

Ⅲ-B141

たわみ性埋設管の埋戻時および載荷時の挙動に対する FEM 解析

東京電力(株) 建設部 正会員 川島 正史
 東京電力(株) 建設部技術センター 正会員 野本 高憲
 東京電力(株) 電力技術研究所 正会員 高橋 守男

1. はじめに

本研究は、火力発電所の取放水管を対象とし、埋戻時および載荷時の挙動について実験および解析により検討したものである。取放水管の特徴としては、①大口径で管厚が薄くたわみ性管であること(直径 $D=1800\sim 2800\text{mm}$ 程度、径厚比 $D/t=100\sim 200$ 程度)、②それが埋設された上部を発電機の排熱回収ボイラー等の重量物(10tf/m^2 以上)が通過するエリアがあることが挙げられる。

本研究では、まず土槽を用いたモデル実験により、埋戻時および載荷時の管の挙動を把握した。そして、載荷重が大きくなると地盤の非線形性による管挙動への影響が現れることが分かった。次に、管の直径変化量および応力について、実験結果と FEM による解析結果を比較した。その結果、埋戻時から載荷時について、地盤の非線形性を考慮した FEM 解析により管挙動を良好に再現できることが明らかになった。

2. 実験概要

鋼管は、材質:SS41、直径 $D=609\text{mm}$ 、管厚 $t=3.2\text{mm}$ とし、 $1600\times 5000\times 2000(\text{mm})$ の土槽に土被り 500mm となるように埋戻した。実験の概要を図-1に、埋戻し土の物性を表-1に示す。締固めは管から 100mm 離して設置した土圧計の内側までを水締めで、その他はパイプテで行った。埋戻し終了後に鋼製の載荷板($750\times 1000\text{mm}$)を設置して載荷を行った。載荷重は、管頂圧力で $2.0(\text{kgf/cm}^2)$ までとした。

実験では、管の直径変化量(45° ピッチ、計 4箇所)、管の歪み(内外面計 24 個)、管面の土圧(45° ピッチ、計 8 個)、地中の土圧(5 個 $\times$ 4 方向=計 20 個)および上載荷重を計測した。

3. 実験結果および解析対象

直径変化量(増加を正)と管頂圧力 $P' (= \gamma H + P)$ (γ : 土の単位体積重量 [kgf/cm^3], H : 土被り厚 [cm], P : 載荷重 [kgf/cm^2]) の関係を図-2に示す。これより、 $H=10(\text{cm})$ の段階まで鉛直方向の直径変化量が増加(水平は減少)し、管が縦長の状態に変形していることが分かる。これは、管側方の締固めの影響によるものと考えられる。その後、埋戻しや載荷が進むに従い、鉛直方向の直径変化量が減少(水平は増加)し、横長の状態に変形することが分かる。

通常の埋設管の設計では締固めの影響は考慮しないことから、本検討では、 $H=10(\text{cm})$ の段階からの変化量でデータ処理を行い、実験および解析の結果を比較した。

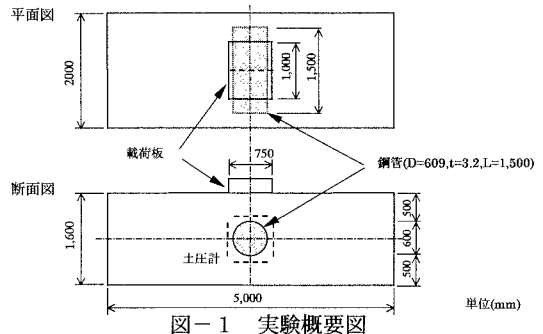


図-1 実験概要図

表-1 埋戻し土の物性

G_s (g/cm^3)	U_c	細粒分含有率 $F_c(\%)$	γ (g/cm^3)	c (kgf/cm^2)	ϕ ($^\circ$)
2.71	3.21	7	1.70	0.11	34.1

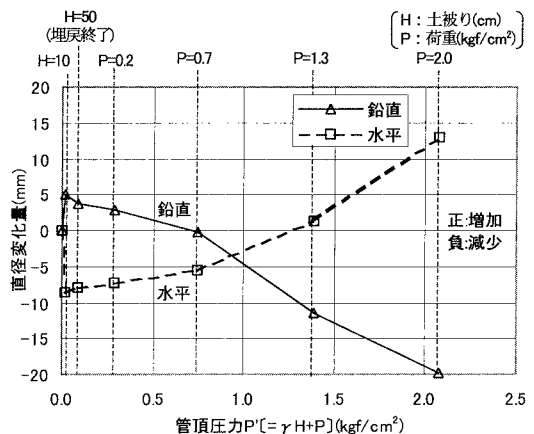


図-2 直径変化量と管頂圧力の関係

4. 解析方法

図-3に示すように埋設土槽をモデル化し、FEM解析を行った。管と地盤の摩擦は小さいことが報告されている¹⁾ことから、管と地盤の境界には滑りを考慮できるジョイント要素を用いた。また、地盤の材料特性は、解析1(線形)、解析2(非線形)とした計2ケースについて検討し、このうち非線形形の材料特性は、Duncan-Chang モデル²⁾を用いた。このモデルは土の応力-ひずみ関係を双曲線で近似するものであり、ある与えられた応力条件での接線弾性係数を式-1で与えるものである。式中のパラメータ K, n, Rf については、土槽実験の締固め状況を再現した3軸試験結果(主応力差-軸ひずみ関係)から設定した。解析1の地盤変形係数は、地盤の初期剛性に相当する値として $P'=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ までの実験結果と整合するように設定した。解析条件をまとめて表-2に示す。

5. 解析結果と実験結果の比較

$H=10(\text{cm})$ からの直径変化量および曲げひずみ変化量について、実験結果と解析結果の比較を図-4に示す。なお、曲げひずみは、載荷時に管全周で最大値となる管頂部において外引張を正として示した。

図-4のうち、直径変化量は、 $P'=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ までは解析1の結果と実験結果がよく一致しているが、これ以降は差が生じ、実験結果の方が直径変化量の絶対値が大きくなっている。特に、 $P'=2.1(\text{kgf/cm}^2)$ では解析1は直径変化量を実験結果の約半分に評価している。これは、地盤のひずみ増加に伴う非線形性が現れ、地盤の剛性が低下したためであると考えられる。それに対して、解析2では、 $P'=0.8(\text{kgf/cm}^2)$ 以降も実験結果とほぼ一致しており、地盤の非線形性が比較的良好に評価されていると考えられる。曲げひずみについても同様である。

6. まとめ

- ・たわみ性埋設管では、載荷重が大きくなると地盤が非線形化し、管挙動に影響が現れる。そのため、地盤の初期剛性を用いた線形解析では載荷重が大きくなると管の変形や応力が過小に評価される。
- ・地盤の非線形性を考慮したFEM解析では、載荷重が大きい場合も含め、埋戻時から載荷時の管挙動(変形、応力)を良好に再現できる。

参考文献：

- 1)吉村ら、たわみ性埋設管の遠心模型挙動に対するFEM弾性解析、土木学会論文集 No.596/Ⅲ-43, pp.175~188, 1998.6
- 2)J.M.Duncan and C.Y.Chang: Nonlinear Analysis of Stress and Strain in Soils, Proc.ASCE, Vol.96,SM5, pp.1629~1653,1970

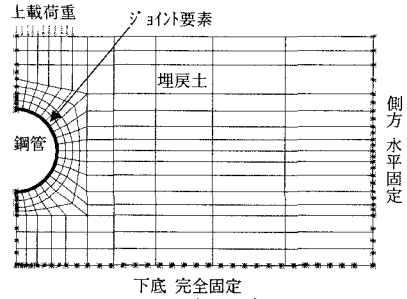


図-3 解析モデル図

$$Et = K \cdot Pa \cdot \left(\frac{\sigma_1}{Pa} \right)^n \cdot \left\{ 1 - \frac{Rf(1 - \sin \phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2 \cdot c \cdot \cos \phi + 2 \cdot \sigma_3 \cdot \sin \phi} \right\}^2 \quad \text{式-1}$$

ここに、K, n, Rf: 応力-ひずみ関係を表すためのパラメータ
Pa: 大気圧 σ_1 : 最大主応力, σ_3 : 最小主応力

表-2 解析条件

	解析1(地盤線形)	解析2(地盤非線形)
鋼管		
単位体積重量 γ_p	0.0079 (kgf/cm ³)	同 左
ヤング率 E_p	2.1×10^6 (kgf/cm ²)	同 左
ポアソン比 ν_p	0.30	同 左
地盤		
単位体積重量 γ	0.0017 (kgf/cm ³)	同 左
解析1)変形係数 E_s	110 (kgf/cm ²)	同 左
解析2)DC法パラメータ		K 250 Rf 0.8 n 0.3 c, ϕ は表-1参照
ポアソン比 ν_s	0.35	同 左
ジョイント要素		
粘着力 c_j	0 (kgf/cm ²)	同 左
摩擦角 ϕ_j	20 (°)	同 左

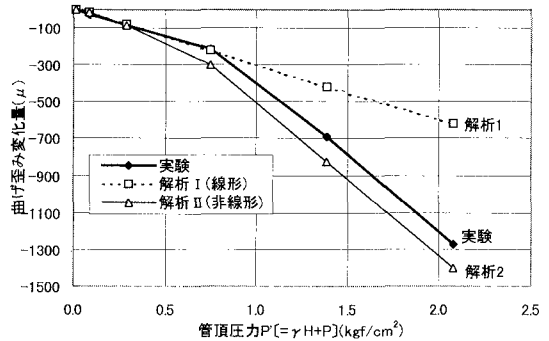
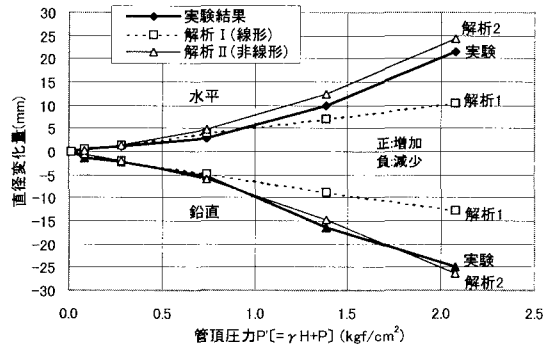


図-4 直径変化量及び曲げひずみ変化量と管頂圧力の関係