



リサイクル燃料備蓄センターにおける 津波襲来時の建屋損傷と金属キャスクへの衝突物の考え方

令和4年3月4日

 **リサイクル燃料貯蔵株式会社**

枠囲みの内容は、防護上の観点から
公開できません。

目次

1. 津波襲来時に損傷の可能性のある建屋部位について

- (1) 受入れ区域外壁部で考慮する損傷部位
- (2) 受入れ区域北側外壁部(Ba通～F通間)で考慮する損傷部位
- (3) 損傷を受ける可能性が高い部位と屋根部の関係
- (4) 建屋損傷により考慮する落下物のまとめ

2. 評価事象の選定

- (1) 金属キャスクへの影響を考慮した落下物の選定

3. 参考

- (参考1) 平成30年11月20日審査会合資料(写)

津波に対する貯蔵建屋の健全性(水圧)(水深係数1.5を用いた検討結果

- (参考2) 建屋の変形(破損)のイメージ

1. 津波襲来時に損傷の可能性のある建屋部位について

(1) 受入れ区域北側外壁部で考慮する損傷部位

津波襲来時の金属キャスクの健全性確認方針

今回申請の設工認において、津波襲来時の金属キャスクの基本的安全機能の確認に関しては、以下の方針で検討を実施している。

- ✓ **貯蔵区域**に収納される金属キャスクについては建屋のうち**貯蔵区域が波力に耐える**ことによって**建屋損傷の影響を考慮しない**。
- ✓ **受入れ区域**については、**建屋が波力により損傷**を受けることを前提として、**天井スラブおよび天井クレーンの落下**を考慮して金属キャスク密封境界部の健全性を確認する。
- ✓ 建屋の損傷による天井スラブおよび天井クレーンの落下を想定する考え方については、「**リサイクル燃料備蓄センターにおける津波防護方針について**」(令和元年12月9日 審査会合資料)にて整理がなされている。
- ✓ 本資料では、上記の考え方を建屋構造との関係で整理する。

受入れ区域で考慮する建屋の損傷部位

上記のように、受入れ区域については、建屋が波力により損傷を受けることを前提として落下物の選定を行っているが、**貯蔵建屋受入れ区域のうち損傷を受ける可能性のある部位**は以下のとおりであり、**損傷を受ける可能性の高い壁はBa通～F通間の北側外壁部**である。

表1 北側外壁部の比較

北側外壁部 (A通～Ba通間)	北側外壁に直交する厚い外壁およびBa通に 直交壁 があり、Ba通～F通の北側外壁部に比べ強度が高いため 損傷の可能性 は相対的に 低い 。
北側外壁部 (F通～H通間)	北側外壁に直交する厚い外壁およびF通～Ga通に 直交壁 があり、Ba通～F通の北側外壁部に比べ強度が高く相対的に 損傷の可能性 は相対的に 低い 。
北側外壁部中央 (Ba通～F通間)	A通～Ba通間およびF通～H通間に比べて 面外方向の支持部材がない ため剛性が低く、面外方向の応力・変形が大きいため 損傷の可能性 が 高い 。

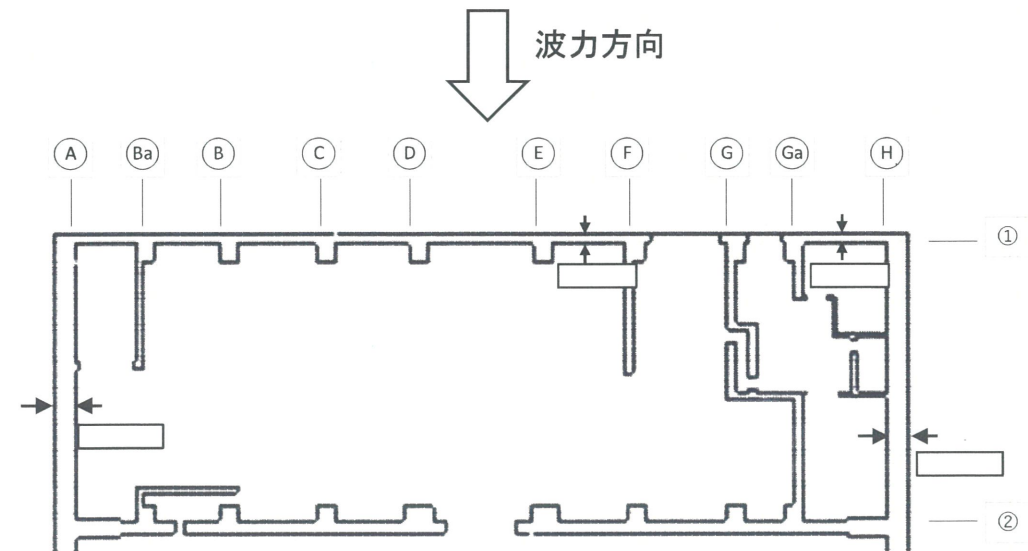


図1 受入れ区域の壁の配置

1. 津波襲来時に損傷の可能性のある建屋部位について

(2) 受入れ区域北側外壁部(Ba通～F通間)で考慮する損傷部位

北側外壁部の応力状態

受入れ区域は、**建屋の階高が貯蔵区域に比べて高く**、貯蔵区域に比べて相対的に**大きな波力を受ける**ことになる。

また、各所に給気および排気のための開口を有しており、部位によって応力状態が異なる状況となる。

一般に水圧を受ける壁の応力については以下のような特徴がある。

- ✓ **開口部周辺**に応力が集中しやすい。
- ✓ **剛性の変化する部分**に応力が集中しやすい
- ✓ **壁の支持部である脚部**にて最大のせん断応力が生じる。

上記の特徴を踏まえると応力の厳しくなる部位は以下のとおりであり、損傷により想定する**落下物として北側外壁部の一部であるコンクリート側壁**(②部および③部の損傷の影響)、北側外壁部に支持される**クレーンガーダおよび天井クレーン**(②部および③部の損傷の影響)を想定する。

表2 建屋損傷部位

排気口周辺の部材(①部)	開口による 形状の不連続部 であり、開口間の外壁に面外せん断応力の集中が起きるため、他の壁部に比べて損傷の可能性が相対的に高い。
給気口上部外壁の剛性変化部(②部)	形状の不連続(壁厚の変化)部 であり、曲げ応力の集中が起きやすく、他の壁部に比べて損傷の可能性が相対的に高い。
北側外壁中央部脚部※ (Ba通～F通間:③部)	上部の波力が脚部に伝わり、脚部が基礎版に固定されていることから、 上部の構造の波力が全て脚部に伝わり 、曲げおよび面外せん断応力が最も厳しい部位となる。

※ 過去の水深係数1.5に対する解析結果(参考1)では、脚部の応力の検定比は、曲げで0.53であり、面外せん断で0.39である。水深係数3.0を考慮するとこの応力が4倍以上となる。

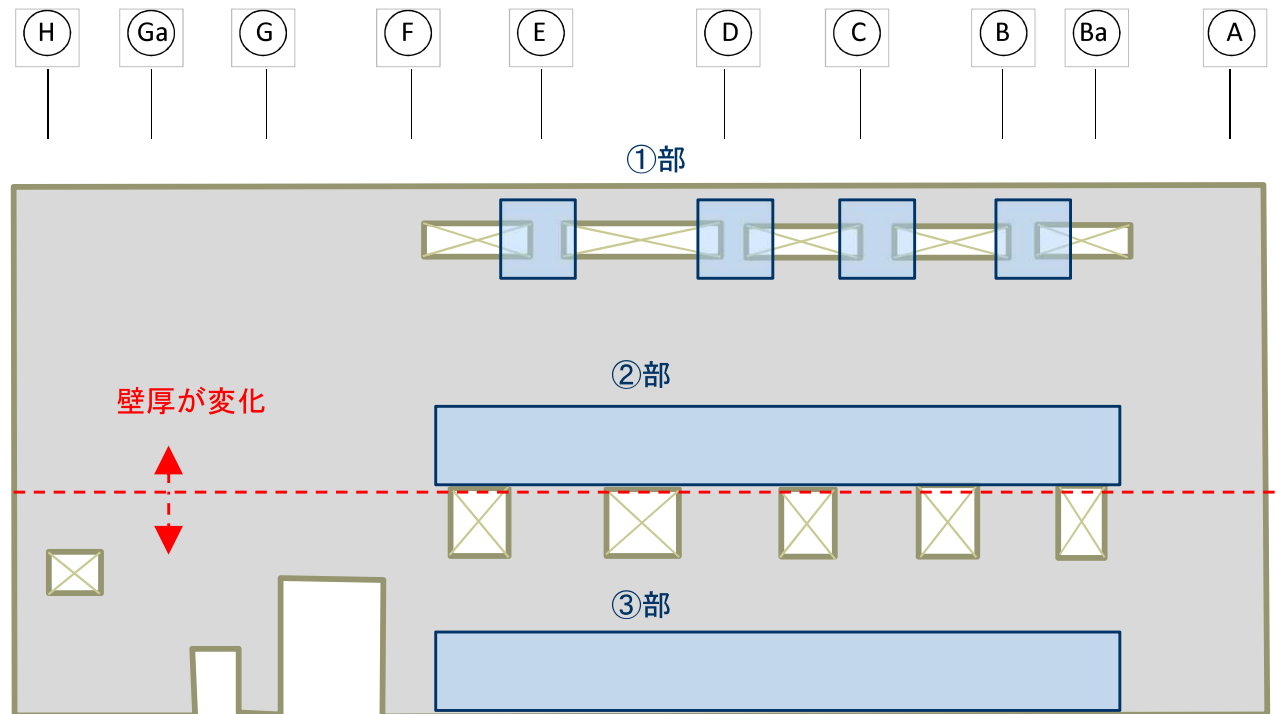


図2 受入れ区域北側外壁の応力状態

1. 津波襲来時に損傷の可能性のある建屋部位について

(3) 損傷を受ける可能性が高い部位と屋根部の関係

受入れ区域北側外壁部の損傷による屋根面と架構鉄骨大梁への影響

屋根部については、津波に波力を直接受ける部位ではないものの、前項の建屋北側外壁部の損傷の可能性が高い部位に損傷が生じると、その影響を受けて柱にも損傷が及ぶ状態(前頁①～③部の損傷の影響)が想定される。柱に損傷が生じた状態となると、鉛直荷重の負担能力を十分発揮できない状態が想定される。

この状態では、柱部の鉛直方向の変形が大きくなり、屋根面も大きな変形を受けて変形による応力が増大することとなる。

しかしながら、下表に示すように、屋根部の大梁の剛性が柱よりも高く、架構鉄骨を構成する大梁および小梁は靱性の高い鋼材であること、大梁の接合部もいわゆる保有水平耐力接合であり、柱に先行して屋上部の梁が脱落するような損傷を受ける恐れがないことから、架構鉄骨大梁の自由落下は考慮しない。

表3 受入れ区域の鉄骨部材

大梁	BH-2,500 × 800 × 32 × 40
小梁	H-588 × 300 × 12 × 20
柱(柱頭部)	BH-1,000 × 800 × 32 × 40

架構鉄骨大梁の変形による天井スラブの損傷・落下

上記のように、屋根面の変形による架構鉄骨の落下は考慮しないが、大梁上部には天井スラブが設置されており、貯蔵建屋受入れ区域の損傷が大きい場合、天井のコンクリートスラブが破損・変形して落下し、金属キャスクへの衝突が想定されることから、たて起こし状態にある金属キャスクの上部にある天井スラブが自由落下することを考慮する。(図4を参照)

建屋変形のイメージ

上記のよう変形を考慮した建屋の変形(破損)の「イメージ」を(参考2)に示す。

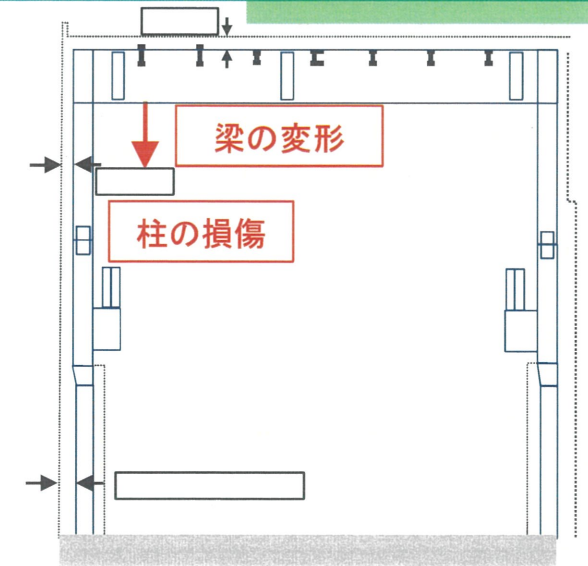


図3 受入れ区域の架構鉄骨

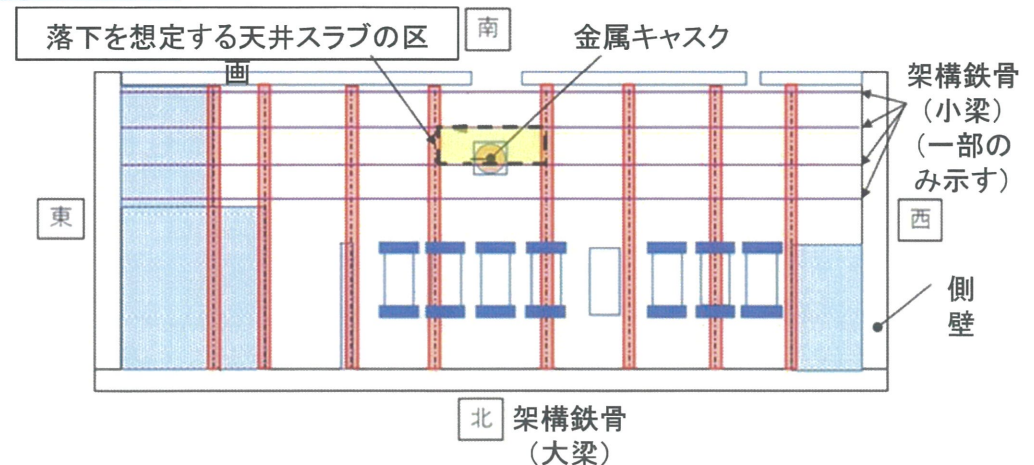


図4 落下を想定する天井スラブ

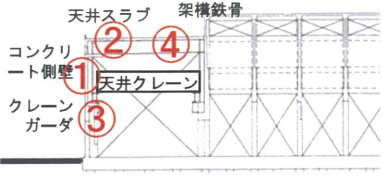
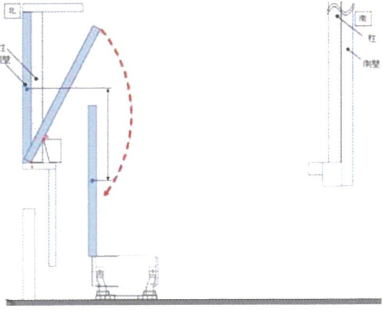
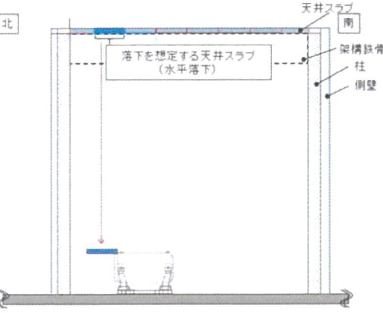
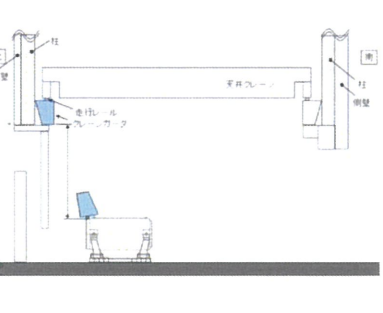
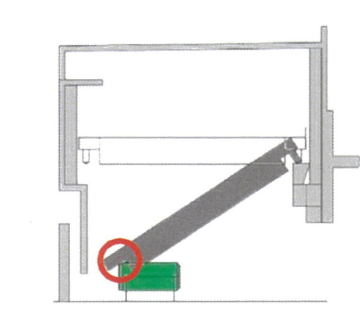
1. 津波襲来時に損傷の可能性のある建屋部位について

(4) 建屋損傷により考慮する落下物のまとめ

建屋損傷と落下物の関係

受入れ区域北側外壁部の損傷により想定する落下物の関係をとりとめると以下のとおりである。

表4 受入れ区域外壁部の損傷と落下物の関係

貯蔵建屋受入れ区域概略図	①コンクリート側壁	②天井スラブ(単独)	③クレーンガーダ	④天井クレーン
				
<p>貯蔵建屋受入れ区域の構造を踏まえ、北側側壁の破損に伴う建屋構造材の落下物として以下を考慮する。</p> <p>①コンクリート側壁</p> <p>②天井スラブ(単独)</p> <p>③クレーンガーダ(貯蔵建屋受入れ区域の北側及び南側に、受入れ区域天井クレーンの走行レールを支持するためのクレーンガーダが設置されている。)</p> <p>④天井クレーン</p>	<ul style="list-style-type: none"> 北側側壁の衝突として、落下高さが大きく衝突エネルギーが大きい上部の側壁の落下(転倒)による衝突を仮定する。 側壁は柱で仕切られており側壁全体が一体となって転倒する可能性は小さいと考えられることから、破損に伴う落下物のサイズとして、たて起こし架台付近の1区画(幅6.75m×高さ8.8m×厚さ□)を考慮する。 水平姿勢の金属キャスク蓋部への衝突荷重が大きくなるよう、側壁の転倒状況を保守的に見込み、側壁が鉛直な状態で金属キャスク蓋部に衝突する状態を仮定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 天井スラブは、架構鉄骨(南北方向の大梁及び東西方向の小梁)で支持されている。 延性のある鋼材である架構鉄骨が破断しない場合、落下する天井スラブの断片の大きさは架構鉄骨の区画内に制限されることから、破損に伴う落下物のサイズとして、架構鉄骨の大梁と小梁で仕切られた1区画を考慮する。 <p>[金属キャスクが水平姿勢の場合]</p> <ul style="list-style-type: none"> 東西6.75m×南北約2.7m×厚さ□(たて起こし架台付近で最大の1区画) <p>[金属キャスクが縦姿勢の場合]</p> <ul style="list-style-type: none"> 東西9m×南北約2.7m×厚さ□(受入れ区域全体で最大の1区画) 	<ul style="list-style-type: none"> 北側側壁の破損に伴い、柱で支持されている北側のクレーンガーダが落下し金属キャスク蓋部に衝突する状態を仮定する。 金属キャスク蓋部への衝撃の観点から、取付位置はクレーンガーダの上部であるが、剛性の高い走行レールが金属キャスク蓋部に衝突する状態を仮定する。 	<ul style="list-style-type: none"> 金属キャスク受入時に受入れ区域天井クレーンが仮置中の金属キャスクの上部を横断することから、受入れ区域天井クレーンの落下を仮定する。 受入れ区域天井クレーンの部品のうちけた、サドル、走行車輪は互いに固定されており、金属キャスクへの衝突時にはこれらの荷重が同時に加わると考えられることから、けた、サドル、走行車輪を一体として考慮する。

2. 評価事象の選定

(1) 金属キャスクへの影響を考慮した落下物の選定

落下物の抽出および金属キャスクへの衝突状態の選定

前項で抽出した落下物に対して、落下物の落下状態を考慮した金属キャスクへの衝突荷重(落下エネルギー)を踏まえて評価対象の落下物の選定を行っている。

表4には落下物の諸元を示している。この中から、金属キャスクの姿勢ごとに、最も落下エネルギーの大きな事象を代表事象として選定した。その結果、金属キャスク姿勢立て起こし状態に対しては天井スラブ(単独)の落下を、金属キャスク水平姿勢に対しては天井クレーンの落下を選定した。

表5 落下物の諸元と落下エネルギー

落下物	重量(t)	落下高さ(m)	落下エネルギー(N・m)	
			金属キャスク 水平姿勢	金属キャスク 縦姿勢
コンクリート側壁	約73	約7.2	約 5.2×10^6	衝突可能性なし
クレーンガーダ	約11	約7.1	約 7.7×10^5	衝突可能性なし
天井スラブ(単独)	約23	約19	約 4.3×10^6	衝突可能性なし
	約30	約16.6	衝突可能性なし	約 4.9×10^6
天井クレーン(サドル・けた・走行車輪)	約128	約5.3	約 6.7×10^6	衝突可能性なし

(参考1) 津波に対する貯蔵建屋の健全性(水圧)

(1)建屋の健全性 ②建屋外壁の健全性(1/2)

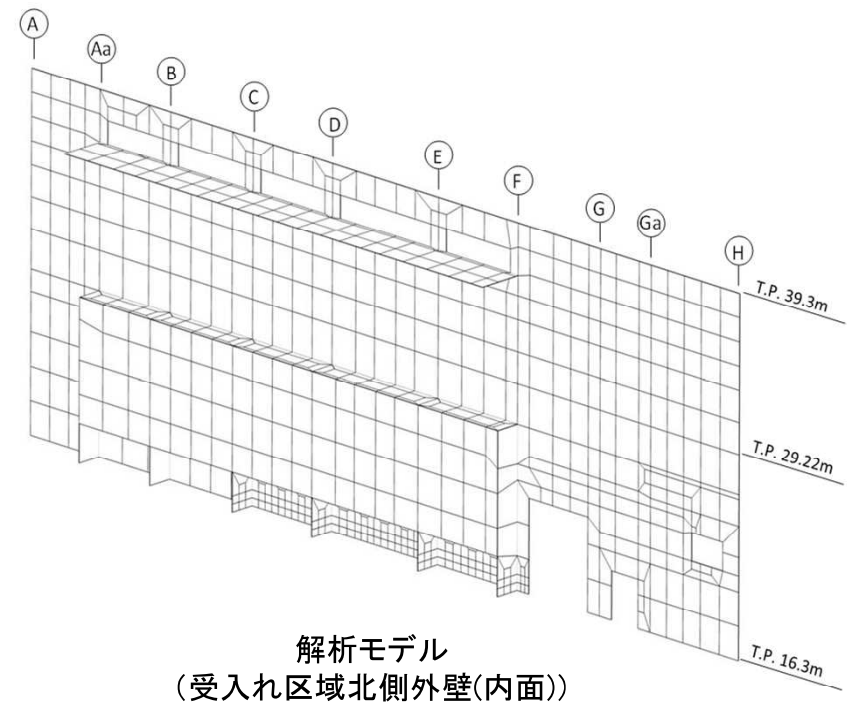
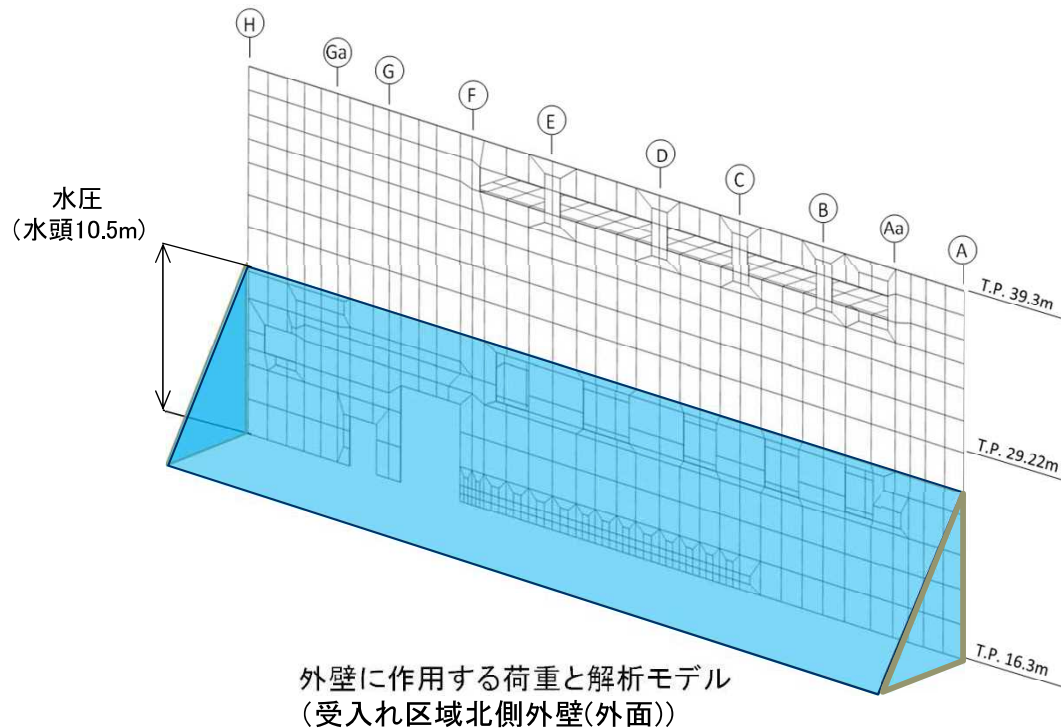
- 津波の水圧により建屋外壁に局所的に発生する応力をFEM解析により以下のとおり評価し、健全性を確認した。
(評価結果は次頁(2/2)参照)

【荷重の考え方】

- 津波による浸水深7mに対し水深係数1.5を考慮した(浸水深10.5m)水圧による荷重を下図のように考慮する。※
※) 開口部については水圧を考慮していない。

【外壁のモデル化の考え方】

- 貯蔵建屋低層部(貯蔵建屋及び受入れ区域)の外壁のうち、壁厚が薄く評価上厳しくなる受入れ区域北側外壁を代表として評価する。
- 受入れ区域北側外壁のモデル化では、取りつく床等の構造を模擬したモデル化を行う。
- 応力の評価は、外壁をシェル要素でモデル化し、境界条件はモデル外周4辺を固定として、水圧を考慮して算定する。



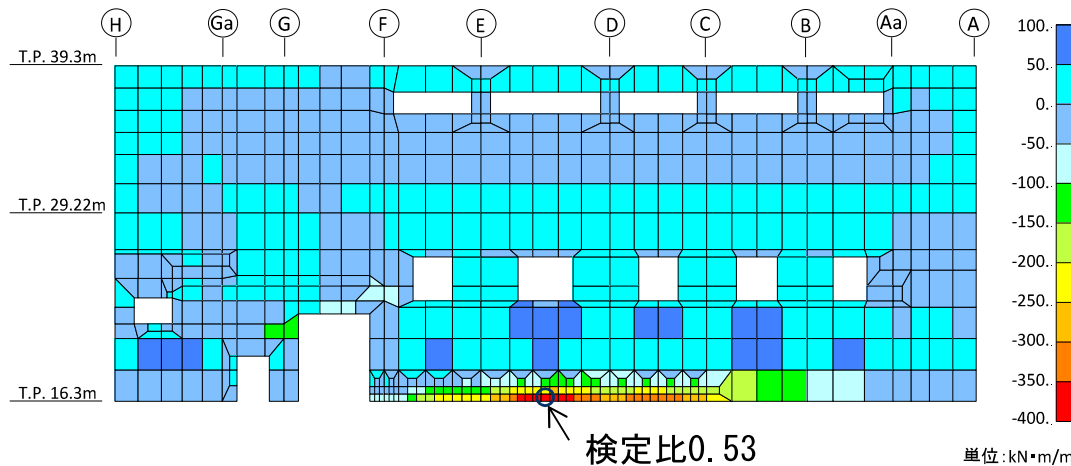
(参考1) 津波に対する貯蔵建屋の健全性(水圧)

(1)建屋の健全性 ②建屋外壁の健全性(2/2)

➤ FEM解析により算定した、建屋外壁に発生する応力評価結果は以下のとおりである。発生する曲げモーメント及びせん断力の最大値は、外壁の許容曲げモーメント※1及び許容せん断力※2に対し、大きな余裕のある結果となる。

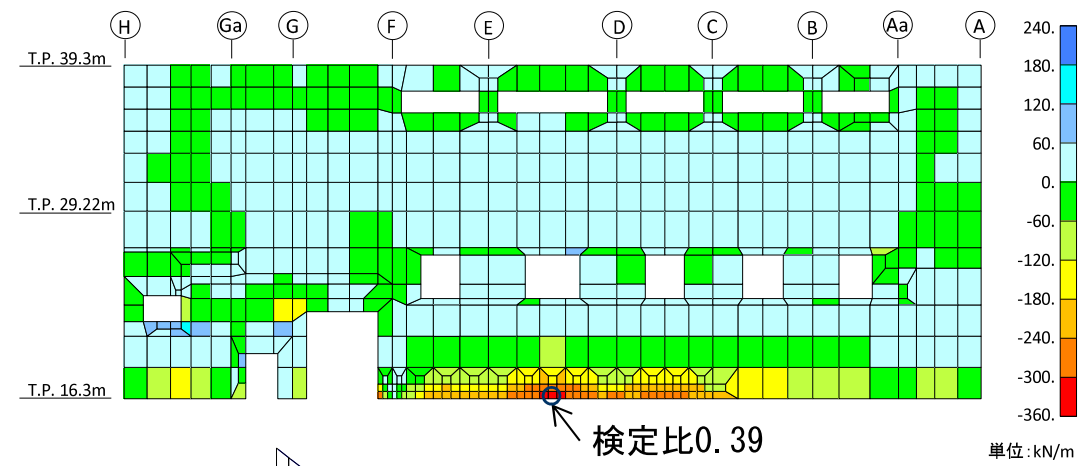
※1) 許容曲げモーメントは、外壁の引張り側鉄筋の応力度が短期許容応力度に達する状態で断面に生ずる曲げモーメントとして算定する。

※2) 許容せん断力は、コンクリートのせん断応力度が(面外方向)に短期許容応力度に達する状態で断面に生ずるせん断力として算定する。



検定比0.53
曲げモーメント分布図

単位: kN·m/m



検定比0.39
せん断力分布図

単位: kN/m

評価結果(受入れ区域北側外壁)

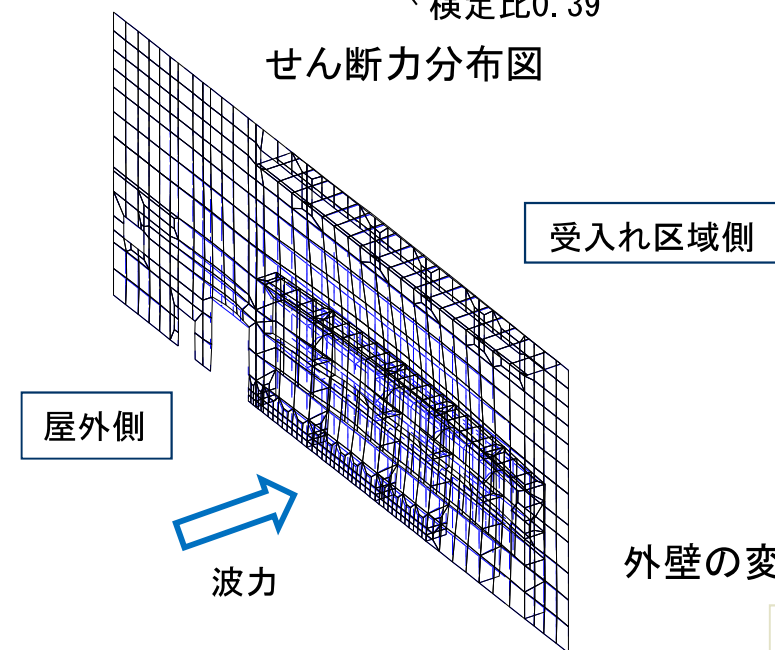
外壁に発生する曲げモーメントの最大値※3	387 kN·m/m (392※5)	外壁に発生するせん断力(面外方向)の最大値※3	315 kN/m (340※5)
許容曲げモーメント	741 kN·m/m	許容せん断力	823 kN/m
検定比(比率)※4	0.53 (0.53※5)	検定比(比率)※4	0.39 (0.42※5)

※3) 曲げモーメント及びせん断力は、解析により求めた値を建屋外壁の曲げモーメント及びせん断力を外壁幅1m当たりに換算した値として記載している。せん断力は面外の鉛直方向を示す。

※4) 検定比は、外壁に発生する曲げモーメント及びせん断力と許容曲げモーメント及び許容せん断力の比として求めている。

※5) 壁最下端の境界条件を固定としていることを考慮して、保守的にモデル最下端の要素に加わる荷重を2倍に設定した場合の評価結果を参考値として示す。

無断複製・転載禁止リサイクル燃料貯蔵株式会社



(参考2) 建屋の変形(破損)のイメージ

