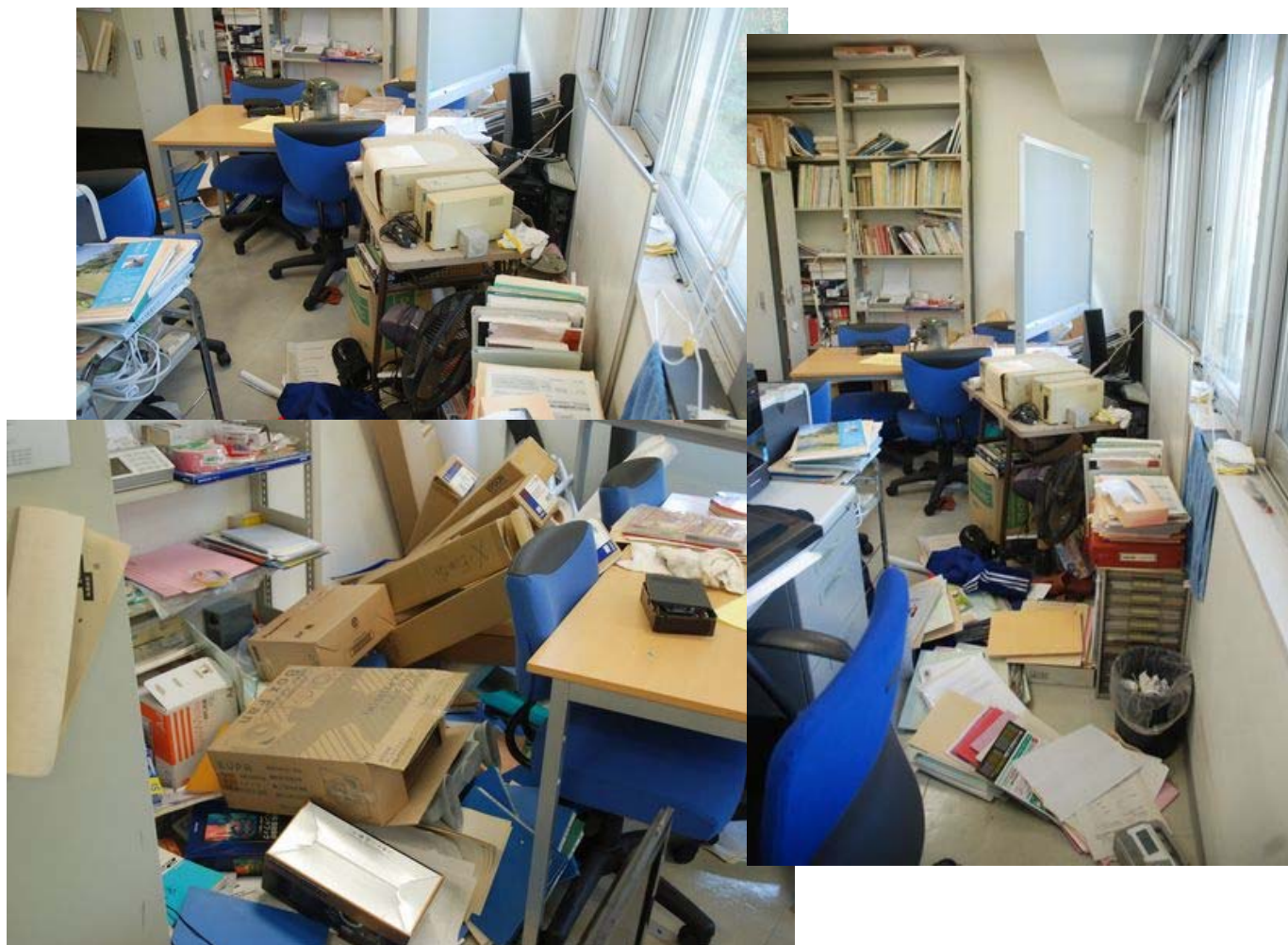


熊本地震と液状化

熊本大学工学部 技術部

松本 英敏

工学部1号館3階技術室



震源・震央距離

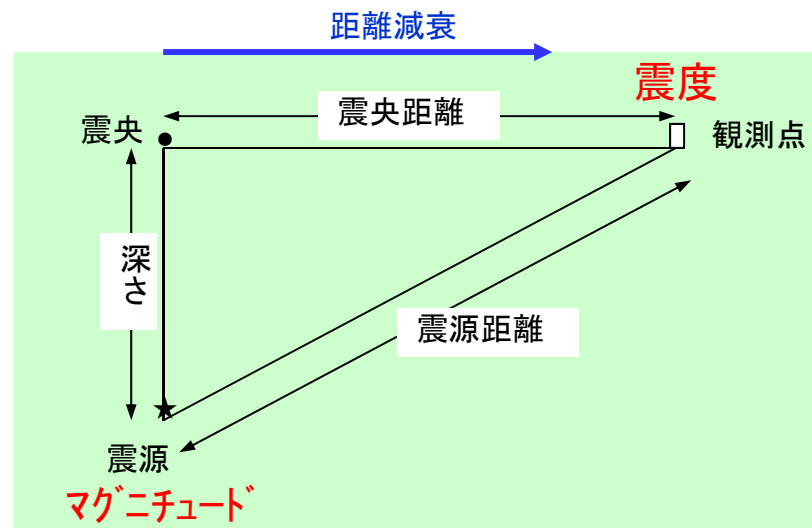
E: 地震エネルギー

M: マグニチュード

マグニチュードが
1大きいと地震の
規模は約30倍にな
り、**2**違えば1000倍
になる。

$$\log_{10} E = 11.8 + 1.5M$$

$$10^{1 \times 1.5} = 31.6, 10^{2 \times 1.5} = 1000$$



熊本地震の概要

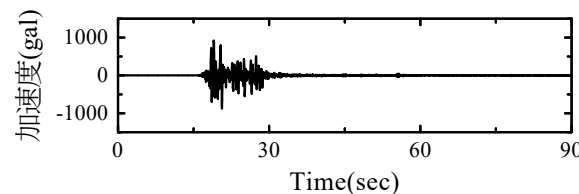
- 平成28年4月14日
21時26分 M6.5
(深さ11km)
- 平成28年4月16日
1時25分 M7.3
(深さ12km)

強震記録のフォーマット

| | | |
|-------------------|---|----------------|
| Origin Time | 2016/04/14 21:26:00 | (1) 地震発生時刻 |
| Lat. | 32.7 | (2) 震央北緯 |
| Long. | 130.8 | (3) 震央東経 |
| Depth. (km) | 10 | (4) 震源深さ |
| Mag. | 6.4 | (5) マグニチュード |
| Station Code | KMMH16 | (6) 観測点コード |
| Station Lat. | 32.7967 | (7) 観測点北緯 |
| Station Long. | 130.8199 | (8) 観測点東経 |
| Station Height(m) | 55 | (9) 観測点標高 |
| Record Time | 2016/04/14 21:26:36 | (10) 記録開始時刻 |
| Sampling Freq(Hz) | 100Hz | (11) サンプリング周波数 |
| Duration Time(s) | 300 | (12) 計測時間 |
| Dir. | 5 | (13) チャンネル |
| Scale Factor | <u>3920(gal)/6170801</u> | (14) スケールファクター |
| Max. Acc. (gal) | 925.025 | (15) 最大加速度 |
| Last Correction | 2016/04/14 21:26:21 | (16) 最終校正時刻 |
| Memo. | | (17) 以下、波形データ |
| | 5461 5469 5475 5479 5487 5488 5480 5474 | |
| | 5468 5458 5456 5461 5466 5468 5470 5474 | |
| | 5476 5477 5478 5474 5470 5475 5485 5486 | |

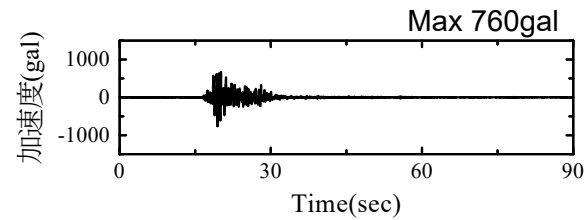


地震時の
ものクリ工房
時計落下時刻

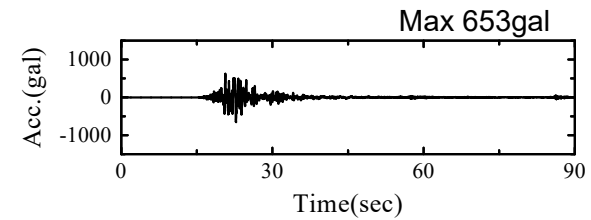


k-net,kik-net は上記の
加速度波形を提供
スケールファクターで変換

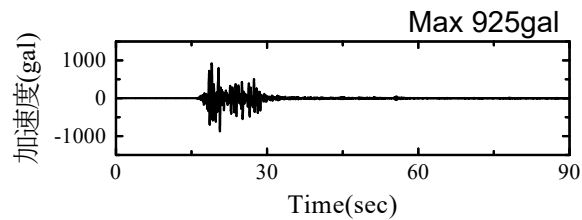
熊本地震の前震と本震



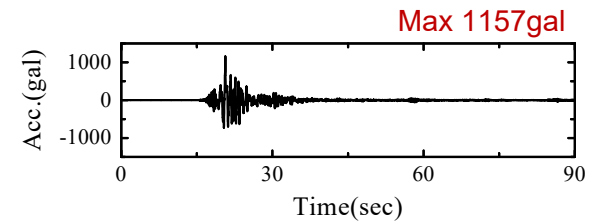
4/14 益城 NS



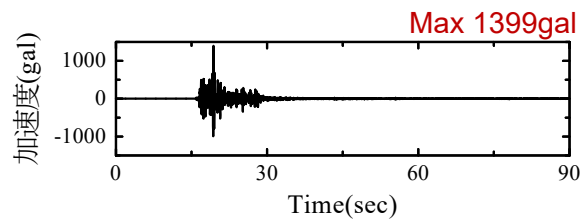
4/16 益城 NS



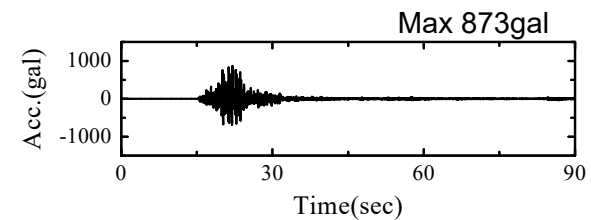
4/14 益城 EW



4/16 益城 EW



4/14 益城 UD

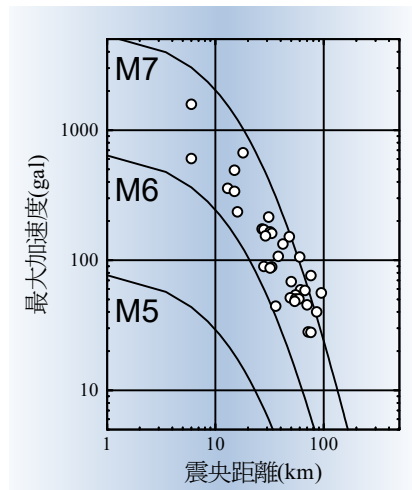


4/16 益城 UD

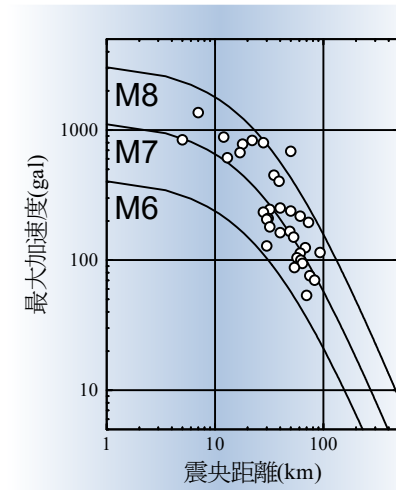
距離減衰(県内35カ所)

$$\log A = 0.9206M - 3.7714(\Delta + 30) + 2.9058$$

$$\log A = 0.4380M - 2.0651(\Delta + 30) + 3.0581$$

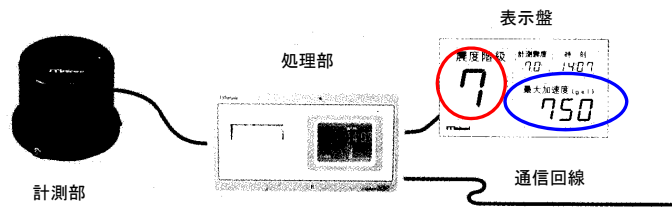


4月14日(M6.5)

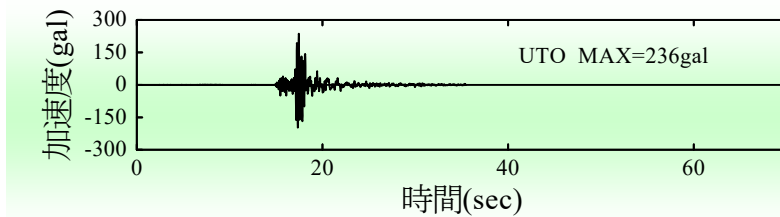


4月16日(M7.3)

計測震度計(市町村)



気象庁95型



宇土NS成分

計測震度・加速度表示
画面切替(C) 印刷(P)

| | | |
|-----------|-------------|-----------|
| 地震発生時刻 | 2000年06月08日 | 09時32分49秒 |
| 市町村 | 宇土市 | |
| 計測震度 | 4.7 | |
| サンプリングタイム | 100 Hz | |
| サンプル数 | 0 | |
| 最大合成加速度 | 267.461 gal | |

*** 波形データは取得されていません ***

| 時刻歴 | 加速度NS | 加速度EW | 加速度UD |
|-----|-------|-------|-------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

| 最大加速度NS | 最大加速度EW | 最大加速度UD |
|---------|---------|---------|
| 235.796 | 205.650 | 94.670 |

キャンセル(C)

県防災消防課へ5分以内に転送
その後、メディアで震度発表

計測震度の計算(1996以降)

計測震度とは、地震動の強さを表す指標として、次の算式により算出した値をいう。

$$I = 2 \cdot \log(a_0) + 0.94 \quad (1)$$

I は、計測震度

a_0 は、 $\int w(t,a)dt \geq 0.3$ を満たす a の最大値。この場合において、積分範囲は地震動が継続している時間とする。(下図参照)

$w(t,a)$ は、 $v(t) < a$ のとき $w(t,a) = 0$ 、 $v(t) \geq a$ のとき $w(t,a) = 1$ の値をとる関数。

$v(t)$ は、地震動の時間 t における直交する3成分の加速度を合成した値。

【算出手順】

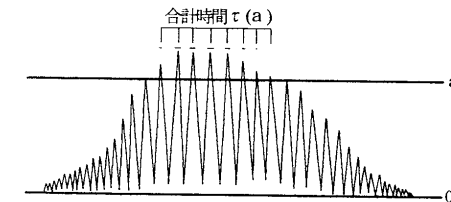
- ①各成分の加速度波形を読み込み、フーリエ変換する。
- ②次のフィルターを掛ける。

フィルターの種類及び算式

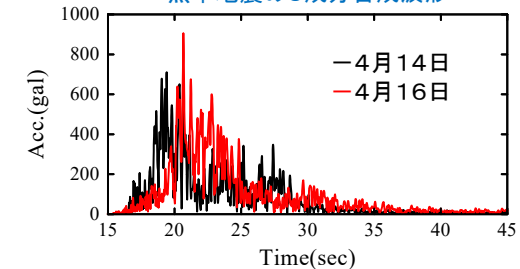
| フィルターの種類 | 算式 |
|---|--|
| 周期の効果を表すフィルター | $(1/f)^{0.5}$ |
| ハイカットフィルター | $(1 + 0.694y^2 + 0.241y^4 + 0.0557y^6 + 0.009664y^8 + 0.0013y^{10} + 0.000155y^{12})^{-0.5}$ |
| ローカットフィルター | $(1 - \exp(-(f/0.5)^3))^{0.5}$ |
| (注) f は、地震動の周波数 (Hz)、 y は、 f に 1/10 を乗じた値 | |

- ③逆フーリエ変換を行う。
- ④3成分合成波形とその波形の最大値を求める。
- ⑤ a_0 を求める。
- ⑥式(1)に代入して、計測震度 I を求める。

3成分合成波形のイメージ



熊本地震の3成分合成波形



震度階と結果

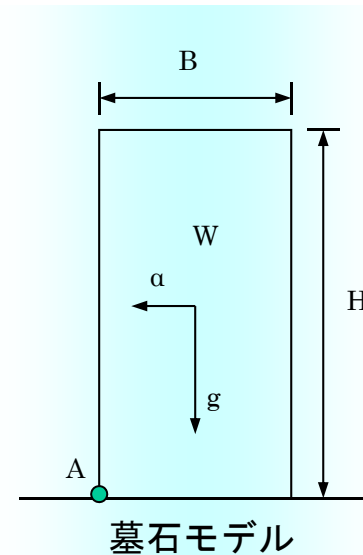
| 震度階表 | 計測震度 | 加速度(gal) | 震度階表 | 計測震度 | 加速度(gal) |
|------|-----------|----------|------|-----------|-----------|
| 0 | 0.5未満 | 0.6未満 | 5弱 | 4.5～5.0未満 | 60～110未満 |
| 1 | 0.5～1.5未満 | 0.6～2未満 | 5強 | 5.0～5.5未満 | 110～200未満 |
| 2 | 1.5～2.5未満 | 2～6未満 | 6弱 | 5.5～6.0未満 | 200～350未満 |
| 3 | 2.5～3.5未満 | 6～20未満 | 6強 | 6.0～6.5未満 | 350～600未満 |
| 4 | 3.5～4.5未満 | 20～60未満 | 7 | 6.5以上 | 600以上 |

前震, 本震の3成分の加速度波形を用いて
計算したら同じ結果に. 震度7間違いなし!

- ・4月14日(木)益城 計測震度6.5, 震度7
3成分合成最大加速度1580gal
- ・4月16日(土)益城 計測震度6.5, 震度7
3成分合成最大加速度1362gal

$$\max\left(\sqrt{NS(t)^2 + EW(t)^2 + UD(t)^2}\right)$$

ウエストの公式



- ・**近見**では、幅29cm、高さ77cm墓石が転倒してました。369galが想定できます。震度階では**6強**に相当します。前震、本震のどちらで転倒したかは判りません。

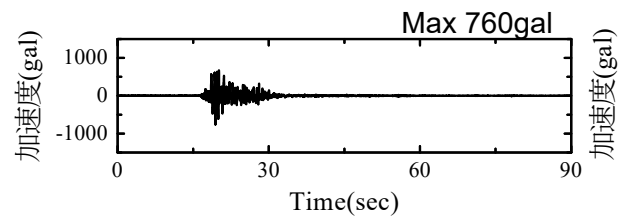
| 震度階表 | 計測震度 | 加速度(gal) |
|------|-----------|-----------|
| 6強 | 6.0~6.5未満 | 350~600未満 |

$$mg \frac{B}{2} = m\alpha \frac{H}{2}$$

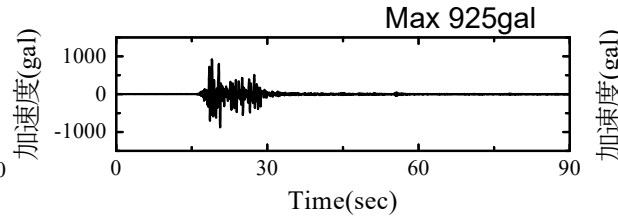
$$\alpha = \frac{B}{H} g = \frac{B}{H} \times 980 \text{ cm/s}^2$$

$$\alpha = \frac{29}{77} \cdot 980 = 369 \text{ gal}$$

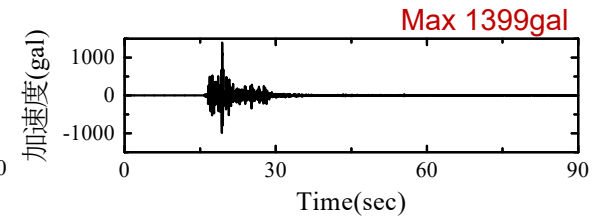
フーリエスペクトル 4月14日



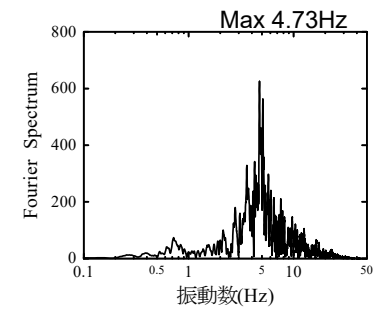
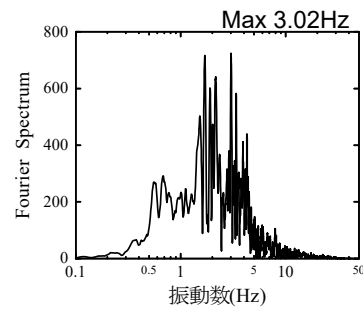
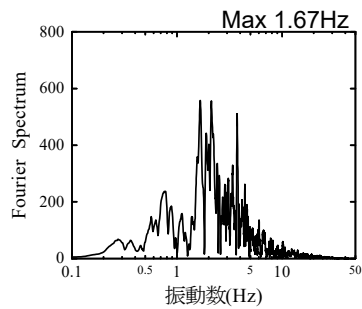
益城 NS



益城 EW

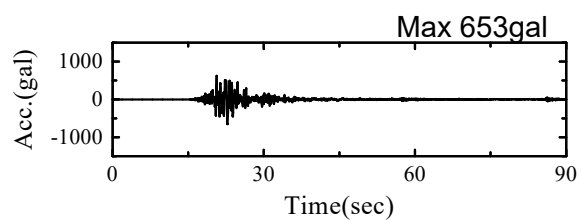


益城 UD

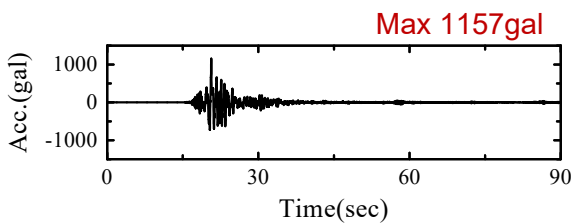


卓越振動数

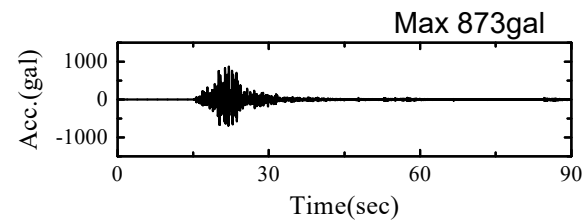
フーリエスペクトル 4月16日



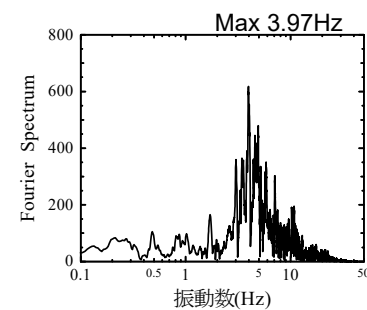
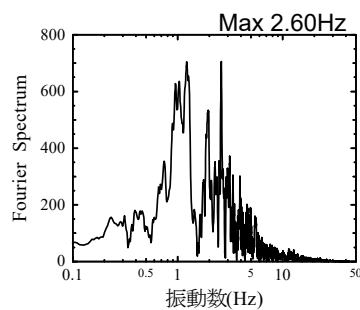
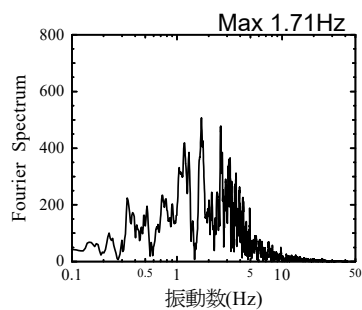
益城 NS



益城 EW

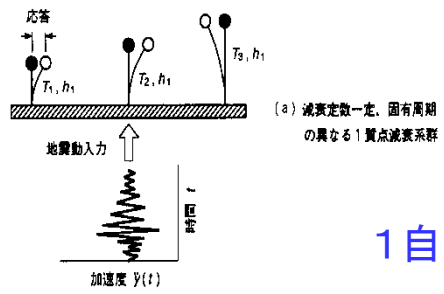
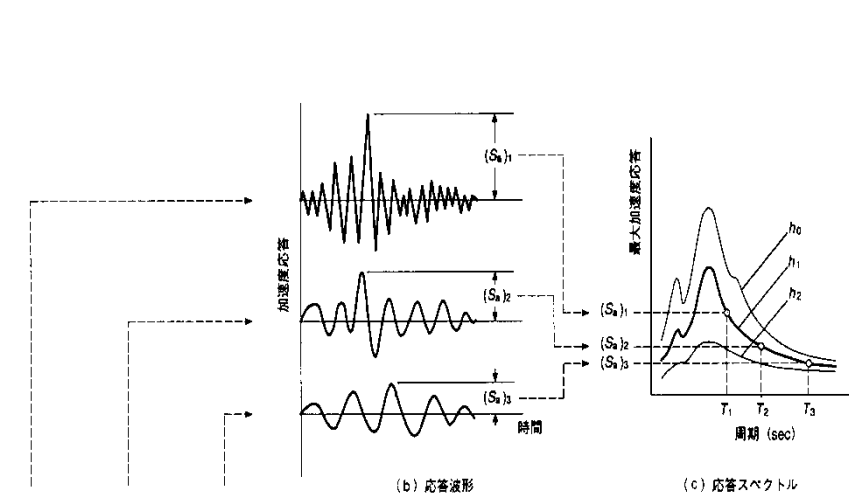


益城 UD

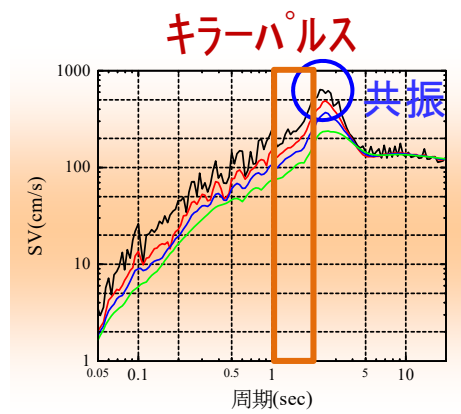


卓越振動数

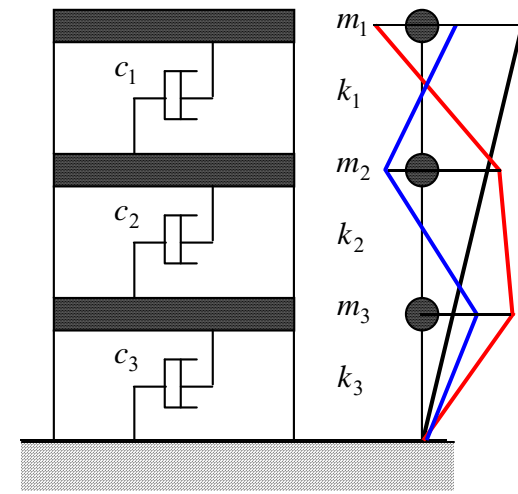
応答スペクトルは



1自由度系



応答スペクトル例



多自由度系
Modal Analysis

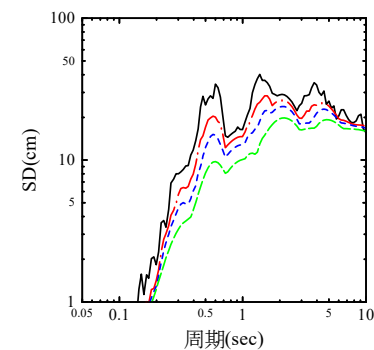
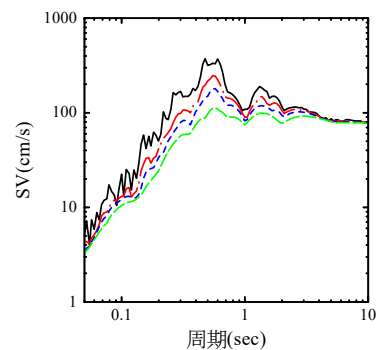
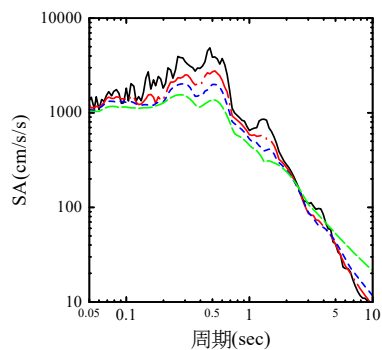
$$p = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad : \text{固有振動数}$$

$$T = \frac{2\pi}{p} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$$

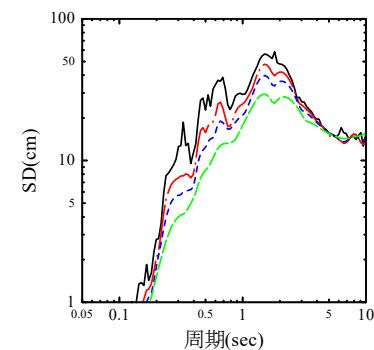
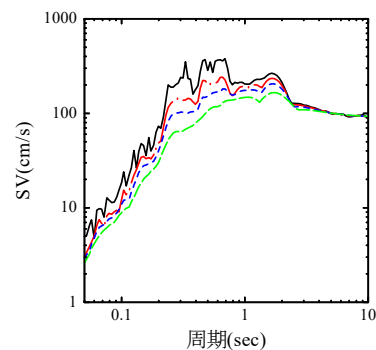
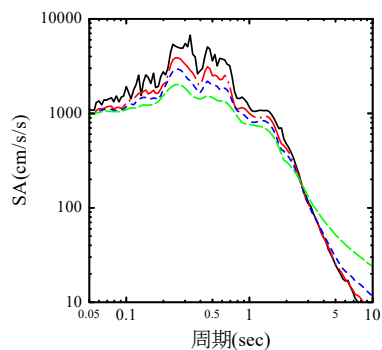
$$\frac{\omega}{p} = \frac{2\pi f}{p} \cong 1 : \text{共振}$$

応答スペクトル 4月14日

減衰定数
— 0.01
— 0.05
— 0.10
— 0.20



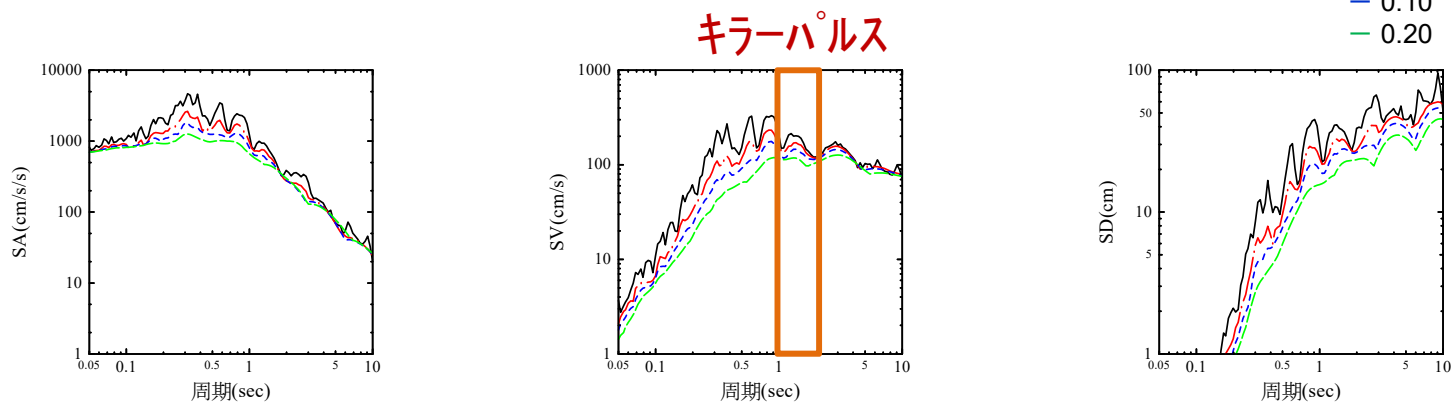
益城 NS



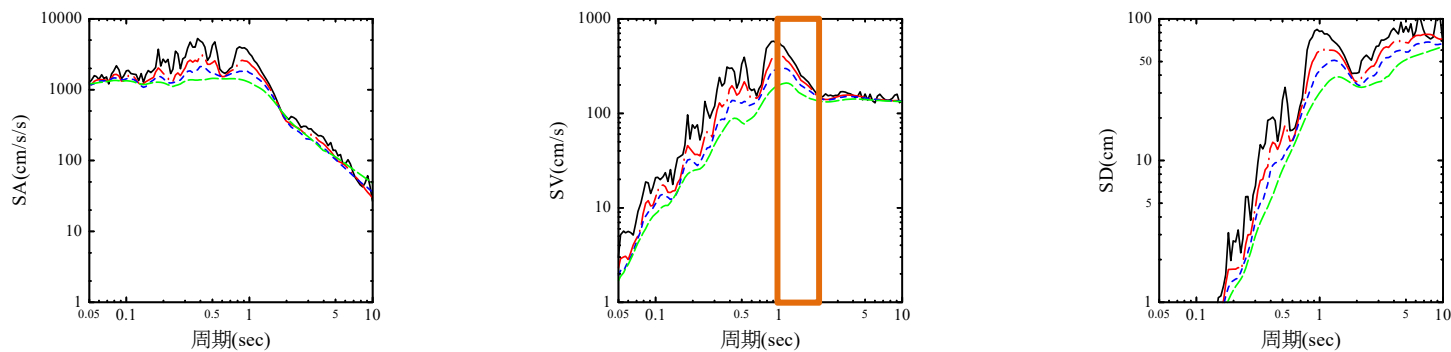
益城 EW

応答スペクトル 4月16日

減衰定数
— 0.01
— 0.05
— 0.10
— 0.20



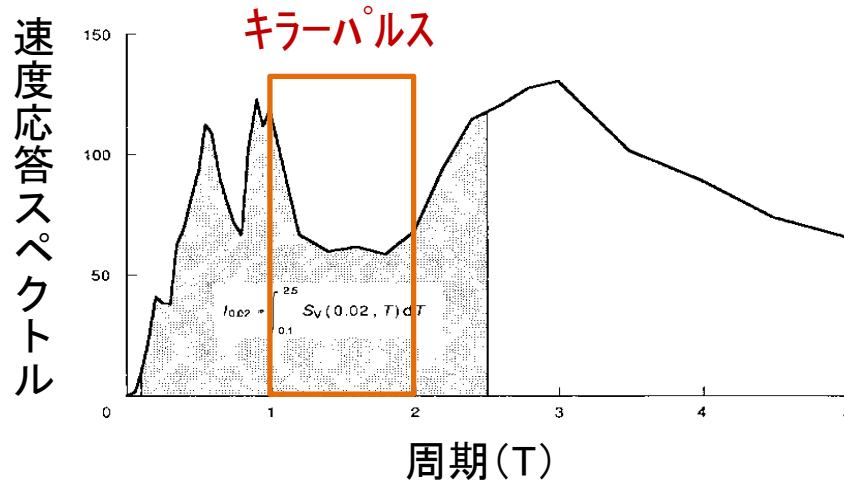
益城 NS



益城 EW

SI値（構造物被害に関係？）

| 観測点 | 加速度 | 速度 | SI値 | 観測点 | 加速度 | 速度 | SI値 |
|-----|------|-------|-------|------|------|-------|-------|
| 阿久根 | 293 | 45.7 | 56.0 | 熊本 | 1157 | 121.4 | 135.4 |
| 柏崎 | 667 | 108.2 | 104.8 | 小千谷 | 391 | 21.1 | 24.6 |
| 築館 | 2933 | 106.0 | 109.2 | 神戸海気 | 818 | 96.5 | 127 |

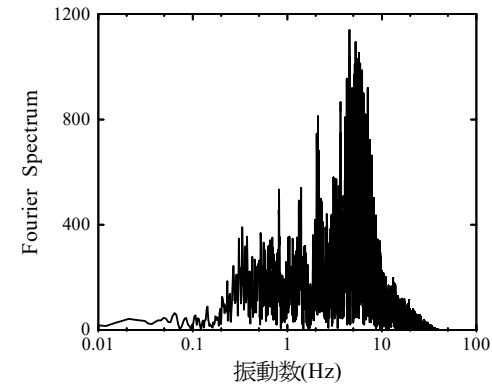
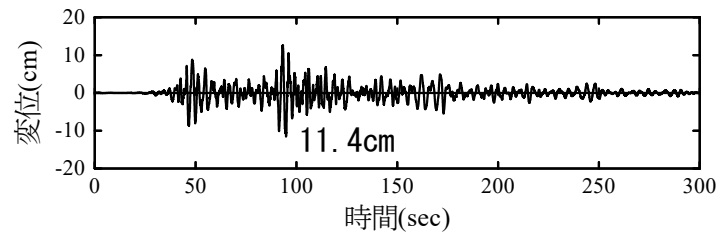
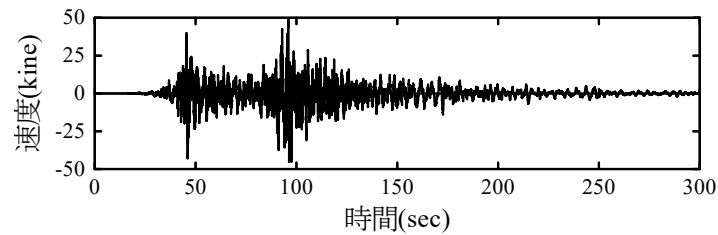
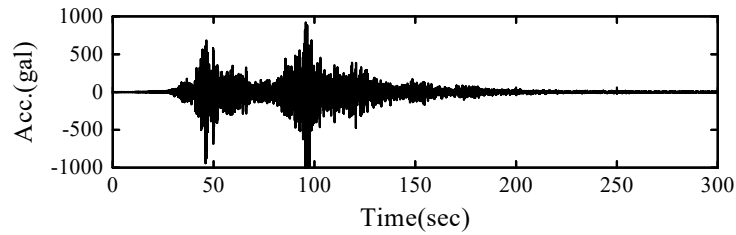


$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} S_v(h=0.2, T) dT$$

- ・4月14日 SI=129.8kine(ew)
SI= 83.2kine(ns)
SI= 57.1kine(ud)
- ・4月16日 SI=135.4kine(ew)
SI= 95.5kine(ns)
SI= 49.4kine(ud)

- ・1秒以下（家具を揺らす）
- ・キラールパルス（木造家屋，数階建てビルにダメージ）

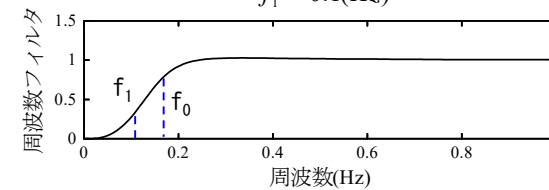
地震波形積分処理



$$f_0 = 1/6(\text{Hz})$$

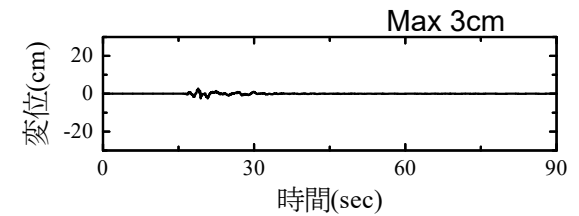
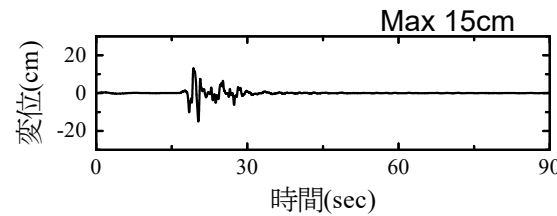
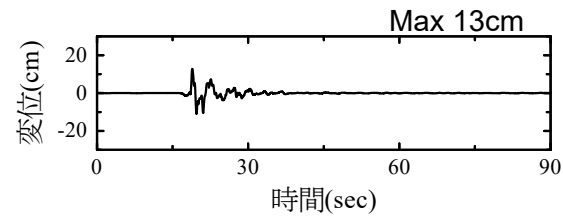
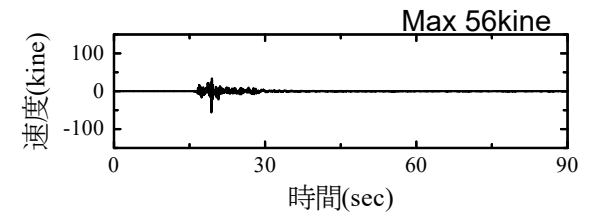
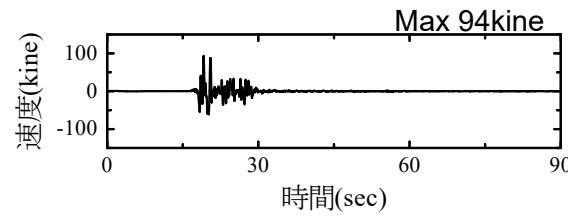
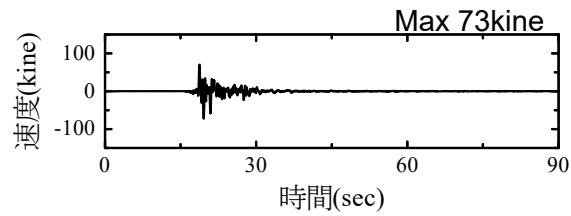
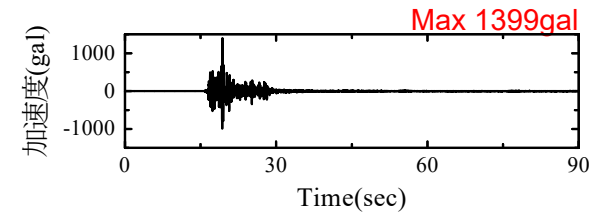
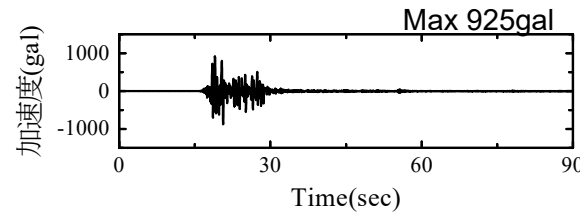
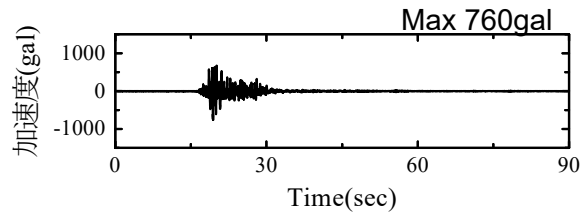
$$h = 0.552$$

$$f_1 = 0.1(\text{Hz})$$



東日本大震災(築館)

波形の積分 4月14日

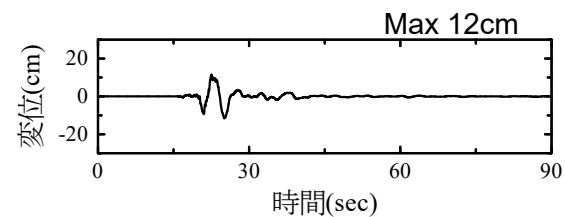
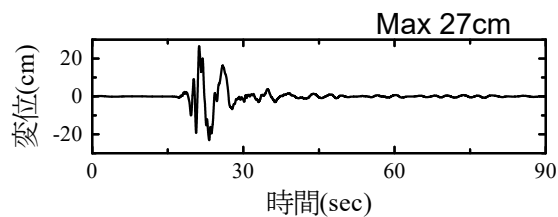
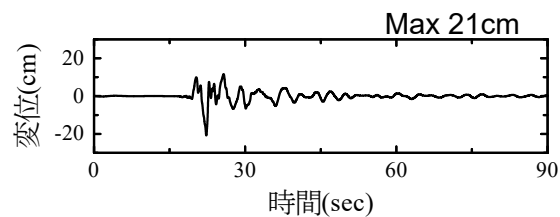
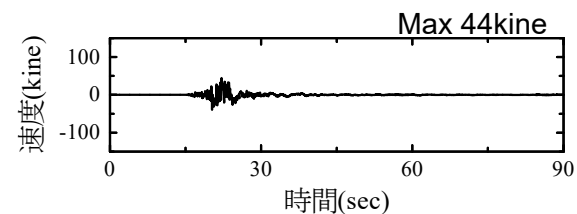
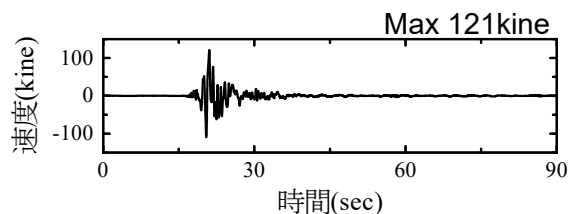
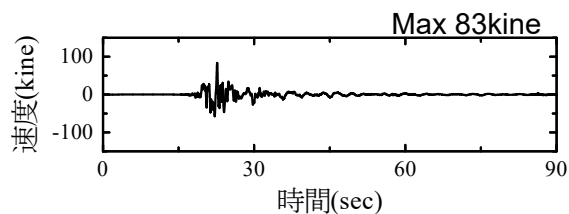
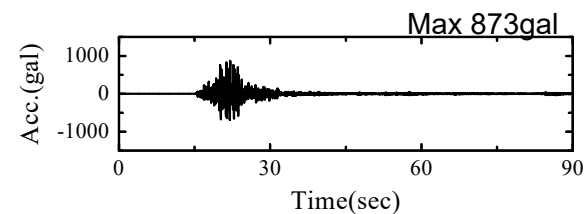
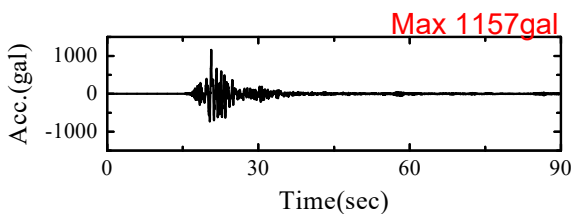
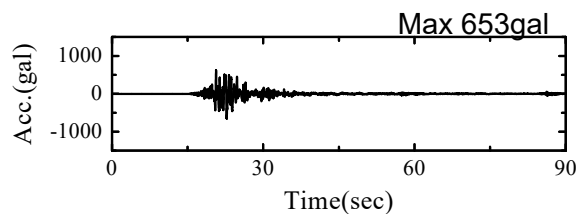


益城 NS

益城 EW

益城 UD

波形の積分 4月16日



益城 NS

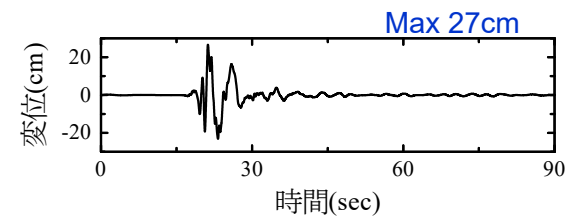
益城 EW

益城 UD

積分による変位は正解？

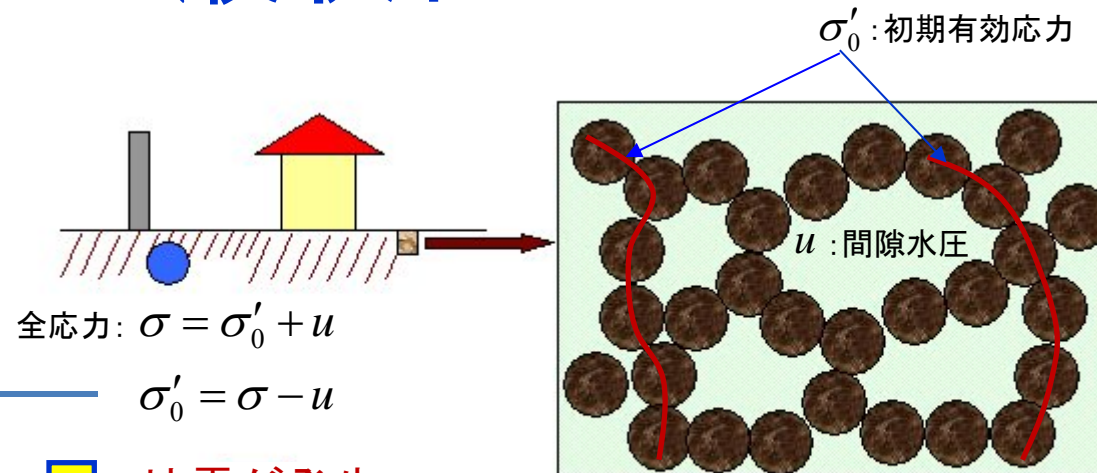


地震により, 某実験室で重量数トンのAuto Graphが約26cm移動.



4/16 益城 EW

液状化とは？

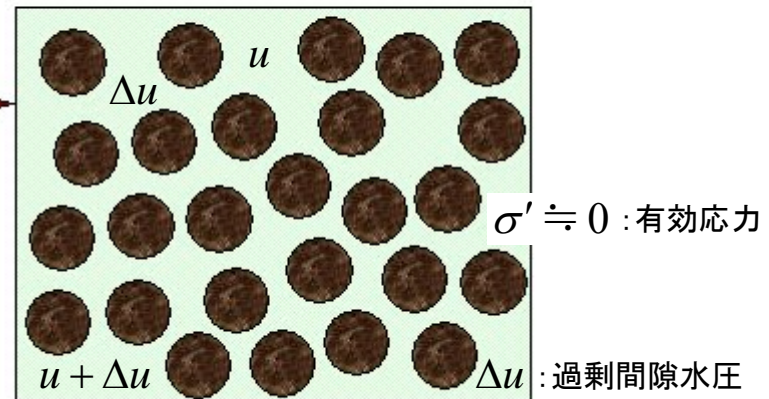


日常の地盤

地震が発生



土粒子で支持されていたのが水に置き換わる

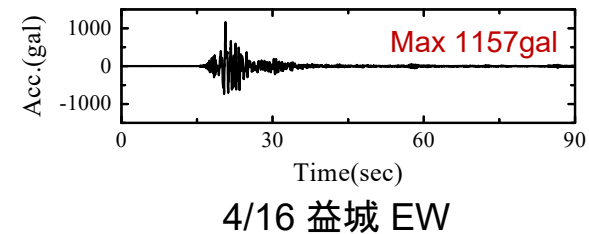


液状化した地盤

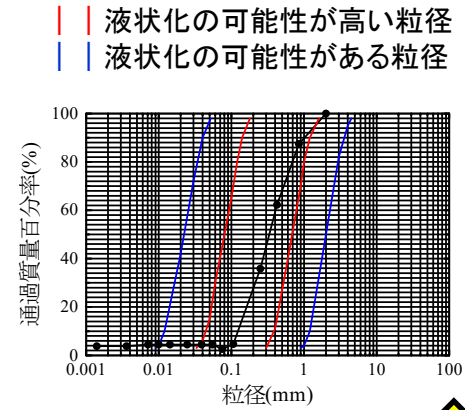
$$\sigma' = \sigma - (u + \Delta u) \doteq 0, \quad \frac{\Delta u}{\sigma'_0} \doteq 1$$

液状化の要因

- 地震
震度6(200gal)以上
- 砂地盤
粒径 (0.02mm~2mm)
- 水位
水位が20m以浅
埋立, 港湾, 旧河道



地震による液状化(川尻)



川砂っぽい



地震による液状化(川尻)



河川沿いの歩道に亀裂、移動

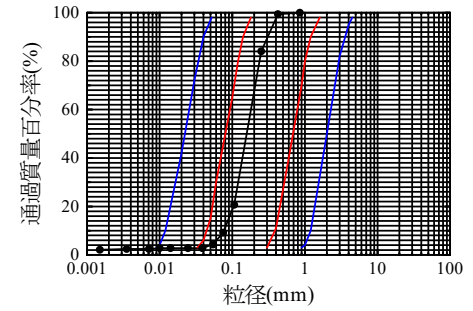


液状化による土台の沈下(段差20cm)



柵や塀の破壊、道路の亀裂

地震による液状化(近見)



火山灰質砂



地震による液状化(近見)



道路脇の石碑(近見橋)



液状化家屋

液状化による電柱の傾斜・沈下



小学校の段差

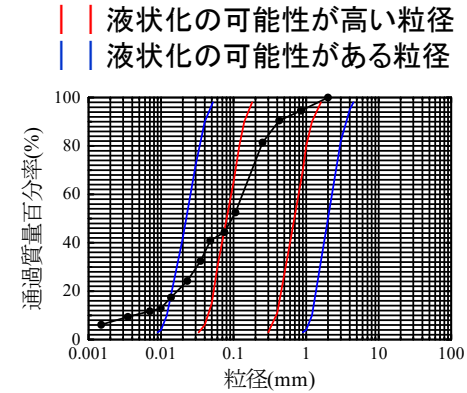


病院駐車場の沈下

地震による液状化(春日)



校庭の亀裂



粘土質砂



小学校校庭の液状化

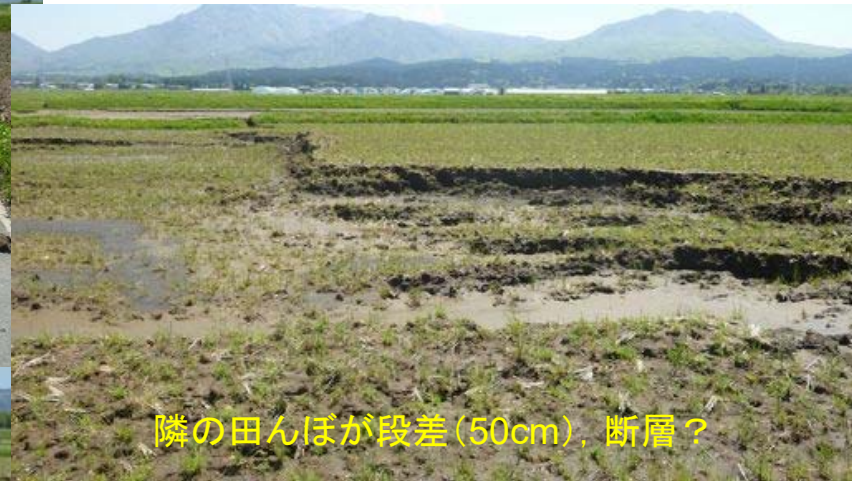


採取した液状化試料

地震による被害(阿蘇)



役犬原農道の陥没



隣の田んぼが段差(50cm), 断層?



道路の移動(1m)



阿蘇神社の楼門(屋根が地面に)

被災された皆さま. 一日も早く 必ず復旧「すっぞ熊本」



寺田 寅彦(1878~1935):
明治~昭和期の物理学者・随筆家。五高で漱石に師事。
東大教授。関心は物理学の全分野に及ぶ。独特の写生文
や科学随筆で知られる。「寺田寅彦全集」ほか

「天災は忘れた頃にやってくる」

Learn from yesterday, live for today, hope for tomorrow.

防災教育の不朽の名作



小学国語読本卷十



稲むらの火



松明をかかげた五兵衛