コンクリート充填鋼管の付着応力

大阪市立大学大学院　学生員　○黒山泰弘
大阪市立大学工学部　正員　園田恵一郎
大阪市立大学工学部　正員　西垣忠信

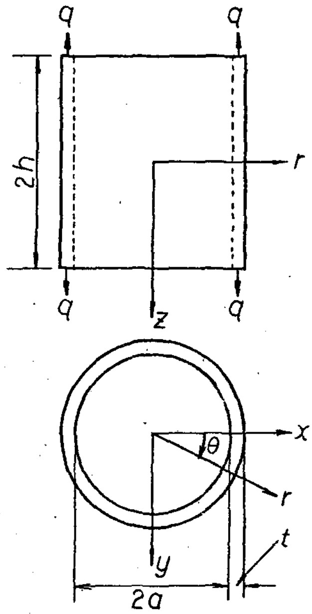
1．はしがき

本文はコンクリート充填鋼管に軸対称荷重が作用する時について、コンクリートと鋼管の間の付着応力をすべりを考慮した三次元弾性論により検討した。

2．基礎式

〈コンクリート円柱の基礎式〉

軸対称三次元体の解析によく用いられるLoveの関数ϕを用いると、$\nabla^2\nabla^2\phi=0$を満足する重調和関数をみつけることに帰着する。　ここでは両引き荷重をうけるコンクリート充填鋼管を対象として（図－1）次のようにおく。



図－1

$$\phi=A_0z^3/6+C_0r^2z^2/2+\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{\beta_n^3}\left\{A_nI_0(\beta_nr)+B_n\beta_nrI_1(\beta_nr)\right\}\sin\beta_nz$$

$$+\sum_{s=1}^{\infty}\frac{1}{\gamma_s^3}\left\{C_s\sinh\gamma_sz+D_s\gamma_sz\cosh\gamma_sz\right\}J_0(\gamma_sr)$$

ここで　$\gamma_s=\lambda_s/a$，λ_s：$J_1(\lambda_s)=0$の根

A_n,B_n,C_s,D_s：境界条件から定まる定数

I_1,I_0：変形ベッセル関数

J_1,J_0：ベッセル関数

応力，変位は

$$\sigma_r=\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_c\nabla^2\phi-\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2}\right),\quad \sigma_\theta=\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu_c\nabla^2\phi-\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial\phi}{\partial r}\right)$$

$$\sigma_z=\frac{\partial}{\partial z}\left\{(2-\nu_c)\nabla^2\phi-\frac{\partial^2\phi}{\partial z^2}\right\},\quad \tau_{rz}=\frac{\partial}{\partial r}\left\{(1-\nu_c)\nabla^2\phi-\frac{\partial^2\phi}{\partial^2 r}\right\}$$

$$u_c=-\frac{1+\nu_c}{E_c}\frac{\partial^2\phi}{\partial r\partial z},\quad w_c=\frac{1+\nu_c}{E_c}\left\{(1-2\nu)\nabla^2\phi+\frac{\partial^2\phi}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial\phi}{\partial r}\right\}$$

境界条件は、$r=a$で　$\sigma_r=b_0+\sum_{n=1}^{\infty}b_n\cos\beta_nz$，$\tau_{rz}=\sum_{n=1}^{\infty}a_n\sin\beta_nz$　，$z=\pm h$　で　$\sigma_z=0$　，$\tau_{rz}=0$　であり、ここでa_n，b_0，b_nはコンクリートと鋼管の間の付着応力の級数展開係数である。

〈鋼管の基礎式〉

付着応力と荷重qをうける鋼管のr方向変位u_sに関する微分方程式は次式のように得られる。

$$D\frac{d^4u_s}{dz^4}+\frac{E_st}{a}u_s=b_0+\sum_{n=1}^{\infty}b_n\cos\beta_nz-\frac{\nu_s}{a}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{a_n}{\beta_n}\left\{(-1)^n-\cos\beta_nz\right\}-\frac{\nu_sqt}{a}$$

ここで　$D=\dfrac{E_st^3}{12(1-\nu_s^2)}$

この微分方程式を境界条件　$z=0$で$du_s/dz=0$，$Q_z=0$，$z=\pm h$で$M_z=0$，$Q_z=0$　のもとで解

くと、変位u_sを得ることができる。このu_sを用いてｚ方向の変位，断面力などが得られる。

3．連続条件式

異種の材料の接合面には一般にずれが生じるので、鉄筋コンクリートの付着を論じる時よく用いられる「すべり量はその点の付着せん断応力の関数である」という考え方をこの解析にも利用し、すべりを考慮した解析を試みる。

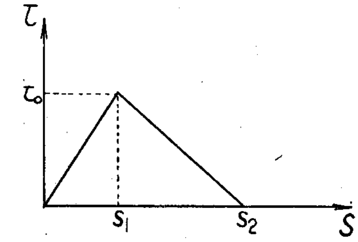
ここでは、丸鋼の付着せん断応力とすべり量の関係を参考にして次のようにτ-S関係を仮定する。（図－2）

i) $S = k_1 \tau \quad (0 < S < S_1)$

ii) $S = k_2 \tau + S_2, \ (S_1 < S < S_2)$

iii) S：不定　$(S_2 < S)$

ここで　$k_1 = S_1/\tau_0$，$k_2 = (S_1 - S_2)/\tau_0$



図－2

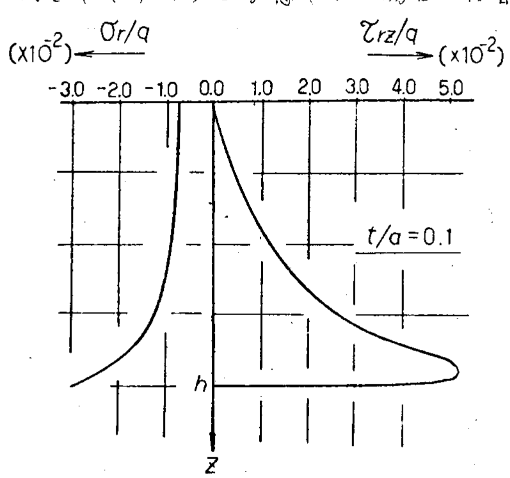
よって、すべり量Sを考慮した時の連続条件式は次式のように得られる。

$r = a$ で　$u_s = u_c$　，　$w_s = w_c + S$

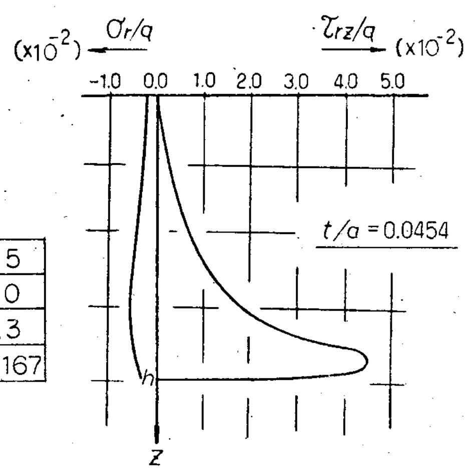
4．数値計算例

連続条件式と境界条件式は４群の無限連立方程式となり、これを解けば付着応力を得ることができる。　しかし、これらの式は再展開したものであり、その誤差を生じ解が乱れるため、最小二乗法を用いて多項式近似し修正した。

一例としてすべりを考慮しない場合の付着応力の分布を図－３に示す。



a/h	0.5
E_s/E_c	7.0
ν_s	0.3
ν_c	0.167



図－３

5．あとがき

すべりを考慮した場合の数値計算結果、および弾性実験の結果を当日発表する予定である。

6．参考文献

1)「充てんコンクリート鋼管構造に関する研究の現状」　富井政英　コンクリート工学　Vol. 13　Feb No. 2　1975

2)「短円柱および円盤の軸対称変形」　斎藤秀雄　機論　18巻　68号　昭和28年