

[165] 鉄筋コンクリート造立体柱・梁接合部の挙動に関する実験的研究

正会員 ○HALIM Joshie K. (東京大学大学院)
 今村 晃* (東京電力原子力建設部)
 正会員 小谷 俊介 (東京大学工学部)
 正会員 青山 博之 (東京大学工学部)

1 序

接合部のせん断補強を全補強としたスラブ付き立体柱・はり接合部試験体に対する1方向及び2方向水平加力実験から、接合部内の主筋の歪分布と付着応力分布について検討し、柱軸力や2方向加力が接合部内の鉄筋の付着劣化に及ぼす影響を考察する。なお、本実験は、継続して行なわれて来た立体柱・梁接合部の実験(文献1、2)の一部である。

2 実験の概要

鉄筋コンクリート造建物を柱と梁部材の中央の仮想反曲点で切断したスラブ付き立体十字形の柱・梁接合部を、約1/2に縮小し、同じ配筋とコンクリート調合で試験体を2体作製した。その内の1体(SU20N)には1方向を、他の1体(SB20N)には2方向水平加力を行なった。両試験体とも柱の軸力は20 kg/cm²とした。

試験体の形状と配筋を図1に示す。柱と梁の主筋はそれぞれ端部で鋼板で溶接定着した。梁端部でスラブと1体化を図り、支持治具と試験体の間の応力伝達を良好にするため、鋼板に打ったスタッドにスパイラル筋で補強した(図1.d)。

柱及び梁には耐震診断規準(文献3)の荒川式を使って、部材のせん断終局強度が曲げ終局強度を上回るように設計した。接合部のせん断補強量を定めるための水平せん断力の大きさは、接合部両側のスラブの全幅を有効とする梁の曲げによって生じる1端の引張力及び他端の圧縮力の和から梁降伏時の柱のせん断力を引いたものとして定める。これに対して、接合部内のせん断補強筋量は全水平せん断力が水平せん断補強筋によって負担されるものとして定めた(文献4)。

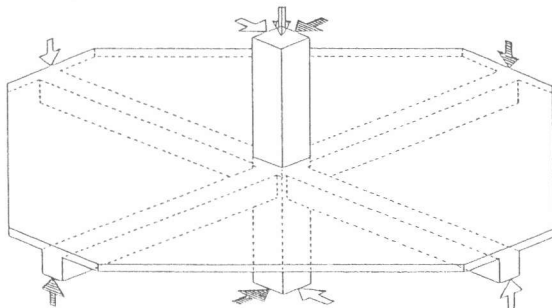


図2 加力方法

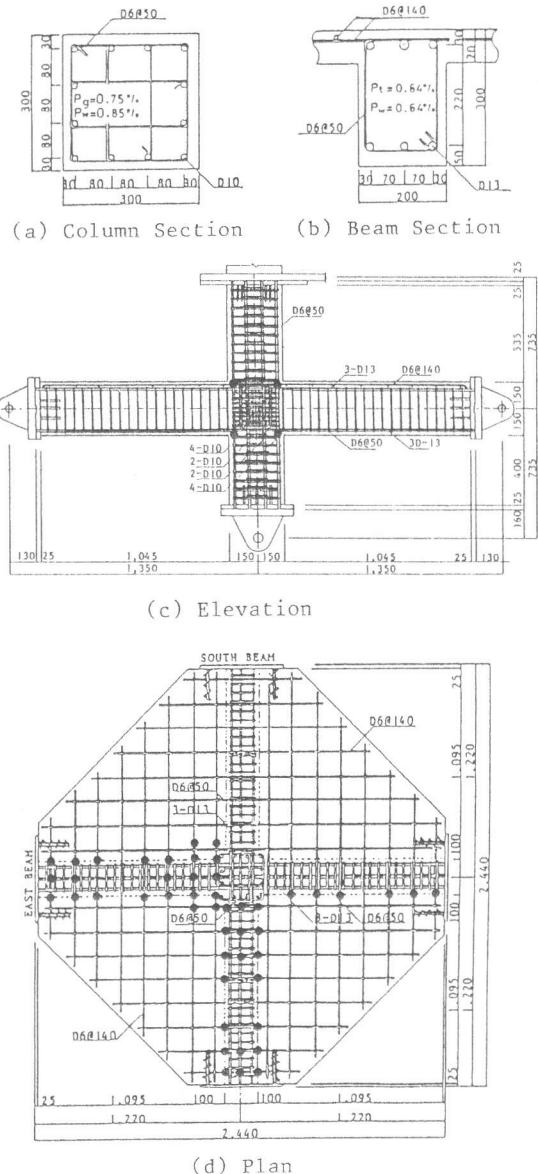


図1 試験体の形状と配筋

本試験体の材料性質はコンクリート圧縮強度 $F_c = 330 \text{ kg/cm}^2$ 、梁主筋(D13)の引張降伏強度は 3700 kg/cm^2 、柱主筋(D10)は 4070 kg/cm^2 、スラブ筋(D6)は 3200 kg/cm^2 である。コンクリートはまずスラブの上部まで打設し、その24時間後に上柱を打設した。

試験体の加力方法の概念図を図2に示すように、柱脚はピン支持、各梁端は水平面でローラー支持とし、鉛直方向1基、水平方向2基のアクチュエーターで、柱頭に柱軸力と水平方向の強制変位を加え、その詳細は文献[1]と同じである。試験体の変形は図3に示すように、各部材のたわみや回転角を変位計で測定した。荷重および反力はアクチュエーターや支持具に組込んだロードセルにより測定した。また接合部内の主筋およびスラブ筋の一部には歪ゲージを貼り、歪度を測定した(図1.cと1.d)。加力は変位制御とし、2方向加力では図4.aのように一定の変位振幅で四ツ葉型の変位軌跡に従い、その振幅を増した。1方向加力では、図4.bのような正負繰り返し加力を行なったが、2方向加力時とは柱頭の移動距離の総和がほぼ等しくなるようにした。

3. 実験結果及びその検討

3.1 接合部内せん断補強筋歪の履歴

1方向と2方向加力時の同位置にあるせん断補強筋の歪を図5に示す。1方向加力のSU20Nでは正負対称の履歴を示した。柱頂部の移動距離の総和を同程度にしたにも拘らず、2方向の場合の接合部せん断補強筋の歪は1方向加力に比べて大きくなる傾向があり、その補強筋歪の挙動は、2方向履歴の影響を受けて複雑である。

3.2 接合部内の梁主筋の平均付着応力度に対する 荷重履歴の影響

梁主筋の付着劣化の推移を把握するために、接合部内の梁主筋に貼った歪ゲージの測定から、ある一定荷重時の平均付着応力度 τ_{av} と各加力サイクルの同荷重時の平均付着応力度との比を加力サイクルとの関係より検討を行なった。即ち、鉄筋上の2点における歪度の測定値から、鉄筋の応力度-歪度の履歴特性モデルを図6(文献5)のように仮定して、鉄筋の応力度 σ_1 と σ_2 に変換する。その2点間での応力差が付着機構によってコンクリートに伝達され则认为られる。そこで、平均付着応力度 τ_{av} は

$$\tau_{av} = (\sigma_1 - \sigma_2) \times A_s / \phi \times l$$

となる。ここに、 A_s は鉄筋の断面積、 ϕ は鉄筋の周長、 l は測定間距離。さて、接合部内の梁主筋の歪および応力度分布(図7)は接合

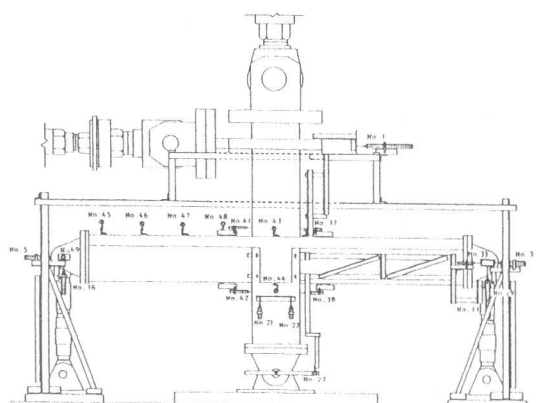
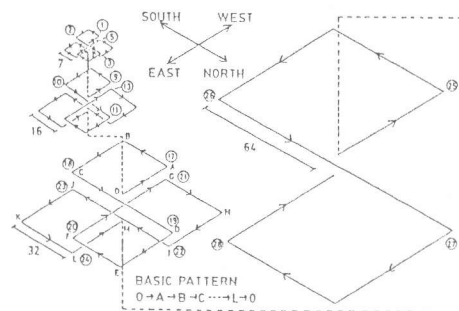
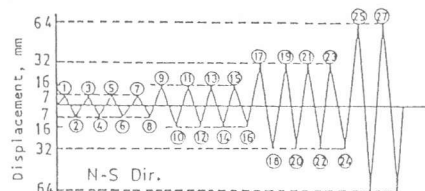


図3 変形測定装置



(a) Biaxial Loading (Specimen SB20N)



(b) Uniaxial Loading (Specimen SU20N)

図4 加力履歴

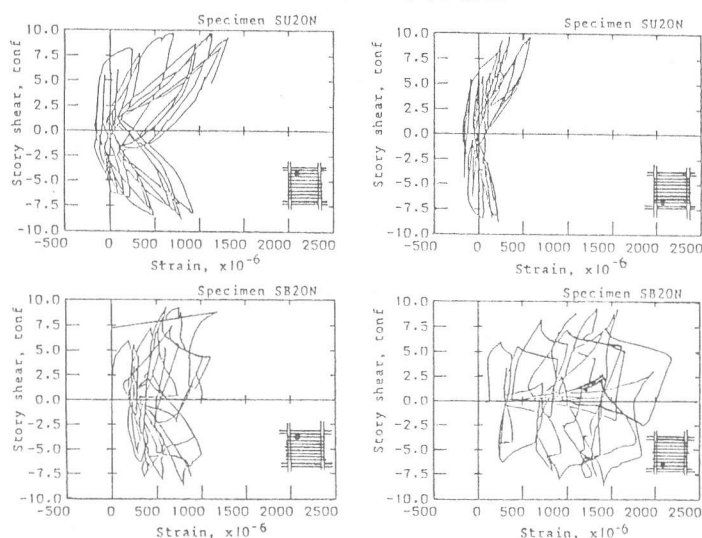


図5 せん断補強筋の荷重-歪

部内で一様に変化しておらず付着応力度も一様でないことがわかる。そこで、ここでは付着応力度を中央2つのゲージについて検討する。1方向加力(SU20N)の4サイクル目の最大荷重と同じ荷重における平均付着応力度の変化を1サイクル目の付着応力度で規準化して図8に示す。2方向加力(SB20N)では履歴の違いを考慮してSU20Nと同じ載加状況になる時点のものとする。図中より接合部内の梁主筋の平均付着応力度は2方向加力を経験すれば、付着応力度の低下が著しいことが分かる。

3. 3 梁主筋の抜け出し

本実験において、接合部から梁主筋の抜け出し量は直接測定しなかったが、梁主筋の抜け出し特性を、接合部内の梁主筋の歪の反曲点(歪の符号が逆転する点)の推移から考察する。柱面から反曲点までの距離 Li と柱せい D との比と危険断面における梁主筋の引張端歪の関係を図9に示す。図中のSU10は文献[1]に示す実験結果であり、梁の配筋はSU20Nと同じで柱軸方向応力度が 10 kg/cm^2 である。この図から引張筋歪にほぼ比例して反曲点が圧縮側へ移動することがわかる。柱軸力の小さいSU10の反曲点の移動はSU20Nより早く、引張端での歪が降伏歪の半分以下の歪で反曲点が柱幅を越え、圧縮の筈の端部でも鉄筋が引張応力を受けており、柱軸力が梁主筋の付着特性に影響することを示す。この図から引張端歪と反曲点位置の関係を柱軸力を考慮して表わすと大略次式のようにになる。

$$Li/D = 12000 (0.125 - N/b D F_c) (\epsilon + 0.0008) \quad (\epsilon < 0.0025)$$

3. 4 接合部内での鉄筋歪分布に対する載荷履歴の影響

1方向加力(SU20N)の梁主筋歪分布と換算した応力分布を実線(正方向載荷)と点線(負方向載荷)で図7に示す。上端筋の応力分布を見ると、正方向7 ton 加力時の引張端で降伏する前に圧縮端の鉄筋の分担する圧縮力が逆に引張力へ転化する傾向がある。負方向加力時でも同様な傾向が見られる。これは試験体のコンクリートが縦打ちで、打設を2回に分け、まず梁上端筋の位置まで打設したため、上端筋のほうがコンクリートとの付着が低いことと、下端引張のモーメントに対して下端筋が降伏すると、梁断面の中立軸位置が梁上端筋の位置付近まで上昇するためと考えられる。

さて、2方向加力を受ける試験体(SB20N)の接合部の梁上端筋及び下端筋の歪分布の変化を図10に示す。図中の1点鎖線はここで示す梁主筋方向(加力方向1)に加力した時(変位振幅が7 mm)の歪分布の推移で、実線は加力方向1の変位(7mm)を維持しながら、柱頭を加力方向1と直交する方向(加力方向2)へ変位させた時の歪分布を

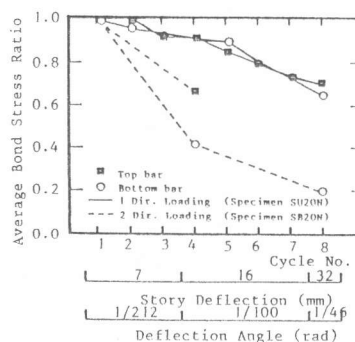


図8 接合部内のはり主筋の平均付着比

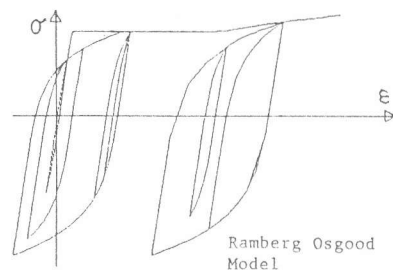


図6 鉄筋の履歴モデル

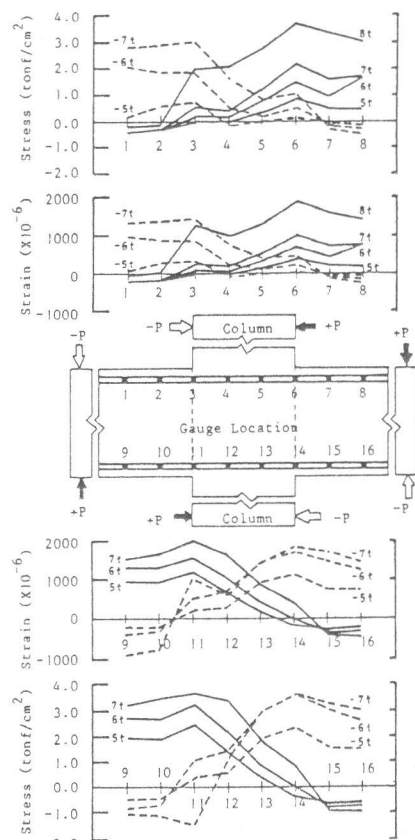


図7 はり主筋の歪と応力分布

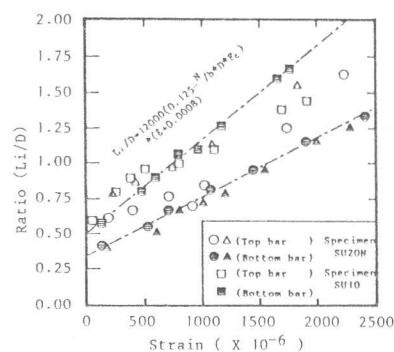


図9 接合部内のはり主筋の反曲点と柱せいの比

示す。加力方向2への荷重では柱が2方向加力を受けて曲げ降伏を起こし、2軸曲げ耐力の相互作用により加力方向1の見掛け上の耐力が低下し、梁の曲げ応力も低下するため、梁の危険断面付近の歪が低下する傾向を示すが、逆に接合部中央部における梁主筋の歪は僅かながら増大する傾向を示す。これは、梁の付着応力度が低下することを意味している。即ち、2方向に同時に荷重されると、それぞれの方向の梁主筋応力が付着によりコンクリートへ伝達されるため、接合部内のコンクリートの応力状態が厳しくなり、梁主筋の付着応力伝達能力が劣化する。このようにして図8にすでに示したように、二方向加力を受ける接合部内の主筋の付着劣化が促進されるものと考えられる。柱筋では上述と同じ荷重状態来ると、梁と同様に柱筋も歪の反曲点の推移が表われる。本来なら曲げ圧縮力を分担する鉄筋が逆に引張応力を受ける状態へ転化する(図11)。

4 結び

立体柱・梁接合部内の梁主筋の平均付着応力度は繰り返し荷重によって低下する。しかし、2方向加力時の接合部内のコンクリートは付着によって、梁より伝達された2軸応力を受けて、コンクリートの応力状態が厳しくなるために、梁主筋の付着応力伝達能力が1方向加力時より著しく低下する。

2方向水平加力において、1方向に強制変位を加えてその変位振幅を保ちながら直交方向に強制変位を加えた場合、最初の加力方向の荷重が低下するにも拘らず、接合部内の主筋およびせん断補強筋の負担する応力が増大する。特に柱ではこの現象が顕著だった。

謝辞 : 本研究は、文部省科学研究費一般研究(A)(課題番号:56420043、研究代表者青山博之)によって行なわれた。なお、本研究を行なうにあたり、東京大学工学部建築学科助手細川洋治氏には多大の協力をいただき、深く感謝の意を表する。

参考文献

- 1 鈴木紀雄、小谷俊介、青山博之、"鉄筋コンクリート造立体柱梁接合部に関する実験的研究(その2)"、日本建築学会関東支部研究発表会研究報告集、昭和58年7月。
- 2 鈴木紀雄、小谷俊介、青山博之、"鉄筋コンクリート造スラブつき柱梁接合部に関する実験的研究"、第5回コンクリート工学年次講演会 講演論文集、昭和58年6月。
- 3 "既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断規準・付解説" 日本建築防災協会、昭和56年。
- 4 New Zealand Standard, "Code of practice for THE DESIGN OF CONCRETE STRUCTURES NZS3101", Standards Association of New Zealand, Wellington, 1982。
- 5 青山博之、藤井俊二、梅村魁、"材料特性より求めた鉄筋コンクリート柱に関する研究(その2)" 日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和48年。

※ 元東京大学工学部

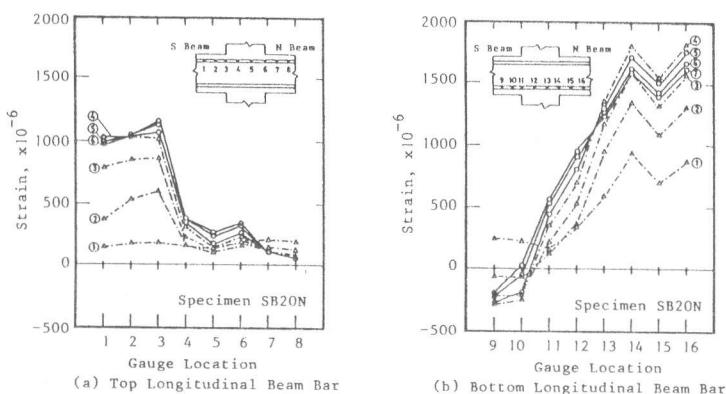


図10 はり主筋の歪分布

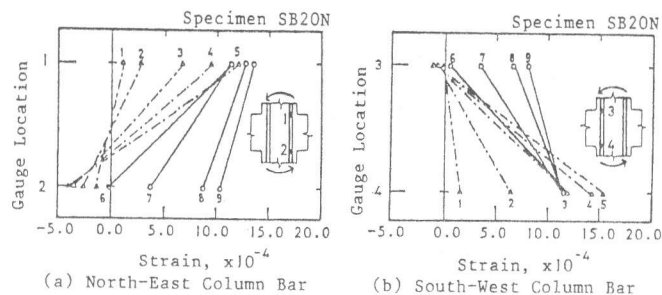


図11 接合部内の柱歪分布