

東海再処理施設における東北地方太平洋沖地震後の
設備健全性に係る点検・評価の実施について

平成23年8月30日

日本原子力研究開発機構
核燃料サイクル工学研究所

東海再処理施設における東北地方太平洋沖地震後の 設備健全性に係る点検・評価の実施について

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日午後 2 時 46 分頃に発生した東北地方太平洋沖地震(以下「本地震」という)では、東海再処理施設を設置している茨城県東海村で震度 6 弱を観測した。この地震が発生した際、東海再処理施設は再処理運転を停止していたものの、施設内には使用済燃料、プルトニウム溶液、高放射性廃液等の放射性物質を貯蔵していた。地震後に実施した目視点検等の結果、設備の状態(負圧、液位、温度)に異常は認められず、施設外への放射性物質の漏れもなく、これらの設備に要求される放射性物質の閉じ込め機能や冷却機能等の安全機能は維持されていることを確認している(4 月 28 日公表済)。

その後、東海再処理施設では、本地震で取得した観測記録を精査し、当該観測記録に基づいて、安全上特に留意すべき使用済燃料、プルトニウム溶液及び高放射性廃液を貯蔵する施設について、本地震の影響を評価してきた。また、本地震後の東海再処理施設の健全性に係る点検・評価(以下「健全性確認」という)について、その実施計画をとりまとめてきたことから、これらを合せて公表する。

2. 地震による施設への影響

東海再処理施設には、使用済燃料、プルトニウム溶液または高放射性廃液を貯蔵する施設として、分離精製工場、プルトニウム転換技術開発施設、高放射性廃液貯蔵場及びガラス固化技術開発施設がある。一方、分離精製工場、高放射性廃液貯蔵場及びユーティリティ施設の 3 つの施設には地震計を設置しており、本地震の観測記録を取得している。

そこで、今回取得した地震観測記録を踏まえ、分離精製工場の建物、使用済燃料貯蔵プール、プルトニウム溶液貯槽(7基)及び高放射性廃液貯槽(4基)並びに高放射性廃液貯蔵場の建物及び高放射性廃液貯槽(6基)を対象に、本地震がこれら施設に与えた影響を評価した。

なお、地震観測記録を取得したユーティリティ施設についても、建物への影響評価を実施した。

2.1. 地震観測記録

分離精製工場及び高放射性廃液貯蔵場に設置した地震計で取得した地震観測記録の概要は資料-1のとおりである。

高放射性廃液貯蔵場で観測された最大加速度値は、設計上の最大加速度値を上回ったものの、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針」等の改訂に係る耐震安全性評価(以下「耐震バックチェック」という)^{*}で策定した基準地震動 S_s から求められる最大加速度値に対しては下回っていた。

分離精製工場で観測された最大加速度値については、設計上の最大加速度値を上回り、また、耐震バックチェックで策定した基準地震動 S_s から求められる最大加速度値に対しても 3 階以上に設置した一部の地震計で上回ってはいたものの、1 階以下の低層階やセルの近傍では観測された最大加速度値は基準地震動 S_s から求められる最大加速度値を下回っていた。

なお、ユーティリティ施設で観測された最大加速度については、1階から上の地上階において、設計上の最大加速度及び耐震バックチェックで策定した基準地震動 S_s から求められる最大加速度を上回っていた。

※：耐震バックチェックの報告書は、第一回(中間報告)分を平成22年6月30日に原子力安全・保安院に提出しており、現在、審議中である。

2.2. 建物の評価

分離精製工場及び高放射性廃液貯蔵場について、基礎版上(地下1階)の地震観測記録を用いた地震応答解析を実施し、建物の変形(最大応答せん断ひずみ)が、評価基準値を十分に下回っていることを確認した(資料-2参照)。

また、分離精製工場や高放射性廃液貯蔵場の耐震壁や柱の目視点検の結果、有害な破損等がないことを確認している。

2.3. 機器の評価

燃料貯蔵プールについては、目視点検等によりライニング及びプール内機器に異常のないことを確認している。

一方、貯槽類はセル内にあつて目視点検等で直接確認することができないため、これらの貯槽について、それぞれの施設で観測された地震動を用いた地震応答解析を実施し、各機器での発生応力が、弾性設計の基準内であることを確認した(資料-3参照)。

2.4. 評価結果

東海再処理施設については、地震後の点検等により施設の安全が確保されていることを確認しているが、今回、使用済燃料、高放射性廃液及びプルトニウム溶液を貯蔵する施設のうち地震観測記録を有する分離精製工場及び高放射性廃液貯蔵場について、地震観測記録に基づく地震の影響評価を実施し、地震力が、建家や主要機器に損傷を与えるほどのものではなかったことを確認した。

なお、ユーティリティ施設についても地震の影響評価を実施し、地震力が建家に損傷を与えるほどのものではないことを確認した(資料-4参照)。

3. 健全性確認の実施計画

今後は、地震観測記録をさらに詳細に分析し、地震計を設置していないプルトニウム転換技術開発施設やガラス固化技術開発施設等も含めた各施設の健全性について、点検や地震応答解析及び両者の結果を踏まえた総合評価により詳細に確認していく。この健全性確認の実施計画の概要は以下の通り。

3.1. 点検・評価の対象

点検・評価は、核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に基づく「再処理施設に関する設計及び工事の方法の認可」の対象となる建物・構築物及び設備について実施する。対象施設を表-1に示す。

3.2. 点検・評価の手法

(1) 点検・評価の基本的な考え方

- ・ 耐震安全上重要な建物・構築物及び設備については、点検と地震応答解析を実施し、両者の結果を踏まえて健全性を評価する。
- ・ 上記以外の建物・構築物及び設備については、点検結果等により健全性を評価する。

(2) 点検手法

- ・ 対象とする建物・構築物の構造型式、設備の種類・設置方法等ごとに地震時に想定

される影響を検討した上で、点検を実施する。

- ・ 点検は、目視点検、作動試験等を基本として行い、これらの点検により健全性が十分確認できない場合は、非破壊検査、分解点検等の点検を追加して実施する。
- ・ 作業員被ばく低減、人身安全等の観点から点検が困難な場合については、構造的に類似した部位の点検結果及び解析を踏まえた上で必要に応じて合理的な評価方法を策定する。

(3) 解析手法

- ・ 観測された地震動を踏まえ、地震観測記録と解析結果が整合するように解析モデルを作成し、建物・構築物の地震応答解析を実施する。
- ・ 設備については建物・構築物の解析結果を用いて地震応答解析を実施する。

3.3. 点検・評価の体制

点検・評価については、機構内部で実施し、必要に応じて外注にて実施する。また、機構内の審査体制に従い審議を実施する。

点検・解析の実施者の力量管理については以下のとおりとする。

- ・ 非破壊検査作業等の有資格作業等については、必要となる有資格者を配置する。
- ・ 業務経験年数等、適切な力量を有する者を配置する。

以上

表-1 健全性確認の対象施設※一覧

分離精製工場	高放射性固体廃棄物貯蔵庫
プルトニウム転換技術開発施設	第二高放射性固体廃棄物貯蔵施設
高放射性廃液貯蔵場	焼却施設
ガラス固化技術開発施設	スラッジ貯蔵場
ウラン貯蔵所	第二スラッジ貯蔵場
第二ウラン貯蔵所	低放射性濃縮廃液貯蔵施設
第三ウラン貯蔵所	第二低放射性廃液蒸発処理施設
廃棄物処理場	第三低放射性廃液蒸発処理施設
廃溶媒貯蔵場	低放射性廃棄物処理技術開発施設
廃溶媒処理技術開発施設	放出廃液油分除去施設
ウラン脱硝施設	ユーティリティ施設
クリプトン回収技術開発施設	資材庫
アスファルト固化技術開発施設	中間開閉所
アスファルト固化体貯蔵施設	第二中間開閉所
第二アスファルト固化体貯蔵施設	分析所
第一低放射性固体廃棄物貯蔵場	除染場
第二低放射性固体廃棄物貯蔵場	主排気筒

※第一付属排気筒、第二付属排気筒及びトレンチ等、上記建物に付属するものを含む。

資料－1 地震観測記録の概要

高放射性廃液貯蔵場、分離精製工場に設置している地震計により取得した東北地方太平洋沖地震の地震観測記録の概要を示す。

1. 高放射性廃液貯蔵場

高放射性廃液貯蔵場の建家断面を図1に、今回の地震による加速度時刻歴波形（地下1階）を図2に、最大加速度を表1に、最大加速度分布を図3に示す。表1及び図3には、設工認の地震動及び基準地震動 Ss に対する最大加速度値を併せて示す。地震観測記録は設工認に記載した設計上の最大加速度値を上回る。また、基準地震動 Ss による応答結果に対しては、地震観測記録が下回っている。

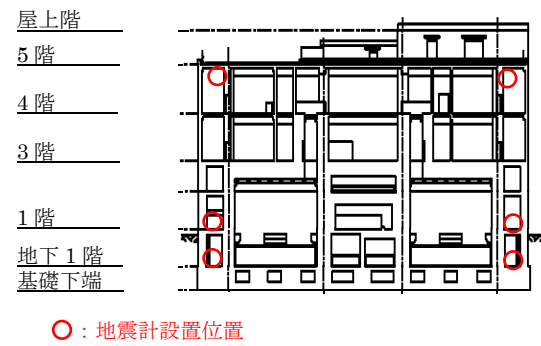


図1 建家断面（東西方向を例示）

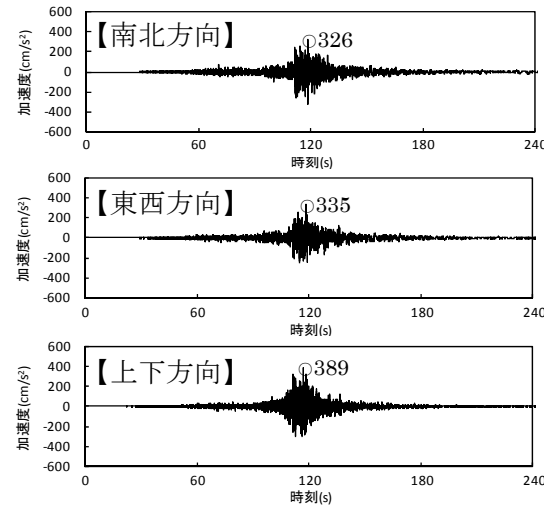


図2 建家の加速度時刻歴波形（地下1階）

表1 建家の最大加速度（□：設工認の最大加速度値を上回る箇所）

観測位置		地震観測データ※1 最大加速度値(cm/s ²)			設工認※2の最大加速度値(cm/s ²)		基準地震動Ssから求められる最大加速度値※3 (cm/s ²)		
		南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	南北方向	東西方向	上下方向
		高放射性 廃液 貯蔵場	5階	553	479	420	480	486	734
	1階	363	354	397	246	244	443	446	405
	地下1階	326	335	389	252	253	413	414	402

※1： 各階に複数設置している地震計の中で最大のものを示す。

※2： 設計及び工事の方法の認可申請書。

※3： 新耐震指針に基づく耐震バックチェックで算出。なお、耐震バックチェックは、現在、原子力安全・保安院により審議中である。

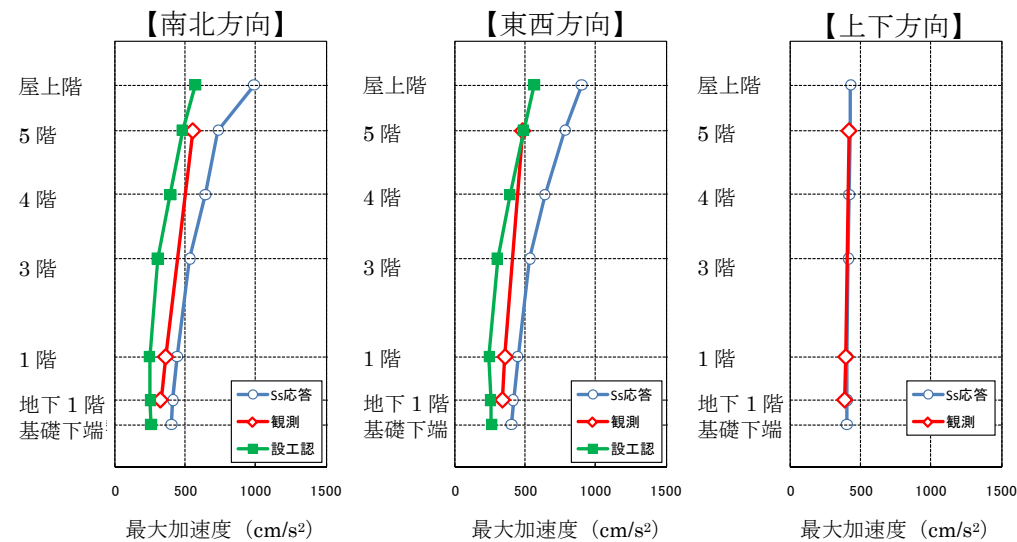


図3 建家の最大加速度分布

2. 分離精製工場

分離精製工場の建家断面を図4に、今回の地震による加速度時刻歴波形（地下1階）を図5に、最大加速度を表2に、最大加速度分布を図6に示す。表2及び図6には、設工認の地震動及び基準地震動 Ss に対する最大加速度値を併せて示す。地震観測記録は設工認に記載した設計上の最大加速度値を上回る。また、基準地震動 Ss による応答結果に対しては、地震観測記録の最大加速度値は一部で上回っているものと同程度であった。

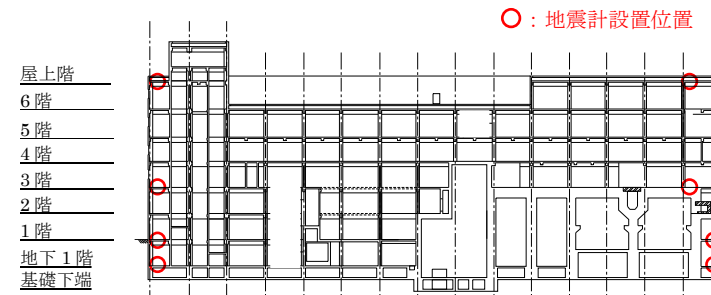


図4 建家断面（東西方向を例示）

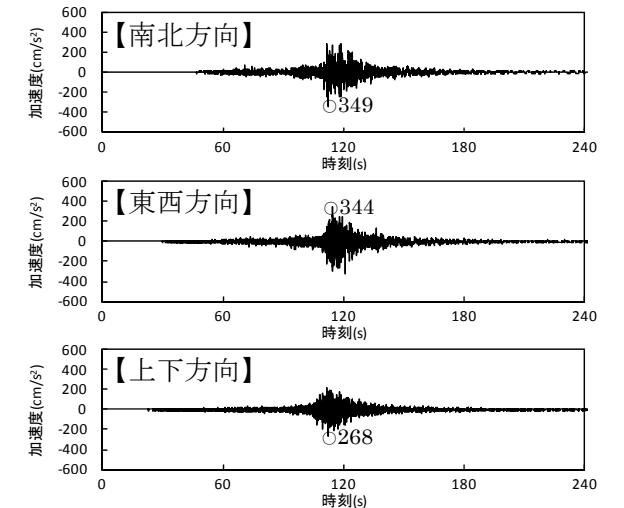


図5 建家の加速度時刻歴波形（地下1階）

表2 建家の最大加速度（□：設工認の最大加速度値を上回る箇所、青字：基準地震動 Ss の最大加速度値を上回る箇所）

観測位置		地震観測データ※1 最大加速度値(cm/s ²)			設工認※3の最大加速度値(cm/s ²)		基準地震動Ssから求められる最大加速度値※5 (cm/s ²)		
		南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	南北方向	東西方向	上下方向
		分離精製 工場	屋上階	941	1045	550	369	424	1020
	3階	522※2	514※2	403※2	214	214	452	484	382
	1階	366	358	319	190	190	393	399	380
	地下1階	349	344	268	※4	※4	380	387	378

※1： 各階に複数設置している地震計の中で最大のものを示す。

※2： 3階に複数設置している地震計のうちセル近傍に設置した地震計での最大加速度値は、南北方向 337 cm/s²、東西方向 318 cm/s²、上下方向 246 cm/s²であり、基準地震動 Ss の最大加速度値を下回っていた。

※3： 設計及び工事の方法の認可申請書。

※4： 設工認時は、基礎固定モデルで実施しているため、地下1階の加速度値はなし。

※5： 新耐震指針に基づく耐震バックチェックで策定。

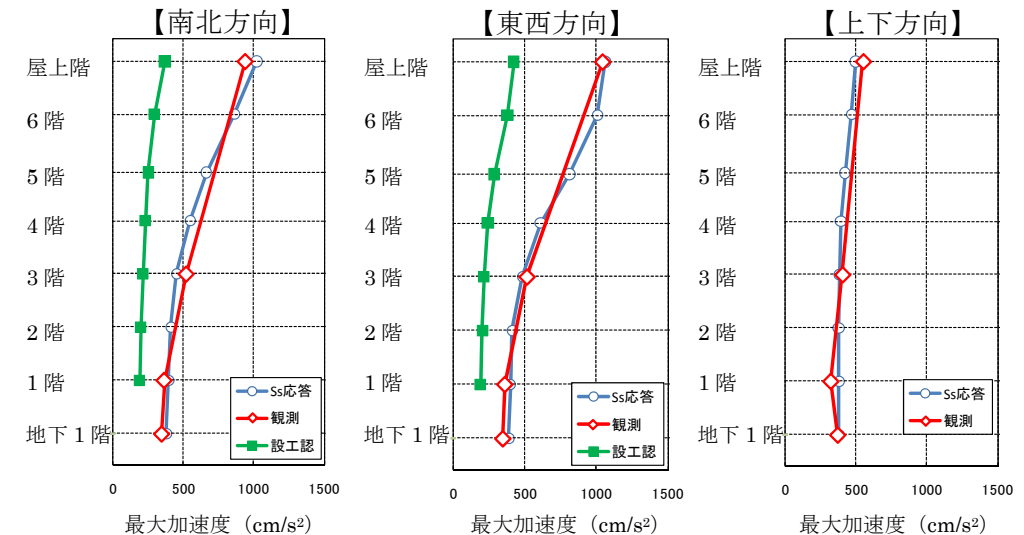


図6 建家の最大加速度分布

資料-2 地震観測記録による建家の地震応答解析の概要

1. 高放射性廃液貯蔵場建家の地震応答解析

今回の地震時に取得した基礎版上（地下1階）の地震観測記録を用いて地震応答解析を実施した（図1）。地震応答解析の結果、最大応答せん断ひずみは評価基準値*1に対し十分余裕があることを確認した（表1、図2）。

※1：評価基準値は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」による（終局せん断ひずみに2倍の安全率を考慮した値）。

表1 建家の最大応答せん断ひずみ

階	せん断ひずみ (×10 ⁻³)		評価基準値
	南北方向	東西方向	
5階	<u>0.097</u>	0.060	2.0
4階	0.047	<u>0.071</u>	
3階	0.074	0.062	
1階	0.062	0.058	
地下1階	0.077	0.066	
基礎下端			

※下線は方位毎の最大値

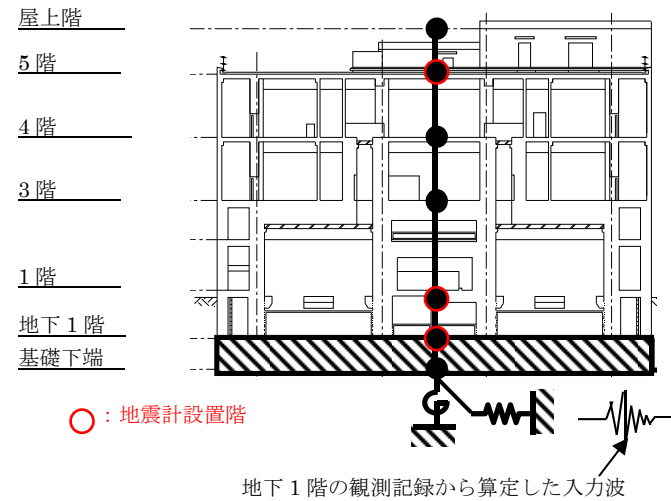
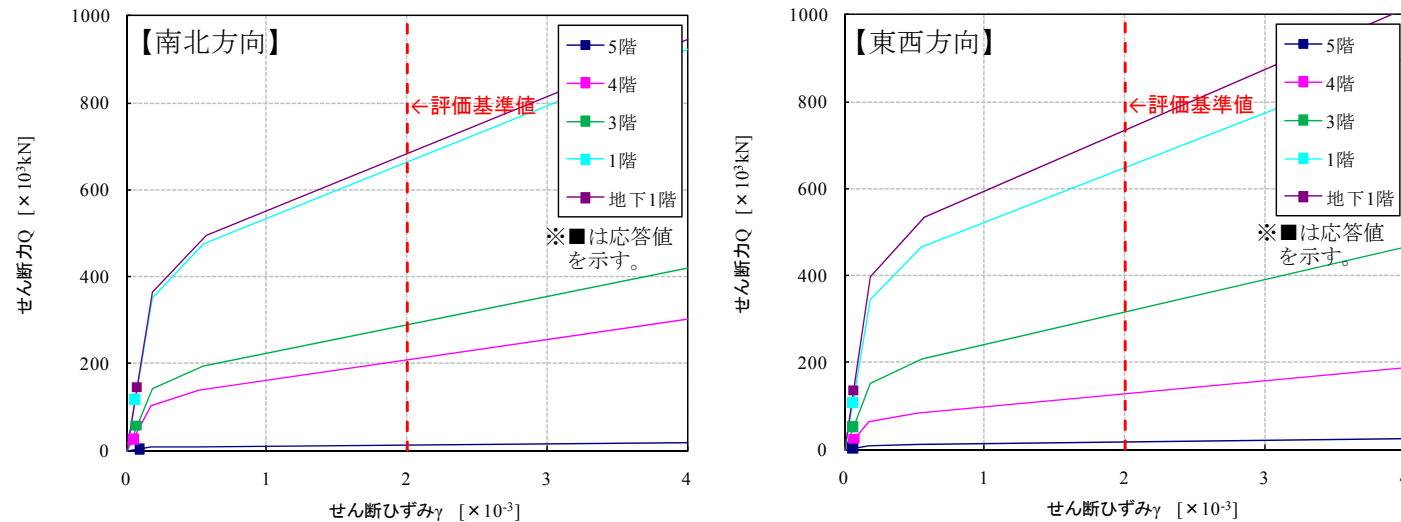


図1 建家の解析モデル（東西方向を例示）



※応答値は、南北方向、東西方向ともに、すべての階で第一折れ点以下となっている。また、評価基準値に対して十分余裕がある。

図2 建家のせん断力-せん断ひずみ関係

2. 分離精製工場建家の地震応答解析

今回の地震時に取得した基礎版上（地下1階）の観測記録を用いて地震応答解析を実施した（図3）。地震応答解析の結果、最大応答せん断ひずみは評価基準値*1に対し十分余裕があることを確認した（表2、図4）。

※1：評価基準値は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」による（終局せん断ひずみに2倍の安全率を考慮した値）。

表2 建家の最大応答せん断ひずみ

階	せん断ひずみ (×10 ⁻³)		評価基準値
	南北方向	東西方向	
6階	0.129	0.128	2.0
5階	<u>0.155</u>	<u>0.211</u>	
4階	0.111	0.156	
3階	0.091	0.090	
2階	0.059	0.059	
1階	0.049	0.056	
地下1階	0.048	0.045	
基礎下端			

※下線は方位毎の最大値

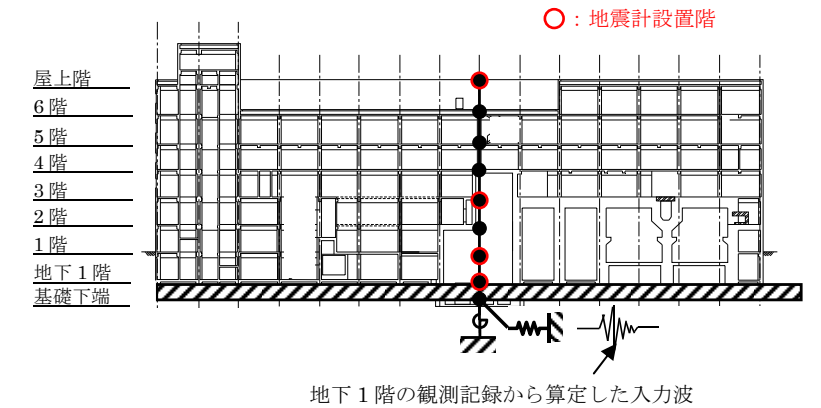
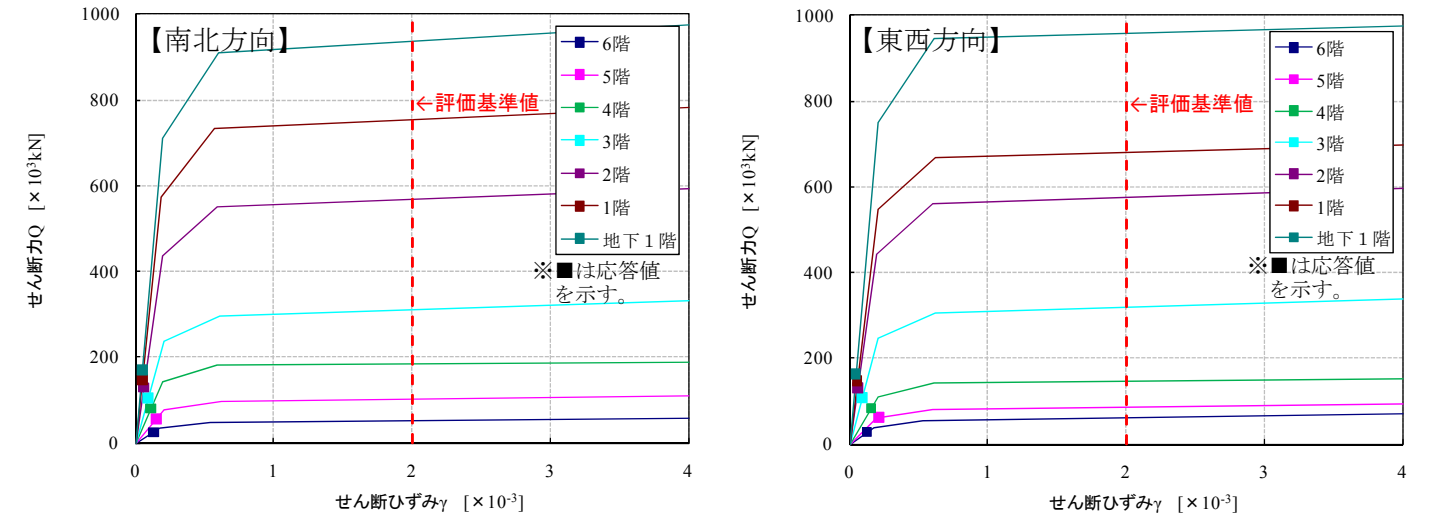


図3 建家の解析モデル（東西方向を例示）



※応答値は、東西方向の5階のみ第一折れ点をわずかに超えたものの、その他はすべての階で第一折れ点以下となっている。また、評価基準値に対して十分余裕がある。

図4 建家のせん断力-せん断ひずみ関係

資料—3 地震観測記録による機器の地震応答解析の概要

下記の基本方針に基づき地震応答解析を実施した。

- 耐震バックチェックにおいて算出した基準地震動Ssに対する発生応力(Ss評価値)に、基準地震動Ssによる応答加速度と地震時に観測した地震動(観測波)による応答加速度の比を乗じることにより、地震時の発生応力を算出する(図1、図2)。
- 地震時に保有していた液量に即した評価を行う。耐震バックチェックでは、貯槽が最大液量を保有していることを想定し評価しているが、地震時に保有していた液量が最大液量より少ない場合は、さらに、その比を乗じる。なお、同型機器が複数ある場合は、最も多くの溶液を保有していた機器を代表として評価する(図1)。
- 弾性設計の基準を満たしていることを確認する(図1)。

地震応答解析の結果、地震時の発生応力は、弾性設計の基準内であることを確認した(表-1)。

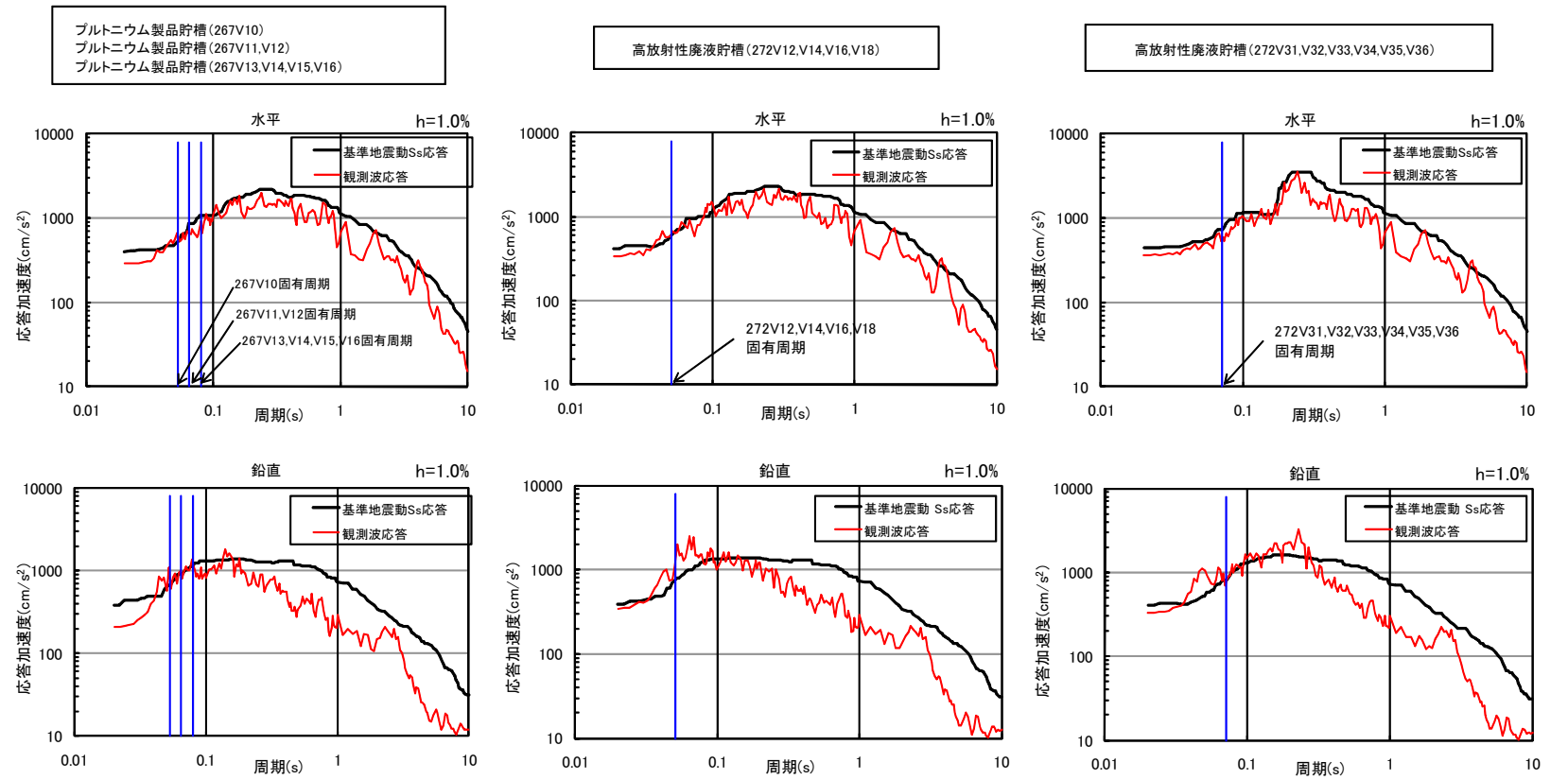
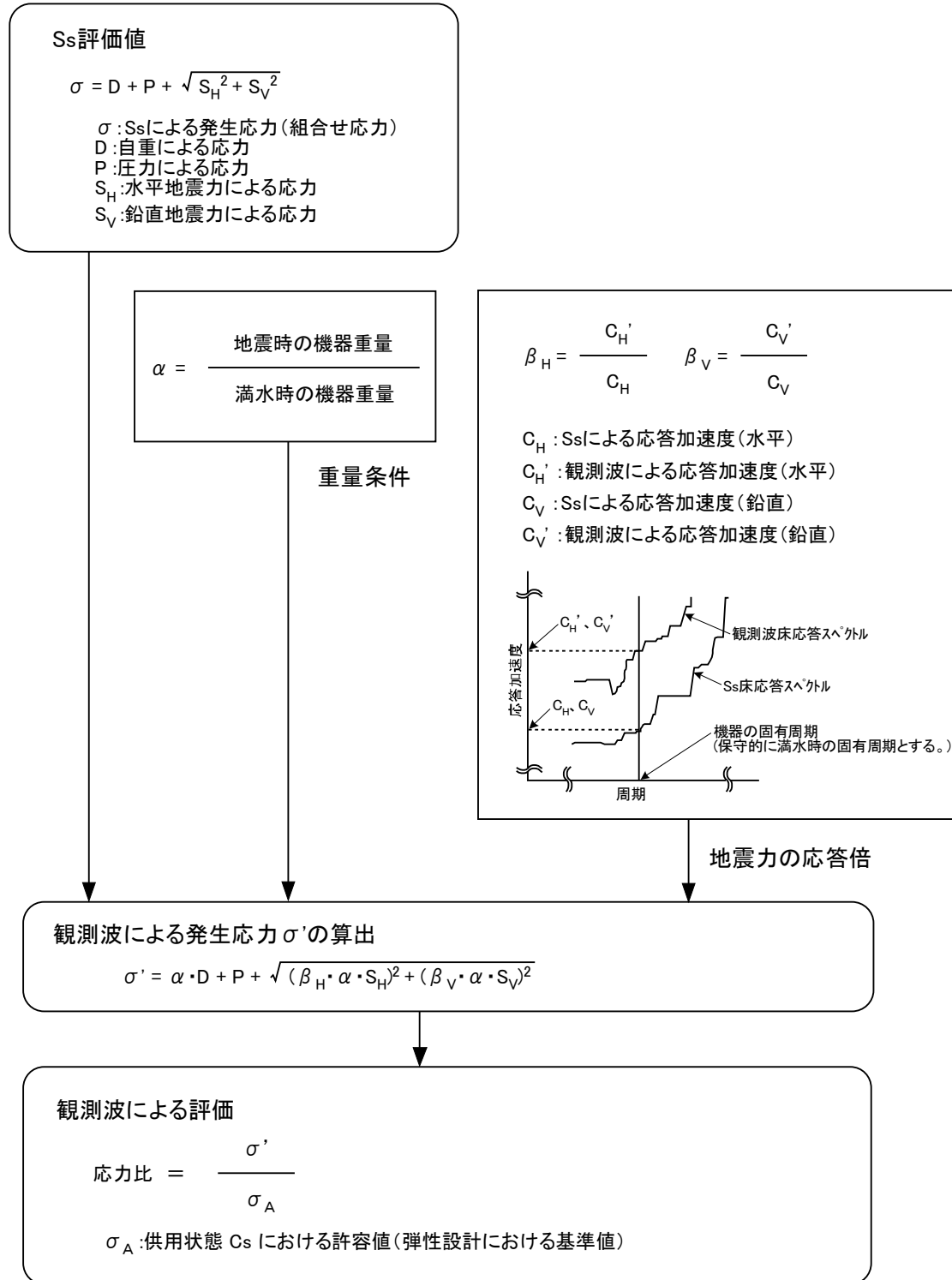


図2 評価に用いた床応答スペクトル

表-1 地震観測記録による地震応答解析結果

施設	機器名称	機器番号	部位* (材質)	応力種類	発生応力 [MPa]	許容値 [MPa]	応力比 (発生応力/許容値)	評価 (弾性設計の 基準内)
分離精製工場	プルトニウム製品貯槽	267V10	支持構造物 (SUS304L)	引張	20	175	0.12	○
	プルトニウム製品貯槽	267V11, V12	支持構造物 (SUS316)	せん断	22	118	0.19	○
	プルトニウム製品貯槽	267V13, V14, V15, V16	支持構造物 (SUS316)	せん断	35	118	0.30	○
	高放射性廃液貯槽	272V12, V14, V16, V18	支持構造物 (SUS316L)	せん断	85	101	0.85	○
高放射性廃液貯蔵場	高放射性廃液貯槽	272V31, V32, V33, V34, V35, V36	支持構造物 (SUS316)	せん断	58	118	0.50	○

* 耐震バックチェックにおけるSs評価では、本体胴、支持構造物を評価対象部位としたが、それらのうち最も応力比の厳しい部位を対象とした。

資料-4 ユーティリティ施設（免震構造）の地震観測記録及び建家地震応答解析の概要

1. ユーティリティ施設の地震観測記録の概要

ユーティリティ施設の建家断面を図1に、今回の地震による加速度時刻歴波形（地下1階）を図2に、最大加速度を表1に、最大加速度分布を図3に示す。表1及び図3には、設工認の地震動及び基準地震動Ssに対する最大応答加速度値を併せて示す。地震観測記録は、1階から上の地上階において、設工認に記載した設計上の応答加速度値及び耐震バックチェックで策定した基準地震動Ssから求められる最大加速度を上回っていた。

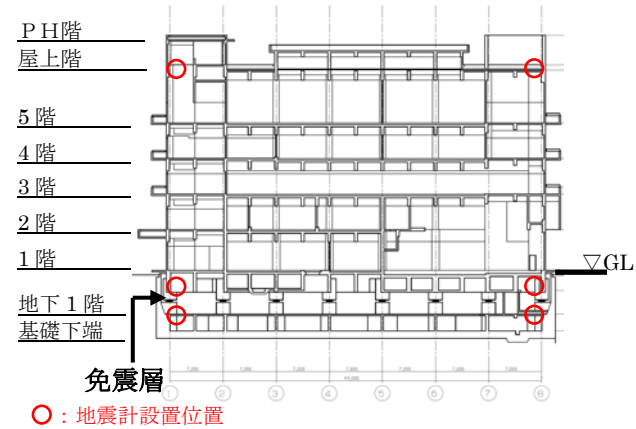


図1 建家断面（東西方向を例示）

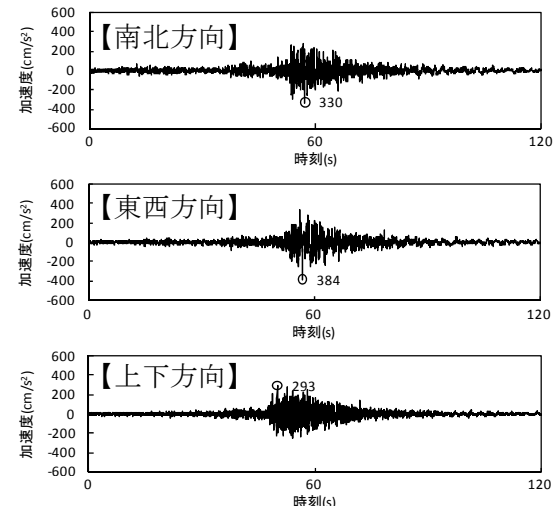


図2 建家の加速度時刻歴波形（地下1階）

表1 建家の最大加速度（□：設工認の最大加速度値を上回る箇所、青字：基準地震動Ssの最大加速度値を上回る箇所）

観測位置	地震観測データ※1 最大加速度値 (cm/s ²)			設工認※2の最大加速度値 (cm/s ²)		基準地震動Ssから求められる最大加速度値※3 (cm/s ²)		
	南北方向	東西方向	上下方向	南北方向	東西方向	南北方向	東西方向	上下方向
ユーティリティ施設 屋上階 (5階天井)	216	249	544	201	161	164	148	645
1階 (地下ピット天井)	238	205	317	161	148	138	122	540
地下1階 (地下ピット床)	330	384	293	511	511	404	405	384

※1：各階に複数設置している地震計の中で最大のものを示す。

※2：設計及び工事の方法の認可申請書。

※3：新耐震指針に基づく耐震バックチェックで算出。

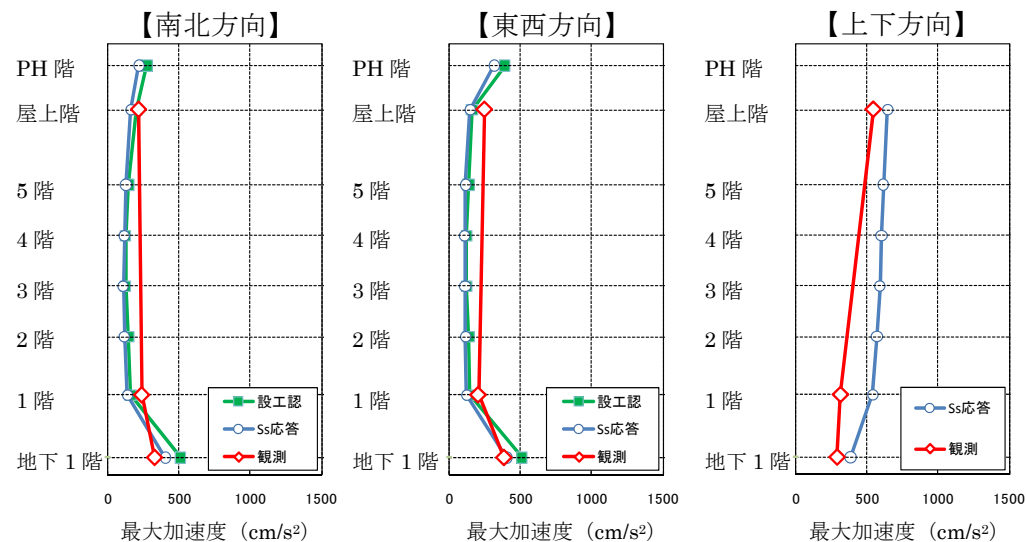


図3 建家の最大加速度分布

2. ユーティリティ施設の建家の地震応答解析

今回の地震時に取得した基礎版上（地下1階）の観測記録を用いて地震応答解析を実施した（図4）。

地震応答解析の結果、最大応答せん断ひずみは評価基準値※1に対して十分余裕があることを確認した（表2、図5）。また、免震層の積層ゴムについても線形限界内であることを確認した（表3）。

※1：評価基準値は、日本電気協会「原子力発電所耐震設計技術規程（JEAC4601-2008）」による（終局せん断ひずみに2倍の安全率を考慮した値）。

表2 建家の最大応答せん断ひずみ

階	せん断ひずみ (×10 ⁻³)		評価基準値
	NS	EW	
屋上階	0.102	0.254	2.0
5階	0.078	0.043	
4階	0.108	0.051	
3階	0.123	0.069	
2階	0.125	0.083	
1階	0.126	0.089	
地下1階	—	—	

※下線は方位毎の最大値

表3 免震層の最大応答変位

階	最大応答変位 (cm)		
	南北方向	東西方向	評価基準値
地下1階	12	27	39※

※評価基準値は、免震層の積層ゴムの線形限界を示す。

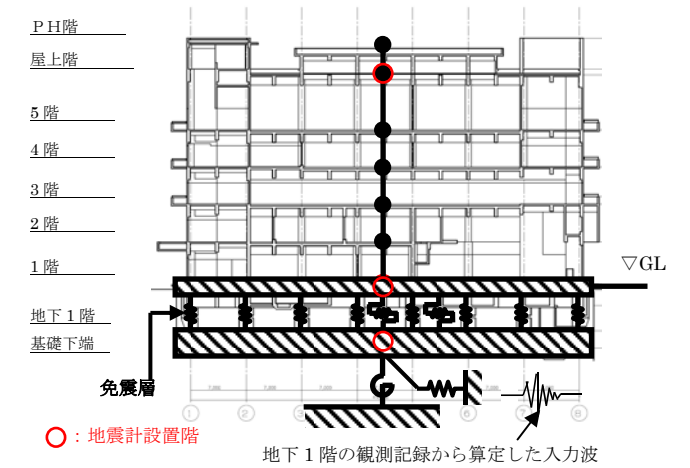


図4 建家の解析モデル（東西方向を例示）

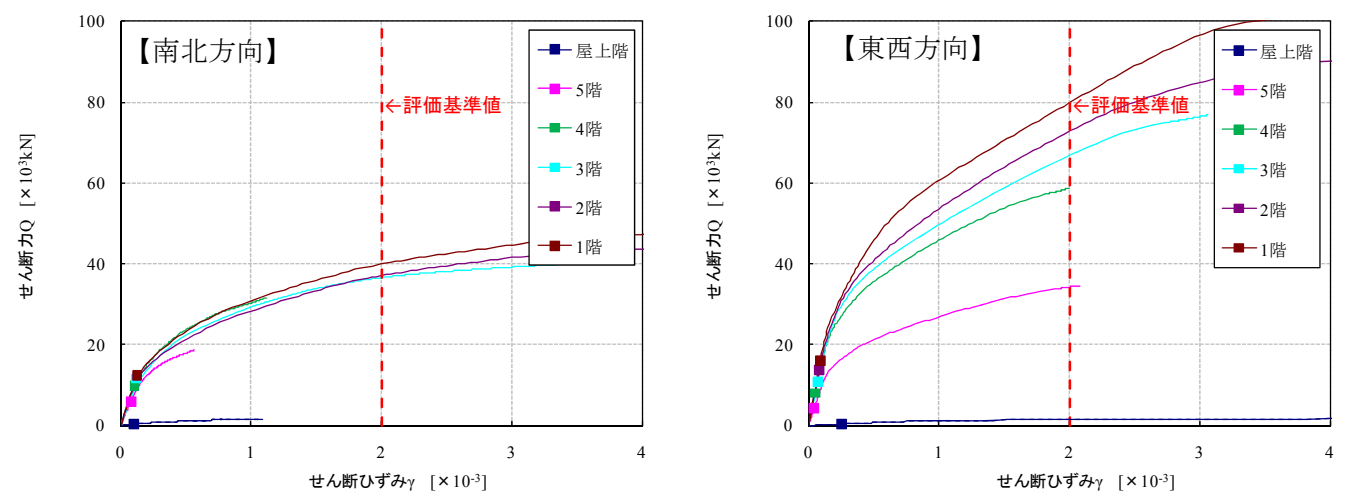


図5 建家のせん断力-せん断ひずみ関係