

論文 壁式 PCa 構造基礎ばり鉛直接合部のコッター筋の接合方法

新井勇作*1・望月一浩*2・後井文隆*3・小林克巳*4

要旨：壁式 PCa 構造における PCa 基礎ばり部材同士を接合する鉛直接合部のコッター筋は、上部構造と同様に通常溶接継手を用いて施工されている。そこで、施工現場の生産性の向上を図るために鉛直接合部コッター筋を重ね継手とするディテールの簡素化を考え、コッター筋の接合方法をパラメータとした剪断実験を行なった。その結果、耐力だけを考えるならばはりとしての剪断破壊が先行する限り溶接継手を単純重ね継手としてディテールの簡素化が可能であり、コッター筋をループとした重ね継手とすれば溶接継手と同等以上の性能を確保できることがわかった。

キーワード：壁式 PCa 構造, PCa 基礎ばり, 鉛直接合部, コッター筋, 剪断耐力

1. はじめに

筆者らは、壁式 PCa 構造における基礎ばりの PCa 化に関する実験研究を行なっている。これまでの実験で連続箱型コッターを有する鉛直接合部は、在来一体打ち工法と同等の性能を有しており、通常の剪断設計を行なった助筋量があれば鉛直接合部の剪断耐力がはりとしての剪断耐力を上回ることを確認している。また、杭基礎とした場合に杭が基礎ばりに対して偏心していても既往の壁式 PCa 上部構造の設計式を適用する限り、振りモーメントを考慮しないで設計しても安全であることが確認されている^{1) 2)}。

本工法では、鉛直接合部コッター筋には図-1 のようにフレア溶接にて片面 10d の溶接継手を設けているが、PCa 基礎ばり据え付け後にコッター筋の溶接作業を行なうため生産性が落ちる。そこで、本論では、施工現場の生産性向上を図るために鉛直接合部コッター筋を重ね継手とするディテールの簡素化を行なうことを目的として、PCa 接合部を有する部材の剪断実験からコッター筋の接合方法が鉛直接合部

の性能に及ぼす影響を調べ、溶接継手とした場合と同等の性能が確保できることを検討する。

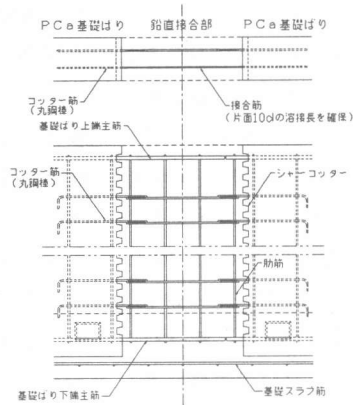


図-1 鉛直接合部配筋概要図

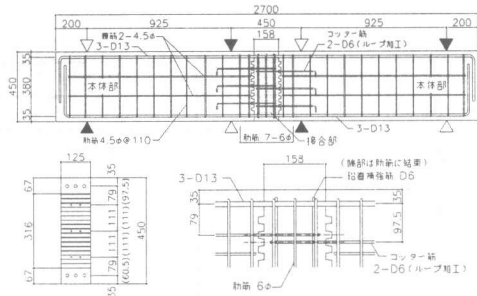


図-2 試験体形状

*1 木内建設(株) 設計本部開発課課長 (正会員)

*2 木内建設(株) 設計本部開発課主任

*3 福井大学大学院 工学研究科システム設計工学専攻 工修 (正会員)

*4 福井大学教授 工学部建築・建設工学科 工博 (正会員)

表-1 試験体一覧

試験体名	主筋 (SD345)	肋筋 (SWM-P)	鉛直接合部		
			コッター筋 (SD295A)	継手方法	鉛直補強筋
AS-14	3-D13 (0.734%)	7-6φ (0.703%)	2×3-D6	通し鉄筋 (溶接継手を予想)	—
AS-15			2×3-D6	単純重ね継手	—
AS-16			2×4-D6	単純重ね継手	—
AS-17			2×3-D6	ループとした 重ね継手	4-D6
AS-18			2×3-D6	*ループとした 重ね継手	4-D6

*AS-18は施工性を考慮してループ筋相互にあきを設けている。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体形状を図-2に示す。試験体はこれまでの実験との連続性を考えて同一形状とした。断面せいは約1/4モデル450mmとし、幅は1/2モデル125mmとした。鉛直接合部は、試験体中央158mmの区間に設けた。また、主筋は、本来は溶接継手とするが、溶接継手が鉛直接合部の性状に与える影響は少ないと判断し、本実験では通し鉄筋とした。試験体数は鉛直接合部を有する試験体5体とし、鉛直接合部のコッター筋以外はすべて同一配筋とした。試験体一覧を表-1に示す。コンクリートの設計基準強度は $F_c = 21 \text{ N/mm}^2$ とし、主筋にはSD345、肋筋には溶接金網用鉄線(⊙)SWM-P、コッター筋にはSD295Aを使用した。鉄筋及びコンクリートの材料特性を表-2、表-3に示す。試験体のコンクリート打設は実験時期に合わせて試験体(AS-14~16)、試験体(AS-17, 18)の2回に分けて行なった。

表-2 鉄筋材料特性

種別	降伏強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	引張強度 (N/mm^2)
D13	361	1.8×10^5	514
D6	324	1.9×10^5	505
6.0φ	568*	2.0×10^5	610
4.5φ	475*	2.0×10^5	542

*は0.2%耐力

表-3 コンクリート材料特性

試験体名	打設箇所	圧縮強度 (N/mm^2)	ヤング係数 (N/mm^2)	割裂強度 (N/mm^2)
AS-14	接合部	24.2	2.34×10^4	2.14
AS-15				
AS-16				
AS-17	本体部	21.7	2.10×10^4	2.0
AS-18				
AS-17	接合部	24.9	2.19×10^4	2.17
AS-18				
	本体部	26.6	2.33×10^4	1.91

2.2 実験パラメータ

実験パラメータは、鉛直接合部コッター筋の接合方法とした。コッター筋の接合方法として①溶接継手(本実験では主筋と同様に通し鉄筋とした。)、②単純重ね継手(コッター筋重ね長さ20d確保)、③ループとした重ね継手の3通りとした。単純重ね継手では、鉛直接合部内の剪断ひび割れによる有効定着長さを考え、コッター筋本数も実験パラメータとした。また、コッター筋をループとした重ね継手では、同一レベルのコッター筋を折り曲げて重ね継手とした場合と、生産性の向上をより図る目的でコッター筋相互にあき(2d)を設けて重ね継手とする場合を実験パラメータとした。図-3に各試験体のコッター筋の接合方法を示す。

接合方法	①溶接継手(通し鉄筋)	②単純重ね継手	③ループとした重ね継手	
試験体名	AS-14	AS-15 (AS-16)	AS-17	AS-18
姿 図				
コッター筋	2×3-D6	2×3-D6 (2×4-D6)	2×3-D6	2×3-D6

図-3 鉛直接合部コッター筋の接合方法

2. 3 実験方法

加力は連続ばり形式とし、接合部を含む区間が逆対称曲げモーメント状態になるように正負一回ずつの正負交番漸増繰返し载荷とした。加力方法及び加力装置を図-4、図-5に示す。M/Qd は 0.5 とした。左右の支点位置にピン・ローラー支持したゲージホルダーから、2箇所の加力点の加力方向の変位を測定し、その和を相対変位とした。また、図-6 の様に接合部の目地の開きとずれをπゲージを用いて測定し、主筋、肋筋、コッター筋には歪みゲージを貼付け歪みを測定した。繰返し载荷の折り返しは以下の項目に示す荷重にて行なった。

- ① ひび割れ以前
- ② ①と③の間
- ③ 接合部の短期検討用剪断力 (RQ)³⁾
- ④ 接合部の終局検討用剪断力 (QVU)³⁾
- ⑤ はりの終局検討用剪断力 (QSU)

③, ④, ⑤の算定式を式 (1) ~ 式 (3) に示す。

$$RQ = B \cdot f_{ss} \cdot n \quad (1)$$

$$QVU = 0.1F_c \cdot B \cdot n + \sum (a_v \cdot \sigma_y) \quad (2)$$

$$QSU = \left\{ \frac{0.068 \cdot Pt^{0.23} (F_c + 18)}{M/Qd + 0.12} + 0.85 \sqrt{P_w \cdot \sigma_{wy}} \right\} b \cdot j \quad (3)$$

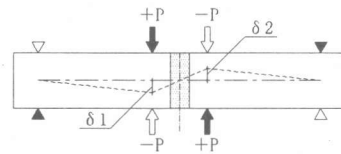
荒川 mean 式 (3)

ここに、

- B : コッターの剪断面積 (mm²)
- n : コッターの個数
- F_c : コンクリート設計基準強度 (N/mm²)
- f_{ss} : 2.0 (N/mm²)
- a_v : コッター筋の断面積 (mm²)
- σ_y : コッター筋の強度 (N/mm²)
- P_t : 引張鉄筋比 (%)
- P_w : 補強筋比
- σ_{wy} : 補強筋強度 (N/mm²)
- b : はり幅 (mm)
- j : 応力中心間距離 (mm)

3. 実験結果・考察

各試験体の剪断力 (Q) - 相対変位 (δ)



$$\delta = \delta 1 + \delta 2$$

$$AS-14 \sim 16 \quad Q = 0.796 \cdot P$$

$$AS-17, 18 \quad Q = 0.804 \cdot P$$

図-4 加力方法

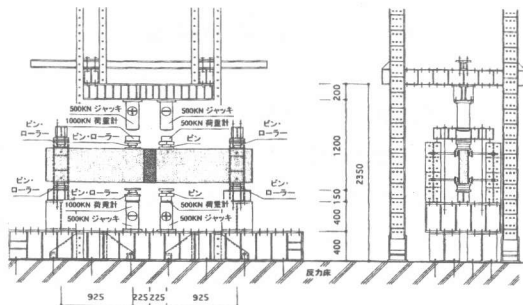


図-5 加力装置

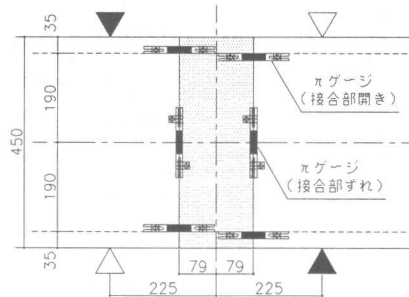


図-6 目地の開きとずれ測定位置

関係の包絡線を図-7、図-8に示す。図-7は溶接継手と単純重ね継手を比較したもので、図-8は溶接継手とループとした重ね継手を行なった接合方法について比較したものである。

3. 1 剛性・耐力

溶接継手と単純重ね継手では Q - δ 包絡線を比較すると、Q_{su} 時まで剛性に違いは殆ど見られない。また、最大剪断耐力も殆ど同じである。しかし、最大剪断耐力以降の耐力低下率は、単純重ね継手 (12.5 KN/mm), 溶接継手 (7.5 KN/mm) で、単純重ね継手の方がやや大きくなっ

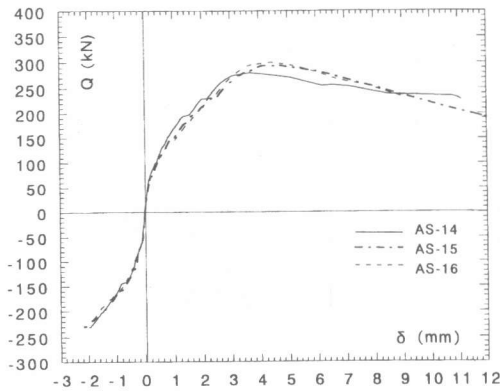


図-7 Q-δ関係 包絡線

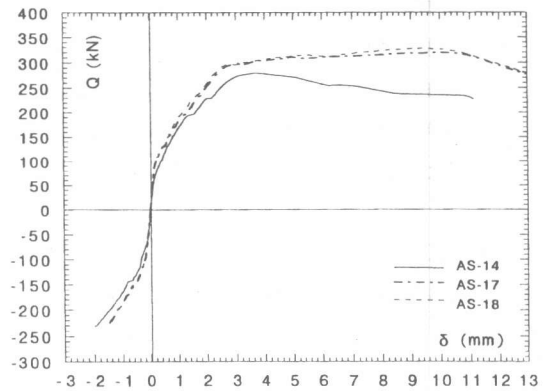


図-8 Q-δ関係 包絡線

ている。溶接継手では肋筋だけでなくコッター筋が剪断ひび割れの開きに対して抵抗しているのに対して、単純重ね継手の場合、剪断ひび割れによりコッター筋の定着長さが確保できなかったため耐力低下が溶接継手より大きくなったと考えられる。溶接継手とループとした重ね継手のQ-δ包絡線を比較すると、ループとした重ね継手を行なった場合の方が剛性、耐力とも溶接継手を上回り、主筋(D13)が徐々に降伏歪みに達し、曲げ降伏後はりとしての剪断破壊となっている。ループとした重ね継手としてあるため、剪断ひび割れが貫通しても、ループとしたコッター筋及び鉛直筋の拘束効果により、コンクリートの圧縮力でコッター筋の引張力伝達が行なわれるため溶接継手より剪断耐力が上がったと考えられる。

3. 2 破壊性状

加力スパン内での最終ひび割れ状況を図-9に示す。溶接継手、単純重ね継手及びループとした重ね継手ともにはりとしての剪断破壊であり、鉛直接合部の破壊とはなっていない。したがって、単純重ね継手及びループとした重ね継手ともに溶接継手と同様に鉛直接合部の剪断耐力がはりとしての剪断耐力を上回っていることがわかる。各試験体の最大剪断耐力は、 $Q_{su}(=230 \text{ KN})$ を上回っている。特に、ループとした重ね継手は40%ほど上回っている。また、溶接継手に対して単純重ね継手は、4~6%上回

①溶接継手(通し鉄筋)	②単純重ね継手
AS-14	AS-15
$Q_{su}=230 \text{ KN}$ $Q_{max}=283 \text{ KN}$	$Q_{su}=230 \text{ KN}$ $Q_{max}=294 \text{ KN}$
②単純重ね継手	③ループとした重ね継手
AS-16	AS-17 (AS-18)
$Q_{su}=230 \text{ KN}$ $Q_{max}=300 \text{ KN}$	$Q_{su}=230 \text{ KN}$ $Q_{max}=321 \text{ KN} (329 \text{ KN})$

図-9 最終ひび割れ状況

っているが、ループとした重ね継手は13~16%上回っており、ループとした重ね継手は他の試験体より剪断耐力が上昇することがわかる。単純重ね継手において、コッター筋本数の少ないAS-15の方が若干せん断ひび割れの本数が多く見られたが、破壊性状に違いは見られなかった。また、ループとした重ね継手においても接合方法による違いは殆ど見られなかった。

3.3 目地の開きとずれ

鉛直接合部の短期検討用剪断力 RQ (式(1)) 時, 終局検討用剪断力 QVU (式(2)) 時及び, はりの終局検討用剪断力 QSU (式(3)) 時における各試験体の鉛直接合部の目地の開きとずれの最大値を表-4 に示す。鉛直接合部の短期検討用剪断力時における鉛直接合部の目地の開きとずれは各試験体とも微小な値であり, 接合方法による違いは殆ど見られなかった。また, 鉛直接合部の終局検討用剪断力時及び, はりの終局検討用剪断力時においても接合方法による違いは殆どなく, 過大な目地の開きとずれは見られなかった。

3.4 コッター筋の歪み測定結果

接合方法による鉛直接合部コッター筋の歪み測定結果を表-5, 歪み測定位置とひび割れの関係を図-10, コッター筋の歪み変化を図-11 に示す。QVU 時では, 溶接継手と単純重ね継手のコッター筋の歪みが 116~541 μ に対して, ループとした重ね継手は RQ 時と同様にコッター筋の歪みは殆ど測定されなかった。QSU 時では, 溶接継手及び単純重ね継手(コッター筋 2 \times 3 本)において剪断ひび割れが貫通した箇所では降伏歪みに達しているものもあった。ループとした重ね継手の歪みは 216~1259 μ で降伏歪みに対して余裕があることがわかった。Qmax 時では, 各試験体とも剪断ひび割れが貫通した箇所以外は降伏歪みに達していなかった。また, 剪断ひび割れが貫通した箇所でもループとした重ね継手は降伏歪みを僅かに超過した程

表-4 目地の開きとずれ

試験体名	接合部の目地の開き(mm)			接合部の目地のずれ(mm)		
	RQ時	QVU時	QSU時	RQ時	QVU時	QSU時
AS-14	0.009	0.052	0.147	0.006	0.052	0.359
AS-15	0.014	0.040	0.200	0.000	0.009	0.288
AS-16	0.007	0.054	0.200	0.006	0.018	0.303
AS-17	0.004	0.013	0.221	0.006	0.010	0.242
AS-18	0.008	0.016	0.195	0.006	0.010	0.309

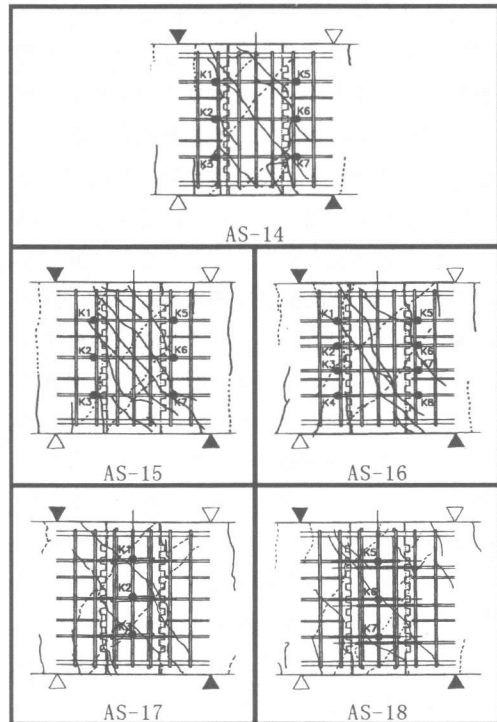


図-10 歪み測定位置とひび割れの関係

度で溶接継手, 単純重ね継手に比べて小さい値であることがわかった。はりとしての剪断破壊後耐力低下が溶接継手より大きかった単純重ね継手の場合は, 剪断ひび割れが貫通した箇所

表-5 コッター筋の歪み測定結果

(*は降伏歪み)

接合方法 試験体名 測定箇所	①溶接継手(通し鉄筋)				②単純重ね継手				③重ね継手(ループ形状)							
	AS-14 (μ)				AS-15 (μ)				AS-16 (μ)				AS-17 (μ)			
	RQ時	QVU時	QSU時	Qmax時	RQ時	QVU時	QSU時	Qmax時	RQ時	QVU時	QSU時	Qmax時	RQ時	QVU時	QSU時	Qmax時
(上) K1	27	409	1472	2660*	38	401	1485	2926*	36	457	1360	2432*	6	16	800	900
K2	19	307	1308	1372	59	391	1797*	4389*	23	398	1223	1301	5	16	677	903
↓ K3	35	335	1810*	1756*	108	434	1353	1292	18	323	1169	456	6	10	700	1202
(下) K4									46	413	1123	1564	AS-18 (μ)			
(上) K5	29	446	1279	1534	55	222	1222	1337	24	346	1107	1113	14	21	216	765
K6	13	408	1020	1292	20	116	1252	1793*	21	320	1147	1308	8	19	1259	1774*
↓ K7	42	541	1607	2478*	37	266	1009	1519	15	227	778	1095	6	10	654	1370
(下) K8									27	305	1465	2415*				

のコッター筋の歪みが急に増している。一方、溶接継手とループとした重ね継手の場合は、コッター筋の歪みは急増していないことがわかった。これは、剪断破壊後のコッター筋の引張力の伝達メカニズムの違いによるもので、単純重ね継手ではコッター筋がひび割れ幅の開きに抵抗するため、ひび割れ貫通位置とコッター筋の歪みが大きくなる点が一致している。従って、ひび割れがはいると定着長さがとれなくなり最大剪断耐力以後引張力を発揮できなくなるため耐力の低下が急に増してくると思われる。溶接継手では定着が取れているため、単純重ね継手の場合より力を発揮できるが、ひび割れ位置とコッター筋の歪みが大きくなる点が一致しているため、剪断破壊後ひび割れ幅が大きくなって破壊に至っている。ループとした重ね継手でも、ひび割れ位置とコッター筋の歪みが大きくなる点が一致している。しかし、ループとしたコッター筋及び鉛直筋による拘束効果によりコンクリートがループ状コッター筋の反力として圧縮を受けているので、ひび割れ幅が大きくなり、コッター筋の歪みは急増していない。単純重ね継手ではコッター筋の本数が多いほどコッター筋の歪みが小さくなる傾向が見られたが、破壊後の性状の違いはみられなかった。ループとした重ね継手においても、コッター筋相互にあき(2d)を設けて重ねても破壊後の性状の違いは見られなかった。

3. 5 接合方法の検討

鉛直接合部は耐力設計を行なうため終局耐力までの性能が確保されればよいが、終局耐力に達した後も、破壊モードによらずできるだけ一体性が保たれることが望ましい。単純重ね継手としても、耐力だけ考えるならば溶接継手の場合と同じ性能を得ることができるが、剪断破壊後の耐力低下が溶接継手より大きくなる。ループとした重ね継手の場合、ループとしたコッター筋及び鉛直筋による拘束効果によりコンクリートの圧縮力でコッター筋の引張力伝達が行なわれているため剛性・耐力とも溶接継手(コッ

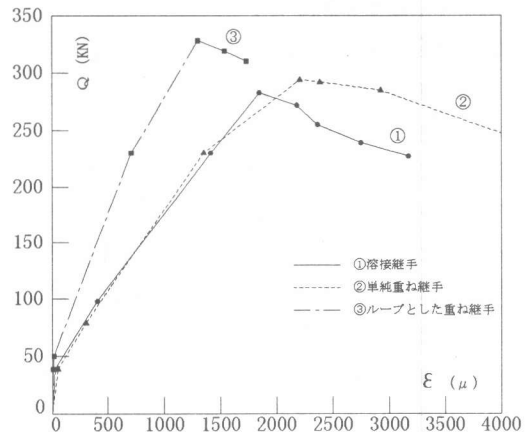


図-11 コッター筋の歪み変化

ター筋は実験では通し筋)の場合を上回り、剪断破壊後の耐力低下も溶接継手の場合と同様であることがわかった。また、コッター筋相互にあきを設けたループとした重ね継手にも問題は見られなかった。以上のことから、コッター筋を継手とするディテールの簡素化はループとした重ね継手の接合方法が好ましいといえる。

4. まとめ

鉛直接合部コッター筋の接合方法は、耐力だけを考えるならばはりとしての剪断破壊が先行する限り、溶接継手を重ね継手としてディテールの簡素化を図ることが可能であり、ループとした重ね継手とすれば溶接継手と同等以上の性能が確保でき、施工現場の生産性向上を図ることができる。

参考文献

- 1) 筏井文隆他3名：壁式P C a 構造における基礎ばりのP C a 化と鉛直接合部に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 20, NO. 3, pp. 619-624, 1998. 6
- 2) 新井勇作他3名：振り応力を受ける壁式P C a 構造基礎ばり鉛直接合部の力学性能に関する実験研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21, NO. 3, pp. 847-852, 1999. 7
- 3) 日本建築学会：壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造設計規準・同解説，1982