

[2126] 高強度コンクリート 1階柱に及ぼす基礎梁コンクリート強度の影響に関する研究

宮本 守^{*1}・野村 設郎^{*2}・衣笠 秀行^{*3}

■はじめに■

近年、30階程度の高層建築物がRC構造でも建設されるようになり、これに伴い柱は高軸力に対処するため高強度コンクリートを使用する場合が多い。この高強度コンクリートを用いる1階柱に対して、基礎梁は普通強度程度のコンクリートを用いる場合が多い。本報告は、この強度差が1階柱・基礎梁接合部、また柱の曲げ圧縮破壊性状に及ぼす影響を明らかにするため、まず基礎的性状を求める目的として行った以下の2つの実験及び解析の検討結果をまとめたものである。

■基礎梁接合部を含む柱の一軸圧縮実験■

1. 実験概要

1) 試験体及び材料

図1に試験体形状を、表1に試験体一覧を示す。試験体は柱・基礎梁接合部（隅柱、外柱、中柱）を切り出す形となっている。実験パラメータは基礎梁幅と基礎梁形状の2つである。柱断面は10cm×10cmであるのに対して基礎梁幅は10cmと15cmの2種類、基礎梁の平面形状はL形、+形、T形の3種類であり、試験体は計6体を計画した。以下ではこれら試験体をL10、+10、T10（基礎梁幅10cm）及びL15、+15、T15（基礎梁幅15cm）と略記する。代表的試験体の寸法及び配筋図を図2に示す。コンクリート強度分布は柱部分を600kgf/cm²、基礎梁部分を200kgf/cm²とした（図1）。実際の高層RC構造物にはこの様な大きな強度差はないが、これは基礎梁部分の破壊を目的としたためである。使用材料の力学的特性を表2、表3に示す。

2) 加力方法

加力方法は図3に示す加力装置による柱軸方向の一向向単調載荷とし、柱頭部は回転のみ拘束した。

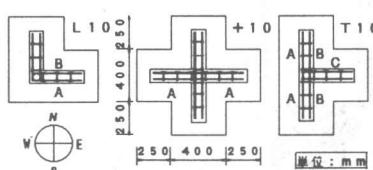


図2 配筋図及び試験体寸法

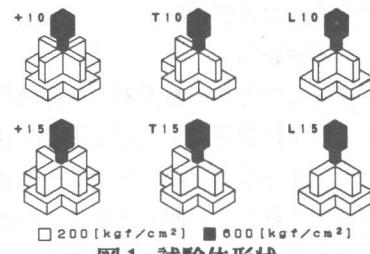
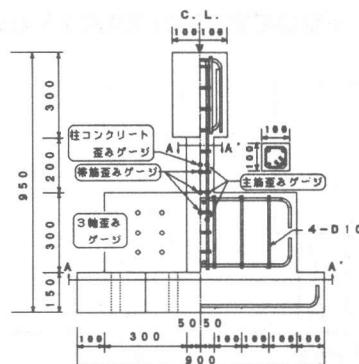


図1 試験体形状

表1 試験体一覧

試験体	L10	+10	T10	L15	+15	T15
柱	b × D	100 × 100				
	主筋	4 × D10 (SD285)				
	p _t	1.26	1.21	1.26		
	帯筋	2 × 6 φ (SR235) @75				
基礎梁	p _w	0.58	0.72	0.58		
	b × D	100 × 300		150 × 300		
	主筋	4 × D10 (SD285)		4 × D10 (SD285)		
	p _t	0.46	0.44	0.31		
	筋筋	2-6 φ (SR235) @100				
	p _w	0.43	0.54	0.29		

b, D: [mm] p_t, p_w: [%]



*1 東京理科大学大学院 理工学研究科建築学専攻（正会員）

*2 東京理科大学教授 理工学部建築学科、工博（正会員）

*3 東京理科大学講師 理工学部建築学科、工博（正会員）

表2 コンクリートの力学的特性 表3 鉄筋の力学的特性

試験体	F_c	σ_B	ν	ヤング係数
T10 以外	600	554	0.25	3.62×10^5
	200	200	0.17	2.24×10^5
T10	600	629	0.24	3.48×10^5
	200	182	0.20	2.11×10^5

 F_c, σ_B, ν 係数: [kgf/cm²]

試験体	径	規格	σ_y	σ_t	ヤング係数
T10 以外	6 φ	SR235	4051	5512	2.33×10^6
	D10	SD285	4007	5901	2.08×10^6
T10	6 φ	SR235	3637	4895	2.17×10^6
	D10	SD285	4245	5942	1.98×10^6

 σ_y, σ_t, ν 係数: [kgf/cm²]

表4 最大耐力及び破壊部位

試験体	L10	+10	T10	L15	+15	T15
最大耐力	36.4	60.3	44.8	39.0	59.4	50.0
(柱軸応力度)	(364)	(603)	(448)	(390)	(594)	(500)
破壊部位	梁	柱	梁	梁	柱	梁

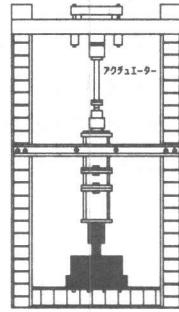
最大耐力: [t] 柱軸応力度: [kgf/cm²]基盤梁の σ_B 

図3 加力装置

3) 測定方法

基礎梁に対する柱の軸方向変位 (N, E, S, W 方向) を電気式変位計で計測した。また、歪みゲージによって主筋 (接合面+0, ±10cm の 3段×4本) 、帶筋 (接合面+0, ±7.5cm の 3段×2ヶ所) 、柱・基礎梁コンクリート表面の歪を測定した (図2)。以下の N, E, S, W 方向は図2に示す。

2. 実験結果及び検討

1) 破壊耐力

表4に軸方向の最大耐力及び破壊部位をまとめて示す。実験の結果、+形では柱部分が、L形、T形では基礎梁部分が破壊し最大耐力に達した。柱と基礎梁のコンクリート強度比は柱が1に対して基礎梁は0.

36 (T10のみ0.29) である。+形の (最大耐力時の柱軸応力度 / 基礎梁の σ_B) の値は約3.0でありこれを1としたときのL形、T形の (最大耐力時の柱軸応力度 / 基礎梁の σ_B) の値は平均するとそれぞれ0.63、0.83であった (表4)。+形では柱部分で破壊が発生したため、基礎梁部分破壊耐力は不明である (60tf以上)。このように基礎梁の平面形状が異なるとL形→T形→+形の順に基礎梁部分の耐力が上昇することが観察された。また、基礎梁幅を柱幅より大きくすると基礎梁部分の耐力は増すが、その増大率は基礎梁幅の増大率に比較して小さい。

2) 破壊性状

図4にL15、+15、T15の代表的破壊面の実験終了時破壊性状を示す。L形は基礎梁 (S, W 方向柱直下) のかぶりコンクリートが逆三角形状に剥離破壊した後、柱のN、E方向が圧壊した。+形は柱コンクリートが圧縮破壊し柱主筋も座屈したが、基礎梁は外見上無傷であった。T形は基礎梁 (W 方向柱直下) のかぶりコンクリートが剥離破壊した後、柱の E 方向が圧壊した。

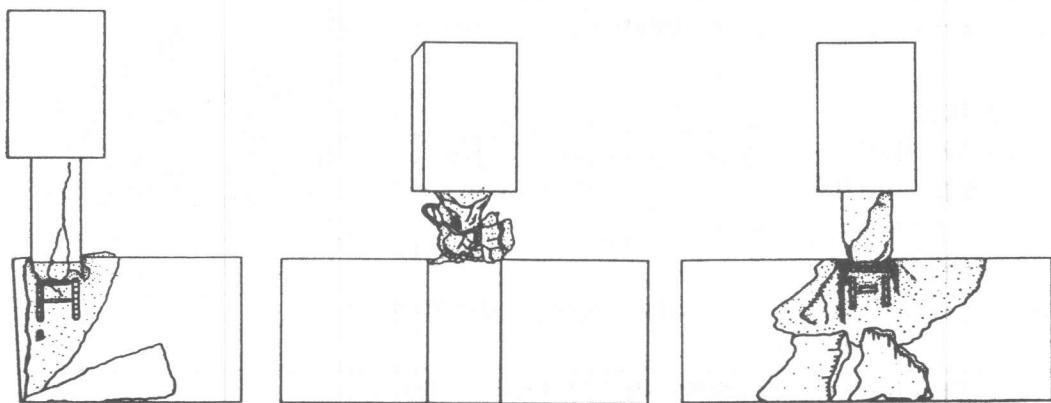


図4 破壊性状 (方向は図2参照)

3) 基礎梁コンクリートの主歪図

基礎梁平面形状による力の流れの違いを把握するため、最大耐力2/3時のL15, +15, T15の基礎梁コンクリートの主歪図を図5に示す。歪のデータは基礎梁の側面に貼った3軸歪ゲージの値とした。A、B、C面の位置は図2に示す。基礎梁における力の流れは基礎梁の平面形状により異なったものとなっていることが分かる。より詳細な違いを検討するため次節で解析により比較する。

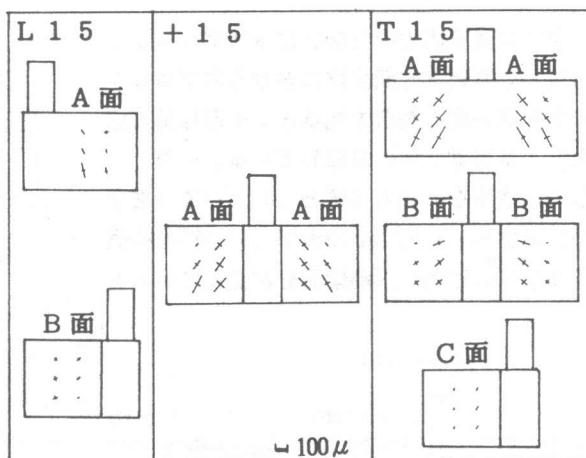


図5 基礎梁コンクリートの主歪図（最大耐力2/3時）

3. 解析結果及び検討

1) 解析試験体概要

本実験のL15, +15, T15について3次元有限要素法による弾性解析を行った。図6にメッシュ分割図及び解析範囲、表5に要素の力学的特性（実験値）を示す。鉄筋は考慮しない。柱頭部は常に水平になるように回転拘束し、基礎梁底面は完全拘束とした。また、要素の大きさは2.5cm立方とし、荷重は100kgf/cm²の面載荷とした。

2) 基礎梁底面の垂直応力度分布

柱から基礎梁底面への力の流れ方を把握するために、基礎梁底面要素の軸方向の垂直応力度分布を図7に示す。図に示したように、+形と比較して非対称断面であるL形、T形は梁のない部分に応力が偏り、+形→T形→L形の順に応力の集中が大きくなる。これは図5の実験結果とよい一致を示す。+形の最大垂直応力度は9.2kgf/cm²であり、これを1としたときのT形、L形の最大垂直応力度はこの集中のためにそれぞれ2.18倍、5.13倍に達する。

表5 要素の力学的特性

部位	ν	ヤング係数
柱	0.25	3.55×10^5
基礎梁	0.19	2.18×10^5

ヤング係数: [kgf/cm²]

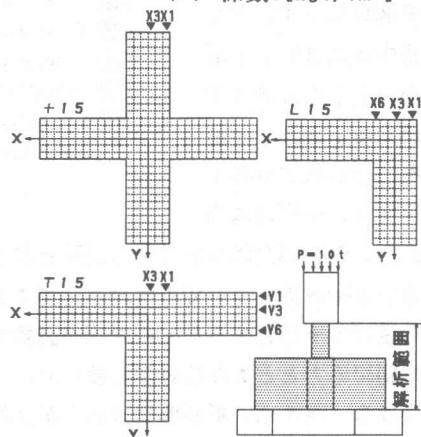


図6 メッシュ分割図及び解析範囲

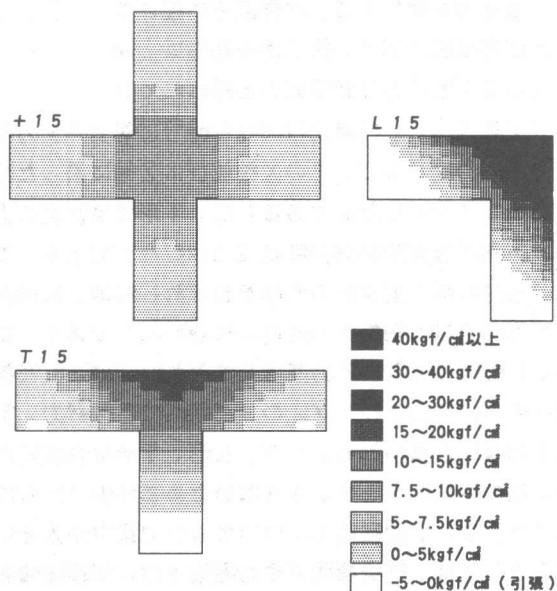


図7 基礎梁底面の垂直応力度分布(a)

図7の垂直応力度を図8に示すブロックに分割し、基礎梁底面全体における各ブロックの垂直応力度の割合を見ると、+形は垂直応力度が基礎梁全体に分散している。一方、T形では柱からの軸力の殆ど(87.4%)を一字文字の基礎梁が、L形はその大半(61.7%)を柱直下及びその近傍の基礎梁部分が支えているといえる。

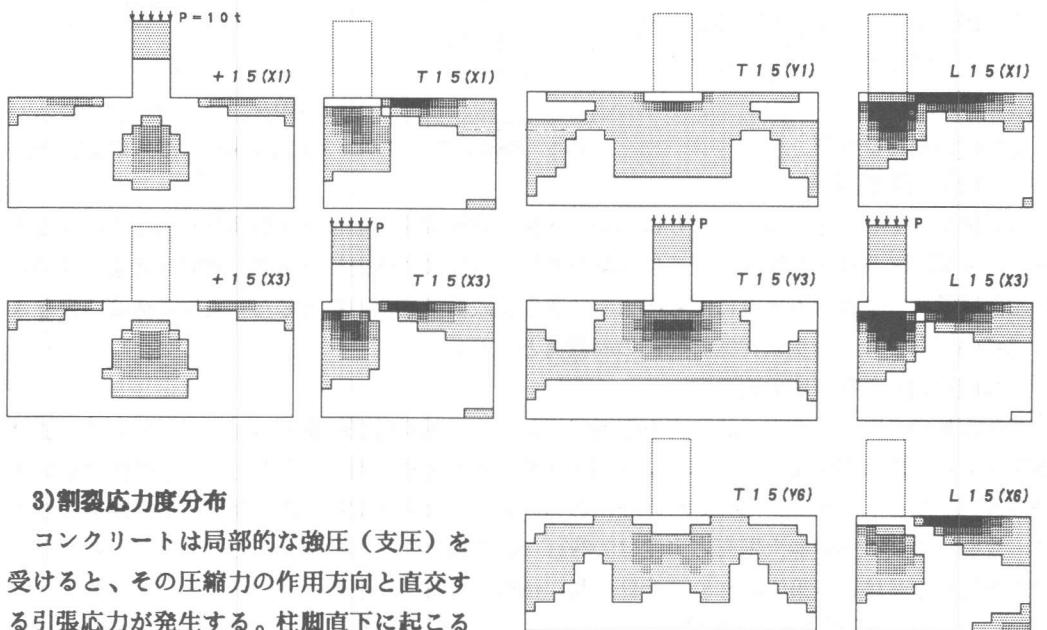
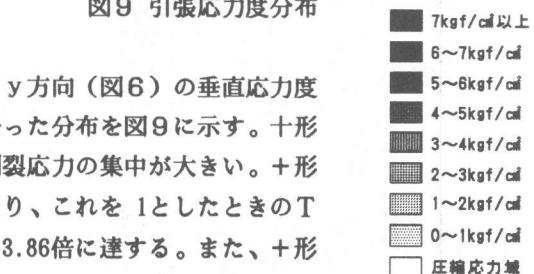


図8 基礎梁底面の垂直応力度分布(b)

3) 割裂応力度分布

コンクリートは局部的な強圧(支圧)を受けると、その圧縮力の作用方向と直交する引張応力が発生する。柱脚直下に起こる引張応力は割裂応力、柱近傍の基礎梁上面に生じる引張応力は剝離応力と呼ばれている(文献[1])。柱直圧(100kgf/cm^2)に対するy方向(図6)の垂直応力度を引張応力度として、そのX軸並びにZ軸に沿った分布を図9に示す。十形と比較して非対称断面であるL形、T形では割裂応力の集中が大きい。+形のy方向の最大割裂応力度は 2.37kgf/cm^2 であり、これを1としたときのT形、L形の最大割裂応力度はそれぞれ1.93倍、3.86倍に達する。また、+形のy方向の最大剝離応力度は 1.60kgf/cm^2 であり、これを1としたときのT形、L形の最大剝離応力度はそれぞれ3.57倍、6.75倍に達する。+形は基礎梁部の σ_B が直上柱の σ_B の1/3程度でも軸耐力、割裂応力、剝離応力について特に問題となることはないと思われる。一方、L形、T形は強度差が大きいと軸耐力についての検討が必要であり、柱の耐力低下を生じさせないためには張り出し部分を設けて+形とするなどの対策が必要であろう。また、割裂応力についても応力集中が大きいので剝離応力とともに検討が必要であろう。対策としては、割裂補強筋や基礎梁上面に剝離補強筋を設ける(例えば、平面形状は違うが文献[1])などが考えられる。

図9 引張応力度分布



■基礎梁接合部を含む柱の曲げ破壊実験■

1. 実験概要

1) 試験体及び材料

図10に試験体性状を、表6に試験体一覧を示す。また試験体寸法及び配筋図を図11に示す。柱断面は $15 \times 15\text{cm}$ 、柱の内法高さは 90cm でシアスパン比は3.3である。試験体はコンクリート強度分布が $F_c=600\text{kgf/cm}^2$ で一体打ちしたものと、柱部分の $F_c=600\text{kgf/cm}^2$ に対し基礎梁部分を $F_c=200\text{kgf/cm}^2$ と強度差があるものの計2体を計画した(図10)。以下ではこれら試験体を600/600試験体($F_c=600\text{kgf/cm}^2$ の一体打ち)、及び600/200試験体(強度差あり)と略記する。柱主筋には高強度鉄筋を使用するとともに、試験体は最大耐力がコンクリートの曲げ圧縮破壊により定まるように設計した。使用材料の力学的特性を表7、表8に示す。

2) 加力方法

加力方法は $P-\delta$ 効果を含む一定柱軸力27t(軸力比 $0.2F_c \cdot bD$)を作用させた状態での変位制御による静的正負繰り返し載荷とした。図12に本実験の加力装置を示す。載荷履歴は10/1000rad.を1回、20/1000rad.を1回繰り返しの後、50/1000rad.まで一向方向載荷とした。

3) 測定方法

試験体柱頭の基礎梁に対する水平変形及び軸方向変形を電気式変位計で計測した。また、歪ゲージによって主筋(接合面 $\pm 10, \pm 20, \pm 30, \pm 40\text{cm}$ の9段 \times 2本)、帯筋(接合面 $\pm 10, \pm 20, \pm 30\text{cm}$ の6段 \times 2方向)、基礎梁コンクリート表面の歪を測定した(図11)。

表6 試験体一覧

柱	b × D	150×150
	主筋	6-D10 (HSB70)
	p t	0.69
	帶筋	2-6 φ @50
	p w	0.58
M/QD		3.3
軸力比		0.2
基礎梁	b × D	150×500
	主筋	4-D10 (SD295)
	p t	0.18
	肋筋	2-6 φ @100
	p w	0.29

b, D: [mm] p t, p w: [%]

表7 コンクリートの力学的特性

試験体	F _c	σ _B	σ _C	ν	ヤング ^{係数}
600/600	600	754	53	0.17	4.13×10^6
600/200	600	783	47	0.17	4.13×10^6

F_c, σ_B, σ_C, ヤング^{係数}: [kg/cm^2]

表8 鉄筋の力学的特性

径	規格	σ _y	σ _t	ヤング ^{係数}
6 φ	SR235	4051	5512	2.33×10^6
D10	SD295	4007	5901	2.08×10^6
D10	HSB70	9879	15696	2.32×10^6

σ_y, σ_t, ヤング^{係数}: [kg/cm^2]

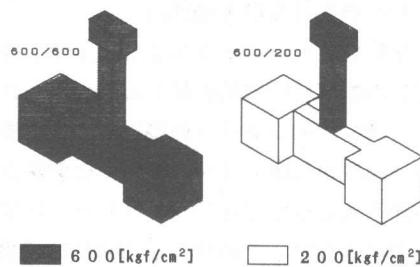


図10 試験体性状

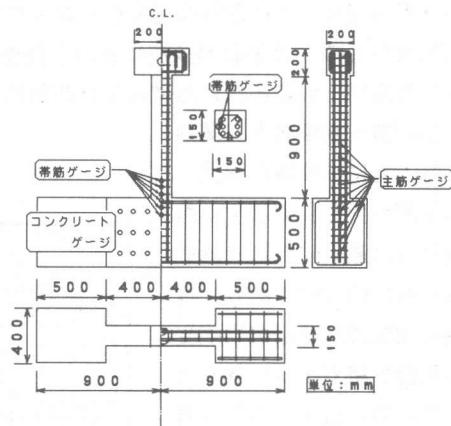


図11 試験体寸法及び配筋図

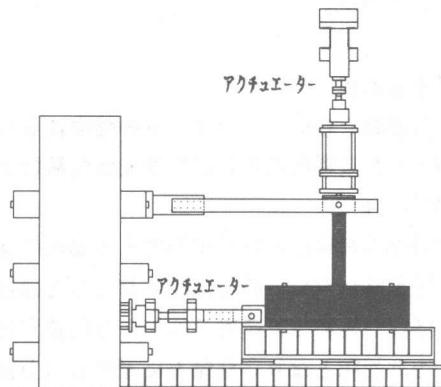


図12 加力装置

2. 実験結果及び検討

1)ひび割れ及び破壊性状

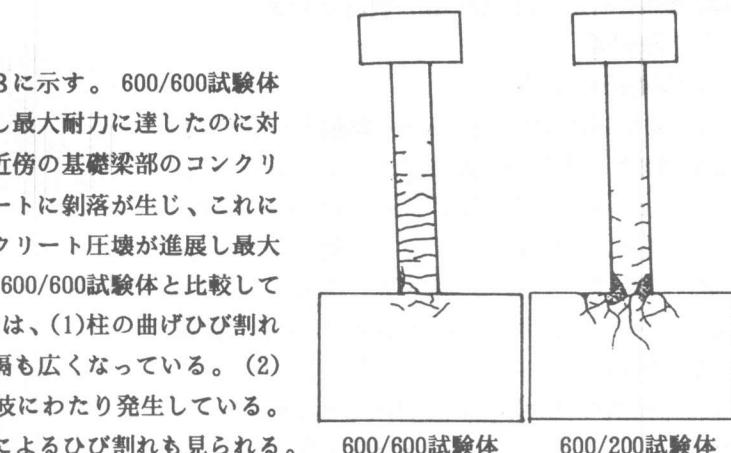
最終ひび割れ状況を図13に示す。600/600試験体は柱の曲げ圧縮破壊を起こし最大耐力に達したのに対し、600/200試験体は柱脚近傍の基礎梁部のコンクリート圧壊が発生しコンクリートに剝落が生じ、これに誘発される形で柱部のコンクリート圧壊が進展し最大耐力に達した。その他に、600/600試験体と比較して600/200試験体の破壊の特徴は、(1)柱の曲げひび割れ数は半分程度で、ひび割れ間隔も広くなっている。(2)基礎梁部分のひび割れが多岐にわたり発生している。

(3)基礎梁上面の剝離応力によるひび割れも見られる。

2)荷重-水平変形角関係

図14に試験体の荷重-

水平変形角関係を示す。両試験体の最大耐力はそれぞれ2.67tと2.36tであり、試験体600/200は基礎梁強度の影響で耐力が少し低くなっている。復元力特性は両者とも曲げ圧壊形の特性となっている。



600/600試験体 600/200試験体

図13 破壊性状

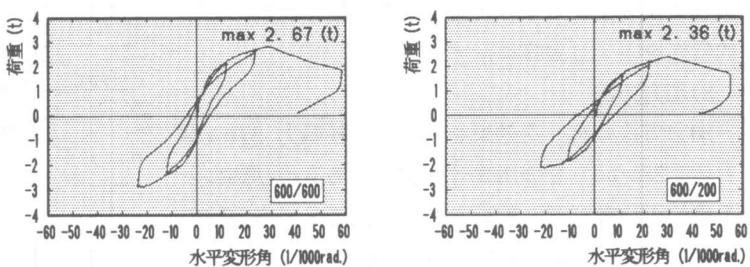


図14 荷重-水平変形角関係

■まとめ■

基礎梁と柱のコンクリートの強度比として1:3~4という大きな値を設定し、基礎梁底面を固定した基礎的実験及び3次元弾性解析より、柱・基礎梁接合部の破壊性状について以下の結論が得られた。

- ①基礎梁の平面形状が+形である場合には、基礎梁部の σ_B が直上柱の σ_B の1/3程度でも、一軸圧縮時において特に問題となることはないと思われる。
- ②隅柱や外柱下基礎梁は柱から高圧縮力を受けるばかりでなく、基礎梁の平面形状がL形やT形の非対称となり、柱軸力に対する応力集中が大きく、柱と基礎梁の強度差が大きいと基礎梁部で破壊する恐れがある。
- ③一般に基礎梁部強度が柱部強度に比較して小さい場合には、柱の軸力と曲げによる局部圧縮に対する基礎梁部の割裂及び支圧応力の検討を行っておく必要があろう。

■謝辞■

本研究は建設省New RC総合プロジェクトの一環として行われたものである。また、3次元FEM解析にあたりご協力を頂いた、佐藤工業㈱中央技術研究所の佐藤和英氏に深く感謝します。

■参考文献■

- [1] 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工規準・同解説、pp.206-222、1987