

## 2.2 地震動とその特徴

### 2.2.1 水道施設の耐震診断・設計に用いる地震動

水道施設は、設計地震動のレベルおよび施設の重要度に応じて地震時にそれぞれの水道施設が保持すべき耐震性能を確保できるように耐震設計を行う。その際の設計地震動（入力地震動）は、レベル 1 地震動、レベル 2 地震動とともに時刻歴加速度波形、あるいは応答スペクトルで表現するが、構造物および解析手法別の表現方法は、表 2.2 のとおりである。

静的解析において地上構造物等に作用する地震荷重を求める際は加速度応答スペクトルを用い、地中構造物や埋設管路等に対する地盤変位量を求める際は速度応答スペクトルを用いる。また、動的解析においては主に時刻歴加速度波形を用いて時間により変化する地震荷重を与える。

表 2.2 構造物及び解析手法別の入力地震動の表現方法

構造物の分類		動的解析	静的解析
埋設管路		時刻歴加速度波形	速度応答スペクトル 設計震度
池状構造物	地上	時刻歴加速度波形 加速度応答スペクトル	加速度応答スペクトル 設計震度
	地中	時刻歴加速度波形	加速度応答スペクトル 速度応答スペクトル 設計震度
立坑・シールド・共同溝		時刻歴加速度波形	速度応答スペクトル 設計震度
水管橋		時刻歴加速度波形 加速度応答スペクトル	加速度応答スペクトル 設計震度

(引用：水道施設耐震工法指針・解説 2009 年度版 I 総論 P40)

### 2.2.2 地震動の特徴（本震）

#### 1) 最大加速度

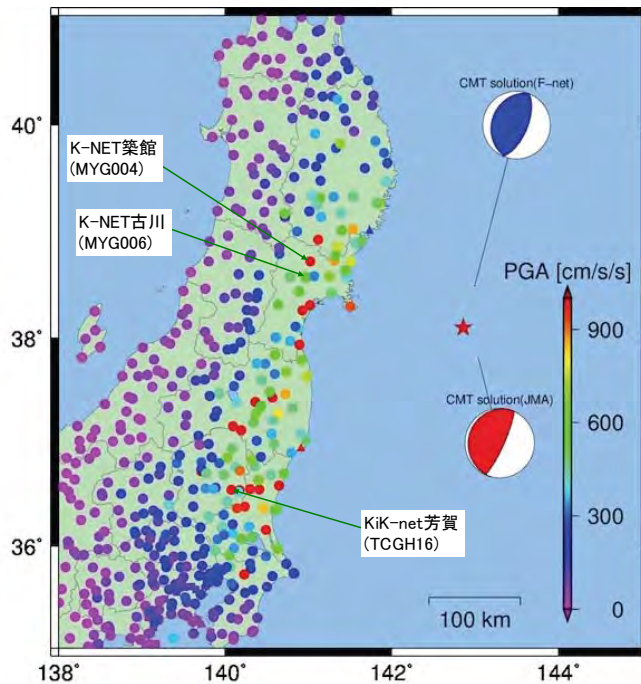
地震動の大きさを表す単位には、震度、ガル(gal)、カイン(kine)の単位がよく用いられ、ガル(Gal)は地震の揺れの強さを表すのに用いる加速度の単位である。

地震動の大きさは、加速度の大きさだけでは判断できず、その周期などが大きく影響する。

#### (最大加速度)

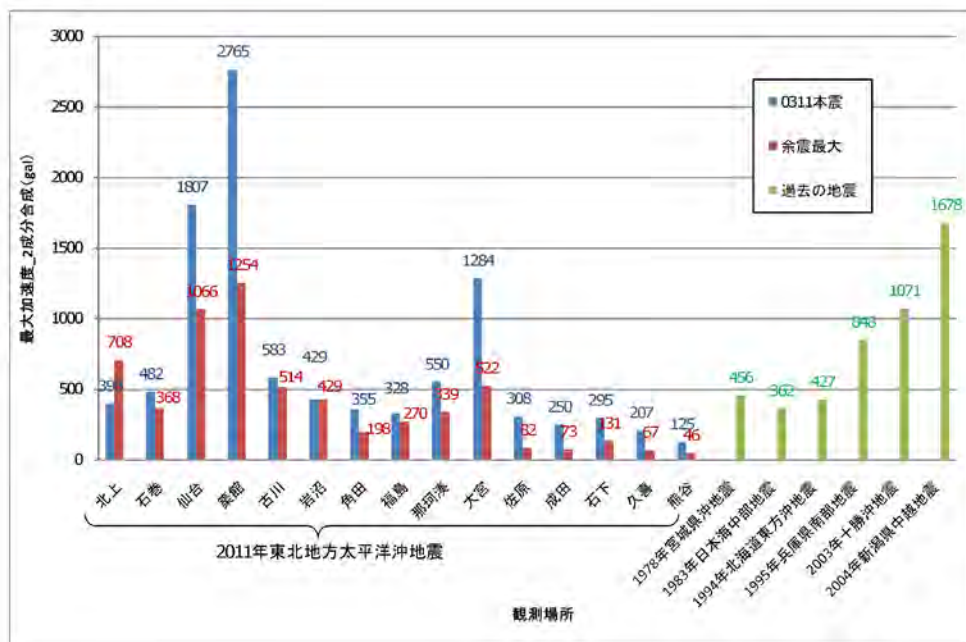
図 2.8 に観測された地震動（防災科学技術研究所の強震観測網 K-NET、KiK-net）の最大水平加速度分布を示す。

岩手県から茨城県にかけての広い範囲で最大加速度が  $500\text{cm/sec}^2$  を超え、 $1,000\text{cm/sec}^2$  を上回る地点も点在する。図 2.9 のとおり過去の地震と比較すると、本地震で最も高い数値が観測された宮城県栗原市築館のほか、仙台市などでも高い数値を記録した。



(引用：土木学会東日本大震災被害調査団（地震工学委員会）緊急地震被害調査報告書より、一部追記）

図 2.8 最大水平加速度の分布



(引用：財団法人 国土技術研究センター)

図 2.9 最大加速度（過去の地震との比較）

**(周期)**

地上構造物は、その形状や寸法、材質など多くの要素が関係してそれぞれ個別に揺れやすい周期（固有周期）を持っている。

それぞれの地震動には周期があり、地上構造物の固有周期における加速度の大きさが地

上構造物の被害規模に関係する。両者の周期が一致した場合には共振して被害が大きくなることもある。

絶対加速度応答スペクトルの最大値を与える周期(卓越周期)の分布図を図 2.10 に示す。加速度の大きかった地点の卓越周期は、ほとんどが 0.5 秒以下の短周期であった。(ただし、宮城県大崎市古川などの一部では卓越周期が 0.75~1.0 秒であった。(図 2.12 参照))

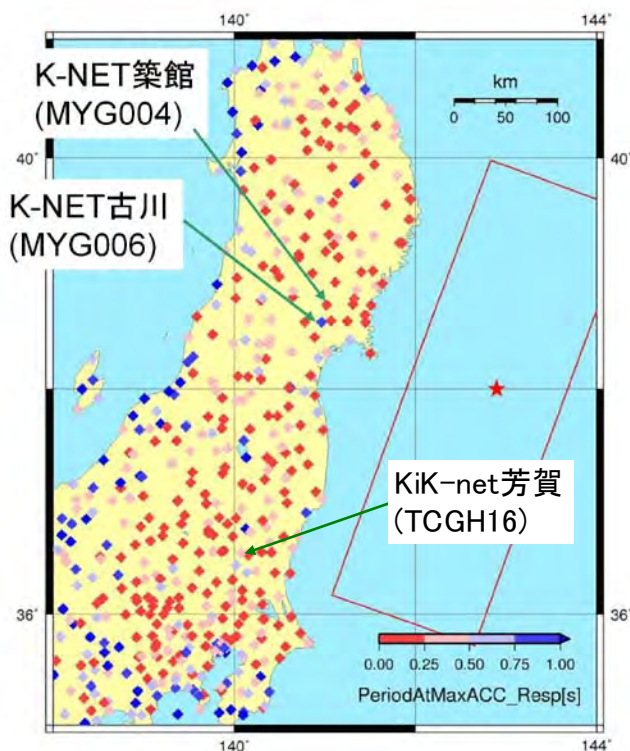
一般的に木造家屋、非木造の中低層建築物の固有周期は 1~2 秒とされている。図 2.11 をみると阪神大震災では 1~2 秒が卓越周期となっており加速度応答スペクトル値が大きく、木造家屋等の被害が甚大であった。

これに対し、東北地方太平洋沖地震の宮城県栗原市築館、栃木県芳賀町の固有周期が 1~2 秒の値は阪神・淡路大震災の値の 1/2 以下となっており、今回は最大加速度の大きさのわりに木造家屋等の被害が少なかった。

一方、水道施設の地上の池状構造物は、高さの低いものが多く、それらの施設の固有周期はおよそ 0.1~0.2 秒前後である。

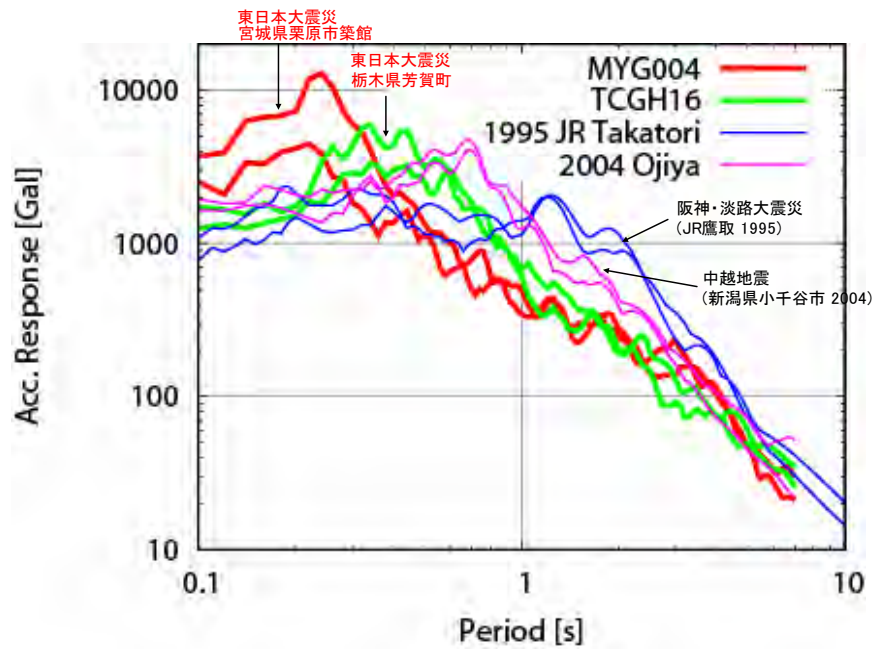
東日本大震災で観測された築館(宮城県栗原市)は、卓越周期は 0.2~0.5 秒程度と短周期であったが、今回の地上構造物の被害状況から判断すると、水道施設の固有周期とはおそらく一致はしなかったと推察される。

また、地上の池状構造物の固有周期 0.1~0.2 秒前後の加速度応答スペクトル値は高く、阪神大震災の卓越周期における値以上となっている。しかし、短い周期帯の揺れは、加速度が大きいのは一瞬だけであり、1~2 秒における加速度応答スペクトル値との大きさの比較はしにくいと考えられている。

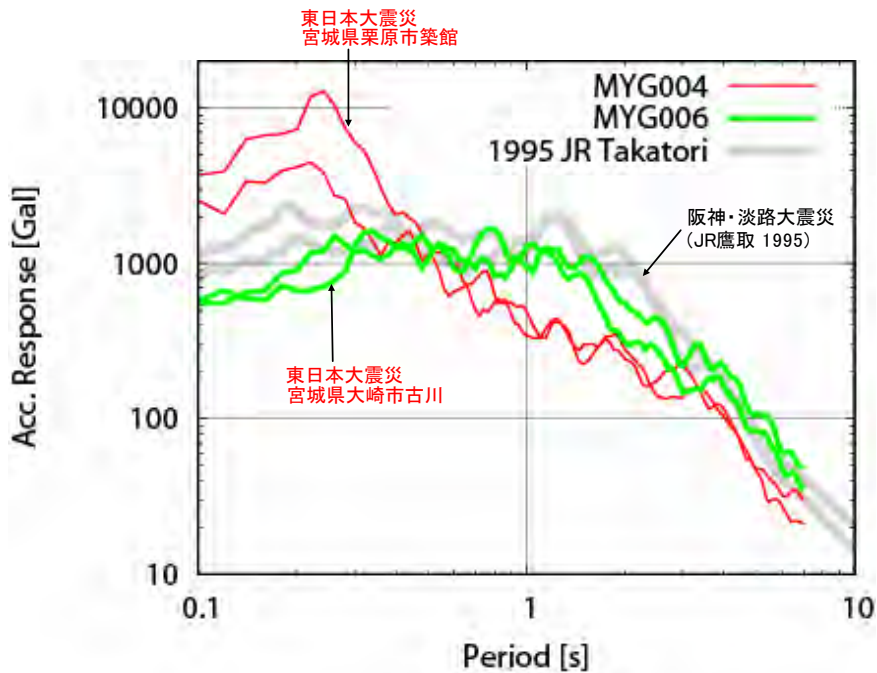


(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)

図 2.10 絶対加速度応答スペクトルの最大値を与える周期の分布



(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)  
 図 2.11 加速度応答スペクトル（過去の震度7クラスの地震との比較）



(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)  
 図 2.12 加速度応答スペクトル（大崎市古川等と阪神・淡路大震災のとの比較）

## 2) 最大速度

カイン(kine)は、地震動の大きさを表す単位としてよく用いられ、地震の揺れの強さを表すのに用いる速度の単位である。

速度でみる地震動の大きさも、加速度と同様に速度の大きさだけでは判断できず、その周期などが大きく影響する。

### (最大速度)

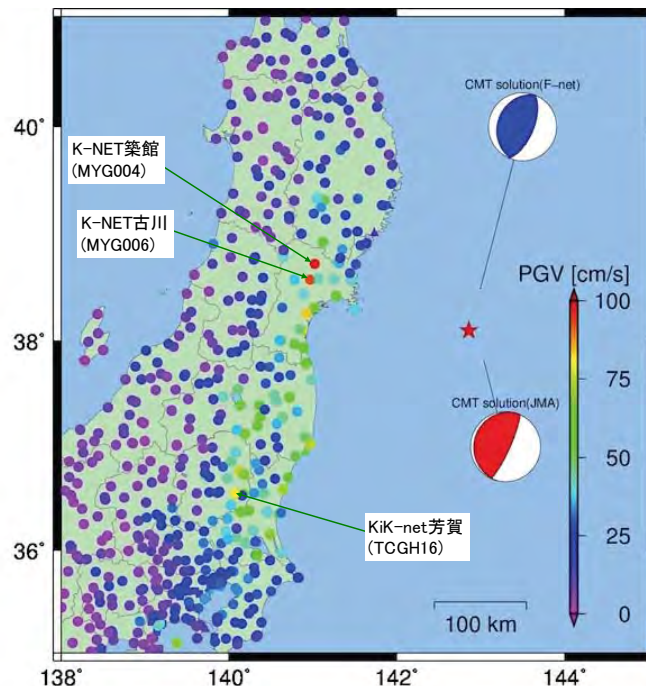
最大速度分布を図 2.13 に示す。最大加速度と同様に宮城県栗原市で最大速度が観測された。

### (周期)

相対速度応答スペクトルの最大値を与える周期(卓越周期)の分布図を図 2.14 に示す。速度の大きかった地点の卓越周期は、ほとんどが 0.5 秒以下の短周期であった。ただし、加速度と同様に宮城県大崎市古川などの一部では卓越周期が 1.0~2.0 秒であった(図 2.16 参照)。

図 2.15 の速度応答スペクトル図で阪神・淡路大震災、中越地震と比較すると、最大を記録した宮城県栗原市や栃木県芳賀町は 0.5 秒以下の短周期で速度スペクトルが最大となっている。

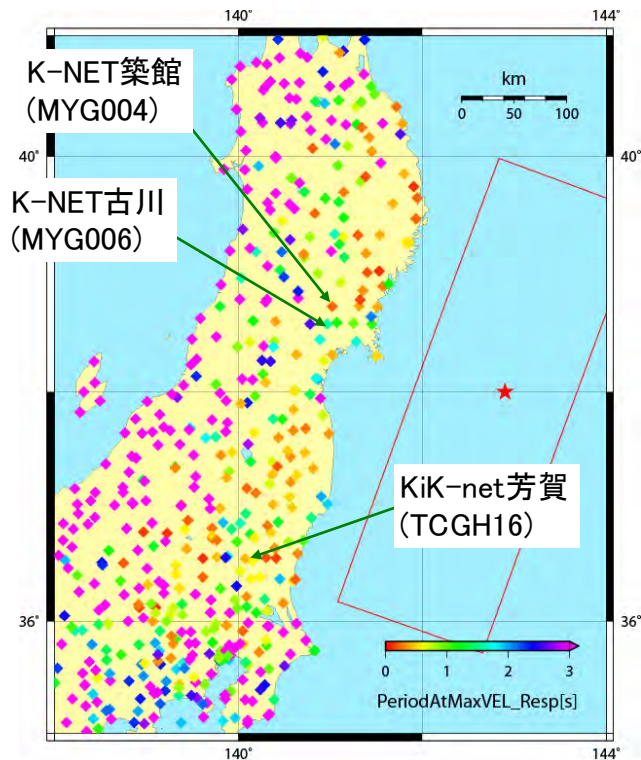
図 2.16 の卓越周期が 1.0~2.0 秒であった大崎市古川は、大きさは阪神・淡路大震災より小さいが、よく似た傾向を示していた。



(引用：土木学会東日本大震災被害調査団(地震工学委員会) 緊急地震被害調査報告書より、一部追記)

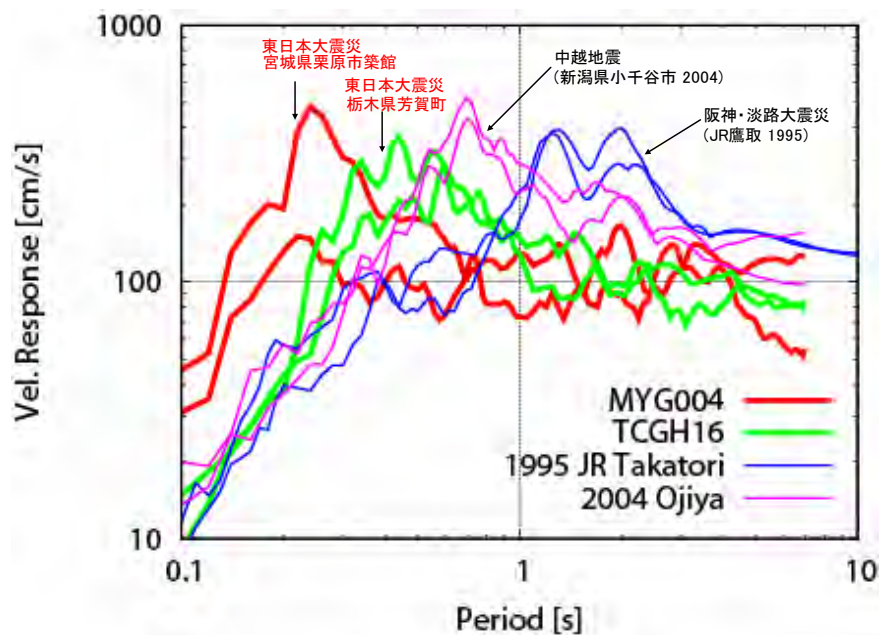
図 2.13 最大水平速度分布





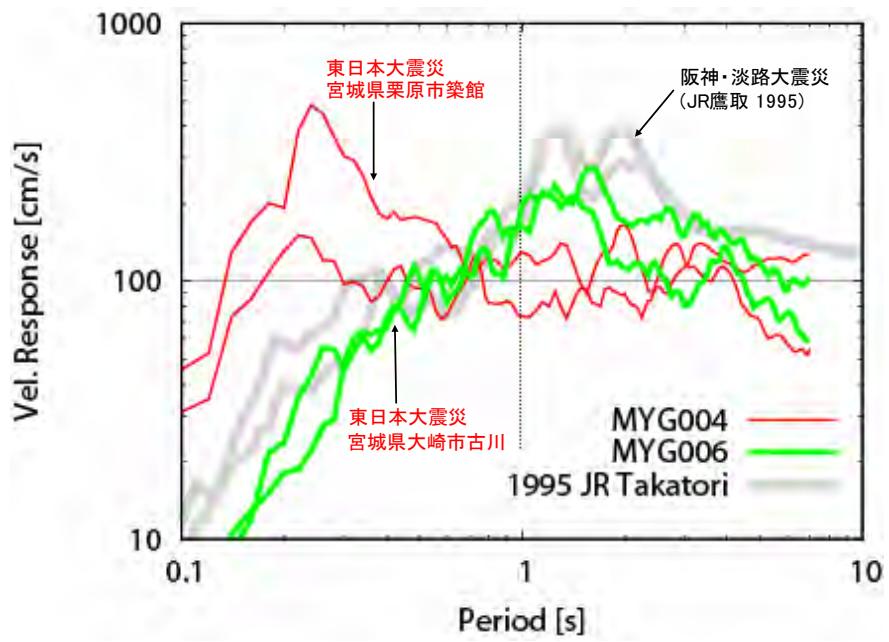
(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)

図 2.14 相対速度応答スペクトルの最大値を与える周期の分布



(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)

図 2.15 速度応答スペクトル（過去の震度7クラスの地震との比較）



(引用：東京工業大学大学院 盛川仁准教授、京都大学 後藤浩之准教授作成資料、一部追記)

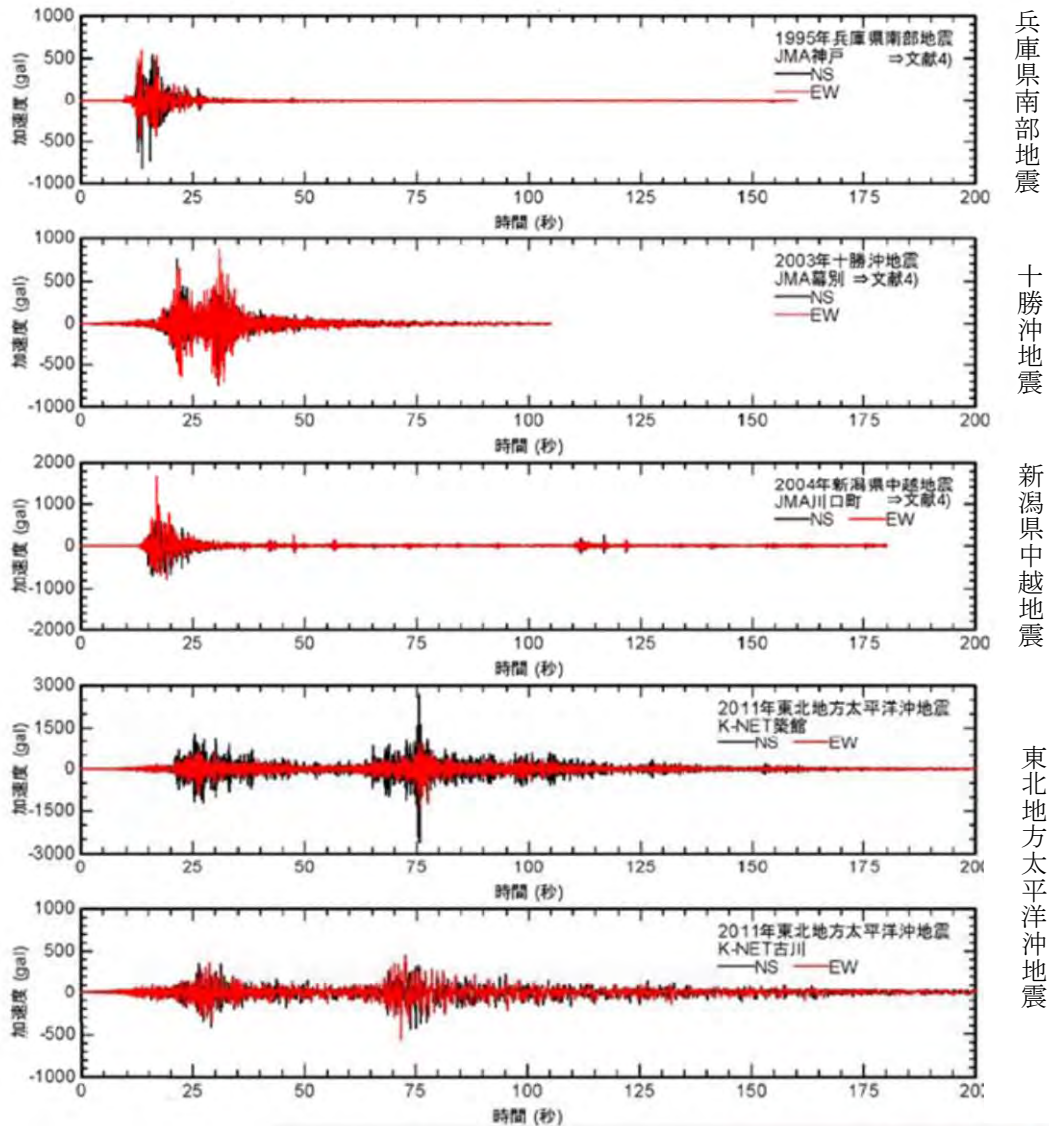
図 2.16 速度応答スペクトル (大崎市古川と阪神・淡路大震災のとの比較)

### 3) 時刻歴加速度波形

図 2.17 に東北地方太平洋沖地震(本震)と過去の地震の時刻歴加速度波形を、図 2.18 には各地震の継続時間を示す。継続時間は、地震発生から初めて 50gal を計測した時刻と最後に 50gal を計測した時刻の差で求めたものである。

過去の地震と比較して東北地方太平洋沖地震(本震)は 3~8 倍の継続時間を有しており(古川の継続時間で 178 秒)、既往の記録に比べて継続時間が長いことが特徴となっているが、これは先述のとおり、断層が大きく、断層の破壊継続時間が長くなったためである。

また、4月7日の余震は過去の地震の継続時間とほぼ同じである。



兵庫県南部地震

十勝沖地震

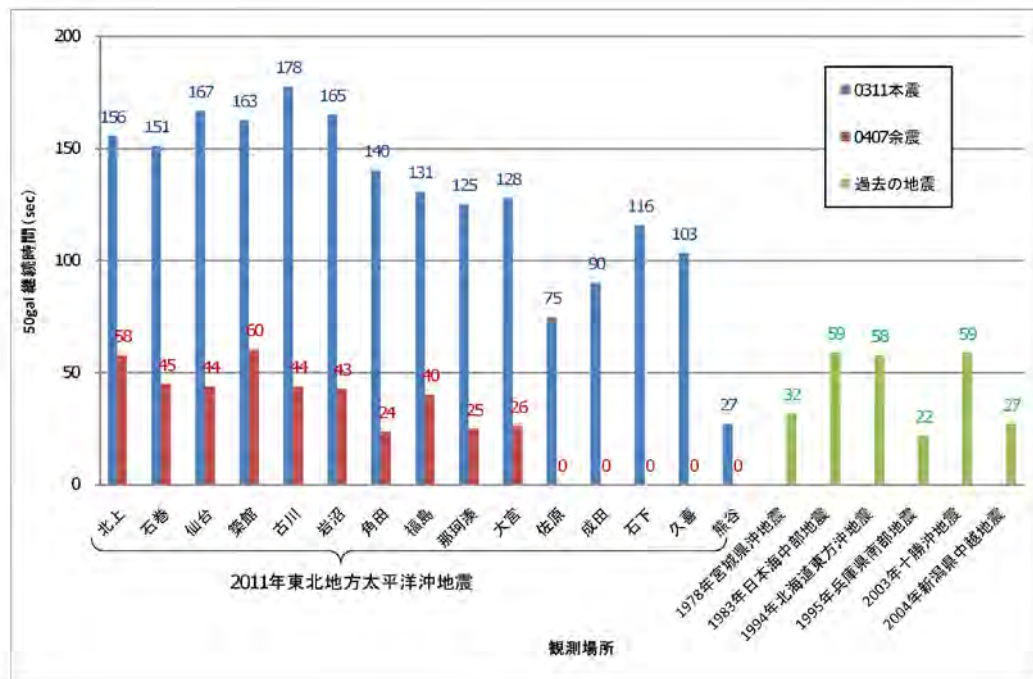
新潟県中越地震

東北地方太平洋沖地震

(引用：財団法人 国土技術研究センター、一部追記)

図 2.17 時刻歴加速度波形 (過去の地震との比較)





(引用：財団法人 国土技術研究センター)

図 2.18 地震動の継続時間 東北地方太平洋沖地震と過去の地震