

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

(株) 大林組 正会員 渡辺 伸和 正会員 ○堤内 隆広
 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

地中構造物に断層変位が作用するときの損傷の評価を行うには、一般に構造物に対する断層変位の作用が3次元であること、また地盤と構造物の連成による相互作用を考慮する必要があることから、3次元非線形有限要素法による応答の算定が必要と考えられる。本研究では、岩着された地中のボックスカルバートに、斜交する断層による逆断層変位が作用したときの構造物の応答と損傷の進展について解析的な評価を行った。

2. 解析条件および解析モデル

対象構造物は図1に示す2連ボックスカルバートとした。構造物と断層線の位置関係は、図2に示すように構造物直下の岩盤の断層線が構造物軸線に対して45°で斜交する条件とした。また、断層面は傾斜角80°の高角とした。構造物周りの地盤は一般的な盛土とし、土被りを8mとした。

解析は大規模・高速化非線形有限要素法プログラム「FINAL-GEO」により行った。岩盤と地盤を六面体要素、構造物はコンクリートを六面体要素、鉄筋はハンチ筋のみトラス要素、それ以外を埋込み鉄筋でそれぞれモデル化した。材料構成則については、岩盤を弾性体でモデル化し、地盤、コンクリート、鉄筋にそれぞれ表1に示すモデルで非線形性を考慮した。さらに構造物、地盤、岩盤の境界面には接触や剥離、摩擦を考慮できる接合要素を配置した。

解析は自重載荷、断層変位載荷の順に行った。境界条件は、自重載荷時には側方を鉛直ローラーとし、底面を固定境界とした。断層変位載荷時には、側方を自重載荷により生じる水平反力を作用させた荷重境界とし、下盤側の岩盤底面を固定した状態で上盤側の岩盤底面に強制変位を与えた(図3)。断層変位の向きは逆断層とし、断層面に沿う方向に500mmまで与えた。

3. 逆断層変位による構造物の挙動と損傷の進展状況

構造物の損傷の進展状況を示す代表的なひび割れ図、鉄筋ひずみコンター、コンクリート圧縮ひずみコンターを図4に示す。構造物のひび割れは頂版上面から発生し、断層変位約15mmで側壁下部まで進展している。頂版に発生するひび割れの方法は断層線にほぼ平行である。ひび割れが構造物軸に対して斜交するのに対応して、構造物軸方向と横断方向の鉄筋の双方のひずみが大きくなり、軸方向鉄筋は断層変位約65mm、横断方向鉄筋は断層変位約180mm

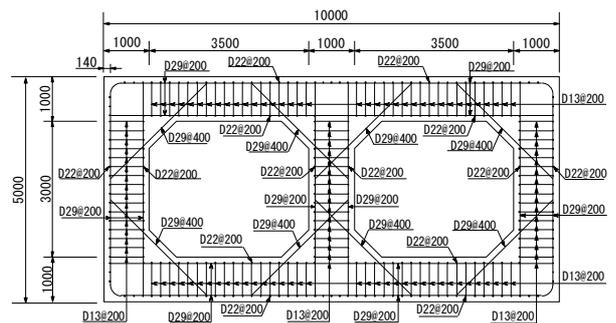


図1 対象構造物

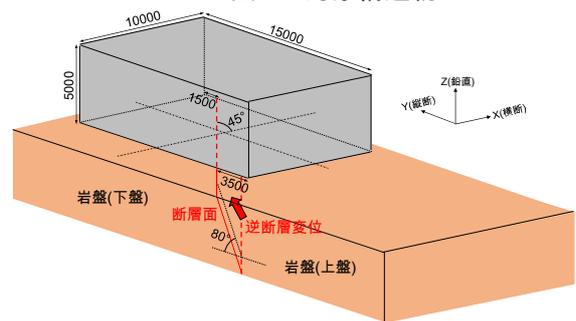


図2 構造物と断層線の位置関係

表1 材料構成則

| 材料 | 材料構成則 |
|--------|--|
| 地盤 | Drucker-Prager ($\phi = 38^\circ$) |
| コンクリート | TS 特性: 出雲モデル(C=1.0) 圧縮強度まで: 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: 中村・楢貝モデル ひび割れ後のせん断伝達: 長沼モデル ひび割れ後軟化域: RC 示方書の式 |
| 鉄筋 | バイリニア(2次剛性 1/100) |

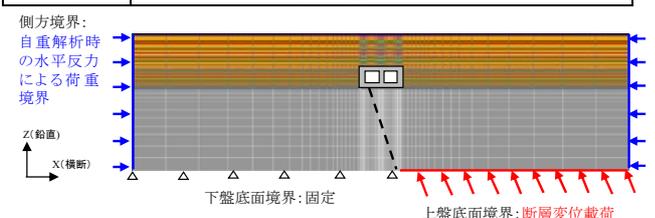


図3 断層変位載荷時の境界条件

キーワード 地中構造物, 断層変位, 3次元非線形有限要素法, 損傷の評価, 作用モーメント, 軸力
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL03-5769-1307 FAX 03-5769-1972

で、それぞれ頂版で初降伏に至る。その後、断層変位 330mm で底版下面の一部でピークひずみに到達する。

図4に示す構造物および岩盤の変位、変形から、構造物は下盤に持ち上げられ、断層線から上盤側では底版は岩盤から離れており、断層線上で支持された片持ち梁の状態になっている状況が確認できる。その状態で土被り等による鉛直荷重が作用するため、頂版側が引張、底版側が圧縮となる構造物の全体曲げによる損傷が進展したと考えられる。

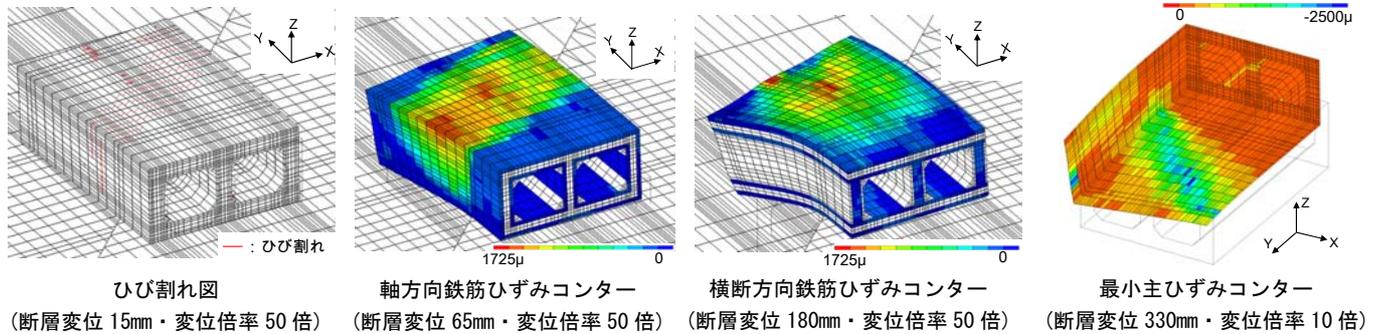


図4 構造物の損傷の進展状況

4. 構造物の45°方向断面に作用する断面力による評価

構造物の損傷の進展状況が、底版を45°方向に支持された片持ち梁の曲げによって説明できると考えられることから、断層線直上の45°方向断面に作用する曲げモーメントの推移に着目して定量的な評価を試みた。

解析より得られた作用荷重から算出した作用モーメントは図5に示す通り、断層変位の増大に伴い増加している。鉛直土被り荷重はほぼ一定だが、周辺地盤から構造物側面や妻面に作用する下向きの摩擦力が増大することにより、作用モーメントが増大している。この作用モーメントと解析で得られるひびわれ発生、鉄筋降伏などの損傷イベントを、45°方向断面に対して断面計算により算出したひび割れ、初降伏、終局の各モーメントと比較した。

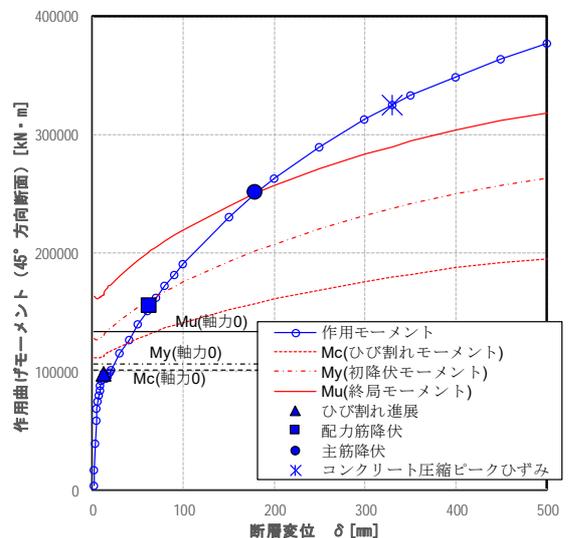


図5 作用曲げモーメントの推移

解析で得られた地盤から作用する荷重による軸力を考慮すると、断層変位の増大に伴う軸力の増大、そしてそれに応じて降伏モーメント等も増加し、解析による鉄筋降伏や終局の時点における作用曲げモーメントと概ね対応した。

以上から、図6に示す各荷重の推移を考慮した断面力と断面耐力の推移を3次元非線形有限要素法によって表現することができ、構造物の損傷の評価が可能であると考えられる。

5. おわりに

断層変位の作用による、地中構造物の地盤との相互作用による複雑な応答と損傷を、3次元非線形有限要素法により評価することが可能であることが確認できた。曲げだけではなく他の損傷・破壊モードに対しても検討を進めることで、断層変位による地中構造物の健全性評価手法の確立に結び付けたいと考えている。

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。

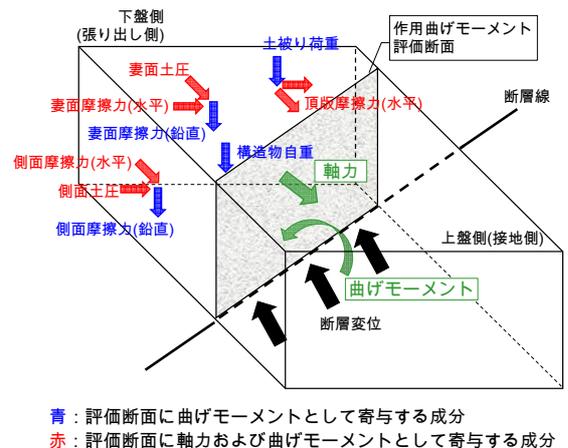


図6 考慮する作用荷重の模式図