

はじめに

河川等の増水時の水害防備のための可搬式膨張堰の設計における荷重と変形および応力を解析することを目的としています. この可搬式膨張堰はポリエステルとウレタンからなる複合材の円筒形のホース(直径 25~50cm, 1本の長さ 25~40m)を組立てたもので内部に水をポンプで注入し, 自重と控えの杭で水圧を支持する方式で, 増水時に短時間で設置可能にしています.

### 1. 円筒の内圧による応力

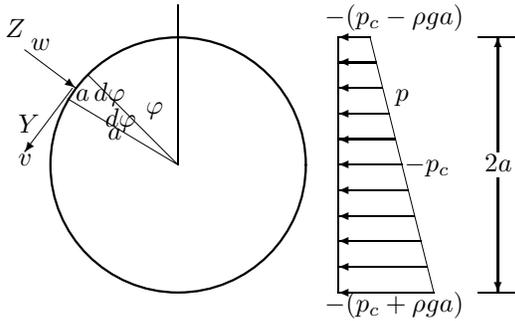


図 1. 1 断面にかかる外力と荷重

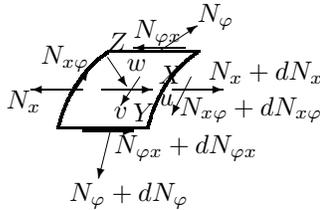
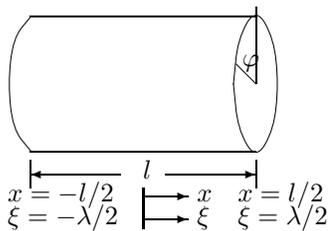


図 1. 2 微小要素に作用する荷重と生じる応力



$a$ : 半径  $a = 0.25$  [m],  $l$ : 長さ  $l = 4.5$  [m]

$P$ : 円筒内部の圧力,  $p_c$ : 円筒中心の圧力

$\rho$ : 水の密度  $\rho = 1,000$  [kg/m<sup>3</sup>]

$g$ : 重力加速度  $g = 9.8$  [m/s<sup>2</sup>]

$\gamma = \rho g = 9,8000$  [kg/m<sup>2</sup>s<sup>2</sup>] とおく.

図 1. 3 円筒の寸法と諸係数

2. 釣合式  $\frac{x}{a} = \xi$ ,  $\frac{l}{a} = \lambda$  として,

$$\begin{cases} \frac{\partial N_x}{\partial \xi} + \frac{\partial N_{\varphi x}}{\partial \varphi} = -Xa = 0 \\ \frac{\partial N_{x\varphi}}{\partial \xi} + \frac{\partial N_\varphi}{\partial \varphi} = -Ya = 0 \\ N_\varphi = -Za = p_c a - \gamma a^2 \cos \varphi \\ = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right) \end{cases}$$

### 3. 応力式

$$N_\varphi = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right), \quad p_c = \gamma(a + h)$$

$$\frac{\partial N_{x\varphi}}{\partial \xi} = -\frac{\partial N_\varphi}{\partial \varphi} = -\gamma a^2 \sin \varphi \text{ より,}$$

$$N_{x\varphi} = a^2 (-\gamma \xi \sin \varphi + f_1(\varphi))$$

$$\frac{\partial N_x}{\partial \xi} = -\frac{\partial N_{x\varphi}}{\partial \varphi} = a^2 (\gamma \xi \cos \varphi - f_1'(\varphi)) \text{ より,}$$

$$N_x = a^2 \left( \frac{\gamma}{2} \xi^2 \cos \varphi - \xi f_1'(\varphi) + f_2(\varphi) \right)$$

$\xi = 0$  面に関して対称の場合は,

$$N_{x\varphi}|_{(\xi)} = -N_{x\varphi}|_{(-\xi)}, \quad N_x|_{(\xi)} = N_x|_{(-\xi)} \text{ より,}$$

$$N_\varphi = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right)$$

$$N_{x\varphi} = -\gamma a^2 \xi \sin \varphi$$

$$N_x = a^2 \left( \frac{\gamma}{2} \xi^2 \cos \varphi + f_2(\varphi) \right)$$

### 4. 応力-ひずみ関係式

$$\epsilon_x = \frac{1}{Et} (N_x - \nu N_\varphi), \quad \epsilon_\varphi = \frac{1}{Et} (N_\varphi - \nu N_x)$$

$$\gamma_{x\varphi} \quad 2\epsilon_{x\varphi} = \frac{2(1+\nu)}{Et} N_{x\varphi}$$

### 5. ひずみ-変位関係式

$$a\epsilon_x = \frac{\partial u}{\partial \xi}, \quad a\epsilon_\varphi = \frac{\partial v}{\partial \varphi} + w$$

$$a\gamma_{x\varphi} \quad 2a\epsilon_{x\varphi} = \frac{\partial v}{\partial \xi} + \frac{\partial u}{\partial \varphi}$$

### 6. 変位式

$$u = \frac{a^3}{Et} \xi \left[ -\nu \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \frac{\xi^2}{6} + \nu \right) \cos \varphi \right. \\ \left. - \frac{\xi}{2} f_1'(\varphi) + f_2(\varphi) \right] + c_1(\varphi)$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \left[ \gamma \xi^2 \left( \frac{\xi^2}{24} - 1 - \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi + 2(1+\nu) \xi f_1(\varphi) \right. \\ \left. + \frac{\xi^3}{6} f_1''(\varphi) - \frac{\xi^2}{2} f_2'(\varphi) \right] - \xi c_1'(\varphi) + c_2(\varphi)$$

$$u = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left( \frac{\xi^4}{24} - \xi^2 + 1 \right) \cos(\varphi) \right. \\ \left. - (2 + \nu) \xi f_1'(\varphi) - \frac{\xi^3}{6} f_1'''(\varphi) - \nu f_2(\varphi) \right. \\ \left. + \frac{\xi^2}{2} f_2''(\varphi) \right] + \xi c_1''(\varphi) - c_2'(\varphi)$$

$\xi = 0$  面に関して対称の場合は,  $u|_{(\xi)} = -u|_{(-\xi)}$ ,  
 $v|_{(\xi)} = v|_{(-\xi)}$ ,  $w|_{(\xi)} = w|_{(-\xi)}$  より,

$$u = \frac{a^3}{Et} \xi \left[ -\nu \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \frac{\xi^2}{6} + \nu \right) \cos \varphi + f_2(\varphi) \right]$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \left[ \gamma \xi^2 \left( \frac{\xi^2}{24} - 1 - \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi - \frac{\xi^2}{2} f_2'(\varphi) \right] \\ + c_2(\varphi)$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left( \frac{\xi^4}{24} - \xi^2 + 1 \right) \cos(\varphi) \right. \\ \left. - \nu f_2(\varphi) + \frac{\xi^2}{2} f_2''(\varphi) \right] - c_2'(\varphi)$$

内圧が一定の場合, すなわち,  $p = -p_c$  の場合は, 上式で  $\gamma$  の入ってる項を省けばよい.

## 7. 境界条件による応力および変位式の決定

(7.1) 両端で  $N_x = 0$ , 中央で  $N_{x\varphi} = 0$  の場合 :

$N_x|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = 0$  より,

$$f_2(\varphi) = -\frac{\gamma \lambda^2}{8} \cos \varphi, \quad f_1'(\varphi) = 0 \\ f_1(\varphi) = f_1 = \text{const.} \\ N_x = \frac{\gamma a^2}{2} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \cos \varphi$$

さらに,  $N_{x\varphi}|_{(\xi=0)} = 0$  より,  $f_1 = 0$

$$\begin{cases} N_x = \frac{\gamma a^2}{2} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \cos \varphi \\ N_\varphi = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right) \\ N_{x\varphi} = -\gamma a^2 \xi \sin \varphi \quad \left( -\frac{\lambda}{2} \leq \xi \leq \frac{\lambda}{2} \right) \end{cases}$$

最大応力は,

$$N_x|_{(\xi=0, \varphi=\pi)} = \frac{\gamma a^2}{8} \lambda^2, \quad N_\varphi|_{(\varphi=\pi)} = a^2 \left( \frac{p_c}{a} + \gamma \right)$$

$$N_{x\varphi}|_{(\xi=\frac{\lambda}{2}, \varphi=\frac{\pi}{2})} = \frac{\gamma a^2}{2} \lambda$$

変位は,

$$u = \frac{a^3}{Et} \xi \left[ -\nu \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \frac{\xi^2}{6} - \frac{\lambda^2}{8} + \nu \right) \cos \varphi \right]$$

$$v = \frac{\gamma a^3}{Et} \xi^2 \left( \frac{\xi^2}{24} - \frac{\lambda^2}{16} - 1 - \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi + c_2(\varphi)$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{\xi^4}{24} + \left( -1 - \frac{\lambda^2}{16} \right) \xi^2 \right. \right. \\ \left. \left. + 1 - \nu \frac{\lambda^2}{8} \right\} \cos \varphi \right] - c_2'(\varphi)$$

さらに,  $v|_{(\xi=\pm\lambda)} = 0$  と仮定すると,

$$c_2(\varphi) = -\frac{\gamma a^3}{Et} \frac{\lambda^2}{4} \left( \frac{5\lambda^2}{96} + 1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi$$

$$v = \frac{\gamma a^3}{Et} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left\{ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{5\lambda^2}{4} \right) \right. \\ \left. - 1 - \frac{\nu}{2} \right\} \sin \varphi$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left( \xi^2 - \frac{5\lambda^2}{4} \right) \right. \right. \\ \left. \left. + 1 + \frac{\lambda^2}{4} \right\} \cos \varphi \right]$$

中央部 ( $\xi = 0$ ) の変位と  $\lambda = 4$  の場合の最大および最小変位は,

$$u = 0$$

$$v = \frac{\gamma a^3}{Et} \frac{\lambda^2}{4} \left( \frac{5\lambda^2}{96} + 1 + \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi$$

$$v|_{\max, \min} = \pm 8.233 \frac{\gamma a^3}{Et}$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left( \frac{\lambda^2}{4} \frac{5\lambda^2}{96} + 1 + \frac{\lambda^2}{4} \right) \cos \varphi \right]$$

$$w|_{\max, \min} = \frac{\gamma a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{\gamma a} \pm 8.333 \right]$$

両端部 ( $\xi = \pm \frac{\lambda}{2}$ ) の変位と  $\lambda = 4$  の場合の最大および最小変位は,

$$u = \pm \frac{a^3}{Et} \frac{\lambda}{2} \left[ -\nu \frac{p_c}{a} + \gamma \left( -\frac{\lambda^2}{12} + \nu \right) \cos \varphi \right]$$

$$u|_{\max, \min} = \pm \frac{\gamma a^3}{Et} \left[ 0.9 \frac{p_c}{\gamma a} \pm 0.3 \right]$$

$$v = 0$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left( 1 + \frac{\lambda^2}{4} \right) \cos \varphi \right]$$

$$w|_{\max, \min} = \frac{\gamma a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{\gamma a} \pm 5 \right]$$

(7.2) 両端が固定の場合 :

$N_{x\varphi}|_{(\xi)} = -N_{x\varphi}|_{(-\xi)}$  (奇関数) :  $f_1(\varphi) = 0$

$$N_x = a^2 \left( \frac{\gamma}{2} \xi^2 \cos \varphi + f_2(\varphi) \right)$$

さらに,  $x$  軸 (母線) 方向の長さが不変と仮定す

る. すなわち,  $\int_0^l \epsilon_x dx = 0$  より,

$$f_2(\varphi) = \nu \frac{p_c}{a} - \gamma \left( \frac{\lambda^2}{24} + \nu \right) \cos \varphi$$

$$\begin{cases} N_x = a^2 \left[ \nu \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \frac{\xi^2}{2} - \frac{\lambda^2}{24} - \nu \right) \cos \varphi \right] \\ N_\varphi = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right) \\ N_{x\varphi} = -\gamma a^2 \xi \sin \varphi \end{cases}$$

変位を求めると,

$$u = \frac{a^3}{Et} \gamma \frac{\xi}{6} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \cos \varphi$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \gamma \xi^2 \left( \frac{\xi^2}{24} - \frac{\lambda^2}{48} - 1 - \nu \right) \sin \varphi + c_2(\varphi)$$

$v|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = 0$  より,

$$c_2(\varphi) = \frac{a^3}{Et} \gamma \frac{\lambda^2}{4} \left( \frac{\lambda^2}{96} + 1 + \nu \right) \sin \varphi$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( 1 + \nu \right) \right] \sin \varphi$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \nu^2 \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{1}{24} \left( \xi^4 - \frac{\lambda^4}{16} \right) - \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left( \frac{\lambda^2}{48} + 1 + \frac{\nu}{2} \right) + 1 - \nu^2 + \frac{\nu \lambda^2}{12} \right\} \cos \varphi \right]$$

$$w|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \nu^2 \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ 1 - \nu^2 + \frac{\nu \lambda^2}{12} \right\} \cos \varphi \right] \neq 0 \text{ となり,}$$

この矛盾をなくすのには、 $v$  より先に  $w$  の条件  $w|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = 0$  を用いると、

$$c'_2(\varphi) = \frac{a^3}{Et} \left[ \frac{p_c}{a} - \gamma \left( \frac{\lambda^4}{384} - \frac{\lambda^2}{4} + 1 \right) \cos(\varphi) - \nu f_2(\varphi) + \frac{\lambda^2}{8} f_2''(\varphi) \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} w = -\frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( 1 + \frac{\nu}{2} \right) \right] \cos \varphi \\ v = \frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( 1 + \nu \right) \right] \sin \varphi \end{array} \right.$$

この種の矛盾は局所的であり、なくすのには曲げモーメントを含む曲げ理論を用いなければならない。ここでは、曲げ剛性が小さいとしてこれを無視する。

### (7. 3) 両端に Bulkhead がある場合：

$$N_\varphi = a^2 \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right)$$

$$N_{x\varphi} = -\gamma a^2 \xi \sin \varphi$$

$$N_x = a^2 \left( \frac{\gamma}{2} \xi^2 \cos \varphi + f_2(\varphi) \right)$$

両端で Bulkhead の圧力を  $N_x$  が

$$N_x|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = A + B \cos \varphi$$

の分布で負荷すると仮定すると、 $A$  は  $N_x$  の平均値であるから、 $A = \frac{\pi a^2 p_c}{2\pi a} = \frac{p_c a}{2}$ 。

$B$  は半円部分の曲げモーメントの釣合いを考慮すると、 $z = a(1 - \cos \varphi)$ ,  $dz = a \sin \varphi d\varphi$  を用いて、

$$M = \int_0^{\frac{\pi}{2}} B \cos \varphi a d\varphi = \frac{\pi}{4} B a^2$$

$$\left. \begin{array}{l} M = - \int_0^{\frac{\pi}{2}} \gamma a \cos \varphi \cdot a \sin \varphi (a \cos \varphi) a \sin \varphi d\varphi \\ = -\gamma \frac{a^4}{8} \frac{\pi}{2} \end{array} \right\}$$

$$B = -\frac{a^2}{4} \gamma$$

$$N_x|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = a^2 \left( \frac{p_c}{2a} - \frac{\gamma}{4} \cos \varphi \right)$$

$$\text{一方, } N_x|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = a^2 \left[ \gamma \frac{\lambda^2}{8} \cos \varphi + f_2(\varphi) \right]$$

であるから、 $f_2(\varphi) = \frac{p_c}{2a} - \gamma \left( \frac{\lambda^2}{8} + \frac{1}{4} \right) \cos \varphi$

$$N_x = \frac{a^2}{2} \left[ \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} - \frac{1}{2} \right) \cos \varphi \right]$$

変位を求めると、

$$u = \frac{a^3}{Et} \xi \left[ \left( \frac{1}{2} - \nu \right) \frac{p_c}{a} + \gamma \left( \frac{\xi^2}{6} - \frac{\lambda^2}{8} - \frac{1}{4} + \nu \right) \cos \varphi \right]$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \gamma \xi^2 \left( \frac{\xi^2}{24} - \frac{\lambda^2}{16} - \frac{9}{8} - \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi + c_2(\varphi)$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{\xi^4}{24} - \xi^2 \left( \frac{\lambda^2}{16} + \frac{9}{8} \right) + 1 - \nu \left( \frac{\lambda^2}{8} + \frac{1}{4} \right) \right\} \cos \varphi \right] - c'_2(\varphi)$$

$v|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = 0$  より、

$$c_2(\varphi) = \frac{a^3}{Et} \gamma \frac{\lambda^2}{4} \left( -\frac{\lambda^2}{96} + \frac{\lambda^2}{16} + \frac{9}{8} + \frac{\nu}{2} \right) \sin \varphi$$

$$v = \frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( \frac{\lambda^2}{24} + \frac{9}{8} + \frac{\nu}{2} \right) \right] \sin \varphi$$

$$w = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{1}{24} \left( \xi^4 - \frac{\lambda^4}{16} \right) - \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left( \frac{\lambda^2}{16} + \frac{9}{8} \right) + 1 - \frac{\nu}{4} \right\} \cos \varphi \right]$$

$$w|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ 1 - \frac{\nu}{4} \right\} \cos \varphi \right] \neq 0$$

となり、この矛盾をなくすのには、 $v$  より先に  $w$  の条件  $w|_{(\xi=\pm\frac{\lambda}{2})} = 0$  を用いると、

$$c'_2(\varphi) = \frac{a^3}{Et} \left[ \left( 1 - \frac{\nu}{2} \right) \frac{p_c}{a} - \gamma \left\{ \frac{\lambda^4}{384} - \frac{\lambda^2}{32} \left( \frac{\lambda^2}{2} + 9 \right) + 1 - \frac{\nu}{4} \left( \frac{\lambda^2}{2} + 1 \right) \right\} \cos \varphi \right]$$

$$\left\{ \begin{array}{l} w = -\frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( \frac{\lambda^2}{24} + \frac{9}{8} \right) \right] \cos \varphi \\ v = \frac{a^3}{Et} \gamma \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) \left[ \frac{1}{24} \left( \xi^2 - \frac{\lambda^2}{4} \right) - \left( \frac{\lambda^2}{24} + \frac{9}{8} + \frac{\nu}{2} \right) \right] \sin \varphi \end{array} \right.$$

この種の矛盾は局所的であり、なくすのには曲げモーメントを含む曲げ理論を用いなければならない。ここでは、曲げ剛性が小さいとしてこれを無視する。

内圧が一定の場合、すなわち、 $p = -p_c$  の場合は、上式で  $\gamma$  の入ってる項を省けばよい。

## 8. 非対称内圧力が作用するときの応力解析

### (8.1) 内圧力のフーリエ級数展開

$$p = -(p_c - \rho g a \cos \varphi) = -a \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \cos \varphi \right)$$

(0     $\varphi$      $\pi$ )

$$p = -(p_c - \rho g a) = -a \left( \frac{p_c}{a} - \gamma \right)$$

( $\pi$     $\varphi$     $2\pi$ )

を仮定し、 $-p$  をフーリエ級数に展開する。

$$f(\varphi) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi)$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) d\varphi = a_0 \pi$$

$$a_0 = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) d\varphi$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) \cos n\varphi d\varphi = a_n \pi$$

$$a_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) \cos n\varphi d\varphi$$

$$\int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) \sin n\varphi d\varphi = b_n \pi$$

$$b_n = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} f(\varphi) \sin n\varphi d\varphi$$

被積分関数で  $f(\varphi) = -p$  とおいて、区間積分を行うと、

$$a_0 = 2p_c - \gamma a, \quad a_1 = -\frac{\gamma a}{2}, \quad a_n = 0 \quad (n \geq 2)$$

$$b_1 = \frac{2\gamma a}{\pi}, \quad b_n = -\frac{2\gamma a}{\pi} \frac{n}{n^2 - 1} \quad (n \geq 2: \text{even})$$

$$b_n = \frac{2\gamma a}{\pi} \frac{1}{n} \quad (n \geq 2: \text{odd})$$

図 8.1 に  $p = -(2.75 - 0.25 \cos \varphi)$  の例を示す。

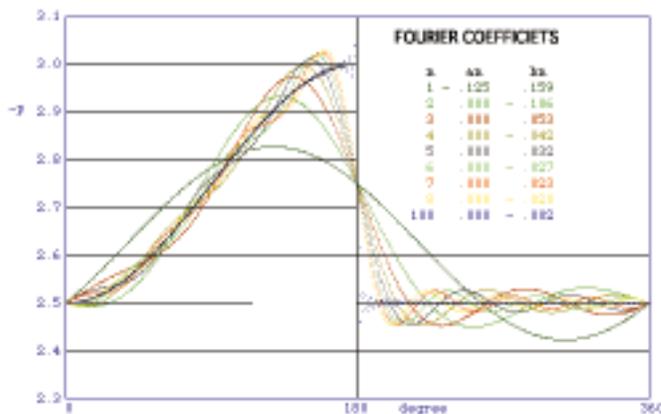


図 8.1 内圧力のフーリエ級数展開

### (8.2) 応力および変位

$$p = -\frac{1}{a} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi) \right]$$

$$N_\varphi = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi)$$

$$N_{x\varphi} = \xi \sum_{n=1}^{\infty} n (a_n \sin n\varphi - b_n \cos n\varphi) + f_1(\varphi)$$

$$N_x = -\frac{\xi^2}{2} \sum_{n=1}^{\infty} n^2 (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi) - \xi f_1'(\varphi) + f_2(\varphi)$$

$$u = \frac{a}{Et} \left[ -\frac{\nu}{2} \xi a_0 - \sum_{n=1}^{\infty} \left( \frac{\xi^3}{6} n^2 + \nu \xi \right) (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi) - \frac{\xi^2}{2} f_1'(\varphi) + \xi f_2(\varphi) \right] + c_1(\varphi)$$

$$v = \frac{a}{Et} \left[ \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \left( 1 + \frac{\nu}{2} \right) \xi^2 n - \frac{\xi^4}{24} n^3 \right\} (a_n \sin n\varphi - b_n \cos n\varphi) + 2(1 + \nu) \xi f_1(\varphi) + \frac{\xi^3}{6} f_1''(\varphi) - \frac{\xi^2}{2} f_2'(\varphi) \right] - \xi c_1'(\varphi) + c_2(\varphi)$$

$$w = \frac{a}{Et} \left[ \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} \left( 1 - \xi^2 n^2 + \frac{\xi^4}{24} n^4 \right) (a_n \cos n\varphi + b_n \sin n\varphi) - (2 + \nu) \xi f_1'(\varphi) - \frac{\xi^3}{6} f_1'''(\varphi) - \nu f_2(\varphi) + \frac{\xi^2}{2} f_2''(\varphi) \right] + \xi c_1''(\varphi) - c_2'(\varphi)$$

積分定数  $f_1(\varphi)$ ,  $f_2(\varphi)$ ,  $c_1(\varphi)$  および  $c_2(\varphi)$  は前節と同様にして求める。

おわりに

本報告は委託研究(日大学生産工委契第 561 号)の一部であり、設計段階では主に 1 円筒、2 円筒および 3 円筒に作用する静水圧、蛇行流動圧による合力とその重心および防備杭の応力等を次の仮定のもとに算定している。

- (1) 円筒内の一定圧は円筒の応力には関係するが円筒のみで釣合っているため静水圧による外圧としての合力には関係しないのでこれを無視している。
- (2) 防備杭の間隔は 6m であるので、円筒の長さを 6m として計算している。
- (3) ホース間隙部分の水圧による浮力を計算しているが、円筒内に水が入れば水の重力の方が大きくなるので安全側で問題とはならない。
- (4) 円筒の応力は順次報告する予定です。
- (5) 実験および性能試験は(株)エンテックおよび(財)日本消防設備安全センターで行ったものである。