

# 論文 [2047] T形断面 RC 梁のスラブ有効幅について

上田英明\*1・畑中 重光\*2・岸 圭介\*3・小池 狭千朗\*4

## 1. はじめに

筆者らは既報[1],[2]において、曲げせん断を受けるT形RC梁の塑性変形挙動に及ぼすスラブ幅、スラブ位置および材長の影響を実験的に調べ、圧縮および引張側スラブの有効幅(Be)、塑性ヒンジ等価長さ(elp)を定量的に明らかにすると共に、せん断および鉄筋の抜け出しによる材端変位の推定式を提案した。しかしながら、提案した推定式は大変形時(最大で梁の部材角が0.3rad)までの全てのデータを対象としており、梁の降伏以前の変形に対する推定精度については十分に議論しなかった。

本報では、梁降伏時における変形、耐力および初期剛性に対して影響が大きいと思われるスラブ有効幅について、既往の研究をレビューすると共にスラブ有効幅の推移について検討する。

## 2. 既往の研究

### 2.1 実験的研究

(1) 鉄筋コンクリート造実大7層建物の耐震実験研究[4][5]及び補助実験[3][4]

鉄筋コンクリート造実大7層建物の耐震実験研究に先立ち、1/2模型による柱・梁接合部実験が行われた[3][4]。

実験では、スラブをもつ中間階内柱、中間階外柱、及び最上階外柱を模擬した試験体が用いられ、スラブの有効幅を検討している。その結果、梁下端が引張となる場合のスラブの有無による最大耐力の差は小さいが、梁上端が引張となる場合には、スラブがついた試験体の最大耐力はスラブのない試験体の2倍以上となり、スラブ筋により梁の降伏および最大耐力が著しく上昇すると報告している。

表-1に実大7層建物の保有水平耐力を示す[4][5]。計算値の(I)は学会RC標準の協力幅(スラブ片側で、60cm)を用いて計算したもの、(II)はスラブを全幅有効(スラブ片側で3m)として計算したもの、(III)はスラブ筋のひずみ計測値から算定した有効幅を用いて計算したものである。表によれば、スラブを全幅有効とした場合が実験値に非常に近い値となっており、補助実験で確認された有効幅以上のスラブ筋、すなわち、ほぼ全幅に近い量が建物耐力に有効である事が判明したと報告している。

(2) 鈴木らの研究[6]

鈴木らは、スラブ付き立体柱・梁接合部を模擬した試験体を用いて1方向、及び2方向の水平力を加える実験を行った。その結果、梁上端引張時には、梁の変形が増すにつれてスラブの協力幅が増大し、大変形時には、全幅が有効となると報告している。また、梁上端が圧縮を受けるときには、スラブの協力幅が梁の復元力特性に及ぼす影響は小さいが、最大耐力は協力幅を0とした場合よりは大きく、スラブが梁に協力

表-1 実大7層建物の保有水平耐力

スラブ有効幅	計算値 [t]			実験値 [t]
	(I)	(II)	(III)	
1階せん断力	271	429	401	439

注) (I)スラブ有効幅を学会標準で算定  
(II)全スラブ幅有効として算定  
(III)スラブ筋ひずみの計測値から定めた有効幅を採用

\*1 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*2 三重大学助教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

\*3 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻 (正会員)

\*4 愛知工業大学助教授 建築学科、工修 (正会員)

していると報告している。

(3) 荒井らの研究[7]

荒井らは、T形梁および矩形梁の片持ち変形加力実験を実施し、剛性評価に有効なスラブ協力幅および曲げ性能について検討を行った。その結果、降伏強度および終局強度に対してはスラブは全幅有効であり、初期剛性についてはスラブ有効幅は0.1L(L:スパン)、降伏点剛性およびひび割れ強度についてはスラブ有効幅は0.3Lとすれば、実験値と解析値はよい対応を示したと報告している。

(4) 藤井らの研究[8]

藤井らは、外柱に梁が三方からとりつくRC立体外部柱・梁接合部を対象に、二方向載荷実験を行い、直交梁の拘束効果、スラブの影響および二方向載荷履歴の影響を調べた。その結果、塑性域を超える履歴を受けた直交梁の拘束効果は大きく減退すること、一面のみの直交梁の拘束効果は期待できないこと、スラブは曲げに対してほぼ全幅有効となることなどを報告している。

(5) 渡辺らの研究[9]

渡辺らは、引張側にスラブを持つT形断面RC梁の曲げ降伏耐力、曲げ耐力および破壊性状を明らかにするための実験を行った。その結果、軸方向鉄筋ひずみが1000 $\mu$ 程度の荷重時(曲げひび割れ発生以降)には、スラブ内の軸方向筋は全て有効として良いと報告している。またh/t(h:梁せい、t:スラブ厚)が大きい場合(h/t=15程度)は、スラブ内の軸方向鉄筋のひずみが梁内のそれに比べて小さくなると報告している。

表-2 スラブ有効幅に関する既往の研究[1~9]

(a) 梁の諸元

研究者	梁幅 b[mm]	梁せい h[mm]	引張鉄筋比 Pt[%]	複筋比 $\gamma$	材長 $l^{*1}$ [mm]	スラブ幅 B[mm]	B/l	スラブ厚 t[mm]	t/l	載荷点と危険 断面の距離	
中田ら	150	250	0.65	0.66	1115	750	0.67	60	0.24	990[mm]	
坪崎ら	300	500	0.57(端部)	→ 0.66	3000	6000	2	120	0.24	3000	
			0.38(中央)	→ 1.5	2500	2.4		2500			
鈴木ら	200	300	0.85	1	1220	2440	2.0	70	0.23	1200	
荒井ら	200	270	1.05	1	1880	2200	1.17	50	0.19	1380	
藤井ら	175	250	1.49	0.78	875	1700	1.94	60	0.24	787.5	
渡辺ら	200	30,60	0.24	1	1000~	200~	0.03	5,10	0.08	750~	
					3950	1400	0.53	0.33	3700		
畑中ら	97	194	2.11	0.19	582	194	0.17			582	
					873				40	0.21	873
					1164	679	1.17			1164	

\*1  $l=0.5L$ (L:柱スパン)

(b) 引張側スラブ有効幅

研究者	引張側スラブ有効幅 Be	載荷方法	載荷点	直交梁	逆側の梁の 有無	備考
中田ら	全幅(耐力)	正負交番		剛	無(内柱形) 有(外柱形)	実大実験の補助実験
坪崎ら	全幅(保有水平耐力時)	正負交番		考慮	有	実大実験 スラブ筋ひずみ測定 スラブ筋ひずみ測定 梁降伏点で約7割降伏
鈴木ら	0 (載荷初期) 2 全幅(大変形時)	正負交番	梁のみ	考慮	有	
荒井ら	降伏以後:全幅 初期剛性:0.1L 降伏点剛性:0.3L	正負交番	梁のみ	剛	無	
藤井ら	全幅(耐力)	正負交番	梁のみ	考慮	無	曲げ破壊
渡辺ら	全幅(軸方向鉄筋ひず みが1000マイクロ時)	単調漸増		無	無	
畑中ら	全幅(終局域)	単調漸増	梁 スラブ	剛	有	

以上の実験に用いられた試験体の梁の諸元およびスラブ有効幅の概算値を表-2に示す。表-2(b)によれば、降伏時または耐力時の引張側スラブの有効幅は諸条件(載荷方法、載荷点、直交梁の有無など)によらず、ほぼ全幅と見なせそうである。

### 2.2 その他の調査、研究

#### (1) 北山の研究[10]

北山は、主筋の抜け出し量を考慮した柱・梁部材の降伏変形推定法を提案した。その際に、スラブ有効幅をスパンの0.2倍として得られる計算値は、実験値の±30%の範囲に分布しており、有効幅をスパンの0.2倍とすれば、提案した抜け出しモデルが適用できると報告している。

#### (2) 海外での研究[11]

北山は、RC柱梁接合部に関する研究について海外の研究を紹介している。その中のスラブ有効幅に関する研究例を抜粋する。

Durrani・Zerbeは、外柱梁接合部の地震時挙動に対するスラブの影響及び直交梁による拘束効果を調べるため、スラブ幅及び直交梁の有無を変数とした実験を行った。その結果、直交梁にねじれひび割れが生じた後のスラブ有効幅は(柱幅)+(直交梁のせい)の2倍と表せたと報告している。

Pantazopoulou・Moehleは、梁の曲げ耐力に協力するスラブの効果を説明するために解析を行い、実験結果と比較した。その結果、直交梁が水平面内変形やねじれ変形を受けるとスラブの有効幅は減少することを示し、このときの有効幅として(梁幅)+(梁せいの3倍)を推奨した。また、内柱梁接合部や剛強な直交梁を持つ外柱梁接合部における上端引張時のスラブの有効幅として、以下の値を示した。

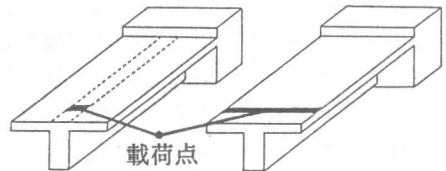
- a. 降伏前 (梁幅)+(梁せいの3倍)
- b. 降伏後 (梁幅)+(梁せいの4倍)
- c. 大変形時 (梁幅)+(梁せいの5~6倍)

北山は、日本ではスラブの有効幅がスパンの関数で表されるのに対し、アメリカでは梁せいの関数で表されているが、どちらがより合理的にスラブ有効幅を表現するかは検討の必要があると報告している。筆者らの若干の検討によれば、この問題はスラブおよび梁への荷重の与え方(梁のみに集中載荷する場合と、梁・スラブに同時に載荷する場合)にも依存していると考えられる。

(図-1参照)この点に関する比較実験が望まれる。

### 3. 実験概要

実験方法は、既報[1],[2]で報告してあるため、ここでは、その概要を示す。T形RC梁の実験要因として、表-3に示すように、スラブ位置、スラブ幅(B)、あばら筋間隔(S)、および材長(Ls、表-2のlに相当)を取り上げた。断面の種類を図-2に、配筋図の一例を図-3に示す。梁試験体の載荷方法、およびロ



(a) 梁のみに載荷 (b) 梁・スラブに載荷

図-1 載荷状況の違い

表-3 実験の概要

試験体名	スラブ		材長 Ls	横補強筋			引張鉄筋比 P <sub>t</sub> [%]	複筋比 γ
	位置	幅 B		ピッチ S [cm]	断面積比 P <sub>s</sub> [%]	側圧 σ <sub>l</sub> <sup>-1</sup> [kgf/cm <sup>2</sup> ]		
05 C 3 3h 材長 3h B = 3b C: スラブ圧縮 S = 5 [cm]	なし(N)	b	3h	3	0.80	20.0	2.11	0.19
	圧縮(C)	3b	4.5h	5	0.53	13.3		
	引張(T)	5b 7b	6h	10	0.27	6.75	4.23	1.38

備考)\*1:  $\sigma = \frac{2A_s \cdot \sigma_y}{S \cdot b} \cdot \frac{1}{2}$  (ここで、1/2 は補強効率), b=9.7cm, h=19.4cm

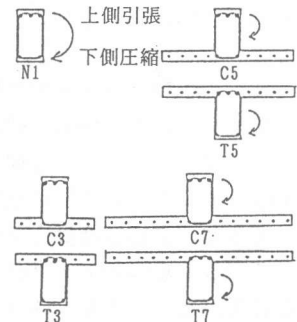


図-2 断面の種類

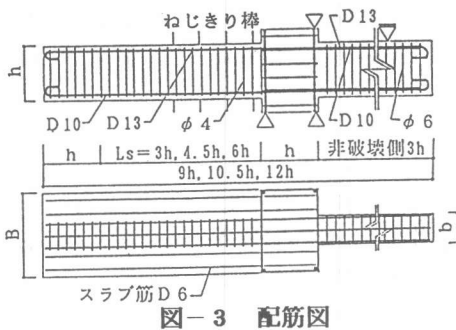


図-3 配筋図

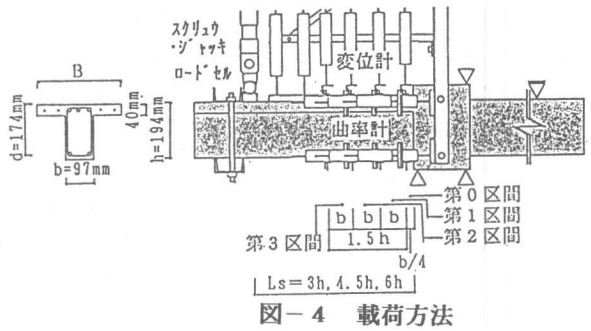


図-4 荷重方法

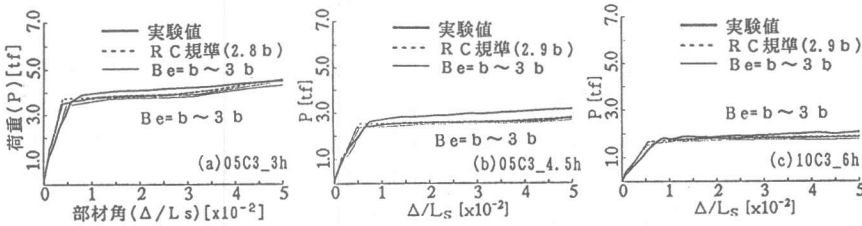


図-5 スラブ有効幅(Be)を変化させた場合の解析値の変化(圧縮側スラブ)

ードセル、変位計の取り付け要領を図-4に示す。

#### 4. 圧縮側スラブの有効幅

図-5に、圧縮側に梁幅の3倍のスラブを持つ試験体について、スラブ有効幅を梁幅と等しくしたもの( $Be=b$ )から梁幅( $b$ )の整数倍だけ( $Be=3b$ まで)増やした場合の解析結果を実験値と比較して示す。スラブ有効幅以外の解析方法は前報[2]と同様である。図中には「鉄筋コンクリート構造計算規準」(以下RC規準[12])による協力幅を用いた解析結果も併せて示してある。表-4に、RC規準の協力幅を用いたスラブ有効幅と筆者らが提案したスラブ有効幅の違いを示す。表によれば、スラブ幅の増大にともない、RC規準の有効幅は筆者らの有効幅を大きく上回っている。しかし、図-5および他の比較例によれば、スラブの有効幅を変化させても降伏時の耐力および降伏以前の剛性には顕著な違いはみられない。

圧縮側スラブは有効幅を変化させても降伏時の耐力および降伏以前の剛性にはさほど影響がない。従って、筆者らの提案した有効幅( $Be=2b$ )が耐力の低下し始める終局変形の推定に際しても適用できる[2]ことを考えると、変形解析における圧縮側スラブの有効幅は図-6のように一定としてよいと考えられる。

#### 5. 引張側スラブの有効幅

図-7に、引張側に梁幅の5倍のスラブを持つ試験体について、スラブ有効幅を梁幅と等しくしたもの( $Be=b$ )から梁幅( $b$ )の整数倍だけ( $Be=5b$ まで)増やした場合の解析結果を実験値と比較して示す。ここでは比較のため、「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針」[13]にある曲げ信頼強度算定用のスラブ有効幅(RC規準と同じ値)を用いた解析結果も併せて示す。ここでRC規準のスラブ有効幅は、圧縮側スラブについて定義されたものである事に注意しておく必要がある。また、曲げ上限強度算定用のスラブ有効幅は、本実験で用いたスラブ幅(梁幅 $b$ の3倍、5倍、7倍)以上の値となるため、筆者らの提案したスラブ有効幅(スラブ幅が梁幅の7倍

表-4 有効幅の比較

試験体	有効幅[cm]	
	RC規準	提案式
05C3_3h	27.2(2.8b)	19.4 ( $Be=2b$ )
05C5_3h	40.7(4.2b)	
05C3_4.5h	27.8(2.9b)	
05C5_4.5h	43.3(4.5b)	
10C2_6h	19.2(2.0b)	
10C3_6h	28.1(2.9b)	
10C5_6h	44.6(4.6b)	
10C7_6h	59.2(6.1b)	

以下の時は全幅有効)と同じ値となる。

図-7および他の比較例によれば、終局強度型耐震設計指針にあるスラブ有効幅を用いた解析結果、およびスラブを全幅有効とした解析結果では、降伏前の剛性がいずれも実験値を上回っている。また、降伏時の耐力および部材角は、多くの場合、双方の解析結果が実験値を若干下回っている。

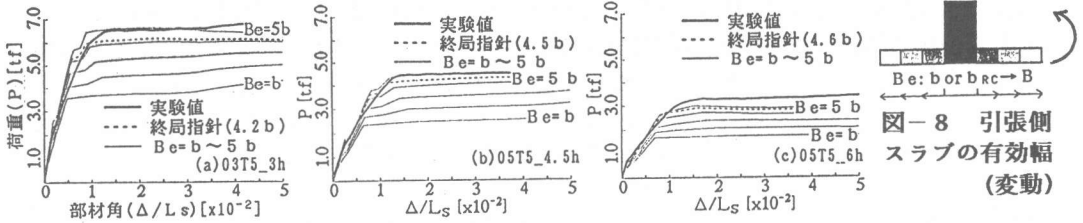


図-7 スラブ有効幅(Be)を変化させた場合の解析値の変化(引張側スラブ)

表-5 有効幅の算定に用いたパラメータ

初期値 ( $B_{e0}$ )	引張筋降伏時 ( $B_e$ )
b (梁幅)	B (全幅)
$b_{RC}$ (RC規準に基づく有効幅)	$0.5L$ ( $L$ :スパン)
	$0.2L$

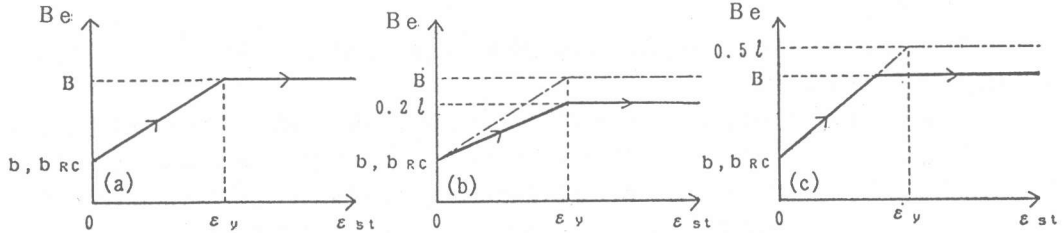


図-9 引張側スラブの有効幅の計算方法

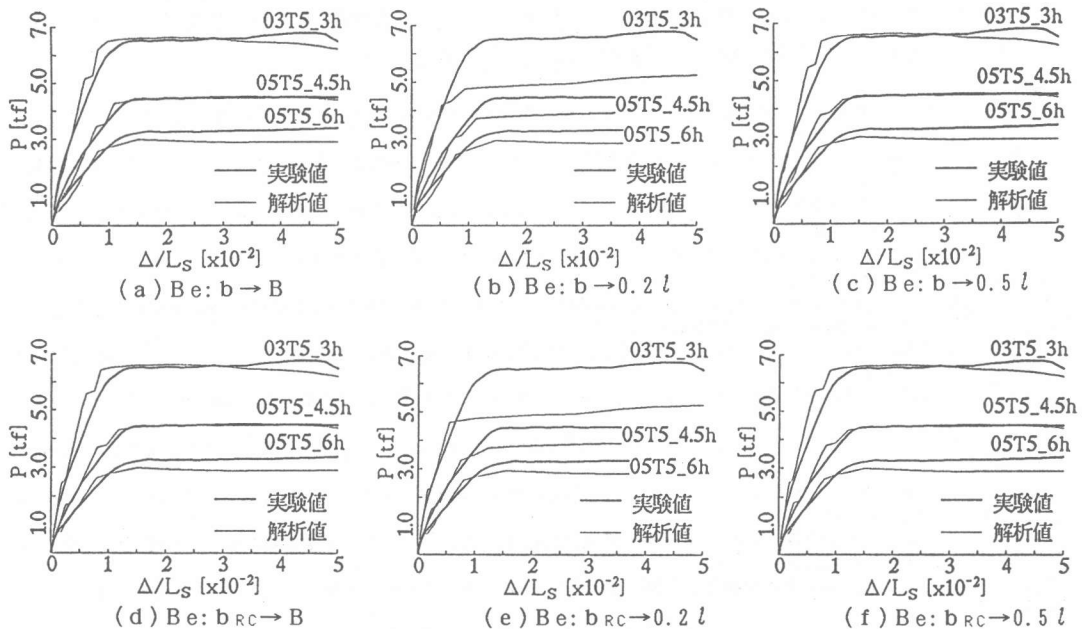


図-10 各計算方法の有効幅を用いた解析値と実験値の比較

引張側スラブの有効幅は、既往の研究および図-7より、変形初期から降伏時に至るまでに図-8のように推移していると考えられる。引張側スラブの有効幅を梁の危険断面の引張主筋ひずみ( $\epsilon_{st}$ )の関数として表示できるものと仮定し、図-9に示す三つの計算方法を検討した。表-5にそれぞれの有効幅の初期値および引張主筋降伏時の値を示す。図-10に三つの計算方法による計算値と実験値との比較を示す。図によれば、降伏耐力を最もよく近似しているのは降伏時の有効幅を $B((a), (d)図)$ または $0.5L((c), (f)図)$ とした場合であるが、降伏以前の剛性は、降伏時の有効幅を全幅( $B$ )とした方が実験値との適合性が若干よい。また、有効幅の初期値を梁幅( $b$ )と等しくしても((a)~(c)図)、RC規準に基づく有効幅( $b_{RC}$ , ここでは $4.2b \sim 4.6b$ )としても((d)~(f)図)計算値にはあまり大きな差異を生じない。従って、有効幅の推移を良く表現する計算方法は図-9(a)となり、その概念図は図-8のようになる。

## 6. まとめ

本報では、スラブ付きRC梁の降伏以前の剛性と変形に着目して、スラブの有効幅について検討した。その結果は以下のようにまとめられる。ただし、本研究で対象としたスラブ幅( $B$ )は $b \leq B \leq 7b$  ( $b$ :梁幅)である。

- 1) 圧縮側スラブについては、その有効幅を変化させても終局変形以前の荷重-部材角関係に及ぼす影響は少ない。耐力の低下し始める終局変形をも同時に推定するのであれば、有効幅は梁幅のほぼ2倍(一定)と見なしてもよい。
- 2) 引張側スラブの有効幅は、変形初期から降伏時までに推移しており、そのモデルとして図-8および図-9(a)が得られた。

本研究で提示したモデルは、表-3に示す筆者らの実験値を用いて得られたものであり、載荷状況、直交梁の有無、および梁が接合する柱の種別(内柱または外柱)の影響の詳細については、別途検討する必要がある。ただし、表-2にまとめた実大実験を含む既往の研究の分析結果によれば、本研究結果は、ほぼ妥当であり、およその傾向を捉える簡略モデルとしては有効であると考えられる。

**[謝辞]** 本研究に際し、貴重な御助言を賜った青山博之先生(前・東京大学工学部)および芳村学先生(東京都立大学工学部)に深く感謝いたします。また、本論文作成に際し御助力を得た八幡樹幸君(東急建設)および三重大学・畑中研究室諸氏に感謝致します。

### [参考文献]

- [1] 畑中・梁川・吉田・小池:スラブの効果を受けるRC梁の塑性変形挙動に関する研究、第13回コンクリート工学年次論文報告集、1991, pp. 293-298.
- [2] 吉田・畑中・上田・小池:スラブ付きRC梁の塑性変形挙動に及ぼす材長の影響、第14回コンクリート工学年次論文報告集、1992, pp. 173-178.
- [3] 中田ほか:大型実験施設利用による日米共同耐震研究、(その3. 建物を構成する梁、柱部分の静加力実験・実験結果)建築学会大会学術講演梗概集、昭和55. 9, pp. 1659-1660.
- [4] 渡辺、芳村:日米共同による鉄筋コンクリート造建築物の耐震性に関する総合研究の成果、コンクリート工学, Vol. 22, No. 1, 昭59. 1, pp. 28-38.
- [5] 中田ほか:鉄筋コンクリート造実大7層試験体の耐震性に関する研究 (その13. 試験体の保有水平耐力と変形性状), 建築学会大会学術講演梗概集、昭和55. 9, pp. 1575-1576.
- [6] 鈴木・小谷・青山:鉄筋コンクリート造スラブ付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論文報告集、1983, pp. 425-428
- [7] 荒井ほか:梁の曲げ性能に対するスラブの効果に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、1991. 9, pp. 251-252
- [8] 藤井・森田:二方向載荷をうけるRC外部柱・梁接合部の挙動、第9回コンクリート工学年次論文報告集、1987, pp. 181-186
- [9] 渡辺・佐藤・斉藤:引張突縁を有するRCはりの曲げ耐力および破壊性状について、第12回コンクリート工学年次論文報告集、1990, pp. 263-268
- [10] 北山:主筋抜け出しを考慮した柱・梁部材の降伏変形推定方法、コンクリート構造物の靱性と配筋方法の関するシンポジウム論文集、1990. 5, pp. 103-108.
- [11] 北山:鉄筋コンクリート造柱梁接合部に関する最近の研究、コンクリート工学, Vol. 27, No. 10, 1989. 10, pp. 53-56.
- [12] 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、1988, pp. 57-73.
- [13] 日本建築学会:鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説、1988, pp. 92-98.