

Ring-Beam で補強された軸対称荷重を受ける 鋼管 well 構造の継手係数について

澤 田 知 之*

能 町 純 雄**

On joint coefficient of steel pile-well foundation
which is stiffened by some Ring-Beams.

Tomoyuki SAWADA

Sumio. G. NOMACHI

要 旨

群杭とケーソンの中間の剛性を持つ基礎として、最近用いられている鋼管井筒構造において、周辺土圧、水圧等の軸対称荷重を受ける場合の継手による力の伝達を含めてその評価を行なう。

Synopsis

Recently, steel pile-well foundation, of which rigidity is between group of piles and Caisson, is used in many sidness.

In this paper, We try to value for conduction of joint's stress in this structure in case of being axial symmetry earth pressure and hydraulic pressure around.

ま え が き

構造としては井筒内部を Ring-Beam で補強する場合と、継手のみで保つ場合を周辺より、水圧及び土圧が外力として作用する場合を取り上げて解析を進める。

従来の設計指針等に見られる合成効率と概念を変えて、互に隣接する杭の継手に一種のバネ定数を考えて、個々の杭が受け持つ力を和分変換とフーリエ有限変換によって解析する。本解析はこれら変換を行なうことにより基本微分差分方程式の未知数を減少せしめ得る収束の速い簡単な解析法で大きなマトリックス演算の必要がない。その特色は杭と杭の継手をバネ定数によって評価した点でこれにより実物に即して鋼管パイル構造を解くことができる。

1. 基本式の誘導

図-1, 2により変位の関係は

$$U_r^I(x) = \{U_r(x) + \theta_r(x) \cdot a\} \cos \alpha - V_r(x) \cdot \sin \alpha \quad (1)$$

$$U_r^I(x) = \{U_r(x) - \theta_r(x) \cdot a\} \cos \alpha + V_r(x) \sin \alpha \quad (2)$$

$$\int_r^I(x) = \{U_r(x) + \theta_r(x) \cdot a\} \sin \alpha + V_r(x) \cdot \cos \alpha \quad (3)$$

$$\int_r^I(x) = \{U_r(x) - \theta_r(x) \cdot a\} \sin \alpha + V_r(x) \cdot \cos \alpha \quad (4)$$

節点力と節点変位の関係は

$$P_{r+\frac{1}{2}} = K_N \cdot \{U_{r+1}^I(x) - U_r^I(x)\} \quad (a)$$

$$T_{r+\frac{1}{2}} = K_T \cdot \{V_{r+1}^I(x) - V_r^I(x)\} \quad (b)$$

ここで K_N, K_T は各々構造物全体として見た時の、半径方向、接線方向の、継手係数 (joint 係数) (1)~(4) と (a)(b) より

$$P_{r+\frac{1}{2}} = K_N \cdot \left[\{\Delta U_r(x) - \nabla \theta_r(x) \cdot a\} \cos \alpha + \nabla V_r(x) \cdot \sin \alpha \right] \quad (5)$$

$$T_{r+\frac{1}{2}} = K_T \cdot \left[\{-\nabla U_r(x) + \Delta \theta_r(x) \cdot a\} \sin \alpha + \Delta V_r(x) \cdot \cos \alpha \right] \quad (6)$$

* 助教授 土木工学科

** 教授 北海道大学工学部

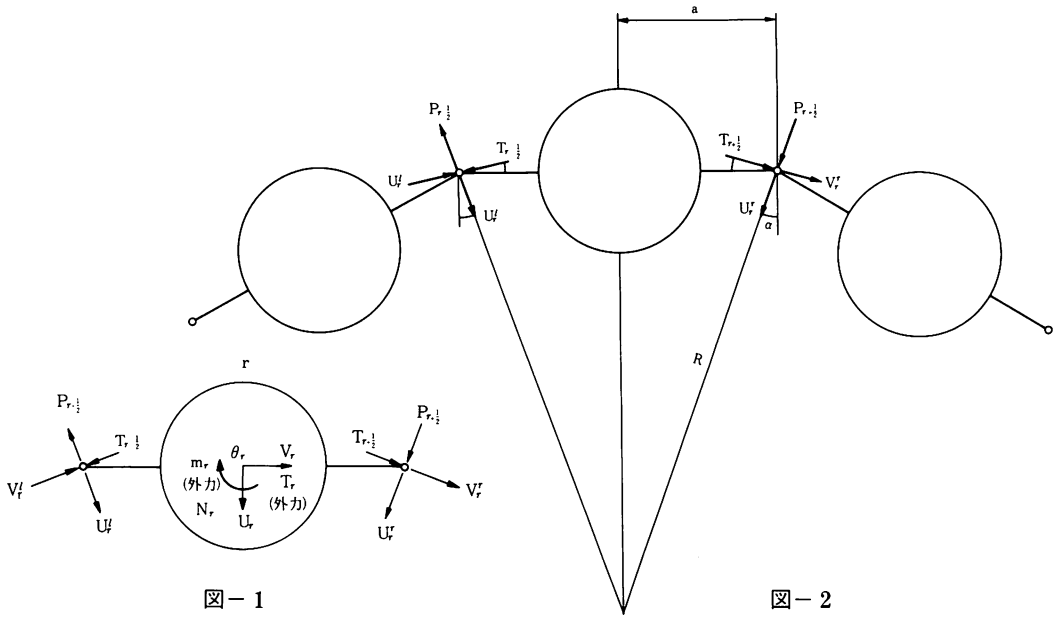


図-1

図-2

ここで

$$\Delta F_r(x) = F_{r+1} - F_r(x)$$

$$\nabla F_r(x) = F_{r+1}(x) + F_r(x)$$

次に、Pile 要素の中央座標でとる力の均り合い式は

○半径方向曲げ

$$N_r(x) + \Delta r_{-1/2} \cos \alpha + \nabla T_{r-1/2} \sin \alpha = EI \cdot \ddot{U}_r(x) + \bar{K} \cdot U_r(x) \quad (7)$$

○接線方向曲げ

$$T_r(x) - \nabla P_{r-1/2} \sin \alpha + \Delta T_{r-1/2} \cos \alpha = EI \cdot \ddot{V}_r(x) + \bar{K} \cdot V_r(x) \quad (8)$$

○振り

$$m_r(x) + \nabla P_{r-1/2} \cdot \alpha \cos \alpha + \Delta T_{r-1/2} \cdot \alpha \sin \alpha = GJ \cdot \ddot{\theta}_r(x) \quad (9)$$

ここで

$$K = D \cdot k$$

k : 地盤反力係数 (kg/cm³)

D : 鋼管の直径 (cm)

EI : 曲げ剛度 (kg.cm²)

GJ : 振り剛度 (kg.cm²)

N_r, T_r, m_r : 外力

$$\ddot{V}_r(x) = \frac{\partial^4 V_r(x)}{\partial x^4}$$

$$\ddot{U}_r(x) = \frac{\partial^4 U_r(x)}{\partial x^2}$$

$$\ddot{\theta}_r(x) = \frac{\partial^2 \theta_r(x)}{\partial x^2}$$

(5)(6)の関係から

$$\begin{aligned} \nabla P_{r-1/2} = K_N \left[\Delta U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha - a \{ \Delta^2 V_{r-1}(x) \right. \\ \left. + 4 \theta_{r-1}(x) \} \cos \alpha + \{ \Delta^2 V_{r-1}(x) \right. \\ \left. + 4 V_{r-1}(x) \} \cdot \sin \alpha \right] \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \Delta P_{r-1/2} = K_N \left[\Delta^2 U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha \right. \\ \left. - a \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + \Delta V_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right] \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \nabla T_{r-1/2} = K_T \left[\Delta V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + a \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right. \\ \left. - \{ \Delta^2 U_{r-1}(x) + 4 U_{r-1}(x) \} \cdot \sin \alpha \right] \end{aligned} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{r-1/2} = K_T \left[\Delta^2 V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + a \Delta^2 \theta_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right. \\ \left. - \Delta U_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right] \end{aligned} \quad (13)$$

ここで $\Delta^2 F_{r-1}(x) = F_{r+1}(x) - 2 F_r(x) + F_{r-1}(x)$

$$\Delta F_{r-1}(x) = F_{r+1}(x) - F_{r-1}(x)$$

故に(10)~(13)を(7)(8)(9)に代入すると

$$\begin{aligned}
& EI \cdot \ddot{U}_r(x) + \bar{K} \cdot U_r(x) \\
& = N_r(x) + K_N \{ \Delta^2 U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha - a \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha \\
& \quad + \Delta V_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \} \cdot \cos \alpha \\
& \quad + K_T \left[\Delta V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + a \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right. \\
& \quad \left. - \{ \Delta^2 U_{r-1}(x) + 4 U_r(x) \} \cdot \sin \alpha \right] \cdot \sin \alpha \quad (14)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& EI \cdot \ddot{V}_r(x) + \bar{K} \cdot V_r(x) \\
& = T_r(x) - K_N \left[\Delta U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha - a \{ \Delta^2 \theta_{r-1}(x) \right. \\
& \quad \left. + 4 \theta_r(x) \} \cos \alpha \right. \\
& \quad \left. + \{ \Delta^2 V_{r-1}(x) + 4 V_r(x) \} \cdot \sin \alpha \right] \cdot \sin \alpha \\
& \quad + K_T \left[\Delta^2 V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + a \Delta^2 \theta_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right. \\
& \quad \left. - \Delta U_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \right] \cdot \cos \alpha \quad (15)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& GJ \cdot \dot{\theta}_r(x) = m_r(x) + K_N \left[\Delta U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha \right. \\
& \quad \left. - a \{ \Delta^2 \theta_{r-1}(x) + 4 \theta_r(x) \} \cos \alpha \right. \\
& \quad \left. + \{ \Delta^2 V_{r-1}(x) + 4 V_r(x) \} \cdot \sin \alpha \right] \cdot a \cos \alpha \\
& \quad + K_T \{ \Delta^2 V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha + a \Delta^2 \theta_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \\
& \quad - \Delta U_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha \} \cdot a \sin \alpha \quad (16)
\end{aligned}$$

以上, (14)(15)(16)の基本微分差分方程式を解くとよいことになる。

2. 一般式

2-1 joint 係数 $K_n, K_t \rightarrow \infty$ とする場合

(節点での右と左の変位が等しいとする場合)

$$\begin{aligned}
& \Delta U_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha - \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot a \cos \alpha \\
& \quad + \Delta V_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha = 0 \quad (17)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& -\Delta U_{r-1}(x) \cdot \sin \alpha + \Delta \theta_{r-1}(x) \cdot a \sin \alpha \\
& \quad + \Delta V_{r-1}(x) \cdot \cos \alpha = 0 \quad (18)
\end{aligned}$$

によって(17)にHalf-Sine定和分変換を施すと

$$\begin{aligned}
& -2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{R}_i[U_{r-1}(x)] \cdot \cos \alpha \\
& - \left[\sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \{ \theta_0(x) - (-1)^i \cdot \theta_n(x) \} \right. \\
& \quad \left. + 2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{S}_i[\theta_{r-1}(x)] \right] \cdot a \cos \alpha \\
& + \left[\sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \{ V_0(x) - (-1)^i \cdot V_n(x) \} \right. \\
& \quad \left. + 2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{S}_i[V_{r-1}(x)] \right] \cdot \sin \alpha = 0 \quad (19)
\end{aligned}$$

(18)にHalf-cosine定和分変換を施こすと

$$\begin{aligned}
& -2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{R}_i[U_{r-1}(x)] \cdot \sin \alpha \\
& + \left[-\cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \{ \theta_0(x) - (-1)^i \cdot \theta_n(x) \} \right. \\
& \quad \left. + 2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{S}_i[\theta_{r-1}(x)] \right] \cdot a \sin \alpha \\
& + \left[-\cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \{ V_0(x) - (-1)^i \cdot V_r(x) \} \right. \\
& \quad \left. + 2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{S}_i[V_{r-1}(x)] \right] \cdot \cos \alpha = 0 \quad (20)
\end{aligned}$$

(14)にCosine定和分変換を施こすと

$$\begin{aligned}
& \cos \alpha \cdot \{ (-1)^i \cdot P_{n-\frac{1}{2}} - P_{\frac{1}{2}} + 2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{S}}_i[P_{r-\frac{1}{2}}] \} \\
& + \sin \alpha \cdot \{ -(-1)^i \cdot T_{n-\frac{1}{2}} - T_{\frac{1}{2}} + 2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{C}}_i[T_{r+\frac{1}{2}}] \\
& \quad + 2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{C}}_r[T_{r+\frac{1}{2}}] \} \\
& = EI \cdot \mathbf{C}_i[\ddot{U}_r(x)] + \bar{K} \cdot \mathbf{C}_i[U_r(x)] \quad (21)
\end{aligned}$$

(15)にSine定和分変換を施こすと

$$\begin{aligned}
& -2 \sin \alpha \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{S}}_i[P_{r+\frac{1}{2}}] \\
& \quad + \cos \alpha \cdot (-2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \mathbf{C}_i[T_{r+\frac{1}{2}}]
\end{aligned}$$

$$= EI \cdot \mathbf{S}_i[\ddot{V}_r(x)] + \bar{K} \cdot \mathbf{S}_i[V_r(x)] \quad (22)$$

(16)も同様にSine定和分変換を施こすと

$$\begin{aligned}
& \cos \alpha \cdot 2 \cos \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{S}}_i[P_{r+\frac{1}{2}}] \\
& \quad + \sin \alpha \cdot (-2 \sin \frac{i\pi}{2n} \cdot \bar{\mathbf{C}}_i[T_{r+\frac{1}{2}}] \\
& = \frac{GJ}{a} \cdot \mathbf{S}_i[\dot{\theta}_r(x)] \quad (23)
\end{aligned}$$

ここで

$$S_r[f_r(x)] = \sum_{r=1}^{n-1} f_r(x) \cdot \sin \frac{i\pi}{n} r$$

$$C_i[f_r(x)] = \sum_{r=1}^{n-1} f_r(x) \cdot \cos \frac{i\pi}{n} r$$

逆変換

$$\begin{aligned} & \rightarrow f_r(x) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} S_i[f_r(x)] \cdot \sin \frac{i\pi}{n} r \\ & f_r(x) = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^n R_i[f_r(x)] \cdot \cos \frac{i\pi}{n} r \\ & R_i[f_r(x)] = C_i[f_r(x)] + \frac{(-1)^i}{2} f_n(x) \\ & \quad + \frac{1}{2} f_0(x) \end{aligned}$$

$$\bar{S}_i[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] = \sum_{r=0}^{n-1} f_{r+\frac{1}{2}}(x) \cdot \sin \frac{i\pi}{n} (r + \frac{1}{2})$$

$$\bar{C}_i[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] = \sum_{r=0}^{n-1} f_{r+\frac{1}{2}}(x) \cdot \cos \frac{i\pi}{n} (r + \frac{1}{2})$$

逆変換

$$\begin{aligned} & \rightarrow f_{r+\frac{1}{2}}(x) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \bar{S}_i[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] \cdot \sin \frac{i\pi}{n} (r + \frac{1}{2}) \\ & \quad + \frac{(-1)^r}{n} \bar{S}_n[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] \\ & f_{r+\frac{1}{2}}(x) = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^{n-1} \bar{C}_i[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] \cdot \cos \frac{i\pi}{n} (r + \frac{1}{2}) \\ & \quad + \frac{1}{n} \bar{C}_n[f_{r+\frac{1}{2}}(x)] \end{aligned}$$

今、対称変形構造を考えると、 $P_{n-\frac{1}{2}}$ と $P_{\frac{1}{2}}$ 、 $T_{n-\frac{1}{2}}$ と $T_{\frac{1}{2}}$ は均り合う故に、Cosine一定和分変換における境界値は消去でき、力の均り合いの3式(21)(22)(23)は整理することができる。

よって(21)と(22)より

$$\begin{aligned} \bar{C}_i[T_{r+\frac{1}{2}}(x)] &= \left\{ S \cdot C_i \cdot EI \cdot R_i[\ddot{U}_r(x)] \right. \\ & \quad + S \cdot C_i \cdot \bar{K} \cdot R_i[U_r(x)] \\ & \quad + C \cdot S_i \cdot EI \cdot S_i[\ddot{V}_r(x)] \\ & \quad \left. + C \cdot S_i \cdot \bar{K} \cdot S_i[V_r(x)] \right\} / 2DD_i \quad (24) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{S}_i[P_{r+\frac{1}{2}}(x)] &= \left\{ C \cdot S_i \cdot EI \cdot R_i[\ddot{U}_r(x)] \right. \\ & \quad + C \cdot S_i \cdot \bar{K} \cdot R_i[U_r(x)] \\ & \quad + S \cdot C_i \cdot EI \cdot S_i[\ddot{V}_r(x)] \\ & \quad \left. + S \cdot C_i \cdot \bar{K} \cdot S_i[V_r(x)] \right\} / -2DD_i \end{aligned}$$

(25)

(24)(25)を(23)に代入すると、

$$\begin{aligned} & \left\{ (2C^2 \cdot C_i S_i + 2S^2 \cdot C_i S_i) \cdot EI \cdot R_i[\ddot{U}_r(x)] \right. \\ & \quad + (2C^2 \cdot C_i S_i + 2S^2 \cdot C_i S_i) \cdot \bar{K} \cdot R_i[U_r(x)] \\ & \quad + (2S \cdot C \cdot C_i^2 + 2S \cdot C \cdot C_i^2) \cdot EI \cdot S_i[\ddot{V}_r(x)] \\ & \quad \left. + (2S \cdot C \cdot C_i^2 + 2S \cdot C \cdot S_i^2) \cdot \bar{K} \cdot S_i[V_r(x)] \right\} / \\ & - DD_i = \frac{GJ}{a} \cdot S_i[\dot{\theta}_r(x)] \quad (26) \end{aligned}$$

ここで、 $S = \sin \alpha$ $S_i = \sin \frac{i\pi}{2n}$

$C = \cos \alpha$ $C_i = \cos \frac{i\pi}{2n}$

$$DD_i = \sin^2 \alpha \cdot \cos \frac{i\pi}{2n}$$

$$- \cos^2 \alpha \cdot \sin \frac{i\pi}{2n} \sin \frac{i\pi}{2n}$$

よって節点での right, left の変位が等しい、つまり joint 係数 $K_n, K_t \rightarrow \infty$ とした(19)(20)の2本の式より

$$S_i[\theta_r(x)] = \frac{C_i^2 S^2 - S_i^2 C^2}{a S_i C_i} \cdot R_i[U_r(x)] \quad (27)$$

$$S_i[V_r(x)] = \frac{S_i - C_i}{S \cdot C} \cdot R_i[U_r(x)] \quad (28)$$

よってこの(27)(28)を(26)に代入し、整理すると

$$\begin{aligned} & \frac{-1}{DD_i} \left\{ 2 \cdot (S_i^2 C_i^2 + S^2 C^2) \cdot R_i[EI \ddot{U}_r(x) + \bar{K} \cdot U_r(x)] \right\} \\ & - \frac{GJ}{a^2} \cdot DD_i \cdot R_i[\dot{U}_r(x)] = 0 \quad (29) \end{aligned}$$

2.2 図-3の如く、一様な外圧が作用する場合

この場合は、 $U_{r+1}(x) = U_{r-1}(x)$ (30)

$$\theta_r(x) = V_r(x) = 0 \quad (31)$$

であるから基本式(14)より

$$EI \ddot{U}_r(x) + (\bar{K} + 4Kr \sin^2 \alpha) \cdot U_r(x) = N_r(x) \quad (32)$$

今、 $N_r(x)$ を $N_r(x) = q_0 + \frac{q_0 - q_o}{l} x$ として(32)を

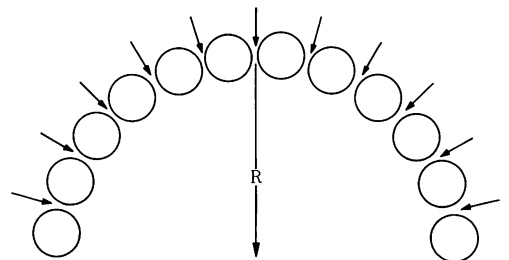


図-3

軸方向に有限Fourier-Sine変換を施すと、

$$\bar{U}(x) = \int_0^l U_r(x) \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} \cdot dx$$

$$\beta^4 = \frac{4 \cdot K_T \sin^2 \alpha + KD}{EI} \quad \lambda^4 = \left(\frac{l}{\pi} \beta \right)^4$$

とおくことによって

$$\begin{aligned} & \left\{ \left(\frac{m\pi}{l} \right)^4 + \beta^4 \right\} \cdot \bar{U}(x) \\ &= \frac{\tilde{N}_r(x)}{EI} - \left(\frac{m\pi}{l} \right)^3 \left\{ \dot{U}(l) \cdot (-1)^m - \dot{U}(0) \right\} \\ & \quad + \left(\frac{m\pi}{l} \right) \left\{ \dot{U}(l) \cdot (-1)^m - \dot{U}(0) \right\} \end{aligned} \quad (33)$$

$$\begin{aligned} \therefore \bar{U}(x) &= -\frac{1}{\pi} \cdot \frac{m^3}{m^4 + \lambda^4} \left\{ (-1)^m \cdot U(l) - U(0) \right\} \\ & \quad + \left(\frac{l}{\pi} \right)^3 \cdot \frac{m}{m^4 + \lambda^4} \left\{ (-1)^m \cdot \dot{U}(l) - \dot{U}(0) \right\} \\ & \quad + \left(\frac{l}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{\tilde{N}_r(x)}{EI} \cdot \frac{1}{m^4 + \lambda^4} \end{aligned} \quad (34)$$

ここで(34)を有限Fourier-Sine逆変換すると、

$\xi = \frac{x}{l}$ において

$$\begin{aligned} U(x) &= R(1-\xi) \cdot U(l) + Q(\xi) \cdot U(0) \\ & \quad - \left(\frac{l}{\pi\lambda} \right)^2 \cdot P(1-\xi) \cdot \dot{U}(l) \\ & \quad - \left(\frac{l}{\pi\lambda} \right)^2 \cdot P(\xi) \cdot \dot{U}(0) \\ & \quad + \frac{2}{l} \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{l}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{1}{EI} \cdot \frac{\tilde{N}_r(x)}{m^4 + \lambda^4} \cdot \sin m\pi\xi \end{aligned} \quad (35)$$

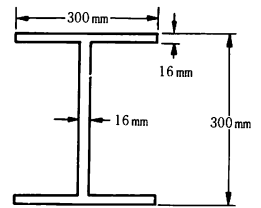
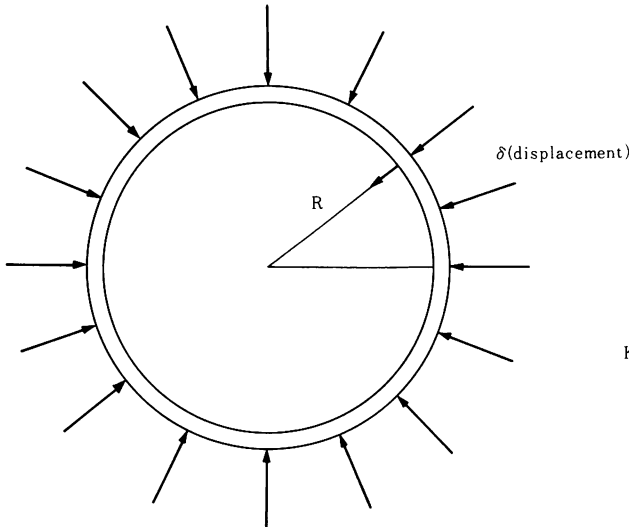
尚、荷重項は

$$\begin{aligned} & \frac{2}{l} \sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{l}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{1}{EI} \cdot \frac{\tilde{N}_r(x)}{m^4 + \lambda^4} \cdot \sin m\pi\xi \\ &= \frac{2}{\pi} \cdot \left(\frac{l}{\pi} \right)^4 \cdot \frac{1}{EI} \cdot \sum_{m=1}^{\infty} \frac{1}{\lambda^4} \left\{ \frac{1}{m} - \frac{m^3}{m^4 + \lambda^4} \right\} \\ & \quad \cdot \left\{ q_0 - q_l \cdot (-1)^m \right\} \cdot \sin m\pi\xi \\ &= \frac{1}{EI} \left(\frac{1}{\pi\lambda} \right)^4 \left[\left\{ (1-\xi) - Q(\xi) \right\} \cdot q_0 \right. \\ & \quad \left. + \left\{ \xi - Q(1-\xi) \right\} \cdot q_l \right] \end{aligned} \quad (36)$$

よって(35)(36)より

$$\begin{aligned} U(x) &= \frac{2}{l} \sum_{m=1}^{\infty} \bar{U}(x) \cdot \sin m\pi\xi \\ &= \left(\frac{l}{\pi\lambda} \right)^4 \cdot \frac{1}{EI} \cdot \left[q_0 \cdot \left\{ (1-\xi) - Q(\xi) \right\} \right. \\ & \quad \left. - q_l \cdot \left\{ Q(1-\xi) - \xi \right\} \right] \\ & \quad + \left\{ Q(1-\xi) \cdot U(l) + Q(\xi) \cdot U(0) \right\} \\ & \quad - \left(\frac{l}{\pi\lambda} \right)^2 \cdot \left\{ P(1-\xi) \cdot \dot{U}(l) + P(\xi) \cdot \dot{U}(0) \right\} \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} Q(\xi) &= \frac{1}{c} \cdot \left\{ \cosh \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} (2-\xi) \cdot \cos \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} (2-\xi) \cdot \cosh \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} \xi \right\} \\ P(\xi) &= \frac{1}{c} \cdot \left\{ \sinh \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} (2-\xi) \cdot \sin \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} (2-\xi) \cdot \sinh \frac{\pi\lambda}{\sqrt{2}} \xi \right\} \\ C &= \cosh \sqrt{2} \pi\lambda - \cos \sqrt{2} \pi\lambda \end{aligned}$$



$$K_R = \frac{2\pi}{n} \cdot \frac{EA}{R}$$

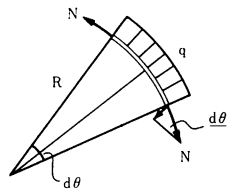


図-4

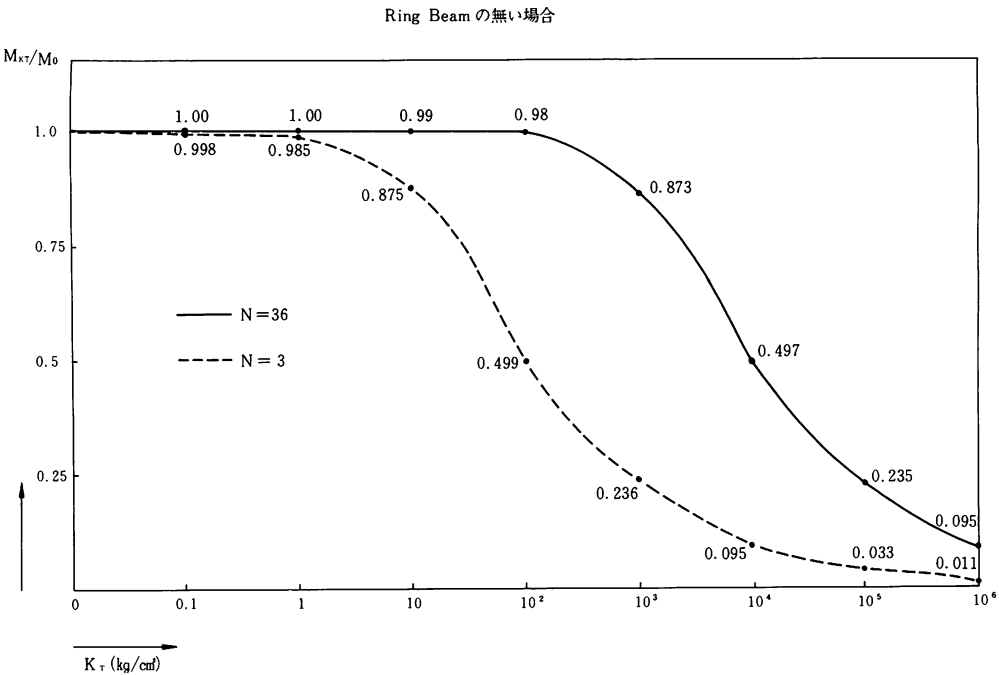


図-5

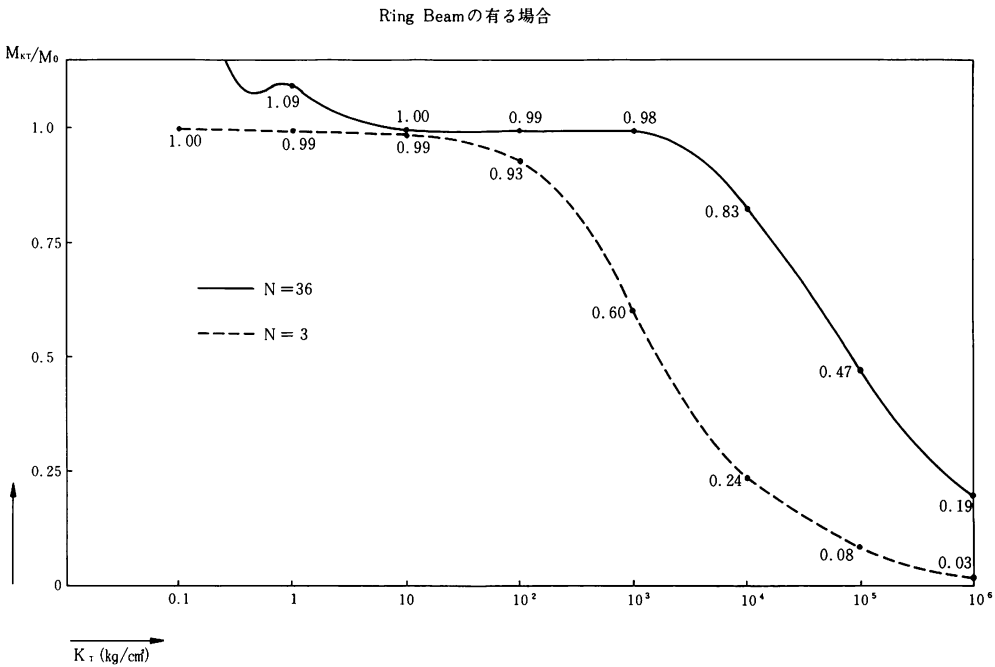


図-6

$$\begin{aligned}
a_{11} &= \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) - \frac{K_R}{EI} & a_{12} &= \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{13} &= -\left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) \\
a_{21} &= -\dot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{24} &= \dot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{32} &= \frac{K_R}{EI} \\
a_{42} &= -\dot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{43} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_A(1) & a_{53} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) \\
a_{52} &= -\ddot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{57} &= -\left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) & a_{31} &= -\ddot{\mathbf{Q}}_A(1) \\
a_{25} &= -\left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) & a_{34} &= \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{46} &= \dot{\mathbf{Q}}_A(1) \\
a_{54} &= \frac{K_R}{EI} & a_{35} &= -\left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) & a_{47} &= -\left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_A(1) \\
a_{56} &= \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{64} &= -\dot{\mathbf{Q}}_A(1) & a_{74} &= -\ddot{\mathbf{Q}}_A(1) \\
a_{86} &= -\dot{\mathbf{Q}}_B(1) & a_{65} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_A(1) & a_{75} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(1) \\
a_{87} &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_B(1) & a_{66} &= \dot{\mathbf{Q}}_B(0) - \dot{\mathbf{Q}}_A(0) & a_{76} &= \ddot{\mathbf{Q}}_B(0) - \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) + \frac{K_R}{EI} \\
a_{88} &= \dot{\mathbf{Q}}_B(0) - \dot{\mathbf{Q}}_C(0) & a_{67} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_A(0) & a_{77} &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_A(0) - \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_B(0) \\
a_{89} &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_B(0) & & -\left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_B(0) & a_{78} &= \ddot{\mathbf{Q}}_B(1) \\
& & & -\left(\frac{cR}{\pi\lambda_C}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_C(0) & a_{79} &= -\left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_B(1) \\
& & a_{68} &= \dot{\mathbf{Q}}_B(1) & & \\
& & a_{69} &= -\left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \dot{\mathbf{P}}_B(1) & & \\
a_{96} &= -\ddot{\mathbf{Q}}_B(1) & q_1 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} [(2q_A - q_B) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) - q_A(1) - q_A \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0)] \\
a_{97} &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_B(1) & q_2 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_A - q_B) \cdot \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_A(0) - \frac{1}{aR} \right\} \right. \\
& & & \left. + q_A \cdot \left\{ -\frac{1}{aR} - \dot{\mathbf{Q}}_A(1) \right\} \right. \\
& & & \left. - (2q_B - q_C) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_A(1) - \frac{1}{aR} \right\} \right. \\
& & & \left. + q_B \left\{ \frac{1}{aR} + \dot{\mathbf{Q}}_A(0) \right\} \right] \\
a_{98} &= \ddot{\mathbf{Q}}_B(0) - \mathbf{Q}_C(0) & q_3 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_A - q_B) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) - q_A \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) - (2q_B - q_C) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) \right. \\
& & & \left. + q_B \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) \right] \\
a_{99} &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_B(0) & & & & \\
& & & -\left(\frac{cR}{\pi\lambda_C}\right)^2 \ddot{\mathbf{P}}_C(0) & & \\
q_4 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_C - q_D) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_A(0) - \frac{1}{aR} \right\} + q_B \cdot \left\{ \frac{-1}{aR} - \dot{\mathbf{Q}}_A(1) \right\} \right. \\
& & & \left. - (2q_C - q_D) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_A(1) - \frac{1}{aR} \right\} + q_C \cdot \left\{ \frac{1}{aR} + \dot{\mathbf{Q}}_A(0) \right\} \right] \\
q_5 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_B - q_C) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) - q_B \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) - (2q_C - q_D) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) \right. \\
& & & \left. + q_C \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) \right] \\
q_6 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_C - q_D) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_A(0) - \frac{1}{aR} \right\} + q_C \cdot \left\{ -\frac{1}{aR} - \dot{\mathbf{Q}}_A(1) \right\} \right. \\
& & & \left. + \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[-(2q_D - q_E) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_B(1) - \frac{1}{bR} \right\} - q_D \cdot \left\{ -\frac{1}{bR} - \dot{\mathbf{Q}}_B(0) \right\} \right] \right] \\
q_7 &= \left(\frac{aR}{\pi\lambda_A}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q - q_D) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(0) - q_C \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_A(1) \right. \\
& & & \left. + \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[-(2q_D - q_E) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_B(1) + q_D \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_B(0) \right] \right] \\
q_8 &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_D - q_E) \left\{ \dot{\mathbf{Q}}_B(0) - \frac{1}{bR} \right\} + q_D \cdot \left\{ \frac{-1}{bR} - \dot{\mathbf{Q}}_B(1) \right\} \right] \\
q_9 &= \left(\frac{bR}{\pi\lambda_B}\right)^4 \frac{1}{EI} \left[(2q_D - q_E) \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_B(0) - q_D \cdot \ddot{\mathbf{Q}}_B(1) \right]
\end{aligned}$$

以上, (37)式および(38)より
次に示す FLOW chart 図に
よった計算結果を 図-8 ~
14 に示す。

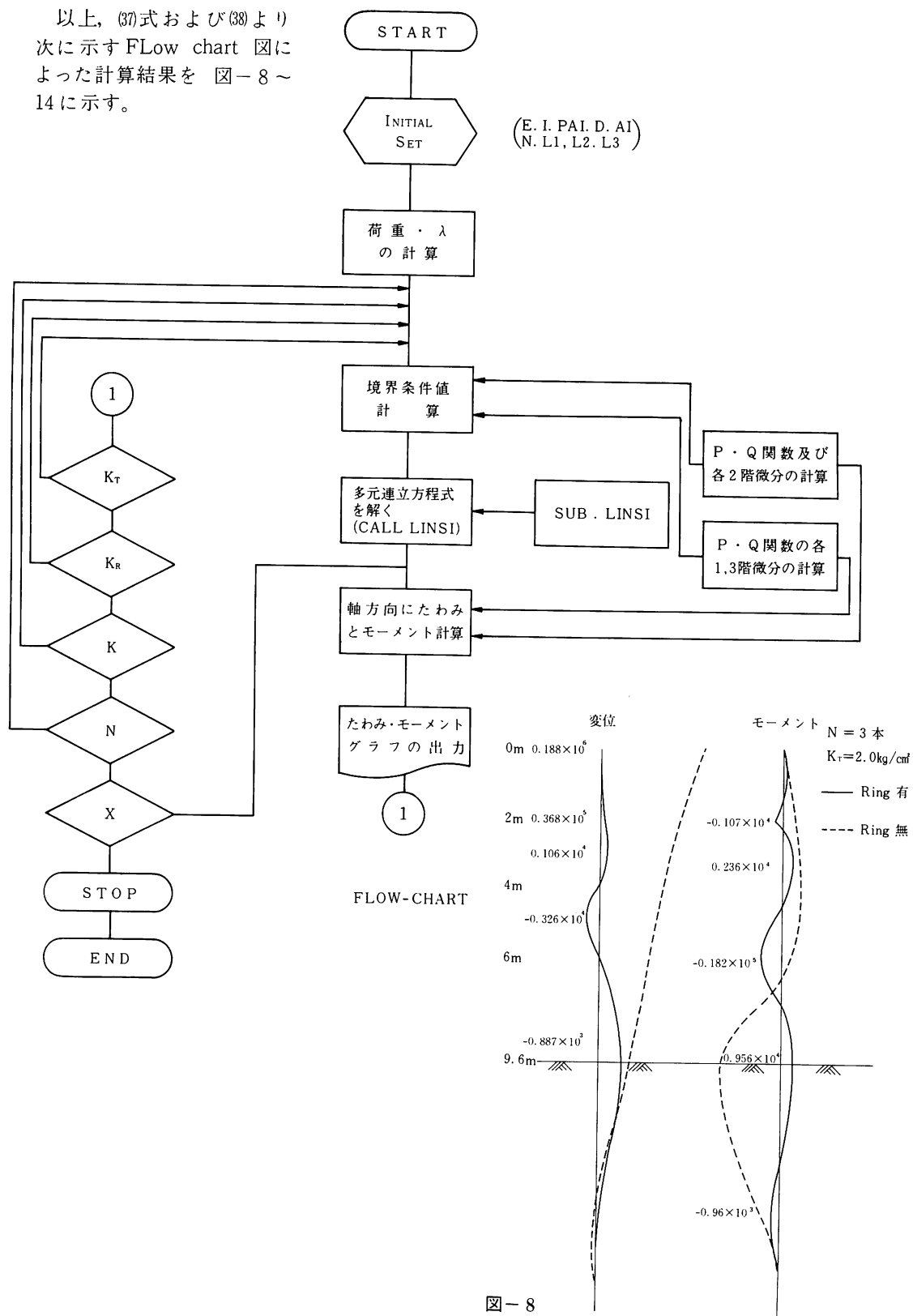


図-8

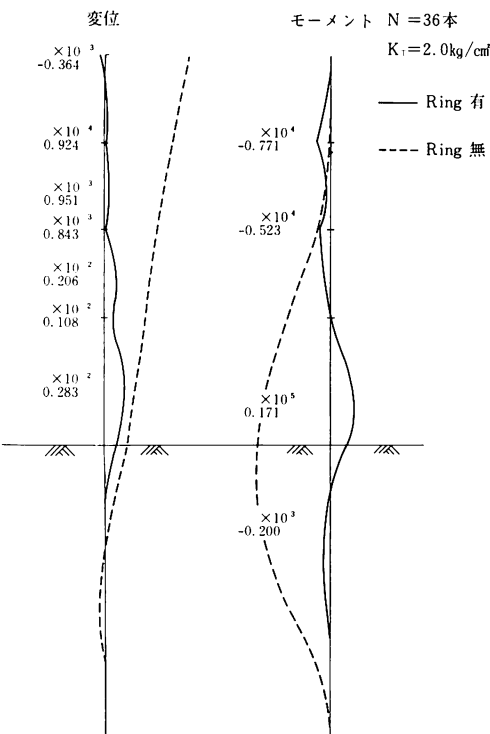


図-9

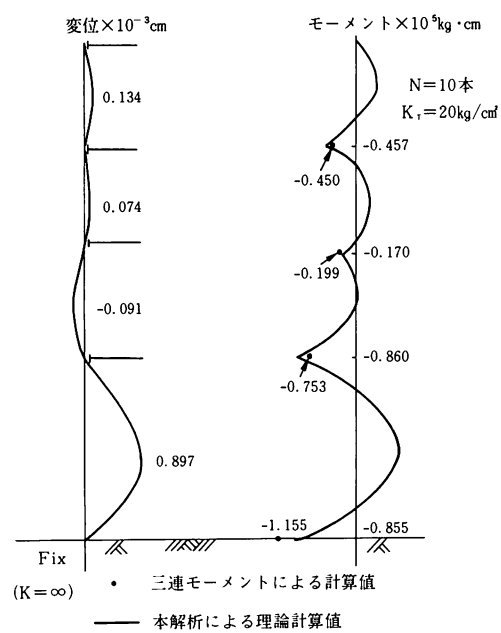


図-10

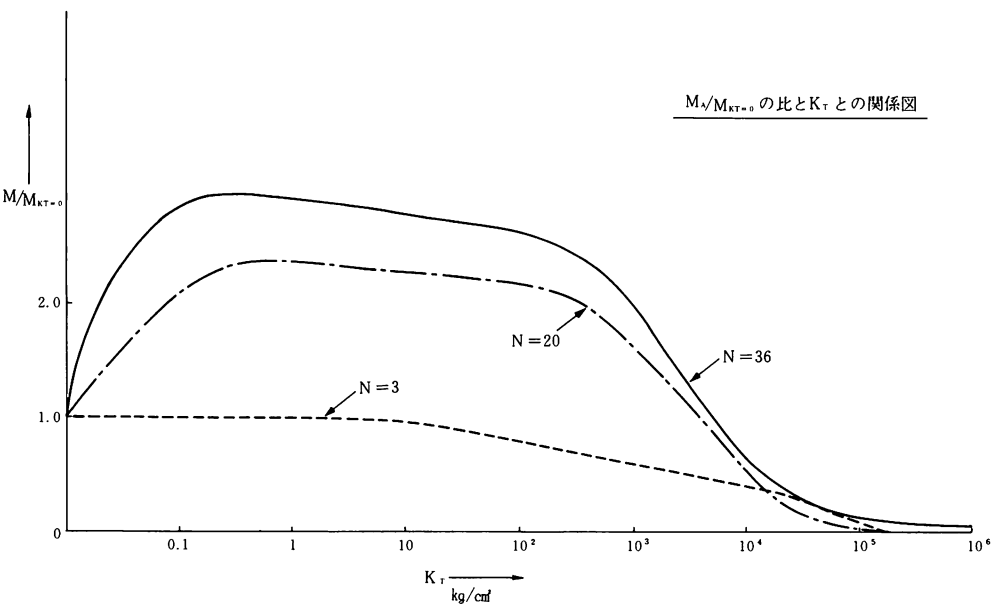


図-11

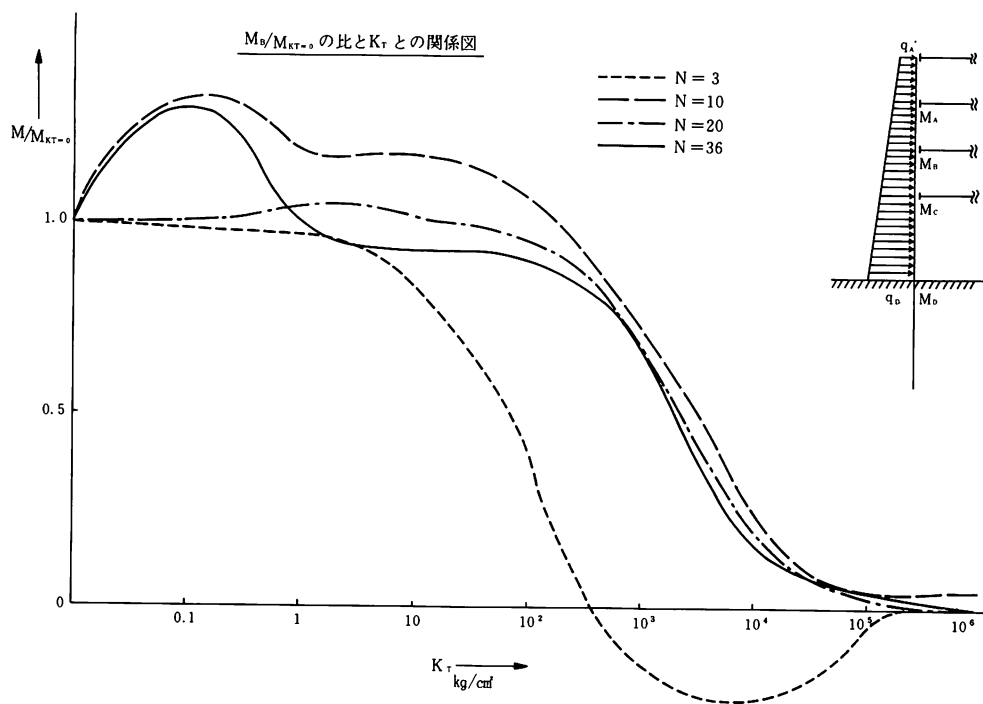


図-12

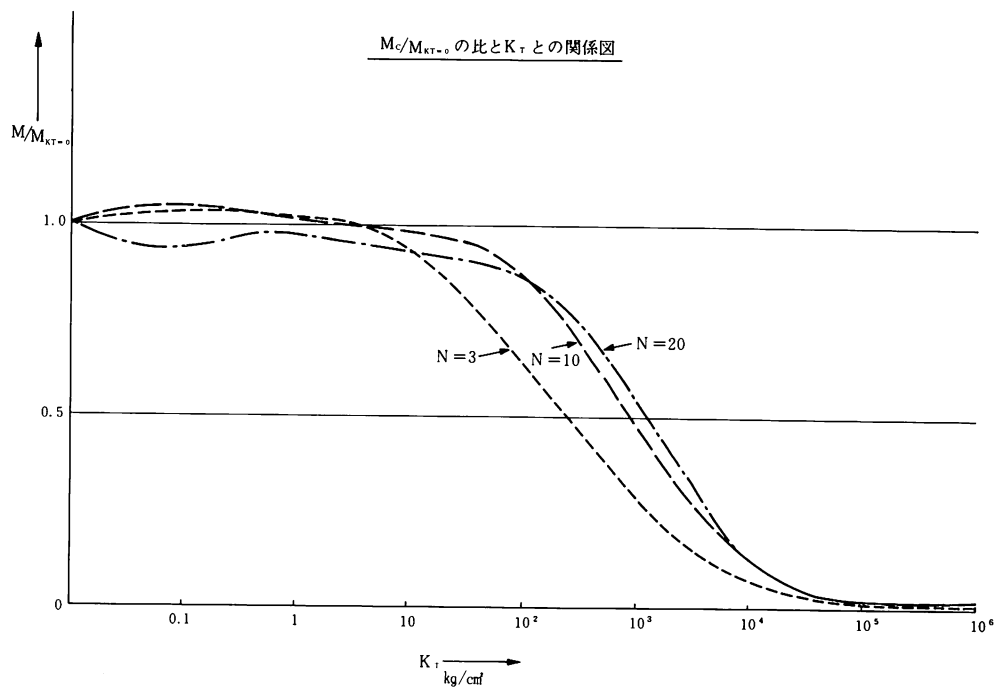


図-13

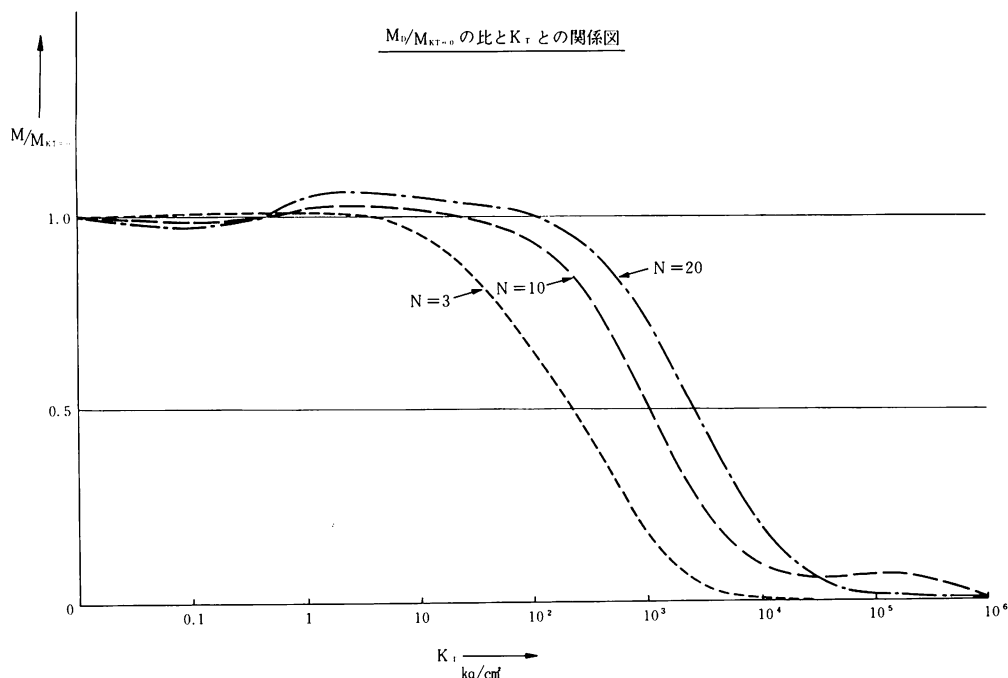


図-14

以上より、 K_T とモーメントの関係は、joint 係数 K_T が $1.0 \sim$ 数千 kg/cm^2 間では、同傾向の値を示し、継手を強固にすることによる効果は見られない。しかし K_T が大きくなる程変位は小さくなり、図 11~14 から見られる様に、最大モーメントを K_t を考慮しないもの ($M_{K_t=0}$) と比較してみると、さらにその傾向が詳しく表われており、パイル数 N の変化を含めた joint 係数の効果が表われる状態を示している。

図-8, 9 には $K_t = 2.0 \text{ kg}/\text{cm}^2$ の場合の $N = 3$ 本の時と 36 本の時の変位図とモーメント図を軸方向に示したものである。一方図-10 では、 $K_t = \infty$ とすると、各 Ring-Beam 点が連続梁の支点と同じ働きをする故に、3 連モーメント法で解いた梁の値と近似を呈することを示したもので、この理論の妥当性を示す 1 つの例と考えられる。又、pile 数 N との関係も図-11 等から見られる様に建て込み本数が大である程、構造全体として基礎としての効果は大となる傾向を示す。これら joint 係数の評価としては、さらに実験を行なって理論の妥当性を確認するつもりである。

尚、数値計算は、苫高専 HITAC 8250 及び北大大型計算機 FACOM 230/15、東大大型計算

機 HITAC 8800/8700 を使用した。

謝辞：本研究にあたり、図作製にお手伝いいただいた本校卒業研究班大野、浜口、松井の 3 君に深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- S. G. Nomachi and K. G. Matsuoka : Some Formulae Derived from Finite Integration. (The Transcript from the Memories of the) (Muroraw Institute of Technology vol. No.3)
- 能町・澤田：鋼管杭によるセル型基礎の応力解析について (第 12 回道路会議一般論文集)
- 能町・澤田：鋼管杭による井筒基礎の弾性挙動について (土木学会第 31 回年次学術講演会講演概要集 I-24)
- リング・ビームで補強された鋼管井筒基礎の応力解析について (土木学会北海道支部昭和 51 年度、論文報告集)