

論文

[2038] ガス圧接継手がRC柱の力学的性状に及ぼす影響に関する実験的研究

范 啓民\*1・田中礼治\*2・野口 博\*3

1. はじめに

ガス圧接継手(以下、圧接継手という)は施工性の簡便さ、経済性などから、現在最も多く使われている鉄筋工法である。現在、圧接継手の設計において、継手位置或いは継手の集中度などに関しては、圧接継手は鉄筋応力の大きいところを避け、直線部で、部材の同一断面に集中させず、継手位置を相互にずらして設ける、という内容が各仕様書 [1] [2] に規定されている。しかし、継手素材の信頼性が向上してきた現在では、施工簡便性、容易性等の観点からは、全数継手や応力の大きい所での継手の可能性を検討する必要がある。そこで本研究では、圧接継手がRC柱部材の力学的性状に及ぼす影響に関する実験を行い、柱部材における全数継手や鉄筋応力の大きい所で圧接継手を設ける可能性について検討した。

2. 実験概要

2. 1 実験計画

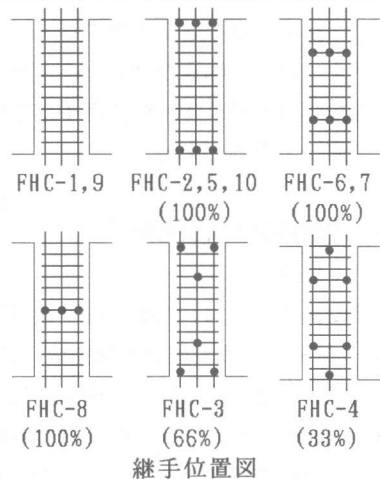
試験体は全部で10体(FHC-1~FHC-10)である。パラメータは、軸方向応力度( $1/6\sigma_B$ 、 $1/4\sigma_B$ )、継手位置(応力比率、集中度)、継手の鉄筋軸の偏心量(なしと $d/5$ 、 $d$ :主筋直径)である。試験体種別を表-1に、継手位置及び継手の鉄筋軸の偏心量とずらす方向を図-1に示す。継手位置に対しては、継手なし、継手を相互にずらすものと、全数継手を比較することとした。継手の鉄筋軸の偏心量については、規定 [1] の限度である $d/5$ とした。

2. 2 試験体と材料特性

試験体は、実大の約 $1/3$ スケールとし、境界条件を明確にするために梁型スタブを有する柱である。試験体の断面は $30 \times 30 \text{cm}$ 、内法スパン長さは $120 \text{cm}$ 、 $M/QD=2.0$ である。試験体の形状寸法及び配筋図を図-2に、材料特性を表-2に示す。破壊モードは、曲げ降伏型とし、主筋量は同一とした。帯筋は、

表-1 試験体種別

試験体名	軸応力度	継手位置 応力比率	継手位置 集中度	鉄筋中心軸 の偏心量	
FHC-1	$1/6\sigma_B$	継手なし	—	—	
FHC-2		0.92	100%	0	
FHC-3			66%		
FHC-4			33%		
FHC-5		0.50	100%	$d/5$	
FHC-6				0	
FHC-7				$d/5$	
FHC-8		0	—	0	
FHC-9		$1/4\sigma_B$	継手なし	—	—
FHC-10			0.92	100%	0



継手位置図

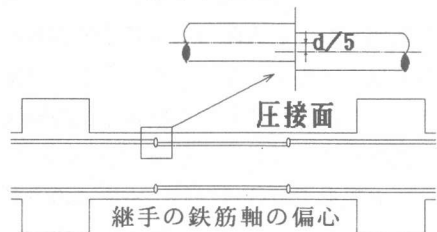


図-1 継手位置及び継手の鉄筋軸の偏心

- \*1 千葉大学大学院生 工学研究科建築工学専攻 (正会員)
- \*2 東北工業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)
- \*3 千葉大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

曲げ破壊を確保するように配筋した。コンクリート設計強度 $F_c=300 \text{ kgf/cm}^2$ とし、軸方向応力度を $1/4 F_c$ と $1/3 F_c$ の2種に設計し、軸力はそれぞれ $67.5 \text{ tf}$ 、 $90 \text{ tf}$ となる。しかし、加力の際に、コンクリート実強度 $\sigma_B$ は設計強度 $F_c$ に対して約 $400 \text{ kgf/cm}^2$ とかなり高めとなった。そこで、軸力を実強度 $\sigma_B$ に対して逆算し、軸方向応力度はそれぞれ $1/6 \sigma_B$ と $1/4 \sigma_B$ に変えることにした。

### 2. 3 載荷方法と測定項目

載荷方法は、図-3に示すように大野式逆対称正負繰返し加力により行った。柱頭に定軸力を与えた後、加力スタブに $100 \text{ tf}$ アクチュエータによりせん断力を加えた。載荷履歴は、層間部材角 $R=\pm 1/400$ 、 $\pm 1/200$ 、 $\pm 1/100$ 、 $\pm 1/50$ 、 $\pm 1/33$ 、 $\pm 1/25$ で2回ずつ繰返し載荷を行った。主な測定項目は、①層間変位、②曲げ変形、③ひび割れ幅、④危険断面や継手位置の主筋ひずみ等である。

## 3. 実験結果および考察

### 3. 1 破壊状況

10体の試験体の内、代表的な全数継手のFHC-2試験体の最終破壊状況を図-4に示す。全試験体とも主筋の曲げ降伏が先行し( $R=1/300\sim 1/150$ )、その後、載荷履歴が進むにつれて圧縮コンクリートの圧壊で破壊した。最大耐力に至るまで顕著な耐力低下はみられなかった。主なひび割れとしては、いずれの試験体も主筋降伏前に危険断面位置から約 $10 \text{ cm}$ 間隔で曲げ、曲げせん断ひび割れが発生し、その後最大耐力約 $R=1/100\sim 1/50$ に至るに伴い、せん断ひび割れも発生した。また、大変形では( $R=1/33$ )、主筋に沿う割裂ひび割れが発生した。

### 3. 2 層せん断力-層間変位関係

継手無しと全数継手の比較として2体の層せん断力-層間変位関係を図-5に、各試験体の層せん断力-層間変位曲線の包絡線を図-6に、実験結果一覧を表-3に示す。図中の破線は $P-\delta$ 効果の影響を示す。両試験体の履歴ループ形状は、曲げ降伏先行型で大変形 $R=1/50$ での繰返し以後では、逆S字型となっている。軸方向応力度 $\sigma_0=1/6 \sigma_B$ の各試験体では、層間部材角 $R=1/300\sim 1/150$ の間

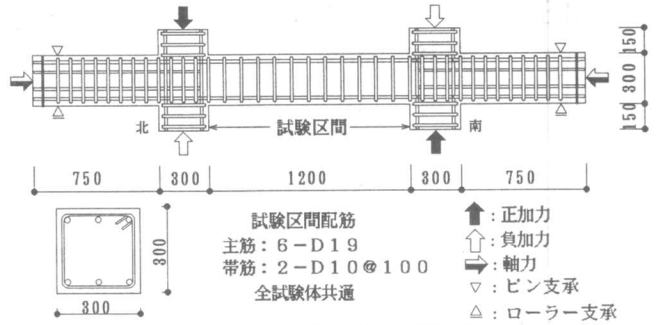


図-2 試験体形状及び配筋図

表-2 材料特性

試験体名	材令日	圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	最大強度時歪 ( $\mu$ )	割裂強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	割裂線性 ( $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ )
FHC-1	2 9	3 8 9	2 3 9 8	3 3 . 2	3 . 0 3
FHC-3					
FHC-4					
FHC-2	3 9	4 2 6	2 2 0 0	3 4 . 7	3 . 2 0
FHC-6					
FHC-8					
FHC-5	4 6	4 1 0	2 0 6 4	3 2 . 7	3 . 3 5
FHC-7					
FHC-9	5 0	4 1 6	2 2 5 0	2 6 . 6	3 . 3 1
FHC-10					
鉄筋種類		降伏応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	引張応力度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )	弾性係数 ( $\times 10^4 \text{ kgf/cm}^2$ )	
D19, SD295		3 6 0 1	5 3 6 3	1 . 8 0	
D10, SD295		3 5 0 7	5 0 2 8	1 . 8 8	

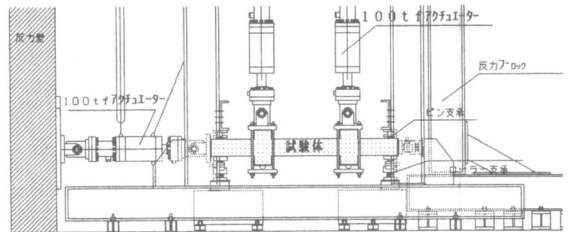
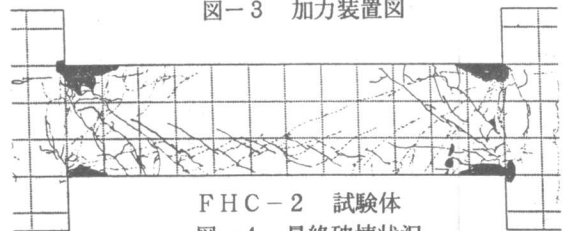


図-3 加力装置図



FHC-2 試験体  
図-4 最終破壊状況

で主筋降伏が確認され、その後、層間部材角約 $R=1/85\sim 1/50$ で最大耐力となった。以後、各サイクルの最大荷重はほぼ同程度で低下したが、最大耐力の85%を下回ったのは最終サイクルであった。最終サイクル変形はいずれも $R=1/25$ 程度となった。 $\sigma_o=1/4\sigma_B$ の高軸力試験体では、層間部材角約 $R=1/173$ で、主筋降伏し、 $R=1/100$ で2体とも最大耐力に達した。最大耐力については、 $Q-\delta$ 包絡線の比較より、継手を危険断面付近に全数配置しても継手分散配置、継手なしの場合と顕著な差はほとんどみられず、また圧接継手に $d/5$ の芯ずれが生じた場合でも、正常な継手の場合と顕著な差は生じていない。また、 $e$ 関数法による曲げ耐力計算値との比較を見ると(表-4参照)、軸方向応力度 $\sigma_o=1/4\sigma_B$ の高軸力試験体では、実験値/計算値が0.

97~0.99であり、計算値とほぼ一致している。軸方向応力度 $\sigma_o=1/6\sigma_B$ の試験体では、実験値が計算値を全て上回っているが、その比は1.02~1.11であり、ほぼ計算値に対応している

### 3. 2 ひび割れ発生状況

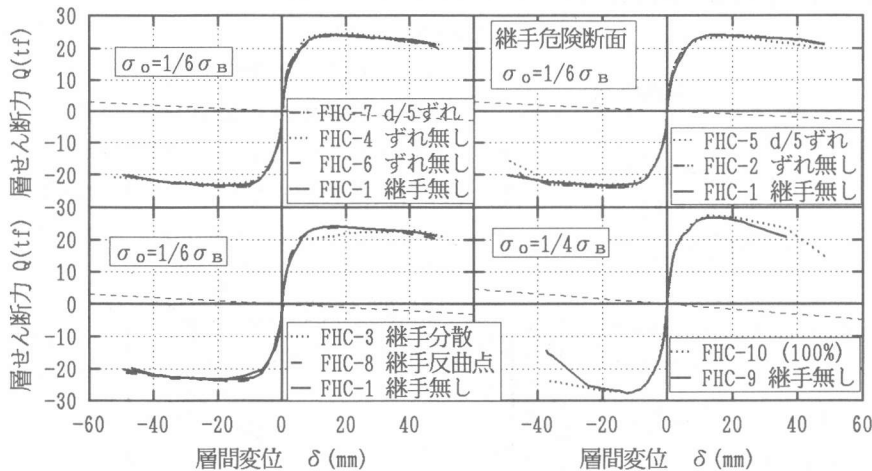


図-6 層せん断力-層間変位包絡線

表-3 実験結果一覧表

すべての計算値は $e$ 関数法により求めたものである

試験体名	軸力 (tf)	初期曲げひび割れ			主筋降伏			終局耐力		
		実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計	実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計	実験値 (tf)	計算値 (tf)	実/計
FHC-1	58.4	11.01	7.91	1.40	22.3	21.37	1.04	24.12	22.12	1.09
FHC-2	64.0	8.41	8.60	0.98	20.0	22.13	0.90	24.03	23.33	1.03
FHC-3	58.4	7.50	7.91	0.95	17.4	21.37	0.81	23.30	22.12	1.05
FHC-4	58.4	7.37	7.91	0.93	22.4	21.37	1.05	24.50	22.12	1.11
FHC-5	61.5	7.87	8.26	0.95	18.8	21.66	0.87	23.34	22.82	1.02
FHC-6	64.0	8.93	8.60	1.04	21.3	22.13	0.96	23.96	23.33	1.03
FHC-7	61.5	4.99	8.26	0.60	17.7	21.66	0.82	23.99	22.82	1.05
FHC-8	64.0	7.50	8.60	0.87	18.8	22.13	0.80	23.89	23.33	1.02
FHC-9	93.6	9.49	10.58	0.90	23.2	26.20	0.88	26.77	27.54	0.97
FHC-10	93.6	12.67	10.58	1.20	24.0	26.20	0.92	27.32	27.54	0.99

代表的な3試験体の層間部材角 $R=1/33$ 時のひび割れ状況とひび割れ幅の大きさを図-7に、3試験体の主なひび割れの発生位置と幅を図-8に、全試験体(FHC-3を除く)の各サイクル

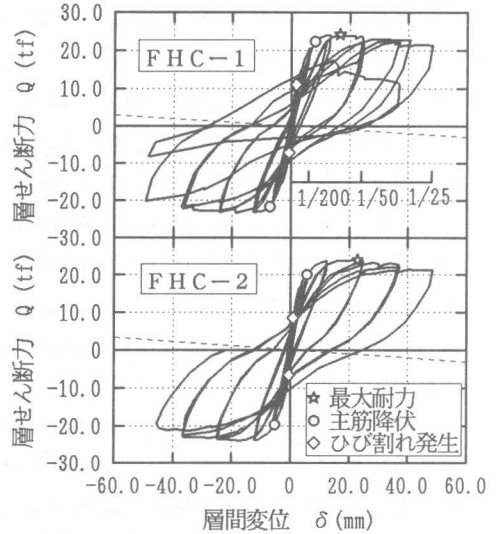


図-5 層せん断力-層間変位曲線

の一回目のピーク時のひび割れ幅最大値を図-9に示す。全試験体とも曲げ、曲げせん断ひび割れがスタブから全試験区間の1/3の間に約10cmの間隔で均等に発生した。継手なしの試験体では、最大ひび割れ幅のものは危険断面位置に発生したが、継手ありの試験体では、ひび割れが圧接継手位置真下には発生せず、継手位置から多少離れた所で発生した(図-7参照)。最大ひび割れ幅としては、危険断面位置に発生するとは限らず、継手位置近傍で発生した傾向が見られ(図-8参照)、継手なしの試験体とは異なる現象であった。全数継手試験体を継手分散配置した試験体と比較すると、 $R=1/50$ に至るまでひび割れ幅はほぼ同程度の値を示し、特に、大きくなるような現象は見られなかったが、大変形( $R=1/33$ )では、全数継手の方が大きい(図-9参照)。継手芯ずれの試験体をみると、継手位置左右の断面有効せいが異なるため、継手位置近傍で有効せいの小さい側の部分でひび割れ幅が大きくなる現象が発生した(図-7参照)。

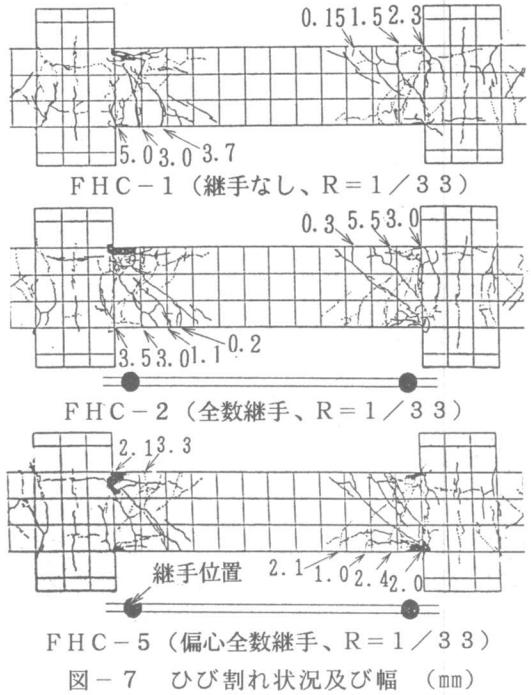


図-7 ひび割れ状況及び幅 (mm)

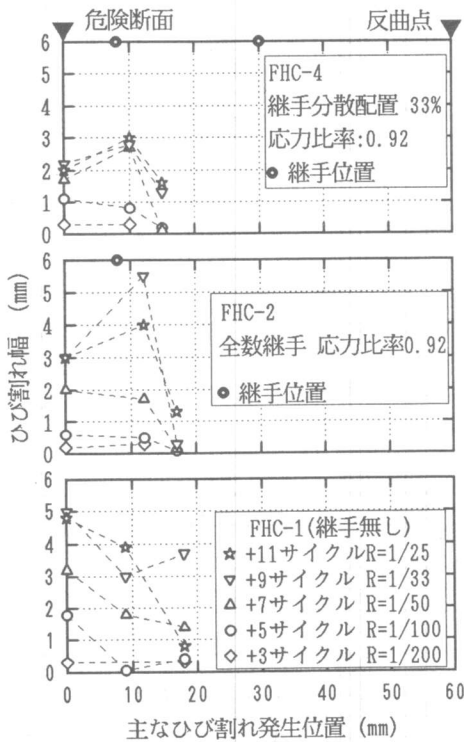


図-8 ひび割れ進行状況

### 3. 4 主筋応力分布状況

図-10に、2試験体の上端筋の $R=1/50$ までの各第1サイクルのピーク時の応力分布を示す。本実験では、全ての継手位置の両側に約3cmの間隔でゲージを貼り、主筋歪を測定した。主筋応力度

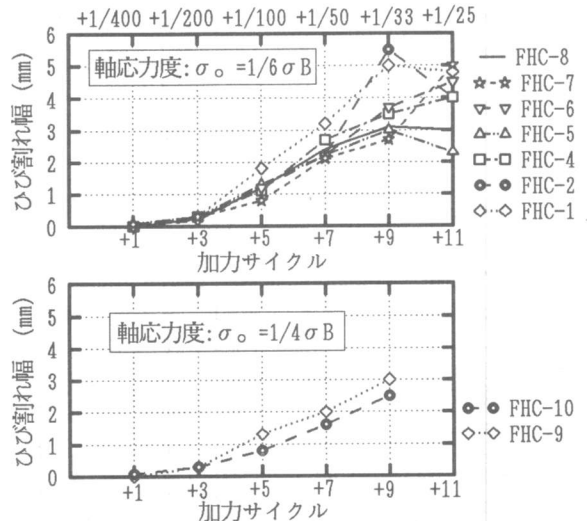


図-9 ひび割れ幅最大値の比較

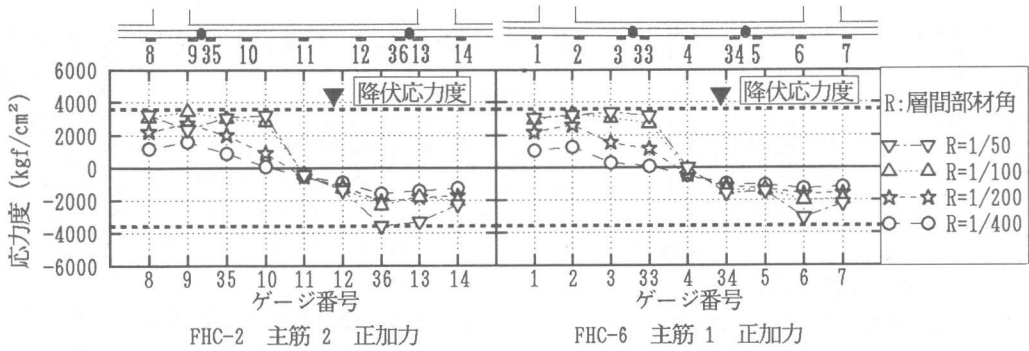


図-10 主筋応力分布図

表-4 初期剛性 (tf/mm)

試験体	実験値	計算値	実/計
FHC-1	9.55	9.94	0.96
FHC-2	10.67	10.37	1.03
FHC-3	9.90	9.91	1.00
FHC-4	9.83	9.91	0.99
FHC-5	12.66	10.78	1.17
FHC-6	11.06	10.37	1.06
FHC-7	9.42	10.78	0.87
FHC-8	8.56	10.37	0.83
FHC-9	12.93	10.70	1.21
FHC-10	9.40	10.66	0.88

初期剛性の計算式:

$$\delta_T = \delta_P + \delta_s, \quad \delta_P = h^3 / 12EI, \quad \delta_s = kh / Gae$$

h: 柱ノリツル<sup>2</sup>ノD/2 D: 柱せい k=1.5

は、鉄筋の応力度-ひずみ度関係をRamberg-Osgood型にモデル化し、主筋ひずみから求めた。継手位置の両側の応力分布をみると、継手位置に関わらず応力はほぼ等しくなっている。本研究の範囲では、継手部で局部的に断面積が大きいことや材質が通常の鉄筋部分と異なることが継手周辺の応力に及ぼす影響はほとんど見られなかった。

### 3.5 初期剛性

各試験体の初期剛性の実験値と弾性論に基づいて求めた計算値との比較を、計算式 [3] とともに表-4に示す。実験値は層せん断力-層間変位曲線において、初期ひび割れが発生する直前の点とを結んだ割線剛性と定義する。計算では加力スタブの回転を考慮し、計算上の可撓長さは危険断面からの内法長さ+柱せい/2と仮定した。軸応力度 $\sigma_0 = 1/6\sigma_B$ の試験体では、実験値の計算値に対する比は、ほぼ、0.83~1.17の間でのばらつきに収まっている。 $\sigma_0 = 1/4\sigma_B$ の試験体では、ばらつきがやや大きい。

### 3.6 曲率と曲げ変形

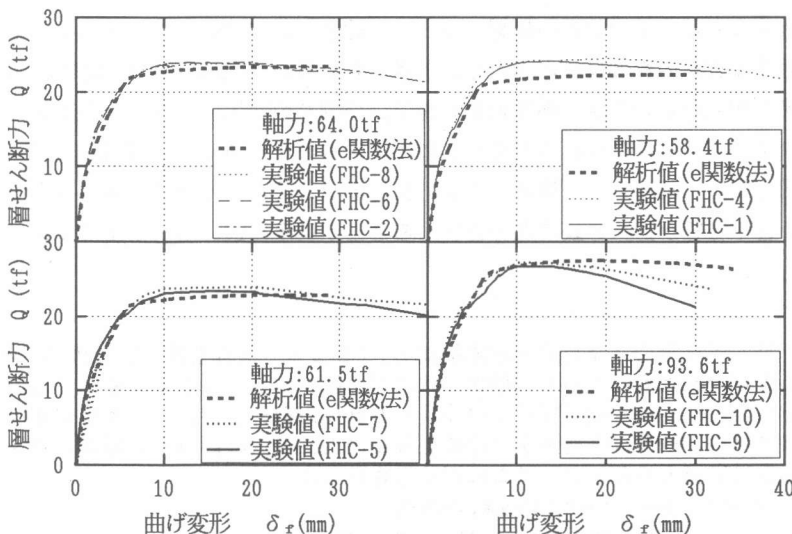


図-11 層せん断力-曲げ変形包絡線

各試験体の層せん断力-曲げ変形包絡線を図-11に、3試験体の曲げモーメント-曲率包絡線を図-12に示す。また、曲げ変形が全変形に占める割合を図-13に示す。曲げ変形の実験値は、柱軸方向に取り付けた曲げ変形測定用変位計測定値から、柱軸に沿う曲率分布を求め、モールの定理に基づいてこれを積分する

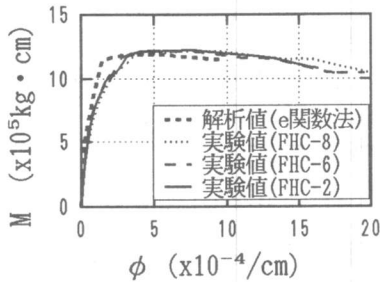


図-12 曲げモーメント-曲率包絡線

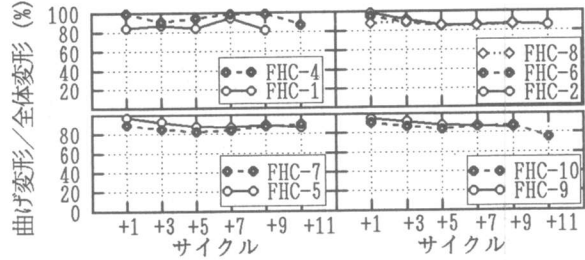


図-13 曲げ変形が全変形に占める割合

ことにより求めたものである。解析値 [3] は、e 関数法により計算した曲率を直線分布の仮定として求めたものである。継手無しのもと継手ありのものとの比較より、顕著な差はみられない。曲げ変形に関しては、実験値と解析値も良く一致している。また、図-13より、各試験体とも全体変形における曲げ変形の占める割合が8割以上となった。

### 3. 7 塑性率

主筋降伏時の変形量を  $\delta_v$  とし、最大耐力の85%に低下した時の変形量を  $\delta_u$  として求めた部材の塑性率を表-5に示す。部材の塑性率に関しては、多少のばらつきは見られるが、危険断面に全数継手を配置したもの(FHC-2)と応力の小さい断面に全数継手を配置したものや継手を分散したものとの比較より、FHC-4を除けば危険断面に全数継手を配置したものの方がやや低めであるが、継手なしのもの(FHC-1)に比べ、いずれも大きい値を示した。偏心、高軸力の試験体において、同様な傾向もみられる。このことより、曲げ靱性に関しては、継手の有無の影響はほとんどないと考えられる。

表-5 部材の塑性率

試験体名	$\delta_v$ (mm)	$\delta_u$ (mm)	$\mu$
FHC-1	7.98	48.25	6.05
FHC-2	5.65	48.40	8.57
FHC-3	4.19	49.56	11.83
FHC-4	6.72	48.90	7.28
FHC-5	4.54	48.50	10.68
FHC-6	4.40	47.95	10.90
FHC-7	4.03	47.89	11.88
FHC-8	4.55	49.07	10.78
FHC-9	6.92	30.63	4.42
FHC-10	6.93	36.36	5.25

### 4. まとめ

本研究の範囲で得られた主要な結論を以下に要約する。1) R C 柱の降伏時までの曲げ剛性及び曲げ耐力に関しては、継手の有無や継手位置の影響はほとんど認められないことがわかった。2) 曲げ靱性に関しても、継手の有無の影響はほとんどないと考えられる。3) ひび割れ幅に関しては、危険断面に於ける継手集中配置のものでは、継手位置近傍でひび割れ幅が大きくなる傾向がみられた。また、偏心圧接のものでは、ひび割れ幅が局部的に集中する現象もあった。4) 継手位置の両側の主筋応力分布に関しては、継手位置に関わらず応力はほぼ等しくなっている。継手部で局部的に断面積が大きいことや材質が通常の鉄筋部分と異なることが継手周辺の応力に及ぼす影響はほとんど見られなかった。

【謝辞】 本研究は、日本圧接協会『全数継手研究推進会』（委員長 園部泰壽 筑波大学教授）での実験研究の一環として行われたものである。関係各位に厚く御礼申し上げます。また、日本建築学会 R C 構造運営委員会「鉄筋継手設計WG」の委員にも御協力戴きました。心より御礼申し上げます。実験を行うに際し、千葉大学建築学科卒業生林正己君に多大の御協力を戴き、ガス圧接作業では日本圧接協会に御協力を戴いた。ここに深く感謝致します。

- 【参考文献】
- 1) 日本圧接協会：ガス圧接継手設計法に関する調査報告書、1988年5月。
  - 2) 田中礼治 監修：今だから知りたい鉄筋継手のすべて、建築技術 特集、1992年2月。
  - 3) 野口 博：鉄筋コンクリート部材のせん断破壊に関する研究、東京大学修士論文、1972年1月