

追補版の全体概要

地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会

幹事長 河井 正（東北工業大学）

1

小委員会（3期目）の構成

2025年3月14日時点

委員長	前川宏一(横浜国立大学)	常時参加者 17名	星 秀樹(北海道電力) 西本真也(北陸電力) 吉次真一(中国電力) 西坂直樹(四国電力) 福田 稔(九州電力) 中村洋一(電源開発) 坂上武晴(日本原電) 大館幸一(日本原燃) 松田周吾(関西電力) 井澤 淳(鉄道総合技術研究所) 新美勝之(清水建設) 井上智之(鹿島建設) 三島徹也(前田建設) 島端嗣浩(東電設計) 松本敬克(ニュージエック) 青柳恭平(電力中央研究所) 石丸 真(電力中央研究所)
委員 9名	中村 光(名古屋大学) 古閑潤一(東京大学) 牧 剛史(埼玉大学) 斉藤成彦(山梨大学) 海野寿康(宇都宮大学) 三木朋広(神戸大学) 野城一栄(鉄道総合技術研究所) 小川健太郎(東京電力HD) 速藤大輔(中部電力)		
幹事長	河井 正(東北工業大学)		
幹事 13名	熊田広幸(東北電力) 永井秀樹(大林組) 高田祐希(大林組) 畑 明仁(大成建設) 渡辺和明(大成建設) 渡部龍正(東電設計) 三橋祐太(構造計画) 松尾豊史(電力中央研究所) 山口和英(電力中央研究所) 宮川義範(電力中央研究所) 永田聖二(電力中央研究所) 小松裕史(横浜国立大学) 山野井悠翔(電力中央研究所)		
		事務局	飯野 実(土木学会)

※委員長+委員9名（うち電気事業者委員2名）

2

小委員会の活動計画

3

	上期（4月～9月）	下期（10月～3月）
2022年度	✓小委員会設立承認(5/20) ✓第1回小委員会(6/13) (全体計画&2022計画) ✓実験見学(7/29) ✓技術文書内規制定(8/29)	✓小委員会(12/9) (途中経過&標準化工程等)
2023年度	✓小委員会(4/12) (2022成果&2023計画) ✓技術文書審議タスク(5/15) ✓実験見学(6/15) ✓技術文書審議タスク(6/20)	✓現場見学(8/30,31) ✓小委員会(11/14) (途中経過&標準化方針等)
2024年度	✓小委員会(4/18) (2023成果&2024計画、追補版 ドラフト) ✓技術文書審議タスク(7/29) ✓小委員会(7/31) (追補版初稿)	✓技術文書審議タスク(12/26) ✓小委員会(3/14) (修正意見対応状況) ✓原子力土木委員会承認(4/21) ✓追補版講習会 (2025年6月24日)

※技術文書審議タスクの審議時期などについては要請に応じて適宜対応

【参考】活動の前提

4

原子力土木委員会



原子力土木委員会は、原子力利用についての土木技術に関する問題の調査研究を行い、学術、技術の進展に寄与することを目的として1970年に設立されました。

2011年の東日本大震災による原子力設備の被災やその後の社会状況を踏まえ、以下を重視して活動を行っております（「レター『原子力土木に係る基本的な考え方』と今後の研究の方向性について」、令和2年5月1日）

- ① 客観性・公開性の一層の確保
- ② 社会への積極的な情報発信
- ③ 自主的かつ多面的な調査研究活動の展開

原子力土木委員会では、東日本大震災の半年後、当時の当麻委員長の召集で、平成23年（2011年）10月24日に開催された臨時委員会において、①客観性・透明性の一層の確保、②社会への積極的な情報発信、③自主的な調査研究活動、を重視する運営方針を示しました[※]。これは上記の「倫理規定」を意識したものであると同時に、福島第一原子力発電所の事故を受けて、俗に言う「原子力村」と揶揄された私たちに向けられた批判に、私たちが襟を正し、改めて今後の活動の指針を示したものでした。

（中略）

まいりました。そのような中で、改めて私たちが行ってきた活動を見直し、評価すべき点、反省すべき点を踏まえて、これからの活動の指針を以下のように示すことにいたしました。

（抜粋）

技術文書審議タスクでの確認や意見聴取を経て出版

成果報告書の作成等と標準化に関わる運営内規 土木学会 原子力土木委員会 成果報告書の作成等と標準化に関わる運営内規

5

（成果報告書の区分）

令和4年8月29日 制定
令和6年12月20日 改正

(2) 指針は、性能規定化された要求事項を達成するうえでの解説とそれに必要な技術などを詳細に示した資料などを含む技術文書とする。指針は、審議プロセスの公平、公正、公開の原則の下、作成する。

(3) 技術資料は、対象とする技術的課題に関する技術の現状、それに対する新たな考え方と検討事例等を体系的にとりまとめた技術文書とする。技術資料は、審議プロセスの公平、公正、公開の原則の下、作成する。

（責任分担）

第3条 成果報告書に関する最終的な責任は、委員会にある。ただし、関連するタスク及び関係小委員会も成果報告書の作成と維持管理に関する責任を共有する。成果報告書の作成と維持管理に関する、委員会、技術文書審議タスク³、関係小委員会の管理責任の範囲は次に掲げるとおりとする。

- (1) 委員会は、成果報告書の作成、変更（追補版発行を含む。以下同じ）の必要性を審議し決定する。
- (2) 関係小委員会は、本規則にしたがい、成果報告書の原案を作成する。
- (3) 委員会及び技術文書審議タスクは、成果報告書原案が本規則のプロセスにしたがって策定されていることを確認する。
- (4) 成果報告書には、責任の明確化のため、委員会・技術文書審議タスク・関係小委員会の名簿、小委員会委員長と委員の役割（執筆者と執筆箇所等）を明記する。

³技術文書審議タスクについては、「技術文書審議タスクの設置・運営に関する細則」を参照

【参考】耐震性能照査高度化への歩み

6

土木学会 土木学会委員会サイト				
メニュー				
ホーム・委員会成果物				
原子力土木委員会の成果物リスト				
印刷物のある成果物については土木学会附属土図書館に所蔵されています。近隣の図書館に収蔵されている場合は、土図書館をご利用下さい。詳細は土図書館ホームページをご確認ください。 出版部門が空白となっている図表は複数冊子で構成されており、各冊子ごとに情報を示しています。				
成果物情報				
出版年	図表名	出版部門	シリーズ	ページ
2021	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（技術資料）（2021年版）	土木学会原子力委員会 （地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会）	原子力土木シリーズ5	461
2018	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（2018年版）		原子力土木シリーズ3	
2005	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針（改訂版）			
2002	原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル	原子力土木委員会		202

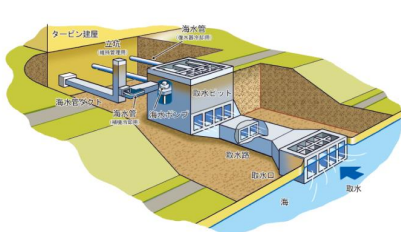
対象構造物や照査の方針の基本部分は変わっていません

主要な変更点は次のスライド

本研究で扱う屋外重要土木構造物

7

- 耐震重要度分類におけるSクラスの機器・配管系の間接支持機能が求められる鉄筋コンクリート構造物
- 非常時における海水の通水機能が求められる鉄筋コンクリート構造物
- 上記と同等の耐震安全性が要求される鉄筋コンクリート構造物



屋外重要土木構造物の配置例



配管ダクトの例 取水路(取水時)

- 特徴：
- ・地中
 - ・ボックスカルバート
 - ・臨海部
 - ・岩盤に直接支持

詳細は「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能調査指針」(2021)を参照

性能の階層構造

8

要求性能

- ◆社会的に求められる構造物の性能
- ◆性能の公知を意図して示される
 - ポンプの揚水機能(取水ビットの場合)や海水管の通水機能等を損なわない

目標性能 (限界状態)

- ◆要求性能に対して工学的な目標となる性能
- ◆想定する荷重作用と構造物の許容限界状態にて記述される
 - 基準地震動 S_s に対して、
 - ①構造物が崩壊しない
 - ②機器・配管の機能維持のための制約条件

照査項目

- ◆限界状態の具体的な評価指標
- ◆解析可能な工学量として示される
 - 変形および断面力による照査
 - ①層間変形角<限界層間変形角
 - ②せん断力<せん断耐力

土木学会原子力土木委員会:原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能調査指針2005

照査に用いる解析手法

9

耐震性能と地震応答解析手法との対応

区分	目標性能	選択される標準的な解析手法			
	限界状態	線形解析	等価線形解析	部材非線形解析	材料非線形解析
1	構造物の構成部材が降伏に至らない	線形解析	等価線形解析	部材非線形解析	材料非線形解析
2	構造物が最大耐力に至らない	線形解析	等価線形解析	部材非線形解析	材料非線形解析
3	構造物が崩壊しない	線形解析	等価線形解析	部材非線形解析	材料非線形解析

出典: 鹿島出版会「原子力耐震工学」

【参考】耐震性能照査高度化への歩み

10

2002年

- ・限界状態設計から性能照査型設計へ
- ・非線形地震応答解析の本格導入
- ・地中構造物の大型振動台実験を実施(地盤は乾燥砂)

2005年

- (構造物)物理的な限界状態の詳細な検討と材料非線形モデルの高度な実証
- (地盤)飽和地盤中の構造物の遠心模型実験

2018年

- ・三次元解析手法の本格導入
- ・性能照査の高度化(間接支持構造物定着部の実験)

2021年

- ・三次元解析手法に関するさらなる検証
- ・三次元地中構造物に関する遠心模型実験(薄い液状化層と厚い不飽和層、構造物はビット)

【参考】耐震性能照査高度化への歩み

11

2025年 指針・マニュアルの基本部分に変更はなく、下記のトピックに絞って検討

- ・液状化地盤中の三次元地中構造物の挙動
 - 薄い不飽和層(表層)と厚い液状化層・地中応力状態の推定、構造物は立坑
- ・破砕帯を横断する構造物の地震時応答
 - 物性不連続面で発生する地盤の地震時変位がトンネルに与える影響
 - 断層変位(一方向変位)ではなく、あくまでも地震の揺れによる地盤物性が極端に異なる場合の不連続応答の影響(交番変位)

追補版としてトピックごとに参照し易い形で発刊

①遠心模型載荷実験に基づく検討

12

【目的】

密な地盤が液状化による構造物の照査手法を構築し、追補版に記載する。

【結果】

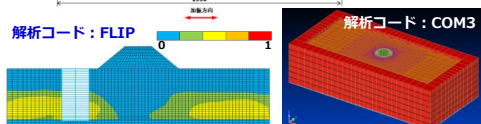
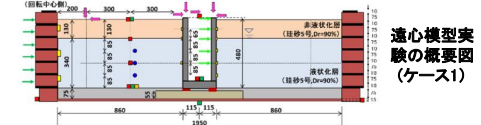
解析の再現性が十分なことを確認した。
・密な地盤の応答と構造物に作用する荷重との関係
・構造物の損傷

【追補版との関連】

密な地盤中に構築される構造物に対する、簡易的な二次元解析、より詳細な三次元解析による照査手法を構築した。

実験ケース(円形立坑・液状化地盤)

ケース	模型	支持条件	地盤条件	目的
1	RC	岩盤上に設置	成層地盤	基本ケース
2	弾性	岩盤上に設置	成層地盤	非線形模型応答との比較検討
3	RC	岩盤上に設置	模型の片側に盛土設置	盛土荷重による偏土圧の影響検討
4	RC	岩盤に根入れ	成層地盤	支持条件の影響検討



二次元解析による事後解析(ケース3過剰間隙水圧比)

三次元解析による事後解析とパラメータ解析(ケース1メッシュ)

② 破砕帯を交差するRC模型の構造実験

13

【目的】

構造物の照査に適用する指標と判定閾値を導出し追補版に記載する。

【実施項目】

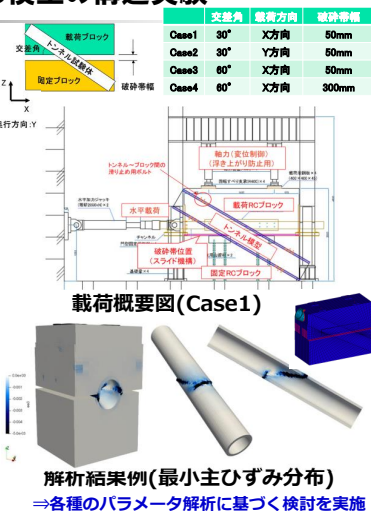
載荷実験/再現解析
/ 補足的なパラメータ解析

【結果】

解析の再現性が十分なことを確認した。
・弱層に沿ったずれと構造物に作用する荷重との関係
・最大荷重点と局所的な最小主ひずみ値との対応関係

【追補版との関連】

構造物の応答が最大荷重に至ったか・否かを判定する照査指標として、最小主ひずみも使用可能であることを把握した。



【追補版2025】目次構成

14

◆基本事項(指針・マニュアル2021への補足・解説)

第1章 照査の基本※前提条件、共通事項、2021年版の抜粋・再掲

第2章 密な地盤の液状化に対する影響評価技術※基本事項の整理、補足説明など

第3章 破砕帯に対する影響評価技術※基本事項の整理、補足説明など

◆照査例(耐震性能照査の例示)

- ・二次元部材非線形形地盤応答解析を用いた照査例
- ・三次元材料非線形形地盤のプッシュオーバー解析を用いた耐震性能照査例
- ・三次元材料非線形形地盤の応答解析を用いた照査例
- ・破砕帯を交差するRC製トンネルの耐震性能照査例

◆技術資料(関連する諸検討)

- ・液状化に関する既往文献調査(液状化被害を受けた放水路の事例など)
- ・密な地盤に埋設された円形立坑模型の載荷実験
- ・密な地盤に埋設された円形立坑模型実験の再現解析(FLIP)
- ・密な地盤に埋設された円形立坑模型実験の三次元材料非線形解析(COM3)
- ・地盤の液状化を考慮した実規模立坑の二次元有効応力解析(FLIP, COM3)
- ・地盤の液状化を考慮した実規模立坑の三次元材料非線形解析(COM3)
- ・破砕帯の影響評価に係る既往検討(アンケートや審査事例など)
- ・破砕帯を交差するRC製トンネル模型の構造実験
- ・破砕帯を交差するRC製トンネル模型実験の数値シミュレーション(COM3, DIANA)
- ・局所変形を受ける円形トンネルの限界状態(COM3, DIANA)
- ・破砕帯と交差するRC製トンネルの実用的な非線形解析手法の検討(実規模解析)

講習会プログラム

15

「鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震性能照査技術」に関する講習会 — 屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針への追補 —

■日 時: 2025年6月24日(火) 13:30~16:30

■実施方法: 土木学会+オンライン併用

■プログラム:

➢司会; 熊田広幸(東北電力)

➢開会挨拶; 小委員会委員長 前川宏一(横浜国立大学)

➢追補版の全体概要; 河井正(東北工業大学)

➢密な地盤の液状化に対する影響評価技術; 山口和英(電力中央研究所)

技術資料: 高田祐希・永井秀樹(大林組), 小松怜史(横浜国立大学)

照査例: 渡部龍正・島端嗣浩(東電設計)

➢破砕帯に対する影響評価技術; 宮川義範(電力中央研究所)

技術資料: 畑明仁・渡辺和明(大成建設), 山野井悠翔(電力中央研究所)

照査例: 三橋祐太(構造計画), 永田聖二(電力中央研究所)

➢耐震性能照査指針2021年日英版; 松尾豊史(電力中央研究所)

➢閉会挨拶; 原子力土木委員会委員長 大鳥靖樹(東京都市大学)