

(財)電力中央研究所 正会員 遠藤達巳
 (財)電力中央研究所 正会員 青柳征夫
 東京電力株式会社 正会員 興野俊也
 (財)電力中央研究所 正会員 松村卓郎

1. はじめに

原子力発電所において大地震時を想定するような場合、地中に埋設される構造物および周辺地盤が非線形領域に入り、それを考慮することで実現象に近い合理的な設計が可能になる。従来の設計では、構造物の非線形性は無視されている。また、既往の研究での構造物と地盤の連成解析においても、構造物の非線形性を厳密に考慮したものは少ない。そこで、地中に埋設された鉄筋コンクリート・ボックスラーメン構造物と地盤の両者の非線形性を考慮して、静的な地盤・構造物連成実験を対象とした数値シミュレーションを実施した。本報告では、構造物の非線形化による作用荷重の変化に着目して、結果の概要を報告する。

2. 解析の概要

(1) 実験の概要：図1に示すように、実験は一様なせん断変形を賦与できる土槽(4m×3m×1m)中の砂地盤内に鉄筋コンクリート2連ボックスラーメン試験体(2m×1m, 断面厚10cm)を設置し、正負繰返しの一様なせん断変形を砂地盤を介して試験体に間接的に与えるものである〔文献1〕。

(2) 解析手法：解析には、鉄筋コンクリートの非線形性に加え、地盤の非線形性をも考慮できるよう改良したFEM連成解析手法を用いている。コンクリートのひびわれは分散ひびわれによりモデル化し、コンクリートの構成則および破壊基準はKupfer等の実験に基づいて定めている。砂地盤の構成則は、弾塑性理論と実験から誘導した硬化関数と降伏条件を用いている〔文献2〕。

(3) 解析の種類：解析は大別すると以下の2種類である。
 〔ケース1〕：実験においては、コンクリート中に埋め込んだ土圧計により、壁面に垂直方向に作用する直土圧および平行に作用するせん断土圧を計測しているが、一般にその精度は十分に高いとはいえない。そのため、図2に示すように、より正確な土圧性状を把握する目的で、計測された構造物の変位分布から構造物に作用している土圧を推定する解析を行った。
 〔ケース2〕：実験を忠実に模擬した数値シミュレーションであり、構造物および砂地盤の非線形性を考慮している。その際、地盤と構造物の境界面の物性、すなわち、境界面のすべり・剥離の考慮の有無(接合要素の有無)をパラメータとして解析を行った。

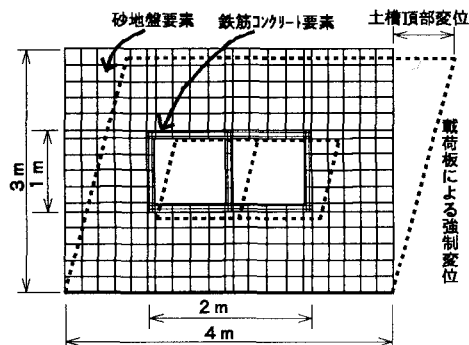


図1 解析条件(要素分割, 変位賦与条件)

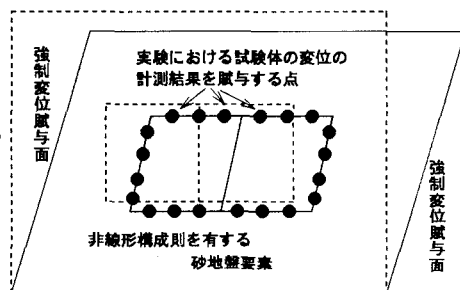


図2 実験結果から土圧を推定するための解析条件

3. 実験結果から推定した構造物に作用する土圧〔ケース1〕

図3には、側壁に作用する土圧について、実験の計測結果と解析から推定した土圧の比較を示す。土槽頂部変位が大きい場合には計測値と推定値はある程度一致しているが、初期段階では異なる傾向を示している。

この相違は、推定値がある程度平均的な土圧を算定していること、小さなひずみ段階では計測値は誤差を含んでいることなどに起因して生じたと思われる。この推定値(解析値)から判るように、実験でひびわれが発生する土槽頂部変位5mm時点から、土圧の増加傾向が鈍化しており、構造物の非線形化が作用荷重に与える影響が顕著であることが明らかとなった。

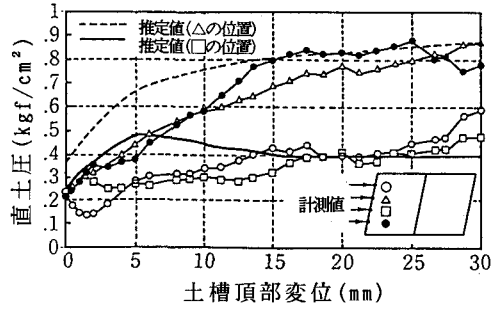


図3 解析により推定した土圧と測定値の比較

4. 実験の数値シミュレーション結果〔ケース2〕

解析においてパラメータとしたのは、①地盤の非線形性の考慮、②構造物の非線形性の考慮、③構造物と砂地盤の境界面のすべり剥離の考慮

(接合要素の有無)である。図4には、土槽頂部変位30mmでの直土圧とせん断土圧分布の解析値の比較を示した。実現象に近いと思われる実験結果からの推定値(図中a)〔ケース1〕の結果)と比べると、構造物と地盤の非線形性を考慮しただけでは(図中のb)),直土圧およびせん断土圧の分布形ならびに土圧の大きさとも実験と一致しない。地盤とRC構造の非線形性を考慮した上で、図中c)で示すように接合要素を用いてすべり・剥離現象を考慮することにより、局所的な相違はあるものの概ね実験結果を精度良くシミュートできることが明らかとなった。また、表1には、各解析ケースについて鉄筋降伏時の土槽頂部変位の一覧を示した。地盤および構造物の非線形性を考慮すること、および境界面のすべり剥離現象を考慮することで、実験を精度良くシミュートできることが明らかとなった。

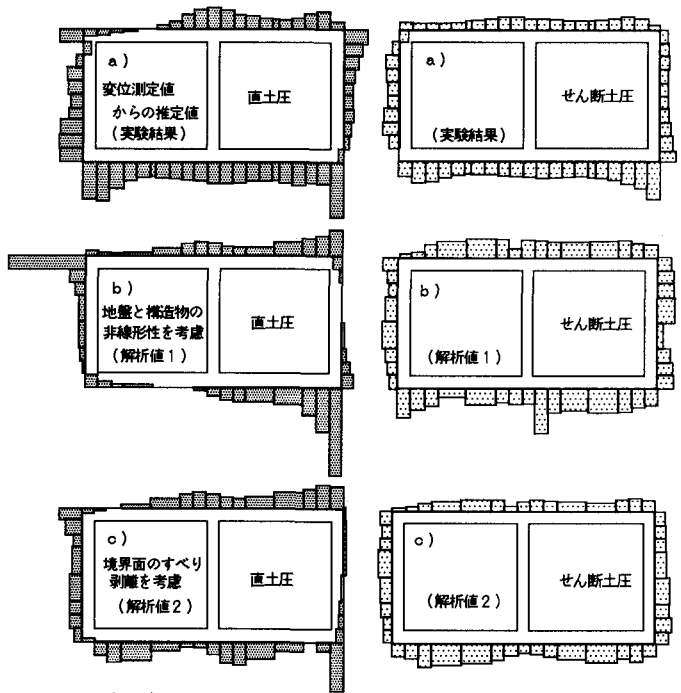


図4 解析条件をパラメータとした土圧(直土圧, せん断土圧)分布の比較

表1 解析条件による鉄筋降伏変位の相違

No.	地盤物性	RC物性	接合要素	鉄筋降伏・土槽頂部変位(mm)
1	線形	線形	無	13.1
2	線形	非線形	無	15.1
3	非線形	非線形	無	18.9
4	非線形	非線形	有	22.7
実験結果				23.5

5. まとめ

以上の結果、本解析手法は、RC構造物と地盤の非線形性を考慮した連成挙動を把握するための有力な手段となり得ることを示した。また、本解析手法を用いて実験の数値シミュレーションを行った結果、地中構造物において、従来無視していた構造物の非線形性を考慮することで、合理的な設計が可能になることを示した。

【謝辞】本研究は、電力共通研究「限界状態を考慮したAクラス土木構造物の耐震設計に関する研究」の一部として実施したものであることを付記し、関連電力会社および土木学会・原子力土木委員会・限界状態設計部会(主査:東京大学 岡村 甫教授)に対し謝意を表すものである。

【参考文献】〔文献1〕岩崎, 遠藤, 片平「地中に埋設されたRCボックスラーメン構造の地盤との連成実験」第46回年次学術講演会講演概要集 1991年〔文献2〕西「地盤材料の弾塑性挙動と構造物基礎の設計への応用に関する研究」電力中央研究所 研究報告 1982.9