

大規模地盤変状が耐震継手ダクタイル鉄管の挙動に及ぼす影響に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2021-07-09 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 森本, 皓一, MORIMOTO, Koichi メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/00062885

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



(学位論文要旨)

大規模地盤変状が耐震継手ダクタイル鉄管の挙動に
及ぼす影響に関する研究

Study on Behavior of Seismic Type Ductile Iron Pipes Influenced by Large
Ground Deformation

金沢大学大学院 自然科学研究科

専攻：環境デザイン学専攻

学籍番号：1824052007

氏名：森本 皓一

An earthquake and heavy rain have caused large-scale ground deformations. Therefore, buried water pipelines were damaged seriously. Seismic type ductile iron pipes have not been damaged after the large-scale ground deformation. But there were few cases that seismic type pipelines were buried at the sites occurring large ground deformations.

Ground deformations have been classified by type, such as liquefaction, embankment failure. On the other hand, the pipeline behavior influenced by different type of ground deformation may show similar behavior, because the pipeline behavior researches after ground deformations and the pipeline behavior confirmation tests showed that some joints of pipeline extend, contract, or bend. If the pipeline behavior influenced by different type of ground deformations show similar behavior, we will be able to implement similar countermeasures for ground deformation. However, there are few study cases to compare the ground deformations by using the behavior of seismic type pipeline.

In this study, we analyze the behavior of seismic type pipeline influenced by ground deformation, and consider whether it is possible to deal with different type cases of ground deformation as the same classification. As a result, we confirmed that it is possible to deal with all ground deformations as the same classification in terms of the axial force.

1. 序論

我が国では、地震や大規模降雨に起因して大規模な地盤変状が発生し、埋設された水道管にも大きな被害を及ぼしてきた。耐震継手ダクタイル鉄管は継手部に伸縮、屈曲、離脱防止性能を有するため、大規模な地盤変状を受けても管路が損傷せず通水機能を維持した実績があるが、大規模地盤変状発生地点に耐震継手ダクタイル鉄管が埋設されていた事例は限られる。

地盤変状は、これまで発生要因や発生地点の地形的特徴により液状化や盛土崩壊といったタイプ別に分類され、埋設管の地盤変状対策もタイプ別に異なる対策が実施されてきた。耐震継手ダクタイル鉄管であれば、複数の継手が伸縮、屈曲して地盤変状に追従することが地盤変状を受けた管路の挙動調査や挙動確認実験により確認されているため、異なるタイプの地盤変状を受けても管路挙動は同様の傾向となる可能性が高い。管路挙動が同様の傾向となれば、耐震継手ダクタイル鉄管を用いた地盤変状対策をより効率的に実施できるものと期待できる。ただし、地盤変状をタイプ別に分類せずに耐震継手ダクタイル鉄管の挙動から比較検討した研究は数少ない。

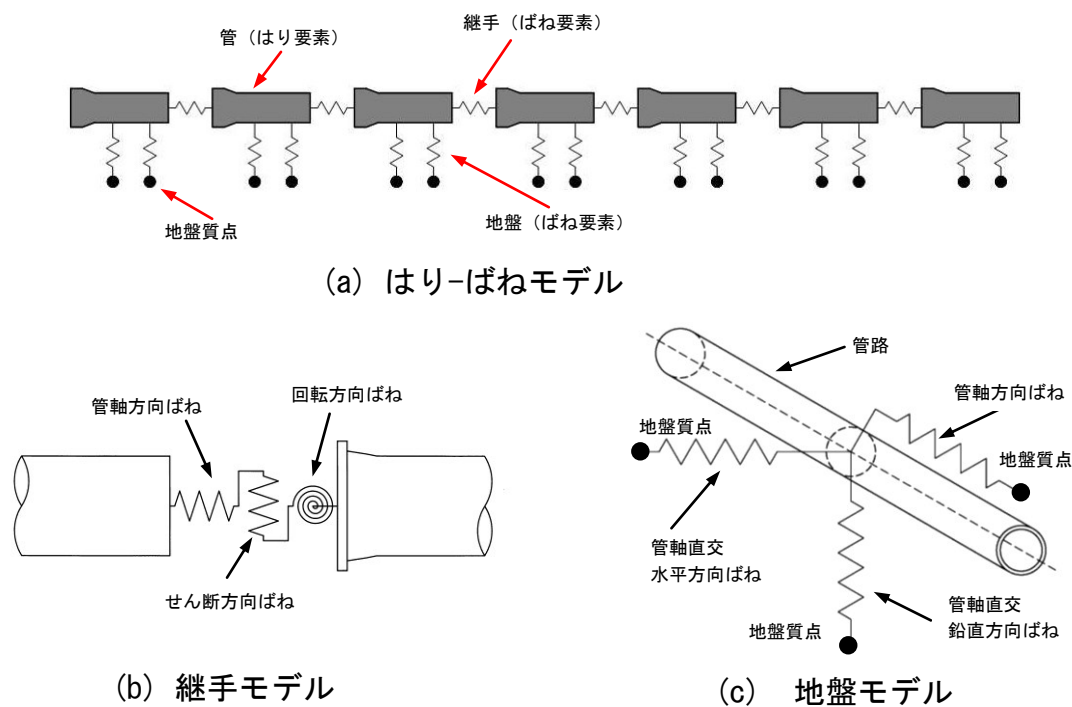


図1 解析モデル

そこで本研究では、数値解析により地盤変状を受けた管路の挙動を予測し、それらの結果を基に従来は異なるタイプとして分類される地盤変状事例を同一の分類で扱うことが可能か検討した。

2. 液状化による地盤変状を受けた管路の挙動解析

2.1. 液状化を受けた管路挙動の解析方法

管体をはり要素、継手や管路周辺地盤をばね要素でモデル化したはり-ばねモデルを用いて、管路挙動解析を実施した。図1に、解析モデルを示す。管同士を継手ばね要素で接続し、管と地盤質点とを地盤ばね要素で接続した。解析モデルの地盤質点に液状化地盤で計測された地盤変位を入力して、管路の挙動を求めた。

図2に、耐震継手ダクタイトイル鉄管の一例として、NS形の継手構造を示す。耐震継手ダクタイトイル鉄管は管路に作用する外力を継手の伸縮や屈曲で吸収する構造を有する。さらに、大きな引抜き力や曲げモーメントが継手に作用した場合、ロックリングと挿し口突部がかかりあい継手の離脱を防止するため、 $3D$ kN (D : 呼び径 (mm)) の引抜き力や大きな曲げモーメントに耐えることが可能となる。図3に、継手性能試験等から設定した継手ばね特性の概要を示す。管軸方向、回転方向においては、継手ばね定数を非線形で設定した。

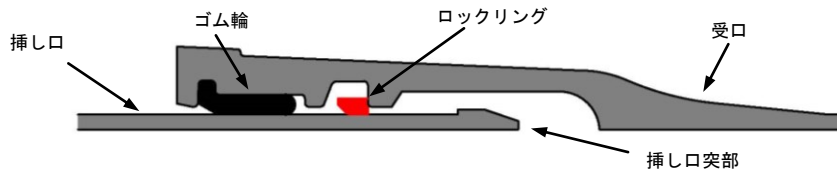


図2 NS形ダクタイトイル鉄管の継手構造

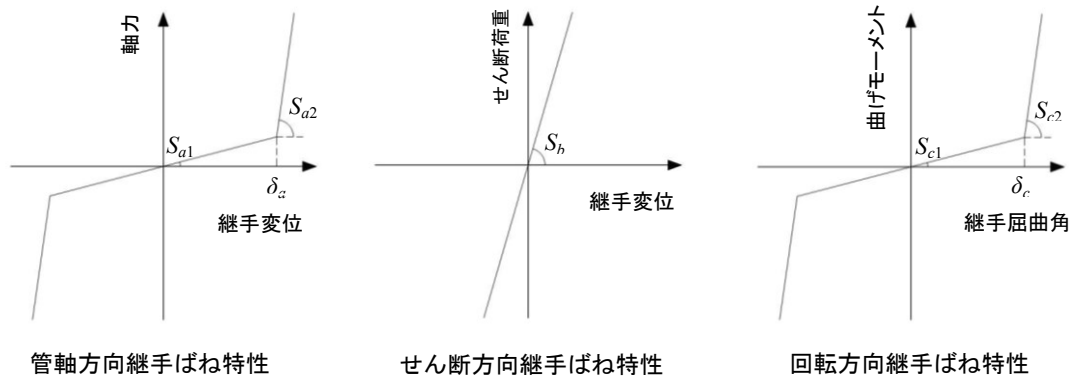


図3 耐震継手ダクタイトイル鉄管の継手ばね特性

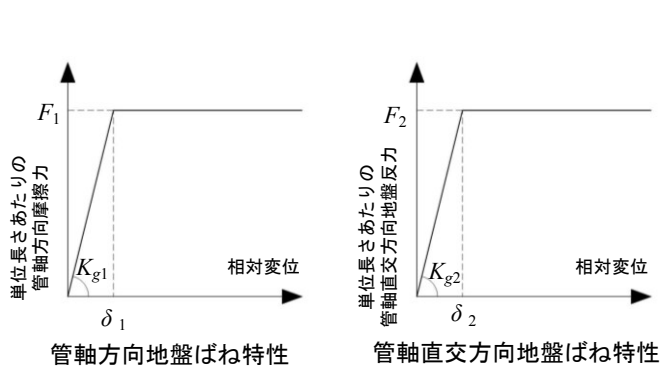


図4 地盤ばね特性

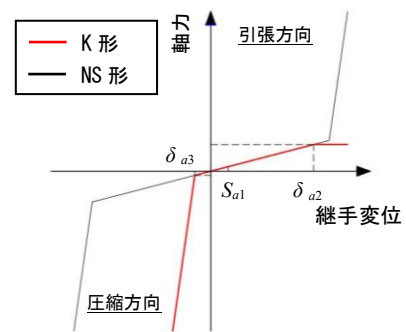


図5 K形の管軸方向継手ばね特性

地盤ばね特性は、アメリカライフライン協定（以降 ALA と記す）の提案式に基づき設定した。図4に地盤ばね特性の概要を管軸方向、管軸直交方向それぞれで示す。

2.2. 液状化を受けた管路挙動解析方法の妥当性確認

1995年兵庫県南部地震時に発生した液状化により非耐震のダクタイトイル鉄管であるK形の継手抜け被害が多数発生した。そこで、呼び径200 K形継手の被害状況を模擬して、管路挙動解析を実施した。図5に、K形の管軸方向継手ばね特性を示す。

図6に解析対象区間におけるK形の継手伸縮量を示す。解析対象とした区間

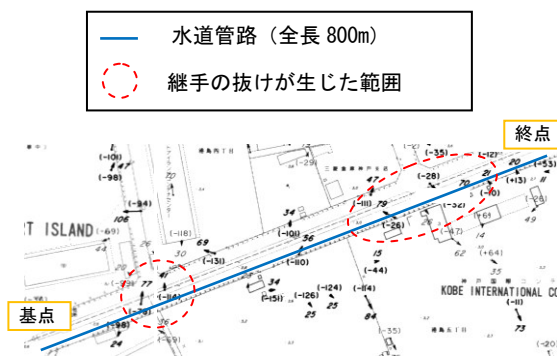
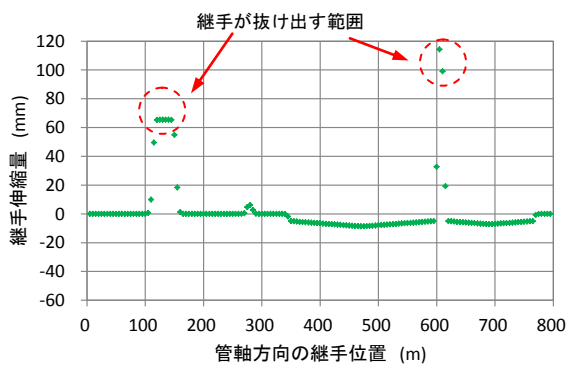
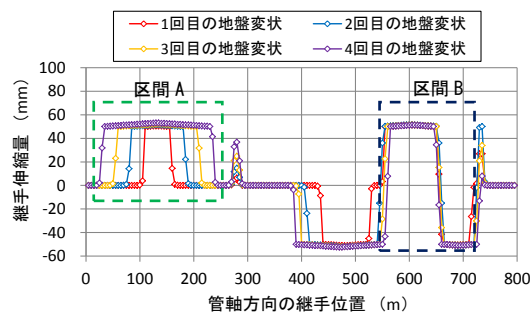
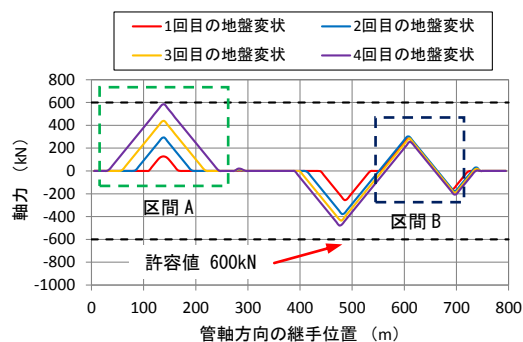


図 6 K 形の継手伸縮量



(a) 継手伸縮量



(b) 軸力

図 7 複数回の液状化による地盤変状を受けた NS 形の管路挙動

のうち、地震により継手の抜けが生じた範囲と生じなかった範囲を解析で再現できたことから、解析方法は妥当であると判断した。

2.3. 複数回の液状化による地盤変状を受けた管路挙動の検証

近年経験したことのない現象に対し構造物が最低限の機能を維持できるように備える「危機耐性」と呼ばれる考え方が、重要視されつつある。耐震継手ダクタイル鉄管が複数回の地盤変状を受けた事例は今まで報告されていなかったため、複数回の地盤変状を受けた管路がどのように挙動するか明らかになっていない。

そこで、危機耐性の一環として K 形が埋設されていた区間に耐震継手ダクタイル鉄管である呼び径 200 NS 形が埋設されていたと想定し、液状化に起因する地盤変状を複数回与えて管路の挙動解析を実施した。図 7 に、一例として複数回の地盤変状を受けた NS 形の継手伸縮量および発生軸力を示す。本研究では、地盤変状を 1 回目～4 回目まで管路に与え管路挙動を検証した。解析の結果、区間 1 と区間 2 では、継手伸縮量や軸力の分布が異なる傾向を示した。区間 A では地盤が管軸引張方向にのみ変位するため、管路が複数回の地盤変状を受ける

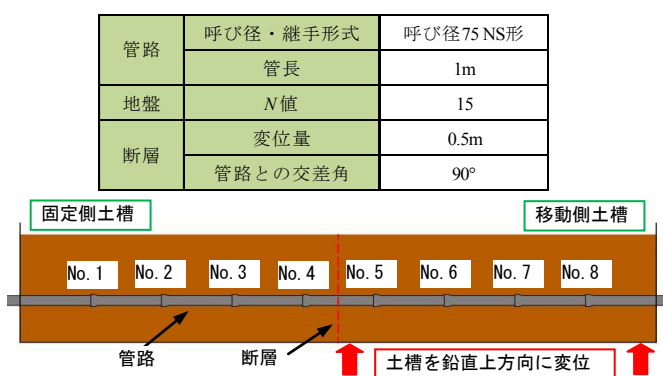


図8 断層変位を模擬した実験の条件

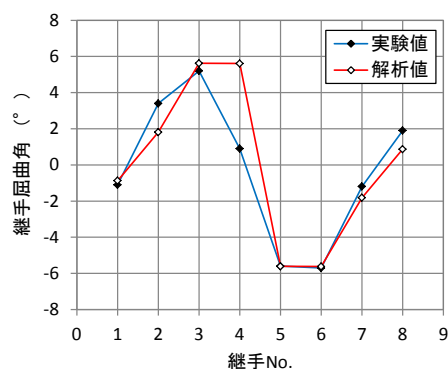


図9 継手屈曲角の比較結果

ことでその都度継手伸縮範囲や軸力発生範囲が増加することがわかる。一方で、区間 B では地盤が管軸引張方向に変位する範囲と圧縮方向に変位する範囲が近接するため、管路に作用する力を打ち消すように管路が挙動し、複数回の地盤変状を受けても継手伸縮範囲や軸力発生範囲が大きく変化しない結果となった。

3. 断層による地盤変状を受けた管路の挙動解析

金子らにより実施された断層変位を受けた呼び径 75 NS 形の挙動確認実験を模擬して、管路挙動解析を実施した。図 8 に実験条件を示し、図 9 に継手屈曲角を対象とした実験値と解析値との比較結果を示す。継手屈曲角が大きい継手 No.3、No.5、No.6 では概ね解析値は実験値を再現できているため、解析方法は妥当であると判断した。

4. 盛土崩壊による地盤変状を受けた管路の挙動解析

4.1. 盛土崩壊区間での地盤の剛性低下設定方法の検討

盛土崩壊現象は液状化や断層変位とは異なり、崩壊過程で地盤の大変形が進行するため、管路周辺地盤の剛性が低下すると考えられる。本研究で用いるはり-ばねモデルで盛土崩壊を受けた管路の挙動を解析する場合、地盤の大変形を再現するために地盤剛性が低下することを考慮したばね要素で地盤をモデル化する必要があると考えた。ただし、その具体的な方法は確立されていないため、本研究では野々山らが実施した一面せん断試験の結果を引用して、地盤の剛性低下を考慮して盛土崩壊時の管路挙動を解析する方法を検討した。図 10 に管路と盛土崩壊区間との関係を示す。崩壊区間外側では ALA の地盤ばね特性を、盛土崩壊区間では地盤の剛性低下を考慮した地盤ばね特性を用いた。

図 11 に、地盤の剛性低下を考慮した地盤ばね特性の概要を示す。地盤の剛性低下を考慮した場合には、管路と地盤との相対変位が増加するにつれて地盤ば

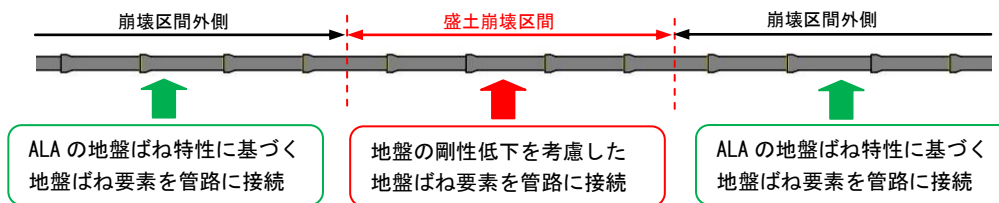


図 10 管路と盛土崩壊区間との関係

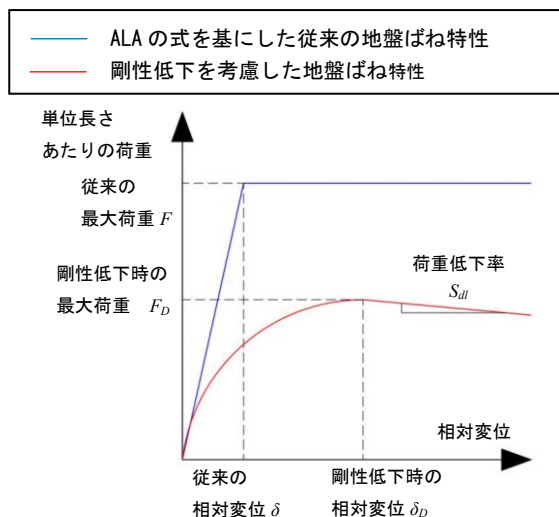


図 11 地盤の剛性低下を考慮した地盤ばね特性の概要

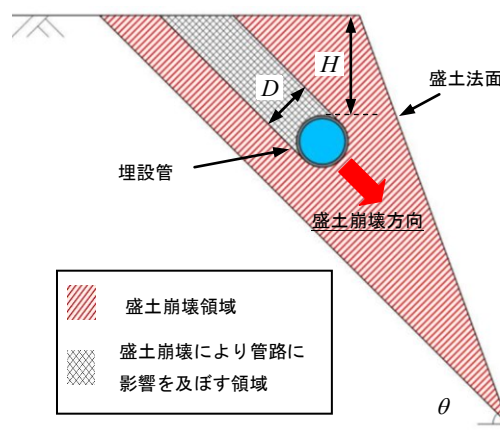


図 12 盛土崩壊時に管路に影響を及ぼす領域

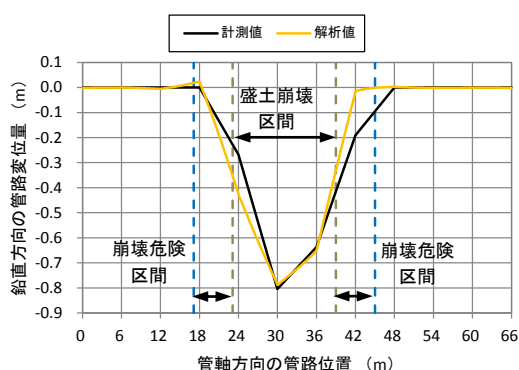
ね定数や管路に作用する荷重が低下するものとした。また、盛土崩壊領域のうち図 12 に示す管路影響領域の地盤を基に管路に作用する外力を算出した。

4. 2. 盛土崩壊を受けた管路挙動解析方法の妥当性確認

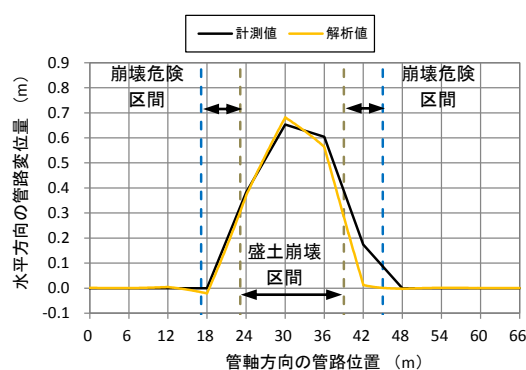
2004年の台風21号による盛土崩壊に伴い耐震継手ダクタイトイル鉄管である呼び径400 SII形が露出した事例を模擬して、管路挙動解析を実施した。図 13 に管軸直交方向管路変位を対象とした実験値と解析値との比較結果を示す。盛土崩壊区間に加え盛土崩壊区間外側に設定した崩壊危険区間でも地盤の剛性低下を考慮した結果、概ね解析値は計測値を再現できているため、解析方法は妥当であると判断した。

5. 国内で発生した地盤変状が耐震継手ダクタイトイル鉄管に及ぼす影響分析

液状化、断層、盛土崩壊に起因する地盤変状を受けた管路挙動解析の妥当性が確認されたため、大規模な地盤変状データが記録された地盤変状事例を対象に地盤変状発生地点に耐震継手ダクタイトイル鉄管である呼び径400 NS形が埋設さ



(a) 管軸直交鉛直方向



(b) 管軸直交水平方向

図 13 管路変位の比較結果

表 2 地盤変状事例の概要

ケース名	地盤変状	事例抽出方法	事例数
ケースA	液状化	管軸方向平均地盤ひずみが最大の事例	14
ケースB		管軸直交方向平均地盤ひずみが最大の事例	15
ケースC	断層	合成地盤変位が最大の事例、管路と地盤との交差角90°	33
ケースD		合成地盤変位が最大の事例、管路と地盤との交差角45°、正断層タイプ	21
ケースE		合成地盤変位が最大の事例、管路と地盤との交差角45°、逆断層タイプ	28
ケースF	盛土崩壊	管路に作用する土荷重を基に抽出した事例	5

れていたものと想定して、地盤変状を受けた管路挙動を数値解析により予測した。それらの結果を分析することで、従来は異なるタイプとして分類される地盤変状事例を同一の分類で扱うことが可能か検討した。

5.1. 対象とする地盤変状事例

表 2 に、分析対象とした液状化、断層、盛土崩壊に起因する地盤変状事例の概要を示す。

5.2. 地盤変状を受けた管路挙動の分析結果

耐震継手ダクティル鉄管は複数の継手が伸縮または屈曲することにより地盤変状に追従するため、地盤変状事例ごとに継手がどの程度の範囲で大きく伸縮、屈曲するか分析することで、地盤変状と耐震継手ダクティル鉄管の挙動との関係が明確になるものと期待できる。そこで、全ての地盤変状事例を対象に、軸力、継手屈曲角、軸方向応力の最大値とそれらの項目が許容値を超える範囲との関係を確認して、地盤変状タイプの違いが管路挙動にどのような影響を及ぼすか分析した。図 14 に、軸力、継手屈曲角、軸方向応力の最大値とそれらが許

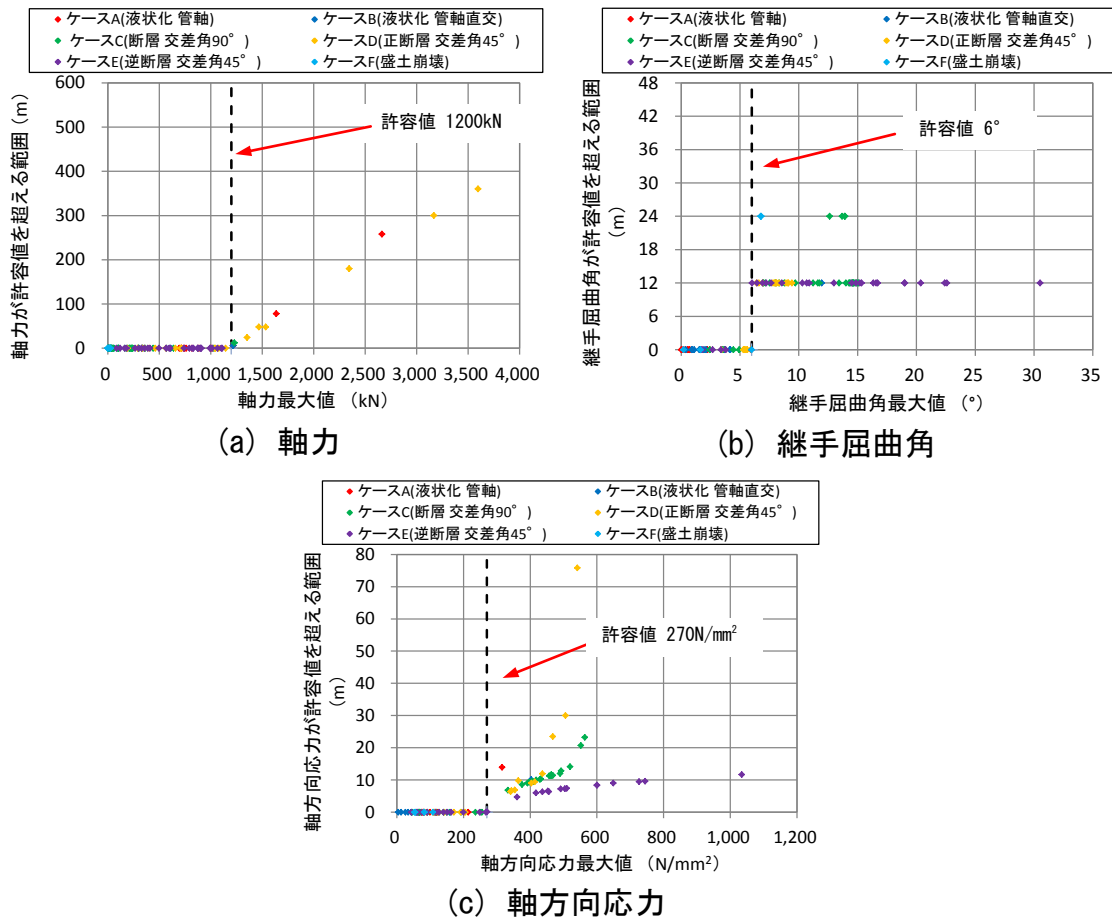


図 14 分析項目の最大値と分析項目が許容値を超過する範囲との関係

容値を超過する範囲との関係を示す。軸力に関しては、地盤変状のタイプに関わらず両者の関係は概ね一致していることが確認できる。一方で、継手屈曲角や軸方向応力に関しては、ケースによって両者の関係が異なることがわかる。

5.3. 分析結果を活用した地盤変状対策の検討

軸力については、軸力最大値と軸力が許容値を超過する範囲との関係は地盤変状のタイプに関わらず一致することが確認できたため、全ての地盤変状事例を同一の分類として扱った上で、対策方法を検討することとした。対策では、軸力が許容値を超えた事例を対象に、軸力が許容値を超過する範囲を基に地盤変状対策範囲を設定し、その範囲内で管長を短くする（対策案 A）、または通常継手と比較して継手伸縮量が大きい継ぎ輪を配置する（対策案 B）こととした。

図 15 に、対策案 A、B それぞれを用いて実施した地盤変状対策の結果を示す。結果より、対策前の軸力最大値が大きい事例ほど、対策案 A では管長を短くする、対策案 B では継ぎ輪の配置間隔を小さくすることで、軸力最大値を許容値

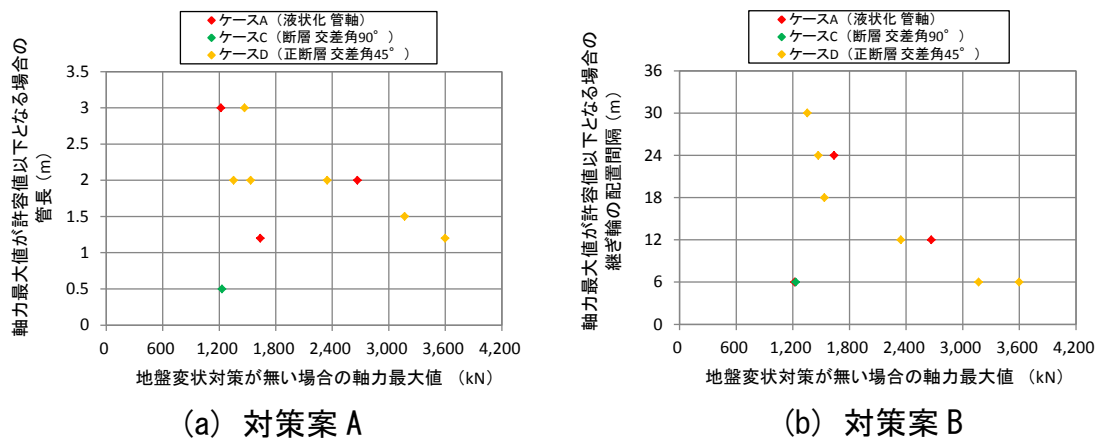


図 15 軸力を対象とした地盤変状対策の有効性確認結果

以下とすることが可能であることがわかる。また、異なるタイプの地盤変状事例であっても管路の地盤変状対策で得られる結果は概ね同様となるが、一部事例では地盤変状タイプの特性から他の事例とは異なる傾向を示した。

6. 結論

本研究のまとめを以下に述べる。

- ① 本研究で対象とした地盤変状である液状化、断層、盛土崩壊を受けた管路挙動解析方法の妥当性を確認するために、液状化や盛土崩壊を受けたダクティル鉄管の挙動計測値、および断層変位を受けた耐震継手ダクティル鉄管の挙動確認実験値と解析値とを比較した。その結果、いずれも解析値は計測値や実験値を再現できていることから、解析方法が妥当であることを確認した。
- ② 地盤変状を受けた管路挙動を数値解析により予測し、予測結果を分析することで従来は異なるタイプとして分類される地盤変状事例を同一の分類で扱うことが可能か検討した結果、軸力に関しては地盤変状のタイプに関わらず軸力最大値と軸力が許容値を超える範囲との関係は概ね一致するため、地盤変状を同一の分類で扱うことが可能であることが示唆された。
- ③ 継手屈曲角および軸方向応力に関しては、地盤変状のタイプによって両者の関係性が異なる結果となったため、地盤変状を従来通りタイプ別に扱うことが有効であると考えられる。

以上

学位論文審査報告書（甲）

1. 学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

大規模地盤変状が耐震継手ダクティル鉄管の挙動に及ぼす影響に関する研究

2. 論文提出者 (1) 所 属 環境デザイン学 専攻

(2) 氏 名 もりもと こういち
森本 皓一

3. 審査結果の要旨（600～650字）

本学位申請論文に関し、第1回審査委員会を開催し審査方法を決定するとともに、論文の内容について検討した。さらに令和3年1月26日に行われた口頭発表後に第2回審査委員会を開き、協議の結果、以下のように判定した。

本研究は、これまでに地震被害の報告のない耐震継手ダクティル鉄管を対象に、大規模な地盤変状、すなわち、液状化、断層、盛土崩壊に起因する地盤変状を受けた場合の管路挙動解析を行うとともに、管路の許容値を超える場合についての対策を提案したものである。まず、これまでに管路挙動が計測されている事例を収集し、そのデータをもとに管路の挙動解析を実施し、解析方法の妥当性を確認している。このとき、盛土崩壊時には地盤の大変形が進行するため、一面せん断試験の結果を引用して、地盤の剛性低下を考慮した地盤ばね特性を新たに提案した。大規模な地盤変状事例を対象として管路挙動解析を行ったところ、複数の事例で軸力、継手屈曲角、軸方向応力が許容値を超える結果となったため、危機耐性の観点から、特別な地盤変状対策を提案した。

以上の研究成果は、これまでに地震被害の報告のない耐震継手ダクティル鉄管の限界性能を明らかにするとともに、危機耐性の観点からの対策を提案しており、工学的価値が極めて高いと認められるので、本委員会は本論文が博士（工学）に値すると判定した。

4. 審査結果 (1) 判 定（いずれかに○印） 合 格 ・ 不合格

(2) 授与学位 博 士（工 学）