

HTTR 原子炉施設 耐震設計基本方針について

平成 29 年 10 月 13 日

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター

高温工学試験研究炉部

< 目 次 >

1. 耐震設計の基本方針	1
2. 地震力の算定法	1
3. 動的解析法	2
4. 荷重の組合せと許容限界	3
5. 参考文献	6

参考資料 1

耐震設計方針の補足説明	参考 1-1
-------------	--------

参考資料 2

基準地震動 S_s の加速度時刻歴波形及び応答スペクトル	参考 2-1
--------------------------------	--------

参考資料 3

建家基礎下レベルでの地震動評価について	参考 3-1
---------------------	--------

参考資料 4

弾性設計用地震動 S_d について	参考 4-1
---------------------	--------

HTTR 原子炉施設の耐震設計方針

HTTR 原子炉施設は、「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則（平成 25 年 12 月 18 日施行）」に適合するように、以下の要求を満たすものとする。

1. 耐震設計の基本方針

原子炉施設は、地震により発生するおそれがある安全機能の喪失及びそれに続く放射線による公衆への影響を防止する観点から、各施設の安全機能が喪失した場合の影響の相対的な程度に応じて、耐震重要度分類を以下のとおり、S クラス、B クラス及びC クラスに分類し、それぞれに応じた地震力に十分耐えられるように設計する。

S クラス：安全施設のうち、その機能喪失により周辺の公衆に過度の放射線被ばくを与えるおそれのある設備・機器等を有する施設。

B クラス：安全施設のうち、その機能を喪失した場合の影響がS クラス施設と比べて小さい施設。

C クラス：S クラス、B クラス以外であって、一般産業施設又は公共施設と同等の安全性が要求される施設。

耐震重要度分類のうち、S クラスの施設は、基準地震動 S_s による地震力に対して安全機能が保持できるようにするとともに、弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力のいずれか大きい方の地震力に対して、おおむね弾性範囲にとどまる構造とする。また、下位のクラスに属するものの波及的影響によって、その安全機能を損なわないように設計する。

耐震重要度分類のうち、Bクラス及びCクラスの施設は、静的地震力に対しておおむね弾性範囲にとどまる構造とする。また、Bクラス施設のうち、共振のおそれのある施設については、その影響についての検討を行う。

2. 地震力の算定法

原子炉施設は、以下の方法で算定される静的地震力及び動的地震力に対して耐えるように設計する。

(1) 静的地震力

(i) 建物・構築物

水平地震力は、地震層せん断力係数 C_i に、次に示す耐震重要度分類に応じた係数を乗じ、更に当該層以上の重量を乗じて算定する。

S クラス 3.0

B クラス 1.5

Cクラス 1.0

ここで、地震層せん断力係数 C_i は、標準せん断力係数 C_0 を0.2とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求められる値とする。

必要保有水平耐力の算定においては、地震層せん断力係数 C_i に乗じる施設の耐震重要度分類に応じた係数は、耐震重要度分類の各クラスともに1.0とし、その際に用いる標準せん断力係数 C_0 は1.0とする。

Sクラスの建物・構築物については、水平地震力と鉛直地震力が同時に不利な組合せで作用するものとする。鉛直地震力は、震度0.3を基準とし、建物・構築物の振動特性、地盤の種類等を考慮して求めた鉛直震度より算定する。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(ii) 機器・配管系

静的地震力は、上記(i)に示す地震層せん断力係数 C_i に施設の耐震重要度分類に応じた係数を乗じたものを水平震度として、当該水平震度及び上記(i)の鉛直震度をそれぞれ20%増しとした震度より求めるものとする。なお、Sクラスの施設については、水平地震力と鉛直地震力は同時に不利な方向の組合せで作用するものとする。ただし、鉛直震度は高さ方向に一定とする。

(2) 動的地震力

動的地震力は、Sクラスの施設及びBクラスの施設のうち共振のおそれのあるものに適用する。

Sクラスの施設については、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動を入力とする。弾性設計用地震動 S_d は、基準地震動 S_s の応答スペクトルとの比率を0.5倍として設定する。

Bクラスの施設のうち共振のおそれのあるものについては、弾性設計用地震動 S_d から定める入力地震動の振幅を1/2にした動的地震力を適用する。

基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d による地震力は、水平2方向及び鉛直方向について適切に組合せたものとして算定する。

(3) 入力地震動

原子炉施設に対する入力地震動は、解放基盤表面(約G.L. -172 m)で定義された基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d から地震波の伝播特性や地盤の非線形応答に関する動的変形特性等を適切に考慮して定めることとする。

3. 動的解析法

(1) 建物・構築物

建物・構築物の動的解析は、時刻歴応答解析を用いて応答を求めるものとする。動的解析に当たっては、地震応答解析手法の適用性及び適用限界等を考慮のうえ、適切な解析手

法を選定するとともに、十分な調査に基づき解析条件を設定する。なお、建物・構築物と地盤の相互作用（埋め込み効果を含む）を考慮するものとし、解析モデルの地盤のばね定数は、基礎版の平面形状、地盤の動的剛性等を考慮して定める。

（２）機器・配管系

（ｉ）金属構造物

機器・配管系については、その形状を考慮して、分布質量系、1 質点系、多質点系モデル等に置換し、スペクトル・モーダル解析法、時刻歴応答解析等により応答を求める。

（ii）黒鉛構造物

炉心を構成する黒鉛ブロックについては、地震時に相互に衝突を繰返す非線形振動挙動を示すため、黒鉛ブロック群の振動解析法としてブロック間の衝突現象を考慮する方法を用いる⁽¹⁾。各黒鉛ブロックに作用する衝突力、ブロックの変位等は、時刻歴応答解析により求める。図 1 に炉心構成要素を示す。

4. 荷重の組合せと許容限界

4. 1 耐震設計上考慮する状態

地震以外に設計上考慮する状態を以下に示す。

（１）建物・構築物

（i）運転時の状態

原子炉施設が運転状態にあり、通常自然条件下におかれている状態。ただし、運転状態には通常運転時、運転時の異常な過渡変化時を含むものとする。

（ii）設計基準事故時の状態

原子炉施設が設計基準事故時にある状態。

（２）機器・配管系

（i）通常運転時の状態

原子炉施設の起動、停止、出力運転、燃料交換等が計画的に行われた場合、運転条件が所定の制限値以内にある運転状態。

（ii）運転時の異常な過渡変化時の状態

原子炉施設の運転状態において、原子炉施設の寿命期間中に予想される機器の単一故障若しくは誤動作又は運転員の単一誤操作によって、外乱が加えられた状態及びこれらと類似の頻度で発生し、原子炉施設の運転状態が計画されていない状態。

（iii）設計基準事故時の状態

運転時の異常な過渡変化時の状態を超える異常状態であって、発生する頻度は稀であるが、原子炉施設の安全性を評価する観点から想定される事故事象が発生した状態。

4. 2 荷重の種類

（１）建物・構築物

- (i) 原子炉のおかれている状態にかかわらず常時作用している荷重、即ち固定荷重、積載荷重、土圧、水圧及び通常の気象条件による荷重
- (ii) 運転時の状態で施設に作用する荷重
- (iii) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重
- (iv) 地震力

運転時及び設計基準事故時の荷重には、機器・配管から作用する荷重が含まれるものとし、地震力には、地震時土圧、機器・配管からの反力、スロッシング等による荷重が含まれるものとする。

(2) 機器・配管系

- (i) 通常運転時の状態で施設に作用する荷重
- (ii) 運転時の異常な過渡変化時の状態で施設に作用する荷重
- (iii) 設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重
- (iv) 地震力

4. 3 荷重の組合せ

地震力と他の荷重との組合せは以下による。

(1) 建物・構築物

- (i) 地震力と常時作用している荷重、運転時（通常運転時及び運転時の異常な過渡変化時）に施設に作用する荷重とを組合せる。
- (ii) 常時作用している荷重及び設計基準事故時の状態で施設に作用する荷重のうち、長時間その作用が続く荷重と弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力とを組合せる。

(2) 機器・配管系

- (i) 地震力と通常運転時の状態で作用する荷重とを組合せる。
- (ii) 地震力と運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち、地震によって起こされるおそれのある事象によって作用する荷重とを組合せる。
- (iii) 運転時の異常な過渡変化時の状態及び設計基準事故時の状態のうち、地震によって起こされるおそれのない事象によって作用する荷重で、その作用が長時間続く場合には、その荷重と弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力とを組合せる。なお、地震によって起こされるおそれがなく、かつ、その事象によって作用する荷重が短時間で終結する場合には、地震力と組合せない。

(3) 荷重の組合せ上の留意事項

- (i) 明らかに、他の荷重の組合せ状態での評価が厳しいことが判明している場合には、その荷重の組合せ状態での評価は行わなくてよいものとする。
- (ii) 複数の荷重が同時に作用する場合、それらの荷重による応力の各ピークの生起時

間に明らかなずれがあることが判明しているならば、必ずしも、それぞれの応力のピーク値を重ねなくともよいものとする。

- (iii) 上位の耐震クラスの施設を支持する建物・構築物の当該部分の支持機能を検討する場合においては、支持される施設の耐震クラスに応じた地震力と常時作用している荷重、運転時に作用する荷重及びその他必要な荷重とを組合せる。

4. 4 許容限界

各施設の地震力と他の荷重とを組合せた状態に対する許容限界は、以下のとおりとする。

(1) 建物・構築物

(i) Sクラスの建物・構築物

- (a) 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

- (b) 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

建物・構築物が構造物全体として、十分変形能力（ねばり）の余裕を有し、終局耐力に対して妥当な安全余裕を持たせることとする。なお、終局耐力は、建物・構築物に対する荷重又は応力を漸次増大していくとき、その変形又はひずみが著しく増加するに至る限界の最大耐力とし、既往の実験式等に基づき⁽²⁾適切に定めるものとする。

(ii) B、Cクラスの建物・構築物

建築基準法等の安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度を許容限界とする。

(iii) 耐震クラスの異なる施設を支持する建物・構築物

上記の「(i) Sクラスの建物・構築物、(b) 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界」を適用するほか、耐震クラスの異なる施設が、それを支持する建物・構築物の変形等に対して、その機能が損なわれないものとする。

(iv) 建物・構築物の保有水平耐力

当該建物・構築物の保有水平耐力が、必要保有水平耐力に対して、妥当な安全余裕を有していることを確認するものとする。

(2) 機器・配管系

(i) Sクラスの機器・配管系

- (a) 弾性設計用地震動 S_d による地震力又は静的地震力との組合せに対する許容限界

金属構造物は、降伏応力又はこれと同等な安全性を有する応力を許容限界とする。金属構造物のうち高温に達するものについては、高温ガス炉第1種機器の高

温構造設計指針⁽³⁾に基づき健全性を確認する。

炉心支持黒鉛構造物は、引張強さ及び圧縮強さを基準にし、高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針⁽⁴⁾に基づき健全性を確認する。

(b) 基準地震動による地震力との組合せに対する許容限界

金属構造物においては、構造物の相当部分が降伏し、塑性変形する場合でも過大な変形、亀裂、破損等が生じ、その施設の機能に影響を及ぼすことがない程度に、応力を制限する。金属構造物のうち高温に達するものについては、高温ガス炉第1種機器の高温構造設計指針に基づき、健全性を確認する。炉心支持黒鉛構造物は、引張強さ及び圧縮強さを基準にし、高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針に基づき、健全性を確認する。

(ii) B、Cクラスの機器・配管

降伏応力又はこれと同等の安全性を有する応力を許容限界とする。

(iii) 炉心構成要素（燃料体、制御棒案内ブロック、可動反射体ブロック）

地震時に作用する荷重に対して、炉心構成要素は、崩壊熱除去可能な形状が阻害されないこと、及び過大な変形や破損が生じることにより、制御棒の挿入が阻害されないことを確認する。図1に炉心構成要素を示す。

(iv) 動的機器

地震時に動作を要求される動的機器については、解析又は実験等により、その機能が阻害されないことを確認する。

5. 参考文献

- (1) T. Ikushima; “SONATINA-2V: A Computer Program for Seismic Analysis of the Two-dimensional Vertical Slice HTGR Core”, JAERI-1279(1982).
- (2) 日本建築学会; 「建築耐震設計における保有耐力と変形性能」、(1982年).
- (3) 「高温ガス炉第1種機器の高温構造設計指針」(平成2年12月科学技術庁原子力安全局内規(平成15年5月30日改定))
- (4) 「高温ガス炉炉心支持黒鉛構造物の構造設計指針」(平成2年12月科学技術庁原子力安全局内規(平成15年5月30日改定))

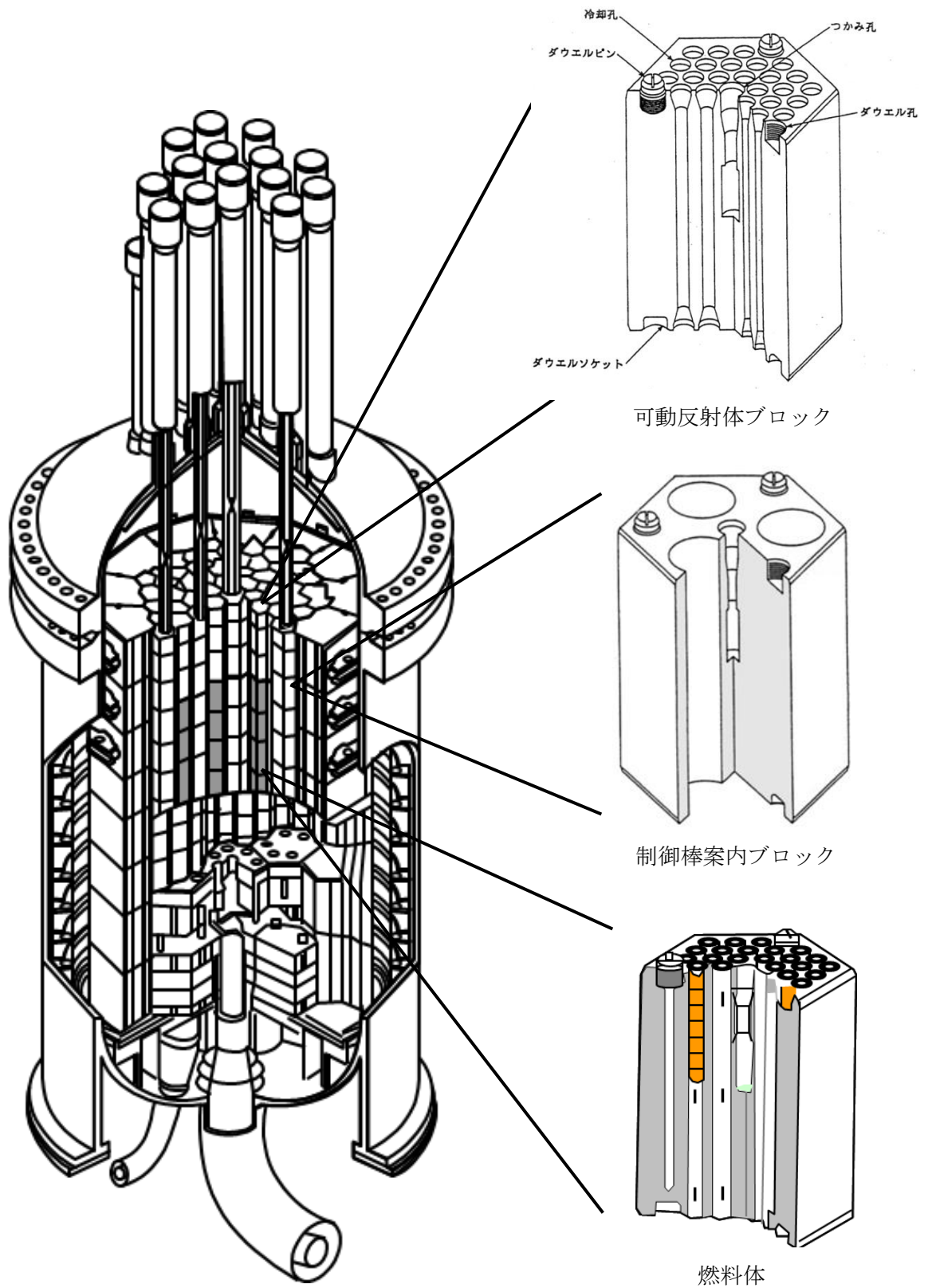


図1 炉心構成要素の概要図

耐震設計方針の補足説明

1. 耐震安全性評価の考え方（主としてSクラス）

Sクラスである建物・構築物及び機器・配管系については、基準地震動 S_s や弾性設計用地震動 S_d に基づく入力地震動によって耐震性を確認する。また、原子炉建家は B クラスであるが、S クラスの施設を内包する建物・構築物として、支持機能及び波及的影響の観点から基準地震動 S_s に基づく入力地震動によって耐震性を確認する。S クラスの施設の安全機能へ影響を与える下位のクラスに属する施設は波及的影響の観点から基準地震動 S_s を用いて評価を行い、耐震重要施設の安全機能への影響が無いことを確認する。

2. 水平2方向及び鉛直方向の組合せに関する評価手法

施設の耐震設計では、施設の構造から地震力の方向に対して弱軸及び強軸を明確にし、地震力に対して配慮した構造としている。

今回、新たに水平2方向及び鉛直方向の組合せによる耐震設計に係る技術基準が制定されたことから、従来の設計手法における水平1方向及び鉛直方向地震力を組み合わせた耐震計算に対して、施設の構造特性から水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響の可能性のあるものを抽出し、施設が有する耐震性に及ぼす影響を評価する。評価にあたっては、その部位について水平2方向及び鉛直方向の荷重や応力を算出し、施設が有する耐震性への影響を確認する。

影響評価は、荷重時ごとに応力解析により得られた結果を用いた組合せ係数法（1.0 : 0.4 : 0.4）※又は応答の同時性を各時刻歴で考慮できる3方向同時入力する方法により行う。

※：米国 REGULATORY GUIDE 1.92 の「2. Combining Effects Caused by Three Spatial Components of an Earthquake」

3. 建物・構築物及び機器・配管系の耐震設計方針

以下に、具体的な検討方法の概要を示す。

- (1) 基準地震動 S_s による入力地震動に基づき、図1に示すスウェイ-ロッキングの地盤ばねを考慮した多質点系モデルを用いた原子炉建家の弾塑性地震応答解析を実施する。内包する S クラスの施設・設備への支持機能及び波及的影響の観点から建家が終局耐力に対して適切な安全余裕を有していることを確認する。
- (2) S クラスである使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プール及び S クラスの支持構造物である原子炉建家の基礎版については、基準地震動 S_s によって生じる地震力に対して非線形応力解析を行い、各部位に発生する歪みが終局点以下であることを確認する。
- (3) S クラスである使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プールについては、弾性設計用地震動 S_d 又は $3C_i$ に基づく静的地震力のいずれか大きいほうの値を設計用地震力として、線形応力解析を行い、各

部位に発生する応力度が安全上適切と認められる規格及び基準による許容応力度以下であることを確認する。

(4) HTTR 原子炉施設の基準地震動として、応答スペクトル法による地震動 Ss-D (水平方向 1 成分と鉛直方向 1 成分) と断層モデルにより策定された地震動 Ss-1 から Ss-5 (水平方向 2 成分 (NS、EW) と鉛直方向 1 成分) の 2 種類の手法によって策定された地震動がある。水平 2 方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価にあたっては、応答スペクトル法による地震動に対しては水平 2 方向それぞれに解析し、組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) により検討し、断層モデルにより策定された地震動に対しては 3 方向同時入力又は組合せ係数法 (1.0 : 0.4 : 0.4) によって検討する。

(5) 機器・配管系の動的解析に用いる地震力は、建物・構築物の地震応答解析結果より得られる機器・配管系設置床における設計用床応答スペクトル及び加速度時刻歴波形に基づき算定する。

機器・配管系の動的解析は、応答倍率法による評価を実施し、応答倍率法による評価で許容値を満足しない機器・配管系については、その形状を考慮して、分布質量系、1 質点系、多質点系モデル等に置換し、スペクトルモーダル解析法、時刻歴応答解析法等により応答を求める。

4. 設工認からの変更点

今回の建物・構築物及び機器・配管系の評価に関して、評価手法、解析条件など設工認と異なるものを表 1~4 に示す。

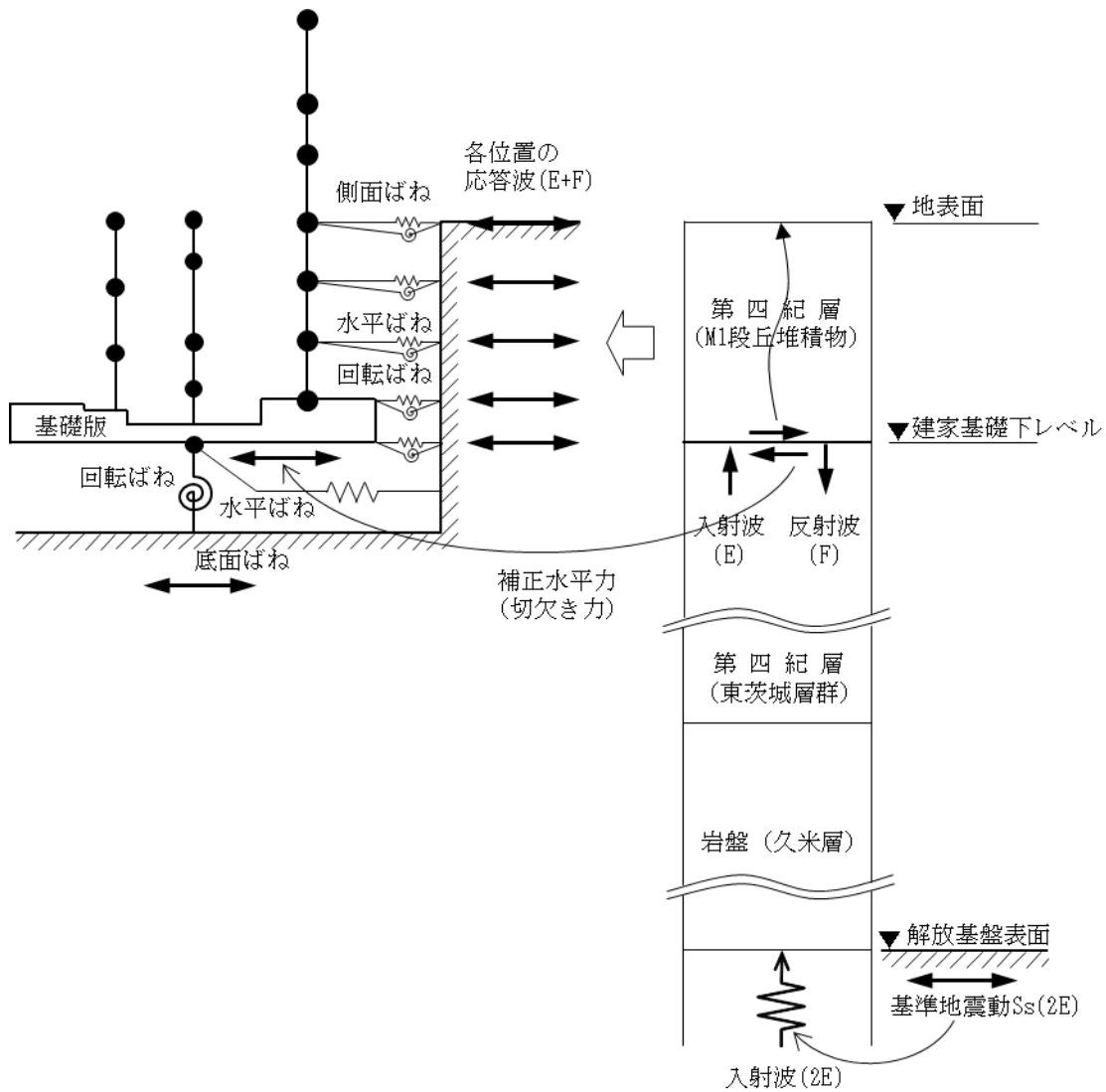


図1 原子炉建家地震応答解析モデルの概要 (水平方向)

表1 建物・構築物の設工認からの変更点（地震応答解析 水平方向）

項目	内容	設工認	今回評価	変更理由
入力地震動の算定法	入力地震動	解放基盤表面の基準地震動（S1 及び S2）を用いて次元波動論により基礎底面の入力地震動（E+F）を算定	解放基盤表面の基準地震動 Ss 及び弾性設計用地震動 Sd を用いて次元波動論により基礎底面の入力地震動（E+F）を算定	規則 1)を踏まえ基準地震動を変更
地震応答解析	建家モデル	多質点系モデル	同左	—
	材料物性	<ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの圧縮強度 Fc=240 kgf/cm² ・ポアソン比 1/6 	再設定 <ul style="list-style-type: none"> ・コンクリートの圧縮強度 Fc=23.5 N/mm²（SI 換算） ・ポアソン比 0.2 	現在の規格・基準 2)に基づき再設定
	減衰定数	RC : 5% S（溶接接合）: 1%	RC : 3% S（溶接接合）: 1%	規則 1)を踏まえ RC 構造の減衰定数のばらつきを考慮し、保守的に設定
	底面ばね	水平及び回転ばねを考慮 ダイナミカルグラウンドコンプライアンス理論による	水平及び回転ばねを考慮 振動アドミタンス理論による	現在の規格・基準 3), 4)に基づき再設定
	側面ばね (補足表 1 参照)	Novak の手法による側面ばね（水平）を考慮	Novak の手法による側面ばね（水平及び回転）を考慮	

- 1) 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
- 2) 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（1999 年日本建築学会）
- 3) 「原子力発電所耐震設計技術指針」（日本電気協会 JEAG4601-1991 追補版）
- 4) 「原子力発電所耐震設計技術規程」（日本電気協会 JEAC4601-2015）

表2 建物・構築物の設工認からの変更点（地震応答解析 鉛直方向）

項目	内容	設工認	今回評価	変更理由
入力地震動の算定法	入力地震動	なし	解放基盤表面の基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を用いて一次元波動論により基礎底面の入力地震動 (2E) を算定	規則 1) を踏まえ新規に実施
地震応答解析	建家モデル (補足表 2 参照)		耐震壁の軸剛性を軸ばねで表現した多質点系モデル	規則 1) を踏まえ新規に実施、現在の規格・基準 4) に基づき設定
	材料物性		・コンクリートの圧縮強度 $F_c = 23.5 \text{ N/mm}^2$ ・ポアソン比 0.2	規則 1) を踏まえ新規に実施、現在の規格・基準 2) に基づき設定
	減衰定数		RC : 3% S (ボルト、リベット接合) : 2% S (溶接接合) : 1%	規則 1) を踏まえ新規に実施、RC 構造の減衰定数のばらつきを考慮し 1)、保守的に設定
	底面ばね		鉛直ばねを考慮 振動アドミッタンス理論による	規則 1) を踏まえ新規に実施、現在の規格・基準 3)、4) に基づき設定
	側面ばね		考慮なし	

- 1) 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」
- 2) 「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」(1999年日本建築学会)
- 3) 「原子力発電所耐震設計技術指針」(日本電気協会 JEAG4601-1991 追補版)
- 4) 「原子力発電所耐震設計技術規程」(日本電気協会 JEAC4601-2015)

表3 建物・構築物の設工認からの変更点（応力解析）

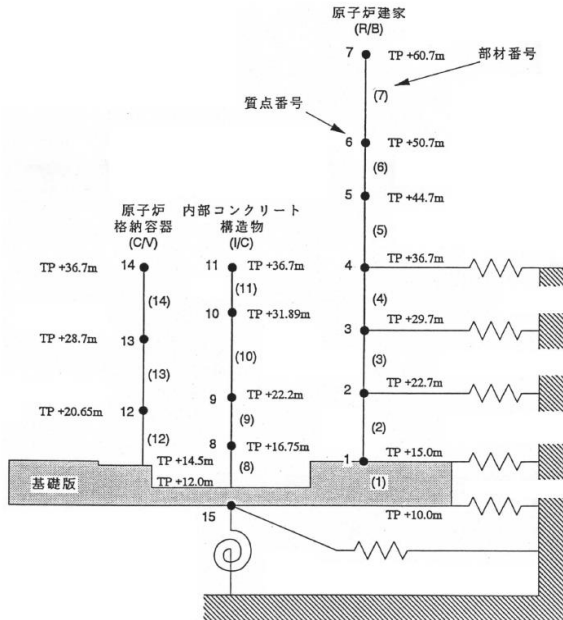
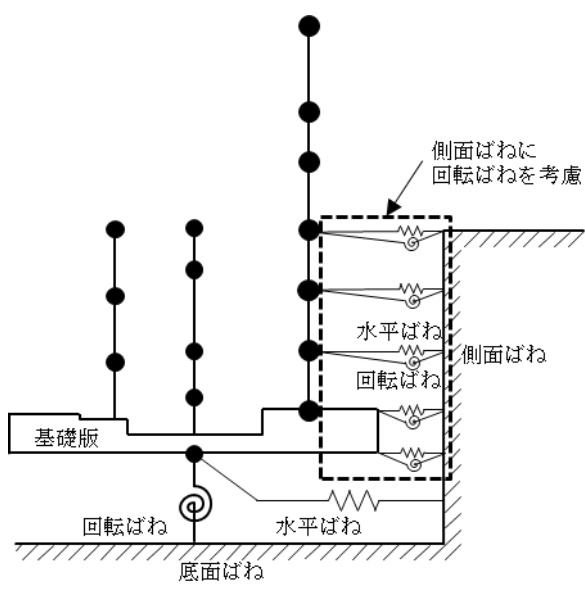
項目	内容	設工認	今回評価	変更理由
応力解析	鉄筋コンクリート部材の評価 (補足表3参照)	線形解析	Ss 地震時には、鉄筋及びコンクリートの非線形特性を考慮した解析 静的地震力3Ci及びSd地震時は、設工認と同様に線形解析	詳細解析を実施するため、線形モデルから非線形モデルに変更
	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せによる影響評価	なし	水平2方向及び鉛直方向地震力の組合せにより影響する部位を抽出し、組合せ係数法(1.0:0.4:0.4)等より影響評価を実施	規則 ¹⁾ を踏まえ新規に実施

1) 「試験研究の用に供する原子炉等の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

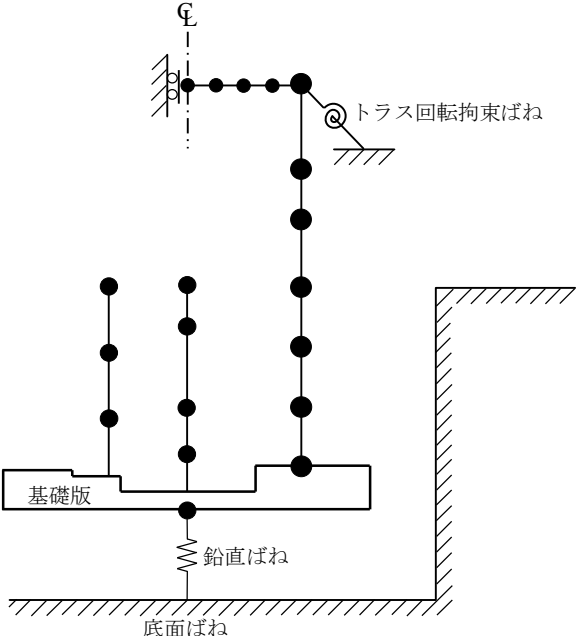
表4 機器・配管系の設工認からの変更点（応力解析）

項目	内容	設工認	今回評価	変更理由
応力解析	応答倍率法による評価の適用	なし	応答倍率法による評価で許容値を満足しない場合は、詳細評価を実施する。	応答倍率法による評価は、簡易性・保守性を有しているためスクリーニングとして実施する。
応力解析	天井クレーンの評価 (補足表4参照)	クレーンガーダに対して、設計用水平震度等を用いて車輪部を固定した評価を実施。	車輪部のすべりを考慮した3次元モデルを作成し、時刻歴応答解析により評価を実施する。	詳細解析を実施するため

補足表1 建物・構築物の設工認からの変更点 (地震応答解析 水平方向)

項目	設工認	今回評価
<p>概念図</p>	 <p>HTTR 設工認より抜粋</p>	 <p>今回評価における解析モデルの概念図 (水平方向)</p>

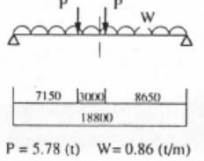
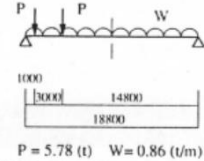
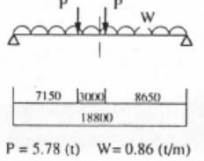
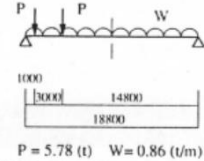
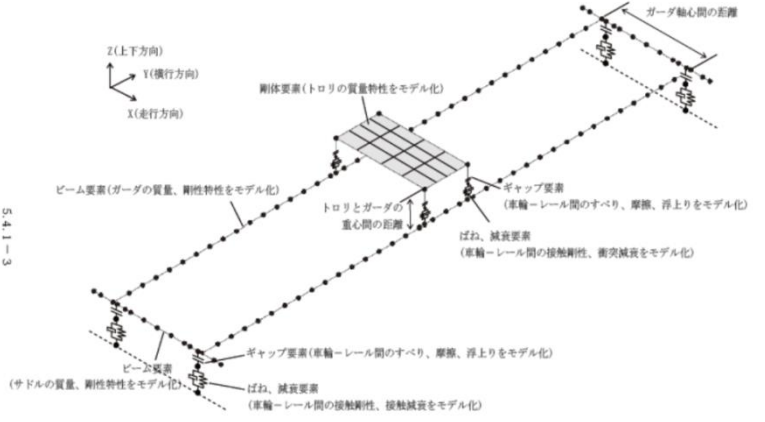
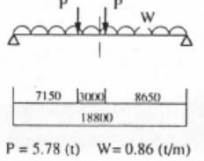
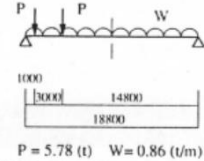
補足表2 建物・構築物の設工認からの変更点（地震応答解析 鉛直方向）

項目	設工認	今回評価
概念図	なし	 <p data-bbox="1234 1042 1861 1070">今回評価における解析モデルの概念図（鉛直方向）</p>

補足表3 建物・構築物の設工認からの変更点（応力解析）

項目	設工認	今回評価
概念図	<p> + は応力図の出力位置を示す。 ▨ は断面算定結果を表示する要素を示す。 </p> <p> TP+36.4m TP+27.95m </p> <p> w1 w2 </p> <p> 使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プールの解析モデル（線形解析） HTTR 設工認より抜粋 </p>	<p> 非線形特性考慮のため精緻化した 使用済燃料貯蔵設備の貯蔵プールの 解析モデル（非線形解析） </p> <p> ※ 静的地震力及び弾性設計用地震動 Sd に対する評価は、今回 評価も同様に線形解析とする。 </p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1249 890 1489 1077"> <p>応力</p> <p>歪み</p> </div> <div data-bbox="1659 890 1870 1077"> <p>応力</p> <p>歪み</p> </div> </div> <p> 鉄筋の応力-歪み コンクリートの応力（圧縮）-歪み 鉄筋及びコンクリートの非線形特性 </p>

補足表4 機器・配管系の設工認からの変更点（応力解析）

項目	設工認	今回評価						
<p>概念図</p>	<table border="1" data-bbox="405 486 1149 719"> <thead> <tr> <th data-bbox="405 486 544 534">トロリ位置</th> <th data-bbox="544 486 844 534">ガーダー中央より75cm</th> <th data-bbox="844 486 1149 534">ガーダー端部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="405 534 544 719">荷重図</td> <td data-bbox="544 534 844 719">  <p>7150 3000 8650 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p> </td> <td data-bbox="844 534 1149 719">  <p>1000 3000 14800 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p> </td> </tr> </tbody> </table> <p>設工認時における天井クレーンの評価</p>	トロリ位置	ガーダー中央より75cm	ガーダー端部	荷重図	 <p>7150 3000 8650 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p>	 <p>1000 3000 14800 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p>	 <p>5.4.1-3</p> <p>図 5.4.1-1 実機モデル試験体の解析モデル</p> <p>今回評価における天井クレーンの解析モデルの概念図</p>
トロリ位置	ガーダー中央より75cm	ガーダー端部						
荷重図	 <p>7150 3000 8650 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p>	 <p>1000 3000 14800 18800 P = 5.78 (t) W = 0.86 (t/m)</p>						

基準地震動S_sの加速度時刻歴波形 及び応答スペクトル

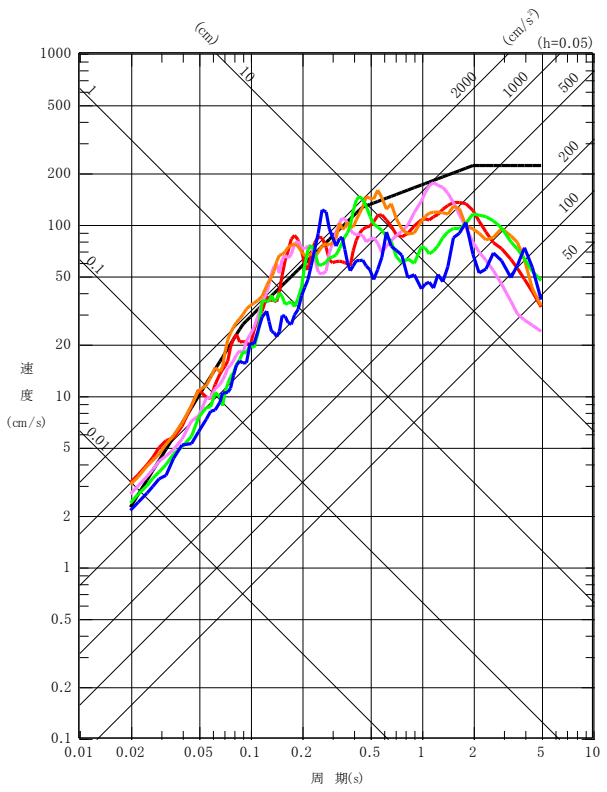
■ 基準地震動Ssの最大加速度の一覧を示す。

基準地震動		最大加速度 (cm/s ²)		
		NS成分	EW成分	UD成分
Ss-D	応答スペクトル手法による基準地震動	700		500
Ss-1	F3断層, F4断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)	973	711	474
Ss-2	F3断層, F4断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)	835	761	436
Ss-3	F3断層, F4断層の運動による地震 (短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)	948	850	543
Ss-4	F3断層, F4断層の運動による地震 (断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)	740	630	405
Ss-5	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)	670	513	402

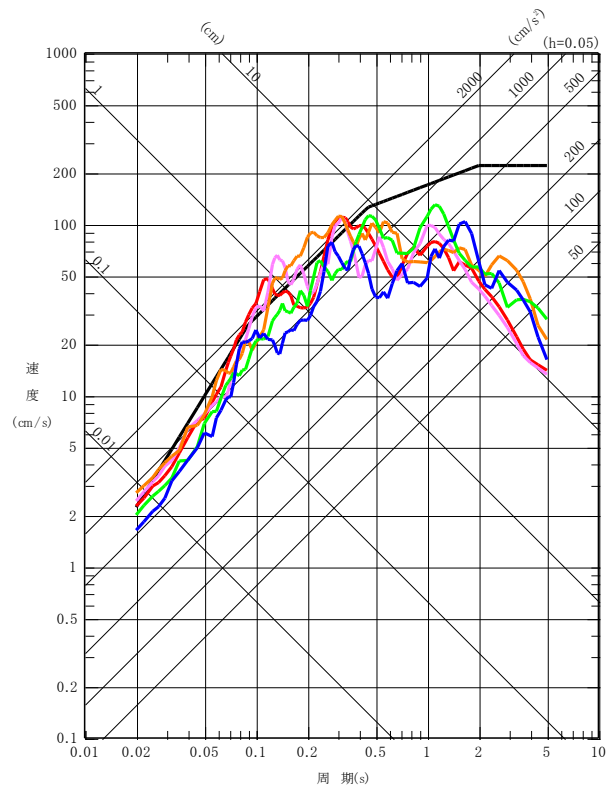
※表中のグラフは各基準地震動Ssの加速度時刻歴波形(縦軸:加速度[cm/s²], 横軸:時間[s])

■ 基準地震動Ssの応答スペクトル

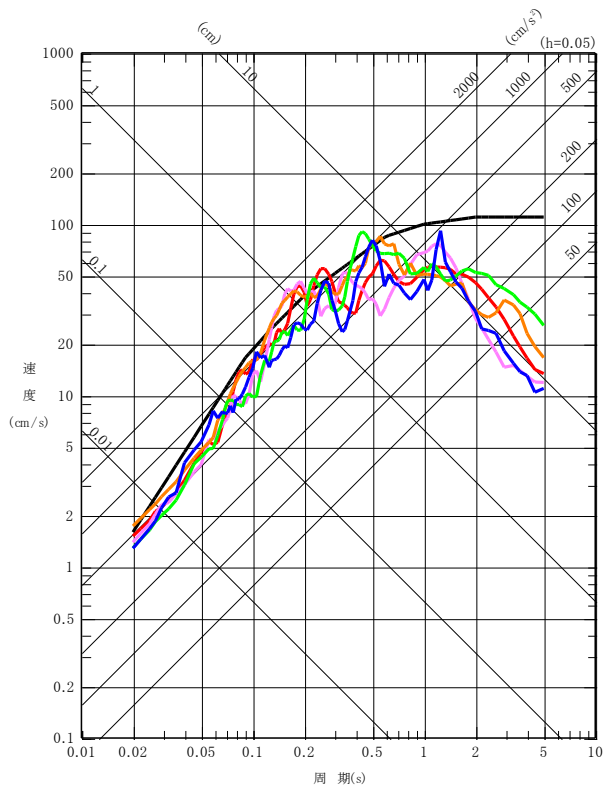
- Ss-D 応答スペクトル手法による基準地震動
- Ss-1 F3断層, F4断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点1)
- Ss-2 F3断層, F4断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点2)
- Ss-3 F3断層, F4断層の運動による地震(短周期レベルの不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-4 F3断層, F4断層の運動による地震(断層傾斜角の不確かさ, 破壊開始点3)
- Ss-5 2011年東北地方太平洋沖型地震(SMGA位置と短周期レベルの不確かさの重量)



NS成分



EW成分



UD成分

建家基礎下レベルでの地震動評価について

- 本検討においては、下表に示す耐震設計に用いる浅部地盤モデルにより評価した。
- 密度は、ボーリング孔から採取した供試体を用いた物理試験の結果より設定した。
- S波速度とポアソン比は、ボーリング孔で実施したPS検層の結果より設定した。
- P波速度は、地下水位より上部はポアソン比一定、地下水位以深は体積弾性率一定として設定した。
- 等価線形解析に用いる変形特性は、ボーリング孔から採取した供試体を用いた動的変形試験（繰り返し中空ねじりせん断試験又は繰り返し三軸試験）の結果より設定した。

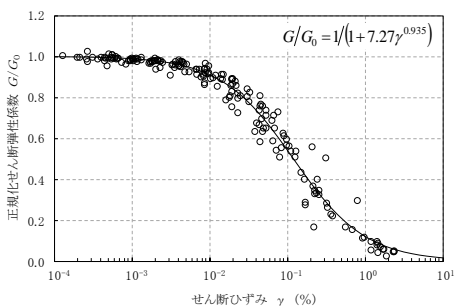
地震動算定用地盤モデル

No.	地層区分		上端深度 G.L. (m)	層厚 (m)	湿潤密度 ρ (g/cm ³)	S波速度 V_s (m/s)	ポアソン比 ν
1	東茨城層群	Is-S ₁	-26.50	0.50	1.87	438	0.46
2		Is-S ₁	-27.00	11.52	1.87	438	0.46
3		Is-C	-38.52	1.11	1.88	382	0.47
4		Is-S ₂	-39.63	24.92	1.86	393	0.47
5		Is-Sc	-64.55	8.78	1.82	396	0.47
6		Is-S ₂	-73.33	11.10	1.86	393	0.47
7		Is-Sg	-84.43	1.35	1.98	601	0.44
8		Is-S ₃	-85.78	4.41	1.97	496	0.45
9	久米層	Km	-90.19	70.08	1.79	509	0.45
10		Ks	-160.27	11.63	1.88	637	0.43
11	多賀層群	—	-171.90	—	1.98	1010	0.36

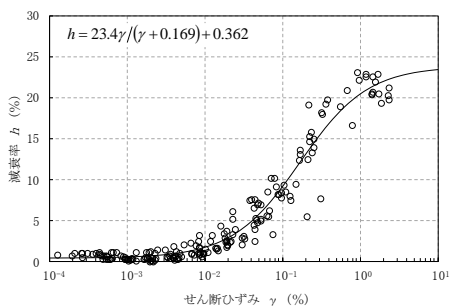
建家基礎下レベル
(地震動評価位置)

▽地下水位

解放基盤表面
(基準地震動入力位置)

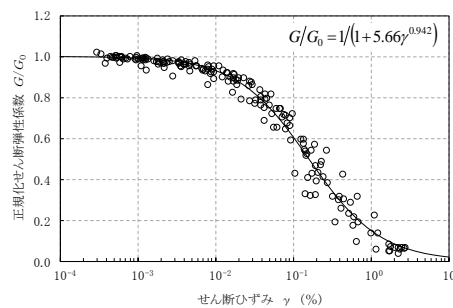


$G/G_0 - \gamma$ 曲線

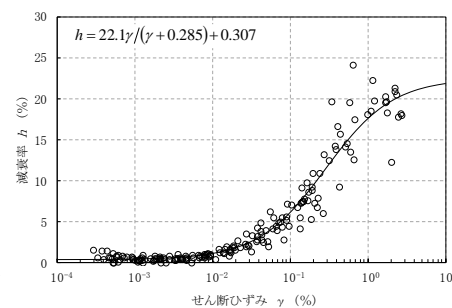


$h - \gamma$ 曲線

動的変形試験結果(変形特性, Is-S₁層)



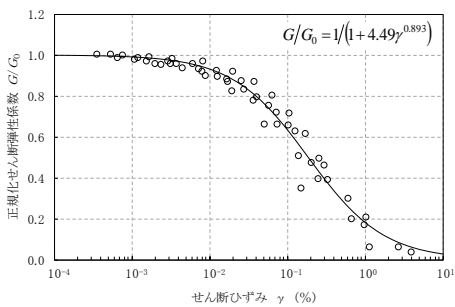
$G/G_0 - \gamma$ 曲線



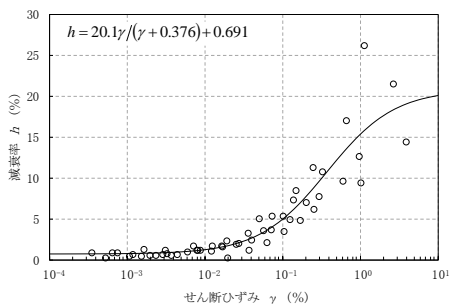
$h - \gamma$ 曲線

動的変形試験結果(変形特性, Is-S₂層)

※Is-Sg層の変形特性はIs-S2の試験結果を引用する。

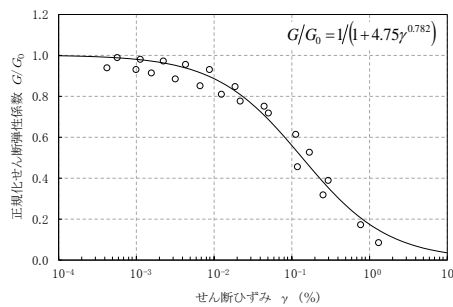


$G/G_0 - \gamma$ 曲線

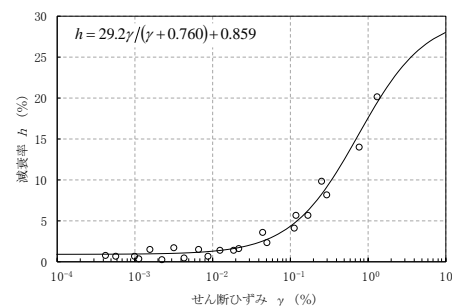


$h - \gamma$ 曲線

動的変形試験結果(変形特性, Is-C層)

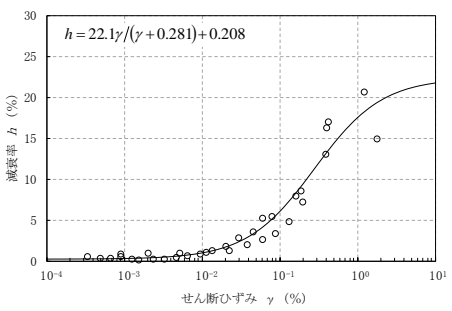
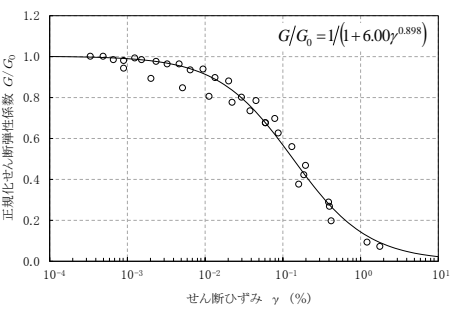


$G/G_0 - \gamma$ 曲線



$h - \gamma$ 曲線

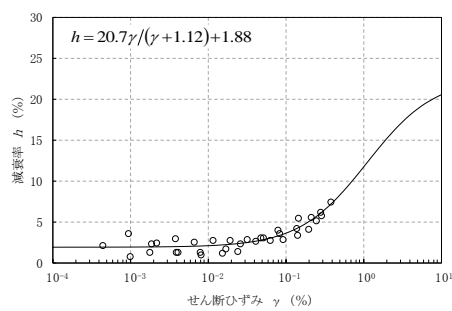
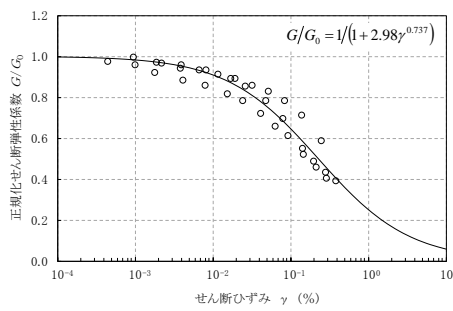
動的変形試験結果(変形特性, Is-Sc層)



$G/G_0 - \gamma$ 曲線

$h - \gamma$ 曲線

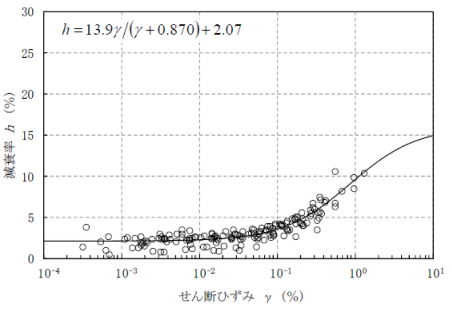
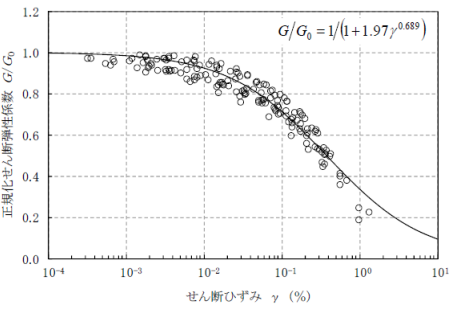
動的変形試験結果(変形特性, Is-S₃層)



$G/G_0 - \gamma$ 曲線

$h - \gamma$ 曲線

動的変形試験結果(変形特性, Ks層)

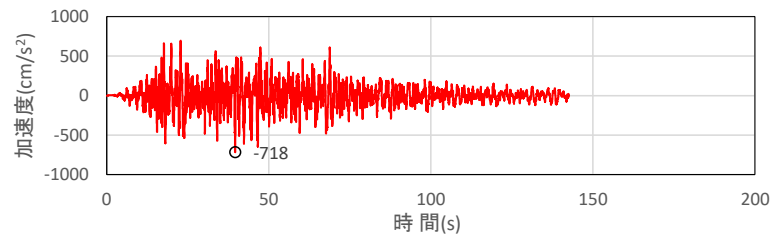


$G/G_0 - \gamma$ 曲線

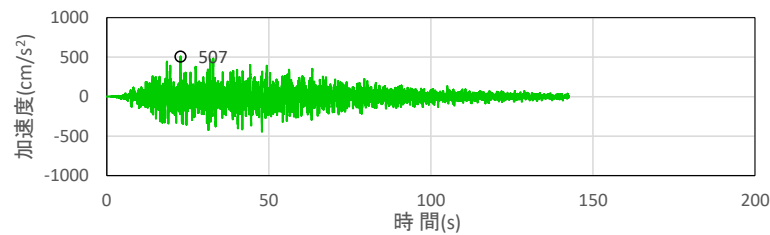
$h - \gamma$ 曲線

動的変形試験結果(変形特性, Km層)

建家基礎下レベルでの地震動
 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)

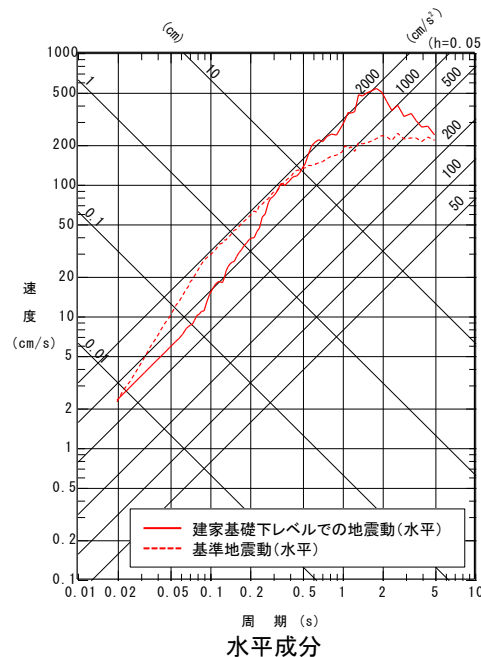


水平成分

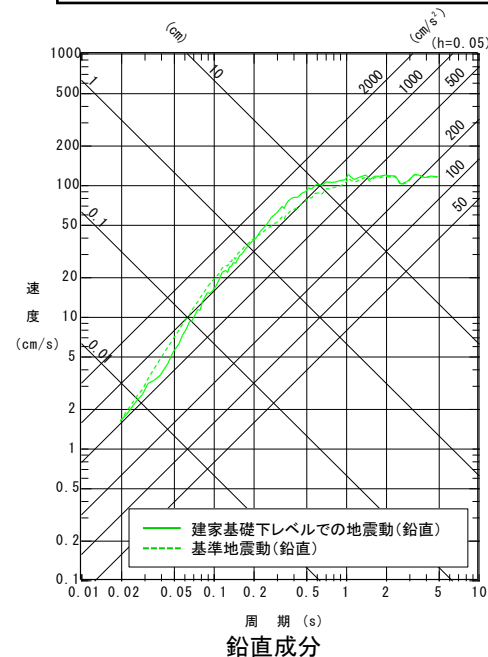


鉛直成分

加速度時刻歴波形

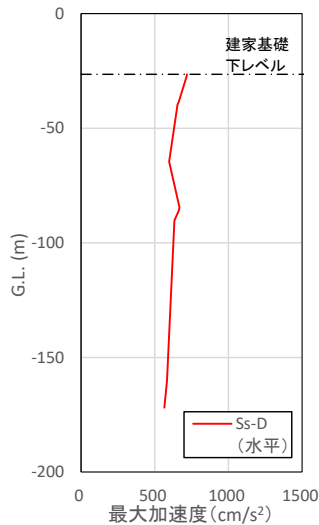


水平成分

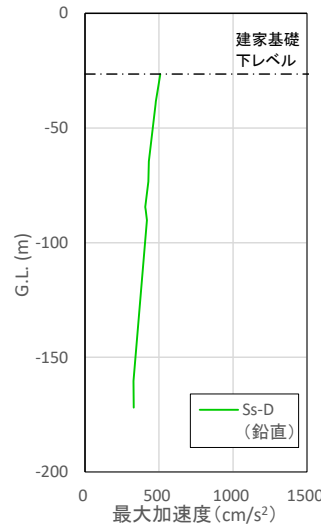


鉛直成分

擬似速度応答スペクトル

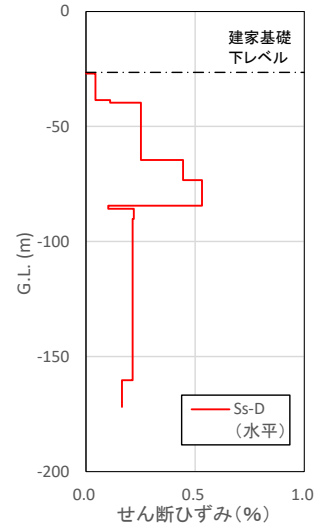


水平成分



鉛直成分

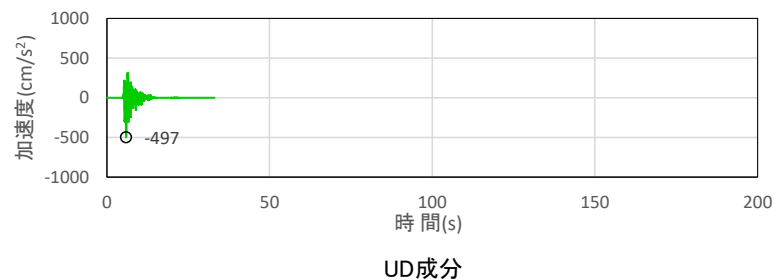
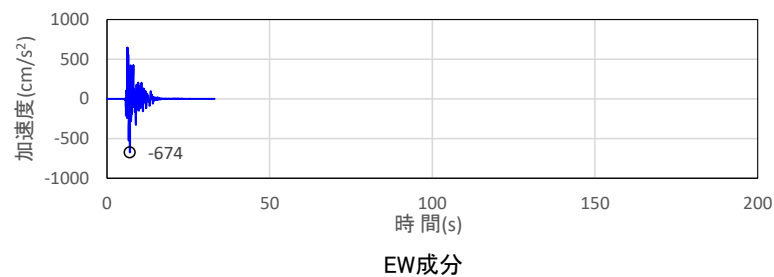
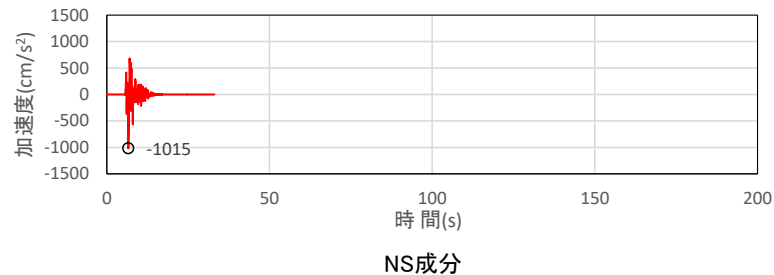
最大加速度分布



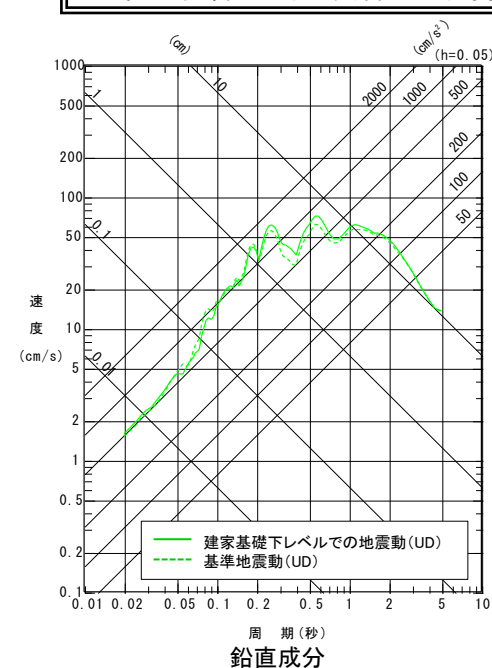
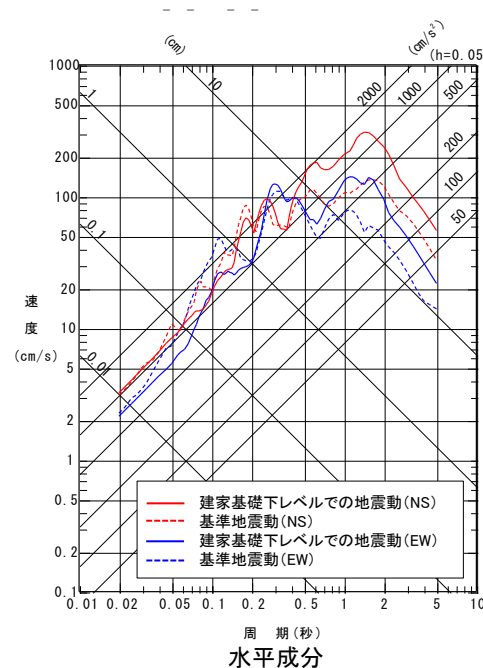
水平成分

せん断ひずみ分布

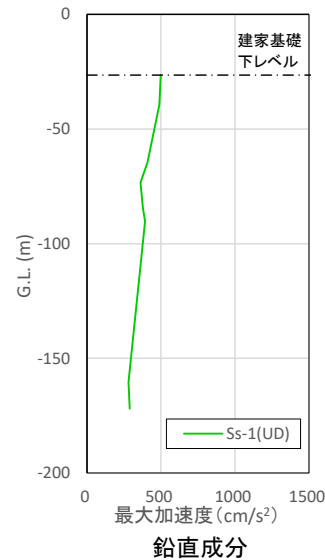
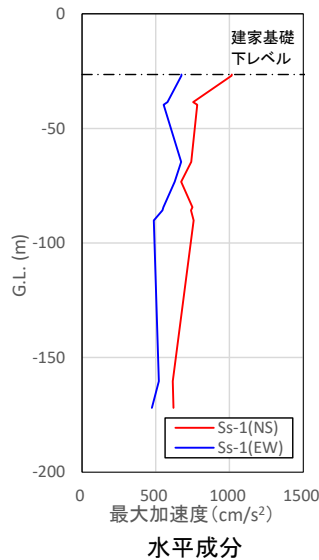
建家基礎下レベルでの地震動 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)



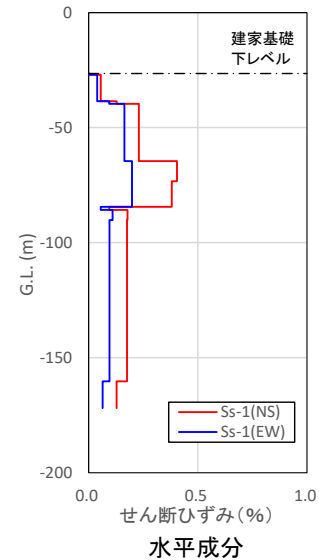
加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル

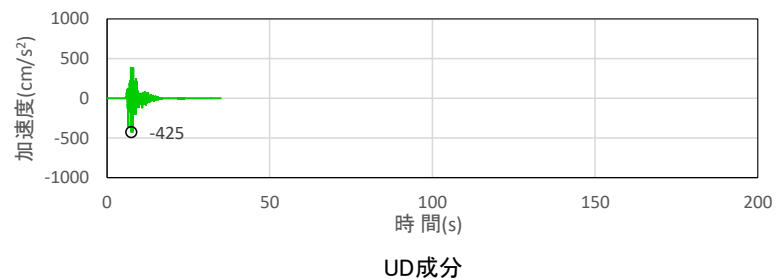
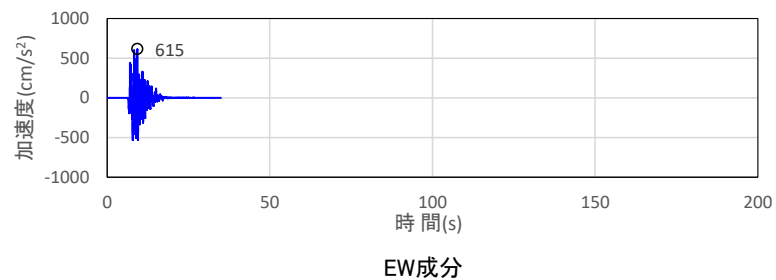
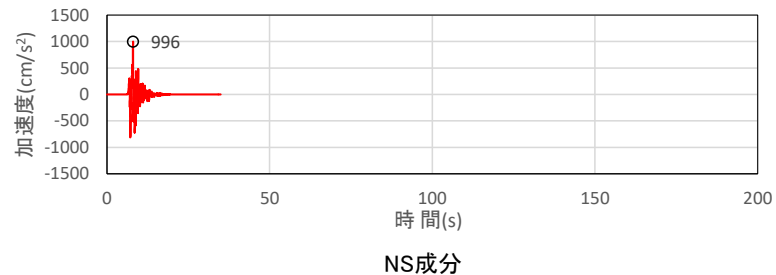


最大加速度分布

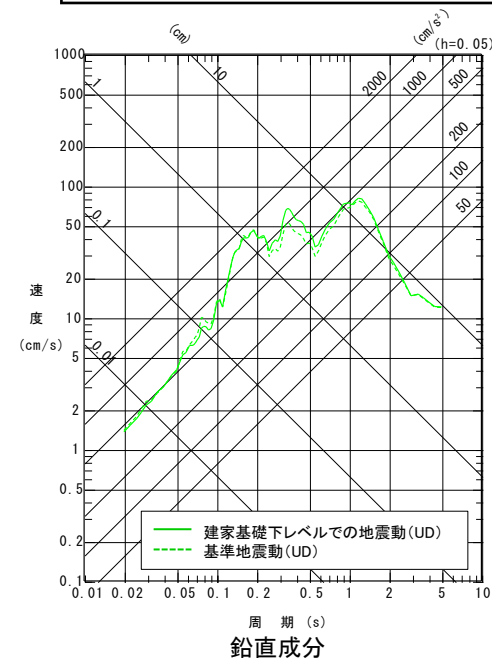
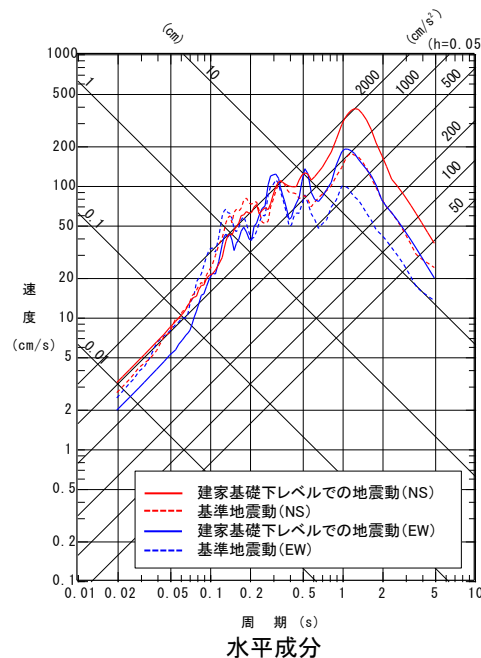


せん断ひずみ分布

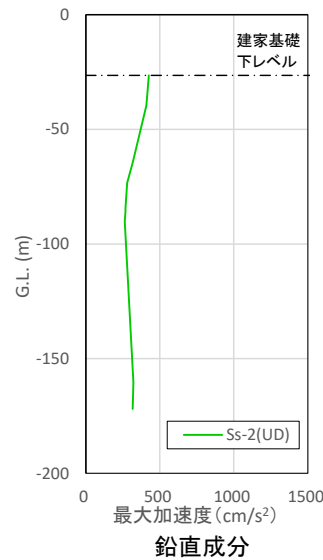
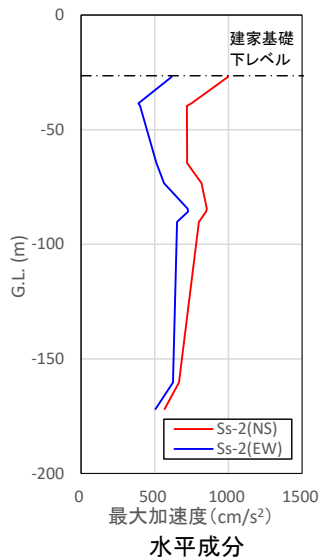
建家基礎下レベルでの地震動
 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)



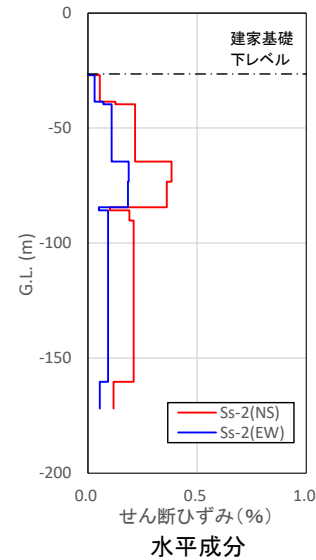
加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル

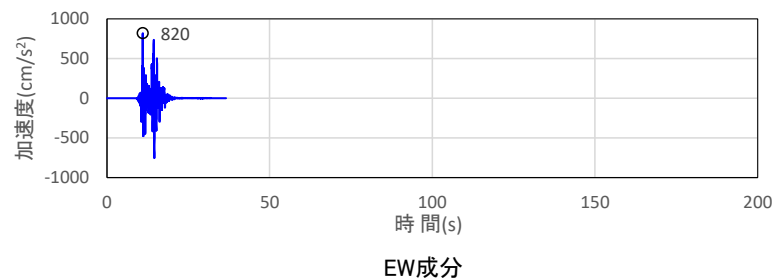
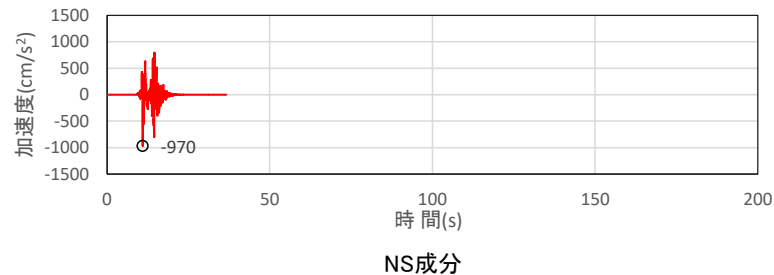


最大加速度分布

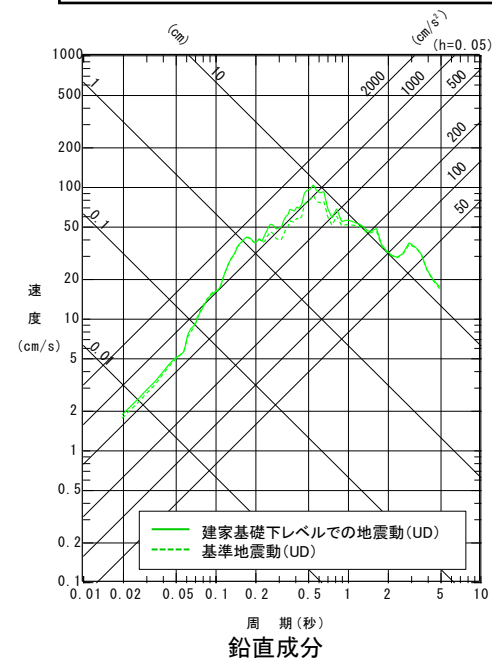
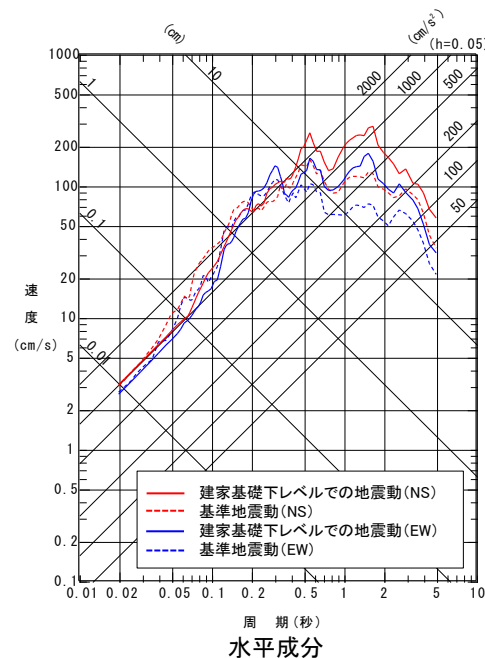


せん断ひずみ分布

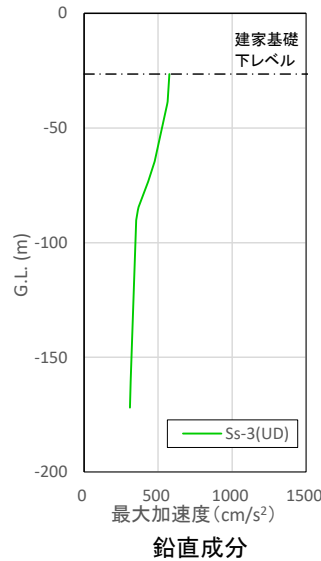
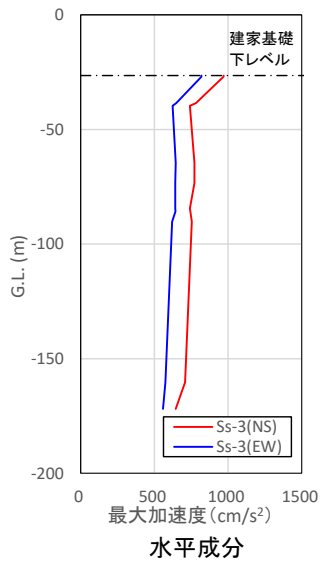
建家基礎下レベルでの地震動
 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)



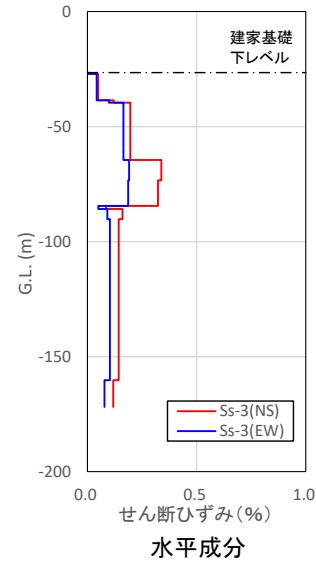
加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル

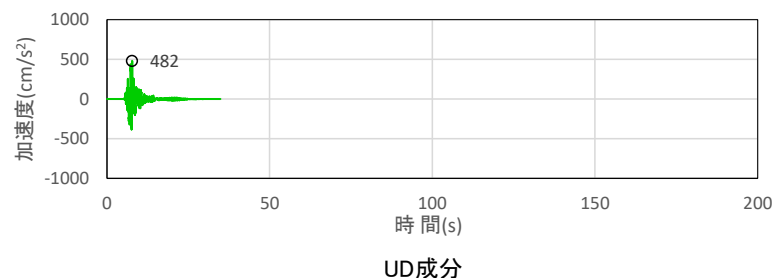
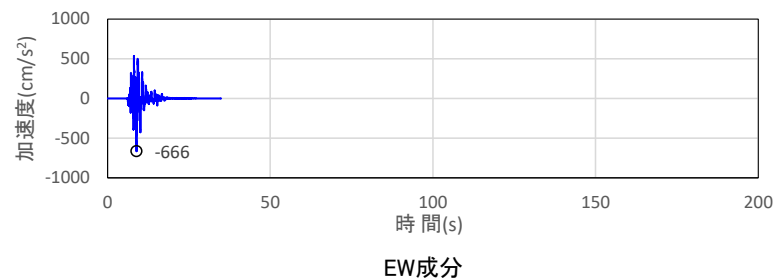
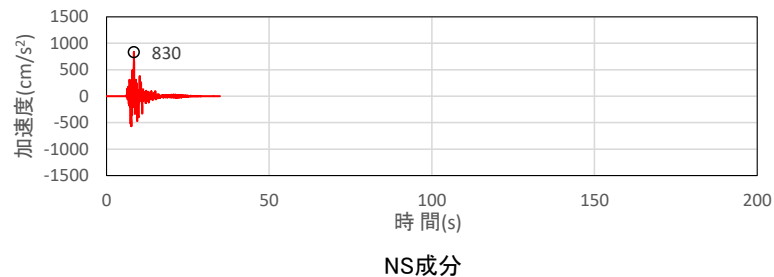


最大加速度分布

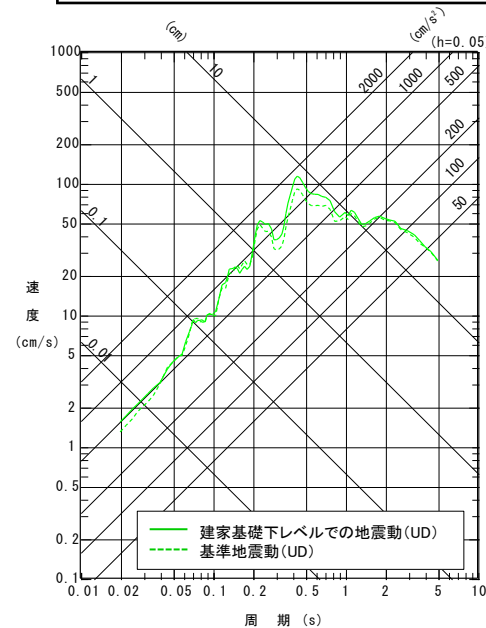
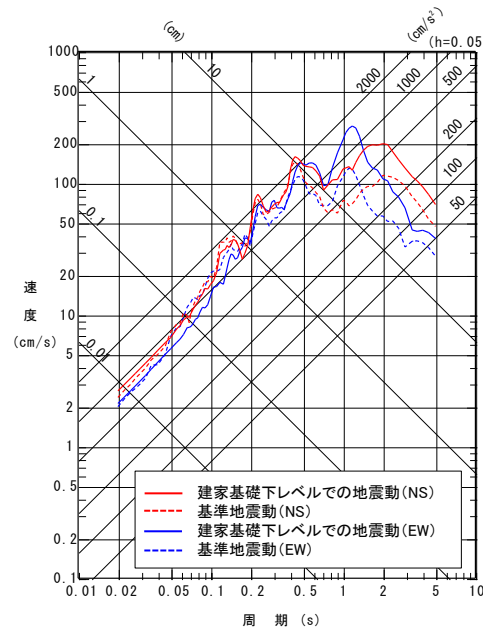


せん断ひずみ分布

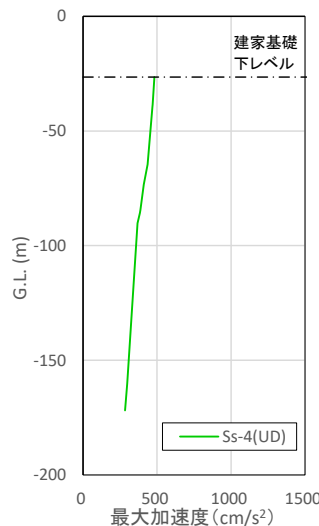
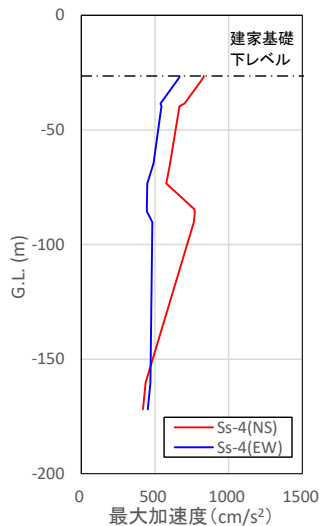
建家基礎下レベルでの地震動
 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)



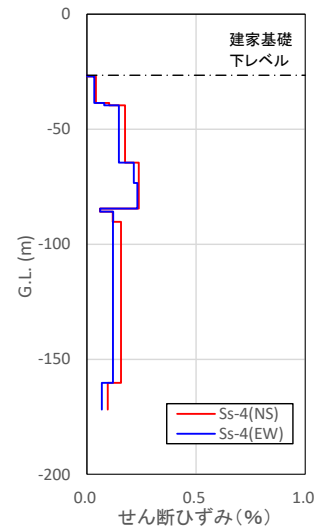
加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル

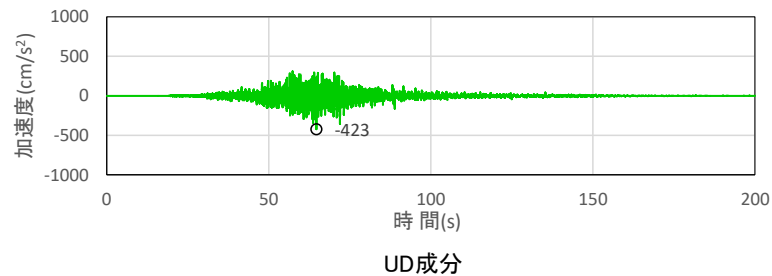
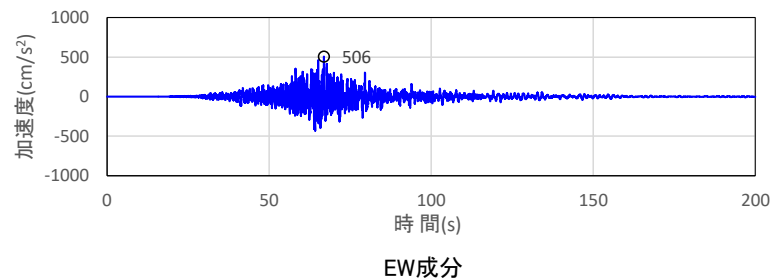
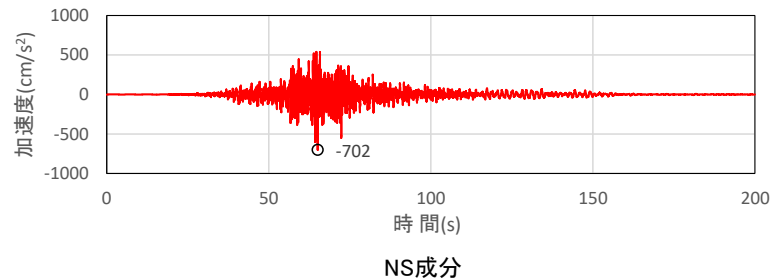


最大加速度分布

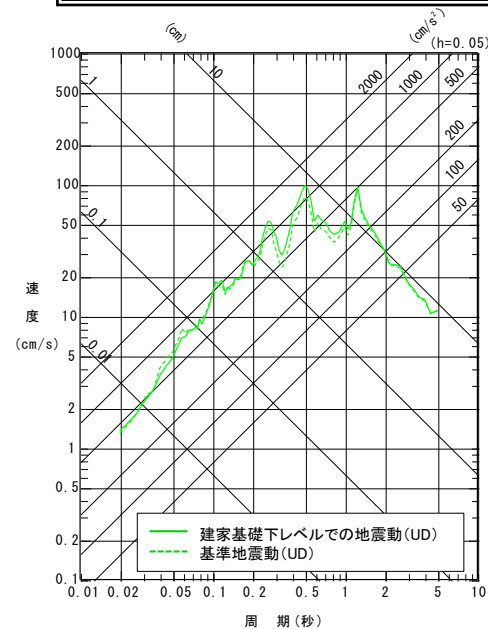
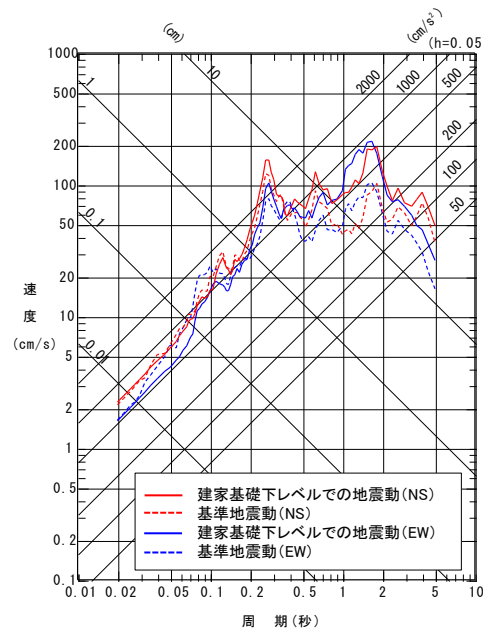


せん断ひずみ分布

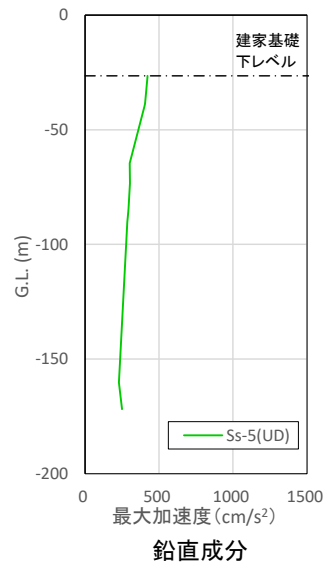
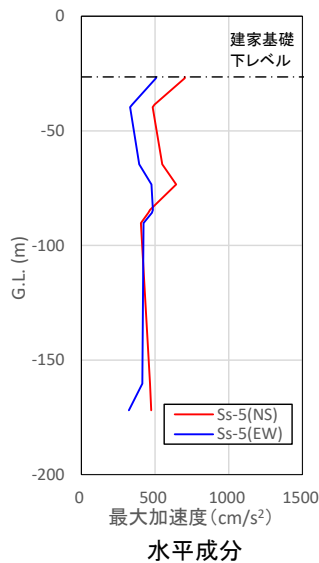
建家基礎下レベルでの地震動
 (基礎下G.L.-26.5m; 自由表面波)



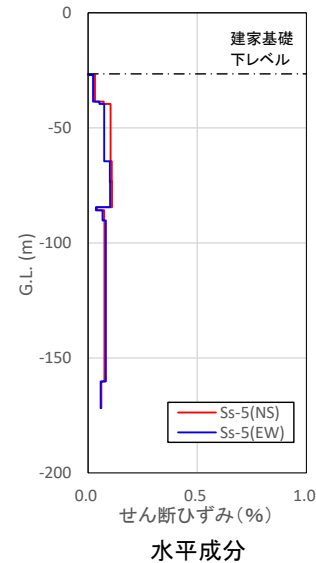
加速度時刻歴波形



擬似速度応答スペクトル



最大加速度分布

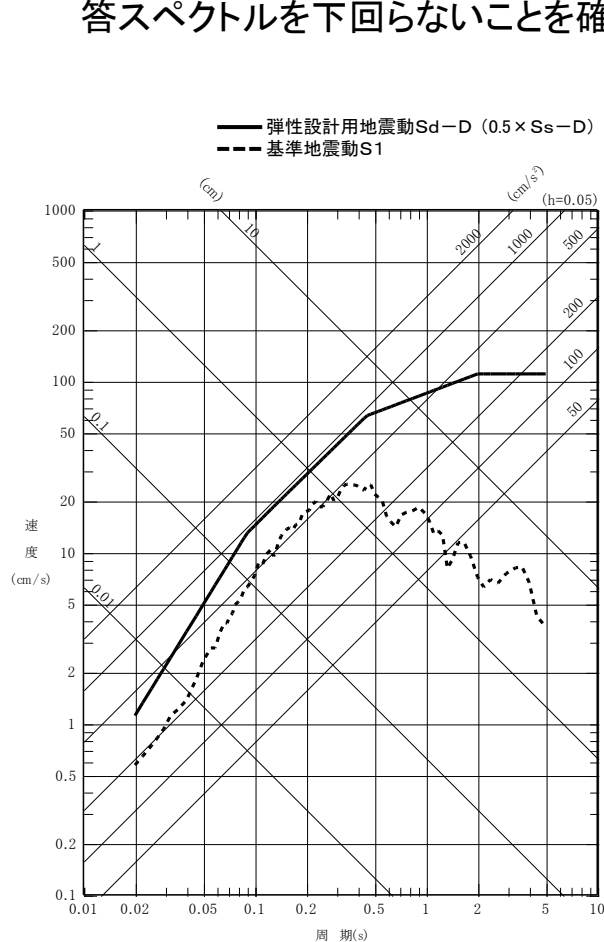


せん断ひずみ分布

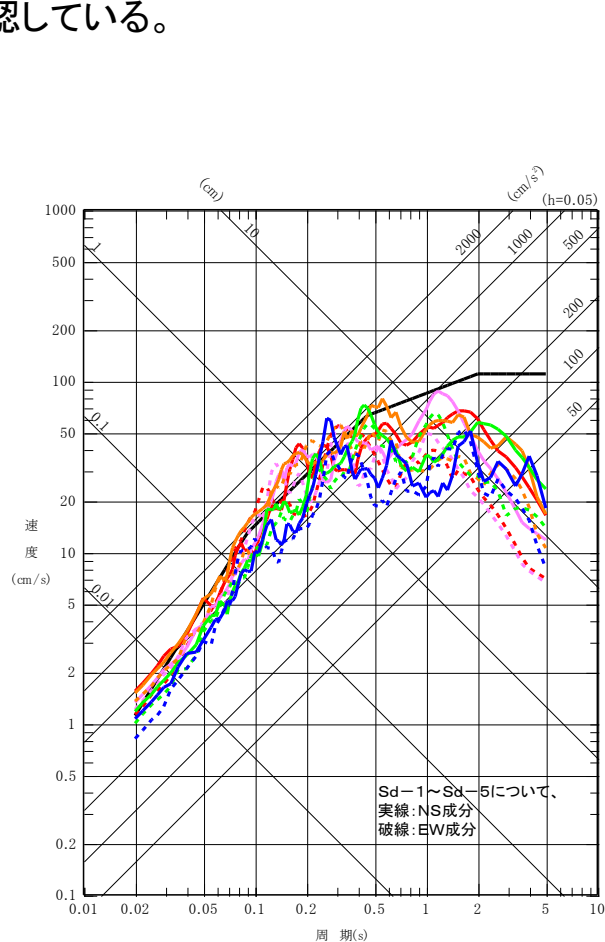
弾性設計用地震動 S_d について

弾性設計用地震動Sdについて

- 弾性設計用地震動Sdは、工学的判断として、原子炉施設の安全機能限界と弾性限界に対する入力荷重の比率が0.5程度であるという知見を踏まえ、基準地震動Ssに係数0.5を乗じる。
- 応答スペクトルに基づく基準地震動Ss-Dに係数0.5を乗じた弾性設計用地震動Sd-Dが、「発電用原子炉施設に関する耐震設計審査指針(昭和56年7月20日原子力安全委員会決定)」を踏まえ策定した基準地震動S1の応答スペクトルを下回らないことを確認している。



弾性設計用地震動Sd-Dの応答スペクトルと
 基準地震動S1の応答スペクトルとの比較



弾性設計用地震動Sdの応答スペクトル

