

論文 実物大プレキャスト RC 部材における接合部の曲げ性能に関する実験的検討

岡野 素之^{*1}・飯塚 豊^{*2}・森田 俊哉^{*3}・辻 幸和^{*4}

要旨：プレキャストコンクリート部材の接合部の曲げ性能に着目し、中央に接合部を有するはり型の実物大試験体（長さ 6.5m、幅 2.0m、厚さ 0.3m）合計 19 体の曲げ実験を実施した。プレキャスト部材接合部は接合面の目開きが大きく耐久性能上の懸念から接合鉄筋の間隔などの適用範囲に限界がある。本研究では目開きに着目し、接合鉄筋・主鉄筋の量と間隔をパラメーターとした。実験の結果、接合鉄筋間隔で 800mm 程度までは通常の曲げ性能を有し、それ以上の間隔では破壊形態が変わることが明らかになり、また、接合鉄筋の設計上の応力度で 85N/mm² まで耐久性上の指標である 0.2mm 以下の目開き量を満足する実験結果であった。

キーワード：プレキャストコンクリート、ジョイント、目開き、機械式継ぎ手

1. はじめに

プレキャスト鉄筋コンクリート部材を写真-1に示す機械式継手で接合し、ボックスカルバートを構築する工法を開発してきた^{1)~5)}。この工法は、現場打ち施工と比較し工期が短縮され、工場製作ため構造物の品質が高く耐久性の面でも利点がある。ボックスカルバートでは規模により構造を2分割または4分割する場合があります、図-1に示すように側壁に用いられ、通常の鉄筋間隔では、鉄筋の応力度で 160N/mm² まで適用されている。

この種のジョイントは、接合面でコンクリートが相互に一体化していないので、接合面の目開き、クリープ、乾燥収縮などの耐久性の面から鉄筋の間隔などの適用範囲に限界があった。しかしながら、本工法では、接合面がエポキシ系接着剤で密着されると同時に、接合鉄筋にトルク管理された緊張力が導入されるので、目開きを抑制する効果が期待できる。

本研究では、耐久性に影響する上記因子の内、水の浸入などに直接関わる接合面の目開きに着目した。実物大の試験体（合計 19 体）を用いて、一般の規定より広い接合鉄筋間隔（400~1350mm）、鉄筋量の場合に関して曲げ実験を行い、目開きと導入緊張力、ならびに接合鉄筋の設計応力度との関係を検討した結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体

(1) 試験のパラメーター

試験体の一覧を表-1に示す。パラメーターは、接合鉄筋の量と間隔、補強鉄筋の量と配置および一体型との比較である。



写真-1 機械式継手によるジョイント

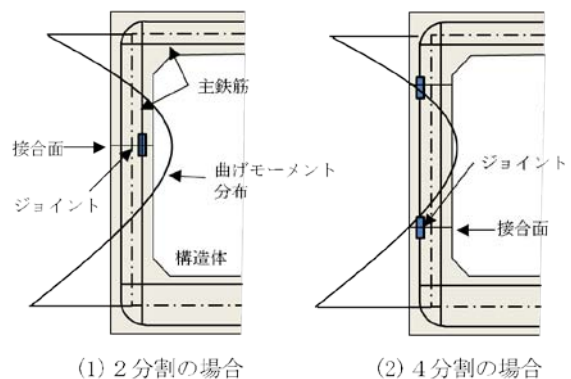


図-1 ボックスカルバートへの適用

*1 前橋工科大学 社会環境工学科教授 博士（工学）（正会員）

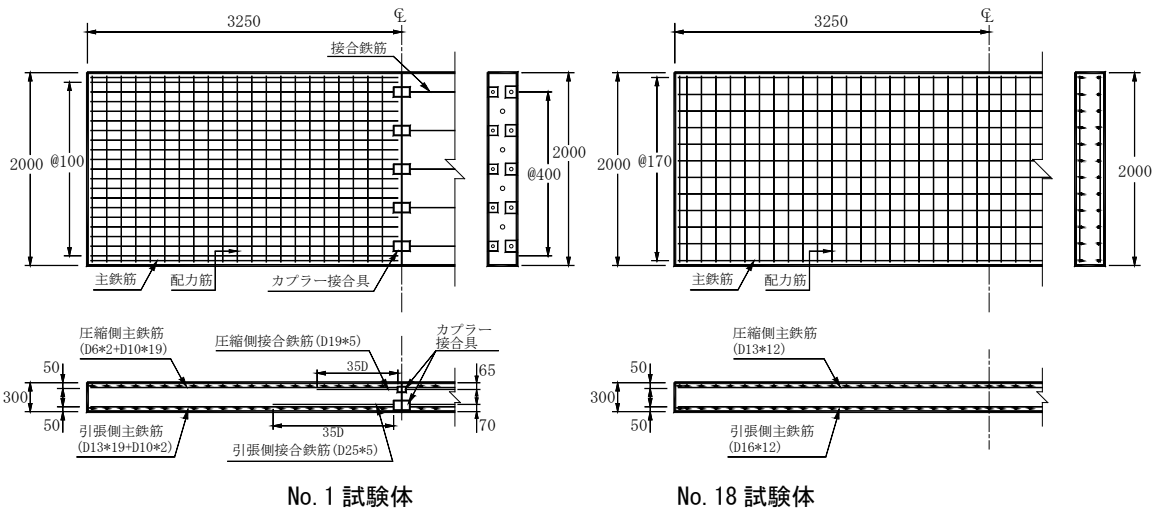
*2 カイエー共和コンクリート（株）技術部製品開発室長（正会員）

*3 カイエー共和コンクリート（株）常務取締役技術部長 博士（工学）（正会員）

*4 前橋工科大学 学長 工博（正会員）

表－1 試験体の諸元

試験体番号	接合鉄筋の配置					主鉄筋の配置					接合鉄筋1本あたりの補強鉄筋の本数
	引張側	圧縮側	間隔	引張側断面面積	引張鉄筋比	引張側	圧縮側	間隔	引張側断面面積	引張鉄筋比	
	鉄筋径*本数	鉄筋径*本数	(mm)	(mm ²)	%	鉄筋径*本数	鉄筋径*本数	(mm)	(mm ²)	%	
No. 1	D25*5	D19*5	400	2534	0.55	D13*19+D10*2	D6*2+D10*19		2550	0.51	4本
No. 2	D32*4	D25*4	500+600	3177	0.69	D13*20+D16*1	D10*16+D13*5	100	2733	0.55	5本
No. 3	D25*5	D19*5	375	2534	0.55	D13*16+D16*1	D10*16+D13*1		2226	0.45	3本
No. 4	D25*4	D19*4	500	2027	0.44	D13*17	D6*2+D10*15	125	2154	0.43	4本
No. 5	D32*3	D25*3	625	2383	0.52	D13*17	D10*14+D13*2+D16*1		2154	0.43	5本
No. 6	D19*5	D19*5	405	1433	0.31	D10*10+D13*5	D10*10+D13*5	135	1347	0.27	3本
No. 7	D32*3	D25*3	675	2383	0.52	D13*12+D19*3	D10*12+D16*3		2380	0.48	5本
No. 8	D32*3	D25*3	688+860	2383	0.52	D16*12	D13*12	170	2383	0.48	4本
No. 9	D32*3	D25*3	688	2383	0.52	D16*12	D13*12		2383	0.48	4本
No. 10	D25*4	D16*4	600+400	2027	0.44	D13*2+D16*9	D10*10+D13*1		2041	0.41	3本
No. 11	D32*3	D25*3	800	2383	0.52	D16*11	D13*11	200	2185	0.44	4本
No. 12	D32*2	D25*2	1000	1588	0.35	D13*9+D16*2	D10*7+D13*4		1538	0.31	5本
No. 13	D38*2	D25*2	1050	2280	0.50	D16*8+D19*2	D10*8+D16*2	210	2162	0.43	5本
No. 14	D38*2	D25*2	1000	2280	0.50	D16*8+D19*2	D10*3+D13*6	250	2162	0.43	4本
No. 15	D32*1+D25*2	D25*1+D19*2	675	1808	0.39	D16*6+D19*2	D13*8		1765	0.35	3本
No. 16	D38*1+D25*2	D25*1+D19*2	675	2153	0.47	D16*6+D19*2	D13*8	270	1765	0.35	3本
No. 17	D32*2	D19*2	1350	1588	0.35	D16*8	D10*8		1589	0.32	4本
No. 18	D16*12	D13*12	170	2383	0.52	一体型試験体のため補強鉄筋なし					
No. 19	D19*8	D13*8	270	2292	0.50	一体型試験体のため補強鉄筋なし					



図－2 試験体の形状・寸法と配筋

(2) 試験体の形状・寸法と配筋

試験体の形状・寸法と配筋の例を図－2に示す。試験体は、長さ 6500mm、幅 2000mm、および厚さ 300mm の実物大試験体（合計 19 体）で、No.1～17 試験体は中央に接合部を有するプレキャスト部材接合型（以下、接合型と呼ぶ）である。また No.18, 19 試験体は、比較のための鉄筋コンクリート一体型（以下、一体型と呼ぶ）である。接合鉄筋の引張鉄筋比は 0.31～0.69%，幅方向の間隔は 375～1350mm とした。また、プレキャスト部材中に配置した主鉄筋は、引張鉄筋比 0.31～0.55%，間隔は 100～270mm とした。したがって、接合鉄筋は主鉄筋より直径が大きく疎に配置され、かつ主鉄筋量よりも接合

表－2 鉄筋の引張試験結果

鉄筋径	材質	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
D10	SD295A	340	520	201
D13		350	513	208
D16		355	532	214
D19		390	548	218
D22		370	538	192
D25		355	530	205
D29		345	535	215
D32		350	536	215
D38		335	526	197

鉄筋量が多い。なお接合鉄筋の定着長は 35D（D：鉄筋の直径）であり、この部分は接合鉄筋と主鉄筋が重なって配置されている。

(3) 使用材料

鉄筋は異形棒鋼 SD295A を用いた。引張試験結果を表-2 に示す。コンクリートは、粗骨材の最大寸法を 20mm とし、高炉スラグを用い、膨張材 (CSA #20) を添加した。表-3 にコンクリートの配合を示す。実験時の圧縮強度は平均で 51.5N/mm^2 であった。

(4) 接合鉄筋の初期導入力

接合部はエポキシ樹脂で接着した後、接合鉄筋には、ジョイント部でトルク管理による初期軸力を導入した。施工管理上の導入軸力を表-4 に示す。

2.2 荷重方法

荷重方法は、等曲げモーメント区間 2000mm、支点間 6000mm の 2 点集中荷重とした (図-2)。支点部分は左右両方ともローラー支持、加力側はピン支承とした。本試験体は、曲げスパンが長く試験体の自重による曲げモーメントが結果に影響を与えるため、本荷重の前に、下方からジャッキを用いて上方に、接合部の自重による曲げモーメントがゼロとなる荷重 (計算値) を荷重し、この時点から荷重ゼロとして荷重を開始した。

1 次荷重として、引張鉄筋の降伏前の挙動を把握するため、接合鉄筋の引張応力度が 150N/mm^2 となる荷重 (計算値) まで荷重し、その後 2 次荷重では接合鉄筋の引張応力度が 250N/mm^2 となる荷重 (計算値) まで荷重し 3 回繰り返した後、破壊まで荷重を進めた。各荷重値は表-7 に後述する。荷重は全て荷重制御で行った。

3. 実験結果と考察

3.1 破壊状況

試験体中央部分の破壊状況について、代表例を図-3 に示す。鉄筋コンクリートの一般的な曲げ破壊形式である No.18~19 試験体を除き、接合型は大きく以下の 3 ケースに分類できる。いずれも接合鉄筋がある区間では鉄筋量が多いので、接合部以外の場所では破壊しなかった。

(1) 等曲げ区間内での曲げ破壊

の定着長が等曲げ区間内に収まっていて、鉄筋のカットオフ点周辺で曲げ破壊している。引張側接合鉄筋が D25 以下の場合で、No.1, 3, 4, 6, 10 試験体が該当する。

(2) せん断スパンでの曲げ破壊

No.2, 9, 11 試験体で示される破壊形態で、引張側接合鉄筋の定着長が等曲げ区間外のせん断スパン内で、接合鉄筋のカットオフ点周辺で曲げ破壊している。引張側接合鉄筋が D32 でかつ本数が 3 または 4 本の場合で、No.2, 5, 7, 8, 9, 11, 15, 16 試験体が該当する。

(3) 接合部での曲げ破壊

No.17 試験体で代表される破壊形態で、引張側接合鉄筋の定着長が等曲げ区間外に出ている場合で、接合部の圧縮側のコンクリート圧壊で破壊している。引張側接合

表-3 コンクリートの配合と強度

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプフロー (cm)	空気量 (%)	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	圧縮強度 (N/mm^2)
20	65	4.5	46.0	46.9	51.5
単位量 (kg/m^3)					
水	セメント	高炉スラグ	細骨材	粗骨材	膨張材
175	380	120	759	859	30

表-4 接合鉄筋の初期導入力

接合鉄筋	D16	D19	D25	D32	D38
鉄筋の断面積 (mm^2)	199	287	507	794	1140
トルク ($\text{N}\cdot\text{m}$)	250	300	550	700	1100
トルク係数	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
ジョイント呼び径 (mm)	42	36	45	67	85
導入軸力 (kN)	29.8	41.7	61.1	52.2	64.7

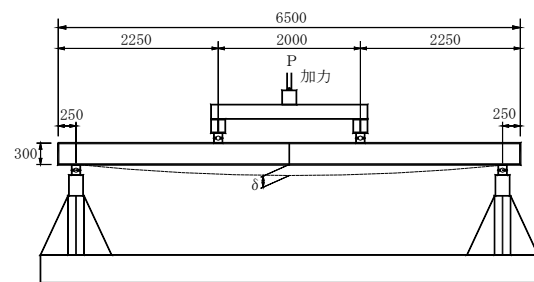


図-2 荷重方法

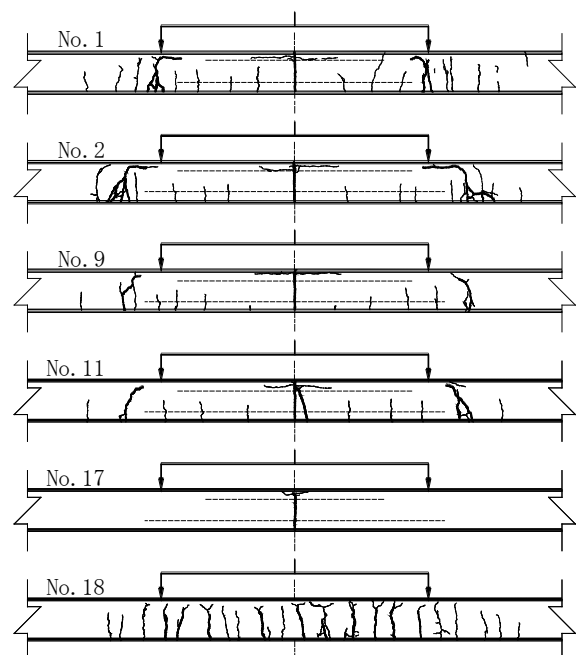


図-3 破壊状況 (中央部分)

鉄筋が D32 または D38 でかつ本数が 2 本の場合で、No.12, 13, 14, 17 試験体がこれに該当する。これらは、2000mm の試験体幅に対して 2 本だけの接合鉄筋の配置であり、鉄筋間隔が 1000mm を超えるため局所的な破壊が発生しやすいものと考えられる。

上記(1), (2)の破壊形態は、破壊位置が違うだけで共に

一般的な曲げ破壊であり、接合部の不具合は見られない。それに対し(3)の破壊形態は破壊が接合部に集中しており、この部分が弱点になりやすいといえる。

3.2 破壊荷重

破壊荷重の一覧を表-5に示す。表中に実験値と計算値の比較を示した。計算値は材料試験結果を用い、土木学会コンクリート標準示方書⁶⁾にしたがって複鉄筋断面で曲げ耐力を算出し荷重に換算した。せん断区間で破壊した試験体は、破壊位置(支配的な曲げひび割れの発生位置)から支点までの距離を計測し、せん断スパンとの比で計算値を補正している。実測値の計算値に対する比は全体で0.94~1.26だが、破壊形態によって差がある。

(1) 等曲げ区間で破壊した試験体

実測値の計算値に対する比は1.06~1.28、平均1.17であり、いくつかの試験体で実測値が大きい傾向である。この原因は明らかでないが、一つの理由として加力側の支点がピン支承のため破壊時に摩擦力が働き、等曲げ区間に圧縮力が作用したことが考えられる。

(2) せん断スパンで破壊した試験体

実測値の計算値に対する比は0.94~1.14、平均1.03であり全般に実測値は計算値に近い結果である。

(3) 接合部で破壊した試験体

実測値の計算値に対する比は1.17~1.25、平均1.22であり、全般に実測値が大きい傾向である。この原因としては、接合面では断面の大きいカプラーが引張・圧縮側とも配置されていることや、圧縮側主鉄筋の影響などが考えられるが、今後さらに検討が必要である。

3.3 荷重と変位の関係

載荷荷重(P)と中央位置での下方向変位(δ)の関係を図-4に示す。ここでは、前述した3つの破壊形態から代表例を選び、通常の一体型試験体(No.19)を加えてそれぞれ示した。なお、接合型試験体においては、安全のため破壊前に中央の変位計を取り外したので、約80mm以上の変位は測定されていない。

等曲げ区間またはせん断区間で破壊した試験体(図ではNo.1, 2, 10, 11)は、初期剛性が低い傾向があるが、それ以外は、鉄筋コンクリートの試験体(No.19)と同様に一般の鉄筋コンクリート部材の曲げ破壊の変位性状を示している。また、接合鉄筋の間隔が広い場合(600あるいは800mm)の試験体(No.10, No.11)であっても、荷重と変位の関係には特筆すべき影響はない。一方、接合鉄筋の間隔が非常に広く(1000mm以上)、接合部破壊が発生した試験体(No.17)は、図-3に示したように圧縮側コンクリートの破壊で終局に至っているが、他の試験体と同様に、荷重が次第に増加しながら変位もまた増加している。圧縮側のカプラーや主鉄筋がコンクリートとともに抵抗しているものと推察される。

表-5 破壊性状と耐力の一覧

試験体番号	破壊位置	破壊位置から支点までの距離(mm)	実測値(kN)	計算値(kN)	実測値/計算値
No.1	等曲げ区間	—	276.3	239.8	1.15
No.2	せん断区間	1650	364.7	318.2	1.15
No.3	等曲げ区間	—	253.5	211.2	1.20
No.4	等曲げ区間	—	239.9	202.7	1.18
No.5	せん断区間	1600	277.7	257.4	1.08
No.6	等曲げ区間	—	171.5	138.6	1.24
No.7	せん断区間	1750	261.0	265.1	0.98
No.8	せん断区間	1800	242.8	258.5	0.94
No.9	せん断区間	1700	272.2	269.7	1.01
No.10	等曲げ区間	—	243.2	190.0	1.28
No.11	せん断区間	1750	252.2	244.2	1.03
No.12	接合面	—	183.0	148.0	1.24
No.13	接合面	—	221.7	187.9	1.18
No.14	接合面	—	220.7	187.9	1.17
No.15	せん断区間	1750	208.2	194.2	1.07
No.16	せん断区間	1500	230.1	225.6	1.02
No.17	接合面	—	172.9	136.7	1.26
No.18	等曲げ区間	—	247.2	232.6	1.06
No.19	等曲げ区間	—	253.5	233.7	1.08

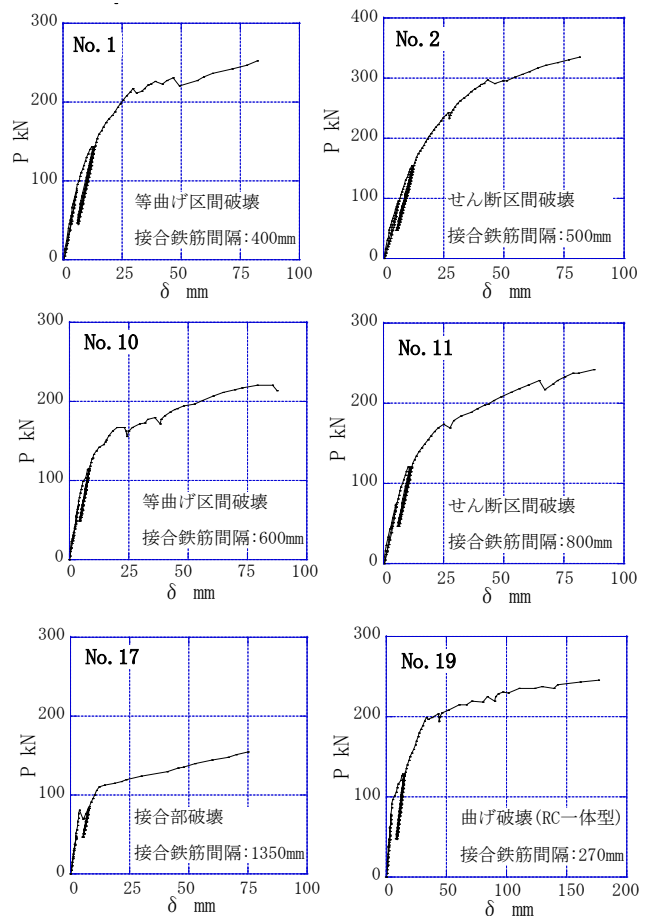


図-4 荷重と変位の関係

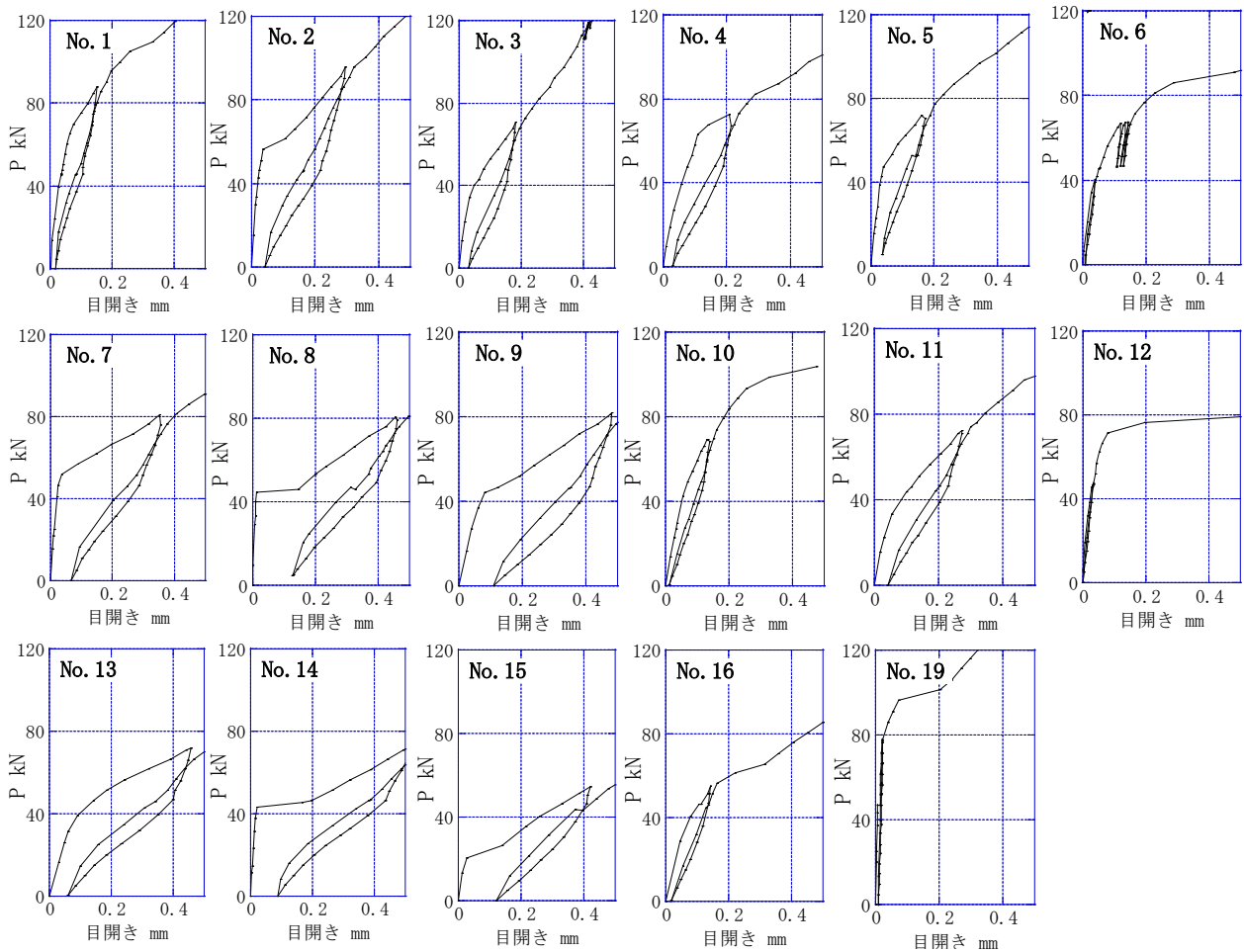


図-5 荷重と接合部の目開きの関係

3.4 荷重と目開きの関係

荷重と目開きの関係を図-5に示す。目開きとは接合部の下面中央における、プレキャストブロック接合面相互の水平変位で π 型変位計を用いて測定した値である。なおNo.17試験体は測定不良のためデータがない。また一体型の試験体は接合部が存在しないので、No.19試験体における、等曲げ区間での測定されたひび割れ幅のうち最大の値を示した。

接合型の試験体における荷重と目開きの関係は、大きく2種類に分かれた。接合鉄筋量が小さく1次載荷荷重が低いNo.6, 12試験体は1次載荷による残留変位がほとんどゼロであり、2次載荷時の初期剛性の低下がないのに対し、その他の試験体は残留変位が発生し、初期剛性が低下している。この理由は、接合面のエポキシ系樹脂接着剤が引張に抵抗し、一次載荷荷重がある値を超えたとき破壊し初期剛性を失うためと考えられる。破壊形態や配筋詳細と目開きの関係は明らかではなかった。一体型のNo.19試験体のひび割れ幅は非常に小さい値であり、接合部の目開きは一体型に比較して大きい結果であった。接合型は、主鉄筋と接合鉄筋の双方が存在し補強筋量が多いので、曲げひび割れが少なく、目開きが接合面に集

表-6 初期導入力による応力

試験体番号	σ_n	P_0	試験体番号	σ_n	P_0
	(N/mm ²)	(kN)		(N/mm ²)	(kN)
No. 1	0.86	25.8	No. 10	0.61	18.3
No. 2	0.76	22.8	No. 11	0.57	17.1
No. 3	0.86	25.8	No. 12	0.38	11.4
No. 4	0.69	20.7	No. 13	0.42	12.6
No. 5	0.57	17.1	No. 14	0.42	12.6
No. 6	0.69	20.7	No. 15	0.53	15.9
No. 7	0.57	17.1	No. 16	0.55	16.5
No. 8	0.57	17.1	No. 17	0.31	9.3
No. 9	0.57	17.1			

中する傾向がある。

3.5 初期導入力と目開きの関係

図-5において、No.2, 7, 8試験体などのように2次載荷時のごく初期載荷時(荷重で10~20kN程度)には、初期剛性に近い性状が見られる試験体がある。これには施工時のトルク管理によるプレストレスの導入が寄与している可能性がある。そこで、表-4で示した初期導入力を用いて、接合面全断面が有効であると仮定し、接合面に導入される初期プレストレス(σ_n)を算出し、曲げにより下縁の初期プレスとレスが相殺される荷重(P_0)を算出した(表-6)。 P_0 は9.3~25.8kNの範囲であり、前述した図-5の結果を裏付けている。

3.6 鉄筋応力と目開きの関係

各試験体において、曲げモーメントによる接合鉄筋の引張応力が、150、100、及び85N/mm²となる荷重を断面計算により算出し(表-7)、その荷重と実験値における目開き量との関係を図-6に示した。接合鉄筋間隔との明確な関係は認められなかった。耐久性の指標となる0.2mmの目開き量に対して、鉄筋応力150N/mm²の場合では10体が、鉄筋応力100N/mm²の場合では1体が超える値だが、鉄筋応力85N/mm²の場合では全試験体が0.2mm以下であった。したがって、適用する部位に発生する応力を考慮すれば、接合鉄筋の配筋間隔を本実験の範囲まで適用できる可能性がある。

4. まとめ

機械式継手によるプレキャスト鉄筋コンクリート部材接合部に関し、接合鉄筋の間隔を現行より広げた場合の実大曲げ実験を実施した。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 接合鉄筋の間隔が800mmまでは接合鉄筋のカットオフ点より外で曲げ引張破壊するが、それより広い間隔の場合は接合部におけるコンクリートの圧縮破壊となる。破壊荷重はいずれも一般的なコンクリートの曲げ耐力式で算出可能である。
- (2) 荷重と変位の関係は、接合鉄筋の間隔が800mmまでの場合、初期剛性が低い傾向があるが一般の鉄筋コンクリート部材と同様の性状を示す。
- (3) 接合面に施したエポキシ系樹脂接着剤の影響により、低い荷重までは初期剛性を保持する。
- (4) 接合鉄筋の応力度で85N/mm²までは、耐久性上の指標である0.2mm以下の目開き量だった。

謝辞

本研究の実施に際しては、群馬大学大学院に在籍中であつた中田学氏(太平洋マテリアル(株))に、大変ご助力を頂きました。厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 森田 俊哉, 萩原 淳弘, 飯塚 豊, 辻 幸和: 鑄鉄製接合具で接合したプレキャスト RC はりの曲げ・せん断性状, コンクリート工学年次論文集, 第30巻・第2号, pp601~606, 2008.7
- 2) 森田 俊哉, 辻 幸和, 飯塚 豊, 松山 哲也: ダブルループ鉄筋継手を用いた RC はりの力学的性状, コンクリート工学年次論文集, 第28巻・第2号, pp607~612, 2006.7
- 3) 辻 幸和, 森田 俊哉, 萩原 健太郎: 鑄鉄製カップラー接合具で接合したプレキャスト RC 部材の水

表-7 接合鉄筋各応力度における荷重計算値

試験体番号	荷重(kN)			
	85N/mm ²	100N/mm ²	150N/mm ²	250N/mm ²
No.1	44.0	51.8	77.7	129.5
No.2	53.3	62.8	94.1	156.9
No.3	44.0	51.8	77.7	129.5
No.4	35.6	41.9	62.9	104.8
No.5	40.6	47.8	71.6	119.4
No.6	26.1	30.7	46.1	76.9
No.7	40.6	47.8	71.6	119.4
No.8	40.6	47.8	71.6	119.4
No.9	40.6	47.8	71.6	119.4
No.10	35.6	41.9	62.9	104.8
No.11	40.6	47.8	71.6	119.4
No.12	27.6	32.4	48.7	81.1
No.13	38.0	44.7	67.1	111.9
No.14	38.0	44.7	67.1	111.9
No.15	31.7	37.3	55.9	93.2
No.16	37.2	43.7	65.6	109.3
No.17	27.6	32.4	48.7	81.1
No.18	45.4	53.4	80.0	133.4
No.19	43.7	51.4	77.1	128.5

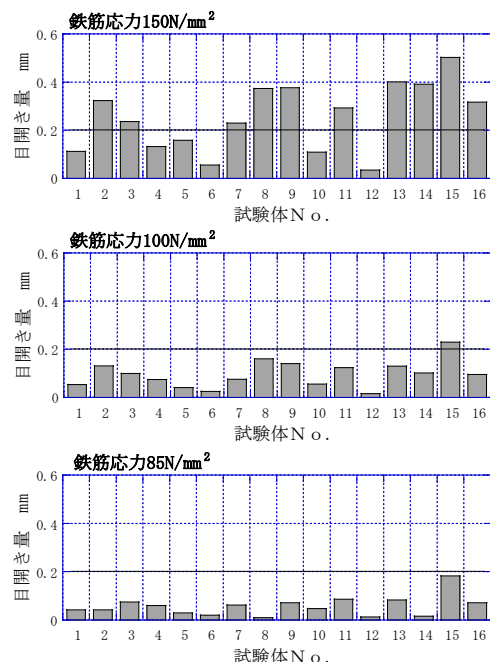


図-6 接合鉄筋の応力と目開きの関係

密性状, 土木学会論文集, No.648/V-47, pp239~242, 2000.10

- 4) 辻 幸和, 萩原 健太郎, 森田 俊哉: 鑄鉄製カップラー接合具で接合したプレキャスト RC はりの曲げ・せん断性状, セメント・コンクリート論文集, No.55, pp315~322, 2001.6
- 5) (財)土研センター: 建設技術審査証明報告書(建設審査第0435号)プレキャスト RC 部材接合材料「KTジョイント」, 2011.3
- 6) 土木学会: 2007年制定コンクリート標準示方書, pp128~130, 2007.12