

I-26 鋼管矢板井筒における継手効果のモデル化について

北海道大学 正 員 能町純雄

苫小牧高等 正 員 〇澤田知之

苫小牧高等 正 員 中辻 隆

1. まえがき

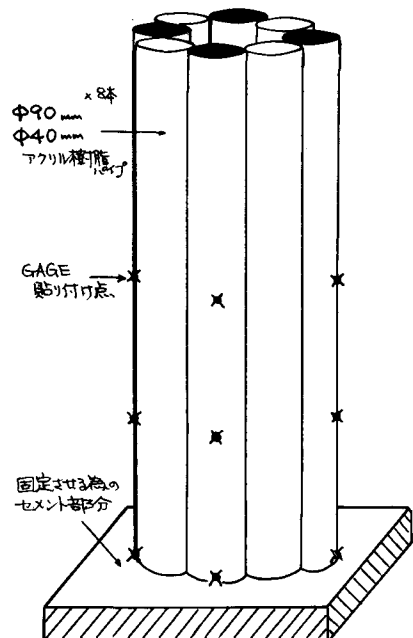
本論における構造は、鋼管矢板を継手で連結しながら円形、矩形、長円等の閉鎖形状に建て込み、継手部を、モルタル等で処理を行い、各矢板に一体性を持たせた構造であり、近年特に大型橋梁や、軟弱地盤における基礎として採用される度が多くなっており、これまでに100基以上の施工例があり、道内でも新茂岩橋、新江別大橋、石狩河口橋等などの施工例が見られる。この基礎形式の持つ構造特性は、ケーソン基礎と杭基礎の中間的な力学特性を有する構造といえる。今日の設計指針¹⁾においては、井筒を一体のものと考え合成効率を用いて換算断面2次モーメントを求めて計算を行なっている。合成効率は井筒の規模、矢板の本数、形状、地盤条件、施工状態等に応じて色々な値になると考えられるが、鋼管矢板の場合は0.3~0.5の値の状態が最も多い様である。本解析は、これらと概念を変えて互いに隣接する各板要素の継手に一種のパネ定数を考えて個々の杭を継手による力の伝達を含めてその評価を行なうとするものであり、今回は既に前回発表した²⁾鋼管を水平に建て込んだ平面構造を、セル型とし井筒とした形状を取り上げ、構造全体としての半径方向の継手効率とそれと直角方向の2方向の継手効率を考慮した解析を行ない、2, 3の実験を行なったので、その結果を報告するものである。

解析にあたっては、軸方向にヒンジ結合されていると考えてあり、軸方向力は考えていない。これは施工時において地盤を掘り下げ、鋼管を建て込んだ状態で、継手処理が行なわれる直前の状態で最も危険な時期を仮定していることになる。実験は、アクリル樹脂で製作した図-1の如く of 供試体を円筒形水槽に入れ、周辺より水压を加えたものと理論値との比較結果を述べる。解析は、各々の杭が受け持つ力の釣合い式を、節点力と節点変位の関係及び図-2に示すところの変位の関係から誘導されるところの三本の基本微分差分方程式を和分変換と、有限フーリエ変換により処理し、収束の速い簡単な解を知り得る。

・本解析で用いられる諸係数

- K_T : 構造の接線方向の継手効率 (kg/cm^2)
 K_N : 構造の半径方向の継手効率 (kg/cm^2)
 K : 地盤反力係数 (kg/cm^3)
 EI : 曲げ剛性 ($\text{kg}\cdot\text{cm}^2$) GJ : ねじり剛性
 N : 鋼管本数 D : 鋼管径 (cm)
 l : 鋼管長 (cm) P : 水平荷重 (kg)
 Q_{out} : 各境界における外力 (kg/cm)

図-1 実験供試体図



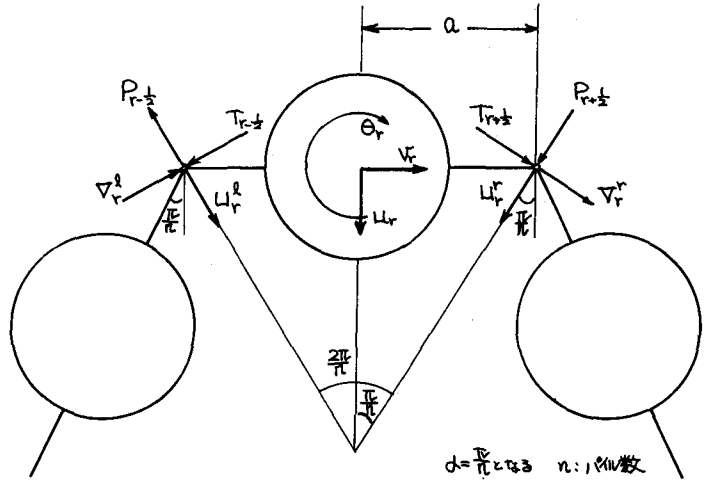
2. 解析概要

図-2に示す如くに、節点

図-2 節点力と変位の関係図

力と変位の関係は、各々2方向の継手効率 K_N, K_T が、それに比例する伝達力の係数と考へ、鋼管要素の中央座標で各々半径方向曲げ、接線方向曲げ、及び捩りの力の釣り合い式をとると三本の基本微分差分方程式が誘導される。

これを各々構造の周方向にFourier-Cosine定和分変換、Sine定和分変換、又軸方向に有限Fourier-Sine変換を施して、境界条件を考慮し



有限Fourier-Sine逆変換すると次の様な一般解を知り得る。(1) (2) (3) に示す式は天端で自由端、根入れ端では固定の場合のものである。

$$\begin{aligned} R[U_r(x)] = & \frac{2}{\pi} D1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^5 + C3 \cdot m^3 + B2 \cdot m + (B2 \cdot C3 - B3 \cdot C2) \cdot \frac{1}{m} \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\varphi_0 - \varphi_L (-1)^n] \\ & + \frac{2}{\pi} E1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^7 + C3 \cdot m^5 + B2 \cdot m^3 + (B2 \cdot C3 - B3 \cdot C2) \cdot m \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\ddot{U}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^9 + C3 \cdot m^7 + B2 \cdot m^5 + (B2 \cdot C3 - B3 \cdot C2) \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[U_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} E2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (B3 \cdot C1 - B1 \cdot C3) \cdot m - B1 \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\dot{V}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (B3 \cdot C1 - B1 \cdot C3) \cdot m^3 - B1 \cdot m^5 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[V_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (B1 \cdot C2 - B2 \cdot C1) \cdot m - C1 \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\theta_r(\omega)] \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} S[V_r(\omega)] = & \frac{2}{\pi} D1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A3 \cdot C2 - A2 \cdot C3) \cdot \frac{1}{m} - A2 \cdot m \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\varphi_0 - \varphi_L (-1)^n] \\ & + \frac{2}{\pi} E1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A3 \cdot C2 - A2 \cdot C3) \cdot m - A2 \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\ddot{U}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A3 \cdot C2 - A2 \cdot C3) \cdot m^3 - A2 \cdot m^5 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[U_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} E2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^7 + C3 \cdot m^5 + A1 \cdot m^3 + (A1 \cdot C3 - A3 \cdot C1) \cdot m \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\dot{V}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^9 + C3 \cdot m^7 + A1 \cdot m^5 + (A1 \cdot C3 - A3 \cdot C1) \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[V_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A2 \cdot C1 - A1 \cdot C2) \cdot m - C2 \cdot m^5 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\theta_r(\omega)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} S[\theta_r(\omega)] = & \frac{2}{\pi} D1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A2 \cdot B3 - A3 \cdot B2) \cdot \frac{1}{m} - A3 \cdot m^3 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\varphi_0 - \varphi_L (-1)^n] \\ & + \frac{2}{\pi} E1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A2 \cdot B3 - A3 \cdot B2) \cdot m - A3 \cdot m^5 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[\ddot{U}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F1 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A2 \cdot B3 - A3 \cdot B2) \cdot m^3 - A3 \cdot m^7 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot R[U_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} E2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A3 \cdot B1 - A1 \cdot B3) \cdot m - B3 \cdot m^5 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\dot{V}_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ (A3 \cdot B1 - A1 \cdot B3) \cdot m^3 - B3 \cdot m^7 \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[V_r(\omega)] \\ & + \frac{2}{\pi} F3 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{DD} \left\{ m^9 + (A1 + B2) \cdot m^5 + (A1 \cdot B2 - A2 \cdot B1) \cdot m \right\} \cdot \sin \frac{n\pi x}{L} \cdot S_1[\theta_r(\omega)] \end{aligned} \quad (3)$$

上述の一般解の境界値は、天端での剪断力のつり合い及び根入れ端でのたわみ角が無いという各々の方向の方程式を連立で解くことにより容易に求められる。整理して示すに次の如くである。

$$\begin{bmatrix} \ddot{F}_{U2}(l) & \ddot{F}_{U3}(l) & \ddot{F}_{U4}(l) & \ddot{F}_{U5}(l) & \ddot{F}_{U6}(l) \\ \ddot{F}_{V2}(l) & \ddot{F}_{V3}(l) & \ddot{F}_{V4}(l) & \ddot{F}_{V5}(l) & \ddot{F}_{V6}(l) \\ EI \cdot \ddot{F}_{U2}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{U3}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{U4}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{U5}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{U6}(0) \\ EI \cdot \ddot{F}_{V2}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{V3}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{V4}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{V5}(0) & EI \cdot \ddot{F}_{V6}(0) \\ GJ \cdot \ddot{\theta}_2(0) & GJ \cdot \ddot{\theta}_3(0) & GJ \cdot \ddot{\theta}_4(0) & GJ \cdot \ddot{\theta}_5(0) & GJ \cdot \ddot{\theta}_6(0) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R[U_2(\omega)] \\ R[U_3(\omega)] \\ S[V_2(\omega)] \\ S[V_3(\omega)] \\ S[\theta_2(\omega)] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\ddot{F}_{U1}(0) \cdot R[\xi_0 - \xi_2(-1)^m] \\ -\ddot{F}_{V1}(0) \cdot R[\xi_0 - \xi_2(-1)^m] \\ P - \ddot{F}_{U1}(0) \cdot R[\xi_0 - \xi_2(-1)^m] \\ -\ddot{F}_{V1}(0) \cdot R[\xi_0 - \xi_2(-1)^m] \\ -\ddot{F}_{\theta 1}(0) \cdot R[\xi_0 - \xi_2(-1)^m] \end{bmatrix} \quad (4)$$

ここで、 $\ddot{F}_{U2 \sim 6}$, $\ddot{F}_{V1 \sim 6}$, などは前記(1)～(3)式において各々の境界値の前に記した m で集める m 桁の級数項の項を収束関数 $F_{U1}(x)$ などと表わし、それを x で各々1回又は3回微分したものを表わす。

$$x, DD = m^0 + P1 \cdot m^2 + P2 \cdot m^4 + P3 \cdot m^6 + P4 \cdot m^8 + P5$$

$$P1 = C3$$

$$P2 = A1 + B2$$

$$A1 = \frac{Q^4}{EI\pi^4} \{ KD + KN \cdot Di \cdot \cos^2 \alpha + KT(4 - Di) \sin^2 \alpha \}$$

$$P3 = (A1 \cdot C3 - A3 \cdot C1) + (B2 \cdot C3 - B3 \cdot C2)$$

$$B1 = -\frac{Q^4}{EI\pi^4} (KN + KT) 2 \sin \frac{\pi}{N} \cdot \sin \alpha \cdot \cos \alpha$$

$$P4 = (A1 \cdot B2 - A2 \cdot B1)$$

$$C1 = \frac{Q^4}{EI\pi^4} (KN \cos^2 \alpha - KT \sin^2 \alpha) 2 \sin \frac{\pi}{N}$$

$$P5 = (A2 \cdot B3 \cdot C1 + A3 \cdot B1 \cdot C2 + A1 \cdot B2 \cdot C3$$

$$D1 = -\frac{Q^4}{EI\pi^4} \frac{1}{N} \quad E1 = \frac{Q^3}{\pi^3} \quad F1 = \frac{Q}{\pi} \quad E2 = \frac{Q^3}{\pi^3} \quad F2 = \frac{Q}{\pi} = F3$$

$$-A3 \cdot B2 \cdot C1 - A2 \cdot B1 \cdot C3 - A1 \cdot B3 \cdot C2)$$

$$A2 = -\frac{Q^4}{EI\pi^4} (KN + KT) 2 \sin \frac{\pi}{N} \cdot \cos \alpha \cdot \sin \alpha$$

$$A3 = \frac{Q^2}{GJ\pi^2} a (KN 2 \sin \frac{\pi}{N} \cos^2 \alpha - KT 2 \sin \frac{\pi}{N} \sin^2 \alpha)$$

$$B2 = \frac{Q^4}{EI\pi^4} \{ KD + KN(4 - Di) \sin^2 \alpha + KT Di \cos^2 \alpha \}$$

$$B3 = \frac{Q^2}{GJ\pi^2} a \{ -KN(4 - Di) + KT Di \}$$

$$C2 = -\frac{Q^4}{EI\pi^4} \{ KN(4 - Di) - KT Di \} a \sin \alpha \cos \alpha$$

$$C3 = \frac{Q^2}{GJ\pi^2} a^2 \{ KN(4 - Di) \cos^2 \alpha + KT Di \sin^2 \alpha \} \quad \text{である。}$$

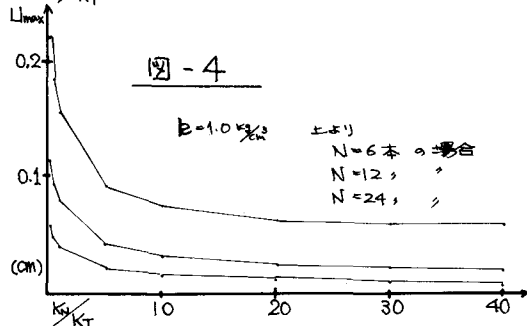
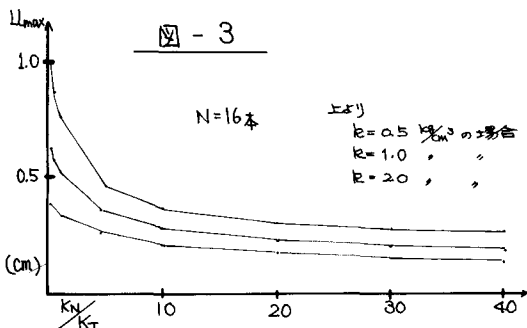
よって前述の(1)～(3)に上記(4)より知り得た境界値を代入し、次の様な定積分変換を施すことにより断面力を知る。

$$U_r(x) = \frac{2}{N} \sum_{r=0}^N R[U_r(\omega)] \cdot \cos \frac{\pi}{N} r \quad (5) \quad V_r(x) = \frac{2}{N} \sum_{r=1}^N S[V_r(\omega)] \cdot \sin \frac{\pi}{N} r \quad (6)$$

$$\theta_r(x) = \frac{2}{N} \sum_{r=1}^N S[\theta_r(\omega)] \cdot \sin \frac{\pi}{N} r \quad (7)$$

3. 数値計算例

今、計算例として図-3に $D=26\text{cm}$ の鋼管を $N=16$ 本で $l=10\text{m}$ なる井筒構造の場合、天端に $P=100\text{t}$ 載荷の場合の地盤反力係数の変化による最大変位の変化を、 K/K_T をパラメータとして示したものであり、図-4には、寸法を模型供試体のものとして、 $E=2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ 断面2次モーメント $I=58.81 \text{ cm}^4$ $G=8.1 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ $J=2I$, $l=90\text{cm}$, $a=9.8\text{cm}$ なるものを取り上げ天端に 1ton 載荷の場合の、パイル本数による変化を上述と同様に継手効率 η の変化による最大変位の変化を示したものである。いずれも大きさに関係なく、継手効率 η 20以降は、ほぼ一定値となっている。これは KN , KT の分子、分母を変えても同傾向を示す一方、偏りでは地盤反力係数の変化が、かなり大きく影響を与えることを示し、モーメントにおいても同じ様子を呈した。パイル数が増えれば変位も小さくなりこれは妥当な傾向であると言える。



4. 実験概要

実験供試体は図-1及び写真-3に示す様にアクリル樹脂パイプを用いて3種類のものを作製して行った。

- | | | | |
|--------|----------|-------------|-----------------------|
| Case 1 | 中90mm×8本 | Ring-beam無し | パイプとパイプの接続はパテ(接合効果) |
| Case 2 | 中90mm×8本 | Ring-beam有 | パイプとパイプの接続はパテ(防水効果) |
| Case 3 | 中40mm×8本 | Ring-beam有 | パイプとパイプの接続はゴム(ヒツ結合効果) |

Ring-beamとしては、断面積 1cm^2 のゴムを製作し写真-2に見られる如くFree(天端) - Fix(根入れ端)条件の最大変位の生じるであろう天端に取り付けた。又、以上3種の実験は、共に供試体をアクリル樹脂製の円筒形水槽の中に入れ水深90cmまでにして、ひずみと変位を測定した。(写真-1,4)。尚、strain-gageは防水性のBonded strain gageを用い、図-1に示す様な位置に互いに対称となる2対のパイプ4本に各々軸方向・表側3ヶ所、パイプ裏面の固定部分と、そこから50cmの所に各々取り付けた。(図中黒く塗られたパイプ)ダイヤル・ゲージは天端に2ヶ所、取り付けて計測した。(写真-2)

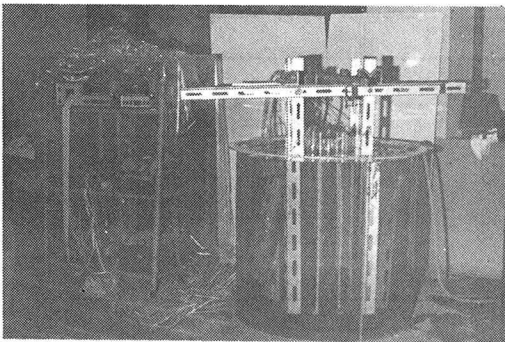


写真-1 測定器及び実験全本図
(中90mm×8本)

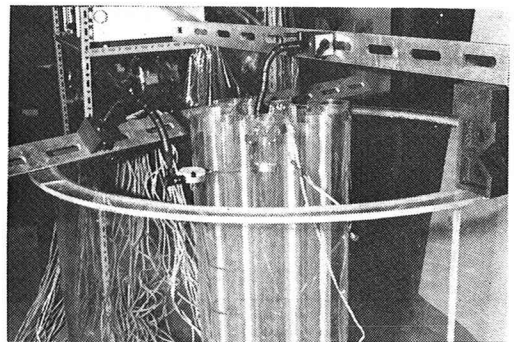


写真-2 ダイヤル・ゲージ取り付け位置
リング・ビーム取り付け位置
(中90mm×8本)

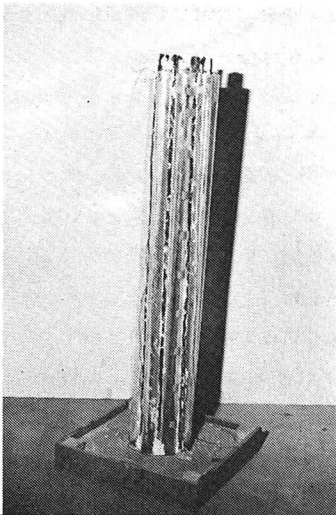


写真-3 供試体
(中40mm×8本)

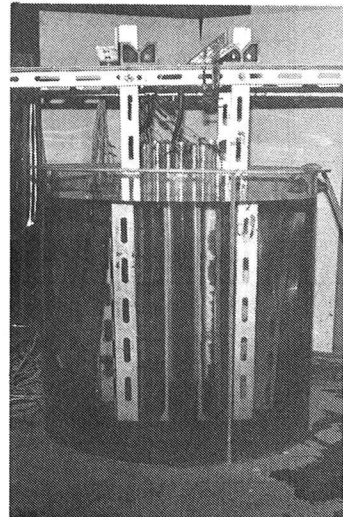


写真-4 円筒水槽及び供試体
(中90mm×8本)

5. 実験値と理論値の比較検討

表-1 ▷ 固定端 ($\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam 無)

実験値	理論値 ($l=90\text{cm}$) $\alpha=90^\circ\text{cm}$	
$E = -768 \times 10^{-6}$	K_T	$M = -350.400 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{v} = 8E = -24.58 \text{ (kg/cm}^2)$	3.5	$\bar{v} = \frac{M}{I} = -26.28 \text{ (kg/cm}^2)$
$E = 32000 \text{ (kg/cm}^2)$	K_T	$M = -335.017 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$I = 58.51 \text{ (cm}^4)$	4.0	$\bar{v} = -25.13 \text{ (kg/cm}^2)$
$\bar{y} = 4.39 \text{ (cm)}$	K_T	$M = -322.160 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{y}_I = 0.075 \text{ (kg/cm}^2)$	4.5	$\bar{v} = -24.16 \text{ (kg/cm}^2)$

表-2 ▷ 固定端より50cm (同上)

実験値	理論値 ($l=90\text{cm}$) $\alpha=50\text{cm}$	
$E = 141 \times 10^{-6}$	K_T	$M = 57.6392 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{v} = 4.51 \text{ (kg/cm}^2)$	5.0	$\bar{v} = 4.32 \text{ (kg/cm}^2)$
	K_T	$M = 59.1344 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
	5.5	$\bar{v} = 4.44 \text{ (kg/cm}^2)$
	K_T	$M = 60.2763 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
	6.0	$\bar{v} = 4.52 \text{ (kg/cm}^2)$

表-3 ▷ 固定端 ($\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam 有)

実験値	理論値 ($l=90\text{cm}$) $\alpha=90^\circ\text{cm}$	
$E = -794.33 \times 10^{-6}$	K_T	$M = -341.456 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{v} = -25.42 \text{ (kg/cm}^2)$	2.5	$\bar{v} = -25.61 \text{ (kg/cm}^2)$
	K_T	$M = -331.102 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
	3.0	$\bar{v} = -24.83 \text{ (kg/cm}^2)$
	K_T	$M = -321.786 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
	3.5	$\bar{v} = -24.13 \text{ (kg/cm}^2)$

表-4 ▷ 固定端 ($\phi 40_{\text{mm}} \times 8$ 本 14 接続 Ring-beam 有)

実験値	理論値 ($l=90\text{cm}$) $\alpha=90^\circ\text{cm}$	
$E = -503.01 \times 10^{-6}$	K_T	$M = -42.3836 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{v} = -16.10 \text{ (kg/cm}^2)$	20	$\bar{v} = -17.12 \text{ (kg/cm}^2)$
$E = 32000 \text{ (kg/cm}^2)$	K_T	$M = -37.3804 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$I = 4.682 \text{ (cm}^4)$	25	$\bar{v} = -15.10 \text{ (kg/cm}^2)$
$\bar{y} = 1.89 \text{ cm}$	K_T	$M = -35.2263 \text{ (kg}\cdot\text{cm)}$
$\bar{y}_I = 0.404 \text{ (kg/cm}^2)$	30	$\bar{v} = -14.25 \text{ (kg/cm}^2)$

表-5 ▷ 天端変位 ($\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam 無)

実験値	理論値 (mm)	
10.0_{mm}	$K_T=3.0$	14.62
	$K_T=3.5$	12.46
	$K_T=4.0$	10.79
	$K_T=4.5$	9.46
	$K_T=5.0$	8.37
	$K_T=5.5$	7.47

表-6 ▷ 天端変位 ($\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam 有)

実験値	理論値 (mm)	
0.7_{mm}	$K_T=3.5$	1.10
	$K_T=4.0$	0.97
	$K_T=4.5$	0.87
	$K_T=5.0$	0.78
	$K_T=5.5$	0.71
	$K_T=6.0$	0.65

表-1 は Case-1 の場合の $\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam 無の場合の実験値と理論値の比較であり、固定端の値である。これから継手効率 K_T は 4.0 ~ 4.5 kg/cm^2 の間にあり、一方表-2 からは 4.5 ~ 6.0 kg/cm^2 程度という結果である。表-5 はこの場合の天端における変位から K_T を求めたもので 3.5 ~ 4.5 kg/cm^2 という結果を得た。よって防水のみの効果と考えたパテで接続された場合におよそ 4 ~ 6 kg/cm^2 の継手効率 K_T は、数 kg/cm^2 の効果があると言える。これによって実際の構造物においても、ほとんど継手処理を行わずとも建て込み状態においてもある程度の継手効果があるということが推定される。

表-3 及び表-6 は Case-2 の場合のもので $\phi 90_{\text{mm}} \times 8$ 本 Ring-beam を取り付けて補強した時であり、 K_T は応力の比較から 3 kg/cm^2 前後であり、変位の比較からは 5 kg/cm^2 前後ということで、上記 Case-1 の時の継手効率と同程度の値を得た。又表-5、6 の比較より、Ring-beam の効果が明らかに示されている。続いて表-4 は Case-3

の場合のものであるが、これから K_t は $20 \sim 30 \text{ kg/cm}^2$ という結果である。

Case-1, 2 の場合と比較して継手処理の効果が表われていると言える。以上の実験結果及び数値計算例からこの理論の妥当性の裏づけが示されたと言えるが、この継手効率と合成効率との関係を明確にするには実験の種類および回数が不足しており、さらに軸方向力を考慮した解析と実験、動的解析、塑性の領域に入った時の処理等、問題点が残るが、実験供試体の分解能の向上及び実物構造の実験データとの比較も加えて次の機会に発表する予定である。

尚、数値計算は、北海道大学大型計算機センター FACOM 230-75 及び苫小牧高専 HITAC 8250 を用いて行なつた。又、本研究の一部は昭和53年度北海道科学研究補助金を受けて行なつたことを付記する。

※ 参考文献

- 1) 矢板式基礎の設計と施工指針・同解説：矢板式基礎研究委員会
- 2) 水平鋼管矢板構造の継手効果について：能町、澤田、佐藤（土木学会北海道支部論文報告集昭和52年度第34号）
- 3) Some Formulas Derived from Finite Integration：S.G. Nomachi & K.G. Matsuoka
（The Transcript from the Memories of the Muroran Institute of Technology Vol. No.3）
- 4) 井筒基礎の地震応答解析に関する研究：土岐、小松（土木学会論文報告集第281号）
- 5) 鋼管矢板基礎の施工および水平載荷試験：藤田、木村、山口、徳田、小間（土と基礎、December 1973）
- 6) 橋梁基礎の新工法：一俣、藤田、兼用鋼管矢板井筒工法—山島、松果（土木学会誌、Aug. 1972）
- 7) 川鉄の鋼管矢板井筒工法：（技術資料）
- 8) 鋼管矢板井筒の水平抵抗に関する模型実験的研究：嶋、後藤、藤田、和田
（土木学会第23回年次講演会概要集 Ⅲ-82）
- 9) リング・ヒームを補強した鋼管井筒基礎の応力解析について：能町、澤田（土木学会北海道支部論文報告集昭和51年第33号）
- 10) 鋼管杭によるセル型基礎の応力解析について：能町、澤田（第12回道路会議一般論文集）
- 11) 鋼管杭による井筒基礎の弾性挙動について：能町、澤田（第31回年次学術講演会概要集 I-24）