

深層部に埋設されるパイプラインに作用する軸直角方向地盤拘束力に関する解析的検討

東京ガス（株） 正会員 ○吉崎 浩司

東京ガス（株） 正会員 坂上 貴士

1. 緒言

ガス供給等に用いる埋設パイプラインは、河川やボックスカルバート等を地中にて横断する場合には深層部に埋設されるが、地盤沈下や地震等による地盤変位が作用すると、浅層部に比べてより大きな外力を地盤から受けることが考えられる。その外力は通常地盤拘束力と呼ばれ、耐震設計指針等^{1), 2)}においては、浅層埋設部での知見³⁾をもとに軸方向、軸直角方向についてその値が規定されているが、深層埋設部については知見が少なく、そのため深層部に埋設されるパイプラインの地盤変位に対する健全性を精度良く評価することが困難であった。そこで深層埋設部における軸直角方向地盤拘束力について、FEM 解析を用いた検討を行った。

2. 解析条件

解析においては、図 1(a)に示すように、地盤中に埋設されたパイプを水平方向または鉛直上方向に変位させることにより、地盤とパイプの相対変位によって生じる地盤拘束力を評価した。解析は、埋設深さを口径の2～60倍に変化させて実施した。

解析モデルの一例を図 1(b)に示す。モデルは Yimsiri ら⁴⁾のモデル化手法にならい 2 次元モデルとし、パイプと地盤の間の摩擦も考慮に入れた。地盤モデルとしては、Mohr-Coulomb モデルを用いた。地盤特性は、一般的にガスパイプラインの埋戻しに用いられる山砂を用いて実施した要素試験結果をもとに設定した。山砂の特性を表 1 に、また、ひずみ速度を 0.1%/min および 5%/min に変化させて実施した三軸圧縮試験結果を図 2 に示す。本試験結果より、乾燥密度に対する内部摩擦角は、含水比にさほど依存せずほぼ一定の関係を有すること、またひずみ速度が大きい場合、内部摩擦角は若干大きくなることが分かる。本解析では、非常に密に締固めた内部摩擦角 45 度での評価を行った。

表 1 山砂の特性

比重 (g/cm ³)		2.65
粒度特性	礫分(%)	0
	砂分(%)	96.6
	シルト, 粘土分(%)	3.4
最大乾燥密度 (g/cm ³)		1.63
最適含水比 (%)		17.2

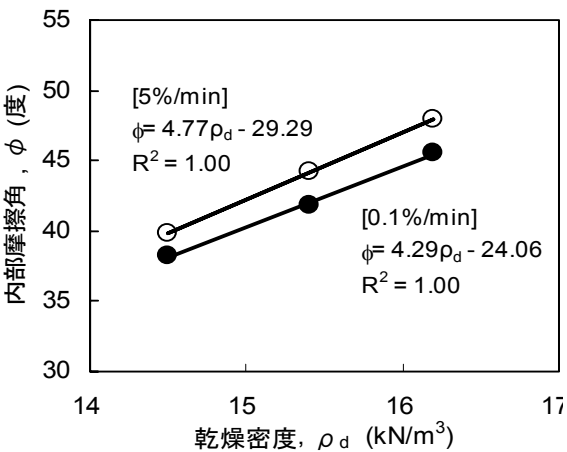
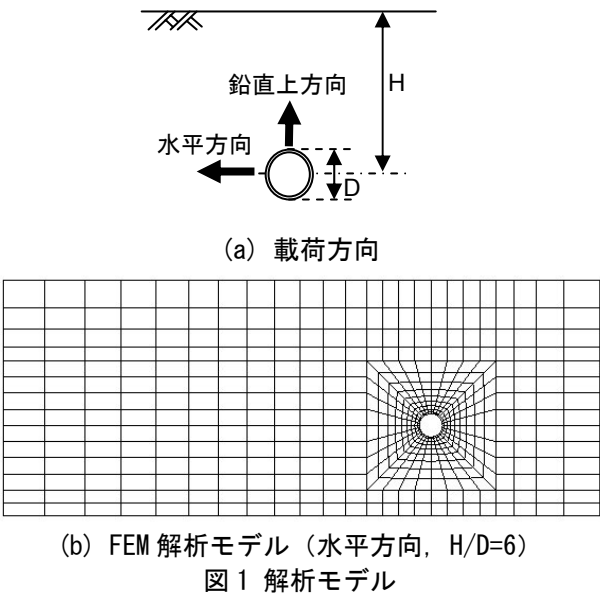


図 2 山砂における三軸圧縮試験結果

キーワード：パイプライン、地盤拘束力、深層埋設部、地震、地盤沈下

連絡先 ：〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 1-7-7 TEL：045-505-7309 FAX：045-521-1451

3. 解析結果および考察

解析結果について、 H/D が 2 および 40 の時の地盤の変形図をそれぞれ図 2(a)および(b)に示す。 H/D が 2 程度の場合には地盤の変形は地表面に達しているが、40 程度の深層埋設部の場合には、地盤の大きな変形は地表面に達していないことが分かる。

地盤拘束力について、投影単位面積あたりの反力を上載荷重にて除した値 N_q と地盤変位との関係における解析結果と、Trautmann らの実験³⁾に基づき ASCE²⁾にて規定されている式との比較を図 4 に示す。地盤拘束力は、地盤変位が大きくなると一定値 N_{qc} を示すが、解析結果と Trautmann らによる提案式はほぼ一致した。

解析結果における N_{qc} を埋設深さごとにプロットし、ASCE の規定を外挿した式およびガス導管液状化耐震設計指針にて規定された式と比較したものを図 5 に示す。ASCE²⁾およびガス導管液状化耐震設計指針¹⁾では、埋設深さが大きくなるほど地盤拘束力も大きくなるように外挿されてしまうのに対し、本解析結果においては、水平方向では H/D が 15 程度、鉛直上向きでは H/D が 30 程度となる深さ以上では N_{qc} はほぼ一定値となる結果が得られた。本解析結果を一般的な設計や維持管理に用いるには、口径や地盤条件に関するパラメータを考慮に入れた更なる検討が必要であるが、深層埋設部における地盤拘束力について、より精度の高い評価が可能であることが示唆された。

4. 結言

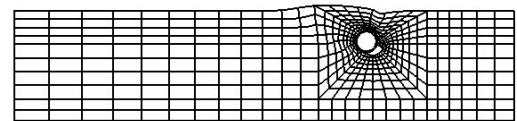
深層埋設部における軸直角方向地盤拘束力について、FEM 解析を用いた検討を行った結果、水平方向および鉛直上方向それぞれある一定以上の深さになると、地盤拘束力が一定値となる傾向がある結果が得られた。

謝辞

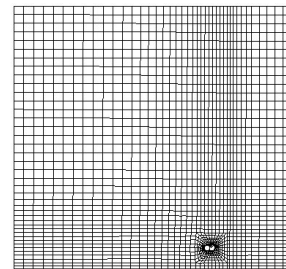
数値解析については、Cambridge 大学の曾我健一博士、Dr. Ganeswara Rao Dasari (現 Singapore 国立大学)、Dr. Siam Yimsiri (現 Burapha 大学) に貴重な助言をいただいた。また室内土質試験の実施にあたり、基礎地盤コンサルタンツ(株)の林三男氏に多大なるご協力を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 高压ガス導管液状耐震設計指針, (社)日本ガス協会, 2002.
- 2) ASCE (1984), "Guidelines for the Seismic Design of Oil and Gas Pipeline Systems," Committee on Gas and liquid Fuel Lifelines, Technical Council on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, New York.
- 3) Trautmann, C. H. and O'Rourke, T. D.: Lateral force- displacement response of buried pipe, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, Reston, VA, Vol. 111 No.9, pp. 1077-1092, 1985.
- 4) Yimsiri, S., Soga, K., Yoshizaki, K., Dasari, G. R. and O'Rourke, T. D., Lateral and Upward Soil-Pipeline Interaction in Sand for Deep Embedment Conditions, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*(投稿中), ASCE.



(a) $H/D=2$



(b) $H/D=40$

図 3 地盤変形図（水平方向）

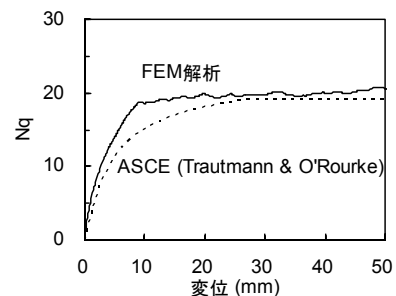
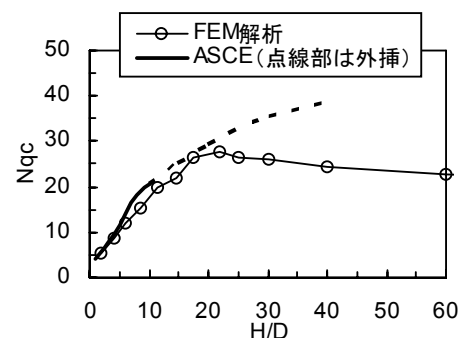
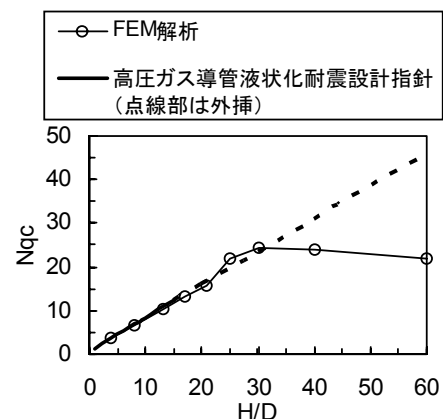


図 4 地盤拘束力と地盤変位の関係
(水平方向, $H/D=8.5$)



(a) 水平方向



(b) 鉛直上方向

図 5 地盤拘束力と埋設深さの関係