

# 論文 主筋 D29を用いたプレキャストコンクリート梁用の重ね継手強度に関する研究

荒木 康隆<sup>\*1</sup>, カストロ・ホワン・ホセ<sup>\*2</sup>, 山口 輝彰<sup>\*3</sup>, 今井 弘<sup>\*4</sup>

**要旨:** プレキャストコンクリート梁用の重ね継手に対し主筋 D29 を用いて、両引き実験を行った。重ね長さ、シースの有無、グラウトの空隙率、横補強筋の強度と間隔、及び加力履歴が、継手の強度に及ぼす影響を調べるとともに、既提案の付着割裂強度式との適合性を調べた。

**キーワード:** 継手強度、重ね長さ、主筋間隔、グラウト、横補強筋、添筋、シーソ

## 1. はじめに

架構式プレキャストコンクリート (PCa) 工法では、PCa 部材の接合方法が重要である。構造性能と生産性を兼ね備えた工法として、主筋後挿入方式が提案されている。主筋後挿入方式では、主筋の代わりにシーソ管と添筋を配し、PCa 部材を打設し、現場で主筋をシーソ管内に挿入し、高強度のモルタルを注入する。本方式では、PCa 部材は、柱や梁の単材であるが、主筋と添筋の重ね継手の位置は地震時の応力の小さい各部材の中央部とすることができる。

本研究では、PCa 梁用の重ね継手に関し、シーソの有無、重ね長さ、主筋間隔、横補強筋の強度と間隔、グラウトの空隙率、及び加力履歴の影響を調べる。

## 2. 試験体の概要

試験体はシリーズ 1 と 2 に分類される。シリーズ 1 では重ね長さとシーソの有無が強度に与える影響を調べるために、表-1 に示すように 12 種類で各 2 体ずつ、計 24 体の試験体が製作された。

表-1 シリーズ 1 の試験体概要

表-2 シリーズ 2 の試験体概要

試験体名	シーソ	重ね長さ (mm)	試験体名	パラメータ	G空隙率	加力履歴	横補強筋		
SA - 10d	有	10d (290)	V10	グラウト空隙率	10%	単調加力	@100	SD295A	
SA - 15d		15d (435)	V20		20%				
SA - 20d		20d (580)	R - 0.6	加力履歴	0%	0.6 $\sigma_{yo}$			
SA - 25d		25d (725)	R - 0.7			0.7 $\sigma_{yo}$			
SA - 30d		30d (870)	H10 - 30	横補強筋の強度と間隔		単調加力			@100
SA - 35d		35d (1015)	H20 - 30						@200
SN - 10d	10d (290)	H10 - 35	@100				SD345		
SN - 15d	15d (435)	H15 - 35	@150				SD390		
SN - 20d	20d (580)	H10 - 40	@100						
SN - 25d	25d (725)	H15 - 40	@150						
SN - 30d	30d (870)	H10 - 78	@100	SD780					
SN - 35d	35d (1015)	H15 - 78	@150						

注) d : 添筋 (主筋) 径

注)  $\sigma_{yo}$  : 規格降伏強度

- \*1 筑波大学大学院工学研究科 (正会員)
- \*2 株木建設 (株) 技術研究所、主任研究員、工博 (正会員)
- \*3 株木建設 (株) 技術研究所、主任研究員 (正会員)
- \*4 筑波大学構造工学系、助教授、工博 (正会員)

主筋間隔の影響については、既発表の実験結果 [1] を引用して本実験結果と比較し検討する。シリーズ 2 では、グラウトの空隙率、加力履歴、及び横補強筋の強度と間隔が継手強度に与える影響を調べるため、表-2 に示すように 12 種類各 2 体ずつ計 24 体の試験体が製作された。

試験体の形状を図-1 に示す。試験体は実際の PCa 梁を想定し、梁幅は 510mm、梁背は 600mm、かぶり厚さは 40mm、主筋の中心間隔は 120mm である。比較のため引用されている試験体 [1] では主筋の中心間隔が 100mm である。シリーズ 2 では、重ね長さは一定の  $20d$  [ $d$ : 添筋 (主筋) 径] とした。主筋と添筋は D29 (SD490) のネジ節鉄筋で、横補強筋は D10、シース管の内径は 47mm、外径は 51mm (山高さ 2mm) である。

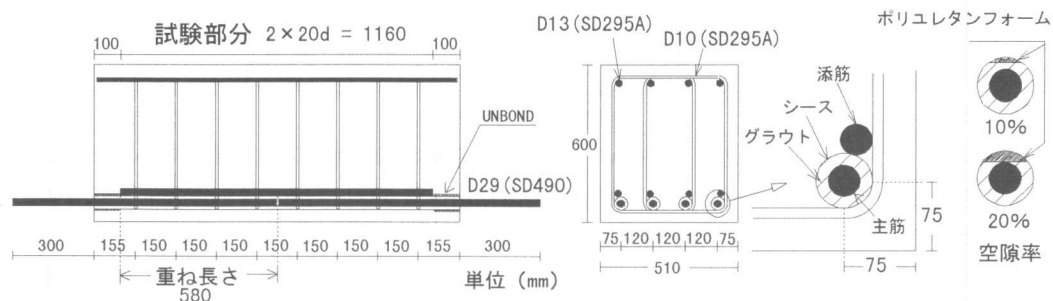


図-1 試験体図 (シリーズ 2)

試験体の製作では、シースの両端より 2 本の主筋をシースの中央で向かい合うように挿入し、シースの片側をゴムキャップでふさいだ後、シースを鉛直にして上から高強度モルタルを注入した。この際、試験体 V10 と V20 に使用するものには、シース内にあらかじめポリウレタンフォーム材を接着しておき、グラウトの体積にして 10% と 20% の空隙を設けた。次にこれらを水平にして横補強筋と添筋と共に配筋しコンクリートを打設した。なおコンクリートとグラウトの設計圧縮強度は、それぞれ  $300\text{kgf/cm}^2$  と  $600\text{kgf/cm}^2$  である。材料試験結果を表-3、4、及び表-5 に示す。表-4 に示す D29 - A は空隙のある試験体の主筋のみに用い、D29 - B はその他の試験体の主筋に用いた。

表-3 コンクリートの強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

試験体名	4 週		実験日	
	圧縮	圧縮	圧縮	割裂
SA-10d~25d, SN-10d~25d	352	354	27.5	
SA-30d~35d, SN-30d~35d	326	340	25.6	
V10, V20, H10-30 H20-30, H10-35, H15-35	353	380	25.5	
R-0.6, R-0.7, H10-40 H15-40, H10-78, H15-78	274	313	19.2	

表-4 鉄筋の特性 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

鉄筋径	規格	ヤング率 ( $\times 10^6$ )	降伏強度 $\sigma_y$
D10	SD295A	1.91	3720
D10	SD345	1.92	3918
D10	SD390	1.81	4536
D10	SD780	2.15	8835
D13	SD295A	1.90	3831
D29 - A	SD490	2.01	5312
D29 - B	SD490	2.05	5107
D32	SD390	1.93	4020

表-5 グラウトの圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )

材齢	7 日	28 日	36 日
全試験体	627	780	814

### 3. 実験方法

加力方法は、図-2に示すように下端筋を上にして両側より8個の油圧ジャッキを連動させて各主筋に等しい引張力を与える両引き加力である。荷重は、加力しているジャッキと同圧力のジャッキにロードセルを取り付け測定した。ジャッキの加力点は試験体端面より870mm以上離れており、また最終段階での試験体中央部のむくりも約0.35mmと小さかったので、むくりによる影響は無視できると考えられる。また変形については、両側のネジ筋鉄筋にゴムリングを介してナットで固定し、2本の主筋の両端の変形量を測定治具(変位計 CDP:1/500mm)を用いてそれぞれ2ヶ所計測し、外挿補間により鉄筋位置での変形量を算出した。さらに、測定治具の固定位置からコンクリート端面までの鉄筋の変形量(抜け出し量)を計測した。

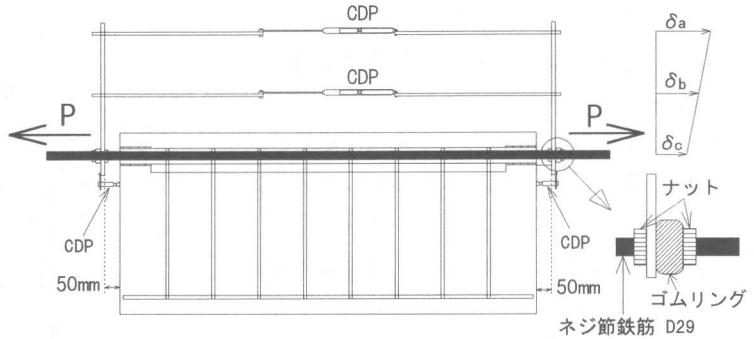


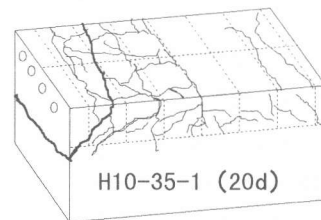
図-2 加力方法

### 4. 実験結果

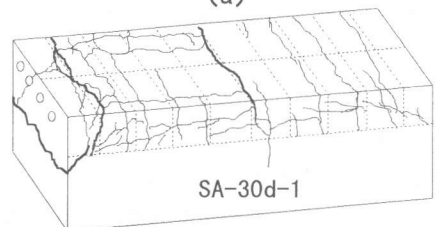
継手強度を主筋の引張応力、又は付着応力で表示する。既往の付着割裂強度算定式である藤井・森田式 [2]、角式 [3]、及び重ね継手の強度算定式である Orangun-Jirsa-Breen 式 [4] による計算式と実験値を比較した。計算式で鉄筋径、鉄筋間をあきを用いる際、シースをういた試験体においても添筋に関する数値を用いた。これは、上述した実験式において、シース周りの付着強度は添筋周りより小さくなるが、付着強度に鉄筋径と周長をかけ合わせた付着力については添筋周りの方が小さくなり、この位置で付着破壊が先に起こったと考えられるためである。

#### 4.1 破壊経過

シースをういた試験体では、主筋、シース、グラウトは一体として挙動した。典型的なひび割れ状況を図-3に示す。図-3 (a) は重ね長さ 25d 以下の試験体の典型的なひび割れ状況を表し、図-3 (b) は重ね長さ 30d 以上の試験体のものを表している。この図から、鉄筋降伏が起こった図-3 (b) においては、添筋も降伏したため中央部のひび割れ幅が大きく広がっている。また全試験体において、初期ひび割れは約  $P = 6\text{tonf}$  (縁応力が  $\sigma_t = 25\text{kgf/cm}^2$  に達する時の値) で発生した。



(a)



(b)

図-3 最終ひび割れ状況

#### 4.2 重ね長さ・シースの有無・主筋間隔の影響

重ね長さに対応する最大耐力時の主筋の応力と変形(両端の鉄筋間の平均歪)を図-4に示す。図-4 (a) では、重ね長さ 30d 以上で鉄筋の降伏によって最大耐力

が頭打ちになっている。図-4 (b) から、30d 以上では平均歪が急激に増加し鉄筋が降伏していることが認められる。シースの有無による違いは見られなかった。重ね長さ 20d の結果のみを見ると 10%、20% の空隙率では重ね継手の強度に影響を及ぼさない。また主筋の中心間隔を 100mm [1] から 120mm に変化させたことによる継手強度の違いは見られなかった。

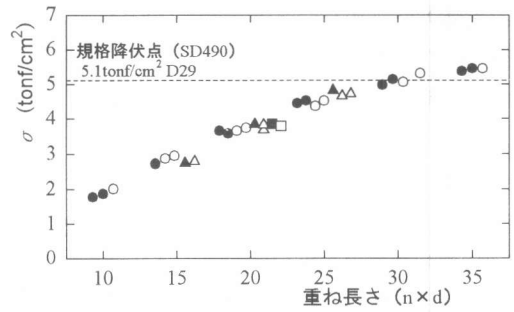
次にこれらの実験結果を、シーソや添筋の付着応力度に換算して図-5 に示す。シーソを用いた試験体では添筋周りの付着応力を  $\tau_{Lb}$  (kgf/cm<sup>2</sup>) で表した。なお、図において、 $\tau_{Lb}$  を実際のコンクリート圧縮強度の平方根  $\sqrt{\sigma_B}$  で除した値が示されている。

シーソの有無による付着強度の違いは見られなかった。全体的に藤井・森田式が実験値とよく対応している。Orangun 式は、重ね長さ 20d 以上で実験値とよく対応しているが、15d 以下では過大に評価している。これは、Orangun 式が 15d 以下の重ね長さを適用範囲に入れていないためと思われる。また角・山田式は全体的に実験値より過大に評価している。

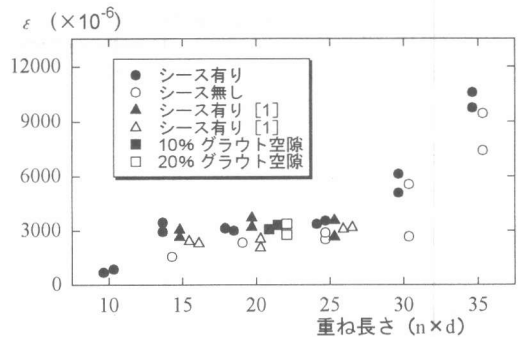
#### 4.3 継手強度と既付着強度式との対応

シリーズ 2 の継手強度の実験値を付着強度式による値と比較して図-6 に示す。藤井・森田式は  $P_w$  の値の大きい試験体 (4-D10 @100,  $P_w=0.56\%$ ) 以外は全体的に実験値とよく対応

している。 $P_w$  の影響を考慮に入れた角・山田式は、全体的に実験値に比べてかなり大きめの値を示している。Orangun 式は全体的に実験値とよく対応している。なお、高強度横補強筋 (SD780) は Orangun 式の適用範囲を越えているため、強度を適用する際、横補強筋の負担部分に制限を与えた。



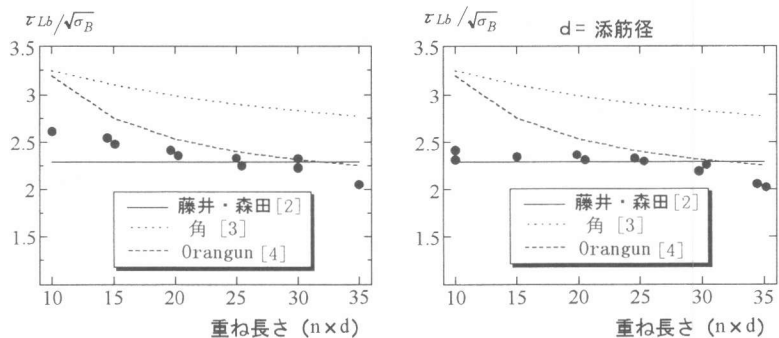
(a) 主筋の応力



(b) 変形 (平均歪)

主筋間隔 120mm, D29 (主筋, 添筋) ---本実験  
主筋間隔 100mm, D29 (主筋, 添筋) ---既実験 [1]

図-4 重ね長さ と最大耐力時の応力と歪変形



(a) シーソがない場合

(b) シーソがある場合

図-5 付着強度と重ね継手

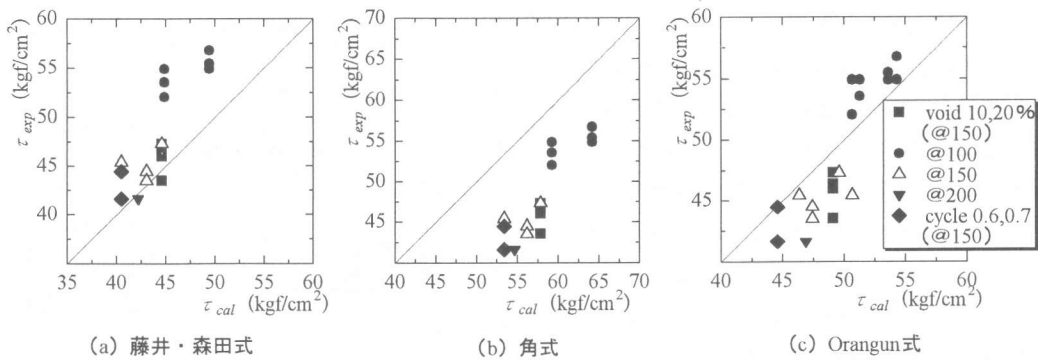


図-6 付着強度の実験値と計算値の比較

#### 4.4 横補強筋の影響

横補強筋の降伏強度と重ね継手の強度の関係を図-7に示す。本実験の範囲内では、横補強筋の強度による継手強度の変化は認められない。また、横補強筋の間隔が狭まることによって継手強度が増加していることが認められる。

次に、横補強筋比 ( $P_w$ ) と継手強度の関係を図-8に示す。継手強度を主筋の付着強度  $\tau$  に換算し、さらに実際のコンクリート圧縮強度の平方根  $\sqrt{\sigma_B}$  で除した値で表示してある。 $P_w$  の増加に伴って付着強度がある一定の割合で増加している。

次に各強度式の性質を比較する。角・山田式は  $P_w$  に対する  $\tau$  の増加率としては実験値とかなり一致するが、付着強度の内のコンクリート負担部分 ( $P_w=0$  時の値、図-8中の矢印) が実験値と比較してかなり大きめの評価となっている。藤井・森田式は付着強度の内のコンクリート負担部分は実験値とほぼ一致

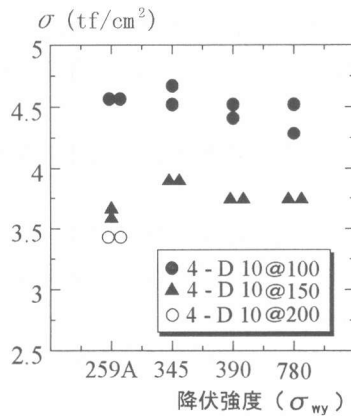


図-7 横補強筋の降伏強度と継手強度

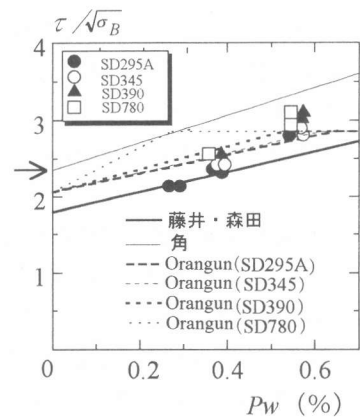


図-8  $P_w$  と付着強度

するが、 $P_w$  に対する  $\tau$  の増加率が実験値と比較してすこし小さめの評価となっている。これは中子筋の影響を考慮していないことによるものと考えられる。Orangun 式は横補強筋強度 SD780 を除けば全体的には最も実験値とよく合っている。本実験では SD780 が降伏しておらず、高強度横補強筋の効果が小さいことが再度確認された。Orangun 式においては、かぶり厚さによる影響を少なくし、高強度横補強筋の降伏強度を SD390 程度と想定すると実験値とよく合う。

#### 4.5 繰り返し加力の影響

主筋の規格降伏強度の 0.6 倍又は 0.68 倍（単調加力時の平均強度の 0.9 倍）と荷重 0 の間で、10 回の繰り返し両引き加力を行った試験体と、単調加力をした試験体の継手強度を図-9 に示す。図中で丸で囲ってある下側の部分は繰り返しの設定荷重を表し、矢印の先の上側の部分は繰り返し後の強度を示す。繰り返し荷重を主筋の降伏強度の 0.6 倍に設定した場合、2 体とも 10 回の繰り返しの耐え、最大強度の平均値も単調加力をした試験体

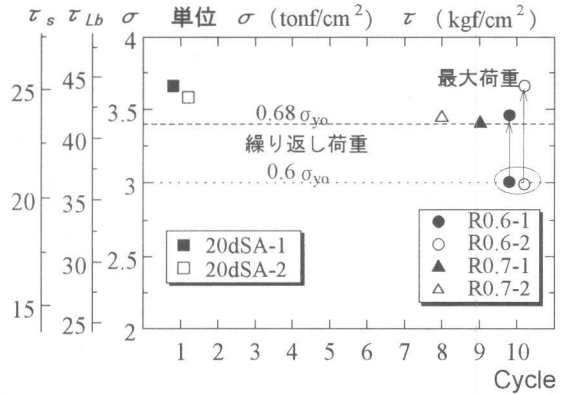


図-9 繰り返し荷重の影響

と違いはなかった。0.68 倍に設定した場合、1 体は 8 回目で破壊し、もう 1 体は 9 回目で破壊した。最大耐力は 2 体とも単調加力をしたものよりすこし小さかった。これらから、設定荷重  $0.6 \sigma_{yo}$  以下において 10 回程度の繰り返しでは重ね継手の強度に影響はあまり及ぼさないと考えられる。

#### 5. まとめ

D29 を用いた主筋後挿入方式の重ね継手の引張実験を行い、次のような結果を得た。

- 1) 主筋、シーす、モルタルは一体となって挙動した。
- 2) シーすを用いた重ね継手の強度は、従来の一体打ち工法の重ね継手の強度と同等の引張強度を示した。
- 3) SD490 の鉄筋と  $F_c=300\text{kgf/cm}^2$  のコンクリートを用いた重ね継手の強度は、重ね長さ 30d 以上の場合には、鉄筋の降伏によって耐力が決まり、25d 以下の場合には、継手の付着強度によって決まる。
- 4) 主筋の中心間隔を 100mm から 120mm に変化させても、継手の強度に影響は認められなかった。
- 5) Orangun の重ね継手の強度式は、重ね長さ 20d 以上の強度を良く評価できる。
- 6) 横補強筋の降伏強度は、本実験範囲では最大耐力に影響は及ぼさなかった。
- 7) 横補強筋比が増加すると、継手強度が増加する。
- 8) 繰り返し設定荷重を主筋の規格降伏点の 0.6 倍以下に定めると、10 回程度の繰り返し加力は重ね継手の強度に影響は及ぼさなかった。

#### 参考文献

- [1] Marcos, M., Yamaguchi, T., Imai, H. : A Study on Joint Strength of Lap Splices for Precast Concrete Structures, JCI Transactions, Vol. 18, No. 2, pp. 929-934, 1996
- [2] 藤井 栄, 森田 司郎 : 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究 (第 2 報 付着割裂強度算定式の提案)、日本建築学会論文報告集、第 324 号、pp. 45-52、昭和 58 年 2 月
- [3] 角 徹三 : サイドスプリット型付着割裂破壊する RC 部材の付着強度式、日本建築学会大会学術講演概集 (関東)、pp. 225-226、1993 年 9 月
- [4] Orangun, C. O., Jirsa, J. O., Breen, J. E. : A Re-evaluation of Test Data on Development Length and Splices, ACI Journal, Vol. 74, pp. 114-122., March 1977