

妻壁を有する RC 製地中ボックスカルバート構造物の三次元静的材料非線形解析

電力中央研究所	正会員	○松尾	豊史
電力中央研究所	正会員	島端	嗣浩
関西電力	正会員	両角	浩典
電力計算センター	非会員	島村	真介

1. はじめに

鉄筋コンクリート (RC) 製地中構造物では、地盤・構造物連成系の二次元地震応答解析により横断面方向に対して部材の破壊に対する耐震性能照査が行われるのが一般的である [1]。一方で、プッシュオーバー解析を行うことにより、構造物の限界状態を把握可能であるだけでなく、構造物全体系での挙動に基づく評価も可能となる。

そこで、三次元地中構造物の耐震性能照査に対するプッシュオーバー解析手法の適用性を確認することを目的として、地中に埋設された妻壁を有する鉄筋コンクリート製 (RC) ボックスカルバート構造物を対象とした地震応答解析結果 [2] から得られた荷重条件を用いて、三次元静的材料非線形解析を実施した結果を報告する。

2. 検討概要

対象構造物とした取水ピットは、文献 [1] に記載された照査例 I に基づいて設定しており、構造図および地盤条件を図 1 に示す。図 2 には動的解析モデルを示しており、動的解析条件は文献 [2] を参照されたい。

静的解析検討での解析コードも COM3 [3] [4] を用いており、適用した構成則や材料非線形特性も同様である。静的解析メッシュを図 3 に示す。同メッシュにおいては、動的解析モデルにおける取水ピット部とその直下にある岩盤をソリッド要素 (1 次要素) でモデル化した。構造物-地盤間には、剥離とすべりを考慮した BOND 要素を設けている。境界条件については、岩盤面は固定境界とした。

静的解析に用いる荷重条件には、構造物横断面方向に検討用地震動を入力した動的解析結果 (P-1) に基づき、取水ピットの変形最大時刻における慣性力および地盤応力 (直土圧, 周面せん断力) を用いて設定した。

静的解析の荷重ステップについて、まず、自重解析を実施し、次に、動的解析での変形最大時刻における構造物に作用していた等価な荷重 (一様分布を仮定) を荷重制御で単調荷重した。そして、その荷重分布形状を概ね保持するように設定した荷重条件を漸増する解析を実施した。

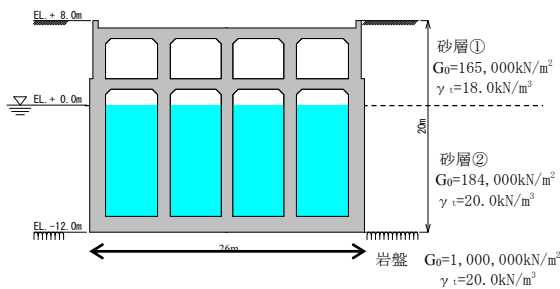


図 1 取水ピットの構造図および地盤条件

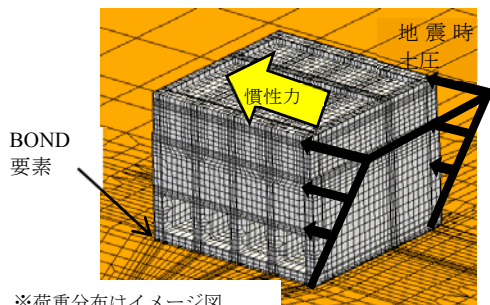


図 3 静的解析モデル

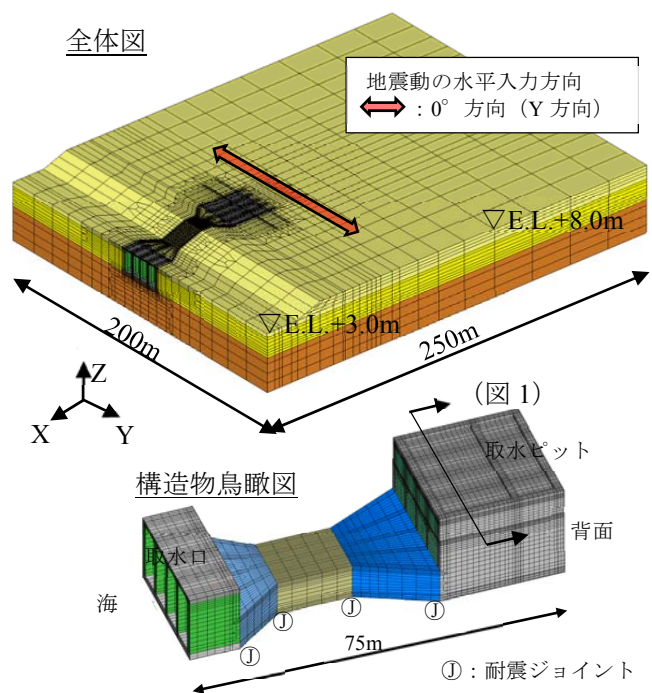


図 2 動的解析モデル

キーワード 地中構造物, 三次元解析, プッシュオーバー解析, 鉄筋コンクリート, 耐震性能照査  
 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財)電力中央研究所 TEL: 04-7182-1181 (代表)

### 3. 解析結果および考察

動的および静的解析での水平荷重-水平変位関係の比較を図4に示す。水平荷重は、構造物底面と地盤間にあるBOND要素応力から算定した。これより、静的解析では、地震動の繰り返しの影響は考慮していないものの、動的解析での履歴を概ね包絡していることが確認された。これは、本解析条件において、奥行き方向に一樣な荷重分布を用いたとしても、構造物全体系の地震時応答を概ね評価可能であることを示している。

主な解析結果として、変形図および最大主ひずみ分布図を図5に示す。図5(a)は、動的解析の最大変位時点での構造物の前面と背面の結果である。また、図5(b)は、動的解析で生じた最大荷重が作用した時点①、動的解析の最大変位と同じになった時点②、そして、構造物の損傷が大きく進展した時点③での静的解析の結果である。

時点①では、動的解析の最大変形時に相当した荷重が作用しているものの、静的解析の損傷程度は動的解析よりも小さくなる結果となった。これは、荷重を等価な分布とした影響もあるものの、繰り返しによる構造物の剛性低下などが考慮されていないため、静的解析の変位が動的解析よりも若干小さくなった影響と考えられる。時点②における結果は、構造物の水平層間変位が動的解析結果と対応したことで、構造物の損傷程度も含めて概ね動的解析と対応する結果が得られた。その後、作用荷重を漸増させた時点③までの構造物の損傷・破壊過程は、まずは、妻壁前面直下にある鉛直部材において局所的に大きなひずみが確認され、荷重の増加とともに損傷が進展し、そして、水平荷重を主に負担していた妻壁背面に面内せん断破壊に至ったと考えられる大きなひずみ領域が生じることによって解析が発散した。これは、不静的構造であるRCボックスカルバートでは、部材に局所的な損傷が生じた場合でも、荷重が再分配されるため、損傷が過大でなければ、構造物全体系の挙動としては安定していることを示している。

### 4. おわりに

今後は、取水ピットの静的三次元材料非線形解析によるパラメータスタディを実施し、各種照査指標の適用性を検討するとともに、プッシュオーバー解析に基づく三次元地中構造物の耐震性能照査手法を具体化する。

謝辞：本研究は、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, 2005.
- [2]島端, 松尾, 両角, 島村：妻壁を有するRC製地中ボックスカルバート構造物の三次元非線形地震応答解析, 土木学会第73回年次学術講演会, 2018 (投稿中)
- [3]岡村, 前川：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則, 技報堂出版, 1991.
- [4]Maekawa, K., Okamura, H. and Pimanmas, A.: *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, SPON PRESS, 2003.

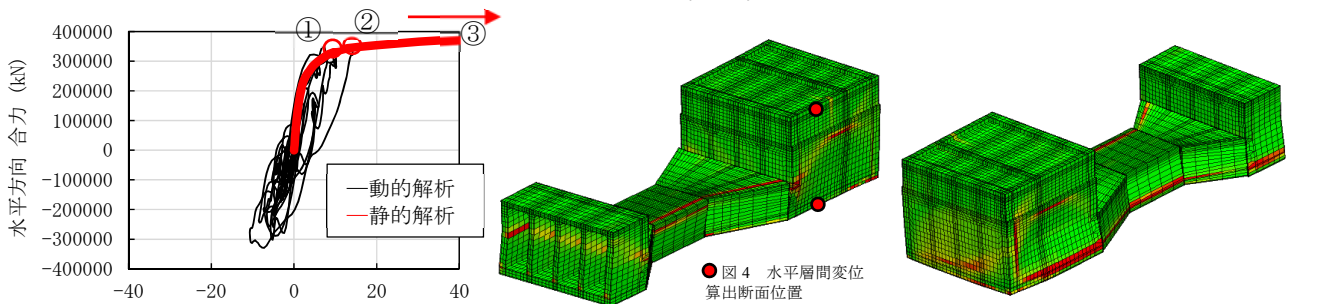


図4 荷重-変位関係 (a) 動的解析結果 (図4②に相当)

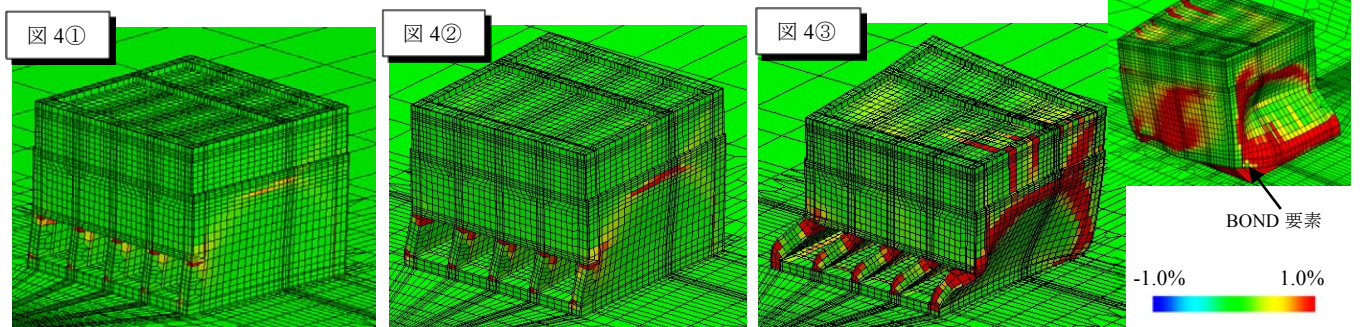


図5 最大主ひずみ分布図 (変形倍率：10倍)