

内張鉄管の長期現場測定に関する一考察

(株) 新日本技術コンサルタント 正員 工博 神月隆一
 同 正員 谷村正也
 同 正員 工修○白井義朗

1 概 要

内張鉄管(岩盤中に埋設され内圧作用時に内圧の一部を周囲の岩盤に負担させる水圧鉄管)を設計するためにはまず第一に周囲の岩盤の特性を把握し、正当な評価をする必要がある。一般に初期の設計段階として周囲の岩盤を弾塑性体と見なし設計に必要な岩盤の諸物理常数—弾性係数、塑性変形係数等—をジャッキ試験あるいは水室式水圧試験を実施して実験的、定量的に把握し評価すると同時に内圧の岩盤への分担率を推定する。本報告ではかゝる岩盤の諸物理常数を用いて設計された実際に建設された関西電力の某水力発電所の内張鉄管にあつてその応力が経年的内圧作用下で時間的に変動するかどうかを2年間にわたる長期応力測定を実施して検討を加えたものであつて鉄管応力に影響をおよぼすと思われる岩盤のクリープあるいは鉄管の温度変化の効果について考察した。

2 鉄管応力の時間的変動

2.1 ジャッキ試験による岩盤の粘性係数の推定

一定内圧下における鉄管応力の時間的変動はまず第一に周囲の岩盤の粘性要素によるクリープに原因すると考えられ岩盤を半無限 Voigt 型粘弾性体としジャッキ試験による岩盤のヒステリシスから粘性係数を推定することを試みた。今円形載荷板として円板中心を Z 軸の原点にとり、鉛直下方に Z 軸を持つ円筒座標 (r, θ, z) をとると r, z 方向の変位成分 u, w は次の基礎方程式を満たす^{*}。

$$(L+R) \frac{\partial e}{\partial r} + R \left(\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{\partial u}{r \partial r} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{u}{r^2} \right) = 0, \quad (L+R) \frac{\partial e}{\partial r} + R \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{\partial w}{r \partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) = 0 \quad (1)$$

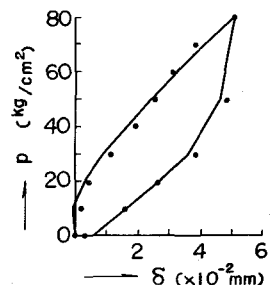
ここに $L = \lambda + \lambda' \frac{\partial}{\partial t}$, $R = \mu + \mu' \frac{\partial}{\partial t}$, $e = \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} + \frac{\partial w}{\partial z}$ であつて、 λ, μ は Lamé の弾性定数、 λ', μ' はそれぞれの弾性定数に対応する固体粘性係数である。

載荷板に一樣分布荷重が時間の関数として $P(t)$ が与えられる場合(1)式を解き、載荷板下の平均沈下量 $\bar{\delta}$ を求めるとラプラス変換された形で次のようになる

$$\bar{\delta} = \frac{4r_0}{3\pi} \left\{ \frac{1}{\mu} + \frac{1}{\lambda + \mu} \right\} \bar{P}(S) \quad (2)$$

(2)式は λ, μ および λ', μ' をパラメーターにとることによつて種々のヒステリシスを描くことが出来るが、これらのヒステリシスとジャッキ試験より得られるところのヒステリシスと比較し、最もよい一致が見られるような λ, λ' (あるいは μ, μ') を選ぶことができる。その一例を図-1に示した。我々がジャッキ試験を実施した地質にあつては

図 - 1



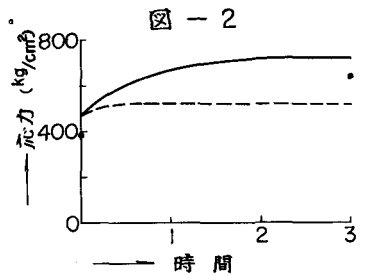
$166.000 > \mu > 28.000 \text{ kg/cm}^2$ $738.000 > \mu' > 86.600 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ $111.000 > \lambda > 18.500 \text{ kg/cm}^2$
 $492.000 > \nu > 57.700 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{min}$ に分布していた。

2.2 岩盤の粘性要素による鉄管応力の変動

内圧 P が作用したときの鉄管円周方向応力は $\sigma = \frac{P}{e} P(1-\varepsilon)$ で与えられるが ε は内圧の岩盤への分担率であって若干の計算の後次のようになる。

$$\varepsilon = \frac{G_s - \Delta i}{G_s + G_g} \left[1 + G_s \cdot G_g e^{-\frac{\mu}{G_s} \frac{G_s + G_g}{G_s} \cdot t} \right] \quad (3)$$

ここに $G_s = a^2 P / E_s \cdot e$, $G_g = a P / 2 \mu$, Δi は鉄管背面と岩盤との初期間隙量である。(3)式にジャッキ試験で求めた μ および μ' を代入し鉄管応力の時間的変動を実測値と比較して図-2に示したがこれより岩盤の粘性要素による鉄管応力の増加は数時間で収束することになり実測応力値も経年的に一樣に増加する傾向を示さずかゝる。

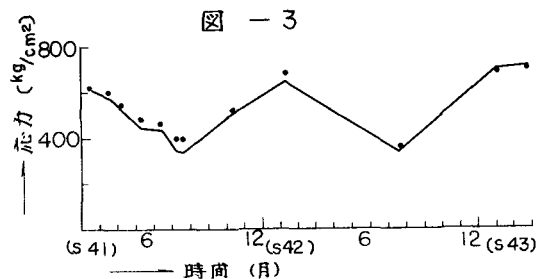


2.3 温度変化による鉄管応力の変動

鉄管応力の時間的変動のもう一つの要素として温度変化が考えられる。今内張鉄管における時間的な温度変化を $\theta(t)$ とした場合内圧の岩盤への分担率 ε は次式で示される。

$$\varepsilon = \frac{P a^2 E_s \cdot e + \alpha a \theta(t) - \Delta i}{P a^2 / E_s \cdot e + a P / 2 \mu} \quad (4)$$

実測の結果鉄管の最低温度は2月ではほぼ3°C、最高は8月ではほぼ20°Cであつてこの間は直線的に変化している。これより $\theta(t)$ が時間の関数として与えられるので(4)式にジャッキ試験より推定した Lamé の弾性定数 μ および初期間隙量 Δi を同時に勘案し、 ε を求めて鉄管応力を算出し実測値と比較して図-3に示した。これより実測値と計算値は極めてよい一致が見られ周期的な鉄管応力の増減が温度変化によるものであることを裏づけるものである。



3. むすび

2年間の鉄管の長期応力測定の結果、一定内圧下にあつて鉄管応力の時間的変動は周囲の岩盤の粘性要素によるクリープおよび鉄管の温度変化であると考えたがこのうち当地地質にあつては岩盤のクリープは数時間で収束してしまい又これによる応力増加もそれほど大きくはなかった。これに反し温度変化による鉄管応力の増減は周期的に変動し冬期と夏期ではほぼ 300 kg/cm^2 程度になり最も支配的要因であると考えられる。したがつて内張鉄管設計に際し内圧の岩盤への分担率は(4)式にあつて $\theta(t)$ を可能な最低温度で決定するのが適当であらう。なほ我々は他の地質においても実験を実施したが同じような傾向であつた。

* 参考文献 最上武雄；土の力学 一河出書房一