

液状化地盤における
パイプラインの耐震化向上技術 設計・施工マニュアル

管路屈曲部の耐震工法



目次

1. 総論	1
1.1 マニュアルの位置づけ	2
1.2 適用範囲	3
1.3 工法の特徴及び構成	4
2. 設計	6
2.1 検討内容と手順	6
2.2 管路の重要性	7
2.3 液状化の検討	9
2.4 曲管のスラスト対策	12
2.5 地震時の曲管変位の検討	15
2.5.1 被災データによる曲管変位の分析	15
2.5.2 数値解析による曲管変位の検証	17
2.6 鎖構造継手管路の変形モード	19
2.7 管路の耐震化範囲の検討	20
2.8 屈曲部以外の検討	24
3. 設計例	27
3.1 液状化の判定計算	27
3.2 管路耐震化範囲の計算	33
4. 施工	46
4.1 一般事項	46
4.2 施工方法	46
4.3 施工上の留意点	47
4.4 施工事例	48
5. 参考資料	50
5.1 柔構造継手管路の限界変位の検討	50
5.1.1 過去の地震における被災事例	51
5.1.2 計算による曲管部継手の限界変位	54
5.2 費用対効果の検討	56
6. 参考文献	62

1. 総論

東北地方太平洋沖地震により、東北・関東地方では広い範囲にわたって震度 5 強以上を観測した。農業用パイプラインでは、従来から地震時のウィークポイントとされてきた異形管部や構造物周辺、地形・地質の変化点などに加えて、地盤の液状化により直線部においても大規模な不陸、許容値を超える抜出しなど甚大な被害が発生している。今後も起こり得る大規模地震に対して、被害を軽減するための有効な手法が求められている。

一方で、土地改良事業計画設計基準「パイプライン」（以下、設計基準）では、地盤変状に対する地震応答対策として「埋戻し土」、「現地盤」、「管路」に対して行う対策が各々記載されているが、対策を施す具体的な条件や範囲が明確でなく、設計実務に展開することが難しい。

そこで本マニュアルでは、特に管路に対して行う対策について、必要な条件やその範囲を定量的に明確化することにより農業用パイプラインの地震時安全性を向上させることを目的として、液状化地盤における耐震性向上技術の設計・施工方法について記述する。

砕石やセメント系改良土のような強度の高い埋戻し材料の使用に加えて、離脱防止機構を有する鎖構造継手管路を採用することにより、高い耐震性を確保したパイプラインシステムを構築し、大規模地震発生時の被害軽減と復旧費用の低減に大きく貢献できる。

また、新設管路だけでなく既設管路の部分的な改修にも適用が可能であり、適切な改修範囲を選定することで工事費を大幅に削減し、既存施設の耐震性を効率的に向上させることができる。

1.1 マニュアルの位置づけ

本マニュアルは、液状化地盤におけるウィークポイント（屈曲部など）の耐震性を向上させるための設計・施工方法を示したものである。

【解説】

パイプラインの耐震設計にあたっては、その用途、規模、立地条件及び地震被害等を考慮し、社会的、経済的な重要度を検討して、それに適合した手法で行う。

液状化等による地盤変状の可能性を判定し、必要箇所について対策工法を採用する。

1.2 適用範囲

本マニュアルは液状化（地震動による地盤の剛性低下を含む）に対して、鎖構造継手管路による屈曲部の設計に適用する。

【解説】

設計基準の耐震設計においては、地震被害を軽減するための対策を骨子として、応答変位法や地盤の液状化判定などの設計手法を用いて検討する対策と、計算手法は確立していないものの過去の被災事例などから有効な対策（地震応答対策という）の両面から設計・施工を実施することを基本としている。

設計基準の耐震計算フローを簡略化して図 1.1 に示す。図 1.1 によると、重要度がA種またはB種と判定された管路のうちで液状化対策が必要な場合、また重要度に関わらず耐震計算で対策が検討できないウィークポイントに該当する箇所では地震応答対策が求められる。

地震動に対する地震応答対策が必要な例としては、

(1) パイプラインの屈曲部、構造物と管路接続部

(2) 土質・地盤の変化点

地盤変状に対する地震応答対策が必要な例としては、

(3) 現地盤の液状化

(4) 埋戻し土の液状化

(5) 地すべり、斜面崩壊、地盤沈下の起こりやすい地盤

などが示されている。

本マニュアルでは、これらに対して「伸縮可とう性が大きく離脱防止機構を持った鎖構造継手管路」を適用する場合の設計方法を示す。

なお、本マニュアルで対象とする管種は、継手の伸縮可とう性と離脱防止性能が明確に規定され、これまでの大地震で安全性が実証されている耐震継手ダクタイトイル铸铁管とする。

耐震継手ダクタイトイル铸铁管は、上記(1)～(5)への地震応答対策として適用が可能である。

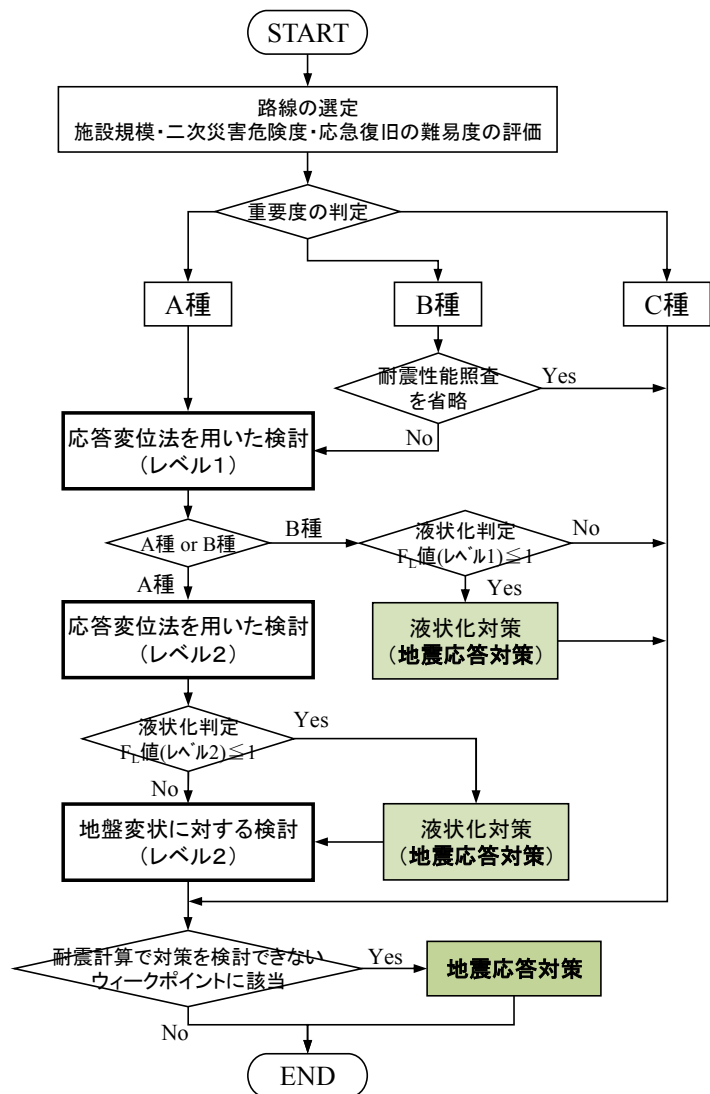


図 1.1 耐震計算フローにおける地震応答対策

1.3 工法の特徴及び構成

曲管の背面地盤や基礎材が液状化すると、スラスト力に対する抵抗力が不足し、変位が生じる。適切な範囲に配置した鎖構造継手管路が変位に追従することで安全性を確保する。

【解説】

液状化等による地盤変状の可能性を判定し、必要箇所について対策工法を採用する。本工法の構成と内容について以下に示す。

(1) 目的

異形管部や構造物ぎわの耐震補強を目的として、図 1.2 のように一般の柔構造継手に替えて鎖構造継手を部分的に適用する。これにより、埋戻し材料や現地盤に液状化や地割れ等の大変形が生じたときでもスラスト力による管の離脱を防止し、通水機能を確保できる。

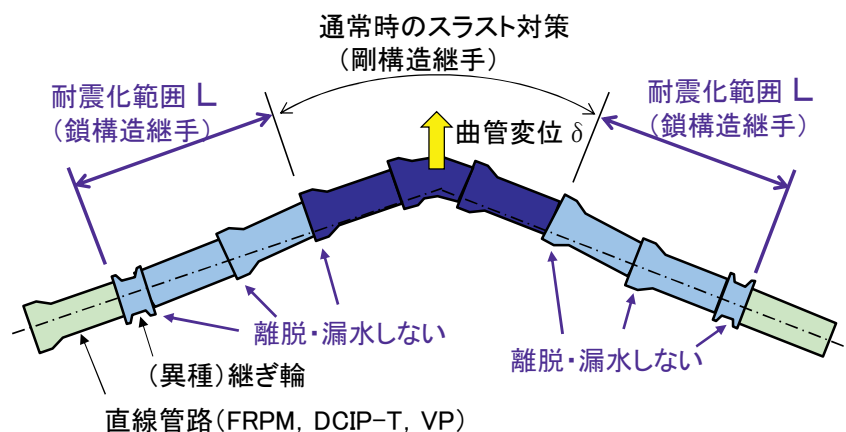
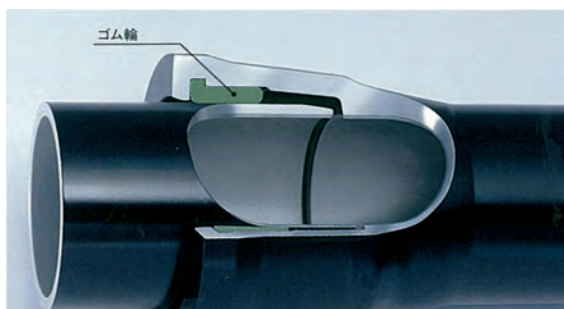


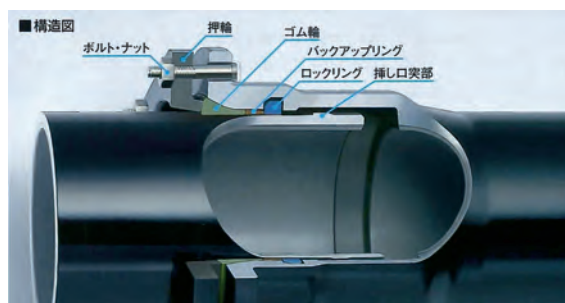
図 1.2 工法の構成模式図

- ①柔構造継手：FRPM 管、PVC 管、T 形・K 形ダクタイル鉄管など、農業用パイプラインに一般に用いられる継手。伸縮可とう性を有し地盤の動きに追従するが、限界伸び量を超えると離脱する。



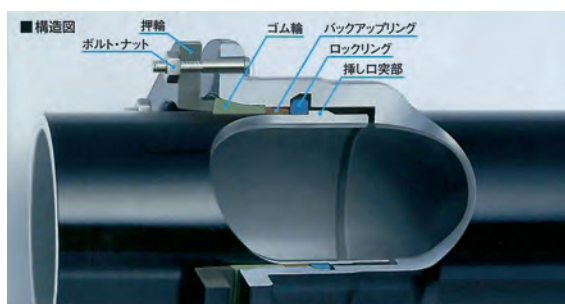
柔構造 (T形継手)

- ②鎖構造継手：大きな伸縮可とう性に加えて離脱防止性能を有する NS 形・GX 形などのダクタイル鉄管継手。耐震、耐地盤変動用に用いられる。上水道管路としては 56,000km の布設延長があるが、過去の大地震での被害はない。



鎖構造（NS形直管継手）

- ③剛構造継手：伸縮も屈曲もしない継手。鎖構造管路の異形管継手は必ず剛構造であり、前後の直管と一体化してスラスト力に抵抗する。スラスト抵抗力が不足する場合は剛構造の継手箇所を増やして一体化範囲を拡大する。



剛構造（NS形異形管継手）

- ④曲管変位 δ ：地震時の背後地盤の剛性低下や液状化に伴い、内圧スラスト力への抵抗力が低下して曲管が移動する量。地盤条件、スラスト力、地震継続時間などにより異なるが、設計で想定する変位を δ とする。
- ⑤耐震化範囲 L ：曲管に背面側への変位が生じると、それに応じて曲管前後の継手は伸び出しと屈曲を生じる。曲管変位 δ が生じて各継手が離脱しないよう、鎖構造継手を採用する範囲を L とする。

(2) 効果

本工法を採用することにより、以下の効果が期待できる。

- ①通常時：スラストブロックを省略する。
設計基準に準拠して管路の一体化長さでスラスト力に抵抗し、構造物を省略する。軟弱地盤では地盤改良の軽減とともに重量構造物による不等沈下を抑制し、工期短縮にもつながる。
- ②地震時：継手の離脱を防止する。
強震時には曲管やコンクリート構造物付近で変位が大きくなることが知られている。この部分に離脱防止性能を有する継手を配置することで継手離脱による漏水を防止できる。
- ③液状化時：曲管背面への許容変位、浮上・沈下への許容変位を拡大し離脱を防止する。
管周辺地盤の液状化に伴い、曲管部はスラスト力により背面側へ移動する。一般の柔構造継手では曲管部の許容水平変位が 200mm 程度であるため、これを想定変位に対応できるように拡大するとともに、スラスト対策も兼用することで液状化時の継手離脱による漏水を防止する。