

論文

[2045] 重ね継手を持つ曲げ降伏型 RC 骨組の耐震性能に関する実験的研究

大芳賀義喜*1・大本 義直*2・笠松 照親*3・田中 礼治*4

1. はじめに

現行の日本建築学会「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」（以下、RC規準という）では、重ね継手は「部材応力及び鉄筋応力の小さい箇所に設けることを原則とし、かつ、継手は相互にずらして設ける」と規定している。しかし、近年鉄筋コンクリート建築物の施工を合理化する手法として鉄筋先組工法あるいはハーフプレキャスト工法などが開発されている。それらの工法では重ね継手を応力の大きいところ、あるいは全ての継手を同一断面で継手する全数継手の利用が要望されている。そのような要望に応える意味で筆者等は文献1においてははり部材を用いて各種応力レベルに設けた重ね継手の力学的性能について究明し、重ね継手長さを十分確保すれば応力の大きいところでも重ね継手を設け得ることの可能性を示した。また、同時に全数継手の利用の可能性についても示した。そのような部材実験の成果をもとに、本報では曲げ降伏型骨組で重ね継手を応力の大きいところ（ヒンジゾーン）で、かつ、全数継手で用いた場合の骨組としての強度、変形性状、履歴性状などの耐震性能について検討し、曲げ降伏型骨組で重ね継手を全数継手で、かつ、応力の大きいところで使用することの可能性について実験的に究明することを目的としている。

2. 試験体の種別、形状、寸法、配筋

試験体は全部で2体である。試験体種別を表1に示した。試験体のうちFLP-Hは重ね継手をはり・柱部材のヒンジゾーンに設けたもの（重ね継手始点は危険断面位置）であり、FLP-NHは重ね継手をはり・柱部材とも危険断面より部材全せいだけ離して設けたものである。重ね継手の重ね継手長さは、はり・柱部材とも全て40dである。

表1 試験体種別

試験体名	継手位置	はり断面	柱断面	共通事項
FLP-H	危険断面	<p>3-D10 (Pt=1.19%)* 通常断面</p>	<p>3-D10 (Pt=0.95%)* 通常断面</p>	主筋 SD295 せん断補強筋 SD295 はり 端部: 2-D6@30 中央: 2-D6@50 柱 : 2-D6@30 コンクリート強度 $F_c = 233 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$ 柱軸応力度 $\sigma_o = F_c / 8 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$
FLP-NH	部材せい離し	<p>6-D10 継手断面</p>	<p>6-D10 継手断面</p>	

* : はり $Pt = at / Bd$, 柱 $Pt = at / BD$

- * 1 東北工業大学助手 工学部建築学科 (正会員)
- * 2 東北工業大学院生 工学部建築学科 (正会員)
- * 3 西松建設(株)技術研究所 原子力課課長 (正会員)
- * 4 東北工業大学教授 工学部建築学科、工博 (正会員)

ちなみに文献1において主筋降伏強度 $\sigma_y = 3740 \text{ kgf/cm}^2$ 、コンクリート強度 $F_c = 238 \text{ kgf/cm}^2$ で本報と同一断面寸法 ($B \times D = 15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$) 及び主筋量 (3-D10) で重ね継手を重ね継手長さ $30d$ で危険断面位置に設けたものが十分な曲げ靱性を保有していることは実験的に認められている。本報ではそれらの実験結果をふまえてより十分な重ね継手性能を保持できるように $40d$ としている。

試験体の配筋詳細を図1に示した。図1には重ね継手長さ及び位置を示してある。試験体の形状は全試験体共通である。重ね継手以外の因子は両試験体は全て同一である。

3. 使用材料の機械的性質

i) コンクリート

実験時のコンクリート強度を表1に示した。コンクリートは普通コンクリートであり、全試験体同一バッチのレディーミックスドコンクリートである。粗骨材は最大粒径 15 mm 以下の豆砂利を用いた。打込み方向は全試験体とも横打ちで行った。

ii) 鉄筋

主筋は、はり・柱部材ともSD295 (D10) である。せん断補強筋は、はり・柱部材ともSD295 (D6) で、 135° フック付きである。鉄筋の機械的性質を表2、図2に示した。

表2 使用鉄筋の機械的性質

鉄筋種別	鉄筋径	降伏強度 σ_y (kgf/cm ²)	引張強度 σ_B (kgf/cm ²)	降伏ひずみ ϵ_y (%)	ヤング係数 E_s ($\times 10^5$) (kgf/cm ²)
主筋	SD295 D10	3550	5110	0.195	1.89
せん断補強筋	SD295 D6	3830*	5460	0.419*	1.75

*0.2% Set off.

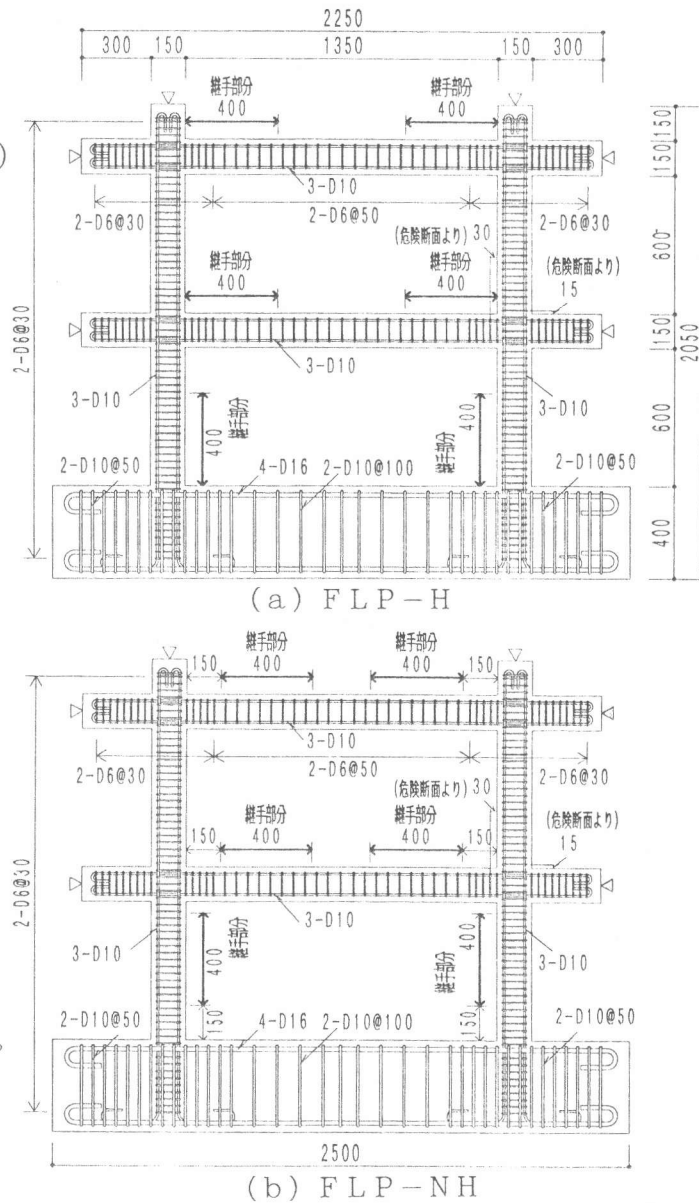


図1 試験体の形状、寸法、配筋図

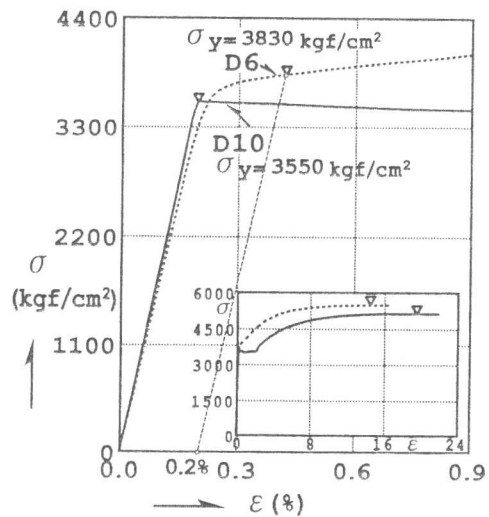


図2 鉄筋の $\sigma - \epsilon$ 曲線

4. 加力方法及び変形測定方法

i) 加力方法

加力方法の概略を図3に、また詳細を図4に示した。加力方法は全試験体とも同一である。加力は最初柱に一定軸方向力 $N = 6.55 \text{ tf}$ ($\sigma_c = F_c / 8 = 29.1 \text{ kgf/cm}^2$) を作用させた後、繰り返し水平加力を行った。水平荷重は 50 kgf 程度の微小な増加量で载荷し、 P_1 、 P_2 の大きさが常に $P_2 / P_1 = 2$ の比率になるよう作用させた。柱の軸方向力及び水平加力はオイルジャッキで行った。水平加力は、2層位置における変位制御 [2層水平変位 3 cm ($R = 2.1 / 100 \text{ rad}$), 6 cm , 9 cm] で行い、各変位で正負3回の繰り返し加力を行った。制御変位は2層の左右、はり・柱節点の平均変位である。

ii) 変形測定方法

水平方向の変位は、変位計 (精度 $1/100 \text{ mm}$) を用いてはり・柱節点位置で測定した。はり・柱主筋及びせん断補強筋のひずみはワイヤーストレングージ (ゲージ長さ 2 mm) を用いて測定した。

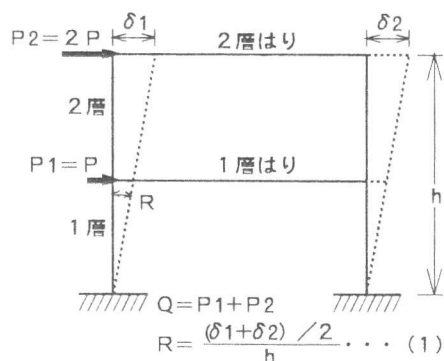


図3 加力方法の概略図

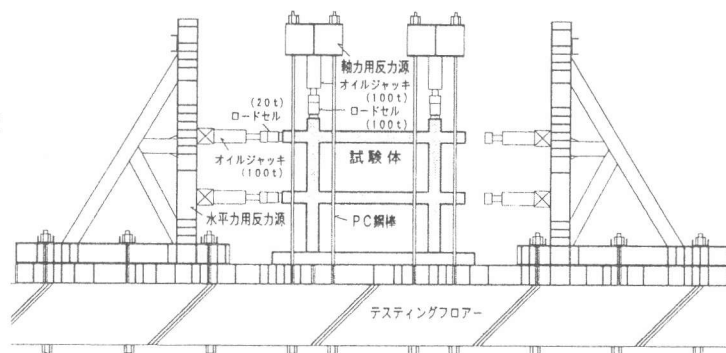


図4 加力方法の詳細図

5. 実験結果及び検討

5. 1 各試験体の破壊経過およびQ-R曲線

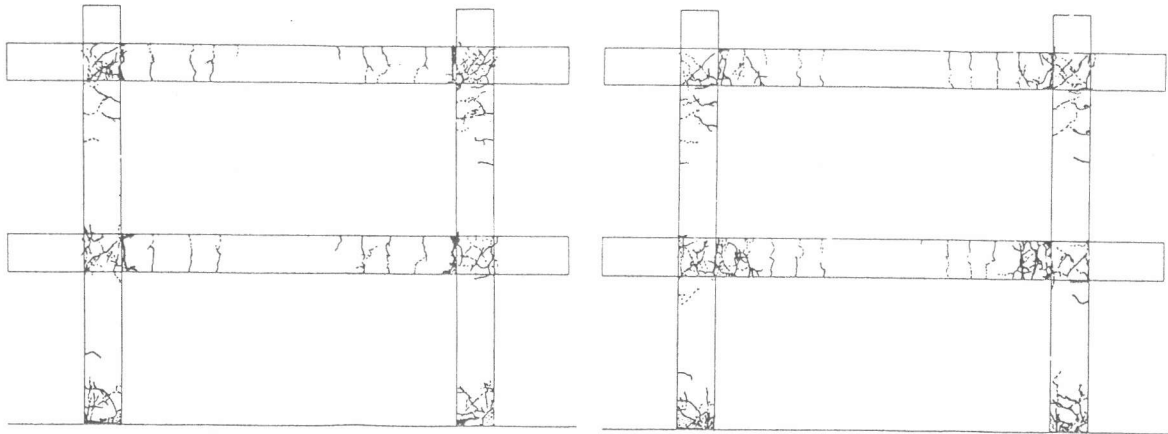
各試験体の最終きれつ図を図5に示した。また、各試験体の層せん断力-層間部材角曲線 (Q-R曲線) を図6に、Q-R曲線の包絡線を比較して図7に示した。ここでの層せん断力は1層の層せん断力であり、層間部材角は図3に示す式 (1) より求めたものである。きれつは各層はり材端、1層柱脚のヒンジゾーンに集中的に生じた。破壊経過は次の通りであった。

FLP-H試験体は、最初に $R = 0.70 / 100 \text{ rad}$ で1層のはり材端の主筋が降伏し、その後荷重の上昇につれ、1層柱脚、2層はり材端の順で降伏した。降伏以後は、はり・柱材端の危険断面位置の曲げきれつ幅が大きく増大し、他の曲げきれつの進展はあまり見られなかった。実験終了時まで重ね継手の破壊は見られなかった。

FLP-NH試験体は、最初に $R = 0.76 / 100 \text{ rad}$ で1層のはり材端の主筋が降伏し、その後荷重の上昇とともに、2層はり材端、1層柱脚の順で降伏した。降伏以後、1層柱脚はFLP-H試験体に比べ、継手のない危険断面近傍の材端部での圧縮破壊の進展が著しかった。実験終了時まで重ね継手の破壊は見られなかった。

重ね継手部分の付着きれつの詳細は次の通りであった。重ね継手の付着きれつは発生したが、付着きれつは両試験体ともはり・柱部材側面には発生せず、継手区間の引張応力を受ける部材側の中筋位置に発生した。中筋位置のきれつは特に1層柱脚では継手全長にわたって進展した。しかし、重ね継手部分以外では付着きれつは見られなかった。両試験体とも重ね継手の付着破壊には至らなかった。

両試験体ともパネルゾーンにせん断きれつが生じたが、パネルゾーンの破壊は見られなかった。



(a) FLP-H (b) FLP-NH
図5 最終き裂つ図

本実験では両試験体とも層間部材角 $R = 6.3 / 100 \text{ rad}$ で実験を終了したが、最大荷重後もほとんど荷重の低下は見られなかった。履歴は両試験体とも逆S型のLoop形状を示したが、FLP-H試験体は $R = 4.2 / 100 \text{ rad}$ 以降、FLP-NH試験体よりその傾向が大きくなっている。

図7には正荷重時の包絡線を比較して示した。FLP-H試験体の包絡線は剛性、最大荷重ともFLP-NH試験体より多少高めの傾向を示している。しかし、両試験体の包絡線は比較的類似していた。

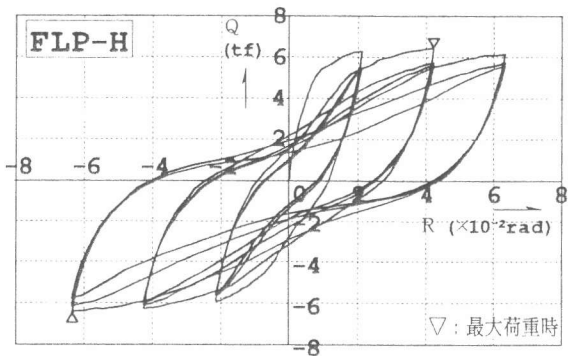
5.2 最大荷重及び最大荷重時部材角

表3に、各試験体の最大荷重及び最大荷重時部材角を示した。各試験体の最大荷重は正負平均でFLP-H試験体が $eQu = 6.4 \text{ tf}$ 、FLP-NH試験体が $eQu = 6.2 \text{ tf}$ と類似した値を示した。最大荷重時部材角は両試験体とも正荷重時で $Ru = 4.2 / 100 \text{ rad}$ 、負荷重時では $Ru = -6.2 / 100 \text{ rad}$ の値を

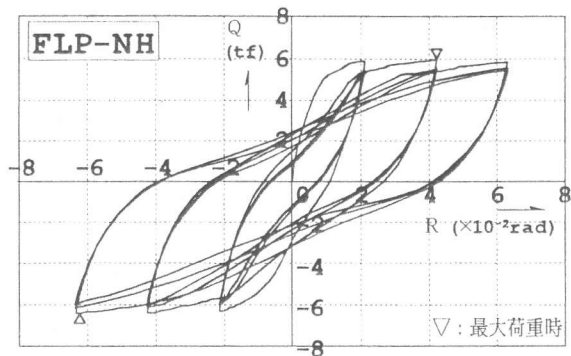
表3 最大荷重及び最大荷重時部材角

試験体名		最大荷重 eQu (tf)	最大荷重時部材角 Ru ($\times 10^{-2} \text{ rad}$)	計算値 cQu (tf)	実/計 $\frac{eQu}{cQu}$ *
FLP-H	正	6.4	4.2	6.0	1.07
	負	-6.4	-6.3		
	平均	6.4	5.3		
FLP-NH	正	6.0	4.2	6.0	1.03
	負	-6.4	-6.2		
	平均	6.2	5.2		

*: 正負平均



(a) FLP-H



(b) FLP-NH

図6 各試験体のQ-R曲線

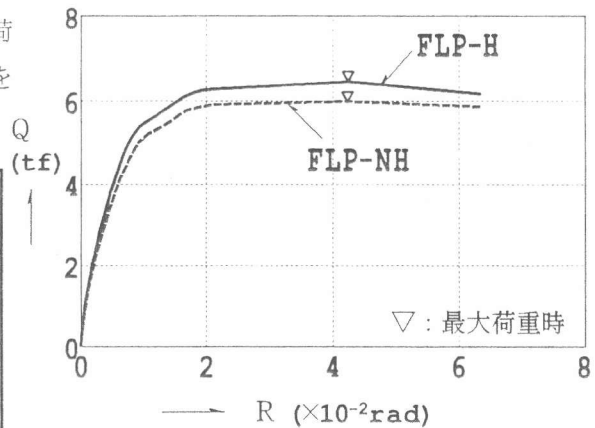


図7 包絡線の比較

$$M_u = 0.8 a t \sigma_{yD} + 0.5 N D \left(1 - \frac{N}{B D F_c}\right) \dots (2)$$

$$P = \left(\frac{1}{3 h_1 + 2 h_2}\right) (\Sigma M_{ub} \frac{l}{l_0} + \Sigma M_{cu}) \dots (3)$$

$$c Q_u = 3 P \dots (4)$$

ここで、

ΣM_{ub} : メカニズム時の総はり節点曲げモーメント

ΣM_{cu} : メカニズム時の総1層柱脚曲げモーメント

l : はりスパン(150cm), l_0 : はり内法スパン(135cm)

$c Q_u$: 1層の層せん断力

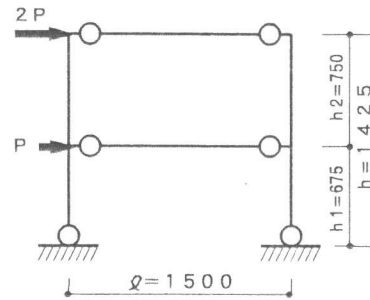


図8 崩壊メカニズムの仮定

示し、最大荷重及び最大荷重時部材角は継手位置による明確な影響は見られなかった。

表3には、図8に示した崩壊メカニズムを仮定し、仮想仕事により式(3)、式(4)より求めた骨組耐力(1層の層せん断力 $c Q_u$)の計算値と実験値の比較も示してある。はり・柱部材の曲げ終局強度は式(2)により求めた。はり部材の軸力は略算的に左右柱のせん断力が等しいと仮定し、2層はりで P 、1層はりで $1.5 P$ (図3参照)として計算した。計算値は略算値ではあるが比較的良好に実験値と類似している。

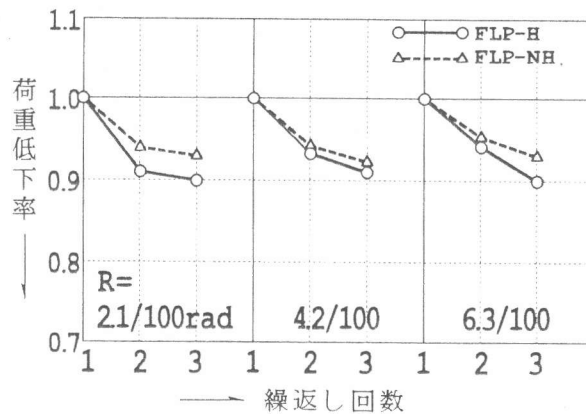


図9 荷重低下率の比較

5.3 繰返し加力による荷重低下率

両試験体とも特定層間部材角において正負3回の繰返し加力を行っている。繰返し加力によってどの程度荷重低下するのかを示したのが、図9である。図9は各繰返し時の正負平均を示している。

図から分かるように繰返し加力による低下率は、両試験体とも比較的類似した値を示すが、いずれの部材角においても重ね継手をヒンジゾーンに設けたFLP-Hの荷重低下の方がFLP-NHのものより大きい。荷重低下率は、両試験体とも $R = 2.1/100 \text{ rad}$ では、2回目以降の荷重低下が小さく定常的になるが、 $R = 4.2/100 \text{ rad}$ 以降では比較的、直線的に低下する傾向が見られる。しかしいずれの部材角時とも本実験の範囲内では、重ね継手を持つ骨組であっても、繰返し加力による荷重の低下率は0.9以上の安定した値を示すことが分かった。

5.4 等価粘性減衰定数

図10は、両試験体の等価粘性減衰定数(h_{eq})を層間部材角との関係で繰返し回数ごとに比較したものである。 h_{eq} は各部材角時の正負1サイクル時の値である。

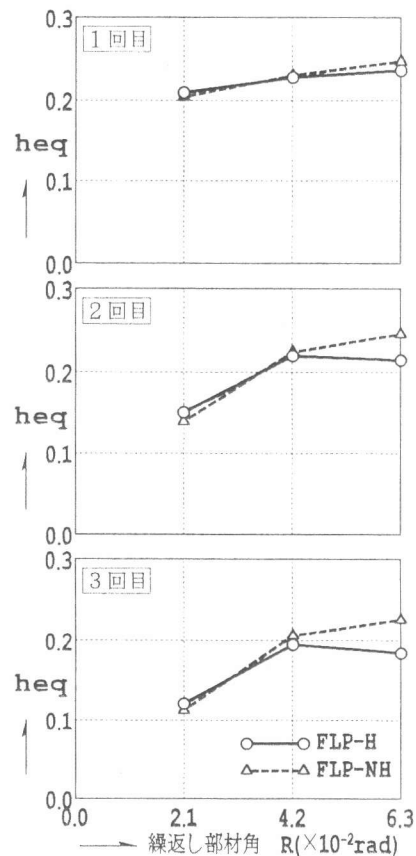


図10 等価粘性減衰定数の比較

両試験体とも $R = 4.2 / 100 \text{ rad}$ までは層間部材角が増えることに等価粘性減衰定数も増加する右上がりの傾向を示し、その値もよく類似している。 $R = 6.3 / 100 \text{ rad}$ では $FLP-H$ の等価粘性減衰定数の方が $FLP-NH$ より小さい。

5.5 重ね継手の付着応力度分布

図11は、ワイヤーストレインゲージで測定した重ね継手部分の主筋ひずみをもとに、式(5)より測定区間の平均付着応力度を求め、その値を測定区間中央に○印でプロットし直線で結んで示したものである。図は1層はり部材の上端隅筋の例であり、 $Q = 1.0 \text{ tf}$ ごとに $R = 2.1 / 100 \text{ rad}$ のピーク時まで示した。

図11から分かるように、いずれの試験体でも重ね継手始点と終点で付着応力度が大きく、継手中央部で小さくなる分布形状を示している。このような分布傾向は文献2の部材実験での付着応力度のそれと類似していることが認められた。また、 $FLP-H$ 試験体は危険断面位置の主筋が $Q = 4.8 \text{ tf}$ で降伏しているが、図11の $Q = 5.0 \text{ tf}$ 以降の付着応力度の分布形状は降伏以前の分布と類似した傾向を示した。

$$\tau = \frac{\Delta \epsilon_t \cdot E_s A_s}{\psi \cdot \Delta l} \quad \dots \dots (5)$$

ここで、 $\Delta \epsilon_t$: 測定区間内の存在引張ひずみ
 E_s, A_s : 鉄筋のヤング係数及び鉄筋断面積
 $\psi \cdot \Delta l$: 鉄筋の周長及び測定区間長さ

6. まとめ

本実験より次のことが認められた。

- (1) 危険断面位置で重ね継手を全数継手で設けたものと、危険断面から部材せいだけ離して継手を設けたものでは、骨組の最大荷重、履歴性状に大きな相違が見られなかった。
- (2) 即ち、本実験で用いた重ね継手の条件(重ね長さ、あばら筋比、帯筋比)であれば、骨組の危険断面位置で重ね継手を全数継手で設け得る可能性があることが認められた。
- (3) 危険断面位置で重ね継手を設けた骨組の最大荷重は骨組が曲げ降伏型であれば、既往の部材強度式を用いて最大荷重が計算可能であることが認められた。
- (4) 骨組の中に設けた重ね継手の付着応力度の分布形状が、部材実験で求められた付着応力度の分布形状と類似していることが認められた。

参考文献

- 1) 田中 礼治、大芳賀義喜：鉄筋コンクリートはり主筋の重ね継手の継手位置に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第396号、1989年2月
- 2) 田中 礼治、但木 幸男、大芳賀義喜：高強度鉄筋SD50の重ね継手に関する実験的研究、日本建築学会構造系論文報告集、第405号、1989年11月

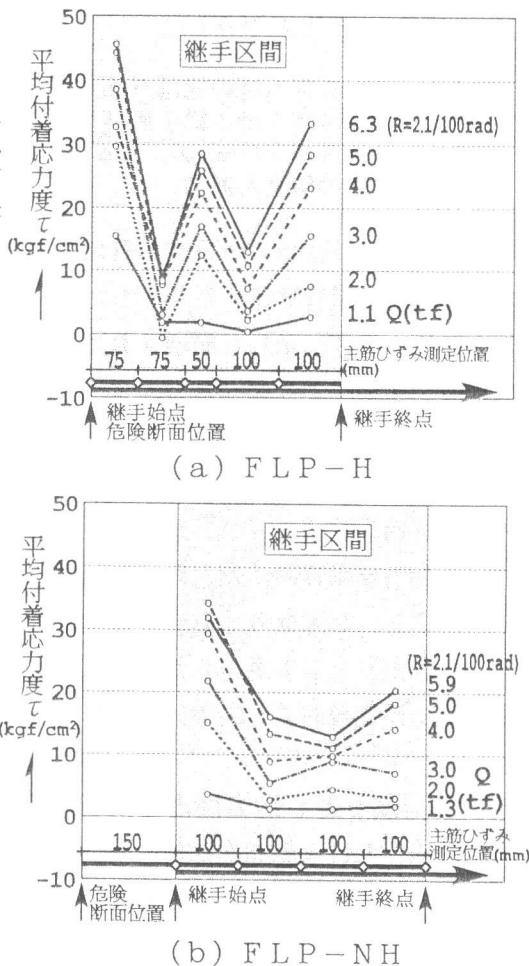


図11 重ね継手の付着応力度分布