

論文

[2019] 突合せ式重ね継手を有するハーフプレキャスト柱部材に関する研究

正会員○増田安彦 (大林組技術研究所)

正会員 吉岡研三 (大林組技術研究所)

脇坂達也 (大林組技術研究所)

1. はじめに

現在、建築工事の大型化・高層化にともない、D29以上の太径異形鉄筋の使用が増加する傾向にある。太径鉄筋の継手には圧接あるいは溶接や機械的継手が用いられており、重ね継手は原則的に使用しないこととされている。一方で、建設現場における技能工不足や高齢化は深刻で、鉄筋工、圧接工においても例外ではない。このような背景から近年太径異形鉄筋にも重ね継手を用いることが注目されつつあるが、建築分野ではデータの蓄積が極めて少ないのが現状である。

筆者らは添え筋を用いて重ね継手部を補強した場合の部材の力学性状、継手部の応力状態について検討し報告したが[1]、柱のように逆対称モーメントを受ける部材の内りスパンの中央部では、主筋の重ね継手長さを無くすことも可能と考えられる。すなわち、上下階の主筋を重ねて直接応力を伝達するのではなく、主筋は部材中央で突合せ、主筋と主筋より細径の添え筋との重ね継手で応力を伝達する突合せ式重ね継手（以後突合せ重ね継手と略す）とすることである[2]。

本論文では突合せ重ね継手を有する柱部材の曲げせん断実験の結果についてまとめ、継手の設計法について検討を加えたもので、フープ筋と添え筋を打ち込んだ薄肉ハーフプレキャスト管（以後PCa管と略す）を型枠兼用に使用した部材を中心に述べたものである。

2. 工法の概要および研究目的

図-1に工法の概要を示す。柱の内りスパン中央で上下階の主筋どうしを突合せ、主筋より細径の添え筋を柱の内りスパン全長に配置し、主筋と添え筋の重ね継手によって応力を伝達する。図-1ではPCa管を使用した状態を示している。PCa管は、遠心成形法により成形した薄肉で内外共に角形の型枠兼用ハーフプレキャスト部材で[3]、フープ筋や中子筋（副帯筋）あるいは添え筋を容易に打ち込むことができる。本工法によって柱を省力的に構築できるが、主筋および添え筋の付着性状に及ぼすフープ筋量や軸力、PCa管の使用の影響など不明な点も多く、本継手を有する柱部材の強度、剛性などの構造性能は明らかではない。本研究ではこれらの力学的諸性状を調べることを目的とし、突合せ重ね継手を有する柱部材の曲げせん断実験を実施した。

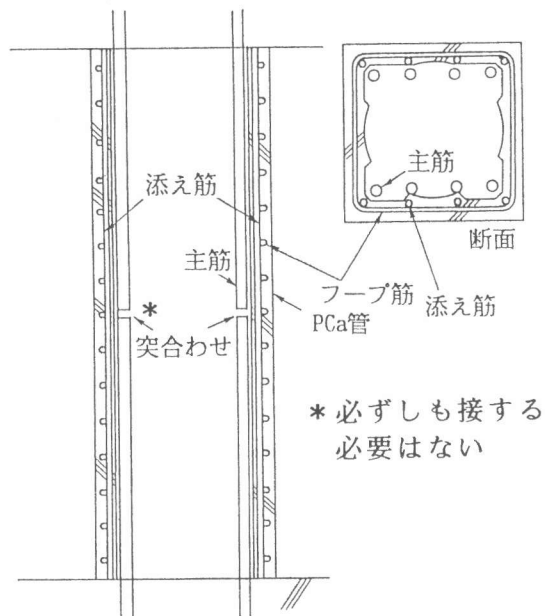


図-1 工法の概要

表-1 実験概要

試験体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
加力形式	曲げせん断加力												
断面	幅 600×せい600 mm												
コンクリート強度	240 kgf/cm ²												
主筋量 p _g (%)	12-D29 (2.14)	8-D35 (2.12)	12-D29 (2.14)	8-D35 (2.12)	12-D29 (2.14)			8-D35 (2.12)					
添え筋 中央 p _g (%)	12-D19 (0.96)		12-D22 (1.29)	12-D19 (0.96)				8-D22 (0.97)					
せん断補強 中央 p _w (%)	4-D16 @100 (1.33)			4-D16 @65 (2.03)	4-D16@50 (2.65)	4-D16@65 (2.03)	2-D16 @80 (0.83)	2-D13@80 (0.53)	4-D13@85 (1.00)	4-D16 @80 (1.66)			
軸力	なし			1/6FcbD	1/3FcbD	1/6FcbD	なし			1/6FcbD			
備考	一体打ち					PCa管	一体打ち	PCa管使用			一体打ち	PCa管	

3. 実験概要

表-1 に実験概要を示す。試験体はほぼ実大で断面が600X600mm、内のり長さが1850mm (h₀/D=3.08)、試験体総数は13体である。実験パラメータには主筋および添え筋の径、添え筋量、せん断補強筋量、軸力、PCa管使用の有無を採り上げた。特に添え筋は、部材中央でコンクリート断面に対する面積比p_g≥0.8%となるようにし、No.3試験体のみ量を多くした。またせん断補強筋量は部材を継手のない一本ものとみなしてせん断破壊を生じないように計画し、表-1 に示す範囲で変化させた。図-2 に試験体の断面および形状を示す。PCa管を使用した場合、後打ちコンクリートが主筋の周りに充填されることを考慮して主筋とPCa管にあき(15mm)を設けるため、主筋と添え筋は密着しないのが特徴である。一方、PCa管を使用しない一体打ち試験体では主筋と添え筋は密着させフープ筋を緊結している。試験体は通常の柱と同様に縦打ちとし、下部スタップを打ち込んだ後、柱脚部を打ち継ぎ面として試験区間および上部スタップのコンクリートを一体に打ち込んだ。表-2 に使用材料の機械的性質を示す。載荷は、部材角R=1/200の整数倍の変位で各々2回ずつ繰り返す正負交番繰返し載荷とした。

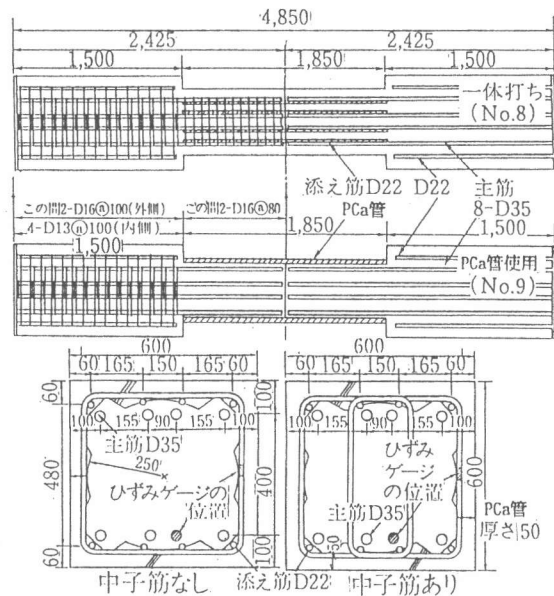


図-2 試験体形状・断面

表-2 使用材料

試験体 No.	鉄筋試験結果					コンクリート試験結果			
	径	降伏強度 kgf/cm ²	降伏歪 X10 ⁻⁴	弾性係数 kgf/cm ²	引張強度 kgf/cm ²	圧縮強度 kgf/cm ²	弾性係数 kgf/cm ²		
1~7	D35	3770	1890	2.00X10 ⁴	5230	後打ちコンクリート No.1~No.4 207	2.48X10 ⁴		
	D29	3860	1950	1.97X10 ⁴	5010				
	D22	3800	1970	1.92X10 ⁴	4950			No.5~No.7 283	2.56X10 ⁴
	D19	3620	1870	1.94X10 ⁴	4530				
	D16	3710	1930	1.92X10 ⁴	4590	PCa管コンクリート 621	-		
8~13	D35	3830	2000	1.92X10 ⁴	5480	後打ちコンクリート 320	2.56X10 ⁴		
	D22	3990	2100	1.90X10 ⁴	5680				
	D16	3880	2050	1.89X10 ⁴	5850				
	D13	3370	1810	1.89X10 ⁴	4730	PCa管コンクリート 524	-		

4. 実験結果

4.1 変形および耐力性状

表-3 に実験結果の一覧を、図-3 に各試験体の試験区間に作用するせん断力(Q) と、層間変

位 (δ) 関係を示す。試験体No.8~No.10を除く全ての試験体が部材角 $R=1/50$ 以上でも耐力が低下しない靱性的な曲げ破壊を生じた。No.8~No.10はコンクリートの割裂により主筋が付着を喪失する付着割裂によって、主筋降伏以前あるいは降伏とほぼ同時に破壊した。表-3より曲げ降伏を生じた試験体の実験値と、コンクリートの $\sigma-\epsilon$ 関係をe-関数式で、鉄筋をバイリニア曲線で表わした断面解析による計算値を比較すると、降伏荷重および最大耐力共に計算値と同等以上であり、PCa管使用の有無、軸力の有無にかかわらず突き合わせ継手部材は継手のない一本ものの部材と同等の耐力性状を有することが分かる。ここで、PCa管は後打ちコンクリートよりも高強度であるが、解析には全断面後打ちコンクリートの機械的性質を使用している。その理由は、試験体の加力点位置でPCa管と後打ちコンクリートが接しているため、曲げによる圧壊が開始するのはこの位置の後打ちコンクリート側であることが実験でも確認されたことによる。

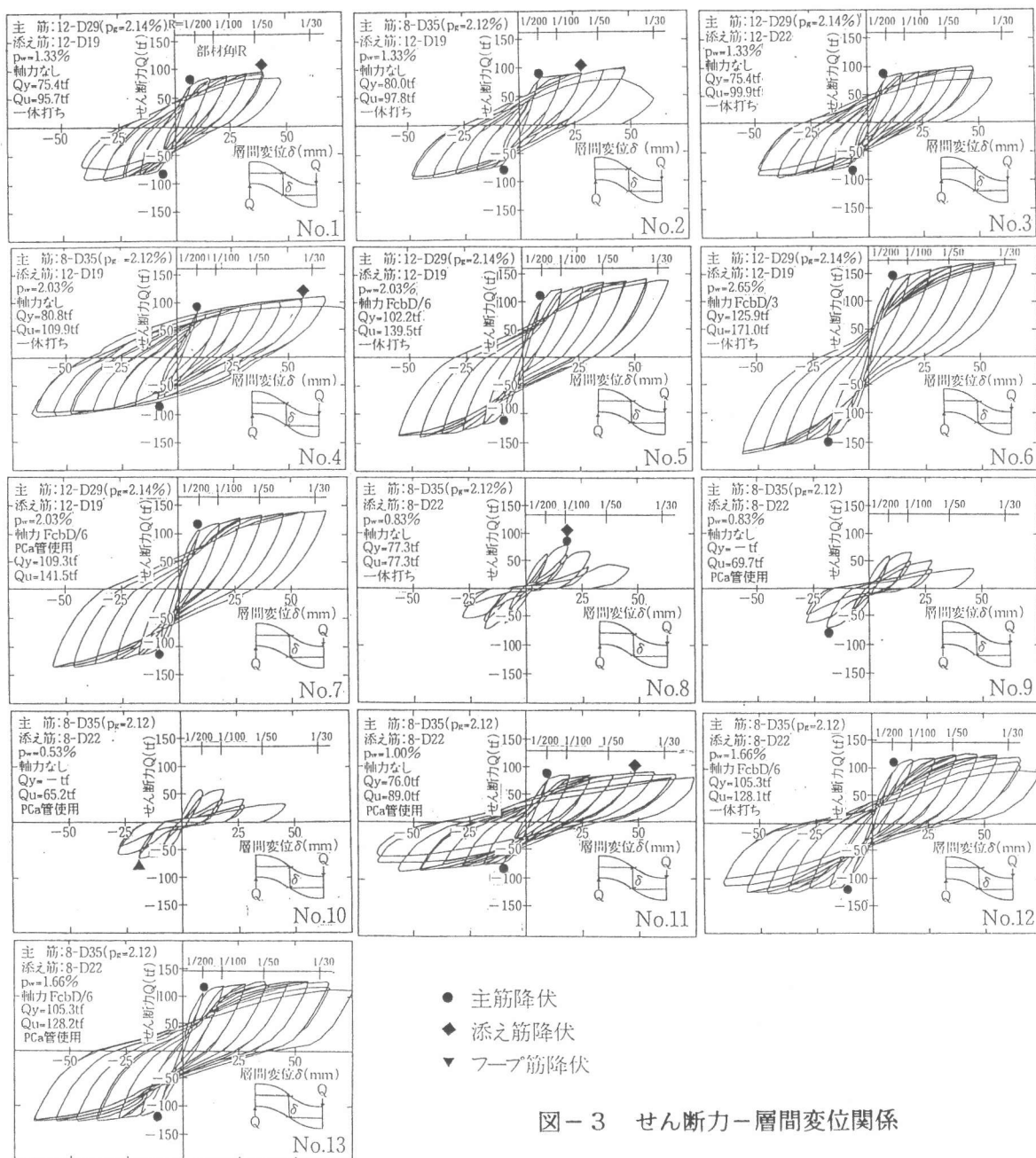


表-3 実験結果一覧

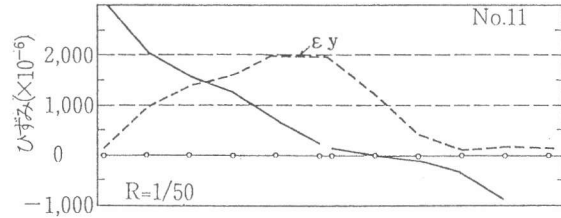
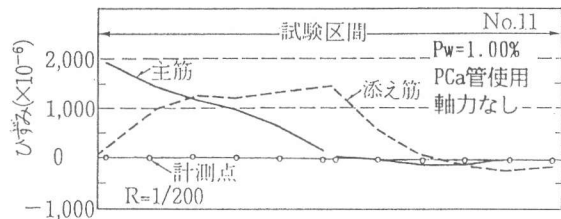
試験体No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
コンクリート強度	207 kg/cm ²				283 kg/cm ²			320 kg/cm ²					
弾性実験値	433	337	354	307	315	419	369	310	370	337	302	267	328
剛性計算値	370				380			380					
l/cm実/計	1.17	0.91	0.96	0.83	0.83	1.10	0.97	0.82	0.97	0.87	0.79	0.70	0.86
降伏実験値	75.4	80.0	75.4	80.8	102.2	125.9	109.3	77.3	69.4	--	76.0	105.3	105.3
計算値	66.2	67.8	66.2	67.8	96.9	124.8	96.9	68.9			99.7		
実/計	1.14	1.18	1.14	1.19	1.05	1.01	1.13	1.12	1.01	--	1.10	1.06	1.06
最大実験値	95.8	97.8	99.9	109.9	139.5	171.0	141.5	77.3	69.7	65.2	89.0	128.1	128.2
計算値	80.8	79.4	80.8	81.0	117.1	151.1	117.1	72.7			103.9		
実/計	1.18	1.23	1.24	1.36	1.19	1.13	1.21	1.12	0.96	0.90	1.22	1.23	1.23
破壊性状	曲げ破壊							付着割裂			曲げ破壊		

*弾性剛性の実験値は、ひびわれ荷重計算値以下の計測点で、最小二乗法による直線の傾きの値。
 計算値は、 $K=1/(h_0^3/(12EI)+kh_0/(GA))$, $k=3/2, G=5/12E$ による。
 *付着割裂破壊試験体の最大荷重計算値も曲げ破壊荷重。せん断破壊荷重計算値は曲げ破壊荷重計算値よりも低い。
 *降伏荷重および曲げ破壊荷重計算値は、コンクリートの応力-ひずみ関係をe-関数式でモデル化し、鉄筋に降伏後のひずみ硬化を弾性係数Esの2%とするバイリニア曲線で表わして断面解析を行なった結果。
 *上記の各計算において PCa管のコンクリート強度は内部コンクリートと同じであると仮定している。

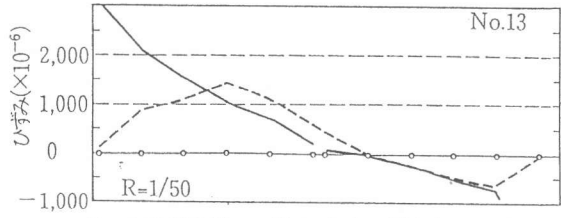
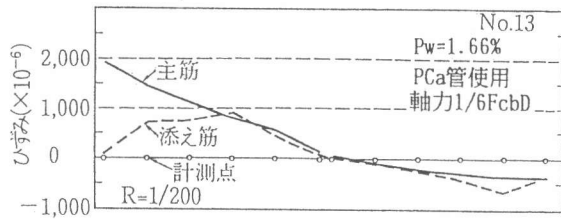
一方、付着割裂破壊は、せん断補強筋量が0.83%~0.53%で、中子筋を用いていない試験体で生じ、試験体は曲げおよびせん断耐力計算値より低い値で脆的に破壊した。なお、割裂パターンはいずれも全割裂であった。

4.2 ひずみ計測結果

図-4は主筋および添え筋の材軸方向ひずみ分布を表わした例である。同図によれば軸力のない試験体(No.11)ではモーメント変曲点である部材中央で添え筋に引張ひずみが生じているように、変形が大きくなるとこの位置で添え筋が引張降伏する試験体もあった。この突合せ位置の添え筋に生じるひずみは、せん断力によるコンクリートの圧縮ストラットの材軸方向成分による影響であると考えられる。一方、圧縮軸力のある試験体(No.13)ではこの引張力と軸力が相殺されて部材中央でひずみが小さかったものと推定される。また、部材端部では添え筋が主筋応力を徐々に負担するため変形が大きくなって主筋の降伏区間が短いのが特徴である。



No.11試験体ひずみ分布 (軸力なし)



No.13試験体ひずみ分布 (軸力あり)

図-4 ひずみ分布

4.3 ひびわれ・破壊状況

図-5に各試験体載荷終了時のひびわれ状況を示す。曲げ破壊を生じた試験体は PCa管使用の有無による差はあまり明確でないが、付着割裂破壊を生じた試験体は一体打ち試験体に主筋に沿った付着割裂ひびわれが多く生じ、破壊時にはこのひびわれが拡がっているなど付着割裂破壊

であることが容易に判定できるのに対して、PCa管を使用した試験体は、破壊時にPCa管が内部コンクリートと剥離したため、せん断ひびわれと同様の斜めひびわれが多く発生し、一見して付着割裂破壊かせん断破壊かの判別が困難なのが特徴である。

5. 付着割裂の検討

表-4は付着割裂破壊を生じたNo.8,9,10試験体および曲げ破壊を生じたNo.11試験体について、主筋の突合せ端から弾性引張ひずみを示すひずみゲージ間で最大耐力時平均付着応力度を算出し、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」の付着強度算定式、(以後学会式と略す)およびOrangunらによる重ね継手の付着割裂強度式[4]から得られる計算値とを比較したものである。実験値はNo.11試験体を除いて計算値よりも低い値で破壊しているが、計算値に対する比の値はば0.6~0.7であることが分かる。これは強度推定式がいずれも単調載荷実験から導かれているのに対して、本実験では正負交番繰返し載荷であるため、繰返しによる付着劣化や正負曲げ・せん断ひびわれが主筋を横切ったことなどが原因と思われる。

次にNo.11試験体は、付着破壊が予想されるにもかかわらず靱性的な曲げ破壊を生じている。この理由はNo.11試験体には中子筋(副帯筋)を配置したためと考えられる。すなわちOrangun式では外周フープ筋と中子筋を同等に、学会式では中子筋の補強効果を外周フープ筋より小さく見積もっているが、中子筋を配置することで断面外周のみにフープ筋を配置するよりもより拘束効果が上がるためと推定される。同様の結果が既に報告されており、中子筋を考慮した付着割裂強度式の提案も成されている[5]。

本実験結果から新しく付着割裂強度式を提案することはデータ数が少ないことから困難であるが、学会式を修正して用いるならば、(1)式で繰返し曲げ・せん断ひびわれを考慮した強度の低減と(4)式で中子筋による拘束効果の向上を考慮する必要があると思われる。図-7は(1)~(4)式による計算値と実験値を比較したものであるが、文献[5]の中子筋を有する試験体の付着強度も繰返しによる強度低減をしない計算値($\alpha=1.0$)と良く対応していることが分かる。

特にPCa管を使用する場合、付着割裂破壊時にPCa管と内部コンクリートが剥離することも有り得ることを考慮し、(2),(3)式の τ_{ou} の計算ではPCa管を除いた断面を使用した。なお、破壊

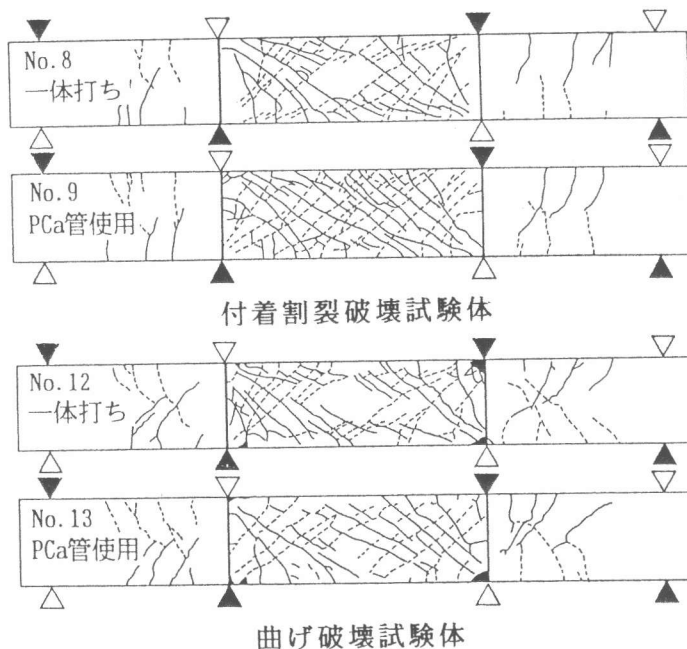


図-5 ひびわれ発生状況

表-4 付着強度の比較

試験体	No.8	No.9	No.10	No.11
τ_{ou} 実験値	37.0	32.5	26.0	54.1 ^b
計算値1	51.5	51.5	44.6	51.6
実/計1	0.72	0.63	0.58	1.05
計算値2	49.5	49.5	42.7	53.1
実/計2	0.75	0.66	0.61	1.02

計算値1: 終局強度型指針式 (kgf/cm²)

計算値2: Orangun等の提案式[4]

b: 曲げ破壊試験体

モードがコーナー割裂の場合は、実験データが得られていないこともあり、対象外とした。

$$\tau_{bu} = \alpha (\tau_{co} + \tau_{st}) \quad (\alpha=0.7) \quad (1)$$

$$\tau_{co} = (0.4b_{si} + 0.5) \sqrt{\sigma_B} \quad (2)$$

$$b_{si} = (b' - \sum d_b) / \sum d_b \quad (3)$$

$$\tau_{st} = \{ (20/N_t + 5N_u/N_t + 20N_s/N_t) p_w \cdot b \cdot \sqrt{\sigma_B} \} / d_b \quad (4)$$

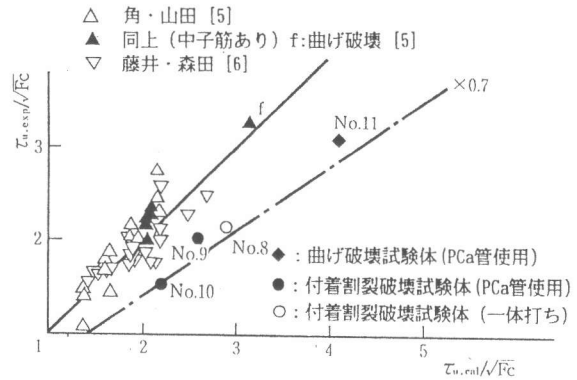


図-6 強度推定式の適合性

ここに、 τ_{bu} ：付着割裂強度 (kgf/cm²)，

τ_{co} 、 τ_{st} ：それぞれコンクリート、せん断補強筋の負担分 (kgf/cm²)， α ：繰返しによる

低減係数， b_{si} ：全割裂に対応した係数， b' 、 b 、 d_b ：それぞれPCa管を除く断面幅，断面幅，主筋径 (cm)， p_w ：せん断補強筋比 (%)， N_t ：全主筋本数， N_u ：一列の主筋のうち直接横補強筋のかかっていないものの本数， N_s ：一列の主筋のうち直接副帯筋 (中子筋) のかかっているものの本数， σ_B ：コンクリート強度 (kgf/cm²)

6. まとめ

柱主筋を内のりスパンの中央で突合せ、添え筋により継手を補強する突合せ重ね継手工法を有する柱部材の曲げせん断実験により、以下のことが明らかとなった。

- (1) PCa管使用の有無によらず、拘束筋量と添え筋量を適切に設計すれば部材は通常の継手のない柱と同等の耐力、変形性状を示す。
- (2) 曲げモーメントが生じない部材中央で添え筋の降伏が生じたことから、添え筋量は、主筋突合せ部に作用するせん断力に対して検討する必要があることが分かった。
- (3) 本形式の重ね継手では、主筋の付着割裂強度に及ぼす PCa管の使用、拘束筋量および正負交番繰返しの影響を考慮し、学会式を修正した付着割裂強度式を用いることを提案した。

参考文献

- [1] 増田・吉岡・脇坂：添え筋を用いた太径異形鉄筋継手に関する研究，コンクリート工学論文集，Vol. 1, No. 2, pp. 91-103, 1990
- [2] 増田・脇坂・吉岡：太径異形鉄筋の重ね継手に関する研究 その6 突き合わせ継手工法開発，日本建築学会大会学術講演梗概集 (東北) C, pp. 377-378, 1991
- [3] 増田・吉岡・脇坂：遠心成形プレキャストコンクリート柱の曲げせん断実験，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 12, No. 2, pp. 351-356, 1990
- [4] C. O. Orangun, J. O. Jirsa, and J. E. Breen: A Reevaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Vol. 74, pp. 114-122, March 1977
- [5] 角・山田・合楽：鉄筋コンクリート部材の付着割裂強度算定式の提案，日本建築学会論文報告集，No. 414, pp. 23-33, 1990
- [6] 藤井・森田：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究，日本建築学会論文報告集，No. 319, pp. 47-55, 1982