

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	耐震建物 31 R 0
提出年月日	令和 5 年 3 月 7 日

設工認に係る補足説明資料

耐震設計の基本方針に関する

土木構造物の既設工認からの変更点について

目 次

1. 概要	1
2. 既設工認からの主な変更点について	3
2.1 洞道周辺の改良地盤について	3
2.2 評価手法の変更について	3
3. 既設工認と今回設工認の変更点の比較	6

1. 概要

本資料は、再処理施設の第2回設工認申請のうち、以下に示す添付書類について補足説明するものである。

- ・再処理施設 添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」
- ・再処理施設 添付書類「IV-1-1-5 地震応答解析の基本方針」

添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針」「IV-1-1-5 地震応答解析の基本方針」において、屋外重要土木構造物の耐震評価及び地震応答解析について以下のとおり記載している。

添付書類「IV-1-1 耐震設計の基本方針より抜粋」

5.1.5 許容限界

(1) 安全機能を有する施設

(e) 屋外重要土木構造物

イ. 基準地震動 S_s による地震力との組合せに対する許容限界

構造部材の曲げについては限界層間変形角(層間変形角1/100)又は終局曲率、せん断についてはせん断耐力を許容限界とする。

なお、限界層間変形角、終局曲率及びせん断耐力の許容限界に対しては妥当な安全余裕を持たせることとする。

ロ. 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

地震力に対しておおむね弾性状態に留まるように、発生する応力に対して、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。

(f) その他の土木構造物

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。

(中略)

10.1 建物・構築物

建物・構築物の評価は、基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に設定した入力地震動に対する構造全体としての変形、並びに地震応答解析による地震力及び「4. 設計用地震力」で示す設計用地震力による適切な応力解析に基づいた地震応力と、組み合わせすべき地震力以外の荷重により発生する局所的な応力が、「5. 機能維持の基本方針」で示す許容限界内にあることを確認すること(解析による設計)により行う。

評価手法は、以下に示す解析法により JEAG4601 に基づき実施することを基本とする。また、評価に当たっては、材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

- ・時刻歴応答解析法
- ・FEM 等を用いた応力解析法
- ・スペクトルモーダル解析法

2.1.2 屋外重要土木構造物

(1) 入力地震動

屋外重要土木構造物の地震応答解析における入力地震動は、解放基盤表面で定義される基準地震動 S_s 及び弾性設計用地震動 S_d を基に、対象構造物の地盤条件を適切に考慮した上で、必要に応じ 2 次元 FEM 解析又は 1 次元波動論により、地震応答解析モデルの入力位置で評価した入力地震動を設定する。地盤条件を考慮する場合には、地震動評価で考慮した敷地全体の地下構造との関係にも留意し、地盤の非線形応答に関する動的変形特性を考慮する。

地下水排水設備の外側に配置される屋外重要土木構造物については、施設の構造上の特徴の観点から、地中土木構造物に該当するため、液状化による影響について確認する。なお、施設の周辺地盤及び周辺施設の配置状況の観点から、各施設の基礎が直接又は MMR を介して岩盤に支持され周囲が建物・構築物で囲まれている場合は、液状化による影響が小さいと考えられることから、液状化による影響についての確認は不要とする。また、各施設の基礎が直接又は MMR を介して岩盤に支持され、かつ、周囲が広範囲に改良地盤で囲まれ、液状化の影響がないと定量的に判断できる場合は、液状化による影響についての確認は不要とする。

(2) 解析方法及び解析モデル

動的解析による地震力の算定に当たっては、地震応答解析手法の適用性、適用限界等を考慮の上、適切な解析法を選定するとともに、各構造物に応じた適切な解析条件を設定する。地震応答解析は、地盤と構造物の相互作用を考慮できる手法とし、地盤及び構造物の地震時における非線形挙動の有無や程度に応じて、線形、等価線形又は非線形解析のいずれかにて行う。地震応答解析に用いる材料定数については、材料物性のばらつき等による変動が屋外重要土木構造物の振動性状や応答性状に及ぼす影響を検討し、材料物性のばらつき等を適切に考慮する。

また、動的解析においては、地下水排水設備による地下水位の低下を考慮して適切な解析手法を選定する。

地下水排水設備の外側に配置される屋外重要土木構造物については、構造上の特徴の観点から、地中土木構造物に該当するため、施設の周辺地盤及び周辺施設の配置状況を踏まえ、液状化による影響が生じるおそれがある場合には、液状化による影響について確認する。

液状化の影響確認に当たり、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する場合は、有効応力解析を実施する。有効応力解析に用いる液状化強度特性は、敷地の原地盤における代表性及び網羅性を踏まえた上で保守性を考慮して設定する。

再処理施設の土木構造物である洞道については、上記添付書類において、地震応答解析及び耐震評価における考え方を示しており、この方針に基づき、洞道の地震応答

解析及び耐震評価を実施している。洞道の設計については、既設工認から改造や増設による構造の変更はないが、周辺地盤において、耐震性向上や施工性向上を目的とした改良地盤があり、今回設工認では、解析モデルに当該改良地盤を考慮している。また、評価手法については、評価手法の高度化の観点から、既設工認で示した内容に対して、今回設工認で変更する内容がある。本資料では、洞道の既設工認からの変更点を整理し、補足説明を行う。

2. 既設工認からの主な変更点について

本項では、洞道の既設工認からの主な変更点について示す。今回設工認では、解析モデルにおいて、洞道周辺の改良地盤を考慮してモデル化を行う。また、地震時における地盤と構造物の相互作用や地盤及び構造物の非線形性の考慮を目的に、評価手法の高度化の観点から評価手法を変更する。

2.1 洞道周辺の改良地盤について

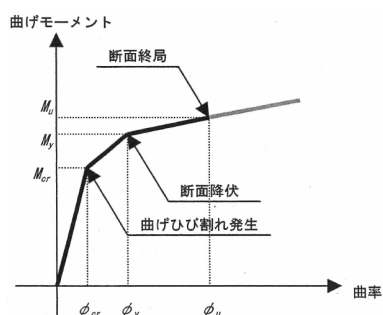
洞道の周辺地盤には、耐震性向上や施工性向上を目的とした改良地盤があり、今回設工認では、解析モデルに当該改良地盤を考慮している。改良地盤の詳細については、補足説明資料「耐震建物 13 地盤の支持性能に係る基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について」にて説明する。

2.2 評価手法の変更について

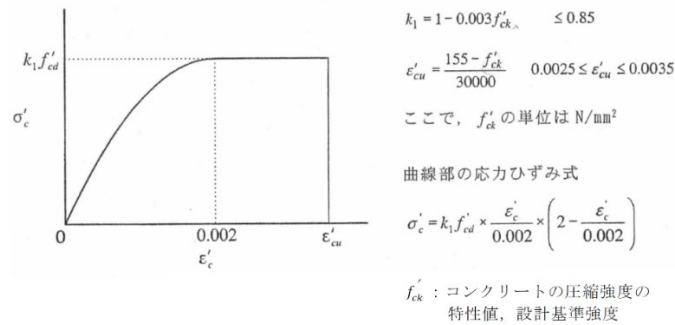
今回設工認では、地震時における地盤と構造物の相互作用や地盤及び構造物の非線形性の考慮を目的に、評価手法の高度化の観点から評価手法を変更する。

(1) 非線形特性の考慮

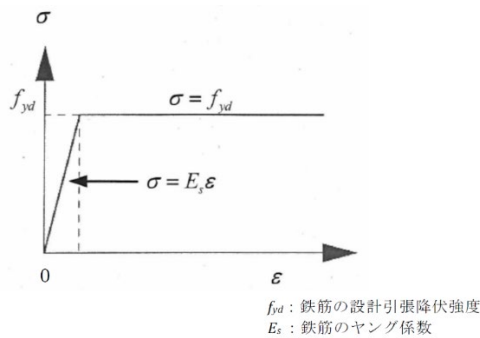
既設工認では、2次元 FEM モデルにおいて、構造物を線形でモデル化していたが、今回設工認では、構造物のコンクリート及び鉄筋についてそれぞれの非線形特性を考慮してモデル化する。今回設工認の構造物の非線形特性を第 2.2-1 図及び第 2.2-2 図に示す。構造物の非線形特性の詳細については、補足説明資料「耐震建物 32 耐震設計の基本方針に関する土木構造物の耐震安全性評価における共通事項」にて説明する。



第 2.2-1 図 M-φ 関係のトリリニアモデル*1



第 2.2-2 図(1) 構造部材の非線形特性(コンクリートの応力—ひずみ関係)*²



第 2.2-2 図(2) 構造部材の非線形特性(鉄筋の応力—ひずみ関係)*²

注記 *1 : 原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・マニュアル((社)土木学会, 2005 年)より引用

*2 : コンクリート標準示方書[構造性能照査編]((社)土木学会, 2002 年)より引用

(2) 2次元 FEM モデルを用いた時刻歴応答解析

洞道の解析手法については、既設工認では、水平地震時については、2次元 FEM モデルを用いた地盤応答震度法による解析を行い、常時及び鉛直地震時については、フレームモデルを用いた静的解析を行った。

今回設工認では、構造物や周辺地盤の非線形性をより精緻に再現できる手法として、2次元 FEM モデルを用いて、水平地震動と鉛直地震動の同時加振による時刻歴応答解析を行う。解析モデル及び解析手法の詳細は、補足説明資料「耐震建物 32 耐震設計の基本方針に関する土木構造物の耐震安全性評価における共通事項」にて説明する。

(3) 洞道周辺地盤の液状化による影響評価

洞道周辺地盤の液状化による影響評価については、既設工認では、洞道の周辺地盤の液状化による影響を考慮してなかったが、今回設工認では、洞道の周辺地盤及び周辺施設の配置状況を踏まえ、液状化による影響が生じるおそれがある場合には、液状化による影響について確認する。液状化の影響確認に当たり、地震時の地盤の有効応力の変化に応じた影響を考慮する場合は、有効応力

解析を実施する。液状化による影響評価に関する詳細については、以下の補足説明資料にて説明する。

①液状化の影響評価に用いる物性値について

補足説明資料「耐震地盤 01 耐震設計の基本方針に関する地盤の支持性能について」

②液状化の影響評価方針について

補足説明資料「耐震建物 13 地盤の支持性能に係る基本方針に関する建物・構築物周辺の設計用地下水位の設定について」

③液状化の影響評価に関する評価対象施設選定の考え方について

補足説明資料「耐震建物 35 耐震設計の基本方針に関する土木構造物の液状化の影響評価について」

(4) 限界状態設計法による評価

洞道の耐震評価については、既設工認では、許容応力度設計法を採用し、洞道の構造部材について、発生応力度が許容応力度を超えないことを確認した。

今回設工認では、洞道の耐震評価に限界状態設計法を採用し、洞道の構造部材の曲げについては限界層間変形角又は降伏曲げモーメント、せん断についてはせん断耐力を許容限界とし、妥当な安全余裕を持たせることとする。耐震評価における安全係数の考え方については、補足説明資料「耐震建物 32 耐震設計の基本方針に関する土木構造物の耐震安全性評価における共通事項」にて説明する。

(5) 上記以外の評価手法の変更

- ・解析モデルの材料物性において、適用規格の見直しにより、コンクリートの材料物性を変更する
- ・解析モデルの境界条件において、今回設工認では、エネルギーの逸散効果を評価するため、側方境界及び底面境界に粘性境界を設ける
- ・一部の洞道においては、洞道の周辺状況を踏まえ、隣接構造物をモデル化する

3. 既設工認と今回設工認の変更点の比較

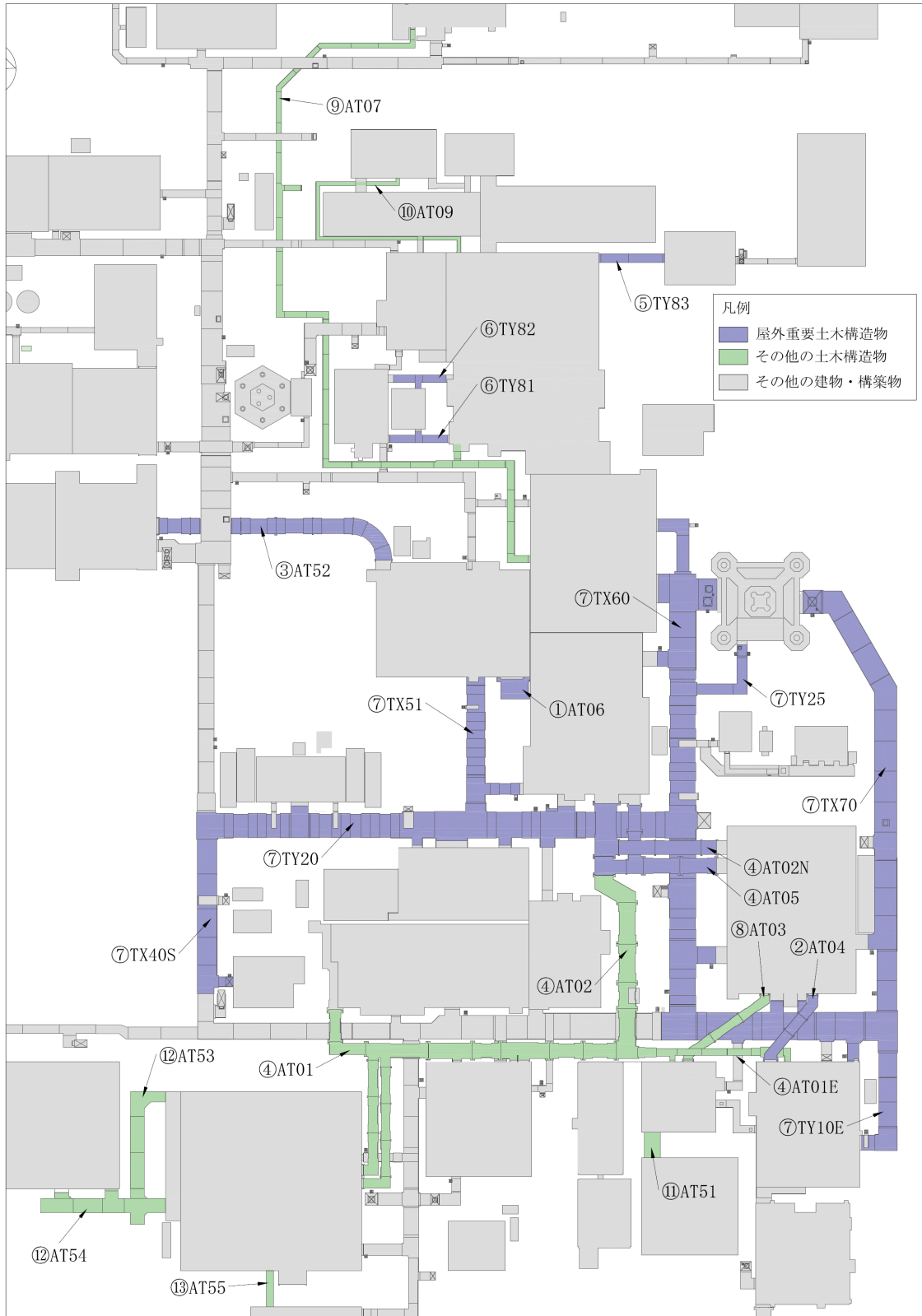
今回設工認の申請対象施設である土木構造物を、第 3-1 表及び第 3-1 図に示す。また、既設工認と今回設工認の変更点の比較を第 3-2 表に示す。

第 3-1 表 今回設工認の土木構造物

No.	区分	洞道名	耐震クラス		要求機能			耐震評価			
			洞道	内蔵設備*1	支持機能	遮蔽機能	閉じ込め機能	S s	S d	静的地震力	
①	屋外重要土木構造物	分離建屋/高レベル廃液ガラス固化建屋間洞道	AT06	S	S	○	○	○	○	○	○*2
②	屋外重要土木構造物	精製建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋建屋間洞道	AT04	B	S	○	○	○	○	-	○*2
③	屋外重要土木構造物	高レベル廃液ガラス固化建屋/第1ガラス固化体貯蔵建屋間洞道	AT52	B	S	○	○	○	○	-	○*2
④	屋外重要土木構造物	分離建屋/精製建屋/ウラン脱硝建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/低レベル廃液処理建屋/低レベル廃棄物処理建屋/分析建屋間洞道	AT02N, AT05	B	S	○	○	○	○	-	○*2
	その他の土木構造物	処理建屋/低レベル廃棄物処理建屋/分析建屋間洞道	AT01E, AT01, AT02	B	B	○	○	○	-	-	○*2
⑤	屋外重要土木構造物	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔A基礎間洞道	TY83	-	S	○	-	-	○	-	○*2
⑥	屋外重要土木構造物	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/安全冷却水系冷却塔B基礎間洞道	TY81, TY82	-	S	○	-	-	○	-	○*2
⑦	屋外重要土木構造物	前処理建屋/分離建屋/精製建屋/高レベル廃液ガラス固化建屋/ウラン・プルトニウム混合脱硝建屋/制御建屋/非常用電源建屋/冷却水設備の安全冷却水系/主排気筒/主排気筒管理建屋間洞道	TX40S, TX51, TX60, TX70, TY10E, TY20, TY25	-	S	○	-	-	○	-	○*2
⑧	その他の土木構造物	精製建屋/ウラン脱硝建屋間洞道	AT03	B	B	○	○	○	-	-	○*2
⑨	その他の土木構造物	前処理建屋/使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/ハル・エンドピース貯蔵建屋間洞道	AT07	B	B	○	○	○	-	-	○*2
⑩	その他の土木構造物	使用済燃料受入れ・貯蔵建屋/使用済燃料輸送容器管理建屋(除染エリア)間洞道	AT09	B	B	○	○	○	-	-	○*2
⑪	その他の土木構造物	ウラン脱硝建屋/ウラン酸化物貯蔵建屋間洞道	AT51	B	B	○	○	○	-	-	○*2
⑫	その他の土木構造物	低レベル廃棄物処理建屋/第2低レベル廃棄物貯蔵建屋間洞道	AT53, AT54	C	C	○	○	○	-	-	○*2
⑬	その他の土木構造物	低レベル廃棄物処理建屋/チャンネルボックス・バーナブルポイズン処理建屋間洞道	AT55	C	C	○	○	○	-	-	○*2

注記 *1: 内蔵設備については、洞道内に内蔵している設備のうち、最上位の耐震クラスを記載する。

*2: 静的地震力に対する評価については、既設工認で実施済みであり、今回設工認における変更はない。



第 3-1 図 洞道の位置

第3-2表 既設工認と今回設工認の変更点の比較

項目		既設工認	今回設工認	備考
解析手法		2次元FEMモデルを用いた地盤応答震度法	2次元FEMモデルを用いた時刻歴応答解析	*1
解析コード		全応力解析：NASTRAN	全応力解析：TDAPIII Ver. 3.07 有効応力解析：FLIP ROSE Ver. 7.4.1	*2
解析モデル	材料物性	検討時の各規準に基づき設定 コンクリートのヤング係数： $E_c=2.52 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ コンクリートのポアソン比： $\nu=0.167$	適用規準の見直しによる再設定 コンクリートのヤング係数： $E_c=2.43 \times 10^4 \text{ N/mm}^2$ コンクリートのポアソン比： $\nu=0.2$	*3
	要素種別	・洞道：はり要素 ・地盤：平面ひずみ要素	・洞道：はり要素 ・地盤：平面ひずみ要素 ・建屋：平面ひずみ要素及びトラス要素	—
	境界条件	・側方境界：水平ローラー ・底面境界：固定	・側方境界：粘性境界 ・底面境界：粘性境界	*1
	非線形特性	構造物の非線形特性は考慮しない	構造物の非線形特性を考慮	*1
地震荷重との組み合わせ		D+L+S D：固定荷重 L：積載荷重 S：地震荷重 この他、土圧及び水圧を考慮する。	同左	—
荷重の設定	固定荷重	躯体の自重を考慮	同左	—
	積載荷重	機器・配管荷重及び上載荷重を考慮	同左	—
	地震荷重	応答震度による物体力を考慮	躯体及び機器・配管の慣性力並びに動土圧を考慮	*4
	土圧及び水圧	土被り圧、静止土圧及び静水圧を考慮	同左	—
評価方法		S_2 地震力、 S_1 地震力及び静的地震力に対して発生応力がRC規準に基づく許容応力度を超えないことを確認した。	基準地震動 S_s に対して、曲げは最大層間変形角又は発生曲げモーメント、せん断は発生せん断力が許容限界を超えないことを確認する。 弾性設計用地震動 S_d に対して発生応力がRC-N規準に基づく許容応力度を超えないことを確認する。	—

- 注記 *1：地震時における地盤と構造物の相互作用や地盤及び構造物の非線形性の考慮を目的に、評価手法の高度化として解析手法及び解析モデルを変更
- *2：洞道周辺地盤の液状化による影響を評価するため、有効応力解析も実施する
- *3：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説—許容応力度設計法—（（社）日本建築学会，1999）に基づく
- *4：解析手法の変更に伴い、時刻歴応答解析における地震時の荷重として躯体及び機器・配管の慣性力並びに動土圧を考慮