

## 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震の構造物への入力評価(2次報告)

## 1. はじめに

前報に引き続いて、本報告では2011年3月11日14時46分頃に発生した三陸沖を震源とするマグニチュード9.0の表記地震について、防災科学技術研究所強震ネットワークK-NETの観測地震動を用いて非線形応答スペクトル、入力エネルギースペクトルを算定した。

## 2. 観測地震動

本検討で使用したデータの一覧を以下に示す(前報と同じ)。

観測点	地点名	観測時間	緯度	経度	標高	震央距離	最大加速度	地盤周期	地盤種別 (鉄道)	地盤種別 (道路)	応答スペクトル 最大値
IWA012	北上	March 11-14:46:52	39.3209N	141.1378E	64.00m	212km	627.7gal	0.25s	G3	II種	28.5m/s <sup>2</sup> (0.31s)-NS
IWA018	盛岡	March 11-14:46:58	39.6953N	141.1478E	125.00m	242km	259.5gal	0.17s	G2	I種	10.4m/s <sup>2</sup> (0.23s)-EW
MYG004	築館	March 11-14:46:51	38.7292N	141.0217E	40.00m	183km	2933.2gal	0.13s	G0	I種	129.5m/s <sup>2</sup> (0.24s)-NS
MYG012	塩竈	March 11-14:46:50	38.3175N	141.0193E	1.73m	169km	2018.9gal	0.17s	G2	I種	31.65m/s <sup>2</sup> (0.37s)-EW
MYG013	仙台	March 11-14:46:50	38.2663N	140.9293E	5.00m	175km	1807.8gal	0.26s	G3	II種	26.84m/s <sup>2</sup> (0.61s)-NS
MYG015	岩沼	March 11-14:46:49	38.1049N	140.8699E	3.00m	179km	433.6gal	0.42s	G3	II種	17.41m/s <sup>2</sup> (0.57s)-NS
FKS001	相馬	March 11-14:46:50	37.7949N	140.9196E	9.00m	176km	682.8gal	0.26s	G3	II種	18.21m/s <sup>2</sup> (0.73s)-EW
FKS002	梁川	March 11-14:46:55	37.8449N	140.6013E	42.00m	203km	629.3gal	0.12s	G2	I種	26.33m/s <sup>2</sup> (0.13s)-NS
FKS003	福島	March 11-14:46:58	37.7613N	140.4799E	64.00m	215km	329.1gal	0.13s	G0	I種	9.82m/s <sup>2</sup> (0.13s)-NS
FKS019	二本松	March 11-14:46:57	37.6030N	140.4368E	235.00m	221km	461.4gal	0.21s	G2	I種	22.12m/s <sup>2</sup> (0.35s)-NS
TCG001	黒磯	March 11-14:47:10	36.9417N	140.0828E	254.80m	275km	485.7gal	0.11s	G2	I種	11.84m/s <sup>2</sup> (0.41s)-NS
TCG014	茂木	March 11-14:47:09	36.5450N	140.1742E	130.00m	291km	1291.1gal	0.17s	G2	I種	51.37m/s <sup>2</sup> (0.40s)-EW
IBR003	日立	March 11-14:47:05	36.5915N	140.6453E	57.50m	254km	1845.2gal	0.33s	G3	II種	75.09m/s <sup>2</sup> (0.32s)-NS

\*最大加速度は、K-NETデータ全長のオフセットを差し引いた地震波形の最大値

## 3. 解析条件

本解析では、最大応答スペクトル値が観測された成分(上記表右)の地震動を用いて解析を実施した。

## a. 非線形応答スペクトル

今回観測された上記地震動が非弾性構造物に与える影響について、所要降伏震度 $k_y$ ( $P_y/W$ :降伏強度を自重で除した値)と弾性周期の関係を、応答塑性率(応答変位/降伏変位)毎に求めた。本計算は以下の条件下で実施した。

- ・非弾性履歴モデルとして Clough Model(最大点指向型・バイリニア)を仮定
- ・第2勾配/第1勾配比 0.1 を仮定(劣化なし・耐力低下なし)
- ・減衰は弾性周期によらず 5%を一律使用

## b. 入力エネルギースペクトル

入力エネルギースペクトルは通常、Absolute Input Energy と Relative Input Energy の2つの定義があり、以下の式による。

- ・Absolute Input Energy

$$E_I = \text{Max} \left( \int_0^{t_a} m(\ddot{u} + \ddot{u}_g) \dot{u}_g dt \right)$$

• Relative Input Energy

$$E_I = \text{Max} \left( \int_0^{t_a} m \ddot{u}_g \dot{u}_g dt \right)$$

種々の構造物に対する入力エネルギーを一律に評価するため、一般に以下の等価エネルギー速度で  
が用いられる。

$$V_e = \sqrt{2E_I/m}$$

本報告においても、上式の値を採用する(本報告では単位質量で計算)。

#### 4. 結果

各地点の計算結果を以下に示す。各地点の入力エネルギースペクトルに着目すると、幾つかの観測  
点結果において Absolute Input Energy と Relative Input Energy に差が生じていることがわかる。  
例えば仙台 (MYG013) では、0.8s 付近から2つのエネルギー定義による値が逆転している。0.8s 近  
傍で二つのエネルギーの等しい区間が短いことから、この地点 (NS 成分) は主に directivity pulse の  
影響を受けており、およそ 0.8s の周期を持つ pulse が構造物に影響を及ぼした可能性が高いと解釈で  
きる。加速度応答スペクトルの卓越周期が 0.8s であることから、そうした周期成分が卓越したこと  
が推察される。他の地点では、低周期成分と中間周期成分の両者が卓越している場合などがあり、詳  
細な分析は速度波形と等価エネルギー速度波形を合わせて比較検討する必要がある。データや処理の  
誤り等があればご指摘いただきたい。 ([saity@mail.saiama-u.ac.jp](mailto:saity@mail.saiama-u.ac.jp))

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 IWA012

地点名 北上

観測時間 March 11-14:46:52

緯度 39.3209N 経度 141.1378E 標高 64.00m

震央距離 212km

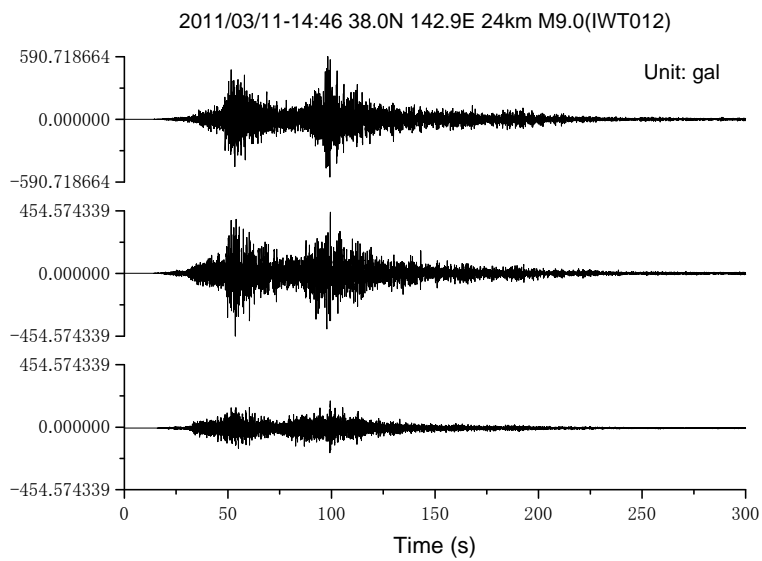
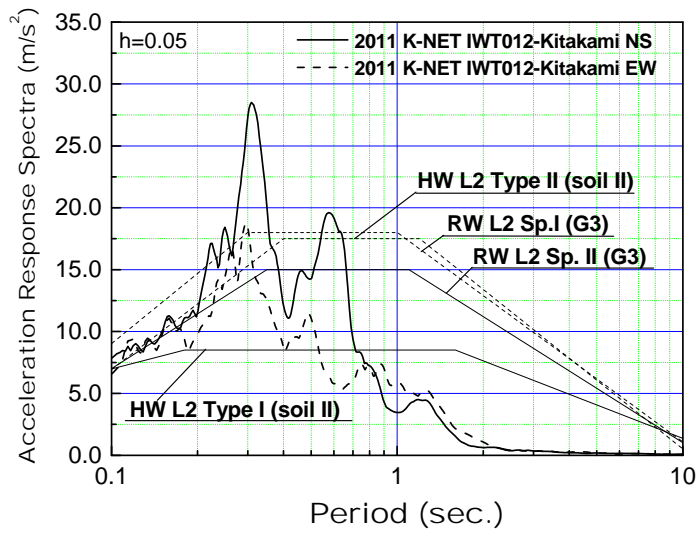
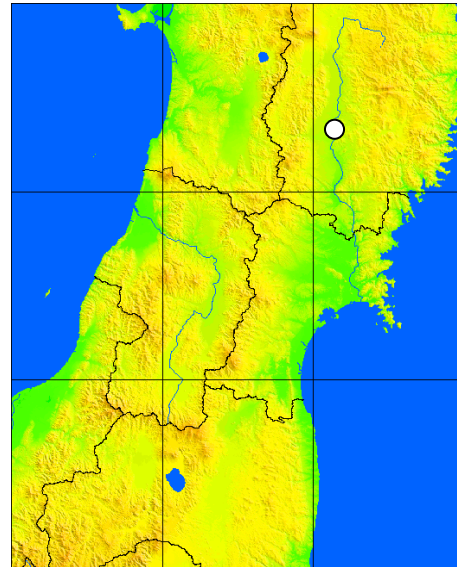
最大加速度 627.7gal

地盤周期 0.25s

地盤種別(鉄道) G3 (道路) II 種

応答スペクトル 28.5m/s<sup>2</sup> (at 0.31s) (5%減衰)

所在地岩手県 北上市 二子町鳥喰 214-1



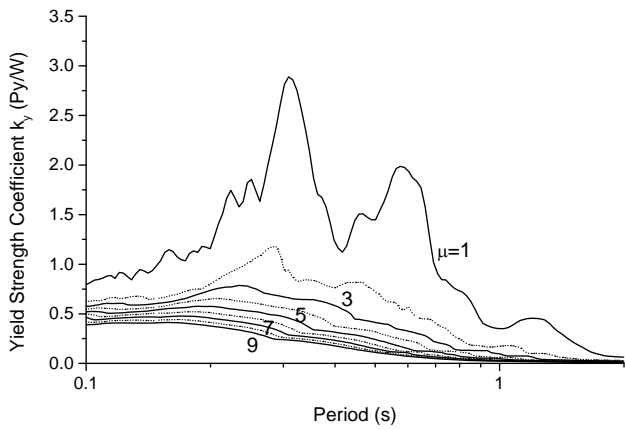


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

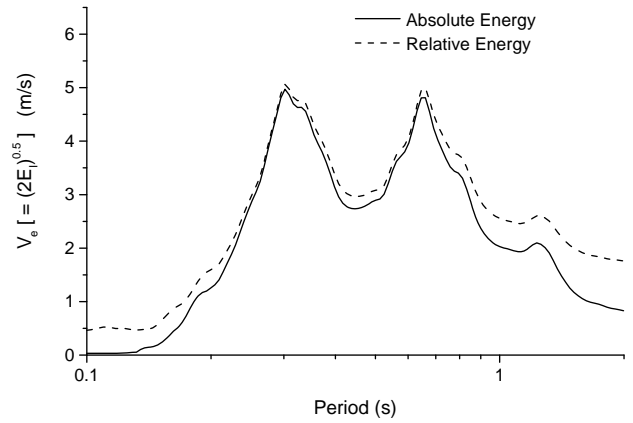


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

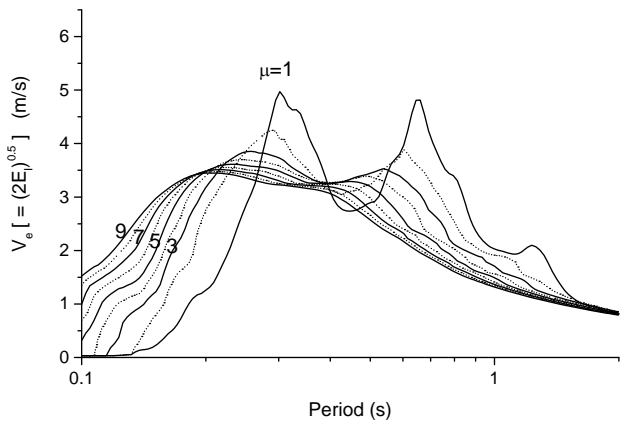


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

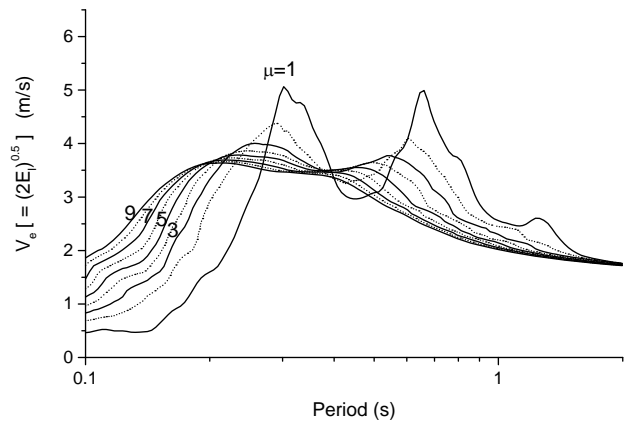


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET

のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 IWA018

地点名 盛岡

観測時間 March 11-14:46:58

緯度 39.6953N 経度 141.1478E 標高 125.00m

震央距離 242km

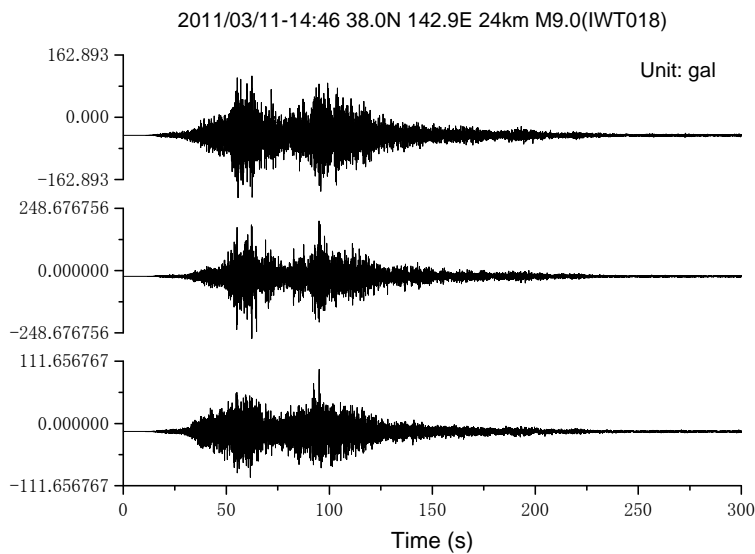
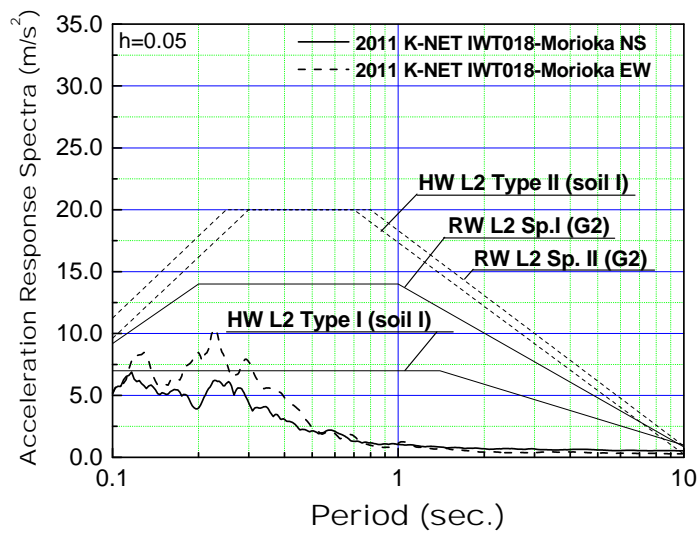
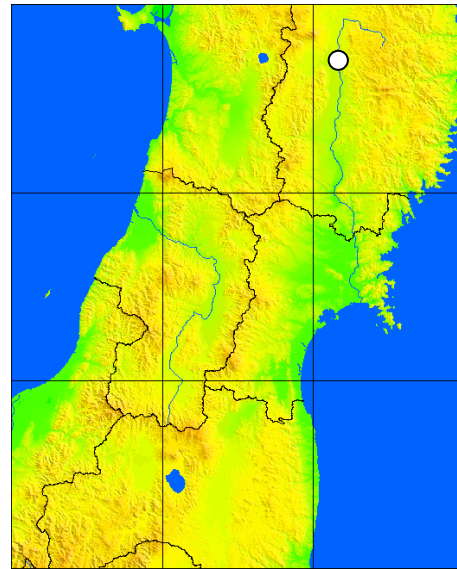
最大加速度 259.5ga

地盤周期 0.169s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 10.4m/s<sup>2</sup> (at 0.23s) (5%減衰)

所在地 岩手県盛岡市 馬場町 77-9・141-3



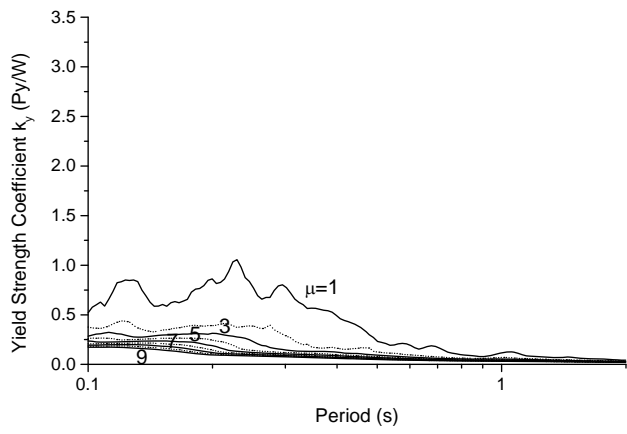


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

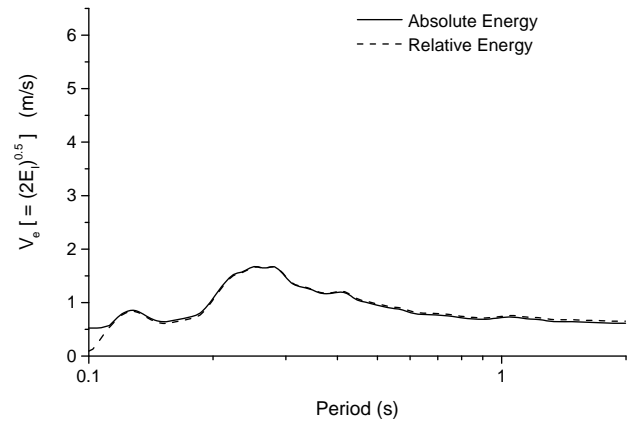


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

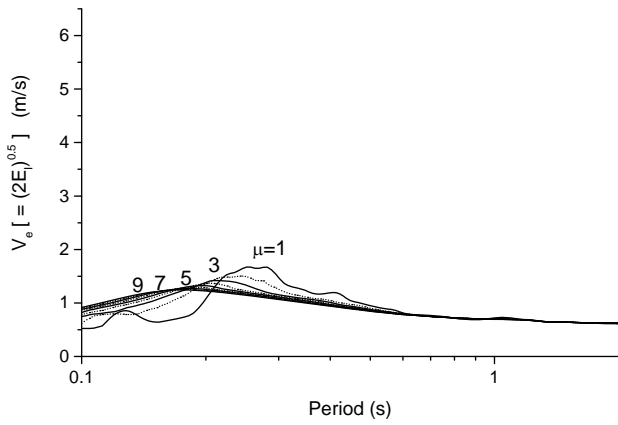


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

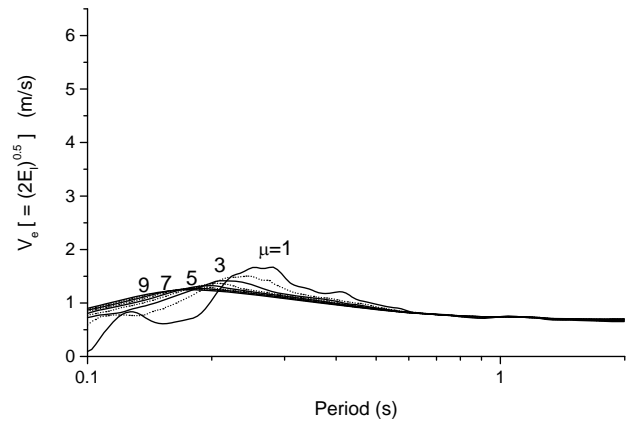


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 MYG004

地点名 築館

観測時間 March 11-14:46:51

緯度 38.7292N 経度 141.0217E 標高 40.00m

震央距離 183km

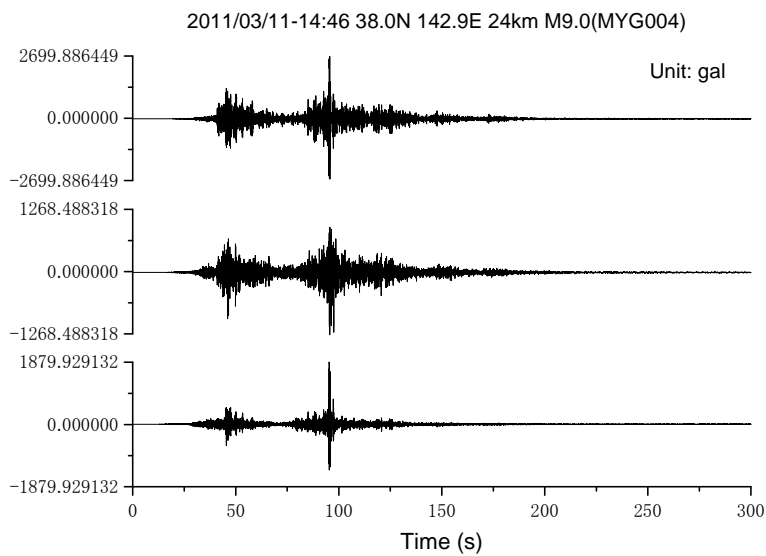
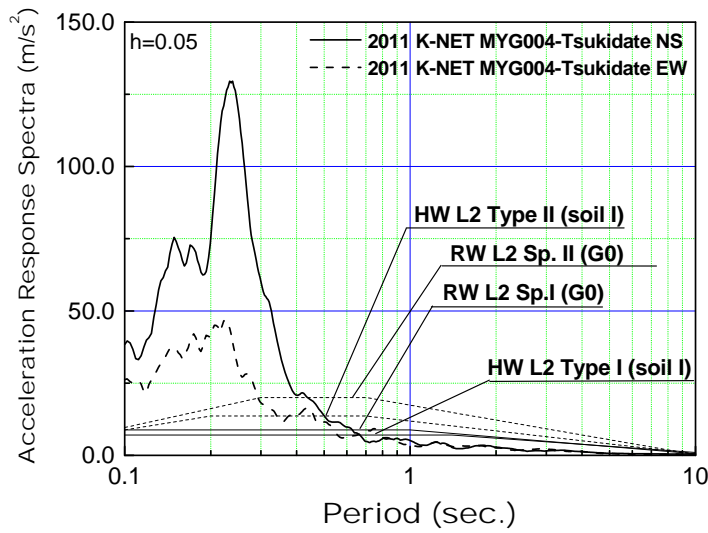
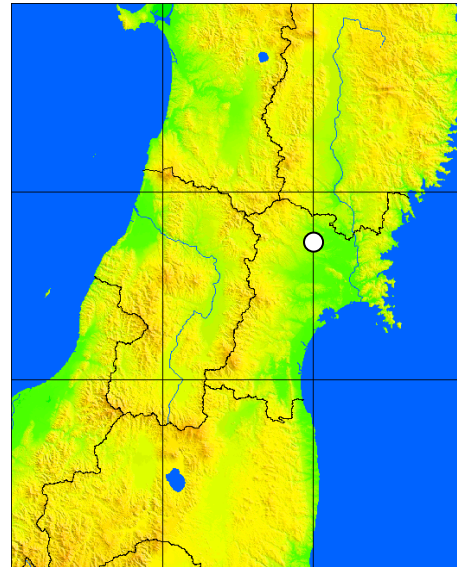
最大加速度 2933.2gal

地盤周期 0.134s

地盤種別(鉄道) G0 (道路) I種

応答スペクトル 129.5m/s<sup>2</sup>(0.24s) (5%減衰)

所在地 宮城県 栗原市 築館高田 2-15



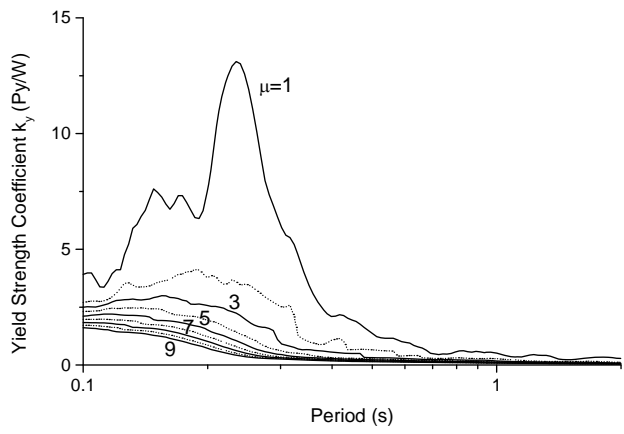


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

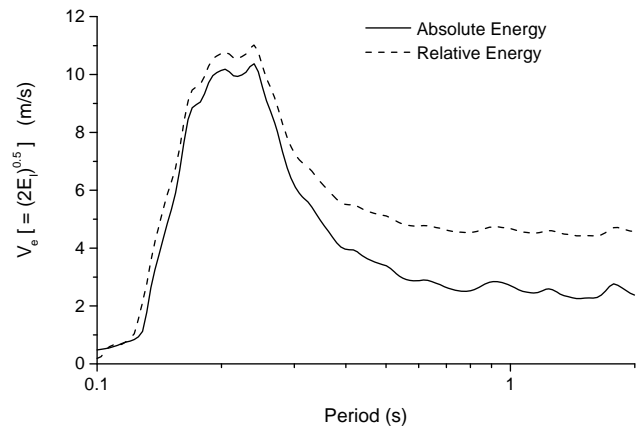


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

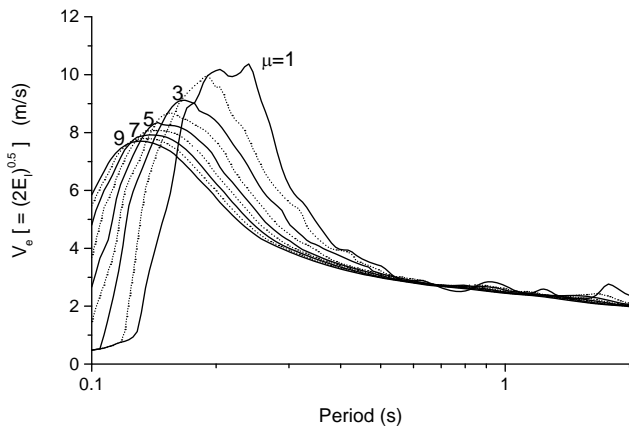


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

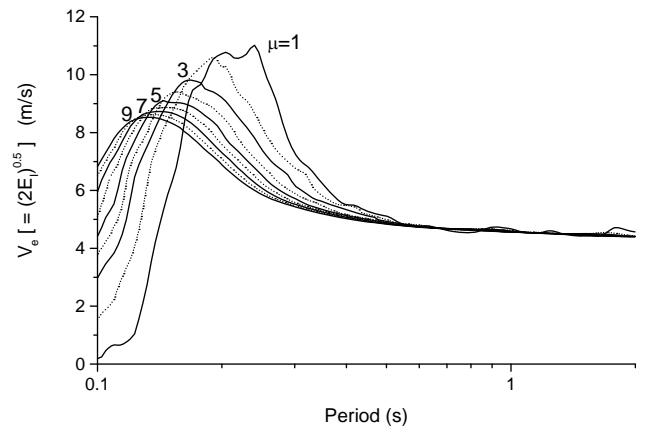


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤



<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 MYG012

地点名塩竈

観測時間 March 11-14:46:50

緯度 38.3175N 経度 141.0193E 標高 1.73m

震央距離 169km

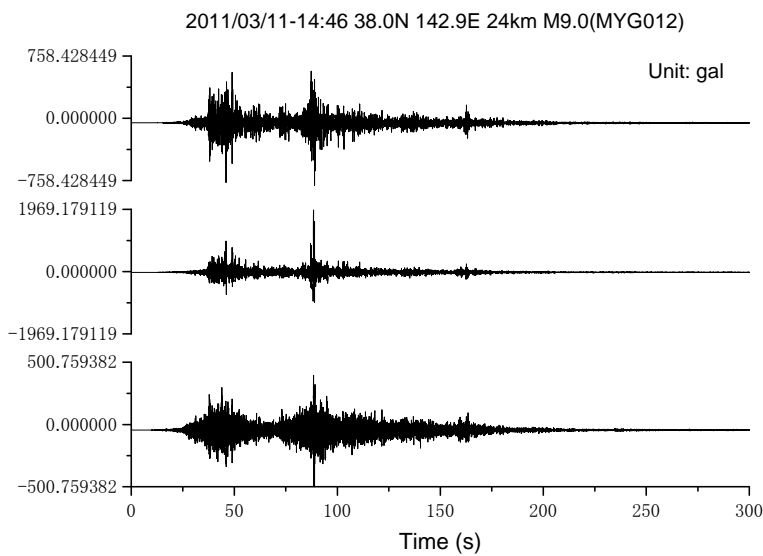
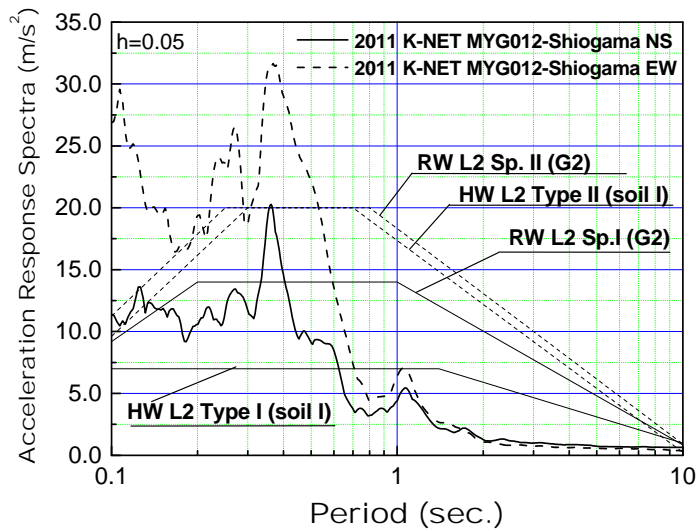
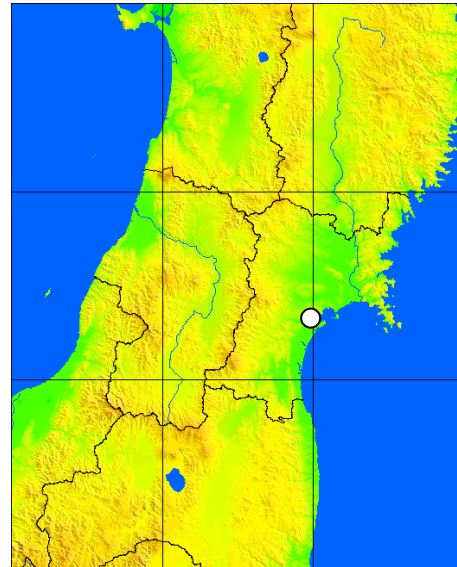
最大加速度 2018.9gal

地盤周期 0.17s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 31.65m/s<sup>2</sup>(0.37s) (5%減衰)

所在地 宮城県 塩竈市 旭町 1-1



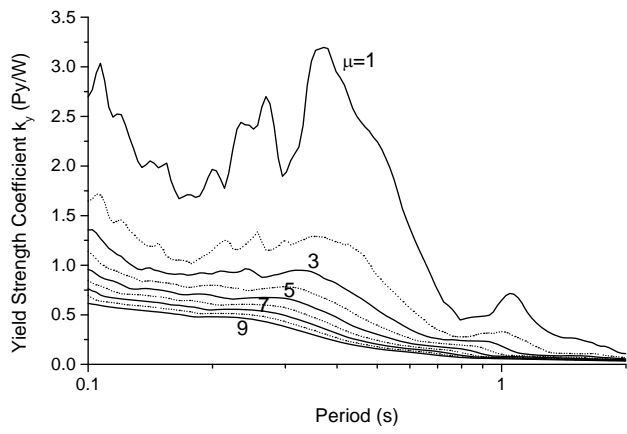


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

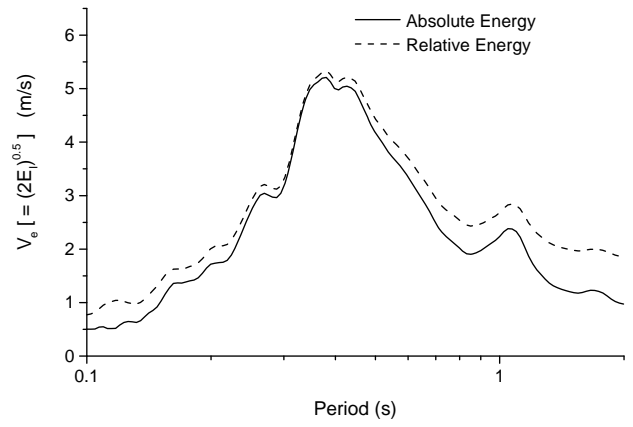


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

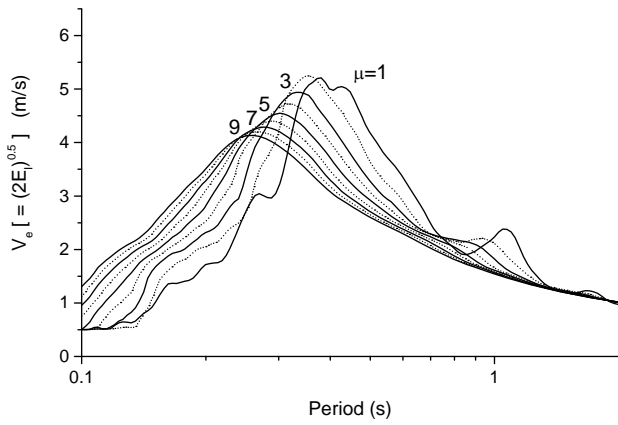


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

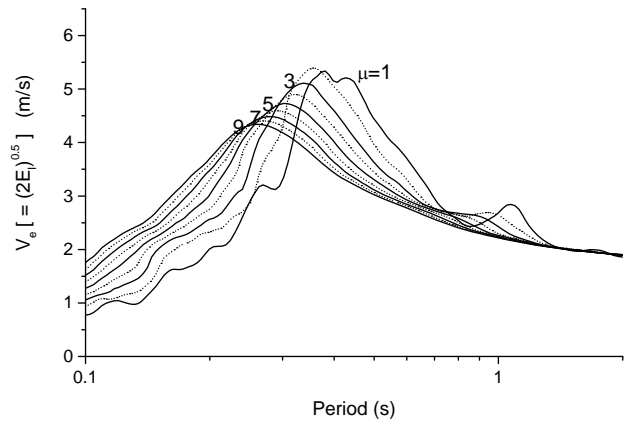


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 MYG013

地点名仙台

観測時間 March 11-14:46:50

緯度 38.2663N 経度 140.9293E 標高 5.00m

震央距離 175km

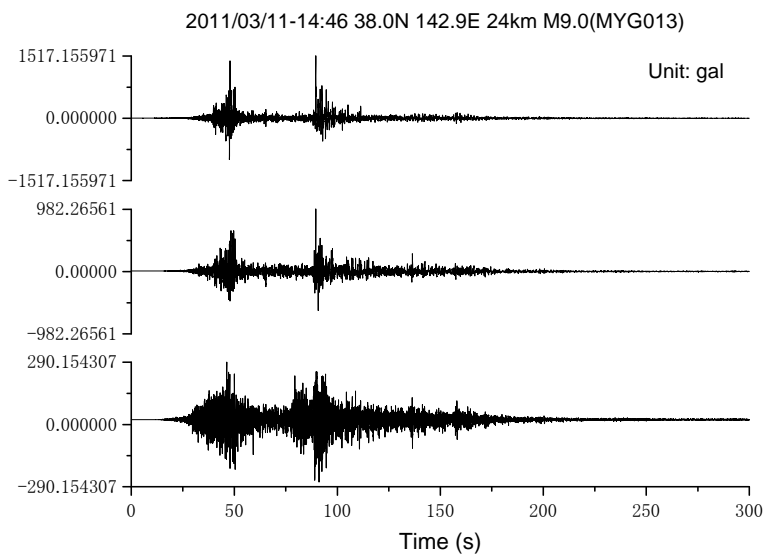
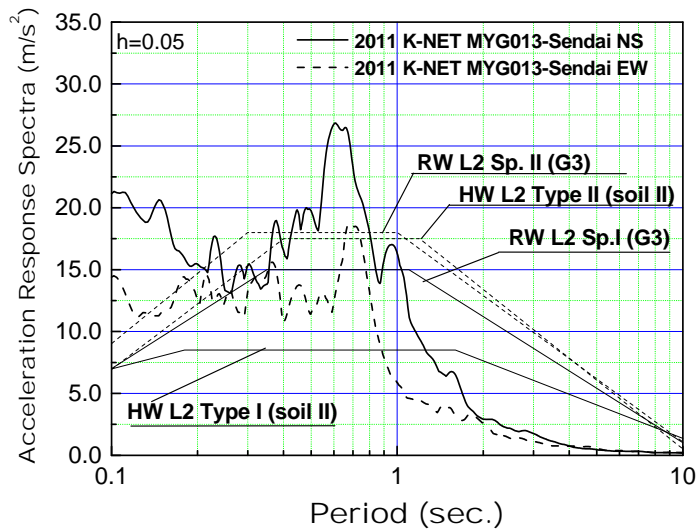
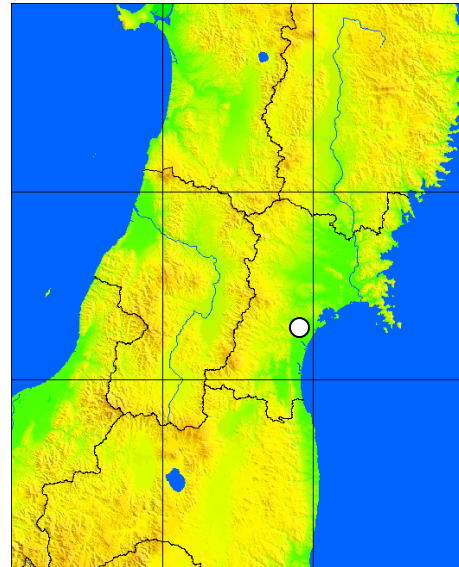
最大加速度 1807.8gal

地盤周期 0.26s

地盤種別(鉄道) G3 (道路) II 種

応答スペクトル 26.84m/s<sup>2</sup>(0.61s) (5%減衰)

所在地宮城県 仙台市 宮城野区苦竹 3-6-1



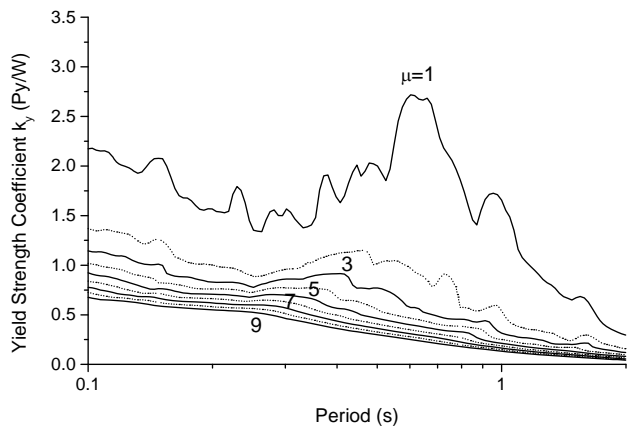


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

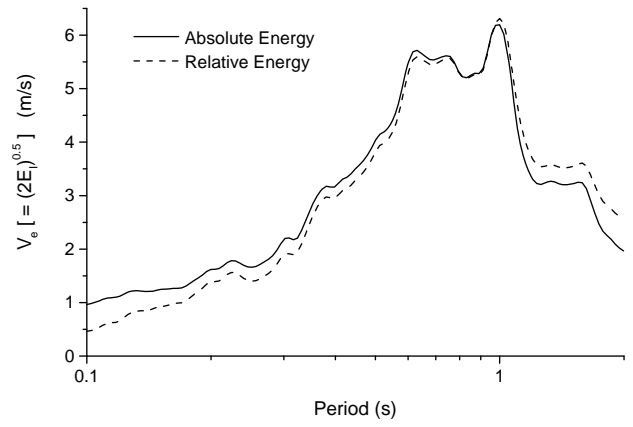


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

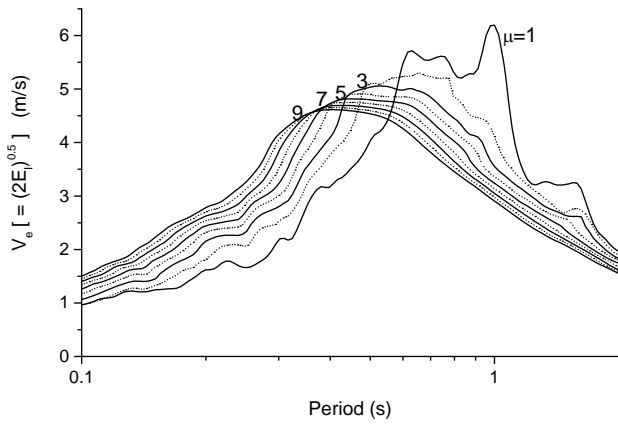


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

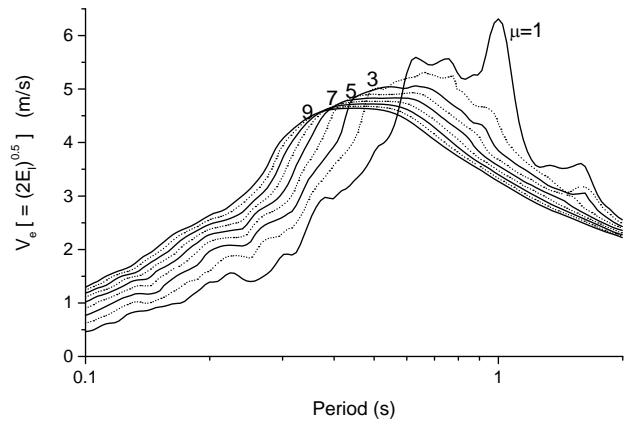


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 MYG015

地点名岩沼

観測時間 March 11-14:46:49

緯度 38.1049N 経度 140.8699E 標高 3.00m

震央距離 179km

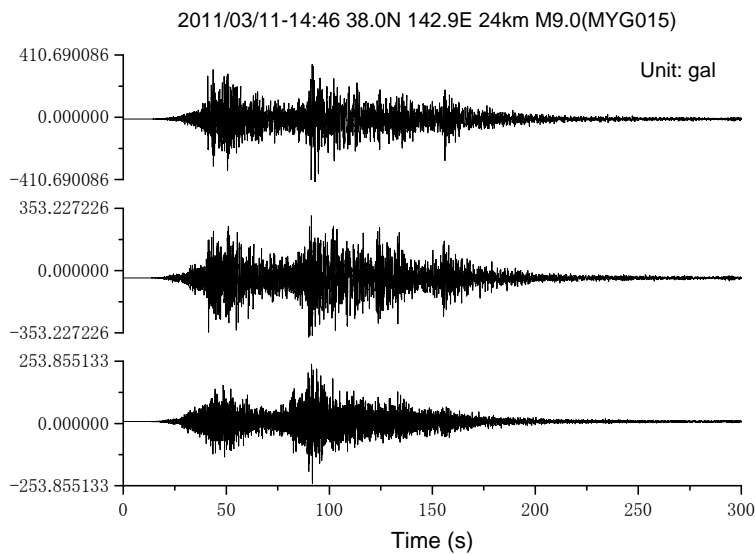
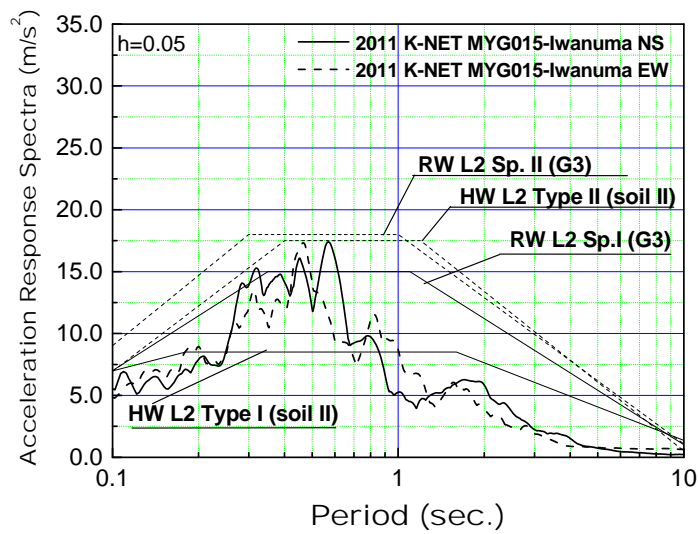
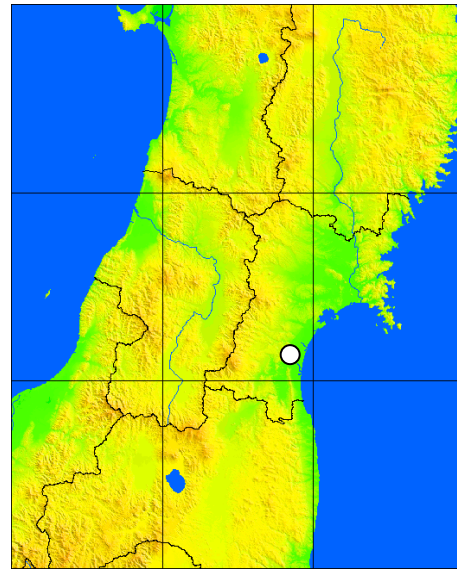
最大加速度 433.6gal

地盤周期 0.42s

地盤種別(鉄道) G3 (道路) II 種

応答スペクトル 17.41m/s<sup>2</sup>(0.57s) (5%減衰)

所在地宮城県 岩沼市 桜1丁目 230-3



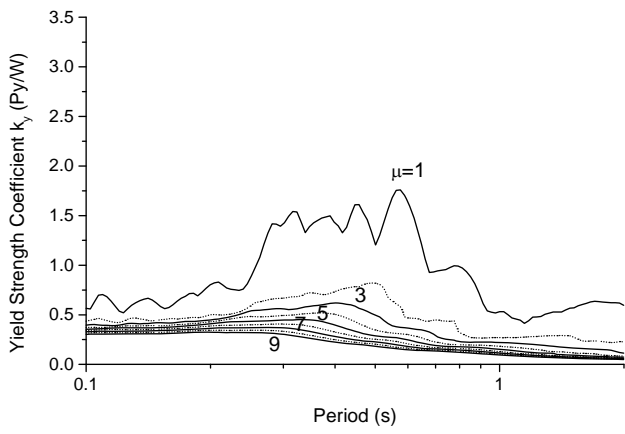


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

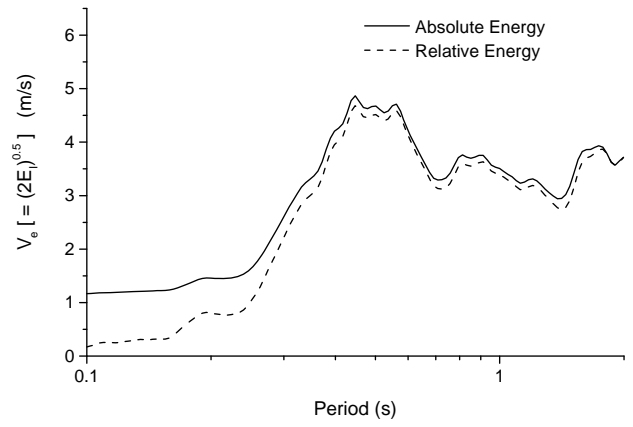


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

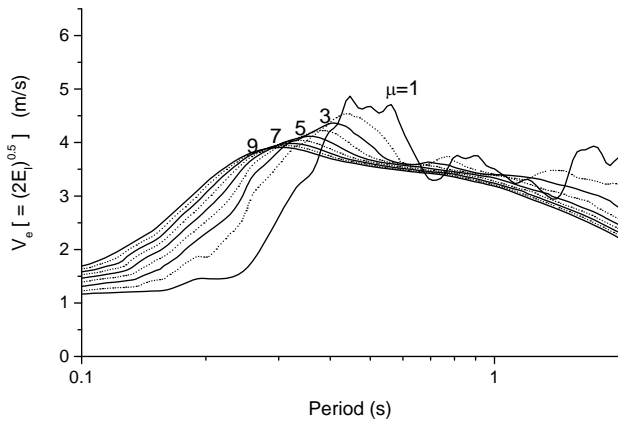


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

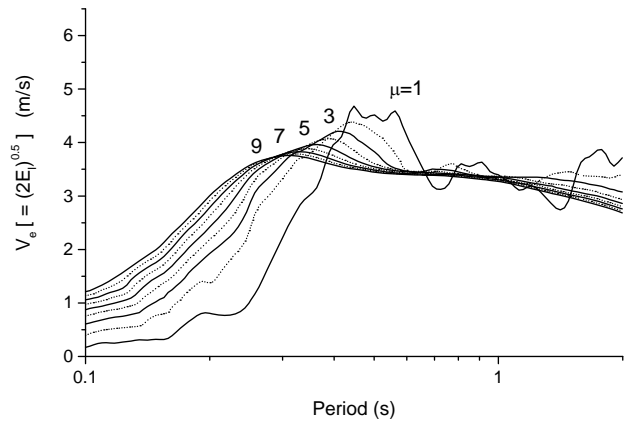


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 FKS001

地点名 相馬

観測時間 March 11-14:46:50

緯度 37.7949N 経度 140.9196E 標高 9.00m

震央距離 176km

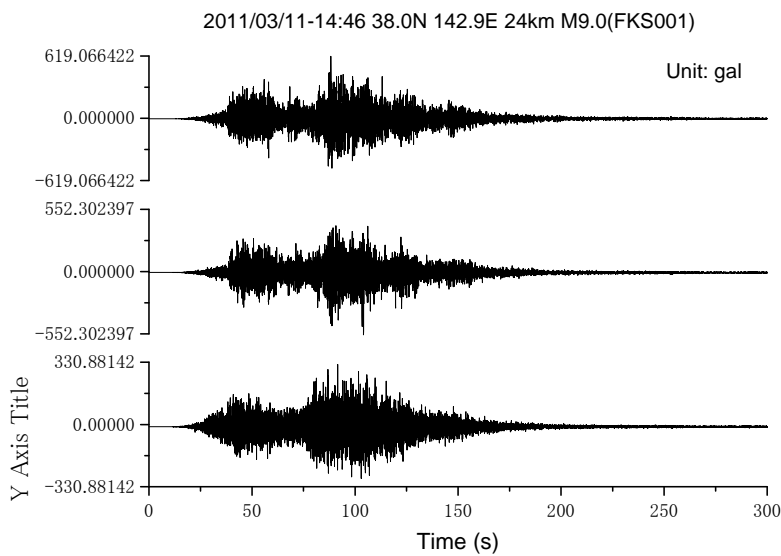
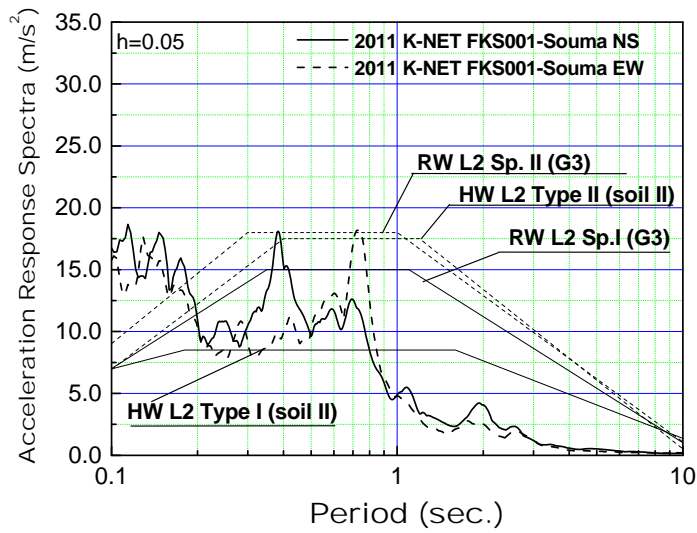
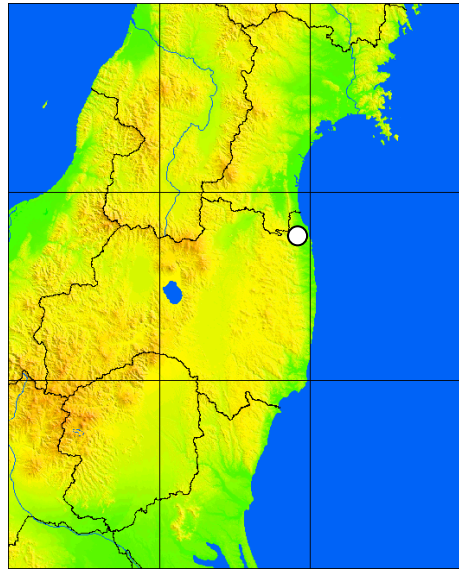
最大加速度 682.8gal

地盤周期 0.26s

地盤種別(鉄道) G3 (道路) II 種

応答スペクトル 18.21m/s<sup>2</sup>(0.73s) (5%減衰)

所在地 福島県 相馬市 中村字川原町 65-1



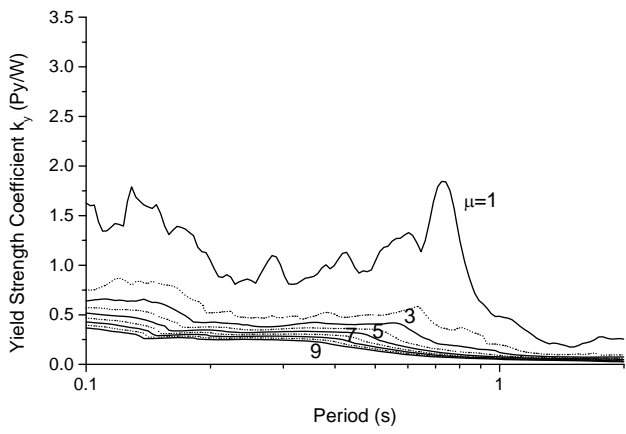


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

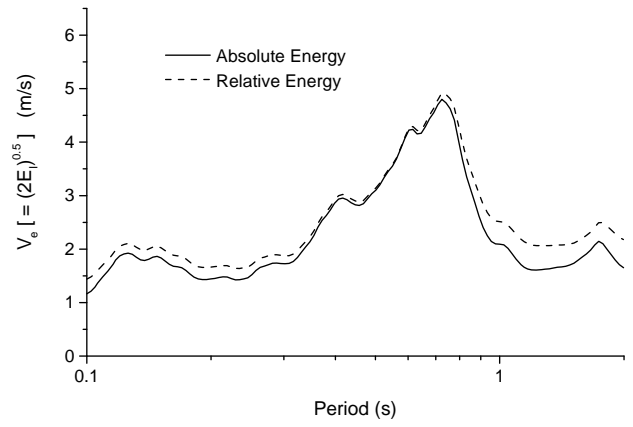


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

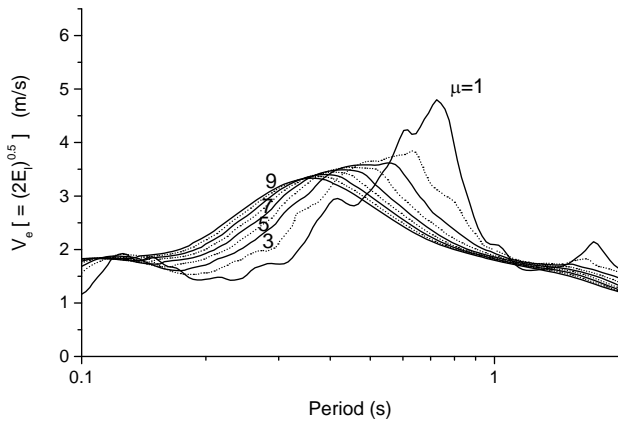


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

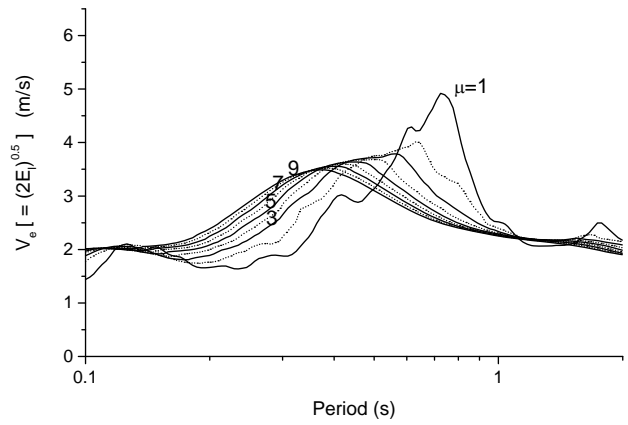


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤



<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 FKS002

地点名 梁川

観測時間 March 11-14:46:55

緯度 37.8449N 経度 140.6013E 標高 42.00m

震央距離 203km

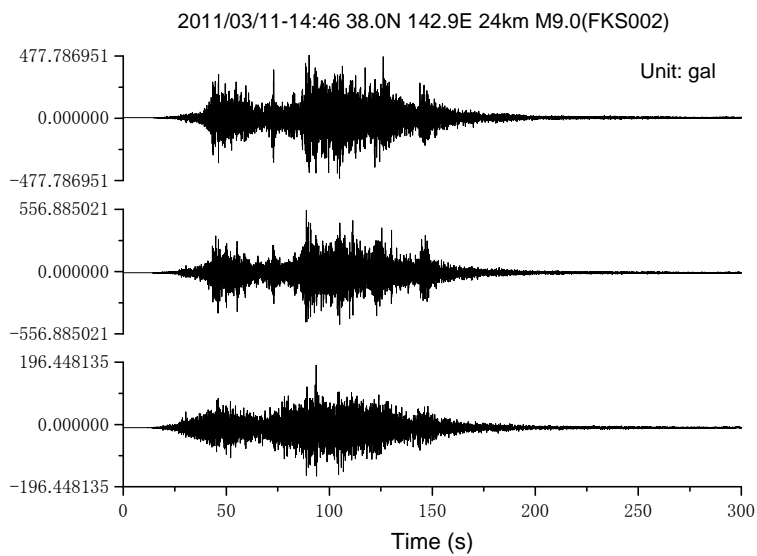
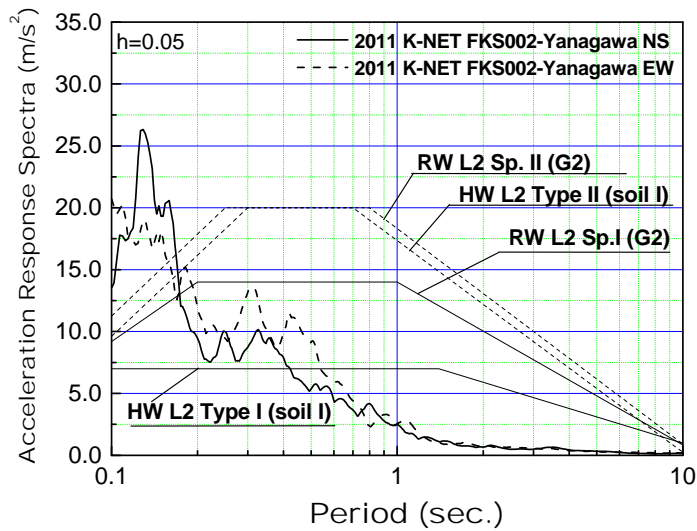
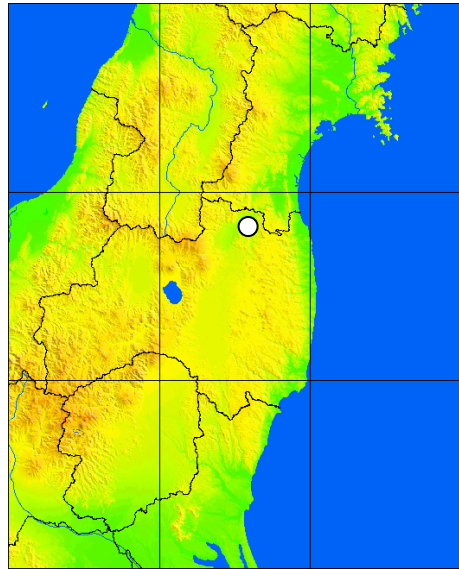
最大加速度 629.3gal

地盤周期 0.12s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 26.33m/s<sup>2</sup>(0.13s) (5%減衰)

所在地福島県 伊達市 梁川町五反田 20



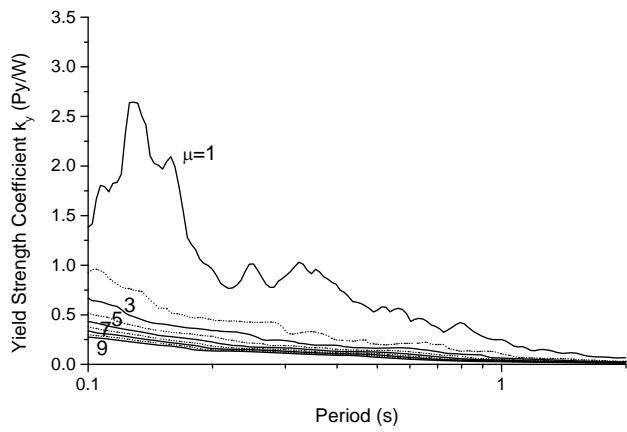


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

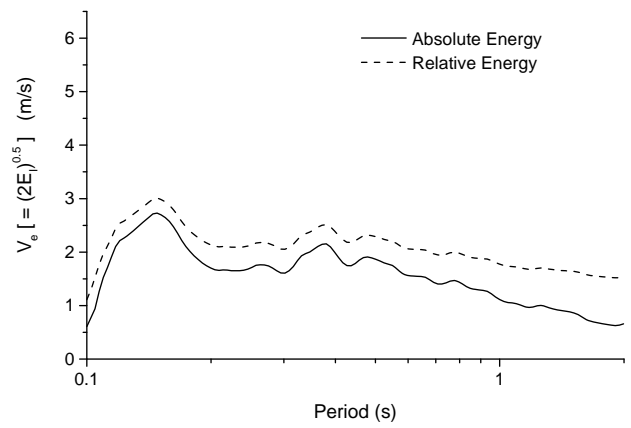


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

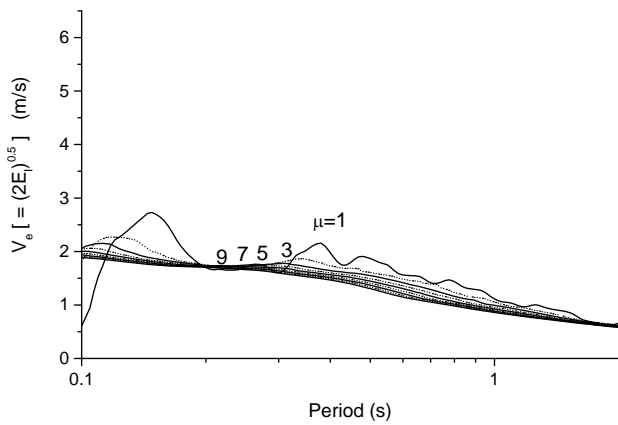


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

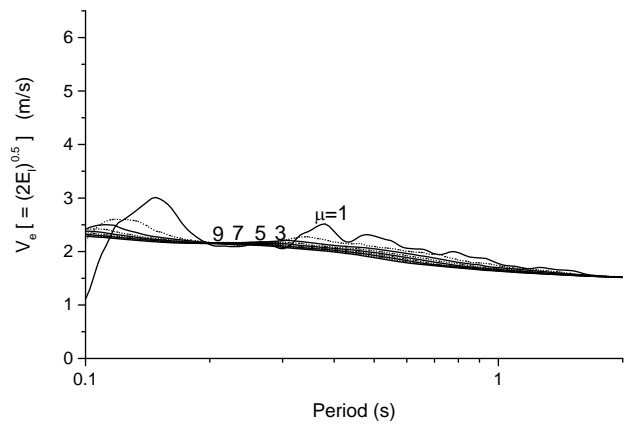


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 FKS003

地点名 福島

観測時間 March 11-14:46:58

緯度 37.7613N 経度 140.4799E 標高 64.00m

震央距離 215km

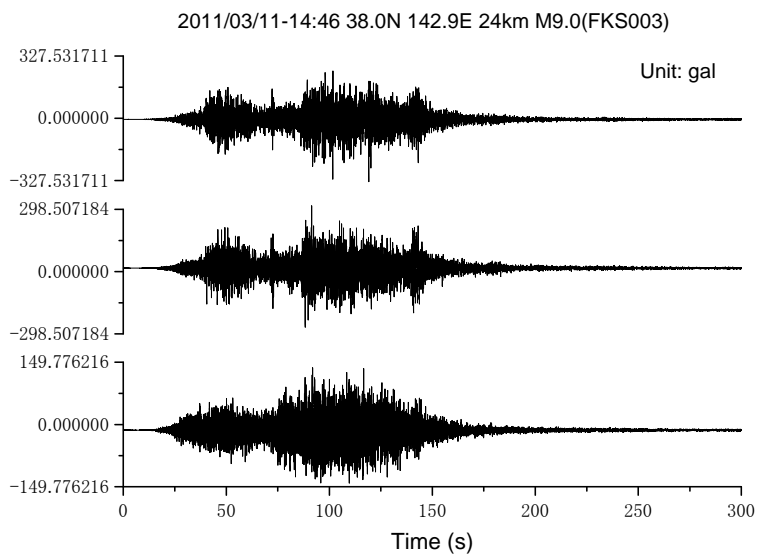
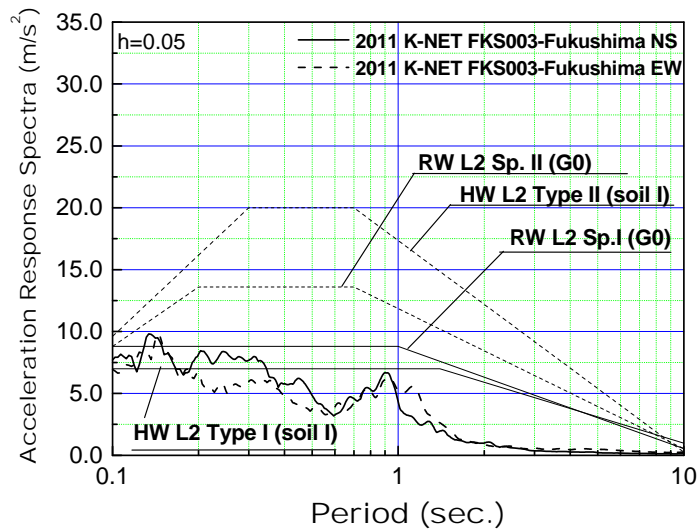
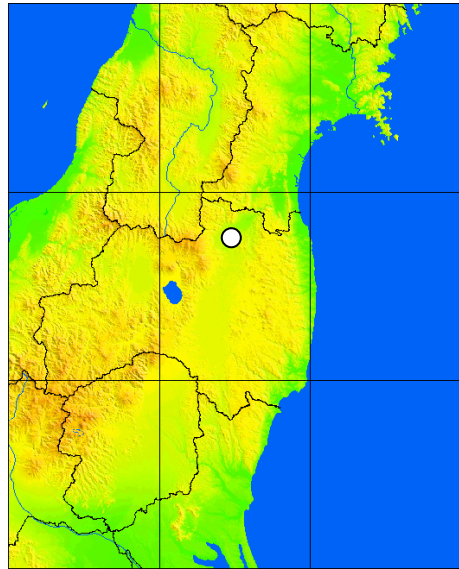
最大加速度 329.1gal

地盤周期 0.13s

地盤種別(鉄道) G0 (道路) I種

応答スペクトル 9.82m/s<sup>2</sup>(0.13s) (5%減衰)

所在地福島県 福島市 桜木町 5-20



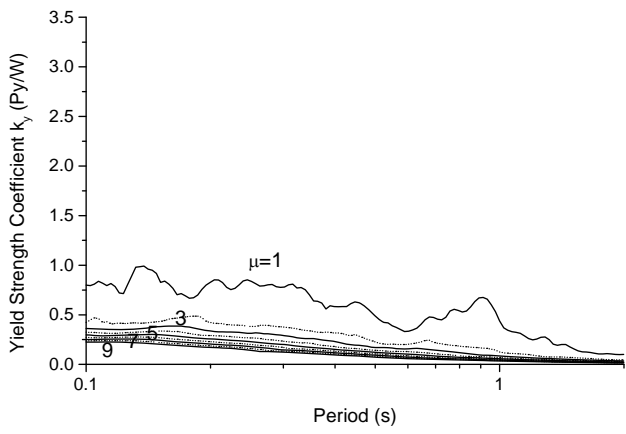


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

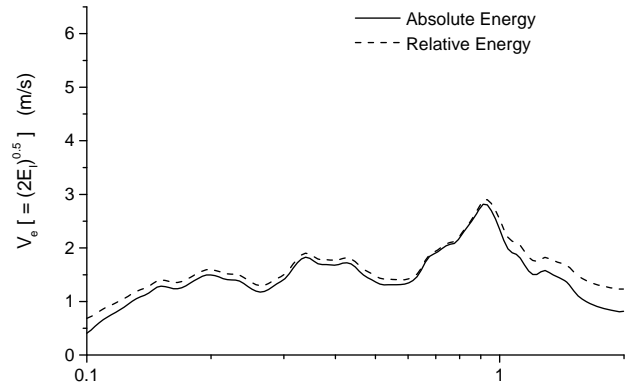


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

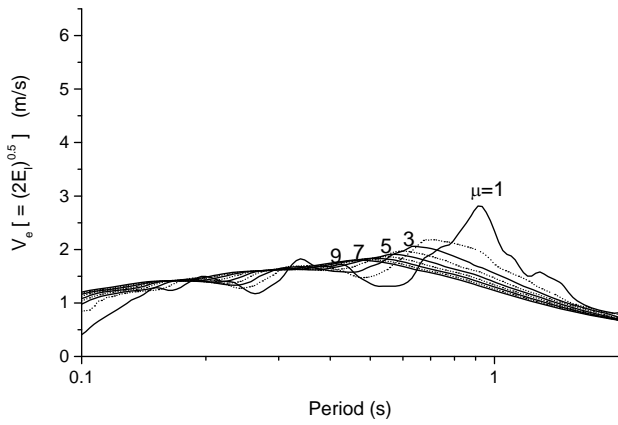


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

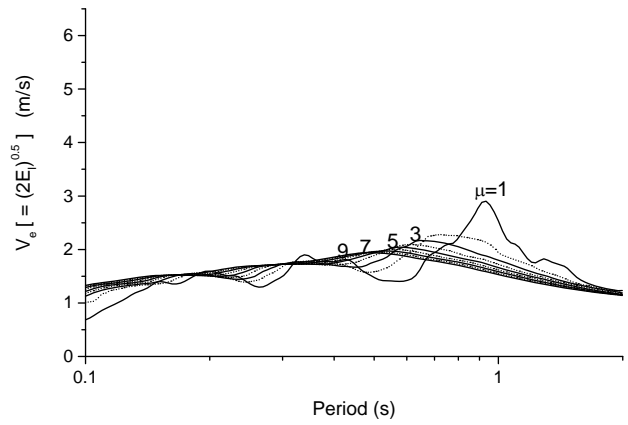


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 FKS019

地点名 二本松

観測時間 March 11-14:46:57

緯度 37.6030N 経度 140.4368E 標高 235.00m

震央距離 221km

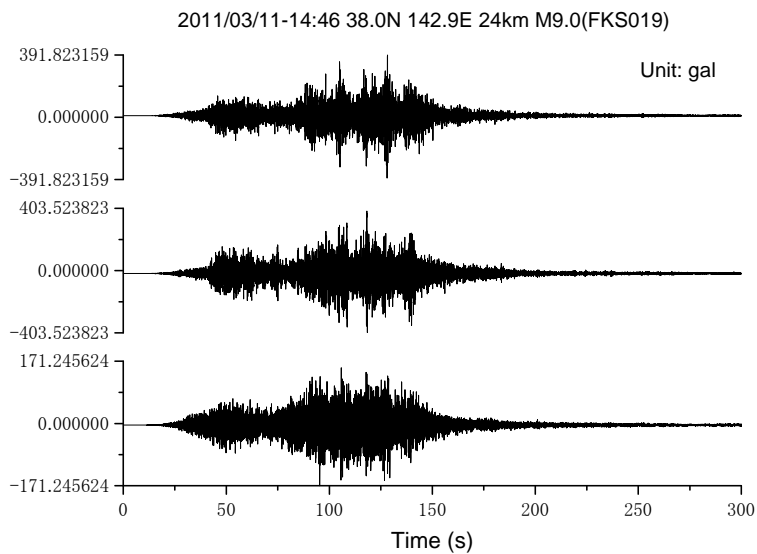
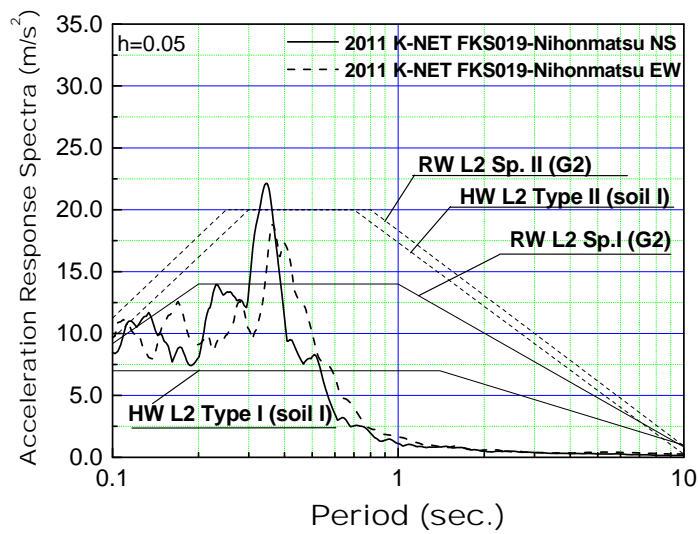
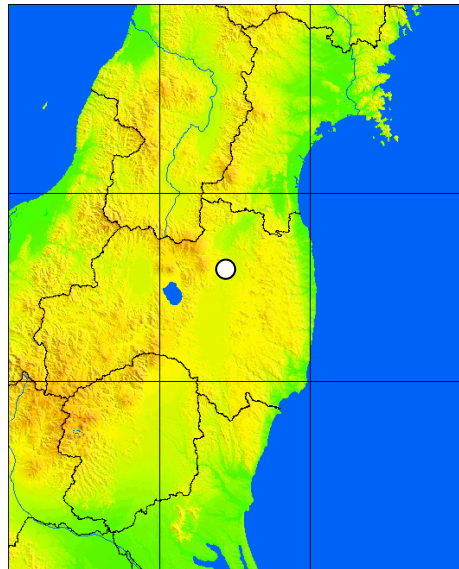
最大加速度 461.4gal

地盤周期 0.21s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 22.12m/s<sup>2</sup>(0.35s) (5%減衰)

所在地 福島県 二本松市 郭内 2-22



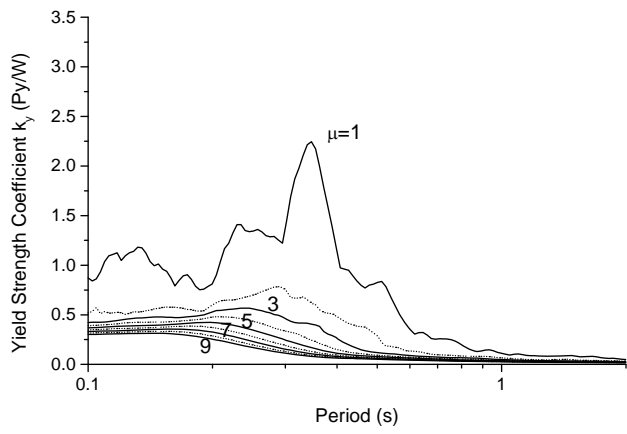


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

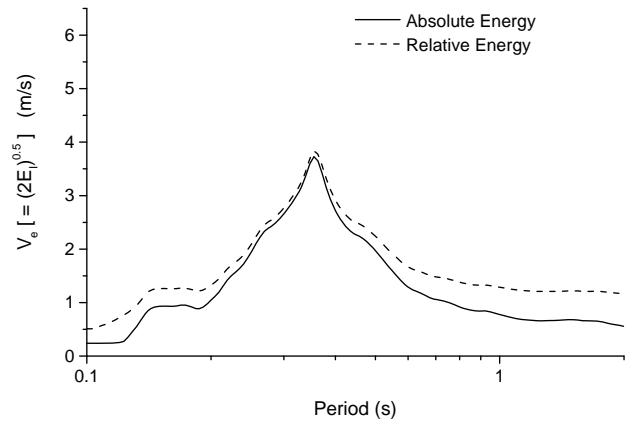


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

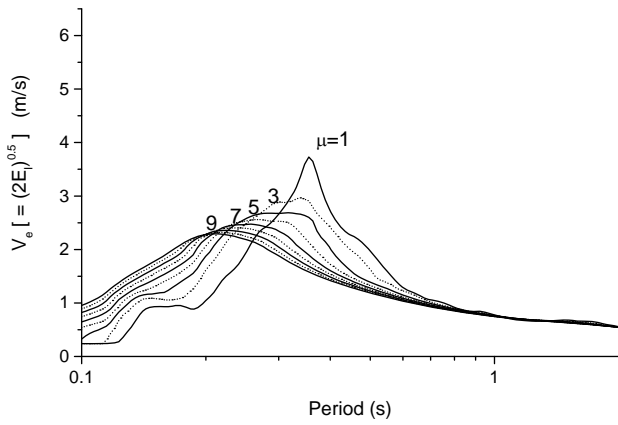


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

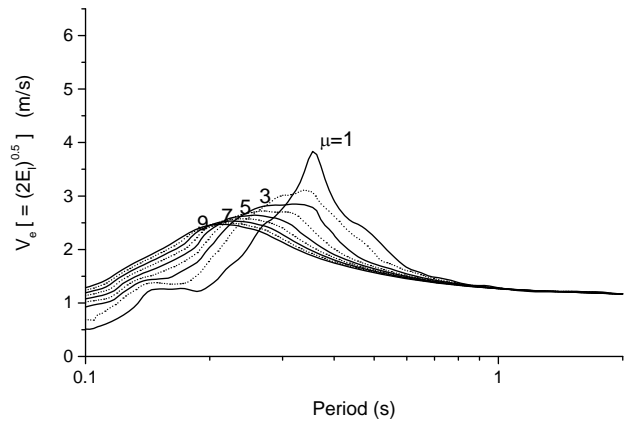


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 TCG001

地点名 黒磯

観測時間 March 11-14:47:10

緯度 36.9417N 経度 140.0828E 標高 254.80m

震央距離 275km

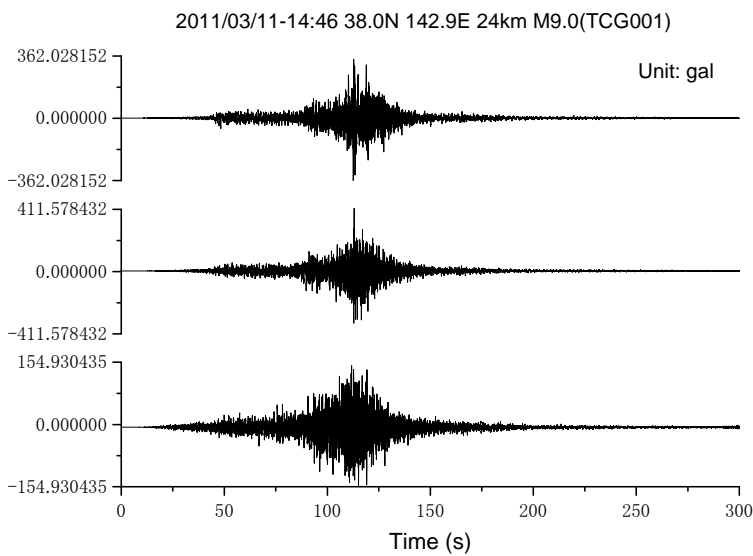
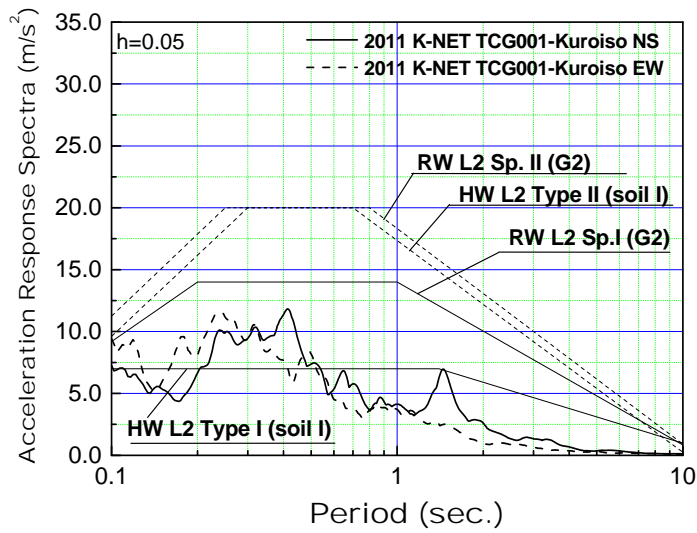
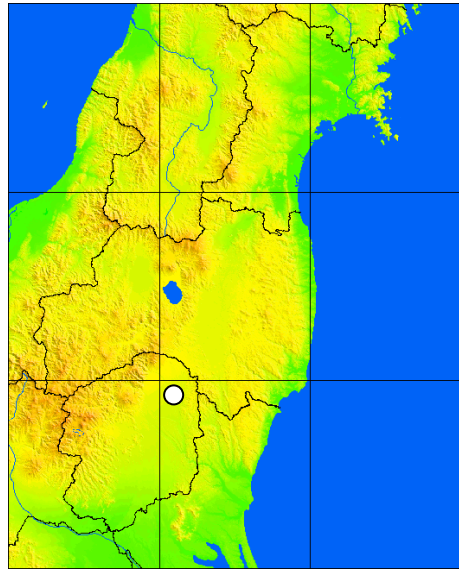
最大加速度 485.7gal

地盤周期 0.11s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 11.84m/s<sup>2</sup>(0.41s) (5%減衰)

所在地 栃木県 那須塩原市 鍋掛字鍋掛原 1477-1



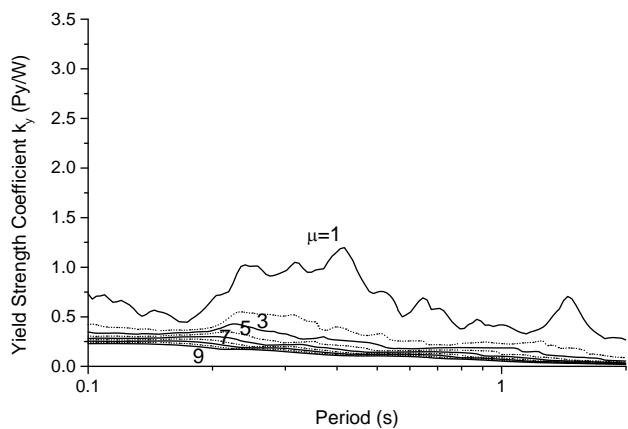


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

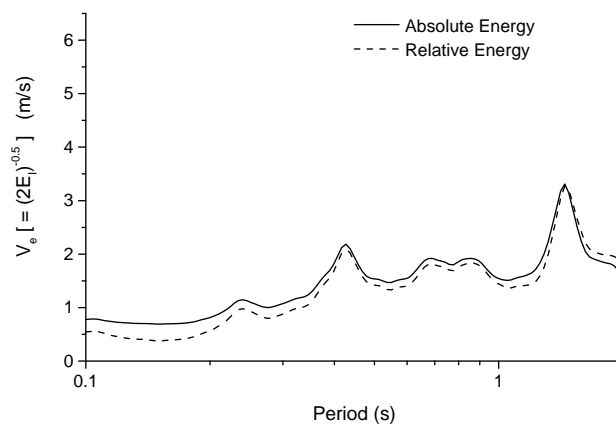


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

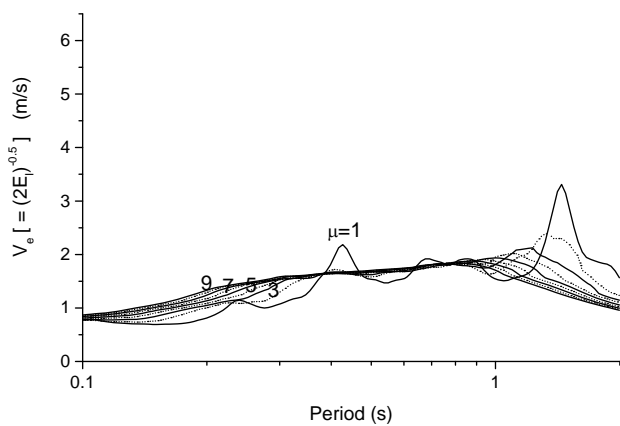


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

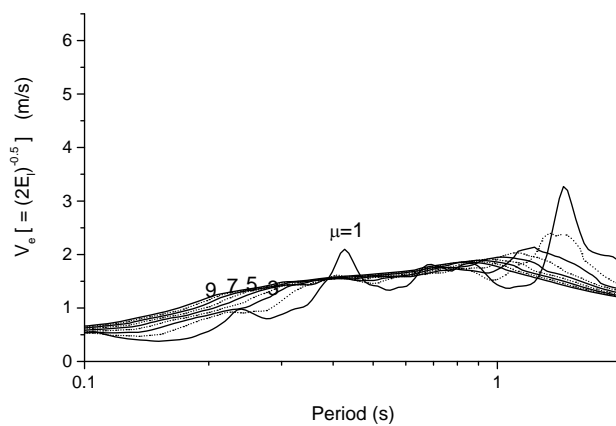


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤



<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 TCG014

地点名 茂木

観測時間 March 11-14:47:09

緯度 36.5450N 経度 140.1742E 標高 130.00m

震央距離 291km

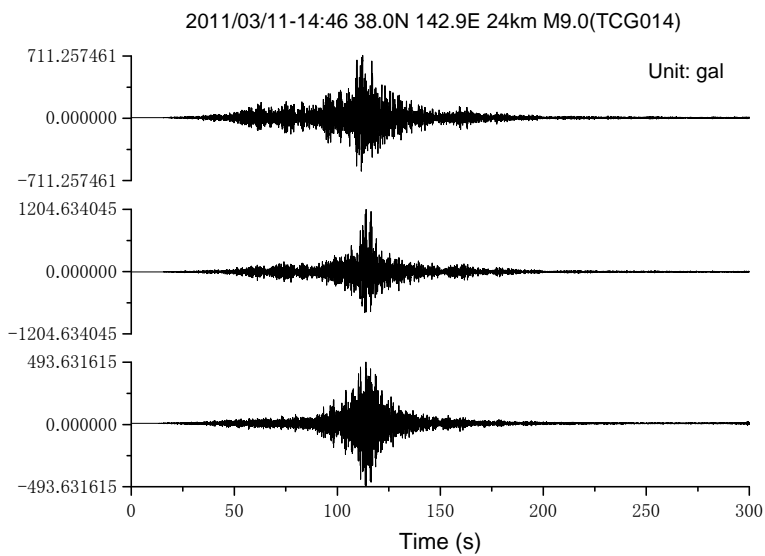
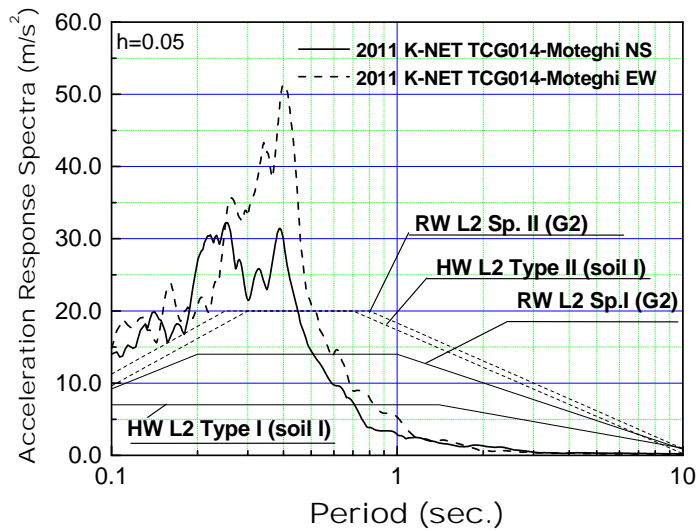
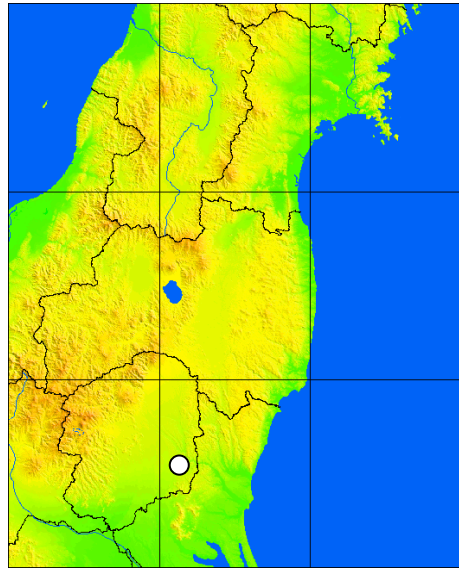
最大加速度 1291.1gal

地盤周期 0.17s

地盤種別(鉄道) G2 (道路) I種

応答スペクトル 51.37m/s<sup>2</sup>(0.40s) (5%減衰)

所在地 栃木県 芳賀郡 茂木町大字小井戸字並松 2758 並松運動公園



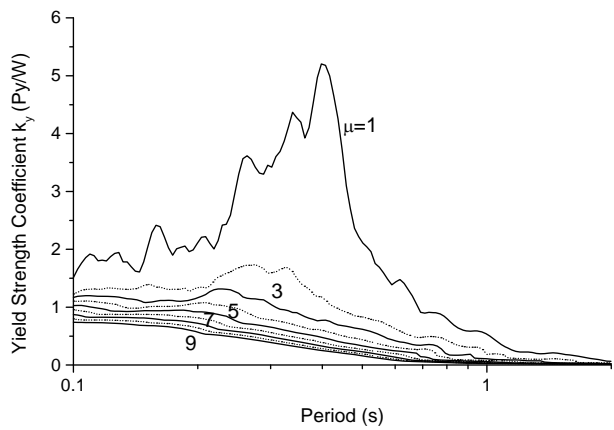


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

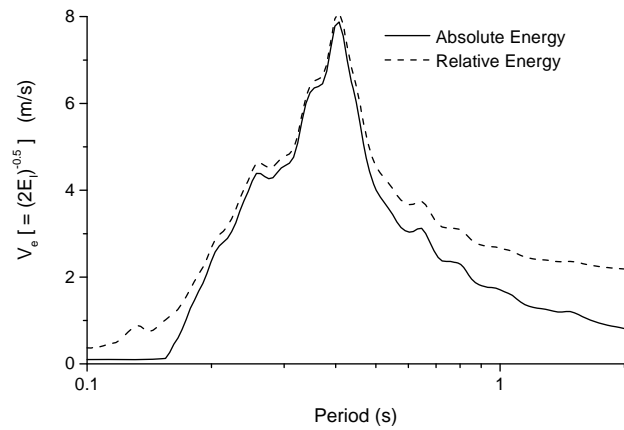


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

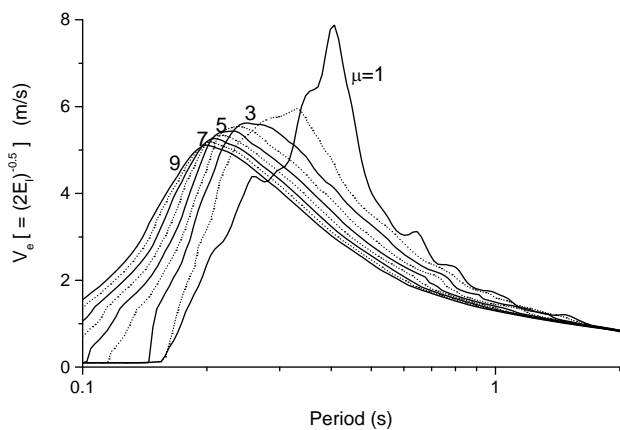


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

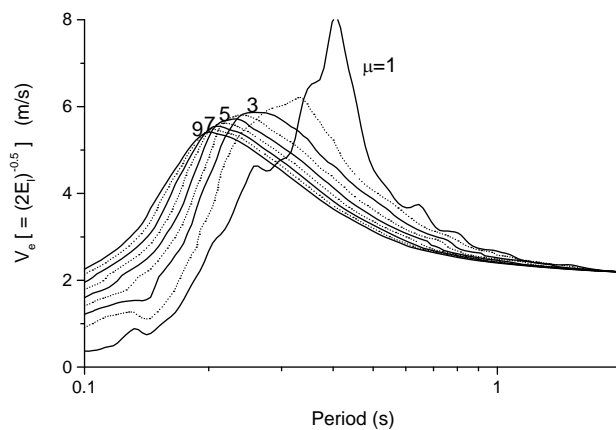


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤

<観測点情報>

地震計 K-NET02

観測点 IBR003

地点名 日立

観測時間 March 11-14:47:05

緯度 36.5915N 経度 140.6453E 標高 57.50m

震央距離 254km

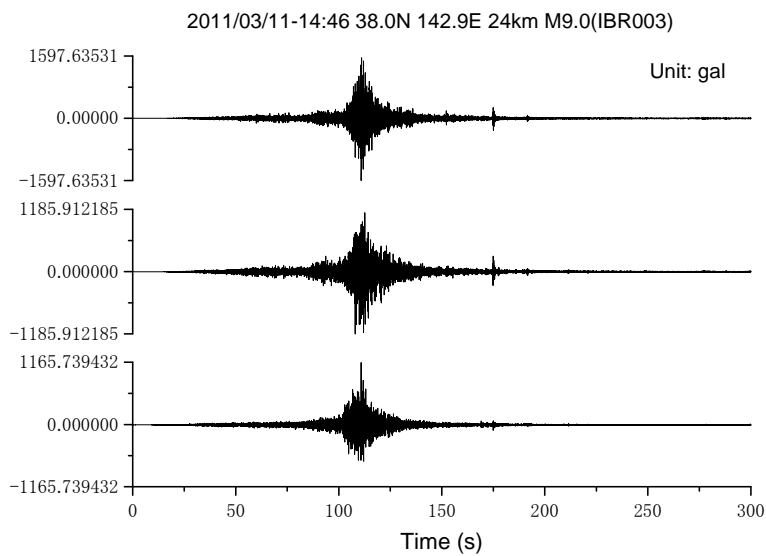
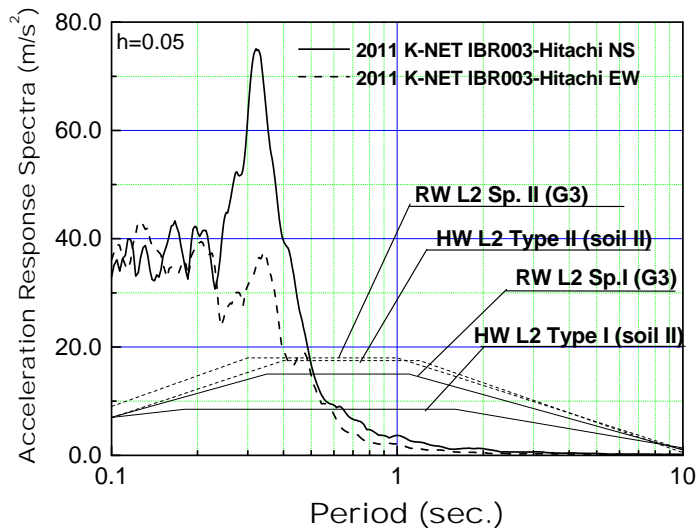
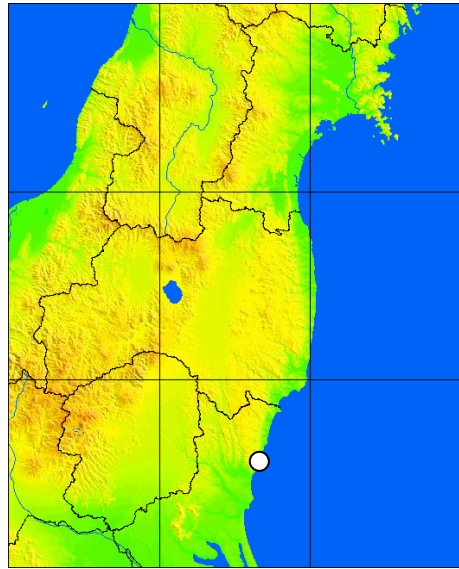
最大加速度 1845.2gal

地盤周期 0.33s

地盤種別(鉄道) G3 (道路) II 種

応答スペクトル 75.09m/s<sup>2</sup>(0.32s) (5%減衰)

所在地 茨城県 日立市 助川町 2 丁目 15 番地内



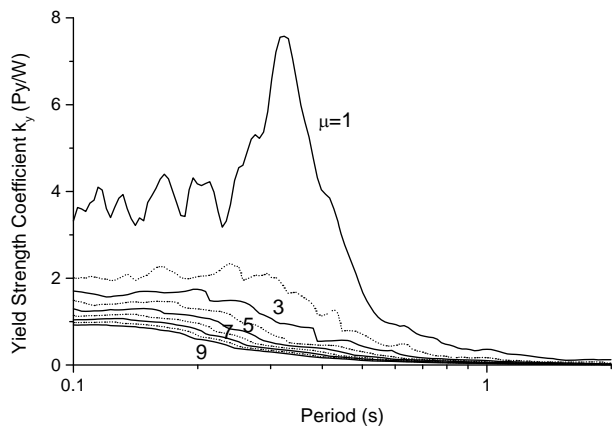


Fig.1 Constant-Ductility Response Spectrum

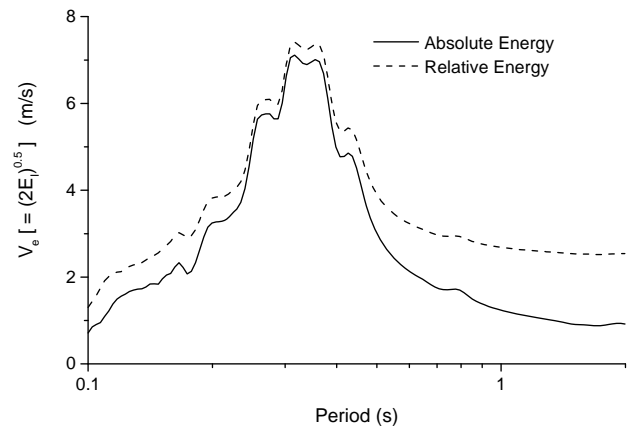


Fig.2 Linear Energy Equivalent Velocity (EEV)

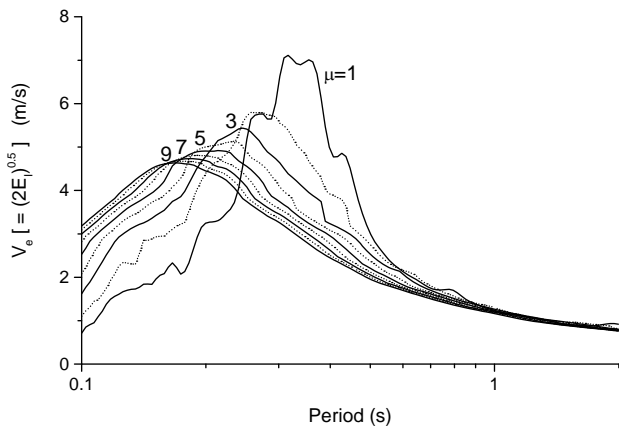


Fig.3 Absolute-EEV with Ductility Factors

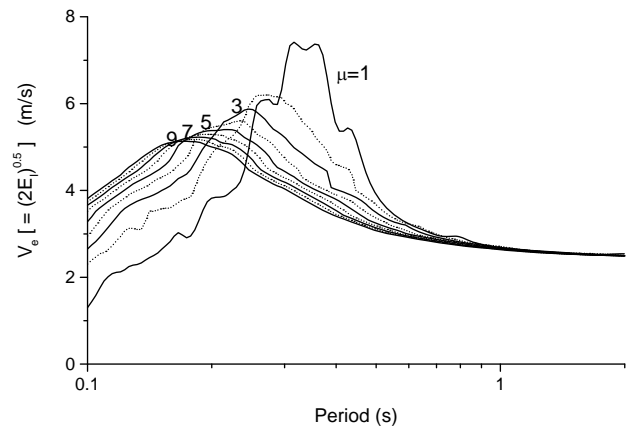


Fig.4 Relative-EEV with Ductility Factors

NIED 防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET  
のデータ等を使用させて頂いた。

埼玉大学理工学研究科 齊藤