

地震時のパイプライン曲管部の移動量予測 Movement Prediction Analysis of Underground Pipe Bend due to the 2018 Hokkaido Eastern Iburu Earthquake

○毛利栄征*, デュッティン アントワン**, 鈴木和志***, 小野尚二****
MOHRI Yoshiyuki, Antoine DUTTINE, SUZUKI Kazushi, ONO Shoji

1. はじめに

地震時のパイプラインは曲管部に離脱などの被害が集中しやすいことから、スラストブロックの軽量化や屈曲部の一体化などの対策の重要性が指摘されている。平成 30 年北海道胆振東部地震では管路の一体化された曲管部においても離脱などの甚大な被災が確認された。本報告では、地震時に生じる地盤の強度と剛性の低下現象を導入した簡便な解析手法とその結果を示し、地盤評価の重要性を提示する。

2. 地震時の曲管の移動量解析手法

曲管に作用する不均衡力(スラスト力)が大きい場合や地震動を受けた場合には、曲管背面地盤が受働破壊することがある。例えば、曲管背面地盤に仮想すべり面(土楔)を設定し、受働土圧 P_p が最小となる臨界すべり面の状態を求め、水平変位を計算する手法が考えられる(図 1)。本報告では、曲管の地震時移動量解析プログラム Thrust v2.0(複合技術研究所)を用いた。解析手法の詳細は毛利(2016), Duttine(2016)を参照いただきたい。

$$P_p = \frac{W' \tan(\alpha + \phi) - k_h W + u + (c_a H + c_b L \sin \alpha) \tan(\alpha + \phi) + c_b L \cos \alpha}{\cos \delta - \sin \delta \tan(\alpha + \phi)} \quad (式 1)$$

H: 土楔正面の高さ(m), L: 土楔底面の長さ(m), W, (W'): 土楔の(有効)重量(kN), α : 土楔底面角(deg), u: 静水圧合力(kN), c_a と δ : 土楔正面に使用する非排水粘着力と摩擦角(kN/m², deg), c_b と ϕ : 土楔底面に使用する非排水粘着力と摩擦角(kN/m², deg)

スラストブロックの残留水平変位は次式で求める。

$$\delta_x(t) = \frac{F + P_a(t)}{K_s(t) + K_t(t)} - \frac{F + P_a(0)}{K_s(0) + K_t(0)} \quad (式 2)$$

$\delta_x(t)$: 時刻 t での水平変位(m), F: スラスト力(kN), $P_a(t)$: 主働土圧(kN), $K_s(t), K_t(t)$: 低下していく水平バネ係数(kN/m), $K_s(0), K_t(0)$: 初期(低下前)の水平バネ係数(kN/m)

3. 解析結果

解析対象は北海道胆振東部地震によって被災した厚幌導水路美里工区の IPNo156(口径 2,200 と 1,350mm の 2 条配管)とする。解析断面を図 2 に示す。管側部の埋戻しは切込み砂利、管頂上部は火山灰質砂である。それぞれの埋戻し材料の非排水繰返し載荷試験及び単調載荷試験を実施して、強度と剛性の低下特性を図 3 のように求めた。泥炭(Ap₁, Ap₂)及び沖積粘性土層(Ac₂, Ac₃)は強度・剛性低下しないとする。入力地震波形は K-Net 早来で観測した地表面波形(MAX:600.8gal, MIN:-671gal, 継続時間:80秒)である。

3-1 検討ケース

地盤内の応答倍率及びスラスト力において 9 ケースを検討した。地盤内の応答倍率は、2次元 FEM 地震応答解析結果によると

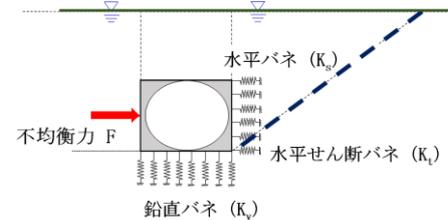


図 1 スラストブロックと地盤バネ

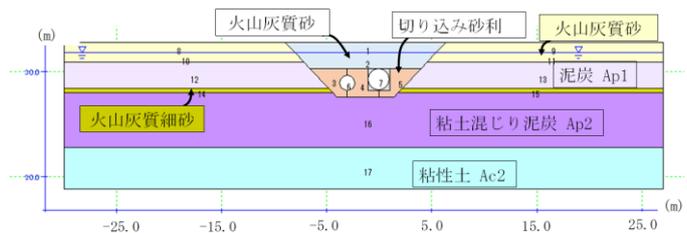


図 2 解析モデル(地下水面は GL-100cm)

*茨城大学: Ibaraki University, **株式会社複合技術研究所: Integrated Geotechnology Institute, ***(株)フロンティア技研: FRONTIER-Gike Co., Ltd. ****北海道開発局室蘭開発建設部胆振東部農業開発事業所: Iburitoubu Agricultural Development Office, Muroran Development and Construction Department of Hokkaido Regional Development Bureau
キーワード: パイプライン, 曲管, スラスト対策, 地震時挙動, 耐震対策

答加速度分布がほぼ線形となり、曲管底面付近での応答倍率（最大応答加速度/地表面での最大応答加速度）が0.6~0.8になるため、図5のように3パターンの応答倍率分布を計算条件とした。また、スラスト力についても3段階設定し100, 200, 300kNの3パターンとした。解析ケースはCase1~Case9とする。

3-2 解析結果 (図 4, 5)

Case2 の解析例を図 4 に示す。地震の加速度最大時の26秒付近で、切込み砂利地盤の損傷ひずみ DA が90%

に達しており (図 4d), この時、水平変位量 (図 4a) が最大になる。切込み砂利及び現地盤の火山灰質砂 (bk) は、液状化強度 SR_{20} がそれぞれ0.357, 0.118 と非常に低いため、地震時に著しい強度・剛性低下を生じる。その結果、発揮される曲管背面の受働土圧が大きく低下するため、スラスト力 F に対して算出 (式 2) される水平変位量が19.0~195cmと大きくなる。図 5 に示すように、地盤内の応答倍率による影響が大きく、切込み砂利底面での応答倍率が0.6から1.0まで増加すると、変形量が3倍程度になる。

4. まとめ

地盤の強度・剛性低下、地震の継続時間が曲管の移動量に重大な影響を及ぼすことを示した。対策の安全性照査にも適用可能な解析手法であることが分かった。参考文献: 1) 毛利栄征他 (2016):

パイプライン曲管部の耐震設計の考え方, 農業農村工学会大会講演会. 2) テュティン アントワ他 (2016): 地盤の強度・剛性低下を考慮したパイプラインの耐震診断事例, 農業農村工学会大会講演会

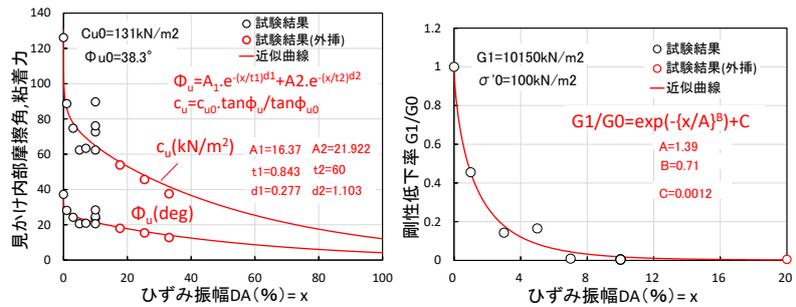


図 3-1 強度低下特性(左)及び剛性低下特性(右)【火山灰質砂】

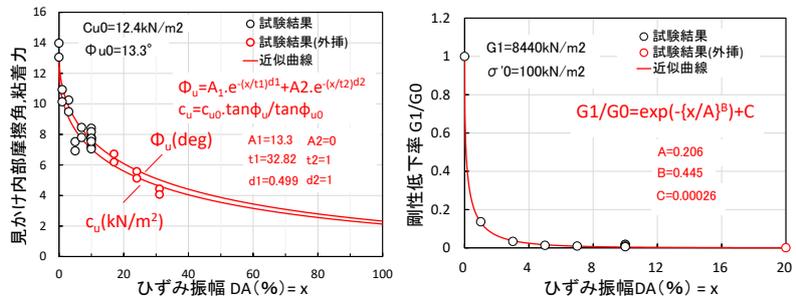


図 3-2 強度低下特性(左)及び剛性低下特性(右)【切り込み砂利】

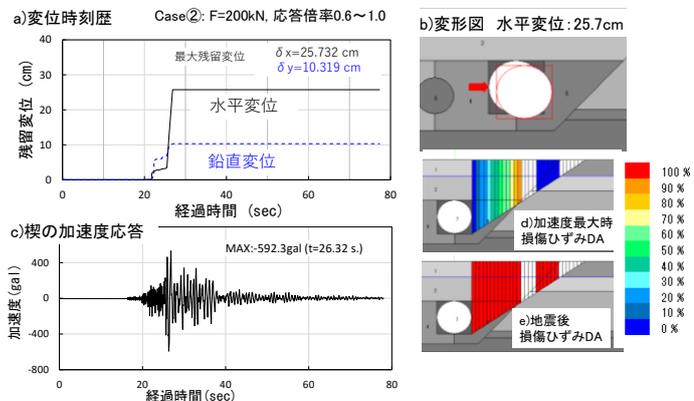


図 4 Case2 の詳細結果

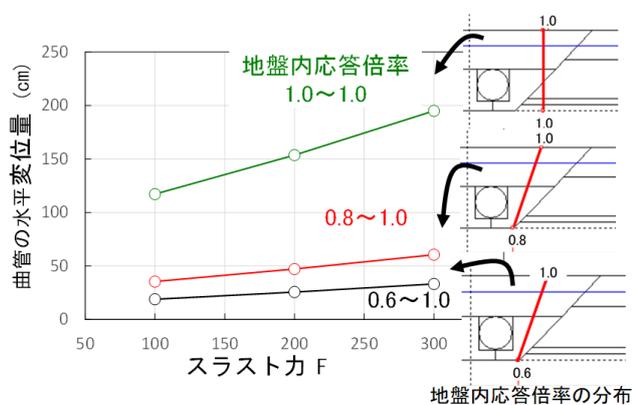


図 5 移動量解析結果とスラスト力の関係