

論文 T 字形鉄骨を内蔵する SRC 柱の曲げ破壊性状

松田聖一^{*1}・筒井茂行^{*2}・馬場 望^{*3}・西村泰志^{*4}

要旨：本研究は，非対称鉄骨断面を内蔵する SRC 柱の曲げ破壊性状を明らかにするために，T 字形鉄骨を内蔵する SRC 柱に着目して，内蔵される鉄骨断面に対する載荷方向の相違によって，破壊性状に及ぼす影響を実験的に検討した。その結果，内蔵される鉄骨断面の載荷方向によって，最大耐力が大きく影響されること，また，載荷方向と中立軸の方向が異なるために，面外方向に変形すること，また，柱脚部にほぼ断面せいの長さの塑性ヒンジが形成されることを明らかにした。

キーワード： SRC 柱，T 字形鉄骨，引張軸力，曲げ破壊性状，変形状

1. 序

主軸に対して対称な十字形鉄骨を内蔵する SRC 柱については，実験的，理論的研究が行われ，その曲げおよびせん断破壊性状は明らかになってきているが，非対称断面を内蔵する SRC 柱については，研究例も少なく，不明な点が多い。そこで，本研究は，T 字形鉄骨を内蔵する SRC 柱を対象として，内蔵される鉄骨断面に対する載荷方向によって曲げ破壊性状がどのように影響されるか実験的に検討し，非対称断面を内蔵する SRC 柱の合理的な設計法を確立するための基礎資料を求めようとするものである。

2. 実験

2.1 実験計画

図 2.1.1 に試験体の形状寸法，断面および配筋詳細を示す。試験体は実大の 1/3 程度の模型を想定している。柱部分の長さは 1000mm，250mm × 250mm の正方形断面である。内蔵された鉄骨は，H-175 × 60 × 6 × 9 に，フランジ，ウェブを同じ寸法とした，せいが 142mm の T 形鋼を溶接したものを使用した。主筋は D13 を隅角部に 8 本，せん断補強筋は 4.5f のフープ筋を 50mm 間隔で配

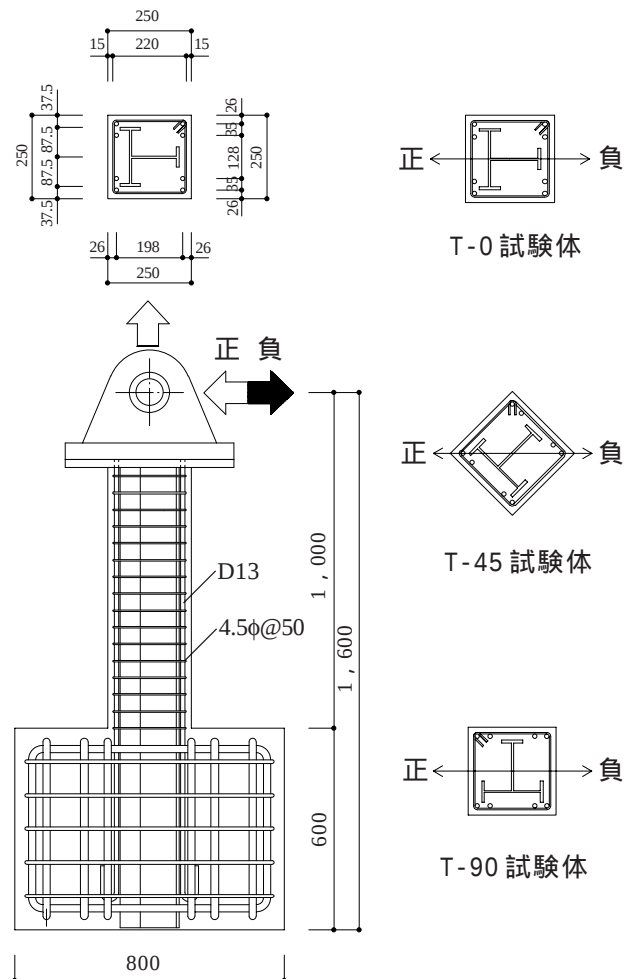


図 2.1.1 試験体詳細図

*1 大阪工業大学大学院 博士前期課程 (正会員)

*2 (株)日本設計 システム企画室 (正会員)

*3 大阪工業大学 工学部建築学科講師 工博 (正会員)

*4 大阪工業大学 工学部建築学科教授 工博 (正会員)

筋した。せん断補強筋比は0.25%である。実験変数は載荷方向である。なお ,表2.1.1に使用材料の力学的特性を示す。

2.2 載荷方法

載荷方法は ,図2.1.1に示すように一定の引張軸力 ($n=T/T_0=0.15$, T :引張軸力 , T_0 :断面の引張耐力)を載荷した後に ,層間変形角1/100 ,1/50 ,1/33 ,1/20rad.で正負1回の漸増繰り返し載荷を行った。図2.2.1に実験装置の概要を示す。なお ,本実験は ,作用軸力として引張軸力を負荷しているが ,次年度には圧縮力を負荷する実験を実施する予定である。

2.3 測定方法

図2.2.1に示すように ,試験体柱部分に負荷された水平荷重および作用軸力の測定は ,載荷用油圧ジャッキ先端に設置されたロードセルによって行われた。また ,図2.3.1に示すように ,柱脚部柱材の相対変形を測定するために ,柱せいD

の0.5Dおよび1.0Dの位置に変位計(VALT,VART,VALB,VARB,VBTV,BB,VCT,VCB,VDT,VDB)を設置した。柱頭のピン位置の水平(HRT,HRB,HLT,HLB)および鉛直方向(VL,VR)の変位を測定するため ,変位計を設置した。また ,ピン治具下面位置で ,面外方向の変位を測定するため,固定部から700mmの高さ位置に変位計(HA,HB,HC,HD)を設置した。

3. 実験結果と考察

3.1 ひび割れおよび破壊状況

写真3.1.1に0.01rad. ,0.03rad. ,最終破壊時のひび割れ状況 ,表3.3.1にひび割れ発生荷重を示す。いずれの試験体も ,まず引張軸力負荷時に引張軸力によるひび割れが水平方向に発生した。その後 ,水平荷重の負荷に伴い ,曲げによる新たなひび割れの発生および ,軸力によって生じたひび割れの幅が大きくなった。次いで ,鉛直方向に縦ひび割れが発生した。層間変形角0.03rad.付

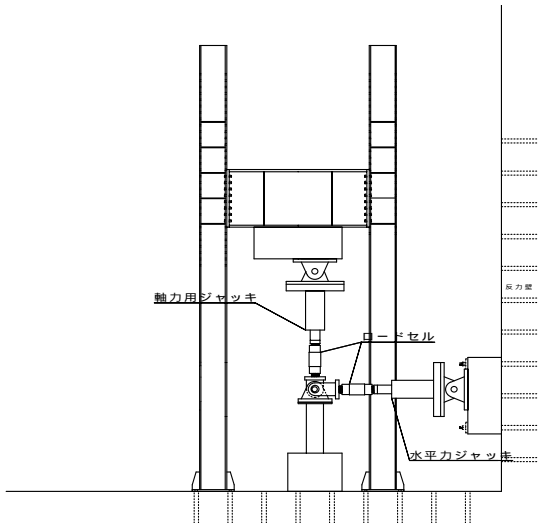


図 2.2.1 実験装置

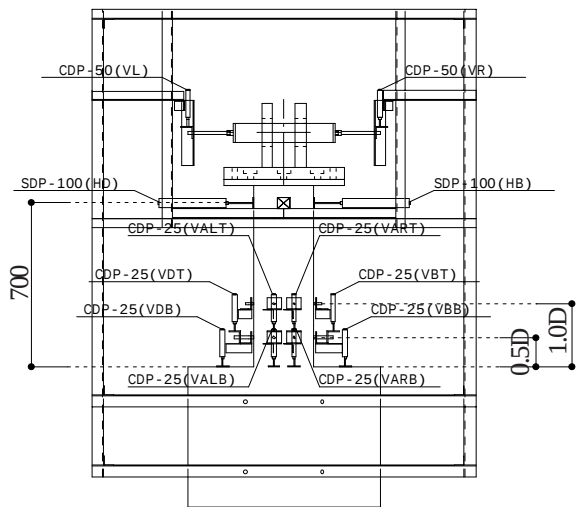


図 2.3.1 変位測定位置

表2.1.1 使用材料の力学的特性

		降伏応力度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
鉄骨	フランジ PL-9	339	531	2.02×10 ⁵
	ウェブ PL-6	472	598	2.05×10 ⁵
主筋	D13	354	497	1.87×10 ⁵
せん断補強筋	4.5φ	470	518	1.91×10 ⁵
		圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (N/mm ²)
コンクリート		27.7	2.76	2.31×10 ⁴

表 3.1.1 ひび割れ発生荷重

試験体名		曲げひび割れ Q_f		縦ひび割れ Q_{sh}		柱脚部圧壊 Q_{cr}	
		正	負	正	負	正	負
T-0	(kN)	21.09	40.21	98.07	64.24	98.07	174.07
	(rad.)	0.002	0.001	0.019	0.002	0.019	0.018
T-45	(kN)	6.37	27.46	89.24	101.01	99.05	125.04
	(rad.)	0.001	0.001	0.012	0.001	0.015	0.016
T-90	(kN)	21.09	18.63	75.02	104.97	150.54	83.85
	(rad.)	0.002	0.001	0.008	0.016	0.030	0.010

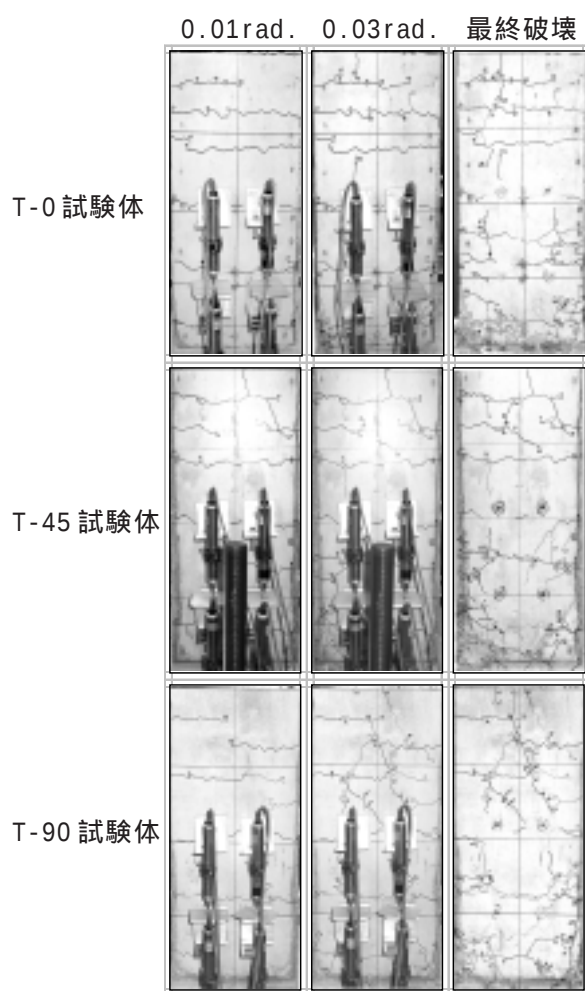


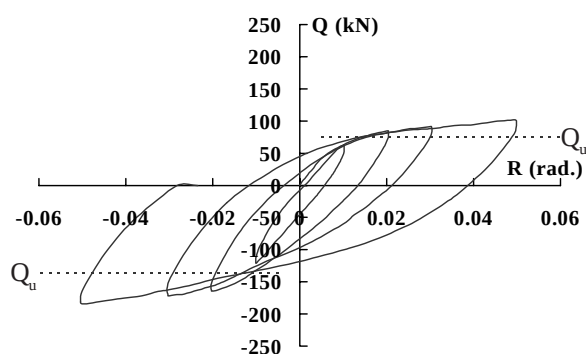
写真3.1.1 ひび割れおよび最終破壊状況

近では、圧縮側の柱脚部外縁に圧壊がみられた。その後、いずれの試験体においても、縦ひび割れの発生や曲げひび割れの幅がさらに大きくなるなど、ひび割れの進展が著しくなった。0.05rad.付近では圧縮側の柱脚部外縁で圧壊によるコンクリートの剥離が観察された。各試験体のひび割れ状況を比較すると、T-45およびT-90試験体は曲げ圧縮を受ける柱脚部での圧壊が顕著で

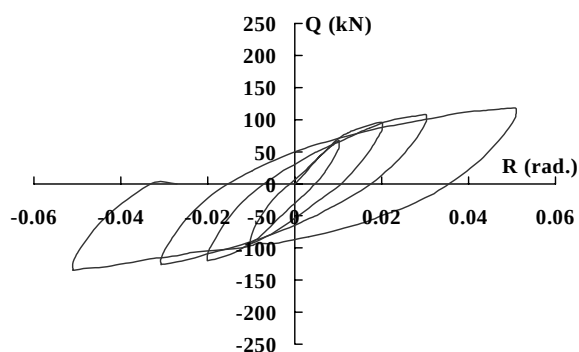
あったのに対し、T-0試験体では鋼材量の違いで圧壊の状況に相違がみられた。T-0試験体の鋼材量の少ない面には圧壊によるコンクリートの剥離がみられるが、鋼材量の多い面にはわずかに圧壊がみとめられる程度で、コンクリートの剥離はみられなかった。なお、T-45試験体は、柱脚部の圧壊の程度が最も顕著であった。

3.2 履歴曲線

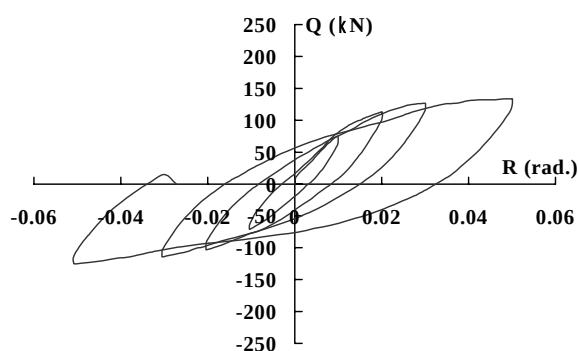
図3.2.1に各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は作用せん断力 Q (kN)、横軸は層間変形角 R (rad.)である。作用せん断力 Q は、負荷軸力の影響を差し引いて求められている。なお、 Q_u は、一般化累加強度式によって求められた終局曲げ耐力から求められた荷重である。T-0、T-45、T-90各試験体ともエネルギー吸収能力に優れた紡錘形の履歴曲線を示している。層間変形角0.03rad.振幅時における0.02rad.の耐力が、0.02rad.振幅時における耐力よりも低下しているのは、柱脚部のコンクリートが圧壊し剛性が低下したためである。また0.05rad.振幅時における0.03rad.の耐力の低下が、0.03rad.振幅時における0.02rad.の耐力の低下よりも大きくなっている。これは、0.03rad.振幅時に柱脚部で圧壊したコンクリートが剥離するまでに至り、0.03rad.振幅時よりもさらに剛性が低下したためである。T-45、T-90試験体は、正載荷および負載荷ともに剛性が低下しているが、T-0試験体は、正載荷においては剛性の低下は観察されない。このような結果が得られたのは、T-0試験体には正載荷時の圧縮力に抵抗する鋼材量が多く、コンクリートの圧壊がほとんど生じなかったためである。



T-0 試験体

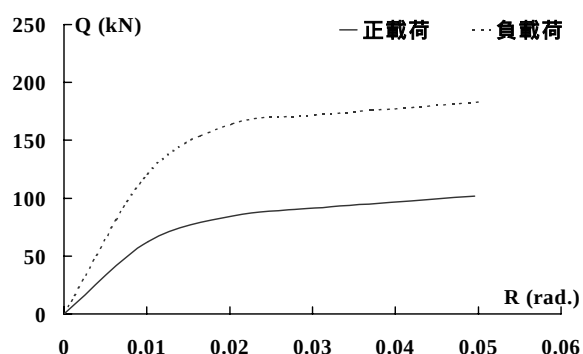


T-45 試験体

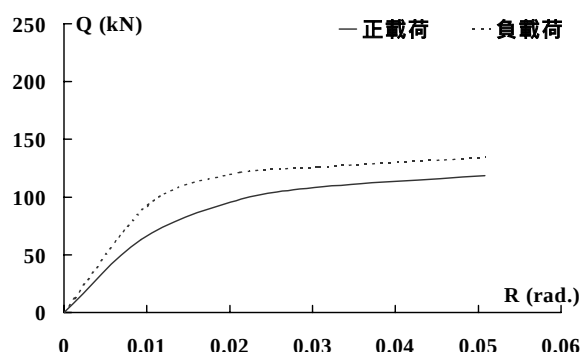


T-90 試験体

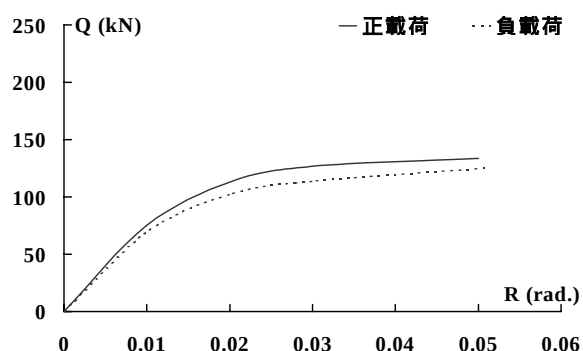
図 3.2.1 履歴曲線



T-0 試験体



T-45 試験体



T-90 試験体

図3.2.2 履歴曲線の包絡線

図3.2.2に各試験体の正載荷および負載荷時における包絡線を示す。縦軸は作用せん断力 Q (kN), 横軸は層間変形角 R (rad.) である。各試験体ごとの正載荷時と負載荷時の耐力を見てみると, T-0 試験体, T-45 試験体は負載荷時, T-90 試験体は正載荷時のほうが耐力が大きくなっている。また, T-45 試験体, T-90 試験体は正載荷時と負載荷時の耐力差がそれほどないのに対し, T-0 試験体は正載荷時と負載荷時の耐力差が大きくなっている。次に, 各試験体ごとの正載荷時と負載荷時の耐力を比較してみると, 正載荷時における耐力は, T-90 試験体が最も大きく, T-0 試

験体が最も小さい。負載荷時における耐力は, T-0 試験体が最も大きく, T-90 試験体が最も小さい。これは, 載荷方向により柱に内蔵される鉄骨および鉄筋断面が, 対称断面や非対称断面となり, 曲げに対して抵抗する鋼材の量が変化するためである。

3.3 柱の変形性状

ここでは, 曲げによる柱脚部の変形が, 柱の変形にどのような影響を及ぼすかについて検討する。図2.3.1より, 固定部から柱脚部の0.5Dに設置されている変位計までの位置を第一層, 0.5Dから1.0Dまでの変位計の位置を第二層, 残りの

部分を第三層とし、柱の変形をモデル化すると図3.3.1となる。図3.3.1より、柱の高さを h 、固定部から第一層までの距離を h_1 、第一層から第二層までの距離を h_2 、曲げモーメントによって生じる各層の柱の回転角を θ_1, θ_2 とすると、各層によって生じる柱頭の変形量 δ_1, δ_2 は、次式によって表される。

$$\delta_1 = (h - h_1) \cdot \theta_1 \quad (1)$$

$$\delta_2 = (h - h_1 - h_2) \cdot \theta_2 \quad (2)$$

各層の変形によって生じる層間変形角を R_1, R_2, R_3 とすると、図3.3.1より次式によって表される。

$$R_1 = \frac{\delta_1}{h} = \frac{h - h_1}{h} \cdot \theta_1 \quad (3)$$

$$R_2 = \frac{\delta_2}{h} = \frac{h - h_1 - h_2}{h} \cdot \theta_2 \quad (4)$$

$$R_3 = R - R_1 - R_2 \quad (5)$$

δ_1 : 第一層の変形により生じる柱頭の変形量

δ_2 : 第二層の変形により生じる柱頭の変形量

θ_1 : 曲げモーメントにより生じる第一層の柱の回転角

θ_2 : 曲げモーメントにより生じる第二層の柱の回転角

R_1 : 第一層の変形により生じる柱の層間変形角

R_2 : 第二層の変形により生じる柱の層間変形角

R_3 : 第三層の変形により生じる柱の層間変形角

以上のことから、各試験体について曲げによる柱の変形に対する各層の柱の変形の割合を算定すると、図3.3.2のような結果が得られる。図3.3.2を見ると、T-0、T-45、T90の各試験体とも、柱脚部第一層の変形によって、柱頭の変形の50%以上を占めている。また、載荷方向が変化することにより、柱脚部における変形状態も異なる。T-0試験体、T-90試験体においては、それほど差はないが、T-45試験体においては、他の試験体よりも10%から20%大きく変形していることがわかる。また、柱脚部第2層の変形は、柱頭の変形の10%から30%を占めている。このことから、柱

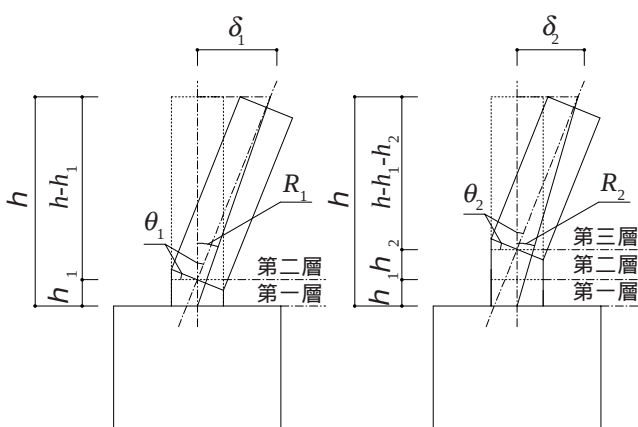


図3.3.1 柱の変形モデル

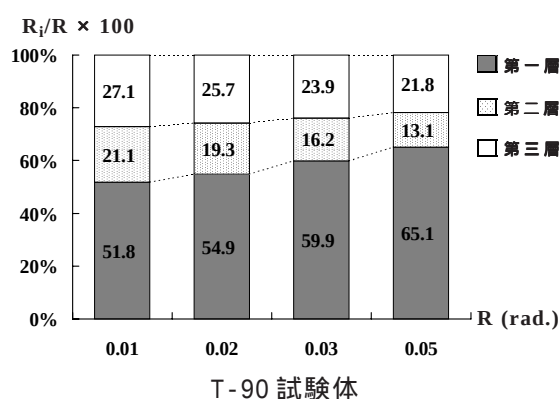
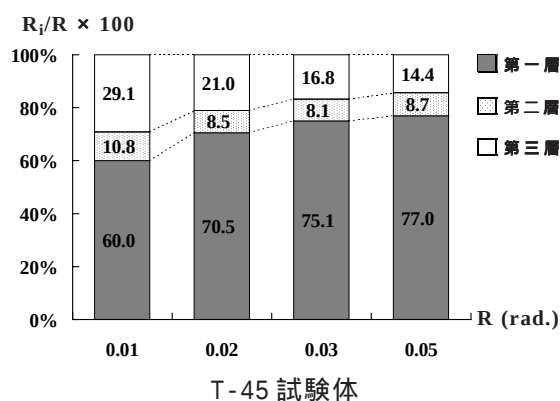
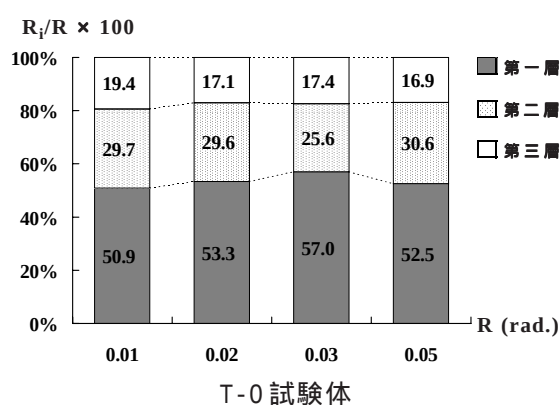
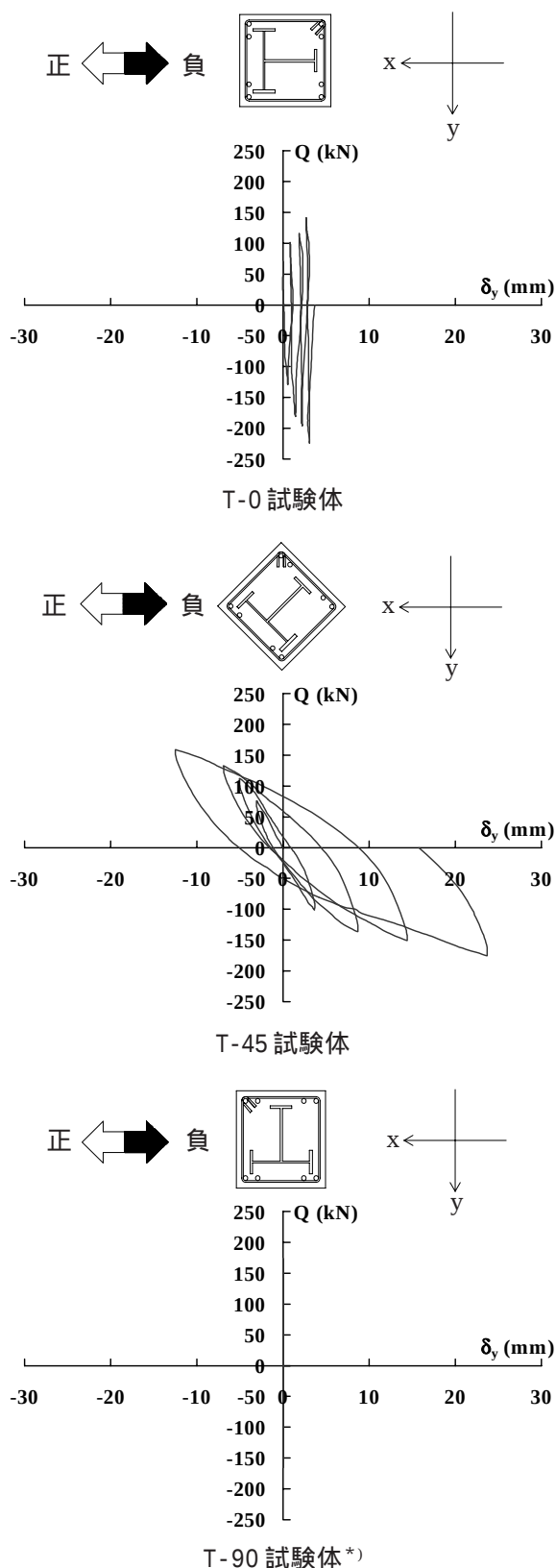


図3.3.2 正載荷時の柱の変形性状



*)比較の為に、T-0、T-45およびT-90試験体とも横軸は同じスケールで示されている。T-90試験体の変形は小さく、このスケールでは表示されない程小さい。

図3.3.3 面外方向の変形

の曲げ変形は、各試験体とも、柱脚での変形に大きく支配され、ほぼ断面せいの長さの塑性ヒンジが形成されることがわかる。

図3.3.3に各試験体の柱の面外方向の変位を示す。変形量は、T-0試験体およびT-90試験体においては、面に対して垂直にあてた変位計から算出している。T-45試験体は、面に対して45度に変位計があたっているため、水平および垂直成分に分けた状態で算出している。図上に示すy方向の向きを正とすると、T-0試験体は正方向に、T-90試験体は負方向に変形している。しかし、変形量は、T-0試験体もT-90試験体も大きくなく、T-90試験体についてはほとんど変形していない。T-45試験体については、正載荷時のときは負方向に、負載荷時のときは正方向に変形している。また、変形量においても、T-0試験体およびT-90試験体よりも大幅に変形していることがわかる。このことから、T-0試験体およびT-90試験体のように、T字形鉄骨に対してまっすぐに載荷している場合、面外方向への変形はあまり生じないが、T-45試験体のように、角度をつけて載荷している場合においては、大きな面外変形が生じるということがわかる。これは、T-45試験体は、載荷方向と中立軸の方向が一致しないことがその一因と考えられる。

4. 結語

T字形鉄骨を内蔵するSRC柱の曲げ破壊性状を実験的に検討した結果、以下に示すような結論が得られた。

- 1)非対称断面のT字形鉄骨を内蔵するSRC柱の終局曲げ耐力は、載荷方向に大きく依存する。
- 2)曲げによって生じる柱頭の変形は、柱脚部の断面せいの区間の変形によって支配される。
- 3)載荷方向と中立軸の方向が異なると、面外方向の変形が生じる。

なお、本年度は、引張軸力を受ける場合について検討したが、次年度は圧縮軸力を受ける場合について実験的に検討を行い、非対称鉄骨断面を有する断面の耐力および変形性状を簡便に求める手法を解析的に検討する予定である。