

鎖構造継手を用いた管路屈曲部の耐震工法

Earthquake Resistant Method for Pipeline Bend with Self-anchoring Flexible Joints

○藤田信夫* 井谷昌功* 宮田 勉** 有吉 充*** 毛利栄征**** 河端俊典*****

FUJITA Nobuo, ITANI Yoshinori, MIYATA Tsutomu, ARIYOSHI Mitsuru,
MOHRI Yoshiyuki, KAWABATA Toshinori

1. はじめに

大規模地震による圧力パイプラインの被害は、構造物や屈曲部近傍での継手離脱が多くを占めており、構造上の弱点となることが過去の被害調査^{1), 2), 3)}から明らかとなっている。この部分の耐震性を高めることができれば、管路全体の地震時安全性の向上につながる。

本報告では、管路挙動の検証結果^{4), 5)}を踏まえて曲管変位に伴う管路の変形モードをモデル化し、離脱防止機能による耐震化を実現するための最適な鎖構造継手配置とその設計手法を提示する。

2. 管路屈曲部の変形モード

曲管に接続する管の継手は、曲管の移動に対応して屈曲と伸び出しを生じるが、曲管からの離隔本数に応じた特徴的な挙動を示すことが明らかになっている。すなわち、継手部(J-1からJ-5)の挙動を曲管変位との関係で整理すると、**図1**のようにモデル化できる。

<Step1> J-1は、常時のスラスト対策として曲管と一体化するため伸縮も屈曲もせず、曲管の移動に応じてJ-2が背面側に、J-3が曲率内側に屈曲する。

<Step2> 曲管変位の増大に伴い、J-2の屈曲は上限に近づき、J-3に加えてJ-4も曲率内側に屈曲する。

<Step3> さらに曲管変位が増加すると、J-3は屈曲方向が反転して真直に離脱防止状態まで伸び出す。また、J-4に加えてJ-5も曲率内側に屈曲する。

Step3の状態を曲管から5本目までの管を鎖構造管路とした場合の最大変位と考える。

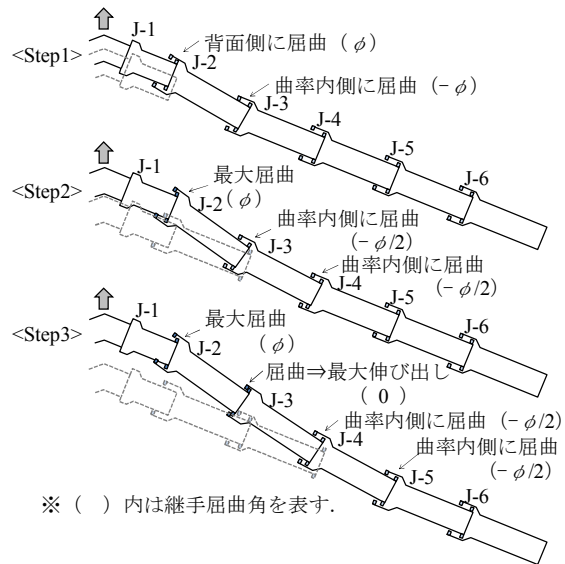
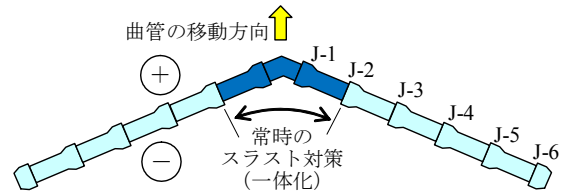


図1 曲管変位に伴う管路変形モード

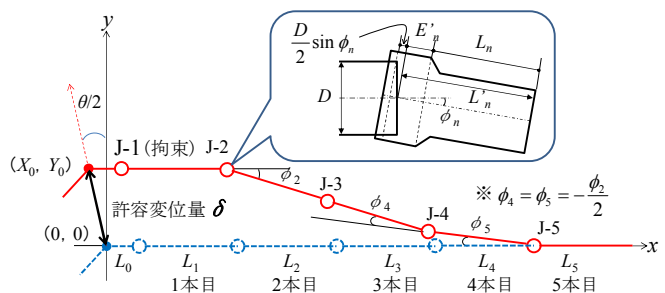


図2 曲管の許容変位量 (n=5 の場合)

* 株式会社クボタ Kubota Corporation, ** 内外エンジニアリング株式会社 Naigai Engineering, *** 農研機構 農村工学研究部門 Institute for Rural Engineering, NARO, **** 茨城大学農学部 Faculty of Agriculture, Ibaraki University, ***** 神戸大学大学院農学研究科 Graduate School of Agricultural Science, Kobe University / キーワード: 埋設管, 屈曲部, 耐震設計

3. 管路屈曲部の許容変位量

曲管周辺の管を鎖構造継手にすることで、その離脱防止機能を利用して曲管の移動を許容した設計が可能となる。ここでは図1に示す最大変位から、曲管の許容変位量を算出する。

鎖構造継手を曲管の片側に5本用いた図2を例に考える。変形後、各継手は屈曲しながら最大伸びを生じるため、管長が変化する。 L'_n : 曲管から n 本目の管長 (変形後)、 L_n : 曲管から n 本目の管長 (初期)、 E'_n : 管長の2%から屈曲による伸びを減じた残量、 D : 管の外径、 ϕ_n : 曲管から n 本目の継手屈曲角、とすると式(1)、式(2)が成り立つ。曲管中心は式(3)で示される直線上を原点から (X_0, Y_0) まで移動する。ここで θ は曲管角度である。 n 本目の管は動かないとすれば、 X_0, Y_0 はそれぞれ式(4)および式(5)により算出できる。 ϕ を変化させて式(3)を満足する X_0, Y_0 を求め、式(6)により曲管の許容変位量 δ が求められる。

$$L'_n = L_n + E'_n \quad (1)$$

$$E'_n = 0.02 \cdot L_n - \frac{D}{2} \cdot \sin \phi_n \quad (2)$$

$$y = -\frac{x}{\tan \frac{\theta}{2}} \quad (3)$$

$$X_0 = \sum_{i=0}^{n-1} L_i - \sum_{i=0}^{n-1} L'_i \cdot \cos \sum_{k=0}^i \phi_k - E'_n \quad (4)$$

$$Y_0 = \sum_{i=0}^{n-1} L'_i \cdot \sin \sum_{k=0}^i \phi_k \quad (5)$$

$$\delta = \sqrt{X_0^2 + Y_0^2} \quad (6)$$

計算結果は図3に示すとおりであり、口径500 mmのNS形ダクトイル鉄管 (管長6,000 mm)、45° 曲管、 $n=5$ の場合、許容変位量 $\delta = 1,085$ mmとなる。また、片側4本を鎖構造継手とすれば、呼び径150以上では90° 曲管でも400mm以上の許容変位量が得られる。

4. 管路屈曲部の想定変位

地震時の曲管変位を算定する方法として、累積損傷理論に基づいて地盤の強度・剛性低下を逐次計算し、残留変位を求める方法が提案されている。

一方で、農業用パイプラインで蓄積されてきた被災事例の調査分析から、地震時に大きく移動した曲管の変位を実測した事例を表1に示す。液状化を伴う場合に600~800 mm、非液状化時に350~400 mmの記録がある。これらの値は強震によって生じる曲管変位を簡易に想定する際の目安になると考えられる。

5. まとめ

想定される地震時の曲管変位に対応すべく曲管角度、直管長から、適切な鎖構造管路の使用範囲 (本数)

を求める設計手法を提示した。このことによって管路屈曲部の実効性のある耐震対策が可能となり、管路被害低減に役立てば幸いである。

【引用文献】1)毛利栄征 (1985): 1983年日本海中部地震によるパイプラインの被災調査報告, 農業土木試験場技報, 169, 93-147. 2)安中正実ら (1996): 平成5年 (1993年) 北海道南西沖地震による農地・農業用施設の被害調査報告, 農業工学研究所報告, 35, 111-142. 3)春本朋洋ら (2015): 液状化地盤における管路挙動—隈戸川地区幹線用水路の被災事例—, 農業農村工学会京都支部第72回研究発表会, 210-211. 4)井谷昌功ら (2015): 水平載荷時の継手構造管路屈曲部の挙動メカニズム, 農業農村工学会論文集, 300, 177-183. 5)井谷昌功ら (2016): 液状化地盤中の管路屈曲部の動的挙動に関する検討, 農業農村工学会論文集, 301, 1-8.

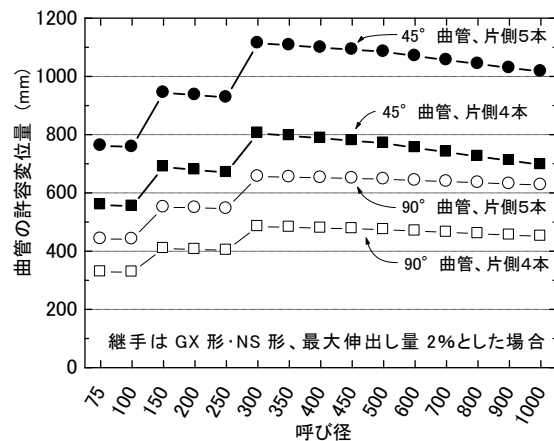


図3 曲管の許容変位量の計算例

表1 地震時の曲管変位記録

地震	口径 (mm)	屈曲角 (°)	スラストブロック	水平変位 (mm)	液状化	地盤状況等
日本海中部 (M7.7) ¹⁾	800	53	有	400	無	洪積粘土
	1200	20.8	有	350	無	
北海道南西沖 (M7.8) ²⁾	1100	56.5	有	600~800	有	現地盤は砂を主体とする層
東北地方太平洋沖 (M9.0) ³⁾	1500	17.3	有	780	有	砂基礎が広範囲に液状化
	1500	4.8	無	570	有	