

【原子力土木委員会幹事会】

地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会

- 1.小委員会の活動状況
- 2.研究概要(2023年度計画の進捗状況)
- 3.耐震性能照査技術の追補

2023年12月21日
小委員会幹事

1-1 小委員会(3期目)の構成

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) 村上嘉謙(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) 松本敏克(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) 古関潤一(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) 遠藤大輔(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) 小松怜史(横浜国立大学) 山野井悠翔(電力中央研究所)	事務局	丸畑明子(土木学会)

※委員長+委員9名(うち電気事業者委員2名)

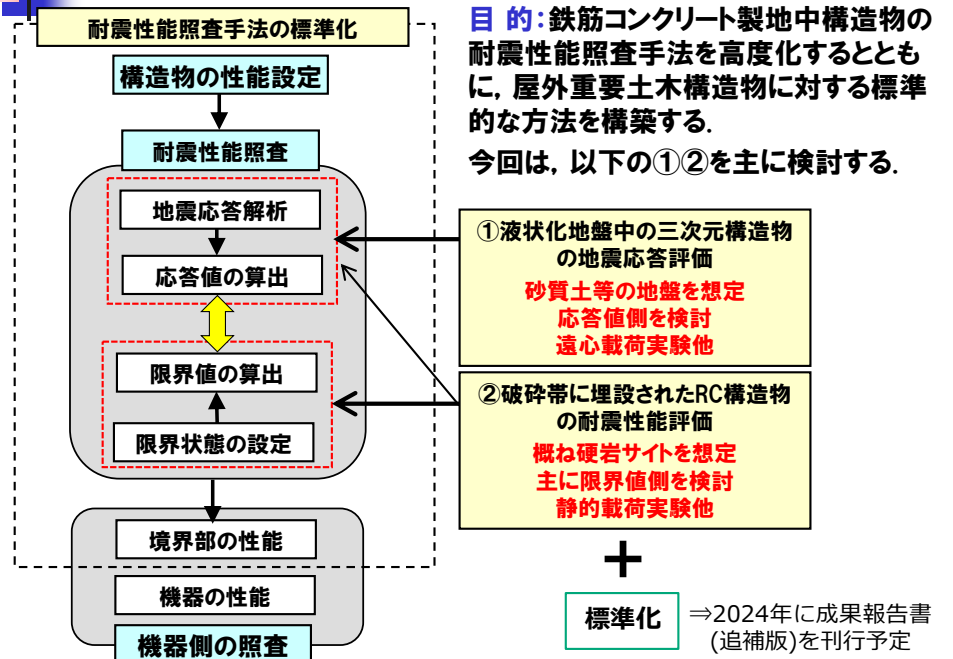
1-2 小委員会の活動計画

小委員会スケジュール案

	上期(4月~9月)	下期(10月~3月)
2022年度	✓第1回小委員会(6/13) (全体計画&2022計画) ✓実験見学(7/29)	✓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) ✓技術審議タスク(5/15) ✓実験見学(6/15)	✓現場見学(8/30,31) (東通原子力発電所&六ヶ所再処理工場) ✓小委員会(11/14) (途中経過&標準化方針等)
2024年度	✓小委員会(4月頃) (2023成果&2024計画、追 補版ドラフト等) ✓小委員会 (追補版最終案等)	✓小委員会幹事会 (修正意見対応・校正確認等) ✓成果報告会(追補版講習会)

※技術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する

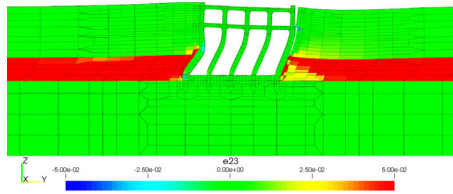
2. 研究の全体概要



①液状化地盤中の三次元構造物の地震応答評価

前フェーズ(2018-2020年度)

取水ピット構造物を対象とした検討

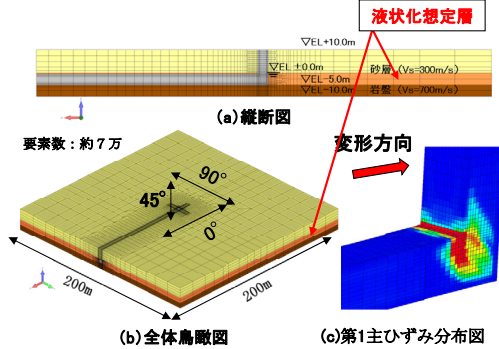


変形+せん断ひずみ分布図
(構造物変位最大時, 変形倍率:10倍)

解析メッシュ例 (解析コード:COM3)

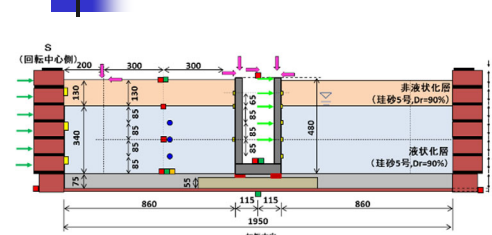
- 一部の層が液状化する場合や三次元条件での検討
- 有効応力解析による影響評価と全応力解析の適用性

今フェーズ(2022-2024年度)
RC立坑を対象とした検討



- 地盤の液状化条件や構造諸元(断面形状等)に対する検討。
- 円形断面の立坑モデルを対象とした解析も行う。
- 有効応力解析による影響評価と二次元解析の妥当性なども検討する。

①遠心模型載荷実験に基づく検討



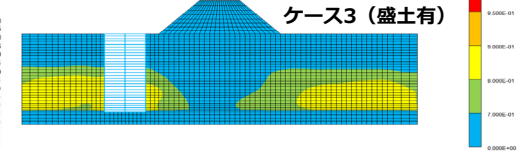
遠心模型実験の概略(平面図)

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	実験日
1	非線形(RC)	岩盤上に設置	成層地盤	2022年度済
2	弾性(3DP)	岩盤上に設置	成層地盤	2022年度済
3	非線形(RC)	岩盤上に設置	模型の片側に盛土設置	4回目(6/15)
4	非線形(RC)	岩盤に根入れ	成層地盤	3回目(4/20)

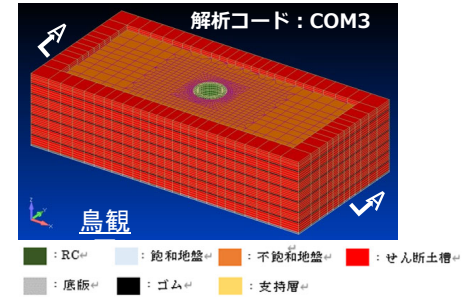
⇒実験ケース3,4の実験結果の分析を実施した

解析コード: FLIP



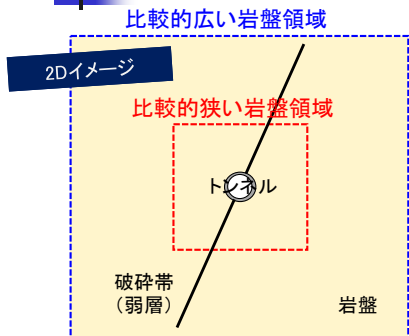
二次元解析解析例(過剰間隙水圧比)
⇒実験ケース3,4の事後解析を実施中

解析コード: COM3



三次元解析メッシュ例
⇒実験ケース1,2の再現解析を実施した

②破碎帯に埋設されたRC構造物の耐震性能評価



破碎帯(弱層)の地震応答挙動の評価

- 比較的大い範囲の岩盤領域(100~150m以上)
- 比較的小い範囲の岩盤領域(100m未満)
- 比較的小さいモデル(部材非線形など)

比較

◎弱層部での構造物の限界状態の評価

- 比較的小さい範囲の岩盤領域(100m未満)
- 比較的小さいモデル(材料非線形など)

本検討では、断層調査等から破碎帯に係る条件が与えられた場合に対して、弱層を含む岩盤の地震応答変形が構造物に及ぼす影響を評価する。

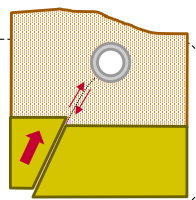
本研究の対象

- Point:
- 地震動による変形
 - 弱層の変形(数mm)
 - 正負交番

≠
作用が異なる

断層変位の場合

- Point:
- 断層変位が直接作用
 - すべり変位(数百mm~)
 - 単調



②破碎帯を交差するRC模型の構造実験

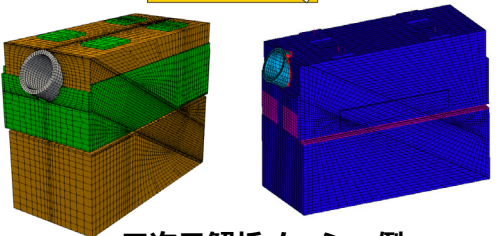
実験ケース

	交差角	荷重方向	破碎帯幅
Case1	30°	X方向	50mm
Case2	30°	Y方向	50mm
Case3	60°	X方向	50mm
Case4	60°	X方向	300mm

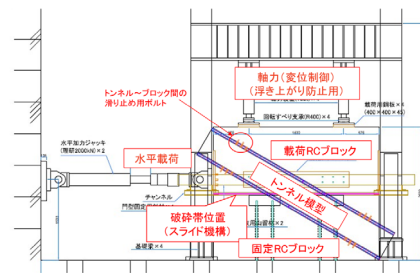
※トンネル模型: 外径600mm、厚さ60mm、長さ4000mm



三次元解析メッシュ例



水平変位5mm
変形倍率10倍



荷重概要図(Case1の場合)

⇒実験結果の分析は2022年度に終了

解析結果例(最小主ひずみ分布)

⇒現在、各種のパラメータ解析を実施中

3. 2024年追補版の構成案

2021年版に追補するという位置づけのため、2021年版は変更せず、2024年版では2021年版の必要箇所を既往の手法として再掲するに留め、「密な地盤の液状化」および「破碎帯」に対する評価技術に特化した追補版とする。また、2021年版指針<日英版>も同時に刊行予定。



[2024年追補版] 第I部の目次案

◆密な地盤の液状化に対する影響評価技術

- 第1章 密な地盤の液状化を考慮した耐震性能照査
 - ※基本事項の整理、既往手法のレビュー、補足説明など
- 第2章 密な地盤に埋設された構造物の耐震性能照査例
 - 2.1 二次元非線形解析を用いた液状化が生じた構造物の耐震性能照査例
 - ※新規作成「取水立抗」
 - 2.2 三次元非線形解析を用いた液状化が生じた構造物の耐震性能照査例(1)
 - ※新規作成「取水立抗」
 - 2.3 三次元非線形解析を用いた液状化が生じた構造物の耐震性能照査例(2)
 - ※2021年版照査例VIと同じ(取水ピット)
- 第3章 密な地盤の液状化に対する影響評価に係る諸検討
 - ・液状化に係る既往文献調査（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三次元RC模型の載荷実験
 - ・密な地盤に埋設された三次元RC模型の載荷実験の再現解析(FLIP)
 - ・地盤の液状化を考慮した材料非線形解析(COM3)
 - ・地盤の液状化を考慮した三次元実規模構造物の材料非線形解析(FLIP、COM3)

[2024年追補版] 第II部の目次案

- ◆破碎帯に対する影響評価技術
- 第1章 破碎帯を交差する構造物の耐震性能照査
 - ※基本事項の整理、既往手法のレビュー、補足説明など
- 第2章 破碎帯を交差する構造物の耐震性能照査例
 - 2.1 二次元非線形解析を用いた破碎帯を交差する構造物の耐震性能照査例
 - ※新規作成「円形トンネル(二次元)」
 - 2.2 三次元非線形解析を用いた破碎帯を交差する構造物の耐震性能照査例
 - ※新規作成「円形トンネル(三次元)」
- 第3章 破碎帯に対する影響評価に係る諸検討
 - ・破碎帯に係る既往文献調査（アンケートや審査事例など）
 - ・破碎帯に埋設されたRC模型の構造実験
 - ・破碎帯に埋設されたRC模型の構造の挙動解析(DIANA)
 - ・局所変形を受ける円形トンネルの限界状態に対する検討(COM3)
 - ・破碎帯を考慮した実用的な非線形解析手法の検討(実規模解析)

耐震性能照査指針 [2021年版] の英文化

目的：既往指針の英訳版を作成し、国外での耐震設計・研究、国内での英文作成、国外への情報発信などに広く活用してもらう

- 第1章 総 則
- 第2章 屋外重要土木構造物の性能設定
- 第3章 材 料
- 第4章 作 用
- 第5章 解析手法
- 第6章 照 査

- ✓ 地盤・構造物連成系の地震応答解析や照査用限界値の設定等の要素技術は、国外の鉄筋コンクリート製地中構造物の耐震設計・研究にも活用可能
- ✓ 国内においては、大学、電力会社、建設会社、設計コンサルタントにおける研究者・技術者などの英文作成や国外への情報発信を支援可能。
- 今後、巻頭言やメンバー構成なども作成する。出来れば、コンクリート工学誌解説(2022年6月)などの英訳も付録として掲載したい。

2023年4月に確認済。ドラフトとして追補版の刊行に先立ってホームページに掲載した(2023年8月)。付録として技術付録書を作成中。

[2021年日英版] 技術付属書の構成

- A.耐震性能照査指針の変遷
- B.二次元地盤・構造物連成系の非線形地震応答解析手法の検証
- C.水平動鉛直動の同時入力の影響
- D.三次元地盤・構造物連成系の非線形地震応答解析手法の適用性検討
- E.液状化が生じた構造物の地震応答評価手法
- F.せん断破壊に対する照査に関する検討
- G.三次元非線形解析を用いた耐震性能照査手法の高精度化
- H.解析手法と照査指標の選択
- I.安全係数の設定方針
- J.機器・配管のアンカー支持力の評価
- K.断層変位に対する影響評価手法

例えば、技術付属書A,E,G,Kは、コンクリート工学誌解説(2022年6月)に掲載された土木学会「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針」2021年拡充版の各章を再構成して、日英対訳として示す。

今後の工程



- ※ 原子力土木委員会の規定において、技術文書審議タスク(中間段階, 最終段階)の開催が必要となっている。
- ※ その後、外部意見照会および公衆審査, 原子力土木委員会の審議を経て、刊行が可能となる。同時に実施可能

※ 7/31原子力土木委員会「資料23-1-04-3」(スライド31)にピンク色文字で加筆