

1 まえかき 近年 火力原子力発電所の取排水管、石油パイプライン等、長尺で大口径埋設鋼管の建設が進められている。この種の構造物の主荷重による応力解析に対しては、藤田式等、2次元弾性円環として取扱っているものが多いが見られるが、パイプ・ビーム・シェル構造物として、3次元的に解析した例はほとんどない。筆者は以前の研究で、パイプ・ビーム・シェル構造物を解析する方法として、薄肉円筒シェル要素を用いた有限要素法の開発を行い解析理論の概要と有効性について論じたが、本研究は、発電所取排水管の応力解析に対して、本法の適用を計り、歪の定測値及び2次元弾性円環と仮定した解析と比較検討したものである。

2 解析理論の要点

以前の研究で述べたように、構造物を図1のような円筒シェル要素の集合体と考え、要素の変位、応力を(1)式(2)式に示すように円周方向、軸方向に分け、円周方向に対してはフーリエ展開し、軸方向には、軸方向座標の関数で定義する。そして変分原理に従って、要素剛性マトリックスを求め、解析を行う。

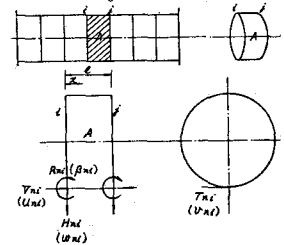


図1 構造物のモデル化と変位成分

$$\begin{aligned} \{\mathbf{u}(x, \theta)\}_A &= \begin{Bmatrix} \mathbf{u}_A(x, \theta) \\ \mathbf{v}_A(x, \theta) \\ \mathbf{w}_A(x, \theta) \\ \beta_A(x, \theta) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{u}_{nA}(x) \cos n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{v}_{nA}(x) \sin n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{w}_{nA}(x) \cos n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \beta_{nA}(x) \cos n\theta \end{Bmatrix} \quad (1) \\ \{\mathbf{f}(x, \theta)\}_A &= \begin{Bmatrix} \mathbf{V}_A(x, \theta) \\ \mathbf{T}_A(x, \theta) \\ \mathbf{H}_A(x, \theta) \\ \mathbf{R}_A(x, \theta) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{V}_{nA}(x) \cos n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{T}_{nA}(x) \sin n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{H}_{nA}(x) \cos n\theta \\ \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{R}_{nA}(x) \cos n\theta \end{Bmatrix} \quad (2) \end{aligned}$$

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{u}_n(x) &= \alpha_n + \alpha_n x \\ \mathbf{v}_n(x) &= \alpha_n + \alpha_n x \\ \mathbf{w}_n(x) &= \alpha_n + \alpha_n x + \alpha_n x^2 + \alpha_n x^3 \\ \beta_n(x) &= \partial \mathbf{w}_n(x) / \partial x = \alpha_n + 2\alpha_n x + 3\alpha_n x^2 \end{aligned} \right\} (3)$$

3 埋設管の埋戻し状況 解析の対象とした埋設管路は図2-a,b

示すように、直径1.6m、板厚1.2cmの鋼管が深さ2.6mに埋設されたもので、スパンは47.92mであり、一端がコンクリートで固定され、他端が伸縮継ぎで支えられているパイプ・ビーム・シェル構造物と考えることのできる。埋戻し材料としては、砂と切込み砂利を用い、木枕の上に管を据えつけこれを抜き取ることをなく埋戻しを行っている。管の底部付近は、隙間を生じないように入念な施工が行われた。また埋戻し材料の物性は、室内土質試験、現場密度試験を行い、切込み砂利の水平反力係数は平板載荷試験から求めた。計測器はスパン中央部にカールソン歪計とはりつけ型抵抗線歪計を取りつけ、歪測定と埋戻し過程における管径の歪の測定を行った。

4 埋設管に加わる土圧分布の仮定 (4)

埋設管に加わる土圧は、鉛直土圧、地盤反力及び水平土圧が考えられるが、これらの土圧などのような分布をするかを推定することは困難な問題で、原地盤や埋戻し工の土質によってかなり分布が異なるものと考えられる。本解析法の場合は、図2-bに示すような分布を仮定した。

a) 鉛直土圧

管の中全体に渡って、矩形分布すると仮定し、荷重強度は、 $w = \gamma_0 h$ から算定した。ここに γ_0 は現場密度測定値 (1.8t/m³) で、 h は埋設深さ (1.0m) である。また、管軸方向の分布については、一様と仮定した。

b) 地盤反力

原地盤が比較的軟弱で、しかも管底付近は隙間がないよう入念な施工が行われたことを考慮し、藤田式のように一点基礎に集中させず、ある程度底部に集中する4次曲線分布を仮定し、管軸方向には一様分布とした。

c) 水平土圧

鉛直土圧、地盤反力によって、管は偏平となり、側面から受ける土圧を考えると、その分布は、又:

ングラの分布と同じように、投物線と仮定し、その最大値は現場で行った平板載荷試験の値を用いた。これらの土圧に対する等価節線荷重及び管に生ずる曲げモーメント、軸力を表1に示す。

5 計算結果と検討

表2及び図3に 工荷重による管路中央部での応力の計算値(F.E.M.及び2次元弾性円環)と測定値を示す。これらの値を比較すると次のようになる。○有限要素法の解も2次元弾性円環の解もともに測定値とかなりよく一致しており両者にあまり差がみとめられなかった。この理由は 管径に比してスパンがかなり長いことと管軸方向の土圧分布が一様であったので管路中央部では強んど2次元状態に近かったのではないかと考えられる。○円周方向の土圧分布については、現場の施工条件、埋戻し状態等によって相当変わるもので、土圧計、歪計等によって正しく把握する必要がある。○管路スパンが比較的短かい場合はF.E.M.と2次元の解では差が大きく、このような場合はF.E.M.による解法が有効と考えられる。なお本文中の実測は、H電力会社が実施したものである。

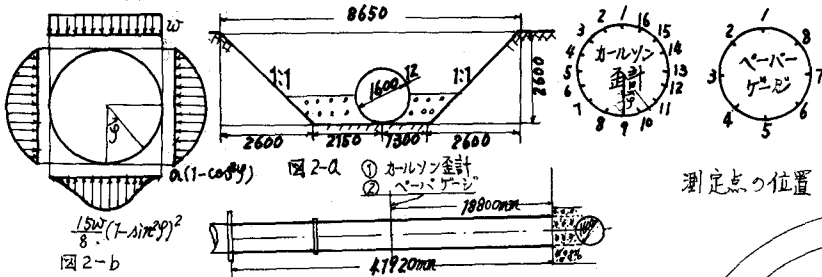


図2 N発電所取水管の埋戻し状況と荷重分布

円周方向の荷重分布	フーリエ級数 (Cn, Dn) R(θ) = Σ Cn cos nθ P(θ) = Σ Dn sin nθ	等価節線荷重	2次元円環解析の 曲げモーメントと軸力
① 鉛直土重 R(θ) = W cos θ P(θ) = W sin θ	Cn = -1/n Dn = 0	H = W/C J = W/D	M _θ = [1/2 W cos θ - 1/2 W sin θ] / (2a) N _θ = [1/2 W cos θ - 1/2 W sin θ] / a
② 地盤反力 R(θ) = W cos θ P(θ) = W sin θ	Cn = 1/n Dn = 0	H = W/C J = W/D	M _θ = [1/2 W cos θ + 1/2 W sin θ] / (2a) N _θ = [1/2 W cos θ + 1/2 W sin θ] / a
③ 水平土圧 R(θ) = a sin θ P(θ) = a cos θ	Cn = 0 Dn = a/n	H = W/C J = W/D	M _θ = [1/2 a sin θ - 1/2 a cos θ] / (2a) N _θ = [1/2 a sin θ - 1/2 a cos θ] / a

表1 等価節線荷重と曲げモーメント及び軸力

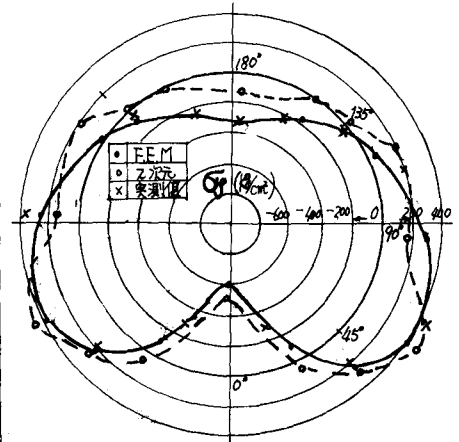


図3 中央断面に於ける応力分布

6 結論

N発電所冷却水取水管の土荷重による応力解析に対して、F.E.M.を適用し実測値に近い値を得た。埋設管の解析に対しては、理論実測ともいまだ十分とはいえない。また埋戻し条件もその都度異なり設計法を確立することはかなり困難と思われる。ここに提案したF.E.M.は長大で大口径管路の解析に対しては有効な一手法と考えられる。今後は、室内実験、現場実測を行い、さらに研究を進めるつもりである。

7 参考文献

- (1) 大口径鋼管の設計上の問題点とその合理的等価算定法について 藤田博彦 水道協会雑誌 3718号, 3719号
- (2) 有限要素法によるパイプビームシエル構造物の解析 岩瀬湖宏 第27回年次学術講演会(土木学会)
- (3) 薄肉円筒シエル要素を用いた有限要素法とその応用 岩瀬他 技術才ニ研究研報告 71012
- (4) 土中埋設鋼管の土荷重による応力 松尾 滋 水門钢管 No. 75

N	鉛直土重		水平土圧		合力	
	2次元	F.E.M.	2次元	F.E.M.	2次元	F.E.M.
0°	-1776.4	-1543.4	1139.9	927.0	-556.4	-586.0
30°	608.6	677.0	638.1	502.0	30.5	-715.0
45°	179.1	168.7	655	47.2	254.6	209.9
60°	966.7	927.1	-540.7	-461.9	446.0	365.2
90°	1333.8	1271.9	-1251.6	-1009.0	142.2	262.9
120°	726.1	603.2	-540.7	-461.9	185.4	47.3
135°	-32.4	-100.1	635	47.2	26.1	-52.7
150°	-646.9	-671.8	638.1	502.0	-8.9	-167.8
180°	1360.7	1233.2	1139.9	927.0	-720.8	-312.2

表2 中央断面に於ける応力値