

# RC 柱・はり接合部補強法に関する研究 (その 2)

——接合部の配筋・補強を変化させた 5 体の RC 柱・はり十字型試験体の  
逆対称繰返し加力実験——

多田 利正 竹本 靖  
武田 寿一

## Research on Reinforcement of Beam-Column Joint Panel for Seismic Resistant Reinforced Concrete Frame (Part 2)

—Seismic Loading Tests of Five Reinforced Concrete  
Beam-Column Joint Specimens with  
Various Reinforcement Devices in Joint Panels—

Toshimasa Tada Yasushi Takemoto  
Toshikazu Takeda

### Abstract

Five reinforced concrete beam-column joint specimens were tested under repeated reversible seismic loading. These specimens had various reinforcement devices in joint panels for improving earthquake-resistant capacity. For example, in one specimen, longitudinal bars of beams going through the joint were welded to stirrups set in the joint, while in another specimen, longitudinal bars of beams in the portion of column width were subjected to high-frequency heat treatment to prevent yielding, etc. Through performance of these tests, force-deflection characteristics, joint distortion characteristics and failure appearances were explained, and the energy-absorbing capacities were compared to evaluate the effects of the devices adopted in improving structural qualities. All of the specimens showed different deflection characteristics and failure appearances in accordance with the differences in bond characteristics between reinforcing bars and concrete in the joint region, implying that these characteristics play an important role in performances of reinforced concrete frame structures during severe earthquakes. Further, by preventing slipping of reinforcing bars in the joint region, the energy-absorbing capacity was increased and extreme stiffness losses often seen in ordinary reinforced concrete frames under repeated seismic loadings were prevented to a considerable extent.

### 概 要

RC 造骨組の耐震性向上を目的として、はり主筋を接合部内でスターラップに溶接した試験体、はり主筋の接合内部分の降伏を防止した試験体、等、接合部の配筋・補強を変化させた 5 体の柱・はり・接合部十字型試験体の逆対称繰返し加力実験を行なった。この実験につき、復元力特性、接合部のせん断変形特性、破壊状況、等を説明するとともに、これらの工夫の構造性能向上に対する効果をエネルギー吸収能の点から比較検討した。各試験体は、接合部域におけるはり主筋の付着特性の差異に応じ、性質の異なる復元力特性、破壊の様相を示し地震時の繰返しの外力を受ける場合の RC 骨組の性格決定に、接合部域の鉄筋付着特性が、重要な役割を持っていることを示唆した。

また、はり主筋の接合部でのスリップを防止することによりエネルギー吸収能の増大と、繰返し外力に対する極端な剛性低下の防止をはかることが出来、通常の RC 骨組の復元力特性に表われる欠点が改善された。

### 1. 序

RC 構造物の耐震性を評価するには、地震時の繰返し外力に対する骨組のエネルギー吸収能の変化、剛性の低下といった復元力特性の変化過程、並びに破壊挙動の進行過程を正確に把握することが必要であり、こ

れには、柱・はりという骨組構成要素各々における特性は勿論のこと、接合部域に関連する力学特性として、

(1)接合部域における主筋の定着、もしくは付着特性。

(2)接合部のせん断破壊の問題。

の解明が重要であると思われる。特に、これらの問題には、柱・はり・接合部、各要素間の相互作用の問題と

しての認識、換言すれば、実験時の骨組の特性、あるいは破壊挙動に含まれる各要素間の力学特性の implicit な関連性に対して注目する視点が必要と思われる。

また、上記二事項は接合部に要求される構造性能としての意味、すなわち、主筋定着の確保とせん断耐力の確保の問題として RC 骨組の耐震性を改善する上での重要点でもある。

本論文は、はり主筋のスリップ防止と接合部のせん断補強を目的として、はり主筋を接合部内でスターラップに溶接した試験体、はり主筋の接合部内の降伏を防止した試験体等、接合部の配筋・補強を変化させた5体の柱・はり十字型試験体の逆対称繰返し加力実験につき、実験概要・復元力特性・破壊状況等を説明するとともに、これらの工夫の構造性能向上に対する効果を検討するものである。

## 2. 試験体および使用材料

試験体はA～Eの5体で、その配筋詳細を図-1に、形状・寸法を図-3中に、鉄筋比を表-1に示す。

各試験体の詳細は

- A試験体**—普通の通し配筋でフープにより接合部補強。
- B試験体**—接合部にスターラップを配し、はり主筋と溶接。
- C試験体**—柱幅部分のはり主筋に高周波焼入れを施し、降伏域の接合部内への波及防止。
- D試験体**—接合部の補強量を増す。というもので、以上4体は、はり降伏型である。
- E試験体**ははり・柱主筋量を増し、接合部のせん断耐力確認が目的である。

使用材料の諸性質を表-2に示す。また図-2はD-16使用鉄筋の母材部及び焼入れ部の引張試験結果である。

## 3. 実験方法

実験時の状況を写真-1に示す。載荷方法は図-3に示す如く、試験体を反力フレーム内に設置し、柱上下端をそれぞれピン又はローラー支持し、一定軸力  $N=45\text{ton}$  ( $\sigma_0=50\text{ kg/cm}^2$ ) を加えた状態で、左右のはり載荷点に、逆対称の正負繰返し荷重を作用させるものである。測定方法は次の如くである。全体変形は十字測定フレームを柱反力点でピン又はローラー支持し、

はり載荷点の相対変位を電気式変位計で、はり端の回転角は柱面から  $1/2 D$  離れた断面の回転をダイヤルゲージで、接合部のせん断変形は埋込ボルト間の対角線方向変形をダイヤルゲージで測定した。またはり主筋の接合部端にボルトを溶接し、柱中央埋込ボルトとの相

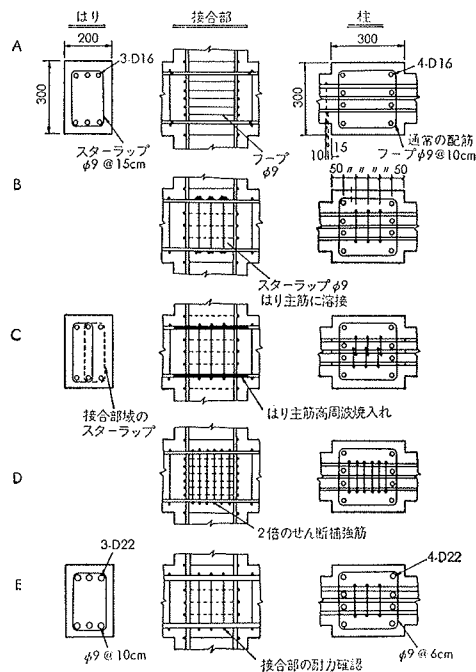


図-1 各試験体の配筋詳細

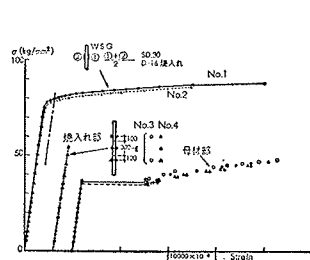


図-2 D-16鉄筋の引張試験結果

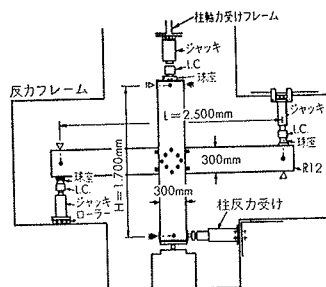


図-3 載荷方法の概略図

鉄筋比(%)	A	B	C	D	E
接合部HPw	0.968	0.581	0.581	1.163	0.581
VPw	0	0.581	1.163	1.163	0.581
はり Pt			1.192		2.322
Pw			0.423		0.635
柱 Pt		0.882			1.720
Pw		0.423			0.706

\*HPw=Σhp/bs/bc, VPw=Σvp/bc/bc

表-1 各試験体の鉄筋比

コンクリート	σc	…290	kg/cm²
	σt	…19.0	〃
	Ec(±)	…2.2×10⁹	〃
D-16鉄	σy	…35.1	kg/cm²
	σmax	…55.9	〃
同焼入れ	σy(0.2%)	…78.9	〃
	σmax	…88.0	〃
筋 D-22 (SD35)	σy	…38.7	〃
	σmax	…60.7	〃
補強筋φ-9 (SR24)	σy	…32.0	〃
	σmax	…47.0	〃

表-2 材料試験結果

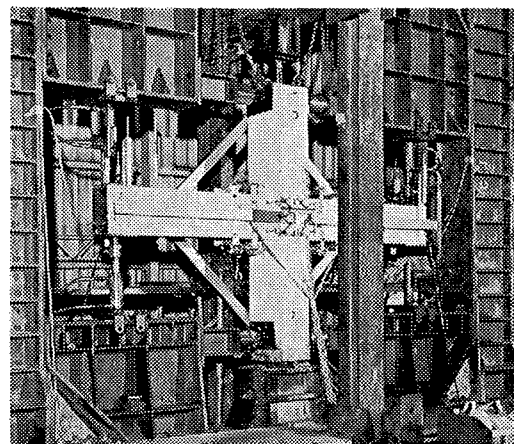
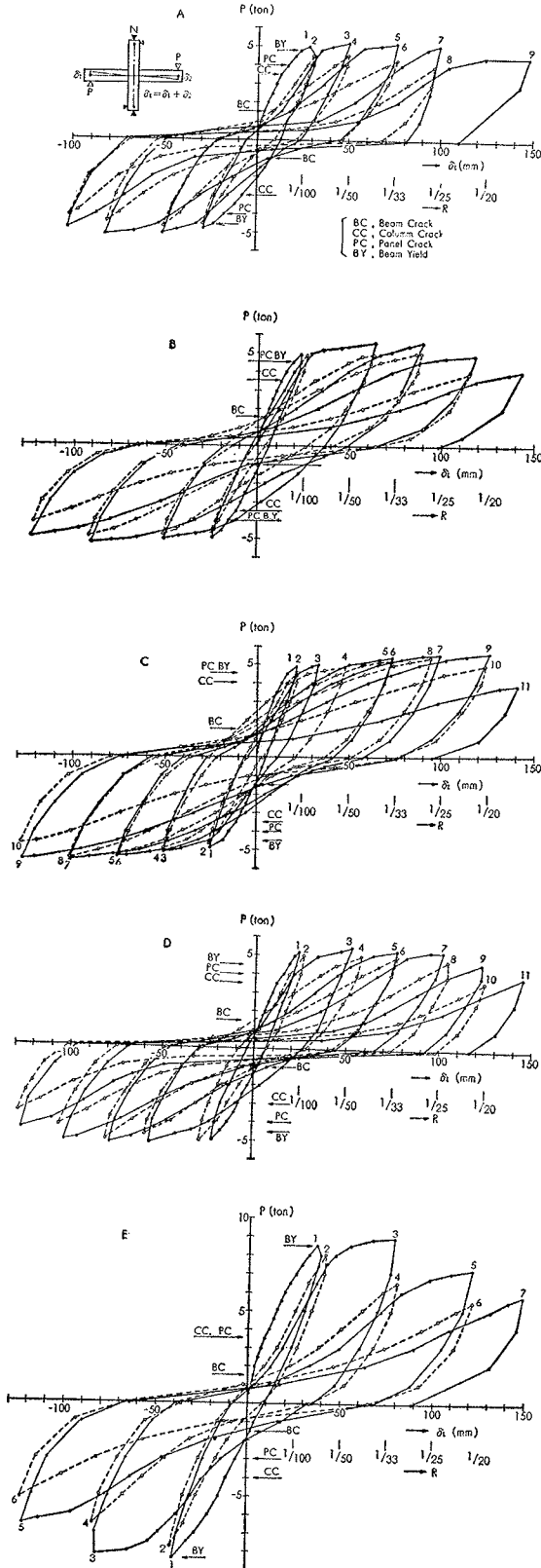


写真-1 実験状況

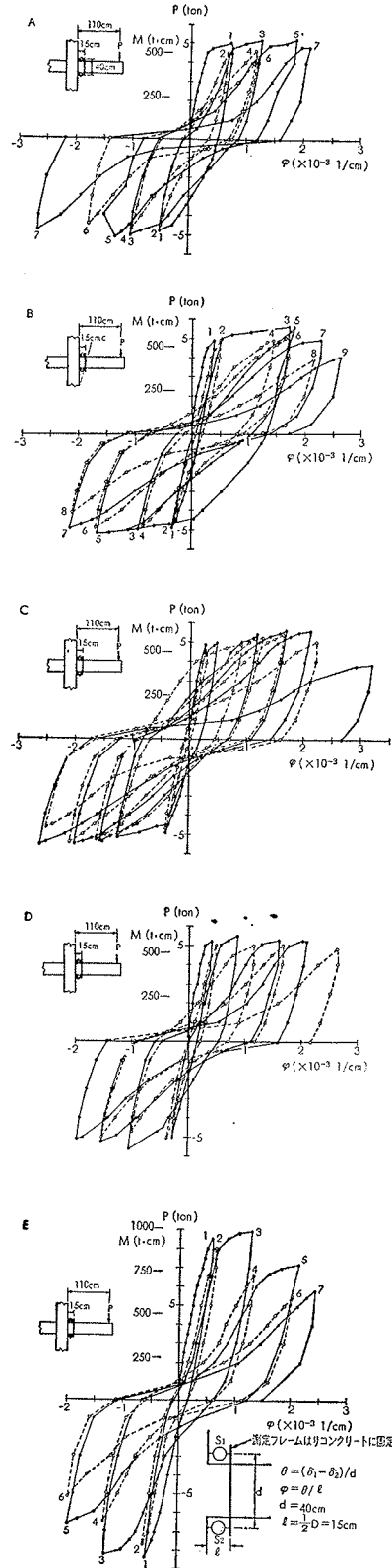
対変位をダイヤルゲージで測定し、接合部からの鉄筋の伸び出し量を検出した。さらに、はり主筋及び補強筋のひずみを W. S. G. で、接合部内コンクリートのひずみをモールドゲージで測定した。

#### 4. 実験結果とその検討

各試験体の実験結果のうち、荷重—全変形曲線、はり端のモーメント曲率曲線、接合部のせん断力—せん



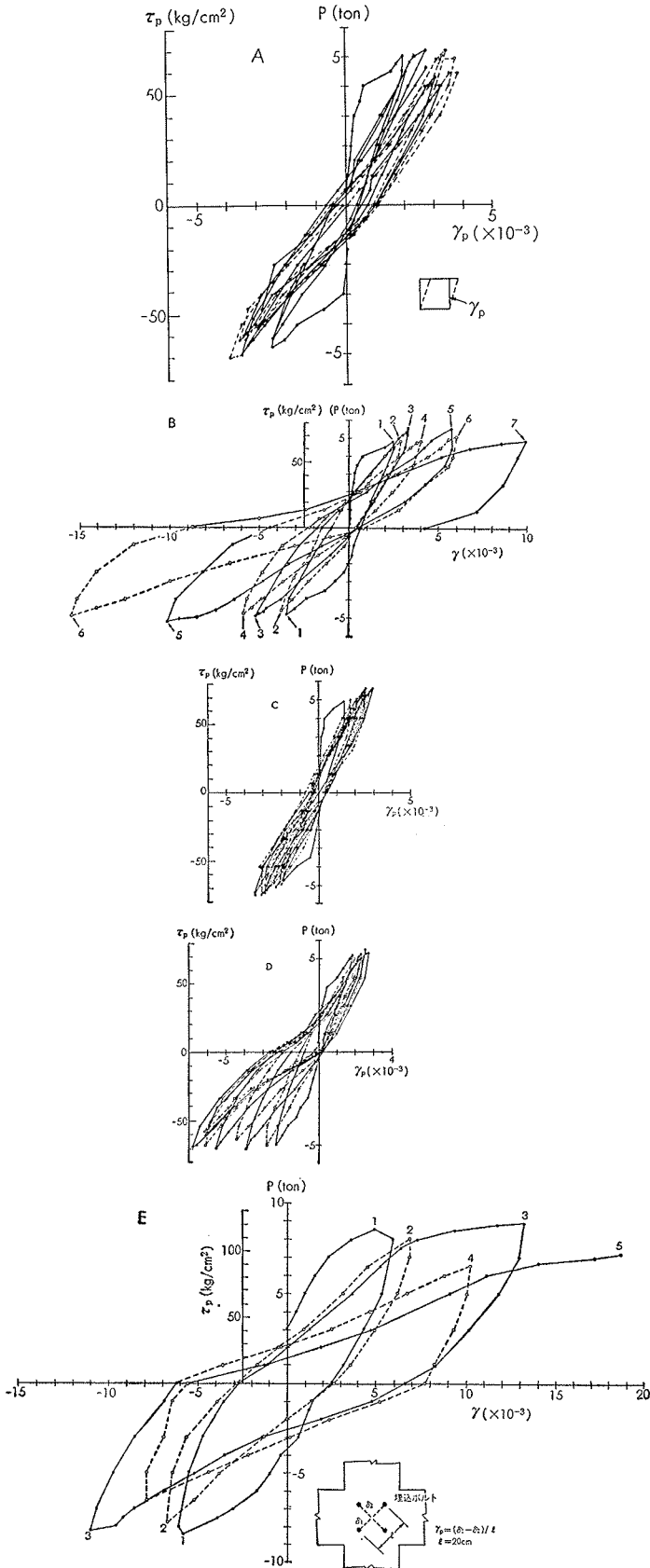
図—4 各試験体の荷重—変形曲線



図—5 各試験体はり端のモーメント—曲率曲線

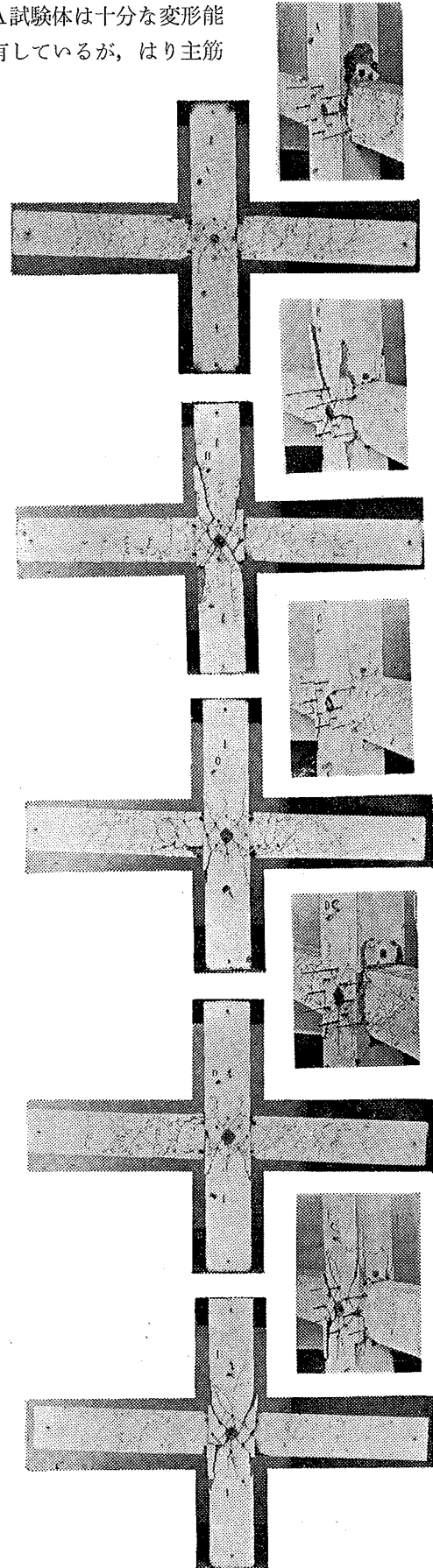
断変形曲線を、各々図一4, 5, 6, に示し、実験後の破壊状況を写真一2に示す。

4.1. 荷重—変形曲線



図一6 各試験体接合部の  $\tau_p \sim \gamma_p$  曲線

A試験体は十分な変形能を有しているが、はり主筋



写真一2 各試験体の破壊状況

の接合部域でのスリップに起因して典型的な逆S形状の復元力特性になっている。B試験体は接合部内スターラップをはり主筋と溶接した結果、主筋のすべりが防止され、紡錘形のループ形状を示している。後半のサイクルの剛性、耐力の低下は、はり主筋定着の特殊性により、主筋応力が溶接点で局所的に接合部コンクリートに伝達されたため接合部が漸進的にせん断破壊を呈したものである。C試験体は紡錘形の良好な復元力特性を示し、大変形での耐力増も見られる。これは接合部内主筋の降伏を防止したことにより、主筋抜け出し量が減少した結果である。鉄筋降伏域の接合部内への進展と付着特性の劣化過程には重要な関連があるものと推測される。11サイクルでの耐性低下は、繰返し加力により接合部での付着力が漸次喪失し、鉄筋の滑動が顕著になったためである。D試験体はA試験体と類似の性状を示しており、接合部補強量を増しても、すべり防止には余り効果のないことが分る。E試験体は接合部のせん断破壊の進行が支配的で、繰返しによる耐力低下が著しい。

#### 4.2. はり端モーメント曲率曲線

これは、はり端プラスチック・ヒンズの变形特性を $1/2$ D間隔での平均曲率として評価したものであり、接合部からの鉄筋抜け出しによる付加回転変形を含んでいる。A～Dは逆S形状、B、Cは両者に比較すれば紡錘形である。

#### 4.3. 接合部のせん断力～せん断変形角曲線

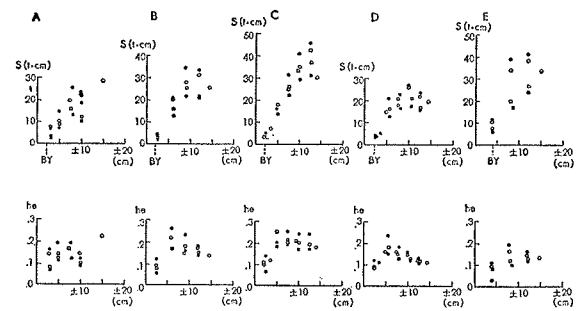
A、C、D試験体はひびわれの発生と繰返しによって、幾分剛性が低下するのみで、せん断変形はほぼ収束している。B試験体ははり主筋定着の特殊性により、接合部が漸進的なせん断破壊を呈したものである。E試験体はせん断変形の増加が急である。

#### 4.4. 破壊状況

A試験体は接合部はせん断ひびわれが幾分進行した程度である。鉄筋抜け出しが大きいため、柱側面コンクリートにはがれが生じ、またはり端でのコンクリートの圧壊も幾分顕著である。B試験体は接合部せん断ひびわれが漸次柱内に進展して行き、最終的には接合部がせん断破壊した。C試験体は抜け出しによる変形が少ないので、はり部分の変形、すなわち、はりの破壊の程度や引張鉄筋側付着ひびわれの進展が他より著しく、幾分曲げせん断破壊的な様相を呈している。D試験体はA試験体と類似。E試験体は接合部のせん断破壊が著しい。

#### 4.5. エネルギー吸収能の比較

図一七は各試験体の荷重—変形曲線の各半サイクルのエネルギー吸収量と等価粘性減衰定数とを、その



図一七 エネルギー吸収量と等価粘性減衰定数の比較

サイクルの最大変形を横軸に取り、プロットしたものである。エネルギー吸収量を比較すると、E試験体は別としてC試験体、B試験体がA、D試験体の2倍近い値になっている。等価粘性減衰定数もC、B試験体は幾分大き目の値になっている。また、図一四の荷重—変形曲線における、再載荷時の立ち上り剛性の低下傾向についても、B、C試験体においては、A、D試験体に見られる、極端な剛性低下が幾分防がれていることが分る。

## 5. 結び

接合部の配筋・補強を変化させた5体の柱・はり十字型試験体の実験につき、復元力特性・破壊状況、等を説明するとともに、エネルギー吸収能の点から構造性能の比較を行なった。B、C試験体においては、スリップの低減とエネルギー吸収能の増大が見られた。また各試験体の挙動は、接合部域での鉄筋付着特性の差異に応じ、異なった様相を呈し、この特性が、鉄筋コンクリート骨組の復元力特性を考えるに当って重要な役割を持っていることを示唆した。これに関連する問題として、接合部からの鉄筋抜け出し特性、接合部のせん断破壊性状、はり端ヒンズの変形特性、等の諸点についての検討は、下記の関連発表論文を参照していただければ幸である。なお、参考文献についても下記論文に記されているので、再掲をはぶく。

### 関連発表論文

拙論：RC 柱はり接合部補強法に関する実験的研究、その1—実験概要・復元力特性・破壊状況について、その2—接合部域におけるはり主筋の付着特性と接合部のせん断破壊性状について、

昭和51年度、日本建築学会関東支部研究報告集

その3—接合部からの鉄筋抜け出しと、はり端塑性ヒンズの変形機構について、

日本建築学会大会梗概集、昭和51年10月