

断層面の交差位置と変位方向が鉄筋コンクリート製地中構造物の損傷に及ぼす影響

電力中央研究所 正会員 ○宮川 義範

1. はじめに

近年、断層変位による原子力発電所への影響の解明が重要な課題となっている。この問題の難しい側面の一つは、断層位置推定の分解能に比して構造物のスケールが小さいことである。すなわち、構造物側から見れば、断層面との交差位置やその変位の方向は、不確定性の高い要因である。そこで、これらの要因が、鉄筋コンクリート製地中構造物の損傷に及ぼす影響を評価する手法の構築を試みた。周辺地盤が軟らかい場合、断層面が構造物を避けるように進展しうるが、本検討では断層面が構造物と交差することは前提とする。

2. 解析の概要

構造物を梁要素と非線形回転バネで、地盤の影響をバネでそれぞれモデル化する。断層面を境に、一方の区間に属する地盤バネ群の端部を固定し、他方の区間に属する地盤バネ群端部に強制変位を与える。この解析を、断層面の位置と変位の方向を変えて複数回行う。変位を与える方向は、球面上で均等になるように設定する。

3. 例題の設定と解析モデルの作成

図-1 に示す 1 層 2 連のボックスカルバートを対象とした。15m 間隔で縁が切られた 3 ブロックをモデル化の範囲とし、評価の対象としては中央 1 ブロックに着目した。躯体長手方向の鉄筋として、降伏強度 400N/mm<sup>2</sup> の D16 異形鉄筋が 300mm 間隔で各面部材の表裏 2 層に配筋されているものとした。コンクリートの圧縮強度は 30 N/mm<sup>2</sup>、引張強度は 2.2N/mm<sup>2</sup>、ヤング係数は 28000N/mm<sup>2</sup> とした。2 個所あるブロック境界の空きは 10mm とした。なお、以降の記述では、図-1 のように XYZ 方向を定める。

解析モデルは、図-2(a) に示すように、非線形回転バネと線形弾性梁要素とを交互に配置し、これに地盤バネを付設した。回転バネは、図-2(b) に示すように、横断面を小領域で分割するファイバーモデルによって非線形曲げ挙動を考慮した。ブロック境界の回転バネについては、初期の離間距離以上に縮んだファイバーがコンクリートの一軸圧縮特性をもって抵抗するようにした。回転バネでは、曲率を回転角に、ひずみを変位に変換する長さ次元のパラメータが必要になる。ここでは、暫定的にブロック境界の回転バネで 0.3m、躯体中の回転バネで 0.1m とした。梁要素ではせん断変形を考慮した。地盤バネは、今回、線形弾性を仮定し、そのバネ定数は、二次元切欠き地盤の切欠き境界に強制変位を与える有限要素解析の結果を基に、構造物の Y 方向移

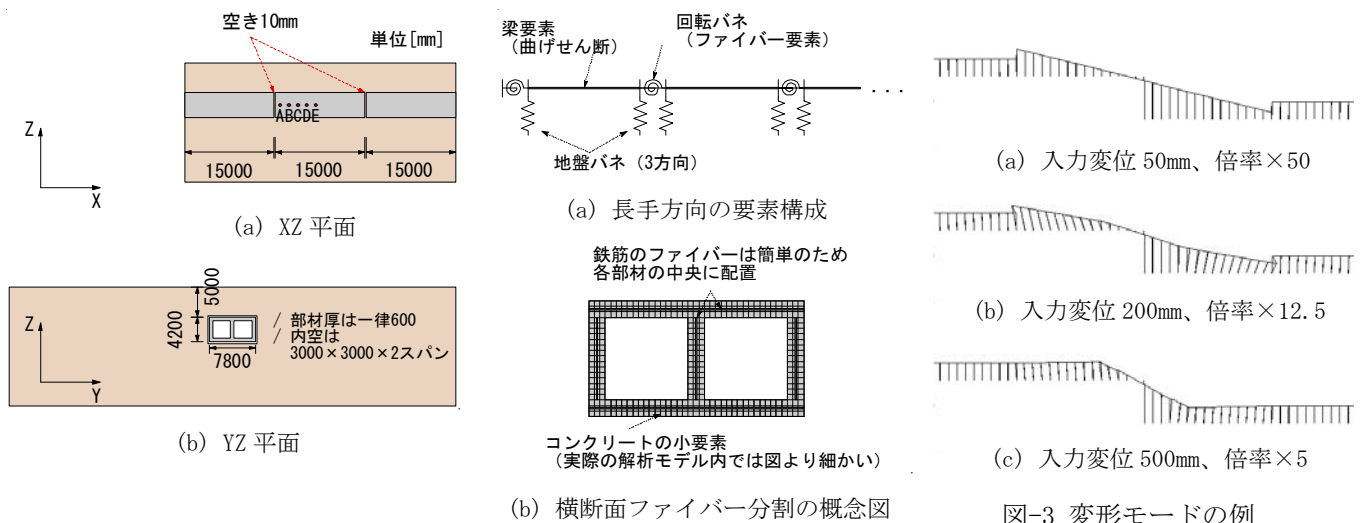


図-1 例題の設定

図-2 解析モデルの概要

図-3 変形モードの例

[交差位置 E 点、変位方向：鉛直]

キーワード 断層変位, 鉄筋コンクリート, ボックスカルバート, 球面ボロノイ分割, フラジリティ  
 連絡先 〒270-1194 千葉県我孫子市我孫子 1646 (一財) 電力中央研究所 TEL04-7182-1181

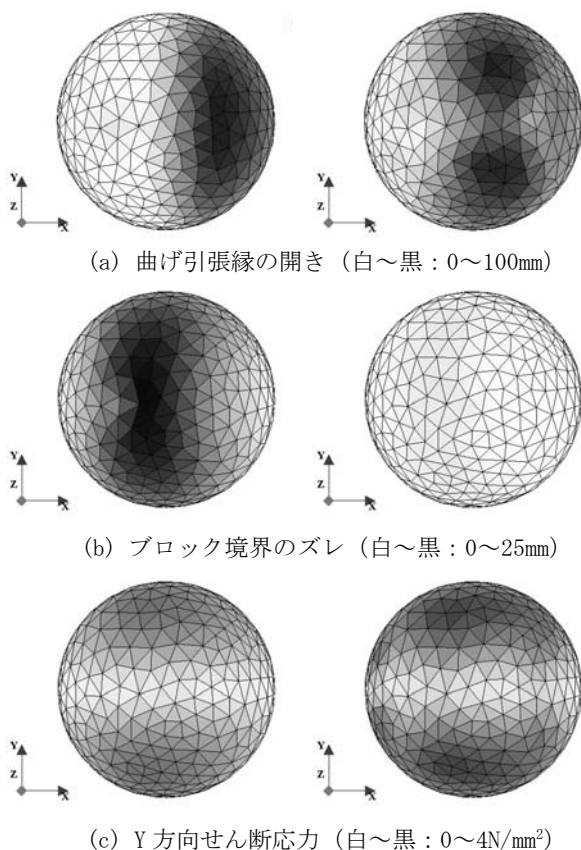


図-4 断層変位の方向による各種指標への影響  
[入力変位 200mm] (左) 交差位置 A 点 (右) E 点

4. 評価項目

(1)回転バネの曲げ引張縁の開き、(2)回転バネにおいて圧縮ひずみが $\epsilon_{c0}$ を超過する領域面積の全断面積に対する比(ここで、 $\epsilon_{c0}$ はコンクリートが圧縮強度を発現するときの圧縮ひずみ)、(3)ブロック境界の管路軸直行方向のズレ、(4)梁要素のせん断応力、の4項目を評価した。今回のモデルでは、横断面のせん断変形モード、部材の面外曲げによる3ヒンジの破壊モード等は評価できない。

5. 解析結果

図-3に変形図の一例を示す。最初は、中央ブロック全体が傾斜しているが、断層面交差位置寄りに折れが発生し、以降はそちらに回転が集中している。図-4は、ドロネー図上で解析結果を可視化した例で、上方からXY平面を見ている。図の節点の方向に変位を与えた場合における各種指標の大きさを色の濃淡で表している。交差位置がA点の場合はブロック境界のズレが、E点の場合はせん断応力が相対的に大きい。交差位置がE点の場合でも引張縁の開きが大きくなるのは、図-3(c)のようなモードがあるためと考えられる。図-5は、評価項目(1)、(3)に対して100mm、(2)に対して10%、(4)に対して2N/mm<sup>2</sup>を限界値と仮定した場合の超過ケース/全試行ケース数比である。ここでは、躯体のせん断応力がクリティカルな因子となっている。せん断応力の限界値2N/mm<sup>2</sup>は任意の条件に対して十分安全側と言える値ではないが、一方で、地盤の非線形性を考慮すると、応答が緩和される可能性があるため、より合理的な判断を与えるにはさらに検討が必要である。

6. まとめ

断層面の位置と方向が、鉄筋コンクリート製地中構造物の損傷に及ぼす影響を評価する方法を提案した。簡易な方法であるが、提案法によってクリティカルな断層面の位置・方向を抽出した後、詳細解析を行うといった評価システムを構成する際に有効と考える。回転バネにおけるひずみ-変位を変換するための長さパラメータおよび地盤バネ定数を定める手続き、各評価項目に対する合理的な限界値の策定が今後の課題である。

参考文献 [1] 種村正美：球面上の最適配置の問題，統計数理，第46巻，第2号，pp.359-381，1998.

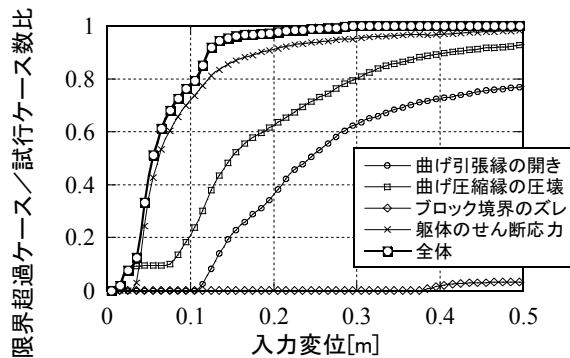


図-5 フラジリティー形式の整理

動に対して285072[kN/m/m]、Z方向(鉛直)移動に対して415326[kN/m/m]とした。すべり方向に当たるX方向については、両者の平均の1/3とした。ブロック境界は管路軸に直交する方向のズレに抵抗しないものとし、構造物両端(左ブロックの左端、右ブロックの右端)は自由とした。強制変位は、1mm/ステップの増分で、500mmまで与えた。断層面との交差位置は、図-1(a)に示す5通り(A~E)、強制変位を与える方向は、乱数を用いて母点をばらまいた後、球面ポロノイ分割と母点の位置調整を繰り返す球面調節法[1]によって、400通りを設定した。ただし、今回の例題に限れば、その対称性から1/4の100通りで十分である。