

報告

[2088] 機械式継手を有する RC 部材の集約せん断補強に関する実験的研究

笹谷輝勝 *1 吉野次彦 *1 小林克己 *2 野田宗生 *3

1. はじめに

最近、鉄筋工事の合理化を図るために柱、はり部材の鉄筋を先組する工法が多く見られるようになってきた。先組鉄筋の接合には機械式継手を用いる場合が多く、継手位置は全数同一箇所に設けるのが一般的である。このような鉄筋継手の場合、せん断補強筋を継手スリーブの両端に集約して配置することができれば工法上多くの利点がある。

筆者らはプレキャスト工法を対象とし、部材端部にモルタル充填式継手を有する RC 部材について、継手部に必要なせん断補強筋をスリーブ両端に集約して配置した場合のせん断伝達機構およびせん断耐力の評価方法について検討を行ってきた^{1)~5)}。本報告は、集約せん断補強を行った RC 部材に正負逆対称の多数回繰返し加力を行った場合の変形性状を検討するために行った基礎実験の結果である。

表-1 材料の機械的性質

鉄筋	鉄筋				コンクリート				
	径	σ_y	σ_{max}	E_s	ϵ_y	試験体	σ_b	E_c	σ_t
		kgf/cm ²			$\times 10^{-6}$		kgf/cm ²		
D25	4380	6100	1.82×10^5	2441	RC-200	319	2.56×10^5	31.7	
D13	3210	4920	1.67×10^5	1916	IR-200	353	2.55×10^5	33.4	
D10	3960	5680	1.62×10^5	2219	RC-150				
					IR-150				

2. 試験体

試験体形状を図-1に、使用した材料の機械的性質を表-1に示す。試験体はシアスパン比2.0と1.5の2種類とし、それぞれ継手がなく均等にせん断補強を行ったもの (RCシリーズ) と、モルタル充填式継手を有し、集約せん断補強を行ったもの (IRシリーズ)、計4体とした。断面は30cm×45cmで、主筋は上端筋、下端筋共3-D25 (SD390) とした。せん断耐力はシアスパン比2.0のRC-200を基準として、荒川minimum式に基づいて算定し、曲げ耐力を上回るようにせん断補強量 (D10-@75mm) を決めた。IRシリーズはスリーブの両端にD13を2組配筋し、一般部はD10-@75とした。なお、せん断補強筋はすべて閉鎖型とした。2-D13はスリーブ位置に必要なせん断補強筋を両端に振り分けて集約した量とおよそ同じである。シアスパン比1.5の試験体はシアスパンが短いだけで、主筋、せん断補強量ともシアスパン比2.0と同一である。

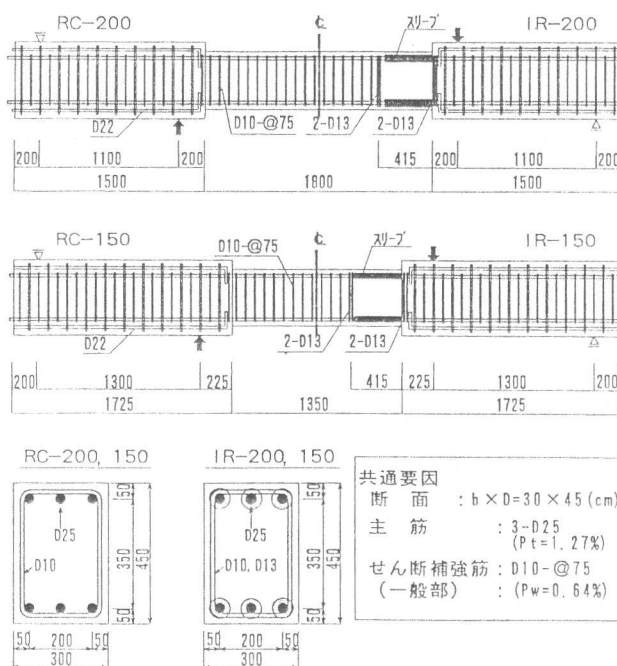


図-1 試験体形状

※1 : フジタ 技術研究所 生産技術研究部 (正会員)
 ※2 : 福井大学教授・工学部環境設計工学科 工博 (正会員)
 ※3 : 福井大学大学院・工学研究科環境設計工学専攻 (正会員)

3. 実験方法

加力および変位測定方法を図-2に示す。加力は逆対称の正負交番繰返し载荷とした。荷重の制御は、両端のスタブ部分に取り付けたそれぞれのゲージホルダーと梁の中央位置との相対変位を測定し、左右の変位が同じになるように行った。载荷履歴プログラムを図-3に示す。

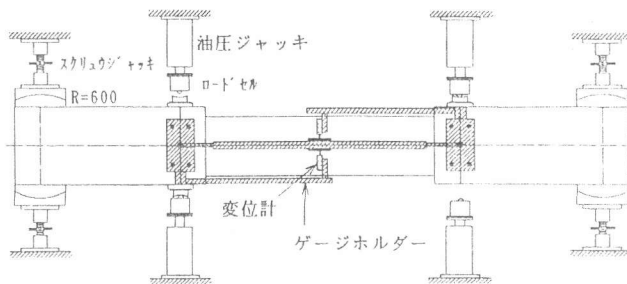


図-2 加力および変位測定方法

加力はRC-200, RC-150をそれぞれ最初に行い、ひび割れ発生および主筋降伏時 (δ_y) までは荷重制御, それ以降は変位制御とした。IRシリーズはRCシリーズと同一のプログラムで繰返し载荷を行った。

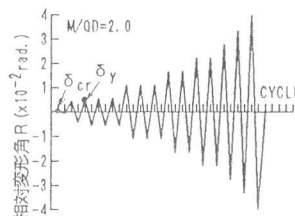


図-3 载荷履歴プログラム

4. 実験結果および考察

実験結果の一覧を表-2に、ひび割れの発生状況を図-4に、荷重変位曲線および包絡線の比較を図-5, 6に、主筋およびせん断補強筋のひずみ分布を図-7, 8に示す。各試験体とも部材角 $R=4/100 \text{ rad.}$ まで変形を与えた後加力を終了した。

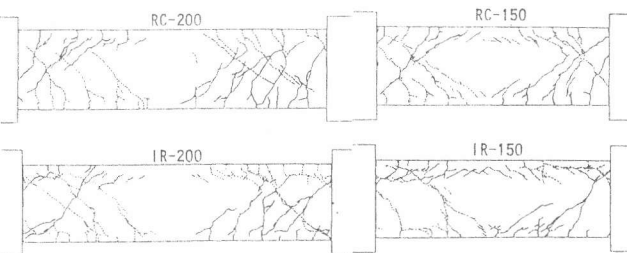


図-4 (a) ひび割れ発生状況 (δ_y)

4. 1 ひび割れおよび破壊状況

図-4に主筋降伏時 (δ_y) および最終加力時のひび割れの発生状況を示す。シアスパン比2.0, 1.5 共主筋降伏までのひび割れ発生状況はRC, IRでほぼ同じ傾向であったが、繰返し加力が進むに従って、RCシリーズは端部の斜めひび割れの数が増加するのに対して、IR

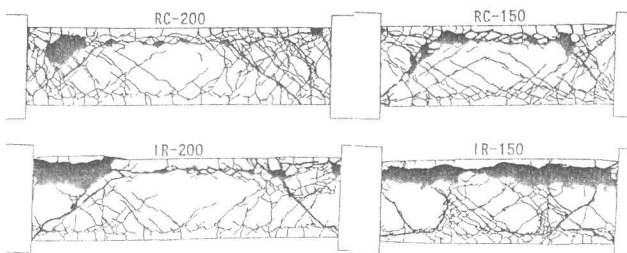


図-4 (b) ひび割れ発生状況 (最終)

シリーズは端部に 45° 方向の斜めひび割れが発生した後、このひび割れ幅が大きくなるのみで、斜めひび割れの本数は少ない。また、4体とも初期の段階で付着割裂ひび割れが発生した。シアスパン比2.0はRC, IR共 $\delta_y (R=0.55/100\text{rad.})$ の繰返しの時上端筋に沿った割裂ひび割れが発生したが、両者ともこの時点でのひび割れ幅は小さい。IR-200は $3\delta_y$ で、RC-200は $6\delta_y$ で割裂ひび割れが顕著となり、最終的にはRC, IRとも端部の上端主筋近傍のコンクリートは剥落した。シアスパン比1.5のシリーズも δ_y で上端筋に沿った割裂ひび割れが発生し、 $2\delta_y$ の繰返しの時下端主筋位置にも割裂ひび割れが発生した。上端筋に沿った割裂ひび割れは加力の増大と共に顕著となり、 $6\delta_y$ のとき、主筋上側のコンクリートは剥落した。RC, IR共下端主筋位置の割裂ひび割れ幅は余り大きくはならず、最終段階までコンクリートの剥落等は見られなかった。なお、RCシリーズは付着割裂ひび割れ発生後も著しい耐力低下は見られず部材角 $4/100\text{rad.}$ の加力まで安定した履歴であった。

4. 2 変形性状および耐力

図-5, 6に各試験体の荷重変形曲線を示す。各試験体とも最終加力は $R=4/100\text{rad.}$ で正負の繰返しを行った後終了とした。

最終加力時の耐力は最大耐力に対して、RC-200の場合、正負加力側共 87%であり、上端筋の付着割裂ひび割れが顕著であるにもかかわらず、耐力低下は小さく、安定した履歴曲線であった。RC-150は正加力側は 87%, 負加力時は76% となり、負加力側の耐力低下がやや大きい。図-6はRCシリーズとIRシリーズを比較した包絡線であるが、図に示すようにRCシリーズとIRシリーズでは最大耐力までの剛性、耐力にほとんど差は見られなかった。

最終加力時の耐力低下の割合はIR-200は正側 84%, IR-150の負側は 77%であり、RCシリーズとほとんど同じである。IR-200の負側、IR-150の正側はRCシリーズと比較して耐力低下の割合がやや大きく、最大耐力に対して70% 程度まで低下した。これはIR-200が $R=1.5/100\text{rad.}$ の時、IR-150が $R=1.0/100\text{rad.}$ の時上端筋に沿った割裂ひび割れが顕著となり、付着割裂破壊を起こしてたことが大きな要因であると思われる。したがって、この耐力低下は集約補強の影響ではないと考えられる。

表-2に実験結果および各種計算結果の一覧を示す。表中の値は梁のせん断力で表示した。IRシリーズのせん断耐力の計算値は、

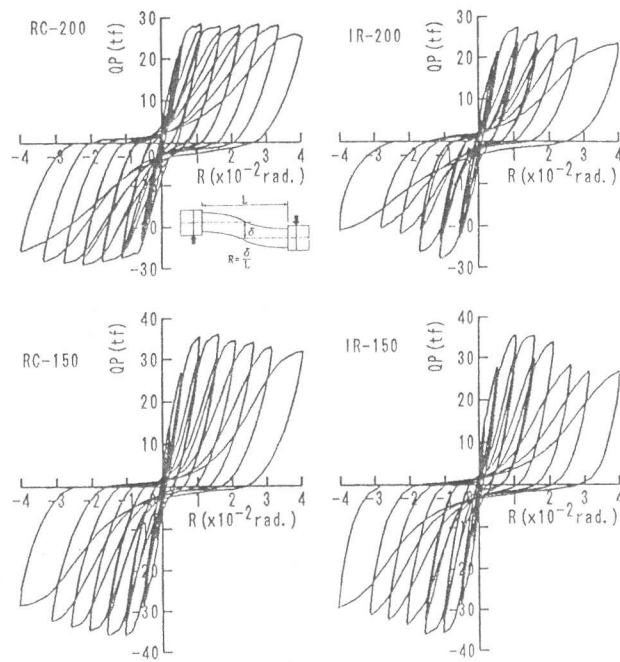


図-5 荷重変位曲線

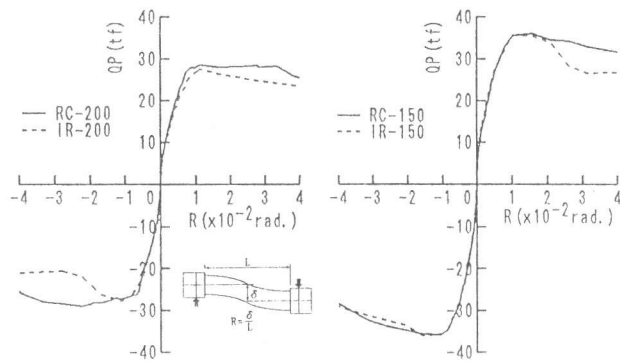


図-6 荷重変位曲線 (包絡線)

表-2 実験結果一覧

		主筋降伏時せん断力			最大耐力						
		eQy	cQy	eQy	eQmax	cQu	cQsu1	cQsu2	eQmax	eQmax	eQmax
		(tf)		cQy	(tf)				cQu	cQsu1	cQsu2
RC-200	正	25.85	26.39	0.98	28.59	27.16	30.13	26.61	1.05	0.95	1.07
	負	24.19		0.92	28.95				1.07	0.96	1.09
IR-200	正	25.10	26.49	0.95	27.55	27.30	29.16	22.55	1.01	0.95	1.22
	負	25.18		0.95	27.73				1.02	0.95	1.23
RC-150	正	32.21	35.32	0.91	36.17	36.41	36.48	26.91	0.99	0.99	1.34
	負	34.37		0.97	35.92				0.99	0.99	1.34
IR-150	正	33.96	35.32	0.96	35.85	36.41	33.70	22.29	0.99	1.06	1.61
	負	34.48		0.98	36.17				0.99	1.07	1.62

eQy : 実験値
eQmax : 最大耐力実験値

cQy : 曲げ降伏計算値
cQu : 曲げ最大耐力計算値

cQsu1 : 荒川meam式
cQsu2 : 終局強度型耐震設計指針式 (A法)
($R_p=1/50\text{rad}$)

集約せん断補強筋とそれ以外のせん断補強筋で各々のせん断補強筋量 ($p_w \cdot \sigma_y$) を求め、それを累加して全せん断補強筋量とし、既往のせん断耐力評価式を適用して算定した値である。曲げ耐力はe関数法によって算定した。主筋曲げ降伏時の耐力は計算値に対して0.91~0.98で、計算値と良く一致していた。また、最大耐力は曲げ最大耐力計算値に対して0.99~1.07であった。

なお、本試験体は4体とも曲げ降伏が先行しているが、多数回繰り返しを加えたことで最終的には付着割裂破壊している。

せん断耐力計算値に対する実験値の比は $\tau_{u, mean}$ 式 (荒川 $mean$ 式) による値に対してはRCシリーズは0.95~0.99, IRシリーズも0.95~1.07倍と良く一致している。

終局強度型耐震設計指針式 (A法) に対してはシアスパン比2.0の場合、RC-200は1.09と良く一致しているのに対して、IR-200は1.23倍である。RC-150は1.34倍, IR-150は1.62倍であり、シアスパン比が1.5の場合はA法はかなり過小評価で、特にIRシリーズは実験値とかなり異なる結果となった。

IRシリーズについては、図-7に示すようなマクロトラス機構を仮定し、コンクリートの圧縮力に釣り合う集約補強筋量を算定する予定であるが、今回の実験では定量的な検討は出来なかった。

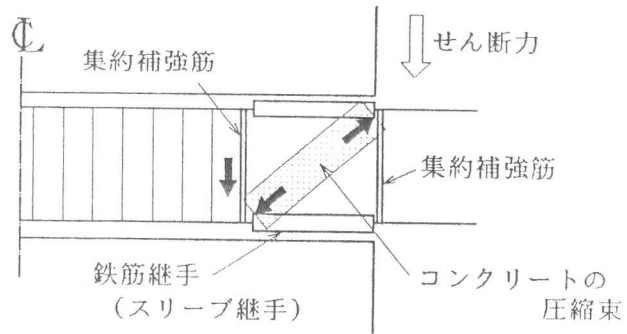


図-7 集約せん断補強のマクロトラス機構

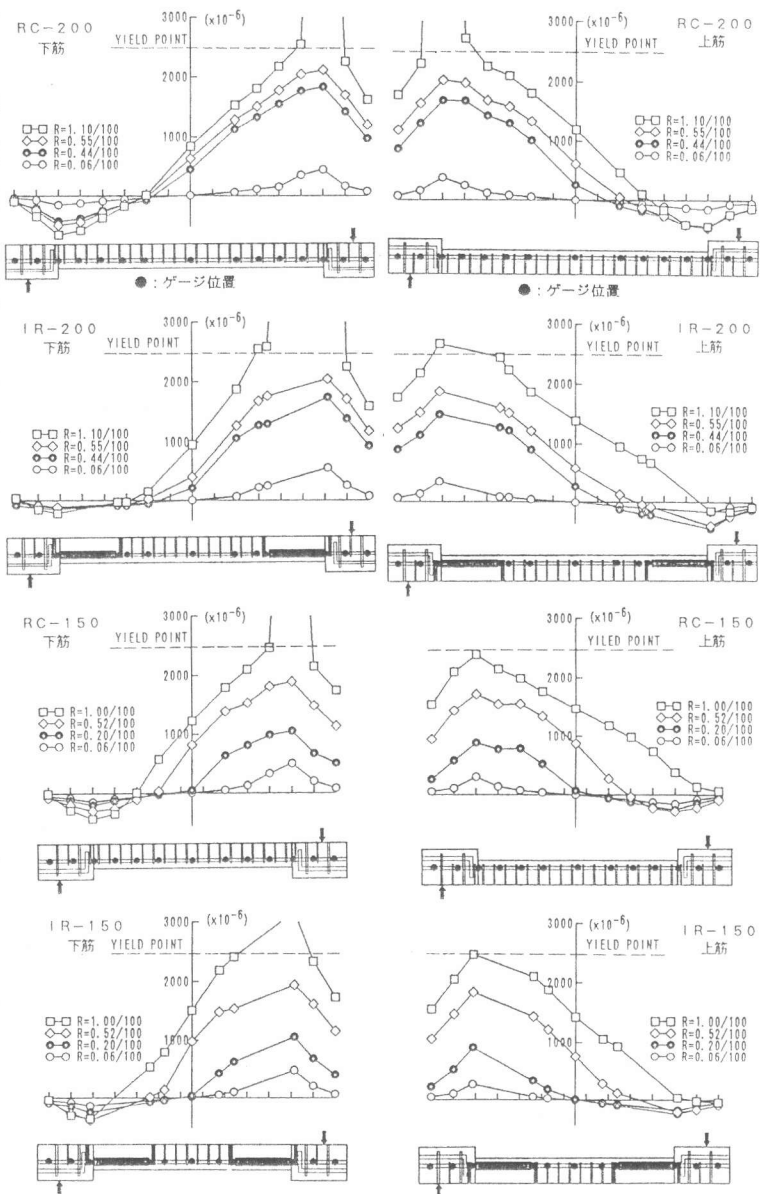


図-8 主筋のひずみ分布

4.3 主筋のひずみ分布

図-8に正加力時における $2\delta_y$ ($R=1.1/100rad.$) までの主筋のひずみ分布を示す。ひび割れ発生時 (図中○記号) のひずみ分布はRCシリーズ, IRシリーズで全く差は見られず、さらに、引張りを受ける側のひずみ分布は、主筋が降伏するまで (図中◇記号) は、シアスパン比2.0, 1.5

ともRCシリーズとIRシリーズはほとんど同じ分布である。 $2\delta_y$ (図中口記号) でいずれの試験体も梁主筋の付け根位置が降伏ひずみを越えるが、RC-200を除いて上端筋と下端筋とのひずみ分布が異なってくる。RC-200, RC-150 共、梁下端筋は、付け根が降伏した後、ひずみ勾配は圧縮域に向かって直線的に変化している。これに対して、IRシリーズはシアパン比2.0, 1.5 共 $2\delta_y$ でスリーブ両端が同時に降伏し、圧縮域に向かってのひずみ勾配がRCシリーズよりも急になっている。これはスリーブの剛性が高いためスリーブ以外の区間にひずみが集中するためと思われる。

IR-200, RC-150およびIR-150の上端筋は共に $2\delta_y$ の時、全域が引張りひずみとなっている。これは $2\delta_y$ までの繰返し加力により上端筋に沿って付着割裂ひび割れが発生し、付着劣化を起こしたためである。また、圧縮側のひずみ分布についても初期の段階からRCシリーズとIRシリーズではやや傾向が異なる。RCシリーズは加力の増加に応じて圧縮ひずみも増加するのに対し、IRシリーズは圧縮側のひずみがほとんど増加しない。この現象も引張り側領域のひずみ分布と同様、スリーブの剛性が高いためと考えられる。

4. 4 せん断補強筋のひずみ分布

図-9に正加力時におけるせん断補強筋のひずみ分布を示す。ひずみゲージ貼付位置は、はりせいの中央とした。

せん断補強筋のひずみは最大耐力(部材角1.0/100rad. 付近)を過ぎる頃までRCシリーズ, IRシリーズ共に弾性範囲であるRCシリーズは部材角1.5 /100rad. 以降でせん断補強筋が降伏する位置もある。

集約補強を施したIRシリーズの集約補強筋(D13)は部材角2/100 rad. 以降で降伏ひずみを越えるが、この時点では一般部のせん断補強筋(D10)は降伏ひずみに達していない。RCシリーズに比べてIRシリーズの集約補強筋の降伏の時期が遅れた理由はひずみゲージ貼付位置とひび割れの関係であると思われる。特に集約補強筋のひずみゲージ貼付位置には最終加力時までほとんどひび割れが発生しておらず、このためひずみの測定値はみかけ上小さかった。しかし局部的に集約補強筋にはかなり大きな引張力が発生し、集約補強筋は有効に作用していたと思われる。

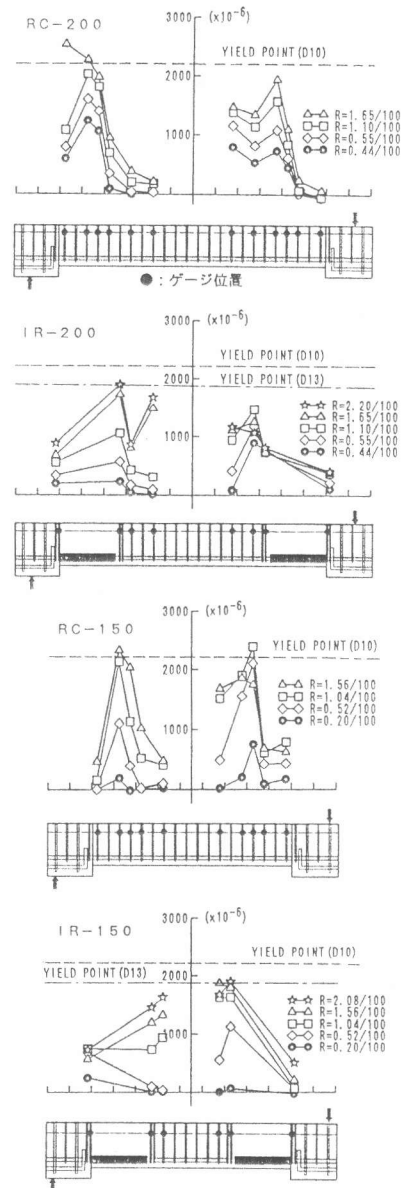


図-9 せん断補強筋のひずみ分布

5. 付着強度の検討

本実験では、4体とも最終的には付着割裂破壊を起こし、特に、スリーブ継手を有するIRシリーズではその傾向が大きかった。表-3に付着割裂強度の計算値を示す。実験計画に当たって、RC-200を基準とし、その他の試験体は、主筋、せん断補強筋量ともすべてRC-200と同等として計画した。

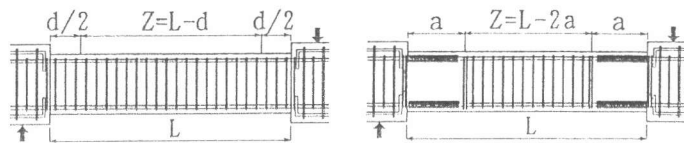
IRシリーズの付着応力度 τ'_f は、有効定着長さを両端のスリーブを除いた内側のみが有効とし

て算定した応力度である。また付着強度の算定に当たって、IRシリーズはせん断耐力の算定時に用いた $p_w \cdot \sigma_v$ を用いて算定した強度が τ_{bu} であり、 τ_{bu} は集約補強を含むせん断補強筋をスリーブを除いた内側の断面積で除して p_w を算定し、求めた値である。RC-200, IR-200 共下端筋は付着応力度に対して付着強度は0.95~1.06倍であり、実験結果も最終段階まで健全であった。RC-150は下端筋が0.76倍、上端筋は0.61倍で、付着強度が不足している。IR-150は有効定着長さをスリーブ内側と仮定すると、0.59, 0.47倍となり、付着強度がかなり不足している。

表-3 付着割裂強度の計算値

		τ_f	τ'_f	τ_{bu}	τ'_{bu}	$\frac{\tau_{bu}}{\tau_f}$	$\frac{\tau'_{bu}}{\tau'_f}$
		(kgf/cm ²)					
RC-200	上筋	39.11		33.43		0.85	
	下筋			41.79		1.07	
IR-200	上筋	39.11	51.65	33.14	39.22	0.85	0.76
	下筋			41.43	49.02	1.06	0.95
RC-150	上筋	57.60		35.17		0.61	
	下筋			43.96		0.76	
IR-150	上筋	57.60	89.75	32.50	42.54	0.56	0.47
	下筋			40.62	53.17	0.71	0.59

τ_f : 付着応力度 ($d_b \sigma_{vu}/2z$)
 τ'_f : スリーブを考慮した付着応力度
 τ_{bu} : 付着強度
 $[(0.4b_i+0.5)\sqrt{\sigma_B} + \{ (20/N_t+5N_u/N_t+15N_s/N_t) p'_w b \sqrt{\sigma_B} \} / d_b]$
 τ'_{bu} : 集約補強筋を考慮した付着強度



RCシリーズ

IRシリーズ

6. まとめ

端部に鉄筋継手を設けたRC部材について、継手スリーブの両端にせん断補強筋を集約して配筋しても、継手がなく、一様配筋した部材と比較して、最大耐力までの剛性、耐力には全く差がなかった。しかし、スリーブの剛性が高いため、梁中央側のスリーブ端の主筋が早い時期に降伏する。このため、有効定着長さが短くなり、多数回の繰返しによって、付着割裂破壊を誘発した。これは集約補強の影響ではなく、スリーブ継手の影響であると考えられる。今後、鉄筋継手を設けた場合の付着強度と合わせて集約せん断補強のせん断伝達機構を検討する必要がある。

謝辞：本研究の計画、検討に当たっては明治大学理工学部・狩野芳一教授に多大なご指導を頂きました。ここに、深く感謝致します。

参考文献

- 1) 小林克己・伊部創一：RCはりの集約せん断補強に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.14-2 pp.245-250 1992年
- 2) 小林克己・狩野芳一・吉野次彦・阿瀬正明：プレキャスト鉄筋コンクリート柱の力学的挙動に関する研究（その2），日本建築学会大会梗概集，1992.8, pp.973-974
- 3) 小林克己・狩野芳一・野田宗生・阿瀬正明：端部にモルタル充填式継手を有するPCA部材の集約せん断補強に関する基礎実験，日本建築学会大会梗概集，1993.9, pp.663-664
- 4) 小林克己・伊部創一・岩佐真吾：RCはりのせん断破壊機構を考慮したせん断補強筋の配置とせん断性状に関する実験，コンクリート工学年次論文報告集 Vol.13-2 pp.181-184 1991年
- 5) 小林克己ほか：集約せん断補強したRCはりのせん断耐力に関する実験，日本建築学会北陸支部研究報告集，第36号，1993.7