

# [106] プレキャスト部材の接合目地部における鉄筋の重ね継手に 関する研究

小林 肇 (日本道路公団 柏工事務所)  
 伊藤 博 (計画エンジニアリング 設計部)  
 正会員 近藤 順 (オリエンタルコンクリート 技術部)  
 正会員 ○ 横田 勉 (オリエンタルコンクリート東京支店)

## 1. まえがき

近年、施工現場の諸条件により、構造物の急速施工が要求され、構造物の一部をプレキャスト化し、現地で接合・一体化する場合がしばしばある。本研究は、このプレキャスト部材の接合に関する一方法について行ったものである。その接合方法は、鉄筋を突き出したプレキャスト部材どうし、あるいはプレキャスト部材と現場打ち部材、を後打ちコンクリートを介して一体化するものである。この場合、後打ちコンクリート部の鉄筋継手としては、施工上、重ね継手とすることが望ましいが、鉄筋どうしを複数本、同時に密着させることは非常に困難である。そこで図-1に示すように、所定の継手長をとったうえで、鉄筋どうしを水平に、ある間隔離した重ね継手(通常の上重ね継手を特別に「密着重ね継手」と呼び、これに対し当継手を仮に「定着重ね継手」と呼ぶことにする。以下、略称して密着重ね継手を「重ね継手」、定着重ね継手を「定着継手」と呼ぶ)を考えた。

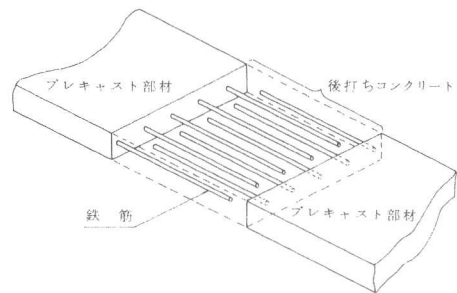


図-1 定着継手の構造

試験は表-2に示すように、継手のない基本試験体を含め、重ね継手、定着継手を一断面に集中させたRC梁試験体を製作し、静的載荷を中心に、各継手の比較を行ない、定着継手の実用上の問題等の検討を行った。

## 2. 試験体

(形状、寸法) 試験体は、30(高さ)×50(幅)×390cm(長さ)の矩形断面梁で、支間中央に各種重ね継手を有した鉄筋コンクリートである。配筋の1例を図-2に示す。

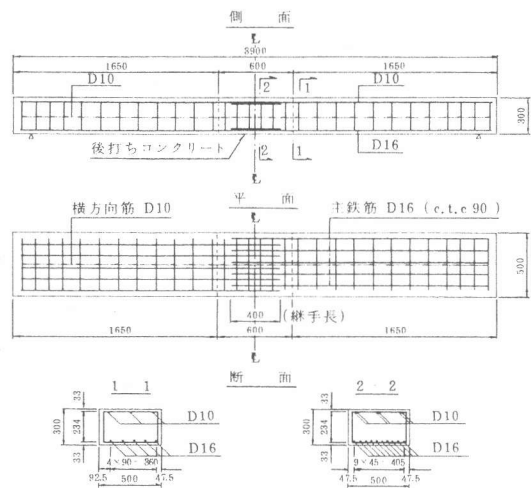


図-2 試験体の配筋例 (B40-J-240)

(種類) 定着継手の諸性能に係わる要素として、継手部コンクリート圧縮強度(付着強度)、継手長、鉄筋径、鉄筋間隔、補強筋の配置(スターラップ、横方向鉄筋)を考えた。試験体は、これらの要素と打継目地の有無を組合せたRC梁で、その種類を表-2に示す14種とした。ただし、主鉄筋はD16に統一し、横方向鉄筋は主鉄筋量の1/3を配置した。

尚、試験は表-2に示すように、シリーズIとシリーズIIに分けて行った。

(使用材料) コンクリートの設計基準強度はプレキャスト部で、 $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$ 、重ね継手のある後打ちコンクリート部では、 $\sigma_{ck} = 240, 300, 400 \text{ kg/cm}^2$ の3種類とした。尚、セメントは全て早強ポルトランドセメントを使用し、試験は材令約2週で行った。コンクリートの示方配合を表-1に、性質を表-3に示す。

表-1 コンクリートの配合

設計基準強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	スランプ (cm)	空気量 (%)	粗骨材 最大 寸法 (mm)	W/C (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				
						W	C	S	G	混和剤*
240	12±2.5	2.0±1	20	62	55	160	258	1069	879	7.87
300	12±2.5	2.0±1	20	56	55	160	284	1034	869	8.66
400	12±2.5	2.0±1	20	49	55	160	327	1030	853	9.97

\*減水剤

鉄筋は、JIS G 3112 に規定する SD 30 を使用した。その強度は、降伏点  $\sigma_y = 38 \text{ kg/mm}^2$ 、引張強さ  $\sigma_u = 57 \text{ kg/mm}^2$  であった。

表-2 試験体と試験結果の一覧

シリーズ	名称	試験体				ひびわれ幅 ( $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$ 時)			高応力繰返し耐力性能		破壊耐力		最終 変形 N( $\delta$ )	破壊性状
		継手構造	継手長 (cm)	打継 目地 の有無	継手部 コンクリ ートの $\sigma_c$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	継手部	打継 目地部	その他	$\delta_1/\delta_{30}$	相対 比較	終局 モー メント (t·m)	試験値 計算値		
I 1	NORM-N-240	—	—	×	242	—	—	0.14	89	100	12.91	1.38	13	圧壊
II 2	NORM-J-240	—	—	○	248	—	0.18	0.14	88	99	13.21	1.41	13	—
I 3	L 40-N-240	重ね継手	40	×	242	0.07	—	0.13	88	99	11.35	1.21	4	付着切れ
I 4	L 40-J-240	—	40	○	242	0.05	0.18	0.08	87	98	10.39	1.11	2	—
I 5	B 40-N-240	定着継手	40	×	242	—	—	0.13	83	93	11.53	1.23	3	—
I 6	B 40-J-240	—	40	○	242	0.05	0.15	0.15	90	101	11.89	1.27	6	—
I 7	B 60-J-240	—	60	○	283	0.05	0.14	0.11	88	99	12.17	1.30	9	—
II 8	B 40-J-300	—	40	○	314	0.04	0.16	0.10	86	97	12.67	1.35	7	—
II 9	B 60-J-300	—	60	○	314	0.04	0.18	0.09	87	98	13.16	1.40	10	圧壊
II 10	B 40-J-400	—	40	○	404	0.04	0.18	0.10	86	97	13.63	1.45	11	—
II 11	B 60-J-400	—	60	○	404	0.05	0.14	0.11	87	98	13.22	1.41	9	—
II 12	Bs 40-J-240	—	40	○	248	0.06	0.16	0.11	86	97	11.47	1.22	3	付着切れ
II 13	Bs 60-J-400	—	60	○	404	0.04	0.14	0.11	85	96	13.58	1.45	13	圧壊
I 14	Bw 40-J-240	—	40	○	283	0.05	0.19	0.04	82	92	13.45	1.39	13	—

\* 試験体名称の説明

記号「①-②-③」  
 ①: 継手構造  
 NORM = 継手無し  
 L ○ ○ = 重ね継手  
 B ○ ○ = 定着継手  
 Bs ○ ○ = スターラップ補強定着継手  
 Bw ○ ○ = 主筋間隔2倍の定着継手  
 ※ ○ ○ は鉄筋の継手長(cm)を指す。

②: 打継目地の有無  
 N = 打継目地なし  
 J = 打継目地あり

③: 継手部のコンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$  ( $\text{kg/cm}^2$ ) を示す。

### 3 試験方法

試験体の荷重は図-3に示すように、2点集中荷重を作用させ、継手部に一樣な曲げモーメントを生じさせるものとする。荷重はロードセルにて管理し、支間中央のたわみを中心に、ひびわれ幅、打継目地の開き等を測定し、ひびわれ性状、破壊性状を観察する。

(高応力繰返し耐力性能試験) ここでは、土木学会「鉄筋継手評価指針(案)」<sup>1)</sup>に準拠し、高応力繰返し荷重に対する継手性能を調査する。同評価指針では、継手自身の引張試験により、高応力繰返し荷重に対する伸び剛性の低下を調べ、継手性能の評価の1つとしている。本試験では、定着継手の構造から直接引張試験を行うことが困難であるので、曲げ試験でのたわみを測定し、曲げ剛性の低下を調査することとする。

試験は、鉄筋応力が計算上で規格降伏点の95% ( $\sigma_s = 28.5 \text{ kg/mm}^2$ ) となる荷重を上限、0を下限として、30回静的に片振りで荷重し、支間中央のたわみを測定する。

(破壊試験) 高応力繰返し耐力性能試験後、引き続き破壊試験を行う。荷重は、以下のような手順で行う。まず、鉄筋の応力が計算上で降伏点 ( $\sigma_y = 38 \text{ kg/mm}^2$ ) となる荷重まで荷重し、その時の支間中央のたわみを  $1\delta$  とする。除荷した後、再度たわみが  $1\delta$  となる荷重を作用させ除荷する。以後、同様に  $2\delta$ ,  $3\delta$ , ……  $N\delta$  と各  $\delta$  について2回ずつ、破壊に至るまで繰返し荷重し、変形能力および破壊耐力を調査する。

### 4 結果および考察

(各測定結果) 各試験体の主要な試験結果を表-2に示す。また、支間中央での荷重～たわみ曲線の1例を、高応力繰返し耐力性能試験時と破壊試験時について、それぞれ図-4に示す。

表-3 コンクリートの性質

シリーズ	設計基準強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	試験前		試験後		標準養生 圧縮強度 $\sigma_{28}$ ( $\text{kg/cm}^2$ )			
		材令 (日)	圧縮 強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	弾性 係数 $\times 10^3$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	材令 (日)		圧縮 強度 ( $\text{kg/cm}^2$ )	弾性 係数 $\times 10^3$ ( $\text{kg/cm}^2$ )	
シリーズ I	プレキャスト	300	17	304	2.50	28	334	2.65	318
	後打ち部等	240	14	242	2.13	25	283	2.33	254
シリーズ II	プレキャスト	300	20	310	2.29	29	330	2.19	298
	後打ち部等	240	15	248	1.92	—	—	—	239
	後打ち部等	300	17	314	2.37	—	—	—	290
		400	21	404	2.94	—	—	—	397

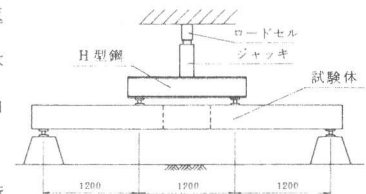


図-3 荷重方法

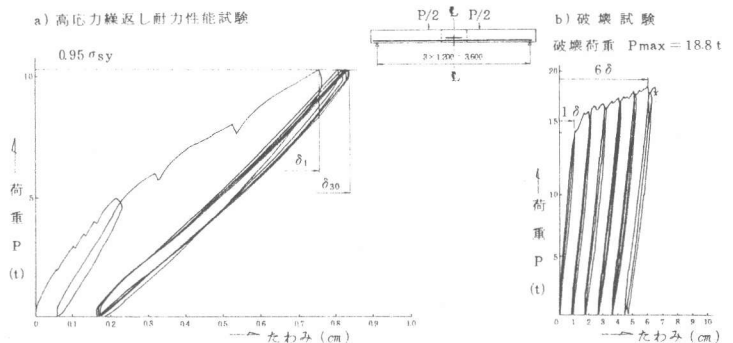


図-4 荷重～たわみ曲線 (B 40-J-240)

(ひびわれ性状) ここでは、設計荷重時 ( $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$  相当)、高応力繰返し耐力性能試験時、破壊試験時について、各々の特徴を示すに留める。

設計荷重時でのひびわれ性状は、主として、継手の有無、打継目地の有無により影響される。定着継手を有する試験体のひびわれは、重ね継手を有する試験体と同様に、継手部では断面の剛性が他の部分より大きい為、その成長はわずかで最大ひびわれ幅も  $0.04 \sim 0.06 \text{ mm}$  程度であった。一方、後打ちコンクリートを有する試験体では、打継目地の開きにより、付近にひびわれは発生せず、その開き幅は  $0.14 \sim 0.19 \text{ mm}$  となった。

高応力繰返し耐力性能試験時では、各試験体共、1回目の載荷によるひびわれは設計荷重時より3~5割程度成長し、ひびわれ幅は約2倍、ひびわれ間隔は1/2程度となった。繰返し荷重を30回作用させた後の、ひびわれは、さらに2~3cm成長したものが数本あるだけで、1回目の状態から大きな変化がなかった。尚、定着継手を有する試験体では、設計荷重時、高応力繰返し耐力性能試験時を通じ、基本試験体 (NORM-N-240)、重ね継手を有するものと同様に、全て曲げによるひびわれだけが生じ、他の異常な性状は認められなかった。

破壊試験時では、定着継手を有する試験体は、鉄筋の応力が降伏点を超え、たわみで  $2\delta \sim 3\delta$  となる荷重段階で、継手鉄筋の端部に曲げひびわれが急に発生し増大した。これに伴ない、一部の試験体の下面には若干の縦ひびわれ、もしくは斜めひびわれが認められた。このひびわれは、コンクリートと継手鉄筋のずれにより生じたものと思われ、その試験体は後述する「付着切れ」によって破壊した。尚、重ね継手を有する試験体も同様の傾向を示した。

(高応力繰返し耐力性能) 土木学会、「鉄筋継手評価指針(案)」に準拠すると、載荷1回目の支間中央のたわみを  $\delta_1$  とし、30回目のたわみを  $\delta_{30}$  とすれば、たわみの比  $\delta_1 / \delta_{30}$  が曲げ剛性の変化を示しており、その値が百分率で100%に近いほど、剛性の低下が少ないことになる。同指針では、この値が85%以上あれば、その継手は一般に高応力繰返し耐力性能を有するとしている。試験結果より、表-2に示すように定着継手を有する試験体は、10体の内8体までの  $\delta_1 / \delta_{30}$  が85%を超えている。また、継手のない基本試験体 (NORM-N-240) を鉄筋の母材の強度を有するものと考え、その  $\delta_1 / \delta_{30}$  の値を基準として100%とすれば、定着継手の各試験体の値は92~101%となり、全て85%を上まわった。尚、重ね継手を有する試験体は98~99%であった。

このことから、本試験で行なった継手長40cm以上、継手部コンクリート強度  $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$  以上の定着継手は、いずれも高応力繰返し耐力性能を有すると評価できる。

(破壊性状) 破壊の形態は大別して2通りである。それは主鉄筋が降伏し初め変形が増大し、鉄筋が破断する前に上縁のコンクリートが静かに圧縮破壊する「圧壊型」および、鉄筋継手部でコンクリートと鉄筋の付着が切れ、上縁コンクリートが圧壊に至る前に大きな音を発して急激に破壊する「付着切れ型」に分けられる。定着継手は圧壊型と付着切れ型の両方の破壊性状を示した。表-2に示すように、継手長が60cmで、継手部コンクリート強度が  $\sigma_{ck} = 300 \text{ kg/cm}^2$  の試験体 (B60-J-300) を含め、より継手部コンクリート強度の高いものは全て、基本試験体と同様に圧壊型となっているが、逆に、継手部コンクリート強度の低いもの、もしくは同じ強度でも継手長の短いものは付着切れ型となっている。但し、鉄筋間隔が2倍の定着継手を有する試験体 (Bw40-J-240) は継手長が40cm、継手部コンクリートが  $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$  にもかかわらず、圧壊型の破壊性状を示した。また、鉛直鉄筋(スターラップ)で補強した定着継手の試験体 (Bs40-J-240) は、付着切れ型となったが、補強しないものの付着切れ型に比べ、ゆるやかに破壊した。尚、破壊後の試験体底面のひびわれ性状の例を破壊形態別に、それぞれ図-5に示す。

(破壊耐力) 破壊耐力値は定着継手、重ね継手を有する試験体を含めて、いずれも鉄筋の降伏点で算出した破壊荷重の1.1~1.4倍の値を示している。重ね継手を鉄筋間隔が1 $\phi$ の定着継手と考え、鉄筋間隔と各結果

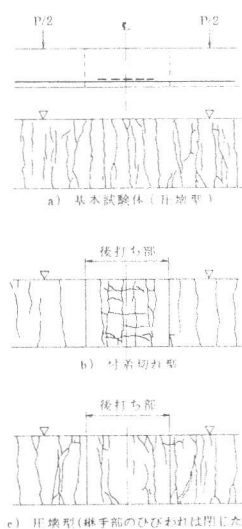


図-5 破壊後の試験体の底面

の関係を示した図-6より、破壊耐力値および最終変形N（すなわち、破壊に至るまでの繰返し回数で変形能力の目安となる値）は、鉄筋間隔が広い継手ほど、いずれも大きくなる傾向が認められる。以上から、定着継手は破壊耐力および変形能力とも重ね継手の成績を上まわることがわかった。これは、定着継手が重ね継手に比較し、継手鉄筋の周囲のコンクリートがより密実となり、付着力が増大したためと思われる。

また、図-7より、定着継手は継手部コンクリート強度を高くするほど、破壊耐力および変形能力は、ともに大きくなることわかる。

一方、高応力繰返し耐力性能では明確となっていない継手長の影響も、破壊荷重時では、圧壊したものは別として、継手長の長いものが、耐力値および変形能力に優れていることが認められる。（図-7参照）

これは、次の理由によるものと考えられる。池田は引張力を受ける重ね継手の鉄筋の引張応力と付着応力の関係を、表-4に示す式で表わしている<sup>2)</sup>。この式を用いると、弾性範囲内では、最大付着応力 $\tau_{max}$ は継手鉄筋端で生じ、継手長の長短（60cmと40cm）による差はわずかであることとなる。これが破壊荷重段階となると、付着応力が継手区間内でほぼ一様となるため、継手長の長いもののほど $\tau_{max}$ が小さくなり、付着耐力は増加すると考えられる。

### 5 まとめ

以上を一連の試験の範囲内でまとめると、次のことが言える。

- (1) 定着継手（定着重ね継手）の破壊時の耐力および変形能力は、重ね継手（密着重ね継手）に比べて同等もしくは、それ以上あった。
- (2) 今回のように、主鉄筋量の1/3の横方向筋を配置した場合、定着継手は土木学会「鉄筋継手評価指針（案）」<sup>1)</sup>により準拠し判定すると、高応力繰返し耐力性能を有する継手であると考えられる。
- (3) 継手部のコンクリート強度を高め、継手長を長くすることは、定着継手の性能を向上させるうえで、効果があり、また、施工上、継手部接合目地のみのコンクリート強度を高めることは、容易で実用的である。
- (4) コンクリート強度が高く、継手長の長い定着継手については、継手を一断面に集中させても、高応力耐力性能試験および、破壊試験に対して良好な結果が得られた。
- (5) 設計荷重相当（ $\sigma_s = 1800 \text{ kg/cm}^2$ ）時での打継目地のひびわれ幅は、定着継手を有するものを含め、継手の有無に関係なく0.2mm以下であった。

従って、定着継手をプレキャスト部材どうし等の接合目地に適用する場合、今回の試験のみで断定的なことを言うことはできないが、継手部のコンクリート強度を $\sigma_{ck} = 350 \text{ kg/cm}^2$ 以上とし、継手長をD16を使用した場合で60cm（径の37.5倍）以上とすれば、実構造物にも適用できるものと考えられる。

謝辞；本試験にあたり、種々の御指導を賜った、横浜国立大学池田尚治教授に感謝の意を表します。

- 参考文献
- 1) 土木学会；鉄筋継手指針，土木学会コンクリートライブラリー第49号，昭和57年2月
  - 2) 池田尚治；鉄筋コンクリート部材における鉄筋とコンクリートとの応力伝達に関する研究，土木学会論文報告集第307号，昭和56年3月

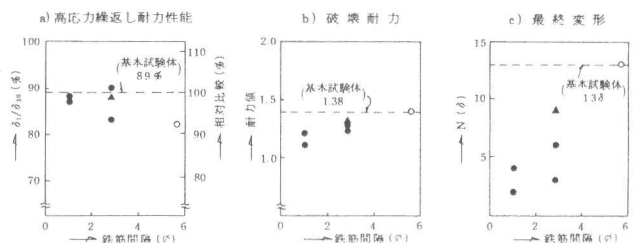


図-6 鉄筋間隔と各結果の関係 ( $\sigma_{ck} = 240 \text{ kg/cm}^2$ )

○ — 継手長 40cm  
△ — 継手長 60cm  
●, ▲ は付着切れ型破壊を示す。

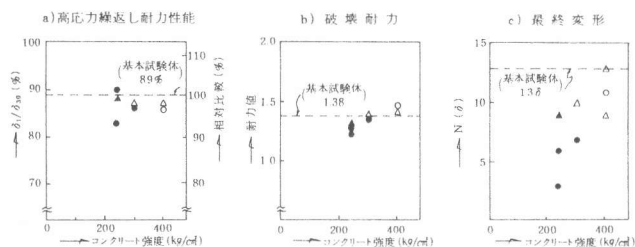


図-7 継手部コンクリート強度と各結果の関係

表-4<sup>2)</sup>

引張力 $P_0$ を受ける重ね継手部の鉄筋の引張応力度分布、および付着応力度分布はそれぞれ以下の式で表わされる。

$$\sigma_s = \frac{P_0}{2A_s} \left[ 1 - \frac{\sinh(\frac{\sqrt{2}}{\lambda} \lambda x)}{\sinh(\frac{\sqrt{2}}{\lambda} \lambda \ell / \sqrt{2})} \right]$$

$$\tau_0 = \frac{P_0}{u} \cdot \frac{\lambda \cosh(\frac{\sqrt{2}}{\lambda} \lambda x)}{\sqrt{2} \sinh(\lambda \ell / \sqrt{2})}$$

ここで

$$\lambda^2 = \frac{Gt}{A_s E_s b}$$

a, b, t: それぞれコンクリートの剛性率、鉄筋の中心間隔、剛性を考える厚さ  
 $A_s, E_s$ : それぞれ鉄筋の断面積、ヤング係数  
 $\ell, u$ : それぞれ鉄筋の継手長、周長  
 $P_0$ : 継手に作用する力

xは継手中央を原点とし、 $x = \pm 1/2 \ell$ にて、 $\tau_{max}$ となる。