

太径異形鉄筋の重ね継手工法の開発 (その2)

——プレカラムを用いた突合せ継手工法——

増田 安彦 吉岡 研三
脇坂 達也

Development of Lap Joint Method for Large-Diameter Deformed Bar (Part 2)

——“Touch-joint” with “Pre-Column”——

Yasuhiko Masuda Kenzoh Yoshioka
Tatsuya Wakisaka

Abstract

In principle, lap splices of large-diameter deformed bars in reinforced concrete are considered to be unacceptable. Accordingly, the main methods used in joining these bars are welded splices and a number of mechanical connections. However, these methods are accompanied by problems about cost, need for special skills, and use of fire.

To solve these problems, “Touch-joint,” in which main bars are butted together at middles of column spans and reinforced with small-diameter splint bars has been developed. In this report, the results of shear-flexure structural experiments on reinforced concrete members containing the joint method developed, especially, the use of “Pre-Column,” which is a precast concrete form for columns and contains splint bars and hoops, is explained. Design methods for this type of joint are examined.

概 要

現在、建築工事ではD29以上の太径鉄筋の重ね継手への使用は原則的に認められておらず、圧接・溶接・機械継手などが用いられている。しかし、それらの継手工法は熟練工が必要、火気を扱うなどの短所を有する。

これらの問題点を改良するため、柱スパンの中央で主筋どうしを突合せ、柱の内のりスパン全長に主筋より細径の添え筋を配筋して補強する、「突合せ継手工法」を考案した。この論文は、突合せ継手を有する柱部材の曲げせん断加力下の諸性状を明らかにすることを目的とし、添え筋およびフープ筋を遠心成形薄肉プレキャスト柱型枠「プレカラム」に打ち込んで使用した半プレキャスト柱部材を中心に行なった曲げせん断実験の結果について述べ、継手設計法を検討したものである。

1. はじめに

大型化する工事と建設現場における慢性的な技能工不足や高齢化に対処し、施工の省力化を進めるため、太径異形鉄筋に重ね継手を用いることを検討してきた。太径鉄筋は鉄筋コンクリート計算規準・同解説などで原則的に重ね継手への使用を認められていないが、これまで重ね継手部を添え筋で補強したり、鉄板で拘束することで部材は一本ものと同等以上の強度・靱性を発揮することを確認している^{1),2),3)}。しかし、なお実用化するにあたって解決しなければならない問題も残されている。例えば柱部材に通常の重ね継手を用いる場合、主筋位置が階ごと

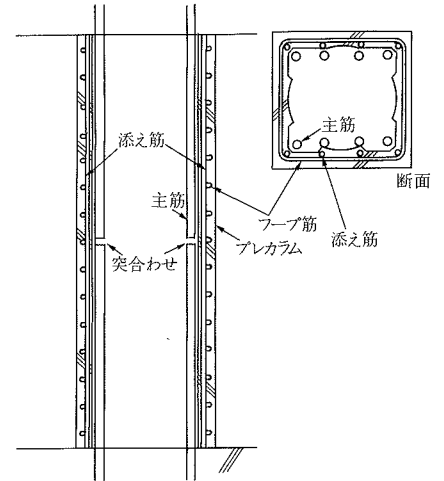
に変わること、継手部の鉄筋量が増え、コンクリートのまわりが悪くなることなどがあげられる。

そこで、前報¹⁾で述べた重ね継手を添え筋で補強する工法をもとに、主筋を重ねることなく部材中央で突合せ、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「突合せ継手工法」を考案した。特にフープ筋と添え筋を型枠兼用の薄肉プレキャスト管「プレカラム」に打ち込んで使用すると施工性がかなり向上すると考えられる。

本論文では突合せ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たもので、プレカラムを使用した部材を中心に述べている。

表一 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600mm													
コンクリート強度	240kgf/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 中央部のp _g (%)	12-D19 (0.96)		12-D22 (1.29)		12-D19 (0.96)				8-D22 (0.97)					
主筋応力延長率	31.9d	26.4d	31.9d	26.4d	31.9d				26.4d					
せん断補強 p _v (%)	4-D16@100 (1.33)			4-D16@65 (2.03)		4-D16@60 (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						フレカラム		一体打ち		フレカラム使用		一体打ち フレカラム	



図一 工法の概要

表二 使用材料

試験体 No.	径	鉄筋試験結果				コンクリート試験結果	
		降伏強度 (kgf/cm ²)	降伏ひずみ (×10 ⁻⁴)	弾性係数 (×10 ⁴ (kgf/cm ²))	引張強度 (kgf/cm ²)	圧縮強度 (kgf/cm ²)	弾性係数 (×10 ⁴ (kgf/cm ²))
1~7	D35	3770	1890	2.00	5230	No.1~No.4 207 No.5~No.7 283	2.48
	D29	3860	1950	1.97	5010		
	D22	3800	1970	1.92	4960		
	D19	3620	1870	1.94	4530		
	D16	3710	1930	1.92	4590		
8~13	D35	3830	2000	1.92	5480	320	2.56
	D22	3990	2100	1.90	5680		
	D16	3880	2050	1.89	5850		
	D13	3370	1810	1.89	4730		

プレカラムコンクリート強度: No.7; 621(kgf/cm²), No.9, 10, 11, 13; 524(kgf/cm²)

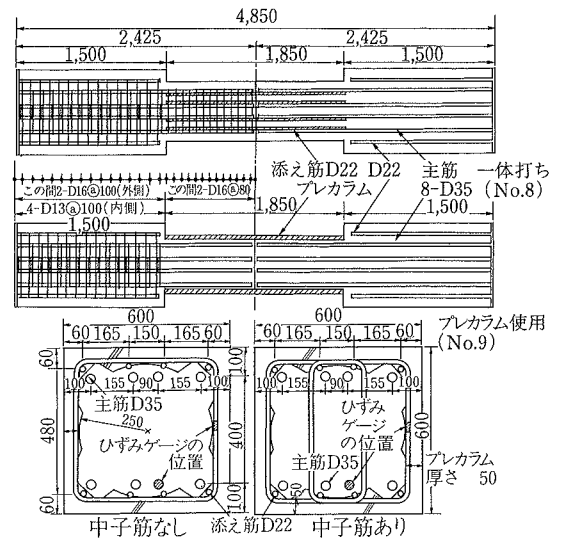
2. 研究目的

図一に工法の概要を示す。柱の内のりスパン中央で上下階の主筋同士を突合せ、主筋より細径の添え筋を柱の内の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。図一ではプレカラムを使用した状態を示している。プレカラムについては既に報告済み⁴⁾であるが、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、フープ筋や中子筋あるいは添え筋を容易に打ち込むことができる。このプレカラムを使用することで、柱型枠、柱主筋の圧接、フープ筋や添え筋の配筋などの現場作業が省略され、工期が短縮できる。また、突合せ継手とすることで通常の重ね継手の欠点である、断面の主筋位置が継手ごとにずれることがなくなり、施工性の向上が望める。しかしながら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の影響など不明な点も多く、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。そこで、本工法の設計法を確立し、実用化するための基礎となる、継手の付着性状、部材の耐力性状などを調べることを目的として、突合せ継手を有する部材の曲げせん断実験を実施した。

3. 曲げせん断加力実験

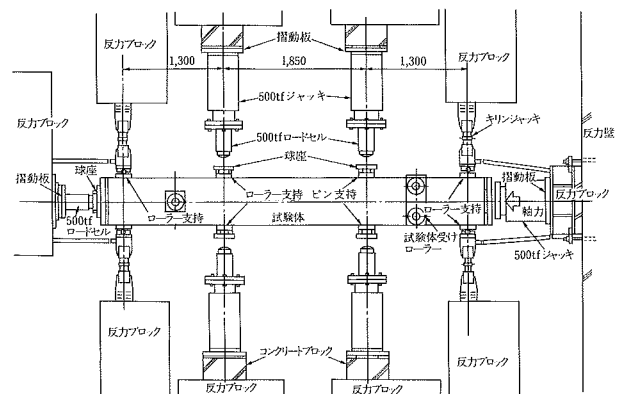
3.1 実験概要

表一に実験概要を示す。試験体はほぼ実大で断面が600×600mm、内のり長さが1,850mm(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、プレカ



断面図

図二 試験体概要



図三 加力方法

ラム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

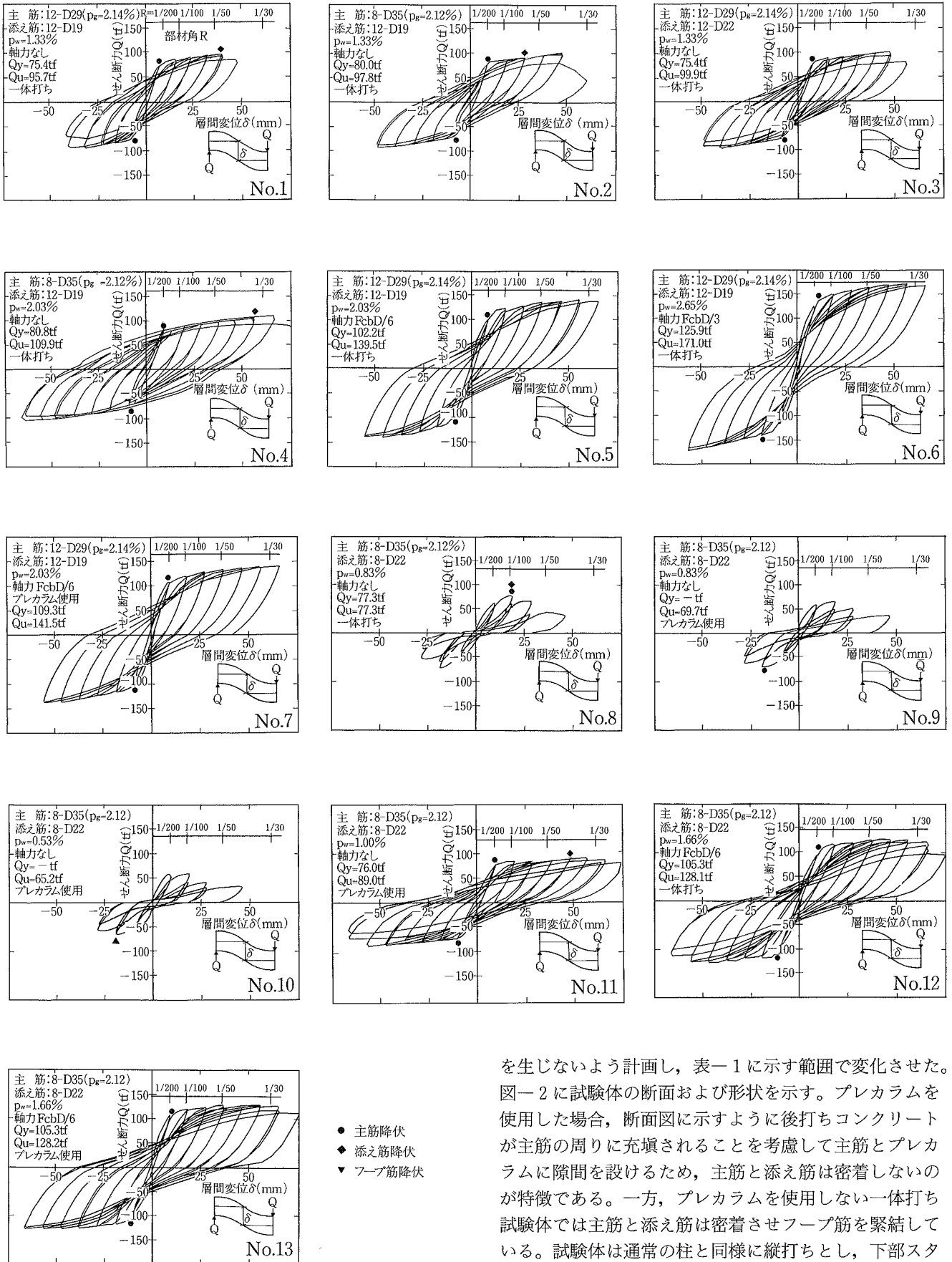


図-4 せん断力-層間変位関係

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。プレカラムを使用した場合、断面図に示すように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プレカラムに隙間を設けるため、主筋と添え筋は密着しないのが特徴である。一方、プレカラム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。加力は図-3

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	207kgf/cm ²				283kgf/cm ²			320kgf/cm ²					
弾性剛性実験値(tf/cm)	433	337	354	307	315	419	369	310	370	337	302	267	328
計算値(tf/cm)	370				380			380					
実験値/計算値	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
降伏荷重実験値(tf)	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(tf)	66.2	67.8	66.2	67.8	96.9	124.8	96.9	68.9					
実験値/計算値	1.14	1.18	1.14	1.19	1.05	1.01	1.13	1.12	1.01	--	1.10	1.06	1.06
最大荷重実験値(tf)	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
曲げ耐力計算値(tf)	80.8	79.4	80.8	81.0	117.1	151.1	117.1	72.7				103.9	103.9
せん断耐力計算値(tf)	**	**	**	**	**	**	**	140.5		95.8	145.5	**	**
実験値/計算値	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		

* コンクリート強度はNo.1~No.4, No.5~No.7およびNo.8~No.13の平均実強度
 * 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、 $K=1/\{h_0^3/(12EI)+k_h/e\}$ (GA), $k=3/2, G=5/12E$ による。
 * せん断破壊荷重計算値は、終局強度型耐震設計指針を用い、部材の保証変形に対応する降伏ヒンジの回転角 $R_p=0.01$ として算出した。
 * 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 E_s 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プレカラム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。

に示す方法で行ない、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り返し荷重とした。

3.2 実験結果

3.2.1 変形および耐力性状 表-3 に実験結果の一覧を、図-4 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)の関係を示す。試験体 No. 8~No. 10 を除くすべ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計算値を比較すると、実験結果は弾性剛性がほぼ計算値に等しく、降伏荷重および最大耐力共に継手のない部材として計算した値以上であり、プレカラム使用の有無、軸力の有無にかかわらず突合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。一方、付着割裂破壊は、せん断補強筋量が0.83~0.53%と他の試験体より少なく、かつ中子筋を用いていない試験体で生じ、曲げおよびせん断耐力計算値より低い値で脆性的に耐力が低下している。

3.2.2 ひずみ計測結果 図-5 は主筋および添え筋の材軸方向ひずみ分布を部材角ごとに表わした例である。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りひずみが生じ、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る。この突合せ位置の添え筋に生じるひずみは、図-6 に示すようにせん断力により生じるトラス機構のコンクリート圧縮束応力の材軸方向成分による影響であると考えられる。一方、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。

3.2.3 ひびわれ・破壊状況 図-7 に各試験体荷重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プレカラム使用の有無による差はあまり明確でないが、

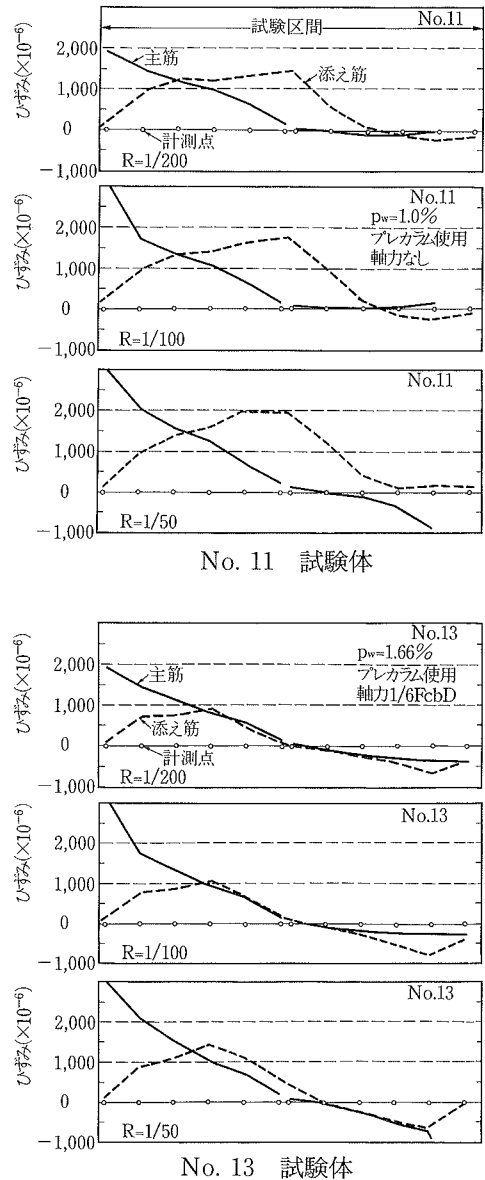


図-5 ひずみ分布

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、プレカラムを使用した試験体はせん断ひびわれと思われる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断が困難であると言える。なお、載荷終了時にはプレカラムは内部コンクリートと剝離していた。

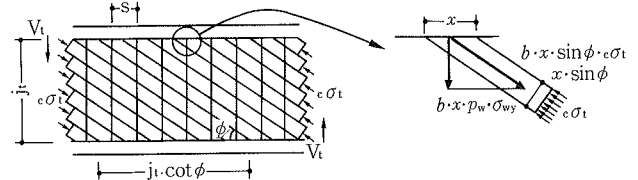


図-6 トラス機構における釣合い

4. 突合せ継手の設計法

本章では突合せ継手の設計法を確立するため、実験結果をもとに、付着割裂に対する設計および添え筋量の算定方法について検討する。

4.1 付着割裂に対する設計

主筋に沿ったコンクリートの割裂により主筋が付着を失い、部材が脆性的に破壊する付着割裂破壊を防止するため、日本建築学会編「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」(以後、終局型設計指針と略す)では、藤井・森田⁹⁾による研究結果をもとに次のような付着強度算定式を定めている。

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

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

b_l は次の小さいほうの値

$$b_{cl} = (2\sqrt{2}d_c - d_b) / d_b \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$b_{sl} = (b - \Sigma d_b) / \Sigma d_b \quad \dots\dots\dots(4)$$

$b_l = b_{cl}$ の時

$$\tau_{st} = 50A_w\sqrt{\sigma_B} / (s \cdot d_b) \quad \dots\dots\dots(5)$$

$b_l = b_{sl}$ の時

$$\tau_{st} = \{(20/N_t + 5N_u/N_t + 15N_s/N_t)p_w' b \sqrt{\sigma_B}\} / d_b \quad \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 τ_{bu} ：鉄筋の付着強度、 τ_{co} ：付着強度のコンクリート負担分、 τ_{st} ：せん断補強筋の効果による強度上昇分、 d_c ：隅角部主筋中心からのかぶり厚さ、 d_b ：隅角部主筋直径、 Σd_b ：一列に並んだ主筋直径の総和、 b ：断面幅、 A_w ：隅角部主筋にかかるせん断補強筋断面積、 s ：せん断補強筋間隔、 N_t ：一列の主筋本数、 N_u ：一列の主筋のうち直接せん断補強筋のかかっていないもの本数、 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本数、 p_w' ：断面外周に配筋されたせん断補強筋比。 σ_B ：コンクリート強度

ところが、(6)式は中子筋の補強効果を小さく見積もっているため、同一 p_w ならば断面外周のみに拘束筋を集中させたほうが付着強度計算値は大きくなる。これは実際の実験結果と矛盾することが報告されており⁹⁾、中子筋を考慮した推定式の提案も成されている。本実験においても、No. 9 試験体と No. 11 試験体は終局強度型指針に従えば、 τ_{bu} はほぼ等しい値となるが、実験結果は No. 9 が付着割裂破壊を生じたのに対し、中子筋のある No. 11 は曲げ破壊を生じている。

図-8 は、中子筋は付着割裂面において外周のせん断

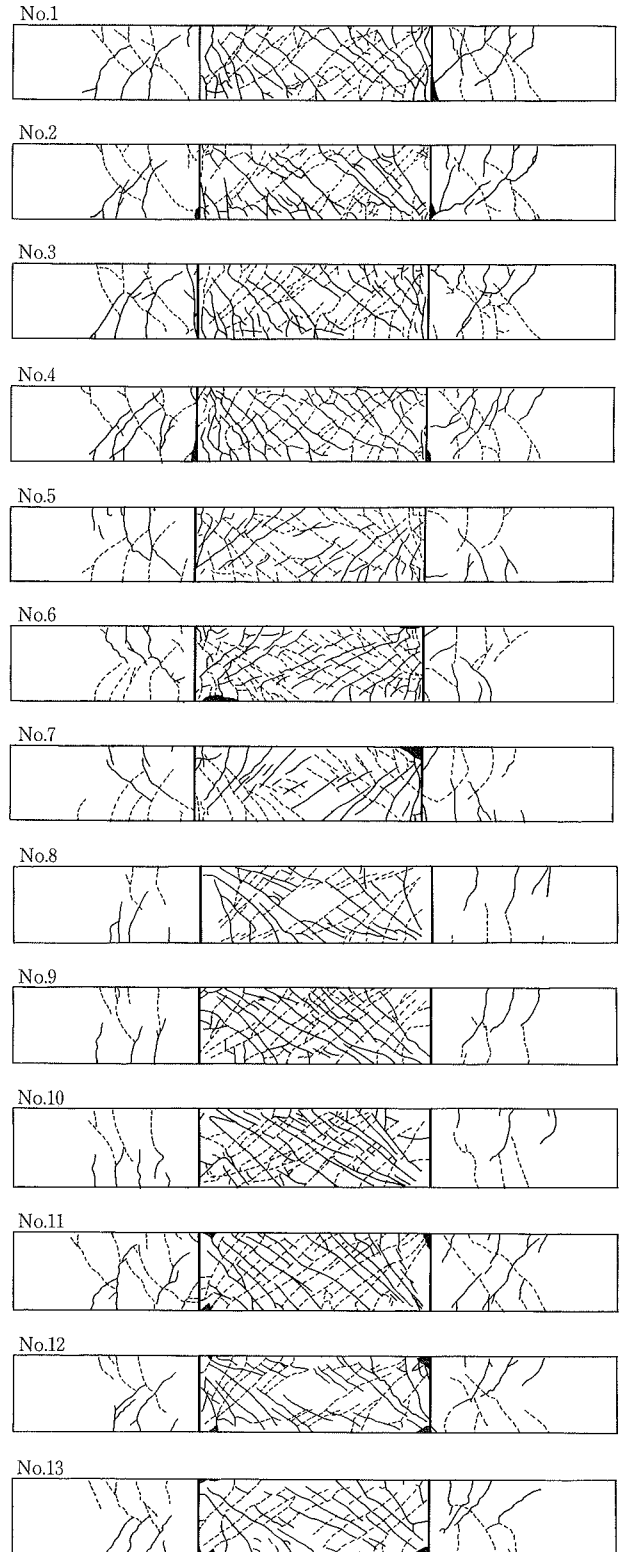


図-7 破壊状況

補強筋と同様に引張抵抗し、主筋の拘束力分布を断面外周に集中する状態からより一様な分布に近付ける結果、拘束効果を高めることを考慮して、(6)式中の p_w' を p_w (せん断補強筋比) に、 $15N_s/N_t$ を $20N_s/N_t$ に修正した次式によって計算値と実験値を比較したものである。

$$\tau_{st} = \{ (20/N_t + 5N_u/N_t + 20N_s/N_t) p_w \cdot b \sqrt{\sigma_B} \} / d_b \quad \dots(7)$$

また、特にプレカラムを使用する場合、プレカラムと内部コンクリートが剝離することも有り得ることを考慮して、(2)、(4)式の τ_{co} の計算では(8)式で示すようにプレカラムを除いた断面を使用した。

$$b_{sl} = (b' - \Sigma d_b) / \Sigma d_b \quad \dots(8)$$

ここに b' : プレカラムを除く断面幅

図-8 によれば文献^{5),6)}の実験値は計算値と良く一致しているが、本実験の値は計算値のほぼ0.7倍で表わせることが分かる。これは文献^{5),6)}の実験が一方向の単調加力実験であるのに対して、本実験は正負交番繰り返し載荷であるためと推定される。

4.2 添え筋量の算定方法

実験ではモーメントが作用しない部材中央で添え筋の引張降伏が生じたこと、また添え筋が降伏すると、トラス機構によるせん断力負担荷重が頭打ちになることが考えられることから、実部材の設計では部材中央に作用するモーメントおよび軸力に加えて、せん断力に対しても検討し添え筋量を設計する必要がある。以下にせん断力に対する必要添え筋量について検討する。

フープ筋は降伏しないと仮定すると、トラス機構のコンクリート圧縮束応力の材軸方向分力が添え筋の引張降伏荷重と釣り合うとき次式が成り立つ。

$$V_t = \sigma_y A_s / \cot \phi \quad \dots(9)$$

ここに、 σ_y : 添え筋降伏強度、 A_s : 添え筋全断面積、 ϕ : トラス機構のコンクリート圧縮束の角度

添え筋降伏後も荷重の上昇が見られたのはコンクリート圧縮束の角度が増大し、上式の $\cot \phi$ の値が減少したためと推定される。そこで、部材中央ではトラス機構におけるコンクリート圧縮応力を最小とした時のせん断強度が設計せん断力を上回るように添え筋量を求め、それに曲げおよび軸力に対して必要とされる添え筋量を加えれば良い。すなわち、せん断に対しては終局強度型設計指針で示されている、 $\cot \phi = 1.0$ とするせん断強度算定法 B 法を基礎とした、以下に示すせん断強度式を用いれば良いと考えられる。

$$V_u = V_t + V_a \quad \dots(10)$$

$$V_t = \sigma_y A_s \quad \dots(11)$$

$$V_a = (\nu \sigma_B - c \alpha) \tan \theta \cdot b (D/2) \quad \dots(12)$$

$$\tan \theta = [\sqrt{ \{ (2M/VD)^2 + 1 \} } - 2M/VD] \quad \dots(13)$$

$$\nu = (2M/VD + 1) / 4 \quad \text{ただし} \quad 0.5 \leq \nu \leq 1.0 \quad \dots(14)$$

$$c \alpha = 2 \sigma_y A_s / (b j_t) \quad \dots(15)$$

ここに、 V_u : 部材のせん断強度、 V_t : トラス機構によ

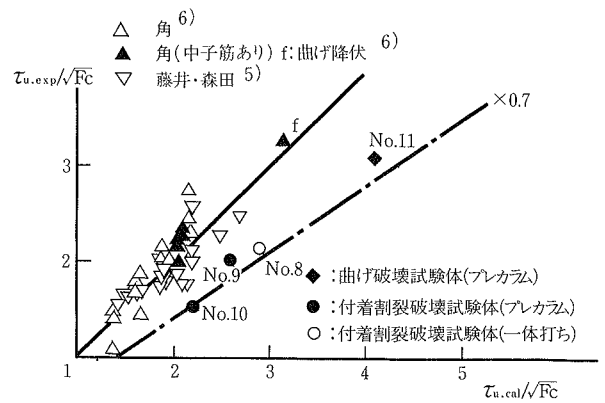


図-8 実験値と計算値の比較

る負担せん断力、 V_a : アーチ機構による負担せん断力、 ν : コンクリートの圧縮強度有効係数、 $c \alpha$: コンクリート圧縮束の応力、 D : 断面の全せい、 M : 設計曲げモーメント、 V : 設計せん断力、 j_t : 主筋中心間距離
なお曲げと軸力に対しては、終局強度型設計指針で示されている通常の断面算定法を用いれば良いと思われる。

5. 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 プレカラム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主筋と添え筋を密着させなくても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 主筋の付着割裂強度に及ばずプレカラムの使用、拘束筋量および正負交番繰り返しの影響を考慮し、付着割裂強度式を提案した。
- ③ 添え筋量の設計は、主筋突合せ部に作用する曲げモーメントと軸力に加えて、せん断力に対しても必要であることが分かり、突合せ部のせん断強度式を提案した。

参考文献

- 1) 増田, 他: 太径異形鉄筋の重ね継手工法の開発 (その1), 大林組技術研究所報, No. 39, p. 97~102, (1989)
- 2) 中山, 他: ハイラップ工法の開発(その1), 大林組技術研究所報, No. 40, p. 90~95, (1990)
- 3) 中山, 他: ハイラップ工法の開発(その2), 大林組技術研究所報, No. 41, p. 55~60, (1990)
- 4) 増田, 他: 遠心成形プレキャストコンクリート部材の開発, 大林組技術研究所報, No. 41, p. 61~67, (1990)
- 5) 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, 319号, p. 47~55, (1982)
- 6) 角, 他: 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, 414号, p. 23~33, (1990)