

報告 PCaPRC 構造の変形性能向上に係る要因の検討

中井将博*¹, 奥山和俊*², 梅田順治*³, 津田和義*⁴

要旨：本稿はプレキャストプレストレスト鉄筋コンクリート（以下PCaPRC）構造に発生する塑性ヒンジの性能改善に係る検討結果を述べる。本構造はPCa部材を貫通するシース孔に部材構築完了後、高強度モルタルを充填し高強度の主筋を一括挿入するものである。その構造に正負交番载荷を行った時に発生する塑性ヒンジの性能が従来の場所打ちのそれに比較し優位でありその要因の究明を行った。その結果、圧縮側ではシースがモルタルを拘束し強度の向上に、引張側では主筋とモルタルとの様な付着切れによるアンボンド区間増加によるひずみ緩和が伸び能力の向上、座屈の遅延に寄与することがわかった。

キーワード：PCaPRC構造、塑性ヒンジ、スパイラルシース、拘束、PC鋼より線、定着

1. はじめに

従来PCa部材の結合は、RC構造では主筋の機械式もしくはモルタル充填継手等によって、PC構造では緊張力によって行われていた。本構造は各部材設置毎に最小のプレストレス（約 0.5N/mm^2 ）を導入し組立て、構築完了後予め部材に設けられたシース孔に、高強度モルタル（ $50\sim 60\text{N/mm}^2$ ）の充填・高強度主筋（SD490 もしくはPC鋼より線）挿入の順で施工するものである。本構造をPCaPRC橋脚に適用した場合の概念図を図-1に示す。

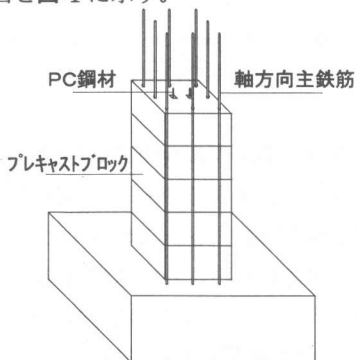


図-1 PCaPRC橋脚概念図

平成11年度にPCa供試体の耐震性能に関して試験を行った結果¹⁾、断面寸法、主筋、帯鉄筋等全てを同様とした場所打ち供試体と比較し、最大耐力は同等であり、変形性能はそれ以上であった。図-2に両者を比較した荷重～変位曲線を示す。また供試体の断面図を図-3に示す。

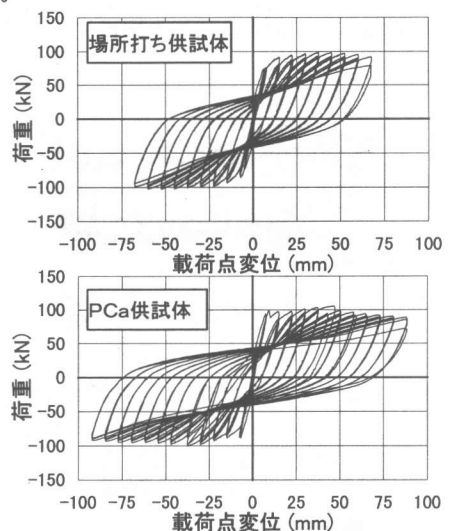


図-2 荷重～変位曲線

*1(株) ピー・エス 本社開発技術第二部主任研究員 工修（正会員）

*2(株) ピー・エス 本社開発技術第一部研究員 工修（正会員）

*3 ドービー建設工業(株) 技術部技術課課長

*4 日本ヒューム(株) コンクリート統括本部副部長

本稿では、その変形性能が向上した要因として考えられるシースの拘束効果および主筋とモルタルとの付着切れの増加によるひずみ緩和に着目し、要素試験による検討を行った。また、主筋として適用した場合施工の合理化が図れるPC鋼より線に関して付着機能の改善方法を確認するために、定着試験による検討を行った。

2. 変形性能向上に貢献する要因の検討

2.1 圧縮領域で貢献する要因

場所打ち供試体の破壊は、主筋の塑性化による座屈、かぶりコンクリートの剥落によって脆性的に生じる。しかし、PCa供試体の破壊は、かぶりコンクリートの剥落後も急激な破壊は生じず、耐力の低下はなく変位は増加した。この要因は、かぶりコンクリート剥落後、シー스에拘束されたモルタルが1本の柱となって圧縮力に抵抗したためと考えられ、その時にシースの拘束が強度・靱性の向上に寄与したと思う。載荷後のシー内モルタルのひび割れ状況を写真-1に、圧縮力をシースの柱のみで負担したと仮定し計算した平面保持状態を図-3に示す。

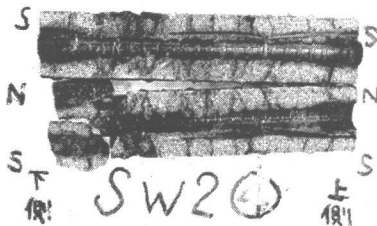


写真-1 シース内モルタルのひび割れ状況

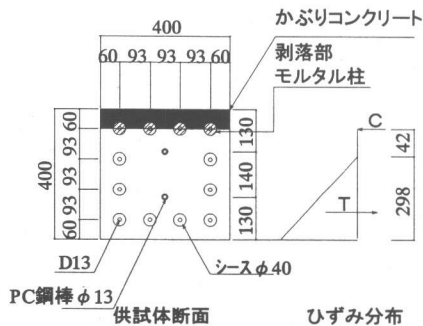


図-3 終局時の平面保持状態(単位:mm)

2.2 引張領域で貢献する要因の検討

モルタルと主筋との付着強度は、コンクリートとのそれと比較し、約1/2であることを既試験で確認しており、付着切れの範囲も異なる。図-4に場所打ちとPCa供試体の主筋ひずみ分布を示す。これより、PCa供試体の方のひずみが供試体基部より連続して一様に分布していることがわかり、一定のアンボンド区間が形成され、それによってひずみの緩和がなされているものと思う。したがってこのアンボンド区間長を正確に把握する必要がある。

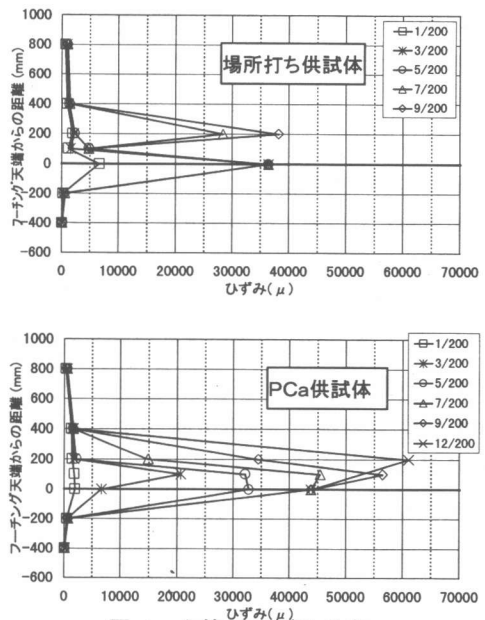


図-4 主筋のひずみ分布

3. シースのモルタル拘束効果確認試験

2.1で説明した供試体のモルタル柱を再現し、圧縮強度試験を行い、シースの拘束による強度向上および繰返し載荷に対する強度保持性能増加の確認を行った。今回主筋は省略した。

3.1 供試体の種類および形状

供試体の種類および形状を表-1、図-5に示す。

表-1 供試体の種類

供試体 種 別	シー スの有無	形状寸法	個数
5×9	無し	直径5cm×高さ9cm	3
5×9シス	有り	直径5cm×高さ9cm	3

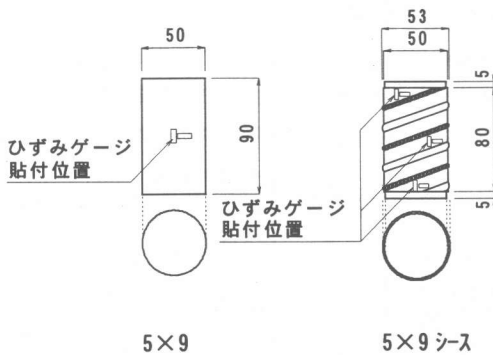


図-5 供試体の形状(単位:mm)

3.2 試験方法

荷重方法は通常の円柱供試体の圧縮強度試験と同様に行った。シースがあるものはその強度保持性能を確認するために荷重を4回繰返し行った。シースなし供試体は1箇所2方向に、シース有り供試体には3箇所2方向にひずみゲージを設置し計測した(図-5参照)。

3.3 使用材料

モルタルの配合を表-2に示す。

表-2 モルタルの配合

W/C	水	プレミックス		
		セメント	砂	混和剤
%	W kg	C kg	S kg	B kg
42.0	1.0	2.381	1.429	0.024

水を1kgとしたときの値
プレミックスの配合比率(重量)
セメント:砂:混和剤=1:0.6:0.01

3.4 試験結果

(1)モルタルの圧縮強度試験結果を表-3に示す。シースの拘束効果により圧縮強度が約15N/mm²増加した。

表-3 圧縮強度試験結果
単位: N/mm²

	5×9	5×9シース
1回目	61.69	76.69
2回目	—	37.64
3回目	—	33.55
4回目	—	25.75

(2)シースによる強度保持性能を図-6に示す。

1回目の荷重で圧縮破壊しても、その後はシースの拘束により最大強度の約半分は保持していることがわかる。

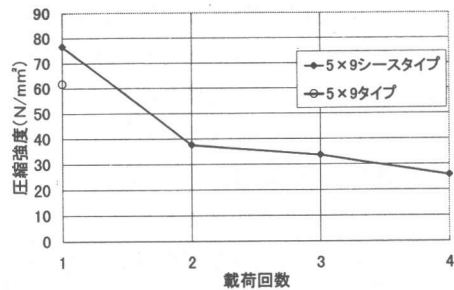
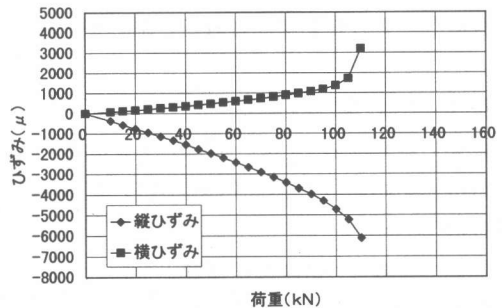


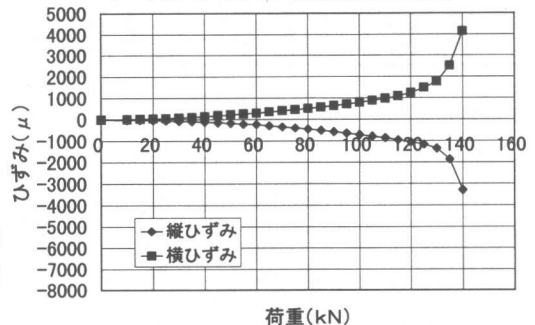
図-6 繰返し荷重回数と圧縮強度

(3)シースなしおよびシースあり(N0.2)供試体中段のひずみを図-7に示す。

シースなし供試体



シースあり(N0.2)供試体荷重1回目



シースあり(N0.2)供試体荷重2回目

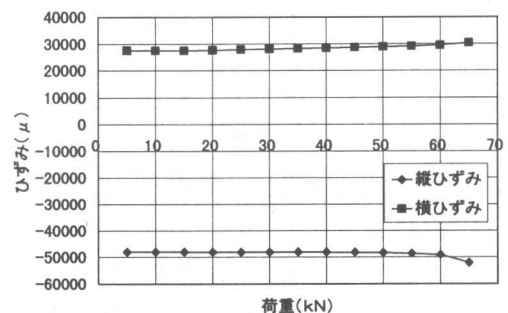


図-7 荷重と縦横ひずみ(中段)

ひび割れの方法は、写真-1 と異なり斜め約 60 度でありシースの横ひずみからその拘束効果を評価することは難しいが、破壊荷重時ではシースありの方が約 1000 μ 横ひずみが大きく、また 2 回目載荷時シースの横ひずみが約 30000 μ 発生し塑性化しているが内部のモルタルを拘束し破壊面でのすべりを抑制していることがわかる。

4. 高強度主筋のひずみ分布確認試験

平成 11 年度の正負交番載荷試験では、ひずみゲージの設置間隔が粗く主筋のひずみ分布を明確に把握することができなかったので、今回密に設置しその分布および定着長の確認を行った²⁾。

4.1 供試体の種類および形状

供試体の種類を表-4 に、形状および計測状況を図-8 に示す。シース径は主筋径の 2 倍以上とした³⁾。

表-4 供試体の種類

供試体 種 別	主筋の種類		
	1	2	3
T	鉄筋 SD345 D13	鉄筋 SD345 D13 ネジ節主筋	鉄筋 SD490 D13 ネジ節主筋
KN			
KTN			

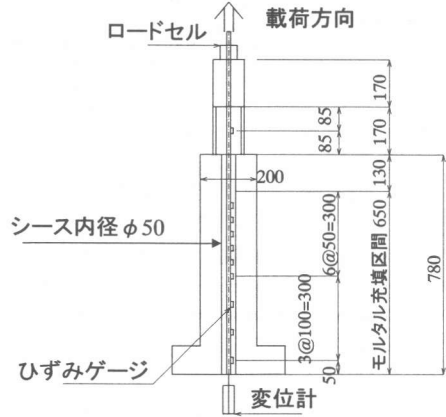


図-8 供試体の形状および計測状況(単位:mm)

4.2 試験方法

載荷は、主筋降伏荷重まで単調増加で 3 サイクル行い、その後ひずみ制御により 30000 μ までは 1000 μ ピッチで行った。

4.3 使用材料

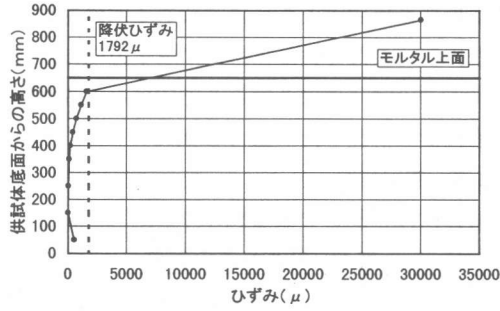
主筋の力学的性質を表-5 に示す。また、コンクリートの圧縮強度 (28 日) は 35.8N/mm² であり、モルタルは 53.1N/mm² であった。

表-5 主筋の力学的性質

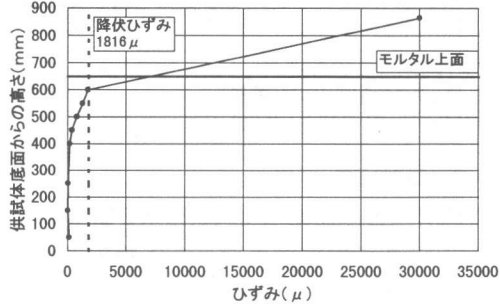
	降伏荷重	降伏点	降伏ひずみ
	N	N/mm ²	μ
D13 SD345 通常主筋	46752	369	0.001792
D13 SD345 ネジ節主筋	47386	374	0.001816
D13 SD490 ネジ節主筋	79188	625	0.003035

4.4 試験結果

SD345 通常主筋



SD345 ネジ節主筋



SD490 ネジ節主筋

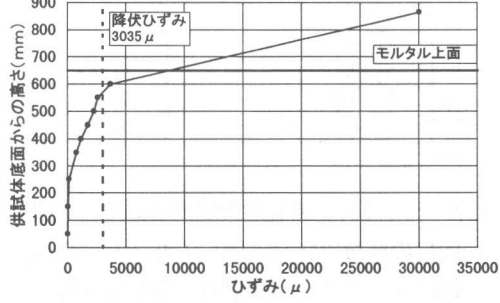


図-9 主筋ひずみ分布

主筋のひずみが 30000 μ 時の各供試体の主筋ひずみ分布を図-9 に示す。

図-9 (上段および中段) より主筋の表面形状の差異がひずみ分布に与える影響はないことがわかる。何れの供試体もひずみはモルタル上面より約 400mm の範囲で発生している。したがって主筋径の約 30 倍あれば定着可能であることがわかり、この区間がアンボンド区間となる。また、塑性化はモルタル上面より約 100mm の範囲が顕著である。

5. PC鋼より線の定着試験

PC鋼より線を主筋として使用するメリットとして、継手が省略できる、挿入に重機が不要である、コイルで運搬できる、高強度である等が挙げられる。しかし、モルタルとの付着強度が低く摩擦等による緊固定着では引張荷重を受けると直ちに付着が切れ引抜けが生じ、引張材としての機能を果たさなくなる。そこで、現場で簡単に設置できる圧着グリップを、ある一定の間隔でPC鋼より線に設置し、その支圧による定着工法を考案しその基礎試験を実施した。

5.1 供試体の種類および形状

表-6 および図-10 に供試体の種類および形状を示す。

表-6 供試体の種類

供試体種別	主筋の種類	シース径
NO.1	PC鋼より線 SWPR7A 1S15.2	30mm より線径の2倍
NO.2	同上	50mm

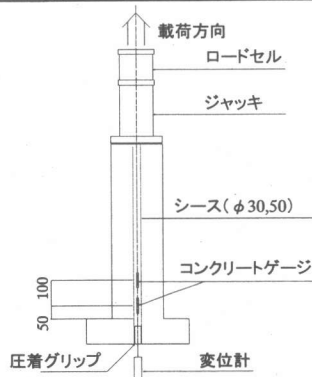


図-10 供試体の形状(単位:mm)

5.2 試験方法

引張荷重まで 10 kN ピッチで単調増加により载荷を行った。

5.3 使用材料

PC鋼より線の力学的性質を表-7 に示す。また、コンクリートの圧縮強度 (28 日) は 42.2N/mm² であり、モルタルは 59.6N/mm² であった。

表-7 PC鋼より線の力学的性質 (規格値)

引張荷重 kN	降伏荷重 kN	ヤング係数 kN/mm ²	降伏ひずみ μ
240	204	200	0.007354

5.4 試験結果

PC鋼より線の降伏耐力である約 200 kN まで载荷を 3 回繰返し、最後に引張強さの約 240 kN まで载荷を行った結果、供試体下端にて測定された引込み量は最大で 0.01mm 程度であった。またコンクリート表面にはひび割れが発生せず、コンクリートゲージの値も最大 700 μ 程度であった。以上より圧着グリップによってPC鋼より線の定着が十分に行われていたことがわかる。図-11 に供試体下端で計測した引込み量を示す。

また、図-12 に载荷後供試体を切断し内部のひび割れを観測した結果を示す。シース径が 30mm の供試体は圧着グリップより上側 5mm および 15mm の位置にシースの節より横にひび割れが進展していた。また、シース径が 50mm の供試体にひび割れは観察されなかった。シース内のモルタルには何れの供試体ともひび割れは発生していなかった。

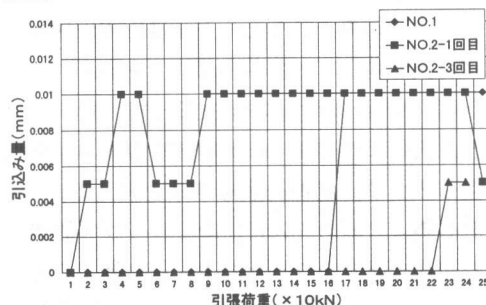


図-11 引張荷重と下端引込み量

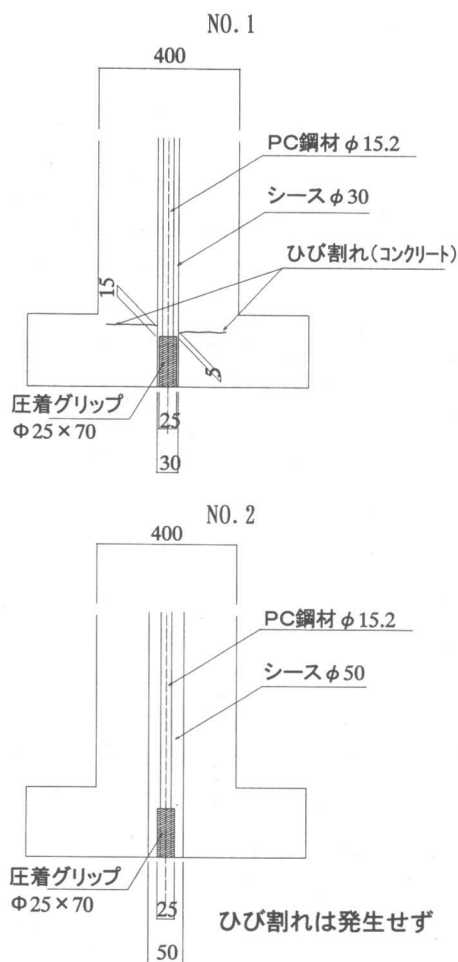


図-12 供試体の内部ひび割れ状況(単位:mm)

6. まとめ

下記の事項が確認された。

- ① シースで拘束されたモルタルは圧縮強度が約 15N/mm^2 大きく、シースの拘束効果が確認された。
- ② シースで拘束されたモルタルは圧縮破壊後に再度載荷しても荷重を保持できる。
- ② D-13, SD345, SD490 の両主筋とも、モルタル上面より約 400mm の範囲でひずみが発生しており、定着長は約 30ϕ と言える。
- ④ PC鋼より線の先端に圧着グリップを設置し引抜き試験を行った結果、PC鋼より線の引張強度の荷重においても引込みは生じず、本方法の妥当性が確認された。試験後

供試体を切断しコンクリートおよびモルタルの内部ひび割れの確認を行った結果、モルタルにはひび割れは発生しておらず、シースの節からコンクリートにひび割れが発生しておりシース自体が1本の主筋となって引張力に抵抗したものである。

以上より平成 11 年度および今回の試験によって、主筋がシースで拘束されたモルタルに定着された本構造は、終局時圧縮側においてはシース自体が1本の柱となって抵抗し、引張側においては内部の主筋を拘束しつつ塑性ヒンジの領域を拡大する。これら、2つの効果によって変形性能の増加が生じたことが確認された。

参考文献

- 1) 中井将博他：PRCPCa 部材の一接合法に関する耐震性能試験，コンクリート工学，Vol. 38, No. 8, pp. 33-39, 2000. 8
- 2) 島弘，周礼良，岡村甫：異形鉄筋の鉄筋降伏後における付着特性，土木学会論文集，第 378 号，V-6, 1987, 2
- 3) 多田孔充，島弘，久野公德：プレキャスト部材のシース孔にグラウトで定着した鉄筋の付着性状，コンクリート工学年次論文集，Vol. 18, No. 2, 1996