

論文

[2198] 軸力と2軸曲げを受けるSRC部材の曲げ変形能力の検討

上原 広*1・西村泰志*2・南 宏一*3

1. はじめに

十字形鋼を内蔵するSRC柱は、弱軸鉄骨要素を持つため、2軸曲げ時でも優れた曲げ変形能力を示すことが筆者らの実験によって示されている[1]。しかしながら、その理由は未だ定量的に明らかにされておらず、研究資料の蓄積はほとんどない。そこで、本報では、軸力と2軸曲げを受けるSRC部材が優れた曲げ変形能力を持つ理由を明らかにするため、その要因として、弱軸鉄骨要素の有無によるコアコンクリートの圧縮破壊性状の差に着目し、数値計算に基づいた検討を行った。

2. 数値計算の方法

2.1 検討変数

表-1に検討変数を示す。検討変数は3種類で、a) 内蔵鉄骨の断面形状として、十字形鋼、H形鋼の2種類、b) 載荷経路として、1主軸のみに載荷するもの(経路A)、2主軸同時に載荷(経路B)するものの2種類、c) フランジ内コンクリートの歪軟化の有無、である。フランジによるコンクリートの有効拘束面積は図-1と仮定した。なお、せん断補強筋の影響も重要な因子だが、内蔵される鉄骨断面の形状に起因しないので一定量と考えた。以上から、計8通りの検討変数の組み合わせが選択された。

2.2 計算方法

図-2に計算方法の概要を示す。部材を材端部の断面を含んだ塑性要素と非ヒンジ区間を線材置換した弾性要素に2分して行った。塑性要素は、断面のコンクリート、鋼材要素をファイバー要素に離散化した。コンクリート断面部分の分割数は20x20個である。各ファイバー要素は、原断面とその支配面積、断面2次モーメント、全塑性モーメントが等しく決められ、ヒンジ区間は1.5D(D:柱の断面成)と仮定した。なお、部材では曲げ変形のみが生じるものと仮定し、せん断変形は無視した。計算時には2主軸に強制水平変形を与え、同一変位振幅内

表-1 検討変数とその略記法

鉄骨断面形状	載荷経路	フランジ内コンクリートの歪軟化
十字形鋼(C)	1軸曲げ(A)	なし(1)
H形鋼(H)	8字載荷(B)	あり(0)

十字形鋼を内蔵し、8字載荷を受け、フランジ内コンクリートの歪軟化がない場合は、CB-1と表記される。

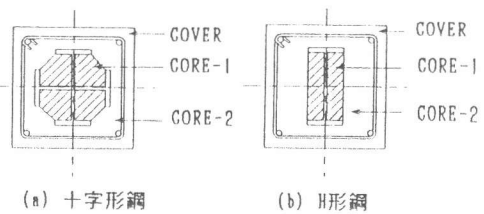


図-1 コンクリートの有効拘束面積

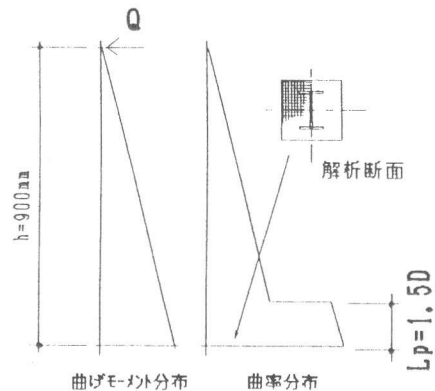


図-2 計算方法

*1 兵庫県立但馬技術大学校 建築工学科、 工修 (正会員)
 *2 大阪工業大学助教授 工学部建築学科、 工博 (正会員)
 *3 福山大学教授 工学部建築学科、 工博 (正会員)

載荷を行った。一定の軸力値は $N=0.4 \cdot Nuc$ (Nuc : 柱の終局圧縮耐力)である[2]。

2.3 材料特性

図-3に仮定した材料の応力ひずみ関係を示す。コンクリートはパラボラ直線式で表され、除荷

勾配は割線剛性に等しく、引張応力は無視した。フランジ内コンクリート部分 (CORE-1と略記)では、歪軟化が生じない場合、最大圧縮応力以後も一定応力が保持される。一方、歪軟化が生じる場合、

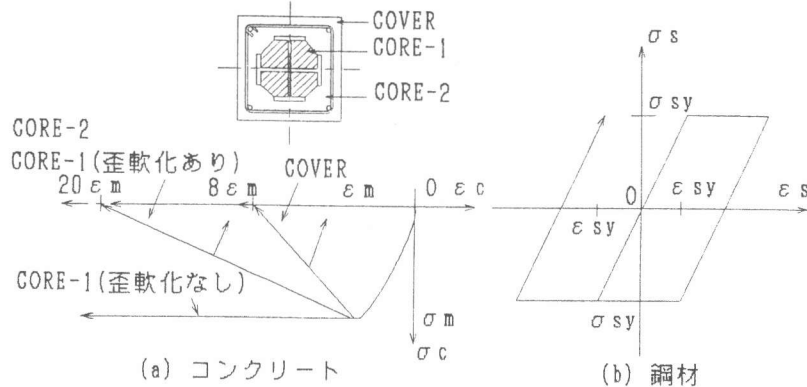


図-3 仮定した応力ひずみ関係

化が生じる場合、CORE-1の圧縮破壊特性はせん断補強筋のみに拘束されるコンクリート部分 (CORE-2)の圧縮破壊特性と等しい。なお、かぶりコンクリート部分 (COVER)は無拘束と仮定した。表-2に仮定されたコンクリートの諸元を示す。鋼材はバイリニアモデルで表され、ひずみ硬化、バウシinger効果は無視した。

表-2 仮定されたコンクリートの諸元

	σ_m (kgf/cm ²)	ϵ_m	ϵ_u
拘束 1 (CORE-1)	240	0.0162	$999 \cdot \epsilon_m$
拘束 2 (CORE-2)	240	0.0162	$20 \cdot \epsilon_m$
無拘束 (COVER)	240	0.0162	$8 \cdot \epsilon_m$

3. 数値計算例

3.1 試験体

図-4に検討対象としたSRC柱試験体の形状を示す[1]。試験体は片持ち柱形式で $b \times D=200\text{mm} \times 200\text{mm}$ の正方形断面を持つ。柱主筋は4-D10、せん断補強筋は 4.5ϕ 、十字形鋼の断面構成は $+125 \times 60 \times 6 \times 8$ 、コンクリートの設計基準強度は 240kgf/cm^2 である。表-3に材料の力学的性質を示す。

3.2 荷重変形関係

図-5に実験値と計算値の比較を示す。縦軸は作用せん断力 Q_y (tf)、横軸は相対部材角 R_y (rad.)である。実験値は履歴曲線、計算値は包絡線で表される。図-6に履歴曲線の計算値を示す。実験値との比較から、フランジによってコアコンクリートが拘束されると考えた場合、その曲げ変形能力は何れも妥当に評価されることが分かる。なお、拘束されたフランジ内コンクリートは部材耐力の劣化を抑えるが、最大耐力の向上に貢献しない。また、拘束されたフラン

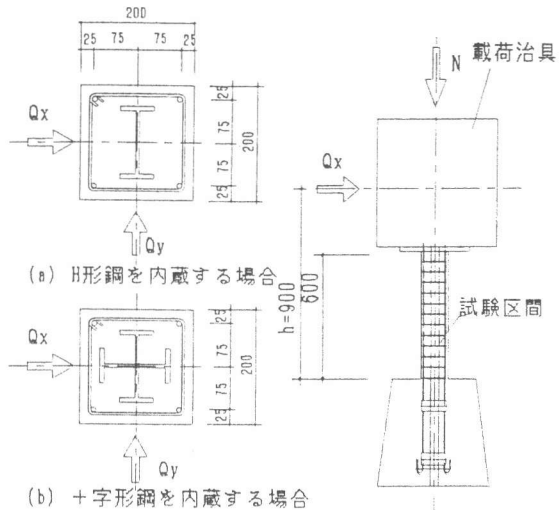


図-4 試験体の形状寸法

表-3(a) 鋼材の力学的特性

	σ_y (kgf/cm ²)	ϵ_y ($\times 10^{-6}$)	σ_u (kgf/cm ²)
t=8mm (フランジ)	3016	1452	4193
t=6mm (ウェブ)	2986	1440	4090
D10	3425	1850	5108
4.5φ	3317	1874	4643

表-3(b) コンクリートの力学的特性

σ_m (kgf/cm ²)	σ_t (kgf/cm ²)	σ_t / σ_m
242.7	19.1	0.079

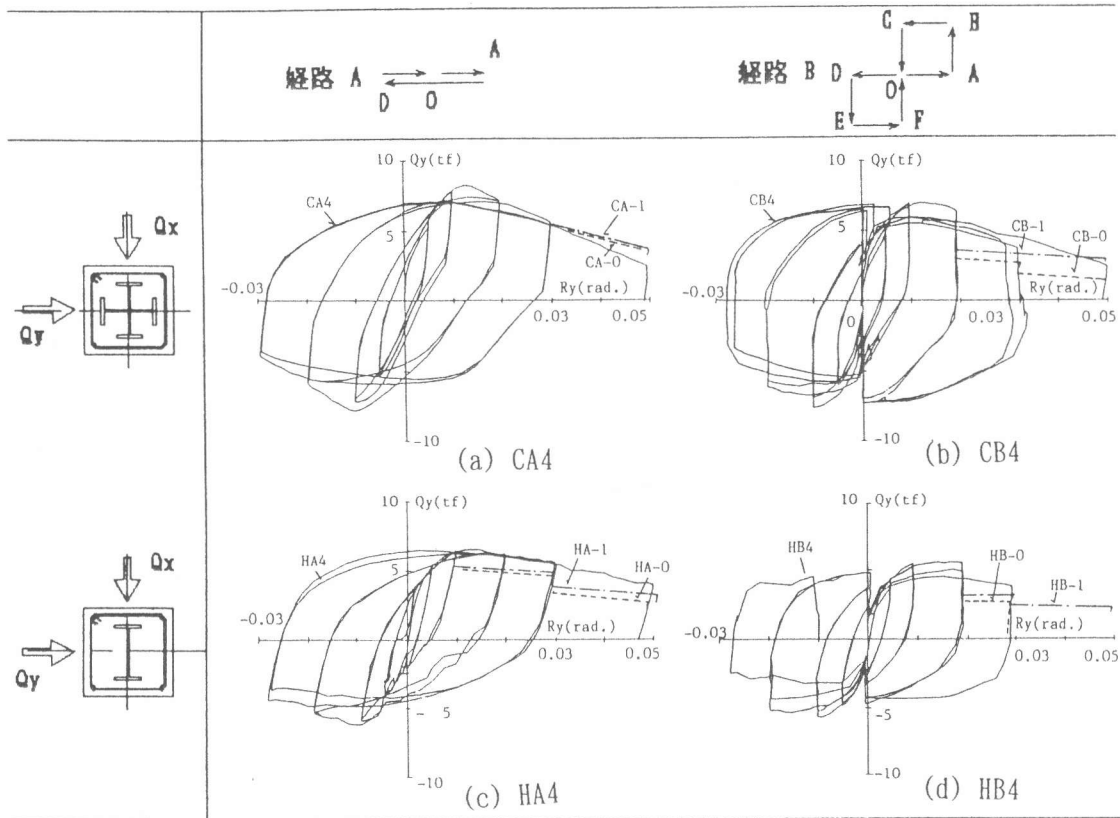


図-5 実験値と計算値の比較

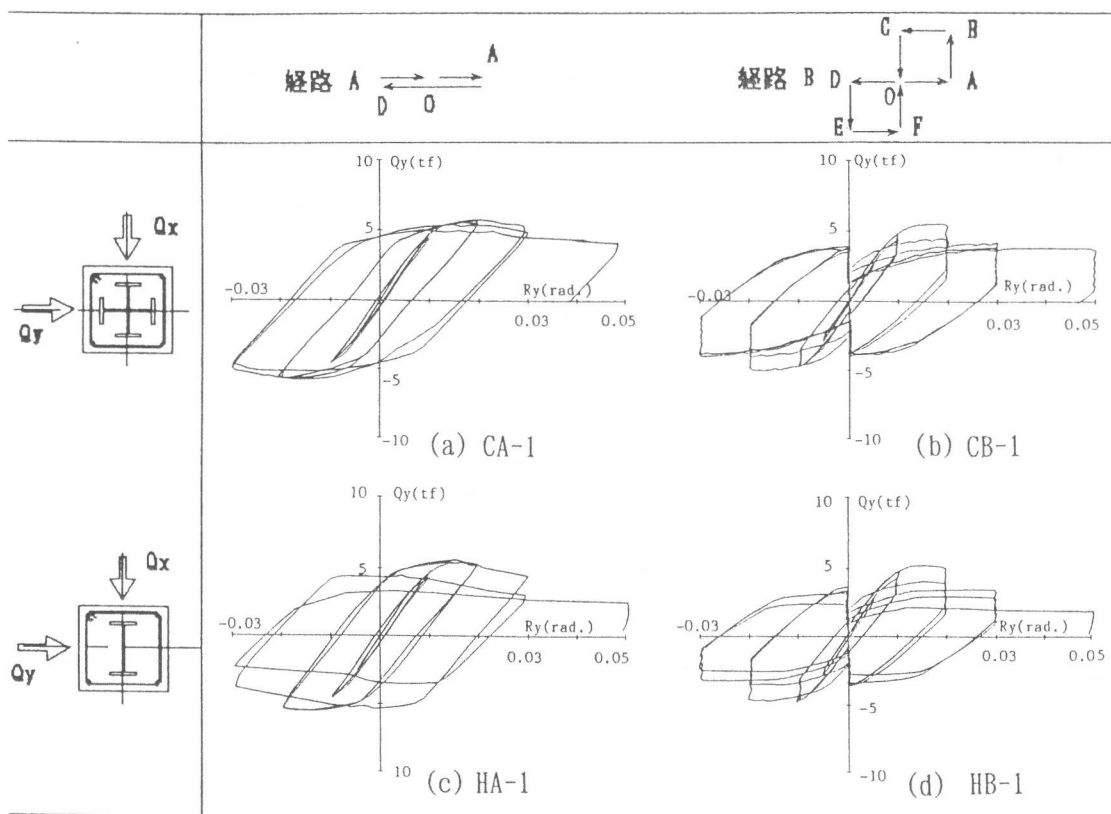


図-6 履歴曲線の計算結果

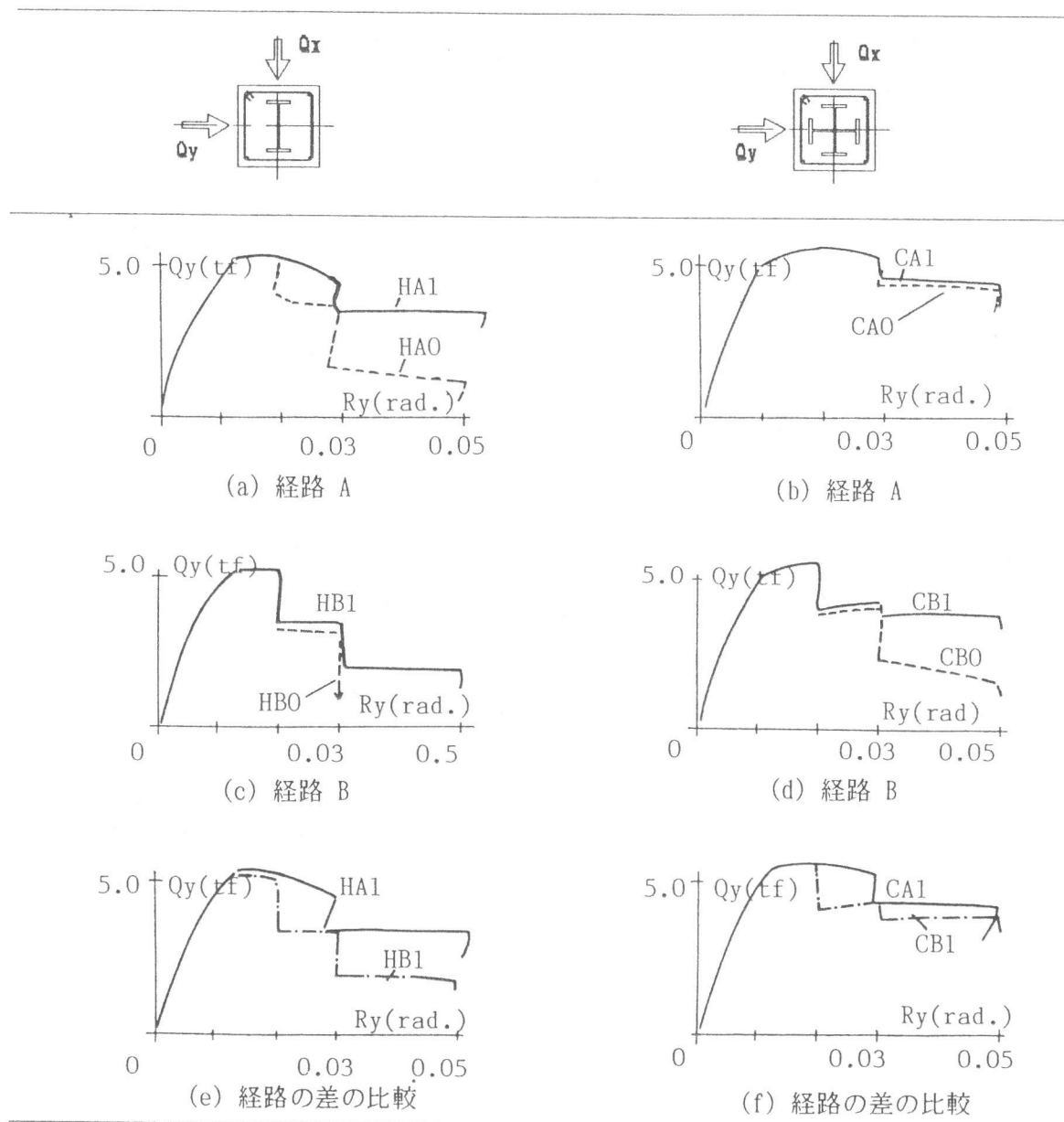


図-7 計算値の包絡線の比較

ジ内コンクリートによる最大耐力以後の曲げ変形能力の改善は経路 Bかつ十字形鋼を内蔵する場
 合が顕著である。これは拘束されるコアコンクリートの有効断面積が増加するためで、CB-1では
 大変形時でも緩やかに耐力劣化が進む。HB-1で $Ry=0.05rad.$ まで軸力が保持されるが、鉄骨の座
 屈を考慮していないためである。実験では $Ry=-0.03rad.$ に鉄骨が座屈した。

3.3 履歴曲線の包絡線の比較

図-7に履歴曲線の計算値を包絡線で示す。縦軸は作用せん断力 $Qy(tf)$ 、横軸は相対部材角 Ry
 $(rad.)$ である。何れの場合も、フランジによるコンクリートの拘束効果の影響は明かだが、H形

鋼を内蔵する場合が顕著である。十字鋼を内蔵する場合、CA-0、CB-0では HA-0、HB-0のような顕著な耐力劣化は生じないが、弱軸鉄骨要素が取り付くためと考えられる。更に、CA-1、CB-1ではフランジ内コンクリートが拘束されるので曲げ変形能力は改善され、載荷経路に拘らず曲げ変形能力は大きく変わらない。一方、HA-1と HB-1の差は明かで、HB-1の耐力劣化は大きい。これは弱軸曲げ時にコアコンクリートの圧壊が進むためである。従って、本計算では、弱軸鉄骨の有無、フランジによるコアコンクリートの拘束の有無の順で部材の曲げ変形能力の改善に貢献するものと分かる。

3.4 軸変形の推移

図-8に材端部の鉄骨断面の重心位置のひずみ推移を示す。縦軸は軸ひずみ ϵ_{sv} 、横軸は相対部材角 $Ry(\text{rad.})$ である。破線は実験値、実線は計算値を示す。計算値はフランジ内コンクリートが歪軟化しない場合のものである。計算結果は実験挙動を良好に説明する。H形鋼を内蔵する場合、十字形鋼を内蔵する場合より軸圧縮ひずみの進展は大きい。これは、十字形鋼を内蔵する場合、フランジに拘束されるコアコンクリートの有効拘束面積が増加するためと考えられる。経路 B では、軸圧縮ひずみの進展は大きい、2主軸に同時に載荷され、コンクリートの曲げ圧壊域が拡大するためと考えられる。図-7では、十字形鋼を内蔵する場合、CA-1と CB-1の曲げ変形能力に大差はないが、CB-1の鉄骨断面の軸圧縮ひずみの蓄積量は CA-1の数倍である。HB-1では、最大耐力以後に急激な耐力低下が生じるが、鉄骨断面の軸圧縮ひずみの蓄積量は CB-1と大差はない。一方、CB-1では緩やか耐力低下しか生じない。従って、部材が十字形鋼を内蔵する場合、大きな軸圧縮変形を許容できるものと考えられる。

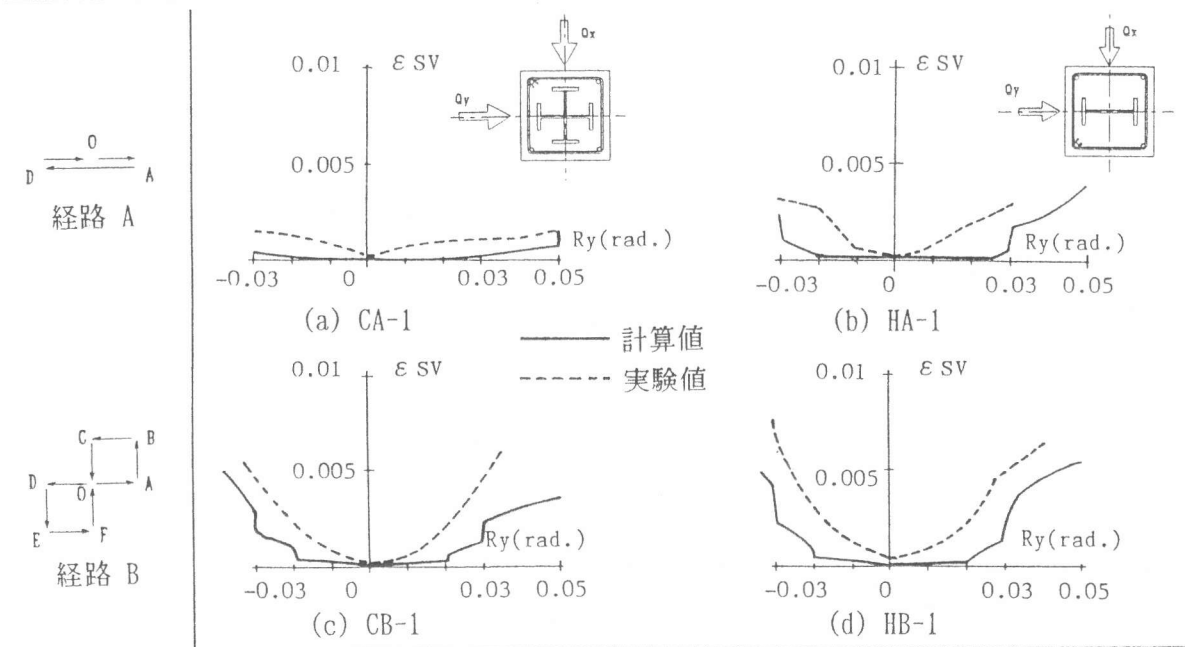


図-8 鉄骨断面の重心ひずみ推移

3.5 材端コンクリート断面の圧縮応力ブロックの推移

図-9に材端部のコンクリート断面の圧縮応力ブロックの推移を示す。図中の値は計算値で、フランジ内コンクリートが歪軟化しない場合のものである。HA-1では最終的にフランジ内コンクリートだけが残され、鉄骨部分と協同して軸力を保持する。CA-1では鉄骨断面近傍でコアコンクリートが残されているが、HA-1よりコアコンクリートの圧壊は進まない。一方、HB-1、CB-1では最終的にはフランジ内コンクリートだけが残されるが、CB-1の方がコンクリートの圧壊は進み難い。

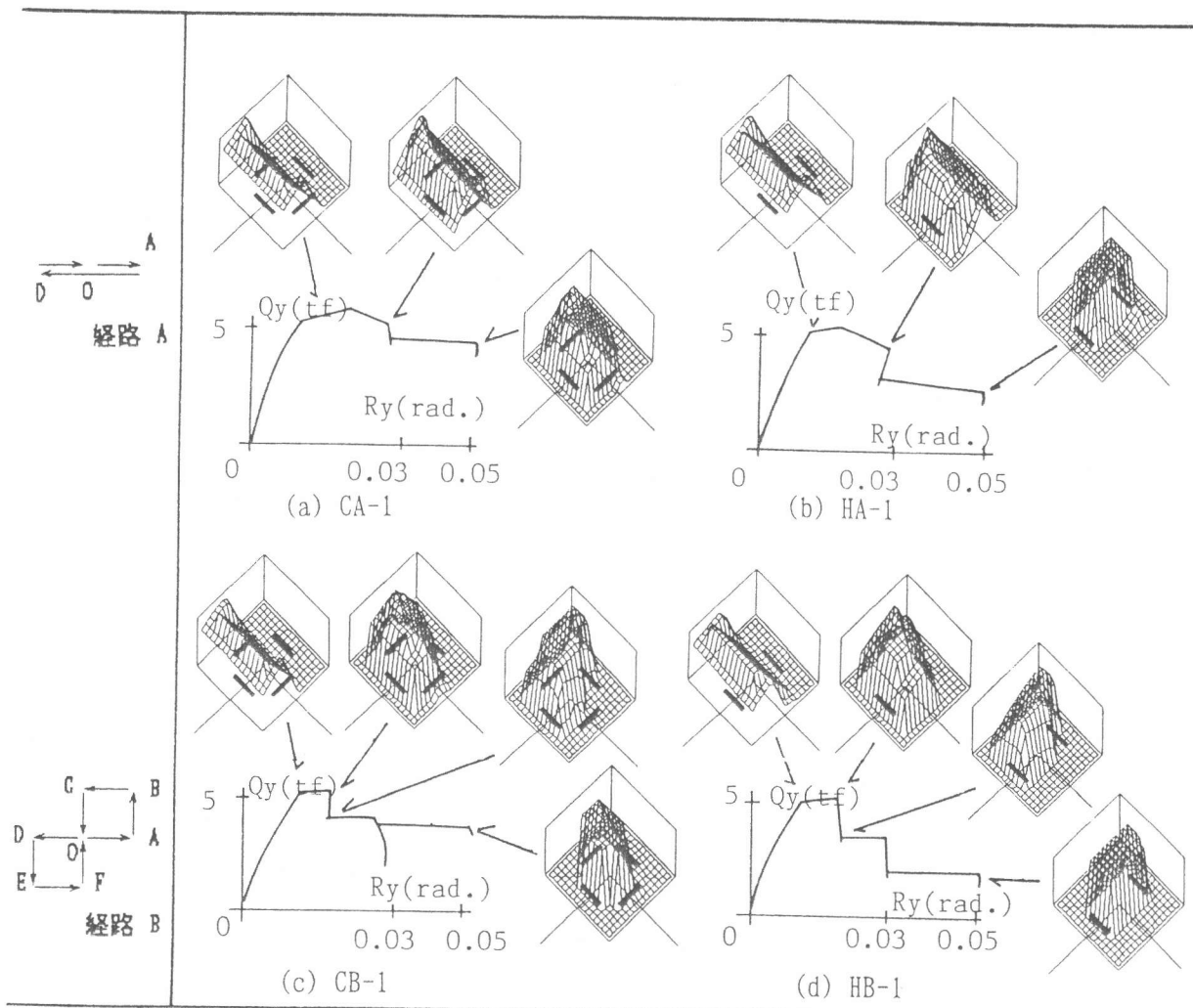


図-9 コンクリート断面の圧縮応力ブロックの推移

これはフランジ内コンクリートの有効拘束断面積が多いためである。SRC構造ではコアコンクリート部分へ圧壊が進んでも、フランジ内コンクリートの圧壊が進んでいないために安定して軸力が保持され、優れた曲げ変形能力が得られる。また、CA-1、CB-1では、大変形時も鉄骨断面全域が曲げ圧縮域にならないので、鉄骨部分は曲げモーメントを負担している。一方、HA-1、HB-1では最終的に鉄骨断面全域が曲げ圧縮領域になり、鉄骨は専ら軸圧縮力を負担し、曲げモーメントを負担しない。従って十字形鋼を内蔵する場合、大変形時でも急激な部材耐力の低下が生じ難い。

4. 結論

- 1) SRC柱の曲げ変形能力の評価には、鉄骨フランジによるコアコンクリートの拘束を考慮する必要がある。なお、鉄骨フランジによるコアコンクリートの拘束効果は、部材の最大耐力の上昇ではなく、最大耐力以後の曲げ変形能力の向上をもたらす。
- 2) 十字形鋼を内蔵する SRC柱では、2軸曲げ時でも、弱軸鉄骨要素、フランジによるコアコンクリートの有効拘束断面積の増大により優れた曲げ変形能力が得られる。

参考文献

- 1) 上原 広、西村泰志、南 宏一：内蔵鉄骨断面の形状が鉄骨鉄筋コンクリート柱の曲げ破壊性状に及ぼす影響、コンクリート工学年次論文報告集、pp. 989-994、1993。
- 2) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、pp. 48、1987。