

# I-20 鋼管桁の継手の実験的研究

函館工業高等専門学校 正員 三浦 登  
函館工業高等専門学校 正員 増谷 正治

## 1. ま え が き

鋼管を、水路橋等のように内圧・曲げモーメント・剪断力・軸力が複合して作用する桁構造として用いるときそれにみあう現場継手が必要になる。鋼管桁の現場継手としては一般に溶接継手が採用されるが、寒冷地の冬季間には溶接施工経費がかさむ。たとえ経費を惜しまなくても、施工管理が難しく、継手の強度に期待をもちにくい。また、高力ボルトによるリングフランジ継手も考えられるが、フランジだけでは、prying effect 等未解決の問題があるので、鋼管桁構造には適当でない。

ここに提案する「 $\Phi$  継手」とは、鋼管桁構造の高力ボルトによる現場継手の一型式で、図-1のように、曲げモーメント及び軸力に対しては、鋼管外周の軸方向に、重心に対称な縁維応力発生位置に「Tフランジ」を工場溶接し、現場架設時にフランジを添接板によってボルト接合する。剪断力に対しては、工場溶接されたリングフランジを高力ボルト現場接合とする。この現場工法はすべて、高力ボルト摩擦接合のみで施工されるので、溶接接合に比べて早く、容易に、完全に且つ経済的に施工することを可能にする。

本研究は、鋼管  $\Phi$  継手として図-2に示す「R型」(鋼管とリングフランジを連結するリブを管軸方向に管外周に垂直に溶接)と「O型」(リブ無し)2種類の実物大の模型について荷重試験を実施して設計及び施工の資料を得ようとするものである。

## 2. 模 型 桁 及 び 実 験 概 要

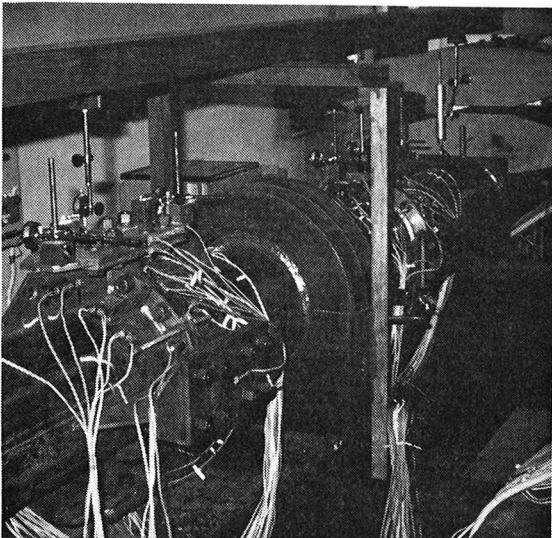


写真-1 実験状況

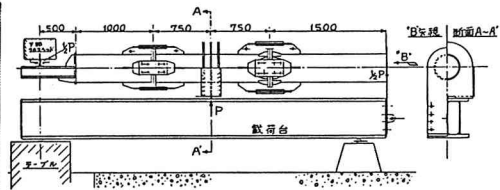


図-1 模型桁と荷重方法

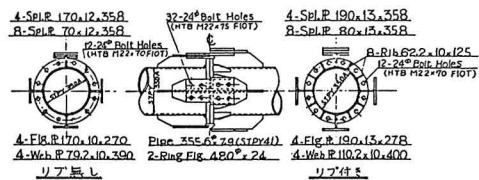


図-2  $\Phi$  継 手

模型桁は図-1のように支間 $2L=4,500\text{mm}$ で鋼管 $\phi 355.6 \times 7.9$  (STPY41) に  $\Phi$  継手「O型」と「R型」を、鋼管外周のリングサポートによる中間支点から左右  $x=750$  の位置に設置し、剛な載荷台に跳ね出し支持させたA点に100Ton材料試験機により  $0.5P$  載荷する。すなわち、支間 $L=4,500$ の単純桁に  $P\text{kg}$  の中央載荷と等しい。許容応力内静荷重載荷試験は荷重 $P$ を2Ton刻みで  $0\sim 10\text{ Ton}$  の往復3回、破壊試験も2Ton刻みで載荷した。Tフランジの添接は複剪式とした。高力ボルトは $\phi 22\text{F10T}$ とし、トルク係数及びボルト軸力を筒型 Wire Strain Gauge (KYOWA) により計測した。各部の歪み度 $\varepsilon$  (鋼管の軸方向及び外周方向、リングフランジ周方向、Tフランジ、添接板) を単軸及び2軸の Wire Strain Gaugeで実測した。添接部のずれ変位及び鋼管桁のたわみをダイヤルゲージと変位計 (100 mm) で読み取った。

### 3. 結果 及 び 考 察

トルク係数は  $k=0.168\pm 0.0101$  と求まったので、全ボルトをトルクレンチによって  $T=6,500\text{ kgcm}$  まで締めた。

3.1 許容応力内載荷試験 写真-2のようにTフランジと添接板の滑りを測定した結果、図-3に示すように摩擦破壊はみられない。管体各部の変位及び歪み度全てに亙り「荷重-計測値」の関係は直線変化している。

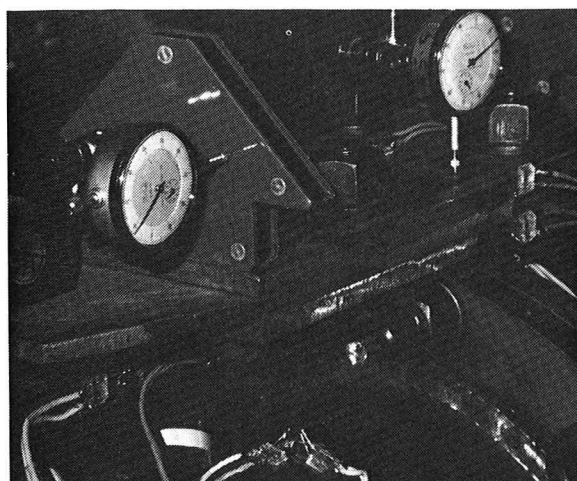


写真-2  $\Phi$  継手滑り測定

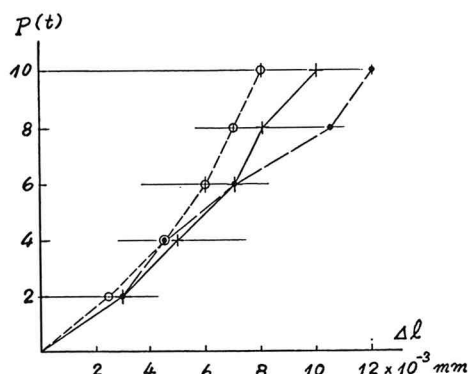


図-3 荷重 $P$ -伸び図 (Tフランジと添接板)

3.2 破壊試験 破壊荷重は STPY41 の引張強さから、 $P=26\sim 34\text{ Ton}$  と計算されるが、実験では  $41.5\text{ Ton}$  で支間中央部の管体が破壊した。しかし、継手部は弾性限内にあった。

図-4に「荷重-軸方向管頂歪み」を示す。

以上のことから、「 $\Phi$  継手」は実用上何ら問題が無い事が分かった。また、「リブ無し」で充分効果を発揮し得ることも明らかとなった。

内圧漏れ防止には、一対の鋼管フランジの片方の接触面に一周する円で凹溝を設け、これにO断面シール材を詰めてボルト締めするとよい。

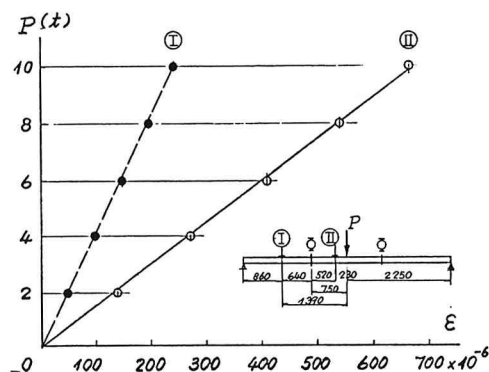


図-4 荷重-軸方向管頂歪み

4. 設 計 例

以下に水管桁橋における「 $\Phi$ 」継手の設計計算例を示す。

4.1 設 計 条 件

形 式 一端固定他端ローラー支持パイプビーム水管橋

口 径 呼び径:  $\phi 350\text{mm}$

支 間  $L=19,200\text{mm}$

余 裕 厚 WSP 007-81:4.2.10. により考慮しない

使用鋼材 STPY41 (JIS G 3457)

許容応力度 水管橋設計基準 (WSP 007-81) に基づく。

許容たわみ  $1/350$

風 荷 重 円筒:  $200\text{ kg/m}^2$  (風速  $v=50\text{ m/sec}$  相当)

地 震 荷 重 水平震度:  $k=0.2$

設計内圧 静水圧:  $P=0.035\text{ kg/cm}^2$  ( $H=35\text{cm}$ )  
(水衝圧:  $P_{wh}=0$ )

温度変化  $-20\sim+40^\circ\text{C}$

積雪荷重  $150\text{ kg/m}^2$

4.2 Pipe Girder の 断面諸数値

使用 Pipe Girder  $\phi 350\times 7.9\times 21500\text{mm}$  STPY41

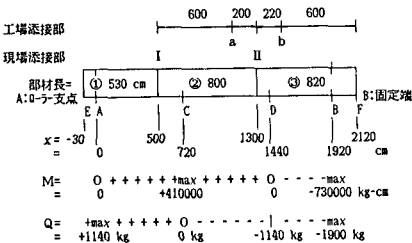
断 面 積  $A=86.29\text{ cm}^2$

断面二次モーメント  $I=13000\text{ cm}^4$

断面係数  $Z=734\text{ cm}^3$

断面二次半径  $i=12.3\text{ cm}$

4.3 各点の作用曲げモーメント  $M$



(図-5) 各点の  $M$ 、 $Q$  及び 継接位置

(表-1) 各点の作用曲げモーメント  $M_{Vx}$  (kg-cm)

|    | $x$<br>(m) | $x/1920$ | $0.750-x/1920$ | $1521(0.750-x/1920)$ | $M_{Vx}$<br>(kg-cm) |
|----|------------|----------|----------------|----------------------|---------------------|
| A  | 0          | 0        | 0.75000        | 1140.8               | 0                   |
| I  | 500        | 0.2604   | 0.48958        | 744.7                | +372 000            |
| C  | 720        | 0.3750   | 0.37500        | 570.4                | +410 000            |
| II | 1300       | 0.6771   | 0.07292        | 110.9                | +144 200            |
| D  | 1440       | 0.7500   | 0              | 0                    | 0                   |
| B  | 1920       | 1.0000   | -0.2500        | -380.3               | -730 000            |

4.4 最大曲げ応力度

負の最大曲げモーメントは固定端B点で  $\max M_B = -730\,000\text{ kg-cm}$  より

$$\max \sigma_B = \frac{\max M_B}{Z} = \frac{-730\,000}{\pm 734} = \pm 995\text{ kg/cm}^2$$
$$< \sigma_{ca} = -1240\text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

正の最大曲げモーメントはローラー支点Aから  $x=31/8=720\text{ cm}$  のC点に生じ

$$\max \sigma_C = \frac{\max M_C}{Z} = \frac{+410\,000}{\pm 734} = \pm 555\text{ kg/cm}^2$$
$$< \sigma_{ca} = -585\text{ kg/cm}^2 \quad \text{OK!}$$

4.5 Pipe の抵抗曲げモーメント  $M_r$  (kg-cm)

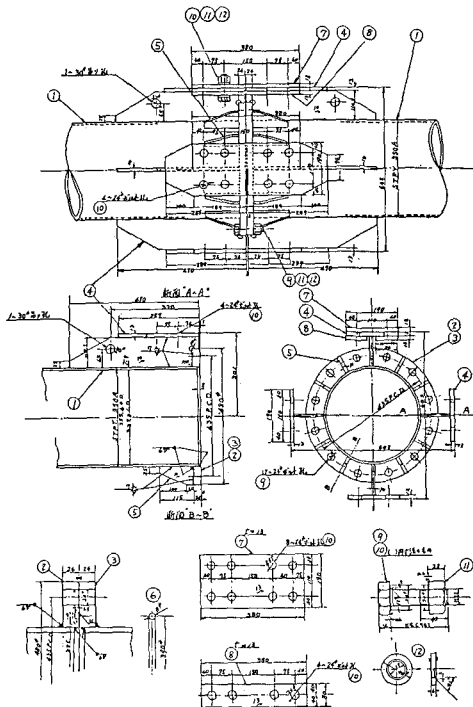
$$M_r = \sigma_a \cdot Z \quad \text{ここで、} Z = \pm 734\text{ cm}^3$$

(表-2) 許容曲げ応力度  $\sigma_a$  と抵抗曲げモーメント  $M_r$

| 区 (cm) 間           |    | $\sigma_a$ (kg/cm <sup>2</sup> ) | $M_r$ (kg-cm) |
|--------------------|----|----------------------------------|---------------|
| A D<br>0 ~ 1440    | 上縁 | $\sigma_{ca} = -585$             | - 429 390     |
|                    | 下縁 | $\sigma_{ta} = +1400$            | + 1 027 600   |
| D B<br>1440 ~ 1920 | 上縁 | $\sigma_{ta} = +1400$            | + 1 027 600   |
|                    | 下縁 | $\sigma_{ca} = -1240$            | - 910 160     |

一般に、ボルトやリベット接合部の引張域では、ボルト穴の分だけ断面損失し  
また、現場溶接では溶接効率90%で、いずれにしても鋸断面を利用出来ない。  
本橋では、「 $\Phi$ 」継手を用いる事により、(図-5)に示す現場溶接部・I  
及び・II においてもPipeの断面損失は無く、鋸断面を有効に利用し得る構造と  
なる。

#### 4.6 現場継手 (図-6)



(図-6) 「現場継手」詳細図

設計計算の方法は、曲げモーメントとせん断力に対し、次のように考えようとい。  
 曲げモーメントに対して、Tフランジの断面係数を、① [Pipeの断面係数] 以上と  
 (全強添接)するか、② [Pipeの断面係数] × [作用応力度] / [許容応力度]  
 または [Pipeの断面係数] × 0.75 のうちいずれか大きい値以上 [作用力添接]  
 として、これを引張材あるいは圧縮材として添接する。  
 せん断力に対しては、リングフランジのボルト接合部で受け持つものとする。  
 漏水対策には、(図-6)のようにフランジ全周に縁状パッキングを施す。

#### 4.7 Tフランジの添接設計

##### 4.7.1 Tフランジの断面決定 (図-7)

本橋では、T「-」フランジで全強添接を行い、その位置を(図-5)のように、曲げモーメントの小さいIおよびII点としているので、安全率は上がる  
 詳細設計上、ボルトの応力方向間隔  $p$  として鋼道線橋示方書に規定される  
 最大中心間隔  $p=150 \text{ mm}$  を採用したい。このとき、外側の板厚制限があり、  
 添接板厚  $t_{sp} > p/12=150/12=12.5 \text{ mm}$  から  $t_{sp}=13 \text{ mm}$  とする。  
 T「-」フランジ幅  $b$  のとき、ボルト2列使いとすれば  $b=190 \text{ mm}$  を必要とする。  
 故に、次のようにTフランジ厚  $t_f=10 \text{ mm}$  でよいが、添接板厚と同じにそろえて、製作上  $t_f=13 \text{ mm}$  とする。  
 但し継手部の計算に用いる値としては、 $t_f=10 \text{ mm}$  を使う。

$$B_n = 19.0 - 2 \times 2.5 = 14.0$$

$$B = 19.0$$

$$h = 59.6 \text{ (cm)}$$

$$h = 57.6$$

$$t = 1.0$$

$$t = 1.0$$

$$Z_f = \frac{B_n (H^3 - h^3)}{6 \times H}$$

$$= \frac{14 \times (59.6^3 - 57.6^3)}{6 \times 59.6}$$

$$= 801 > Z_p = 734 \text{ cm}^3$$

OK!

(図-7)

4.7.2 せん断力に対する検討： 十分安全なのでここでは省略する。

##### 4.7.3 必要ボルト本数 $n$

使用ボルト・ナット・座金は、M22 F8Tボルトのセットとする。

$$\text{板フランジの全強 } P_f = \sigma_{ts} \times B_n \times t$$

$$= 1400 \times 14.0 \times 1.0 = 19600 \text{ kg}$$

2面摩擦のボルト1本当たりの許容力  $P$  は

$$P = 3900 \times 2 = 7800 \text{ kg/本}$$

$$\therefore n = 19600/7800 = 2.5 \rightarrow 4 \text{ 本使用! (図-6)}$$

##### 4.7.4 板フランジと鋼板のスミ肉溶接部の検討

溶接サイズ  $s$  は、次の条件から決まる。

厚い方の板厚  $t_1 = 13 \text{ mm}$ 、薄い方の板厚  $t_2 = 10 \text{ mm}$  とすると

$$(2 \times t_1)^{1/2} < s < t_2 \rightarrow \therefore s = 7 \text{ mm!}$$

のど厚  $a = 0.707 \times s = 0.707 \times 7.0 = 0.49 \text{ mm}$  となつて

$$\text{必要溶接長 } l_w > \frac{P_f}{2 \times a \times \tau_a} = \frac{19600}{2 \times 0.49 \times 800} = 25 \text{ cm}$$

$$\therefore l_w = 28.9 \text{ cm} \quad (\text{図-6})$$

#### 4.8 工場継手

使用 Pipe Girder  $\phi 350 \times 7.9$  STPYの市場寸法6m物を用いるとき(図-5)に示すように、出来るかぎり曲げモーメントの小さい位置として、aおよびb点において溶接効率100%の工場溶接をすることにより、一層安全率は高まる。