

氏 名	みや じま まさ かつ 宮 島 昌 克
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2355 号
学位授与の日付	平 成 2 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on Seismic Response of Buried Pipelines Induced by Soil Liquefaction (地盤液状化による埋設管路の地震時応答に関する研究)
論文調査委員	(主 査) 教 授 土 岐 憲 三 教 授 柴 田 徹 教 授 山 田 善 一

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、液状化による埋設管路の破壊状況を震害資料より明らかにするとともに、模型振動実験を通じて液状化時の埋設管路の挙動を把握し、被害予測を行うための埋設管路の挙動の解析手法を提案したものであり、7章から構成されている。

第1章は緒論であり、ライフライン工学における研究の現況を概観し、本研究の位置づけを明らかにするとともに、本論文の構成を述べている。

第2章では、埋設管路に大きな被害をもたらした新潟地震と日本海中部地震の埋設管路の震害データを地盤特性との関係で整理し、考察している。また、管路に関する各種要因、地盤に関する各要因、地盤液状化の程度、液状化に伴う地盤の永久変位の大きさなどを要因とし、数量化理論Ⅰ類を用いて多変量解析を行っている。その結果、N値や地下水位などの地盤特性に関する特定の要因と埋設管路の被害率との間には明確な相関が見いだせないが、地盤特性に関する各要因と地震動特性の両者がかかわる液状化現象との間には強い相関のあることを明らかにしている。

第3章では、液状化時の埋設管路の挙動を把握するために模型振動実験を行っている。その結果より、埋設管路のひずみはその発生機構の違いにより、振動成分である動ひずみと、管の浮上などによって生ずる管の曲げ変形に伴う残留ひずみとに分けて取り扱うのがよいことを指摘している。また、動ひずみの発生機構について考察し、動ひずみの発生要因を過剰間隙水圧比との関係で捉えて整理すると、実験結果をよく説明することのできることを明らかにしている。

第4章では、有限要素法により液状化地盤の地震応答解析を行い、その応答を伝達マトリックス法を用いた埋設管路の挙動解析プログラムに組み込むという手法を提案するとともに、液状化過程における地下水位の上昇を考慮した上で、液状化地盤における埋設管路の動的挙動を解析している。地下水位の上昇を考慮することにより、管路より深いところにある飽和砂層の液状化により、管路の埋設されている不飽和砂地盤が液状化する場合の管路の動的挙動を解析することのできることを示している。

第5章では液状化する地盤としない地盤との間にある遷移領域にある管路の挙動について検討を行って

いる。まず、遷移領域を含む模型地盤について模型振動実験を実施し、液状化遷移領域や構造物との接合部においては動ひずみよりも残留ひずみが卓越することを明らかにしている。さらに、液状化遷移領域における埋設管路に作用する外力を、浮力、地盤沈下、地盤振動によるものに分類し、それぞれによる管路の応答を解析する手法を示し、それぞれが管路の応答に及ぼす影響について検討している。

第6章では日本海中部地震の際に観測された地盤の永久変位のデータを液状化地盤と非液状化地盤とに分けて整理し、地盤の傾斜と永久変位の特性を把握するために、模型砂層を用いた振動実験を実施している。その結果より、地盤の傾斜と直角方向の永久変位の分布形状は正弦波で近似できることを明らかにするとともに、液状化の生ずる領域の大きさが永久変位の大きさを決定する一要因であることを指摘している。さらに、液状化に伴う地盤の永久変位を受ける埋設管の挙動の解析手法を提案している。数値解析及びシミュレーションより、管路の周辺地盤が十分に液状化しておらず、それより下の層が液状化することによって永久変位の生ずる場合が、埋設管路にとって最も危険であることを指摘している。

第7章では、本論文の各章で得られた主要な成果を要約するとともに、耐震設計に対する提言と残された問題点について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

都市ガスや上下水道で代表されるライフライン施設は大都市の市民の日常生活にとって不可欠であるが、それらを供給する施設のうち地下に埋設されている管路は地震動による被害を受け易い。1971年のサンフェルナンド地震や1978年の宮城県沖地震に際してはガス供給施設は復旧に1カ月近くを要し、その間多くの市民が日常生活に難渋した。特に、地盤が液状化した場合には被害の程度が高く、これまでの中程度の強さの地震動によっても多大の被害を被っているにもかかわらず、埋設管路の地震時の挙動やその被害対策などについての研究は十分ではない。本研究はこのような問題を理論解析ならびに振動実験を通じて解明するために行ったものであり、得られた主な成果は以下の通りである。

1. 1964年の新潟地震と1983年の日本海中部地震に際しての被害調査資料に基づいて、埋設管路の被害率と地盤条件との関係について多変量解析を行い、液状化現象が最も強い相関を持つことを明らかにした。

2. 液状化した地盤内にある管路構造物の挙動に関する模型振動実験を行い、液状化時に管路に生じるひずみは液状化に起因する浮力によるものと、振動外力によるひずみとに分けて扱うことができ、動ひずみは過剰間隙水圧と密接な関係にあることを、その発生機構についての解析から明らかにした。

3. 液状化していない領域から液状化した領域へと移る遷移領域を含む地盤における管路の挙動についても振動実験を実施し、動ひずみよりも場所による地盤変位の差異によるひずみが卓越することを見いだした。管路への作用力は浮力、震動によるものならびに液状化後の地盤が沈下によるものに分類し、それぞれの割合を定量的に示した。

4. 液状化地盤の挙動に関する地震応答解析を実施し、そのときの地盤の応答値を入力として埋設管路の挙動を伝達マトリックス法を用いて解析する方法を考案した。この手法を用いて、液状化地盤中の地下水位の上昇をも考慮して、埋設管路の動的な挙動の解析を実施した。この解析では、管路の埋設深さよりも深いところでの液状化により、地下水位が上昇する過程をも取り入れることに成功しており、不飽和地

盤における埋設管路の挙動について新しい知見を得た。

5. 日本海中部地震に際して液状化した地盤の水平移動に関する解析を行い、基盤の傾斜角度が数度程度の地盤でも水平方向への残留変位が生じることを見出した。このような現象を振動実験によって検証するとともに、地盤の傾斜と直行する方向への移動変位の平面分布形状がほぼ正弦波状になること、ならびに数メートルにも達する移動量の大きさは液状化する範囲の広さに左右されることを明らかにした。

6. 水平移動を伴う液状化地盤中での埋設管路の挙動についても解析を行い、埋設管路に対して最も危険な状態は管路周辺の地盤は液状化していない状態で、それよりも深い地盤が水平移動を伴うような液状化を生じた場合であることを指摘している。

以上を要するに、本論文は、液状化した地盤中における埋設管路の被害について、実際の震害データに基づいて、被害と液状化の程度との関係を見いだすとともに、理論的、実験的研究を実施して、液状化した地盤中での埋設管路の動的挙動についての解析方法を提案し、水平移動を伴うような液状化時をも含めて、管路の受けるひずみ量の推定式を提案したものであり、その成果は学術上、実際への応用において寄与するところが少なくない。よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成2年2月1日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。