

3次元 FEM による RC カルバートの屈曲部における耐震ジョイントの影響についての考察

構造計画研究所	正会員	○ラジャセカラン	シヤンタヌ	大林組	正会員	永井	秀樹
	大林組	正会員	堤内 隆広	大林組	正会員	米田	昂司
構造計画研究所	正会員	三橋	祐太	構造計画研究所	正会員	庄司	正弘

1. 目的

RC ボックスカルバートは原子力発電所屋外重要土木構造物として高度な耐震性能が要求される。カルバートは基本的に 2 次元解析で横断方向のみの検討で設計される。その場合、縦断方向の設計は省略される一方で、15m 以内にジョイントを設置する必要がある。文献 1) では重要構造物を対象に耐震ジョイントをモデル化した 3 次元解析事例が示されている。地下構造物の形状が複雑な場合、耐震ジョイントの位置が構造物の局所的な挙動に影響を与えることは分かっており、本検討では、耐震ジョイント設置位置による構造物の損傷程度の違いを把握するために、屈曲部を持つ地下 RC カルバート¹⁾を対象に検討を実施する。

2. 解析モデル

解析モデルの全体的な寸法及び本検討で考慮する耐震ジョイントの解析ケースを図 1 に示す。文献 1) を参考に作成した基本ケースでは、耐震ジョイントは屈曲部分の端から 5m のところで設置してある。このケースでは、屈曲部分に対して斜め方向に载荷させた場合、屈曲部分に応力が集中することが予想される。そこで、この現象を軽減させるために、ケース①では屈曲部分の端に耐震ジョイントを設置した。一方、ケース①は施工上の観点から実現が難しいと考えられるため、ケース②では、屈曲部分の端から壁の厚さ分 (0.6m) の距離に耐震ジョイントを設置している。検討は大規模並列解析可能な有限要素解析コード FrontISTR²⁾をカスタマイズしたものを用いて静的増分解析を実施する。コンクリート及び鉄筋のモデルを表 1 に示す³⁾。地盤の非線形性は R0 モデルで考慮し、耐震ジョイントは圧縮のみに剛性を有するジョイント要素でモデル化する。

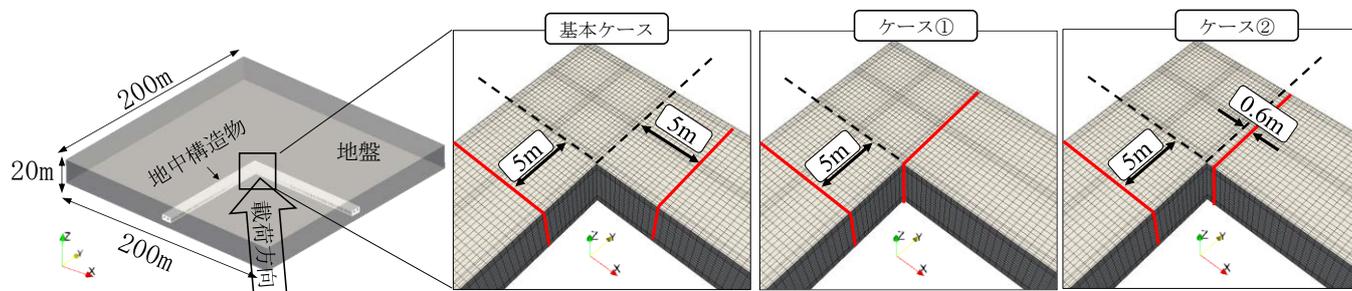


図 1 解析モデル全体及び解析ケース

3. 屈曲部分の損傷モード

ひび割れが発生する主な 3 つの要因を図 2 に示す。第一の理由は、屈曲部分の開口変形である。二つ目は、隅角部の下部が圧縮されているのに対し、上部は剥離していることがわかる。これによるキャンチレバーのような、曲げひび割れが発生する。最後にカルバートの壁が面内せん断変形を受けることでひび割れが発生する。このような挙動は、2 次元解析や簡単な地盤モデルでは得られないものであり、解析結果から非線形 3 次元解析の優位性が明らかになる。

キーワード 地下 RC カルバート解析, 耐震ジョイント, RC 材料非線形, 並列有限要素解析, FrontISTR
 連絡先 〒164-0011 東京都中野区中央 4 丁目 5 番 3 号 構造計画研究所 防災・環境部 TEL 03-5342-1137

表1 RC非線形モデル³⁾

コンクリート(ソリッド要素)		モデル
応力-ひずみ関係	圧縮側	上昇域: Saenz式、下降域: Kent-Park式
	引張側	上昇域: 直線、下降域: 白井式
せん断モデル		AL-Mahaidi model
破壊条件		Argyrisの3パラメータモデル
ひび割れモデル		直交固定ひび割れモデル
ひび割れ後の圧縮強度低減		野口・飯塚モデル
コンクリート解析理論		等価一軸ひずみモデル
鉄筋(2次元平面応力要素)		モデル
応力-ひずみ関係		Bi-Linear モデル

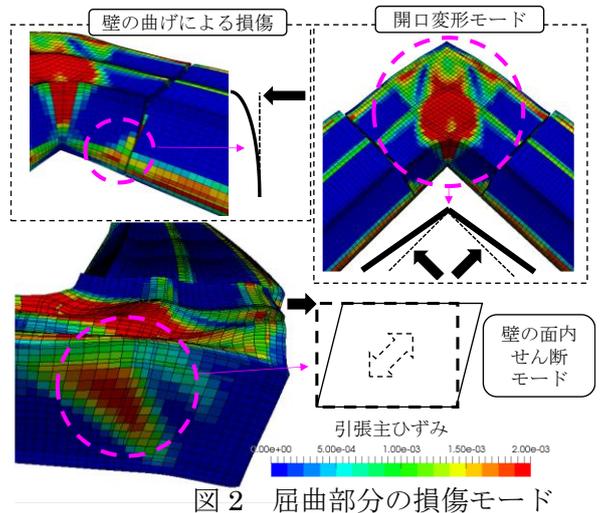


図2 屈曲部分の損傷モード

4. 耐震ジョイント位置の影響

基本ケースを見ると屈曲部分の引張ひずみは、開口変位の影響が大きいことが確認できる。ケース①、ケース②では、この変位が耐震ジョイントの位置に集中するため、開口変位による引張ひずみは低減されている。また、基本ケースでは、開口変位により、屈曲部分端部の鉄筋降伏も発生する(図3)。このような鉄筋降伏は、ケース①およびケース②では見られない。なお、カルバートの圧縮ひずみに着目すると、全ケースにおいて、照査領域の主圧縮ひずみの限界値を下回っている結果となっている。

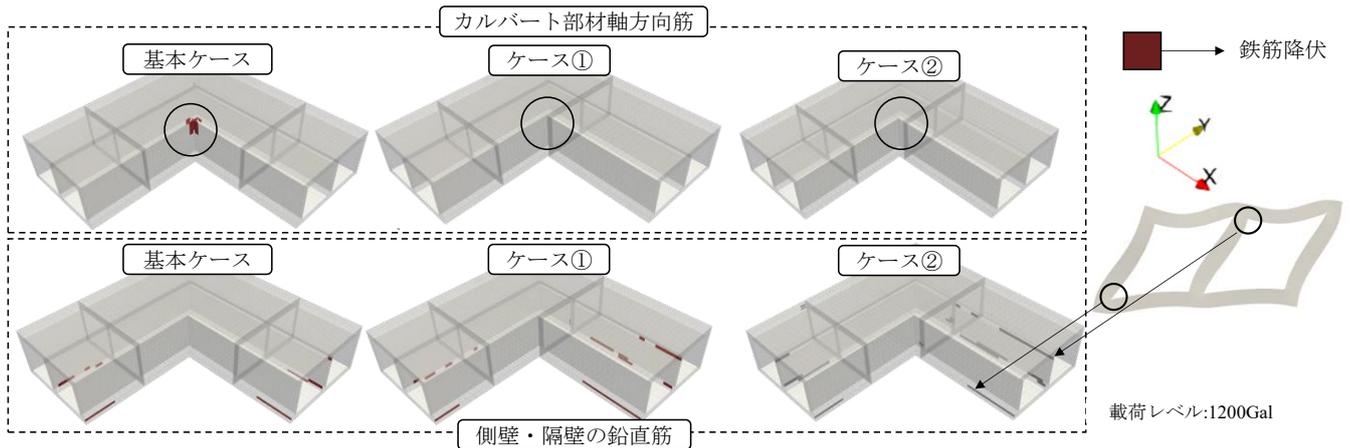


図3 屈曲部分・側壁・隔壁の鉄筋降伏状況

5. まとめ

本検討で、耐震ジョイントが屈曲部分に近い位置にあると、開口変位が減少し、隅角部を持つカルバートに対して、耐震ジョイントを適切に設置することで、地震時に構造物が受ける損傷を減らせることが確認できた。

今後の課題としては、本検討では、地盤と構造物の境界を固着されているものとしてモデル化しているが、高载荷レベルでは、周囲の地盤の影響で構造物に地盤のせん断強度以上のせん断応力や引張応力が作用していることが確認されたため、地盤-構造物境界にジョイント要素を導入し、より現実的な評価を行う必要があると考えられる。また、地震による構造物損傷の実際の現象を捉えるためには、動的解析も必要となる。载荷方向や耐震ジョイントの材料特性の影響についての検討も今後の課題である。

参考文献

- 1) 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<技術資料>, 土木学会, 2018年10月.
- 2) FrontISTR 研究会 HP: <https://www.frontistr.com/>
- 3) Noguchi H., Kashiwazaki T. and Miura K. : Finite Element Analysis of Reinforced Concrete Joints Subjected to Multi-Axial Loading, Proc. of the Thomas T.C. Hsu Symposium on Shear and Torsion in Concrete Structures, SP-265, American Concrete Institute, pp.223-244, Nov., 2009.