

# たわみ性埋設管の現場変形計測による挙動分析

東京電力 富津火力建設所 正会員 古川 園 健朗  
東京電力 富津火力建設所 正会員 福田 聡之  
東京電力 電力技術研究所 山本 義昭

## 1. はじめに

本報告は、火力発電所の埋設取放水管を対象に<sup>1)</sup>、管直上の地表面に重量物が作用した場合の管の挙動について現場計測を行い、FEM 解析との比較検討を実施したものである。土槽を用いたモデル実験においては、埋戻しおよび載荷時の管挙動の把握および FEM 解析により管の挙動を良好に再現できることは確かめられていたが<sup>1)</sup>、現場計測結果における FEM 解析は前例が少ないため実施したものである。

## 2. 現場変形計測概要

計測した箇所の埋設鋼管は、材質:SM490A、直径 D:1800mm、管厚 t:18mm であり、土被りは 1.5m である。また埋戻し過程から約 7 ヶ月間継続して計測を実施してきた。計測項目は図-1 に示すように、ひずみゲージにより管に発生するひずみおよび応力を測定し、変位計により管のたわみを計測した。また水圧鉄管基準および WSP 基準（日本水道鋼管協会基準）で規定される現行設計手法においては、上載荷重が管厚決定の支配要因となっているため、設計において支配要因となる上載荷重レベルの管の挙動を確認するため、変圧器等の重量物搬入時および鋼製スラブ載荷実験を行い計測を行った。表-1 に上載荷重および管頂土圧を整理したものを示す。ここで示す管頂土圧とは、輪荷重と分布荷重の違い等の載荷パターンを統一して評価を行うために Bussinesq の弾性解により整理したものである。

表-1 上載荷重および管頂土圧

|       | 最大上載荷重<br>(tf) | 載荷幅<br>(幅×奥行き)<br>*管の断面方向から | 荷重形式 | 管頂土圧<br>(kN/m <sup>2</sup> ) |
|-------|----------------|-----------------------------|------|------------------------------|
| 所内変圧器 | 104            | 約 8m×3m                     | 輪荷重  | 7.8                          |
| 共通変圧器 | 111            | 約 6m×3m                     | 輪荷重  | 5.9                          |
| 主変圧器  | 575            | 約 12m×6m                    | 輪荷重  | 49.1                         |
| 鋼製スラブ | 154            | 3m×1.5m                     | 分布荷重 | 160.9                        |

また鋼製スラブ載荷実験においては、鋼製スラブを埋設鋼管の計測部直上に順次載荷・除荷し計測を行った。載荷方法は 4.5m<sup>2</sup> に最大 154tf までを 3 ステップに分け載荷し、管の挙動を計測した。図-2 に実験状況を示す。

## 3. 現場変形計測結果

図-3 に変位計の埋戻し過程から計測終了時までの時刻歴を示す。まず埋戻し過程 8/18～8/24 で生じている最大値は、管頂まで埋戻しが終了した状態 8/20 で発生していることが分かる。この時、管は縦方向に変形している状態になった。また埋戻し完了の 8/24 までは急速に変形は復元したが、初期状態までは回復しておらず、共通変圧器が通過した 11/1 時点ではほぼ初期状態に戻っている。また主変圧器および鋼製スラブ載荷実験においては、管は横方向に変形し、載荷後にはひずみが残留している。これは埋設管の周囲の地盤の非線形性に起因するものと考えられる。図-4 に先程説明した、3 ステップに分け載荷した鋼製スラブ載荷実験の上載荷重と管の変位量の関係を示している。これは、載荷・除荷の履歴を受けた管の応力ひずみ関係を示していると言え、管は残留ひずみを残しながら、非線形挙動で変形していくことが確認できた。しかし管の変形量は管を支持する地盤剛性によって大きく変動すると思われるので、図-4 のデータは埋戻し土の地盤剛性の影響を大きく受けていると考えられる。

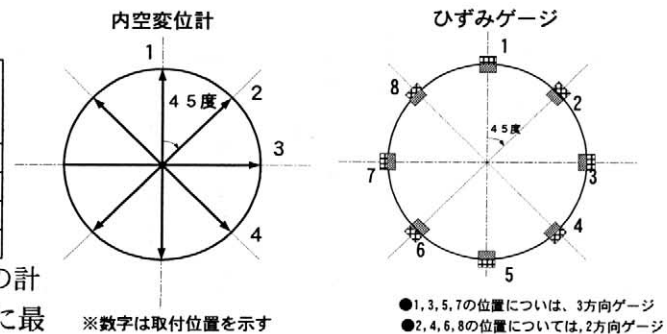


図-1 変位計およびひずみゲージ添付位置

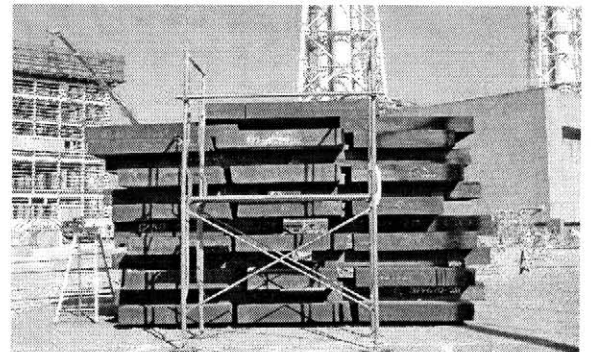


図-2 鋼製スラブ実験状況（最大 154tf）

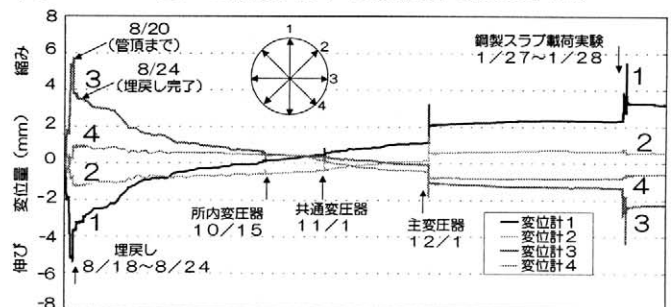


図-3 変位計の時刻歴

キーワード 火力発電所、取放水管、現場計測実験、FEM 解析

連絡先 古川 園 健朗、富津市新富 25 番地、TEL 0439-90-5313 FAX 0439-90-5431

#### 4. 2次元FEM解析と現場計測結果との比較

2次元FEM解析モデルは、管と地盤のすべりを評価するために境界にジョイント要素を用いた。地盤の物性値については、表-2で示す原位置で得られたデータおよび室内三軸試験結果からDuncan-Chang法（非線形弾性）のパラメータを同定した。また表-2に示すようにダイラトメーターと三軸試験結果は、ほぼ同程度の地盤剛性であり、物性値の信頼度は高いと思われる。図-5にFEM解析変形図（変形後スケールは10倍表示）、図-6に鋼製スラブ載荷実験及び模型実験実測値<sup>1)</sup>とFEM解析値の比較を示す。また図-6は管頂圧力に対する変位量および曲げひずみ変化量の関係を示したもので、模型実験と鋼製スラブ載荷実験のちがいは、地盤剛性および径厚比(D/t)のちがいによるものであると考えられる。

FEM解析結果は、実測値と比べ同じ管頂圧力で変位量および曲げひずみ量が2~2.5倍程度あるが、その原因は地盤の異方性、不均一性、接地圧の影響、 $K_0$ の影響などが考えられる。しかしFEM解析結果は安全側にあるので、設計に適用できる範囲にあると考えられる。

また現行設計手法において地盤の不均一性を考慮すると図-6に示す領域となる。同様にFEM解析においても地盤の不均一性を考慮し、地盤剛性の影響によるFEM解析の領域と、現行設計手法の領域を比較すると、現行設計手法は安全側にあることがわかった。つまりFEM解析で設計を実施すると、上載荷重が管自体に与える影響はさほど小さくなく、管厚を低減できる可能性があることが検証された。

しかし、今回の変位計測では埋戻し中の変動量が一番大きく、鋼製スラブ載荷実験よりも大きい変形を起こしている。また今後、管厚を更に薄肉化することを指向した場合、土留め内埋設時の地盤の緩みの問題、管の輸送・据付時の変形の問題、内面塗装の許容ひずみの問題等々が考えられ、火力発電所の取放水管設計・施工時には検討しなければならない問題点は多いと言える。

#### 5. まとめ

火力発電所取放水管の設計においては、現行設計手法で管厚決定の支配要因となる上載荷重レベルにおいても、FEM解析によって設計すると管厚が低減される可能性があることが分かった。しかし管厚の算定に際しては、上載荷重以外の要因についても検討し、総合的に検討する必要がある。（参考文献）

- 1) 川島正史ら、たわみ性埋設管の埋戻し時および載荷時の挙動に対するFEM解析、土木学会第54回年次学術講演会 III-B141

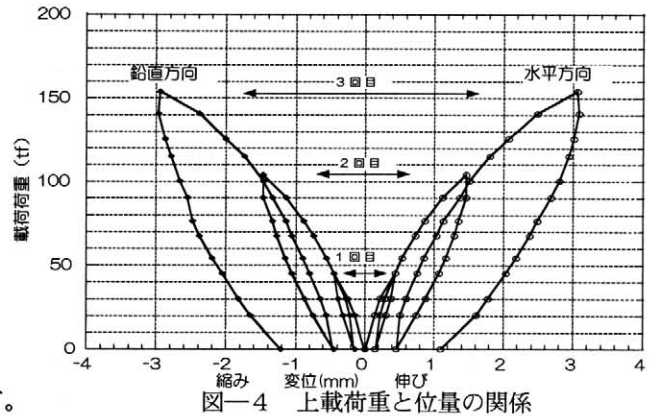


表-2 埋戻土の地盤物性値

| 調査方法     | 実測平均値                                                                                         | 備考                            |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 現場密度試験   | 転圧30cmごとに12箇所計測（水締め、機械転圧含めて）<br>$D_0=95\%$                                                    |                               |
| ダイラトメーター | 計測箇所近傍で3箇所計測<br>(埋戻土)<br>$E_{50}=13.7 \text{ MN/m}^2$<br>(地山)<br>$E_{50}=12.8 \text{ MN/m}^2$ | (設計値)<br>$6.9 \text{ MN/m}^2$ |
| 室内三軸試験   | 現場密度で再現(CD試験)<br>$E_{50}=14.7 \text{ MN/m}^2$                                                 | (設計値)<br>$6.9 \text{ MN/m}^2$ |

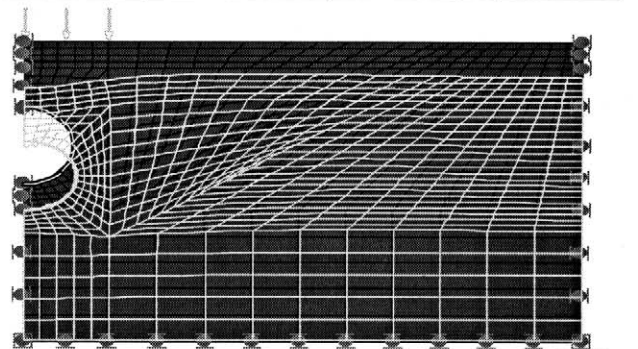


図-5 2次元FEM解析変形図

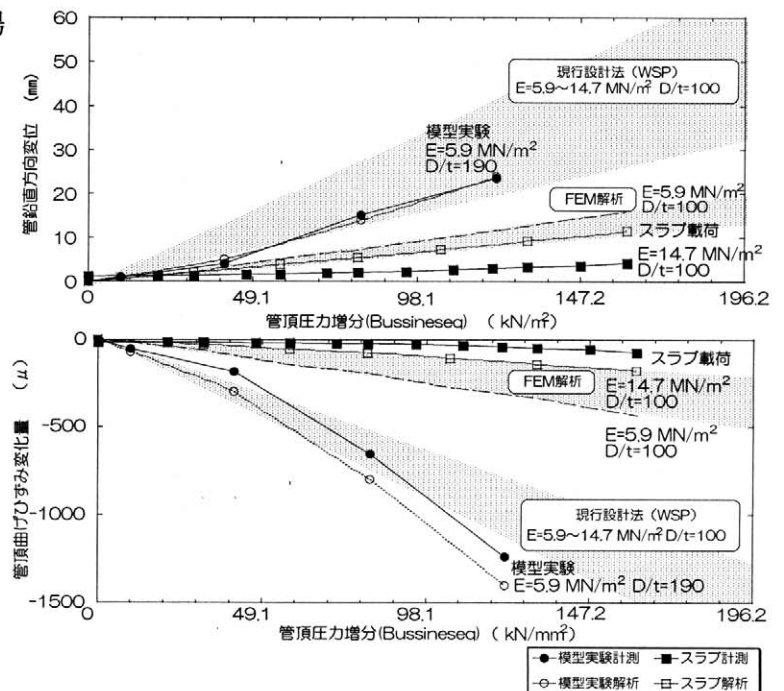


図-6 鋼製スラブ載荷実験および模型実験の実測値と解析値