

## 密な地盤に埋設された RC 立坑模型の遠心載荷実験シミュレーション解析

東電設計 (株) 正会員 ○渡部龍正  
 (一財) 電力中央研究所 正会員 松尾豊史  
 大林組 (株) 正会員 加藤一紀  
 関西電力 (株) 正会員 横田克哉

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート製地中構造物の地震応答評価に、地盤・構造物連成系の三次元有限要素解析を適用することで、より実挙動に近い評価が可能となり、耐震性能照査の合理化を図ることが可能である<sup>1)</sup>。しかしながら、液状化が生じることで三次元形状の構造物に与える影響について検討した事例は少ない。また、近年は基準地震動が大きくなり、密な地盤であっても液状化が生じることが想定される。そこで、遠心模型実験を実施し、その再現解析を行うことで、三次元条件下で地盤の液状化領域が RC 構造物の地震時挙動に与える影響を検討した。

## 2. 検討概要

遠心模型実験概要図<sup>2)</sup>を図1に示す。遠心実験は30Gの遠心加速度によって実験を行っており、RC立坑の寸法は実規模相当で断面外形が4.5m×4.5m、内空3.0m×3.0m、壁厚0.75m、高さ16.2mである。配筋図及び断面図を図2に示す。入力加速度波形を図3に示す。地盤は栃木県産珪砂5号を相対密度約90%と密に締め固められた条件とした。地層条件は、上層を不飽和層(乾燥状態)とし、下層を飽和層(飽和状態)とした。解析コードはFLIP<sup>3)</sup>、COM3<sup>4),5)</sup>を用いた。RC立坑の解析物性値は実験の配筋条件及び材料試験に基づいて設定した。地盤は、1要素モデルにおいて、非排水条件下で繰返しせん断を作用させ、液状化試験結果を再現できる物性設定を行った。解析モデル(COM3)を図4に示す。地盤、せん断土槽はソリッド要素でモデル化し、RC試験体は、FLIPでは非線形はり要素(武田モデル)、COM3ではソリッド要素でモデル化した。遠心実験において、加振中に間隙水圧の低下が確認されたため、飽和層は排水条件で解析を行った。RC試験体-地盤間とせん断土槽-地盤間には、剥離とすべりを考慮したジョイント要素を設けた。境界条件について、解析モデル底面は固定境界とし、側方(せん断土槽)については、自重解析時には鉛直ローラーとし、動的解析時は側方を拘束していない。

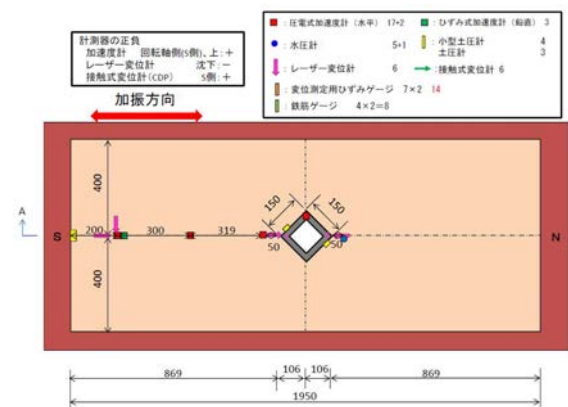


図1 遠心模型実験概要図

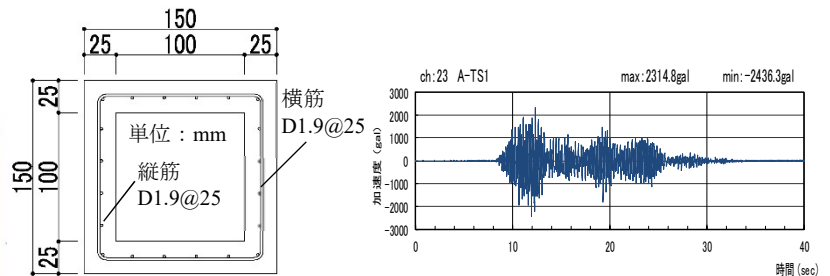


図2 配筋図

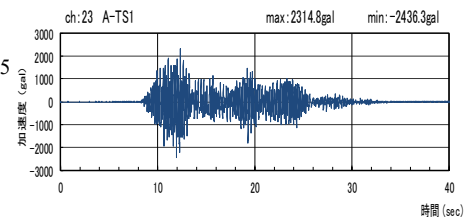


図3 入力加速度波形

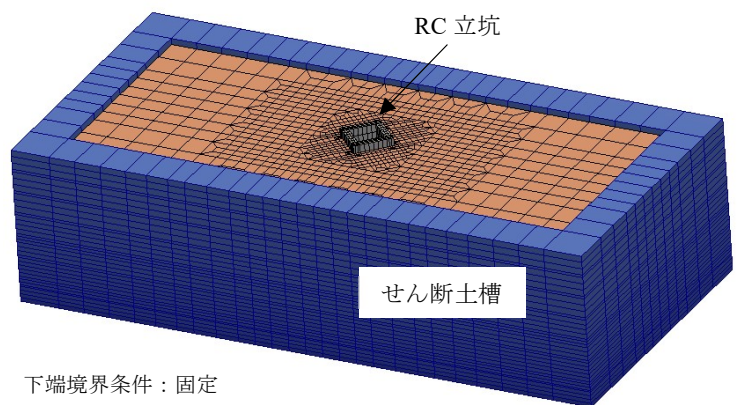


図4 解析モデル (COM3)

キーワード：三次元非線形解析，地盤・構造物連成解析，遠心模型実験，密な地盤

〒135-0062 東京都江東区東雲 1-7-12 KDX 豊洲グランスクエア 9F 東電設計 (株) TEL : 03-6372-5393

### 3. 解析結果および考察

解析結果の比較として、せん断土槽の頂部水平変位時刻歴 (CDP-1) と RC 立坑の頂部水平変位時刻歴 (LDH-I) との比較を行った (図 5) . 上段が FLIP, 下段が COM3 の結果を示している. 地盤変位は, 残留変位までは再現できていないが, 最大変位は概ね再現されている. RC 立坑変位は, 実験結果よりも最大値で多少大きい結果であるが, 概ね再現されている. 自由地盤部の過剰間隙水圧比時刻歴 (PF) との比較を図 6 に示す. 各計測機器の設置位置は図 1 に併せて示す. 本解析は, 遠心実験において, 加振中から過剰間隙水圧の低下がみられたため, 排水を考慮することができるモデルを FLIP, COM3 とともに適用した. 過剰間隙水圧比も概ね実験結果を再現しており, 排水による加振中の水圧の低下が解析においても確認され, 最大過剰間隙水圧比は 60%ほどであった. 実験結果でスパイク状の波形が確認でき, これは主に鉛直動の影響と考えられ, 加速度応答には影響を与える可能性はあるものの, 地盤・構造物の変位応答に与える影響は小さい.

図 7 に RC 立坑の変形最大時刻での変形図およびせん断ひずみ分布図を示す. FLIP, COM3 とともに飽和層で地盤のせん断ひずみが大きくなっていることが確認できる. また, 不飽和層と比べて飽和層はせん断ひずみが大きく, 過剰間隙水圧の上昇に伴う軟化は確認できるが, せん断ひずみ  $\gamma_{max}=3.75\%$  以上の要素が確認されないため, せん断ひずみからも明確な液状化に至っていないことが確認できる.

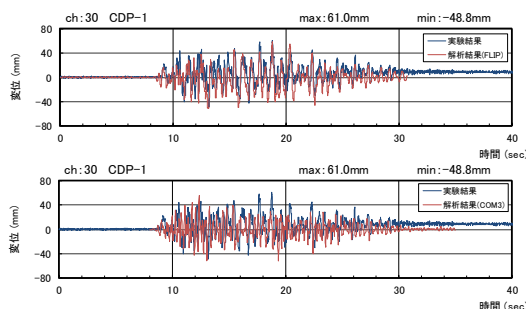
### 4. おわりに

遠心模型実験を対象としてシミュレーション解析を行い, 密な地盤に埋設された RC 立坑および地盤の挙動を概ね再現することができた. 本解析結果より, 飽和層の層厚や透水係数の影響等により, 地震時に非排水条件になりにくい場合には, 全応力解析もしくは有効応力解析 (排水条件) で評価した方が, 実現象と整合的で合理的な評価となると考えられる.

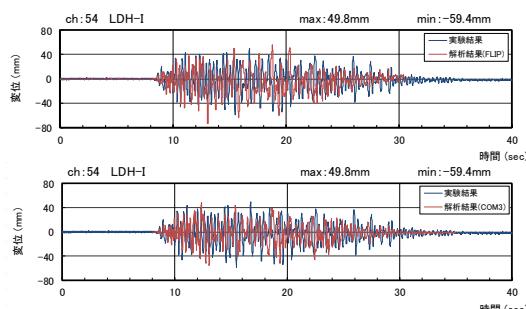
謝辞: 本研究の一部は, 電力 9 社と日本原子力発電 (株), 電源開発 (株), 日本原燃 (株) による原子力リスク研究センター共通研究の一環で実施したものである. また, 本解析を実施するにあたり, 「地中構造物の耐震性能照査高度化小委員会」前川宏一委員長には多大なご支援を頂きました. ここに, 謝意を表す次第である.

### 参考文献

- 1) 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照査指針・マニュアル, 2018.
- 2) 渡部龍正, 松尾豊史, 石丸真, 加藤一紀: 密な地盤に埋設された RC 立坑の地震応答に関する実験的検討, コンクリート工学年次論文集 Vol.43, 2021.7. (投稿中)
- 3) FLIP 研究会 14 年間の検討成果まとめ WG: FLIP 研究会 14 年間の検討成果まとめ, 2011.
- 4) 岡村甫, 前川宏一: 鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- 5) Maekawa, K. and Okamura, H. and Pimanmas, A.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003.



(a) せん断土槽頂部変位 (CDP-1)



(b) RC 立坑頂部変位 (LDH-I)

図 5 地盤および RC 立坑の変位時刻歴

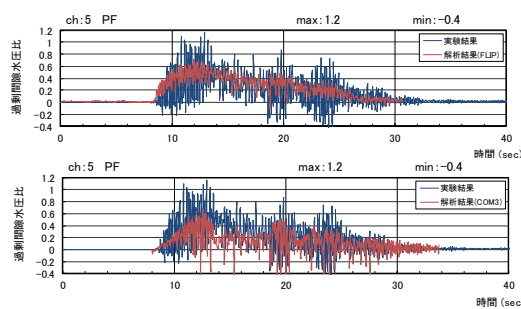


図 6 自由地盤部の過剰間隙水圧比時刻歴 (PF)

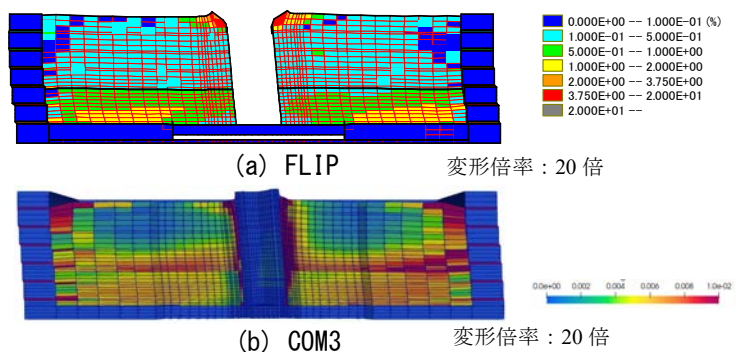


図 7 変形+せん断ひずみ分布図 (RC 立坑変形最大時)