

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

電力中央研究所 正会員 ○島端 嗣浩
 電力中央研究所 正会員 松尾 豊史
 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

地盤・構造物連成系の有限要素解析（以下、FEM 解析）による耐震検討では、二次元解析により実施することが一般的となっている。一方、近年は、FEM 解析技術やパーソナルコンピュータの演算処理能力向上により、三次元による検討も一般的になりつつある[1]。しかしながら、例えば線状構造物の地震応答に及ぼす三次元形状や地震動の入力方向等の影響を直接考慮した三次元非線形 FEM 解析を実施している事例は少ない。

そこで、本検討では主に三次元構造形状に着目し、妻壁構造を有するボックスカルバート構造物を対象とした地盤-構造物連成系三次元非線形地震応答解析を実施した。

2. 解析概要

対象構造物の検討条件は、「原子力発電所屋外重要土木構造物の耐震性能照査指針<照査例>2005 年 6 月」照査例 I に基づいて設定した。取水ピットの構造図および地盤条件を図 1 に示し、検討用地震動を図 2 に示す。

解析コードには COM3[2][3]を用いており、適用した構成則や材料非線形特性は既報告[4]と同様とした。解析メッシュを図 3 に示す。同メッシュにおいては、取水口～取水ピットまでモデル化することとした上で十分に広い地盤領域を確保することとし、要素数は約 14 万である。構造物および地盤はともにソリッド要素（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 要素を設けており、また、各構造ブロック間においても、耐震ジョイント（図 3 中①）として BOND 要素でモデル化した。境界条件について、解析モデル底面は固定境界、側方については、自重解析時には鉛直ローラー、動的解析時には取水口がある面を除き水平・鉛直フリーとした。

表 1 には解析ケースを示しており、妻壁の効果と地震動の入力方向の影響に着目した解析を実施した。ここで、妻壁の影響を確認するための検討として、図 1 に示す断面での二次元 FEM 解析も実施することとした。

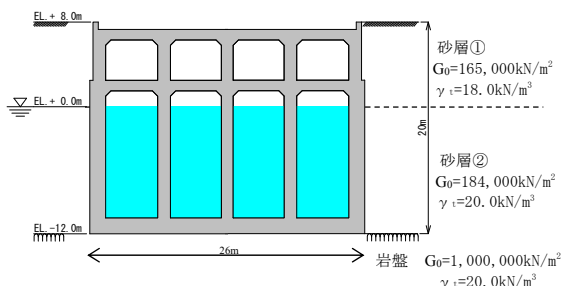


図 1 取水ピットの構造図および地盤条件

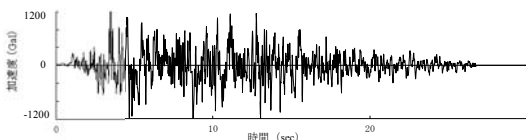


図 2 検討用地震動（水平方向）

表 1 解析ケース

解析ケース	最大加速度 振幅	地震動 水平入力方向	備考
P-1	1200Gal	0°	
P-2	1200Gal	45°	
2D	1200Gal	0°	妻壁未考慮

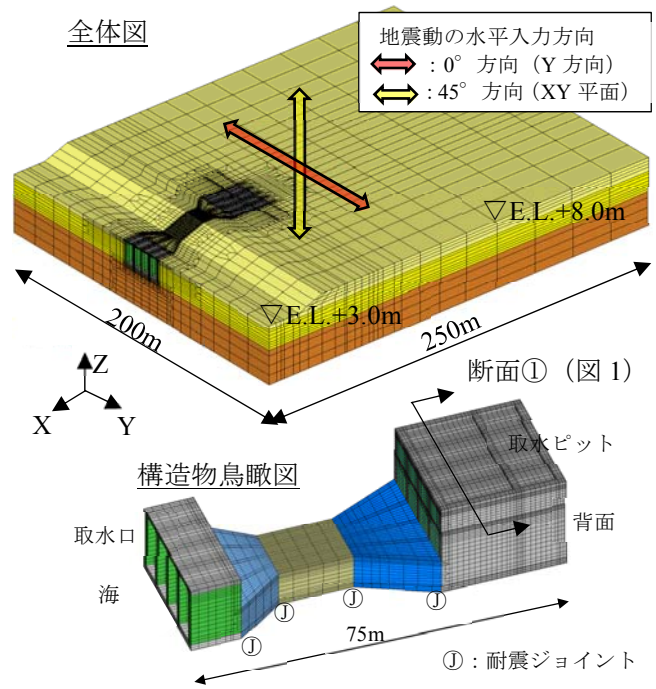


図 3 解析メッシュ

キーワード 三次元解析, 地盤・構造物連成系解析, 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

図4には、図3に示す断面①における構造物の頂底板間水平層間変位時刻歴を示している。地震動の入力方向が構造物の横断面変形方向と対応するP-1での最大水平層間変位は14.2cmとなっており、45°方向に入力したP-2での最大水平層間変位9.0cmよりも大きい結果であった。また、妻壁の影響を考慮していない2Dの最大水平層間変位は22.4cmであり、妻壁の影響を考慮した動的三次元解析での変位よりも大きいことが確認できる。この結果は、本解析条件での妻壁の影響を考慮しない二次元解析による耐震検討において、水平層間変位に着目した場合は安全側の評価となることを示すものと考えられる。

図5には、取水ピット各断面位置での水平層間変位時刻歴の最大値分布を示している。P-1、P-2の変位は、いずれの位置においても2Dの最大水平層間変位より小さい結果となっている。この結果から妻壁構造が構造物横断面変形に与える影響範囲について考えると、その範囲は取水ピット全体(25m)に及んでいると考えられ、また、妻壁の部材厚(2.0m)と比較してかなり遠い位置まで影響している結果であった。これは、妻壁構造に接続する水平部材の面内剛性が大きく、妻壁位置での変形に追従したためと考えられる。

図6には、横断面変位最大時刻における主ひずみ分布と変形図を示している。三次元解析では縦断面方向の構造物剛性が横断面方向に比して大きい検討条件となっているため、2Dと同様に横断面方向の曲げ変形が卓越するモードとなった。まず、P-1とP-2を比較すると、横断面方向に地震動を入力したP-1の方がP-2よりもひずみが生じていることが確認できる。この結果は、本解析条件においては、地震応答で支配的となる横断面方向に地震動を入力した方が構造物の損傷程度に与える影響が大きくなることを示すものと考えられる。

次に、P-1およびP-2と2Dの結果を比較すると、2Dでは隔壁上下端部でひずみが卓越している一方で、P-1およびP-2では隔壁中央部で卓越したひずみが確認された。この結果は、構造物形状等をより具体的に考慮した三次元解析では、より詳細な損傷状況を確認できることを示すものであり、また、構造物全体系としての挙動と併せて検討することで、より実現象に近い地震時挙動に基づく評価が可能となると考えられる。

4. おわりに

今後は、地中構造物の耐震性能照査に対する三次元FEM解析の適用性や評価基準等の検討を行う予定である。
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：2012年制定コンクリート標準示方書 設計編，丸善出版，2013.
- [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., Okamura, H. and Pimanmas, A.: *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, SPON PRESS, 2003.
- [4]島端，松尾，審，布施：屈曲部を有する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，第72回土木学会年次講演会，2017.

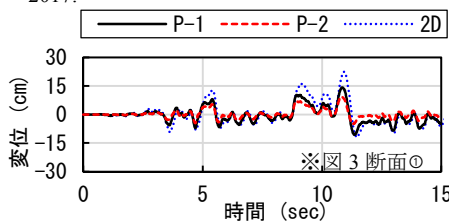


図4 水平層間変位時刻歴

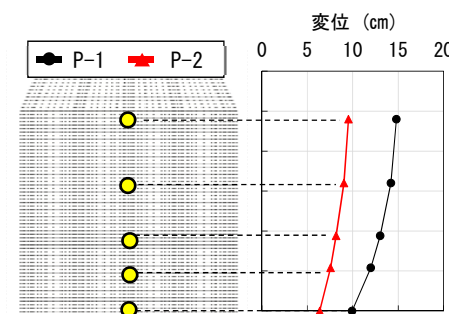


図5 水平層間変位最大値分布

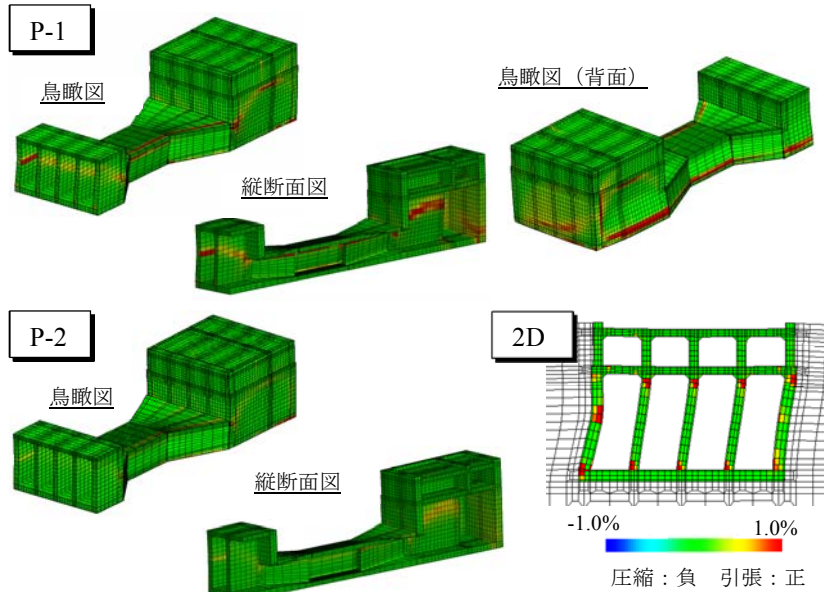


図6 最大主ひずみ分布図 (変形倍率：10倍)