

耐震型ダクトイル鉄管による 断層対策管路の設計

JDPA T 64



一般社団法人

日本ダクトイル鉄管協会

目 次

1. はじめに	1
2. 断層分布	2
3. 断層横断部に適用される管の種類	4
3. 1 概要	4
3. 2 種類	6
4. 断層対策管路の設計	7
4. 1 耐震型ダクティル鉄管による断層対策の特長	7
4. 2 基本的な考え方	7
4. 3 設計照査基準	8
4. 4 設計フロー	9
(1) 検討条件の決定	10
(2) 定尺管（断層対策無し）での解析	14
(3) 解析結果の評価	20
(4) 断層対策管路の設計	21
(5) 再評価	23
(6) 断層対策範囲の決定	23
参考資料 1. FEM 解析による解析例	24

1. はじめに

日本国内には、約 2000 の活断層があるといわれ、それ以外にもまだ見つかっていない活断層が多数あるとされている。阪神・淡路大震災(1995 年)や熊本地震(2016 年)は、活断層の動きによって発生した地震として知られている。

内陸部の活断層を震源とする地震の場合、断層のずれが数 m に及ぶ場合もある。阪神・淡路大震災は、内陸の野島断層を震源としており、2.9m のずれ(水平方向 2.0m、鉛直方向 1.1m、傾斜角約 30°)が観測されている。東日本大震災においても、その後の余震で地表に断層変位が出現し、約 1.8m のずれ(傾斜角約 70°)が観測されている。熊本地震においては、約 2m の横ずれが地表面に出現した。断層変位が地表面に出現する場合、地表及び地表付近に埋設されている構造物は大きなダメージを受けることが想定されるため、東日本大震災以降、水道管路の断層対策の必要性について検討されてきた。

地表における断層変位は撓曲状に地表面が緩やかに変形する場合と、局所的に地表面にずれが生じる場合の 2 種類があり、前者の断層変位に対して、耐震型ダクトイル管路は鎖構造管路の特性上、無理なく追従できることが知られている。一方、後者の断層変位に対する耐震型ダクトイル管路の安全性については、近年、FEM 解析及び大型土槽実験による検証等の研究がなされ、断層横断部の耐震型ダクトイル管路の挙動が明らかになっている。

本資料は、断層横断部の水道管路の安全性向上のため、耐震型ダクトイル鉄管による断層対策管路の設計方法についてまとめたものである。

2. 断層分布

文部科学省研究開発局 地震・防災研究課 地震調査研究推進本部では、主要な活断層で発生する地震や海溝型地震を対象に、地震の規模や一定期間内に地震が発生する確率を予測・評価するため、活断層の調査を行っている。同機関で調査されている活断層分布を図1に示す。

地殻内部にかかる力の状態は複雑であり、様々な断層変位が生じる。活断層の種類を図2に示す。

断層が傾いている場合、両側の岩盤のうち浅い側を「上盤」、深い側を「下盤」と呼ぶ。断層面を境として両側のブロックが上下方向に動くときを「縦ずれ断層」と呼び、上盤側がずり下がる場合を「正断層」、ずり上がる場合を「逆断層」と呼ぶ。一方、両側のブロックが水平方向に動くときは「横ずれ断層」と呼び、断層線に向かって相手側のブロックが右に動く場合を「右横ずれ断層」、左に動く場合を「左横ずれ断層」と呼ぶ。

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センターでは、活断層データベースを公開しており、414件の活断層データが登録されている(2018年2月現在)。表1に示す通り、その内の約半数が逆断層、4割が横ずれ断層、1割弱が正断層である。図3に断層変位量のヒストグラムおよび累積度数を示す。2m以下の変位が想定されている断層は約半数、3m以下の変位の断層まで含めると全体の約4分の3を占めることがわかる。

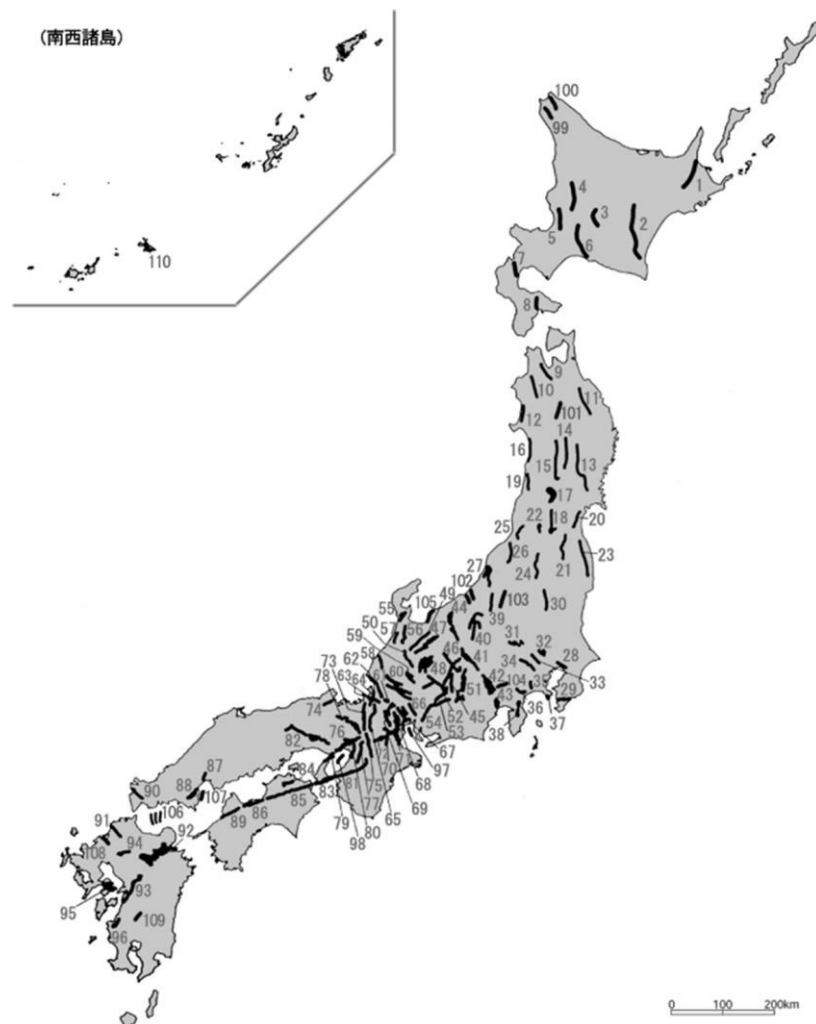


図1 主要な活断層分布

出典：地震調査研究推進本部 「日本の地震活動〈追補版〉」より引用

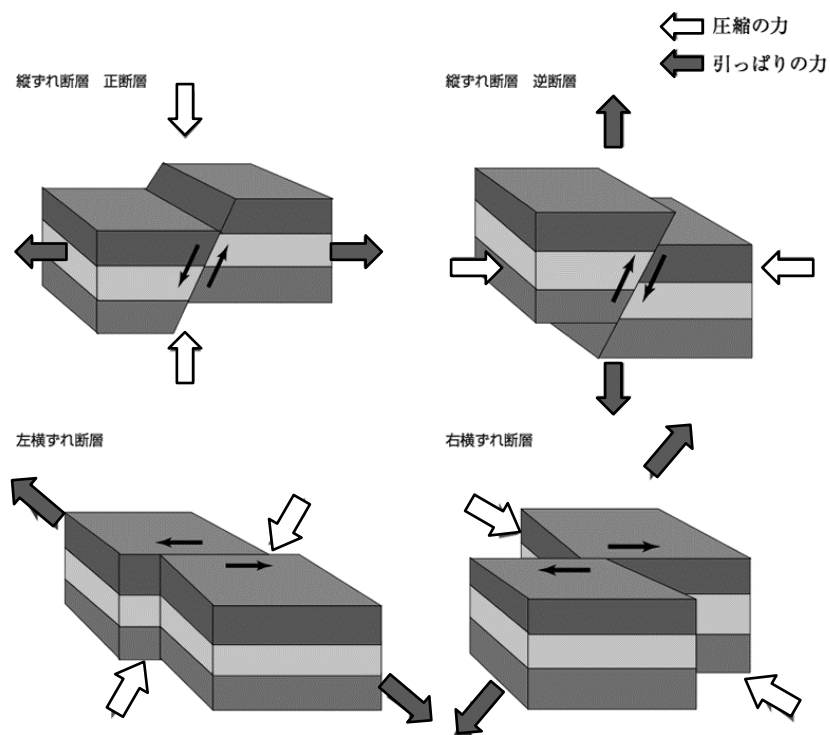


図 2 断層の種類

出典：文部科学省「地震の発生メカニズムを探る」より引用

表 1 断層の型別の集計

逆断層	正断層	横ずれ断層	合計
206 (49.8%)	32 (7.7%)	176 (42.5%)	414

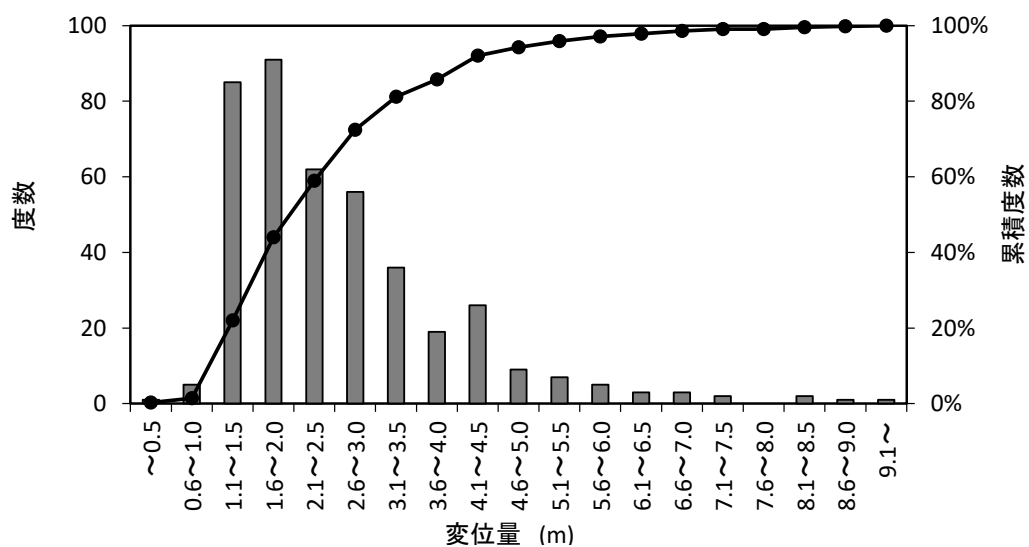


図 3 登録断層の断層変位量のヒストグラムおよび累積度数

出典：国立研究開発法人 産業技術総合研究所 地質調査総合センター「活断層データベース」をもとに作成

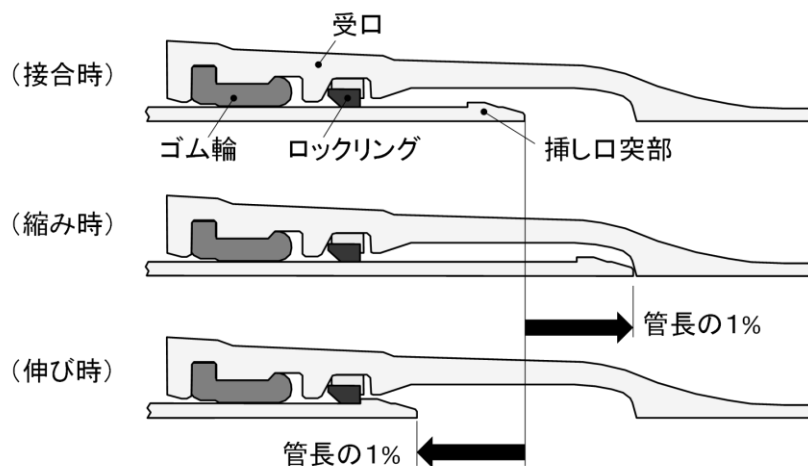
3. 断層横断部に適用される管の種類

3. 1 概要

地震時の地盤振動と異なり、断層面が動いた場合には局所的に数 m の変位が生じる可能性があるため、断層を横断する管路には大きな変位吸収能力が必要である。

耐震型ダクタイル鉄管は、図 4 に示すように引張り力または圧縮力が作用すると、その継手が管長の 1% 伸縮することができる。図 5 の通り、耐震型ダクタイル鉄管で構成される管路（以下、耐震型ダクタイル管路）は一つの継手が伸び出すと、離脱防止機構により隣の管を順次引っ張ることができ、一つの継手が縮んでも同様に隣の継手が順次縮むことができるため、地震時の大きな変位や外力に対しても耐えることができる。これらの特性上、耐震型ダクタイル管路は鎖構造管路と呼ばれている。耐震型ダクタイル管路は、地震等により継手が伸縮・屈曲した場合でも図 4 に示す性能基準を満足していれば弾性範囲内にある。

本資料では図 4 に示す性能基準を照査基準としているため、断層を横断する耐震型ダクタイル管路においても、（公社）日本水道協会「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版」に示されている水道施設の耐震性能（表 2）の内、「耐震性能 1」に相当する。



項目	性能
継手伸縮量	管長の±1%
離脱防止力	3DkN (D：呼び径mm)
最大屈曲角	8°

図 4 継手構造の継手性能 (GX 形の例)

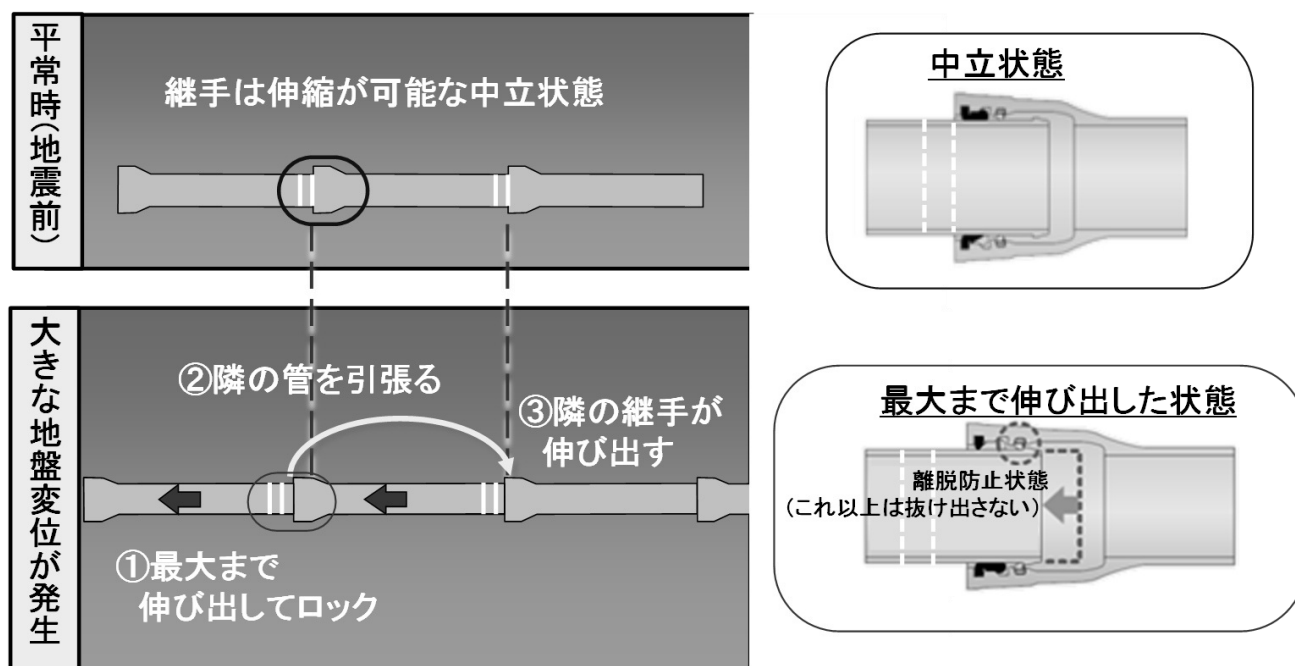


図 5 耐震型ダクティル管路の地盤変位に対する挙動

表 2 水道施設の耐震性能

要求性能	内容
耐震性能 1	地震によって健全な機能を損なわない性能
耐震性能 2	地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に必要とする修復が軽微なものにとどまり、機能に重大な影響を及ぼさない性能
耐震性能 3	地震によって生じる損傷が軽微であって、地震後に修復を必要とするが、機能に重大な影響を及ぼさない性能

出典：公益社団法人 日本水道協会 「水道施設耐震工法指針・解説 2009 年版」

3. 2 種類

断層対策管路に適用する耐震型ダクティル鉄管を表 3 に示す。

表 3 断層対策管路に適用する耐震型ダクティル鉄管

継手形式	継手構造	備考
GX 形		
NS 形 (呼び径 75～450)		
NS 形 (呼び径 500～1000)		
S 形		
US 形 (R 方式)		
US 形 (LS 方式)		
【継ぎ輪】		耐震継手の 約 2 倍の 屈曲性能
【長尺継ぎ輪】		耐震継手の 5 倍の 伸縮性能

4. 断層対策管路の設計

4. 1 耐震型ダクタイル鉄管による断層対策の特長

(1) 弾性設計

ダクタイル鋳鉄の耐力を照査基準として設計するため、弾性範囲内で設計できる。

(2) 断層の位置が正確に特定できなくても対応可能

各継手が伸縮・屈曲して断層変位を吸収できるため、断層の位置による影響が小さい。

(3) 耐震管だけで 1.5m 程度の断層に追従

断層変位 1.5m 程度であれば、特別な断層対策を必要としない（地盤条件等による）。

4. 2 基本的な考え方

図 6 に示すように、断層変位を受けた耐震型ダクタイル鉄管は、継手の伸縮・屈曲により断層変位を吸収し、通水機能を維持することができる。

断層横断管路は逆断層の場合は圧縮方向、正断層の場合は引張方向の変位を受けるが、耐震型ダクタイル鉄管は継手の伸縮によって地盤変位を吸収できるため、圧縮方向・引張方向のいずれの断層変位にも追従できる。

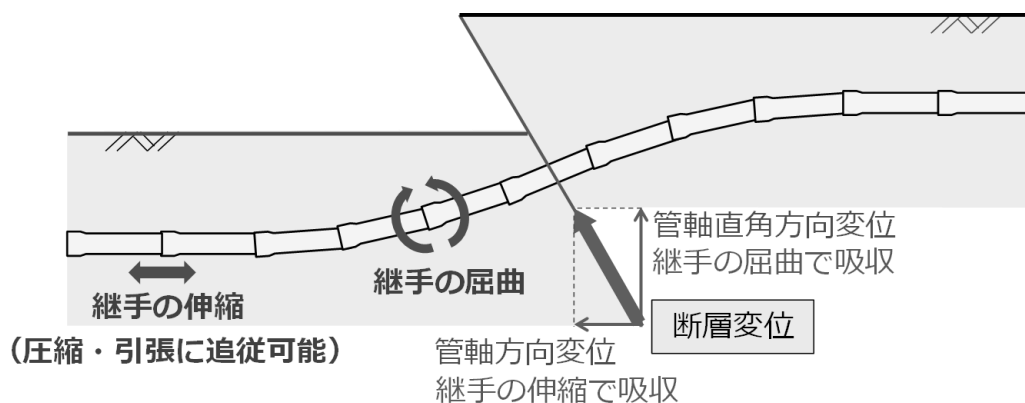


図 6 断層変位を受けた管路の挙動

地中の断層がずれることで、地表面近くまで“ずれ”が達する場合（以下、せん断状とする）と、地表面まで“ずれ”が達せず、“たわみ”として緩やかな地盤変状が生じる場合（以下、撓曲状とする）がある。図 7 にせん断状の断層変位と撓曲状の断層変位を示す。

せん断状の断層変位の場合、局所的な地盤変位が生じるため、想定される断層変位の大きさによっては、後述する継ぎ輪・長尺継ぎ輪を用いた対策を施す必要がある。

撓曲状の断層変位は広い範囲に緩やかに地盤変位が生じるため、耐震型ダクタイル鉄管を用いれば、基本的に特別な断層対策は不要である。

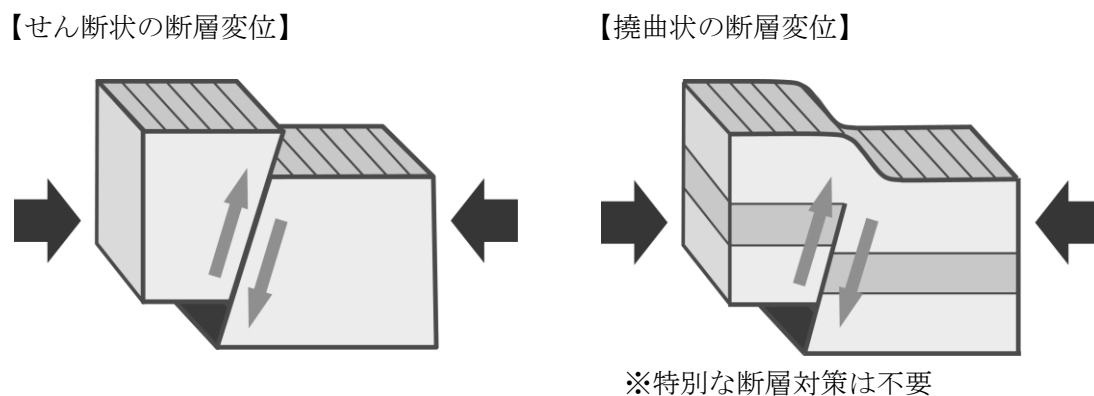


図 7 せん断状の断層変位と撓曲状の断層変位

出典：国土交通省 国土地理院「1:25,000 活断層図（都市圏活断層図）利用の手引」より修正

4. 3 設計照査基準

表 4 に設計照査基準を示す。後述の簡易計算法もしくは FEM 解析により、継手屈曲角度、応力および軸力を算定し、すべてを満足するものとする。

表 4 設計照査基準

照査項目	照査基準
継手屈曲角度	各継手の許容値以下※ ¹
応力	270MPa 以下※ ²
軸力	3 D kN 以下※ ³

※¹ 継手屈曲角度の照査基準は継手形式、呼び径により異なる

※² 270MPa はダクタイル鋳鉄の 0.2%耐力

※³ D：呼び径[mm]

4. 4 設計フロー

図 8 に設計フローを示す。

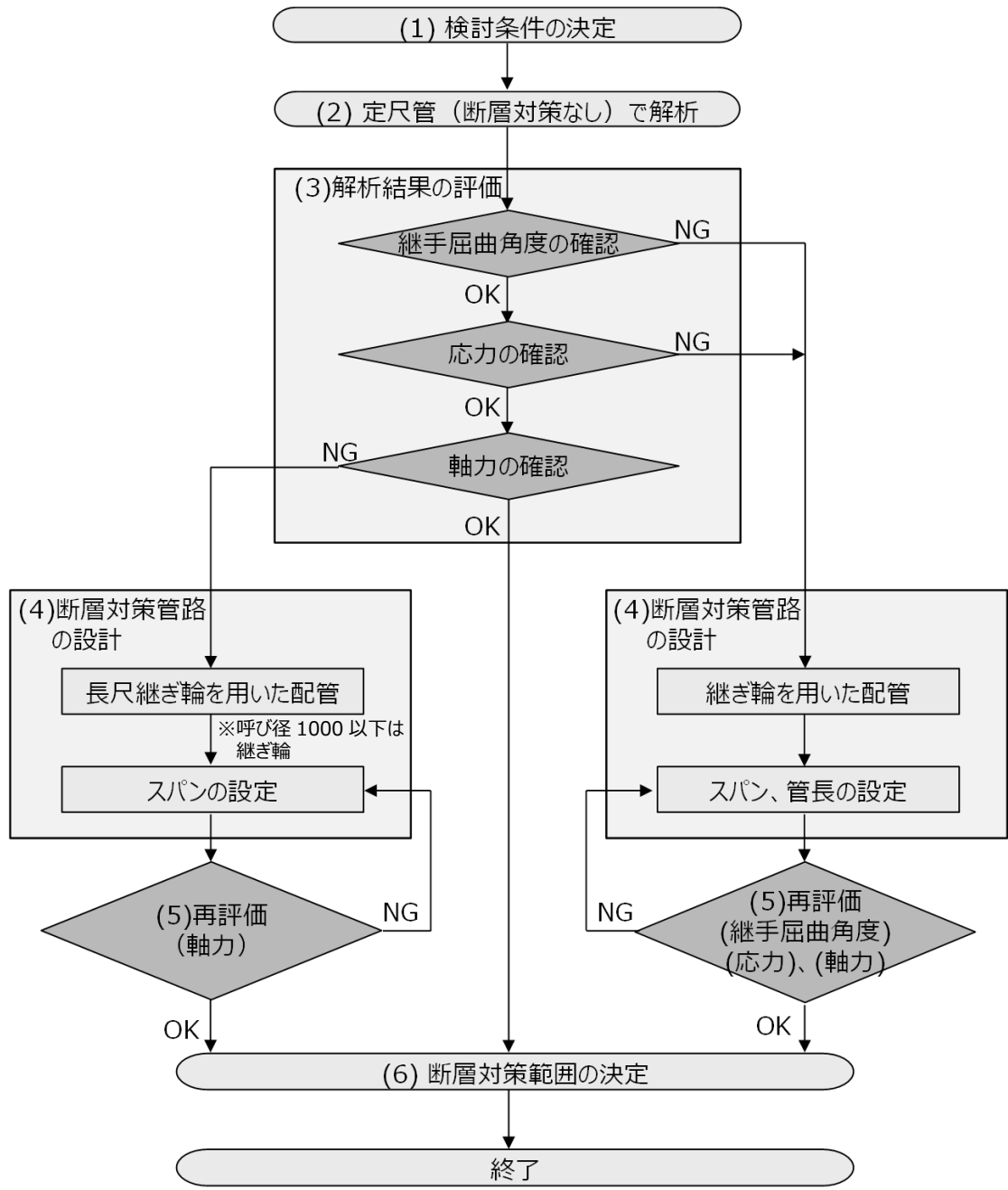


図 8 断層横断管路設計フロー

(1) 検討条件の決定

断層横断管路の設計には、表 5～表 8 に示す断層条件、地盤条件、配管条件を決定する必要がある。

表 5 断層条件

項 目	内 容
断層の位置	断層が出現する位置
断層の種類	逆断層・正断層・横ずれ断層のいずれか
断層出現想定範囲	断層が出現する範囲
断層変位量	想定される断層のずれの量
断層ベクトルと管路の交差角 θ	表 6 のパラメータ・図 9 の式より算出

表 6 交差角算定のためのパラメータ

項 目	内 容
断層の走向	断層面と水平面の交わる線の方 向（北を基準に時計回り）
断層の傾斜角	想定される断層のずれの量
断層のすべり角 (断層ベクトルの仰角 φ)	断層のすべり方向 (断層の走向を基準に反時計回り)
管路の方位角 α	北を基準とした管路の向き
断層ベクトルの方位角 γ	断層の走向と傾斜角より算出

断層ベクトルと管路の交差角 θ :

$$\theta = \cos^{-1}[\cos(\gamma - \alpha) \cdot \cos \varphi]$$

α : 管路の方位角

γ : 断層ベクトルの方位角

φ : 断層ベクトルの仰角

断層ベクトル
(長さ:断層変位)

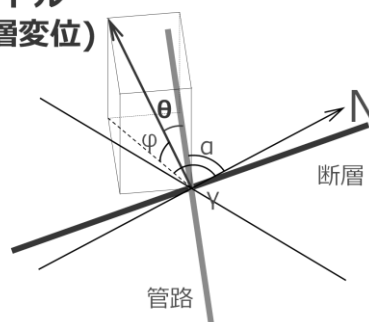


図 9 断層と管路の交差角

表 7 地盤条件

項 目	内 容
地盤反力係数	地盤への載荷荷重と沈下量より求めた係数
N 値	地盤反力係数への換算に使用（図 11）
単位体積重量	土の単位体積重量

表 8 配管条件

項 目	内 容
呼び径	使用する管の呼び径
継手形式	耐震継手を使用
管種	管厚

地盤条件および配管条件から、解析（P.14~20）に使用する地盤ばね、継手ばねを決定する。

図 10 に地盤ばねを示す。管軸方向地盤ばね係数は式(1a)、式(1b)、管軸直角方向地盤ばね係数は式(2a)、(2b)より求める。いずれも、地盤の非線形性を考慮したバイリニアモデルである。

周辺地盤、埋戻土が特殊な場合、別途、地盤ばね係数を決定する必要がある。

$$k_1 = \pi D \gamma \left(h + \frac{D}{2} \right) \frac{\lambda}{\delta_1} \tan \Delta \quad (1a)$$

$$k_2 = 0.001 k_1 \quad (1b)$$

$$k_{1y} = k D \lambda \quad (2a)$$

$$k_{2y} = 0.001 k_{1y} \quad (2b)$$

ここに、 k_1 、 k_2 : 管軸方向地盤ばね係数 (kN/m)

k_{1y} 、 k_{2y} : 管軸直角方向地盤ばね係数 (kN/m)

D : 管外径 (m)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m³)

h : 土被り (m)

Δ : 土の内部摩擦角 (°)

δ_1 : 管軸方向地盤ばねの変曲点 (m)

k : 地盤反力係数 (kN/m³)

福岡、宇都の試験によると N 値と地盤反力係数 k の関係は図 11 の通り

λ : 管の単位長さ (m)

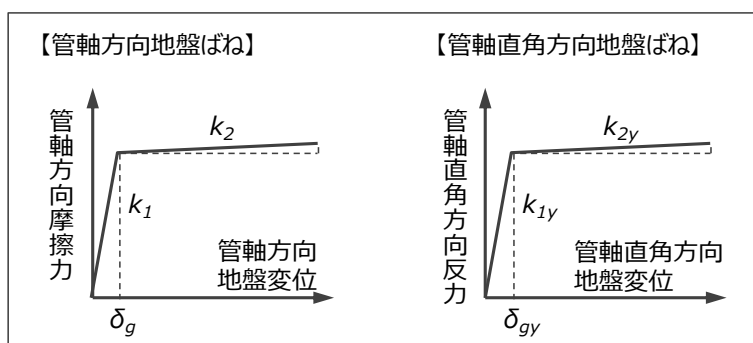


図 10 地盤ばね

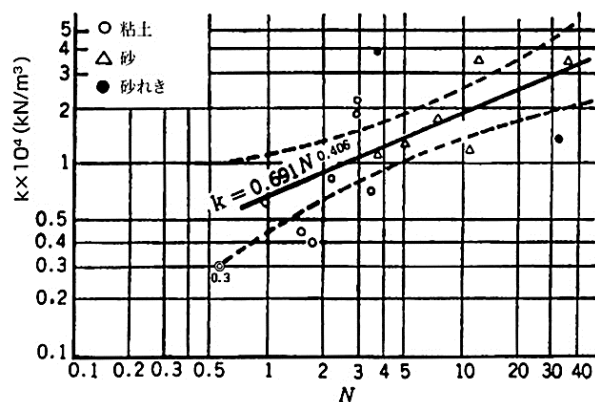


図 11 N 値と地盤反力係数 k の関係

出典：福岡、宇都 「ボーリング孔を利用した基礎地盤の横方向 K 値について」

図 12 に継手ばねを示す。継手ばね係数は実験により求める。図 13 に一例として、継手回転ばね係数を決定するための継手曲げ試験方法を示す。

図 14、図 15 に US 形継手の管軸方向ばね係数、回転ばね係数を示す。ここに示すばね係数は目安の値であるため、必要に応じて実験を行い、継手ばねを決定する。

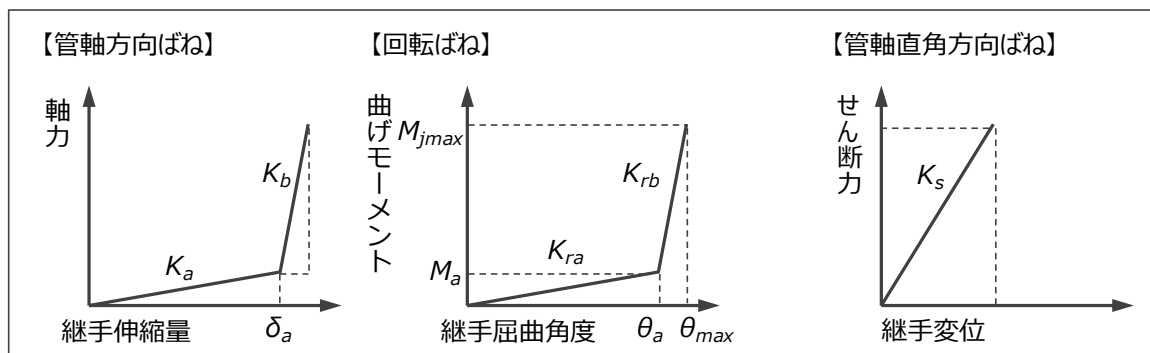


図 12 継手ばね

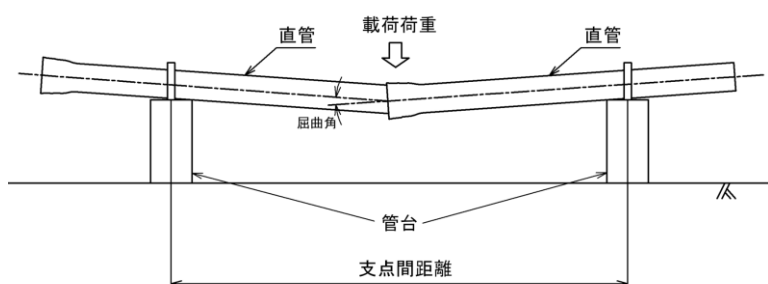


図 13 継手曲げ試験

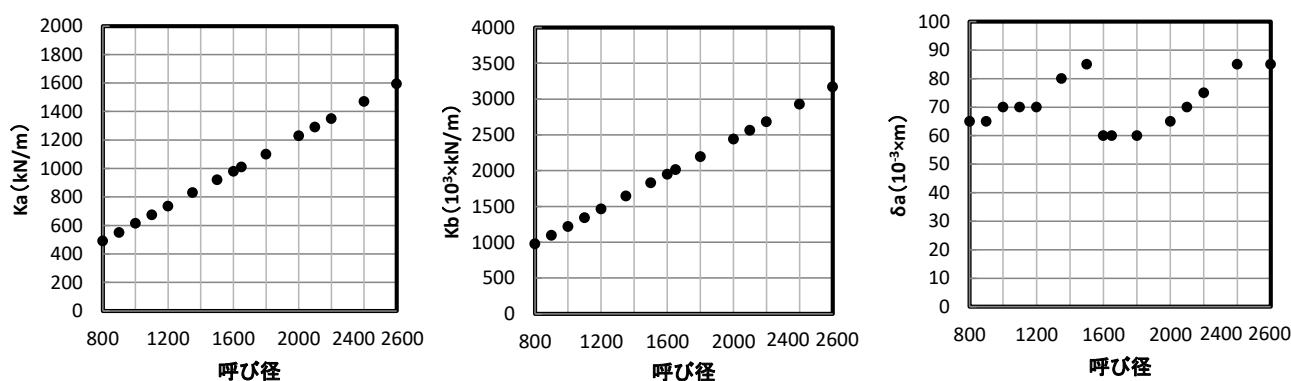


図 14 US 形継手 管軸方向ばね係数

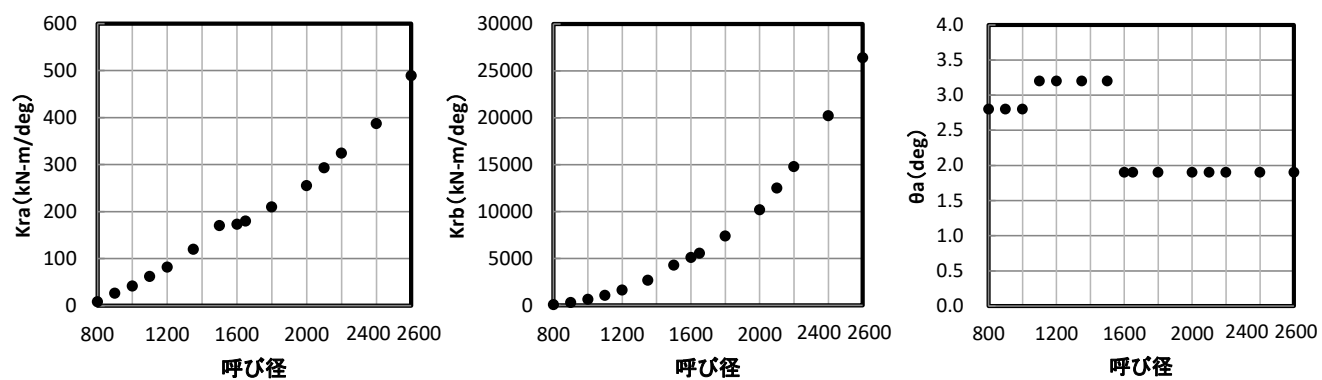


図 15 US 形継手 回転ばね係数

(2) 定尺管（断層対策無し）での解析

以下の簡易計算法もしくは FEM 解析により、断層対策を施していない耐震型ダクトイル管路の安全性を照査する。

表 9 に FEM 解析より求めた、断層対策部配管設計の早見表を示す。表 10 に早見表の適用条件を示す。

表 9 断層横断部配管設計方法の早見表

断層変位 (m)	呼び径	
	1000 以下	1100 以上
1.5m 未満	断層対策不要 (耐震継手で管路を構築)	断層対策不要 (耐震継手で管路を構築)
1.5m 以上	継ぎ輪を使用	継ぎ輪または 長尺継ぎ輪を使用

表 10 早見表の適用条件

断層の型	正断層、逆断層、横ずれ断層
断層変位	3m 以下
土被り	1.2m
埋め戻し	砂質土による一般的埋め戻し、N 値 5 程度の締固め

(a) FEM 解析

図 16 に解析モデルの例を示す。

管路ははり要素またはシェル要素とし、地盤特性はばね要素としてモデル化する。移動側の地盤節点に強制変位を与えることで、断層変位を再現する。

計算例を【参考資料 1】に示す。

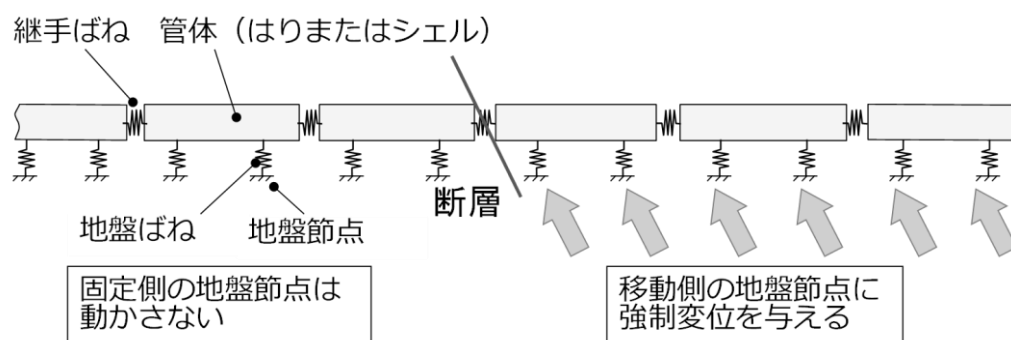
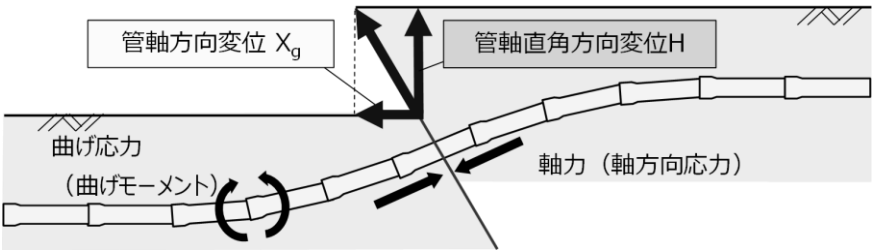


図 16 解析モデル例

(b) 簡易計算法

簡易計算法は断層変位を管軸直角方向変位と管軸方向変位の二成分に分け、「継手屈曲角度」、「応力」、「軸力」を簡易的に算定する方法である（図 17）。本項では、主要な式について述べる。

なお、簡易計算法では、様々な仮定をし、「継手屈曲角度」、「軸力」、「応力」が安全側の値となるよう、式を導出しているため、詳細な検討が必要な場合は FEM 解析を行う。



項 目	算 定 方 法
継手屈曲角度	管軸直角方向変位 H から算定
軸力	管軸方向変位 Xg から算定
応力	軸方向応力（管軸方向変位から算定）と 曲げ応力（管軸直角方向変位から算定）の合計

図 17 簡易計算法の概要

①継手屈曲角度の算出

継手の位置の曲げモーメントを算出し、継手回転ばねより継手屈曲角度を算定する。

【手順 1】 想定される管軸直角方向の断層変位量 H を吸収するために必要な継手数を $2N$ 、継手が屈曲する範囲 $2L_0$ としたときの、 N および L_0 を求める（図 18、継手は継手回転ばねの変曲点 θ_a まで回転すると仮定）。

継手数 N は式(3a)を満たす最小の N である。また、継手屈曲範囲 L_0 は式(3b)とする。

$$\frac{H}{2} \leq L \sum_{k=1}^N \sin(k\theta_a) \quad (3a)$$

$$L_0 = L \times N \quad (3b)$$

ここに、 L : 管の有効長 (m)

θ_a : 継手回転ばねの変曲点 (°)

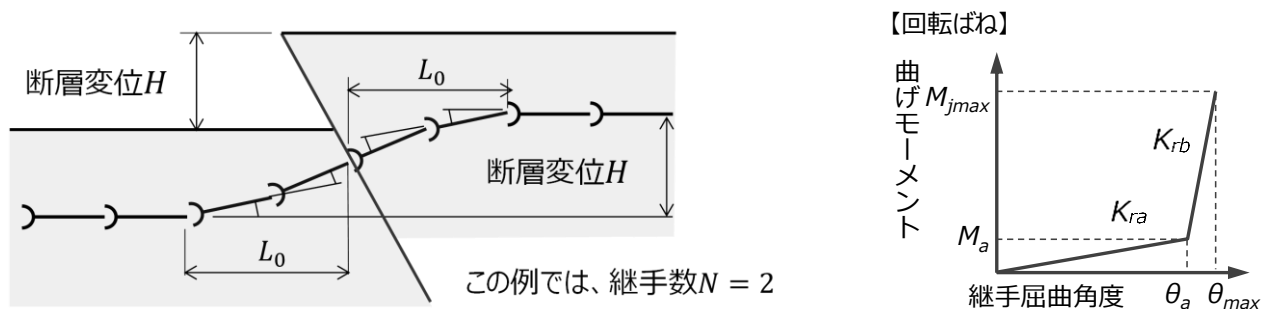


図 18 継手数 N と継手屈曲範囲 L_0

【手順 2】 管路に生じる曲げモーメントを求める。

安全側で評価するために、管路と地盤の相対変位 y は断層面を中心とした線形分布と仮定する（図 19）。このとき、管路が地盤から受ける荷重 $p(y)$ は台形状の分布荷重となる（図 20）。

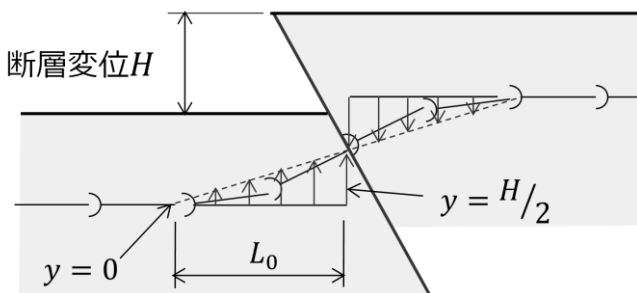


図 19 管路と地盤の相対変位 y の分布

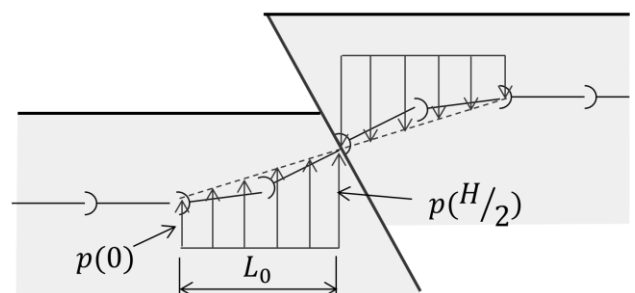


図 20 管路が地盤から受ける分布荷重 $p(y)$

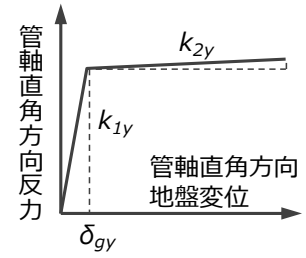
分布荷重 $p(y)$ と分布荷重により生じる曲げモーメント $M(x)$ は以下の式(3c)、(3d)から求められる。

$$p(y) = k_{2y} y + (k_{1y} - k_{2y}) \delta_{gy} \quad (3c)$$

$$M(x) = \frac{x(L_0 - x)}{6} \left\{ 3p(0) + \left(\frac{2L_0 - x}{L_0} \right) p(H/2) \right\} \quad (3d)$$

ここに、
 y : 管と地盤の相対変位 (m)
 k_{1y}, k_{2y} : 管軸直角方向地盤ばね係数 (kN/m)
 δ_{gy} : 管軸直角方向地盤ばねの変曲点 (m)
 x : 断層からの距離 (m)
 L_0 : 継手が屈曲する範囲 (m)
 H : 断層変位量 (m)

【管軸直角方向地盤ばね】



【手順 3】 継手回転ばねより継手屈曲角度を求める。

断層から x の位置にある継手の継手屈曲角度 $\theta(x)$ は式(3e)より求まる。

継手屈曲範囲内の継手の $\theta(x)$ を求め、継手屈曲角度が許容値以下であることを確認する。

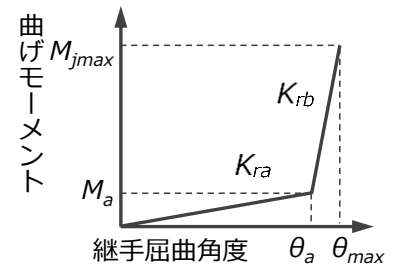
$$\theta(x) = \frac{M(x) - M_a}{k_{rb}} + \theta_a \quad (3e)$$

$$\text{ここに、} k_{rb} = \frac{M_{jmax} - M_a}{\theta_{max} - \theta_a}$$

θ_{max} : 継手屈曲角度の許容値 (°)

M_{jmax} : θ_{max} まで屈曲させたときの曲げモーメント (kN・m)

【回転ばね】



②軸力の算出

管軸方向変位 X_g を吸収するために必要な継手数・管路の影響範囲を求め、地盤ばねから軸力を算定する。

図 21 に示すように、管路が管軸方向変位 X_g を受けると、各継手が継手伸縮量 δ ずつ相対変位を吸収し、断層変位を吸収する。継手が伸縮する範囲では、管路は地盤から軸力を受けることになる。

断層の位置で生じる軸力の最大値 f_{max} を式(4a)から求められる。

$$f_{max} = \frac{k_2(L - \delta)}{2\delta} X_g^2 + \frac{\delta_g(k_1 - k_2)(L - \delta)}{\delta} X_g \quad (4a)$$

ここに、 k_1, k_2 : 管軸方向地盤ばね係数 (kN/m)

δ_g : 地盤ばね変曲点 (m)

X_g : 断層面での管と地盤の相対変位 (m)

$$X_g = Z/2 + G$$

Z : 管軸方向断層変位量 (m)

G : 屈曲による管路の縮み量 (m)

δ : 継手伸縮量 (m)

L : 管の有効長 (m)

【管軸方向地盤ばね】

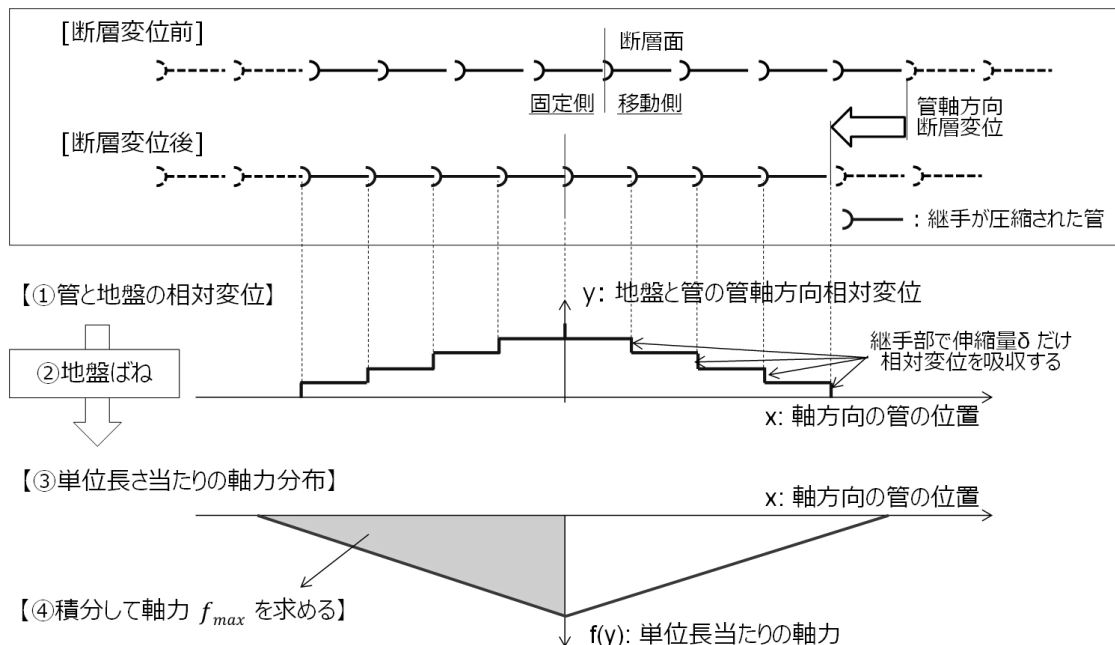
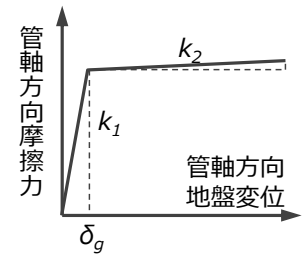


図 21 軸力の算定方法

③応力の算出

軸力 f_{max} と曲げモーメント M_{max} の計算結果から応力を算定する。

管軸方向応力 σ_{amax} (式(5a)) と曲げ応力 σ_{bmax} (式(5b)) から、最大応力 σ_{max} (式(5c)) を求める。

$$\sigma_{amax} = \sigma_a(0) = \frac{f_{max}}{A} \quad (5a)$$

$$\sigma_{bmax} = \sigma_b(B) = \frac{M_{max}}{Z} \quad (5b)$$

$$\sigma_{max} = \max\{\sigma_{amax} + \sigma_b(0), \sigma_{bmax} + \sigma_a(B)\} \quad (5c)$$

(断層位置の応力、曲げ応力最大位置の応力の最大値)

ここに、 A : 管体の断面積 (m²)

Z : 管体の断面係数 (m³)

(3) 解析結果の評価

簡易計算法または FEM 解析で求めた「継手屈曲角度」、「応力」、「軸力」を評価する。

① 「継手屈曲角度」、「応力」、「軸力」がすべて評価基準を満足する場合

定尺管（断層対策無し）で断層変位に追従可能である。

② 「継手屈曲角度」が許容値を超過する場合

継ぎ輪を用いた配管で再検討を行う。

③ 「応力」が許容値を超過する場合

継ぎ輪を用いた配管で再検討を行う。ただし、管種（管厚）を変更可能な場合、管種を変更する。

④ 「軸力」が許容値を超過する場合

長尺継ぎ輪（呼び径 1000 以下では継ぎ輪）を用いた配管で再検討を行う。

(4) 断層対策管路の設計（定尺管で評価基準を満足しない場合）

(a) 継ぎ輪を用いた配管

解析結果より、「継手屈曲角度」または「応力」が超過する場合は、継ぎ輪を用いた配管にて再検討を行う。図 22、図 23 に継ぎ輪を用いた配管例を示す。

継ぎ輪は通常の継手の 2 倍屈曲するため、より大きい断層変位を吸収することが可能となる。

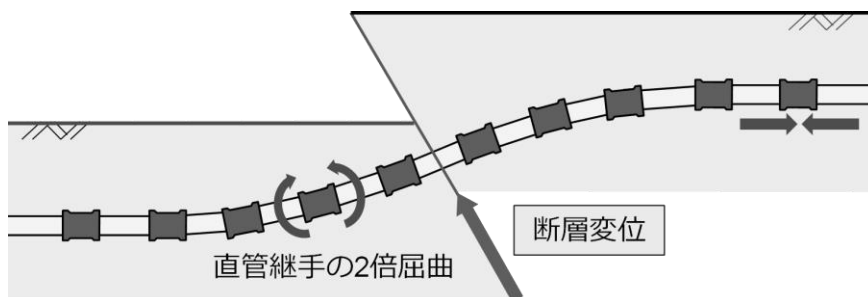


図 22 継ぎ輪を用いた配管例 1

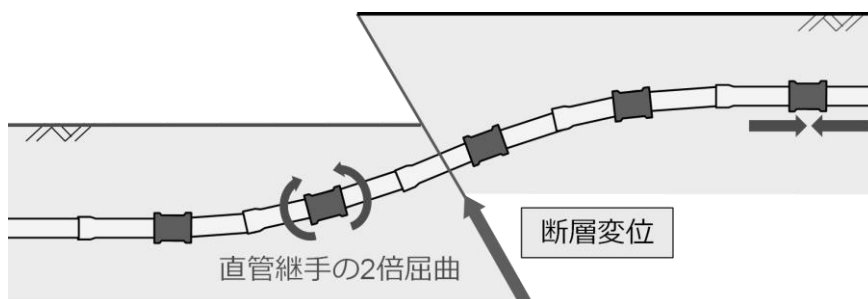


図 23 継ぎ輪を用いた配管例 2（直管継手を併用）

(b) 長尺継ぎ輪を用いた対策

解析結果より、「軸力」が超過した場合は、長尺継ぎ輪を用いた配管にて再検討を行う。

長尺継ぎ輪は通常の継手の約 10 倍の伸び量（または、縮み量）を有するため、管軸方向の断層変位を大きく吸収し、軸力を低減させる。図 24 に長尺継ぎ輪を用いた配管例を示す。

長尺継ぎ輪の設置間隔（以下、スパン s ）は、図 25 に示すように、「継手屈曲角度」の計算結果より、角度閾値 $\theta_t (=1^\circ)$ 以下となる箇所に設置する。

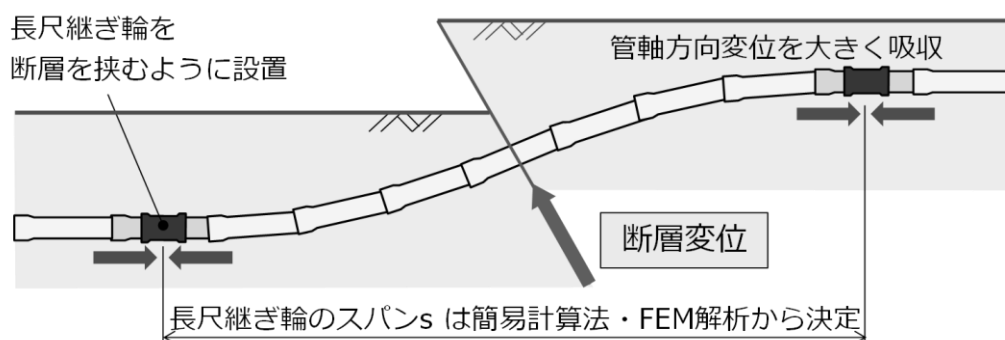
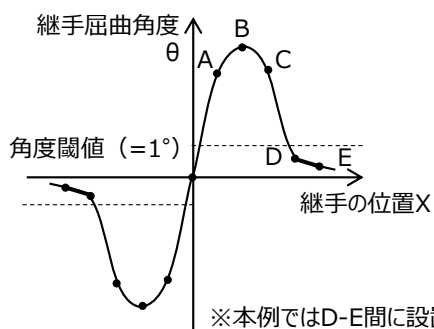


図 24 長尺継ぎ輪を用いた配管例



ここに、
 $X=0$ が断層面の位置
継手屈曲角の正負は屈曲の向きである

図 25 長尺継ぎ輪のスパン s の決定方法

(5) 再評価

簡易計算法もしくは FEM 解析により、継ぎ輪または長尺継ぎ輪を用いた配管の安全性照査を行い、

(3) 解析結果の評価 (P20) と同じ方法で再評価を行う。詳細は【参考資料 1】参照。

再評価の結果、「継手屈曲角度」、「応力」、「軸力」が許容値を満足しない場合、配管条件を見直し、再検討を行う。

(a) 継ぎ輪を用いた配管の場合

管長を短くし、再評価を行う。

(b) 長尺継ぎ輪を用いた配管の場合

図 26 に示す長尺継ぎ輪のスパン s を短くし、再検討を行う。

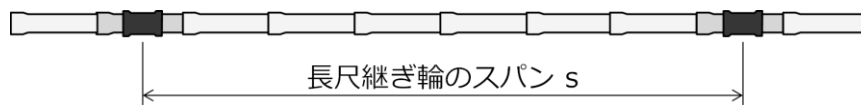


図 26 長尺継ぎ輪のスパン s

(6) 断層対策範囲の決定

断層のずれは地下深くに発生するため、地表面近くに達する断層によるずれの位置は、一箇所に限定されることは無く、幅を持って示される。そこで、断層が出現すると想定される範囲（以下断層想定範囲とする）のどこに断層が生じても問題ないように、断層想定範囲を挟むように断層対策を施す必要がある。

図 27 に長尺継ぎ輪を用いた配管の例を示す。断層想定範囲を挟むように長尺継ぎ輪を配置することで、断層想定範囲内のどこに断層変位が生じても問題ない配管となる。

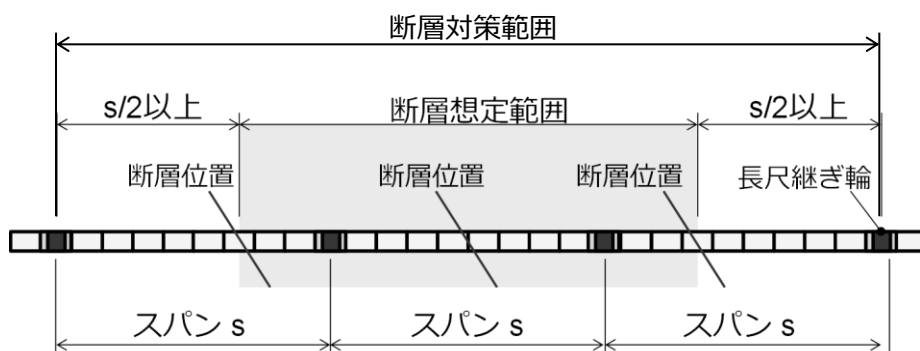


図 27 断層想定範囲と断層対策範囲

参 考 資 料

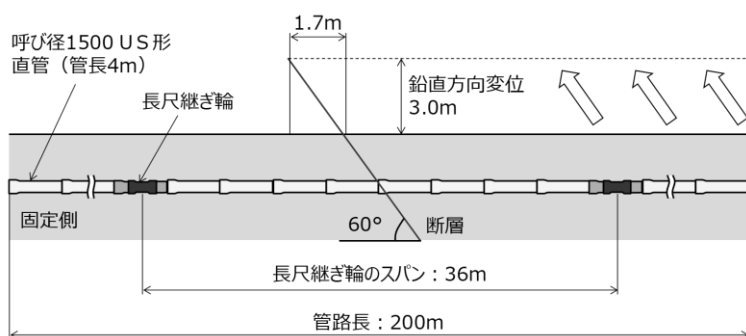
参考資料 1. FEM 解析による解析例

参考資料 1. FEM 解析による解析例

導送水管路のような大口径管路は、既存の施設との位置関係や施工面での制約から、断層位置を回避するような線形変更が困難であることが想定される。そこで、本解析例では、大口径管路を対象とし、大口径管路の施工で一般的なシールドトンネル内配管を想定して、US 形ダクティル鉄管で検討を行った。

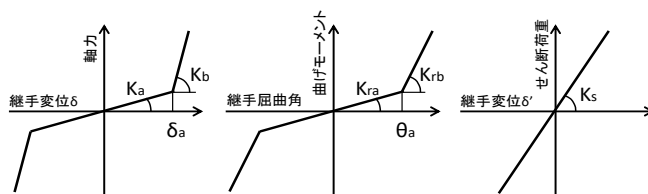
図 1 に示すように、逆断層状の断層変位を受ける管路の FEM 解析を行った。逆断層状の断層変位を受けて管路が圧縮されることが想定される場合、継手接合時に挿し口挿入量を調整して伸縮性能を確保してもよい。ここでは、 $\pm 0.5\%$ 伸縮代を確保して接合した条件で検討した。

管路の全長は管路の両端が断層変位の影響を受けない十分な長さである 200m とし、管路の中央部に断層変位を与えた。また、長尺継ぎ輪を用いた配管の有効性を確認するため、①長尺継ぎ輪を使用しない直管管路（直管モデル）と、②長尺継ぎ輪を 36m 間隔で配置した管路（長尺継ぎ輪モデル）の 2 条件で解析した。断層変位は水平方向 1.7m、鉛直方向 3.0m、交差角度 60° の逆断層とした。管は 3 次元シェル要素とし、継手特性、地盤特性を非線形ばね要素とした。図 2 に継手ばね、図 3 に地盤ばねを示す。



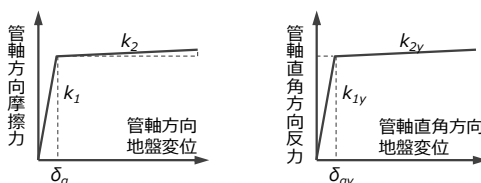
項目	解析条件
管路	継手の種類
	管種
	管路長
	継手伸縮量
	長尺継ぎ輪伸縮量
断層	断層の種類
	断層変位量
	地盤反力係数
地盤	土被り

図 1 解析モデル 解析条件



管軸方向ばね		回転ばね		管軸直角方向ばね	
K_a	$9.2 \times 10^3 (\text{kN/m})$	K_{ra}	$1.66 \times 10^2 (\text{kN} \cdot \text{m/deg})$	K_s	$2.00 \times 10^6 (\text{kN/m})$
K_b	$1.98 \times 10^6 (\text{kN/m})$	K_{rb}	$4.28 \times 10^4 (\text{kN} \cdot \text{m/deg})$		
δ_a	0.0475(m)	θ_a	3.2(deg)		

図 2 継手ばね（呼び径 1500 US 形ダクティル鉄管）



管軸方向ばね		管軸直角方向ばね	
k_1	$3.66 \times 10^4 (\text{kN/m})$	k_{1y}	$5.26 \times 10^4 (\text{kN/m})$
k_2	$3.66 \times 10^1 (\text{kN/m})$	k_{2y}	$5.26 \times 10^1 (\text{kN/m})$
δ_g	0.002(m)	δ_{gy}	0.002(m)

図 3 地盤ばね

図4に管路変位を示す。いずれのモデルも継手の屈曲により3mの鉛直方向地盤変位に追従した。また、図4中に一部3mを超える変位が見られるが、管路にかかる圧縮力（軸力）によるものと考えられる。

図5に継手伸縮量を示す。直管モデルは広い範囲で最大伸縮量47.5mmまで継手が圧縮されていることが分かる。断層変位3mを吸収するために継手が圧縮される範囲は、直管モデルが±80mであるのに対し、長尺継ぎ輪モデルは±36mであり、長尺継ぎ輪が大きく圧縮されることで、継手が圧縮される範囲が狭くなった。また、±36mの範囲外にある長尺継ぎ輪はほとんど圧縮されておらず、2つの長尺継ぎ輪で圧縮範囲の低減効果が得られた。

図6に軸力の解析結果を示す。直管モデルは3DkNを超える軸力が生じていたのに対し、長尺継ぎ輪モデルの軸力は3DkN以下であった。これは、長尺継ぎ輪により継手の圧縮される範囲が狭くなり、管軸方向の地盤から受ける摩擦力が低減されたためであると考えられる。

図7に軸力の地盤変位量の関係を示す。地盤変位量0～0.5mでは、直管モデルと長尺継ぎ輪モデルとの間にほとんど差は見られなかったが、その後差が見られ、直管モデルであっても1.65mまでの断層変位には追従できることが分かった。

以上の結果から、特に断層対策を施していない直管管路であっても1.6m程度以下の断層変位に追従することができ、直管管路の性能を超える変位量の断層の場合には、長尺継ぎ輪を用いた設計が有効であることが分かった。

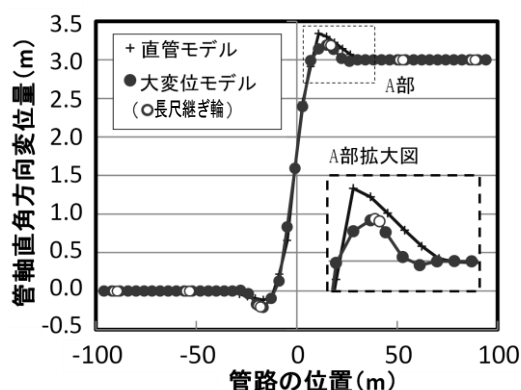


図4 管路変位

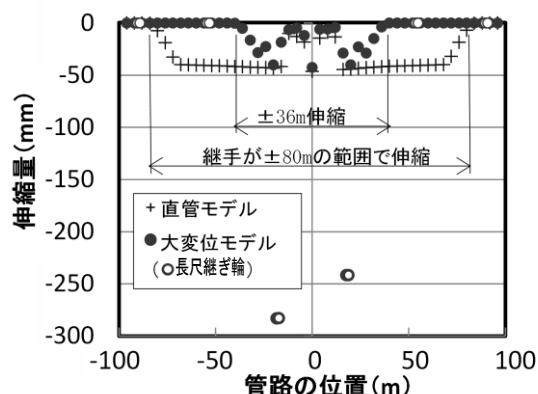


図5 継手伸縮量

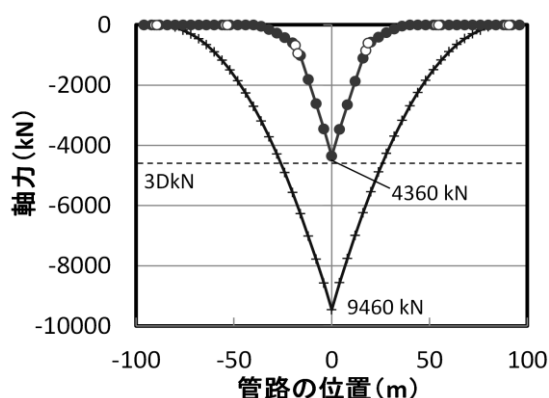


図6 軸力

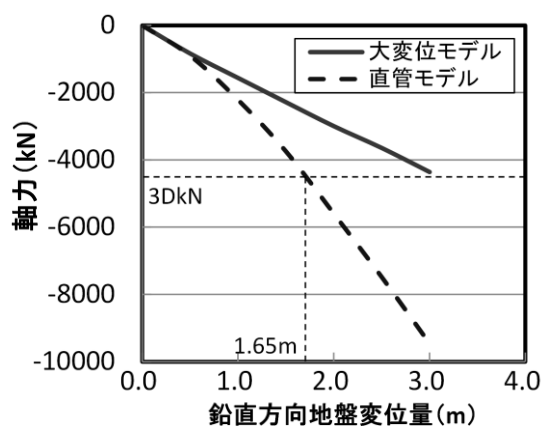


図7 軸力と地盤変位量の関係

技術資料の内容は、製品の仕様変更などで予告なく変更される場合があります。当協会のホームページから最新の技術資料がダウンロードできますので、お手持ちの技術資料をご確認ください。

一般社団法人

日本ダクタイル鉄管協会

<https://www.jdpa.gr.jp>

本部・関東支部	東京都千代田区九段南4丁目8番9号（日本水道会館） 電話 03（3264）6655（代） FAX 03（3264）5075
関西支部	大阪市中央区南船場4丁目12番12号（ニッセイ心斎橋ウエスト） 電話 06（6245）0401 FAX 06（6245）0300
北海道支部	札幌市中央区北2条西2丁目41番地（札幌2・2ビル） 電話 011（251）8710 FAX 011（522）5310
東北支部	仙台市青葉区本町2丁目5番1号（オーク仙台ビル） 電話 022（261）0462 FAX 022（399）6590
中部支部	名古屋市中村区名駅3丁目22番8号（大東海ビル） 電話 052（561）3075 FAX 052（433）8338
中国四国支部	広島市中区立町2番23号（野村不動産広島ビル） 電話 082（545）3596 FAX 082（545）3586
九州支部	福岡市中央区天神2丁目14番2号（福岡証券ビル） 電話 092（771）8928 FAX 092（406）2256