

埋戻し地盤の含水状態が埋設管に作用する地盤拘束力の特性に及ぼす影響の評価

東京ガス株式会社 正会員 ○鈴木 暢恵
東京ガス株式会社 正会員 坂上 貴士

1. 序論

埋設管の耐震性を高精度に評価するためには、地盤から埋設管に作用する力である地盤拘束力の特性を正確に把握する必要がある。埋設管周囲における地盤の締固め度と地盤拘束力の関係については、Trautmanらの研究¹⁾により明らかになっている。一方、地盤の含水状態と地盤拘束力の関係については、既往の研究事例も乏しく、未だ不明な点も多い。

そこで本研究では、埋戻し地盤の含水状態が埋設管の軸直角水平方向に作用する地盤拘束力の特性に及ぼす影響を実規模実験と有限要素解析により検証した。

2. 異なる含水状態の埋戻し地盤での地盤拘束力実験

2.1 実験方法

実験装置を図1に示す。実験では、幅2000mm、長さ3100mmの土槽中に高さ1150mmの地盤を製作し、呼び径100Aの試験鋼管を土被り600mmにて埋設した。震動台上に載せた土槽を、速度10mm/sで一方向に変位させることにより、地盤と試験鋼管の間に地盤変位を発生させ、試験鋼管に作用する地盤拘束力を反力壁に設置したロードセルで計測した。実験に用いた試験砂の特性を表1に示す。この砂は、千葉県産の砂であり、都市ガス導管網の埋戻しに用いられる標準的な山砂である。実験は表2に示す通り、乾燥密度を1.5g/cm³に統一し、含水比をパラメータとした4種の試験を実施した。

2.2 実験結果

図2にcase3(含水比15%)の実験終了後における埋戻し地盤の断面のスケッチ図を示す。地盤内には管から滑り線が発生しており、実験終了時には滑り線が地表面に達していた。図3にcase1とcase3の試験鋼管と地盤の相対変位-地盤拘束力の関係を示す。また、図4に全4ケースの実験にて取得した、埋戻し地盤の含水比と最大地盤拘束力との関係を示す。地盤の含水状態により最大地盤拘束力は異なる値を示した。

3. 有限要素解析による地盤拘束力特性の評価

埋設管の埋戻し条件は多岐にわたるため、埋戻し地盤の含水状態が埋設管に作用する地盤拘束力に与える影響を、実験のみで明らかにすることは現実的に難しい。そこで、有限要素解析による検討を併せて実施した。

3.1 解析手法の概要

本研究では、case3の実験を対象に再現解析を実施し、解析の適用範囲を確認した。

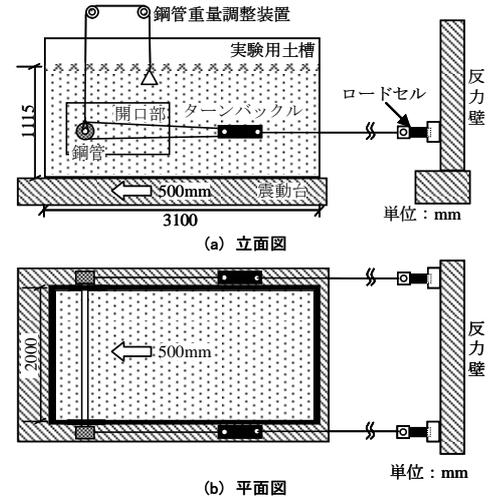


図1 実験装置

表1 試験砂の特性

土粒子の密度(g/cm ³)	2.74	
粒度分布	礫(%)	6
	砂(%)	93
	シルト(%)	1
最大乾燥密度(g/cm ³)	1.67	
最適含水比(%)	16.2	

表2 実験条件

試験ケース	case1	case2	case3	case4
含水比(%)	3	5	15	17
乾燥密度(g/cm ³)	1.5			

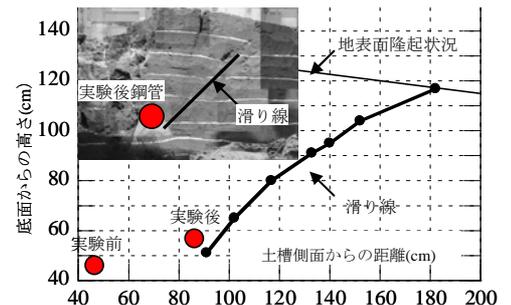


図2 実験後の地盤の状況

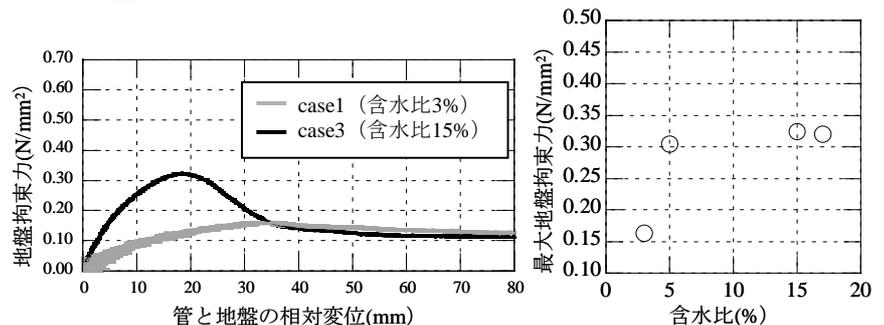


図3 実験結果(相対変位—地盤拘束力)

図4 最大地盤拘束力

キーワード：地盤拘束力、含水比、サクシオン、地震、大規模地盤変位、埋設管

連絡先：〒230-0045 横浜市鶴見区末広町 1-7-7 東京ガス(株) パイプライン技術センター TEL:045-505-7309

表 3 入力パラメータ

含水比 (%)	w	10	15	17	20	備考
体積飽和度 (%)	Se	34.8	53.5	60.8	88.0	埋戻し条件により決定
内部摩擦角 (°)	ϕ	40.65				一面せん断試験より取得
乾燥密度 (g/cm ³)	ρ_d	1.5				
弾性係数 (kPa)	E	5480				$E = 2(1+\nu)G$
ポアソン比	ν	0.3				$G = 700 \frac{(2.17-e)}{1+e} 20^{0.5}$ 港研式 ⁴⁾
粘着力(kPa)	c'	5				15%のフィッティングパラメータ
透水係数 (10 ⁻⁴ cm/s)	k	8.03	8.52	9.66	10.94	透水試験より取得
サクシオン (kPa)	ψ	-12	-8.4	-7.4	-4	$S_e = (1+ \alpha\psi ^n)^{-m}, m = 1 - \frac{1}{n}$ $\alpha = 0.145, n = 2.68$ ^{5), 6)}

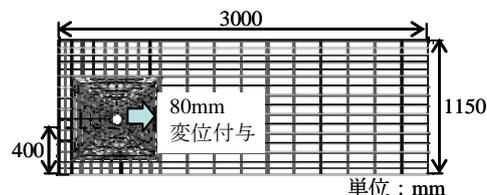


図 5 解析モデル

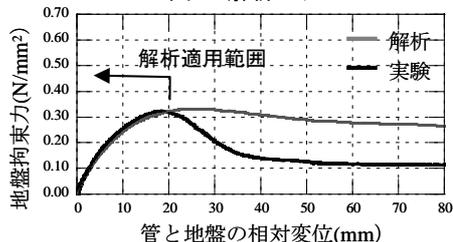


図 6 実験及び解析の相対変位—地盤拘束力

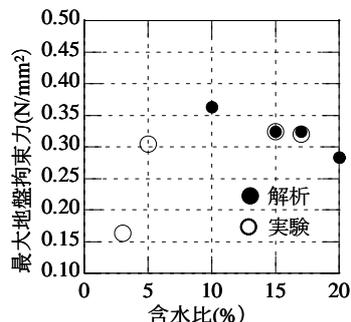


図 7 含水状態の影響評価

後、含水比をパラメータとした解析を行い、地盤拘束力特性に及ぼす含水比の影響を評価した。解析には、Dilan ら²⁾により開発された数値解析手法を用いた。本解析における破壊基準は、Bishop ら³⁾の含水状態を加味したモデルである。この破壊基準では、飽和度及びサクシオンが含水比に反映される。地盤の変形挙動を規定する入力値を表 3 に示す。これらの値は、実験地盤の埋戻し条件を反映したものである。解析モデルを図 5 に示す。解析モデルの幾何形状は、実験に用いた土槽および試験鋼管のそれと同一とし、平面ひずみ状態を仮定して 2 次元モデルとした。解析に用いたソルバーは、SIMULA 社製の有限要素法解析ソフト ABAQUS ver 6.9 である。

3.2 含水状態の影響評価の試算

case3 の実験 (含水比 15%) を対象とした有限要素解析により得られた管-地盤間の相対変位と地盤拘束力の関係を実験結果と比較して、図 6 に示す。両者は、最大地盤拘束力が発現する変位領域までよく一致している。このことから、本解析手法により最大地盤拘束力の評価が可能であると判断し、各種土質試験に基づいた異なる含水比の地盤の変形挙動を規定する入力値 (表 3) による解析を行った。図 7 に設定した含水比に対する解析結果を実験と併せて示す。解析を実施した範囲 (含水比 10~20%) においては、含水比の値が小さくなるにつれ、最大地盤拘束力は大きくなる傾向が得られた。

4. 結論

本研究では、埋戻し地盤の含水状態が、埋設管に作用する地盤拘束力特性に与える影響を把握するため、実規模模型実験及び様々な含水状態の力学特性を考慮できる破壊規準を用いた有限要素法による検討を実施した。結論を以下にまとめる。1)実験では地盤の含水状態により、最大地盤拘束力は異なる値を示した。2)含水比 15%の実験を対象に再現解析を実施し、最大地盤拘束力までの再現性を確認した。

今後、実験及び解析的検討をさらに進め、最大地盤拘束力と埋戻し砂の含水状態の関係を明らかにする。

謝辞:本研究では、英国Cambridge大学にて開発された数値解析手法を用いて解析的検討を試行した。同大学の曾我健一先生、D.J.Robert博士に厚く御礼申し上げます。

参考文献:

- 1)Trautmann, C.H. and O'Rourke, T.D. : Lateral Force-Displacement Response of Buried Pipes, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Reston, VA, Vol.111, No.9, 1985, pp. 1077-1092.
- 2) Dilan Jeyachandran Robert.: Soil-Pipeline Interaction in Unsaturated Soils, Doctoral thesis at the University of Cambridge, 2007.
- 3) Bishop, A.W.: The Principle of the Effective Stress, Teknisk Ukeblad, Vol.106, 1959, pp.859-863.
- 4) 運輸省港湾局監修: 埋立地の液状化対策ハンドブック, 沿岸開発センター, 1993.
- 5) Carsel, R. F. and Parrish,R.S. : Developing Joint Probability Distribution of Soil Water Retention Characteristics Water Resour. Res., Vol.24, 1988, pp.755-769.
- 6) Mualem, Y.: A New Model for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Porous Media, Water Resources Research, Vol.12, No.3, 1976, pp.513-522.

