

断層変位による損傷を受けた地中カルバートの耐震性能照査

東北電力(株) 正会員 ○伊藤 悟郎 正会員 山口 和英
(株)大林組 正会員 渡辺 伸和 正会員 堤内 隆広

1. はじめに

断層変位と地震動は、短時間で連続して構造物に作用すると考えられる。岩盤上に配置された地中構造物の直下に断層変位が作用する場合、比較的小さな断層変位であっても、ひびわれや鉄筋ひずみなど、構造物には局部的に大きな損傷が生じる。したがって、断層変位による損傷を受けた構造物は健全な構造物と比較して、耐震性能が損なわれると考えられる。

本稿では、断層変位に続いて地震力が作用する重畳を解析・評価する手法を提案し、課題抽出を試みた。対象構造物は図-1に示す2連地中カルバートで、土被りは8mとする⁽¹⁾。

2. 重畳の解析・評価手法

①地中カルバートのように軸方向に一樣な断面を持ち2次元の挙動を示す構造物も、断層変位が作用した場合には、断層との交差角度や変位成分により、その多くは、変形/損傷が3次元の挙動となる。また、地盤には大ひずみが生じ、構造物間の相互作用は複雑である。そこで断層変位に対する応答は、地盤-構造物連成の3次元非線形FEM(図-1)により算定する。構造物周辺の表層地盤の構成則は完全弾塑性であるDrucker-Prager(D-P)を用いた。⁽¹⁾

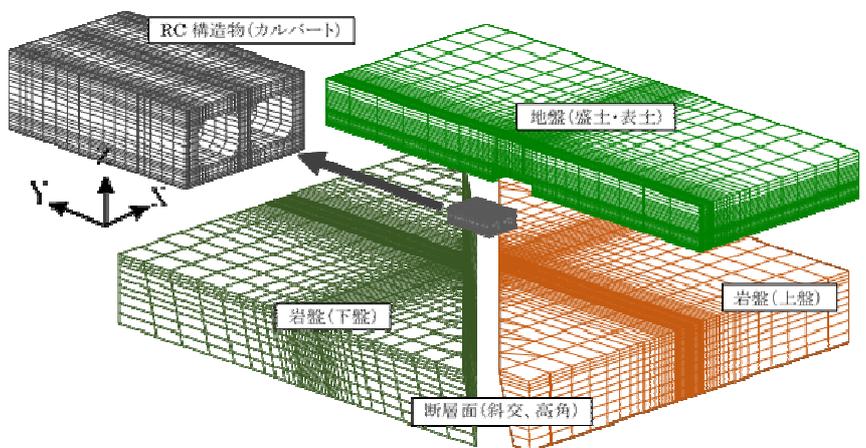


図-1 解析対象地盤-構造物連成 FEM モデルと断層面

②地震荷重に対する応答は、動的解析により算定することが多いが、①の結果を引継ぎ、連続して履歴を伴う動的挙動に対応する地盤構成則は現在研究段階で有り、解析時間、収束安定性に課題がある。そこで地震時は、静的な応答震度法による解析とする。

③地震時の応答震度法の荷重は、1次元重複反射法(SHAKE)による深度方向の加速度分布を用いる。

3. 地盤構成則のパラメータ設定

上記評価手法では、SHAKEはひずみ依存の $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 曲線で定義する。特性は連成解析D-Pのパラメータ(弾性係数、強度:バイリニア型(τ_{max} , E_s))とその設定根拠とした三軸試験結果に整合する必要がある。曲線は修正GHEモデルの骨格曲線、減衰に対してはロジスティック曲線を用いてフィッティングした。

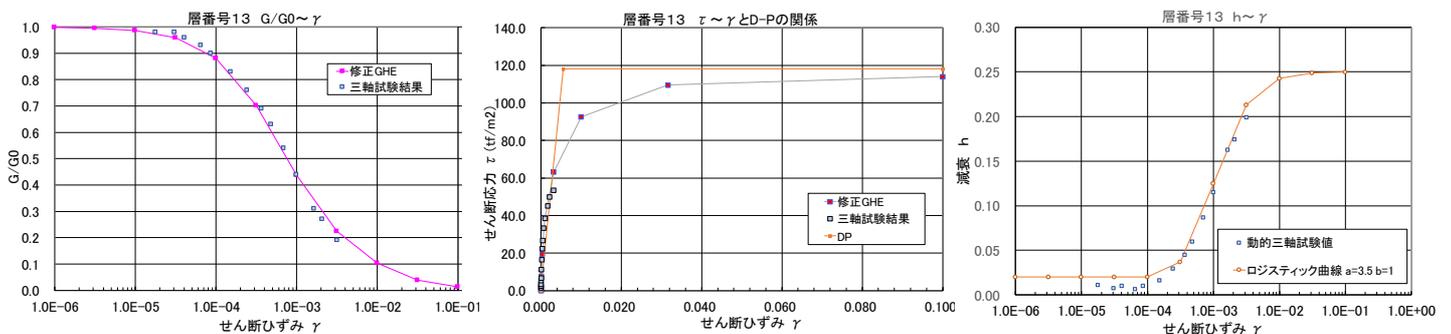


図-2 $G/G_0 \sim \gamma$ 、 $h \sim \gamma$ 曲線と三軸試験、D-Pパラメータとのフィッティング

キーワード：鉄筋コンクリート、地中構造物、断層変位、耐震、重畳
連絡先：〒980-8550 仙台市青葉区本町 1-7-1 TEL.022-799-6103

4. 解析で用いる断層変位と地震動

最初に作用する断層変位は逆断層の 50mm とする. 図-3 より, 断層変位 50mm ではひびわれが進展している. また, 鉄筋の最大ひずみは降伏 (1725 μ) 近く (1548 μ) までに達している.

この状態に作用する地震動は, 「2016 年熊本地震(本震) KikNET 益城 (GL-252m)」の EW 成分 (α max=243Gal) とした.

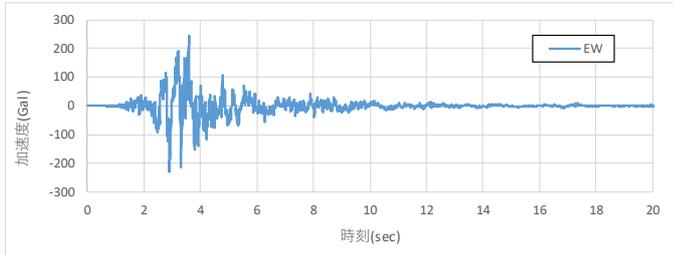


図-4 検討用地震動加速度時刻歴

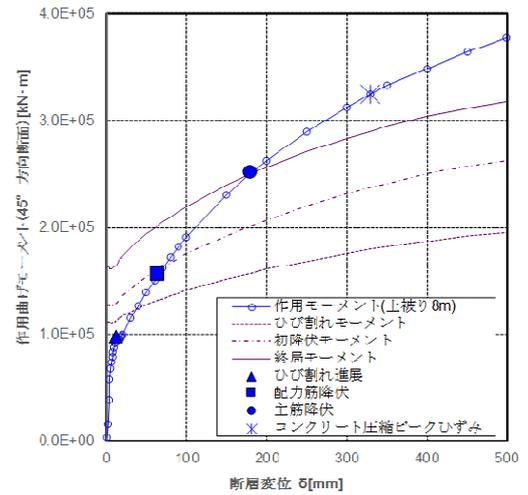


図-3 断層変位～作用モーメントと損傷

SHAKE 岩盤下面に地震動を入力し, 頂底板間相対変位最大時刻の加速度分布を算定した(地表面 623Gal). 地震時解析では慣性力を応答加速度 (1.0 倍) を超え地盤強度から解析が不安定となる 1.7 倍まで漸増させた.

5. 解析ケースと解析結果

解析ケースは断層変位作用の有無と地震動の作用方向によって 3 ケース実施した. 本報告では地震動の作用方向は通常的设计で用いるカルバート横断方向(x 方向)とした. 表-1 に解析ケースと地震力を 1.7 倍作用させた時の鉄筋/コンクリートのひずみと地震力による増分を示した.

表-1 解析ケースと鉄筋/コンクリートの発生ひずみと地震力 (1.7 倍) による増分

解析ケース No.	断層変位量 (逆断層) (mm)	慣性力作用方向	配力鉄筋引張ひずみ 【頂版】 (μ)			主筋引張ひずみ 【隔壁】 (μ)			コンクリート圧縮主ひずみ (μ)		
			載荷前	載荷後	増分	載荷前	載荷後	増分	載荷前	載荷後	増分
C-1.0	なし	-X	7	59	52	7	701	694	66	323	257
C-1.1	50	-X	1548	1532	-16	1184	1442	258	843	1043	200
C-1.2	50	X	—	1577	29	—	1454	270	—	867	24

地震力によるひずみ増分は, 断層変位が作用した時に最も大きかった配力鉄筋の引張ひずみの増加が鈍化した(C-1.1, C-1.2). また, 断層変位が作用しないケース(C-1.0)で地震力により大きなひずみが発生する隔壁の主筋では, 断層変位が作用したケースでもひずみの増加が見られるが, 鈍化している.

このことから, 構造物の損傷/破壊モードは断層変位作用と地震力による場合とで大きく異なり, 作用の重畳を考慮しても, 耐震性能の低下は顕著にはあられない.

今回の解析は, 地震力を構造物横断方向とした. XY 平面内の耐力曲線上では断層変位が作用しない構造物の弱軸ではあるが, 断層変位による損傷を受けた構造物の弱軸と一致していないと考えられる. (図-5) (2)

重畳解析では損傷後の構造物の弱軸方向を把握することが合理的な評価をする上で必要である.

参考文献

- (1) 渡辺, 堤内「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 土木学会第 73 回年次学術講演会
- (2) 土田, 伊藤「水平二方向地震動に対する三次元地下構造物の耐震性能評価」2016 土木学会第 71 回年次学術講演会

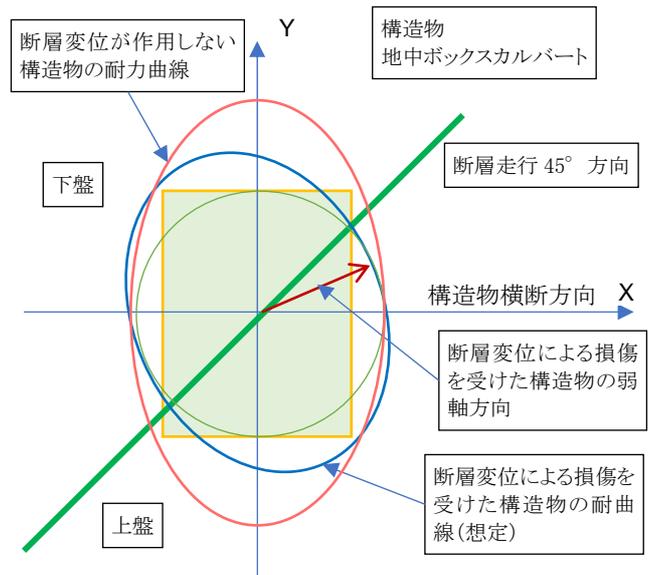


図-5 構造物の耐力曲線と弱軸の方向