

[163] スラブ付き立体柱・梁接合部の挙動

正会員 ○ 北山 和宏 (東京大学大学院)
 浅海慎一郎 (三菱重工)
 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

鉄筋コンクリート造平面柱・梁接合部試験体に繰り返し載荷する実験により、梁主筋の接合部内付着性状が履歴性状に大きな影響を与えることを示した[1]。すなわち、梁主筋の接合部内付着が良好な場合、履歴特性は太った紡錘形となるが、接合部内付着劣化が生じると逆S字形の履歴となる。しかし実構造物にはスラブと直交梁とが付き、地震時には二方向力を受けることになるので、立体骨組接合部の挙動は平面骨組のそれとは異なったものになることが予想される。そこで、梁主筋の付着性状を考慮して設計されたスラブ付き立体内柱・梁接合部試験体に二方向加力を行ない、破壊性状、履歴特性、スラブの挙動等を調べる。さらに、外柱・梁接合部を模擬した試験体についても二方向加力を行ない、直交梁の変形、スラブの挙動を調べる。

2. 実験概要

2.1 試験体。試験体は実物の約1/2のスケールを持つスラブ付き立体柱・梁接合部3体であり、梁降伏が先行するように設計されている。このうち1体は片側だけにスラブと梁とが付いた外柱・梁接合部である。試験体は立体骨組に水平力を加えた時の柱・梁の反曲点位置で切り出したものと考える。部材断面、配筋例を図1に示す。内柱・梁接合部試験体2体のうち、柱幅275mmのものをK1、柱幅375mmのものをK2、外柱・梁接合部試験体(柱幅275mm)をK3と名づける。梁断面は各試験体とも共通で主方向梁が200×300mm、直交梁が200×285mmである。十字形接合部の梁主筋は接合部内を通し配筋し、試験体K3のT字形部分の梁主筋は上下端筋ともに接合部に折り曲げ定着した。接合部横補強筋は、梁降伏時の層せん断力に対して柱に必要とされるせん断補強筋量を、日本の鉄筋コンクリート構造計算規準に従って求め、それを接合部にも配筋した。スラブ厚さは70mmで、スラブ筋はD6@180mmをシングル配筋し、その端部には180度フックを設けて定着した。試験体K3において、直交

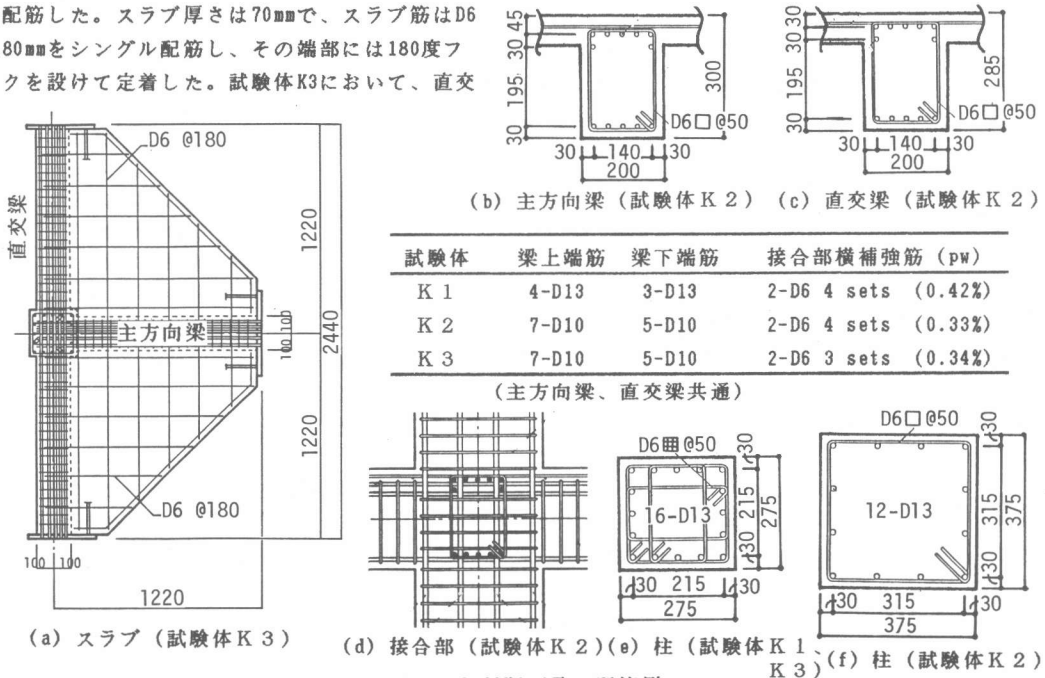


図1 部材断面及び配筋例

梁上部で定着する必要のあるスラブ筋は90度フックにより直交梁内に定着した。試験体K1、K2の変数は柱幅及び梁主筋径(試験体K1でD13、K2でD10)であり、これにより梁主筋付着性状が変化すると考える。材料強度による梁主筋付着指標 τs [2]は、試験体K1で 102kgf/cm^2 、試験体K2で 57kgf/cm^2 となる。すなわち、試験体K1の梁主筋付着は早期に劣化すると考えられるのに対して、試験体K2のそれは良好であると考えられる。梁主筋量は3体ともほぼ等しくなるようにした。試験体は縦打ちとし、スラブ上面まで打設し24時間後に上柱のコンクリートを打設した。

2.2 材料特性. 試験体K1、K2のスラブ上面までのコンクリート圧縮強度・割裂引張強度は $244\text{kgf/cm}^2 \cdot 17\text{kgf/cm}^2$ 、上柱は $266\text{kgf/cm}^2 \cdot 18\text{kgf/cm}^2$ 、

試験体K3のスラブ上面までは $199\text{kgf/cm}^2 \cdot 14\text{kgf/cm}^2$ 、上柱は $196\text{kgf/cm}^2 \cdot 14\text{kgf/cm}^2$ であった。鉄筋の降伏強度は、柱主筋及び試験体K1の梁主筋であるD13は 4420kgf/cm^2 、試験体K2、K3の梁主筋であるD10は 4460kgf/cm^2 、せん断補強筋及びスラブ筋であるD6は 4010kgf/cm^2 (0.2% offsetによる)であった。

2.3 加力方法及び計測方法. 加力装置を図2に示す。梁端はピンローラー支持、下柱はピン支持とした。柱芯から梁端支持点までが 135cm 、梁芯から上柱加力点及び下柱支持点までがそれぞれ 73.5cm である。上柱加力点には三軸一点載荷用のクレビスを介して3基のアクチュエータを取り付け、1基で一定の鉛直荷重(柱軸応力度 20kgf/cm^2)を加え、水平方向の2基で二方向繰り返し荷重を加えた。柱軸力、水平力及び梁端せん断力をロードセルにより、上柱加力点の水平変位(層間変位)、梁端たわみ、柱たわみ、梁の局部変形量等を電気式変位計により、梁主筋、スラブ筋、接合部横補強筋等のひずみを箔ひずみゲージによってそれぞれ測定した。

2.4 加力履歴. 加力は、主方向に計算終局耐力の1/2の荷重を2回繰り返した後、降伏変位(Δy)を定め、以降は変位振幅を $2\Delta y$ 、 $4\Delta y$ と倍増させながら繰り返し荷重し、途中図3に示すような8の字形の二方向荷重を行なった。なお、 $4\Delta y$ が層間部材角(層間変位を層間高さ 147cm で除したもの) $1/50\text{rad}$ を越える場合には、変位振幅を層間部材角 $1/50\text{rad}$ に読みかえた。

3. 実験結果

3.1 ひびわれ状態. 実験終了時の試験体K1、K2のひびわれ状態を図4に示す。柱の剛性が異なるため梁の変形能も異なる(後述)が、試験体K1では層間部材角 $1/50\text{rad}$ 以降梁のひびわれはほとんど生じずに、梁付根のひびわれが開いた。それに対して試験体K2では大変形にいたるまで梁にひびわれが発生し、そのひびわれ状況から接合部内での梁主筋付着性状は試験体K1よりも良いと判断される。

3.2 履歴特性. 試験体K1、K2の主方向の層せん断力-層間変位関係を図5に示す。降伏層間変位は試験体K1で 10.6mm 、試験体K2で 6.8mm となった。柱の二軸相関により、一方の層間変位を保ったまま直交方向に加力すると耐力低下が生じるため、ピーク点あるいは変位零の点で切り落としたような履歴形状と

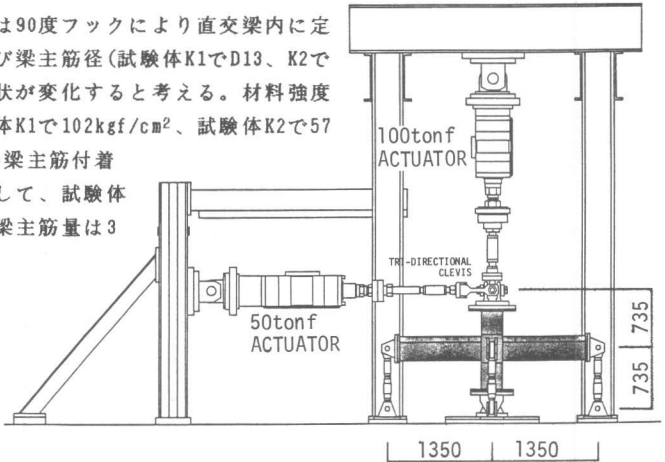


図2 加力装置

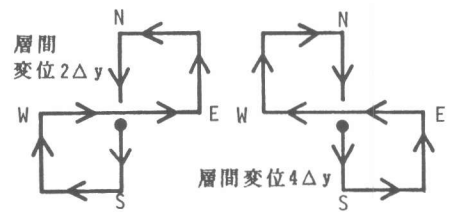


図3 加力点二方向経路

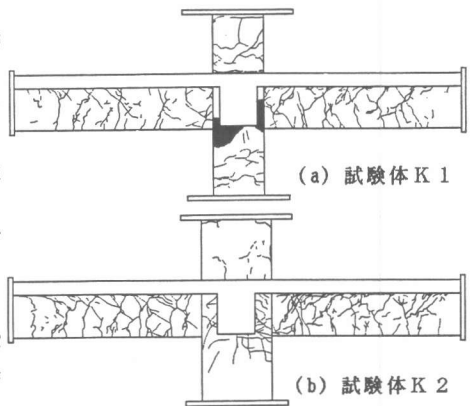
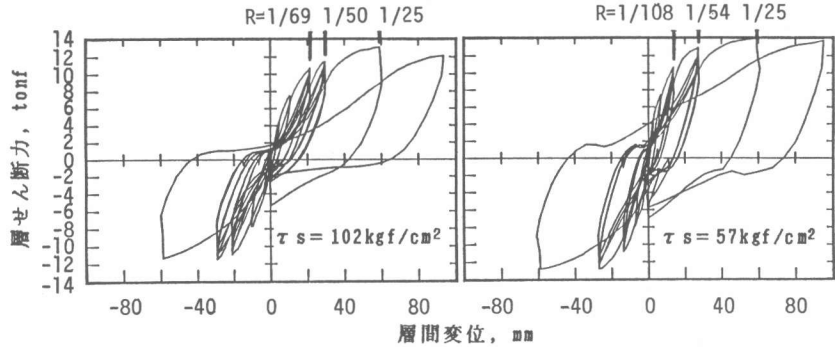


図4 実験終了時のひびわれ

なる。両試験体ともに同一振幅の繰り返し載荷により逆S字形の履歴特性を示した。ただし、層間部材角 $1/50\text{rad}$ 前後での等価粘性減衰を求めると試験体K1で0.07、試験体K2で0.12となりループの太具合に差が見られる。



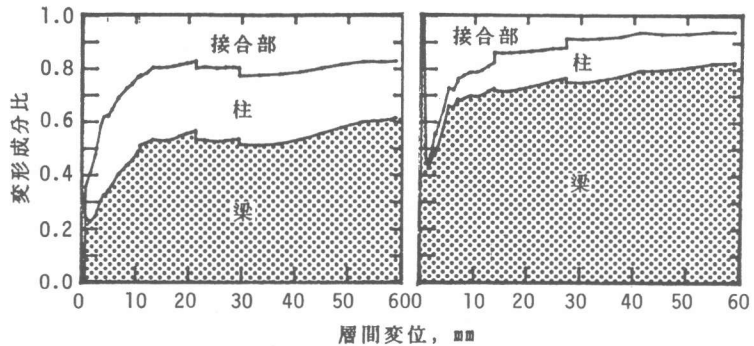
(a) 試験体 K 1

(b) 試験体 K 2

図5 層せん断力-層間変位関係

梁主筋付着指標 $\tau_s = 52\text{kgf/cm}^2$ である平面柱・梁接合部試験体の履歴特性が太った紡錘形を示した[1]ことから、試験体K2のピンチ性状はスラブがついたことによるものと考えられるがその機構は不明である。全スラブ筋量を加算した梁上端筋量は下端筋量の2.5倍となり、鉄筋量の差によってピンチ化が生じたとも考えられる。

3.3 変形特性、試験体 K1、K2について、層間変位に占める各部材変形の割合を図6に示す。



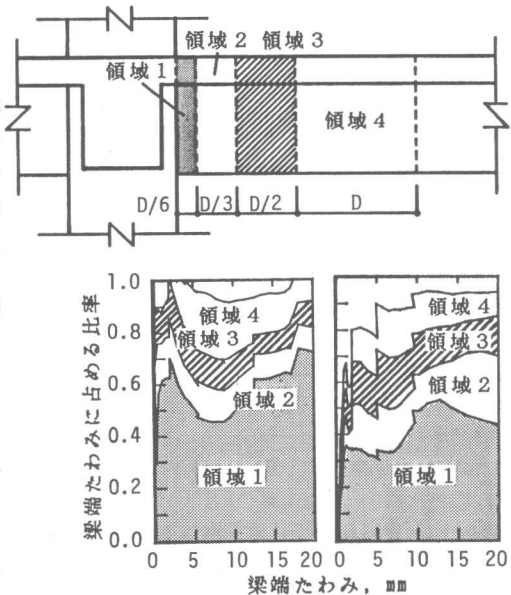
(a) 試験体 K 1

(b) 試験体 K 2

図6 層間変位に占める各部材変形の割合

接合部成分は層間変位から梁と柱の成分を引いたものとした。試験体K1では梁の変形成分が6割であるが、試験体K2では8割となり、この差は柱の剛性が異なるために生じた。試験体K1では柱及び接合部の変形が履歴性状にかなりの影響を与えたと思われる。梁付根から $D/6$ 、 $D/3$ 、 $D/2$ 及び D の位置で分けられる部分(それぞれ領域1~4とする。 D は梁せい)の局部回転が梁端たわみに占める割合を図7に示す。領域1の成分は梁主筋の接合部からの抜け出しによる付加回転が大部分を占めると考えられ、試験体K1で梁端たわみが 20mm のときに7割を占める。それに対して試験体K2では同一変位時に5割であり、試験体K1の梁主筋抜け出し量が多いことを示している。

3.4 スラブと直交梁の挙動。外柱・梁接合部試験体K3の層間部材角約 $1/120\text{rad}$ 時スラブ筋ひずみ度分布を図8に示す。主方向に加力すると、柱そばの主方向スラブ筋(G,H,I)に引張りひずみが発生し、スラブが水平面内回転しないというモーメントの釣り合いを満たすために主方向梁先端の直交方向スラブ筋(E,F)にも引張りひずみが生じる。ところが、直交方向に加力すると直交梁先端の主方向スラブ筋(K,L)には



(a) 試験体 K 1

(b) 試験体 K 2

図7 梁局部回転が梁端たわみに占める割合

ほとんど引張りひずみが生じず、さきの場合と異なる。これは反対側にスラブが存在しないため、直交梁自身がスラブに引張られて水平面内変形するためと考えられる。このことはひびわれ状況、梁端部の水平面内変形測定及び梁主筋ひずみによっても確認された。ただし、二方向加力によってスラブにひ

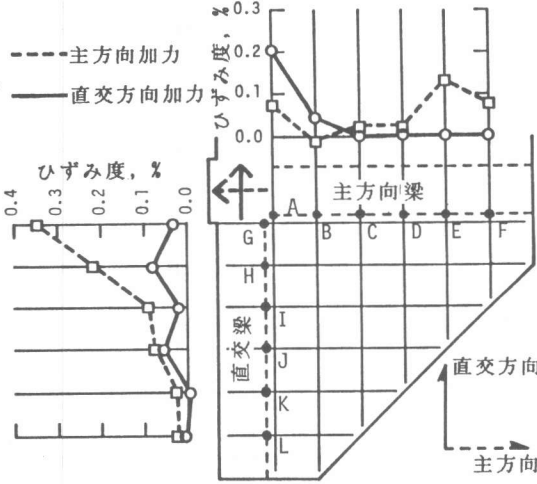


図8 スラブ筋ひずみ度分布

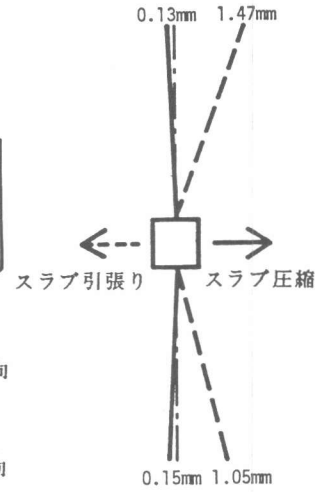


図9 直交梁の水平面内変形

びわれが発生するため、載荷を繰り返すと直交梁先端の主方向スラブ筋(K,L)にも引張り力が生じる。

主方向に加力したときの直交梁の水平面内変形量(層間部材角 $1/188\text{rad}$ 時)を図9に示す。スラブ圧縮となる方向に加力するときはほとんど変形しないが、スラブ引張りとなるときは直交梁先端がスラブに引張られてかなり変形することがわかる。なお、このときの変形量はスラブが両側にある試験体K1のその3~4倍に相当する。スラブが片側にしかないとき、スラブ筋に生じる引張り力を打ち消す[3]ことができず直交梁のねじれが厳しくなることが予想される。試験体K3では梁付根付近にねじれひびわれが観察されたが、ねじれ破壊による耐力の低下は生じなかった。層間部材角 $1/25\text{rad}$ の大変形時には全スラブ筋が降伏しており、このときの直交梁中心軸回りのねじれモーメントは $94.3\text{tonf}\cdot\text{m}(=4.01\text{tonf}/\text{cm}^2 \times 0.32\text{cm}^2 \times 6\text{本} \times 12.25\text{cm})$ となる。一方、純ねじれを受ける梁の終局ねじれモーメントはRangan-McMullenの式[4]を用いると $214.8\text{tonf}\cdot\text{m}$ となり、曲げせん断耐力とねじれ耐力との間に楕円の相関があることを考慮すると $198.0\text{tonf}\cdot\text{m}$ となる。直交梁へのねじれ入力が小さかったため、ねじれ破壊を生じなかったと考えられる。

4. 結論

(1) 梁主筋付着指標 τs に基づいて接合部内梁主筋付着性状の良否を考慮した内柱・梁接合部試験体は、2体とも逆S字形履歴を示した。梁主筋付着が良いと考えられたのにピンチ性状を示したのは、スラブが付いたことによると思われる。

(2) スラブが片側にしかない外柱・梁接合部試験体では、直交梁がスラブにより引張られ内柱・梁接合部試験体に較べて大きな水平面内変形を生じたが、入力されるねじれモーメントが小さかったため直交梁のねじれ破壊は生じなかった。

《謝辞》 本実験を行なうにあたり御協力いただいた東京大学工学部助手細川洋治、田才晃の両氏、及び建築学科青山・小谷研究室の大学院生、卒論生各位に厚く感謝いたします。なお、本実験は鉄筋コンクリート造柱・梁接合部に関する日本・アメリカ・ニュージーランド三国の共同研究の一環として実施されたことを付記する。

【参考文献】

- [1] 北山和宏、栗栖浩一郎、小谷俊介、青山博之：“梁主筋の付着をよくした柱梁接合部の耐震性能”、第7回JCI年次講演会論文集、6月、1985、pp.605-608。 [2] 同：“梁主筋付着を良くした梁降伏型骨組接合部の履歴特性”、日本建築学会学術講演梗概集(C)、10月、昭和60年、pp.293-294。 [3] 鈴木紀雄、小谷俊介、青山博之：“鉄筋コンクリート造スラブ付き柱はり立体接合部に関する実験的研究”、第5回JCI年次講演会論文集、1983、pp.425-428。 [4] 日本建築学会構造委員会：“鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料 鉄筋コンクリート梁の捩り耐力(その1)”、建築雑誌、10月、1984、pp.59。