

断層変位による損傷を受けた地中カルバートの地震作用に対する評価手法に関する一考察

東北電力（株） 正会員 山口 和英 佐藤 達也
 （株）大林組 正会員 ○原 朗 正会員 堤内 隆広 正会員 渡辺 伸和

1. はじめに

断層変位とそれを引き起こす地震動は、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時、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、構造物には局所的に大きな損傷が生じる。従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可能性がある。そのためXY平面内の耐力曲線上では、断層変位による損傷を受けた構造物の弱軸は、断層変位が作用しない構造物の弱軸と一致しないと考えられ（図1）、断層変位と地震動の重畳を考慮する場合には、断層変位作用後の弱軸方向の評価が必要となる。¹⁾そこで本稿では、断層変位に続いて地震力が作用する重畳時の耐力曲線を評価する手法を提案し適用性を示すと共に、課題抽出を試みた。

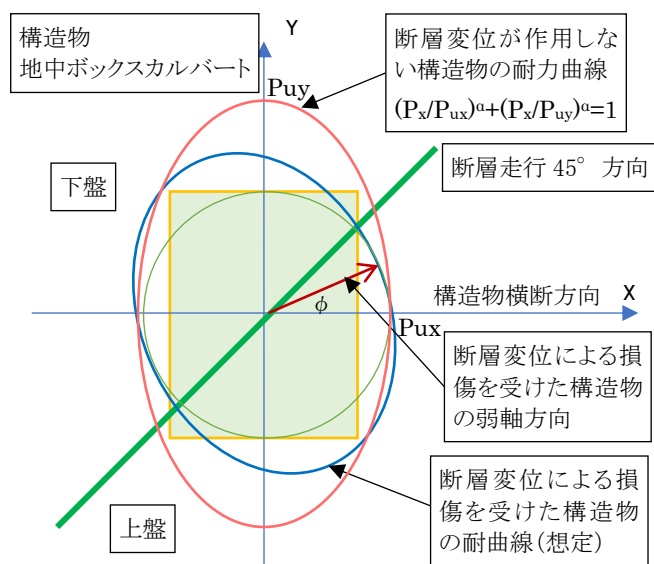


図1 構造物の耐力曲線と弱軸の方向

2. 耐力曲線

断層変位により損傷を受けた構造物の耐力曲線は、ボックスカルバートのように強軸方向、弱軸方向が明確なケースとは異なり、楕円で近似する耐力曲線の長軸・短軸が回転角φで傾くことになる。更に楕円

の形状（ふくらみ）に変化を持たせる従来の関数 $(P_x/P_{ux})^\alpha + (P_y/P_{uy})^\alpha = 1$ （超楕円）でのαも含めて解析結果からの定義が必要となる。従って耐力曲線は、長軸、短軸、回転角φおよび形状変数αの4変数を用いて表すこととなり、4方向の耐力値が必要となる。

3. 算定方法

断層変位により損傷を受けた構造物の耐力曲線上の点 $P_0 (x_0, y_0)$ に回転角-φの回転行列を作用させた点を点 $P_1 (x_1, y_1)$ とする。

4次の項を考慮して R' , Θ' を用いて設定すると

$$R' = a_0 + a_2 \cos 2\theta + a_4 \cos 4\theta$$

$$\Theta' = a_2 \sin 2\theta + a_4 \sin 4\theta$$

拡張した楕円上の点 $P_2 (x_2, y_2)$ の座標は媒介変数θを用いて以下の式で表せる。（ $a_4 = 0$ のとき楕円）

$$x_2 = R' \cos \theta + \Theta' \sin \theta \\ = (a_0 + a_2 - 3a_4) \cos \theta + 4a_4 \cos^3 \theta$$

$$y_2 = R' \sin \theta + \Theta' \cos \theta \\ = (a_0 - a_2 - 3a_4) \sin \theta + 4a_4 \sin^3 \theta$$

点 $P_2 (x_2, y_2)$ をみたす曲線を回帰線とすれば、距離 $P_1 P_2$ を誤差とした最小二乗法により、4方向の耐力値からパラメータ a_0 , a_2 , a_4 および回転角φが求まり、耐力曲線が得られる。

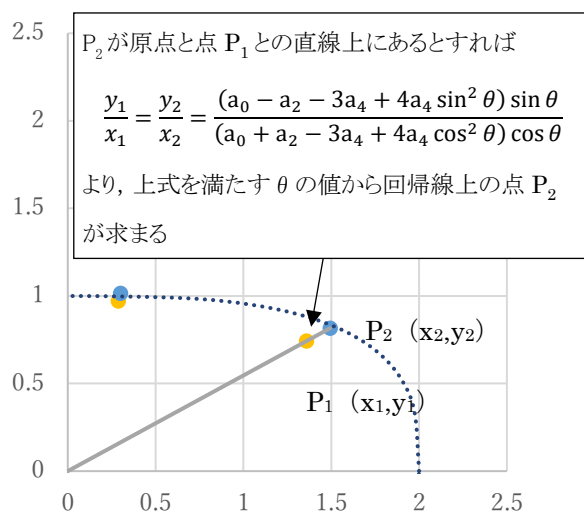


図2 回帰線と-φ回転させた耐力曲線上の点

キーワード 地中構造物, 断層変位, 地震慣性力, 重畳, 耐力曲線, 弱軸方向

連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 TEL03-5769-1307 FAX 03-5769-1972

4. 検討対象および検討結果

検討対象は既報¹⁾に示す土被り 8m の 2 連地中カルバートとした。この構造物と周辺地盤、岩盤からなるモデルに、断層変位あり・なしの 2 ケースそれぞれに対して地震慣性力を漸増载荷させた。断層変位なしのケースでは、構造物の対称性から横断方向、縦断方向、45° 方向の 3 方向の耐力が求まれば耐力曲線が得られる(回転角 $\phi=0$)。一方、断層変位を与えたケースでは、構造物の対称性が損なわれるため、上記 3 方向に加えて 135° 方向にも载荷し、さらに正対する 2 方向(0° 180° など)の耐力の違いを考慮し、計 8 方向に载荷した(図 3)。ただし、実際の地震動は動的に正負交番で作用することから、正対する 2 方向については耐力が小さくなる向きの結果を採用した。

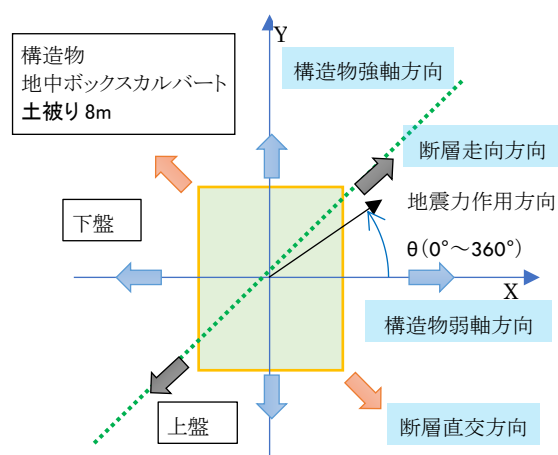


図 3 地震慣性力の载荷方向

解析では、地盤強度の制約から基準地震動の 1.7 倍の慣性力しか与えられず、構造物が破壊に至らなかった。そこで、弾性限界(鉄筋降伏ひずみ、コンクリートピークひずみ)に対して、応答震度法による 1.7 倍慣性力の作用時に発生するひずみから外挿して、弾性限界ひずみ到達時の震度倍率から、弾性限界曲線(耐力曲線)を設定した。工学的にはこのような極端な外挿はあまり意味がないが、手法の手順を示す上でこの結果を使用した。

前述の耐力曲線算定方法によって作成したカルバートの耐力曲線を図 4 に示す。マーカーはコンクリートの最大圧縮歪、あるいは鉄筋の最大引張歪が弾性限界へ到達する時点の慣性力倍率を外挿により設定したものである。図 4 の●(0°, 45° 方向)は主鉄筋のひずみによって決まり、0° 方向に地震力を作用させた時が最も厳しくなる。一方、○(90° 方向)はコンクリートのひずみによって決まる。主鉄筋ひ

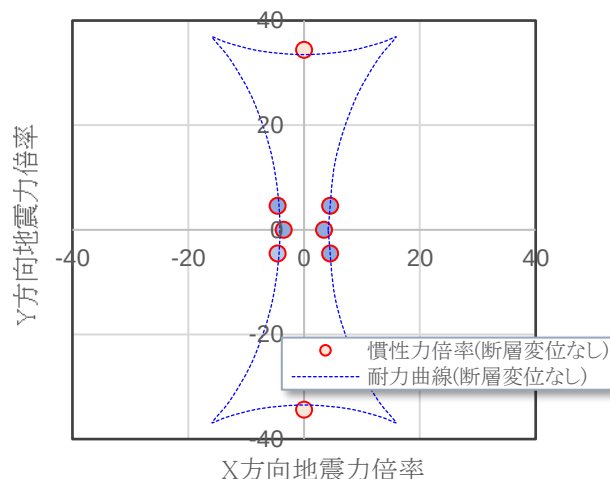


図 4 弾性限界曲線(鉄筋・コンクリート)

ずみの限界値が方向性を持つために、曲線は一般的な楕円とは異なる、糸巻き型の耐力曲線となる。

一方、方向性のないコンクリート圧縮主ひずみを用いた耐力曲線(図 5)の場合、断層変位の影響により耐力曲線は縮小し、長軸と短軸の差は縮まり耐力曲線の形状に変化が見られる。また、弱軸方向は時計回りに 46.19° 回転し、ほぼ断層直交方向となる。従って本ケースの場合、設計時の地震動作用方向を、ほぼ断層直交方向とすれば良いことになる。

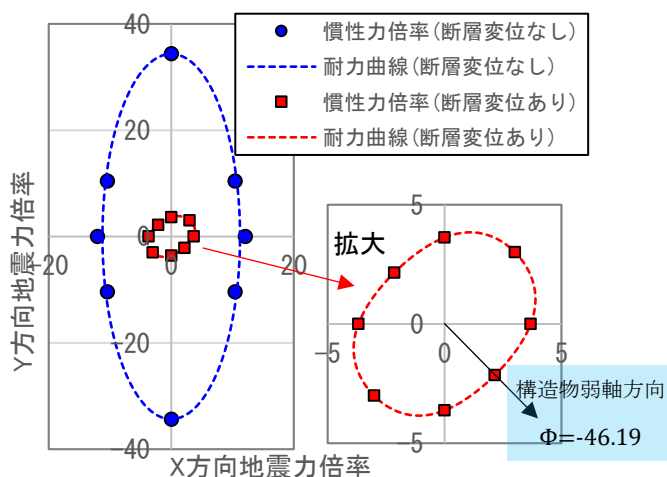


図 5 弾性限界曲線(コンクリート)

5. まとめ

重畳解析において、断層変位による損傷後の構造物の弱軸方向の把握が、合理的な評価をする上で必要である。そこで拡張した楕円関数を用いて損傷後の構造物の耐力曲線の表現を試みた。方向性のないコンクリート圧縮ひずみによる耐力曲線では、本手法により、断層変位による耐力曲線の縮小、形状変化および弱軸の回転を定量的に示せることを確認した。

参考文献 1) 山口, 小野寺「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」2018/9, 土木学会第 73 回年次学術講演会