

密な地盤の液状化が生じた実規模 RC 地中構造物の地震応答に関する解析的検討

東電設計 (株) 正会員 ○島端嗣浩 正会員 渡部龍正
 (一財) 電力中央研究所 正会員 松尾豊史
 関西電力 (株) 正会員 横田克哉

1. はじめに

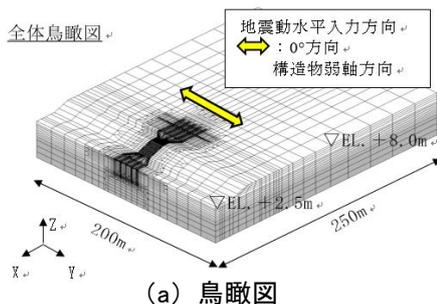
鉄筋コンクリート (RC) 製地中構造物の地震応答評価に、地盤・構造物連成系の三次元有限要素 (FEM) 解析を適用することで、より実挙動に近い評価が可能となり、耐震性能照査の合理化を図ることが可能である¹⁾。しかしながら、地盤の液状化が生じることで三次元形状の RC 構造物に与える影響について検討した事例は少ない。また、近年では基準地震動が大きくなってきたことで、密な地盤であっても液状化が生じることが想定される。そこで、実規模を想定した取水ピットモデルの地盤・構造物連成系の三次元地震応答解析により、密な地盤で一部の層が液状化した場合の影響を評価した。

2. 検討概要

対象の解析モデルは「原子力発電所屋外土木構造物の耐震性能照査指針<技術資料 V>2018 年 10 月」¹⁾を参考に設定し、図 1 に解析モデルを示す。地盤、構造物はソリッド要素でモデル化し、構造物-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。境界条件については、自重解析では側方鉛直ローラーとし、動的解析では、取水口のある側面は護岸のモデル化として鉛直ローラーとし、それ以外の側方はフリーとした。モデル下端は自重解析時ならびに動的解析時においても固定とした。

地層条件は、一部の層が液状化することで上層の非液状化層がともに変形することによって、境界部で構造物にせん断変形が発生し、構造物にとって厳しい評価となることが想定されるため、下層を液状化層とした。また、取水ピット周辺の埋戻土が液状化することを想定し、縦 100m×横 60m×高さ 3m の領域を液状化層として設定した (図 2)。

解析ケースを表 1 に示し、入力加速度を図 3 に示す。解析コードは COM3^{2),3),4)}を用い、過剰間隙水圧の変動による影響を考慮しない解析 (ここでは、全応力解析と称す) と考慮した解析 (有効応力解析) を実施した。K-1 は、過剰間隙水圧の上昇を想定し、液状化層のせん断強度を K-0 の 2/3 に低減した。K-3 では、図 4 に示すように、構造物両脇の液状化層のみ改良したケース (K-3A) と地表面まで改良したケース (K-3B) を実施した。



(a) 鳥瞰図

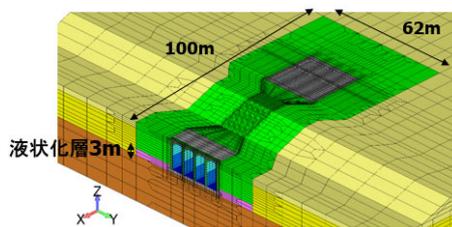


図 2 液状化を想定する範囲

表 1 解析ケース

解析ケース	地盤条件の変更	解析方法
K-0	—	全応力 (全層非液状化)
K-1	一部液状化	全応力 (液状化考慮)
K-2	一部液状化	有効応力
K-3	一部液状化-改良体	有効応力

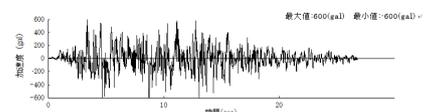
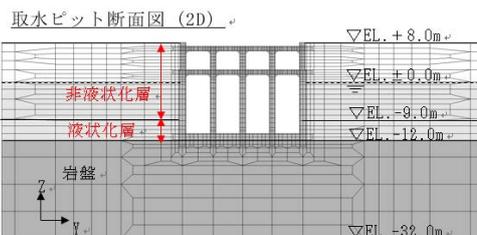
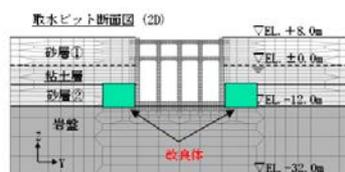


図 3 入力加速度



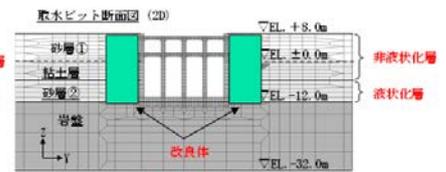
(b) 断面図

図 1 解析モデル



→ 構造物脇の液状化層のみ改良する
 (高圧噴射攪拌工法を想定)

(a) K-3A



→ 構造物脇を全層改良する
 (機械攪拌・置換工法を想定)

(b) K-3B

図 4 改良体解析ケース (K-3)

キーワード：三次元非線形解析，地盤・構造物連成解析，一部液状化，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 : 03-6372-5588

3. 解析結果および考察

解析結果の比較として、図5に構造物の頂底版間の最大変位分布を示す。一部の層が液状化するケース（K-2）は、全層非液状化ケース（K-0）と比べて、全断面で層間変位が大きくなった。K-1はK-2に対して、断面1～5においては層間変位が大きくなり、断面10、断面6～8においては層間変位が小さくなった。断面10は、断面9、11の構造形状が断面10に対して傾斜をもつ構造となっており、土圧が集中しやすいことが影響したものと考えられる。断面6～8では、図2に示す断面10付近の地表面に存在する斜面の影響により、流動力が作用したものと考えられる。地震時の最大変位以上の残留変形による影響が大きい場合、全応力解析で応答評価をすることは難しいものと考えられるが、そのことが影響したと考える。構造形状に大きな変化はなく地表面の不陸がない断面1～5では、K-1の応答はK-2の応答と同程度もしくは安全側の評価となった。K-3A,Bは、改良体を設置したケースであるが、すべての断面でK-2よりも層間変位は小さくなり、改良体の効果がみられた。図6に最大主ひずみ分布（全時刻最大）を示す。K-3B、K-0、K-2の順に、ひずみが大きい傾向を示しており、最大変位分布と同様の傾向となった。

4. おわりに

本検討の結果として、密な地盤が限定的に液状化する場合は、両解析手法ともに構造物最大応答時の変位やひずみなどの応答が同様の傾向となった。一方で、斜面や構造物の三次元形状などによる影響で地盤の残留変形が顕著になる場合には、有効応力解析を適用することが望ましいと考えられる。

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) 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。
- 3) Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H.: Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete, SPON PRESS, 2003。
- 4) 牧剛史，前川宏一，半井健一郎，平野勝識：液状化を生じる地盤中におけるRC杭基礎の非線形応答に関する研究，液状化地盤中の杭の挙動と設計法に関するシンポジウム発表論文集，2004.12。

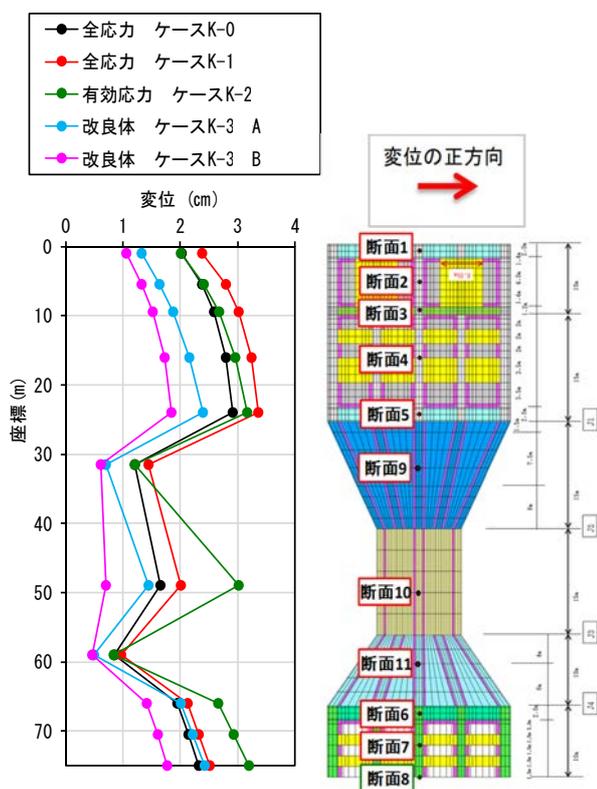


図5 構造物の頂底版間相対変位（全時刻最大値）

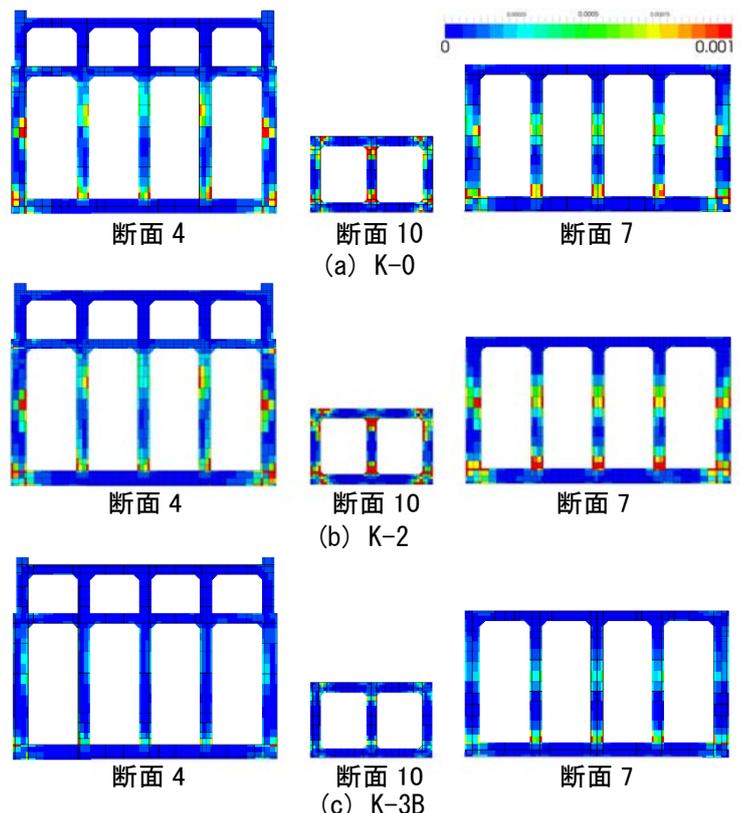


図6 最大主ひずみ分布図（最大値分布）