

断層変位が作用した土被りが異なる RC カルバートの応答と損傷モード

東北電力 (株) 正会員 山口 和英 正会員 伊藤 悟郎 正会員 肥田 幸賢
 (株)大林組 正会員 ○堤内 隆広 米澤 健次 正会員 永井 秀樹

1. はじめに

地中の RC カルバートに断層変位が作用するときの応答や損傷は、地盤と構造物の連成による相互作用で複雑なものとなる。本報文では、岩着された地中の RC カルバートに逆断層変位が作用する場合を対象に、構造物や地盤の応答、破壊の性状に影響を与えるパラメータとして土被りの違いに着目し、3次元非線形有限要素法を用いた構造物および地盤の連成解析による評価を行った。

2. 解析条件

対象構造物は既報¹⁾に示す 2 連ボックスカルバートとし、構造物と断層線の位置関係、断層変位のセンスも既報の通りとした(図 1)。構造物モデル、解析条件も既報の通りである。既報での土被り 8m の解析に加えて、本報では新たに土被り 1m、25m での解析を行い(図 2)、土被りの違いによるカルバートの応答への影響について検討した。解析には大規模・高速化非線形有限要素法プログラム「FINAL-GEO」を用いた。

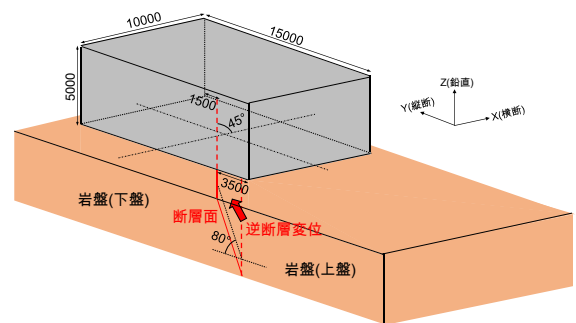


図 1 構造物と断層線の条件

3. 土被りの違いによる構造物の損傷状況の比較

土被りが異なる各ケースについて、構造物の損傷・破壊状況を示す代表的な鉄筋ひずみコンターとコンクリート圧縮ひずみコンター、地盤の破壊状況を示す最大せん断ひずみコンターを表 1 に示す。

土被り 8m のケースでは、断層変位 500mm 時点で、構造物軸方向鉄筋が頂版の全面で降伏し、また底版では断層線に沿って圧縮ひずみが最大 4000 μ 程度生じていることから、頂版側が引張、底版側が圧縮の構造物の全体曲げによる損傷の進展が確認出来る。ただし、原子力マニュアルで破壊の限界状態とされるコンクリート圧縮ひずみ 10000 μ には到達していない。また地盤の最大せん断ひずみコンターより、構造物近傍から地表面にかけて、最大せん断ひずみが 2% を超える領域が広がっている。本検討では、地盤要素の構成則に弾完全塑性の Drucker-Prager の特性を用いているため、地盤の降伏点が明確には現れないが、せん断ひずみ 2% は土圧が頭打ちとなる大きさである²⁾。すなわち、土被り 8m のケースでは、構造物は曲げ降伏するが、その後構造物の破壊に至る前に地盤が破壊すると考えられる。

土被り 25m のケースでは、土被り 8m のケースに見られる構造物の全体曲げによる損傷とは異なるモードの損傷も発生した。壁部材の下ハンチ際で切断した最小主ひずみ分布にその特徴が現れている。断層変位 200mm の時点で、断層線より奥側の隔壁で、壁の断面全域で 10000 μ 以上の圧縮ひずみが生じており、構造物の曲げ降伏後に、せん断により壁の基部でずれ破壊を生じたと考えられる。このような破壊モードが現れる要因として、土被り厚の増大による、カルバート軸方向の圧縮軸力の増大による曲げ耐力の増加と、頂版の摩擦力の増大が考えられる。頂版の摩擦力の構造物横断方向成分の推移は図 3 に示す通りであり、土被り 25m では土被り 8m の 3~4 倍程度の摩擦力が生じていることが分かる。

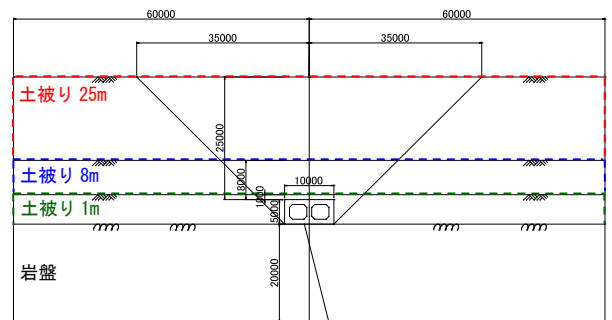


図 2 土被りの設定

土被り 25m のケースでは、土被り 8m のケースに見られる構造物の全体曲げによる損傷とは異なるモードの損傷も発生した。壁部材の下ハンチ際で切断した最小主ひずみ分布にその特徴が現れている。断層変位 200mm の時点で、断層線より奥側の隔壁で、壁の断面全域で 10000 μ 以上の圧縮ひずみが生じており、構造物の曲げ降伏後に、せん断により壁の基部でずれ破壊を生じたと考えられる。このような破壊モードが現れる要因として、土被り厚の増大による、カルバート軸方向の圧縮軸力の増大による曲げ耐力の増加と、頂版の摩擦力の増大が考えられる。頂版の摩擦力の構造物横断方向成分の推移は図 3 に示す通りであり、土被り 25m では土被り 8m の 3~4 倍程度の摩擦力が生じていることが分かる。

キーワード 地中 RC カルバート, 3次元非線形有限要素法, 連成解析, 逆断層変位, 土被り

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1307 FAX 03-5769-1972

土被り 1m のケースでは、土被り 8m・25m のケースに見られるような損傷は生じず、鉄筋降伏も起こらない。また、断層変位 100mm の時点で、最大せん断ひずみが 2%を超える領域が構造物近傍から地表面にかけて広がっており、土被り 1m のケースでは構造物に大きな損傷が生じることなく地盤が破壊するものと考えられる。

このように、土被りの違いによって、逆断層変位の作用時に構造物に異なる損傷・破壊モードが現れること、また土被りが浅い場合、構造物はほとんど損傷せず地盤が先行して破壊するモードとなることを、連成解析により評価できることが分かった。

表 1 代表的な構造物・地盤のひずみコンターの比較

コンター図	土被り 1m(断層変位 100mm)	土被り 8m(断層変位 500mm)	土被り 25m(断層変位 200mm)
構造物軸方向鉄筋ひずみ			
コンクリート圧縮主ひずみ(底板)			
コンクリート圧縮主ひずみ(壁・下ハンチ際断面)			
地盤最大せん断ひずみ(構造物中央を通る横断面における分布)			

4. おわりに

本報文では、土被りをパラメータとした逆断層変位に対する 3次元非線形有限要素法での連成解析により、土被りの違いによる地中構造物および地盤の応答や破壊モードの変化を評価できることを示した。本検討は断層線が交差する構造物の 1 ブロックのみをモデル化した条件で行ったため、今後は隣接するブロックをモデルに含め、隣接ブロックとの相互作用を考慮できるモデルで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として実施した。関係各位に謝意を表す。

参考文献 1)渡辺，堤内，山口，小野寺「逆断層変位を受ける地中ボックスカルバートの損傷の評価に関する解析的検討」2018/9，土木学会第 73 回年次学術講演会

2)樋口，加藤，佐藤，伊藤，佐藤「逆断層変位を受ける箱型地中構造物に作用する土圧特性に関する研究」，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)Vol. 73, No. 4

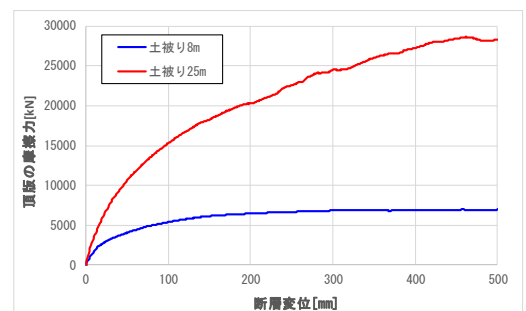


図 3 構造物頂版の摩擦力の推移比較