

東海第二発電所

地震対策について

平成31年3月22日

日本原子力発電株式会社

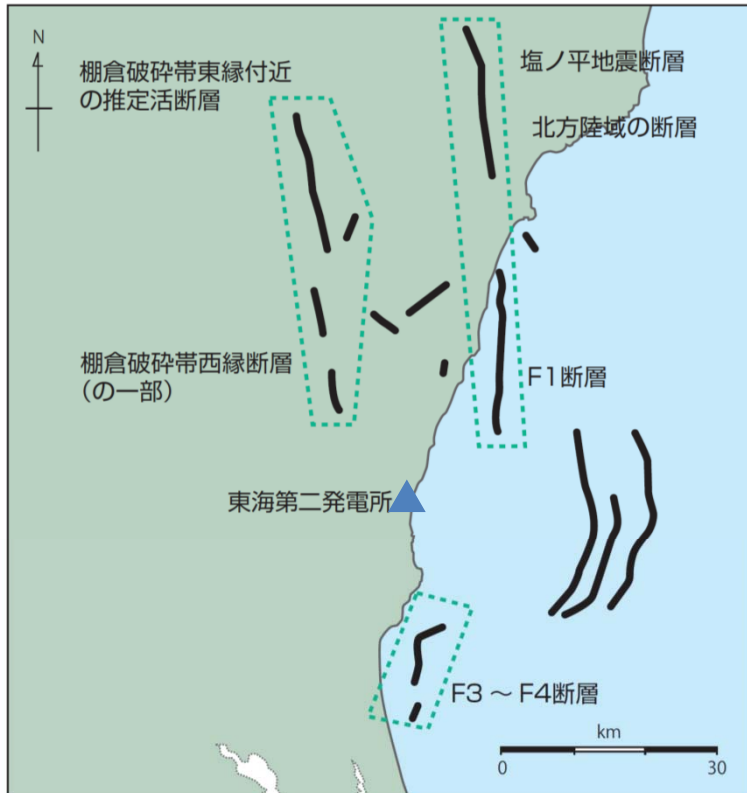
目 次

1. 東海第二発電所の立地地盤について	1- 1
2. 基準地震動の策定の流れ	1- 2
3. 検討用地震の選定	1- 3
4. 基準地震動の策定	1- 4
5. 既存設備及び新設設備への影響評価	1- 5
6. 評価の結果(既存設備)	1- 6
7. 評価の結果(新設設備)	1- 7
補 足	1- 8
解 説	1-15

1. 東海第二発電所の立地地盤について



- 発電所敷地には「活断層と認定される断層」はなく将来活動する可能性のある断層は認められなかった。
- 敷地周辺の調査の結果、左図の断層を震源として考慮する活断層として評価する。



※発電所敷地内には活断層はありません

(凡例)

- 発電所の耐震設計をする際に考慮している断層
- 異なる断層が連動することを想定して考慮している断層



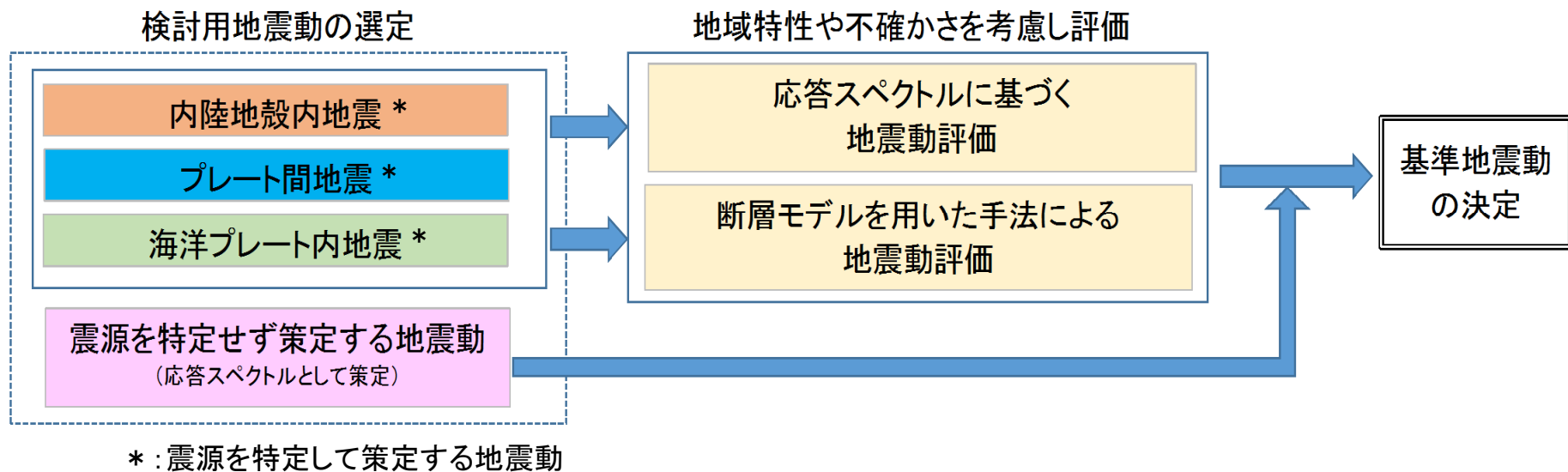
地質や断層の調査の様子



2. 基準地震動の策定の流れ



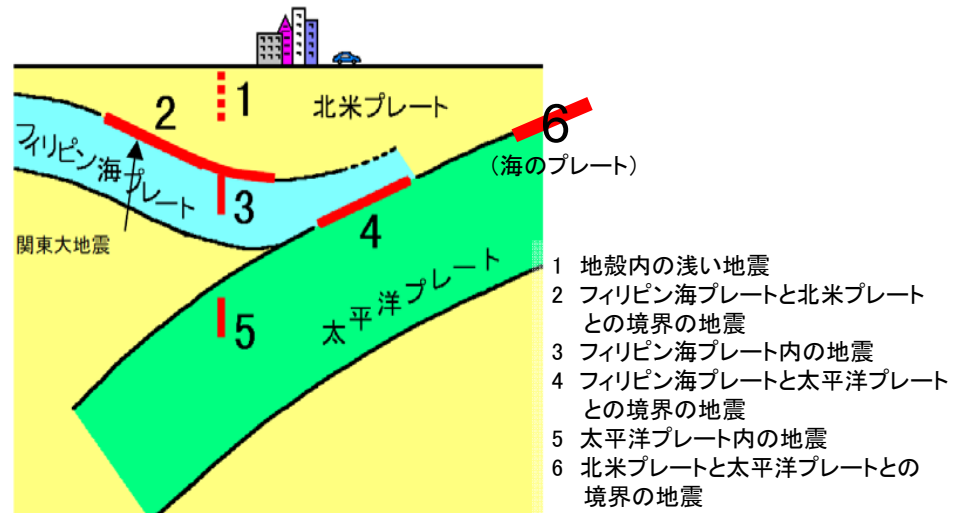
- 基準地震動の策定は,
 - ↳ 検討用地震の選定
 - ・ 震源を特定して策定する地震動
活断層調査結果や地震発生状況等を勘案し、内陸地殻内地震、プレート間地震、海洋プレート内地震ごとに検討用地震を選定。
 - ・ 震源を特定せず策定する地震動
震源を特定しないで日本各地で起きた地震を調べ、東海村近辺で起きたと仮定して最も影響の大きい地震を選定。
 - ↳ そのうえで地域特性や不確かさを考慮



3. 検討用地震の選定

- 下表に示す4つの発生形態毎に以下の検討用地震（敷地に最も大きな影響を与える地震）を抽出した。
 - レ 内陸地殻（北米プレート）で発生する浅い地震のうち、地盤調査をもとに敷地北側の断層を選択し、且つ不連続の断層の連動も考慮した。
 - レ 地下プレート（北米プレート、フィリピン海プレート、太平洋プレート）のそれぞれの境界で発生する地震のうち、2011年東北地方太平洋沖型地震を選定した。
 - レ 海洋プレート（フィリピン海プレート、太平洋プレート）の内部で発生する地震のうち、茨城県南部で発生した地震をもとに選定した。
 - レ 震源を特定せず策定する地震動は、震源と活断層を関連付けることが困難な内陸地殻内地震の震源を敷地近傍に仮定して敷地に最も大きな影響を与える地震を評価した。

地震発生様式		検討用地震
敷地ごとに震源を特定して策定する地震動	内陸地殻内地震	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (M7.8)
	プレート間地震	2011年東北地方太平洋沖地震 (Mw9.0)
	海洋プレート内地震	茨城県南部の地震 (M7.3)
震源を特定せず策定する地震動	2004年北海道留萌支庁南部地震	



- ・ 内陸地殻内地震は図の1のタイプである。
- ・ プレート間地震は図の2, 4, 6のタイプである。
- ・ 海洋プレート内地震は図の3, 5のタイプである。

4. 基準地震動の策定



- 選定した検討用地震に地域特性や不確かさを加え、基準地震動（耐震設計上の基となる値）を策定。策定時考慮した事項は以下のとおり。

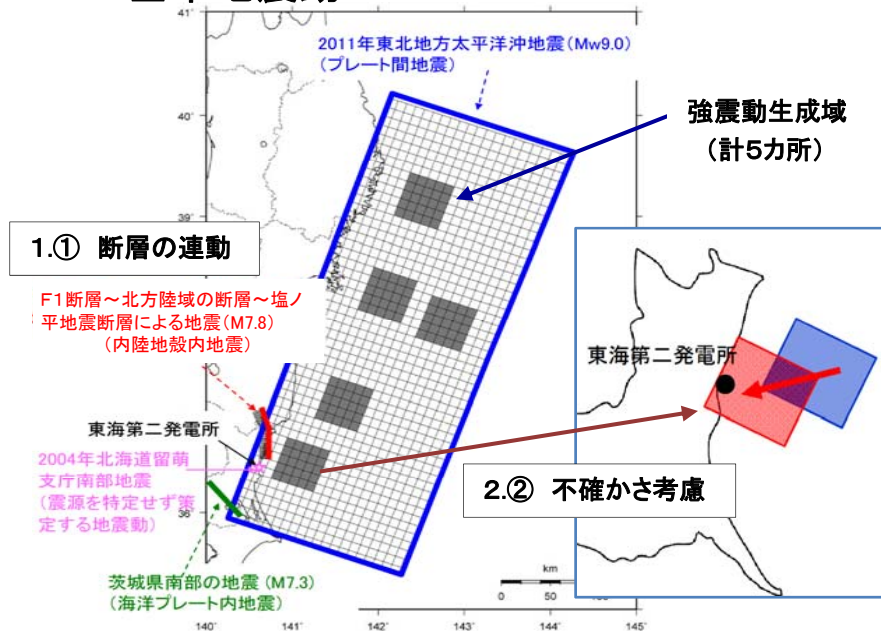
1. 地域特性：敷地周辺の断層による浅い地震について連動を考慮

- ①従来別々に評価していた二つの断層（F1断層-北方陸域断層連動と塩ノ平地震断層）を連動として評価した。結果、断層長さは44kmから58kmに延長した。

2. 不確かさ：地震動評価で考えられる不確かさを考慮（より大きな地震も想定）

- ①固い構造物が共振しやすい短い周期の地震波の大きさを評価値より5割増しにした。
- ②三陸沖から茨城県沖にかけて設定したプレート間において、過去強い地震動が発生した5つの領域（強震動生成域）のうち、敷地に最も近い茨城県沖の強震動発生領域の位置を敷地に最も近い位置に設定した。

● 基準地震動



基準地震動策定結果

評価地震の種別	最大値(ガル)
内陸地殻内地震 (4波)	903
プレート間地震 (2波)	1009
2004年北海道留萌支庁南部地震(1波)	610
応答スペクトル手法 (1波)	870

2011年時点の
基準地震動
600ガル

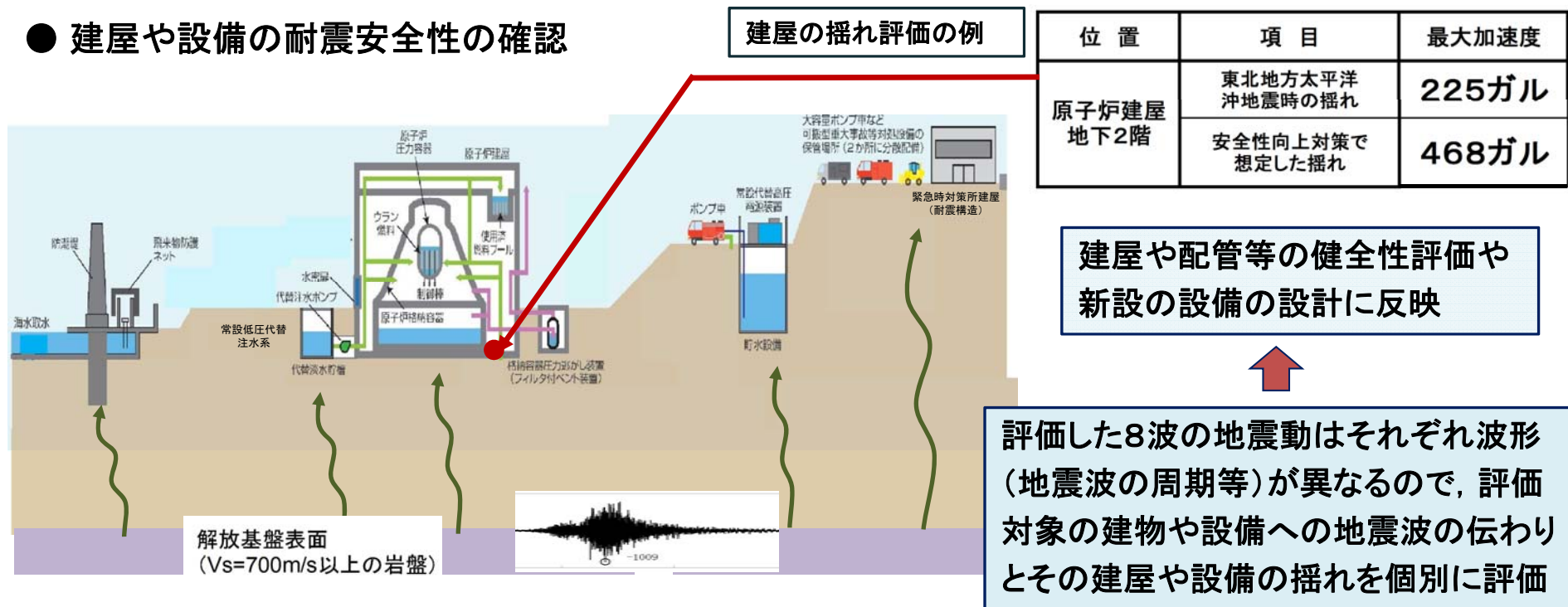
* 海洋プレート内地震は他の基準地震動に包括される。

5. 既存設備及び新設設備への影響評価



- 策定した基準地震動により既存の耐震重要設備について問題の有無を確認した結果、**建屋や設備の更新の必要はない。**（設備のサポート等の補強は必要）
- 新たに設置する防潮堤や重大事故等に対処するための設備等については、基準地震動によるそれぞれの揺れを評価し、それに対して**健全性を有するよう設計に反映し、製作・施工する。**

● 建屋や設備の耐震安全性の確認



6. 評価の結果(既存設備)



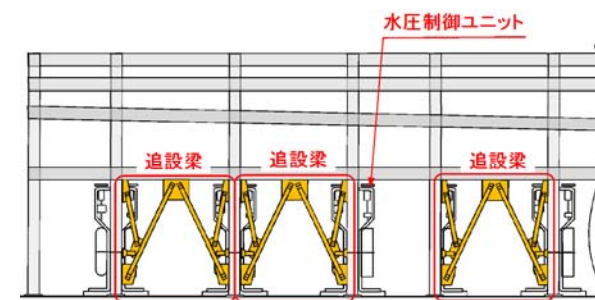
- 策定した基準地震動により、既存の耐震重要設備の引張応力や応答加速度などを評価した結果、**建屋や設備の更新の必要はない。**
- 制御棒駆動系水圧制御ユニットなど、一部の耐震重要設備については**サポート等の補強を実施することにより、許容値を十分下回ることを確認**している。

【サポート補強例（制御棒駆動系水圧制御ユニット）】

【現状】



【サポート補強（イメージ）】



評価対象設備	評価項目	評価部位	応力分類	発生値	許容値
水圧制御ユニット	構造強度	フレーム	組合応力	74 MPa	270 MPa
	機能維持	CRDスクラム弁	応答加速度 (水平)	1.29 G	6 G

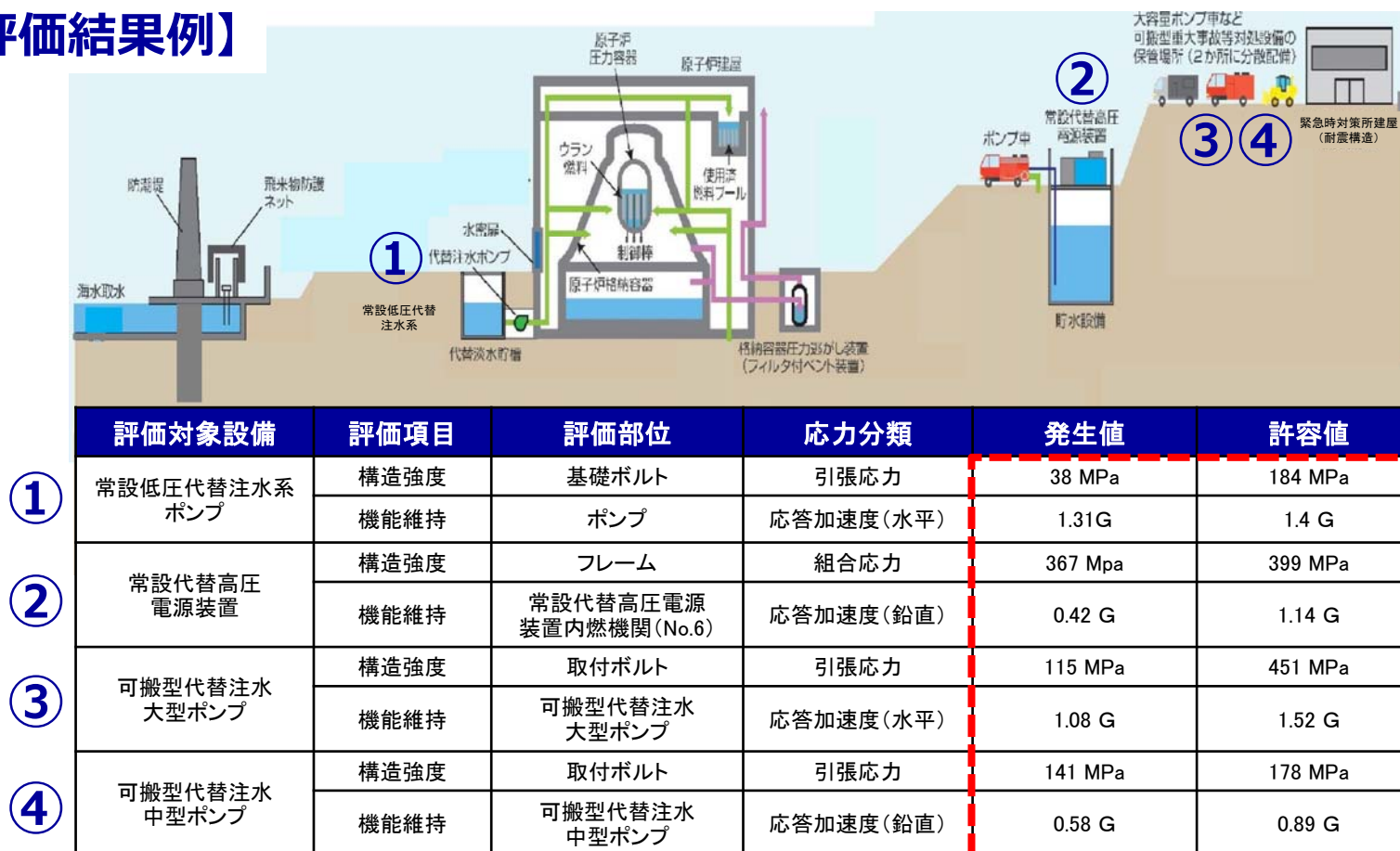
サポート補強により、許容範囲を十分下回ることを確認

7. 評価の結果(新設設備)



- 新たに設置する防潮堤や重大事故等に対処するための設備等については、基準地震動によるそれぞれの設備の引張応力や応答加速度などを評価し、**許容値を十分下回ることを確認した。**
- 例えば、常設低圧代替注水系については、引張応力許容値184MPaに対し発生値が38MPaとなり、許容範囲を十分下回る評価となっている。

【評価結果例】



許容範囲を十分下回ることを確認

【補 足】 基準地震動の評価の詳細(最大加速度)



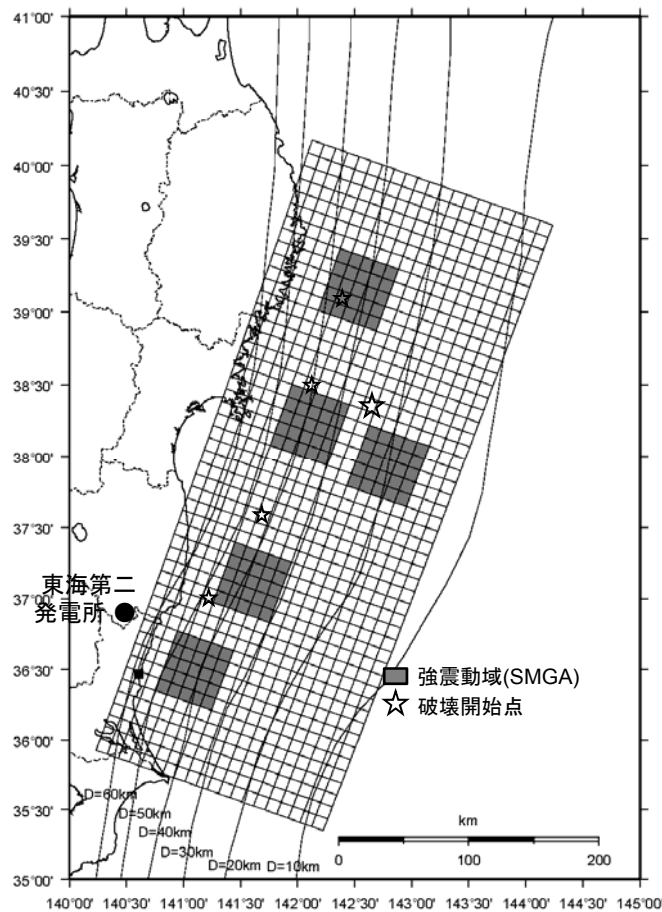
■ 基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D1	応答スペクトル手法による基準地震動	870		560
Ss-11	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	717	619	579
Ss-12	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	871	626	602
Ss-13	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	903	617	599
Ss-14	F1断層～北方陸域の断層～塩ノ平地震断層による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点2)	586	482	451
Ss-21	2011年東北地方太平洋沖型地震 (短周期レベルの不確かさ)	901	887	620
Ss-22	2011年東北地方太平洋沖型地震 (SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳)	1009	874	736
Ss-31	2004年北海道留萌支庁南部地震の検討結果に保守性を考慮した地震動	610		280

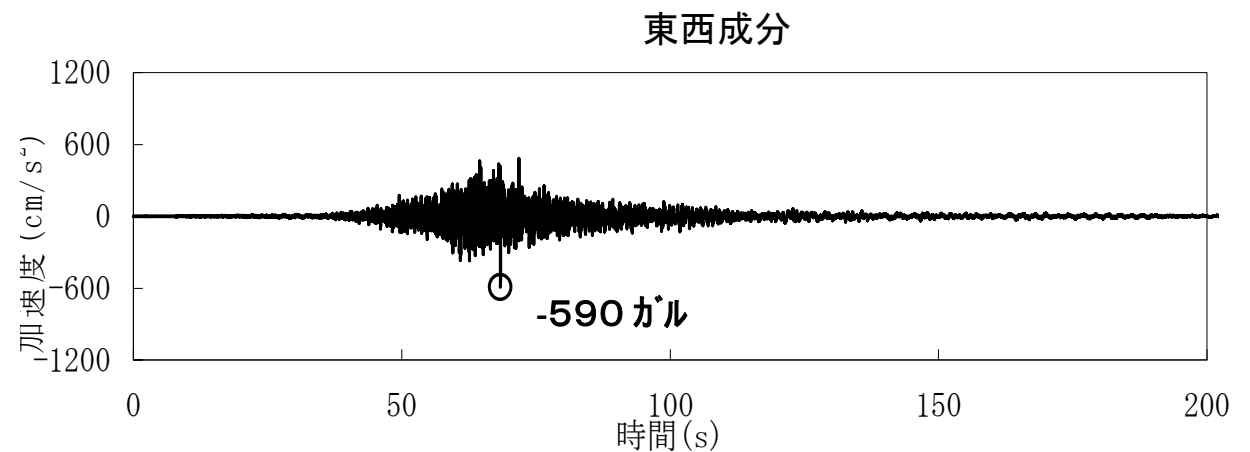
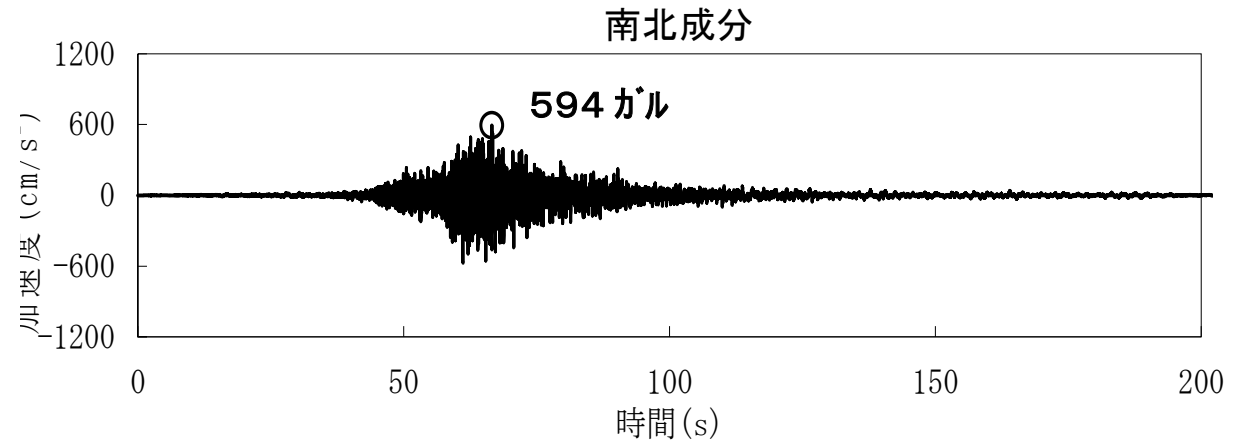
- ・Ss-11～14 : 内陸地殻内地震のうち最も影響の大きい断層による地震について、短周期レベルや傾斜角等のパラメータを変えて評価したものである。
- ・Ss-21, 22 : プレート間地震のうち最も影響の大きい地震について、強震域の位置や短周期レベルの不確かさを加えて評価したものである。
- ・Ss-31 : 過去に起きた各地の地震の震源を敷地近傍に仮定して、敷地に最も大きな影響を与える地震を評価したものである。
- ・海洋プレート内地震は上記地震に包括される。

■ 加速度時刻歴波形

基本ケースの地震加速度時刻歴波形



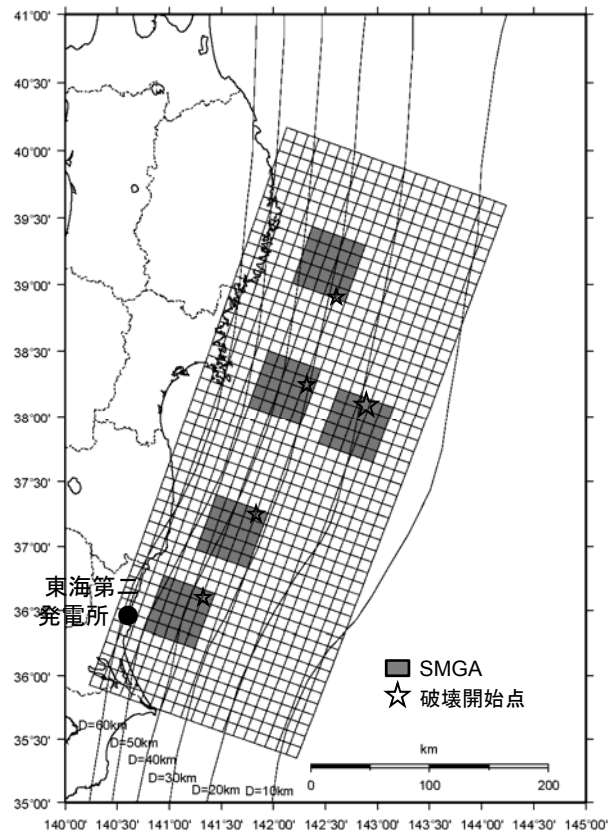
基本震源モデル



加速度時刻歴波形(水平方向のみ表示)

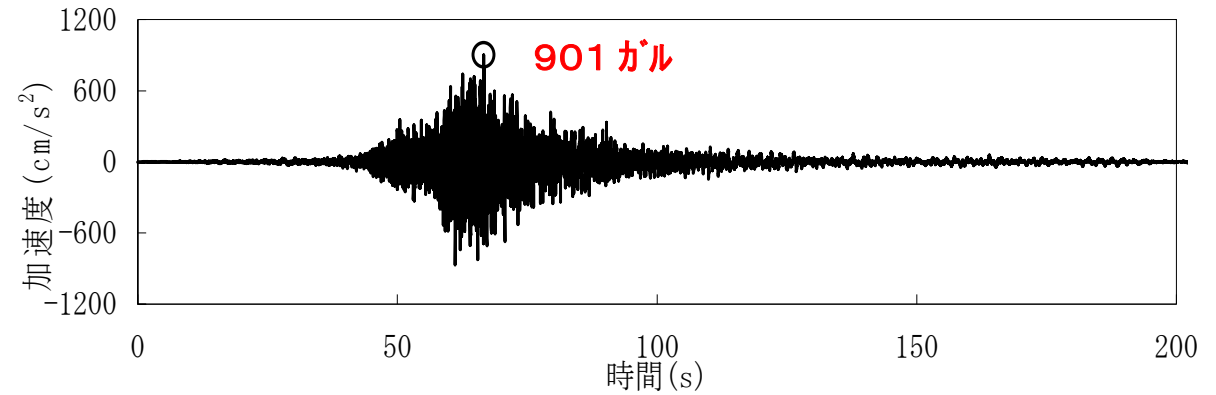
■ 加速度時刻歴波形

短周期レベルの不確かさを考慮した波形

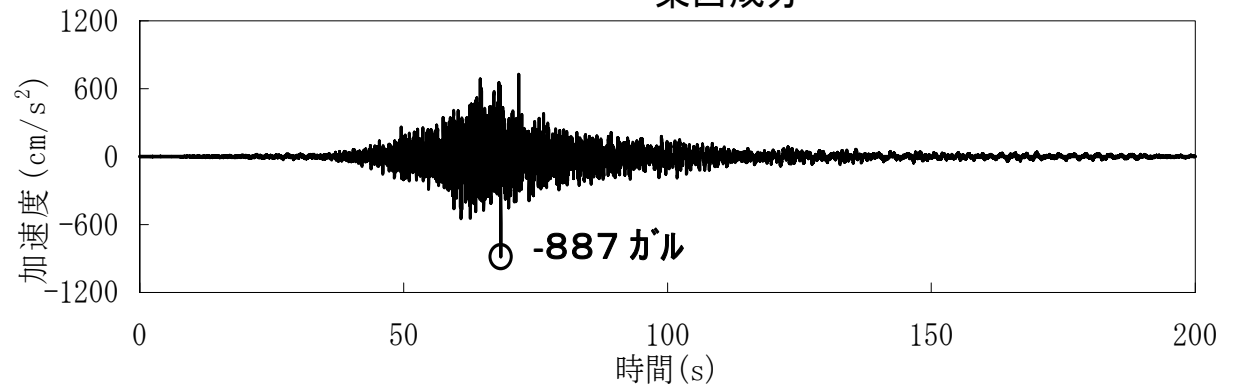


短周期レベルの不確かさを
考慮したモデル

南北成分

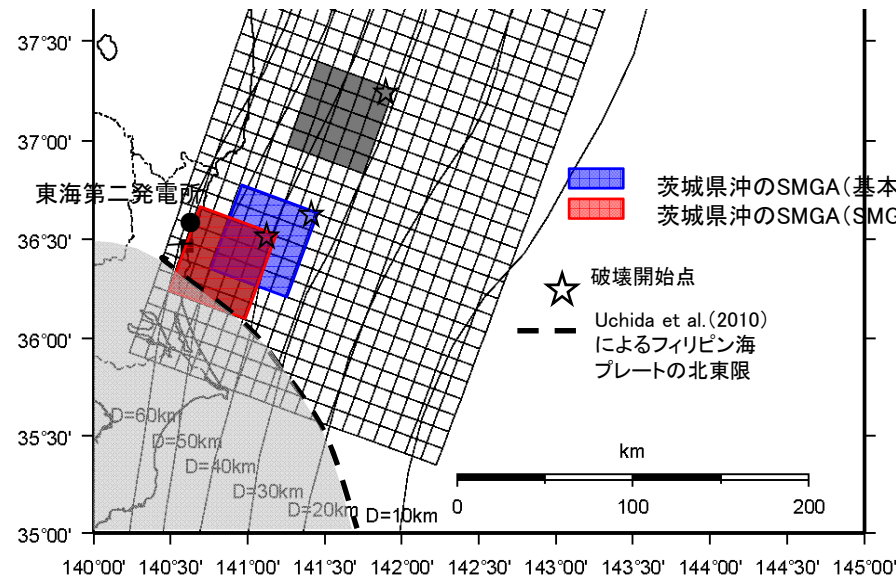


東西成分



加速度時刻歴波形(水平方向のみ表示)

■茨城県沖の強震動生成域(SMGA)を敷地に最も近い位置に移動させたケースを考慮。



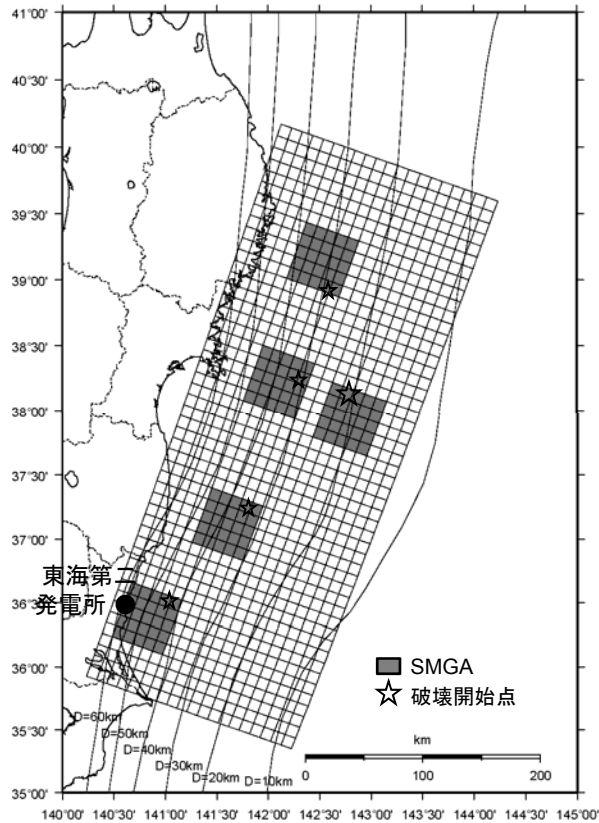
等価震源距離の比較

評価ケース	茨城県沖のSMGAの等価震源距離(km)
基本震源モデル	68.4
SMGA位置の不確かさ	63.5

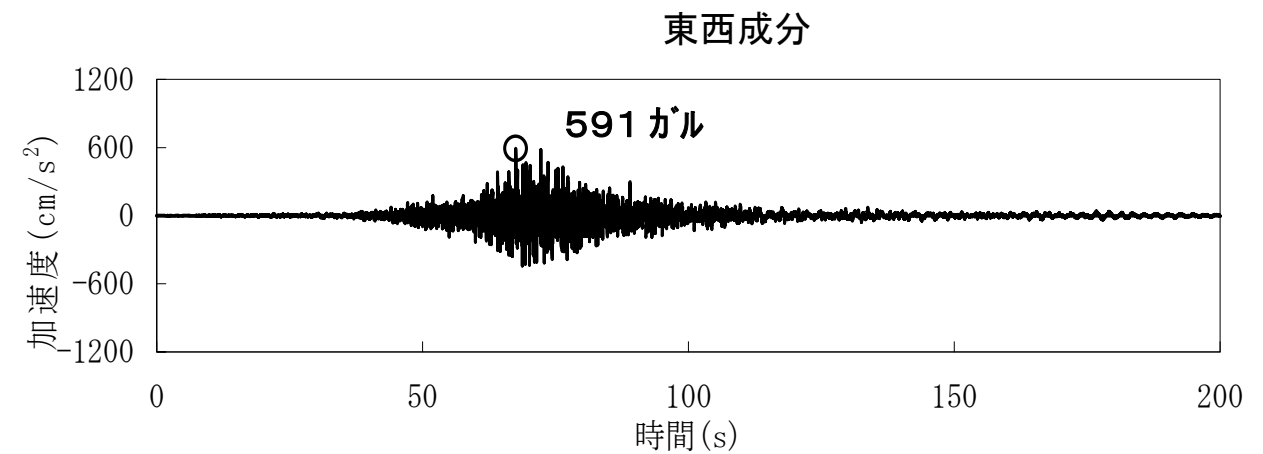
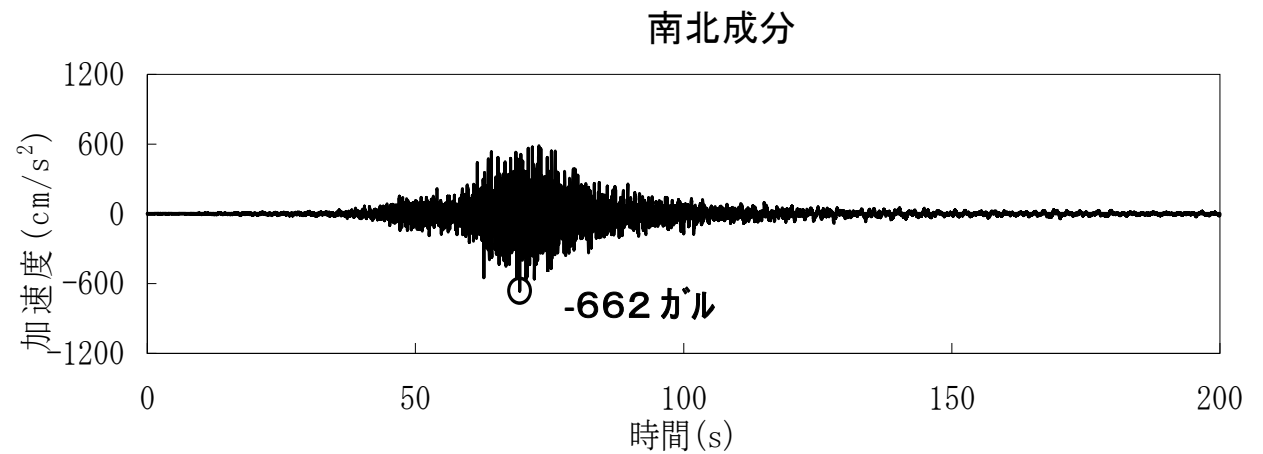
- 茨城県沖のSMGAを敷地に最も近づけた位置は、SMGAの一部がフィリピン海プレートの北東限よりも南に位置しており、発生する可能性は低いと考えられるものの、敷地での地震動へ影響の観点から不確かさとして考慮する。
- SMGAの位置については、断層面上で敷地からの距離が最短となる点がSMGAの中心となるように配置する。
- 茨城県沖のSMGAの等価震源距離は、基本震源モデルと比較し5km程度近くなる。

■ 加速度時刻歴波形

SMGA位置の不確かさを考慮



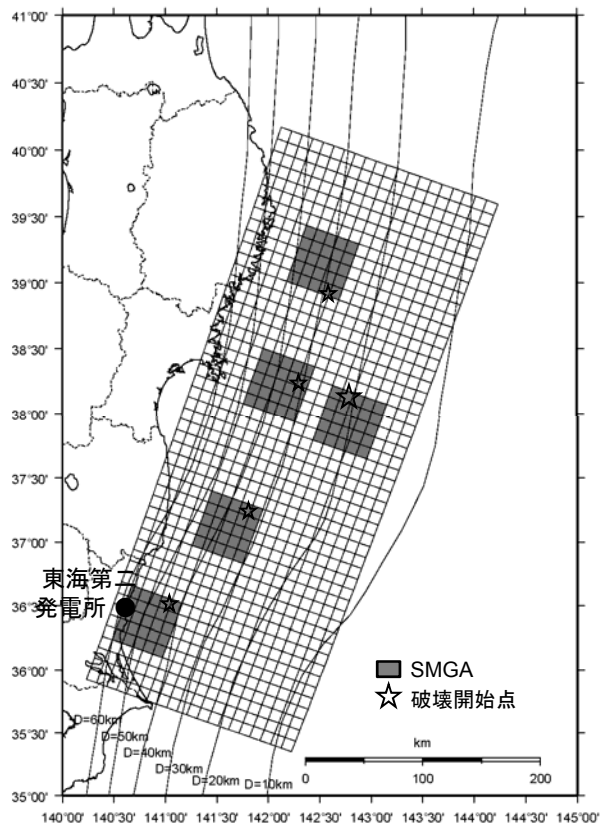
SMGA位置の不確かさを考慮したモデル



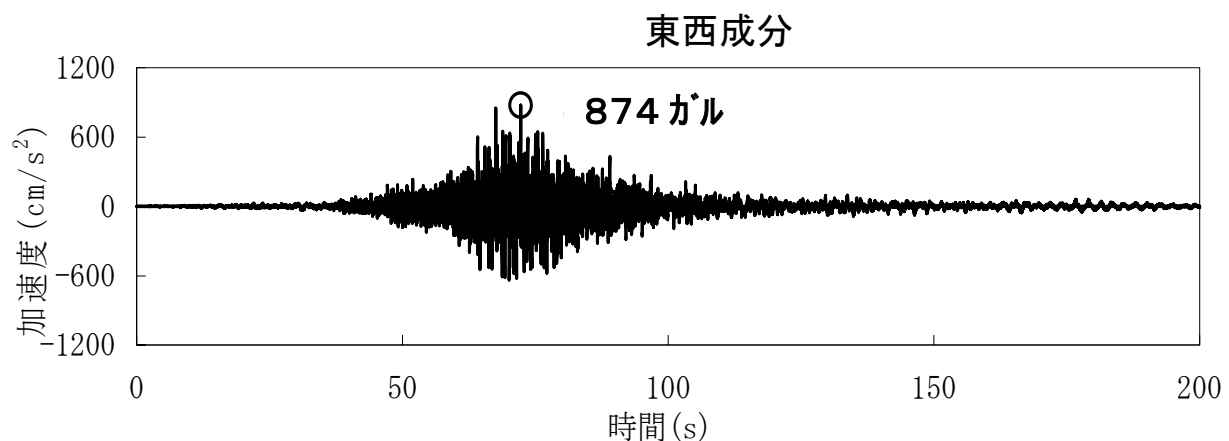
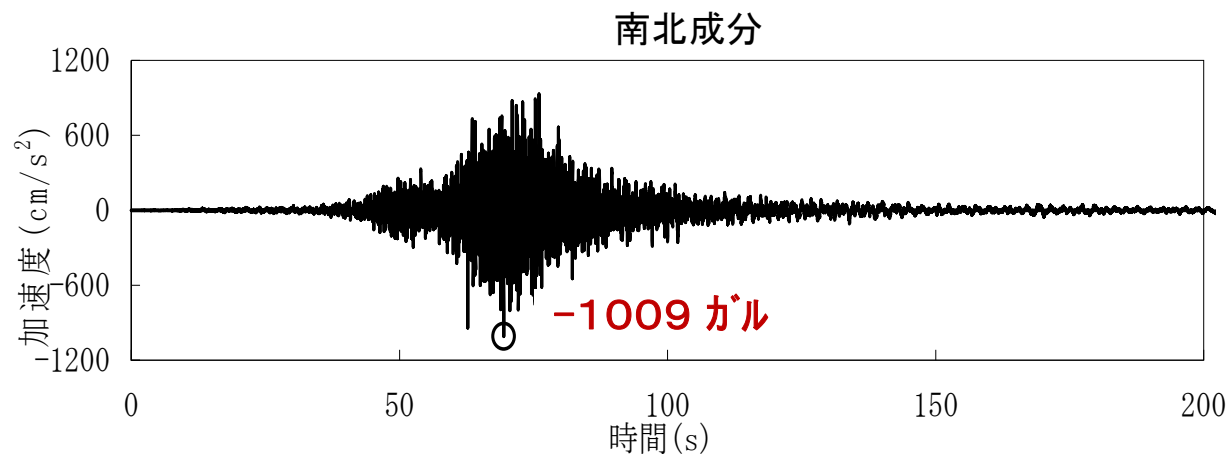
加速度時刻歴波形(水平方向のみ表示)

■ 加速度時刻歴波形

SMGA位置と短周期レベルの不確かさを重畳

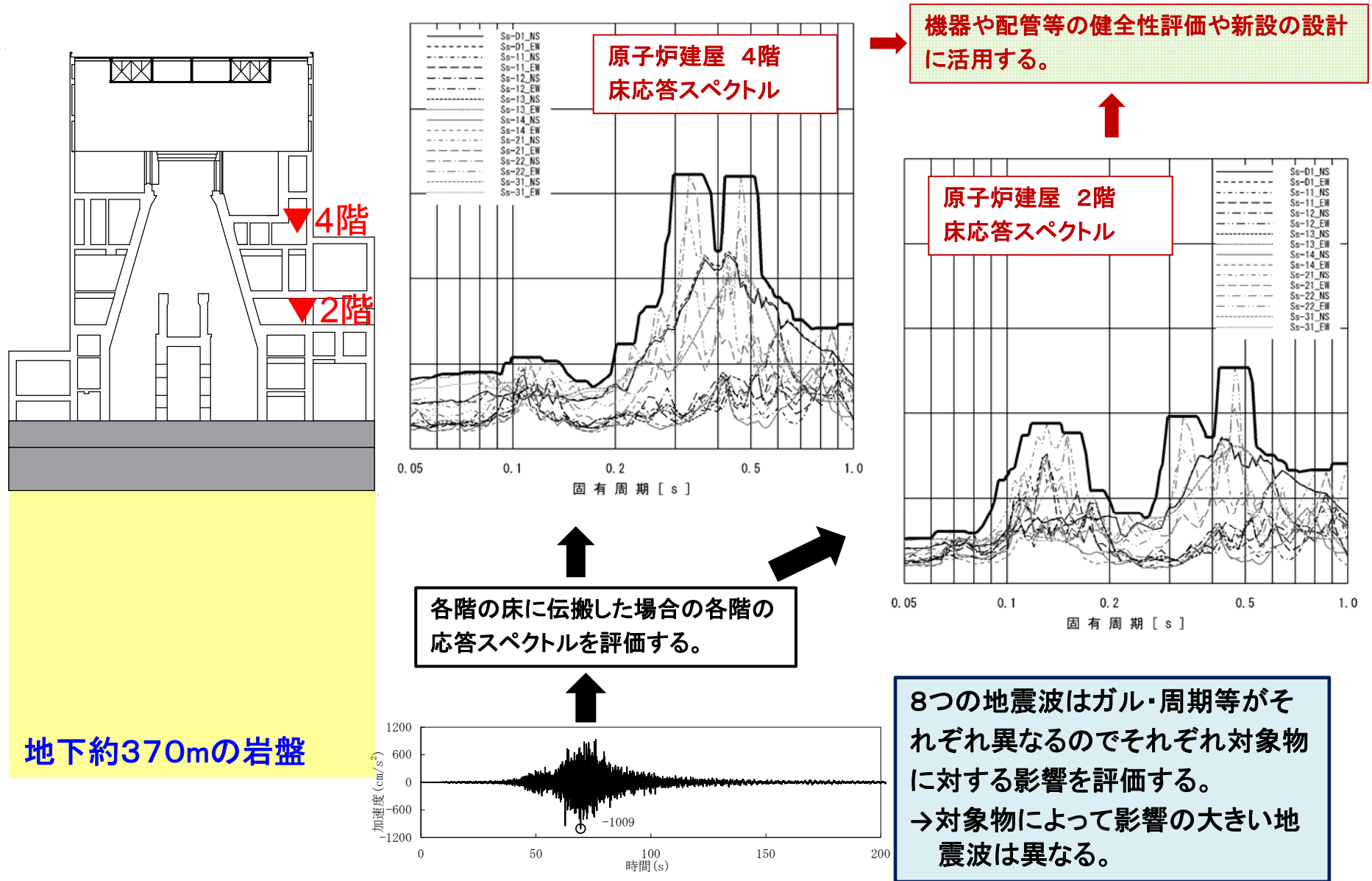


SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重畳を考慮したモデル



加速度時刻歴波形(水平方向のみ表示)

【補 足】 建屋各階の床の応答を評価⇒設備の健全性評価等を実施



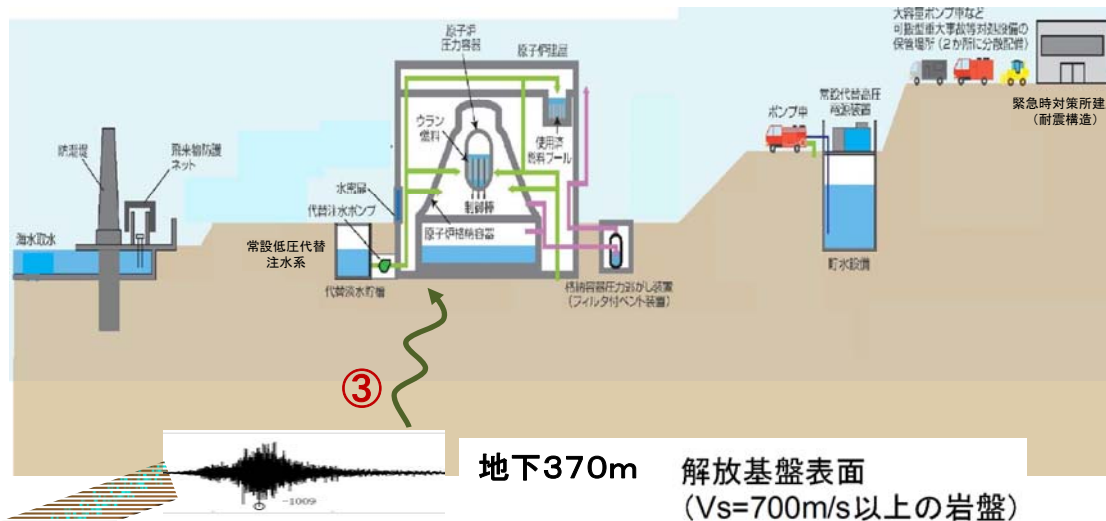
地震評価に関する専門用語の解説

- 基準地震動
国の基準では、『「基準地震動」は、最新の科学的・技術的知見を踏まえ、敷地及び敷地周辺の地質・地質構造、地盤構造並びに地震活動性等の地震学及び地震工学的見地から想定することが適切なものとし、(以下略)』と定義されています。
- 震度
揺れの程度を生活実感でとらえられるように0～7の10段階で表した数値。
- ガル(gal)
地震動の大きさを加速度で表したもの。1cm/秒/秒が1gal。
- 不確かさ
計測値のばらつきの程度を、数値で定量的に表したもの。
- 応答スペクトル
地震動がいろいろな固有周期を持つ構造物や設備に対して、どのような揺れ(応答)を生じさせるかを、横軸に固有周期をとり、縦軸にその周期成分での構造物の揺れの最大値をとって、わかりやすく示したもの。

など

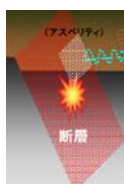
● 基準地震動は、

- ✓ 震源から地震波が伝搬され、地上の建物や設備にどのような揺れを発生させるかを評価するための基となる発電所地下定点での地震動である。
- ✓ 東海第二発電所の地下定点は、地層の中でほぼ平坦であり、700m/秒以上の速さで地震波（S波）が伝わる固い岩盤とし、ここに震源からどういう地震動が伝わってくるかを評価する。
- ✓ 各震源毎にこの定点での地震動を評価し、地上の建物設備への影響評価の基としている。



基準地震動の単位はガル(gal)で表す。
 ガル(gal)は地震動の大きさを加速度で表したものの。
 1cm/秒/秒が1gal。質量(重さ)を掛けると「力」になる。

①

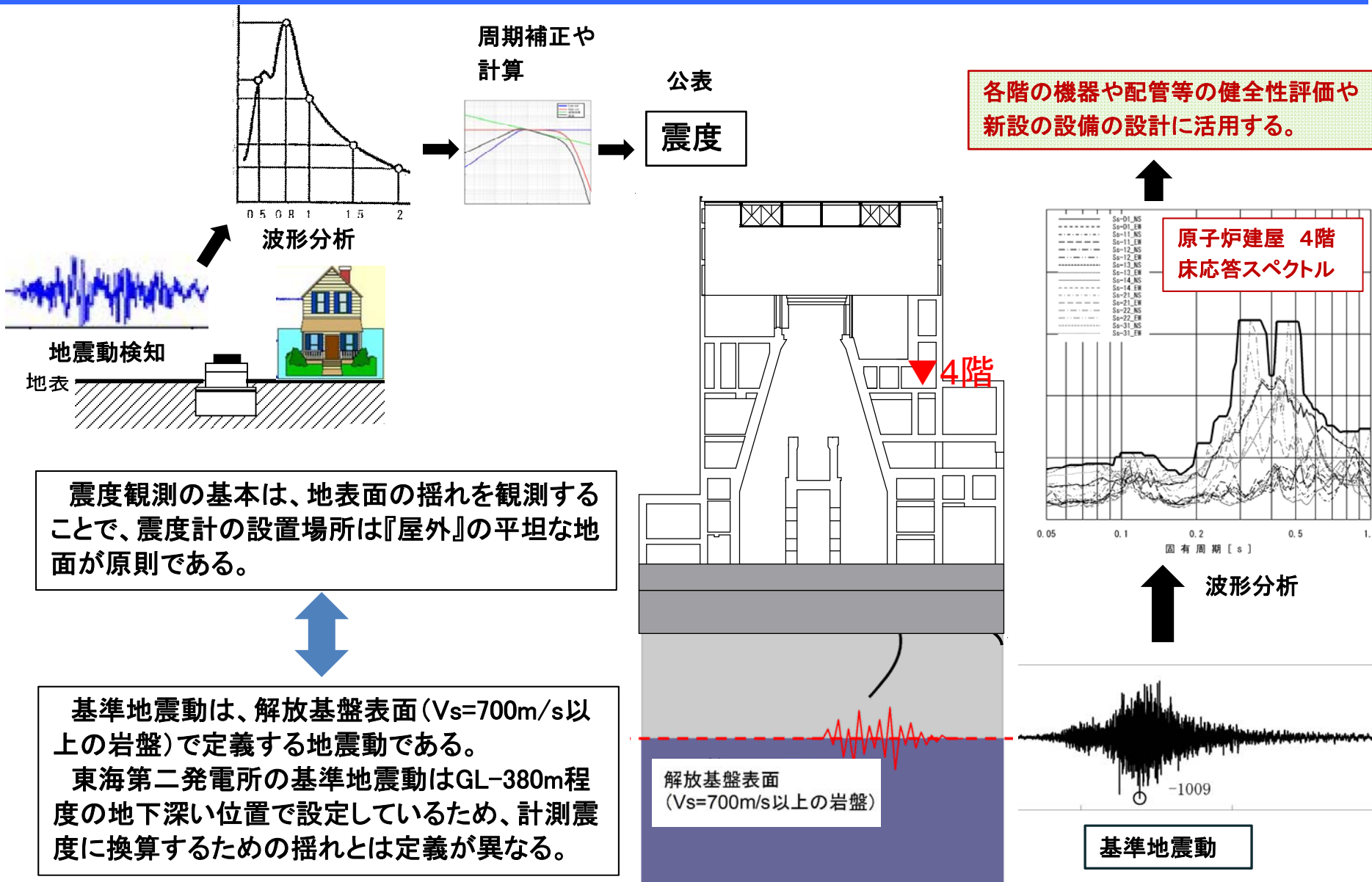


②

①震源特性(地震の起こり方) ②伝搬特性(地震波の伝わり方) ③サイト特性(地盤の揺れ方)

→③を評価する定点として、地震の伝搬速度が700m/s以上の硬い岩盤(解放基板表面)を設定する。

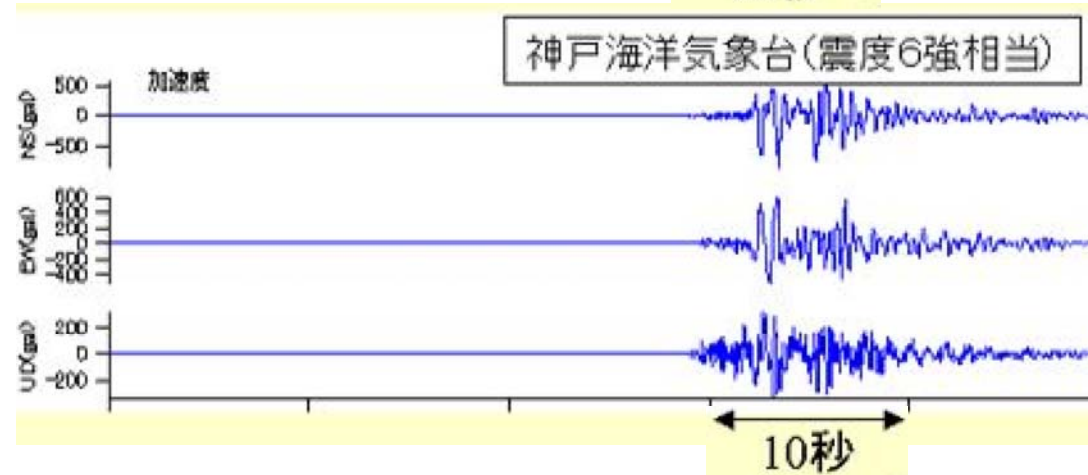
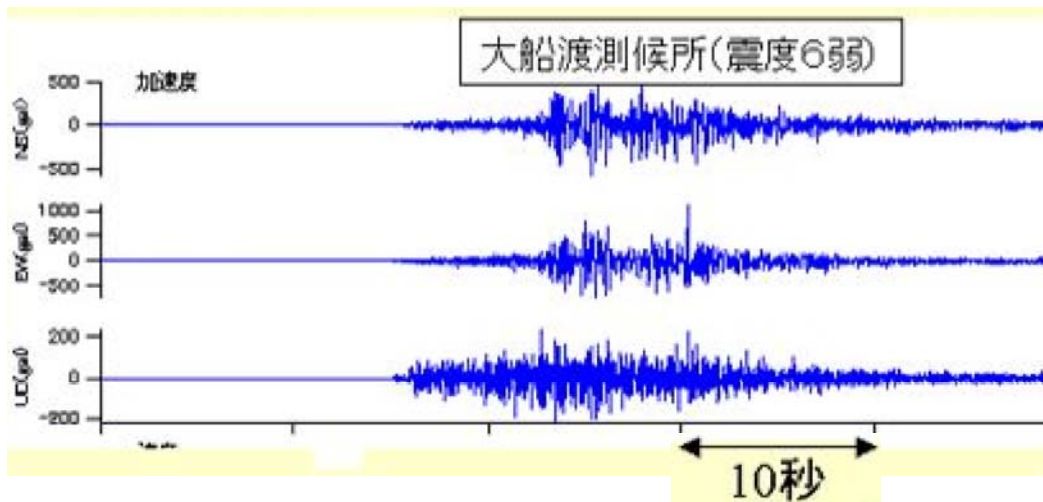
【解説】 基準地震動(ガル)と一般公表震度の違い



震度観測の基本は、地表面の揺れを観測することで、震度計の設置場所は『屋外』の平坦な地面が原則である。

基準地震動は、解放基盤表面 (Vs=700m/s以上の岩盤) で定義する地震動である。
東海第二発電所の基準地震動はGL-380m程度の地下深い位置で設定しているため、計測震度に換算するための揺れとは定義が異なる。

- ・2003年5月の宮城県沖地震時大船渡測候所と1995年1月の兵庫県南部地震時神戸海洋気象台での地震波の最大加速度と公表された震度を比較します。
(家屋や構築物の被害は圧倒的に神戸が大きかった。)



宮城県沖地震大船渡での地震波最大加速度は
「1105 ガル」
↓
公表震度は**「6弱」**

兵庫県南部地震が
加速度ガルは**小さい**が、
震度は**大きい**

兵庫県南部地震神戸中央区での地震波最大加速度は
「818 ガル」
↓
公表震度は**「6強」**

ガル: 地震動の大きさを加速度で表したもの。1cm/秒/秒が1gal。

この加速度に質量(重さ)を掛けると「力」になります。

震度: 揺れの程度を生活実感でとらえられるように0~7の10段階で表した数値。

以前は、体感および周囲の状況から推定していましたが、平成8年4月以降は、計測震度計により自動的に地震波から計算して速報しています。

4 **【震度4】**

- ほとんどの人が驚く。
- 電灯などのつり下げ物は大きく揺れる。
- 座りの悪い置物が、倒れることがある。

5強 **【震度5強】**

- 物につかまらないと歩くことが難しい。
- 棚にある食器類や本で落ちるものが多くなる。
- 固定していない家具が倒れることがある。
- 補強されていないブロック塀が崩れることがある。

6強 **【震度6強】**

- はわないと動くことができない。飛ばされることもある。
- 固定していない家具のほとんどが移動し、倒れるものが多くなる。
- 耐震性の低い木造建物は、傾くものや、倒れるものが多くなる。
- 大きな地割れが生じたり、大規模な地すべりや山体の崩壊が発生することがある。

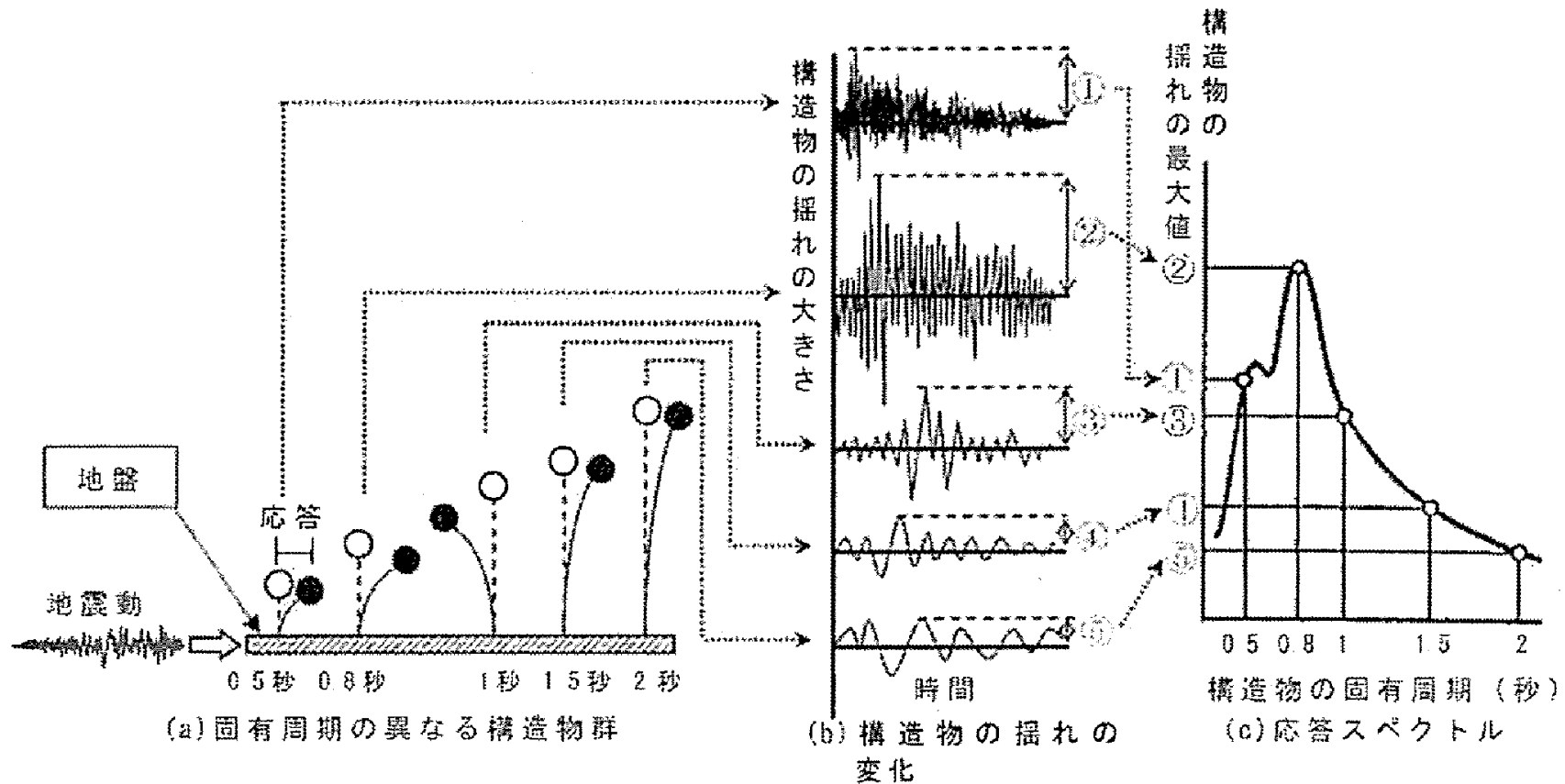
ガルと震度をつなぐキーワード: 「固有周期」



- ・ 構造物はそれぞれ揺れやすい振動の周期を持っています。この振動周期を固有周期と呼びます。
- ・ 構造物は地震波のなかに含まれる固有周期の波と共振して大きく揺れます。
- ・ 構造物の被害は、その地震波の中にその構造物の固有周期の波がどれだけ入っているかによります。
- ・ 同じ地震動(ガル)でも、それぞれの構造物の固有周期に応じて震度は異なります。



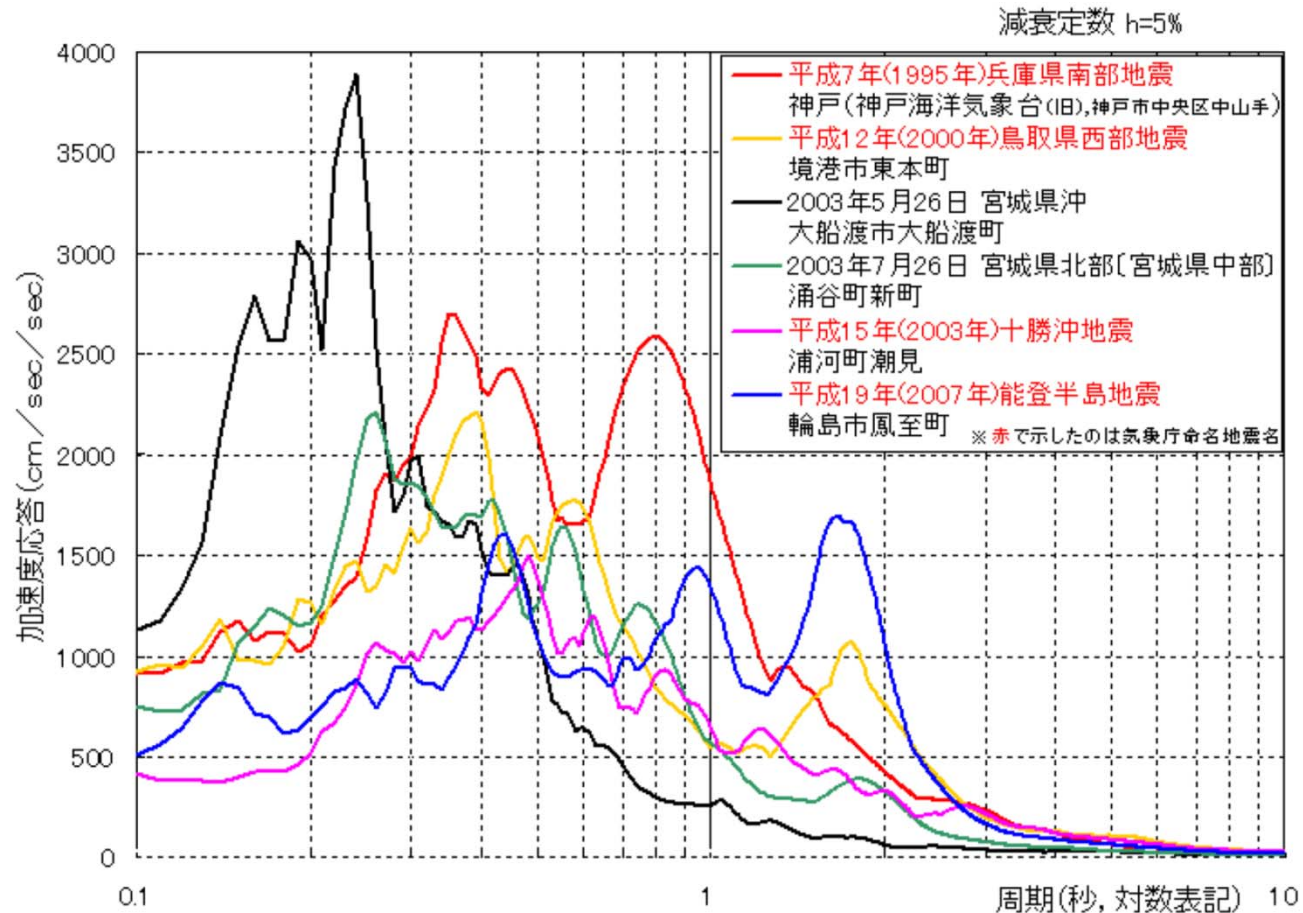
- 地震波にはさまざまな周期の波が含まれています。地震波によって構造物がどのように振る舞うかを知る方法として「**応答スペクトル**」があります。
「応答スペクトル」とは、地震動がいろいろな固有周期を持つ構造物や設備に対して、どのような揺れ(応答)を生じさせるかを、横軸に固有周期をとり、縦軸にその周期成分での構造物の揺れの最大値をとって、わかりやすく示したものです。



【解説】過去の地震の加速度応答スペクトル



- ・過去のおもな地震のおもな観測点の加速度応答スペクトルを例示します。
- ・大船渡の地震(震度6弱)は固有周期 0.2~0.3秒の構築物が大きな力を受ける揺れ。
一方、神戸の地震(震度6強)は固有周期 0.5~1.0秒の構築物が大きな力を受ける揺れ。
- ・被害は神戸が甚大でした。一般の家屋や構築物は固有周期が1秒前後のものが多いからです。この1秒前後の周期の地震波を「キラーパルス」と呼ぶこともあります。



最大加速度(ガル:gal)が大きくても震度表示が大きくなるとは限りません。
震度表示は震度計が置いてある地域の方々が自分の生活に直結して大きさを判断できるように、震度の計算にはその震度計が検知した地震波の周期や継続時間が考慮され、一般構造物への影響の度合いを「周期」に置き換えて補正がされます。



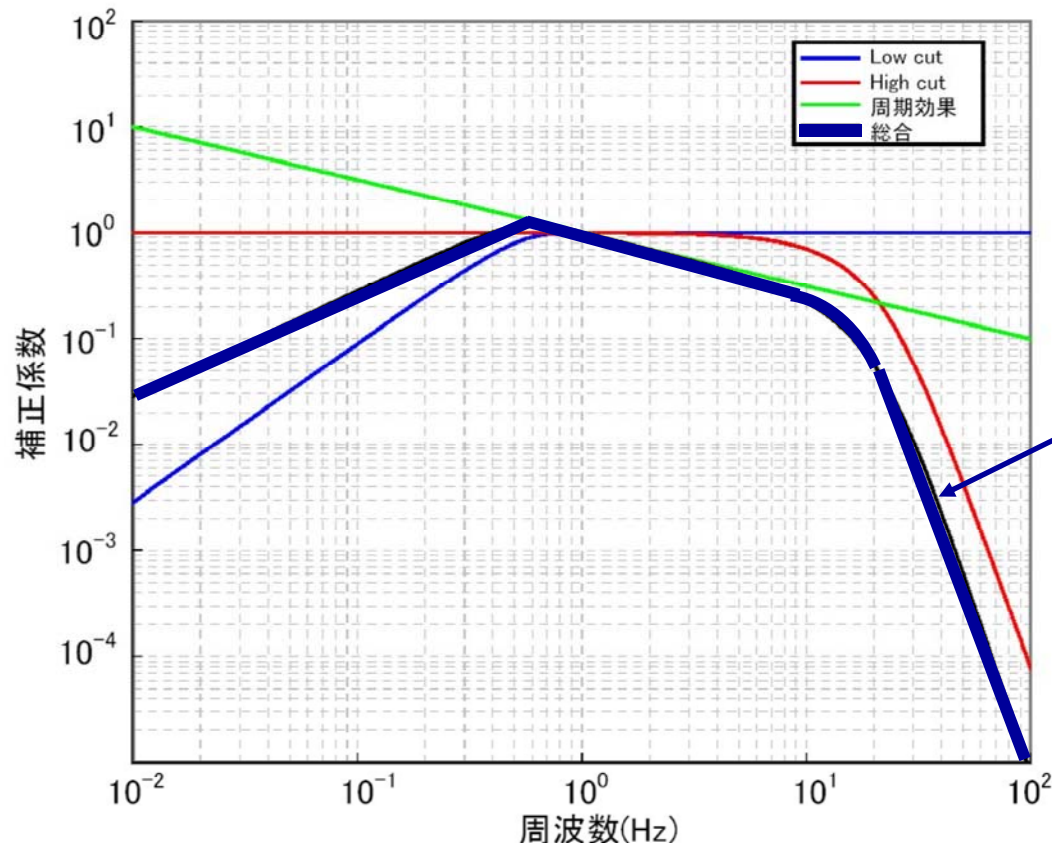
地震周期 1.0秒

✓ 震度表示



地震周期 0.05秒

震度計算のためのフィルター特性



気象庁資料より

周期による補正曲線