

論文

[2040] ガス圧接継手を持つ RC はり部材の力学的性状に関する実験的研究

佐藤 慶司*1・田中 礼治**2・大芳賀義喜**3

1. はじめに

鉄筋コンクリート構造で使用する鉄筋は定尺であるから、鉄筋を延長する場合継手が必要となる。現在利用されている鉄筋継手にはガス圧接継手、重ね継手、溶接継手、機械的継手などがある。本報はこれら継手のうちガス圧接継手を取り上げて検討している。

ガス圧接継手は周知のように鉄筋端面を加熱、加圧し施工するため、圧接部は熱影響を受けると同時にふくらみも形成され、局部的に通常の鉄筋と異質な部分が生じる。このように、鉄筋の途中に通常の鉄筋と異なる異質なものが存在する場合、それらの存在がRC部材の力学的性状にどのような影響を及ぼすかを調べておくことは重要なことである。

そこで、本報でははり部材を取り上げ、まずガス圧接継手がはり部材の曲げ、せん断、付着の力学的性状に及ぼす影響について検討することを第一の目的としている。日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下、RC規準）では、ガス圧接継手は継手を相互に40cmずらして配置することが規定されている。しかし、鉄筋先組工法などでは継手を同一断面で全数継ぐ（以下、全数継手）ことの必要性が要求されている。そこで本報では全数継手の可能性を実験的に明らかにすることを第二の目的としている。

以上のような観点から、はり材端の危険断面位置および材端からはり丈離れた位置にガス圧接継手を同一断面で全数継手した、はり部材について実験を行い、継手なし試験体の力学的性能と比較し、継手の影響および全数継手の可能性について検討した。

2. 試験体の種別、形状、寸法、配筋

試験体種別を表1に示した。試験体は、ガス圧接継手が曲げ、付着、せん断の各種破壊に対してどのような影響を及ぼすかを調べるために曲げ破壊型（Fシリーズ）、付着破壊型（Bシリーズ）、せん断破壊型（Sシリーズ）の3シリーズに別れている。各シリーズは3体ずつの試験体から構成されている。各シリーズの3体は継手位置を変化させたもので、継手位置以外は全て共通である。即ち、継手なしのもの、危険断面に継手を持つものおよび危険断面からはり丈だけ離して継手を設けたものである。各シリーズの試験体は想定した破壊形式が生ずるよう主筋量を調整している。即ち、曲げ破壊型は主筋が上端、下端とも2-D19と引張鉄筋量が最も小さい。付着破壊型は曲げ降伏後、付着破壊が生ずるよう、上端、下端とも4-D19（一段配筋）としている。せん断破壊型は曲げ降伏以前にせん断破壊が生ずるよう、上端、上端とも5-D22としている。試験体の形状、寸法は全試験体共通である。

試験体の形状、寸法、配筋の一例（Sシリーズ）を図1に示した。各シリーズの断面配筋詳細を図2に示した。断面寸法は全試験体とも $B \times D = 20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ である。継手位置は図1にSシリーズの例を示してあるが、各シリーズとも共通である。F0、B0、S0は継手なし試験体、

*1 (株)ウェルディング・サトー 代表取締役、(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 東北工業大学助手 工学部建築学科、(正会員)

F1, B1, S1は継手を危険断面より5cm離して設けたもの(以下、危険断面に配置したものという)、F2, B2, S2は40cm離して設けたもの(以下、断面せい離して配置したものという)である。継手は部材の左右に对称に設けている。あばら筋は全て135°フック付きである。

ガス圧接継手は手動ガス圧接により加工した。加工はガス圧接技量資格3種の資格者が施工した[1]。継手施工後、圧接部のコブの直径を測定した結果、直径は鉄筋の公称直径の1.35~1.45倍に分散していたが、平均値は1.4倍であった。

3. 使用材料

3.1 コンクリート

コンクリートは普通コンクリートであり、実験時のコンクリート強度は $F_c = 22.5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。 $F_c/3$ のヤング係数は $E_c = 1.90 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$ であった。

3.2 鉄筋

主筋(D19, D22)、あばら筋(D10)ともSD35である。各鉄筋の機械的性質を表2に示した。

4. 加力及び変形測定方法

加力は逆対称加力で、正負繰り返し载荷を行った。最初の1回は長期荷重時応力($ML = at \cdot f_t \cdot j$, $f_t = 2000 \text{ kgf/cm}^2$)で行い、その後は部材角を $1/200 \text{ rad}$ ずつ増加させ、正負繰り返し载荷を行った。試験部分の相対たわみを変位計(精度 $1/100 \text{ mm}$)で、主筋およびあばら筋のひずみをワイヤーストレンゲージ(ゲージ長 2 mm)で測定した。コンクリートひずみ(主筋位置)は、コンタクトゲージ(各測定間長 10 cm)で測定した。

表1 試験体種別

シリーズ名	試験体名	継手位置の曲げモーメント比率	引張鉄筋 引張鉄筋比
曲げ	F0	継手なし	2-D19 $p_t = 0.80\%$
	F1	0.92	
	F2	0.50	
付着	B0	継手なし	4-D19 $p_t = 1.60\%$
	B1	0.92	
	B2	0.50	
せん断	S0	継手なし	5-D22 $p_t = 2.88\%$
	S1	0.92	
	S2	0.50	

表2 鉄筋の機械的性質

	鉄筋径	降伏点 σ_s (kgf/cm ²)	引張強さ σ_b (kgf/cm ²)	ヤング係数 $E_s \times 10^5$ (kgf/cm ²)
主筋	D19	3820	5320	1.90
	D22	3870	5360	1.84
あばら筋	D10	3950	5700	1.94

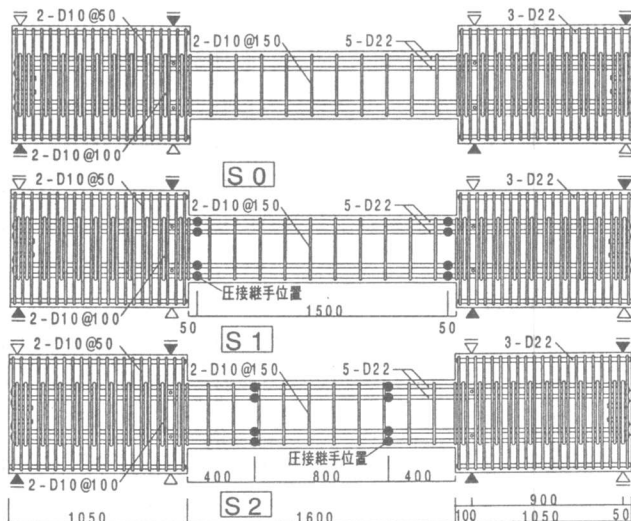


図1 試験体の形状、寸法、配筋の一例(Sシリーズ)

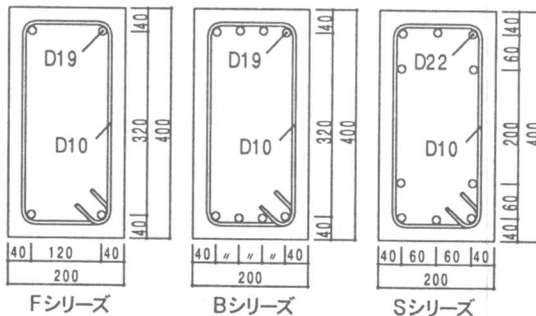


図2 断面配筋詳細

5. 実験結果および検討

5. 1 各試験体の破壊経過およびQ-R曲線

各試験体のせん断力-部材角曲線(Q-R曲線)を図3、Q-R曲線の包絡線を各シリーズごとに図4に示した。また、各試験体の最大荷重時のきれつ図を図5に示した。各試験体の破壊経過は次の通りであった。

Fシリーズの各試験体はいずれも曲げ破壊型で、履歴Loop形状も各試験体ともよく類似していた。但し、降伏後の靱性は継手ありのものが継手なしのものより小さくなる傾向が見られたが、いずれの試験体も $R = 3/100 \text{ rad}$ までは荷重の低下がなく、安定した履歴性状を示した。継手ありの靱性がなしのそれより小さくなる原因が継手の有無あるいは位置によるものは本実験からは明らかに出来なかった。Bシリーズの各試験体はいずれも主筋降伏後、主筋に沿って付着きれつが発生し、side split型の付着割裂破壊を生じた。Q-R曲線の包絡線は図3からも分かるように各試験体類似していた。Sシリーズの各試験体はいずれも主筋降伏以前のせん断破壊であった。履歴Loopは極端な逆S型であったが、Loop形状は各試験体とも類似していた。

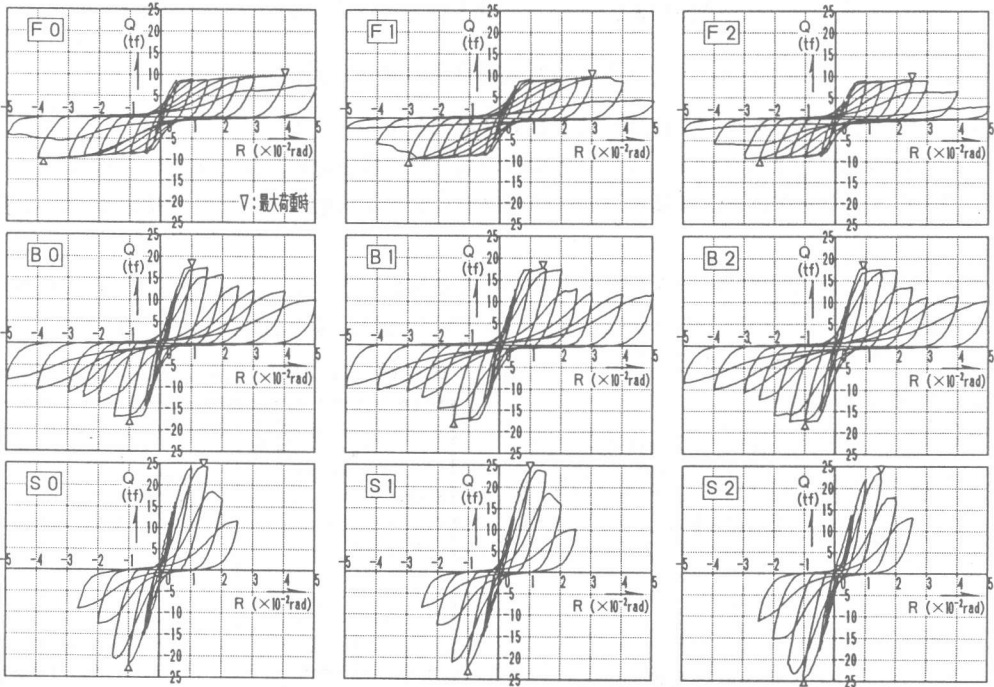


図3 各試験体のQ-R曲線

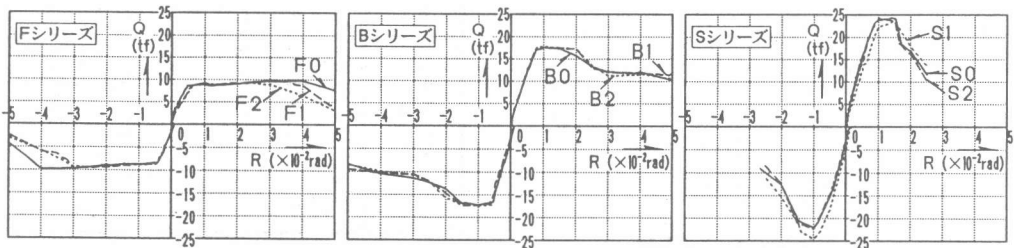


図4 Q-R曲線の包絡線の比較

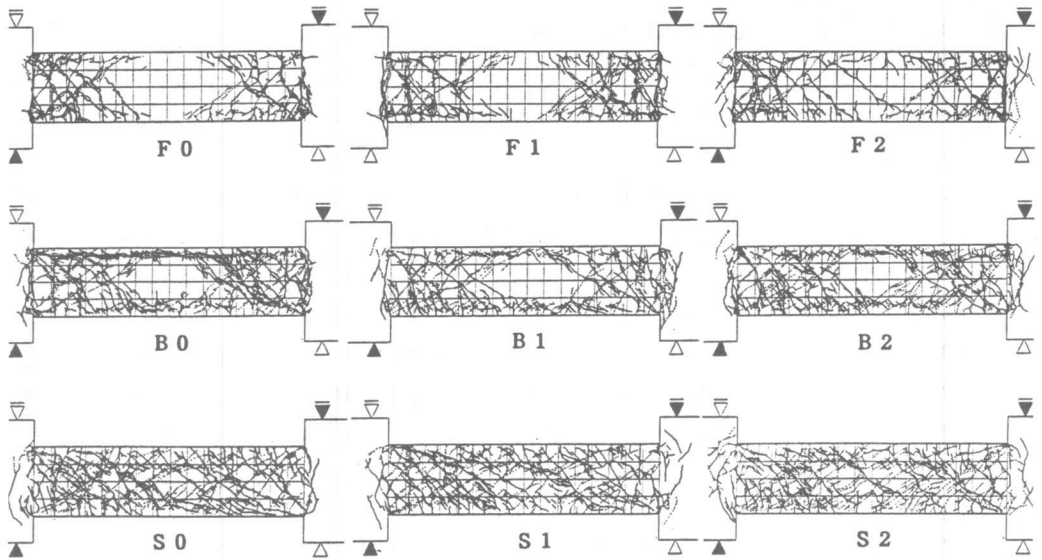


図5 最大荷重時のきれつ図

5. 2 曲げ初きれつ荷重、曲げ降伏荷重および最大荷重

各試験体の曲げ初きれつ荷重、曲げ降伏荷重および最大荷重の実験値を表3に一覧示した。但し、表中Sシリーズは全試験体とも曲げ降伏以前にせん断破壊したので曲げ降伏荷重は表示されていない。

図6, 図7は、表3の曲げ初きれつ荷重および最大荷重を各シリーズごとに継手なし試験体の値と比較して示したものである。同時に図中には式(1)~式(3)より求めた、曲げ初きれつ荷重および最大荷重の計算値も比較示した。

表3 曲げ初きれつ荷重, 降伏荷重及び最大荷重

○曲げ初きれつ荷重

$$M_c = 1.8 \sqrt{F_c} \cdot Z_e \dots\dots (1)$$

ここで、 F_c : コンクリート強度 (kgf/cm²)

Z_e : 等価断面係数

○最大荷重

- ・ Fシリーズ, Bシリーズ

$$M_u = 0.9 a_t \cdot \sigma_y \cdot d \dots\dots (2)$$

ここで、 σ_y : 鉄筋降伏点強度 (kgf/cm²)

d : 有効せい

- ・ Sシリーズ

$$Q_u = b j_t p_w \sigma_{wy} \cot \phi + \alpha (1 - \beta) b D \nu F_c \dots\dots (3)$$

ここで、 $\alpha = \{ \sqrt{(L/D)^2 + 1} - (L/D) \} / 2$

$\nu = 0.7 - F_c / 2000$

$$\beta = \frac{(1 + \cot^2 \phi) p_w \sigma_{wy}}{\nu F_c}$$

試験体名	曲げ初きれつ荷重 eQc (tf)	降伏荷重 eQy (tf)	最大荷重* eQu (tf)
F0	1.8	8.5	9.8
F1	2.0	8.6	9.7
F2	2.0	8.7	9.3
B0	2.2	17.0	17.4
B1	2.4	17.2	17.5
B2	2.5	17.3	17.7
S0	2.5	—	23.1
S1	2.8	—	23.2
S2	2.6	—	24.1

*: 正負平均値

図6より、継手あり試験体の曲げ初きれつ荷重が継手なしのそれより下回ることがないことから推測すると、継手の有無は曲げ初きれつ荷重に差ほど影響しないことが確認された。また、曲げ初きれつ荷重の計算値は実験値よりも多少大きくなる試験体が多かったが、実/計の比は0.83~1.02の範囲に分布しており、既往の研究における実/計のばらつきなどから推測して曲げ初きれつ荷重は圧接継手を持つものであっても式(1)で算定しうると考えられる。

曲げ降伏荷重については表3から分かるようにFシリーズ、Bシリーズとも各試験体の実験値が良く近似しており、継手の有無の影響は見られなかった。

最大荷重はFシリーズ、Bシリーズ、Sシリーズとも継手あり試験体の実験値と継手なしのそれはよく近似しており継手の影響はほとんど見られない。

最大荷重に関する実験値と計算値の比率はFシリーズでは実/計=1.04~1.10、Bシリーズでは実/計=0.98~1.00と実験値と計算値は良く合致した。Sシリーズでは実/計=1.03~1.07となり、計算値は安全側の誤差で実験値と良く合致した。ちなみにSシリーズの各試験体では最大荷重時ではあばら筋は降伏していた。以上のことから、ガス圧接継手を持つはり部材であっても最大荷重は曲げ破壊型に対しては式(2)で、せん断破壊型に対しては式(3)で十分計算可能である。

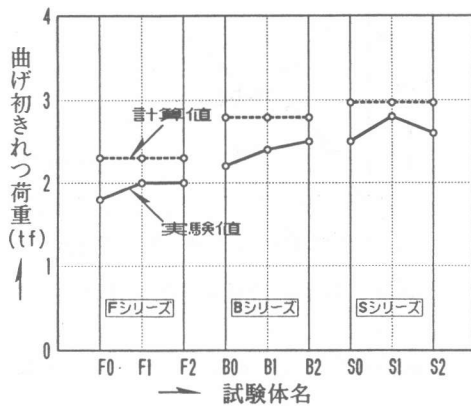


図6 曲げ初きれつ荷重の比較

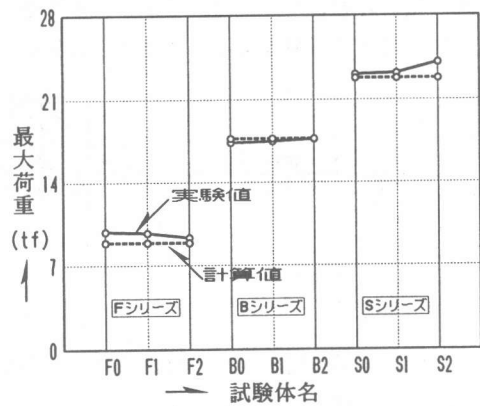


図7 最大荷重の比較

5.3 長期荷重時最大きれつ幅

長期荷重によるきれつ幅はコンクリートのクリープ、収縮量などの長期载荷の影響とも関係するので、本実験のような短期的な载荷実験からは求められないが、上述の長期载荷の影響が継手なし、継手あり両者に対してほぼ同等の影響度合いであると仮定すれば、短期载荷による長期荷重時きれつ幅を調べておくことは意味がある。そこで、ここではコンタクトゲージで測定したコンクリートひずみより長期荷重時きれつ幅を求めた。コンクリートひずみは主筋位置で測定したものである。コンタクトゲージにより測定したコンクリートの伸び量がその区間で発生したきれつ幅の合計と等しいこと、また測定区間での各きれつ幅は等しいという仮定のもとに求めた。図8は最大きれつ幅を曲げ降伏したFシリーズ、Bシリーズについて示したもの

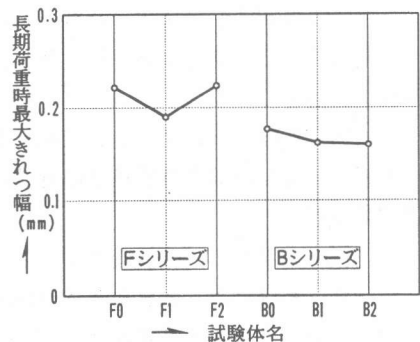


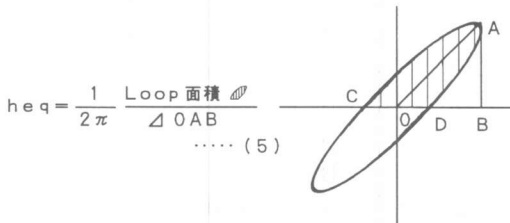
図8 長期荷重時最大きれつ幅の比較

である。図8から分かるように、長期荷重時の最大きれつ幅はFシリーズ、Bシリーズとも継手あり試験体のきれつ幅が継手なしのそれと近似していることから、最大きれつ幅に関しては継手の影響は特に見られなかった。また、Fシリーズ、Bシリーズの全試験体とも長期荷重時の最大きれつ幅は0.25mm以下であった。

5.4 等価粘性減衰定数

図3で示した各試験体の履歴面積から式(5)を用い求めた等価粘性減衰定数を比較したのが図9である。

等価粘性減衰定数はせん断破壊型(Sシリーズ)のものが最も小さく、曲げ破壊型(Fシリーズ)のものが最も大きくなっている。各シリーズでの等価粘性減衰定数は継手ありと継手なしのものでは大きな差は見られず、ガス圧接継手が部材の等価粘性減衰定数に与える影響は少ないと考えられる。



6. まとめ

ガス圧接継手を持つはり部材と継手なしのそれとの実験結果を比較するなどの検討を行った結果、次のことが認められた。

- 1) RCはり部材の曲げ破壊、付着破壊、せん断破壊の力学的性状に及ぼすガス圧接継手の影響は少なく、曲げ初きれつ強度、曲げ終局強度、せん断終局強度の計算式として継手なしの通常のRC部材のそれを使用することが可能である。
- 2) ガス圧接継手を全数継手で用いること及び全数継手をはり部材端の応力の大きい位置で用いることの可能性が確認された。これらの結果は現行のガス圧接継手設計法を見直す場合の有用な資料となるものと考えられる。

[謝 辞]

本研究を行なうに当たり、日本圧接協会「全数継手研究推進会(委員長 園部泰寿 筑波大教授)」及び実験実行委員会の皆様の御協力を得た。厚く御礼申し上げます。

[参考文献]

- [1] 田中 礼治・大芳賀義喜：ガス圧接継手の抜取検査試験片の引張試験結果に関する調査研究—全国調査—、日本建築学会構造系論文報告集、第393号、1988.11
- [2] 田中 礼治・大芳賀義喜：ガス圧接継手を持つはり部材の曲げ実験研究(その1—継手の集中度及び施工精度の影響)、日本建築学会東北支部昭和61年度研究報告集

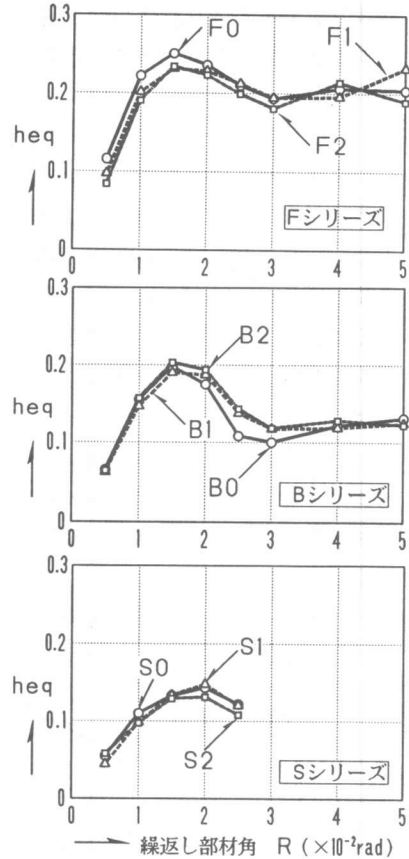


図9 等価粘性減衰定数の比較