

動力学シミュレーションを用いた断層変位を受ける RC カルバートの挙動に関する解析的検討

大林組 正会員 永井 秀樹 正会員 堤内 隆広 正会員 米田 昂司
 構造計画研究所 正会員 ○三橋 祐太 正会員 庄司 正弘
 電力中央研究所 正会員 山口 和英

1. 目的

近年地震時の地震動に加えて、断層変位が構造物に与える影響が問題になっており、特に確率論的リスク評価や BDBE（設計基準外事象）の観点から、原子力発電所近傍の地震活動により敷地内の副断層や破砕帯などに変位が励起された際の構造物等への影響評価が求められている。また、従来行われてきた耐震性評価に加え、断層変位を受ける構造物への影響評価を行う際には両者の重畳の考慮も問題となる。このような問題に対して我々は¹⁾動力学破壊シミュレーションに着目し、主断層の活動により副断層が副次的に破壊する結果を得た（以後、前回報告と呼称）。その際、副断層の破壊は主断層に遅延し、すべり速度も主断層に対して低下する傾向が見られた。本検討では、前回報告の解析モデルを基として、副断層の直上に RC カルバートをモデル化することで断層の破壊から構造物への影響評価まで一体で検討を行った上で、動的破壊の影響評価を実施した。

2. 解析モデル

検討は 2 次元平面ひずみ条件を仮定した 3 次元有限要素法により実施した。解析コード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を用いた。検討に用いる解析モデルは、図 1 に示す前回報告の解析モデルの副断層直上に対して、永井ほか³⁾と同じ形状、配筋を有する RC カルバートを図 2 に示すように配置することで作成した。RC カルバートはソリッド要素、鉄筋は平面応力要素をモデル奥行方向に押し出してモデル化した。さらに RC カルバートと地盤および岩盤の間にはジョイント要素を設定することで剥離を考慮した。RC カルバートには文献 4) に従う非線形構成則を設定した。表層地盤は深度分布を有するヤング係数を設定することとし、物性値は文献 5) の 2 章「三次元材料非線形解析を用いた断層変位に対する照査例」を参照した。断層面や岩盤に設定する物性値・非線形構成則は文献 1) と同じものを用いた。最初に自重解析を実施し RC カルバート、表層地盤およびジョイント要素の初期応力を評価した後に、応力を引き継いで動力学破壊シミュレーション解析を実施した。動的解析においては、破壊開始点の初期応力として強度を上回る値を与え、解析開始と同時に破壊開始点の要素が破壊・応力の解放と周辺への再配分が発生することにより断層の自発的破壊が生じる。本検討では主断層の活動により引き起こされた副断層の逆断層的な変位進展が、副断層直上に配置した RC カルバートに入力される。そこで図 3 左に示すようにカルバートと表層地盤のみのモデルに対して断層変位を静的に入力した解析を合わせて実施したうえで、カルバートに入力される構造物位置断層変位が同程度の結果同士を比較することで、副断層の動的な破壊による影響について評価した。

3. 解析結果

前回報告と同じ時刻 20.0 秒までの検討を試みたが、最大の副断層変位は 1m 程度であり、副断層変位が 50cm 程度を超えたあたりで解析が発散し正常な結果を得ることができなかった。RC カルバートで部分的に数パーセントを優に超えるひずみが発生し、非線形解析の収束計算で発散が生じたものと考えられる。有限要素法としてもメッシュサイズを超える変位が入力されており、特にジョイント要素は微小変形を仮定した定式化が成されているため、結果の精度はかなり低いものと考えられる。そこで、鉄筋が降伏強度を超える直前である時刻 4.2 秒の結果を比較した。鉄筋の発生応力度及びカルバートの圧縮主ひずみコンター図を図 3 (右) に示す。この時刻の構造物位置断層変位量は 3.1cm である。そこでカルバート直下に 3cm の変位を静的に与えた際の結果を合わせて示す (左)。断層直上など全体的にひずみの卓越位置は両者で概ね整合しており、応答としては

キーワード 動力学破壊シミュレーション, 断層変位, 副断層, RC カルバート, 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

若干静的解析の方が大きいものの絶対量としても比較的近い傾向となっている。差異が生じる要因としては岩盤のモデル化の有無、先行する地震動の影響、動的解析においては断層がある程度のすべり速度を持って変位が入力されるため、静的解析に比べてコンクリートのひずみ局所化が起きにくい点などが考えられる。

4. まとめ

本研究では主断層の活動に起因する副断層の変位を受ける RC カルバートの影響評価を目的とし、断層の破壊進展を動力学破壊シミュレーションで、RC カルバートを RC 非線形構成則に従うソリッド要素でモデル化して検討を実施し、同程度の副断層変位発生時の静的解析と結果を比較した。静的解析の方が若干応答の絶対値が大きい傾向が見られるものの、ひずみの卓越位置などには大きな差異は見られなかった。本検討は特定の条件の解析結果であるため、結果の要因をより詳しく分析するとともに、今後は副断層に与える物性値・すべり速度などの影響を検討していきたい。

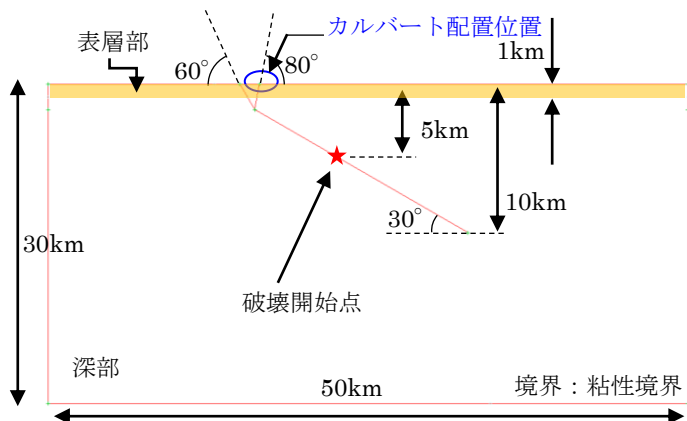


図1 解析モデル (全体)

静的解析 (入力変位: 3cm)

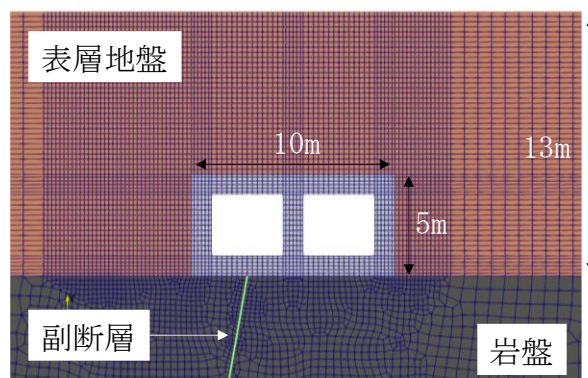


図2 副断層とカルバートの解析モデル

動的解析 (応答変位: 3.1cm)

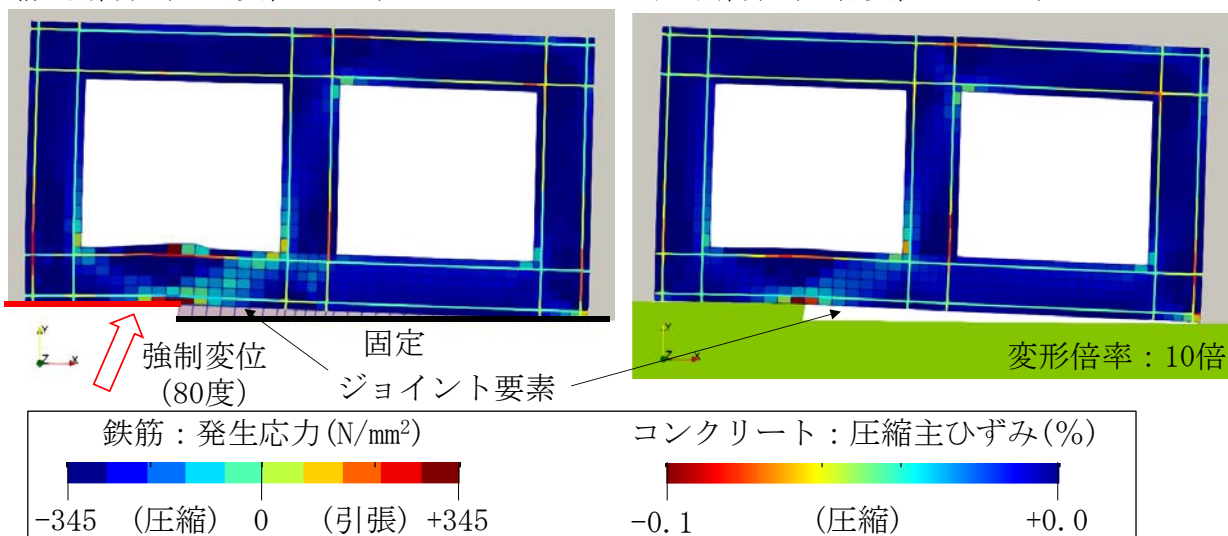


図3 静的解析と動的解析でのカルバートの応答比較

参考文献

- 1) 三橋ほか, 動学的破壊シミュレーションを用いた地震動と断層変位の重畳に関する基礎的検討, 令和3年度土木学会全国大会, 2021年9月.
- 2) FrontISTR 研究会 HP: <https://www.frontistr.com/>
- 3) 永井ほか, 下負荷面モデルによる地中カルバートの重畳解析, 平成30年度土木学会全国大会, 2018年8月.
- 4) Noguchi H. et. al., 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.
- 5) 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<別冊>断層変位に対する影響評価技術 2021, 土木学会, 令和3年10月.