

円形断面柱・梁接合部パネルの力学モデル

正会員 勝井達也*1
 同 桑原 進*1
 同 井上一朗*1

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．このモデルは複合応力下の応力度 - 歪度関係モデルを用いているため，変動軸力にも対応できることが特徴である．また，以前におこなった円形断面柱・梁接合部パネルの繰返しせん断載荷実験結果^[1]と解析結果を比較し，検討する．

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 - 歪度関係モデルに辻の提案したモデル^[2]（以下辻モデルと呼ぶ）を用いる．このモデルの特徴として次の三点が挙げられる．

- I. 複合応力下での応力度 - 歪度関係である．
- II. 移動硬化と等方硬化の組合せ硬化モデルである．
- III. バウシinger効果を考慮する．

バウシinger効果は，変数値の異なる二つの要素を直列に結合してTri-linearで表現される（図1参照）．結合する二要素をA,Bとし，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 を用いて次式で得られる．

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

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

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

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

$$\beta_A = \frac{1}{\sigma_y - \sigma_b} (\bar{\sigma} - \sigma_b) \quad (\text{図2参照}) \quad (6)$$

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

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

(6) 式中の $\bar{\sigma}$ 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3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 枚の平面要素に置換する．各要素内は一様応力場であり，図3に示す応力場を仮定する．要素 i の応力度・歪度ベクトルを以下のように定義する．

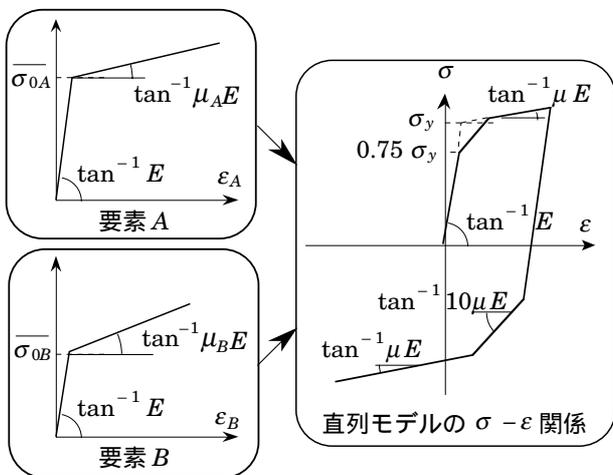


図1 直列モデル

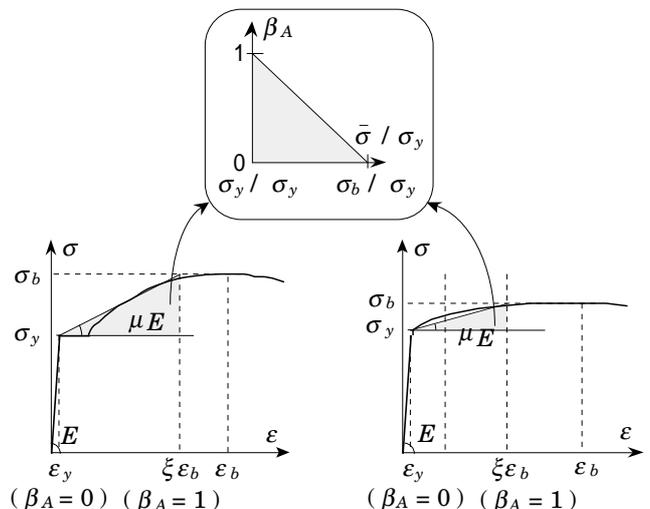


図2 歪硬化係数の設定

$\{\sigma_i\} = \{\sigma_{Xi} \ \sigma_{Yi} \ \tau_{XYi}\}^T$ $\{\varepsilon_i\} = \{\varepsilon_{Xi} \ \varepsilon_{Yi} \ \gamma_{XYi}\}^T$
 板要素の応力度 - 歪度関係には2節で紹介した辻モデルを用いる。各板要素は置換する鋼管断面の位置に応じて、図3に示すようにせん断力載荷方向から一定角度傾いて配置される。

図3に示す要素*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。

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

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。

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

ただし、 $M_{XY} = Q h$

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。

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

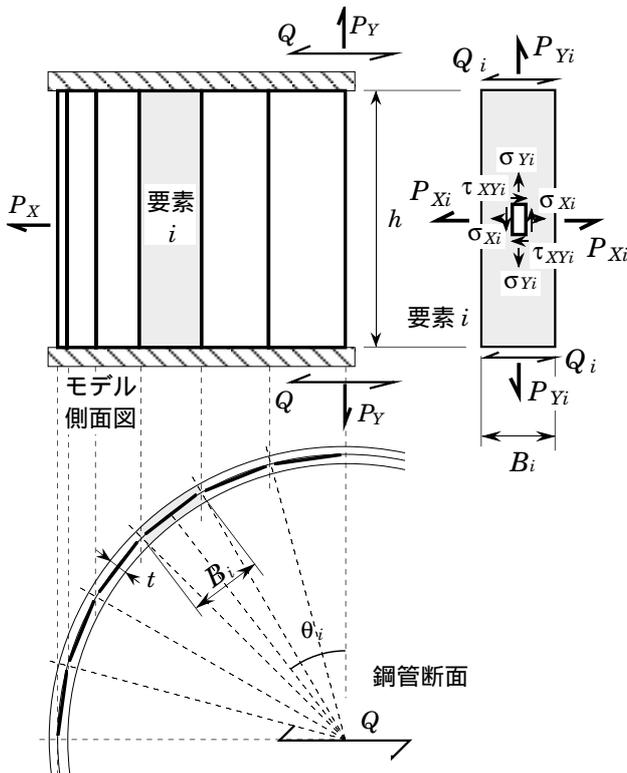


図3 パネル解析モデル

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. 解析結果と実験結果の比較

文献1の試験体と載荷方法を図4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。試験体の素材の機械的性質と解析変数値を表2に示す。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。また、素材の一軸単調引張試験より得られた応力度 - 歪度関係と解析で用いる応力度 - 歪度関係を図5に示す。載荷は一定軸力を導入後、繰返しせん断載荷する。

表1 試験体一覧

試験体	素材	D (mm)	t (mm)	h (mm)	N (ton)
C0100	STK400	216.2	7.90	200	0
C0106					104
C0150				300	0
C0153					52
C0156					104
C9100					STK490
C9106	120				
C9150	300	0			
C9153		60			
C9156		120			
CS100		STK490SR	216.4	7.80	
CS106	131				
CS150	300				0
CS153					66
CS156					131

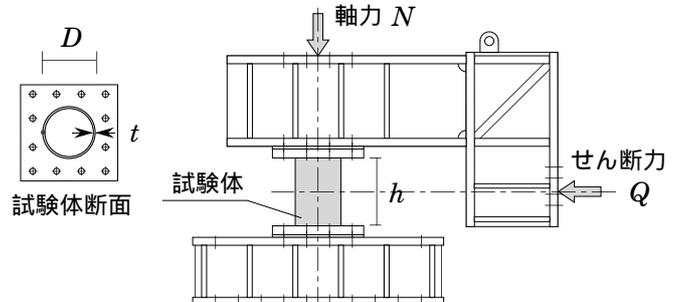


図4 パネル部分せん断載荷実験の載荷方法

表2 素材の機械的性質と解析パラメータ

素材名	σ_y t/cm ²	σ_b t/cm ²	ε_y ×10 ⁻³	ε_b ×10 ⁻³	σ_{yA} t/cm ²	σ_{yB} t/cm ²	μ %	YR
STK400	3.34	4.21	3.54	155.	2.51	3.34	0.56	0.79
STK490	4.07	5.03	3.94	126.	3.05	4.07	0.77	0.81
STK490SR	4.29	5.10	4.04	131.	3.22	4.29	0.63	0.84

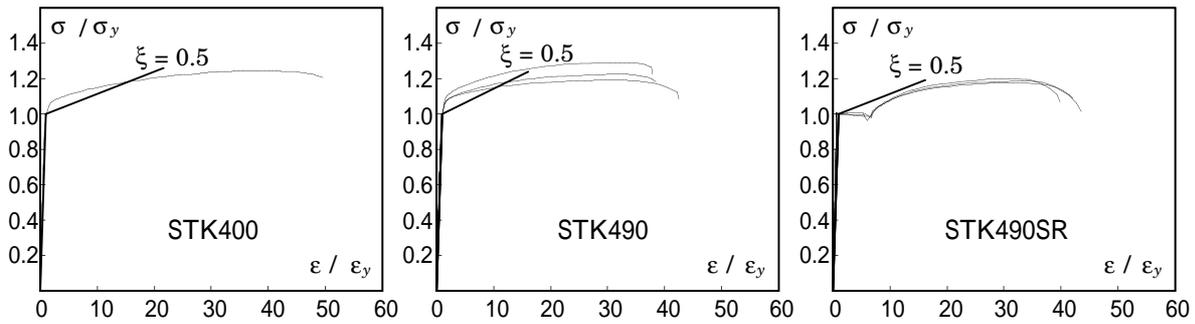


図5 一軸引張試験の応力度 - 歪度関係と解析用応力度 - 歪度関係

まず、鋼管断面の分割数を決定するために分割数をパラメーターにして解析する。図6に解析結果を示す。C0150試験体とC0156試験体についてそれぞれ鋼管断面を1/4を2分割、4分割、10分割と分割数を変えて解析した結果である。分割数を2,4,10と変えても解析で得られる履歴曲線に大きな違いは見られなかった。以降の解析では鋼管断面1/4を4分割し、4枚の板要素に置換する。

図7にパネル部分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、横軸はせん断変形角である。耐力については解析と実験は良く一致している。剛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ている試験体については実験より解析の方が

耐力が高くなっている。図8に軸方向歪 - せん断変形角関係を示す。図の縦軸 ϵ_v は軸方向歪で、横軸 γ はせん断変形角である。解析結果は実験結果と同様にせん断繰返し载荷が進行するとともに軸方向歪が大きくなること 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。得られた結果を以下に要約する。

- ・解析モデルの要素分割数は2分割とする。
- ・解析結果は実験結果の耐力は良く対応する。
- ・軸力が作用する解析対象では軸方向歪が累積する。この現象と軸方向歪の値は実験結果と良く対応する。

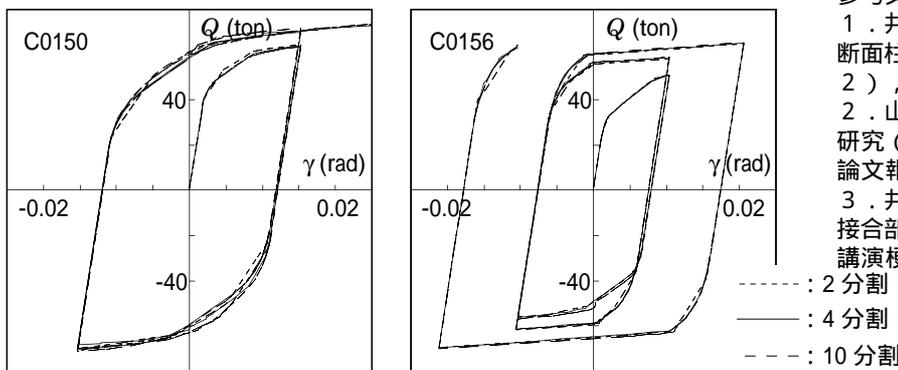


図6 分割数を変化させて解析した結果

参考文献

1. 井上一郎, 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
2. 山田稔, 辻文三: 鋼材の応力 - 歪関係に関する研究(1: 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
3. 井上一郎, 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

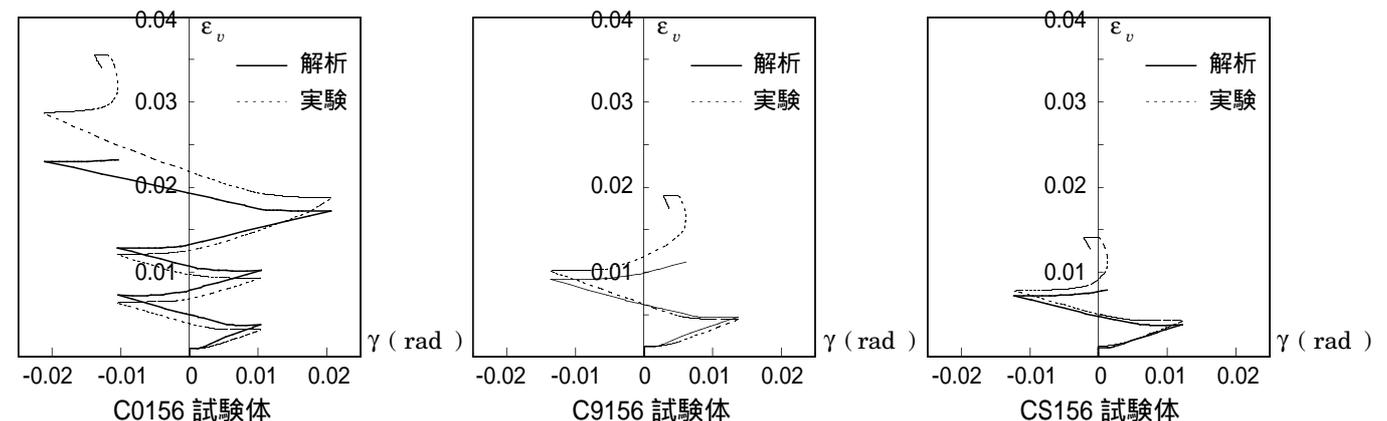


図8 軸方向歪 - せん断変形角関係

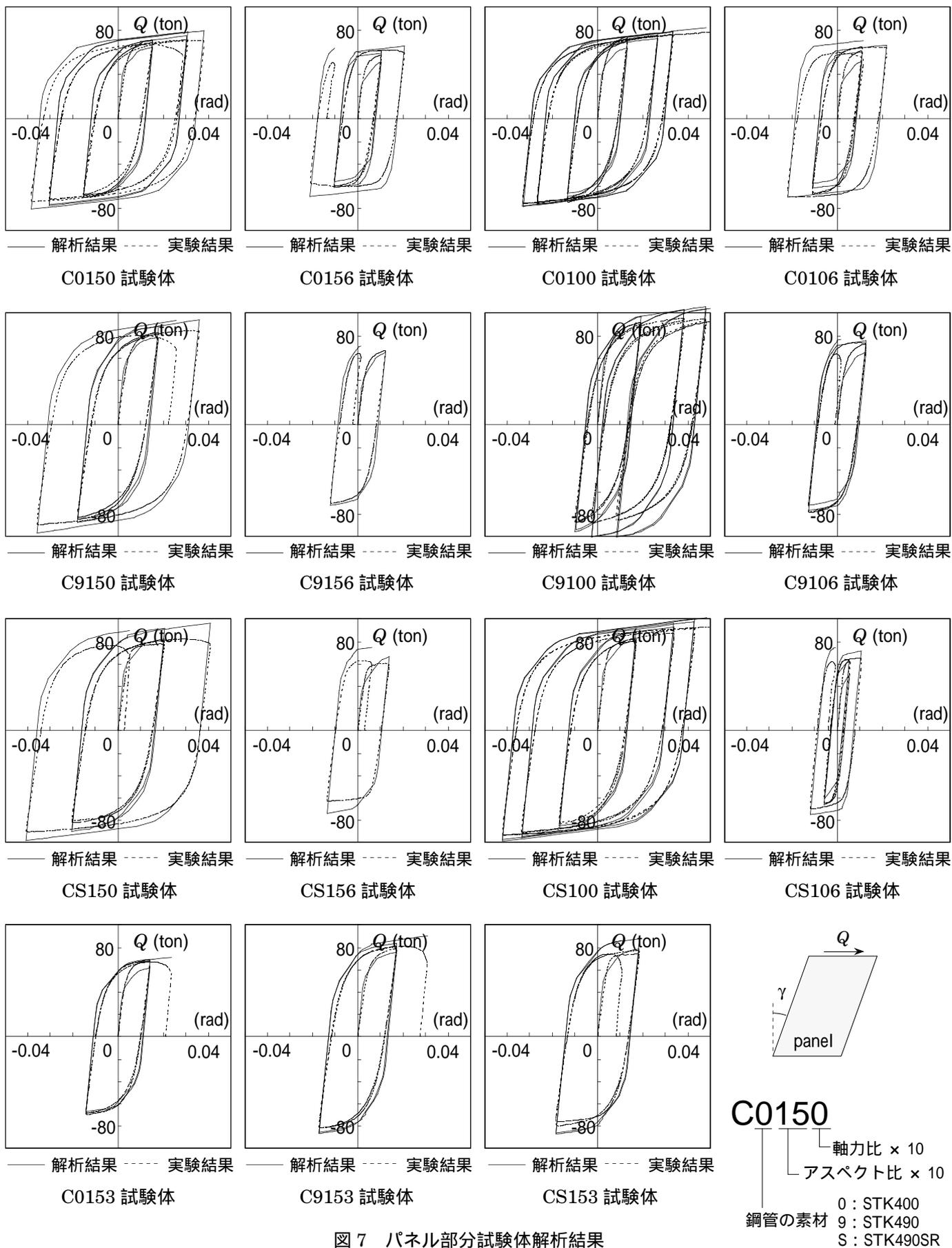


図7 パネル部分試験体解析結果