

報告

[2026] ネジスリーブ継手を有するプレキャスト部材の力学的挙動に関する研究

正会員 ○榎谷 栄次 (関東学院大学建築学科)  
 正会員 望月 重 (武蔵工業大学建築学科)  
 正会員 松崎 育弘 (東京理科大学建築学科)  
 正会員 小椋 克也 (関東学院大学大学院)

1. はじめに

近年、従来鉄筋の継手工法として用いられてきた重ね継手、溶接式継手のほかに、太径あるいは異径鉄筋を確実に溶接すること、プレキャスト鉄筋コンクリート造の部材の端部鉄筋を相互に接合すること、場所打ち鉄筋コンクリートの配筋を合理化し省力化することなどの必要性から、それぞれの特色ある機械式鉄筋継手が研究開発されてきた。

本報告は、新しく開発された「ネジスリーブ工法」のネジスリーブ継手を用いて、日本建築センター鉄筋継手研究委員会<sup>[1]</sup>で提案されている部材試験法(案)に基づいた片持ち方式によって、プレキャスト部材(以降、P C aと略す)の曲げ破壊実験を行い、ネジスリーブ継手のP C a部材に適用した場合の構造性能を調べ、継手を使用していない部材の構造性能との比較を通して、主に継手が部材の挙動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とする。

2. 実験方法

2.1 使用材料

今回の実験で使用した継手は、「ねじふし鉄筋継手工法」に基づくねじ定着部と、「モルタル充填鉄筋継手工法」に基づくモルタル定着部から構成され、図-1にその形状を示す。また、本単体実験で使用したねじふし鉄筋(素材)の一方方向引張試験を図-2に、継手によって一体となった鉄筋の弾性・塑性域繰返し試験を図2-3に示す。

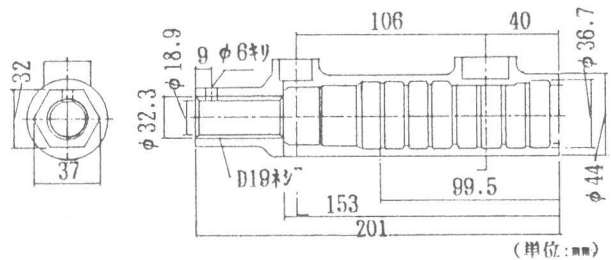


図-1 ネジスリーブ継手形状図

継手材の試験では、 $0.95\sigma_y$ 、 $2\sigma_y$ 、 $5\sigma_y$ で繰返しを行っている。この2つの図を比較してみると、その挙動は非常に類似している。最終状態では継手材のモルタル部の引き抜けが多く、6本中5本が引き抜けた。

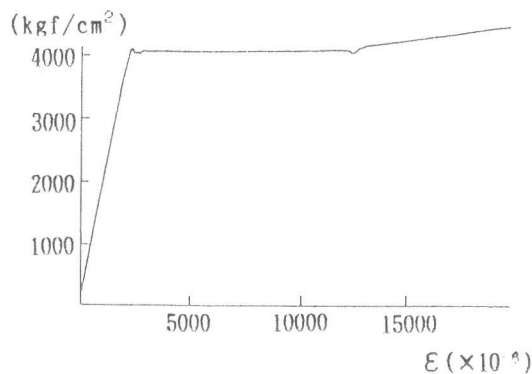


図-2 素材の一方方向引張試験図

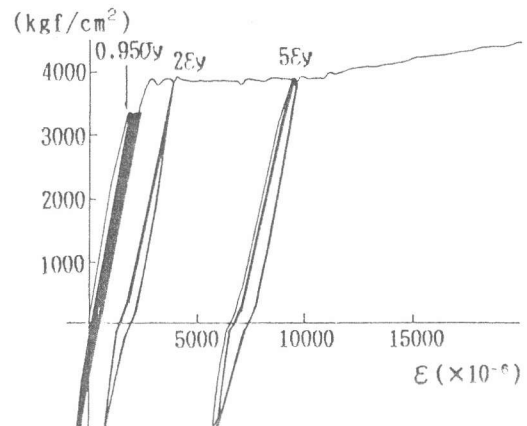


図-3 継手を有する鉄筋の弾・塑性域繰返し試験図

継手内部のモルタルは、フロー値215mm、圧縮強度763kgf/cm<sup>2</sup>が得られた。

部材実験に使用した鉄筋、コンクリートの諸強度をそれぞれ表-1および表-2に示す。表中の数値は、鉄筋が各10本、コンクリートが各3本の供試体の平均値とする。

表-1 使用鉄筋の強度

種別	降伏応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	最大応力度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 ×10 <sup>5</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
D10	3567	5019	1.90
D19	3652	5365	1.82

表-2 試験体別コンクリート強度

試験体名	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 ×10 <sup>5</sup> (kgf/cm <sup>2</sup> )
RCN-01	313	19.13	2.38
PCN-02	331	22.47	2.04
PCN-03	236	20.95	2.28
RC-04	398	34.22	2.45
PC-05	303	20.53	2.27

## 2. 2 試験体

試験体は、実物の構造材を想定し、部材と基礎スタブから構成されている。また作製した試験体は図-4および表-3に示すように、一体打ちの部材(RCN-01, RC-04)2体と、ネジスリーブ継手により接合した部材(PCN-02, PCN-03, PC-05)3体の計5体とした。

試験体名に「N」がついた試験体には軸方向力 $P_0=44\text{kgf/cm}^2$ を載荷し、「N」がついていない試験体には軸方向力は加えず、それぞれ柱とはりに対応させた。

PCN-03試験体は、継手周辺のせん断補強筋の量を一体打ち部材よりも50%割増した試験体である。これは、スリーブ周辺の補強が部材の性能にどのような影響を及ぼすか検討するためである。

プレキャスト部材の作製は、まず基礎スタブ部分とP C a部分(柱、はり部分)を平打ちして、硬化後基礎スタブ部分を立てて部材のジョイントをおこなった。継手は部材端から20mm上(かさ上げ)に位置し、接合部に敷モルタル20mmをとった。敷モルタルの強度は396kgf/cm<sup>2</sup>であった。

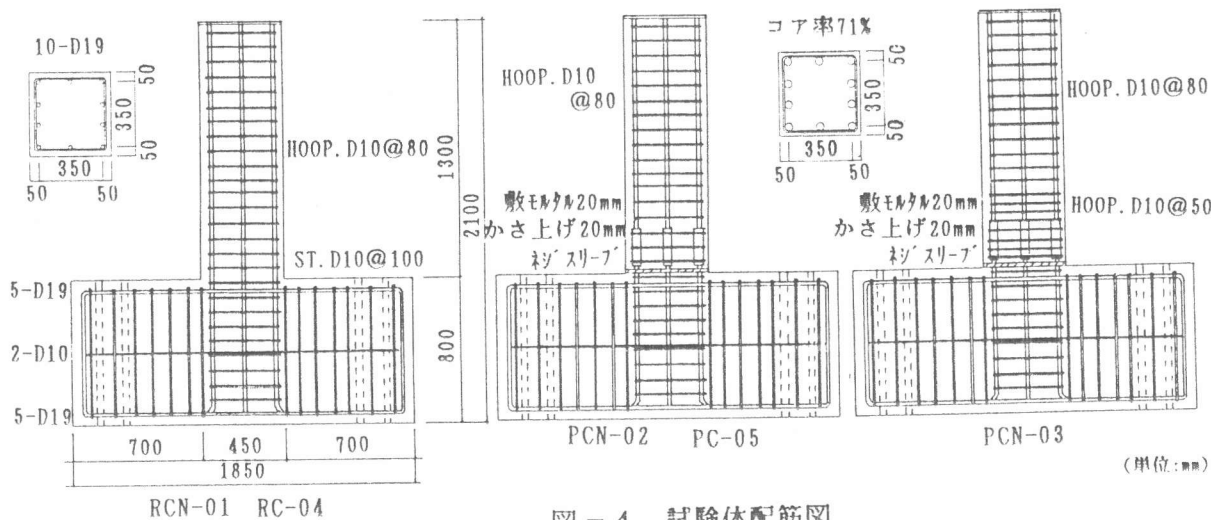


図-4 試験体配筋図

表-3 試験体一覧

NO.	試験体名	シャスパン比 (a/D)	継手 (有・無)	引張鉄筋比 $P_t(\%)$	継手部補強筋比 $P_w(\%)$	継手部補強筋比 $P_{w0}(\%)$
1	RCN-01	2.50	無	0.57	0.40	—
2	PCN-02		有			0.40
3	PCN-03		有			0.64
4	RC-04		無			—
5	PC-05		有			0.40

### 2. 3 加力方法

加力方法は、片持ち形式で1点集中荷重とし、油圧ジャッキにより正負交番繰り返し加力を行った。また軸力を荷重した試験体は、軸方向力 $\sigma_0=44\text{kgf/cm}^2$ を加力した。図-5に加力装置を示す。

加力サイクルは、図-6を示すように、引張鉄筋が降伏する荷重 $P_{y0}$ の0.9倍の荷重を第1サイクルの加力とし、その後、引張鉄筋降伏変位を $\delta_y$ とし、 $2\delta_y, 4\delta_y$ を各4回繰り返し、 $6\delta_y, 8\delta_y$ を各1サイクル加力した後、破壊に至るまで最終加力をおこなった。

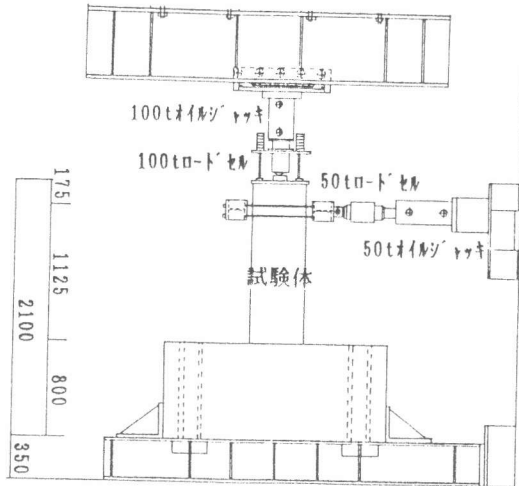


図-5 加力装置図

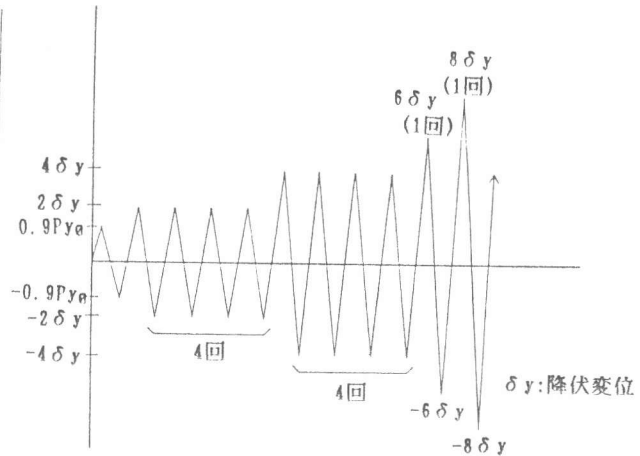


図-6 加力サイクル

### 2. 4 測定方法

荷重は50tfロードセルにて測定し、部材の水平および鉛直方向の変位、接合部の変位（水平目ずれ、鉛直目開き）はピストン型高感度変位計で測定した。また主筋およびせん断補強筋のひずみは、ワイヤーストレインゲージで図-7に示す点で測定した。ひび割れは、全面を目視により観察した。

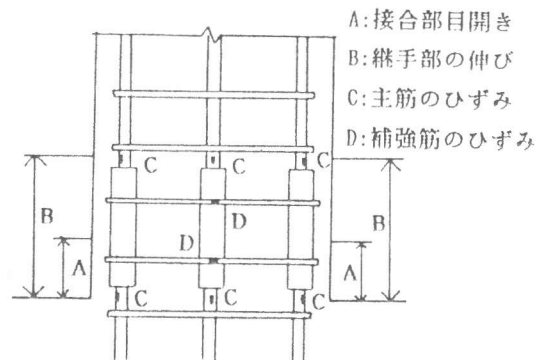


図-7 継手部周辺の測定点

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 破壊性状

図-8に各試験体の最終ひび割れ状況を示す。

RCN-01試験体とPCN-02試験体を比較すると、RCN-01は数本の曲げせん断亀裂が大きく開き、最終状況では鉄筋の座屈によって柱脚部のかぶりコンクリートが剝離した。PCN-02も同様に数本の曲げせん断亀裂が進展し、そのほかに小さなせん断亀裂が

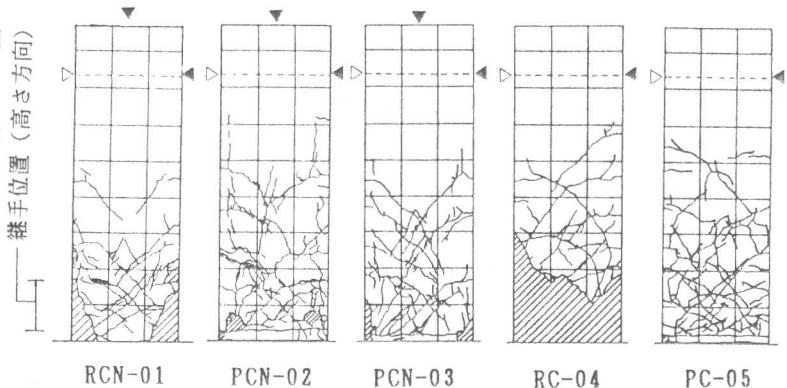


図-8 各試験体最終破壊状況

数多くみられた。継手位置の上下に曲げ亀裂が発生し、継手位置には細かい亀裂が目立った。コ

ンクリートの剝離は、はるかに少なく鉄筋の座屈によるものではなく、鉄筋かぶり厚さが少なかったためであると考えられる。

またPCN-03試験体は、補強筋を割増ししていない部分に大きなせん断亀裂を生じ、継手位置には細かいせん断亀裂が目立った。曲げ亀裂の進展状況や剝離の状態は、PCN-02試験体に類似した。

軸力を加えていないRC-04, PC-05試験体において、RC-04は細かい亀裂が全体に生じた。PC-05は継手位置周辺にせん断亀裂が集中した。曲げ亀裂や剝離状態については軸力を加えた試験体と同様の結果となった。

### 3. 2 荷重-変形角曲線

各試験体の荷重-変形角曲線を 図-9に示す。

各試験体の耐力低下について、図-10に示す包絡線を参考に比較してみると、軸力を加えたRCN-01, PCN-02, PCN-03の3体については、耐力低下がみられた。一体打ちの試験体RCN-01は、6 $\delta y$ サイクル以後に最大荷重に対して約30%の耐力低下がみられ、PCN-02は同じ6 $\delta y$ サイクルに、PCN-03は8 $\delta y$ サイクルに対して約15%の耐力低下がみられた。この事から継手を有する試験体が一体打ちの試験体に比べても十分な変形性能を

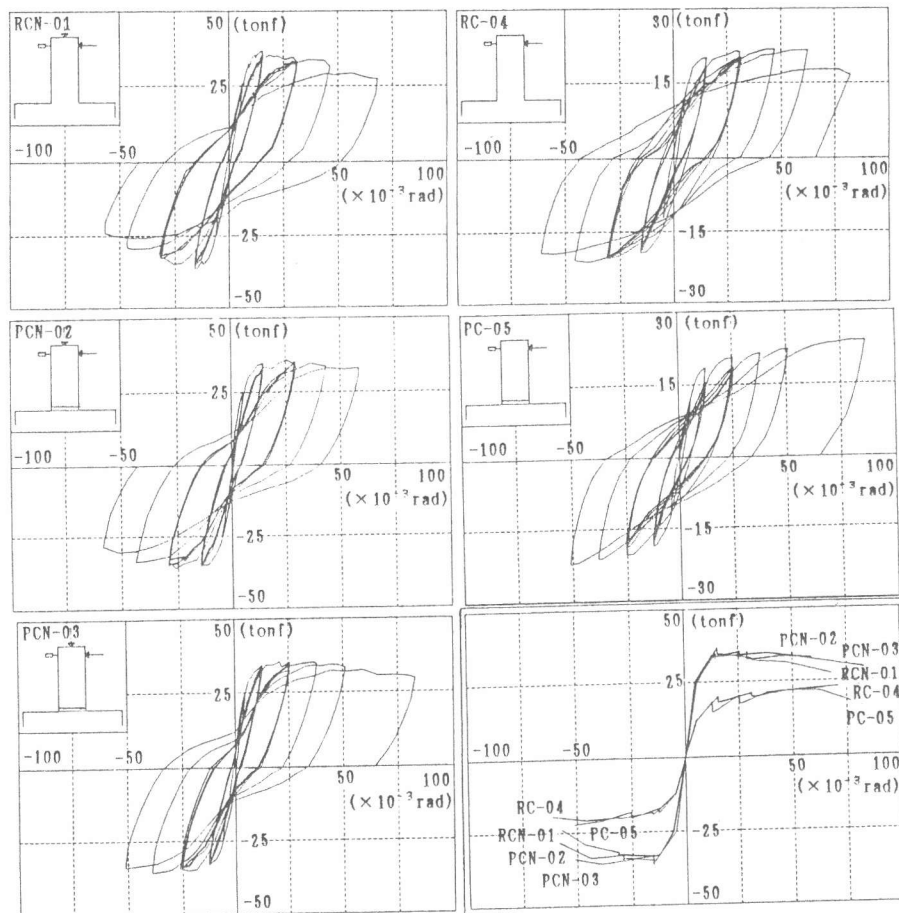


図-9 荷重-変形角曲線

図-10 包絡線図

有していることがわかる。RC-04は、8 $\delta y$ サイクルまで耐力低下はみらず、特にRC-05は終局時まで耐力が増加した。これは、主筋のひずみ硬化による影響があると考えられる。

最大耐力については、軸力を加えた場合は一体打ちが、軸力を加えない場合には継手を有する試験体がわずかに高いことがわかる。しかしほとんどその差はなく、降伏後の挙動を見る限り、一体打ちに対して継手を有する試験体の方が十分な靱性を持っていると考えられる。

### 3. 3 諸強度および剛性

諸強度の実験値と計算値の比較を表-4に示す。

曲げひび割れ強度は、実験値が計算値の1.62~2.90倍と全ての試験体の実験値が計算値を上回った。せん断ひび割れ強度も実験値が計算値の1.30~1.60倍と実験値が上回った。

主筋の降伏時強度は、曲げ終局強度式による計算値の0.98~1.29倍とよく近似した値が得られ

た。最大荷重は、曲げ終局強度式による計算値に対して、軸力有りが1.23~1.29倍で、軸力無しが1.66~1.82倍となった。特に軸力無しの実験値と計算値の差が大きい。試験体中央部に位置する2本の鉄筋を引張鉄筋として扱い算出した値に対して実験値は、1.33~1.45倍となった。

また各試験体で諸強度比較してみると、降伏強度、最大強度とも一体打ち部材とP C a部材の差はわずかなものであり、継手の影響はないものと考えられる。

剛性については、軸力有りの場合、初期剛性は、P C a部材の方が高く、特に継手部周辺の補強を割増したPCN-03が高い値を示した。軸力無しでは一体打ち部材が若干高い程度であった。

表-4 実験結果一覧

試験体名	実験値					計算値					(実験値)/(計算値)					
	$\epsilon K$	$Q_{mc}$	$Q_{sc}$	$Q_y$	$Q_u$	$\epsilon K$	$Q_{mc}$	$Q_{sc}$	$Q_{yu}$	$Q_{su}$	$\epsilon K/K$	$Q_{mc}$	$Q_{sc}$	$Q_y/Q_{yu}$	$Q_u/Q_{su}$	$Q_u/Q_{su}$
RCN-01	46.88	15.00	28.44	29.97	37.10	32.70	5.21	21.88	28.81	39.58	1.43	2.88	1.30	1.04	1.29	0.94
PCN-02	52.01	15.50	31.00	28.32	35.54	32.96	5.34	22.31	28.96	40.25	1.58	2.90	1.39	0.98	1.23	0.88
PCN-03	55.00	11.00	31.00	28.77	35.74	31.50	4.63	20.09	27.98	40.91	1.75	2.38	1.54	1.03	1.28	0.87
RC-04	25.70	9.20	20.00	16.98	21.84	33.74	4.96	13.47	13.15	35.76	0.76	1.85	1.48	1.29	1.66	0.61
PC-05	24.56	7.00	18.00	13.36	23.88	31.38	4.33	11.26	13.15	32.30	0.78	1.62	1.60	1.02	1.82	0.74

K: 初期剛性 (tf/cm)  $Q_{mc}$ : 初曲げひび割れ荷重 (tf)  $Q_{sc}$ : せん断ひび割れ荷重 (tf)  $Q_y$ : 引張鉄筋伏荷重 (tf)  $Q_u$ : 実験最大荷重 (tf)  
 $Q_{mc}$ : 曲げ終局荷重 (tf)  $Q_{su}$ : せん断終局荷重 (tf)

計算式

1) 初期剛性

$$K = P_{Ec} / \delta_{Ec}$$

$$\delta_{Ec} = (P I^3 / 6c E \cdot I e) + (k P I / 2 G B D)$$

$$k = 1.2, G = c E / 2(1 + \nu), \nu = 1/6$$

2) 柱

$$Q_{mc} = M_c / h, M_c = 1.8 \sqrt{F_c \cdot Z_e + N \cdot D} / b \text{ (学会式)}$$

$$Q_{sc} = \{0.085 \cdot 0.72 \cdot (180 + F_c) / M / Q \cdot d + 1.7 + 0.15 \cdot N / B D\} \cdot b \cdot j \text{ (荒川 min 式)}$$

$$Q_{yu} = M_u / h, M_u = 0.8 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot D + 0.5 N D (1 - N / b D F_c) \text{ (学会式)}$$

$$Q_{su} = b \cdot j \cdot \{K_u \cdot K_p \cdot 0.115 \cdot (180 + F_c) / (h/d + 0.12) + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy} + 0.1 \sigma_a}\} \text{ (広沢式)}$$

3) はり

$$Q_{mc} = M_c / h, M_c = 1.8 \sqrt{F_c \cdot Z_e} \text{ (学会式)}$$

$$Q_{sc} = \{0.085 \cdot 0.72 \cdot (180 + F_c) / M / Q \cdot d + 1.7\} \cdot b \cdot j \text{ (荒川 min 式)}$$

$$Q_{yu} = M_u / h, M_u = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d \text{ (学会式)}$$

$$Q_{su} = b \cdot j \cdot \{K_u \cdot K_p \cdot 0.115 \cdot (180 + F_c) / (h/d + 0.12) + 2.7 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}}\} \text{ (大野・荒川式)}$$

### 3.4 接合部の変位

脚部のずれ変位に関して、図-11に示す。軸力の有無に関わらず継手を有する部材の方が大きい結果が得られた。一体打ちの試験体が2.0~6.0mmであるのに対して、継手を有する部材では10mm以上の脚部のずれ変位が生じた。これは、プレキャスト部材の接合による影響と考えられる。変位が進むにつれ、敷モルタルの上下の接合面が完全に剝離し、部材と敷モルタル間の摩擦抵抗が減少したためと考えられる。

打継面の目開きは、PCN-02, PCN-03試験体ともに6δy時で約6mmとなった。また打継面での圧壊はみられなかった。これに対して、打継面のないRCN-01試験体は6δy時で5mmとP C a部材と大きな差はなく、スリーブ継手の問題となる鉄筋の引き抜けはなかったものと考えられる。

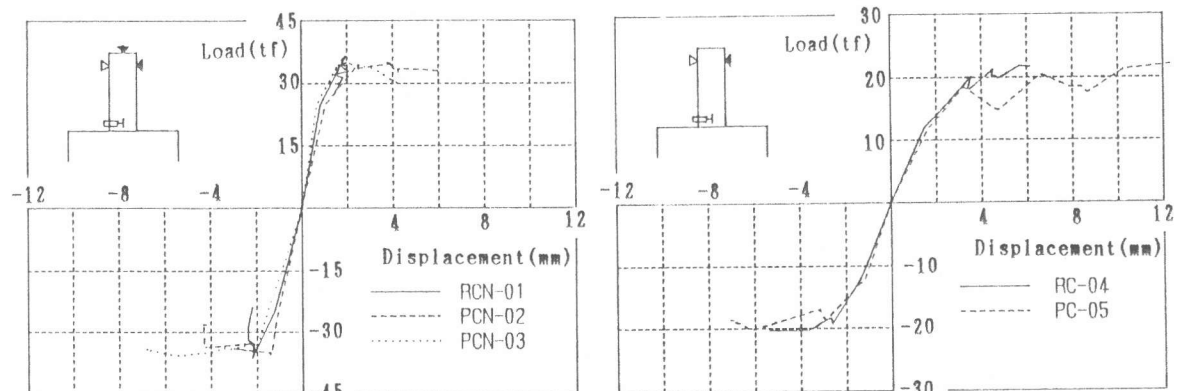


図-11 荷重-変形曲線 (柱脚部ずれ変位)

#### 4. 光弾性実験

エポキシ樹脂板で部材部、敷モルタル部、基礎スタブ部を別個に作製し鉄筋の代わりに銅線をエポキシ系接着剤で付けた試験片を用い、柱頭部で一点集中荷重を加えた。弾性域での主応力の方向である主応力線を求め、これにより実際の試験体にどのような応力が働いているのかを解析し、主応力と亀裂との関係について比較することを目的とした。図-12にRC-04, PC-05試験体の亀裂状況と主応力線図との比較を示し、図-13に同試験体の等色線と応力度分布を示す。

主応力線図において、載荷点から柱脚部にいたって描かれた線分は圧縮応力を示すもので、それと直行した線分は引張応力を示すものである。亀裂状況と比較すると、主応力線に沿った亀裂が多くかなりよく一致している。特にRC-04試験体は、主応力線の圧縮線分が集中している点（圧縮縁）で圧壊がおきている。PC-05試験体では、その圧縮線分集中位置が圧縮縁より部材の内側にあり、最終破壊状況で圧壊しにくい一要因と考えられる。

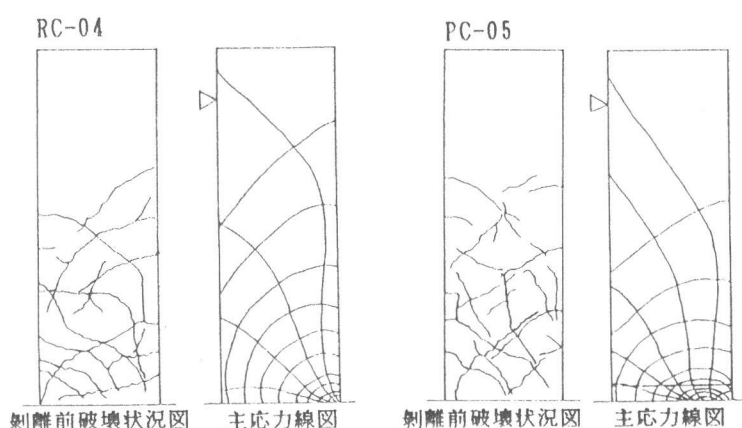


図-12 光弾性実験による主応力線図と亀裂状況

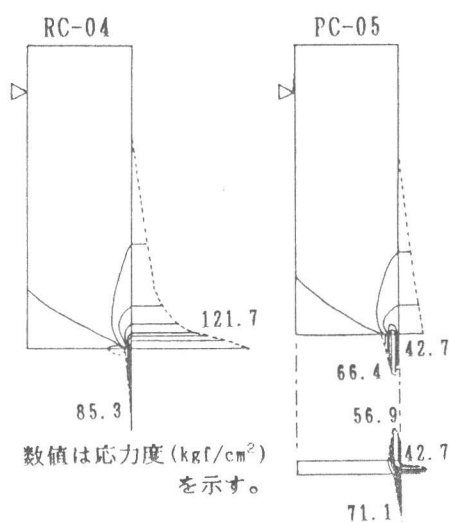


図-13 応力度分布図

#### 5. まとめ

実験の結果、以下のことが確認された。

- (1) 初期剛性は、実験値でPCa部材がRC部材よりも大きく、特に継手部周辺の補強を割増した試験体PCN-03が高い値を示した。
- (2) 降伏強度、最大強度では、PCa部材とRC部材に大きな差はない。耐力低下は、RC部材は圧壊が激しく耐力の劣下が大きいが、PCa部材は極めて小さい。軸力の無いPC-05試験体は、主筋のひずみ硬化のため終局時まで耐力は増加した。
- (3) RC部材は、圧縮側コンクリートの破壊が著しく、脚部の断面欠損による耐力低下を示している。一方、PCa部材に関しては、大きなコンクリートの剝離はなく、脚部の圧縮側コンクリートの圧壊によって曲げ破壊に至っており、靱性の高い挙動を示している。

以上、剛性、強度、主筋に生ずるひずみ、破壊状態に関して、PCa部材とRC部材の構造性能の違いを検討した。ネジスリーブ継手を有したPCa部材とRC部材の構造性能において、ほとんど差異が見られない。靱性においては、PCa部材がRC部材より向上することが認められた。

【謝辞】本実験は、東京鉄鋼株式会社からネジスリーブのご提供をはじめ、また多大なご協力もいただいで行われた。ここに、深く謝意を表する次第である。

参考文献 1) 日本建築センター：鉄筋継手の性能試験及び設計（報告書），1986.3

2) 日本建築センター：鉄筋継手性能基準，1982

3) 日本建築学会：プレキャスト鉄筋コンクリート構造の設計と施工，1986