

下負荷面モデルによる地中カルバートの重畳解析

(株)大林組 正会員 ○永井 秀樹 正会員 佐々木 智大
東北電力(株) 正会員 山口 和英 正会員 小野寺 正典

1. はじめに

地中カルバート下面に生じる断層変位の影響に加えて、地震動の影響を重畳させる解析的な検討を行った。本検討では、解析ソフト（FINAL-GEO）に導入された下負荷面モデル（以下、SS モデル）の地盤構成則を適用し、地中カルバートと地盤の連成系の 2 次元モデルを用いて断層変位を载荷する静的解析を行った後に、サイン波による動的応答解析を連続して行い、構造物への影響について評価した。また地盤構成則の違いによる比較検証として静的解析では Drucker-Prager モデル（以下、DP モデル）による解析を実施した。

2. 対象構造物と解析モデル

対象構造物である地中カルバートの断面図を、図 1 に示す。解析モデル全体図および静的解析と動的応答解析の载荷条件および境界条件を、図 2 に示す。断層位置は右側底版下面の中央、傾斜を高角 80° とし、断層変位量を逆断層で 100mm とした。構造物のコンクリート物性値およびその非線形特性を、表 1 に示す。表層地盤（中密な砂質土）に SS モデルを適用し、そのパラメータを、表 2 とした。構造物と地盤間に接合要素を挿入し、相互のすべりおよび剥離を考慮した。動的応答解析の入力サイン波（200Gal）を図 3 に示す。

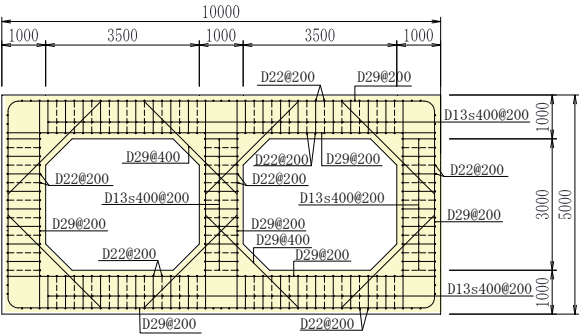


図 1 対象構造物（地中カルバート）

表 1 コンクリート物性値およびその非線形特性

圧縮強度	24.0 (N/mm ²)
ヤング係数	2.5×10 ⁴ (N/mm ²)
テンソン・スチフニング特性	出雲モデル (C=1.0)
圧縮強度までの 応力～ひずみ曲線	修正 Ahmad モデル
圧縮破壊条件	Ottosen の 4 パラメータモデル (畑中らの係数)
圧縮軟化域特性	中村・松貝モデル
ひび割れ後のせん断伝達特性	長沼モデル
ひび割れ後の軟化域特性	コンクリート破壊エネルギー に基づく軟化特性

表 2 下負荷面モデルパラメータ

項 目	記号	適用値
間隙比	<i>e</i>	0.73
圧縮指数	<i>λ</i>	0.0074
膨潤指数	<i>κ</i>	平均 0.0049 (拘束圧考慮)
ポアソン比	<i>ν</i>	0.33
内部摩擦角	<i>φ</i>	32.0
過圧密比	<i>OCR</i>	10.0
材料定数	<i>u</i>	1.0
回転硬化限界面の定数	<i>φ_b</i>	6.0
回転硬化発展則の定数	<i>b_r</i>	10
せん断硬化軟化程度の定数	<i>μ</i>	0.15
相似中心の移動則の定数	<i>c</i>	2.0

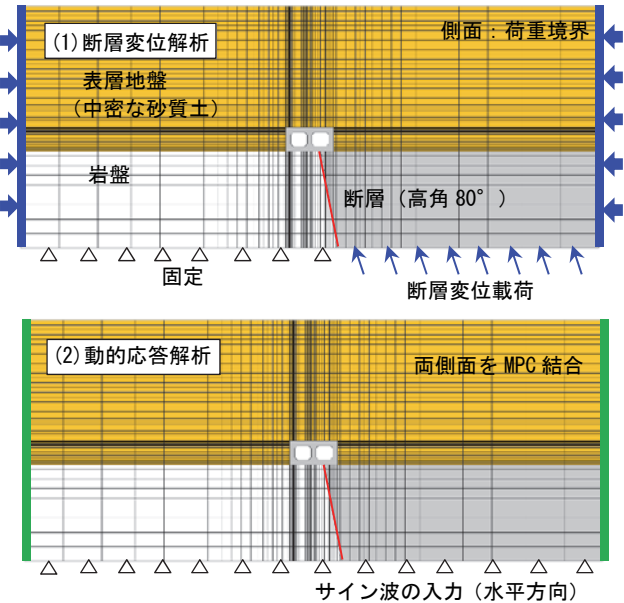


図 2 解析モデル（载荷条件、境界条件）

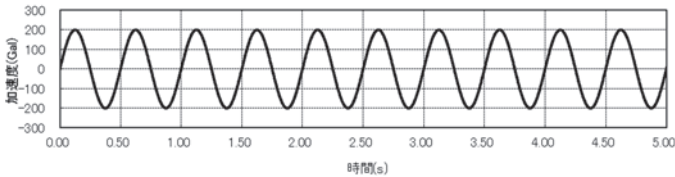


図 3 入力サイン波（200Gal、T=1.0s）

キーワード 地中構造物、断層変位、動的応答解析、地盤構成則、重畳解析
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL 03-5769-1307 FAX 03-5769-1972

3. 解析結果

(1) 断層変位解析

断層変位 100mm の地盤のせん断ひずみコンターと構造物のひび割れ変形図(DP モデルと SS モデルの比較)を、図 4 に示す。地盤のせん断ひずみは、構造物右壁の上盤側地盤で大きな値を示し、両者でその傾向は一致する。構造物のひび割れは底版に多く発生し、その範囲は両者で概ね一致し、構造物への影響が同等であることが分かる。

(2) 重畳解析

SS モデルで連続解析(ひずみと応力を引き継いで動的応答解析を実施)した結果として、構造物の層間変形角時刻歴、ひび割れ変形および鉄筋ひずみコンターを、図 5 に示す。「断層変位なしケース」に比較して、層間変形角時刻歴では、右側(負側)への変形角が大きくなった。その変形角の大きさは、「断層変位なしケース」に比較して約 8 倍(振幅で約 2 倍)である。ひび割れ変形図では、 $t=5.5s$ (右側変形)の方が $t=6.5s$ (左側変形)に比較して中壁の傾斜が大きくなり、ひび割れも側壁で多く発生している。鉄筋ひずみコンターからも右側変形の場合に底版に降伏ひずみを超える範囲が広がっており、右側変形時に損傷が進んでいることが分かる。

構造物側壁に作用する水平土圧および頂版の周面せん断力の時刻歴を、図 6 に示す。作用力は頂版の周面せん断力、左壁土圧、右壁土圧の順に大きい。これは、断層変位 100mm の影響で頂版が左側に傾いており、その影響により頂版で地盤が滑りにくくなり、大きな周面せん断力が発生したと考えられる。左壁と右壁に作用する土圧についても左壁で大きな値を示しており、頂版の周面せん断力と合わせて構造物全体が右側に大きな層間変形となる要因となっている。

4. まとめ

下負荷面モデルを用いた静的解析および動的応答解析の連続解析により、砂質地盤にある地中カルバート構造物の断層変位および地震応答の重畳現象をある程度再現できたと考える。今後、再現精度の向上を図るとともに、断層変位が大きい場合(200mm)や加速度が大きい場合(400Gal)などの評価を行う予定である。

断層変位によって構造物が傾いた場合に、地震時に構造物への土圧が増加することが分かった。さらに断層変位により構造物に損傷が発生し、構造物の剛性が低下している場合には、地震時の層間変形角が大幅に増加することが分かった。

参考文献 米澤, 樋口, 穴吹, 渡辺, 伊藤「三次元 FEM 解析による地中 RC 構造物の岩盤変位に対する損傷評価」2016/3, 構造工学論文集 Vol. 62A

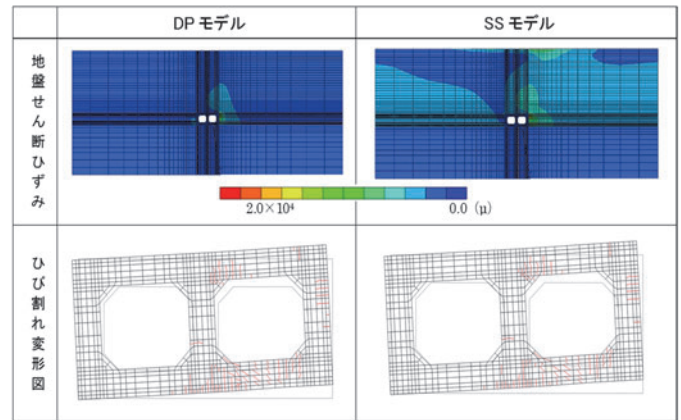


図 4 断層変位解析 (DP モデル vs SS モデル)

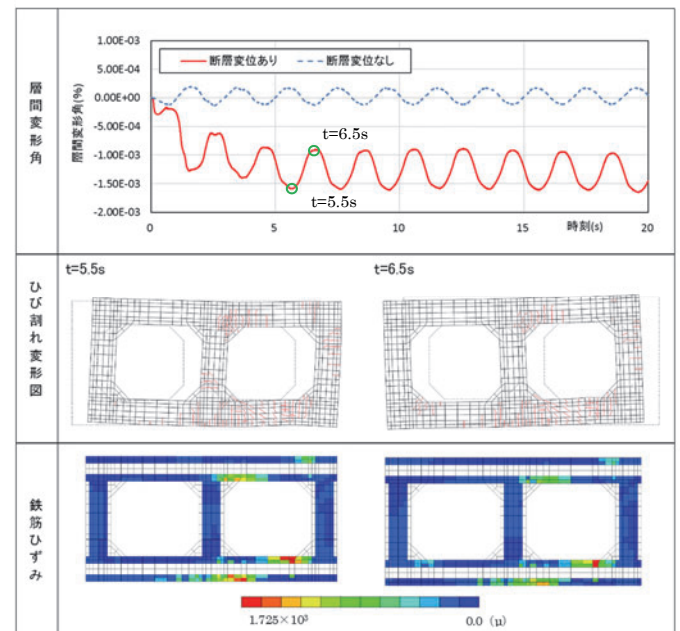


図 5 重畳解析 (層間変位, ひび割れ, 鉄筋ひずみ)

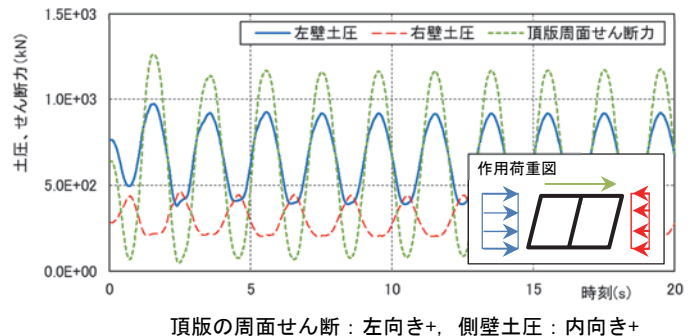


図 6 構造物に作用する土圧と周面せん断力 (水平方向)