

ソリッド要素を用いた埋設パイプラインの変形解析手法の検討

名古屋大学 減災連携研究センター 正会員 北野 哲司、正会員 野中 俊宏
日鉄住金パイプライン&エンジニアリング(株) 正会員 ○藤田 周亮、小倉 均

1. はじめに

地震や地盤沈下などにより地盤変位が発生した場合の埋設パイプラインの性能を評価するためには、埋設パイプラインの応力・ひずみ状態を把握することが重要である。埋設パイプラインの変形状態を有限要素法解析により求める場合、地盤とパイプの相互作用をばね要素でモデル化することが多く用いられる¹⁾。地盤のモデル化をばね要素ではなくソリッド要素とすることにより、室内土質試験データを考慮した地盤強さを設定できる、一様でない地盤をモデル化できる、土の重量を考慮できる、などの利点が考えられる。本研究では地盤をソリッド要素でモデル化した埋設パイプラインの変形解析を行いその特性を検討した。また地盤ばねモデルの解析結果との比較を行うことにより、それぞれのモデルの特徴を把握した。

2. ソリッド要素を用いた解析

解析条件を表1に示す。地盤はソリッド要素、パイプはシェル要素でモデル化し、地盤変位としてパイプに水平方向の変位を負荷した。パイプとシェル要素の相互接触作用を用い、摩擦係数は既往の実験結果との比較解析²⁾より設定した。解析ケースを表2に示す。N値=10、20、30、40相当の4種類の地盤の解析を実施した。

表-1 解析条件

配管材料	STPG370 300A (318.5mm) 管厚 6.9mm 規格最小降伏点 $\sigma_y=215$ [N/mm ²]、規格最小引張強さ $\sigma_t=370$ [N/mm ²]
共通地盤材料	単位体積重量 $\gamma_t=1.73 \text{ E}^{-9} \text{ t/mm}^3$ 摩擦係数 $F=0.3^2)$ 地盤要素の非線形性: Mohr-Coulomb の破壊基準
解析コード	Abaqus 6.12
使用要素	・地盤: 8 節点ソリッド要素 (C3D8R: ABAQUS の要素タイプ) ・パイプ: 4 節点シェル要素 (S4R: ABAQUS の要素タイプ) 板厚方向積分点 7 層 ・地盤とパイプ間: 接触相互作用 (CONTACT PAIR: ABAQUS のコマンド)
要素分割	・地盤: 10mm~500mm ・パイプ: 周方向、軸方向 20mm ピッチ
埋設深さ	$H_p=1.5\text{m}$ (地表面からパイプ中央部)

表-2 解析ケース

No.	地盤物性	備考
1	ヤング率 $E=14\text{MN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.38$ 内部摩擦角 $\phi=29^\circ$ 、粘着力 $c=5\text{kN/m}^2$	N 値=10 相当
2	ヤング率 $E=28\text{MN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.38$ 内部摩擦角 $\phi=35^\circ$ 、粘着力 $c=5\text{kN/m}^2$	N 値=20 相当
3	ヤング率 $E=42\text{MN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.38$ 内部摩擦角 $\phi=39^\circ$ 、粘着力 $c=5\text{kN/m}^2$	N 値=30 相当
4	ヤング率 $E=56\text{MN/m}^2$ 、ポアソン比 $\nu=0.38$ 内部摩擦角 $\phi=43^\circ$ 、粘着力 $c=5\text{kN/m}^2$	N 値=40 相当

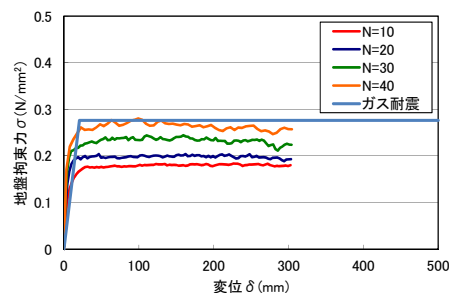


図1 地盤変位と地盤拘束力の関係

解析結果として、地盤変位と地盤拘束力の関係を図1に示す。地盤拘束力は変位の増加でほぼ一定となり、N値が大きいほど地盤拘束力も大きくなることが確認できる。ガス耐震指針¹⁾の地盤拘束力もプロットしているがN値=40相当と同等レベルになっている。変形図および地盤の鉛直方向変位の変位コンター図を図2に示す。すべてのケースにおいてパイプは水平方向だけでなく鉛直上方向にも変位しており、N値が大きいほど地盤の鉛直上方への移動量が大きくなっている。

キーワード 地盤変位、埋設パイプライン、有限要素法解析、ソリッド要素

連絡先 〒141-0032 東京都品川区大崎 1-5-1 日鉄住金 P&E 技術総括部 TEL 03-6865-6800

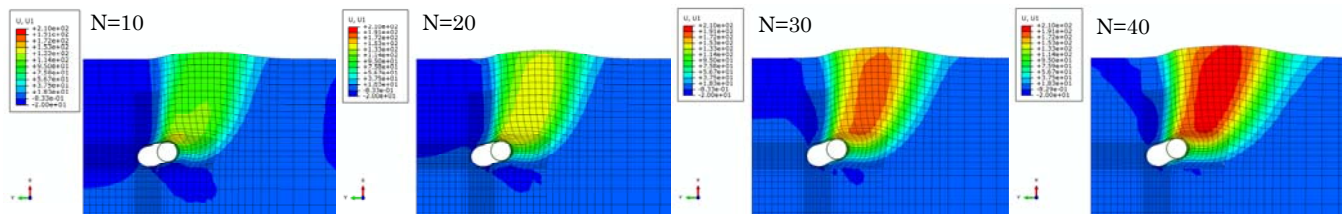


図2 変位図・鉛直上方変位コンター図(地盤変位 300mm のとき)

3. 地盤ばねモデルとの比較

地盤ばね要素モデルとして図3のように各節点にばね要素を取りつけたモデルの解析を行った。地盤変位とパイプの発生応力の比較を図4に示す。ソリッドモデルの場合は最大値となったあと徐々に減少するが、ばねモデルの場合は地盤変位が大きくなっても発生応力が一定値となる。発生応力の最大値はほぼ同じとなっている。

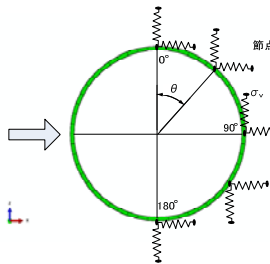


図3 地盤ばねモデル1

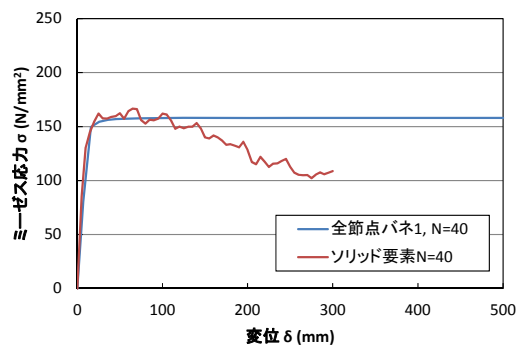


図4 地盤変位-パイプ発生応力

また地盤ばねモデルではパイプに鉛直上方向の変位は発生しない結果となった。

4. 地盤ばねモデルのモデル化の検討

ソリッド要素での解析結果よりパイプと地盤の相互作用(接触反力)を確認できることから、その結果を地盤ばね特性として図5に示す地盤ばねモデルでの解析を行った。パイプの変位図を図6に、地盤変位とパイプの発生応力の関係を図7に示す。このモデルの場合はパイプに水平方向の変位を与えるとパイプが鉛直上方にも移動することが確認できる。パイプの発生応力は図3のモデルと同様に最大値後に徐々に低下する傾向がある。

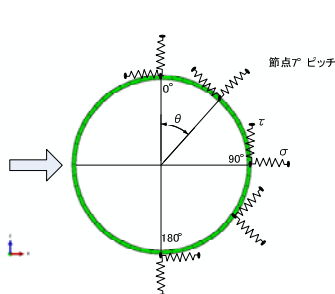


図5 地盤ばねモデル2

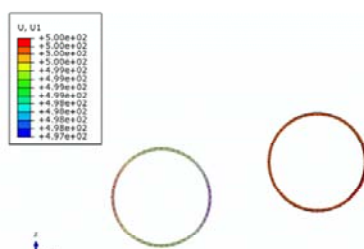


図6 パイプの変位

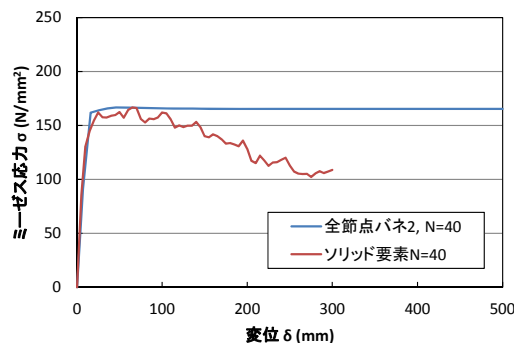


図7 地盤変位-パイプ発生応力

5. まとめ

地盤をソリッド要素にすることにより土質試験から得られる地盤物性値を入力データとした解析が可能となる。このモデルを使用することにより地盤側方流動を受けた場合にパイプが鉛直上方方向にも移動する挙動や地盤とパイプの相互作用などが把握できる。地盤ばねモデルはパイプの発生応力を把握する場合には有効である。地盤ばねモデルでパイプの移動挙動の把握が必要な場合は地盤ばねの接続方法、地盤ばね特性についての検討が必要である。なお、本研究の一部は、JSPS 科研費 15K12489 の助成を受けたものであることを付記しておく。

参考文献

- 1) 日本ガス協会：高圧ガス導管耐震設計指針、2013 年
- 2) 藤田、小倉、北野、野中：地盤変状を受ける埋設鋼管のソリッド要素・シェル要素による変形解析手法に関する検討、第 14 回日本地震工学シンポジウム、pp. 3767-3772、2014 年