

# 論文 プレキャストコンクリート工法に用いたシース管(D29用)の 付着強度に関する研究

カストロ ホワン ホセ<sup>\*1</sup>・荒木 康隆<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工法に用いるシース管の付着性状を調べるため、主筋の中心間隔を 100mm から 120mm に変え、付着試験を行った。変動因子は、シース管の山高さ、シース管内の主筋径、横補強筋比、加力履歴、及びシース管を用いない場合の異形鉄筋の径である。主筋・シース管・グラウト材は一体となって挙動した。実験結果は付着割裂強度計算値と比較されている。また、太径のシース管の単位面積当たりの付着強度は同径の異形鉄筋より小さい値を示したが、単位長さ当たりの付着力はほぼ同じであった。

**キーワード:** 付着強度、シース管、横補強筋比、山高さ、異形鉄筋、主筋間隔、加力履歴

## 1. はじめに

プレキャストコンクリート（以下 PCa）構造では、PCa 部材を構造的に有効に接合する必要があり、接合部の詳細と性能は非常に重要である。耐震性と生産性を兼ね備えた主筋後挿入方式が提案され、PCa 部材は柱梁接合部で接合し、主筋は地震時の応力の小さい各部材の中央部で重ね継手により接合するようになった。

この工法に用いる D25 用のシース管の付着割裂強度は文献 [1] で報告されており、本研究では、D29 用の付着性状や付着強度に与えるシース管の山高さ、横補強筋比、加力履歴、及び異形鉄筋の径の影響について調べる。

## 2. 試験体の概要

試験体は 13 種類で各 2 体ずつ計 26 体製作された。その概要を表-1 に示す。実験のパラメータは、シース管の山高さでは 1.5mm, 2.0mm, 3.0mm、シース管内の鉄筋径では D25、D29、横補強筋比では約 0.37 ~ 1.00%、シース管を用いない場合の鉄筋径では D29~D51、及び繰り返し荷重では主筋の規格降伏強度の 0.3 倍と 0.4 倍である。これは単調加力時の付着強度の約 50%~70%に相当する荷重である。

表-1 試験体概要

試験体名	主筋	シース管	横補強筋	加力履歴		
L1.5	D29B	山高さ 1.5mm	D10@150	単調加力		
L3	(SD490)	山高さ 3mm	(SD295A)			
D25-10	D25	山高さ 2mm	D10@100			
D25-15	(SD490)		D10@150			
H10-15	D29B		D10@100			
H10-10			(SD490)		D13@150	
H13-15		D13@100				
H13-10	D29B	山高さ 2mm	D10@150			
SN29					無し (主筋のみ)	D10@150
SN32						
SN41	D51 (SD390)					
SN51						
R0.3**		D29A	山高さ 2mm		0.3 $\sigma_{yo}$	
R0.4**	(SD490)		0.4 $\sigma_{yo}$			

(注) \*\*繰り返し荷重の試験体  $\sigma_{yo}$  : 主筋の規格降伏強度

\*1 株木建設(株)技術研究所、主任研究員、工博(正会員)

\*2 筑波大学大学院工学研究科(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)

全試験体において、横補強筋には SD295A を用い、シース管の内径は 47mm、外径は 51mm であり、山間隔は 28mm である。

試験体の形状を図-1 に示す。断面の梁幅が 510mm、梁せいが 600mm、かぶり厚さが 40mm、主筋中心間隔が 120mm である。試験部

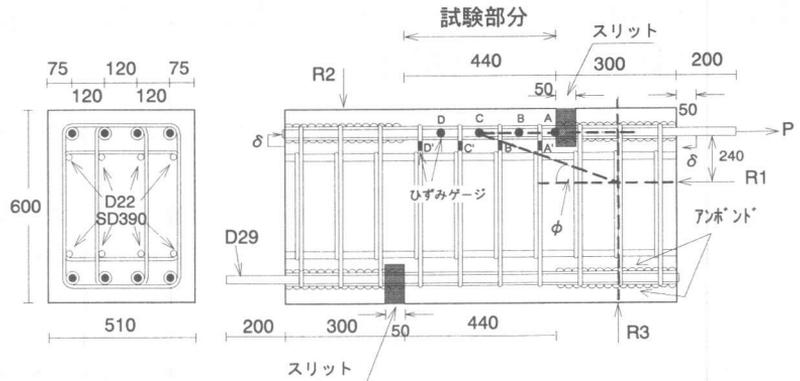


図-1 試験体図

分となる付着長さは D25-10 と D25-15 を除き、440mm であり、これは 2 本の添筋により主筋 D29 を重ね継手接合する時の添筋 D22 の 20 倍に相当する。D25-10 と D25-15 では添筋を 2-D19 と想定して 380mm である。

表-2 鉄筋の特性 (kgf/cm<sup>2</sup>)

鉄筋径	規格	ヤング率 ( $\times 10^6$ )	降伏強度 $\sigma_y$
D10	SD295A	1.91	3720
D13	SD295A	1.90	3831
D25	SD490	1.96	5339
D29 - A	SD490	2.01	5312
D29 - B	SD490	1.99	4979
D32	SD390	1.93	4020
D41	SD390	1.91	4049
D51	SD390	2.01	4783

表-3 コンクリートの強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

試験体	4 週		実験日
	圧縮	圧縮	割裂
D25-10, D25-15 H10-10, H13-10 H10-15-1, H13-15-1, SN29	306	316	24.1
H10-15-2, H13-15-2	306	349	29.8
R0.3, R0.4, L1.5 SN32, SN41, SN51	284	318	28.3
L3.0	284	320	24.2

表-4 グラウト材の圧縮強度 (kgf/cm<sup>2</sup>)

材齢	7 日	28 日	36 日
全試験体	638	810	867

試験体の製作では、シース管を鉛直にして主筋を入れ、下部をゴムで封した後、グラウト材を上より注入した。これらを水平にして横補強筋、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材の設計圧縮強度は、それぞれ 300kgf/cm<sup>2</sup> と 600kgf/cm<sup>2</sup> である。材料の試験結果を表-2、3、4、に示す。

表-2 に示すように繰り返しの試験体は D29 の A type を用い、それ以外は B type を用いた。

### 3. 実験方法

加力装置は図-2 に示すように片側より各鉄筋に等しい引張力を油圧ジャッキによって与える片持ち式加力である。

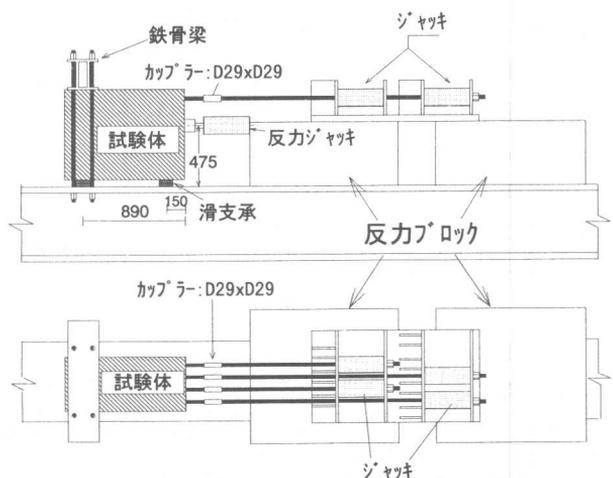


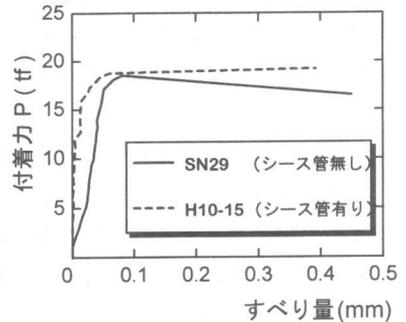
図-2 加力装置

反力のジャッキの高さは、図-1 に示すように試験部分の中心と斜め反力が鉄筋となす角  $\phi$  は  $\cot \phi \approx 1.5$  である。荷重の測定は、試験体を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を行った。2本の主筋について、コンクリートからの抜け出し量を主筋1本当たり2ヶ所で片持ち型の変位計によって測定し、また同主筋の自由端すべり量と測定した。さらに、試験部分の2本の主筋と横補強筋の歪を測定した。

#### 4. 破壊性状

##### 4.1 主筋付着力と自由端のすべり量

図-3に、主筋1本の付着力  $P$  と自由端のすべり量の関係の例を示す。両試験体は同じ横補強筋であるが、シース管有無にも関わらず全体的に大きな差がないと考えられる。



##### 4.2 ひび割れ状況

主筋・シース管・グラウト材は一体として挙動した。図-3 付着力と自由端のすべり量の関係典型的なひび割れ状況を図-4 に示す。図-4 (a) は上端筋のものを、図-4 (b) は下端筋のものを示す。下端筋の初期ひび割れ荷重は上端筋の約 1.2 倍の値を示した。最大耐力についても同様の結果が得られた。破壊の順序としては、①試験体側面において隅角部主筋に添った軸方向ひび割れが発生し、②試験体上面の中央、あるいは自由端側において主筋に直交するひび割れが発生し、③試験体側面において斜めひび割れが発生し、④初期ひび割れが生じた隅角部主筋の抜け出しによって最終破壊した。また、単調加力と繰り返し加力によるひび割れ状況の差はほとんど見られなかった。

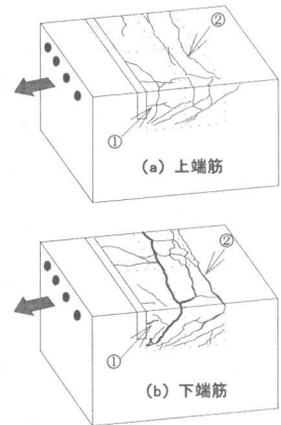


図-4 最終ひび割れ状況

#### 5. 付着強度の検討

##### 5.1 実験値と計算値の対応

付着強度の実験値と計算値の比較を図-5 に示す。計算式には付着割裂強度算定式である藤井・森田式[2]、角・山田式[3]、及び重ね継手強度算定式である Orangun

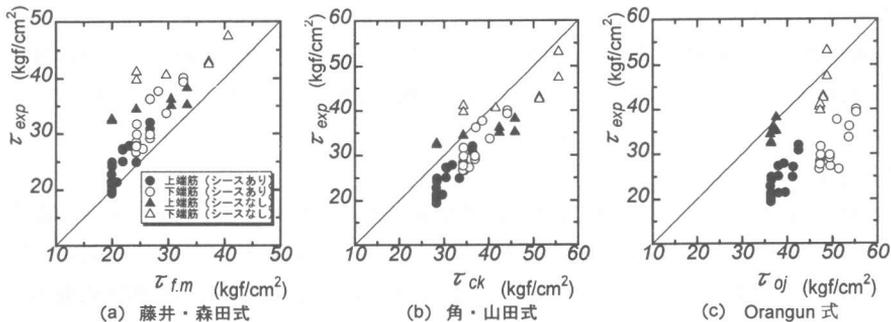


図-5 付着強度の実験値と計算値の比較

式 [4] を用いた。破壊形式はサイド・スプリット型とし、シース管を用いた場合、主筋径の代わりにシース管径を代入して強度を算定した。藤井・森田式はシース管を用いた上端筋の試験結果と良く合うが、シース管を用いない異形鉄筋では実験値と比べて小さ目の値を示している。横補強筋 ( $p_w$ ) の影響を考慮した角・山田式では、全体的に実験値と比べて多少大き目の値を示している。Orangun 式は、シース管を用いない異形鉄筋では実験値と良く合っているが、シース管を用いた試験体では実験値と比べてかなり大き目の値を示している。シース管の付着強度実験値は異形鉄筋の実験値に比べて低い値を示している。これは、シース管の山高さが、同径の異形鉄筋の節高さより小さいためと思われる。

### 5.2 上端筋と下端筋の付着力の比較

上端筋と下端筋の付着力の比較を図-6 に示す。平均して下端筋の付着力は上端筋の付着力の約 1.28 倍である。シース管を用いた場合、上端筋と下端筋の付着強度の比は 1.27 倍となり、異形鉄筋の付着力の比は 1.3 倍であり、両者はほぼ同じであった。

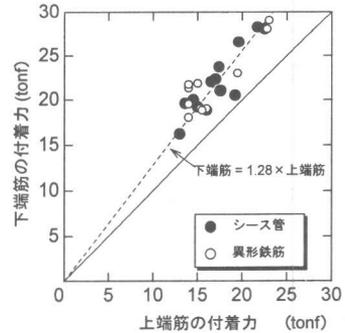


図-6 上端筋と下端筋の比較

### 5.3 横補強筋比の影響

横補強筋比 ( $p_w$ ) と付着強度の関係を図-7 に示す。付着強度はコンクリートの実強度の平方根で除してある。  $p_w$

の増加に伴ってコンクリートの横拘束力が高まり、付着強度が増加している。また藤井・森田式では、付着強度のコンクリート負担部分 ( $p_w=0$  の時の値) は実験値とほぼ一致するが、 $p_w$  に対する  $\tau_{bu}/\sqrt{\sigma_B}$  の増加率が実験値と比較してすこし小さ目の評価となっている。これは中子筋の影響を考慮に入

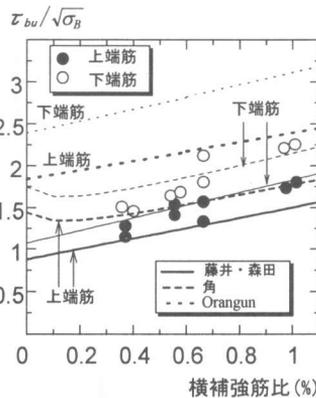


図-7 横補強筋比と付着強度

れていないためと考えられる。角・山田式は  $p_w=0.56\%$  以上では実験値と良く合っているが、 $p_w=0.37\%$  では実験値と比べて大き目の評価となっている。Orangun 式ではかぶり厚さと伝達長さの和の評価が大きすぎる。

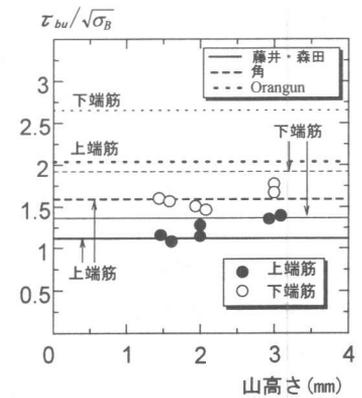


図-8 山高さと付着強度

### 5.4 山高さの影響

山高さと付着強度の関係を図-8 に示す。付着強度はコンクリートの実強度の平方根で除してある。山高さが 1.5mm から 2mm になった時の変化はあまり見られなかったが、2mm から 3mm になると付着強度が少し増加している。また、どの算定式においても山高さの影響は考慮していないが、実験値との比較において最も適切なのは山高さ 3mm を除くと藤井・森田式である。山高さ 2mm で下端筋の付着強度が小さく表示されているのはコンクリートの実圧縮強度が大きかった

ためと思われる。

### 5.5 鉄筋径による影響

付着強度と鉄筋径（シース管径）の関係を図-9(a)に示す。鉄筋径、又はシース管径が大きくなっても、着強度は少ししか低下していない。これは、主筋中心間隔が120mmと比較的大きく、主筋の空きの係数  $b_i$  がもともと大きいため、主筋径が大きくなっても  $b_i$  があまり小さくならないためと思われる。

主筋間隔 100mm の実験の結果 [1] では、下端筋の鉄筋径 29mm 以上の付着強度が急激に低下した。これは、 $b_i$  が小さいため鉄筋径 35mm 以上の下端筋の付着力が主筋間の付着割裂の誘発によって頭打ちになったためと思われる。

周長の影響を除くため、同じ付着長さ、440mm、の付着力（引抜き荷重  $P$ ）を図-9 (b) に示す。鉄筋径が大きくなると付着力が上端筋、下端筋とも直線的に増加する。同径のシース管 S51 と異形鉄筋 D51 の付着力の値を比較すると、シース管の方が異形鉄筋よりかなり小さいが、D29 より少し大きい値を示している。これはシース管の山高さが、異形鉄筋の節高さより小さいためと思われる。また本実験範囲で Orangun 式がよく合う。

### 5.6 繰り返し加力の影響

繰り返し荷重変形曲線を図-10 に示す。また繰り返し加力を受けた後の付着強度を図-11 に示す。鉄筋 (D29) の規格降伏強度の 0.3 倍と 0.4 倍にあたる荷重と荷重 0 の間で 10 回繰り返し加力を行った後、付着強度を求めた。図中で下側の部分は繰り返しの設定上限荷重を表し、矢印の先は繰り返し後の強度を示す。鉄筋降伏の 0.3 と 0.4 倍の荷重は単調加力の付着強度の約 50%~70%に相当する荷重であるが、10 回程度の繰り返し加力を与えても、上端筋、下端筋とも付着強度に与える影響は小さいと考えられる。

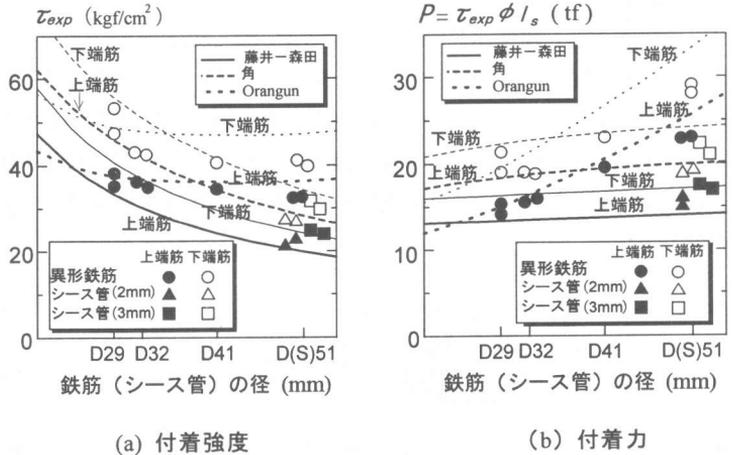


図-9 付着強度・付着力と鉄筋径（シース管）

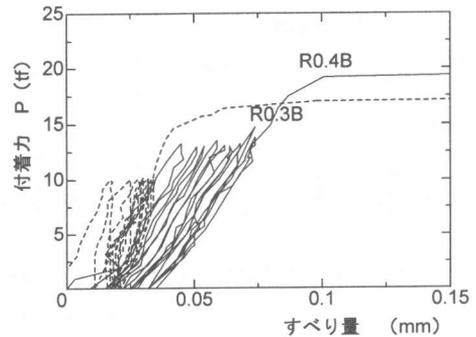


図-10 繰り返し荷重変形曲線

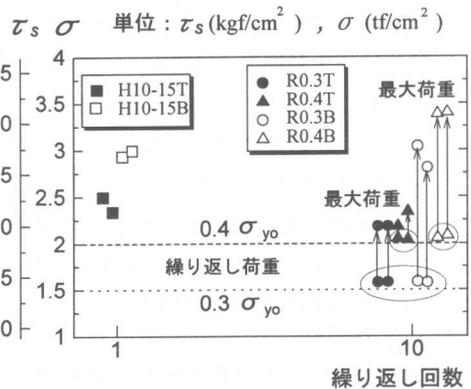


図-11 繰り返し荷重

## 5.7 鉄筋の降伏状況

図-12に主筋と横補強筋の歪分布を示す。図-12(a)はシース管を用いた D25、図-12(b)はシース管を用いた D29、図-12(c)はシース管を用いない異形鉄筋 D29を表す。どの試験体においても、加力側に近づく程、引張主筋の歪が進行している。横補強筋の歪分布も P = 20tonf 以前では主筋の歪と同様に進行した。主筋の降伏は確認されなかったが、主筋の抜け出し時にすべての横補強筋の降伏は確認された。シース管内の主筋径による違い、及びシース管の有無による違いも見られなかった。

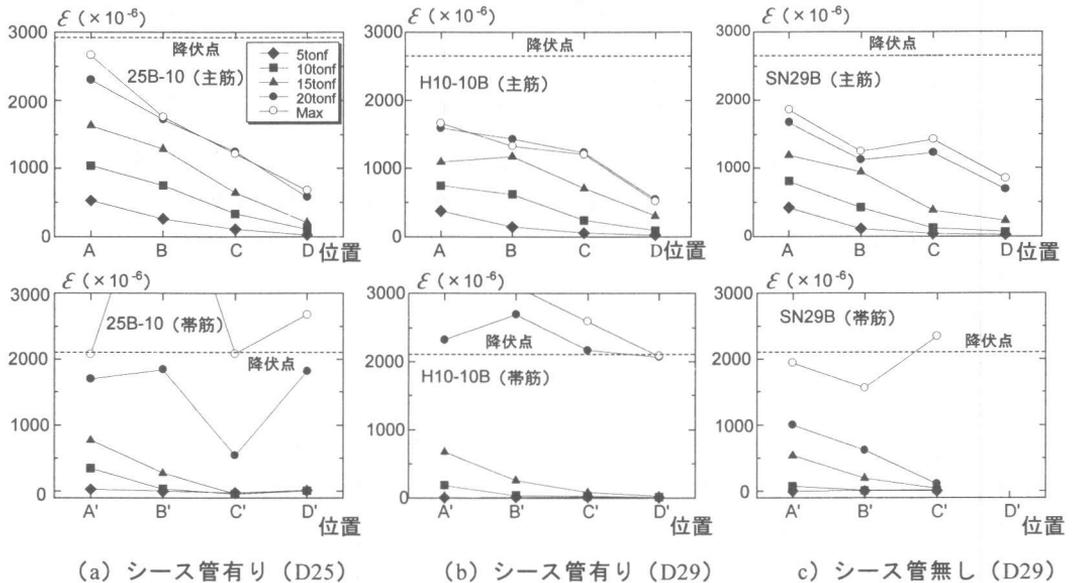


図-12 主筋と横補強筋の歪分布

## 6. まとめ

本実験では、主筋 D29 のシース管の付着性状は次のようにまとめられる。

- 1) 主筋、シース管、グラウト材は一体として挙動した。
- 2) 下端筋の付着強度は、シース管と異形鉄筋とも上端筋の約 1.28 倍の値を示す。
- 3) 横補強筋比が増加すると、シース管の付着強度は増加する。
- 4) シース管の山高さの増加に伴ってシース管の付着強度が増加する。
- 5) 太径のシース管の単位面積当たりの付着強度は同径の異形鉄筋より小さいが、単位長さ当たりの付着力はほぼ同じである。
- 6) 10 回程程度の繰り返し加力は、シース管の付着強度に影響を及ぼさない。
- 7) 主筋抜け出し以前の横補強筋の歪分布は、自由端より加力側が大きい、主筋の抜け出し時には全ての横補強筋は降伏していた。

## 参考文献

- 1) Yanez, R., Castro, J.J., Yamaguchi, T., Imai, H., 'Study On the Bond Splitting Strength of Sheaths for A Precast Concrete System', Journal of Structural and Construction Engineering of AIJ, No. 473, July 1995, pp. 137-148.
- 2) 藤井 栄 他：異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究—第 1 報 付着割裂破壊を支配する要因についての実験結果、日本建築学会論文報告集、第 319 号、pp.47~54、1982.9
- 3) 角 徹三 他：高強度コンクリートレベルを包含する RC 部材の付着割裂強度算定式の提案、コンクリート工学論文集、Vol.3, No.1, pp.97~108, 1992.1
- 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, March 1977, pp. 114-122.