

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4013181号

(P4013181)

(45) 発行日 平成19年11月28日(2007.11.28)

(24) 登録日 平成19年9月21日(2007.9.21)

(51) Int. Cl.

E O 4 B 1/30 (2006.01)

F I

E O 4 B 1/30

E

請求項の数 8 (全 45 頁)

(21) 出願番号	特願平11-93967	(73) 特許権者	000001258
(22) 出願日	平成11年3月31日(1999.3.31)		J F E スチール株式会社
(65) 公開番号	特開2000-282577(P2000-282577A)		東京都千代田区内幸町二丁目2番3号
(43) 公開日	平成12年10月10日(2000.10.10)	(74) 代理人	100112140
審査請求日	平成17年4月11日(2005.4.11)		弁理士 塩島 利之
前置審査		(72) 発明者	伊藤 均
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号
			日本鋼管株式会社内
		(72) 発明者	岡本 晴仁
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号
			日本鋼管株式会社内
		(72) 発明者	石村 博
			東京都千代田区丸の内一丁目1番2号
			日本鋼管株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と、リングとリング近傍の鋼管板（リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という）の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力（ $P_2$ ）とを、以下に掲げる式から求め、前記鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と前記リング体の耐力（ $P_2$ ）の和から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力（ $P$ ）を求める方法。

【数5】

$$P_1 = 2 \cdot q_p \cdot S \quad (5)$$

【数17】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X5} = 1 \quad (21)$$

$$M = M_A \cdot P_2, N = N_A \cdot P_2, Q = Q_A \cdot P_2, M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2, T_R = T_{RA} \cdot P_2$$

10

20

ここで、

【数 6】

$$q_p = 2m_p \cdot \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{D^2} \cdot t_c^2} \quad (6)$$

【数 8】

$$m_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{yt} \cdot t_c^2 \quad (8)$$

10

ν : 鋼管のポアソン比

D : 鋼管の直径

t<sub>c</sub> : 鋼管の板厚

σ<sub>yt</sub> : 鋼管の降伏耐力

S : 有効周長

X<sub>1</sub> ~ X<sub>5</sub> : 係数

M : 検討箇所における曲げモーメント

20

N : 検討箇所における軸力

Q : 検討箇所における剪断力

M : 検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>R</sub> : 検討箇所におけるトルク

上記 M ~ T<sub>R</sub> の添え字 p 付 : それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

M<sub>A</sub> : P<sub>2</sub> = 1 (単位荷重) としたときの検討箇所における曲げモーメント

N<sub>A</sub> : P<sub>2</sub> = 1 (単位荷重) としたときの検討箇所における軸力

Q<sub>A</sub> : P<sub>2</sub> = 1 (単位荷重) としたときの検討箇所における剪断力

M<sub>A</sub> : P<sub>2</sub> = 1 (単位荷重) としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>RA</sub> : P<sub>2</sub> = 1 (単位荷重) としたときの検討箇所におけるトルク

30

梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心 e<sub>v</sub> を持って取り付く場合は、

【数 2 3】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

【数 2 4】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

40

e<sub>v</sub> : 垂直偏心量

【請求項 2】

梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力 (P<sub>1</sub>) と、リングとリング近傍の鋼管板 (リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という) の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力 (P<sub>2</sub>) とに分解し、以下に掲げる式から求められた前記リング体の耐力 (P<sub>2</sub>) から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力 (P) を求める方法。

50

【数 1 7】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X_1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X_2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X_3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X_4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

$M = M_A \cdot P_2$ ,  $N = N_A \cdot P_2$ ,  $Q = Q_A \cdot P_2$ ,  $M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2$ ,  $T_R = T_{RA} \cdot P_2$

ここで、 $X_1 \sim X_5$  : 係数

$M$  : 検討箇所における曲げモーメント

$N$  : 検討箇所における軸力

$Q$  : 検討箇所における剪断力

$M_\theta$  : 検討箇所における面外曲げモーメント

$T_R$  : 検討箇所におけるトルク

上記  $M \sim T_R$  の添え字  $p$  付 : それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

$M_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における曲げモーメント

$N_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における軸力

$Q_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における剪断力

$M_{\theta A} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

$T_{RA} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心  $e_v$  を持って取り付く場合は、

【数 2 3】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

【数 2 4】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

$e_v$  : 垂直偏心量

【請求項 3】

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力 ( $P_1$ ) と、リングとリング近傍の鋼管板 (リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という) の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力 ( $P_2$ ) とを、以下に掲げる式から求め、前記鋼管の前面剪断力 ( $P_1$ ) と前記リング体の耐力 ( $P_2$ ) の和から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力 ( $P$ ) を求める方法。

【数 5】

$$P_1 = 2 \cdot q_p \cdot S \quad (5)$$

【数 1 7】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X_1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X_2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X_3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X_4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

$M = M_A \cdot P_2$ ,  $N = N_A \cdot P_2$ ,  $Q = Q_A \cdot P_2$ ,  $M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2$ ,  $T_R = T_{RA} \cdot P_2$

10

20

30

40

50

ここで、

【数 6】

$$q_p = 2m_p \cdot \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{D^2} \cdot \frac{D^2}{4} \cdot t_c^2} \quad (6)$$

【数 8】

$$m_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{yt} \cdot t_c^2 \quad (8)$$

10

：鋼管のポアソン比

D：鋼管の直径

t<sub>c</sub>：鋼管の板厚

σ<sub>yt</sub>：鋼管の降伏耐力

S：有効周長

X<sub>1</sub>～X<sub>5</sub>：係数

M：検討箇所における曲げモーメント

20

N：検討箇所における軸力

Q：検討箇所における剪断力

M<sub>外</sub>：検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>R</sub>：検討箇所におけるトルク

上記 M～T<sub>R</sub> の添え字 p 付：それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

M<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における曲げモーメント

N<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における軸力

Q<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における剪断力

M<sub>外A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>RA</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所におけるトルク

30

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心 e<sub>h</sub> を持って取り付く場合は、M、N、Q の算出にあたり、二点集中荷重の作用位置 A、B を水平偏心 e<sub>h</sub> を用いて次式のように表す。ただし、e<sub>h</sub> < 0.5 (D - B<sub>f</sub>) とする。

【数 15】

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} - e_h}{R_e} \right\} \quad (19)$$

40

ただし、B<sub>f</sub> - H<sub>s</sub> / 2 のときは、

## 【数 1 6】

$$\psi = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4}}{R_e} \right\},$$

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} - e_h}{R_e} \right\} \quad (20)$$

10

 $e_h$  : 水平偏心量 $A, B$  : 二点集中荷重の作用位置の x 軸とのなす角度 $B_f$  : 梁フランジ幅 $H_s$  : リングの出 $R_e$  : 有効半径

## 【請求項 4】

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力 ( $P_1$ ) と、リングとリング近傍の鋼管板 (リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という) の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力 ( $P_2$ ) とに分解し、以下に掲げる式から求められた前記リング体の耐力 ( $P_2$ ) から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力 ( $P$ ) を求める方法。

20

## 【数 1 7】

$$\left( \frac{M}{M_p} \right)^{X_1} + \left( \frac{N}{N_p} \right)^{X_2} + \left( \frac{Q}{Q_p} \right)^{X_3} + \left( \frac{M_\theta}{M_{\theta p}} \right)^{X_4} + \left( \frac{T_R}{T_{Rp}} \right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

30

 $M = M_A \cdot P_2, N = N_A \cdot P_2, Q = Q_A \cdot P_2, M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2, T_R = T_{RA} \cdot P_2$ ここで、 $X_1 \sim X_5$  : 係数 $M$  : 検討箇所における曲げモーメント $N$  : 検討箇所における軸力 $Q$  : 検討箇所における剪断力 $M_\theta$  : 検討箇所における面外曲げモーメント $T_R$  : 検討箇所におけるトルク上記  $M \sim T_R$  の添え字 p 付 : それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力 $M_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における曲げモーメント

40

 $N_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における軸力 $Q_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における剪断力 $M_{\theta A} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における面外曲げモーメント $T_{RA} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心  $e_h$  を持って取り付く場合は、 $M, N, Q$  の算出にあたり、二点集中荷重の作用位置  $A, B$  を水平偏心  $e_h$  を用いて次式のように表す。ただし、 $e_h < 0.5 (D - B_f)$  とする。

## 【数 1 5】

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} - e_h}{R_e} \right\} \quad (19)$$

ただし、 $B_f - H_s \cdot H_s / 2$  のときは、

10

## 【数 1 6】

$$\psi = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4}}{R_e} \right\},$$

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} - e_h}{R_e} \right\} \quad (20)$$

20

$e_h$  : 水平偏心量

$\theta_A, \theta_B$  : 二点集中荷重の作用位置の x 軸とのなす角度

$B_f$  : 梁フランジ幅

$H_s$  : リングの出

$R_e$  : 有効半径

## 【請求項 5】

さらに、前記梁フランジが前記リングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付くことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法。

30

ただし、 $M$ 、 $T_R$  は、以下の式から求める。

## 【数 2 3】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

## 【数 2 4】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

40

$e_v$  : 垂直偏心量

## 【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の耐力を求める方法を用いた、鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法。

## 【請求項 7】

請求項 6 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法により設計された鋼管柱。

## 【請求項 8】

請求項 6 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法により築造された構造物。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法に係り、特に図1に示すリングダイアフラム付中空円形鋼管柱（以下、単に「中空鋼管柱」という）や、図2（A）に示す梁との取合部分が増厚された中空鋼管柱（以下「リング一体タイプ」という）又は、リング一体タイプの特別な場合である図2（B）に示す増厚しない中空円形鋼管柱に、梁フランジが垂直偏心および水平偏心を持って取り付く場合の接合部の局部耐力を求める方法に関する。

## 【0002】

10

## 【従来の技術】

従来、例えばリングダイアフラム付鋼管柱の柱梁接合部耐力の評価は、図4に示すような引張試験に基づく計算式（例えば、日本建築学会鋼管構造設計施工指針同解説）を個々の梁フランジ毎に適用して求めた。得られた値は、引張荷重時および圧縮荷重時の局部耐力と見做され、梁フランジ相互の関係は無視されてきた。

## 【0003】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、この計算式は、一連の引張試験結果をもとに導かれた実験式であり、適用範囲が限定されているほか、一般に地震地域における耐力算定が想定する地震荷重時すなわち図5のように鋼管の両側に付く梁フランジに引張力と圧縮力が作用する場合（以下、逆対称荷重時）を正しく評価するものとは言えない。また、実験式であるため、設計者はその算定の根拠を認識することができず、実験で規定された適用範囲を外れる特別なケースへの応用が不可能である。さらに、従来の梁フランジが垂直偏心および水平偏心を持って取り付く場合について、上記趣旨の設計法は提示されていなかった。従来技術には以上に掲げる問題点があった。

20

## 【0004】

本発明は斯かる問題点を鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、鋼管柱の柱梁接合部耐力の一定の精度を保ちつつ、簡易で汎用的な、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法を提示する点にあり、かかる耐力を求める方法を用いた鋼管柱における柱梁接合部の設計方法を提示する点にある。

30

## 【0005】

## 【課題を解決するための手段】

本発明は上記課題を解決すべく以下に掲げる構成とした。

請求項1の発明の要旨は、梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と、リングとリング近傍の鋼管板（リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という）の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力（ $P_2$ ）とを、以下に掲げる式から求め、前記鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と前記リング体の耐力（ $P_2$ ）の和から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力（ $P$ ）を求める方法に存する。

40

## 【数5】

$$P_1 = 2 \cdot q_p \cdot S \quad (5)$$

## 【数17】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X_1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X_2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X_3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X_4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

$$M = M_A \cdot P_2, N = N_A \cdot P_2, Q = Q_A \cdot P_2, M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2, T_R = T_{RA} \cdot P_2$$

ここで、

【数6】

$$q_p = 2m_p \cdot \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{D^2 \cdot t_c^2}} \quad (6)$$

10

【数8】

$$m_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{yt} \cdot t_c^2 \quad (8)$$

：鋼管のポアソン比

20

D：鋼管の直径

t<sub>c</sub>：鋼管の板厚

σ<sub>yt</sub>：鋼管の降伏耐力

S：有効周長

X<sub>1</sub>～X<sub>5</sub>：係数

M：検討箇所における曲げモーメント

N：検討箇所における軸力

Q：検討箇所における剪断力

M<sub>θ</sub>：検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>R</sub>：検討箇所におけるトルク

30

上記M～T<sub>R</sub>の添え字p付：それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

M<sub>A</sub>：P<sub>2</sub>＝1（単位荷重）としたときの検討箇所における曲げモーメント

N<sub>A</sub>：P<sub>2</sub>＝1（単位荷重）としたときの検討箇所における軸力

Q<sub>A</sub>：P<sub>2</sub>＝1（単位荷重）としたときの検討箇所における剪断力

M<sub>θA</sub>：P<sub>2</sub>＝1（単位荷重）としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>RA</sub>：P<sub>2</sub>＝1（単位荷重）としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心e<sub>v</sub>を持って取り付く場合は、

【数23】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

40

【数24】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

e<sub>v</sub>：垂直偏心量

請求項2の発明の要旨は、梁フランジがリングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付

50



く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と、リングとリング近傍の鋼管板（リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という）の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力（ $P_2$ ）とに分解し、以下に掲げる式から求められた前記リング体の耐力（ $P_2$ ）から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力（ $P$ ）を求める方法に存する。

【数 1 7】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X_1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X_2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X_3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X_4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

10

$M = M_A \cdot P_2$ ,  $N = N_A \cdot P_2$ ,  $Q = Q_A \cdot P_2$ ,  $M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2$ ,  $T_R = T_{RA} \cdot P_2$

ここで、 $X_1 \sim X_5$ ：係数

$M$ ：検討箇所における曲げモーメント

$N$ ：検討箇所における軸力

$Q$ ：検討箇所における剪断力

$M_\theta$ ：検討箇所における面外曲げモーメント

$T_R$ ：検討箇所におけるトルク

上記  $M \sim T_R$  の添え字  $p$  付：それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

$M_A : P_2 = 1$ （単位荷重）としたときの検討箇所における曲げモーメント

20

$N_A : P_2 = 1$ （単位荷重）としたときの検討箇所における軸力

$Q_A : P_2 = 1$ （単位荷重）としたときの検討箇所における剪断力

$M_{\theta A} : P_2 = 1$ （単位荷重）としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

$T_{RA} : P_2 = 1$ （単位荷重）としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイヤフラムに対して垂直偏心  $e_v$  を持って取り付く場合は、

【数 2 3】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

30

【数 2 4】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

$e_v$ ：垂直偏心量

請求項 3 の発明の要旨は、梁フランジがリングダイヤフラムに対して水平偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と、リングとリング近傍の鋼管板（リングとリング近傍の鋼管板を合わせてリング体という）の曲げによりリング周方向に伝達される力の流れ成分であるリング体の耐力（ $P_2$ ）とを、以下に掲げる式から求め、前記鋼管の前面剪断力（ $P_1$ ）と前記リング体の耐力（ $P_2$ ）の和から、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力（ $P$ ）を求める方法に存する。

40

【数 5】

$$P_1 = 2 \cdot q_p \cdot S \quad (5)$$

【数 1 7】

$$\left(\frac{M}{M_p}\right)^{X_1} + \left(\frac{N}{N_p}\right)^{X_2} + \left(\frac{Q}{Q_p}\right)^{X_3} + \left(\frac{M_\theta}{M_{\theta p}}\right)^{X_4} + \left(\frac{T_R}{T_{Rp}}\right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

$$M = M_A \cdot P_2, N = N_A \cdot P_2, Q = Q_A \cdot P_2, M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2, T_R = T_{RA} \cdot P_2$$

ここで、

【数 6】

$$q_p = 2m_p \cdot \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{D^2} \cdot \frac{t_c^2}{4}} \quad (6)$$

10

【数 8】

$$m_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{yt} \cdot t_c^2 \quad (8)$$

：鋼管のポアソン比

20

D：鋼管の直径

t<sub>c</sub>：鋼管の板厚

σ<sub>yt</sub>：鋼管の降伏耐力

S：有効周長

X<sub>1</sub>～X<sub>5</sub>：係数

M：検討箇所における曲げモーメント

N：検討箇所における軸力

Q：検討箇所における剪断力

M<sub>θ</sub>：検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>R</sub>：検討箇所におけるトルク

30

上記 M～T<sub>R</sub> の添え字 p 付：それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

M<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における曲げモーメント

N<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における軸力

Q<sub>A</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における剪断力

M<sub>θA</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

T<sub>RA</sub>：P<sub>2</sub> = 1（単位荷重）としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心 e<sub>h</sub> を持って取り付く場合は、M、N、Q の算出にあたり、二点集中荷重の作用位置 A、B を水平偏心 e<sub>h</sub> を用いて次式のように表す。ただし、e<sub>h</sub> < 0.5 (D - B<sub>f</sub>) とする。

【数 15】

40

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} - e_h}{R_e} \right\} \quad (19)$$

ただし、B<sub>f</sub> - H<sub>s</sub> / 2 のときは、

【数 16】

50

$$\psi = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4}}{R_e} \right\},$$

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} - e_h}{R_e} \right\} \quad (20)$$

10

$e_h$  : 水平偏心量

$\alpha_A, \alpha_B$  : 二点集中荷重の作用位置の x 軸とのなす角度

$B_f$  : 梁フランジ幅

$H_s$  : リングの出

$R_e$  : 有効半径

請求項 4 の発明の要旨は、梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心を持って取り付く場合の、鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法であって、梁が取り付く近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れ成分である鋼管の前面剪断力 ( $P_1$ ) と、リングとリング近傍の鋼管板 (リングとリング近傍の鋼管板を合わせて

20

【数 17】

$$\left( \frac{M}{M_p} \right)^{X_1} + \left( \frac{N}{N_p} \right)^{X_2} + \left( \frac{Q}{Q_p} \right)^{X_3} + \left( \frac{M_\theta}{M_{\theta p}} \right)^{X_4} + \left( \frac{T_R}{T_{Rp}} \right)^{X_5} = 1 \quad (21)$$

$$M = M_A \cdot P_2, N = N_A \cdot P_2, Q = Q_A \cdot P_2, M_\theta = M_{\theta A} \cdot P_2, T_R = T_{RA} \cdot P_2$$

30

ここで、 $X_1 \sim X_5$  : 係数

$M$  : 検討箇所における曲げモーメント

$N$  : 検討箇所における軸力

$Q$  : 検討箇所における剪断力

$M_\theta$  : 検討箇所における面外曲げモーメント

$T_R$  : 検討箇所におけるトルク

上記  $M \sim T_R$  の添え字 p 付 : それぞれのパラメータにおけるリング体の全塑性耐力

$M_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における曲げモーメント

$N_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における軸力

$Q_A : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における剪断力

40

$M_{\theta A} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所における面外曲げモーメント

$T_{RA} : P_2 = 1$  (単位荷重) としたときの検討箇所におけるトルク

梁フランジがリングダイアフラムに対して水平偏心  $e_h$  を持って取り付く場合は、 $M, N, Q$  の算出にあたり、二点集中荷重の作用位置  $\alpha_A, \alpha_B$  を水平偏心  $e_h$  を用いて次式のように表す。ただし、 $e_h < 0.5(D - B_f)$  とする。

【数 15】

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} - e_h}{R_e} \right\} \quad (19)$$

ただし、 $B_f - H_s \cdot H_s / 2$  のときは、  
【数 16】

10

$$\psi = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4}}{R_e} \right\},$$

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} + e_h}{R_e} \right\}, \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} - e_h}{R_e} \right\} \quad (20)$$

20

$e_h$  : 水平偏心量

$\theta_A, \theta_B$  : 二点集中荷重の作用位置の x 軸とのなす角度

$B_f$  : 梁フランジ幅

$H_s$  : リングの出

$R_e$  : 有効半径

請求項 5 の発明の要旨は、さらに、前記梁フランジが前記リングダイアフラムに対して垂直偏心を持って取り付くことを特徴とする、請求項 3 又は 4 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の耐力を求める方法に存する。

ただし、 $M$ 、 $T_R$  は、以下の式から求める。

30

【数 23】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

【数 24】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

40

$e_v$  : 垂直偏心量

請求項 6 の発明の要旨は、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の耐力を求める方法を用いた、鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法に存する。

請求項 7 の発明の要旨は、請求項 6 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法により設計された鋼管柱に存する。

請求項 8 の発明の要旨は、請求項 6 に記載の鋼管柱における柱梁接合部分の設計方法により築造された構造物に存する。

なお、請求項 1 又は 2 に記載の発明において「リングダイアフラム」には実施の形態において述べる「部分リング」を含む。また、請求項 3 乃至 5 いずれかに記載の発明において「リングダイアフラム」には実施の形態において述べる「リング一体タイプ」「部分リ

50

ング」を含む。また、各請求項に記載の発明において「鋼管柱」には実施の形態において述べる「中空鋼管柱」「CFT（コンクリート充填鋼管柱）」を含む。

【0006】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

梁フランジ軸力の柱への流れを、図6（A）及び図6（B）に示すような、二つの流れの成分に分解されるものと想定し、それぞれの成分を解析的手法による耐力評価式により算定して、その和を接合部の耐力として評価する。

【0007】

図7に示すように、成分1の流れ（以下、「前面剪断力」という） $P_1$ は主として梁が取り付いている近傍の鋼管壁面が曲げ変形し鋼管軸方向に伝達される力の流れであり、成分2の流れ（以下、「リング耐力」という） $P_2$ はリングとリング近傍の鋼管板の曲げにより、リング周方向に伝達される力の流れである。

【0008】

従って、梁フランジにより伝達される接合部の耐力 $P$ は両者の和、

【0009】

【数1】

$$P = P_1 + P_2 \quad (\text{tf}) \quad (1)$$

10

20

【0010】

耐力設計法に用いられる長期許容耐力 $P_A$ （長期）、短期許容耐力 $P_A$ （短期）および最大耐力 $P_u$ は、それぞれ、

【0011】

【数2】

$$P_A(\text{長期}) = \frac{P}{1.15} \cdot \frac{1}{15} \geq (\text{長期荷重時のフランジ軸力}) \quad (2)$$

30

【0012】

【数3】

$$P_A(\text{短期}) = \frac{P}{1.15} \geq (\text{短期荷重時のフランジ軸力}) \quad (3)$$

【0013】

【数4】

$$P_u = 2.14 \cdot P_A(\text{長期}) \geq (\text{最大荷重時のフランジ軸力}) \quad (4)$$

40

【0014】

とする。

【0015】

設計においては、構造解析から得られるフランジ軸力がそれぞれの荷重時に対応する長期許容耐力、短期許容耐力または最大耐力を上回らないようにすればよい。

【0016】

前面剪断力 $P_1$ は、円筒シェル理論より求められる。 $P_1$ の算定式は、荷重状態によらず以下のように与えられる。

【0017】

50

【数 5】

$$P_1 = 2 \cdot q_p \cdot S \quad (\text{tf}) \quad (5)$$

【0018】

ここで、

【0019】

【数 6】

$$q_p = 2m_p \cdot \sqrt[4]{\frac{3(1-\nu^2)}{D^2 \cdot t_c^2}} \quad (\text{tf/cm}) \quad (6)$$

10

【0020】

【数 7】

$$\nu = 0.3 \quad (\text{鋼管のポアソン比}) \quad (7)$$

20

【0021】

【数 8】

$$m_p = \frac{1}{4} \cdot \sigma_{yt} \cdot t_c^2 \quad (\text{tf}) \quad (8)$$

【0022】

有効周長  $S$  (図 8 参照) は、実験および有限要素解析 (以下、FEM という) 結果から (9) 式のように設定した。

【0023】

【数 9】

30

$$S = 2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \arcsin \left( \frac{\frac{B_f}{2}}{\frac{D}{2} + H_s} \right) \quad (\text{cm}) \quad (9)$$

【0024】

リング耐力  $P_2$  は、図 9 に示す鋼管部分の有効幅 を含めた T 型断面 (以下、「リング体」という) からなる有効半径  $R_e$  のアーチ/リングに、アーチ/リング骨組理論を適用して求められる。ここで、梁フランジが水平偏心  $e_h$  を持って取り付けの場合、フランジ軸力は、図 11 に示すように作用位置  $A$  ,  $B$  に作用する二点集中荷重と見做す。

40

【0025】

有効幅 は、実験および FEM 結果から (10) または (11) 式のように設定した。

【0026】

【数 10】

$$\alpha = 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_c} + T_s \quad (10)$$

50

【 0 0 2 7 】

ただし、リングー体タイプの有効幅 は、

【 0 0 2 8 】

【 数 1 1 】

管に増厚補強を施さない場合、

$$\alpha = 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_c} + t_f \quad (11)$$

管に増厚補強を施した場合、増厚部の板厚を  $t_p$ 、増厚伸ばし長さを  $\ell_p$  とすると、

$$\text{i) } \ell_p \geq \frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_p} \text{ のとき, } \alpha = 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_p} + t_f, \quad (12)$$

$$\text{ii) } \ell_p < \frac{1}{2} \cdot 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_p} \text{ のとき, } \alpha = 0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot T} + t_f \quad (13)$$

$$\text{ただし、} T = \frac{t_c + \frac{2 \cdot \ell_p}{0.4 \cdot \sqrt[4]{D^3 \cdot t_p}} \cdot (t_p - t_c) + t_p}{2} \quad (14)$$

10

【 0 0 2 9 】

有効半径  $R_e$  は、

【 0 0 3 0 】

【 数 1 2 】

$$R_e = \frac{1}{2} \cdot (D - 2 \cdot t_c + 2 \cdot g) \text{ (cm)} \quad (15)$$

20

【 0 0 3 1 】

ただし、 $g$  は、

【 0 0 3 2 】

【 数 1 3 】

$$\text{i) } \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} \geq H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys} \text{ のとき,}$$

$$g = \frac{\alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} + H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys}}{2 \cdot \alpha \cdot \sigma_{yt}} \text{ (cm)} \quad (16)$$

$$\text{ii) } \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} < H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys} \text{ のとき,}$$

$$g = \frac{(2 \cdot t_c + H_s) \cdot T_s \cdot \sigma_{ys} - \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt}}{2 \cdot T_s \cdot \sigma_{ys}} \text{ (cm)} \quad (17)$$

30

40

【 0 0 3 3 】

図 10 に示す水平偏心がない場合、二点集中荷重の作用位置 は、実験および F E M 結果から (18) 式のように設定した。

【 0 0 3 4 】

【 数 1 4 】

$$\psi = \arcsin \left( \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f}}{R_e} \right) \quad (18)$$

【 0 0 3 5 】

ところが、図 1 1 に示すように水平偏心  $e_h$  を持って梁フランジが接合される場合、二点集中荷重の作用位置は、水平偏心量を用いて次式のように表される。ただし、 $e_h < 0.5(D - B_f)$  とする。

【 0 0 3 6 】

【 数 1 5 】

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} + e_h}{R_e} \right\}, \quad \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{2} - \frac{H_s}{2} \cdot \frac{D}{3B_f} - e_h}{R_e} \right\} \quad (19)$$

【 0 0 3 7 】

ただし、 $B_f = H_s = H_s / 2$  のときは、

【 0 0 3 8 】

【 数 1 6 】

$$\psi = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4}}{R_e} \right\},$$

$$\psi_A = \arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} + e_h}{R_e} \right\}, \quad \psi_B = -\arcsin \left\{ \frac{\frac{B_f}{4} - e_h}{R_e} \right\} \quad (20)$$

【 0 0 3 9 】

とする。

【 0 0 4 0 】

リング耐力  $P_2$  は、リング体の全塑性耐力  $M_p$ 、 $N_p$ 、 $Q_p$ 、 $M_{\theta p}$  および  $T_{Rp}$  に対して、後述の検討箇所における曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$ 、面外曲げモーメント  $M_{\theta}$  およびトルク  $T_R$  に塑性条件式：

【 0 0 4 1 】

【 数 1 7 】

$$\left( \frac{M}{M_p} \right)^{x_1} + \left( \frac{N}{N_p} \right)^{x_2} + \left( \frac{Q}{Q_p} \right)^{x_3} + \left( \frac{M_{\theta}}{M_{\theta p}} \right)^{x_4} + \left( \frac{T_R}{T_{Rp}} \right)^{x_5} = 1 \quad (21)$$

【 0 0 4 2 】

を適用して求める。

【 0 0 4 3 】

10

20

30

40

50



リング体の全塑性耐力  $M_p$ 、 $N_p$ 、 $Q_p$ 、 $M_{\theta p}$  および  $T_{Rp}$  は、以下の算定式による：

【 0 0 4 4 】

【 数 1 8 】

$\alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} \geq H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys}$  のとき、

$$M_p = \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} \cdot \left( \frac{1}{2} g_1 + g_{s1} \right) \quad (\text{tf} \cdot \text{cm}) \quad (22)$$

$\alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} < H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys}$  のとき、

$$M_p = T_s (H_s + t_c - g_2) \cdot \sigma_{ys} \left\{ \frac{1}{2} (H_s + t_c - g_2) + g_{s2} \right\} \quad (\text{tf} \cdot \text{cm}) \quad (23)$$

ただし、

$$g_1 = \frac{\alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} + H_s T_s \cdot \sigma_{ys}}{2 \alpha \cdot \sigma_{yt}}$$

$$g_{s1} = \frac{\alpha (t_c - g_1) \cdot \sigma_{yt} \cdot \left( \frac{t_c - g_1}{2} \right) + H_s T_s \cdot \sigma_{ys} \left( t_c - g_1 + \frac{1}{2} H_s \right)}{\alpha (t_c - g_1) \cdot \sigma_{yt} + H_s T_s \cdot \sigma_{ys}}$$

$$g_2 = \frac{(2t_c + H_s) T_s \sigma_{ys} - \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt}}{2 T_s \cdot \sigma_{ys}}$$

$$g_{s2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot T_s (g_2 - t_c)^2 \cdot \sigma_{ys} + \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} \left( g_2 - \frac{1}{2} t_c \right)}{T_s (g_2 - t_c) \cdot \sigma_{ys} + \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt}}$$

【 0 0 4 5 】

【 数 1 9 】

$$Q_p = H_s \cdot T_s \cdot \frac{\sigma_{ys}}{\sqrt{3}} + \alpha \cdot t_c \cdot \frac{\sigma_{yt}}{\sqrt{3}} \quad (\text{tf}) \quad (24)$$

【 0 0 4 6 】

【 数 2 0 】

$$N_p = H_s \cdot T_s \cdot \sigma_{ys} + \alpha \cdot t_c \cdot \sigma_{yt} \quad (25)$$

【 0 0 4 7 】

$M_{\theta p}$ 、 $T_{Rp}$  は、リング部分のみを有効と見做して（鋼管部分が無視して）、それぞれ（26）式並びに（27）および（28）式で求める。

【 0 0 4 8 】

【 数 2 1 】

$$M_{\theta p} = H_s \cdot T_s^2 \cdot \frac{\sigma_{ys}}{4} \quad (26)$$

【 0 0 4 9 】

【 数 2 2 】

$$H_s \geq T_s \text{ のとき, } T_{Rp} = H_s \cdot T_s^2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{ys}}{\sqrt{3}} \quad (27)$$

$$H_s < T_s \text{ のとき, } T_{Rp} = H_s^2 \cdot T_s \cdot \frac{1}{4} \cdot \frac{\sigma_{ys}}{\sqrt{3}} \quad (28)$$

【 0 0 5 0 】

リング一体タイプでは、有効幅  $b$  を(11)式によって設定するとともに、( 2 2 ) 式 ~ ( 2 8 ) 式において  $H_s = 0$  ,  $T_s = t_f$  および  $t_c = t_p$  を代入して求める。

【 0 0 5 1 】

$P_2$  の算定に必要なリング体の曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$ 、面外曲げモーメント  $M$  およびトルク  $T_R$  (以下、「リング体の断面力」という)は、荷重状態、コンクリート充填の有無、偏心の有無、リングの形状等によりそれぞれ計算方法が異なり、次のケースに分類される。

【 0 0 5 2 】

- ( 1 ) 対称荷重時中空鋼管柱
- ( 2 ) 逆対称荷重時中空鋼管柱
- ( 3 ) 単方向荷重時中空鋼管柱
- ( 4 ) C F T
- ( 5 ) 部分リング ( 単方向荷重時 ) 中空鋼管柱

【 0 0 5 3 】

リング体の断面力のうち、面外曲げモーメント  $M$  およびトルク  $T_R$  は、すべてのケースに共通であり、垂直偏心のある場合に生ずる。すなわち、図 1 3 に示すように、梁フランジがリングに対して、垂直偏心  $e_v$  を持って取り付け、集中荷重  $P_2 / 2$  がフランジ中心軸となす角度 ( 図 1 4 参照 ) に作用するとき、軸性の付加モーメント  $e_v P_2 / 2$  を、角度  $\theta$  において、周方向と半径方向に分解すると、リング体に作用する面外曲げモーメント  $M$  とトルク  $T_R$  となり、それぞれ ( 2 9 ) 式および ( 3 0 ) 式で表される。

【 0 0 5 4 】

【 数 2 3 】

$$M_\theta = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\sin \theta) \quad (29)$$

【 0 0 5 5 】

【 数 2 4 】

$$T_R = e_v \cdot \frac{P_2}{2} \cdot (\cos \theta) \quad (30)$$

【 0 0 5 6 】

一方、リング体の断面力のうち曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$  は、それぞれのケースに対応する境界条件を仮定することにより、アーチ / リングの骨組理論により導き出される。

【 0 0 5 7 】

水平偏心の無い場合は、本発明者の先願で提示しているが、水平偏心をもって梁フランジが取り付け荷重  $P_2$  が作用したときの曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$  の算定方法を、( 1 ) ~ ( 5 ) に関して、それぞれ述べる。

【 0 0 5 8 】

- ( 1 ) 対称荷重時中空鋼管柱

中空鋼管柱に図 1 5 に示すような対称荷重が作用する場合は、図 1 6 に示すような円環リ

10

20

30

40

50

ングに4点集中荷重が作用する問題として考える。ここで、対称性より  $\theta = \psi$  である。

【0059】

図16において、 $x$ 軸となす角度を  $\theta$  (図中B点をゼロとする)とおくと、円環リング上の角度  $\psi$  の点における曲げモーメント $M$ 、軸力 $N$ および剪断力 $Q$ は、リング耐力 $P_2$ を用いて、(31)式で表される。ただし、円環リングは全周において一様な剛性を持つものとしており、変形は曲げのみを考慮し、軸力および剪断力による変形は無視している。

【0060】

【数25】

$0 \leq \theta \leq \psi$  のとき、

10

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{2} P_2 R_c \left\{ \frac{1}{\pi} (\phi \sin \phi + \cos \phi - \psi \sin \psi - \cos \psi - \cos \theta \sin^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \phi) - \sin \phi + \sin \psi \right\} \\ N &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \cos \theta (\sin^2 \phi - \sin^2 \psi) \right\} \\ Q &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \sin \theta (\sin^2 \psi - \sin^2 \phi) \right\} \end{aligned}$$

$\psi \leq \theta \leq \phi$  のとき、

20

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{2} P_2 R_c \left\{ \frac{1}{\pi} (\phi \sin \phi + \cos \phi - \psi \sin \psi - \cos \psi - \cos \theta \sin^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \phi) - \sin \phi + \sin \theta \right\} \\ N &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \cos \theta (\sin^2 \phi - \sin^2 \psi) + \sin \theta \right\} \\ Q &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \sin \theta (\sin^2 \psi - \sin^2 \phi) + \cos \theta \right\} \end{aligned}$$

$\phi \leq \theta \leq \pi$  のとき、

$$\begin{aligned} M &= \frac{1}{2} P_2 R_c \left\{ \frac{1}{\pi} (\phi \sin \phi + \cos \phi - \psi \sin \psi - \cos \psi - \cos \theta \sin^2 \psi + \cos \theta \sin^2 \phi) \right\} \\ N &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \cos \theta (\sin^2 \phi - \sin^2 \psi) \right\} \\ Q &= \frac{1}{2} P_2 \left\{ \frac{1}{\pi} \sin \theta (\sin^2 \psi - \sin^2 \phi) \right\} \end{aligned} \quad (31)$$

30

【0061】

図17に示すように、梁が水平方向に $e_h$ だけ偏心してリングダイアフラムと接合されている状態は、図18に示されるような円環に四点集中荷重 $P_2/2$ が角度 $\theta_A$ 、 $\theta_B$ およびそれぞれに対向する方向に作用している状態と考えることができる。このとき、リング体の断面力は、図19に示すリングに作用する相対する二点集中荷重に対する公式：

40

【0062】

0 のとき、

【0063】

【数26】

$$M = -\frac{P_2 R_e}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} (\sin \phi - \phi \cos \phi + \phi \cos \theta - \cos \theta \sin \phi \cos \phi) - \cos \theta + \cos \phi \right\}$$

$$N = -\frac{P_2}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} \cos \theta (\phi - \sin \phi \cos \phi) - \cos \theta \right\}$$

$$Q = -\frac{P_2}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} \sin \theta (\sin \phi \cos \phi - \phi) + \sin \theta \right\}$$

$\phi \leq \theta \leq \pi$  のとき、

$$M = -\frac{P_2 R_e}{2} \cdot \frac{1}{\pi} (\sin \phi - \phi \cos \phi + \phi \cos \theta - \cos \theta \sin \phi \cos \phi)$$

$$N = -\frac{P_2}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} \cos \theta (\phi - \sin \phi \cos \phi) \right\}$$

$$Q = -\frac{P_2}{2} \left\{ \frac{1}{\pi} \sin \theta (\sin \phi \cos \phi - \phi) \right\} \quad (32)$$

10

#### 【 0 0 6 4 】

を重ね合わせるにより得られる。すなわち、検討箇所  $A$  (実施例の(55)式)におけるリング断面力  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  は(32)式に、 $\phi = \theta/2 - \alpha$ 、 $\theta = \theta/2 - \alpha$  をそれぞれ代入したときの  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  と、 $\phi = \theta/2 - \alpha$ 、 $\theta = \theta/2 + \beta$  をそれぞれ代入したときの  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  を足しあわせることによって得られる。また、検討箇所(実施例(55)式)の  $B$  における  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  は(32)式に、 $\phi = \theta/2 + \beta$ 、 $\theta = \theta/2 - \alpha$  をそれぞれ代入したときの  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  と、 $\phi = \theta/2 + \beta$ 、 $\theta = \theta/2 + \beta$  をそれぞれ代入したときの  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  を足しあわせることによって得られる。

20

#### 【 0 0 6 5 】

##### (2) 逆対称荷重時中空鋼管柱

中空鋼管柱に図20に示す逆対称荷重が作用する場合は、図21に示すようなピン支持半円弧アーチに二点集中荷重が作用する問題として考える。

30

#### 【 0 0 6 6 】

図21において、アーチ対称軸となす角度を  $\theta$  (図中B点をゼロとする)とおいたときの、アーチ上の角度  $\phi$  の点における曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$  および剪断力  $Q$  を考える。この問題は図22に示す有効半径  $R_e$  の半円弧アーチに一点集中荷重が作用する場合における  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  の重ね合わせによって解が得られる。

#### 【 0 0 6 7 】

半円弧アーチに一点集中荷重が作用する場合のアーチ上の角度  $\phi$  の点における曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$  および剪断力  $Q$  は、(33)式のように与えられる。ただし、 $\phi$  はB点において零とし、C点において  $\pi/2$ 、BD間についても、B点を起点としてD点時に  $\pi/2$  とする。

40

#### 【 0 0 6 8 】

$\phi < \pi/2$  のとき、

#### 【 0 0 6 9 】

#### 【 数 2 7 】

$$M = V_c \cdot x - H \cdot y$$

$$N = -V_c \sin \theta - H \cos \theta$$

$$Q = V_c \cos \theta - H \sin \theta$$

$0 < \theta \leq \psi$  のとき、

$$M = V_c \cdot x - P (\sin \psi - \sin \theta) R_e - H \cdot y$$

10

$$N = -H \cos \theta + V_c \sin \theta$$

$$N = -H \cos \theta + V_c \sin \theta$$

$$Q = H \sin \theta - V_c \cos \theta$$

$\theta$  が BD 間のとき、

$$M = R_e (\sin \theta_0 - \sin \theta) V_D - H \cdot y$$

20

$$N = -V_D \sin \theta - H \cos \theta$$

$$Q = -V_D \cos \theta + H \sin \theta \quad (33)$$

【 0 0 7 0 】

ただし、

【 0 0 7 1 】

【 数 2 8 】

30

$$H_c = H_D = \frac{1 - \sin^2 \psi}{\pi} \cdot \frac{P_2}{2},$$

$$V_c = \frac{P_2}{4} (1 + \sin \psi),$$

$$V_D = \frac{P_2}{4} (1 - \sin \psi) \quad (34)$$

40

【 0 0 7 2 】

水平偏心がある場合、図 2 1 のアーチ上の角度  $\theta$  の点における M、N、Q は、 $M = M_A$  と  $N = N_B$  とにおける (3 3) 式の結果をそれぞれ重ね合わせるによって得られる。

【 0 0 7 3 】

(3) 単方向荷重時中空鋼管柱

図 2 3 に示すように、リングに一方のみ梁が接合されている場合は、以下の手順に従って計算を行うものとする。

【 0 0 7 4 】

図 2 3 の荷重状態を、図 2 4 (A) に示される二点集中荷重が一方から作用しているリ

50

ングの問題として考える。図 2 4 ( A ) の問題はそのままでは解けないので、図 2 4 ( B ) ~ ( C ) の問題に分解して考える。図 2 4 ( B ) は固定端半円弧アーチの問題であり、このとき生じる支点反力の内、曲げモーメントをリング全体に解放したものが図 2 4 ( C ) である。(軸方向反力  $N_c$  は、鋼管面にて支持されると考えられるので解放しないものとする。また、実験結果によると、水平反力  $Q_c$  は鋼管面の板曲げにより支持されると考えられ、 $Q_c$  の解放を省略したほうが実際の挙動に近いことが確認されている。)

【 0 0 7 5 】

図 2 4 ( B ) については、図 2 5 に示すように固定アーチの中心軸となす角が  $+$  の位置に一点集中荷重が作用する問題の解と、中心軸となす角が  $-$  の位置に一点集中荷重が作用する問題の解とを重ね合わせることによって、アーチ上の角  $\theta$  の点における  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  が求められる。ただし、 $\theta = 0$  は B 点においてゼロとし、C 点において  $\pi/2$ 、D 点において  $-\pi/2$  とする。

$0 < \theta \leq \phi$  のとき、

【 0 0 7 6 】

【 数 2 9 】

$0 < \theta \leq \phi$  のとき、

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y$$

$$N = -V_B \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = V_B \cdot \cos \theta - H_B \cdot \sin \theta$$

$\psi < \theta \leq \pi/2$  のとき、

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y - \left( \frac{P_2}{2} \right) \cdot (x - R_c \sin \psi)$$

$$N = - \left( V_B + \frac{P_2}{2} \right) \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = \left( V_B + \frac{P_2}{2} \right) \cdot \cos \theta - H_B \sin \theta$$

$-\pi/2 \leq \theta \leq 0$  のとき、

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y$$

$$N = -V_B \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = V_B \cdot \cos \theta - H_B \cdot \sin \theta \quad (35)$$

【 0 0 7 7 】

ただし、

【 0 0 7 8 】

【 数 3 0 】

$$x = R_e \sin \theta$$

$$y = R_e (1 - \cos \theta)$$

$$H_B = \frac{P_2}{2} \cdot \frac{\frac{\pi}{2} (1 + \sin^2 \psi) - 2(\cos \psi + \psi \sin \psi)}{4 \cdot \left(1 - \frac{\pi^2}{8}\right)} \quad (36)$$

【 0 0 7 9 】

【 数 3 1 】

$$V_B = -\frac{P_2}{2} \cdot \frac{\frac{\pi}{2} - \psi - \sin \psi \cos \psi}{\pi}$$

$$M_B = -\frac{2}{\pi} \cdot \left\{ R_e H_B \left( \frac{\pi}{2} - 1 \right) - \frac{P_2 R_e}{4} \left( \cos \psi - \frac{\pi}{2} \sin \psi + \psi \sin \psi \right) \right\} \quad (37)$$

【 0 0 8 0 】

図 2 4 ( C ) は、相対する二点集中モーメントの問題と考えて、リングに作用する M、N、Q を求める。図中の中心軸となす角度を  $\theta$  とおくと、

【 0 0 8 1 】

【 数 3 2 】

$$M = M_c \left( \frac{2}{\pi} \cos \theta - \frac{1}{2} \right)$$

$$N = \frac{M_c}{R_e} \left( \frac{2}{\pi} \cos \theta + \frac{1}{2} \right)$$

$$Q = -\frac{M_c}{R_e} \left( \frac{2}{\pi} \sin \theta \right) \quad (38)$$

【 0 0 8 2 】

以上より、図 2 4 ( A ) の問題は、( 3 5 ) 式および ( 3 8 ) 式を重ね合わせることで得られる。

【 0 0 8 3 】

単方向荷重時中空鋼管柱で梁が水平方向に偏心して接合される場合には、以下の方法によってリングの M、N、Q の計算を行う。

10

20

30

40

50

【 0 0 8 4 】

水平偏心して接合される場合の荷重状態を図 2 6 のように考える。このまま無偏心時と同様の解法を用いると、反力がリング系の中で釣り合わないので、解を得る上で非常な困難が伴う。そこで、図 2 6 に示される二点集中荷重を図 2 7 のように分解する。すなわち、だけ偏心した梁フランジの中心線とリングとの交点とリングの中心点を結ぶ方向と梁方向との角度を、

【 0 0 8 5 】

【 数 3 3 】

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{e_h}{R_e}\right) \quad (39)$$

10

【 0 0 8 6 】

としたとき、二点集中荷重をそれぞれ  $c$  に平行な方向成分  $P/2 \cdot \cos c$  と垂直な方向成分  $P/2 \cdot \sin c$  に分解する。ここで、 $P/2 \cdot \sin c$  はいったん保留し、 $P/2 \cdot \cos c$  にのみ着目して、上述の無偏心時と同様にしてリングに作用する  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  を導く。その後、先程保留された  $P/2 \cdot \sin c$  を、 $N$  に加える。

【 0 0 8 7 】

( 4 ) C F T

20

C F T の場合、充填コンクリートの効果により、同一柱に取り付く複数の梁が相互に影響しあうことがなく、いかなる荷重状態にあっても、接合部の局部耐力は、圧縮側フランジで耐力が決まることがなく引張側フランジ個々の局部耐力の最小値で決まることが実験および F E M により確認されている。従って、C F T の耐力計算は当該柱における引張フランジ局部耐力を求めることに帰着する。

【 0 0 8 8 】

C F T の引張フランジ接合部は、図 2 8 に示す角度  $\phi$  に支点があるアーチと考えられる。ただし、角度  $\phi$  は未知数であり、以下の方法により求める必要がある。

【 0 0 8 9 】

C F T の柱梁接合部に梁フランジからの引張軸力が作用したとき、リング体が充填コンクリート面から離れる点が存在する ( 図 2 9 中の B 点 ) 。この B 点では曲げモーメントがゼロであり、また回転角もゼロとなる。ここで、梁フランジ中心軸と N T リングとの交点を O 点とすると、O B 間において N T リング + 鋼管管壁の有効幅部分が充填コンクリート部分より内側に入ることはない。

30

【 0 0 9 0 】

図 3 0 、図 3 1 は梁フランジから引張力が作用した場合の変形を説明している。B 点ではモーメントがゼロであることから、B 点ではピン支持とすると、リングに作用している軸方向力  $N$  (  $\phi$  により変化している ) による伸び変形が  $\delta$  となり、伸び変形のみによる変形は図 3 0 に示される変形状態となる。それによる B 点の回転角を  $\alpha$  とする。

【 0 0 9 1 】

また A B 間の曲げ変形 ( 図 3 1 参照 ) による B 点の回転角を  $\beta$  とすると、 $\phi$  は下式を満たすような  $\phi$  の値である。

40

【 0 0 9 2 】

$$a + \beta = 0 \quad ( 4 0 )$$

【 0 0 9 3 】

ただし、 $a + \beta = 0$  をみたす  $\phi$  が存在しない場合は、 $\phi = \beta$  とする。

【 0 0 9 4 】

リングの剛性が円周の途中で変化する場合においても、 $\phi$  以内にリングの剛性が変化していなければ全周にわたって同じ剛性のリングが存在していると考える。

【 0 0 9 5 】

50



( による B 点の回転角  $\alpha$  )

A B の軸力は変化している。従って一定ではない。また、実際は B 点で軸力がゼロとなるものではなく、C 点までコンクリートとリングの摩擦力によりリング軸力がゼロになるまで伸び変形している。従って B 点ではリングは A 方向にズレていく状態になっている。ここではこのズレは無視する。A B 間の軸力の平均値は  $N_d = (N_a + N_b) / 2$  の位置の  $N_d$  で表わされるものとする。  $N_d$  は次式で示される。

【 0 0 9 6 】

【 数 3 4 】

$$N_d = V_A \sin \theta_d - H \cos \theta_d - V_B \sin \theta_d - H \cos \theta_d$$

$$V_A = \frac{\sin \theta_o + \sin \psi}{4 \sin \theta_o} P_2$$

$$V_B = \frac{\sin \theta_o - \sin \psi}{4 \sin \theta_o} P_2$$

$$H = \frac{\sin^2 \theta_o - \sin^2 \psi - 2 \cos \theta_o (\theta_o \sin \theta_o + \cos \theta_o - \psi \sin \psi - \cos \psi)}{4 (\theta_o - 3 \cos \theta_o \sin \theta_o + 2 \theta_o \cos^2 \theta_o)} P_2 \quad (41)$$

10

【 0 0 9 7 】

有効幅を含んだリングの断面積を  $A$  , ヤング係数を  $E$  とすると、伸び  $\Delta$  は次式で示される 20

【 0 0 9 8 】

【 数 3 5 】

$$\Delta = R_e (\theta_o - \theta) N_d / EA \quad (42)$$

【 0 0 9 9 】

この による B 点の回転角  $\alpha$  は幾何学的関係より次式で与えられる。

【 0 1 0 0 】

【 数 3 6 】

$$\begin{aligned} \theta_a &= \arctan \left( \left( \Delta / \sin \theta + y_\theta \right) / x_\theta \right) - \arctan \left( y_\theta / x_\theta \right) \\ x_\theta &= R_e (\sin \theta_o - \sin \theta) \\ y_\theta &= R_e (\cos \theta - \cos \theta_o) \end{aligned} \quad (43)$$

30

【 0 1 0 1 】

( 曲げ変形による回転角  $\beta$  )

A B 間の曲げモーメント  $M$  は  $\theta$  の関数である。曲げ変形による A 点の回転角をゼロとし、 40  
リングの曲げ剛性を  $I$ 、ヤング係数を  $E$  とすると、B 点の曲げによる回転角  $\beta$  は次式で与えられる。

【 0 1 0 2 】

【 数 3 7 】

$$\theta_b = \int_{\theta}^{\theta_0} \frac{M(\alpha)}{EI} R_e d\alpha$$

$$M(\alpha) = V_A x - H y + V_B x - H y$$

$$x = R_e (\sin \theta_0 - \sin \alpha)$$

$$y = R_e (\cos \alpha - \cos \theta_0) \quad (44)$$

10

## 【 0 1 0 3 】

(  $\theta_0$  の決定 )

( 4 3 ) 式および ( 4 4 ) 式と ( 4 0 ) 式により  $\theta_0$  を決定する。すなわち、ある  $\theta_0$  を仮定して、この位置を支点と仮定したリングの検討箇所における断面力に全塑性条件 ( 2 1 ) 式を適用して、仮の  $P_2$  が決定され、これらより  $N_d$ 、 $M$  ( ) が求められる。( 4 3 ) 式および ( 4 4 ) 式より  $a$  と  $b$  を求め、( 4 0 ) 式が満足されれば、真の  $\theta_0$  である。

## 【 0 1 0 4 】

( C F T 柱の耐力 )

真の  $\theta_0$  が得られれば、公式集より、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$  および曲げモーメント  $M$  が次式で求められる。

20

## 【 0 1 0 5 】

【 数 3 8 】

$$N = -V_A \sin \theta - H \cos \theta - V_B \sin \theta - H \cos \theta \quad (45)$$

$$Q = V_A \cos \theta - H \sin \theta - (-V_B \cos \theta + H \sin \theta) \quad (46)$$

30

$$M = V_A x - H y + V_B x - H y$$

$$x = R_e (\sin \theta_0 - \sin \theta)$$

$$y = R_e (\cos \theta - \cos \theta_0) \quad (47)$$

## 【 0 1 0 6 】

ただし、 $V_A$ 、 $V_B$ 、 $H$  は、( 4 1 ) 式による。

## 【 0 1 0 7 】

検討箇所 A 点、すなわち ( 5 5 ) 式の  $\theta = \theta_A$  における値より、真の  $P_2$  を求める。

40

## 【 0 1 0 8 】

C F T で梁が水平方向に偏心して接合される場合には、単方向荷重時中空鋼管柱の場合と同様に、梁フランジからの二点集中荷重を分解して  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  の計算を行う。

## 【 0 1 0 9 】

水平偏心して接合される場合の荷重状態を図 2 6 のように考える。このまま無偏心時と同様の解法を用いると、反力がリング系の中で釣り合わないで、解を得る上で非常な困難が伴う。そこで、図 2 6 に示される二点集中荷重を図 2 7 のように分解する。すなわち、 $e_k$  だけ偏心した梁フランジの中心線とリングとの交点とリングの中心点を結ぶ方向と梁方向との角度を、

## 【 0 1 1 0 】

50

【数 3 9】

$$\theta_c = \arcsin\left(\frac{e_h}{R_e}\right) \quad (48)$$

【0 1 1 1】

としたとき、二点集中荷重をそれぞれ  $c$  に平行な方向成分  $P/2 \cdot \cos c$  と垂直な方向成分  $P/2 \cdot \sin c$  に分解する。ここで、 $P/2 \cdot \sin c$  はいったん保留し、 $P/2 \cdot \cos c$  にのみ着目して、上述の無偏心時の、 $\theta$  に対応した値を定めて、アーチに作用する  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  を導く。その後、先程保留された  $P/2 \cdot \sin c$  を、 $N$  に加える。 10

【0 1 1 2】

(5) 部分リング(単方向荷重時)中空鋼管柱

図 3 2 に示すようにリングが、梁の取り付く側の開角  $2j$  の部分にのみ存在する場合、すなわち、部分リング中空鋼管に単方向荷重が作用する場合は、以下の手順に従って計算を行うものとする。

【0 1 1 3】

部分リングの場合のリング体の有効断面は、リングが存在する部分(開角  $2j$  の部分)においてはリング+鋼管協力幅からなる T 形断面(図 3 3 A、断面二次モーメント:  $I_1$ )であるが、リングの存在しない部分にあっては鋼管協力幅のみの板状の長方形断面(図 3 3 B、断面二次モーメント:  $I_2$ )に変化するものとする。従って、図 3 4 に示すように断面性能が部分的に  $I_1$  から  $I_2$  に変化するアーチ/リング骨組の応力分布(曲げモーメント  $M$ 、軸力  $N$ 、剪断力  $Q$ )を求める必要がある。 20

【0 1 1 4】

これには、本発明者の先願の単方向荷重中空鋼管柱の場合と同様に、開角  $2j$  の位置で両端固定されたアーチを仮定しその応力分布を求め、その固定端力を半円リングに対して解放したときの応力分布を重ね合わせるにより求める。

【0 1 1 5】

すなわち、図 3 4 の荷重状態を、図 3 5 (A) に示される二点集中荷重が一方向から作用するリングの問題として考える。図 3 5 (A) の問題はこのままでは解けないので、図 3 5 (B) ~ (C) の問題に分解して考える。図 3 5 (B) は固定端アーチの問題であり、このとき生じる支点反力の内、曲げモーメントをリング全体に解放したものが図 3 5 (C) である。(軸方向反力  $N_c$  は、鋼管面にて支持されると考えられるので解放しないものとする。また、実験結果によると、水平反力  $Q_c$  は鋼管面の板曲げにより支持されると考えられ、 $Q_c$  の解放を省略したほうが実際の挙動に近いことが確認されている。) 30

【0 1 1 6】

図 3 5 (B) については、図 3 6 に示す開角  $2j$  の固定アーチの中心軸となす角が  $+$  の位置に一点集中荷重が作用する問題の解と、中心軸となす角が  $-$  の位置に一点集中荷重が作用する問題の解とを重ね合わせるによって、アーチ上の角  $\theta$  の点における  $M$ 、 $N$ 、 $Q$  が求められる。ただし、 $\theta$  は B 点においてゼロとし、C 点において  $\pi/2$ 、D 点において  $\pi$  とする。 40

【0 1 1 7】

【数 4 0】

$0 < \theta \leq \phi$  のとき、

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y$$

$$N = -V_B \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = V_B \cdot \cos \theta - H_B \cdot \sin \theta$$

$\phi < \theta \leq \psi$  のとき、

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y - \left( \frac{P_2}{2} \right) \cdot (x - R_e \sin \psi)$$

10

$$N = -\left( V_B + \frac{P_2}{2} \right) \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = \left( V_B + \frac{P_2}{2} \right) \cdot \cos \theta - H_B \sin \theta$$

$-\psi \leq \theta \leq 0$  のとき、

20

$$M = M_B - V_B \cdot x + H_B \cdot y$$

$$N = -V_B \cdot \sin \theta - H_B \cdot \cos \theta$$

$$Q = V_B \cdot \cos \theta - H_B \cdot \sin \theta \quad (49)$$

【 0 1 1 8 】

ただし、

【 0 1 1 9 】

【 数 4 1 】

30

$$x = R_e \sin \theta$$

$$y = R_e (1 - \cos \theta)$$

$$H_B = \frac{P_2}{2} \cdot \frac{\varphi(\sin^2 \varphi + \sin^2 \psi) + 2 \sin \varphi(\cos \varphi - \cos \psi - \psi \sin \psi)}{4((\varphi - \sin \varphi)^2 - \varphi \mu)}$$

$$V_B = -\frac{P_2}{2} \cdot \frac{\varphi - \psi - \sin \varphi \cos \varphi - \sin \psi \cos \psi + 2 \sin \psi \cos \varphi}{2(\varphi - \sin \varphi \cos \varphi)}$$

40

$$M_B = -\frac{R_e H_B (\varphi - \sin \varphi) - \frac{P_2}{2} \frac{R_e}{2} (\cos \psi - \cos \varphi - (\varphi - \psi) \sin \psi)}{\varphi}$$

$$\mu = \frac{3}{2} \varphi - 2 \sin \varphi + \frac{1}{2} \sin \varphi \cos \varphi \quad (50)$$

【 0 1 2 0 】

図 3 5 ( C ) については、全周リングに相対する二点集中モーメントが作用する問題を、対称性を考慮して、図 1 5 に示す半円リングに一点集中モーメントが作用する問題と考える。剛性が変化する半円リングの応力分布は、図 3 7 の記号で以下のように与えられる。

50

0 <  $\psi$  <  $\pi$  のとき、

【 0 1 2 1 】

【 数 4 2 】

$$M(\theta) = M_A - R_A R_c (1 - \cos \theta)$$

$$N(\theta) = R_A \cos \theta$$

$$Q(\theta) = R_A \sin \theta$$

$\psi \leq \theta \leq \pi$  のとき、

$$M(\theta) = M_B - R_B R_c (1 + \cos \theta)$$

$$N(\theta) = -R_B \cos \theta$$

ただし、

$$f_A = \frac{R_c}{4EI_1}$$

$$f_B = \frac{R_c}{4EI_2}$$

$$S_{A1} = \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi + \frac{3}{2} \varphi + 2 \sin \varphi$$

$$S_{A2} = \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi + \frac{3}{2} \varphi - 2 \sin \varphi$$

$$S_{A3} = \frac{1}{2} \varphi - \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi$$

$$S_{B1} = \frac{3}{2} \pi - \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{3}{2} \varphi - 2 \sin \varphi$$

$$S_{B2} = \frac{3}{2} \pi - \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi - \frac{3}{2} \varphi + 2 \sin \varphi$$

$$S_{B3} = \frac{1}{2} \pi - \frac{1}{2} \varphi + \frac{1}{2} \cos \varphi \sin \varphi$$

$$a = f_A S_{A1} + f_B S_{B1}$$

$$b = f_A S_{A3} + f_B S_{B3}$$

$$c = b$$

$$d = f_A S_{A2} + f_B S_{B2}$$

$$e = -f_A S_{A3} + f_B S_{B1}$$

$$f = -f_A S_{A2} + f_B S_{B3}$$

$$M_A = \frac{-de + bf}{ad - bc} M_C$$

$$M_B = \frac{ce - af}{ad - bc} M_C$$

$$R_A = -R_B$$

$$R_B = \frac{-M_C - M_A + M_B}{2R_c}$$

(51)

【 0 1 2 2 】

図 3 5 ( C ) の解法は複雑であるが、標準的な場合として、図 3 8 に示すように、部分リングがちょうど半周分 ( 開角  $2j = 180^\circ$  ) の場合には、次式のように簡潔な表現で与えられる。

【 0 1 2 3 】

【 数 4 3 】

10

20

30

40

$$\begin{aligned}
 M &= M_c \left( \frac{2}{\pi} \cos \theta - \frac{1}{2} \right) \\
 N &= \frac{M_c}{R_e} \left( \frac{2}{\pi} \cos \theta + \frac{1}{2} \right) \\
 Q &= -\frac{M_c}{R_e} \left( \frac{2}{\pi} \sin \theta \right)
 \end{aligned} \tag{52}$$

## 【 0 1 2 4 】

以上より、図 3 5 ( A ) の問題は、( 4 9 ) 式および ( 5 1 ) 式 ( または ( 5 2 ) 式 ) を重ね合わせることによって得られる。

部分リング ( 単方向荷重時 ) 中空鋼管柱で梁が水平方向に偏心して接合される場合には、全周リングの単方向荷重時中空鋼管柱の場合と同様に、梁フランジからの二点集中荷重を分解して M、N、Q の計算を行う。

水平偏心して接合される場合の荷重状態を図 2 6 のように考える。このまま無偏心時と同様の解法を用いると、反力がリング系の中で釣り合わないので、解を得る上で非常な困難が伴う。そこで、図 2 6 に示される二点集中荷重を図 2 7 のように分解する。すなわち、 $e_h$  だけ偏心した梁フランジの中心線とリングとの交点とリングの中心点を結ぶ方向と梁方向との角度を、

## 【 0 1 2 5 】

## 【 数 4 4 】

$$\theta_c = \arcsin \left( \frac{e_h}{R_e} \right) \tag{53}$$

## 【 0 1 2 6 】

としたとき、二点集中荷重をそれぞれ  $c$  に平行な方向成分  $P/2 \cdot \cos c$  と垂直な方向成分  $P/2 \cdot \sin c$  に分解する。ここで、 $P/2 \cdot \sin c$  はいったん保留し、 $P/2 \cdot \cos c$  にのみ着目して、上述の無偏心時と同様にしてリングに作用する M、N、Q を導く。その後、先程保留された  $P/2 \cdot \sin c$  を、N に加える。最後に、上記の、耐力を求める方法を用いたリングダイアフラム付鋼管柱の柱梁接合部分の設計方法についてのフローを図 3 9 及び図 4 0 に示す。なお、 $P_1$  は、 $P_2$  に対して比較的にかさいので、 $P_1$  を無視することもできる ( 両図中における ( 1 ) )。実施の形態に係るリングダイアフラム付円形鋼管柱の柱梁接合部設計法は、上記の如く構成されているので以下に掲げる効果を奏する。

リングダイアフラム付円形鋼管柱の柱梁接合部耐力評価が、網羅的に、精度良く比較的容易に可能になった。解析的耐力式に基づいているので、設計者はある程度力の流れを認識することができ、特殊なケースにも応用することができる。特に、本発明により、垂直偏心および水平偏心を持って梁フランジが取り付けられる場合も扱えるようになった。

## 【 0 1 2 7 】

## 【 実施例 】

( 2 1 ) 式において分子の項はすべて  $P_2$  に比例する形になっているから、容易に  $P_2$  を求めうる。ただし、 $X_1 \sim X_5$  は係数とする。

$X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = 2$  のとき、 $P_2 = 1$  ( 単位荷重 ) としたときの M、N、Q、 $M_A$ 、 $T_R$  をそれぞれ、 $M_A$ 、 $N_A$ 、 $Q_A$ 、 $M_A$ 、 $T_R$  とおけば、 $P_2$  の算定式

は

【 0 1 2 8 】

【 数 4 5 】

$$P_2 = \frac{l}{\sqrt{\left(\frac{M_A}{M_p}\right)^2 + \left(\frac{N_A}{N_p}\right)^2 + \left(\frac{Q_A}{Q_p}\right)^2 + \left(\frac{M_{\theta A}}{M_{\theta p}}\right)^2 + \left(\frac{T_{RA}}{T_{Rp}}\right)^2}} \text{ (tf)} \quad (54)$$

10

【 0 1 2 9 】

のように書ける。

(21)式または(54)式によると、円周上の任意の位置を検討箇所とすることが可能であるが、実験およびFEM結果から最もクリティカルな検討箇所は、フランジ縁入り隅部加工部端であることが分かっている。すなわち、水平偏心が $e_h$ のとき（水平偏心がない場合は、 $e_h = 0$ とする）、梁フランジ縁の入り隅部であるA点およびB点（図12）を、本発明の検討箇所とする。A点およびB点とフランジ中心軸とがなす角 $\theta_A$ 、 $\theta_B$ は(55)式で与えられる。

【 0 1 3 0 】

20

【 数 4 6 】

$$\begin{aligned} \theta_A &= \arcsin \left\{ \left( \frac{B_f}{2} + r + e_h \right) / \left( \frac{D}{2} + H_s \right) \right\} \\ \theta_B &= -\arcsin \left\{ \left( \frac{B_f}{2} + r - e_h \right) / \left( \frac{D}{2} + H_s \right) \right\} \end{aligned} \quad (55)$$

$r$ : 梁フランジ溶接部入り隅加工半径（通常 $r=1\text{cm}$ とする）

$e_h$ : 水平方向偏心梁（cm）

30

【 0 1 3 1 】

（実施例1）

リングダイアフラム付円形鋼管柱 -  $318.5 \times 10.3$ 、 $H_s = 16$ 、 $T_s = 16$ に梁フランジPL -  $100 \times 16$ が逆対称に付く場合で鋼管、リングの降伏応力度がそれぞれ、 $\sigma_{ys} = 3.3 \text{ (tf/cm}^2\text{)}$ 、 $\sigma_{yt} = 3.3 \text{ (tf/cm}^2\text{)}$ のとき、本発明の評価式によると、 $P_1 = 10.10 \text{ (tf)}$ 、 $P_2 = 18.48 \text{ (tf)}$ であり、 $P = 28.57 \text{ (tf)}$ 。従って、最大耐力 $P_u = 35.45 \text{ (tf)}$ 、短期許容耐力 $P_A$ （短期） $= 24.85 \text{ (tf)}$ および長期許容耐力 $P_A$ （長期） $= 16.56 \text{ (tf)}$ である。

【 0 1 3 2 】

垂直偏心 $e_v = 0.5 \text{ (cm)}$ が存在するとき、 $P_1 = 10.10 \text{ (tf)}$ 、 $P_2 = 7.33 \text{ (tf)}$ であり、 $P = 17.43 \text{ (tf)}$ 。従って、最大耐力 $P_u = 21.62 \text{ (tf)}$ 、短期許容耐力 $P_A$ （短期） $= 15.15 \text{ (tf)}$ および長期許容耐力 $P_A$ （長期） $= 10.10 \text{ (tf)}$ である。

40

【 0 1 3 3 】

水平偏心 $e_h = 5.0 \text{ (cm)}$ が存在するとき、 $P_1 = 10.10 \text{ (tf)}$ 、 $P_2 = 16.68 \text{ (tf)}$ であり、 $P = 26.78 \text{ (tf)}$ 。従って、最大耐力 $P_u = 33.22 \text{ (tf)}$ 、短期許容耐力 $P_A$ （短期） $= 23.28 \text{ (tf)}$ および長期許容耐力 $P_A$ （長期） $= 15.52 \text{ (tf)}$ である。

【 0 1 3 4 】

（実施例2）

50

本評価式において係数  $X_1 \sim X_5$  を、 $X_1 = X_2 = X_3 = X_4 = X_5 = 2$  としたときの計算結果と、実験結果または F E M 解析結果との比較を図 4 1 に示す。

【 0 1 3 5 】

なお、上記構成部材の数、位置、形状等は上記実施の形態に限定されず、本発明を実施する上で好適な数、位置、形状等にすることができる。例えば、梁のフランジにアールを付けることもできる。斯かる場合には、アールの縁で検定することが好ましい。

【 0 1 3 6 】

また、各図において、同一構成要素には同一符号を付している。

【 0 1 3 7 】

【 発明の効果 】

10

本発明は以上のように構成されているので、以下に掲げる効果を奏する。

実験式ではなく解析的耐力式を用いて算出するので、鋼管柱の柱梁接合部耐力の一定の精度を保ちつつ、簡易で汎用的な、鋼管柱の耐力を求める方法を提示することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明が適用されるリングダイアフラム付鋼管柱の一部破断の斜視図である。

【 図 2 】 ( A ) は本発明が適用される増厚された鋼管柱の一部破断の斜視図、( B ) は特殊なリングダイアフラム付鋼管柱の一部破断の斜視図である。

【 図 3 】 図 2 に示す鋼管柱の取合部分の詳細断面図である。

【 図 4 】 従来技術に係る長期荷重 ( 対称荷重 ) 状態を示す図である。

【 図 5 】 従来技術に係る地震荷重 ( 逆対称荷重 ) 状態を示す図である。

20

【 図 6 】 本発明の実施の形態に係る、梁フランジ軸力の二成分への分解を示す図である。

【 図 7 】 図 6 に示される梁フランジ軸力の二成分への分解詳細を示す図である。

【 図 8 】 本発明の実施の形態に係る、有効周長  $S$  の定義を示す図である。

【 図 9 】 本発明の実施の形態に係る、N T リングの有効幅 の定義を示す図である。

【 図 1 0 】 本発明の実施の形態に係る、二点集中荷重の作用位置 を示す図である。

【 図 1 1 】 本発明の実施の形態に係る、水平偏心のある場合の二点集中荷重の作用位置 A、 B を示す図である。

【 図 1 2 】 本発明の実施の形態に係る、リング体の検討箇所を示す図である。

【 図 1 3 】 本発明の実施の形態に係る、垂直偏心を示すリング部分の一部縦断面図である。

30

【 図 1 4 】 本発明の実施の形態に係る、 の定義と垂直偏心による付加モーメントを示す図である。

【 図 1 5 】 本発明の実施の形態に係る、二点集中荷重が作用する半円弧アーチを示す図である。

【 図 1 6 】 本発明の実施の形態に係る、一点集中荷重が作用する半円弧アーチを示す図である。

【 図 1 7 】 本発明の実施の形態に係る、対象荷重が作用する場合を示す図である。

【 図 1 8 】 本発明の実施の形態に係る、対象荷重が作用する場合を示す図である。

【 図 1 9 】 本発明の実施の形態に係る、リングに作用する相対する二点集中荷重を示す図である。

40

【 図 2 0 】 本発明の実施の形態に係る、逆対象荷重が作用する場合を示す図である。

【 図 2 1 】 本発明の実施の形態に係る、二点集中荷重が作用する半円弧アーチを示す図である。

【 図 2 2 】 本発明の実施の形態に係る、一点集中荷重が作用する半円弧アーチを示す図である。

【 図 2 3 】 本発明の実施の形態に係る、一方向荷重が作用する場合を示す図である。

【 図 2 4 】 A ~ C は、本発明の実施の形態に係る、一方向荷重が作用する場合の解法を示す図である。

【 図 2 5 】 本発明の実施の形態に係る、一点集中荷重が作用する固定端半円弧アーチを示

50



す図である。

【図 2 6】本発明の実施の形態に係る、水平偏心単方向荷重を示す図である。

【図 2 7】本発明の実施の形態に係る、二点集中荷重の分解を示す図である。

【図 2 8】本発明の実施の形態に係る、C F T のアーチモデルを示す図である。

【図 2 9】本発明の実施の形態に係る、C F T リング体の変形を示す図である。

【図 3 0】本発明の実施の形態に係る、C F T リング体の伸びによる支点回転角  $a$  を示す図である。

【図 3 1】本発明の実施の形態に係る、C F T リング体の伸びによる支点回転角  $b$  を示す図である。

【図 3 2】本発明の実施の形態に係る、単方向加重を受ける部分のリングタイアフラム付円形鋼管柱を示す図である。 10

【図 3 3】A は本発明の実施の形態に係るリングが存在する部分の有効断面を示す図、B はリングが存在しない部分の有効断面を示す図である。

【図 3 4】本発明の実施の形態に係る、断面性能が変化するアーチ / リング骨組を示す図である。

【図 3 5】A ~ C は、本発明の実施の形態に係る部分リングで単方向加重を受ける場合の解法を示す図である。

【図 3 6】本発明の実施の形態に係る一点集中方向加重が作用する固定端アーチを示す図である。

【図 3 7】本発明の実施の形態に係る、曲げモーメント作用点で剛性が変化する半円リングを示す図である。 20

【図 3 8】本発明の実施の形態に係る、開角  $180^\circ$  の場合を示す図である。

【図 3 9】本発明の実施の形態に係る、リングダイヤフラム付鋼管柱の柱梁接合部設計法のフローを示す流れ図である。

【図 4 0】図 3 9 に示すフローの続き示す流れ図である。

【図 4 1】本実施の形態による計算結果と、実験結果または F E M との比較を示す図である。

【符号の説明】

：有効幅

S：有効周長

：荷重の作用位置

D：鋼管の直径

t c：鋼管の板厚

t p：仕口増厚部の板厚

l p：仕口増厚部の余長

H s：リングの出

T s：リングの厚さ

B f：梁フランジ幅

t f：梁フランジ厚さ

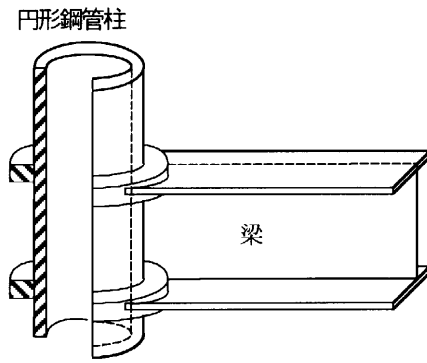
y t：鋼管の降伏耐力

y s：リングの降伏耐力

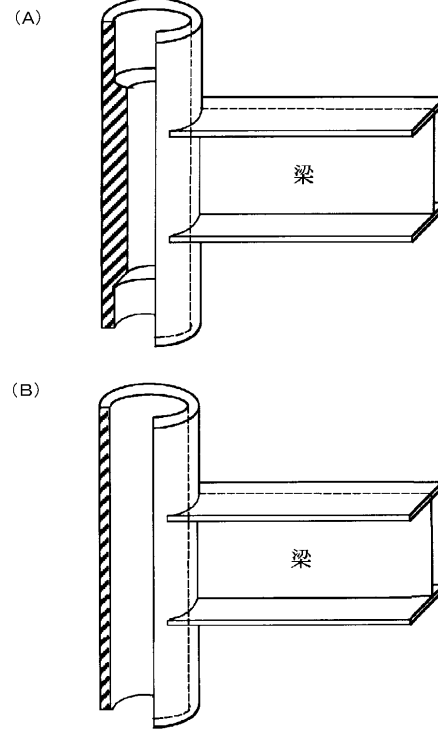
30

40

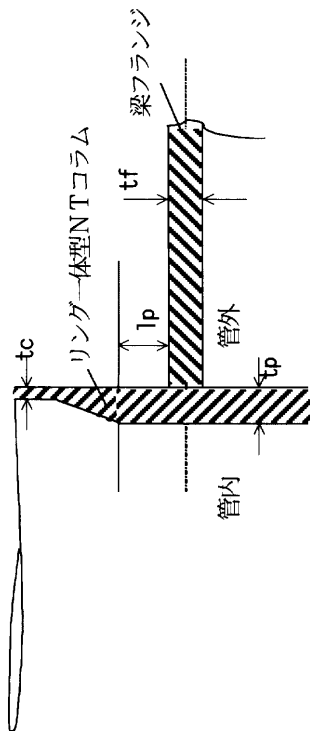
【図 1】



【図 2】

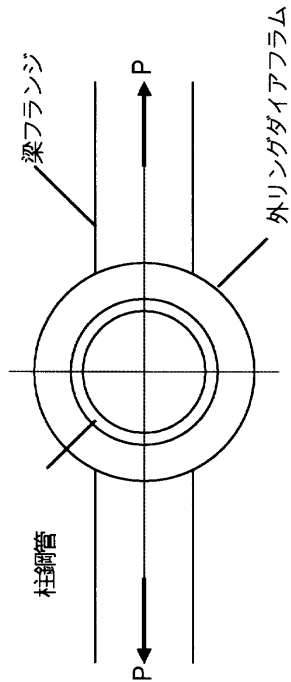


【図 3】

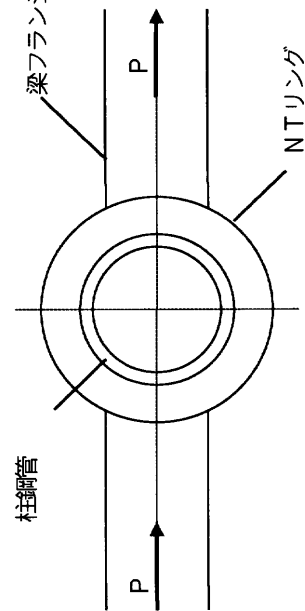


リング一体型円形鋼管柱

【図 4】

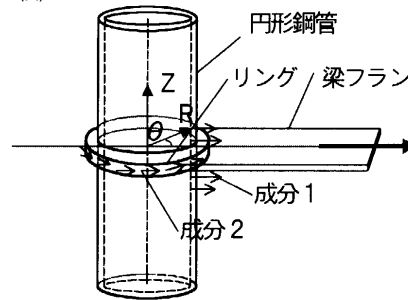


【図 5】

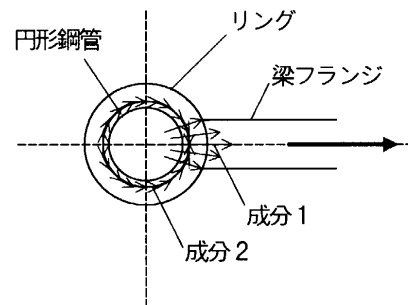


【図 6】

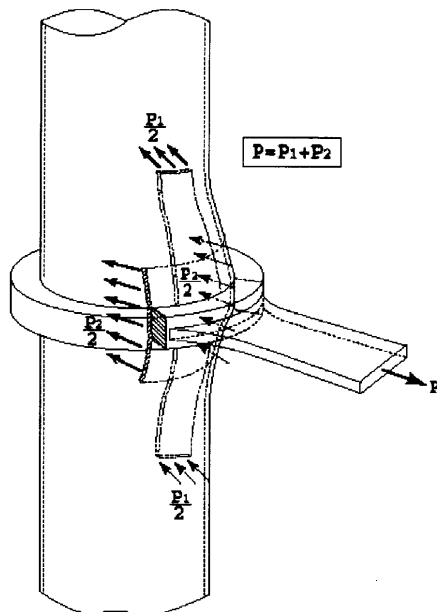
(A)



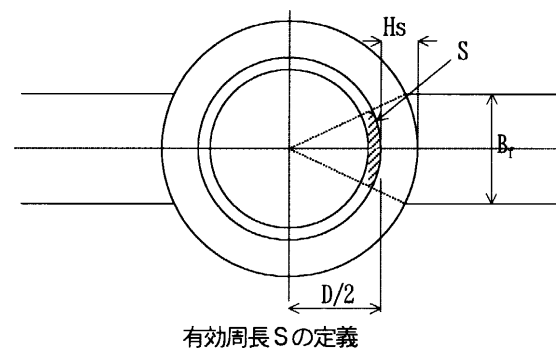
(B)



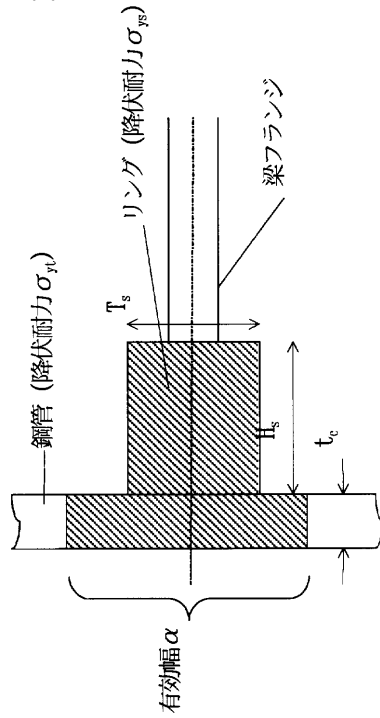
【図 7】



【図 8】

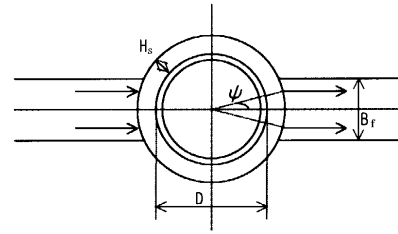


【図 9】



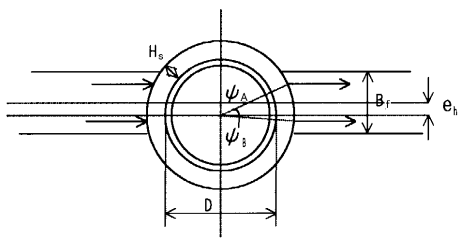
NTリングの有効断面

【図 10】

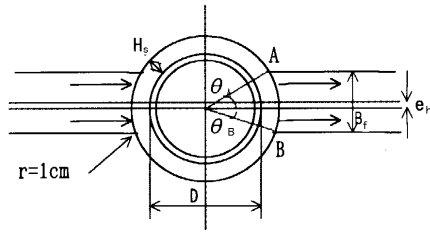
二点集中荷重作用位置  $\psi$ 

偏心無し

【図 11】

水平偏心接合の場合  
偏心有り

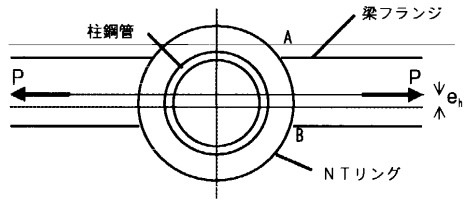
【図 12】



リング体の検討箇所

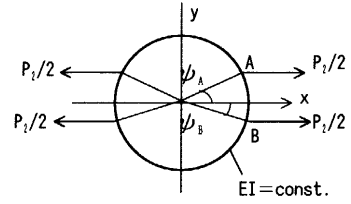


【図 17】



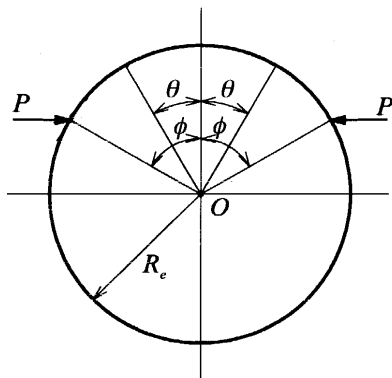
対称荷重の作用する場合(水平偏心)

【図 18】



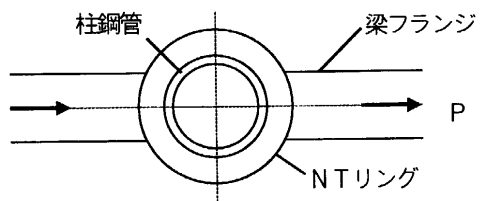
対称荷重作用時の仮定(水平偏心)

【図 19】



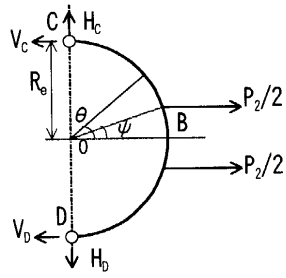
リングに作用する相対する二点集中荷重

【図 20】



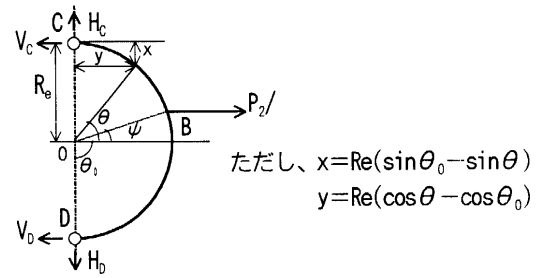
逆対称荷重が作用する場合

【図 2 1】



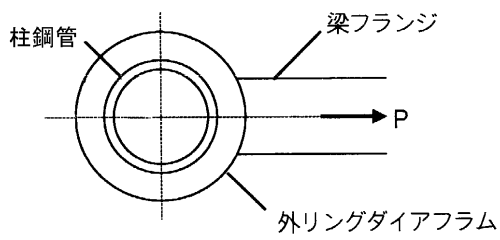
二点集中荷重が作用する半円弧アーチ

【図 2 2】



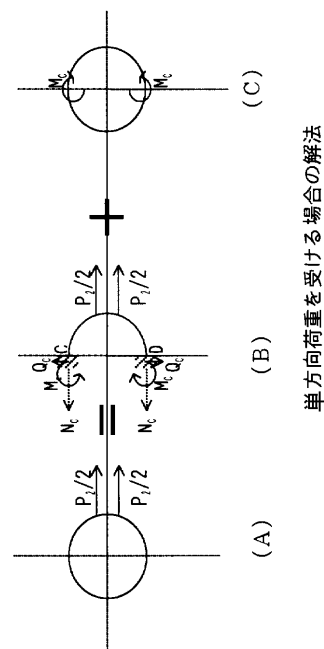
一点集中荷重が作用する半円弧アーチ

【図 2 3】

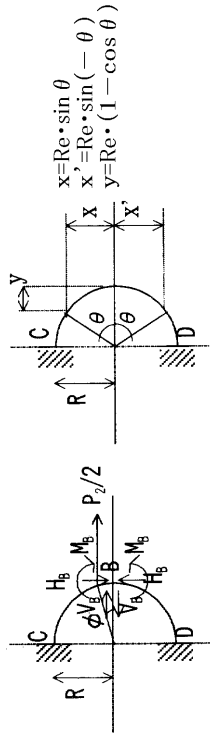


一方向荷重を受ける場合

【図 2 4】

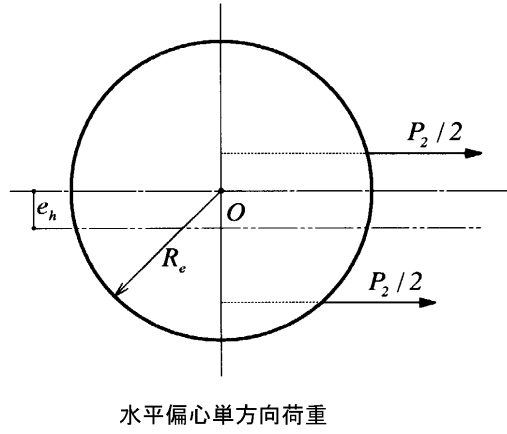


【図 2 5】

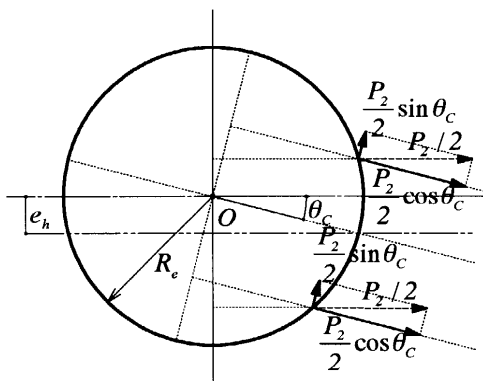


一点集中荷重が作用する固定端円弧アーチ

【図 2 6】

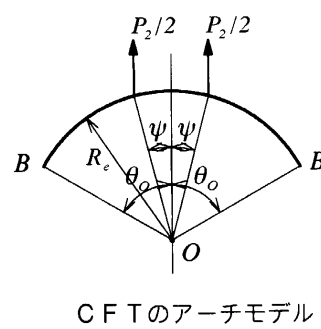


【図 2 7】



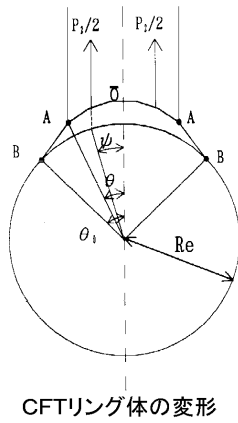
二点集中荷重の分解

【図 2 8】

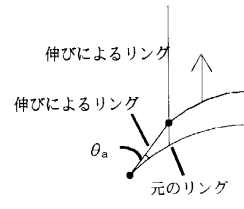




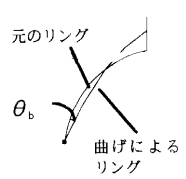
【図 29】



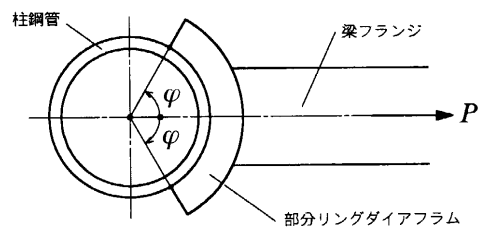
【図 30】

CFTリング体の伸びによる支点回転角  $\theta_a$ 

【図 31】

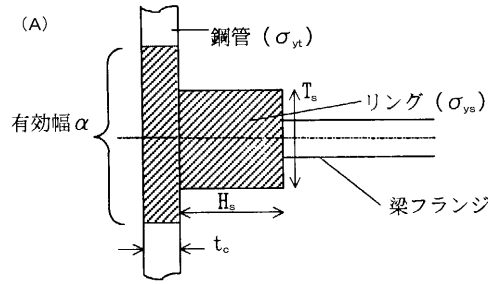
CDFTリング体の曲げ変形による支点回転角  $\theta_b$ 

【図 32】

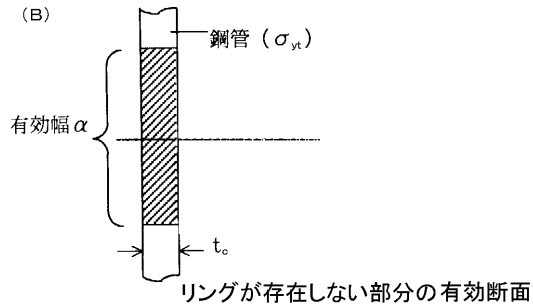


単方向荷重を受ける部分リングダイアフラム付円形鋼管柱

【図 3 3】

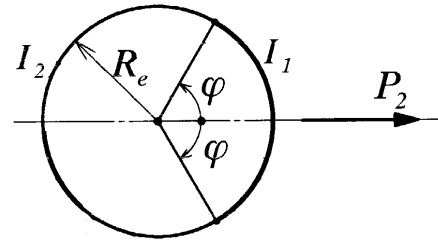


リングが存在する部分の有効断面



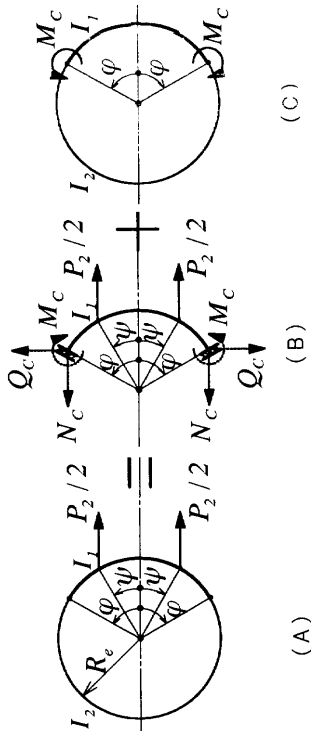
リングが存在しない部分の有効断面

【図 3 4】



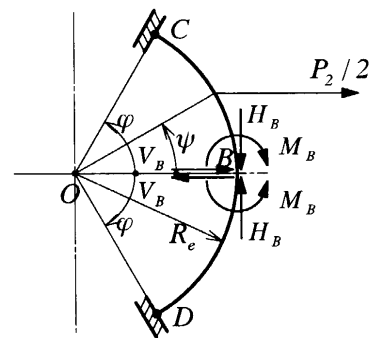
断面性能が変化するアーチ／リング骨組

【図 3 5】



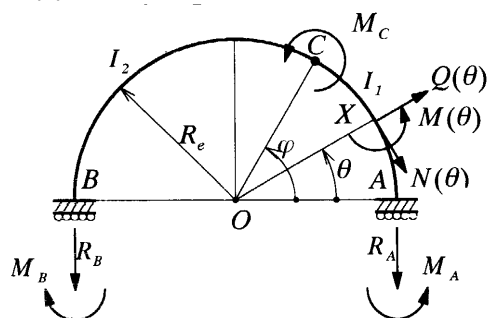
部分リングで単方向荷重を受ける場合の解法

【図 3 6】



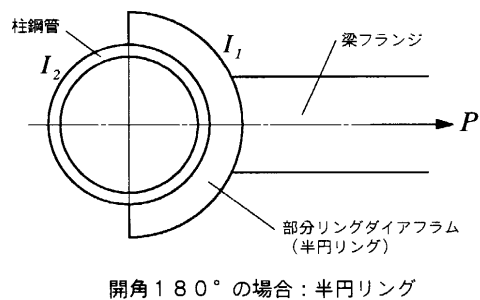
一点集中荷重が作用する固定端アーチ

【 図 3 7 】

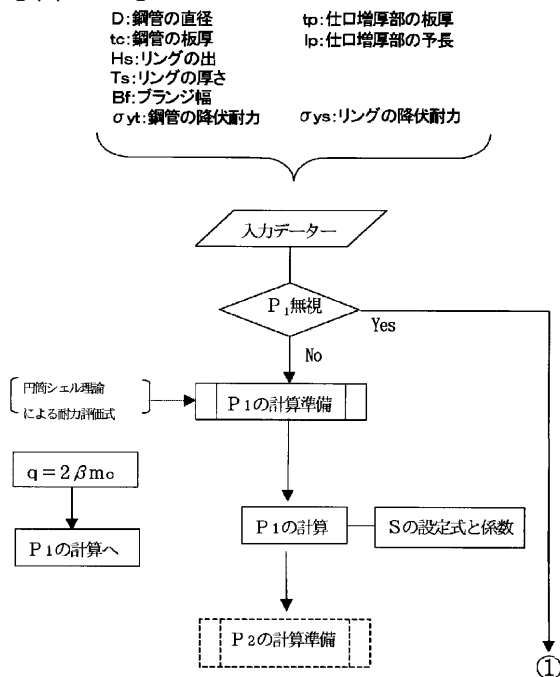


曲げモーメント作用点で剛性が変化する半円リング

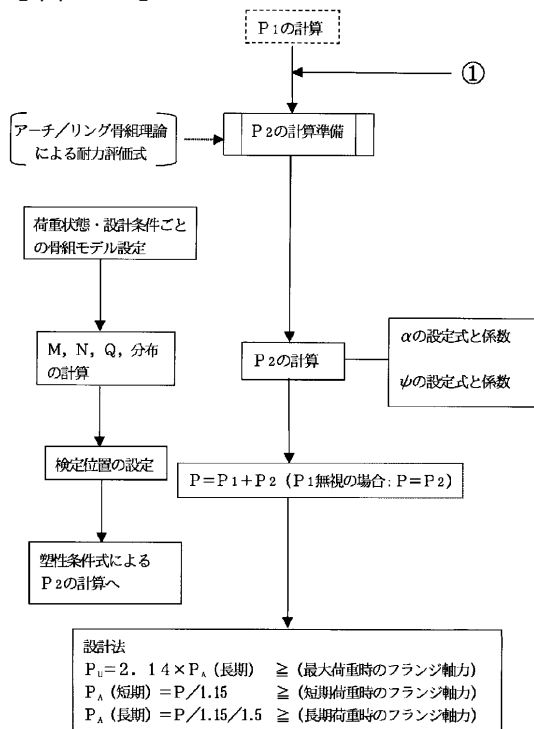
【 図 3 8 】



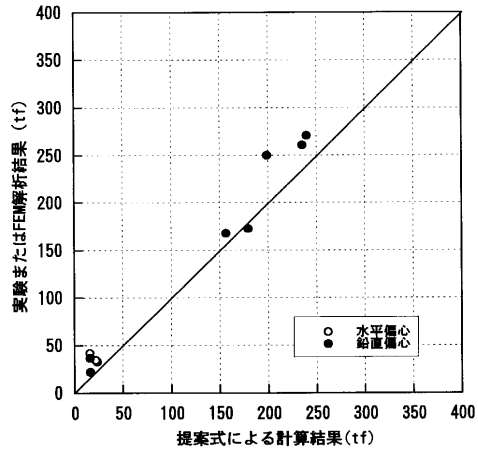
【 図 3 9 】



【 ㄨ 4 0 】



【図 4 1】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 中村 信行  
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内
- (72)発明者 宮尾 俊明  
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内
- (72)発明者 高木 潤一  
東京都千代田区丸の内一丁目1番2号 日本鋼管株式会社内

審査官 新田 亮二

- (56)参考文献 特開平08-035923(JP,A)  
特開平06-101269(JP,A)  
特開平01-169039(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

E04B 1/30  
E04B 1/00  
E04B 1/24  
G06F 17/50