

論文 機械式スリーブ継手を有する PCa 部材のせん断補強方法に関する実験的研究

小山明男^{*1}・狩野芳一^{*2}・高木仁之^{*3}

要旨：PCa 工法において部材端にスリーブ継手を用いる場合、スリーブ位置のせん断補強筋をスリーブ両端で集約して配筋できれば断面設計上利点が多いことから、集約せん断補強方法が成立するための条件等について実験的に検討した。結果、集約区間の軸方向筋に十分な曲げ剛性と付着力が得られれば、補強筋間隔を大きくしても補強筋比を同一とすれば均等配筋と同等のせん断力の伝達が可能となる。正負繰り返し加力を受ける場合、耐力・変形性能が低下するが、集約区間のスリーブで囲まれたコアコンクリートをスパイラル筋で拘束すれば、耐力・変形性能の低下が抑えられることが分かった。

キーワード：集約せん断補強、機械式スリーブ継手、トラスアーチ理論

1. はじめに

RCプレキャスト工法においてスリーブ継手を用いる場合、全数同一箇所に設けられるが、せん断補強筋は規定に沿って配筋されれば、耐力や剛性の面で問題がないことは既往の研究[1]により明らかにされている。しかし、スリーブ継手は主筋に比べて径が大きく、配筋されるせん断補強筋についてかぶり厚を確保するためには主筋は内側へ押しやられ、スリーブ継手を用いない部材と同等の曲げ耐力を確保するには断面を大きくする必要がある。そこで、スリーブ位置に配筋されるせん断補強筋を省略し、スリーブ両端で集約して配筋（集約配筋という）できれば断面設計上利点が多いと考えられる。集約せん断補強に関しては若干の研究報告[2][3][4]がなされており、この方法が成立する可能性を示している。しかし、何れの報告においても集約せん断補強が成立するための理論あるいは問題点に対し十分に検討されているとは言い難い。そこで本報告では、集約せん断補強が成立すると考えたコンセプトについて述べ、これを実験的に検証するとともに、実際に集約せん断補強方法を採用するにあたっての問題点とその補強方法について述べる。

2. 集約せん断補強のコンセプト

現在、せん断力の伝達機構は、せん断補強筋のトラス作用によるものと、せん断補強筋を必要としないアーチ作用によるものとの足し合わせと考えられている。アーチ作用によるせん断力の伝達には補強筋は必要でないため、集約配筋において均等にせん断補強筋を配筋（均等配筋という）した部材と異なるのはトラス作用によるせん断伝達である。図1に均等配筋のトラス機構モデルを示す。トラス機構では、せん断補強筋の引張力 $b \cdot x \cdot p_w \cdot \sigma_w$ とコンクリート斜め圧縮束力の材軸に直交する成分 $(b \cdot x \cdot \sin^2 \phi \cdot \sigma_t)$ との間で釣り合いが成立している。図のようにコンクリート圧縮束力は補強筋に直接向かうものではないが、補強筋間隔が十分小さければ、補強筋により均一に $p_w \cdot \sigma_w$ の応力をうけもつと考え、図中の補強筋間隔 x 区間において釣り合い式をたてる。仮に x 区間が a 倍となった場合でも、補強筋が引き上げ力 $b \cdot ax \cdot p_w \cdot \sigma_w$ を負担することができれば

*1 東京都立大学助手 工学部建築学科, 工修 (正会員)

*2 明治大学教授 理工学部建築学科, 工博 (正会員)

*3 明治大学助手 理工学部建築学科, 工修 (正会員)

力の釣り合いは成立する。しかし、図 2(左図)に示すように極端な補強筋間隔の増大は、主筋の変形性状を異ならせ、隣接する補強筋の間で斜め圧縮束応力の材軸直交成分に対する釣り合いを損なうことになると考えられ結果として耐力は低くなる。そこで、補強筋間隔の大きい区間に、主筋以上に曲げ剛性の大きいもの(例えばスリーブ継手)が存在すれば、この区間に生じるコンクリート斜め圧縮束力を受けても変形量は小さく抑えられ、補強筋が均等配筋された場合と同様に挙動すると考えられる。この考えを模式図として図 2(右図)に示す。以上のように剛性の大きいスリーブ

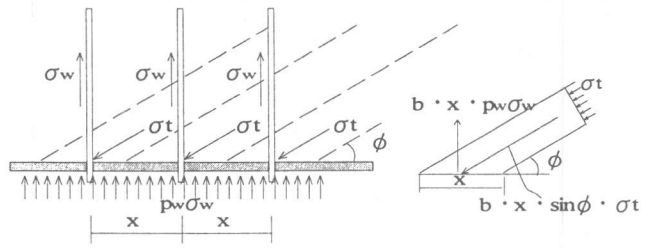


図 1 トラス機構モデル

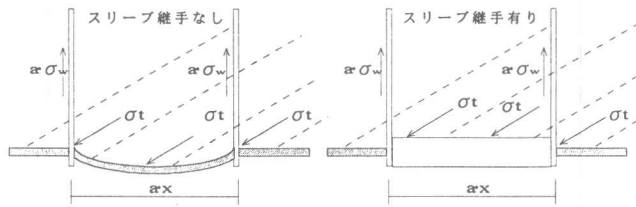


図 2 コンクリート圧縮束応力の集約補強筋による引上げモデル

継手が存在することで、補強筋間隔が大きいことによるコンクリート圧縮束力の釣り合いに対する悪影響が無視できると考えることが、この新しいせん断補強方法を提案する根拠である。

3. 実験概要

3. 1 試験体

本実験では、スリーブ継手を用い集約配筋を行った場合、均等配筋と同等のせん断力を伝達するための必要条件および機構を調べることを目的に梁試験体 6 体(以下 B シリーズという)、正負繰り返しによる集約区間への影響ならびに曲げ降伏後の靱性を調べることを目的に柱試験体 3 体(以下 C シリーズという)の計 9 体を用意した。B シリーズ試験体の配筋概略を図 3 に示す。主筋は 3-D23 (高強度異形 PC 鋼棒)、均等配筋区間のせん断補強筋は 3-D10 ($p_w=0.50\%$) としたが、

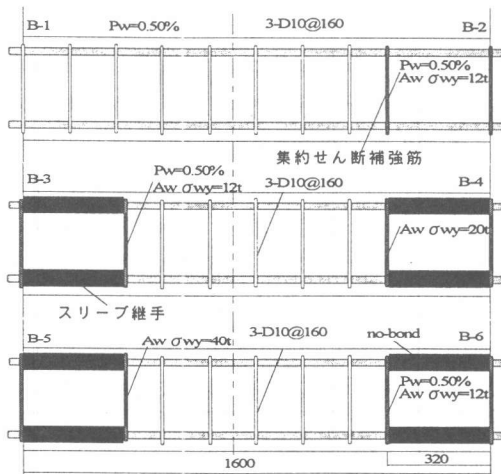
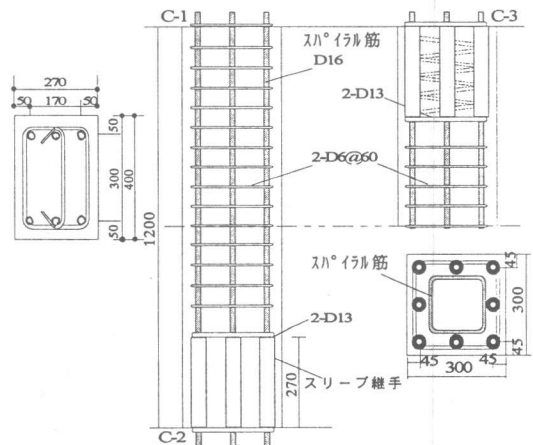


図 3 配筋概略 (B シリーズ)



(単位: mm)

図 4 配筋概略 (C シリーズ)

集約補強筋は D10,D13,D19(降伏強度はそれぞれ,3910,3802,4097kgf/cm²)の鉄筋を用いて補強筋量が図中の値となるよう配筋した。Cシリーズ試験体の配筋概略を図4に示す。集約補強筋は均等配筋の補強筋比($p_w=0.35\%$)以上の $p_w=0.45\%$ とした。コンクリート強度は B,Cシリーズでそれぞれ 317kgf/cm², 279kgf/cm²である。本実験では、全試験体で主筋はスリーブ内で連続して用いた。使用したスリーブ継手は Bシリーズで外径 58mm,長さ 325mm,Cシリーズで外径:46mm,長さ 270mmである。充填モルタルの圧縮強度は 650kgf/cm²以上であった。Bシリーズではせん断破壊が先行するよう計画し、Cシリーズでは学会指針式[5]に従いせん断耐力を計算し、部材角約 1/100でせん断耐力が曲げ耐力と同一となり、それ以降せん断耐力が曲げ耐力を下回るよう計画した。

3.2 加力方法

Bシリーズは 200t アムスラー型万能試験機を用い、加力方法は野式加力とし、せん断ひび割れ発生荷重(B-2の値 $Q=13t$)で一方单向単調繰返しを5回行い、その後破壊まで単調載荷した。Cシリーズは文献[3]に示す加力装置を用い、上下逆対称応力を受けるようアクチュエータにより水平力を、また軸力比 $0.1F_c$ の軸力を加えた。載荷履歴は部材角 1/200, 1/100, 1/50で各4回, 1/33で各1回正負交番繰返し加力し、その後正側 1/20まで載荷した。

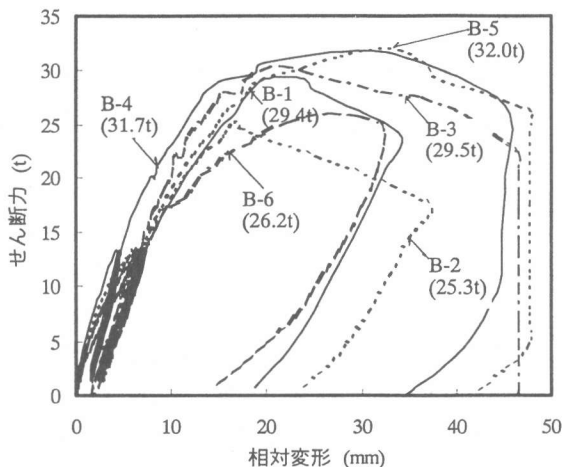


図5 荷重変形曲線

4. 実験結果および検討

4.1 集約補強方法の条件

図5に Bシリーズの試験体の荷重変形曲線を示す。補強筋が一樣に配筋された B-1に比べ、補強筋総量を同じとし、部材端で集約配筋した B-2では耐力が低下しているのに対し、集約区間にスリーブ継手の存在する B-3では耐力は同等である。変形性能は、部材端のスリーブ継手により圧壊が遅れたためと思われるが、均等配筋のものに比べて若干向上している。図6は、せん断補強筋引張力の分布を示したものである。ただし()内の数字はせん断力である。B-2, 3は B-2の最大耐力である $Q=25t$ 時にはほぼ同様な分布となっており、何れも集約補強筋は降伏歪みに至っていない。しかし、B-3ではこの後集約補強筋は降伏歪みに達しせん断耐力も均等配筋と同等の約 30tまで上昇した(図6参照)。これは、単に集約配筋だけでは、集約区間に発生するせん断ひび割れの拡大により、隣接する集約補強筋の間で斜め圧縮束応力の材軸直交成分に対する釣り合いを損ったことで伝達できるせん断力が低下したものと考えられる。つまり、集約配筋においては、スリーブ継手部の曲げ剛性が重要であるといえる。材料の違いを無視し、曲げ剛性が単に

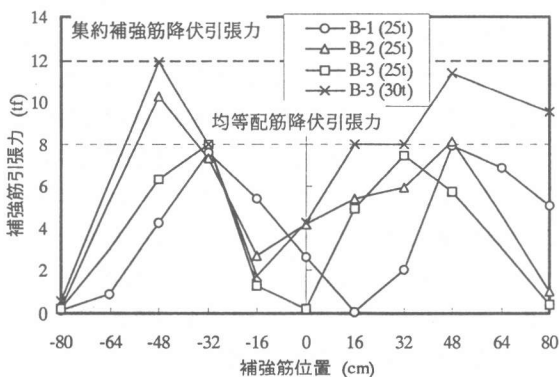


図6 せん断補強筋引張力分布

せん断耐力が低下したものと考えられる。つまり、集約配筋においては、スリーブ継手部の曲げ剛性が重要であるといえる。材料の違いを無視し、曲げ剛性が単に

断面二次モーメントに比例すると考えれば、今回の実験の範囲ではスリーブの曲げ剛性は鉄筋に比べて約40倍と非常に大きいですが、必要な曲げ剛性確保の定量的な評価は行えなかった。図7はせん断力25t時の主筋のひずみ分布である。これによればスリーブ継手の存在により圧縮側部材端のひずみは異なっているが、スリーブ継手の付着を絶縁したB-6を除けば同じような分布を示した。集約区間においても均等配筋と同じようにトラス機構が成立するためには、スリーブ継手にも伝達するせん断力に見合った付着力が生じる必要がある。スリーブ継手の付着を絶縁したB-6は、耐力および剛性がB-3に比べて低下している。スリーブ位置の付着がほとんど期待できないために他の区間の主筋に負担がかかり、また様なトラス機構の形成が困難であったことから、耐力が低下したといえる。以上から、集約区間に十分な付着力を負担でき、曲げ剛性の大きいものが存在すれば、補強筋比を同じとすることで集約補強した場合にも均等配筋と同等のせん断力の伝達が可能となる。また、今回使用したスリーブ継手は十分な付着力および剛性が期待できたとはいえる。

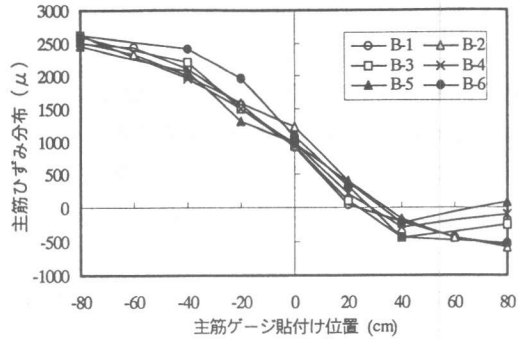


図7 主筋のひずみ分布

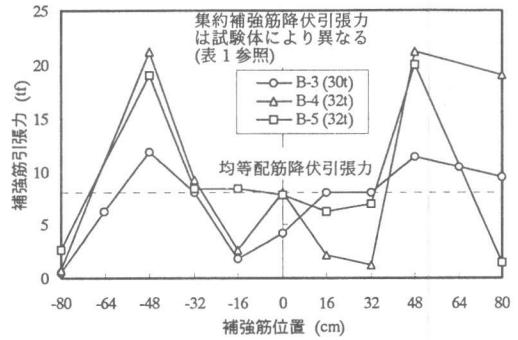


図8 補強筋引張力分布

4.2 集約補強筋量

前項で均等配筋と同等のせん断力を伝達するための条件について述べたが、ここでは集約補強筋量 ($A_w \sigma_w$) を増加させた場合について検討する。図9に集約補強筋量とせん断耐力について示した。集約補強筋の増加によりせん断耐力は上昇しているが、耐力の上昇には限界があることがわかる。図8の補強筋引張力分布によれば、B-5の集約補強筋は降伏引張力の約41tfには達せず、引張力はB-4とほぼ同等の値であり、本実験の範囲では $A_w \sigma_w = 20t$ 程度の時に集約補強筋量の増加分に見合うだけのコンクリート圧縮力によるせん断力伝達に限界が生じたといえる。前項の結果から、トラス機構によるせん断力伝達機構が均等配筋の場合と同様と考えれば、集約補強筋によるせん断力上昇のメカニズムは、図10に示すように集約補強筋引張力の増加分 $\Delta A_w \sigma_w$ の力を介して

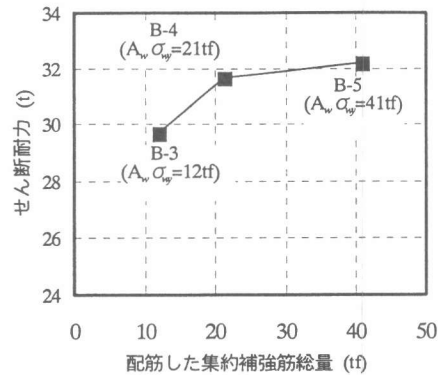


図9 集約補強筋量とせん断耐力の関係

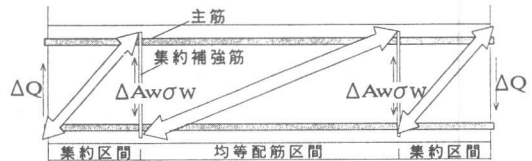


図10 集約補強筋増加分によるせん断力伝達メカニズム

せん断力が伝達されたと考えられる。表1に主筋の歪みより算出した試験区間全域の付着力を示す。耐力上昇の機構がトラス的な機構によるならば集約補強筋量の増加とともに付着力も上昇す

るはずであるが、明らかに実験値はこのよう
な傾向を示しておらず、図 10 に示す機構はアー
チ的な機構であるといえる。集約区間外の均等
配筋区間にアーチ機構が発生すると考えると、
このアーチは通常のアーチよりも角度 θ が大
きくなるため伝達できるせん断力は上昇する。

しかし、図 11 に示すように均等配筋区間に発生したアーチ
のコンクリート圧縮応力の材軸平行方向成分 $\sigma_a \cdot \cos \theta$
は部材端にながれ、集約区間に発生するアーチのコンクリ
ート圧縮応力 σ_b と重なり、部材端のコンクリートには
大きな負担が掛かる。アーチの重なりとコンクリート有効
強度およびトラス負担分のコンクリート強度の関
係により集約補強筋量増加の限界が決まると思わ
れるが、さらに詳細な検討が必要である。

4. 3 正負繰り返しによる影響と補強方法

C シリーズの試験体は全て曲げ降伏を確認した
後にせん断圧縮破壊した。図 12 に示した荷重変形
関係の包絡線から、せん断補強筋を均等配筋とし
た C-1 と集約配筋を行った C-2 とを比べると、初
期の剛性および最大耐力は同等であるが、C-2 は変
形の小さい段階で耐力低下が起きており靱性に劣
る。表 2 に相対変形角 0.01, 0.02 時にクラックス
ケールにより測定したせん断ひび割れ幅の合計を
示す。集約区間に補強筋による拘束効果のない C-
2 試験体は、曲げ降伏時である相対変形角 0.01
においてすでにひび割れ幅は大きく、相対変形角
0.02 まで変形が進むと、さらにひび割れ幅は増
大し、集約区間のコンクリートが脆弱化してい
ることが分かる。また、図 13 に示した集約区
間内のせん断変形角をみると、C-2 では相対変
形角 0.02 において、C-1 に比べて非常に大きな

値を示しており、集約区間内のコンクリートの劣化が助長されたことで、変形の小さい段階で
せん断耐力に達するまで集約区間内のコンクリート有効強度が低下したと考えられる。よって、正
負繰り返し加力を受けるような実際の部材において集約補強配筋を行うためには何らかの補強が
必要である。これに対し笹谷ら[4]は集約補強筋量を増加させることで対応が可能としている。筆
者らは、正負繰り返し加力に対する補強方法として、スパイラル筋をスリーブで囲まれたコアコ
ンクリートに配筋すれば、通常の補強筋の拘束効果までは得られなくても十分補強効果があると
考えた。集約区間をスパイラル筋により補強した C-3 についてみると、集約区間のひび割れ幅、
せん断変形角ともに C-1 と同等の値である。また、図 14 に示した C-2,3 の補強筋引張力分布を比

表1 各試験体の付着力

試験体 種類	集約補 強筋量	付着力(t)		
		上端筋	下端筋	平均値
B-3	12.0t	91.2	84.7	87.9
B-4	21.1t	81.6	70.9	76.2
B-5	40.9t	68.4	89.4	78.9

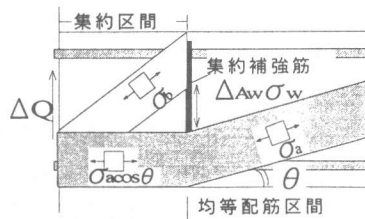


図 11 集約補強筋増加分によるアーチ機構

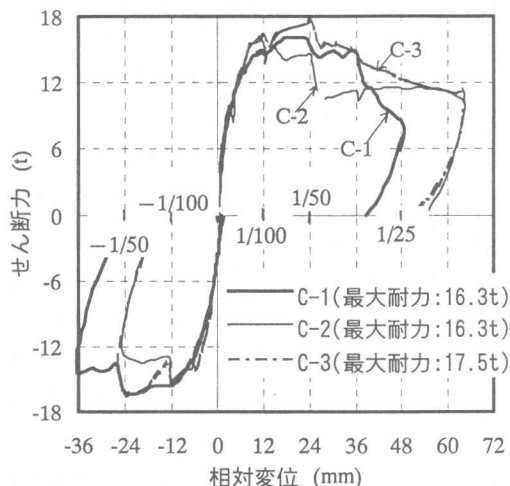


図 12 荷重変形関係 (包絡線)

表2 集約区間のせん断ひび割れ幅の合計

試験体 種類	柱頭ひび割れ幅(mm)		柱脚ひび割れ幅(mm)	
	R=0.01	R=0.02	R=0.01	R=0.02
C-1	0.25	0.60	0.16	0.45
C-2	0.70	1.50	0.30	1.30
C-3	0.15	0.30	0.15	0.29

べると、均等配筋区間では同様な分布を示したが、C-3の集約補筋引張力はC-2に比べて小さく、集約区間が健全であったと考えられる。スパイラル筋が囲む面積は通常の補筋の60%程度であったが、スパイラル筋が有効に働いていることが分かった。

5. 結論

本実験の結果から大要以下のことがいえる。

- (1)スリーブ継手端部においてせん断補筋を集約して配筋した場合でも、剛性の大きいものが集約区間に存在すること、均等配筋の補筋比と同等の集約補筋量、スリーブ継手に十分付着力が生じることにより均等配筋部材と同等のせん断力の伝達が可能である。
- (2)正負繰り返し加力をうける場合、集約区間のコンクリートはひび割れの交差、ひび割れ幅の拡大により脆弱化し、耐力および変形性能は低下する。
- (3)集約区間においてスリーブで囲まれるコアコンクリートをスパイラル筋で拘束すれば、耐力および変形性能は均等配筋部材と同等であり、この補強方法は集約せん断補筋のメリットを損なわず有効である。
- (4)本実験はあくまで集約せん断補筋が成立するかどうかには主眼をおいたものであり、多様な条件下にある実際のPCa部材を対象として定量化できるだけの実験は行っておらず、この方法を採用するには、さらに個別の場合ごとに実験などを行い確認する必要がある。

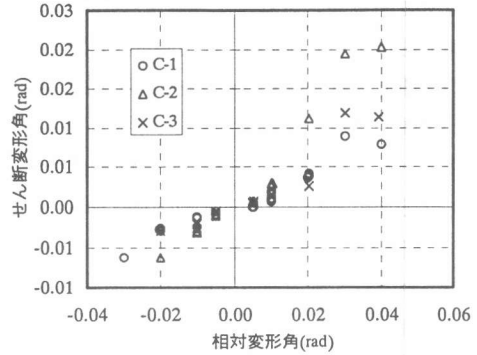


図 13 せん断変形角と相対変形角の関係

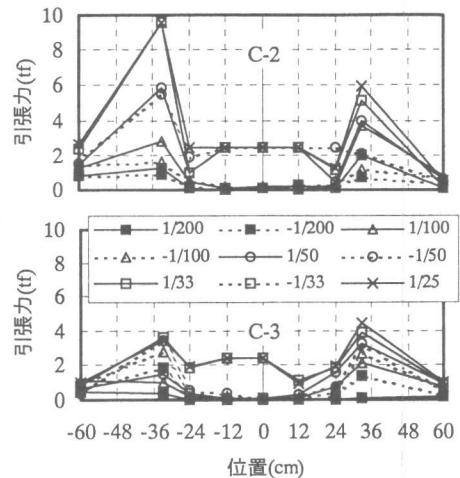


図 14 せん断補筋引張力分布

【謝辞】 本実験に際しては、日本スプライススリーブ(株)、住友電工(株)、明治大学卒業生の上原吉久子、船岡昭彦、結束一成、清水洋佳、大沢平洋、志村隆行諸氏にご協力を頂きました。ここに厚く謝意を表します。

【参考文献】

- [1]例えば、吉野次彦, 狩野芳一, 松崎育弘, 小林克己, 阿瀬正明: モルタル充填式継手を用いた柱部材の実験結果に対する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp735-736, 1991.9
- [2]小山明男, 高木仁之, 狩野芳一: スリーブ継手を有するPCa部材のせん断補筋方法に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), pp19-20, 1995.8
- [3]小山明男, 高木仁之, 狩野芳一: 集約配筋したスリーブ継手を有するPCa柱部材の靱性に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿), pp757-758, 1996.9
- [4]例えば, 笹谷輝勝, 吉野次彦, 小林克己, 野田宗生: 機械式継手を有するRC部材の集約せん断補筋方法に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.16 No.2, pp533-538, 1994.6
- [5]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, 1990.11