

計測地盤変位を用いた液状化地盤における 耐震継手ダクタイトイル鉄管の挙動検証

森本皓一¹ ・ 宮島昌克²

¹ 正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:k_morimoto@kurimoto.co.jp

² 正会員 金沢大学大学院 理工研究域 地球社会基盤学系 (〒920-1192 金沢市角間町)

E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

地震時に埋立地等の軟弱地盤では液状化現象に起因して大規模な地盤変位が生じ、埋設された水道管にも大きな被害を及ぼしてきた。耐震継手ダクタイトイル鉄管は継手部に伸縮性、屈曲性、離脱防止性を有するため、現在まで地盤変位による被害は発生していない。ただし、実際に生じた地盤変位により耐震継手ダクタイトイル鉄管がどのように挙動し耐震性を発揮するのか、詳細に検証された事例は数少ない。本研究では、1995年に発生した兵庫県南部地震後に計測された地盤変位を用いて、地盤変位が生じた位置に耐震継手ダクタイトイル鉄管が埋設されていたものと想定して管路の挙動解析を実施した。さらに、一度地盤変位を受けた管路が再び地盤変位を受けた場合に、管路の安全性を確保できるか検証した。

Key Words: *ground displacement measurement, liquefaction, ductile iron pipe, pipeline behavior analysis*

1. はじめに

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震は、マグニチュード7.3を記録した都市直下を震源とした地震であり、埋立地を中心に液状化現象に起因して大規模な地盤変位が発生した。地盤変位が生じた位置に埋設されていた水道管にも、多数の被害が発生した¹⁾。その中で、耐震継手ダクタイトイル鉄管は地盤変位が生じても継手部が伸縮または屈曲することで変位を吸収し、さらには離脱防止機構を有することから、被害は発生しなかった¹⁾。

東北地方太平洋沖地震等、他の大地震で発生した地盤変位においても、耐震継手ダクタイトイル鉄管に被害は発生していないが、実際に生じた地盤変位により、管路がどのような挙動を示して耐震性を発揮するのか、詳細に検証された事例は数少ない²⁾。

管路の挙動検証にあたり、実規模の水道管路を対象とした実験により管路挙動を確認することが望ましいが、広範囲に発生する地盤変位を実験で再現することは困難である。一方で数値解析を用いれば、管路や管路周辺地盤をモデル化し³⁾、地盤変位を地盤モデルに与えることで、管路の挙動検証が可能となる。また、兵庫県南部地震前後に実施された航空写真測量により、大規模な地盤変位が発生した埋立地での地盤変位が計測されている⁴⁾。

そこで本研究では、兵庫県南部地震で計測された地盤変位を用いて、管路の挙動解析を実施した。まず、水道管路に被害が生じた位置を解析対象位置とし、被害状況を解析で再現することで、解析手法の妥当性を確認した。次に、解析対象位置に耐震継手ダクタイトイル鉄管が埋設されていたものと想定して、実際に生じた大規模な地盤変位による耐震管の挙動を検証した。

また、2016年4月に発生した熊本地震では、最大震度7を観測する地震動が2度発生した。液状化地盤に埋設された管路に着目すれば、大規模な地震動が連続して発生した場合、管路が複数回の地盤変位を受けても耐震性を発揮し安全性を確保できるか、未だに明らかにはなっていない。

そこで、1度地盤変位を受けた耐震継手ダクタイトイル鉄管に対し、同じ地盤変位を与えて管路の挙動解析を実施し、2度目の地盤変位を受けても管路の安全性を確保できるか検証した。

2. 計測地盤変位を用いた管路の挙動解析手法

(1) 解析対象位置

兵庫県南部地震後に、兵庫県神戸市長田区から西宮市

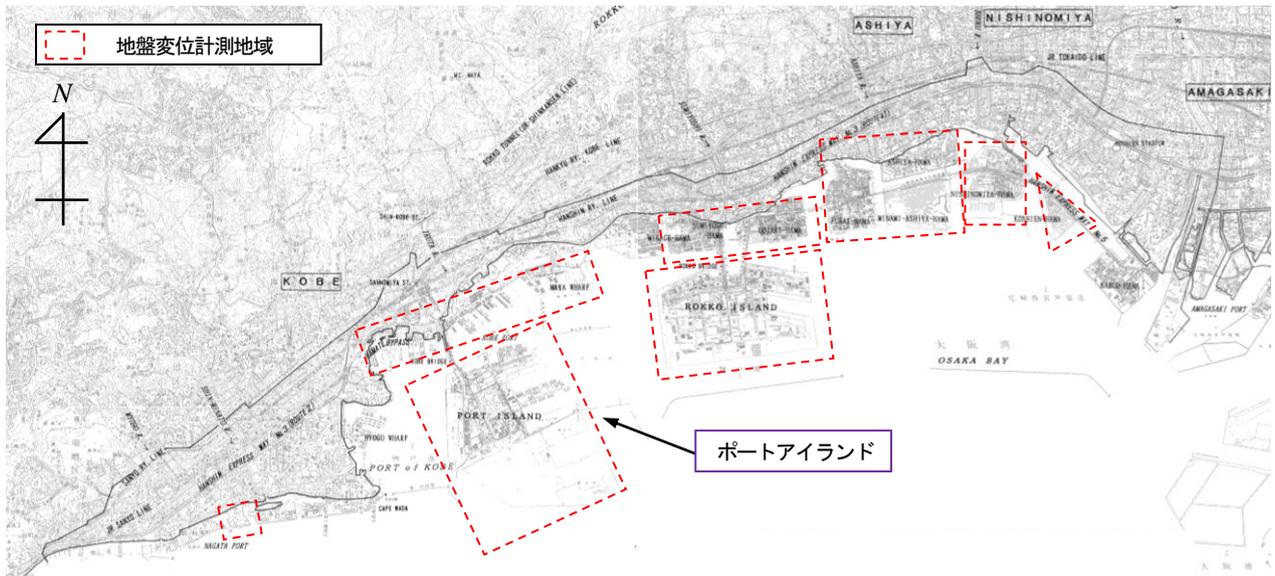


図-1 兵庫県南部地震後に地盤変位が計測された地域⁴⁾

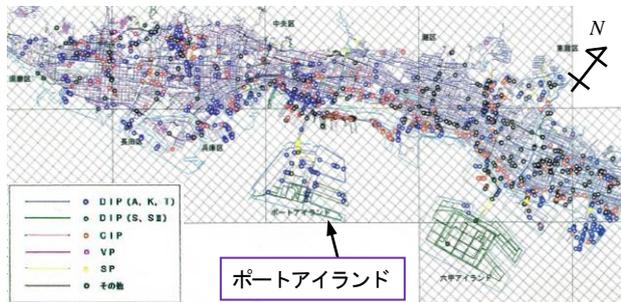
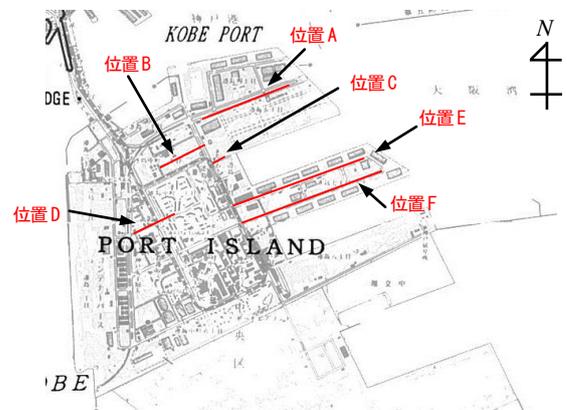


図-2 兵庫県南部地震時の神戸市での水道管被害箇所¹⁾

にかけて、沿岸部や埋立地を中心に地盤変位が計測された⁴⁾。図-1に、地盤変位が計測された地域を示す。一方で、地震後に水道管の被害調査が実施された¹⁾。図-2に、神戸市における水道管の管種別被害プロット図を示す。図-2より、沿岸部や埋立地で多数の水道管に被害が発生したことが確認できる。

解析対象位置の選定にあたり、まず直線管路で多くの継手に抜けが生じた神戸市のポートアイランドに着目した。次に、管路が直線上に埋設されており、かつ継手の抜けが発生した位置を抽出し、位置 A～Fとした。なお、兵庫県南部地震では液状化現象が発生した場合、護岸から 100m 以内の領域では護岸の移動による側方流動の影響が大きいことが確認されている⁵⁾。本研究では、液状化そのものに起因する地盤変位を受けた管路の挙動を検証するため、護岸から 100m 以上離れた人工島内陸部を抽出対象とした。図-3に抽出した位置を、区間長、地盤変位計測数、継手の抜け発生数と併せて示す。図-3より、位置 A では地盤変位計測データや継手の抜けに関する情報が複数得られていることが確認できる。以上より、位置 A であれば継手の抜けが生じた範囲と生じなかった範囲を解析で算出し実際の継手状況との比較が可能と期待できることから、位置 A を解析対象位置とした。



	区間長	地盤変位計測数	継手の抜け発生数
位置A	800m	7	4
位置B	390m	2	1
位置C	80m	1	2
位置D	400m	1	5
位置E	1140m	1	3
位置F	1200m	8	1

図-3 ポートアイランド内で継手の抜けが確認された位置

(2) 管路モデル

a) 解析対象とする継手の構造

解析対象位置では、呼び径 200 A 形、K 形、T 形継手のいずれかで構成された管路が埋設されていた。図-4に、A 形、K 形、T 形の継手構造を示す。A 形継手は、挿し口と受口の間に挿入したゴム輪をボルト・ナットにより締め付けることで止水するメカニカルタイプの継手であり、K 形継手は A 形継手よりも水密性を向上させた継手である。一方で、T 形継手は受口にゴム輪を預けた後に挿し口を挿入することで、ゴム輪を圧縮止水するプッシュオンタイプの継手である。

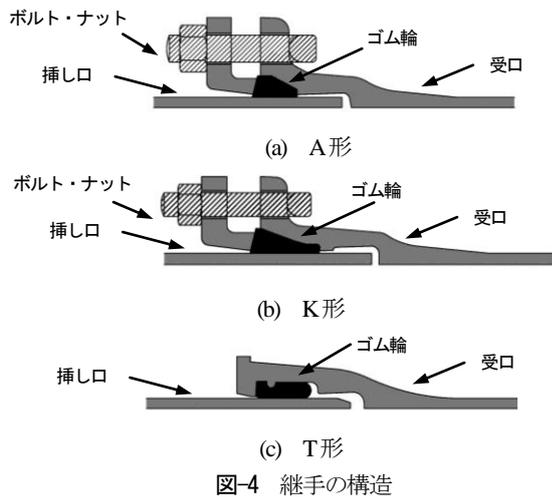


図-4 継手の構造

$$R_m = C_p \times C_d \times R_L$$

R_m : 推定被害率 (件/km)
 C_p : 管種・継手補正係数
 C_d : 口径補正係数
 R_L : 標準液状化被害率 (件/km)

	A形継手	K形継手	T形継手
管種・継手補正係数 C_p	1	0.5	0.8

図-5 液状化地盤での管路被害予測式⁹⁾

ここで、水道技術研究センターで確立された、液状化の情報をもっており、かつ液状化の可能性のある場合の管路被害予測式⁹⁾を図-5に示す。本式は、地震による管路被害データを基に確立されたもので、被害データには継手の抜けが含まれている。K形継手はA形継手、T形継手と比較して、予測式で用いる管種・継手補正係数 C_p が小さいため、管路1kmあたりに推定される被害率が低くなることが確認できる。以上より、K形継手を解析対象として解析で継手の抜けを再現できれば、より継手の抜けが生じやすいA形、T形継手を対象とした場合でも、解析で継手の抜けが再現できると考えられる。

そこで、本研究では解析対象をK形定尺5m管と想定した。まず、地震後のK形の継手状況と解析結果を比較することで、解析手法の妥当性を確認した。次に、同じ位置に耐震継手ダクタイル鉄管である呼び径200NS形ダクタイル鉄管(以下NS形)定尺5m管が埋設されていたものと想定して、管路の挙動解析を実施した。

図-6にNS形の継手構造を示し、図-7にNS形の継手挙動を示す。図-4(b)および図-6に示す通り、K形継手、NS形継手共に継手の伸縮や屈曲で管路に作用する外力を吸収する構造である。さらに大きな引抜き力が継手に作用した場合、K形継手は離脱防止機構を有さないため、継手が抜けてしまう。一方で、NS形継手は継手に大きな引抜き力が作用した場合でも、ロックリングと挿し口突部がかりあい継手の離脱を防止するため、3DkN

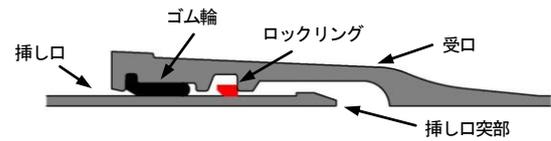
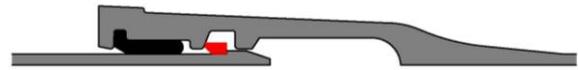
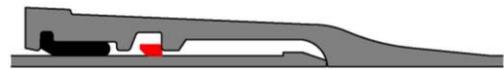


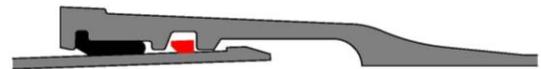
図-6 NS形継手の構造



(a) 継手が伸びきった場合



(b) 継手が縮みきった場合



(c) 継手が屈曲した場合

図-7 NS形の継手挙動

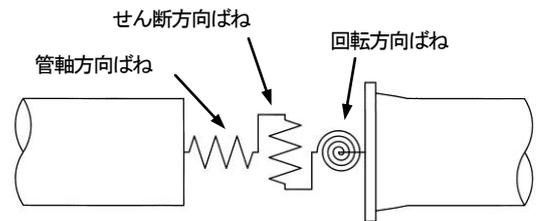


図-8 継手モデル

(D:呼び径)の引抜き力に耐えることが可能となる。

b) 継手ばね特性

本研究では、管を剛体要素で、継手をばね要素でモデル化した。図-8に、継手モデルの概要を示す。継手の挙動を表現するために、ばね要素を管軸方向、せん断方向、回転方向にそれぞれモデル化した。

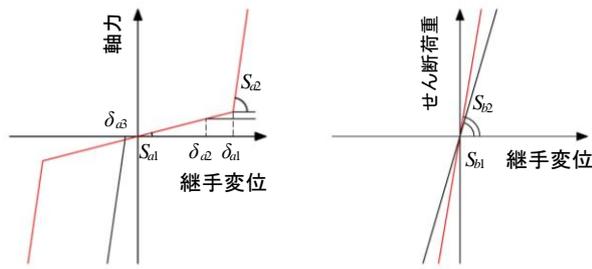
継手ばね特性は、実験に基づき設定した。図-9にNS形、K形の継手ばね特性を示す。なお、K形における管軸方向および回転方向の継手ばね特性は、NS形の継手ばね特性を基に、離脱防止機構が作用しないものと想定して、設定した。

(3) 地盤モデル

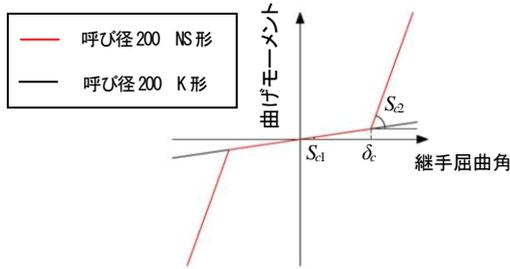
図-10に、地盤モデルの概要を示す。管路周辺地盤をばね要素でモデル化し、管路に対して管軸方向および管軸直交方向に接続した。

a) 地盤ばね定数

地盤ばね特性は、応答変位法による耐震計算⁷⁾を基に設定した。管軸方向の地盤ばね定数 S_{gl} を式(1)で、管軸



管軸方向継手ばね特性 せん断方向継手ばね特性



回転方向継手ばね特性

管軸方向ばね	せん断方向ばね	回転方向ばね
S_{a1}	S_{b1}	S_{c1}
832 (kN/m)	1,440,000 (kN/m)	577,494 (kN・m ⁻¹)
S_{a2}	S_{b2}	S_{c2}
281,293 (kN/m)	2,496,000 (kN/m)	9,236,770 (kN・m ⁻¹)
δ_{a1}		δ_c
50 (mm)		5.3 (°)
δ_{a2}		
35 (mm)		
δ_{a3}		
-5 (mm)		

図-9 ダクタイル鉄管の継手ばね特性

直交方向の地盤ばね定数 S_{g2} を式(2)で算出した。

$$S_{g1} = L_s K_{g1} \quad (1)$$

$$S_{g2} = L_s K_{g2} \quad (2)$$

$$K_{g1} = C_1 \frac{\gamma_t V_s^2}{g} \quad (3)$$

$$K_{g2} = C_2 \frac{\gamma_t V_s^2}{g} \quad (4)$$

$$V_s = 61.8N^{0.211} \quad (5)$$

L_s は 1 本の地盤ばねが受けもつ管路の単位長さであり、100mm とした。 K_{g1} および K_{g2} は、それぞれ管軸方向、管軸直交方向における単位長さあたりの地盤剛性係数である。 C_1 および C_2 は、それぞれ管軸方向、管軸直交方向における地盤剛性係数に対する定数である。 一般には、 C_1 は 1.5 程度、 C_2 は 3 程度になることが想定されることから⁷⁾、 $C_1=1.5$ 、 $C_2=3.0$ とした。 γ_t は土の単位体積重量、 g は重力加速度、 V_s はせん断弾性波速度、 N は地盤の N 値である。 解析対象位置の地盤が砂質土で構成され相対密度がゆるいものと想定して、土の単位体積重量を 16kN/m^3 ⁸⁾、地盤の N 値を 7 ⁸⁾ とした。

本研究では、管路埋設深さよりも深い層が液状化することで管路は大きな地盤変状を受けるが、管路周辺の地盤は液状化しないものと想定した。 そのため、液状化に

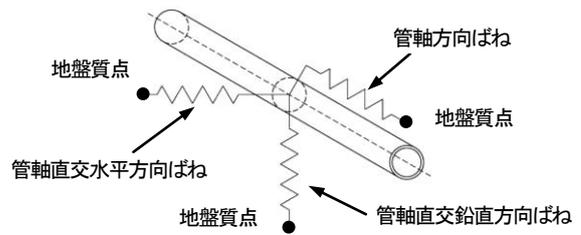
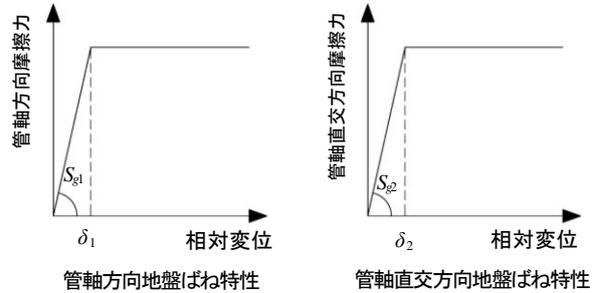


図-10 地盤モデル



管軸方向地盤ばね特性 管軸直交方向地盤ばね特性

管軸方向ばね	管軸直交方向ばね
S_{g1}	S_{g2}
2,124 (kN/m)	4,248 (kN/m)
δ_1	δ_2
0.325 (mm)	6.1 (mm)

図-11 地盤ばね特性

伴う地盤ばね定数の低下を解析では考慮しないことから、管路に大きな負荷がかかる条件となる。

b) 管と地盤との間に滑りが発生する変位

地盤に一定以上変位が生じると、管路と地盤との間に滑りが発生し、両者の間に相対変位が生じることとなる。管軸方向での滑りが生じる変位 δ_1 は、水道施設耐震工法指針⁷⁾を基に、式(6)より求めた。

$$\delta_1 = \frac{\pi D \tau_{cr}}{K_{g1}} \quad (6)$$

D は管外径であり、232mm とした。 τ_{cr} は地盤拘束力を表し、管と地盤との間に滑りが発生した時点の値 0.01MPa を使用した。 また、管軸直交方向での滑りが生じる変位 δ_2 は、鋼管を対象とした地盤拘束力評価実験結果⁹⁾を引用し、6.1mm とした。 図-11 に、地盤ばね特性を示す。

(4) 地盤変位の入力方法

図-12 に、解析対象位置で計測された地盤変位を示す。 解析対象位置では直線上に管路が埋設されていたことから¹⁾、本研究ではこの管路の全長を 800m と想定した。 図-12 中の 7 地点で計測された水平方向の地盤変位を管軸方向、管軸直交方向に分解した上で地盤モデル内の地盤質点に与え、管路の基点のみ固定して管路挙動解析を実施した。 表-1 に、各計測地点における地盤変位を示す。

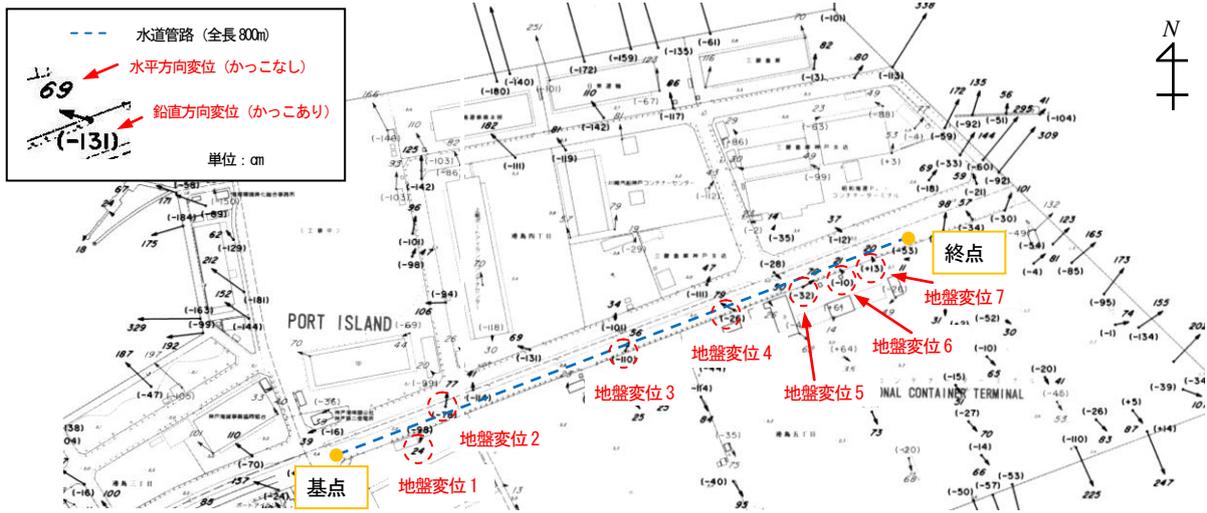


図-12 解析対象位置で計測された地盤変位

表-1 解析に使用する地盤変位

	地盤変位ベクトルと 管路のなす角度 θ (θ は管路を基準に反時計回りに算出)	水平方向 変位	鉛直方向 変位
地盤変位1	236°	24cm	-98cm
地盤変位2	60°	77cm	-78cm
地盤変位3	45°	56cm	-110cm
地盤変位4	133°	79cm	-26cm
地盤変位5	9°	70cm	-32cm
地盤変位6	111°	21cm	-10cm
地盤変位7	95°	20cm	130cm

表-2 地点間の相対地盤変位と補間距離

	相対変位			補間距離
	管軸方向	管軸直交 鉛直方向	管軸直交 水平方向	
地点1~2間	51.9cm	20cm	86.6cm	41.2m
地点2~3間	1.1cm	-32cm	-27.1cm	16.8m
地点3~4間	-93.5cm	84cm	18.2cm	50.8m
地点4~5間	123cm	-6cm	-46.8cm	52.7m
地点5~6間	-76.6cm	22cm	8.6cm	32.1m
地点6~7間	5.8cm	23cm	0.3cm	9.5m

なお、各計測地点間では地盤変位が計測されていないため、仮定の基に地盤変位を地盤質点に与える必要がある。本研究では、地盤ひずみと2地点間の相対地盤変位から補間距離を算出し、補間距離内で地盤変位が線形に変化するように変位を与えた。地盤ひずみは、兵庫県南部地震時に解析対象位置がある神戸市ポートアイランドの護岸から100m以上離れた人工島内部で発生した地盤変位のうち、水平方向成分から求めた最大ひずみ³⁾を使用した。以上の仮定より、本研究では計測された値を用いた上で、管路に最も大きな負荷がかかる条件となる。

一例として、地点1~2間の補間距離 L_{12} の算出式を式(7)で示す。また、表-2に地盤変位計測地点間の相対変位と補間距離を示し、図-13に地点間での地盤変位の与え方をイメージ図で示す。

$$L_{12} = \frac{\sqrt{D_{RX1}^2 + D_{RY1}^2 + D_{RZ1}^2}}{\epsilon_s} \quad (7)$$

ここに、 D_{RX1} 、 D_{RY1} 、 D_{RZ1} はそれぞれ地点1~2間の管軸方向、管軸直交鉛直方向、管軸直交水平方向の相対地盤変位、 ϵ_s は地盤ひずみ(引張側、圧縮側共に2.5%)である。この場合、地点2の計測地盤変位から地点1の計測地盤変位を引くことで、相対変位を求めた。

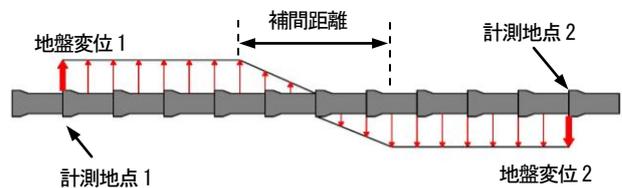


図-13 地点間での地盤変位の与え方

3. 計測地盤変位を用いた管路の挙動解析結果

(1) K形

図-14にK形の継手伸縮量の解析結果を、解析対象位置と併せて示す。継手の伸び量を正の値、縮み量を負の値で表した。水道管の被害調査¹⁾より、解析対象とした区間内、赤丸で囲った範囲で継手の抜けが生じたことが確認されている。

一方、今回の解析条件では、図-15に示す通り、継手が35mm以上伸びた場合には、ゴム輪の一部が継手と接触しなくなることで継手の抜けが進行し、漏水が生じる恐れがある状態となる。さらに継手が75mm以上伸びた場合には、完全に継手が抜けた状態となる。

図-14より、解析では基点から100m~200mの区間で一部の継手が60mm以上抜け出しており、また600m~700mの区間で一部の継手が80mm程度抜け出す結果

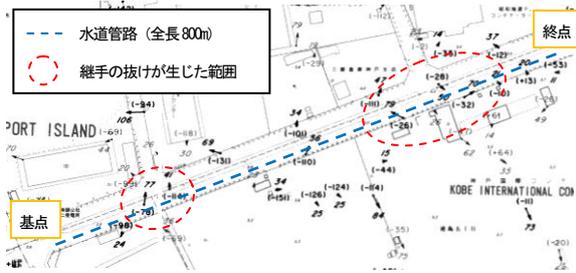
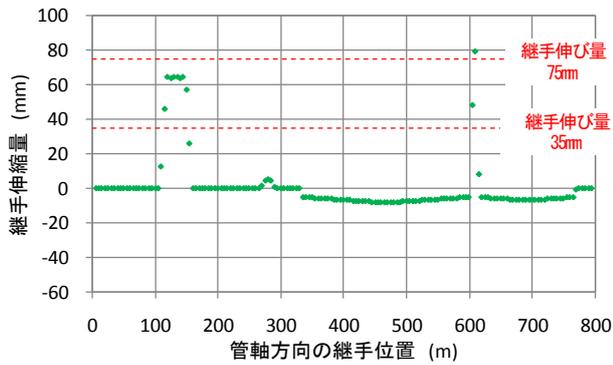
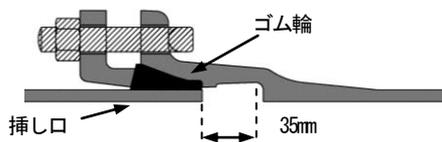
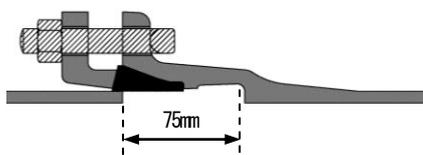


図-14 K形の継手伸縮量



(a) 継手が35mm抜けた状態



(b) 継手が75mm抜けた状態

図-15 K形継手の状態

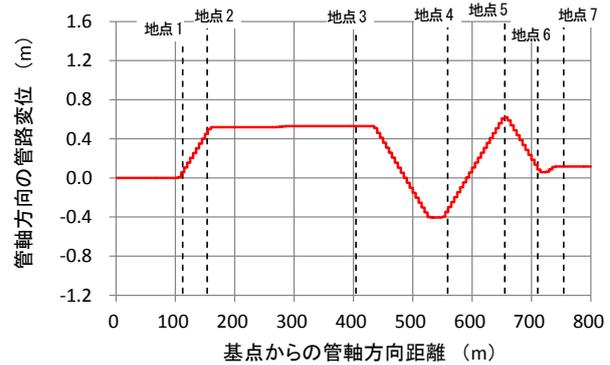
となった。本研究では、解析対象とした区間全体で地盤条件を同一としており、地盤の地点特性を考慮していない。それを踏まえると、解析対象位置での継手の抜けが生じた範囲と抜けが生じなかった範囲を、解析でも定性的に再現できているため、解析手法が妥当と判断できる。

(2) NS形

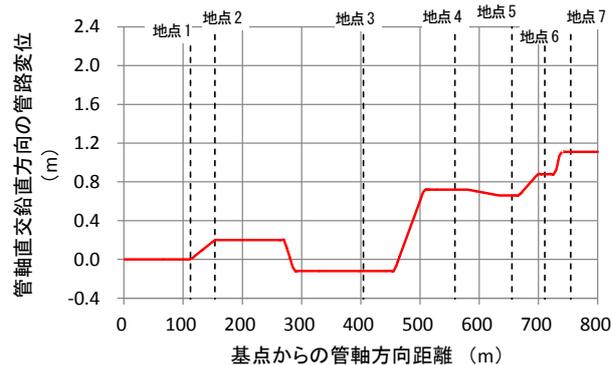
本研究では、NS形で構成された管路の安全性を評価するため、継手伸縮量 $\pm 52\text{mm}$ （設計照査用最大伸縮量）、継手屈曲角 8° （地震時に曲がりえる最大角度）、軸力 600kN^{R} （継手の離脱防止力 $3D\text{kN}$ 、 D ：呼び径）を許容値とした。

a) 管路挙動

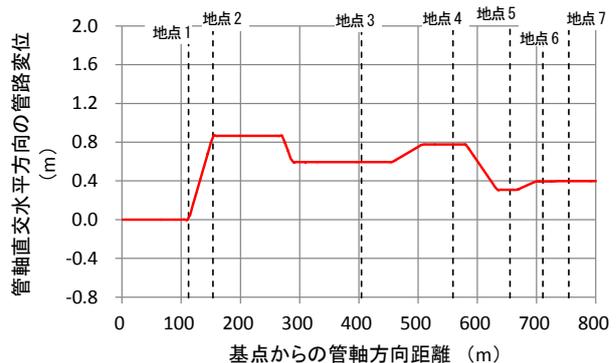
図-16に、NS形の管路挙動の解析結果を示す。ここでは、管軸方向、管軸直交鉛直方向、管軸直交水平方向の管路変位量をそれぞれ示した。なお、管軸方向では継手が伸びる方向、管軸直交鉛直方向では上方向、管軸直交



(a) 管軸方向の管路変位



(b) 管軸直交鉛直方向の管路変位



(c) 管軸直交水平方向の管路変位

図-16 NS形の管路挙動

水平方向では北方向を正とした。図-16(c)より、例えば地点1~2間では管軸直交水平方向に、管路が短い範囲内で 0.9m 程度大きく変位していることが確認できる。

b) 継手伸縮量

図-17に、NS形の継手伸縮量の解析結果を示す。なお比較対象として、K形の継手伸縮量の解析結果を併せて示した。結果より、K形と比較してNS形の伸縮量は複数の継手で許容値 52mm 程度まで達しており、複数の継手が大きく伸縮することで、解析対象位置内の一部で生じた大きな地盤変位を吸収していることが確認できる。

c) 継手屈曲角

図-18に、NS形の継手屈曲角の解析結果を示す。屈曲角は最大でも 1.1° 程度であり、許容値 8° と比較して十分

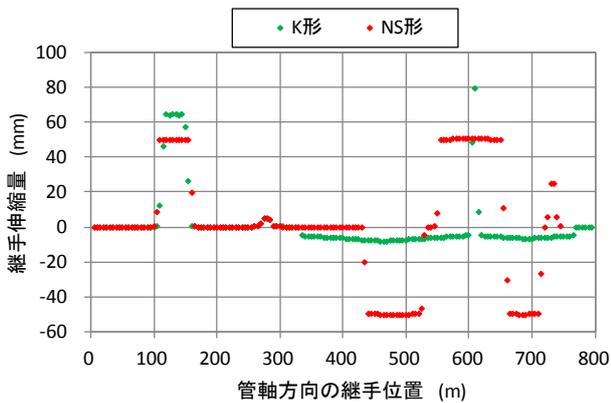


図-17 NS形の継手伸縮量

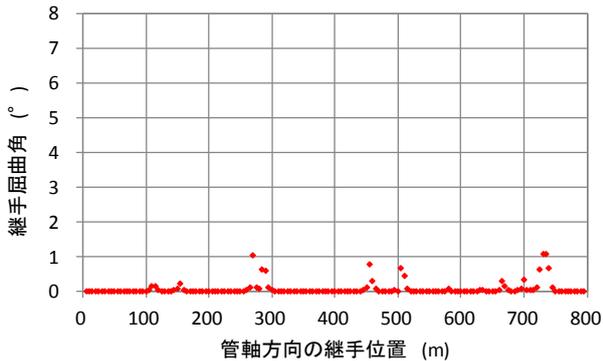


図-18 NS形の継手屈曲角

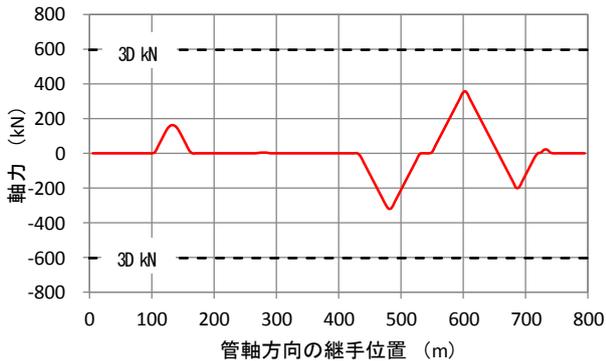


図-19 NS形に発生する軸力

に小さい値であった。

d) 軸力

図-19に、NS形に発生する軸力の解析結果を示す。引張側の軸力を正の値で、圧縮側の軸力を負の値で示した。引張側で最大355kN程度、圧縮側で320kN程度の軸力が生じているが、許容値600kNと比較して2/3以下の値となった。

以上より、解析対象位置に仮にNS形が埋設されていた場合、地震時に生じた地盤変状を受けても、継手1ヶ所のみならず隣り合う継手を次々と巻き込んで挙動する耐震継手ダクタイル鉄管の特性を発揮することで、管路の安全性を確保できることを確認できた。

4. 2度目の地盤変状を受けた管路の挙動解析

本章では、1度地盤変状を受けたNS形管路に対して、同じ地盤変状を与えて管路の挙動解析を実施し、2度目の地盤変状を受けても管路の安全性を確保できるか検証した。

(1) 解析条件

1度地盤変状を受けたNS形管路に対し、表-2に示す地盤変位1~7を再び管路の同じ地点に与えた。なお、地盤変位計測地点間の補間距離等、他の入力条件は1度目の地盤変状を受けた場合と同一であるものとした。

(2) 解析結果

a) 管路挙動

図-20に、NS形の管路挙動の解析結果を示す。なお本章では、1度目の地盤変状を受けた場合の結果を併せて示した。図-20(a)より、1度目の地盤変状を受けた場合と比較して、より多くの継手で管軸方向の地盤変位を吸収していることが確認できる。

b) 継手伸縮量

図-21に、NS形の継手伸縮量の解析結果を示す。図-21より、解析対象とした区間の大部分で、1度目の地盤変状を受けた場合と比較して、許容値52mm程度まで伸縮する継手が増加していることが確認できる。

c) 継手屈曲角

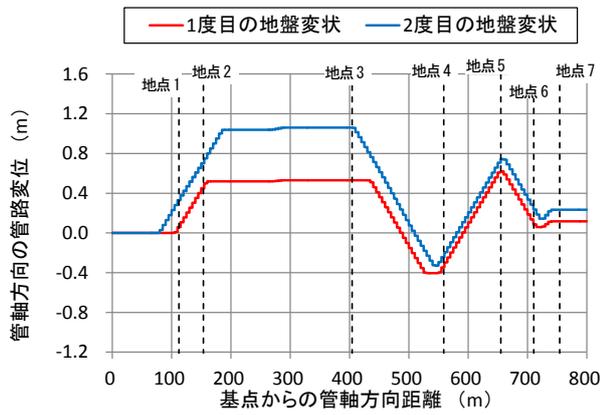
図-22に、NS形の継手屈曲角の解析結果を示す。継手が屈曲している地点では、1度目の地盤変状を受けた場合と比較して、おおよそ2倍程度継手が屈曲していることが確認できる。屈曲角は最大で2.2°程度であり、許容値8°と比較して、3割以下の値であった。

d) 軸力

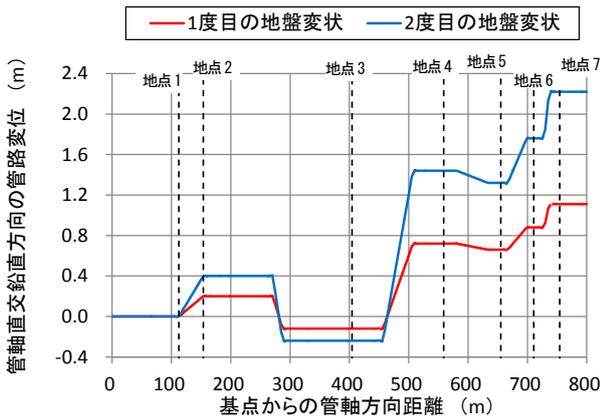
図-23に、NS形に発生する軸力の解析結果を示す。解析対象とした区間では、引張側で最大375kN程度、圧縮側で475kN程度の軸力が発生したが、許容値600kNを超えない値であった。

1度目の地盤変状を受けた場合と比較して、基点から50m~200mの区間で引張側の軸力が、400m~550mの区間で圧縮側の軸力が、それぞれ大きく増加した。一方で、基点から550m~750mの区間では、軸力は大きくは増加しない結果となった。

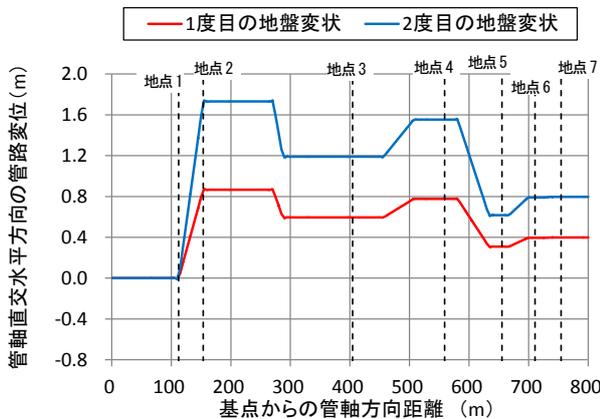
軸力が大きく増加しなかった原因として、以下の通り考察する。図-24に、一例として基点から70m~190mの区間(以下区間A)、および540m~660mの区間(以下区間B)での継手伸縮量を示す。図-24より、区間Aでは1度目の地盤変状を受けた場合と比較して、2度目の地盤変状の影響で、より広い範囲で継手が大きく伸びていることがわかる。一方で、区間Bでは継手に引張力



(a) 管軸方向の管路変位



(b) 管軸直交鉛直方向の管路変位



(c) 管軸直交水平方向の管路変位

図-20 2度目の地盤変状を受けたNS形の管路挙動

が作用するが、この区間の両側は継手に圧縮力が作用する区間であるため、限られた範囲内で1度目の地盤変状を受け、継手が伸びきっていたものと推測される。そのため、2度目の地盤変状を受けても、管と地盤との間に滑りが生じ、継手がそれ以上大きくは伸びなかったため、軸力が大きく増加しなかったものと考えられる。

以上より、今回の条件であれば、1度地盤変状の影響を受けた耐震管路であっても、2度目の地盤変状に対し

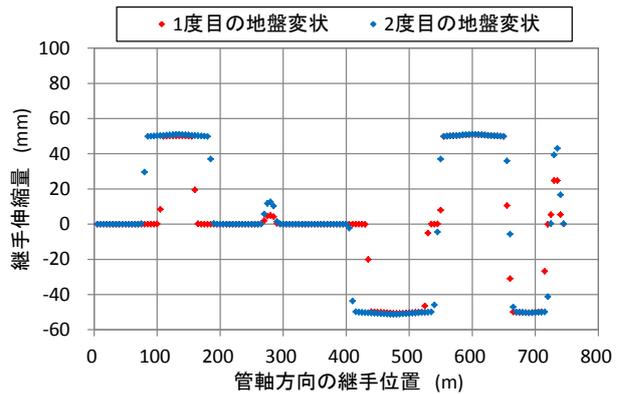


図-21 2度目の地盤変状を受けたNS形の継手伸縮量

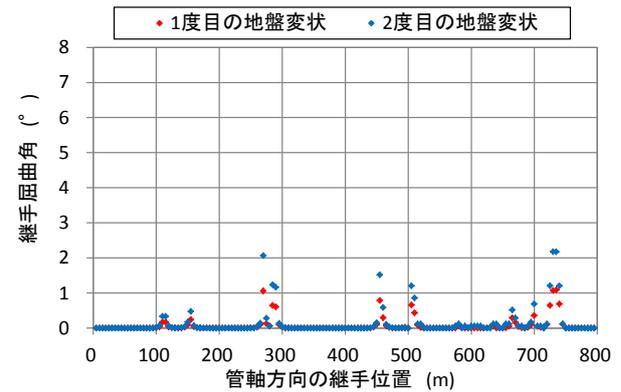


図-22 2度目の地盤変状を受けたNS形の継手屈曲角

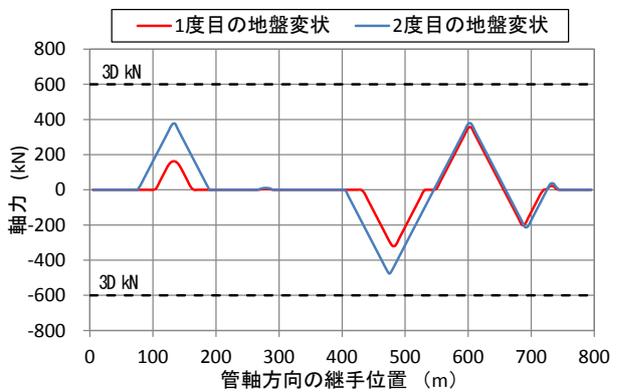
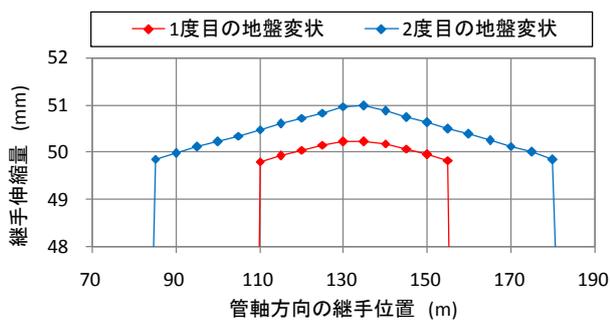


図-23 2度目の地盤変状を受けたNS形に発生する軸力

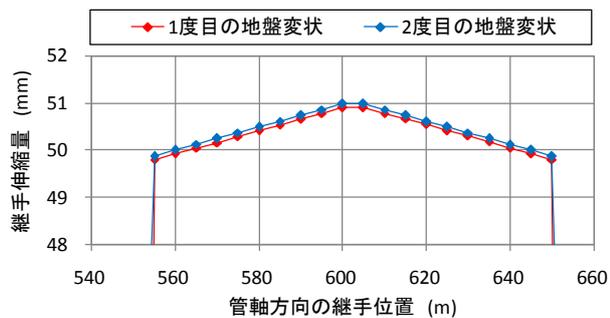
て再び耐震継手ダクタイトイル鉄管の特性を発揮して、管路の安全性を確保できることを確認できた。

5. おわりに

兵庫県南部地震で計測された地盤変位を用いて、解析対象位置にダクタイトイル鉄管が埋設されていたものと想定して、管路の挙動解析を実施した。本研究の結果を、以下に列挙する。



(a) 区間 A (基点から 70m~190m の区間)



(b) 区間 B (基点から 540m~660m の区間)

図-24 対象区間内の継手伸縮量

(1) 解析対象位置に埋設されていたと想定される K 形ダクタイル鉄管を対象に管路挙動解析を実施したところ、解析対象とした区間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、解析でも定性的に再現できたことから、計測された地盤変位に基づく管路挙動解析手法の妥当性を確認した。

(2) 同じ位置に耐震継手ダクタイル鉄管である NS 形ダクタイル鉄管が埋設されていたものと想定して管路の挙動解析を実施したところ、NS 形に発生する継手屈曲角や発生軸力は許容値内に収まる結果となった。よって、仮に解析対象位置に NS 形が埋設されていた場合、本地震で発生した地盤変状を受けても、耐震継手ダクタイル鉄管の特性を十分に発揮することで、管路の安全性を確保できることが確認できた。

(3) 1 度地盤変状を受けた NS 形管路に対し、同じ地盤変状を与えて再び管路の挙動解析を実施した。解析の結果、継手屈曲角や発生軸力は大きくなるものの、許容値内に収まることとなった。以上より、今回の条件であれば、1 度地盤変状の影響を受けた耐震管路であっても、2 度目の地盤変状に対して再び耐震性を発揮し、管路の安全性を確保できることが確認できた。

本報では、1 つの地盤変状事例を対象としたが、実際に生じた地盤変状による管路の挙動および安全性を検証することは、より強靱な管路を構築していく上で重要である。今後は、他の地盤変状事例を対象に管路の挙動を検証し、解析手法の精度向上に取り組む。

また、2 度同じ地盤変状を管路に与えて管路の挙動解析を実施したが、さらなる地盤変状を受けた場合の管路の挙動を明らかにするためにも、検証を進めていく予定である。

参考文献

- 1) 日本水道協会：1995 年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析, p.127, 1996
- 2) 三浦久人：阪神・淡路大震災による耐震形ダクタイル鉄管の挙動調査 (ポートアイランド, 六甲アイランド), ダクタイル鉄管 第 61 号, pp.41-48, 1996
- 3) 高田至郎, 岡田健司：地中管路の耐震化 耐震設計基準の基礎と実務, pp.133-136, 岩波書店, 2016
- 4) 濱田政則他 2 名：1995 年兵庫県南部地震 液状化 地盤変位及び地盤条件, pp.134-135, 1995
- 5) M, Hamada. And T. O', Rourke : Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction , Proceedings From the Sixth Japan-U.S. Workshop Technical Report , pp.136-152, 1996
- 6) 水道技術研究センター：地震による管路被害予測の確立に向けた研究報告書, No.2012-03, 2013
- 7) 日本水道協会：水道施設耐震工法指針・解説 I 総論, pp.90-91, 2009
- 8) 日本ダクタイル鉄管協会：NS 形・S 形ダクタイル鉄管管路の設計, pp.4-15, 2014
- 9) 安藤広和他 2 名：地震時地盤の側方変位により埋設管に作用する拘束力の検討, 地震工学研究発表会講演概要, Vol.23, pp.409-412, 1995

STUDY ON BEHAVIOR OF SEISMIC TYPE DUCTILE IRON PIPES IN LIQUEFIED GROUND USING GROUND DISPLACEMENT MEASUREMENT

Koichi MORIMOTO, Masakatsu MIYAJIMA

In earthquake, liquefaction have caused large-scale ground deformation in the soft ground. Therefore, buried water pipelines were damaged seriously. Seismic type ductile iron pipes have never damaged because those joints have extension and contraction function, bend performance, and separation preventing performance. However, we have hardly verified how they behave and work seismic performance. In this study, we analyzed the behavior of pipeline assuming that seismic type ductile iron pipes were buried at the position where the ground deformation occurred, using ground displacement measured at the 1995 Hyogoken-Nanbu Earthquake. In addition, we examined whether the safety of pipeline could be secured when the pipeline of seismic type ductile iron pipes influenced by the ground deformation once again were influenced by ground deformation.