

論文

[2105] U型プレキャスト部材内で太径鉄筋を重ね継ぎした梁部材に関する実験的研究

吉野次彦 *1 笹谷輝勝 *1 和久昭正 *2

1. はじめに

鉄筋コンクリート造の品質の向上, 施工の合理化を目的として種々のプレキャスト部材を用いた工業化工法が開発されている。筆者らは一般建築を対象としたRC造の施工の合理化を目的として, 柱, 梁, 床など, 各部位をすべて単一材のプレキャスト部材とし, これらを組み立てる架構式プレキャスト工法を開発, 設計法を確立した。^{1)~3)}

しかし, 近年, 部材の軽量化, 汎用性の拡大などを目的とし, プレキャスト部材の薄肉化に対する開発が盛んになってきた。梁部材においてはU型断面とすることで大幅な軽量化が図れると共に, 柱・梁交差部において通し配筋が可能となるなど, 多くの長所がある。

梁の一部をU型断面にする工法は, ①かぶり部分のみをPCa化する場合, ②あばら筋を含む部分をPCa化する場合, ③下端主筋を内蔵したU型部材とする, など工法によって部材形状も異なっている。

本研究は, あばら筋および下端主筋を内蔵し, 端部から主筋が突出していないU型梁部材を柱に架設した後, 下端主筋を柱・梁交差部を貫通するように, 応力の最も大きい位置で重ね継手する工法において, 主筋に太径鉄筋D32を用いた場合の, 重ね継手の性状を検討するために行ったものである。

表-1 使用材料の機械的性質

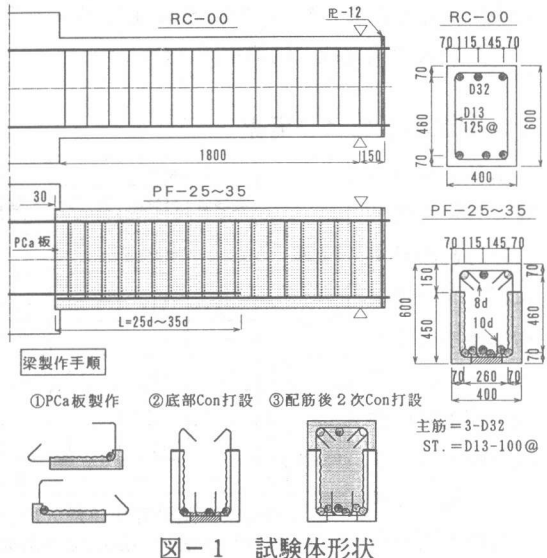
鉄筋 (kgf/cm ²)					コンクリート (kgf/cm ²)		
径	σ_y	e_y	E_s	σ_{max}	σ_c	E_c	σ_t
D32	3770	2292	1.75×10^6	5830	PCa板	3.37×10^5	36.3
D13	3490	2080	1.65×10^6	5180	2次Con	2.56×10^5	29.3
					底部Con	2.44×10^5	28.6

2. 試験体

試験体製作時の部材の組み立て手順および形状を図-1に, 使用した材料の機械的性質を表-1に示す。試験体は単純梁形式とし, 計4体作製した。断面は40cm×60cm, シアスパン比は3.0とし, 主筋にはD32 (SD345)の太径鉄筋を用いた。

各試験体とも上端, 下端に各3本 ($p_t=1.12\%$)配筋した。RC-00は比較のために行った一体打ちの試験体で, 鉄筋は通し配筋した。

PF-35は主筋の重ね長さを35dとしたもの, PF-30は重ね長さを30d, PF-25は重ね長さを25dとした試験体である。U型部材は製造方法を簡便にするために, 図-1に示すようにL型のあばら筋を内蔵した板を平打ちで製



主筋=3-D32
ST.=D13-100@

図-1 試験体形状

*1 : フジタ 技術研究所 (正会員)

*2 : 同 生産技術研究部長

作り、打設面をはけ引き仕上げとした。これらの板を垂直に立て起こし、下面の薄肉部のコンクリートを打設してU型部材を形成し、下面のコンクリートが硬化後、下端筋を重ね継手、上端筋を通し配筋し、上面のあばら筋を結束して、コンクリートを打設し一体とした。主筋は上下に重ねるため、PFシリーズの有効せいがRCシリーズよりも小さくなる。有効せいを出来るだけ大きくするために、図-1に示すように、U型部材は鉄筋の中心位置までとし、U型部材内の鉄筋と重ね鉄筋とは0.5dだけ上下にずれるような配筋とした。せん断補強筋量は、RC-00では曲げ最大荷重時のせん断力に対して u_{tmin} 式で算定し、D13-125@($p_w=0.51\%$)、PFシリーズではRC造の終局強度型耐震設計式に基づいて主筋の付着割裂強度を算定し、付着破壊を起こさないようにD13-100@($p_w=0.64\%$)とした。なお、PFシリーズのせん断補強筋の算定に当たっては中央部の立ち上がり筋は無視し、2-D13として算定した。

3. 実験方法

加力および変位測定方法を図-2に示す。加力は単純梁形式の正負交替繰返し载荷とし、重ね鉄筋の下端筋が引張り応力となる方向を正加力とした。载荷履歴プログラムを図-3に示す。加力はRC-00を最初に行い、ひびわれ発生および主筋降伏時 (δ_y) までは荷重制御とし、それ以降は変形制御とした。重ね継手の試験体はRC-00を基準とし、ひびわれ発生で除荷した後、 δ_y 以降はRC-00と同一の変位で、変位制御を行った。変位の制御は柱型部分に取りつけたゲージホルダーと支持点位置の相対変位で行った。左右の梁で変位が多少異なるため、変位制御は先に主筋が δ_y に達した方の梁変位で制御を行った。

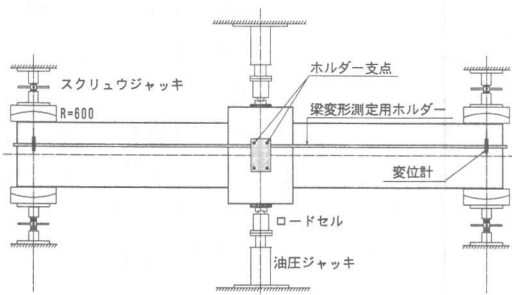


図-2 加力および変位測定方法

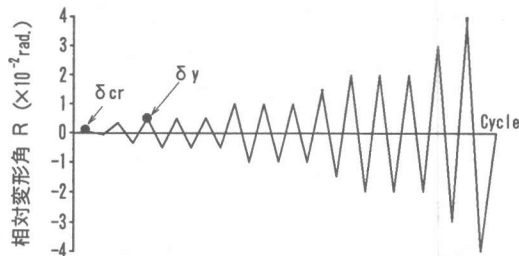


図-3 加力プログラム

4. 実験結果および考察

実験結果の一覧を表-2に、ひびわれの発生状況を図-4に、初期剛性の比較を図-5に、梁端の荷重変位曲線を図-6、7に、主筋のひずみ分布を図-8に示す。部材角 $R=4/100$ rad. ま

表-2 実験結果

		初期剛性 (tf/cm)			降伏荷重 (tf)			最大荷重 (tf)				
		実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計	実験値	計算①	比①	計算②	比②
RC-00	正	73	118	0.62	21.2	23.9	0.89	28.7	24.9	1.15	37.8	0.76
	負	—	—	—	-21.9	-23.9	0.92	-30.2	-24.9	1.21	-37.8	0.80
PF-35	正	73	118	0.62	20.9	23.1	0.90	28.3	24.1	1.17	45.8	0.62
	負	—	—	—	-22.5	-23.9	0.94	-28.9	-24.9	1.16	-45.8	0.63
PF-30	正	73	118	0.62	23.1	23.1	1.00	29.1	24.1	1.21	45.8	0.64
	負	—	—	—	-24.1	-23.9	1.01	-28.8	-24.9	1.16	-45.8	0.63
PF-25	正	74	118	0.63	21.5	23.1	0.93	27.1	24.1	1.12	45.8	0.59
	負	—	—	—	-24.3	-23.9	1.02	-28.9	-24.9	1.16	-45.8	0.63

注1) 降伏荷重計算値, 最大荷重計算値①はe関数法による曲げ耐力計算値

2) 計算値②は終局強度型耐震設計指針・A法によるせん断耐力計算値

$$Q_u = b j p_w \sigma_y \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) b d \nu \sigma_s / 2$$

$$\cot \phi = 1.0 \quad \nu = 0.25 \nu_o$$

で変形を与えた後加力を終了したが、PF-25を除いて、荷重は変形の増大とともに漸増し、耐力の低下は見られなかった。PF-25は主筋降伏後、部材角 $=2/100\text{rad}$ の繰返し中に定着破壊し、耐力が急激に低下した。

4. 1 ひびわれおよび破壊状況

図-4に主筋降伏時(δ_y)および最終加力時のひびわれの発生状況を示す。各試験体とも初期ひびわれは梁付け根より約10cmの位置に曲げひびわれが発生し、ひびわれ発生荷重は4体ともほぼ同じであり、初期ひびわれの発生状況にほとんど差はなかった。しかし、最終ひびわれにはRC-00とPFシリーズではかなり差があった。RC-00は $4\delta_y$ ($R=2.0/100\text{rad}$)の繰返しからせん断ひびわれが顕著となり、繰返しが進むに従ってこのひびわれ幅が大きくなった。これに対して、PFシリーズの試験体には大きなせん断ひびわれは見られず、 $4\delta_y$ から梁付け根部分の目開きが顕著となり、繰返しが進むに従ってこの目開きが拡大した。これは、PFシリーズの梁側面がプレキャスト型枠であること、重ね継ぎ端部が柱付け根に位置していること、また、せん断補強量がRC-00よりも多いことなどにより、せん断ひびわれが顕著となる前に、梁付け根(プレキャスト型枠の端部)の曲げひびわれ幅が大きくなったためである。PF-25は $4\delta_y$ ($R=2.0/100\text{rad}$)の繰返し中に下端主筋である重ね鉄筋が定着破壊し、梁付け根のひびわれ幅が急激に広がり、耐力も急激に低下した。しかし、梁表面には割裂ひびわれは全く発生しなかった。なお、上端主筋が引張り応力となる負加力側に関しては、主筋が通し配筋であるため、急激な破壊がなく、耐力は変形の増大とともに漸増していた。

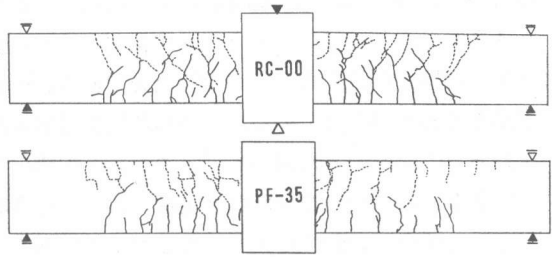


図-4 (a) ひびわれ発生状況 (δ_y)

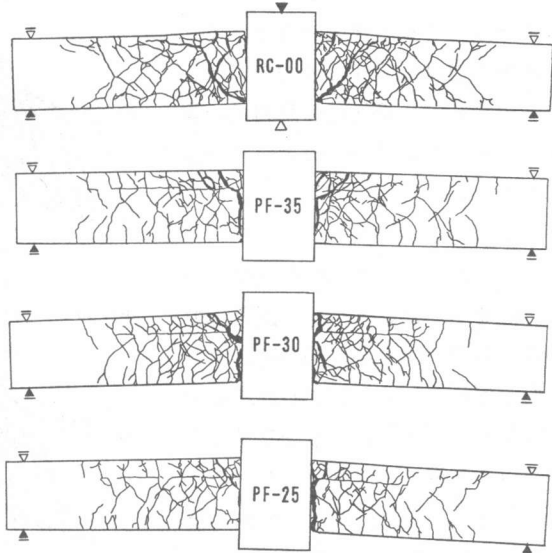


図-4 (b) 最終ひびわれ状況

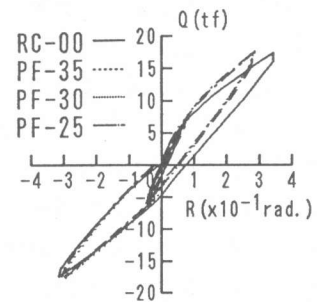


図-5 荷重変位曲線

(第2ループ: $0.8P_y$)

4. 2 初期剛性

表-2に初期剛性の実験値と計算値との比較を示す。実験値は正荷重での曲げひびわれ発生時の1つ手前のステップにおける割線剛性である。初期剛性は4体ともほとんど同じであり、計算値に対して $0.62\sim 0.63$ であった。

また、弾性域での繰返しである第2ループ($0.8P_y$)までの履歴曲線を図-5に示す。第2ループになると、負加力側は4体ともほぼ同じであるが、正加力時にはPFシリーズの剛性が一

体打ちの試験体に比べて約2割高い。これは、負加力側では梁断面のうち上面のスラブ厚さに相当する15cmの部分にプレキャスト型枠がなく、主筋も通し配筋であり、RC-00と比較してその形状および剛性にほとんど差がないためである。一方、正加力側では梁側面がプレキャスト型枠で、主筋も重ね継手されている。ひびわれ発生以前の剛性には重ね継手の影響がほとんどなく、また後打ちコンクリートに対してプレキャスト型枠のコンクリート強度が約1.1倍であり、弾性剛性には差がなかった。ひびわれ発生後においては重ね継手された部分の主筋の剛性が高くなり、結果として梁全体の剛性が大きくなったためである。

4.3 耐力および変形状

表-2に実験結果の一覧を示す。表中の値は梁のせん断力で表示している。主筋降伏時の耐力は計算値に対して0.89~1.02とよく一致していた。PF-25を除くと、最大荷重は変位の増大とともに漸増していたため、表中には最終加力時の値を示した。すべての試験体で負加力時の耐力が正加力時の耐力を上回っているが、これは自重を無視し、試験体の両端を支持した時点を基準として測定しているためである。最大耐力は曲げ耐力計算値に対して1.12~1.21であった。

$4\delta_v$ ($R=2.0/100\text{rad.}$) からRC-00はせん断ひびわれが顕著となり、PFシリーズは端部付け根のひびわれが顕著となったが、PF-25を除く3体は同一変位での繰り返しに対して耐力の低下がなく、変位の増大ともに耐力は漸増しており、最終加力時まで安定した履歴性状を示した。表中の計算値(2)はRC造建物の終局強度型耐震設計指針・A法で算定したせん断耐力である。最大耐力に対して保有せん断耐力は1.32~1.69であり、せん断力に対しては余裕があった。特に、PFシリーズは付着破壊を起こさないようにせん断補強量を割りましたため、せん断ひびわれが顕著とならなかったと考えられる。図-6に

変形制御を行った側の梁端の荷重変位曲線を示す。梁端の履歴曲線は、RC-00が荷重の小さいところでハードスプリングになるのに対して、PFシリーズは紡錘形の履歴曲線を描いており、特に、PF-30、PF-35は主筋降伏後の剛性低下の割合がRC-00よりも小さい。図-7は荷重変位曲線の包絡線を比較した図である。包絡線は、主筋降伏後、部材角 $R=2/100\text{rad.}$ の繰り返し中に定着破壊し、耐力が急激に低下したPF-25の正加力側を除くと、4体で顕著な差は見られなかった。

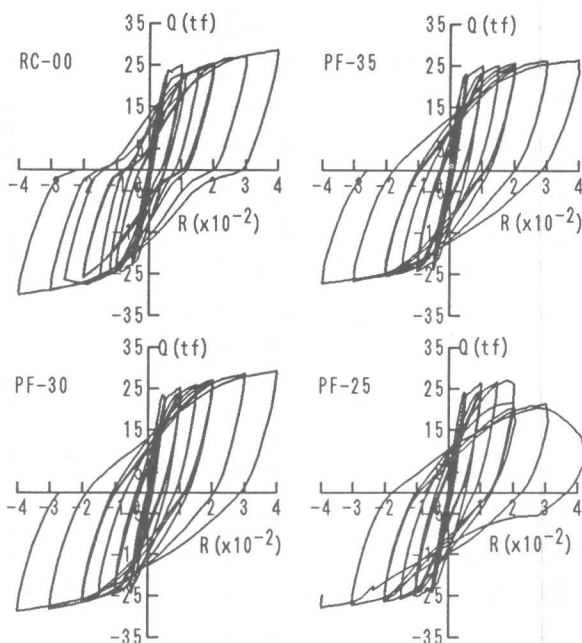


図-6 荷重変位曲線

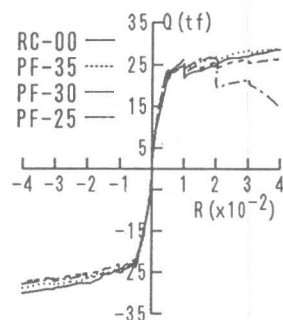


図-7 荷重変位曲線 (包絡線)

4. 4 主筋のひずみ分布

図-8に正加力時における下端筋のひずみ分布を示す。重ね継手したPFシリーズも良く応力が伝達されていたことがわかる。なお、降伏の時期はRC-00 に比べてPFシリーズの方がやや早い。これは重ね継手した部分の剛性が高いため、重ね継手の端部にひずみが集中したためと考えられる。重ね継手した場合には主筋の降伏応力に対して定着長さでの付着力で応力を伝達しなければならないが、ひずみ勾配はPF-35, 30, 25 の順に大きくなっており、定着長さが短いほど付着応力が大きくなっている。また、降伏ひずみに達するまでは重ね継手筋のひずみはほぼ直線的な勾配である。

4体とも、 $R=2/100\text{rad.}$ のとき、梁付け根から400mm の範囲は降伏ひずみを越えているが、400mm より外側のひずみは、PF-30, 35は弾性範囲であり、その後の繰り返しでも400mm より外側のひずみの増加はわずかであった。これに対してPF-25は $R=2/100\text{rad.}$ の時の400mm 位置のひずみはすでに降伏ひずみを越えており、この後の繰り返しで定着破壊を起こした。

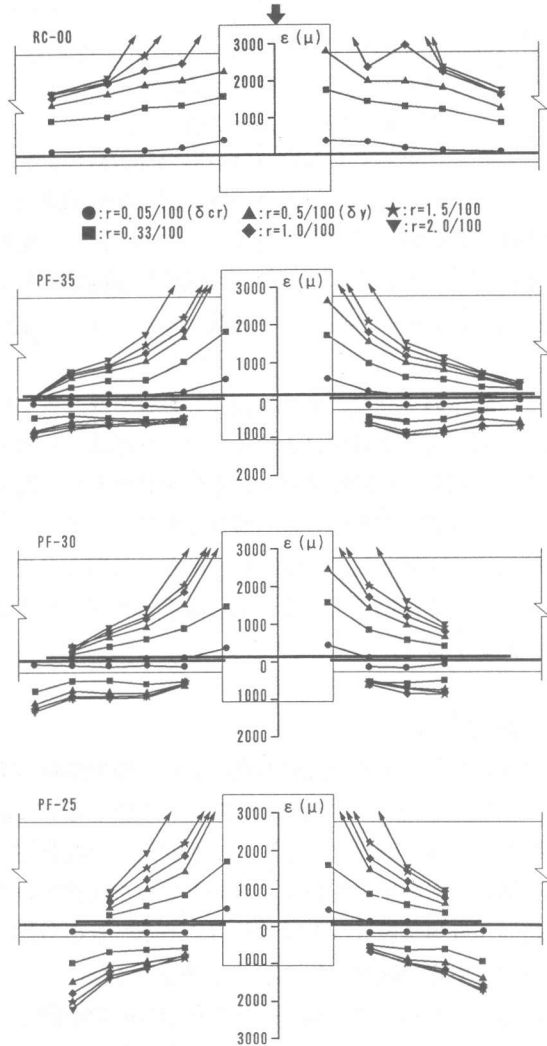


図-8 主筋のひずみ分布

5. 重ね継手の定着性能について

本実験の結果、PF-30, 35は最終加力時まで定着破壊することなく、良好な履歴曲線であったが、PF-25は部材角 $2/100\text{rad.}$ の繰り返し中に定着破壊を起こし、耐力が急激に低下した。

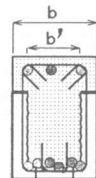
重ね継手筋の鉄筋応力を伝達するために必要な付着応力度は(1)式で算定し、また、重ね継手筋の付着割裂強度は、RC造の終局強度型耐震設計指針による(2)～(5)式で算定して、それぞれを表-3に示した。必要な付着応力度の算定に当たって有効長さ l は重ね長さ全長とした。

また、付着割裂強度の算定に当たって、(4)式の b は全梁幅有効な場合とU型断面の内法幅のみ有効な場合(b')の両方について算定した。

必要付着応力度は、重ね長さ l を全長有効とするとPF-25は $\tau_f = 37.7\text{kgf/cm}^2$ となり、梁幅を b' として算定した付着割裂強度計算値とほぼ一致している。

表-3 付着応力度の計算値
(kgf/cm^2)

試験体	必要付着応力度 τ_f	付着割裂強度 τ_{bu}			
		有効幅 b	τ_f / τ_{bu}	有効幅 b'	τ_f / τ_{bu}
PF-35	26.9		0.65		0.75
PF-30	31.4	41.2	0.76	36.0	0.87
PF-25	37.7		0.92		1.05



$$\tau_f = d_b \sigma_{yu} / 4\ell \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\tau_{bu} = \tau_{co} + \tau_{si} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau_{co} = (0.4b_i + 0.5) \sqrt{\sigma_B} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$b_i = (b - \Sigma d_b) / \Sigma d_b \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$\tau_{si} = \{ (20/N_t + 5N_u/N_t + 15N_s/N_t) p_w' b \sqrt{\sigma_B} \} / d_b \quad \dots\dots\dots (5)$$

ここに、 τ_f 、 τ_{bu} ：付着応力度，付着割裂強度(kgf/cm²)， τ_{co} 、 τ_{si} ：コンクリート，せん断補強筋の負担分， ℓ ：重ね長さ， b ， d_b ， p_w' ：梁断面幅，鉄筋径，せん断補強筋比， N_t ：全主筋本数（3本）， N_u ：一列のうち直接横補強筋のかかっているものの本数（1本）， N_s ：直接副帯筋のかかっているものの本数， σ_{yu} ， σ_B ：主筋およびコンクリートの実強度(kgf/cm²)

本試験体のような，すでに硬化したコンクリート板の上に重ね筋を設置する配筋方法においては，付着割裂強度算定における梁の有効幅は，後打ち部分のみ有効とした b' を用いた方が適合性が良い。なお，本試験体はあばら筋を2分割し，端部を梁内に折り曲げ定着したが，表-3の計算値は折り曲げ部を無視して算定した値である。また，ひずみ測定の結果，梁付け根から400mmの範囲では主筋が完全に降伏しており，付着も劣化していることが考えられる。このため必要付着応力度の算定に当たって，重ね長さ ℓ を低減する必要もあると思われるが，本実験では定量的な検討ができなかった。

6. おわりに

太径鉄筋D32を全数重ね継手したU型梁部材の実験結果から以下のような知見を得た。

- (1) 重ね長さが25dの場合は大変形での繰返しによって定着破壊を起こしたが，30d以上では $R=4/100rad.$ の繰返し加力でも安定した変形性状であった。
- (2) 重ね長さの全長を有効として算定した付着応力度が，梁の有効幅をU型断面の内法幅とし，終局強度耐震設計指針により得られた付着割裂強度以下の場合， $R=4/100rad.$ までの繰返し加力でも定着破壊を起こすことはなかった。
- (3) PF-25を除くと，梁付け根から400mmの範囲では主筋が完全に降伏していたが，これより外側では最終加力時まで弾性範囲であった。

参考文献

- 1) 吉野次彦・荻谷昭男・柳沢英夫・安藤欽也：プレキャスト鉄筋コンクリートラーメン構造の研究開発（その1 工法概要および柱・梁接合部の加力実験），日本建築学会大会梗概集，1980.9，pp.1771-1772
- 2) 吉野次彦・田中宏太郎・織茂博文：同上（その3），（その4），日本建築学会大会梗概集，1981.9，pp.1735-1738
- 3) 吉野次彦・佐藤和彦，同上（その9），日本建築学会大会梗概集，1985.10，pp.629-630
- 4) 渡辺正人・松崎育弘・中野克彦・今津賀昭：U字型プレキャスト部材内で主筋を重ね継手したRC梁の曲げせん断性状に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.14-2 pp.107-112 1992年
- 5) 桜本文敏・別所佐登志：ラーメンプレハブ工法の開発（その1）U型薄肉プレキャスト部材を用いた梁の構造性能，日本建築学会大会梗概集，1989.10，pp.187-189
- 6) 佐々木直也・別所佐登志・加藤友康・桜本文敏：同上（その2）U型薄肉プレキャスト部材を用いた実大柱梁骨組実験，日本建築学会大会梗概集，1990.10，pp.419-420