

断層変位と地震の重畳現象に対する地中ボックスカルバートの損傷評価

東北電力（株） 正会員 ○山口 和英 肥田 幸賢 正会員 澤田 洋介
 （株）大林組 正会員 永井 秀樹 米澤 健次

1. はじめに

構造物に断層変位が作用する場合には、それと前後して地震動が作用することが考えられる。構造物への影響を考えた場合、断層変位による損傷を受け構造物の耐震性能が低下した状態で地震動を受けるケースや、逆に地震動による損傷を受けた状態で断層変位の作用を受けるケースが想定される。いずれのケースでも、断層変位または地震動が単独で作用した場合より、構造物にとって厳しい条件となることが考えられる。

本稿では、地中ボックスカルバートを対象に、断層変位と地震動が重畳する場合の影響に着目して、構造物の損傷評価を行った結果について述べる。

2. 地震荷重および断層変位の考慮方法

地震荷重は、既報¹⁾に示す、地盤－構造物連成の三次元非線形 FEM モデルに対応する一次元地盤モデルに、地震動（水平成分（図-1）、鉛直成分）を考慮し、一次元重複反射理論に基づく地震応答解析を行い、得られた加速度分布（図-2）を基に算定した慣性力を静的に載荷した。

その荷重を保持した状態で、さらに逆断層変位によるプッシュオーバー解析を行い、地震荷重と断層変位とが同時に作用（重畳）する条件で検討を行った。

3. 解析モデルおよび解析ケース

対象構造物は、2 連ボックスカルバートとし、既報¹⁾に示す土被り 8m のモデルを用いた。地震荷重の水平成分の載荷方向をパラメータとし、図-3 に示す 4 方向を考慮した。

135° 方向および 315° 方向が構造物に 45° で斜交する断層線に直交する方向、0° 方向および 180° 方向が構造物の横断方向（＝地震荷重に対する一般的な弱軸方向）である。なお、角度は図-3 中の X 軸正方向から反時計回りで示す。

これらの 4 ケースと地震荷重を考慮しないケースの合計 5 ケースの比較により、断層変位と地震荷重との重畳による変形・損傷モードの変化や、断層変位の作用による構造物の地震荷重に対する弱軸方向の変化の把握を試みた。

4. 構造物への影響評価

構造物の代表的な変形・損傷状況の比較を図-4(a)に示す。特徴的な変形・損傷状況として、上からの土被り荷重により、断層線を支点とした曲げ変形が生じると同時に、張り出し側となる下盤側では、構造物横断面のねじれとそれに伴い壁部材に層間変形が生じている。同図の赤く塗られた要素は、圧縮軟化が生じたコンクリート要素を示し、同図に示す層間変

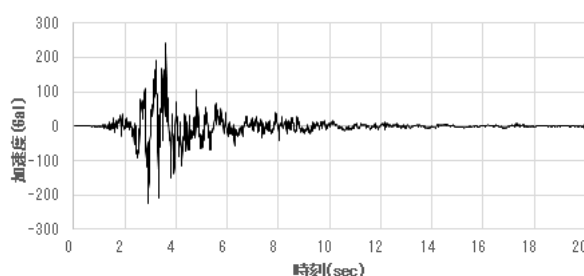


図-1 考慮する地震動（水平成分）

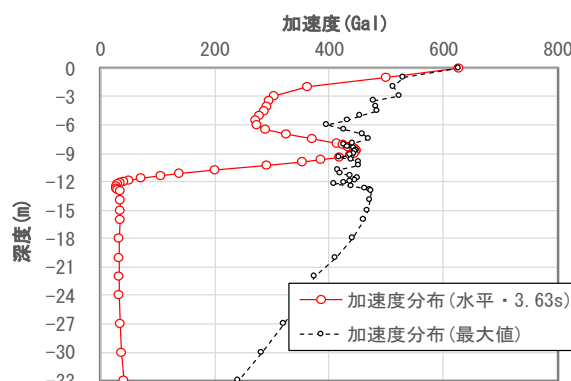


図-2 1次元地盤応答解析による加速度分布

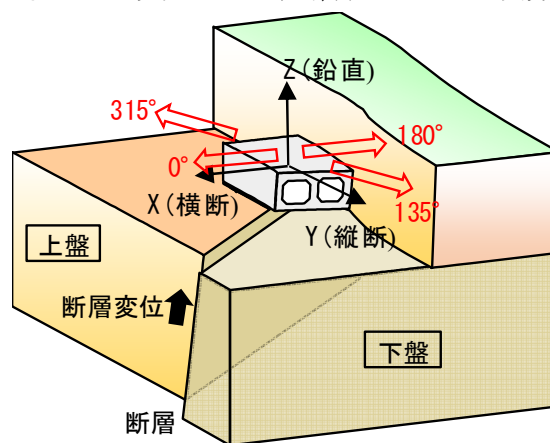


図-3 地震荷重の載荷方向

キーワード 地中ボックスカルバート、地震荷重、断層変位、重畳、三次元非線形有限要素法

連絡先 〒980-8550 仙台市青葉区本町一丁目7番1号 TEL 022-799-6103 FAX 022-262-5851

形の向きに対し、壁の基部で圧縮側となる面に生じている。地震荷重と重畳した場合、135° 方向、180° 方向の地震荷重に対してはこの領域の損傷は緩和され、315° 方向、0° 方向の地震荷重に対しては損傷が進展しており、地震荷重の方向により重畳の影響が異なっている。これは断層変位の作用により生じる層間変形の方
向に対し、135°・180° 方向の地震荷重はこの層間変形を打ち消す向き、315°・0° 方向の地震荷重は層間変形を増大させる向きであるためと考えられる。同図(b)には壁基部の圧縮領域に着目した損傷指標 W_n の分布の比較を示す。同図(a)に示した、地震荷重との重畳による壁基部での圧縮損傷の変化の状況と良く対応している。

また、土被り荷重による構造物全体の曲げ変形に対し、引張側となる頂版の損傷に着目した指標として、頂版の主筋ひずみ (ϵ_s) 分布の比較を同図(c)に示す。315° 方向および0° 方向の地震荷重と重畳した場合に、構造物が下盤で張り出す側の妻面近傍で主筋ひずみの増大が見られるが、範囲は限定的となっている。

表-1 には壁基部で損傷指標 $W_n=1500 \mu$ に到達する時、および頂版で主筋が降伏する時の限界断層変位量の比較を示す。特に損傷指標 W_n に関する限界断層変位量に着目すると、315° 方向・0° 方向の地震荷重と重畳した場合に減少し、減少量は0° 方向の方が大きい。すなわち構造物の横断方向(=一般的な弱軸方向)の地震荷重による影響が最も大きいことから、本検討では断層変位の作用による弱軸の変化は生じていないことになる。

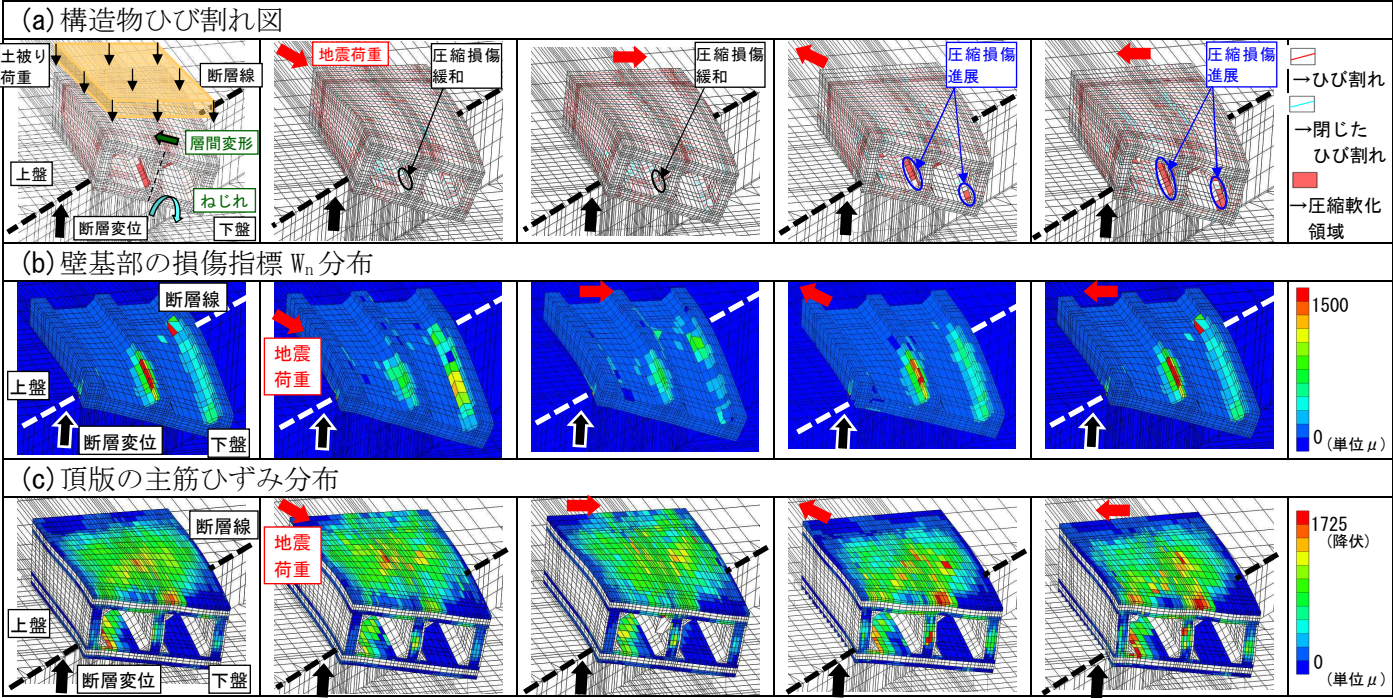


図-4 地震荷重との重畳による構造物の損傷状況比較(左から地震荷重なし、135°、180°、315°、0° の順)

表-1 地震荷重の有無および方向による限界断層変位量の比較(単位: mm)

損傷指標	地震荷重の作用方向				
	地震荷重なし	135°	180°	315°	0°
$W_n=1500 \mu$	310	486	468	290	274
$\epsilon_s=1725 \mu$	149	148	142	131	103

5. おわりに

本検討では、地震荷重と断層変位が重畳する場合の地中ボックスカルバートの損傷評価を行い、地震荷重の有無、方向をパラメータとした検討により、重畳の影響を定量的に評価した事例を示した。

今後は地中ボックスカルバートの要求性能に応じた、より詳細な評価と、設計において重畳現象を考慮する手法の体系化についての検討を進めていく予定である。

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る。

参考文献 1) 山口、伊藤、肥田、堤内、米澤、永井「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」2019/9、土木学会第74回年次学術講演会