

## 剛継手により一体化された管路の地震挙動解析 Seismic Behavior Analysis of Unified Pipeline by Rigid Joints

畑中哲夫\* 太田正博\* 山本吉彦\* 喜多川 真好\*\*

Tetsuo Hatanaka, Masahiro Ota, Yoshihiko Yamamoto, Masayoshi Kitagawa

伸縮離脱防止機能を有した継手機構をもつ耐震管により管路の耐震化が進む中、曲管部や分岐部のような内水圧による抜け出し力が働く箇所には離脱防止継手と呼ばれる剛継手を使用されている。そのような箇所において、特に、伏せ越し部などは複数の剛継手により一体化された管路となり、その剛継手の特性により曲げ方向および軸方向に対する自由度が低くなるため地震時に受ける地盤変位の影響が懸念されている。

本稿では、複数の剛継手により一体化された管路の地盤変位による影響を評価するために、(社)日本水道協会が発行する水道施設耐震工法指針・解説に準じて各解析パラメータを設定し、それらの解析条件に基づき弾性直管要素および非線形ばね要素を用いたFEM解析を行ったので、その結果を報告する。

Pipeline has been renewed by earthquake resisting pipe that has flexible and non-detached joint, and a part where works thrust force like bend pipe section or branched pipe section is used rigid joint. In that section, especially, like inverted siphon is made it unified pipeline by plural rigid joints, and it's be apprehensive about the influence of ground displacement during earthquake because degrees of freedom for bending direction and axial direction go down by characteristic of rigid joint.

This paper reports the result of FEM analysis with elastic straight pipe element and nonlinear spring element in order to estimate the influence of ground displacement on unified pipeline by plural rigid joints, and the established parameters in analysis is based on "Guidelines of Earthquake Resistant Method for Water Supply Facilities" by JWVA (JAPAN WATER WORKS ASSOCIATION).

### 1. はじめに

1995年兵庫県南部地震以降、2000年鳥取県西部地震、2001年芸予地震そして2003年宮城県沖の地震など日本各地で内陸直下およびその近傍での大規模な地震が多発している。幸いにして水道管路被害については、兵庫県南部地震での教訓が生かされつつあり、兵庫県南部地震規模での被害は報告されていない。このような状況の中で、今現在も各事業体の施策により水道管路の耐震化が進んでいる。耐震化にあたっては、伸縮離脱防止機構を有するNS、S、SⅡ形と呼ばれる耐震管が一般的に用いられる。これらの耐震管は伸縮性、可とう性および離脱防止性能を備えており、地震時の非常に大きな外力にも耐えることが可能で、その耐震性能は兵庫県南部地震でも実証されている。

一方、近年の大都市においては地下空間の利用率が非常に高い。地下鉄、地下道、ライフラインの地下埋設管類など多くの構造物が縦横無尽に入り組んでいる。このような状況下では地下構造物を新設、更新する場合、他の埋設物を回避するために必然的にそれら構造物は蛇行する。埋設管路においては、曲管などの異形管を用いてSバンド部や伏せ越し部などを形成し、他の構造物を回避する。この曲管部や分岐部には内水圧による抜け出し力が働くために離脱防止継手と呼ばれる剛継手を使用されている。特に、伏せ越し部など複数の剛継手により一体化された管路は、従来の必要一体化長さの算出式を用

いると一体化長さが非常に長くなり、その剛継手の特性により曲げ方向および軸方向に対する自由度が低くなるため地震時に受ける地盤変位の影響が懸念されている。

本稿では、複数のKF形と呼ばれる剛継手により一体化された管路の地震時における地盤変位による影響を評価するために、(社)日本水道協会が発行する水道施設耐震工法指針・解説に準じて各解析パラメータを設定し、それらの解析条件に基づき弾性直管要素および非線形ばね要素を用いたFEM解析を行ったので、その結果を報告する。

### 2. 剛継手および一体化管路の概要

#### 2.1 剛継手

KF形、UF形に代表される継手形式で、S形などの耐震管と同等の離脱防止力をもつメカニカル継手である。図1にKF形継手の概略図を示す。これらの継手の受口および挿し口部には溝が設けられており、この溝にロックリングと呼ばれる部材がかかり合うことにより継手の抜け出しを阻止する。この継手は、曲管部、T字管部、片落管部、および伏せ越し部など内水圧による抜け出し力が作用する場所に使用され、管路の移動および継手の抜け出しを防止する。

剛継手は離脱防止力という特性を得るために伸縮性および可とう性を犠牲にしており、管路に地震力などの大きな外力が作用する場合、それに比例するかたちで継手部には大きな曲げモーメントおよび軸力が作用する。

\* 鉄管事業部 鉄管研究部

\*\* ピー・エス・ティ株式会社

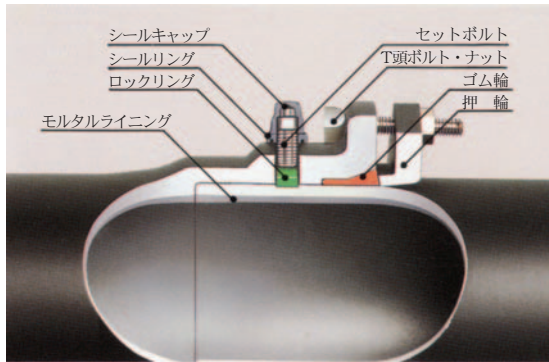


図1 KF形継手  
Fig. 1 KF type joint

2.2 一体化管路

管路の屈曲部、分岐部、末端の栓およびバルブ部では、水圧の不平均力により、管体が滑動して継手が抜け出したり、管体が振動したりすることがある。したがって、このような箇所には不平均力に抵抗する防護工を施す、または、離脱防止継手を用いるなどして管路の曲げおよび軸方向の剛性を上げる必要がある。

不平均力に抵抗するために離脱防止継手を用いる場合、一体化した管路がはりとして働くことにより、地盤反力と管体外面と周囲地盤との摩擦力、つまり地盤の拘束力が得られる。この不平均力に見合うだけの地盤拘束力を得ることができる管路の釣り合い長さを必要一体化長さという。図2に一例として、曲管部に作用する力の概略図を示す。なお、必要一体化長さの算出方法は各指針、技術資料などを参照されたく、本稿では割愛する。

このような剛継手による一体化管路、特に、伏せ越し部など剛継手が連続して複数使用される箇所では、耐震管路に求められる伸縮・可とう性が損なわれるため、地震時などの地盤変位に対する安全性が懸念されている。

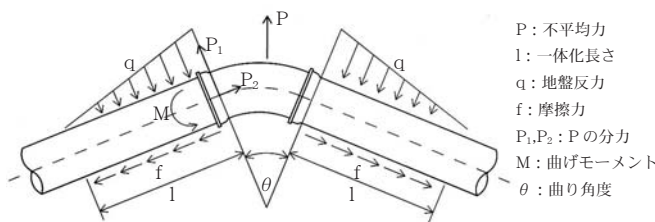


図2 曲管部に作用する力  
Fig. 2 Thrust force on bend pipe

3. 想定地盤および地震動

3.1 想定地盤

本解析では、N値50を示す基盤層上に表層地盤層として沖積世砂質土地盤が2層に分かれて堆積した地盤を想定した。表層地盤の層厚は25mとし、1層目層厚が15m、2層目が10m、N値はそれぞれ10および20とした。表1に想定地盤の諸元を示す。また、各層のせん断弾性波速度  $V_s$  は、沖積世砂質土層を式(1)、基盤層を式(2)により算出した。

$$V_s = 61.8 \times N^{0.211} \quad (1)$$

$$V_s = 205 \times N^{0.125} \quad (2)$$

ここに、 $N$ は地盤のN値(標準貫入試験打撃回数)を表す。また、想定地盤の固有周期  $T_G$  は式(3)により算出し、その値は0.91(秒)となった。

$$T_G = 4 \times \sum \frac{H_i}{V_{Si}} \quad (3)$$

ここに、 $H_i$ および  $V_{Si}$  は  $i$  番目の地層の厚さおよびせん断弾性波速度を表している。

なお、これらの式は「水道施設耐震工法指針・解説」に準ずるものであり、以下に示される各式も基本的に同様である。

3.2 地盤水平変位振幅

本解析では、応答変位法を用いて地震動レベル2における地盤水平変位振幅を想定した。応答変位法とは、地震時の動的な影響の少ない地中埋設管路の挙動を静的な問題に置き換えて計算する耐震計算手法である。まず管路埋設位置での地盤変形を求め、それを後述するはり-ばねモデルのばね端に強制変位として与えることにより、地震時の地盤変形を管路に伝達させる。地震動レベル2によって発生する地盤の水平変位振幅  $U_h$  は式(4)により算出し、その値は0.185mとなった。

$$U_h(x) = \frac{2}{\pi^2} \cdot S_v' \cdot T_G \cdot \cos \frac{\pi x}{2H} \quad (4)$$

ここに、 $S_v'$  は基盤地震動の速度応答スペクトル、 $T_G$  は表層地盤の固有周期、 $H$  は表層地盤の厚さ、 $x$  は地表からの深さを表している。なお、 $S_v'$  は、兵庫県南

表1 想定地盤  
Table 1 Assumed ground

	地質	層厚 $H_i$ (m)	N 値	せん断弾性波速度 $V_{Si}$ (m/s)	$H_i / V_{Si}$
第1層	沖積世砂質土	10	10	100.5	0.0995
第2層	沖積世砂質土	15	20	116.3	0.1290
基盤層	洪積世砂質土	-	50	334.3	-

部地震で記録されたデータの非超過率がそれぞれ90% (上限)、70% (下限) で示された基盤地震動の設計用速度応答スペクトルで、上述3.1で求めた地盤固有周期 $T_G$ が0.91 (秒) であるから、 $T_G \geq 0.7$  (秒) での上限値である100m/sを用いた。また、管路の埋設深さは1.2mとした。

### 3.3 地震波長

水平方向の波長 $L$ は、表層地盤のせん断震動により地盤変位が最大となるときの波長と表層地盤の固有震動の一周期の間に基盤内を伝播するせん断震動が進む距離の調和平均をとり式(5)、(6)で求められる。その値は150.7mであった。

$$L = \frac{2 \cdot L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2} \quad (5)$$

$$L_1 = V_{DS} \cdot T_G \quad L_2 = V_{BS} \cdot T_G \quad (6)$$

ここに、 $V_{DS}$ は表層地盤の平均せん断弾性波速度、 $V_{BS}$ は基盤のせん断弾性波速度、 $T_G$ は表層地盤の固有周期を表している。

## 4. 解析モデル

### 4.1 管と地盤のモデル化

3次元FEMにより管と地盤を弾性直管要素(はり要素)および非線形ばね要素でモデル化した。図3に管と地盤のモデル概略図を示す。管を構成する弾性直管要素は、2節点で構成され、各節点において並進3成分、回転3成分の6自由度をもつ要素である。この要素を用いて管路長さ1m毎に要素分割を行った。なお、曲管部および切り管部では要素長が1mを前後する箇所がある。次に、地盤を構成する非線形ばね要素は、2節点で構成される並進ばね要素で、各節点において並進3成分の自由度をもつ単軸の引張り-圧縮要素である。管要素を構成する各節点に対して、この地盤ばね要素を埋設管路の管軸方向、管軸直交水平方向および管軸直交垂直方向の計3方向に連結した。この管路節点に連結されていない地盤ばねのばね端に対して地震動の地盤変位を強制変位

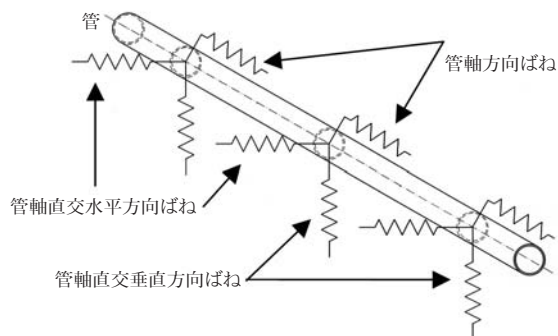


図3 管と地盤のモデル化  
Fig. 3 Pipe and ground model

として入力する。

一方、応答変位法によるはり-ばねモデルの管路の挙動解析においては、地盤を表現する地盤ばねのばね定数が解析結果に大きな影響を与える。したがって、適切なばね定数の設定が重要になる。ばね定数の決定には管軸方向および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数が必要になる。管軸方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数 $K_{g1}$ の算出式を式(7)に、管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤剛性係数 $K_{g2}$ の算出式を式(8)に示す。また、表2に地盤剛性係数を示す。

$$K_{g1} = C_1 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \quad (7)$$

$$K_{g2} = C_2 \cdot \frac{\gamma_t}{g} \cdot V_s^2 \quad (8)$$

ここに、 $\gamma_t$ は土の単位体積重量、 $g$ は重力加速度、 $V_s$ は表層地盤のせん断弾性波速度を表す。 $C_1, C_2$ は埋設管路の管軸および管軸直交方向の単位長さ当たりの地盤の剛性係数に対する定数で式(9)、(10)で求められる。

$$C_1 = 1.3 \cdot H^{-0.4} \cdot D^{0.25} \quad (9)$$

$$C_2 = 2.3 \cdot H^{-0.4} \cdot D^{0.25} \quad (10)$$

ここに、 $H$ は表層地盤厚さ、 $D$ は管径を表す。

なお、埋設管路の管軸方向の地盤剛性係数 $K_{g1}$ に対しては管と地盤の滑りを考慮し、その地盤拘束力 $\tau_{cr}$ は最大0.01MPaとした。したがって、管軸方向の地盤ばねはある長さ以上伸びると力が生じない完全弾塑性モデルで表現される。滑りが発生する変位 $\delta_1$ を式(11)により求めた。

$$\delta_1 = \frac{(\pi \cdot D \cdot \tau_{cr})}{K_{g1}} \quad (11)$$

ここに、 $D$ は管の直径を表す。

最終的に、管要素に連結されている各方向の地盤ばねのばね定数は、上述により算出された地盤剛性係数に各地盤ばねが受けもつ管路長さに乗じた値となる。

### 4.2 継手のモデル化

埋設管路において管と管の接続には各種形式の継手を使用される。これらの継手は形式ごとに特性を有し、先に述べた離脱防止継手(剛継手)の他に、伸縮離脱防止継手(鎖継手)、一般継手、フランジ継手などのタイプがあり、伸縮性や可とう性などがそれぞれ異なる。地盤ばね定数と同様に、継手特性の設定は地盤変位による埋設管の挙動を解析する上で結果に大きく影響する重要なパラメータである。この継手部をモデル化するために、地盤ばねをモデル化した非線形ばね要素と同様ものを使用し、継手のもつ伸縮特性、せん断特性、曲げ特性を継手ば



表2 地盤剛性係数  
Table 2 Coefficient of soil rigidity

口径	管軸方向			管軸直交方向	
	$C_1$	$K_{g1}(N/m^2)$	滑動開始変位 $\delta_1(m)$	$C_2$	$K_{g2}(N/m^2)$
$\phi 500$	1.38	$2.51 \times 10^7$	$6.5 \times 10^{-4}$	2.43	$4.42 \times 10^7$

ねとして管路中の継手位置に組込んだ。図4に継手モデルの概略図を、図5に継手特性の模式図を示す。なお、非線形ばね要素を継手ばねとして使用する場合、1次元要素として定義し、各継手特性が示す作用方向と要素のもつ自由度を一致させた。なお、各継手特性値は、各形式および口径の継手の曲げ試験、引き抜き試験など実験により求めたものであり、データの無いものは線形的に補完した。

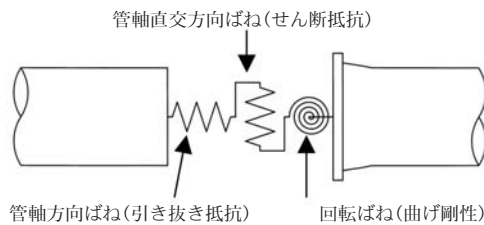


図4 継手モデル  
Fig. 4 Joint model

4.3 想定管路および入力地盤変位

図6に本解析で用いた管路図を示す。この管路は口径500mmのダクタイル鋳鉄管管路で、Sバンド部および伏せ越し部がそれぞれ1箇所ずつあり、それらを含んだ約60mがKF形継手で一体化されている。Sバンド部では45°曲管2個が連続して接合され水平方向に屈曲し、伏せ越し部では、一方が45°曲管2個連続で、もう一方が22.5°曲管2個の間に切り管を挟んで接合され鉛直方向に屈曲したモデルとなっている。ダクタイル鋳鉄の物性値は、 $E=1.57 \times 10^{11} N/m^2$ 、 $\nu=0.27$ を用いた。また、KF形管は特厚管、K形およびS形管は1種管を想定し、それぞれの設計管厚から鋳造公差を引いたものを用いた。表3にこれらの値を示す。

入力地盤変位は、図6の継手番号12を地震波原点とし、3.2および3.3で求めた地盤水平変位振幅 $U_h$ と波長 $L$ をパラメータとする正弦波曲線として入力した。また、入射角は管路に対して45°とした。

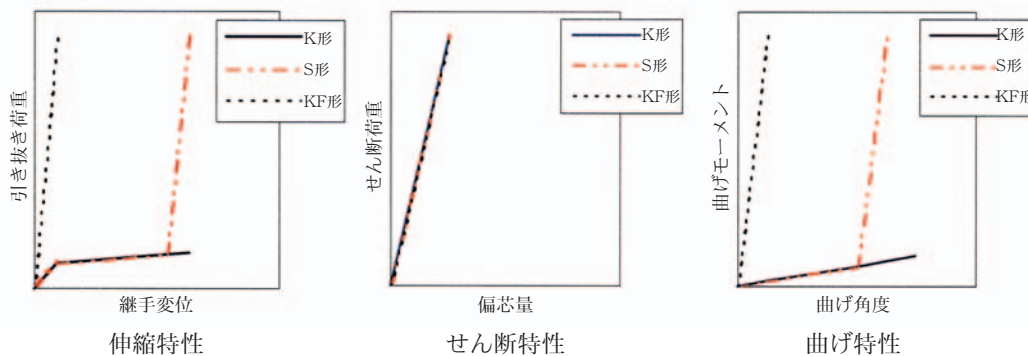


図5 継手特性模式図  
Fig. 5 Joint characteristic curve

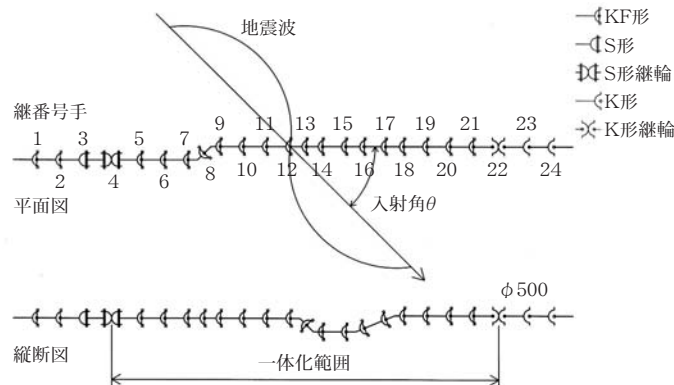


図6 管路モデルおよび入力地震波  
Fig. 6 Pipeline model and incident seismic wave

表3 管体諸元  
Table 3 Dimensions of the model pipe

口径	外径(m)	管厚 t(m)		ヤング率E (N/m <sup>2</sup> )	ポアソン比 $\nu$
		KF形	K,S形		
$\phi 500$	0.528	$1.08 \times 10^{-2}$	$8.5 \times 10^{-3}$	$1.57 \times 10^{11}$	0.27

#### 4.4 解析コード

解析に用いるプログラムは、汎用有限要素解析ツール ANSYS とした。ANSYS は幅広いユーザ層と各産業分野で多くの解析実績をもつ汎用 FEM プログラムの一つである。構造解析においては材料非線形や接触問題などに対するロバスト性も高い。

#### 4.5 FEM モデル

図7にFEMモデルを示す。解析モデルは、要素数525、節点数448で構成されている。

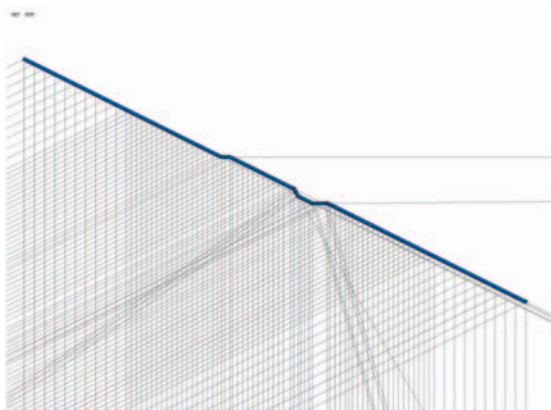


図7 FEMモデル  
Fig. 7 FEM model

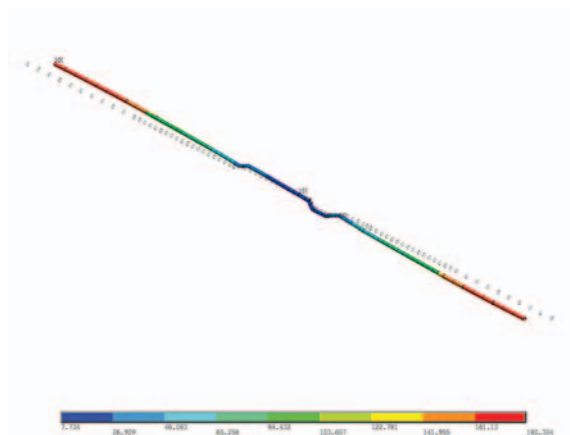


図8 変位図  
Fig. 8 Deformed shape

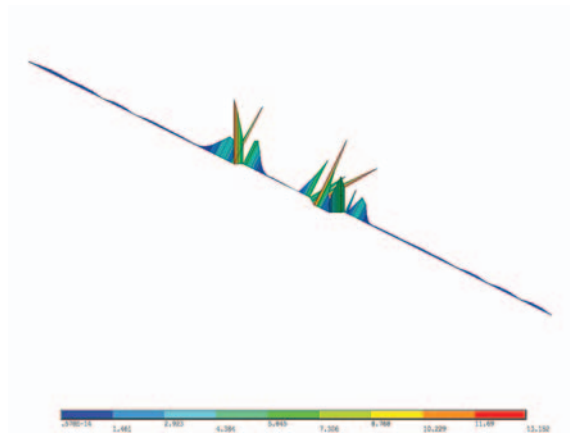


図9 曲げ応力図  
Fig. 9 Bending stress distribution

### 5. 解析結果

#### 5.1 管路変位

図8に管路の変位図を示す。管路は地盤変位に追従した挙動を示しており、入力した最大強制変位0.184mに対して管路の最大応答変位は0.180mであった。また、S形やK形継手位置では、2つの継手構成節点間の変位差が大きく、変位量は不連続となっており、継手のもつ伸縮機構が働く結果となっていた。

#### 5.2 管体発生応力

図9に曲げ応力図を、図10に軸応力図を示す。Sバンド部、伏せ越し部に高い曲げ応力が管体に発生していた。最大曲げ応力は、伏せ越し部の継手番号13-14間の曲管で、その値は $1.29 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ であった。また、Sバンド部の継手番号7-8間の曲管でも $1.14 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ と高い値を示していた。軸応力は圧縮側の値が卓越してお

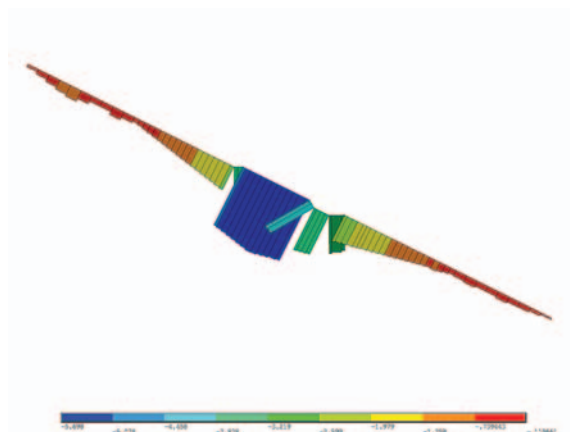


図10 軸応力図  
Fig. 10 Axial stress distribution

表4 管体発生応力  
Table 4 Stress of the model pipe

曲げ応力		軸応力		合成応力 (N/m <sup>2</sup> )
最大値 (N/m <sup>2</sup> )	発生位置	最大値 (N/m <sup>2</sup> )	発生位置	
1.29 × 10 <sup>8</sup>	継手番号 13-14 間の曲管部	-5.59 × 10 <sup>7</sup>	継手番号 10 + 2 m	1.41 × 10 <sup>8</sup>

り、一体化範囲内で大きな値を示していた。最大軸応力は、継手番号10から2m地震波原点側の位置で、その値は-5.59×10<sup>7</sup>N/m<sup>2</sup>であった。これらの結果を表4に示す。なお、管体発生応力として、曲げ応力および軸応力の二乗和の平方根をとった合成応力値を示す。

一方、S形やK形管では、それらのもつ伸縮性および可とう性により、管体には高い曲げ応力および軸応力は示さなかった。

5.3 継手安全率

表5にKF形継手の曲げモーメント、軸力および継手の安全率を示す。また、S形およびK形継手に関しては伸縮量を示した。なお、これらの曲げモーメントおよび軸力は、内水圧0.75MPaにより曲管部に作用する不平均力の影響を加味している。

地震時のKF形継手には曲げモーメントと同時に大きな軸力が作用するため、継手の限界曲げモーメントを式

表5 継手安全率および伸縮量  
Table 5 Safety factor of joint and stretch of joint

継手番号	継手形式	曲げモーメント (kN-m)	軸力 (kN)	軸力換算水圧 (MPa)	換算限界曲げモーメント (kN-m)	安全率	伸縮量 (mm)
1	KF	0.06 × 10 <sup>2</sup>	0.49 × 10 <sup>2</sup>	0.23	3.57 × 10 <sup>2</sup>	59.5	-
2	KF	0.08 × 10 <sup>2</sup>	1.19 × 10 <sup>2</sup>	0.55	3.49 × 10 <sup>2</sup>	43.6	-
3	S	-	-	-	-	-	16.6
4	S 継輪	-	-	-	-	-	86.7
5	KF	0.05 × 10 <sup>2</sup>	1.45 × 10 <sup>2</sup>	0.67	3.46 × 10 <sup>2</sup>	69.2	-
6	KF	0.03 × 10 <sup>2</sup>	2.49 × 10 <sup>2</sup>	1.16	3.34 × 10 <sup>2</sup>	111.3	-
7	KF	0.43 × 10 <sup>2</sup>	3.63 × 10 <sup>2</sup>	1.69	3.20 × 10 <sup>2</sup>	7.4	-
8	KF	2.07 × 10 <sup>2</sup>	6.05 × 10 <sup>2</sup>	2.82	2.88 × 10 <sup>2</sup>	1.4	-
9	KF	1.26 × 10 <sup>2</sup>	9.03 × 10 <sup>2</sup>	4.20	2.43 × 10 <sup>2</sup>	1.9	-
10	KF	0.03 × 10 <sup>2</sup>	9.58 × 10 <sup>2</sup>	4.46	2.33 × 10 <sup>2</sup>	77.7	-
11	KF	0.00	9.56 × 10 <sup>2</sup>	4.45	2.34 × 10 <sup>2</sup>	7623.4	-
12	KF	1.05 × 10 <sup>2</sup>	9.39 × 10 <sup>2</sup>	4.37	2.37 × 10 <sup>2</sup>	2.3	-
13	KF	0.86 × 10 <sup>2</sup>	7.23 × 10 <sup>2</sup>	3.37	2.71 × 10 <sup>2</sup>	3.2	-
14	KF	1.70 × 10 <sup>2</sup>	6.49 × 10 <sup>2</sup>	3.02	2.82 × 10 <sup>2</sup>	1.7	-
15	KF	0.47 × 10 <sup>2</sup>	6.18 × 10 <sup>2</sup>	2.88	2.86 × 10 <sup>2</sup>	6.1	-
16	KF	0.73 × 10 <sup>2</sup>	5.33 × 10 <sup>2</sup>	2.48	2.98 × 10 <sup>2</sup>	4.1	-
17	KF	1.45 × 10 <sup>2</sup>	4.97 × 10 <sup>2</sup>	2.31	3.03 × 10 <sup>2</sup>	2.1	-
18	KF	0.21 × 10 <sup>2</sup>	3.92 × 10 <sup>2</sup>	1.83	3.16 × 10 <sup>2</sup>	15.0	-
19	KF	0.03 × 10 <sup>2</sup>	3.13 × 10 <sup>2</sup>	1.45	3.26 × 10 <sup>2</sup>	108.7	-
20	KF	0.04 × 10 <sup>2</sup>	2.10 × 10 <sup>2</sup>	0.98	3.39 × 10 <sup>2</sup>	84.8	-
21	KF	0.06 × 10 <sup>2</sup>	1.10 × 10 <sup>2</sup>	0.51	3.51 × 10 <sup>2</sup>	58.5	-
22	K 継輪	-	-	-	-	-	92.5
23	K	-	-	-	-	-	11.7
24	K	-	-	-	-	-	5.7

(12) より求めた換算限界曲げモーメントとし、この値を用いて継手安全率を評価した。

$$M_p = M_0 \cdot \sqrt{1 - \frac{P}{P_0}} \quad (12)$$

ここで、 $P$ は軸力の換算水圧、 $P_0$ は継手の限界水圧(=7.6MPa)、 $M_0$ は限界曲げモーメント(=370kN-m)を表す。

Sベンド部および伏せ越し部のKF形継手には大きな曲げモーメントが作用していた。その最大値は、Sベンド部にある継手番号8で207kN-mであった。また、一体化範囲内のKF形継手には曲げモーメントと同時に大きな軸力が作用していた。その最大値は、継手番号10で958kNであった。このように大きな曲げモーメントと軸力が作用することにより、Sベンド部の継手番号8,9および伏せ越し部の継手番号14では継手安全率が2未満であった。

S形、K形継手の伸縮量に関しては、全ての継手ににおいて余裕があった。

## 6. 考察

本解析では、管路埋設位置の地盤のN値を10としたため地盤の剛性が高くなり、地盤変位による大きな外力が管路に伝達される結果となったと考えられる。また、剛継手を用いたSベンド部や伏せ越し部が近接して存在し、一体化長さが非常に長い管路においては、管路の剛性が高いためより大きな外力を受ける結果となることがわかった。特に、今回のケースのような地震波が一体化範囲に作用する場合は継手部に大きな軸力が作用すると考えられる。このようなことを考慮すると、配管および地盤変位によっては剛継手に作用する外力が限界曲げモーメントを上回るケースもでてくると懸念される。今回、一体化長さの算出方法は明記しなかったが、Sベンド部や伏せ越し部などの場合でも単独で剛継手を用いる場合と同様の算出方法を用いることが一般的である。その理由として、これらの計算自体が非常に煩雑であるということが挙げられる。したがって、複数の剛継手を用いた場合には一体化長さが非常に長くなる傾向が見られる。場合によっては過剰な剛性を管路にもたせ、地震時などの外力の影響を大きく受けることにつながるため、本解析で用いたFEMによる耐震性評価結果を配管設計に反映することが望まれる。

次に、S形およびK形管は伸縮性、可とう性を有する継手機構により地震時の地盤変位に十分に追従することがわかり、FEM解析結果からも耐震性能が高い管であることが明らかになった。特にS形管においては、伸縮量が限界を超えるような値を示しておらず伸縮性能には余裕が見られた。さらに、S形管は伸縮離脱防止機能による鎖構造管路を構築できるため非常に高い耐震性を有すると考えられる。

## 7. おわりに

本解析により以下のことがわかった。

- 1) 管路中のSベンド部や伏せ越し部など剛性が高い箇所は地震時の影響を大きく受ける。
- 2) 一体化長さが長くなると剛継手部に限界曲げモーメントを超えるような外力が作用する可能性がある。
- 3) S形およびK形管は高い耐震性を有する管である。
- 4) 一体化長さを含めた管路評価にFEMを用いることにより、より安全な配管設計が可能になると思われる。

今後は、想定地盤、地震波形および管路モデルを変更したケース・スタディをさらに進め、より安全な管路を構築できるような指針作成を行いたいと考えている。また、地震時の継手部挙動を把握し、その結果を新継手の開発にも反映させたいと考えている。

## 参考文献

- 1) 社団法人 日本水道協会 水道施設耐震工法指針・解説 1997年版
- 2) 高田至郎：ライフライン地震工学、共立出版株式会社、1991

## 執筆者

### 畑中哲夫

Tetsuo Hatanaka

平成8年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



### 太田正博

Masahiro Ota

昭和46年入社

ダクタイル管の研究・開発に従事



### 山本吉彦

Yoshihiko Yamamoto

昭和59年入社

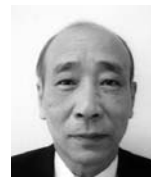
ダクタイル管の研究・開発に従事



### 喜多川 眞好

Masayoshi Kitagawa

ピー・エス・ティ (株)社長





栗本トピックス

不織布接触ろ材による河川浄化施設の運転

当社では、大阪府寝屋川水系改修工営所殿発注による音川浄化施設の機械設備工事を平成13年9月に竣工し、供用を開始している。

音川の水を本浄化施設内へ引き込み、浄化した後、一級河川恩智川へ放流している。浄化システムは、沈砂槽、曝気槽、非曝気槽および汚泥沈澱槽で構成しており、曝気槽では、不織布ろ材に微生物を付着させ生物膜を形成し、有機物を酸化分解する。さらに自己消化させることで、発生汚泥を減少させる方法を採用している。

不織布接触ろ材は形態安定性、引張強度、耐薬品性に優れ半永久的に使用できる。また、今回使用した不織布は、従来型の礫間接触材よりも空隙率が大きいため、槽容積当たりの接触表面積を増加することで、施設の小規模化が可能となった。

音川浄化施設概要

- ・所在地：大阪府東大阪市中石切町
- ・計画流入水量：3,456m<sup>3</sup>/日
- ・計画水質：

項目	単位	流入水質	放流水質
BOD	mg/L	80	20
SS	mg/L	40	6

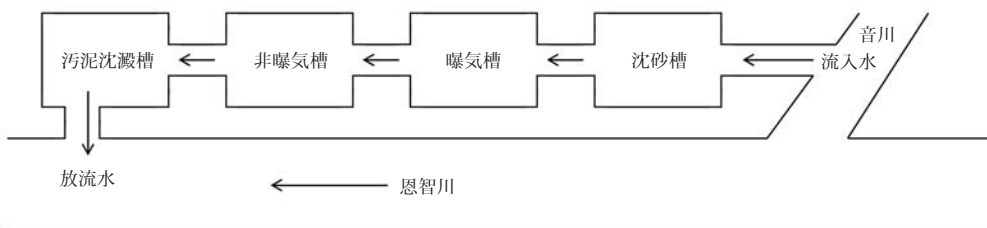


写真1 曝気槽内



写真2 機械室内



写真3 不織布接触材(使用前)



写真4 不織布接触材(使用中)