

論文 プレキャスト梁部材の鉄筋定着法に関する研究

細川洋治*1・一條祐三*2・加藤慎司*2・一柳成幸*2

要旨：筆者等は RC⁷ プレキャスト工法の合理的な躯体構築工法の開発を行っており、特に接合部の鉄筋定着方法として Γ 溶接を用いた方式を提案している。本論は鉄筋 Γ 溶接部の基本性状を把握することで適切な溶接方法を確認し、構造実験により鉄筋定着としての性能を検証したものである。

キーワード： Γ 溶接、溶接定着、プレキャスト、折り返し溶接

1. はじめに

筆者等は接合方法の合理化・構造性能の向上を目的 RC⁷ プレキャスト工法の開発を行っている。本工法では従来のプレキャスト工法以上の工期短縮と現場作業の合理化を目指しており、無支保工化を実現し、鉄骨建て方と類似した組み立て方式で躯体を構築する新しい構造形式を提案している。

2. 構工法概要と定着部

図 1 にプレキャスト部材接合部形状、図 2 に定着部詳細を示す。本工法の施工は①架設用鉄骨柱の建て込み ②スチフリッパにプレキャスト(以下 PCa)梁をハテンションボルトで接合 ③ PCa 床板を敷き込み ④型枠の設置後、後打ちコンクリートの打設の手順で行われ、このとき施工時の荷重は PCa 梁と架設用鉄骨柱で支持している。PCa 梁形状は主筋を鉄骨 Γ 溶接に Γ 溶接で定着することにより端部を鉄骨化したもので、降伏ヒンジは RC 断面端部に形成させる構造形式である。従来の PCa 工法における鉄筋定着には、折り曲げ定着・プレート定着等の方法が用いられてきたが、本工法の様に鉄筋の Γ 溶接を梁端部のヒンジ領域に用いた場合の研究はなく、梁降伏型の構造形式を実現するためには強度・伸びを保証し、施工性を含めた溶接性の検証が不可欠である。本論はこの新しい構造形式を実現するための要素技術として、梁主筋の Γ 溶接定着に着目し、適切な溶接方法の確立と構造部材への適用における性能確認を目的としたものである。

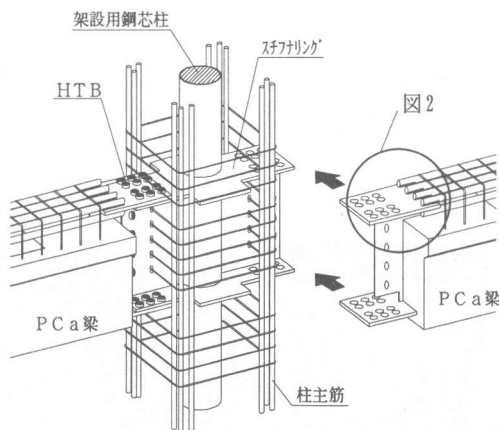


図1 プレキャスト部材接合部形状

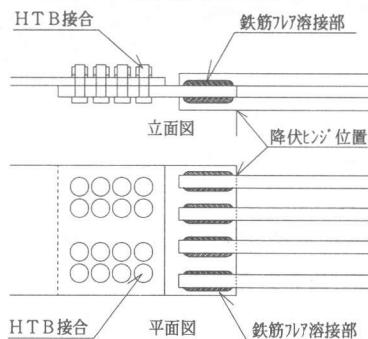


図2 鉄筋定着部詳細

*1 前田建設工業株式会社 プロジェクト推進部、工博(正会員)

*2 前田建設工業株式会社 プロジェクト推進部

3. 基本実験

本工法は7/7溶接部近傍の RC 断面端部で鉄筋を降伏させ、梁降伏型の構造形式を実現することを意図しており、梁端のヒンジ領域における繰返し応力に対して十分な安全性の確認を行う必要がある。そこで始めに基本実験を行い溶接条件の選定及び基本性能の把握を行うこととした。

1) 適正電流・電圧の測定

【実験概要】図3に試験体形状及び溶接条件を示す。ここでは溶接部にアンダーカットや溶け込み不良等の欠陥を生じにくい溶接条件を選定するために適正電流・電圧の測定を行った。試験体は $150 \times 500(\text{mm})$ の鋼材(SM490A)の上に鉄筋を7/7溶接したものであり、電流と電圧の組み合わせを (a) $180(\text{A}) \times 24(\text{V})$, (b) $240(\text{A}) \times 8(\text{V})$, (c) $280(\text{A}) \times 33(\text{V})$, (d) $300(\text{A}) \times 36(\text{V})$ の4水準設定した。溶接方法は CO_2 半自動の下向き溶接とし、これらの試験体を溶接後切断し7/7試験を行うことによって、溶け込み状況の比較を行った。

【実験結果】写真1に溶接部の7/7写真を示す。熱影響部を比較すると、電流電圧の小さい(a)(b)試験体では溶け込み不良が生じ、大きい(d)試験体では鉄筋側にアンダーカットが生じた。このことにより欠陥がなく十分な溶け込みを保証するには適正な溶接電流・電圧域が存在し、本実験の条件の下では電流(A)×電圧(V)= 280×33 付近であることが明らかとなった。

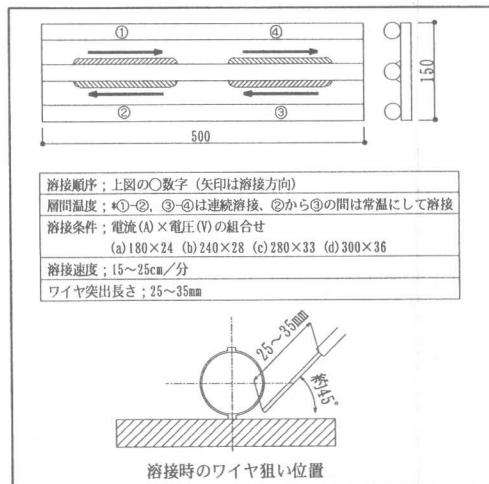


図3 試験体形状及び溶接条件

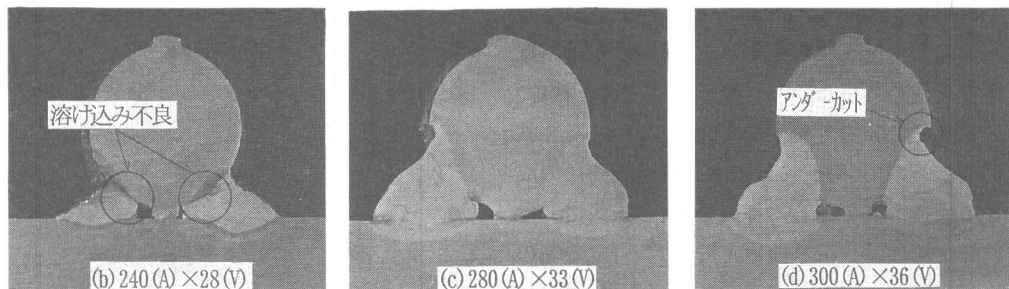


写真1 溶接部7/7写真

2) 溶接方法の選定

【実験概要】図4に作業条件、表1に試験体一覧及び実験結果を示す。ここでは1)で得られた適正電流・電圧を用いて、異形鉄筋のトチ角度、リブ向き、鉄筋あきを変動要因として溶接を行った試験体を切断し、溶け込み状況の確認及び脚長・のど厚の測定を行うことで設計のど厚を確保するために、最も有利な作業方法を選定することとした。

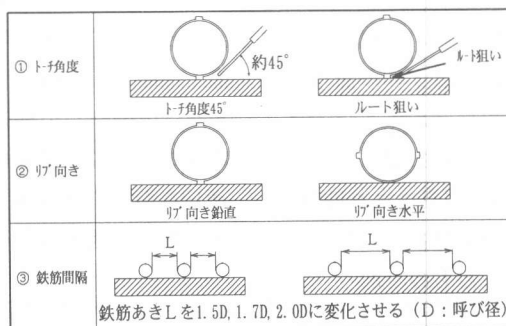


図4 作業条件

【実験結果】のど厚は D13 : 9.5(mm), D25 : 11.5(mm), D32 : 12.75(mm) 程度となり、各径ごとに十分確保できることが確認された。トチ角度は 45° に比べて角度を寝かせ、リブの狙い位置をルト部付近とした方が鉄筋・鋼板とも十分な溶け込みが得られ、ビードの垂れ込みが少なくなる傾向が見られた。その際、リブの向きは水平・垂直ともに溶け込み状況に差異はないが、垂直の方がルト部を確認しやすいため作業性に優れていることが明らかとなった。またこれらの作業を可能とする鉄筋あきは 1.5D 以上確保できれば良いことが確認された。

3) 引張試験

【実験概要】図 5 に試験体形状を示す。

試験体形状は異形鉄筋の両側に鋼板を 7/7 溶接したものであり、1 層溶接でのど厚は 9(mm) 中心として 3 水準設定(A,B,C)した。これに溶接部を 2 層溶接として補強した試験体(D)を加えた 4 タイプを鉄筋母材の引張試験と比較することで、鉄筋の 7/7 溶接部が引張強度に与える影響を把握することとした。尚、本実験は鋼板の片面だけに異形鉄筋を溶接しており、引張載荷時に偏心の影響で付加曲げを伴う厳しい条件下にて実験を行った。

【実験結果】表 2 に実験結果一覧、写真 2 には破断写真を示す。偏心引張載荷にもかかわらず A ~ C (1 層溶接) の試験体の多くは母材の 28.9(tf) と同等の耐力を示し、鉄筋中央部で母材破断しているが、A3・C1・C3 の 3 体が 24~27(tf) で溶接端部付近から母材破断した。またこれらの破断面は伸びのない脆性的なものであった。

これに対し端部を 2 層溶接して補強した D 試験体は、全て母材と同等の耐力を示し十分な伸びを示した後、鉄筋中央部から母材破断した。

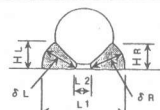
これは 2 層目の溶接により溶接部が徐冷されたことによる効果であるものと思われる。このことにより鉄筋を 7/7 溶接する方法には、設計のど厚が確保できるだけではなく、溶接部の入熱方法を十分に考慮することが重要であることを明らかにした。

表1 試験体及び実験結果一覧

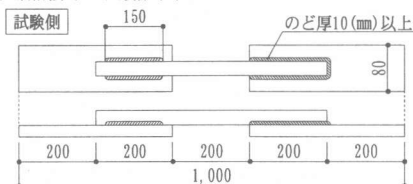
NO	鉄筋 径	鉄筋 間隔	リブ 向き	断面寸法(mm)							
				脚長		高さ		のど厚			
				L1	L2	HL	HR	δL	δR		
1	D19	1.5D	垂直	30	4	8.5	8.5		9	10.5	
2	D19	1.5D	水平	32	7	7	8		10	9	
3	D19	1.7D	垂直	31	5	9	7		10.5	9	
4	D19	1.7D	水平	32	7	9	7		10.5	9	
5	D19	2.0D	垂直	28	4	8	7		9	8.5	
6	D19	2.0D	水平	29	6	8	8		9.5	10	
7	D25	1.5D	垂直	39	11	9	10		11.5	12.5	
8	D25	1.5D	水平	40	12	10	10		12.5	9	
9	D25	1.7D	垂直	39	7	11	9		12	12	
10	D25	1.7D	水平	39	11	9	9		11	11	
11	D25	2.0D	垂直	33	7	8	8		10.5	11	
12	D25	2.0D	水平	38	6	9	9		14	11	
13	D32	2.0D	垂直	39	8	8	9		12.5	12	
14	D32	2.0D	水平	44	12	11	11		14.5	12	
15	D32	2.0D	垂直	39	10	9	9		12	10	
16	D32	2.0D	水平	43	12	10	10		12	12	
17	D32	2.0D	垂直	41	7	10	10		12.5	12.5	
18	D32	2.0D	水平	43	9	11	11		17	14	

【断面寸法測定位置】

【断面寸法測定位置】



1) 1層溶接タイプ (試験体 A, B, C)



2) 端部補強溶接タイプ (試験体 D)

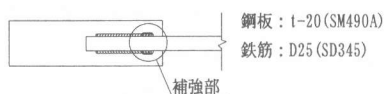


図5 試験体形状

表2 実験結果一覧

NO	溶接長(mm)		のど厚(mm)		Pmax (ton)	破断位置
	L1	L2	δL	δR		
A 1	155.9	152.6	8.8	8.1	29.2	中央部
A 2	156.1	161.7	9.9	8.6	29.3	中央部
A 3	156.8	155.9	7.8	8.9	26.4	溶接部近傍
平均	156.5		8.7		28.3	-
B 1	161.4	162.9	10.1	9.7	29.3	中央部
B 2	148.9	152.7	10.9	12.1	29.0	溶接部近傍
B 3	152.4	154.7	13.1	9.1	29.0	溶接部近傍
平均	155.5		10.8		29.1	-
C 1	150.4	148.9	8.1	7.6	27.2	溶接部近傍
C 2	150.5	153.7	7.2	7.7	29.2	中央部
C 3	160.0	148.1	8.8	9.1	24.4	溶接部近傍
平均	151.9		8.1		26.9	-
D 1	155.4	163.6	7.4	9.6	29.2	中央部
D 2	158.4	157.4	8.5	10.4	29.2	中央部
D 3	157.2	158.0	7.8	8.3	29.2	中央部
平均	158.3		8.7		29.2	-

母材引張試験 : Pmax=28.9(tf)

*破断位置は全て鉄筋母材

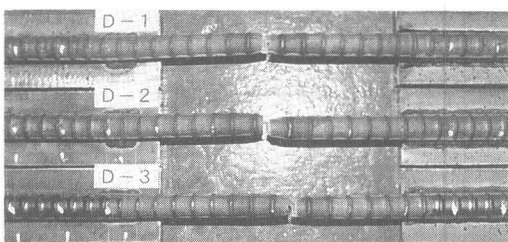
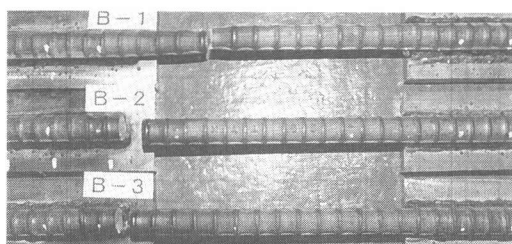


写真2 破断状況

4. 溶接性評価実験

【実験概要】ここでは基本実験の実験の結果を参考として製作した試験体で引張試験を行い、溶接部の性状を明らかにすることを目的とした。

図6に試験体形状図、表3に実験結果一覧を示す。試験体は基本実験の試験体と同様の形状としたが、引張载荷時に偏心が生じないようにプレート両面に異形鉄筋を溶接した。ここでの溶接は、最も効果的な入熱方法として1層折り返し溶接を採用することとした。この溶接方法は1層目で鋼板端部の鉄筋に予熱を与え、溶接終端部で折り返し溶接することで後熱を与えることにより鉄筋の急冷を防ぐ方法である。この1層折り返し溶接とあらかじめ使用鋼材にガバナで100～120℃程度の予熱を与えた1層予熱ありの2条件の比較を行った。鉄筋は通常の設計で使用頻度の高いD13～32(SD345)の範囲で試験を行った。また鉄筋7ヶ所溶接部の応力伝達状況を把握するため、D16-20-3試験体の溶接部から鉄筋中央部までの13点にゲージを貼付し、歪みの測定を行った。

【実験結果】

破断状況 1層予熱ありの試験体はD13～25までが母材と同等の耐力・伸びを発揮したが、D32の3本中2本は、一方の鉄筋が中央部で破断後、もう一方の鉄筋の溶接部近傍で脆性的な破断を起こした。これは片側が破断した衝撃と偏心による付加曲げによる影響であると思われる。これに対し1層折り返し溶接を行った試験体は、衝撃や付加曲げが発生したにも関わらず母材とほぼ同等の性能を示した。これにより鉄筋7ヶ所溶接には、入熱方法を改善した1層折り返し溶接が最も適切な溶接方法であると判断された。

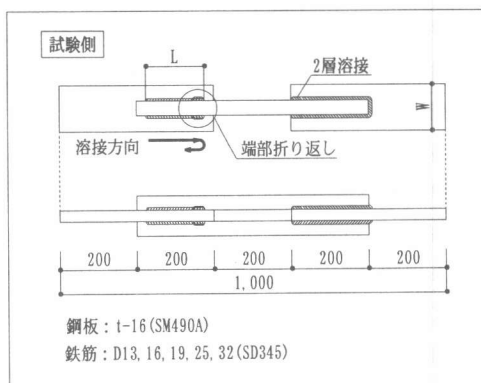


図6 試験体形状

表3 実験結果一覧

NO.	記号	溶接方法	Pmax (tf)	破断位置
1	D13-20-1	2層予熱なし	14.42	中央部
2	D13-20-2	"	14.40	中央部
3	D13-20-3	"	14.44	中央部
4	D16-20-1	"	22.77	中央部
5	D16-20-2	"	23.00	中央部
6	D16-20-3	"	22.80	中央部
7	D19-20-1	"	35.25	中央部
8	D19-20-2	"	33.80	中央部
9	D19-20-3	"	33.70	中央部
10	D25-20-1	"	59.50	中央部
11	D25-20-2	"	58.30	中央部
12	D25-20-3	"	59.00	中央部
13	D32-20-1	"	92.00	中央部
14	D32-20-2	"	93.00	中央部
15	D13-11-1	1層予熱あり	14.35	中央部
16	D13-11-2	"	14.34	中央部
17	D13-11-3	"	14.34	中央部
18	D16-11-1	"	22.90	中央部
19	D16-11-2	"	23.00	中央部
20	D16-11-3	"	23.00	中央部
21	D19-11-1	"	33.80	中央部
22	D19-11-2	"	33.80	中央部
23	D19-11-3	"	33.90	中央部
24	D25-11-1	"	60.10	中央部
25	D25-11-2	"	60.20	中央部
26	D25-11-3	"	59.80	中央部
27	D32-11-1	"	93.60	中央部+溶接部近傍
28	D32-20-2	"	92.80	中央部
29	D32-20-3	"	91.80	中央部+溶接部近傍

*破断位置は全て鉄筋母材

荷重が増大するのに従い鉄筋中央部の歪みが増大し、鉄筋母材の応力が徐々に溶接部を介してプレートに伝達していることがわかる。歪み勾配は溶接終端部（折り返し開始位置）から約 4D 付近で急激に大きくなり、この位置で鋼板に応力を伝達していることがわかる。

上述の試験に加え、ビッカース硬さ試験により溶接部の熱影響について検討を行った結果、ビッカース硬さ(Hv)は溶接終端部が 200~260 程度とが確認された。また仮付け位置は硬さ(Hv)が 400 以上の値を示すことが確認された。

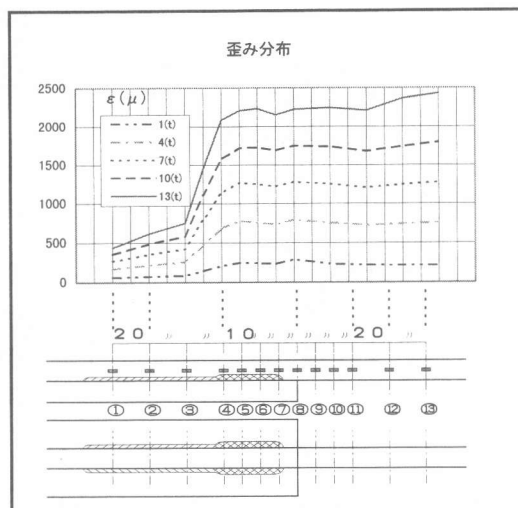
写真3に溶接状況写真を示す。以上の実験結果により、1層目で鉄筋に予熱を与え、折り返し溶接により後熱を与える方法が、鉄筋を7回溶接する場合の方法として最も適切な方法であることを明らかにし、この1層折り返し溶接を構造部材に適用することとする。

6. 構造実験による検証

図 8 に試験体形状、図 9 に破壊性状、写真 4 にはつり状況、図 10 に $Q-\delta$ 曲線を示す。

【実験結果】

梁部材の RC 断面端部は、繰り返し載荷によりひび割れが拡大し、明らかに降伏ヒンジが形成されていることが確認された。またどの試



- ①1パス目で予熱を与える。
- ②折り返しパスで後熱を与える。

写真3 溶接部詳細 (D25-20-3)

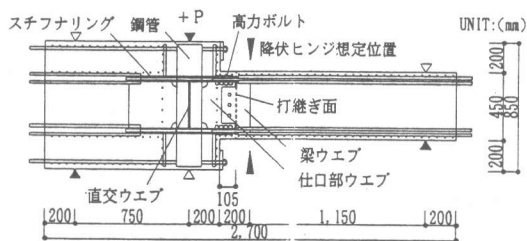


図8 試験体形状 (横告実験)

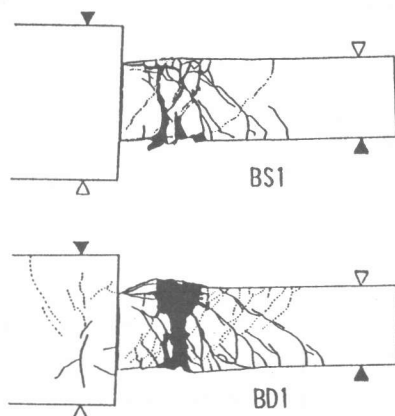


図9 破壊性状

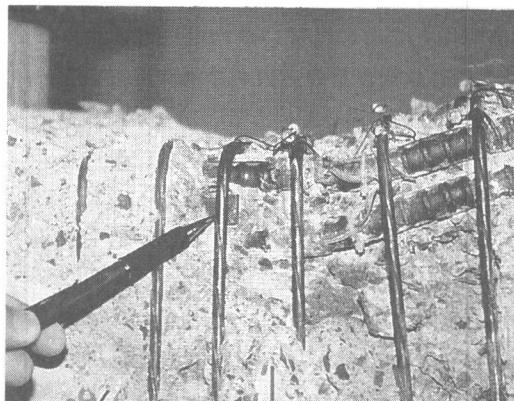


写真4 はつり状況

験体も部材角 $R=1/25(\text{rad})$ 程度まで耐力を維持するという良好な履歴性状が得られた。耐力低下した後も溶接部は健全であり、実験後のはつり状況からも溶接部には全く損傷がないことが確認された。

また、その後の構造実験を含めると約 600 本の溶接定着を行ったが、全く損傷が見られず、1 層折り返し溶接が降伏ヒンジ位置の鉄筋定着として十分な性能を確保できることが明らかとなった。

7. まとめ

本研究により以下の知見が得られた。

- 1) 異形鉄筋を鋼板に溶接する場合、適切な溶接条件（電流・電圧）域が存在する。
- 2) 作業性と溶け込み状況から異形鉄筋のリブを垂直にし、溶接リブの狙いをルト付近とすることが望ましく、鉄筋間隔は $1.5D$ 以上確保できればよい。
- 3) 熱影響を考慮し予熱と後熱の効果を期待した溶接方法を確立し、その性能を把握した。
- 4) 1 層折り返し溶接が、降伏ヒンジ位置の鉄筋定着として十分な性能を確保できることを構造実験により検証した。

謝辞

本論をまとめるにあたり、東京理科大学の松崎育弘教授・広島大学の中村雄治教授にご指導いただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 一條他：柱及び柱梁仕口部に鉄骨を用いた RC 構造物の構造性能に関する研究（その 1～2），95 年度日本建築学会大会梗概集 C, P53～P62

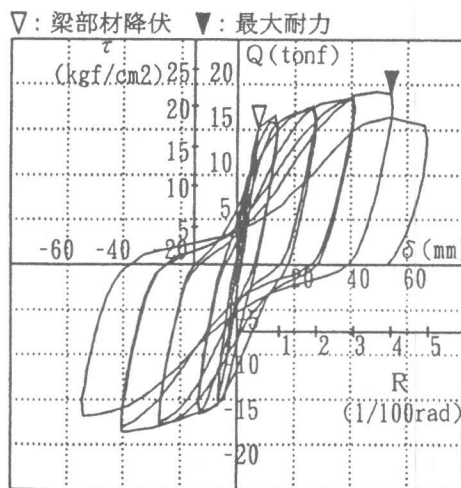


図10 Q-δ曲線 (BD1)