

液状化に伴う側方流動による 埋設管の変形挙動について (その3 : 地盤拘束力による影響度分析)

高田至郎¹・小川安雄²・小口憲武³・北野哲司⁴・
松本真明⁵・岡村一男⁶・桑嶋健⁷

¹フェロー会員 工博 神戸大学 工学部建設学科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1)

²正会員 大阪ガス㈱ 技術部 (〒541-0046 大阪市中央区平野町4-1-2)

³工修 東京ガス㈱ 導管部 (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

⁴工修 東邦ガス㈱ 供給管理部 (〒456-8511 名古屋市熱田区桜田町19-18)

⁵正会員 工修 住友金属工業㈱ エネルギーエンジニアリング 技術部 (〒104-6111 東京都中央区晴海1-8-11)

⁶工博 住友金属工業㈱ 総合技術研究所 (〒660-0891 尼崎市扶桑町1-8)

⁷正会員 工修 住友金属工業㈱ エネルギーエンジニアリング 技術部 (〒541-0041 大阪市中央区北浜4-5-33)

液状化が発生すると地盤が流動化し、地盤拘束力が低減することが言われている。本研究では液状化に伴う側方流動を受ける埋設管の大変形挙動に対して地盤拘束力が与える影響を FEM 解析により検討した。解析はシェル要素とはり要素を組み合わせたハイブリッド解析手法により行い、傾斜地盤および護岸背後地盤において液状化に伴う側方流動を受ける埋設管の大変形挙動について検討した結果、地盤拘束力の変動によって埋設管の変形挙動がかなり異なることを把握した。

Key Words : liquefaction , lateral displacement , FEM analysis , bend , buried pipeline , ground stiffness

1. はじめに

兵庫県南部地震をはじめとする近年の大地震では液状化に伴う地盤変状によりガス導管が塑性変形する被害が多く見られ、液状化耐震設計法の確立が課題となっている。地盤が液状化した場合、地盤拘束力が低減することが過去の研究¹⁾で明らかにされており、液状化耐震設計にどのように考慮するかが問題となっている。

そこで本研究では液状化による側方流動を受けるガス導管の大変形挙動に対して地盤拘束力が与える影響をFEM解析により検討した。解析手法は近年研究がなされており^{2),3)}、埋設管の大変形挙動を精緻に解析できる手法であるシェルはりハイブリッド解析手法を用いた。この手法は埋設管のうち変形が集中する箇所はシェル要素で、それ以外ははり要素でモデル化する手法で埋設管の変形挙動を効率的にかつ精度良くシミュレートすることが可能である。

この手法により地盤拘束力を数種類設定して解析検討を行った結果、埋設管の変形挙動は地盤拘束力の影響を多大に受けることが判明した。

2. 側方流動を受ける埋設管の解析モデル

2.1 解析モデル

ガス導管が液状化による側方流動を受ける場合、管が液状化層に位置する場合と液状化層の上部の非液状化層に位置する場合が考えられる。一般的にガス導管は地表面から深さ1~2mの範囲に埋設されており、液状化層内に位置することは少ない。また、液状化層上部の非液状化層中に管が埋設されている場合の方が管に大きな地盤拘束力が作用し、変形が大きくなることが予想される。よって非液状化層内にガス導管が埋設されている場合を対象とし、液状化に伴う側方流動が発生する地盤形態として傾斜地盤と護岸背後地盤の2地形を考慮した。図-1、図-2に両地形に埋設されたガス導管のイメージを示す。

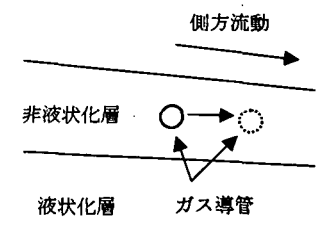


図-1 傾斜地盤のイメージ

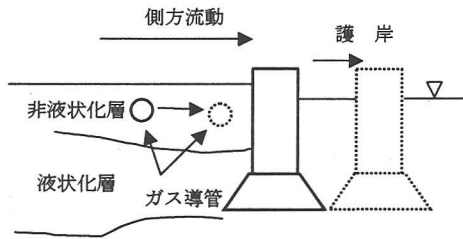


図-2 護岸背後地盤のイメージ

地盤変状モデルは既存の研究成果⁴⁾により図-3のように設定し、地盤ばねの特性は管軸方向、管軸直角方向ともに図-4に示すようなバイリニアモデルとした。

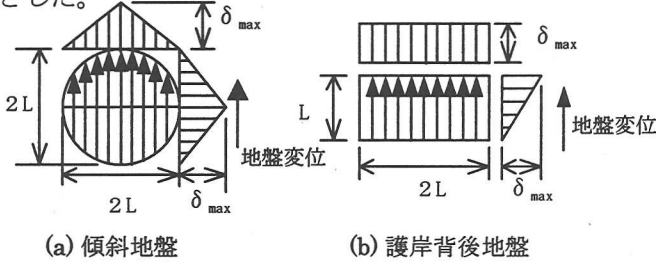


図-3 地盤変状モデル

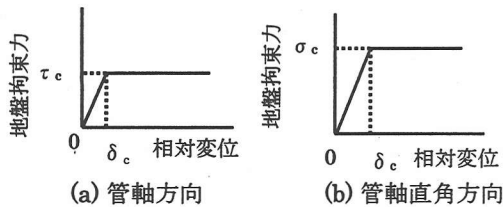


図-4 地盤ばねの特性

著者ら⁵⁾は曲管を1個含む埋設管モデルについて液状化耐震設計を行うための設計対象条件を検討している。すなわち、傾斜地盤と護岸背後地盤での各々内曲げ、外曲げ変形のうち、最も曲管の変形が大きくなる場合を設計対象モデルとしており、この研究成果をもとに標準解析モデルを図-5～図-8のように設定した。

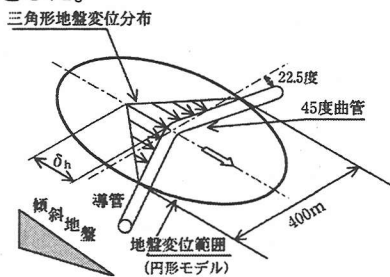


図-5 傾斜地盤、内曲げ

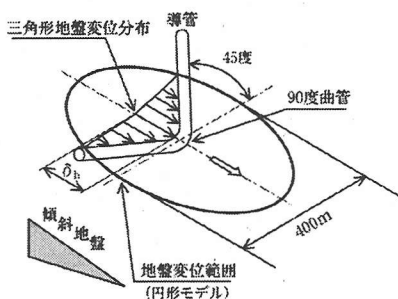


図-6 傾斜地盤、外曲げ

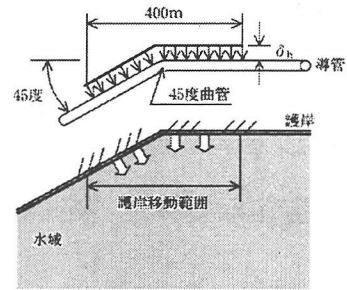


図-7 護岸背後地盤、内曲げ

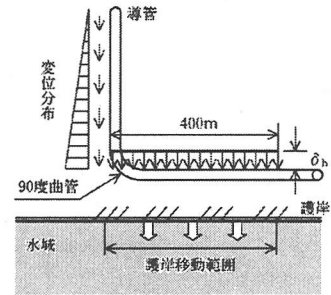


図-8 護岸背後地盤、外曲げ

2.2 解析条件

埋設管は600A, 400A, 150Aの3種類の管径を対象とした。その諸元を表-1に示す。管厚分布、応力-ひずみ関係、要素分割については著者らの研究^{3), 6)}と同様に設定し、解析コードはABAQUSを使用した。

表-1 埋設管の諸元

	600A	400A	150A
管径(mm)	610	406.4	165.2
管厚(mm)	15.1	7.9	7.1
材質	X65	X52	STPG370
曲管角度(°)	90,45		
曲率半径(mm)	1829	609.6	228.6
内圧(MPa)	8.9	7.5	5.6

2.3 解析ケース

本研究では地盤拘束力が埋設管の変形に与える影響を検討するため、管軸直角方向地盤拘束力 σ_c と管軸方向地盤拘束力 τ_c について既存の研究⁷⁾でいわれている σ_c 、 τ_c の変動範囲内で値を数種類変化させて解析を行った。解析ケースを表-2に示す。

表-2 解析ケース

単位(N/cm ²)					
600A		400A		150A	
σ_c	τ_c	σ_c	τ_c	σ_c	τ_c
26	1.0	18	1.8	26	1.0
16	1.8	18	1.8	25	1.8
16	1.5	18	1.5	25	1.5
8	1.0	8	1.0	8	1.0

3. 解析結果

傾斜地盤の内曲げモデル、外曲げモデルおよび護岸背後地盤の外曲げモデルの解析結果を示す。

3.1 傾斜地盤モデルの結果

(1) 管軸直角方向地盤拘束力 σ_c の影響

管径600Aの埋設管モデルにおいて σ_c を 26N/cm^2 と 8N/cm^2 にそれぞれ設定した場合の結果を示す。

a) 内曲げモデルの結果

$\sigma_c=26\text{N/cm}^2$ 、 $\tau_c=1\text{N/cm}^2$ の場合で地盤変位3mにおける曲管部周辺の変形図を図-9に示す。曲管の中央部で局部座屈が発生し、直管部がたわみながら変形が進行しており、地盤拘束力 σ_c を約1/3に低減させた場合でも全体の変形の傾向は同じであった。曲管に発生した曲げ角度と地盤変位の関係について管軸直角方向地盤拘束力 σ_c が 26N/cm^2 の場合とその約1/3の 8N/cm^2 の場合とを比較したものを図-10に示す。曲げ角度は地盤変位2m以降、直線的に増加する傾向が見られ、 σ_c が約1/3になると地盤変位5mにおいて曲管の曲げ角度は約44%低減される。



図-9 変形図(内曲げ, $\sigma_c=26\text{N/cm}^2$, $\tau_c=1.0\text{N/cm}^2$)

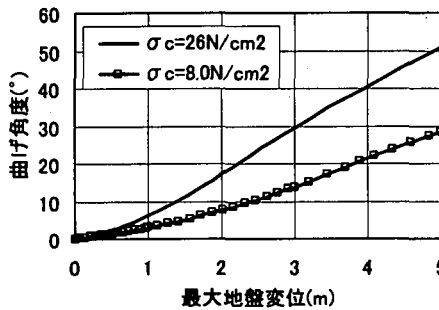


図-10 曲げ角度と地盤変位の関係(600A、内曲げ)

b) 外曲げモデルの結果

$\sigma_c=26\text{N/cm}^2$ 、 $\tau_c=1\text{N/cm}^2$ の場合で地盤変位3mにおける曲管部周辺の変形図を図-11に示す。内曲げに比較して曲管の変形は小さく、局部座屈による変形は見られない。曲管に発生した曲げ角度と地盤変位の関係について管軸直角方向地盤拘束力 σ_c が 26N/cm^2 の場合とその約1/3の 8N/cm^2 の場合とを比較したものを図-12に示す。曲げ角度は直線的に増加する傾向が見られ、 σ_c が約1/3になると地盤変位5mにおいて曲管の曲げ角度は約35%低減される。



図-11 変形図(外曲げ, $\sigma_c=26\text{N/cm}^2$, $\tau_c=1.0\text{N/cm}^2$)

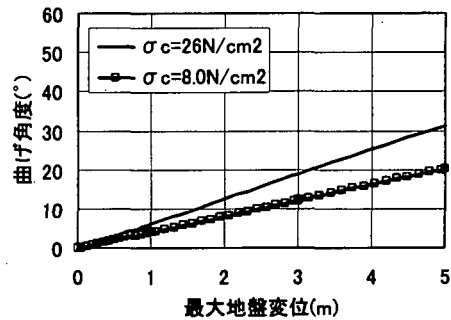


図-12 曲げ角度と地盤変位の関係(600A、外曲げ)

(2) 管軸方向地盤拘束力 τ_c の影響

管径600A, 400A, 150Aの内曲げモデルならびに外曲げモデルにおいて τ_c を 1.5N/cm^2 と 1.8N/cm^2 にそれぞれ設定した場合の曲管に発生する曲げ角度を比較した結果を図-13~図-15に示す。これによると600Aでは τ_c の影響はほとんど見られないが、400A, 150Aと管径が小さくなる場合では τ_c が大きくなると曲管の変形が低減される傾向が見られ、地盤変位5mにおいて曲げ角度が最大約14%減少する。この傾向は内曲げ変形の場合に特に顕著に現れる。 τ_c が大きくなると管軸方向の引張力(抵抗力)が大きくなり、曲管の曲げ変形を拘束するためと考えられる。

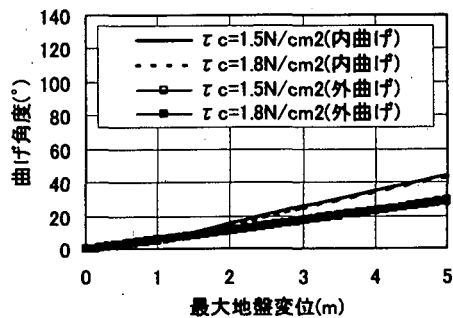


図-13 曲げ角度と地盤変位の関係(600A)

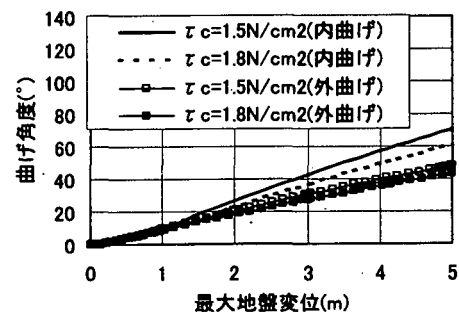


図-14 曲げ角度と地盤変位の関係(400A)

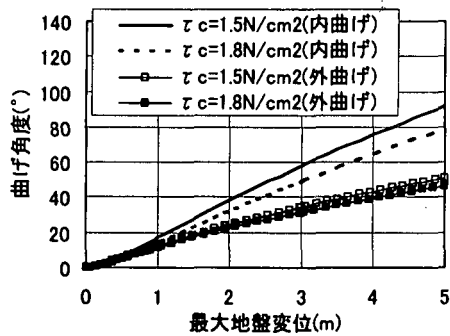


図-15 曲げ角度と地盤変位の関係(150A)

3.2 護岸背後地盤モデルの結果

管径600Aの外曲げモデル、 $\sigma_c=26\text{N/cm}^2$ 、 $\tau_c=1\text{N/cm}^2$ の場合で地盤変位3mにおける曲管部周辺の変形図を図-16に示す。管径600Aの外曲げモデルにおいて管軸直角方向地盤拘束力 σ_c を 26N/cm^2 と 8N/cm^2 にそれぞれ設定した場合の曲管に発生する曲げ角度を比較した結果を図-17に示す。曲管の変形挙動は傾斜地盤の外曲げとほぼ同じで、 σ_c が約1/3になると地盤変位5mにおいて曲管の曲げ角度は約46%低減される。

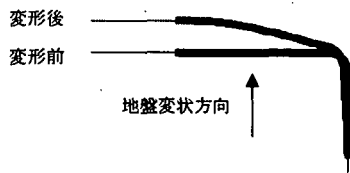


図-16 変形図($\sigma_c=26\text{N/cm}^2$, $\tau_c=1.0\text{N/cm}^2$)

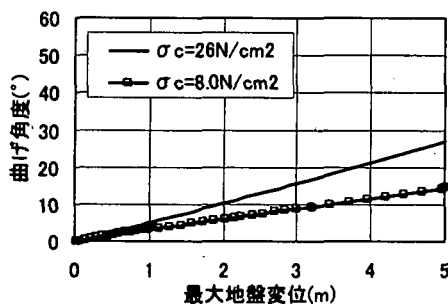


図-17 曲げ角度と地盤変位の関係

4. まとめ

液状化による側方流動を受ける埋設ガス導管の大変形挙動に対して地盤拘束力が与える影響をシェルはりハイブリッド解析により検討した結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 管軸直角方向の地盤拘束力が小さくなると、曲管に発生する曲げ角度は減少し、埋設管の変形が大幅に低減されることが明らかになった。

- (2) 管径の小さい曲管が内曲げ変形される場合は管軸方向の地盤拘束力 τ_c が大きくなると曲管に発生する曲げ角度は減少する傾向があることが明らかになった。

謝辞：本研究は通商産業省(現経済産業省)資源エネルギー庁が(社)日本ガス協会に委託し、平成8年度～平成12年度の5カ年で実施された「ガス導管液状化対策調査」の研究成果の一部をまとめたものであり、関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) K. Shimamura, M. Hamada, S. Yasuda, K. Ohtomo, Y. Fujita, S. Kojima and Y. Taji : Load on pipes buried in a non-liquefaction layer due to liquefaction-induced ground displacement, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000
- 2) K. Yoshizaki and N. Oguchi : Estimation of the deformation behavior of elbows for an earthquake resistant design, 11th World Conference on Earthquake Engineering, 1996.
- 3) 高田至郎, 小川安雄, 吉崎浩司, 北野哲司, 岡村一男 : 液状化側方流動を受ける埋設管の大変形挙動に関するハイブリッド弾塑性解析手法, 第10回日本地震工学シンポジウム, 1998.11
- 4) M. Satoh, R. Isoyama, M. Hamada, A. Hatakeyama : A procedure to assess the stability of buried structures against liquefaction-induced ground deformation, Third International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Louis, Missouri, April 2-7, 1995
- 5) S. Takada, Y. Ogawa, N. Hosokawa, T. Kitano, K. Okamura and T. Kuwajima : Analysis of causal factors generating large-scale deformation patterns in buried pipeline under the influence of lateral flows by liquefaction, 12th World Conference on Earthquake Engineering, 2000
- 6) 高田至郎, 鈴木崇伸, 小池武, 小川安雄, 細川直行, 北野哲司, 岡村一男, 桑嶋健 : 液状化側方流動を受ける埋設管の非線形挙動解析, 構造工学論文集 Vol.46A, 2000.3
- 7) 高圧ガス導管耐震設計指針, (社)日本ガス協会, 2000