

論文 柱梁接合部における梁曲げ降伏後の破壊形式に関する実験的研究

立石眞男*1・石橋一彦*2

要旨: 鉄筋コンクリート柱・梁接合部の破壊形式のうち、特に梁曲げ降伏後の破壊時に、コンクリートの対角線ストラットによるせん断破壊とは異なった新たな破壊形式が既往の実験よりみられた。本研究では、梁降伏後の接合部のせん断破壊を抑止するため、補強量、コンクリート強度、補強方法、定着長をパラメータとし、それぞれの効果の比較を行うと同時に新たな破壊形式の確認をおこなった。

キーワード: 柱梁接合部、破壊形式、梁降伏、補強筋

1 はじめに

現在の鉄筋コンクリート柱・梁接合部に関する設計法〔文献1〕〔文献2〕では、梁降伏後に接合部破壊が生じる破壊形式、いわゆるBJタイプに関する設計条件が提示されていない。また、接合部の破壊形式に関しても、同上文献で提示されているような接合部内のコンクリートの圧縮束の破壊を主因とするせん断破壊とは異なる破壊形式が〔文献3〕で垣間見られた。また、現在の接合部のせん断強度式では、補強筋は強度には関係せず拘束効果としてのみ考慮されている。そこで本研究では、梁の曲げ破壊先行型で〔文献1〕に建築学会が規定する各部材の終局強度を満足する試験体を標準体とし、接合部せん断力・接合部補強筋量・コンクリート強度・定着長比を実験因子とした試験体の実験を行いそれぞれの効果を検討し、梁の曲げ降伏後の破壊形式の一般化を試みた。

発生した。0.01rad負荷重時には正荷重時に発生した梁端部のひび割れが圧縮鉄筋のもぐり込みによる接合部区間内での定着破壊を助長しながら閉じると同時に、正荷重時に発生した接合部内対角線ひび割れとは対称の対角線ひび割れの中央が開いた。ここで、正荷重時に発生した対角線ひび割れは接合部内のせん断力によって閉じるはずであるが、中央しか閉じずにコーナーは開いてくるという従来提唱されていない破壊となった。さらに、塑性変形領域での繰り返し荷重では、梁の通し鉄筋の接合部内定着破壊に起因する新たな破壊形式が顕著に生じた。

2 実験方法

2.1 文献3における破壊形式

〔文献3〕では、〔文献1〕に則って設計され、接合部せん断強度に余裕を持たせた標準試験体をAIJ、接合部に過度の補強を施して接合部せん断強度の上昇を目的とした試験体をKSCとした。AIJの実験中、接合部に図-1に示すような破壊性状が見られた。まず試験体の部材角Rが0.005rad, 0.01radの正荷重までに梁端部に曲げひび割れ、接合部にせん断ひび割れが

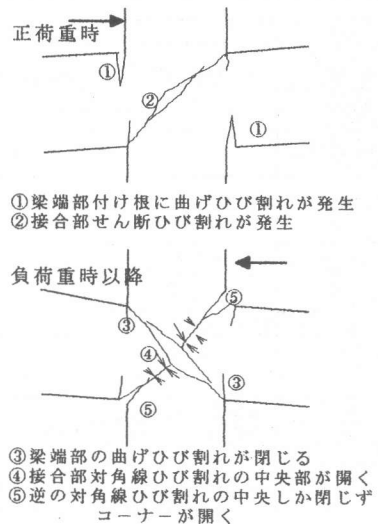


図-1 文献3における破壊形式

*1 千葉工業大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

*2 千葉工業大学教授 工学部建築学科 博(工) (正会員)

2.2 使用した試験体の選択と詳細

表-1に使用した材料の試験結果、表-2に試験体因子及びその他の試験体諸元、図-2及び図-3に各試験体の接合部の詳細を配筋と断面でそれぞれ示してある。本研究で検討する試験体は、RC造ラーメンの内柱接合部を対象とした十字型架構の1/2縮小モデルである。試験体は[文献3]のものを含めて全部で6体ある。KSCを除く5体は梁曲げ降伏先行型であり、各試験体の梁の曲げ終局強度に対する接合部せん断強度はKSCで0.62~0.71, CSPで1.42~1.78, AIJで1.33~1.53, 他の試験体では1.11~1.37となった。AIJ試験体を標準として、HRPは接合部に過度の補強を追加し、CSPはコンクリートに35.3MPaの設計基準強度のものをを用い、

HBSはAIJと同じ鉄筋量のまま柱と梁の主筋径と本数を変更して接合部内定着区間長の径に対する比を上げた。JCRは標準試験体の実験で生じたせん断ひび割れを拘束する斜め45°のコーナーを補強する溶接フープ筋を配筋した。

それぞれの試験体寸法は、柱断面が350mm×350mm、梁断面が300mm×400mmである。AIJ, HRP, CSP及びJCRの梁の

表-1 材料試験結果
コンクリート

	圧縮強度	割裂強度	ヤング係数
KSC・AIJ	24.5	1.99	25.1
HRP・ICR・HBS	25.0	2.21	22.4
CSP	33.3	2.69	15.1

圧縮強度(Mpa) 割裂強度(Mpa) ヤング係数³(Mpa)

鉄筋

呼び名	KSC・AIJ				HRP・CSP・ICR・HBS			
	降伏点	引張強度	ヤング係数	伸び率	降伏点	引張強度	ヤング係数	伸び率
D10	363	517	195	19.2	376	509	189	15.5
D13	363	538	187	19.2	388	542	189	15.1
D16	336	510	184	16.9	376	546	196	17.7
D19	384	561	202	17.1	389	567	203	15.4
D22	372	609	179	15.9	—	—	—	—

降伏点(Mpa) 引張強度(Mpa) ヤング係数*10³(Mpa) 伸び率(%)

表-2 試験体因子及び諸元

試験体	KSC	AIJ	HRP	CSP	JCR	HBS
試験体因子	接合部せん断破壊	標準	過度の補強	高強度コンクリート	特殊補強	十分な定着長比
梁						
梁断面	300mm×400mm					335mm
有効せい	357mm					335mm
梁主筋	5-D22(SD345)	5-D16(SD295)		5-D16(SD345)		8-D13(SD345)
引張鉄筋比	1.80%			0.92%		1.01%
あばら筋			D10	@100(SD295)		
あばら筋比				0.47%		
梁スパン	3750mm					
柱						
柱断面	350mm×350mm					
柱軸力	N=481kN(σ=3.92MPa)					
有効せい	281mm			305mm		283mm
柱主筋	12-D19(SD345)			8-D19(SD345)		12-D16(SD345)
引張鉄筋比	1.87%			0.93%		0.97%
帯筋	4-D13 @50(SD345)			D10 @100(SD295)		
帯筋比	2.90%			0.81%		
階高	1800mm					
接合部						
あばら筋	4-D13(SD345) 5組	—	4-D13(SD345) 5組	—	—	—
帯筋	4-D13(SD345) 5組	4-D10(SD295) 3組	4-D13(SD345) 5組	—	4-D10(SD295) 3組	—
溶接フープ筋	—	—	—	—	D10(SD295) 4組	—
コンクリート強度	23.5MPa		—	35.3MPa	—	23.5MPa
計算値						
梁曲げ終局強度						
文献1	276kN	129kN	147kN	147kN	147kN	146kN
接合部せん断強度						
文献1	197kN	197kN	201kN	262kN	201kN	186kN
文献2	171kN	171kN	173kN	209kN	173kN	161kN
安全率 (接合部せん断強度/梁曲げ終局強度)						
文献1	0.71	1.53	1.37	1.78	1.37	1.27
文献2	0.62	1.33	1.18	1.42	1.18	1.11

曲げ補強筋には5-D16, 柱の曲げ補強筋には8-D19を用いた。KSCの梁の曲げ補強筋には5-D22, 柱の曲げ補強筋には12-D19を多段で配筋し, HBSの梁の曲げ補強筋にはD13を8本, 柱の曲げ補強筋には12-D16をそれぞれ多段配筋した。肋筋にはD10を使用した。KSCの帯筋にはD13を使用した, その他の試験体にはD10を使用した。接合部内補強筋の1組はD13の135°フック付き閉鎖型のもの2個からなり, 目の形にずらして配筋した。KSC及びHRPでは肋筋及び帯筋に5組ずつと多量の補強を行い, 他の試験体は帯筋だけ3組ずつとした。JCRにはD10の溶接フープ筋を梁主筋の間に計4本, 縦型に配筋した。

2.3 加力方法

加力は図-4に示すように, 試験体の柱頭に水平ジャッキを取り付け, 梁両端をローラー支持, 柱脚をピン支持とし, 正負交番の繰返し加力を行った。梁両端の支点間距離は3750mm, 柱の支点間距離は1800mmである。試験体の接合部側面に十字形のアルミフレームを取り付け柱及び梁のたわみを測定し, 柱と梁の相対部材角Rを算出した。また, 別系統で接合部とアルミフレームとの相対変位を測定し, 接合部のせん断変形角 γ を独立して求めた。加力は図-5に示す加力ルールに従って行い, 柱には3.92MPaの軸方向応力度を実験中一定に保った。

3 実験結果

3.1 最終破壊状況

写真-1は各試験体の最終破壊状態を示す。AIJ及びKSCは $R=0.02$ radで最大荷重を記録し, AIJに梁降伏後の接合部破壊に対する増強を計画した4体は0.04

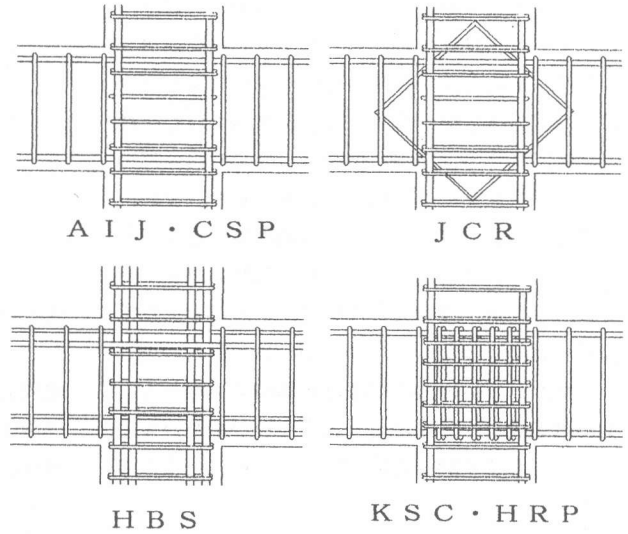


図-2 接合部配筋図

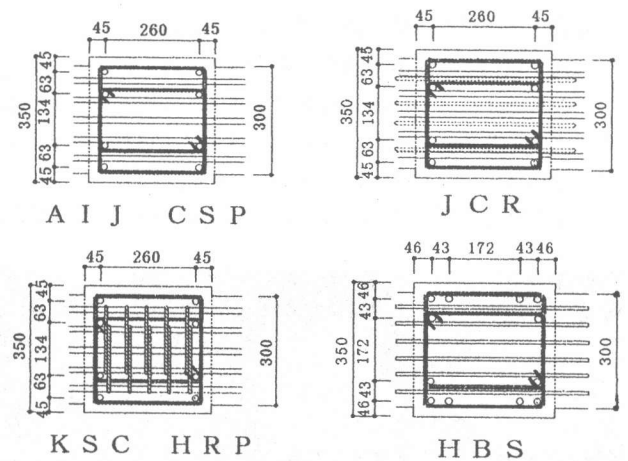


図-3 接合部断面図

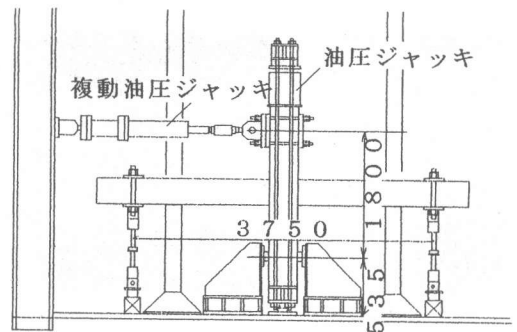


図-4 加力図

radで最大荷重を記録した。ここでAIJと上記4体との最大荷重は、梁主筋の降伏点にほぼ比例している。試験体KSCとAIJの接合部でコンクリートの大きな剥落が確認された。KSCでは他の試験体に比べ梁のひび割れ数が少なく、柱に比較的多くのひび割れが発生しており接合部のかぶりコンクリートはほとんど剥落した。また、接合部のかぶりコンクリートの剥落の少なかった4体のうち、接合部のひび割れはHBSが多く発生し、その幅が最も大きく開いた。JCRでは接合部の剥落は少なく、かつひび割れの開きは小さかったが、梁付け根の圧壊は6体中最も激しく、梁には溶接フープ筋に沿うようなひび割れが発生した。KSCを除く5体で梁の付け根に圧壊が確認された。

3.2 水平荷重Q-部材角Rの関係

図-6にQ-R関係を示す。各試験体において、最大荷重を記録した部材角と同一部材角振幅における繰り返し時の荷重の減少率を比較してみると、CSP及びJCRでは最大荷重の94%、91%まで耐力が低下しており、AIJ、HRP、HBS及びKSCでは69%、79%、80%及び82%まで低下している。これは梁の曲げ降伏後に、

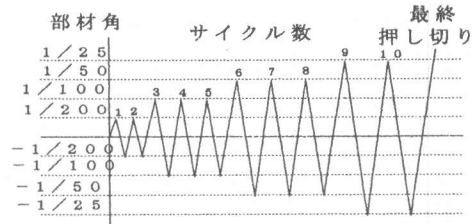


図-5 加力ルール

破壊が梁から接合部に移行した為と思われる。しかし、AIJ及びKSC以外の4体の接合部では比較的、破壊程度は激しくはなかった。次に各試験体で最大荷重記録後の各サイクルの除荷時の滑りを比較してみると、CSP及びJCRは他の試験体より滑りが小さく、ループは比較的紡錘形に近い。これは破壊が梁に卓越し、接合部に破壊があまり移行していない為と思われる。

3.3 変形成分比

図-7に柱、梁及び接合部の変形を分離して求めた変形成分比(%)の推移を示す。AIJの接合部の変形成分比が最大荷重記録後の部材角から徐々に上昇したことから、梁降伏後に接合部せん断破壊が進行したと思われる。0.02radで

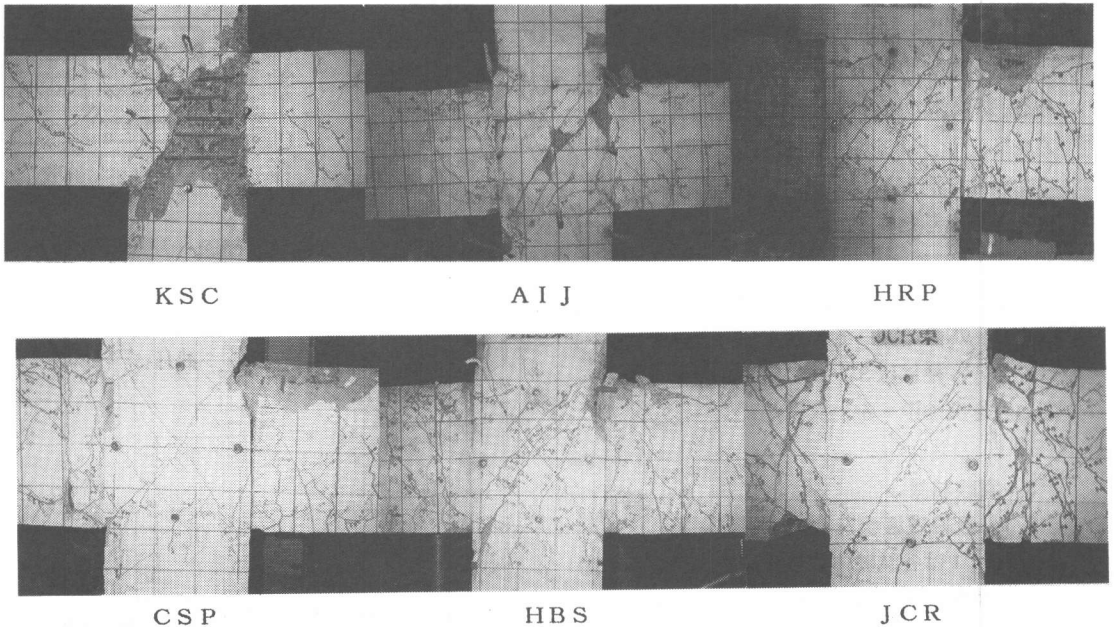


写真-1 最終破壊状況

大きなスリップ性状が見られたKSCでは、 0.01 rad 以降接合部の変形成分比が急上昇したことや最終破壊状況から、著しい接合部破壊が起きたと確認できる。HRPとHBSは 0.005 rad 時の柱と接合部の変形成分比がそれぞれ 30% 、 20% 弱であり、部材角が大きくなると減少していることは、共に梁の曲げ破壊が卓越したことを示す。ここで、HBSの接合部の変形成分比が若干大きいことが確認できる。CSPとJCRは 0.005 rad 時の柱と接合部の変形成分比がそれぞれほぼ 10% であり、接合部の変形成分比が当初より小さいことがわかる。

4 考察

各試験体の破壊形式は、ひび割れやコンクリートの剥離から、KSCが接合部せん断破壊型、他の試験体は梁降伏後の接合部せん断破壊型で、その破壊の程度に差があったといえる。AIJは他

の4体の試験体に比べて接合部せん断破壊が激しかった。残りの4体のうちHBSは梁降伏後に接合部のひび割れが大きく開いたり、接合部の変形成分比が $10\% \sim 20\%$ とやや高かったことより、主筋の定着長比増大による接合部増強の効果はあまり見られなかった。これは定着長比増大の効果の主筋の降伏点増大によって相殺されたことを示す。HRPは接合部の最終の変形成分比は 10% 前後と高くはないが、履歴ループで大きな滑りが見られた。これは、接合部内の補筋筋が接合部の変形を抑制はしたが、接合部内コンクリートを拘束して、主筋の定着力を上昇させるまでには至らなかったためと思われる。JCRはAIJに比較して、接合部の変形成分比や履歴ループの滑りは非常に小さくなった。これはJCRに縦型溶接フープ筋を追加したので、接合部コーナーのひび割れの開きを小さくし接合部の変形を抑えることが出来たためだといえる。



図-6 荷重-部材角曲線

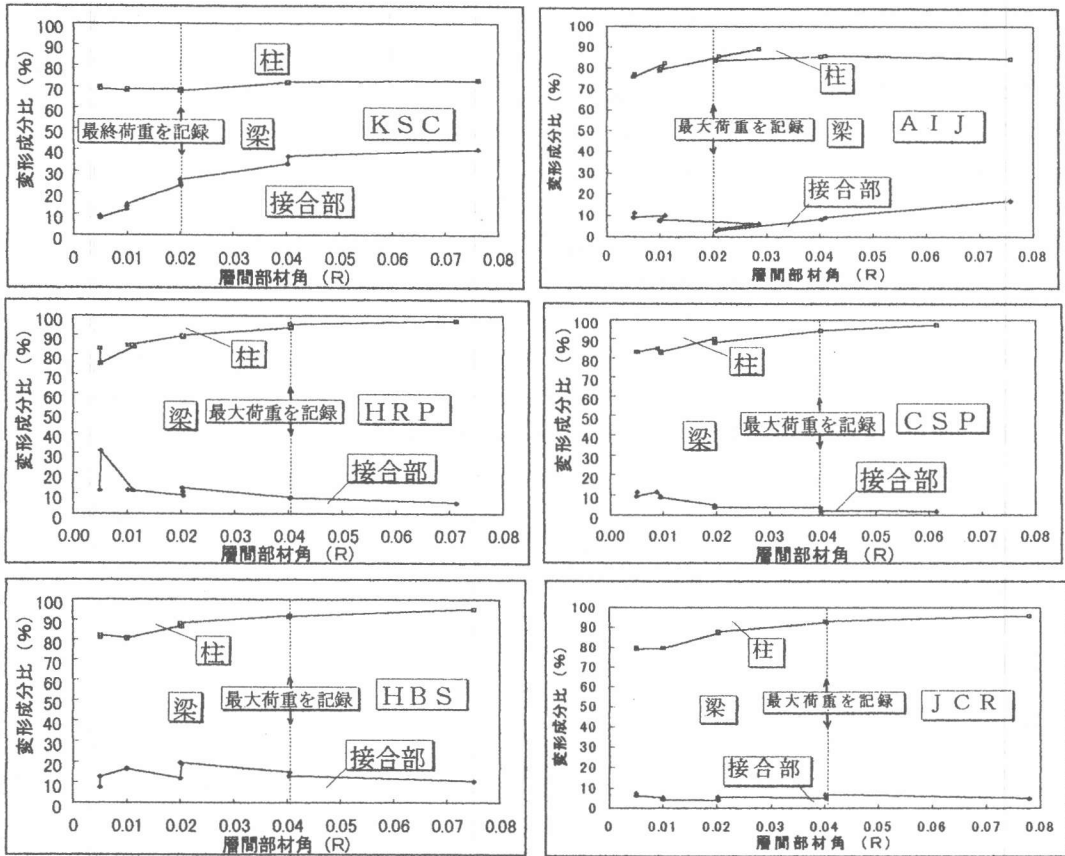


図-7 変形成分比

5 結論

- ・ CSPのように接合部の設計条件の厳しい [文献2] の接合部強度に対する試験体の安全率が 1.42 以上であれば、梁降伏後の接合部破壊は非常に小さくなる。
- ・ 接合部内を帯筋タイプのせん断補強筋で補強するよりも、JCRのように接合部のコーナーに発生するせん断ひび割れの開きを抑制した方が、接合部の変形を抑えることが出来る。
- ・ 本論で提唱する接合部のせん断破壊機構は [文献3] で発見し、さらにHRP及びHBSの2体で実験的に再確認された。さらに、JCRの斜め補強によるひび割れ拘束の効果が非常に大きかった。このことにより、従来の設計強度以下の応力レベルを受ける柱・梁接合部の場合には、梁降伏後の梁主筋の付着劣化が、その後の接合部破壊の第一要

因となることが一般化できた。

[謝辞]

本研究の実施にあたり、千葉工業大学卒論生、栗田憲一、新原広宣、平中紀博、平野剛士君の協力を得た、ここに深く感謝する。

[参考文献]

- [1] 日本建築学会：鉄筋コンクリート建物の終局強度型耐震設計指針・同解説
- [2] 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針(案)・同解説
- [3] 立石ほか：RC柱内部で梁鉄骨を接合したハイブリット接合部の実験的研究，建築学会大会学術講演梗概集 pp1013-1014 1997