

数値解析 パネルゾーン 荷重 - 変形関係
円形鋼管 複合応力

1. 序 本報では円形断面柱・梁接合部パネルの力学モデルを提案する．複合応力下の応力度 - 歪度関係モデルを用いることで変動軸力に対応できることが本解析モデルの特徴である．また，解析結果と実験結果^[1]を比較する．

2. 複合応力下における応力度 - 歪度関係モデル 複合応力下における応力度 - 歪度関係モデルにこの提案したモデル^[2]（以下辻モデルと称す）を用いる．このモデルの特徴は以下の2点である．(I). 移動硬化と等方硬化の組合せ硬化モデルである．(II). Bauschinger 効果を考慮する．Bauschinger 効果は二要素A,B を直列に結合して，Tri-linear で表現される（図1参照）．以下右添字A,B でそれぞれの要素を表す．辻モデルの復元力特性を決定するパラメータは降伏応力度 σ_y ・歪硬化係数 μ と，要素A,B の降伏応力度 $\bar{\sigma}_{0A}, \bar{\sigma}_{0B}$ ・歪硬化係数 μ_A, μ_B ・全歪硬化に占める等方硬化の割合を示す変数 β_A, β_B である．これらのパラメータは，単調一軸引張試験より得られた鋼材の降伏応力度 σ_y （Round-house 型の応力度 - 歪度関係では 0.2 % offset 値）・最大応力度 σ_b ・降伏歪度 ε_y ・一様歪度 ε_b を用いて次式で与えられる．

$$\mu = \frac{\sigma_b - \sigma_y}{(\xi \varepsilon_b - \varepsilon_y) E} \quad (1)$$

$$\bar{\sigma}_{0A} = \sigma_y \quad \bar{\sigma}_{0B} = 0.75 \sigma_y \quad (2), (3)$$

$$\mu_A = 5 \mu / (1 - 5 \mu) \quad (4)$$

$$\mu_B = 5 \mu / (9 + 5 \mu) \quad (5)$$

$$\beta_A = \frac{1}{\sigma_y - \sigma_b} (\sigma - \sigma_b) \quad (6)$$

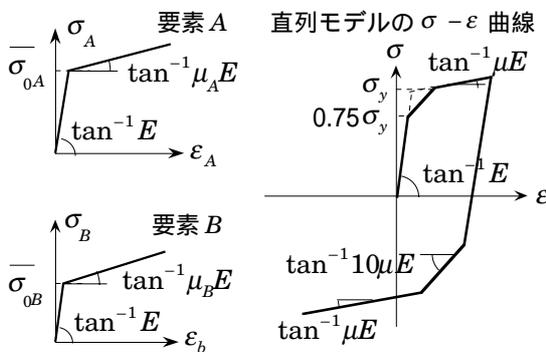


図1 直列モデル

$$\beta_B = 0.3 \quad (7)$$

$$\xi = 0.5 \quad (8)$$

(6) 式中の σ は降伏曲面の大きさを規定する変数であり，等方硬化にともなって大きくなる値^[3]である．

3. 柱・梁接合部パネル解析モデル 図2に接合部パネルの解析モデルを示す．対称性を考慮して鋼管断面の1/4の部分を考える．鋼管外径は D ，鋼管厚は t ，パネルせいは h である．鋼管断面1/4を n 個に等分割し， n 枚の平板要素に置換する．各要素内は一様応力場であり，図2に示す応力が作用する．要素 i の応力度・歪度ベクトルを以下のように定義する．

$$\{\sigma_i\} = \{\sigma_{Xi} \ \sigma_{Yi} \ \tau_{XYi}\}^T \quad \{\varepsilon_i\} = \{\varepsilon_{Xi} \ \varepsilon_{Yi} \ \gamma_{XYi}\}^T$$

各板要素は置換する鋼管断面の位置に応じて，図2に示すようにせん断力・軸力方向から一定角度傾いて配置される．要素 i に作用する荷重ベクトルとそれに対応する変位ベクトルを以下のように定義する．

$$\{P_i\} = \{P_{Xi} \ P_{Yi} \ M_{XYi}\}^T \quad \{u_i\} = \{u_{Xi} \ u_{Yi} \ \theta_{XYi}\}^T$$

$$\text{ただし, } M_{XYi} = Q_i h$$

パネルモデル全体に作用する荷重ベクトルとそれに対応する変位ベクトルを以下のように定義する．

$$\{P\} = \{P_X \ P_Y \ M_{XY}\}^T \quad \{u\} = \{u_X \ u_Y \ \theta_{XY}\}^T$$

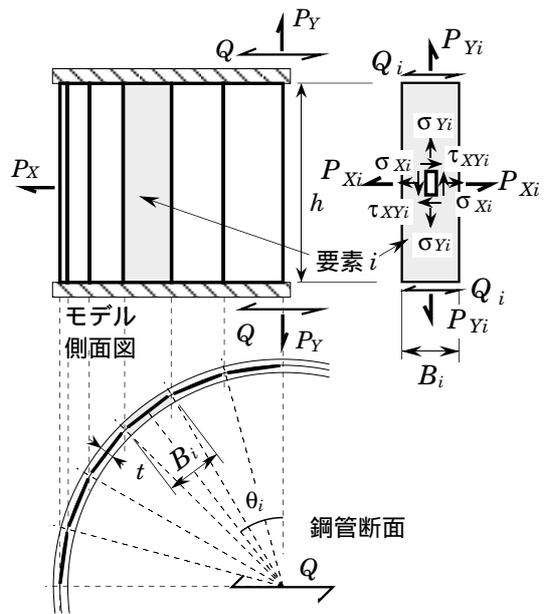


図2 パネル解析モデル

ただし, $M_{XY} = Qh$

要素 i における応力度ベクトルと歪度ベクトルの関係は
辻モデルによって定義され, 次式によって表される.

$$\{\sigma_i\} = [{}_sK_i] \{\varepsilon_i\} \quad [{}_sK_i] = [{}_sC_i]^{-1} \quad (9)$$

ただし, $[{}_sK_i]$ は辻モデルにより得られる要素 i の要素剛性マトリックスで, $[{}_sC_i]$ は要素柔性マトリックスである^[2]. 要素 i の歪度増分ベクトルと変位増分ベクトルの適合条件は次式で表される.

$$\{d\varepsilon_i\} = [T_i] \{du_i\} \quad [T_i] = \begin{bmatrix} 1/B_i & 0 & 0 \\ 0 & 1/h & 0 \\ 0 & 0 & \cos \theta_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

ここで, B_i は要素 i の幅である. また, 荷重増分 - 応力度増分関係は次式で表される.

$$\{dP_i\} = B_i h t [T_i] \{d\sigma_i\} \quad (11)$$

(10), (11) 式を (9) 式に代入するとパネルの剛性方程式が以下のように得られる.

$$\{dP\} = \sum [K_i] \{du\} \quad (12)$$

ただし, $[K_i] = B_i h t [T_i]^T [{}_sK_i] [T_i]$

4. 解析結果 文献 1 の試験体と荷重方法を図 3 に示す. 試験体一覧を表 1 に示す. 試験体は 216.3×8.2 の円形断面鋼管の上部と下部にエンドプレートを溶接したものである. 表中の素材のうち STK490SR は STK490 の残留応力を除去したものである. 荷重は一定軸力 N を導入後, 繰返しせん断荷重する. 解析では鋼管断面 $1/4$ を 4 分割し, 4 枚のウェブ要素に置換する.

図 4 にパネル試験体の解析結果と実験結果を比較した図を示す. 縦軸はせん断力 Q , 横軸はせん断変形角である. 耐力について解析と実験は良く一致している. 剛

表 1 試験体一覧

試験体	素材	σ_y t/cm ²	σ_b t/cm ²	ε_y $\times 10^{-3}$	ε_b $\times 10^{-3}$	D mm	t mm	h mm	N ton
C0150	STK	3.34	4.21	3.54	155	216.2	7.90	300	0
C0156	400								104
C9150	STK	4.07	5.03	3.94	126	217.0	7.78		0
C9156	490								120
CS150	STK	4.29	5.10	4.04	131	216.4	7.80		0
CS156	490SR								131

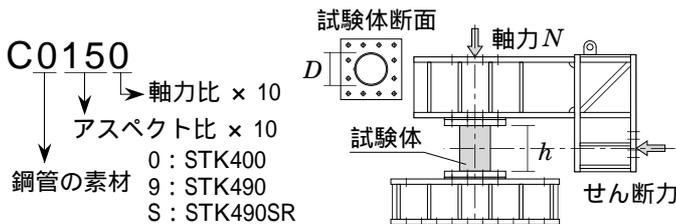


図 3 試験体と荷重方法

性については, 本解析モデルでは曲げ変形を考慮していないため解析結果の方が高くなっている. この解析モデルは局部座屈を考慮していないため, 局部座屈により耐力が低下し始める最終ループのあたりで実験より解析の方が耐力が高くなっている. 図 6 に軸方向歪 - せん断変形角関係を示す. 縦軸は軸方向歪 ε_v , 横軸はせん断変形角 γ である. 解析結果は実験結果と同様にせん断繰返し荷重が進行するとともに軸方向歪が大きくなるのがわかる.

5. 結論 本報では複合応力下での応力度 - 歪度関係モデルに辻の提案したモデルを用いて, 円形鋼管パネルの応答解析モデルを提案した. 解析結果は実験結果と良く対応した.

参考文献

- 井上一朗, 桑原進, 勝井達也, 池澤弘之: 円形断面柱・梁接合部パネルの力学性状 (その 1, その 2), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8
- 山田稔, 辻文三: 鋼材の応力 - 歪関係に関する研究 (I: 等方 + 移動硬化モデル), 日本建築学会論文報告集, 第207号 1978.8
- 井上一朗, 多田元英, 桑原進: 角形断面柱・梁接合部パネルの力学モデル, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1995.8

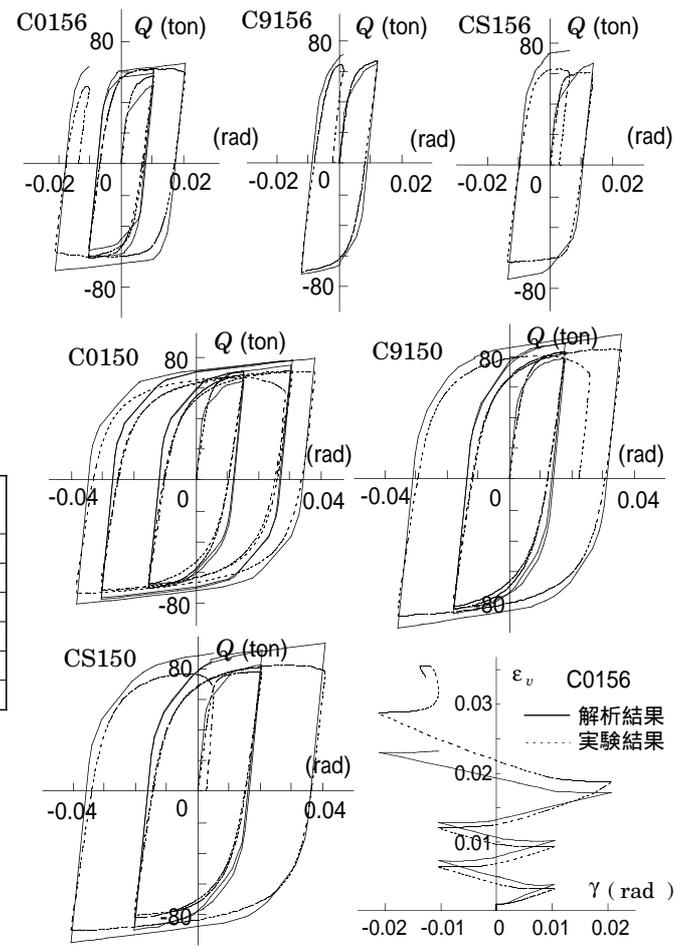


図 4 パネル部分試験体解析結果 図 5 鉛直歪 - 変形角関係