

I-B 424

多条多段地中管路の耐震計算法

～3条3段配管について～

神戸大学 正会員 ○李 騰雁

神戸大学 工学部 高田至郎

(株)積水化学 正会員 東 俊司

1. はじめに 多条多段配管での耐震評価解析を確立するために、著者らは、実験値を説明できる解析モデルの設定と上段・下段管の応答の相違を明らかにすることおよび継手の設計を研究目的として、2条2段配管の解析モデルを提案した¹⁾。本研究では、前回未解決の3条3段配管を研究対象として、伝達マトリックス法を導入し、非線形解析を行った。

2. 解析モデルと諸定数 図1は解析モデルを示す。管路を梁と、管路と管路および管路と地盤の間はバネで結合されるものと仮定する。ここで、 K_J は管軸直角方向単位長さ当たりの地盤バネ係数、 K_s は管と管の間の単位長さ当たりの地盤バネ係数である。 V_k^L はk番目管の左端の状態量を、 V_k^R はk番目管の右端の状態量を示す。地盤沈下をUとすると、管路微小要素 Δx の管軸直角方向の釣合モデルにより、力の釣合式は式(1)、式(2)と式(3)で与えられる。式(1)と式(2)および式(3)を整理すると、式(4)のような連立微分方程式が得られる。

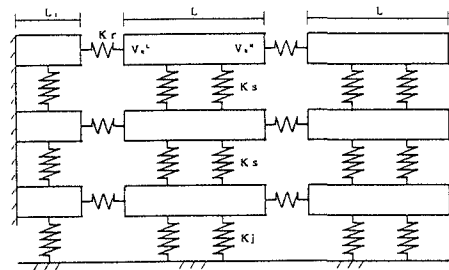


図1 解析モデル

$$Q_3 - Q_3 - dQ_3 + K_s(W_3 - W_2)\Delta x = 0, \quad M_3 - M_3 - dM_3 + Q_3\Delta x = 0 \quad (1)$$

$$Q_2 - Q_2 - dQ_2 + K_s(W_1 - W_2)\Delta x - K_s(W_3 - W_2)\Delta x = 0, \quad M_2 - M_2 - dM_2 + Q_2\Delta x = 0 \quad (2)$$

$$Q_1 - Q_1 - dQ_1 - K_s(W_1 - W_2)\Delta x - K_J(U - W_1)\Delta x = 0, \quad M_1 - M_1 - dM_1 + Q_1\Delta x = 0 \quad (3)$$

$$EI_3 \frac{d^4 W_3}{dx^4} + K_s W_3 = K_s W_2, \quad EI_2 \frac{d^4 W_2}{dx^4} + (K_s + K_J)W_2 = K_s W_3 + K_J W_1, \quad EI_1 \frac{d^4 W_1}{dx^4} + (K_s + K_J)W_1 = K_J W_2 + K_J U \quad (4)$$

ここで、 $Q_{1,2,3}$:それぞれ下段と中段および上段の管体のせん断力、 $M_{1,2,3}$:それぞれ下段と中段および上段の管体曲げモーメント、 $W_{1,2,3}$:それぞれ下段と中段および上段の管体変位、 E :管路のヤング率で、 $I_{1,2,3}$:それぞれ下段と中段および上段管路の断面2次モーメントである。式(4)の連立微分方程式の一般解は

$$\begin{aligned} W_3(x) = & C_1 \sinh(u_1 x) \sin(u_2 x) + C_2 \cosh(u_1 x) \cos(u_2 x) + C_3 \sinh(u_1 x) \cos(u_2 x) \\ & + C_4 \cosh(u_1 x) \sin(u_2 x) + C_5 \sinh(u_3 x) \sin(u_4 x) + C_6 \cosh(u_3 x) \cos(u_4 x) \\ & + C_7 \sinh(u_3 x) \cos(u_4 x) + C_8 \cosh(u_3 x) \sin(u_4 x) + C_9 \sinh(u_5 x) \sin(u_6 x) \\ & + C_{10} \cosh(u_5 x) \cos(u_6 x) + C_{11} \sinh(u_5 x) \cos(u_6 x) + C_{12} \cosh(u_5 x) \sin(u_6 x) + U \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 C は積分常数、 $u_1, u_2, u_3, u_4, u_5, u_6$ は連立微分方程式の特性方程式の根である。 W_3 を式(4)に代入して、下段(W_1)と中段管(W_2)の変位が得られる。式(5)に基づいて、多条多段配路の格間伝達式が求められる。また、多条多段配管の継手部における応力と変位量の釣合から、多条多段配管の格点伝達式が得られることになる。本解析では下記のような境界条件を用いた。

$$\text{管路の左端: } W_1=0, W_2=0, \phi_1=0, \phi_2=0 \quad \text{管路の右端: } Q_1=0, Q_2=0, M_1=0, M_2=0$$

多条多段配管の埋設沈下実験の結果から多条多段配管の破壊原因としては、管路内に発生する引張力による継手の破壊であることが知られる。軸方向ひずみの求め方については、本解析では、まず純曲げ解析によって多条多段配管における鉛直方向の変位を求める。鉛直方向の変位から多条多段配管における軸方向の伸縮量を計算する。次に、沈下の影響を大きく受けるマンホールから2本目の管を解析モデルし、計算した伸縮量を強制変位として、多条多段配管における軸方向ひずみおよび継手の伸縮量を計算する。さらに、この軸ひずみと純曲げによるせん断力の軸方向の成分とのたしあわせによって、管路の軸ひずみを算出する。

本解析で用いた本管の寸法と物性値は表1に示す。管路と地盤間のバネ係数および継手の特性はそれぞれ表2と表3に示す。

表1 管のパラメータ

管路のパラメータ			
内径	外径	長さ	ヤング率
15cm	17.4cm	200cm	120t/cm ²

表2 地盤のバネ係数

軸方向 k_1	軸直角方向 β ($K=\beta k_1 \pi D$)				降伏変位 (軸方向)	降伏変位 (軸直角方向)
	0.8	1.0	1.5	2.0	0.21cm	1.0cm
0.25kg/cm						

3. 地盤沈下による管路の応答 地盤沈下は20cm, 40cmと60cmに分けて, 計算を行った。計算結果は図2と

表3 継手特性

	初期剛性	降伏値	降伏後剛性
曲げ特性 (kgfcm/rad)	258500	0.105 (rad)	687500 (kgfcm/rad)
伸縮特性 (kgf/cm)	1600	0.75 (cm)	2 (kgf/cm)

表4 軸方向最大ひずみと継手伸縮量

沈下量	上段の解析と実験結果			中段の解析結果		下段の解析結果		
	ひずみ(μ)		継手伸縮量	ひずみ(μ)		継手伸縮量	ひずみ(μ)	継手伸縮量
	解析値	実験値		解析値	実験値			
20cm	103	100	0.47cm	108	0.49cm	119	0.55cm	
40cm	166	419	2.1cm	171	2.4cm	178	3.0cm	

表4に示す。図2は各沈下量に対して, 上段管の管頂曲げひずみの解析値と実験値の比較である。図から分かるように, 直角方向の地盤バネ定数によって, 解析値と実験値がかなり違ってくるが, $\beta=1$ の時, 境界部分(左端)を除いて, 管頂曲げひずみと実験値がよく一致することが分かる。さらに, $\beta=1$ の時の管路の軸方向最大ひずみと継手の伸縮量は表4に示す。表4によると, 地盤20cm沈下の際, 管軸最大ひずみの解析値と実験値はほぼ同じ値であるが, 地盤40cm沈下の場合, 解析値と実験値が大きな差を呈している。これは継手の非線形特性の影響であると考えられるが, 軸方向の解析手法についてはさらに検討すべきである。

4. 結論 以上の計算結果から次のような結論が得られる。

- (1) 本解析手法での曲げひずみの解析結果は実験値とよく一致しているが, 軸ひずみの解析手法については, まだ若干の問題が存在していることが分かる。
- (2) 本研究で提案した方法は多条多段配管の断面応力・ひずみの計算法と継手伸縮・回転の計算法として使用される。

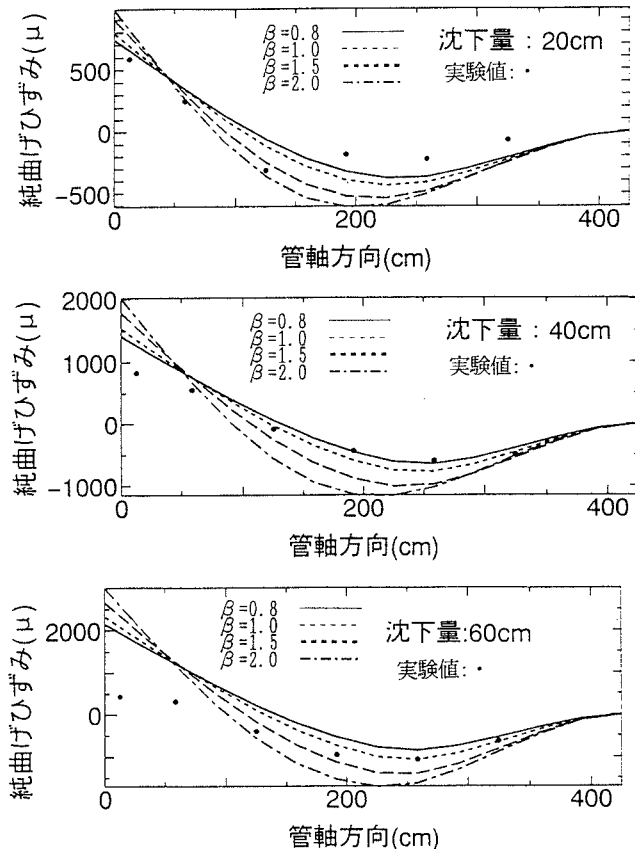


図2 上段管の管頂曲げひずみの解析値と実験値の比較

参考文献 1) 高田至郎・李騰雁・東俊司: 多条多段配管の耐震解析法, 平成7年度関西支部年次学術講演概要, PP. 1-7 -1~1-7-2, 1995年5月20日