

III-13 鋼管矢板井筒の剛性について

川崎製鉄 正員 嶋 文雄

川崎製鉄 正員 加藤親男

川崎製鉄 正員 ○ 斎藤 恂

1 まえがき

鋼管矢板井筒に関する模型実験の研究については、第21回、第22回、第23回土木学会年次学術講演会において、その概要を報告したが、この結果から、鋼管矢板継手部の結合度が高い程、鉄筋コンクリート井筒の剛性に近くなり、継手がヒンジ構造である場合に於ても、ほぼ各鋼矢板の中心点を通る円を外径とする鉄筋コンクリート井筒の剛性と同等であることがわかった。これらの実験により鋼管矢板井筒を基礎構造物として実用化できるという見通しをつけることができたため、水島製鉄所構内に実物の鋼管矢板井筒基礎を構築し実物実験を行つた。本報告はこの実物実験の剛性の評価に関するもので、特に設計法との結びつけに重点を置いて述べるものである。

2 実物実験

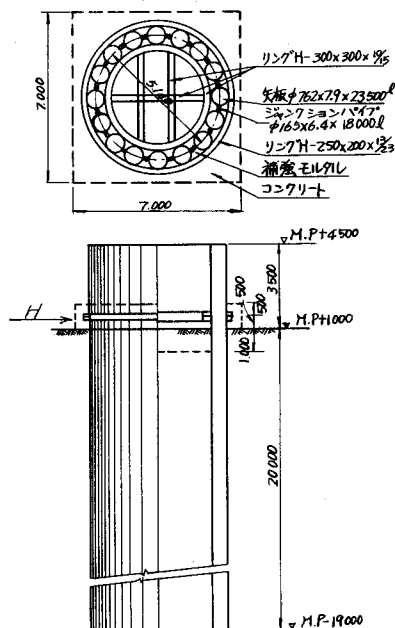


図-1 実験体

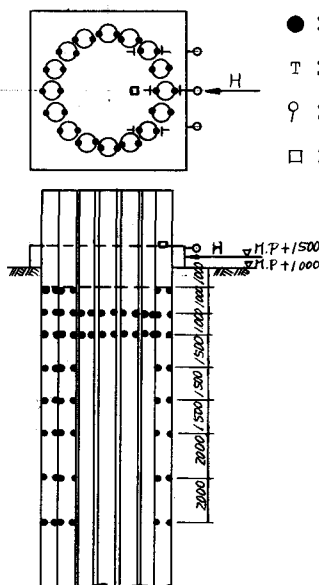


図-2 ゲージ取付位置

● : ストレインゲージ
T : S-1, S-2 ダイヤルゲージ
9 : S-3 ダイヤルゲージ
□ : 回転計

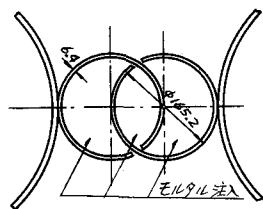


図-3 ジャンクションパイプ

実験体は図-1に示すように $\phi 762 \times 29 \times 23500$ の鋼管に $\phi 165 \times 6.4 \times 18000$ ジャンクションパイプが2本つつ溶接された鋼管矢板を直径 5140% の円形状に16本打ち込んだものである。使用した鋼管の断面諸元は

外径 (%)	肉厚 (%)	単重 (%)	断面積 (cm^2)	断面係数 (cm^3)	回転半径 (cm)	慣性モーメント (cm^4)
762	7.1	147	187.12	3492	26.66	133.045

表-1 断面諸元

表-1のとおりである。実験体の種類は次の三種類でそれぞれ補強方法の異つたものである。

(1) S-1実験体 ……本実験体は鋼管矢板をH形鋼のガイドリングにそつて打ち込んだ後、ガイドリングと鋼管矢板との間にモルタルを充填したままのものである。

(2) S-2実験体 ……本実験体はS-1の状態からさらにジャンクションパイプ(図-3参照)の排土を行つた後、プレバクトモルタルを充填して鋼管矢板井筒の一体性を高めたものである。

(3) S-3実験体 ……鋼管矢板井筒の状態はS-2実験体に加えて頭部のフーチングを2m厚打設して、実際の構造物としたものである。

実験体には図-2に示した位置に抵抗線歪計およびダイヤルゲージを取付け、各実験体の鋼管矢板応力と水平変位量を、S-1、S-2実験体については載荷時の井筒断面変形量を、又S-3実験体ではフーチング回転量を測定し図-1にみられるような水平加力実験を行つた。

3. 実験結果と考察

各実験体に対する水平力と井筒頭部水平変位量の実験結果を図-4に示した。これよりS-3実験体の剛性が大きくS-1実験体のそれが小さくS-2実験体が両者の中間にあることがわかる。

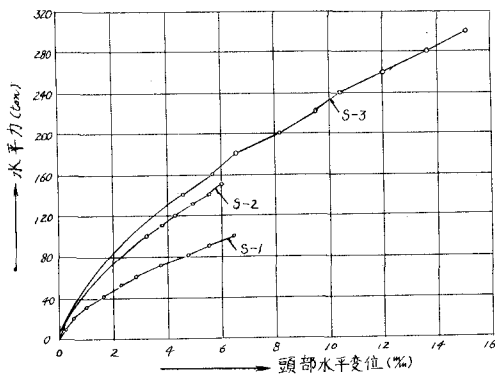


図-4 「水平力～頭部変位」関係

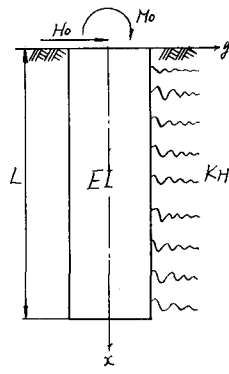


図-5 力学モデル

鋼管矢板井筒の構造は従来のケーソンと群杭との中間的存在であるため、その設計法を定めることは難しい問題ではあるが、次に示すような方法を用いるのが現在の段階ではほぼ妥当であると考えられる。即ち、鋼管矢板井筒をある剛性を有する深さ方向に一定のパネで支持された有限長の梁として解く方法である。この解法によれば鋼管矢板井筒の剛性をみかけの断面二次モーメントIで評価することができ、また実際の設計に際し簡単にその力学的性状を表現できる特長がある。

従つて今回実施した各実験体の剛性について、図-5に示した力学モデルから評価してみる。

(1) 梁の微分方程式

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} + E_s \cdot y = 0$$

I : みかけの断面二次モーメント

$$E_s = K_H D$$

D : 載荷幅

$$K_H : \text{横方向地盤反力係数}$$

$$I = \sum_{i=1}^n I_i + \mu \sum_{i=1}^n A_i X_i^2$$

n : 鋼管本数 μ : 継手効率

X_i : 中心軸よりi番目の鋼管までの距離

I_i : i番目鋼管の断面2次モーメント

A_i : i番目鋼管の断面積

一般解は次のようになる。

$$y = e^{\beta x}(A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x}(C \cos \beta x + D \sin \beta x)$$

境界条件として次の4式を与え、杭頭部変位および杭頭部回転角を求める。

$$M_{x=0} = -M_0, \quad S_{x=0} = -H_0, \quad M_{x=L} = 0, \quad S_{x=L} = 0,$$

杭頭部変位： δ

杭頭部回転角： θ

$$\delta = \phi_1 \frac{2\beta H_0}{E_s} + \phi_2 \frac{2\beta^3 M_0}{E_s} \text{----(1)式}$$

$$\theta = \phi_2 \frac{2\beta^2 H_0}{E_s} + \phi_3 \frac{4\beta^3 M_0}{E_s} \text{----(2)式}$$

但し、

$$\begin{aligned} \phi_1 &= 1 + \frac{2}{\Delta} \{ e^{2k} (2 - \cos 2k - \sin 2k) - 1 \} & \phi_2 &= 1 + \frac{4}{\Delta} e^{2k} (1 + \cos 2k) \\ \phi_3 &= 1 + \frac{2}{\Delta} \{ e^{2k} (2 + \sin 2k - \cos 2k) - 1 \} & \Delta &= e^{4k} - 2e^{2k} (2 - \cos 2k) + 1 \quad k = \beta L \end{aligned}$$

(2) S-3 実験体の剛性

実験データより水平力 $H_0 = 200 \text{ t}$ 時の頭部変位量 $\delta = 7.85 \text{ cm}$ 、頭部回転角 $\theta = 8.4 \times 10^{-4} \text{ Rad}$ から(1)式と(2)式を同時に満足する E_s と I を算出する。

($L = 20 \text{ m}$) 即ち、(1)式の $E_s = \frac{2\beta H_0}{\delta} \phi_1$ に β を仮定して上記 $H_0 = 200 \text{ t}$ 、 $\delta = 7.85 \text{ cm}$ を満足する E_s を求める。同様に ϕ_2 を求め(2)式の $E_s' = \frac{2\beta^2 H_0}{\theta} \phi_2$ から $H_0 = 200 \text{ t}$ 、 $\theta = 8.4 \times 10^{-4}$ を満足する E_s' を求める。この両者の E_s 、 E_s' が等しくなるような β を試算によつて求め図-5における力学モデルの E_s を算出するわけである。その結果 $E_s = 5.970 \text{ cm}^2$ 、 $I_3 = 0.5224 \text{ m}^4$ となつた。

(3) S-1、S-2 実験体の剛性

S-3 実験から得られた $E_s = 5.970 \text{ cm}^2$ から求められる S-1、S-2 実験体の剛性はそれぞれ $I_1 = 0.0410 \text{ m}^4$ 、 $I_2 = 0.2820 \text{ m}^4$ となる。これらの解析結果と実物実験結果とを比較したのが図-6であり、また各実験体を継手効率として表わしたのが表-2である。

この結果モルタル注入効果およびフーチング打設効果がよく表われているのがわかる。

「しかし本解析は弾性解析であつて水平力～変位関係は直線性を有し実情にそぐわない欠点があるため、土の塑性変形を考慮した弾塑性設計法を導き実物実験を解析してみた。

弾塑性理論の詳細については省略するが、その力学モデルを図-7に示す。」

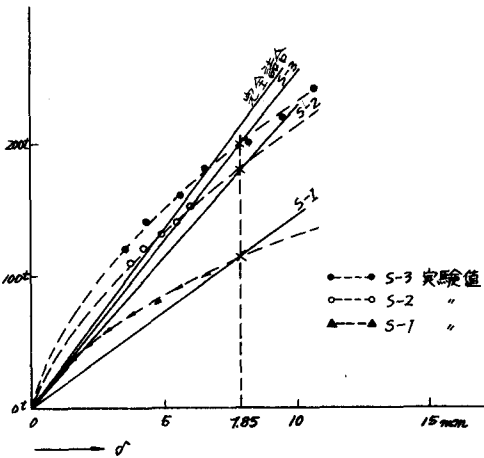


図-6 実物実験結果と

弾性解析結果の比較図

実験体	継手効率
S-3	0.50
S-2	0.26
S-1	0.02

表-2 弾性解析による継手効率

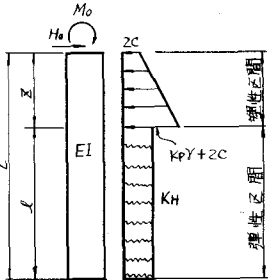


図-7 弾塑性解析の力学モデル

この解法は荷重が増大して行くに伴つて変形の大きい地表面から順次土の弾性性状が失なわれていき、土が地表面から順次降伏状態に達し塑性区間と弾性区間に分離する境界点でのつり合い条件式をたて解くものである。従つて作用荷重の大きさによつて境界点の位置は変化し「荷重～変位」関係は非線形となる。その解析結果は図-8、表-3に示すように継手効率は弾性解析より当然大きくなり、また「水平力～変位」関係は実際の変形特性をよく表わしている。

応力については作用する曲げモーメントの大部分を井筒全体の断面二次モーメントで抵抗し、個々の杭の断面二次モーメントで抵抗するのは非常にわずかなことが確かめられた。その比率はほぼ93：7である。

実験体	継手効率
S-3	0.75
S-2	0.44
S-1	0.11

表-3 弾塑性解析による
継手効率

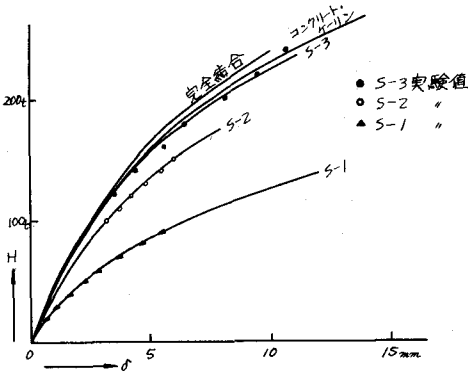


図-8 実物実験結果と
弾塑性解析結果の比較図

尚、今回の実験とは別に自由長のある鋼管矢板井筒の実物実験、および鋼管矢板の準実物模型による室内載荷実験を行つた。その結果については現在解析中であるが同様の結果が得られている。

4. 結論

本研究の結果、(1)鋼管矢板井筒の設計法は弾性地盤内の有限長梁として解いて十分実用に供し得るものと思われる。(2)厳密な設計法としては土の塑性流動を考慮した弾塑性理論が考えられる。(3)継手効率 μ は鋼管矢板継手部にモルタルを充填し、且つ頭部にフーチングを打つた状態のS-3実験体で弾性解の場合 $\mu=0.50$ 、弾塑性解の場合 $\mu=0.75$ 程度である。(4)応力度の検討はS-3実験体の場合、近似的に次式で行える。 $\bar{\sigma}_{max} = \pm M_{max} \left(\frac{0.07}{\pi Z_1} + \frac{0.93}{Z} \right)$ 等がわかつた。

終りに臨み本研究の実施に当り終始御指導頂いた京都大学後藤尚男教授、清水建設(株) 研究所、大阪設計コンサルタント(株)の多大な御協力に深謝の意を表する。

参考文献

- 1) 嶋、後藤、松浦、吉倉、 “鋼管矢板井筒に関する模型実験的研究”、才21回土木学会年次学術講演会、1966年、Ⅱ-112
- 2) 嶋、後藤、江口、 “鋼管矢板井筒の耐震性に関する模型実験的研究” 才22回土木学会年次学術講演会、1967年、Ⅱ-136
- 3) 嶋、後藤、亀田、和田、 “鋼管矢板井筒の水平抵抗に関する模型実験的研究”、才23回土木学会年次学術講演会、1968年、Ⅱ-82