

再処理施設 廃棄物管理施設 MOX燃料加工施設

使用前事業者検査の状況及び 設工認申請に係る対応状況

令和3年8月13日



日本原燃株式会社

第1回設工認申請における耐震再評価結果

- ① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定
- ② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方
- ③ 設計用地下水位の設定
- ④ 耐震評価結果

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 審査会合における指摘事項と対応

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	エリアごとの平均的な地盤物性値に基づく地盤モデルを用いる場合は、その妥当性の説明ロジックとして、その地盤モデルを入力地震動の評価に用いても安全上支障がないこと、設計用地震力の設定において施設への影響評価も含めて地盤のばらつきが適切に考慮されていることの観点で整理すること。	エリアごとの平均的な物性値に基づく地盤モデルに加え、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
2	2021.3.15	データの拡充にあたっては、各エリア内で得られた調査結果を詳細に示したうえで、地下構造が同様な速度構造であること、PS検層結果と地盤モデルのばらつき範囲の関係性、地表付近でPS検層結果のデータが得られていない部分の扱いについて説明すること。	各エリア内において速度構造が建屋位置ごとに相違していることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
3	2021.4.13	第1回申請対象施設である安全冷却水B冷却塔についても近傍データに基づき整理すること。また、他の建物・構築物に対しても第1回申請において示す基本的な方針との関係を踏まえて必要な説明をすること。	安全冷却水B冷却塔について、近傍のPS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
4	2021.4.13	直下もしくは近傍の直下PS検層データが複数得られている場合について、直下地盤モデルとしてばらつきを考慮するのか、ロジックを整理し根拠を明確にして説明すること。	直下PS検層データが複数得られている建物・構築物については、そのデータのばらつきを考慮した耐震評価を実施する方針とする。
5	2021.4.13	表層地盤を敷地全体のモデルとして扱い、そのデータのばらつきの影響評価について、地盤ばねの剛性を変化させた場合の検討として行うのであれば、 $\pm 1\sigma$ を超えるデータがあることに留意すること。	各建物・構築物の直下PS検層データによれば、速度構造設計用地盤モデルに考慮しているばらつき幅を超えるものがあることから、各建物・構築物の直下PS検層データを用いた耐震評価を実施する方針とする。
6	2021.4.13	Ssや1.2Ssの入力では支持地盤や建物・構築物の非線形が進む可能性を考慮し、その場合の影響も踏まえて施設への影響を確認すること。	直下PS検層データを用いた耐震評価にあたっては、支持地盤の非線形が進む場合を考慮する方針とする。
7	2021.5.25	直下PS検層データを用いた耐震評価を行う対象施設の選定方針について明確にすること。	地盤モデルを用いた地震応答解析を行う建物・構築物に対し、直下PS検層データの速度構造との比較を行った上で評価対象施設の選定を行う方針とする。
8	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価方針については、今回設工認の基本方針に記載することで検討すること。	今回設工認への反映事項として、左記の方針の対応とすることで本資料に記載。
9	2021.5.25	直下地盤モデルを用いた評価結果の記載場所については、今後申請建屋の影響の大きさに応じて、耐震計算書の別添に限定せず、適切に記載箇所を検討すること。	
10	2021.6.28	直下地盤モデルを用いた耐震評価の設計への反映の考え方について再度検討すること。	今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方について整理した。(本日説明)

→次ページに続く

■本日の説明内容

- 7/26審査会合において、今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方について以下のとおり整理し、説明した。

今回設工認における建物・構築物への入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行った上で、適切な地盤モデルを設定する方針とする。

第1回申請施設 : 各建物・構築物の地盤の特徴を適切に捉えた地盤モデルとして、直下又は近傍のボーリング調査データに基づいて設定した地盤モデル（以下、「直下地盤モデル」）を入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。

- 燃料加工建屋
- 安全冷却水B冷却塔
(基礎, 本体, 飛来物防護ネット)

第2回申請以降の施設 : 各建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行ったうえで、適切な地盤モデルを設定する。

- 今回審査会合では、上記の考え方にに基づき、第1回申請施設の耐震評価を直下地盤モデルを用いて再実施したことから、直下地盤モデルの設定結果及び耐震評価結果を示すとともに、設工認申請書における扱いを示す。

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(1) 今回設工認における入力地震動の算定に用いる地盤モデルの考え方

■ 基本的な考え方

- 今回設工認における耐震設計では、建屋の埋め込みを考慮するために表層地盤を考慮に加えている。また、基準地震動 S_s が新規規制基準を踏まえて大きくなっており、特に表層地盤において非線形性が現れてくる。
- このことから、入力地震動の算定にあたっては、地盤の実態を適切に表現した地盤モデルを用いることとする。
- この際、建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴が、地盤モデルの説明上のポイントとなることから、今回設工認における建物・構築物への入力地震動の算定にあたっては、各建物・構築物の直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行った上で、適切な地盤モデルを設定する方針とする。

基本的な考え方について、設計方針を見据えた考え方（直下又は近傍データの整理・扱い方等）を具体化する。

■ 第1回申請対象施設における地盤モデルの扱いについて

- 燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎、本体、飛来物防護ネットを含む）については、申請時点において、既認可において設定していた地盤モデルをベースに入力地震動を算定していたが、上記のポイントに照らして検討を行った。
- その結果、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎、本体、飛来物防護ネットを含む）については、各建物・構築物の地盤の特徴を適切に捉えた地盤モデルとして、直下又は近傍のボーリング調査データに基づいて設定した地盤モデル（以下、「直下地盤モデル」）を入力地震動の算定に用いる地盤モデルとする。
- 次頁以降に、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔における直下地盤モデルの設定結果及び直下地盤モデルを用いた耐震評価結果を示す。これらの内容については、第1回申請対象施設における耐震計算書に反映する。

第1回申請施設に対して、直下地盤モデルへの切り替えを踏まえて変更となる評価（隣接建屋の影響評価、水平2方向及び鉛直方向の地震動、一関東評価用地震動（鉛直））の整理について追記。
あわせて、まとめとしてそれぞれの評価結果の提示スケジュールを含めた記載を追加。

■ 第2回申請以降の対象施設における地盤モデルの扱いについて

- 第2回申請以降の対象施設の入力地震動の算定にあたっては、上記の基本的な考え方に基づき、各建物・構築物直下又は近傍の地盤の特徴を踏まえた検討を行ったうえで、適切な地盤モデルを設定する。

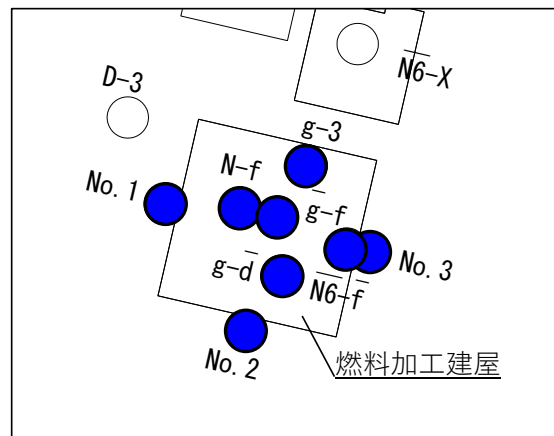
第2回申請以降の対象施設について、「適切な地盤モデル」を設定する上での検討方針を具体化する。

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

(2) 燃料加工建屋の入力地震動算定に用いる地盤モデル

■ 燃料加工建屋の入力地震動の算定に用いる地盤モデル

- 燃料加工建屋の直下地盤モデルの速度構造については、複数の直下PS検層データに基づく平均値を設定した。
- 支持地盤及び表層地盤の物性値の設定に用いるS波速度及びP波速度は、燃料加工建屋の直下PS検層データに基づき設定する。
- ひずみ依存特性については、支持地盤及び表層地盤の両方に対して設定することとし、各孔における速度境界間を占める主な岩種に対応するように、岩種ごとの繰返し三軸圧縮試験結果に基づき設定した。
- 地盤物性のばらつきケースについては、複数の直下PS検層データに基づく平均値±1σを考慮した。
- 燃料加工建屋の地震応答計算書に記載する地盤モデルは、本頁に示す直下地盤モデルとする。

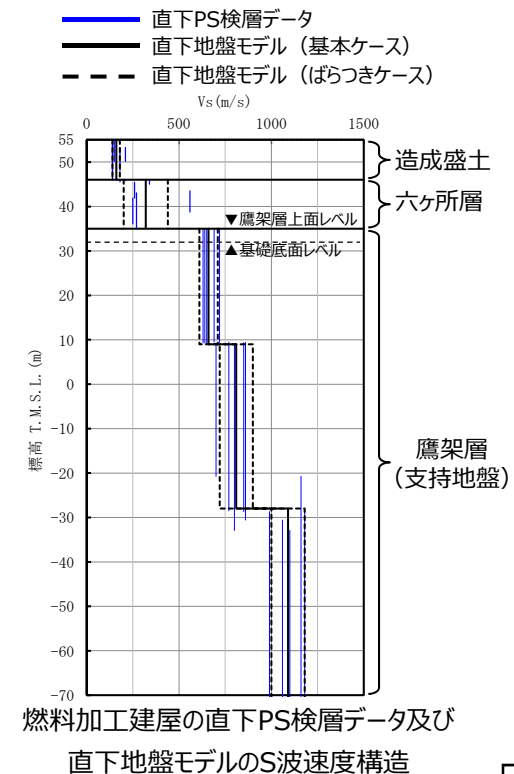


● : 直下地盤モデル作成に用いる直下PS検層データ

燃料加工建屋の直下地盤モデル作成に用いる直下PS検層データの位置図

支持地盤及び表層地盤の物性値の設定に用いる直下PS検層データ

支持地盤	g-3孔, N-f孔, g-f孔, g-d孔, N6-f孔
表層地盤	g-3孔, N-f孔, g-d孔, N6-f孔, No.1孔, No.2孔, No.3孔



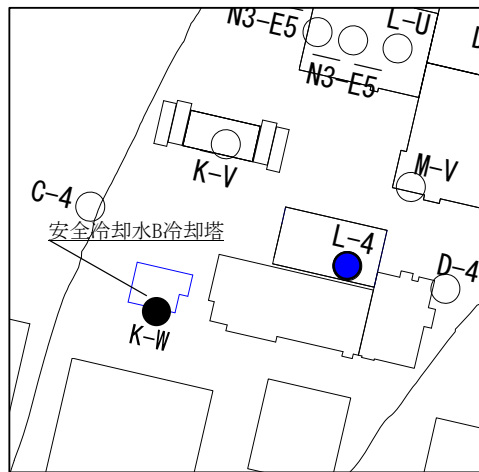
燃料加工建屋の直下PS検層データ及び直下地盤モデルのS波速度構造

① 地震応答解析に用いる地盤モデルの設定

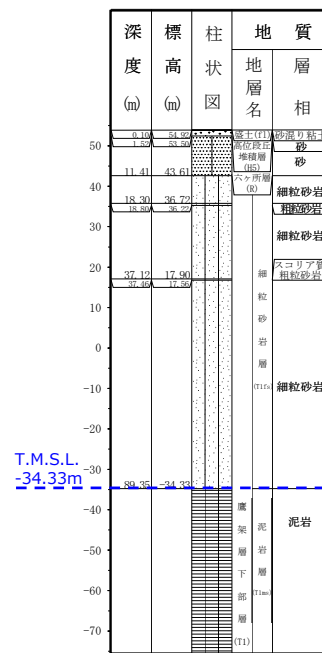
(3) 安全冷却水B冷却塔の入力地震動算定に用いる地盤モデル

■ 安全冷却水B冷却塔の入力地震動の算定に用いる地盤モデル

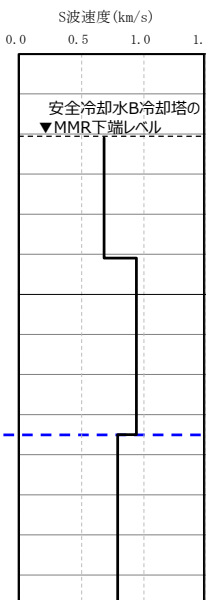
- 安全冷却水B冷却塔の直下ボーリング調査 (K-W孔) では、地質構造は確認しているが、PS検層は実施していないことから、速度構造の設定にあたっては、近傍のPS検層データを参照した。
- 近傍のPS検層データとしては、支持地盤の主たる構成岩種 (鷹架層の細粒砂岩及び泥岩) が直下孔 (K-W孔) と同様の深さに分布している近傍孔 (L-4孔) を参照した。
- 近傍孔 (L-4孔) における細粒砂岩と泥岩の境界レベル (T.M.S.L.-34.33m) にて速度境界が認められることから、直下孔 (K-W孔) における岩種の分布を重視し、細粒砂岩と泥岩の境界レベル (T.M.S.L.-25.57m) に速度境界を設定した。
- ひずみ依存特性については、岩種ごとの繰返し三軸圧縮試験結果に基づき、直下孔 (K-W孔) の岩種の分布に対応するように設定した。
- 地盤物性のばらつきケースについては、中央地盤のエリア内において複数実施されている支持地盤のPS検層データに基づく速度構造のばらつき幅を参照し、平均値±1σに相当する変動係数を深さごとに設定した。
- 安全冷却水B冷却塔の地震応答計算書に記載する地盤モデルは、本頁に示す直下地盤モデルとする。



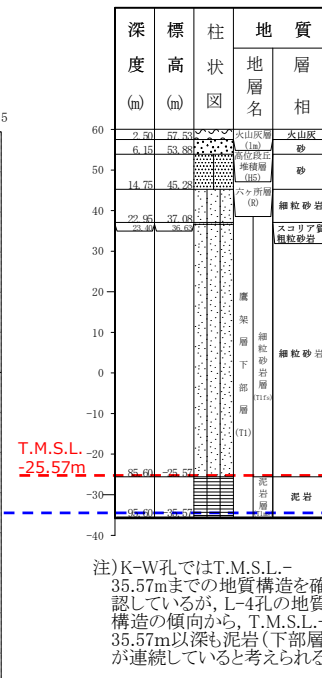
直下孔 (K-W孔) 及び近傍孔 (L-4孔) の位置図



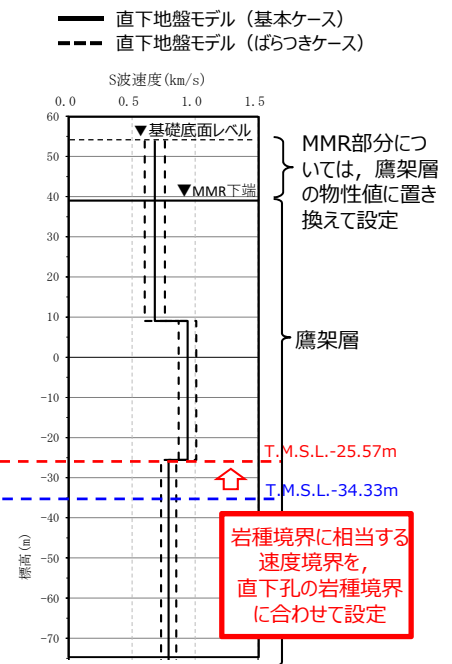
(a) 近傍孔 (L-4孔) の地質柱状図



(b) 近傍孔 (L-4孔) のS波速度構造



(c) 直下孔 (K-W孔) の地質柱状図



(d) 直下地盤モデルのS波速度構造

直下地盤モデルの速度構造と地質構造の対応

岩種境界に相当する速度境界を、直下孔の岩種境界に合わせて設定

② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方

② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方
 (1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 審査会合における指摘事項と対応

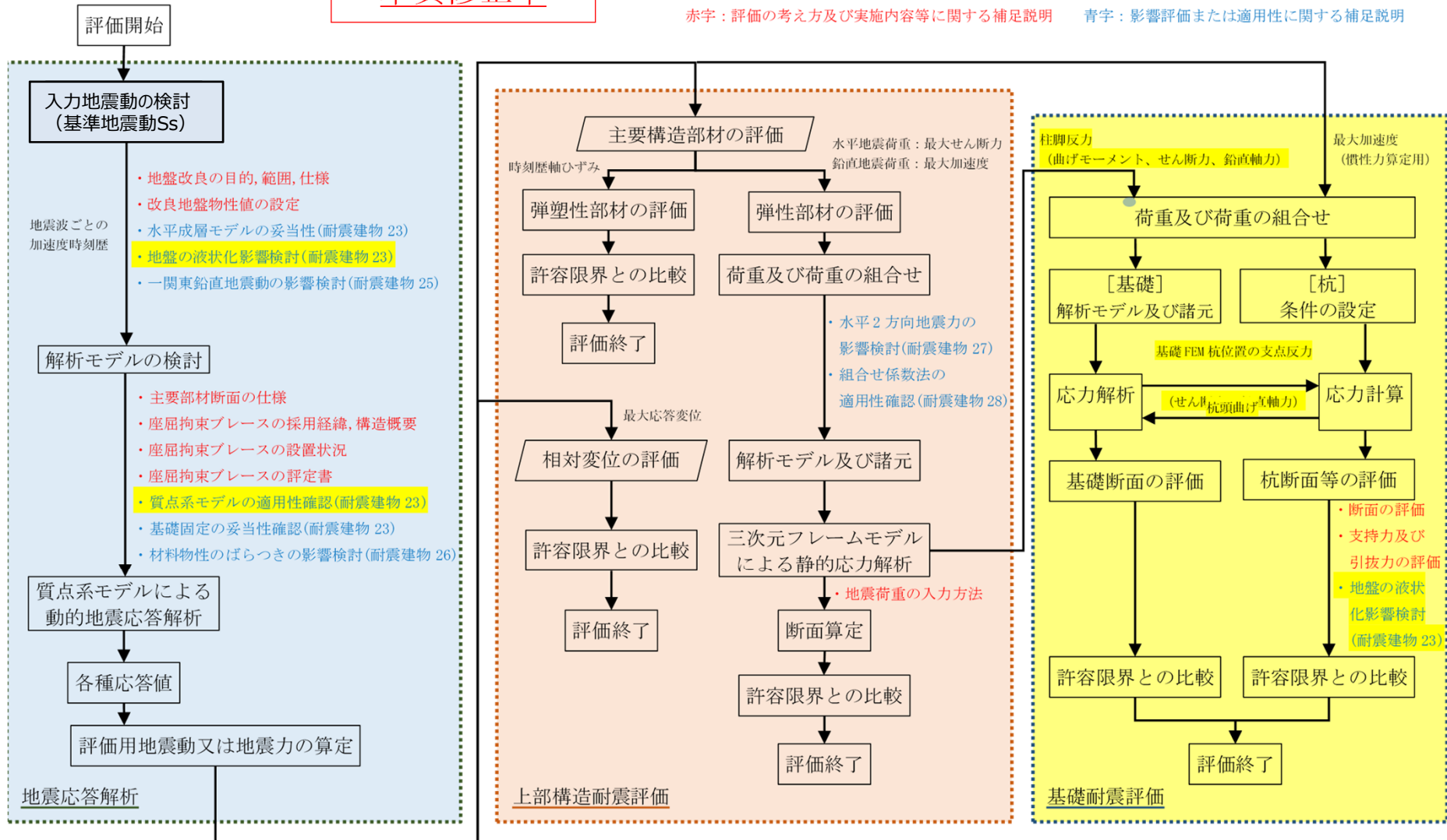
No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.7.26	①飛来物防護ネットの上部構造と基礎の耐震評価の全体体系について説明すること。 ②座屈拘束ブレースの設計方針, 目的・採用理由, 配置の考え方, 解析モデルの扱い評価方法について説明すること。 ③質点系モデルと3次元フレームモデルでの弾塑性の応答解析結果を比較し, 部材レベルで妥当性及び保守性を示すこと。	①全体の評価体系の流れがわかるフローを示す。 ②座屈拘束ブレースの採用理由や配置の考え方などを示す。 ③座屈拘束ブレースの荷重時刻歴、履歴ループ、周辺部材の荷重を比較することにより、質点系モデルが妥当であることを示す。

② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方 (1) 評価の全体像

本頁修正中

赤字：評価の考え方及び実施内容等に関する補足説明

青字：影響評価または適用性に関する補足説明



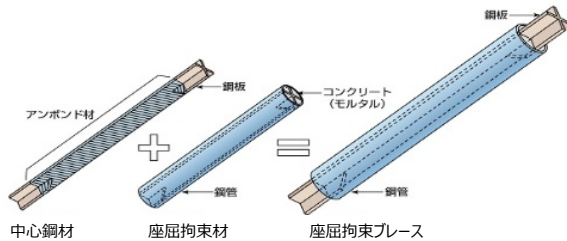
② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方 (2) 座屈拘束ブレース採用の理由

<経緯>

- 冷却塔及び周辺構造物（洞道）による配置制約を考慮し、弾性ブレースを組み込んだ暫定構造で3次元フレームモデルを構築
- 地震荷重による概略評価の結果、転倒モーメントが大きく、水平荷重の低減対策が必要となった。

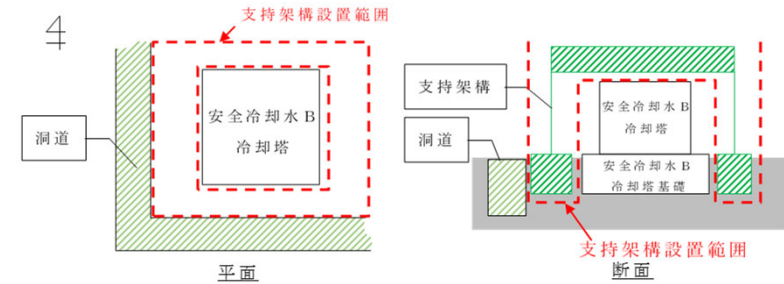


配置制約のもとで地震荷重低減するため
座屈拘束ブレースを採用

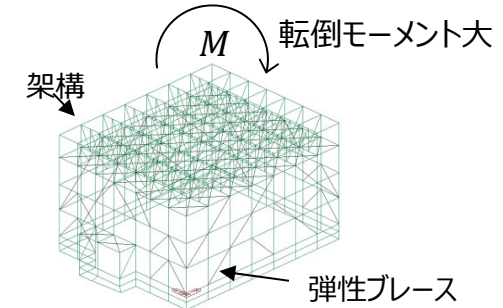


<座屈拘束ブレースとは>

- 低降伏点鋼（大臣認定材料）を用いた中心鋼材を鋼管とモルタルで拘束し、座屈せず安定的に塑性化する構造を採用
（安定した弾塑性応答特性であることを実証試験等にて確認）
- ブレースが塑性変形することでエネルギーを吸収し、減衰効果が付加
- 座屈拘束ブレースは、第3者機関（日本建築センター）にて確認済みの設計法を適用
- 製作要領、品質管理要領は、第3者機関にて確認済の要領を適用



飛来物防護ネットの支持架構の設置場所(配置制約)



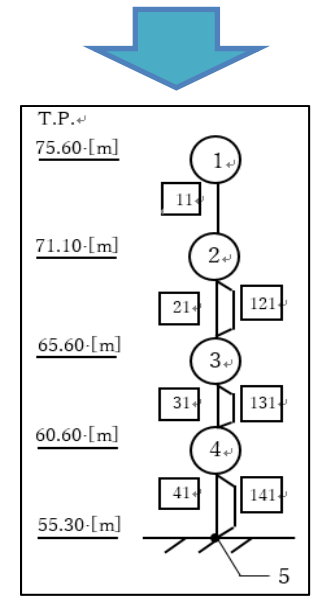
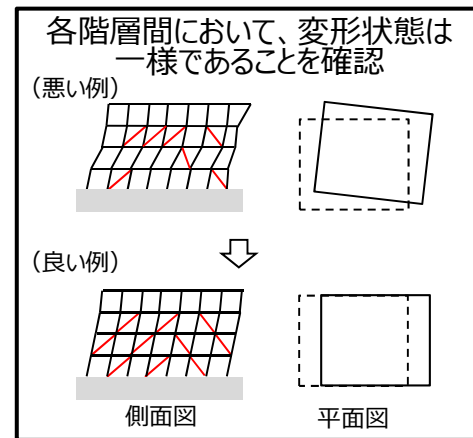
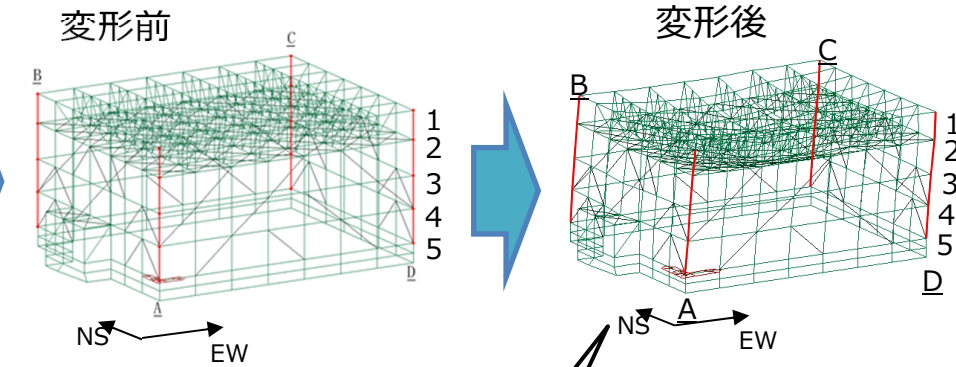
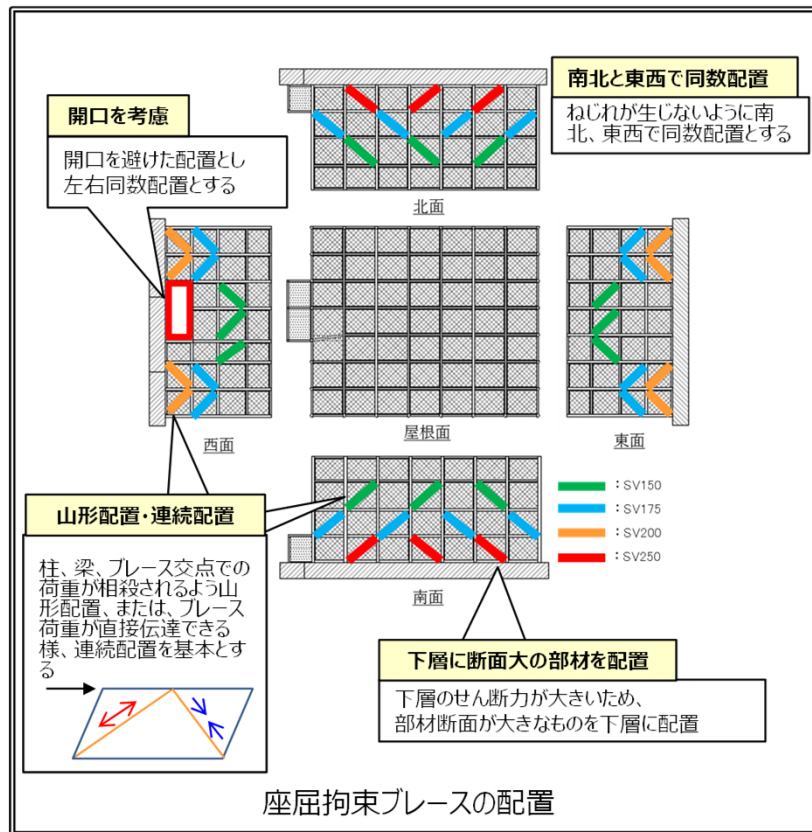
暫定の加構構造で概略評価



座屈拘束ブレース採用

② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方 (3) 耐震構造の検討と耐震評価手法

- ・ 柱、梁、ブレース交点での荷重が相殺され、ねじれが生じないように、座屈拘束ブレースのサイズ、本数、配置を検討
- ・ 試解析により、層としてバランスの良い、局所的に偏りのない変形となることを確認。
- ・ 各層の変形性能を剛性として組んだ「質点系モデル」を構築し、耐震評価の一部を合理的に実施。

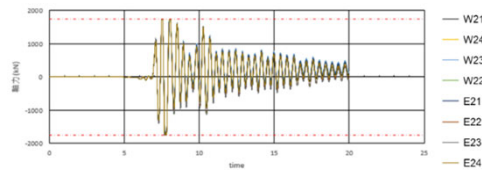


質点系モデル構築

② 飛来物防護ネットの耐震評価の考え方 (4) 質点系モデルの妥当性

- 座屈拘束ブレースの降伏状況，履歴ループ，周辺部材の荷重等について，質点系モデルと3次元フレームモデルとで比較。
- 座屈拘束ブレースを採用する支持架構の地震応答が質点系モデルで表現可能であることを確認。

① 座屈拘束ブレースの荷重時刻歴の比較

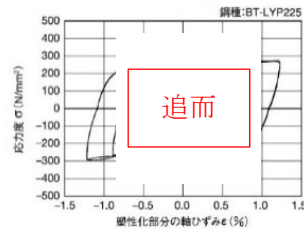


3次元フレームモデル

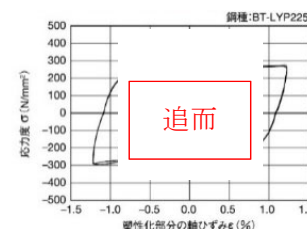


質点系モデル

② 座屈拘束ブレースの履歴ループの比較



3次元フレームモデル



質点系モデル

③ 座屈拘束ブレースの周辺部材の荷重比較

柱①	三次元フレームモデル				質点系モデル			
	1階層	2階層	3階層	4階層	1階層	2階層	3階層	4
モーメント (kN・m)	追而							
軸力 (kN)								
検定値 (組合せ)								

③ 設計用地下水位の設定

③ 設計用地下水水位の設定

(1) 本日の説明内容及び審査会合における指摘事項

■ 審査会合における指摘事項と対応

No.	審査会合日	指摘事項	対応方針
1	2021.3.15	地下水排水設備に要求する機能、申請対象施設としての取り扱い、耐震設計上の位置づけなどについて明確に整理すること。	地下水排水設備の要求機能、耐震設計上の位置づけ、申請対象施設としての取り扱いについて整理した。
2	2021.4.13	地下水排水設備の設計方針については、先行炉の整理も踏まえて示すこと。	
3	2021.4.13	出入管理建屋の設計用地下水水位について、耐震評価上の位置づけを整理すること。	出入管理建屋は、地下水排水設備の外側に配置されていることから、設計用地下水水位を地表面に設定する。 出入管理建屋の耐震評価方針等については、当該施設の申請回次において示す。
4	2021.3.15	液状化の影響を受ける可能性のある施設については、今回申請だけでなく今後の申請対象施設も含めて、施設の網羅的な抽出をまず行った上で、液状化の影響を考慮した設計の考え方を体系的に整理して説明すること。	第1回申請対象施設である杭基礎である安全冷却B冷却搭飛来防護ネットの液状化影響評価の考え方を整理した。
5	2021.4.13	杭基礎の竜巻ネットと洞道で検討内容が異なっていることから、双方の評価が有効であることを示すこと。	液状化に伴う影響因子、液状化対象層、施設周辺の地盤の整理し、各因子に対して各対象施設が液状化影響がないか体系的に整理した。
6	2021.4.13	液状化の影響検討において、周辺建屋や支持地盤の傾斜の影響等を踏まえていることを示し、体系的に整理すること。	
7	2021.6.28	竜巻防護施設の液状化評価について、各影響因子に対して、液状化によりどのような荷重の作用を受けて、どのような損傷モードがあり、その上で上位クラスに波及的影響を及ぼすのか等背景も含めて整理すること。	竜巻防護施設の液状化評価について、飛来物防護ネットの耐震計算と合わせて、液状化時に必要な評価項目を影響因子、作用荷重、損傷モード、波及的影響防止の考え方を明確化することにより評価方針を整理した。
8	2021.6.28	竜巻防護施設の液状化評価について、ウエスタガード補正式を、液状化した地盤から受ける土圧の算定に用いることができる根拠を示すこと。また、その代替手法が有効応力解析よりも保守的な結果を与えるということ、実際の液状化時の複雑な土圧の影響を考慮できていることを明確にすること。	ウエスタガード補正式の適用性について、有効応力解析の結果との比較検証を踏まえ、側方土圧荷重の設定は有効応力解析結果を用いることとした。
9	2021.7.26	地盤液状化による想定事象に対する確認が網羅できていることを示すこと。	耐震設計全体の流れを整理することで地盤液状化にて想定すべき事象が網羅出来ていることを整理した。
10	2021.7.26	有効応力解析における評価条件の妥当性や結果の保守性についても説明を行うこと。	有効応力解析の解析条件（解析モデル、物性値設定等）の妥当性を整理した。
11	2021.7.26	有効応力解析を用いた評価及びその他手法を用いた評価について妥当性を示すこと。	有効応力解析結果等を用いた各評価の妥当性について整理した。

③ 設計用地下水位の設定 (2) 液状化影響評価方針

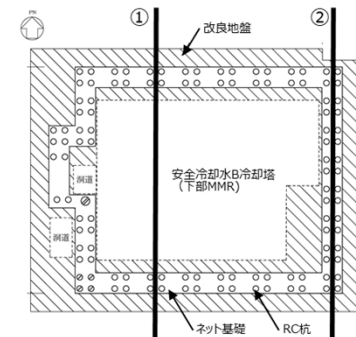
■ 液状化に対し飛来物防護ネットとして確認すべき評価事象と確認方針

- 飛来物防護ネットについては、安全冷却水B冷却塔への波及的影響が無い設計とすることから、飛来物防護ネットの液状化影響評価にあたっては、杭基礎の損傷に伴う支持機能の喪失により、飛来物防護ネットが転倒・倒壊することが無いことを確認する。
- 液状化時の杭基礎の支持機能の確認にあたっては、液状化時に考慮すべき評価事象のうち、「地盤剛性低下」に伴う杭側面地盤の側方土圧を考慮しても杭が健全であることを、有効応力解析により確認する。
- あわせて、有効応力解析により、液状化に伴う支持岩盤と改良地盤の接合面の滑動による施設全体のすべりに対する健全性も確認する。
- なお、上記の「地盤剛性低下」に対して杭基礎が健全であれば、杭基礎下端は液状化が発生しない岩盤に支持されていることから、液状化時に考慮すべき評価事象のうち、支持地盤の液状化に伴う「沈下・転倒」に対しても影響がないと言える。

■ 有効応力解析の考え方

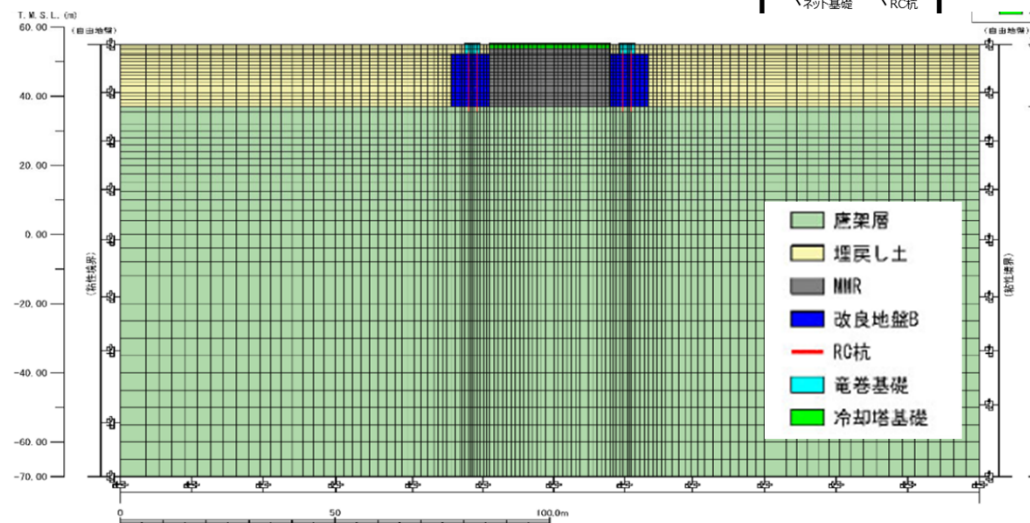
前回ヒア資料を暫定掲示
PPT作成中。

- 鷹架層（直下地盤）、改良地盤、埋戻土、MMR、**ネット基礎**としてモデル化する。
- 解析モデル断面は、側方の液状化対象層の影響を受けやすい施設の短辺断面のうち、冷却塔断面を含む中央部（断面①）及び改良地盤全断面を含み杭と改良地盤端部が最小となる断面（断面②）とする。
- 液状化対象層は、埋戻土とし、有効応力解析に用いる解析パラメータとして、敷地内の液状化強度試験結果の下限値により液状化強度物性値を設定する。
- 解析プログラムは、「FLIP」とする。



■ 健全性確認の考え方

- 杭の健全性評価
側方土圧を考慮した有効応力解析による杭の発生応力に対し、断面検討により杭の健全性を確認する。
- 滑動評価
有効応力解析による支持岩盤と改良地盤の接合面における最大せん断力に対し、地盤のせん断抵抗力及び杭の根入れ効果により施設全体が滑動しないことを確認する。



有効応力解析概要図 (①断面)

④ 耐震評価結果

④ 耐震評価結果

(1) 直下地盤モデルを用いた耐震評価結果（燃料加工建屋）

■ 燃料加工建屋の直下地盤モデルを用いた耐震評価結果

- 下表に、燃料加工建屋における直下地盤モデルを用いた地震応答解析結果に基づく耐震評価結果を示す。本評価結果については、燃料加工建屋の耐震計算書に反映することとする。

燃料加工建屋における直下地盤モデルを用いた耐震評価結果

<p>直下地盤モデルを用いた評価結果を記載</p>

④ 耐震評価結果

(2) 直下地盤モデルを用いた耐震評価結果 (安全冷却水B冷却塔)

■ 安全冷却水B冷却塔の直下地盤モデルを用いた耐震評価結果

- ▶ 下表に、安全冷却水B冷却塔（本体、基礎、飛来物防護ネットを含む）における直下地盤モデルを用いた地震応答解析結果に基づく耐震評価結果を示す。本評価結果については、安全冷却水B冷却塔の耐震計算書に反映することとする。

安全冷却水B冷却塔における直下地盤モデルを用いた耐震評価結果



直下地盤モデルを用いた評価結果を記載

④ 耐震評価結果

(3) 直下地盤モデルを用いた耐震評価結果（隣接建屋の影響）

■ 隣接建屋の影響確認結果（6/28審査会合内容への反映）

- 6/28審査会合において、燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）の隣接建屋の影響確認結果として、隣接モデルと単独モデルの建屋応答の比較から得られる応答比率（隣接モデル/単独モデル）を考慮した検討を行った結果について示している。
- 今回、直下地盤モデルを用いた評価により影響を再確認し、**割増係数を乗じた検定比が1.00を超えない**ことから、安全上支障がないことを確認した。
- 本確認結果については、今回設工認における燃料加工建屋及び安全冷却水B冷却塔（基礎）の耐震計算書に反映することとする。

耐震評価への影響検討結果（割増係数を乗じた検定比が最も厳しいケースを代表して記載）

直下地盤モデルを用いた評価結果を記載