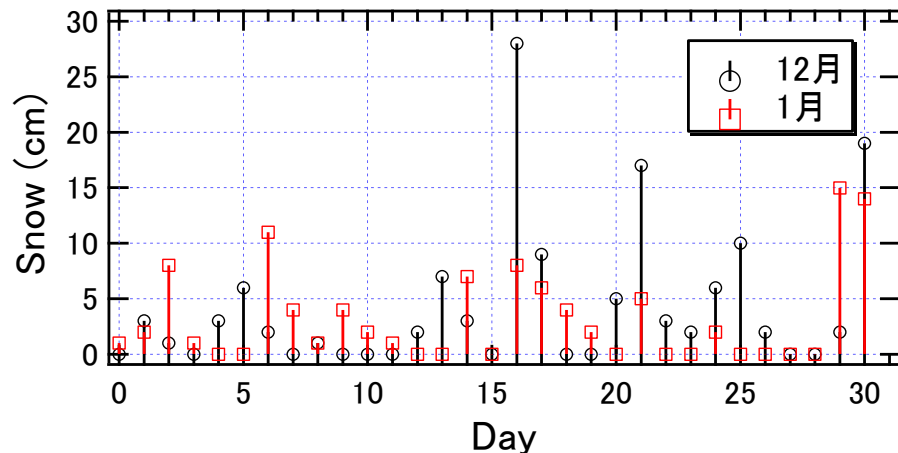
NS	8月19日	9月6日	12月29日	1月9日
4:00~5:00	4.52	4.49	4.37	4.35
8:00~9:00	4.54	4.54	4.44	4.30
12:00~13:00	4.64	4.64	4.39	4.52
17:00~18:00	4.47	4.54	4.32	4.39
23:00~24:00	4.71	4.59	4.37	4.35

EW	8月19日	9月6日	12月29日	1月9日
4:00~5:00	4.52	4.49	4.32	4.25
8:00~9:00	4.44	4.44	4.27	4.08
12:00~13:00	4.42	4.49	4.27	4.37
17:00~18:00	4.37	4.42	4.47	4.25
23:00~24:00	4.39	4.47	4.30	4.25

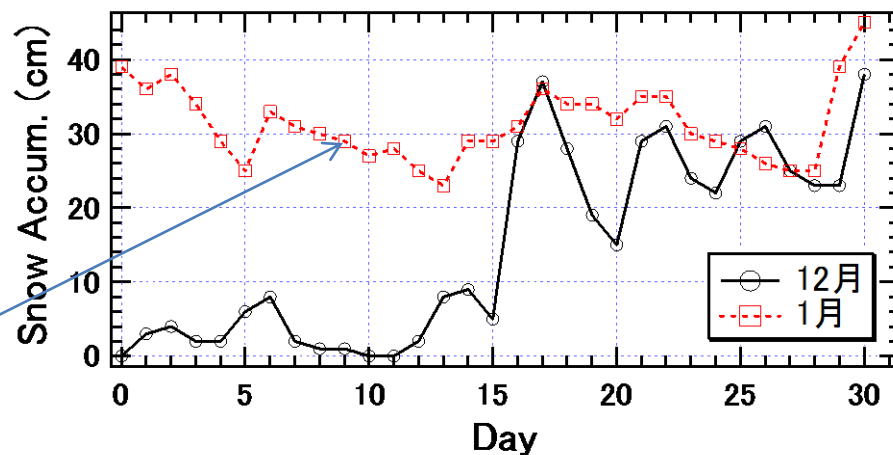
最大で1次固有振動数に8%の違い(EW)



2015年1月9日では最深積雪量が30cm超  
→ 積雪荷重の影響により、1次固有振動数が低下した可能性



日別降雪量



日別最深積雪量

A large steel arch bridge spans across a river. The bridge has a prominent arch structure and is supported by a tall, slender tower on the right. In the background, a town with colorful buildings is visible on a hillside. The sky is blue with scattered white clouds. A semi-transparent white box is overlaid on the center of the image, containing the Japanese text "研究室での活動".

# 研究室での活動



# 現場見学の様子

- 南陽市新文化会館建設現場
- 山形大学文化ホールなど













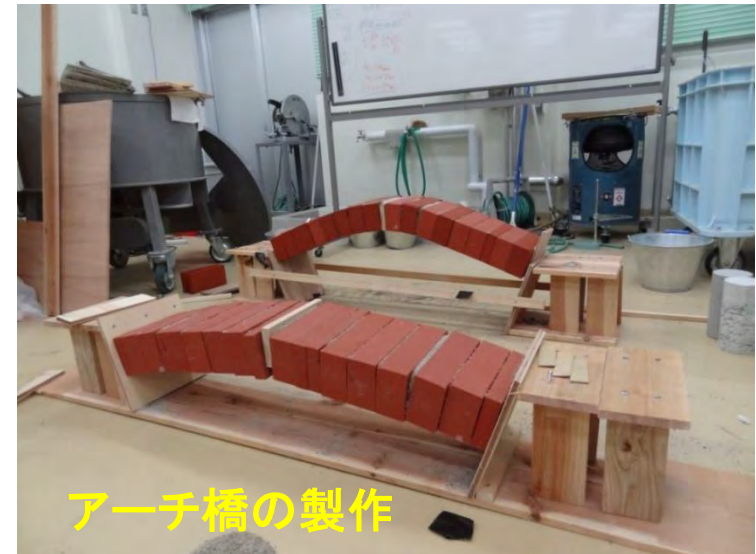
# 建物の振動測定

- 寒河江市役所での観測の様子
- 建物・地盤の振動特性を推定




# 技術科教育への応用：附属中での共同研究

- 山形大学附属中との共同研究では張弦梁やアーチ橋の作製などを実践
- 技術教育や防災教育への応用





A photograph of a large Gothic cathedral, likely the Duomo di Milano, with a tall spire under renovation. The spire is covered in scaffolding and a protective net. The foreground features a palm tree and a clear blue sky.

# 学生の活動



2015JSCA学生構造デザインコンテスト





# Wind Build



2015JSCA学生構造デザインコンテスト



# 5<sup>th</sup> Virtual Design World Cup 学生コンペ



# Intersection

Team name: HASH

## concept

Intersection ... it leads to various interaction between people, things and so on. Main objective of our proposal is to activate lively interaction of people of the city of KIRYU by effective use of crossing on the street, especially in the vertical direction.

Symbolic structure is installed in the Ocean Square as the station. Design of the Ocean Square station is based on the emblem of the city of KIRYU.

Eco-friendly monorail train without emitting exhaust fumes and pedestrian overpass organize the network to connect important facilities around the bay area. The symbolic structure of Ocean Square station plays an important role of networking people, traffic and things. People visiting the downtown KIRYU can enjoy the beautiful scenery from pedestrian overpass of which height is about 10m above the sea level. Shopping zone placing along the pedestrian overpass will encourage people having fun time on this site.

It is important to consider the countermeasures against Tsunami for the bay area of the city of KIRYU. The structure of the Ocean Square station is high enough to resist the tsunami occurring infrequently such as the period of 1,000 years. This building is also available to function as the temporary evacuation center in the emergency. The bridges containing the monorail train pass and pedestrian overpass are also tough enough against earthquake and tsunami. People can move safely between structures via the bridges when disaster happens in this area. Those structures including the symbolic station and connecting bridges serves fortress to protect people from the disaster. Shopping street and beautiful scenery from the pedestrian overpass give people a lot of fun on the daily basis.

Figure 1 Bird's-eye view

## construction

### Passenger Terminal

Tourists can go directly the station by passenger ship.

### New Keelung Station

The first floor piloti is bus terminal . It is easy that people access station and city .



Figure 3 New Keelung Station



Figure 2 Layout drawing

## Ocean Square Station

The three floor is home and restaurant .People can virtual while seeing scenery of KIRYU and sea there . A square in front of Ocean Square Station makes garden of crape myrtle assigned official city flower of KIRYU . The Station will become one of tourist resort.

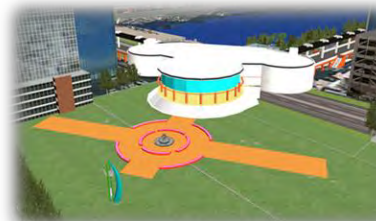


Figure 4 Ocean square

## Tsunami protection measures

The first floor of every building is piloti . Height of first floor plans 6mater , second floor plans 4 mater and third floor plans 5 mater .The roof is evacuation place . Those exert emergency ability for small scale ~ middle scale tsunami which caused an earthquake of High probability .

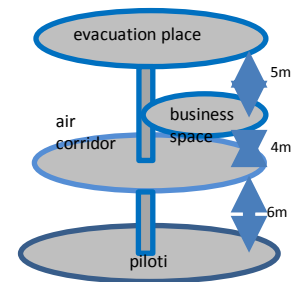


Figure 5 Conceptual diagram



# 水がドームを創る

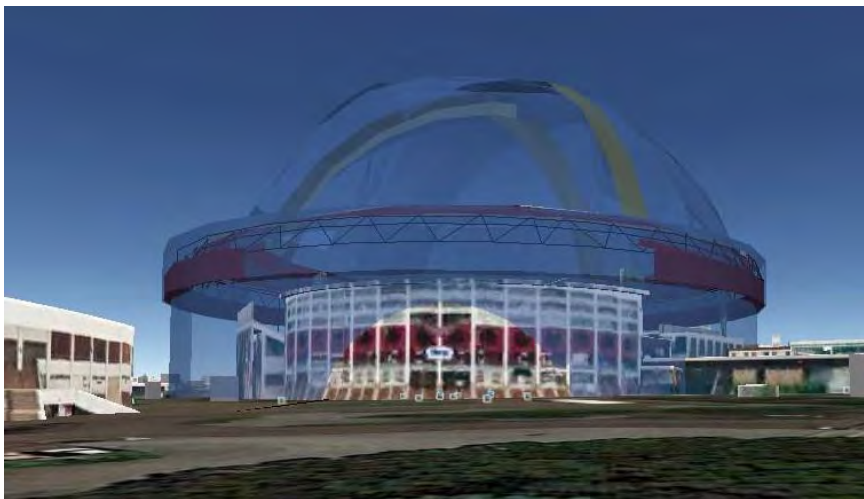
山形大学 菅原 悠  
斗  
松田 一  
路

## 概要

今年、12年目のシーズンを迎える東北楽天ゴールデンイーグルスが本拠地とする現Koboスタジアム宮城は、様々な改修と共に日本を代表する球場の一つとして生まれ変わってきた。そして今年、全面人工芝から天然芝と黒土でグラウンド内は構成されるようになり、左中間スタンドには全長36メートルの観覧車が設けられた。そこで「楽天Koboスタジアムに屋根を架けよう」というテーマにあたり、天然芝の管理や観覧車などを考慮し、全体をドーム状に覆うのではなく、3本のアーチから水を放射することで屋根を架けることを考案した。

## 特徴

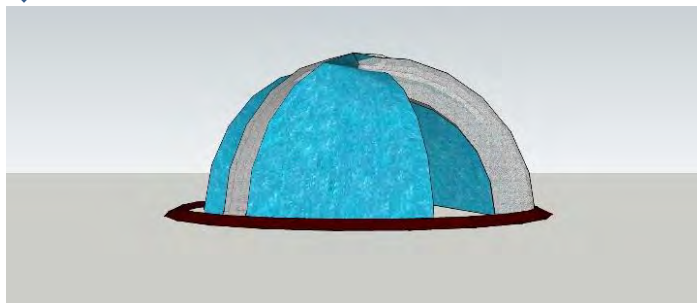
- ・晴天時は屋根を架けず、雨天時に水を3本のアーチから放射することで屋根として設ける
- ・雨は水の屋根に当たり、屋根の流水と共に下へ流れていき、水のカーテンウォールが出来る。
- ・観客席にはRCの屋根を架け、その屋根をブラインドのような仕組みにすることで、太陽の日差しの調整が可能にする。



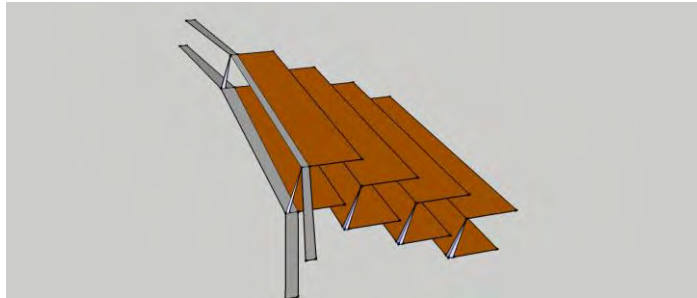
## 2016 JSCA学生構造デザインコンテスト



雨天時、アーチから水を放射することで、下図の様に、水によって球場全体を包み込む様な屋根を架け、雨水はそれと共に流れていく。



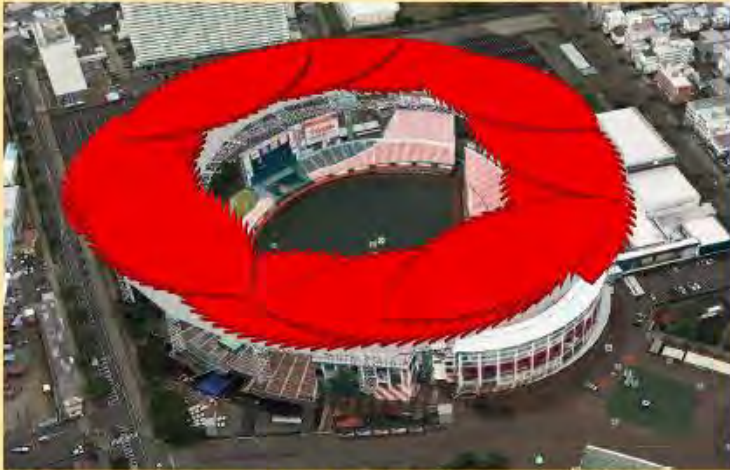
放射した水は下図の様な屋根から、球場の側面に沿ってカーテンウォールを造ることで、観客席に入る際に水の洞窟に入っていく様な冒険心を駆り立てる。カーテンウォールの水は、球場の周りを囲む水路を通してアーチ根元まで流れていき、アーチを通して再び放射される循環システム。



## Plume catcher

山形大学3年

大友仁皓 叶内祥太 今野達也



晴天時の屋根



悪天候時の屋根

◆ Concept

### Design

「楽天Koboスタジアム宮城に屋根をかけよう」というテーマに対して、屋外球場の良さを取り入れつつ、雨天の試合もできるよう、開閉式の屋根を設計した。開閉式にしたのは、今年からグラウンドが人工芝から天然芝になったため、芝の管理を考慮したためである。楽天の象徴である鷲をモチーフに屋根の形状を鳥の羽のようにした。観客席は屋根を架け、グラウンドは悪天候時に羽が覆うように移動し屋根を架ける。

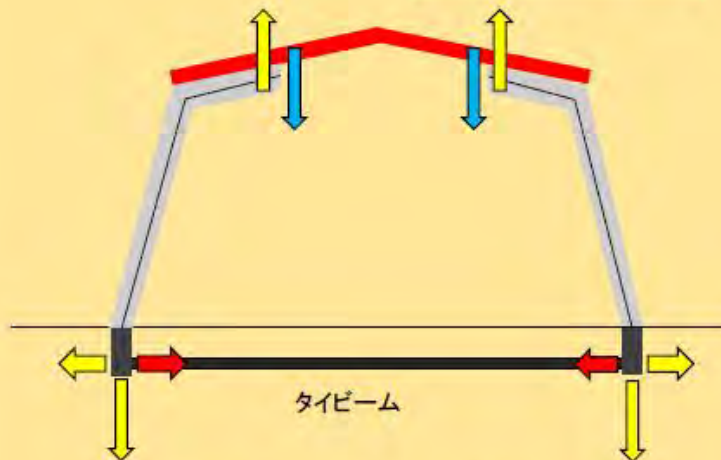
### Structure

鳥の翼の骨がトラス構造になっていることから立体トラス構造を基本とする。立体トラスは、構造的な安全性を確保しつつ、安価で軽量の構造である。観客席の屋根はトラス柱から伸びた立体トラスの内部をケーブルで引っ張ることにより上向きの力が働き、羽の屋根を支持する。また、ケーブルで引っ張った際に発生した水平方向の力は、地下でタイブームを用いて釣り合わせる。



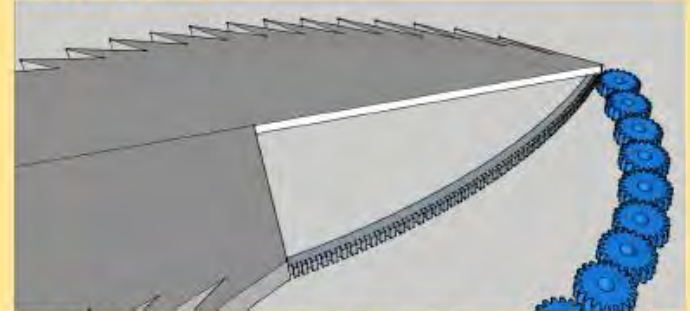
### ◆力の流れ

- ← ケーブルによる力
- ← タイビームによる力
- ← 屋根の荷重



観客席の屋根にあるトラスの内部をケーブルで引っ張ることにより上方向の力が働き、二つの屋根の荷重を支える。また、ケーブルにより作用する斜め方向の力は、水平方向と鉛直方向に分解される。その水平方向の力を地下のタイビームを用いて、柱の開きを抑える。

### ◆羽の構造



羽の屋根の材料には比較的軽いアルミを使用し、構造にトラスを用いて軽量化を図った。鳥の羽のような形は、雨や風などの力を自然に受け流す構造と考えられる。

### ◆羽の動き方



歯車が回転することにより、羽が連動して動き、先端部分がスタジアム中心に向かって送り出されて屋根が架かる。