

論文 重ね継手を用いたプレキャスト部材の接合に関する基礎的研究

井手隆博*1・畑実*2・金輪岳男*3・矢村潔*4

要旨：本研究は、鉄筋コンクリートプレキャスト部材を現場で接合する際の主鉄筋の継手工法として鉄筋の重ね継手を接合部に形成する工法の開発を試みたもので、接合したはり供試体の曲げ載荷実験によりその性能を検証したものである。その結果、主鉄筋径が大きくなるほど、一体供試体の場合と同一の強度を発揮するのに必要な重ね継手長さの対鉄筋径比が大きくなる、継手部をシース等で拘束すると継手の性能向上に効果がある、継手部の充てん材の強度は継手部の性能に影響を与える、等のことが明らかになった。

キーワード：重ね継手、継手長さ、鉄筋コンクリート、プレキャスト製品

1. はじめに

コンクリートプレキャスト製品は、現場施工と比較して、機械化、省力化が容易である、高機能化が可能である、品質管理がし易い、など多くの長所を有している。また、近年の道路、輸送環境の進歩と相まって、大型化、高性能化を伴ってその増加が期待されている。その中で、鉄筋コンクリートプレキャスト製品の問題点の一つとして、現場で接合する際の主鉄筋の接合方法があげられる。現在、鋼製スリーブ等による方法がいくつか開発されているが、いずれも施工性、コスト面等から問題が多い。現実には、接合部に現場施工を組み込んで一体化する場合がほとんどであり、施工工程、工期等を考慮すると、プレキャスト化の長所を十分に生かしき

れていない。このような観点から本研究は、プレキャスト製品の利点をより生かすために、鉄筋コンクリートプレキャスト製品を現場で接合する際の主鉄筋の簡便な継手工法の開発を試みた。具体的には、コンクリートプレキャストブロックの接合部に鉄筋の重ね継手を形成させることを試み、接合部材の曲げ載荷実験により検討したものである。

2. 実験概要

2.1 実験計画

本研究では、コンクリートプレキャストブロックの接合部に、鉄筋の重ね継手を形成させることを試みた。図 - 1 (a) に示すように、片方のブロックに鉄筋の突き出たシースを埋め込ん

表 - 1 実験要因

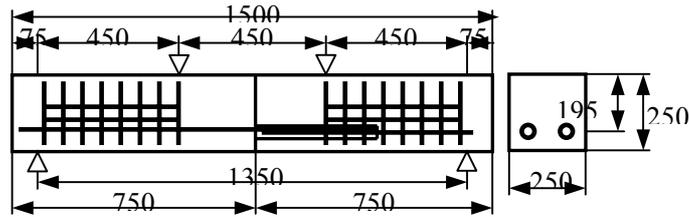
要因	水準
主鉄筋(鉄筋比(%))	D13×2(0.519) , D16×2(0.814) , D19×2(1.18) , D22×2(1.59)
継手長さ(×鉄筋径)	5 , 10 , 20 , (一体)
シースの有無	有(S) , 無(N)
充てん材	普通モルタル(n) , 超高強度モルタル(h)
部材長さ(mm)	750+750 , 750+1500

*1 摂南大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻 (正会員)

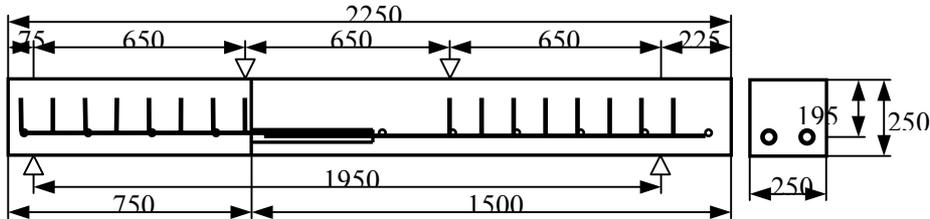
*2 ケイコン(株) 技術部長

*3 ケイコン(株) 技術部研究開発課主任

*4 摂南大学 工学部都市環境システム工学科教授 工博 (正会員)



(a) Sn, Nn シリーズ



(b) SnL, ShL シリーズ

図 - 1 供試体寸法および配筋状況

でおいたもの（以後凹側と示す）に、もう一方の鉄筋の張り出したブロック（以後凸側と示す）の突き出た鉄筋を挿入し、シー管内に充てん材をつめて重ね継手を形成するものである。実験要因を表 - 1 に示す。表 - 1 の記号で $5d$, $10d$, $20d$ (d :鉄筋径) はそれぞれ継手長さを表し, S, N はシーの有無を表し, n, h はモルタルの強度を表している。例えば, Sn と表記したものは凹側供試体にシー管を埋め込み, 充てん材は普通強度のモルタルを使用していることを表す。

2.2 使用材料およびコンクリートの示方配合

本実験で使用したコンクリートは、粉体系高流動コンクリートで、その示方配合を表 - 2 に示す。試験時材齢における圧縮強度は、 $42 \sim 50 \text{N/mm}^2$ であった。また、継手部に充てんするモルタルは、いずれもプレミックスタイプのものを使用し、試験時材齢における圧縮強度は、普通モルタル $40 \sim 60 \text{N/mm}^2$, 超高強度モルタル約 116N/mm^2 であった。主鉄筋には SD345 (降伏強度 $380 \sim 420 \text{N/mm}^2$) を使用した。凹側ブロックの主鉄筋回りに空洞を作るためのシーは、PC

鋼材用シー (普通鋼板 JIS G3303) を使用した。その直径、鋼板厚を表 - 3 に示す。

表 - 3 主鉄筋ごとのシー内径, 鋼板厚

主鉄筋	内径(mm)	鋼板厚(mm)
D13	$\phi 40$	0.27
D16	$\phi 45$	0.27
D19	$\phi 55$	0.54
D22	$\phi 60$	0.80

2.3 供試体

(1) Sn シリーズ

断面 $250 \times 250 \text{mm}$, 長さ 750mm のブロックを接合して 1500mm とし, 凹側ブロックにはシーを埋め込み, 充てん材には普通モルタルを使用した単鉄筋はりである。

(2) Nn シリーズ

断面 $250 \times 250 \text{mm}$, 長さ 750mm のブロックを接合して 1500mm とし, 凹側ブロックは型枠によって主鉄筋周りに円筒状の空隙を設けた。空隙の直径は, 主鉄筋 D16 では 55mm , D22 では 70mm とした。充てん材には普通モルタルを使

表 - 2 コンクリートの示方配合

水 (kg/m^3)	セメント (kg/m^3)	石灰石微粉末 (kg/m^3)	細骨材 (kg/m^3)	粗骨材 (kg/m^3)	減水剤 (g/m^3)	スランプロー (mm)
180	400	120	817	840	3380	650 ± 50

用した単鉄筋はりである。

(3) SnL シリーズ

断面 250×250mm ,長さ 750mm(凸側) ,1500mm (凹側) のブロックを継ぎ合わせ 2250mm とし、凹側ブロックにはシースを埋め込み、充てん材に普通モルタルを使用した単鉄筋はりである。

(4) ShL シリーズ

断面 250×250mm ,長さ 750mm(凸側) ,1500mm (凹側) のブロックを継ぎ合わせ 2250mm とし、凹側ブロックにはシースを埋め込み、充てん材に超高強度モルタルを使用した単鉄筋はりである。なお、いずれの供試体もせん断破壊しない程度に、D6 または D10 異形棒鋼製スターラップをせん断スパン内に配した。供試体寸法および配筋状況を図 - 1 に示す。



写真 - 1 接合風景

モルタルを流し込み、凸側ブロックの突き出ている鉄筋を上から挿入する形をとった。そのときの状態を写真 - 1 に示す。接合から 2 週間以上おいて、3 等分点載荷による曲げ載荷試験を行った。載荷位置等は図 - 1 に示す。

2.4 接合方法および試験方法

凹凸両ブロックの接合は、コンクリート材齢 2 週程度で行った。まず、凹側ブロックの接合面を上にして立て、鉄筋周りの空隙に充てん用

3. 実験結果および考察

3.1 実験結果

本実験における各はりの載荷試験結果一覧を

表 - 4 実験結果

はり呼名	鉄筋(mm)	重ね長呼名	Pd (kN)	Pu (kN)	Pmax (kN)	破壊状況	はり呼名	鉄筋(mm)	重ね長呼名	Pd (kN)	Pu (kN)	Pmax (kN)	破壊状況				
Sn	D13	一体	38.4	84.1	110.2	1せん断破壊	Sn	D22	一体	109.9	239.9	276.7	1せん断破壊				
					118.0	曲げ破壊						287.3	1せん断破壊				
		112.3			1せん断破壊	272.2						3曲げ破壊					
		111.6			1せん断破壊	256.8						4せん断破壊					
		114.3			1せん断破壊	177.0						引き抜け破壊					
		105.4			曲げ破壊	210.9						引き抜け破壊					
		69.4			引き抜け破壊	97.0						引き抜け破壊					
		68.4			引き抜け破壊	132.0						引き抜け破壊					
	D16	一体	58.8	131.1	174.9	曲げ破壊	Nn	D16	20d	58.8	124.4	147.2	3曲げ破壊				
					152.5	2圧壊						152.0	3曲げ破壊				
		171.1			曲げ破壊	D22		20d	109.9			238.8	182.4	引き抜け破壊			
		168.9			曲げ破壊				172.2			引き抜け破壊					
		10d			SnL	D22	一体	76.1	174.1	210.5	曲げ破壊						
										137.0	3曲げ破壊	195.0	曲げ破壊				
										138.9	3曲げ破壊	D16	20d	40.7	96.3	125.0	曲げ破壊
										67.3	引き抜け破壊			118.0	曲げ破壊		
D19	一体	82.9	178.0	220.1	曲げ破壊	ShL	D19	20d	57.4	131.2	154.0	曲げ破壊					
											211.4	曲げ破壊	10d	135.0	3曲げ破壊		
	221.0			曲げ破壊	D22		20d	76.1			165.6	192.0		曲げ破壊			
	225.1			せん断破壊				10d			145.0	引き抜け破壊					
	193.2			3曲げ破壊							1曲げ破壊後せん断破壊						
	206.3			3曲げ破壊							2曲げ破壊後圧壊						
	109.3			引き抜け破壊							3曲げ破壊後引き抜け破壊						
	112.6			引き抜け破壊							4せん断破壊後引き抜け破壊						

表 - 4 に示す。ここで表 - 4 の P_d は曲げモーメントによる主鉄筋の応力が許容応力 (196N/mm^2) に達する時の算定荷重である。 P_u は曲げ破壊耐力に達する時の算定荷重で、算定にあたっては、各材料の強度には実測値の平均を用いた。 P_{max} は終局荷重の実験値を示している。

3.2 主鉄筋径および重ね継手長さ

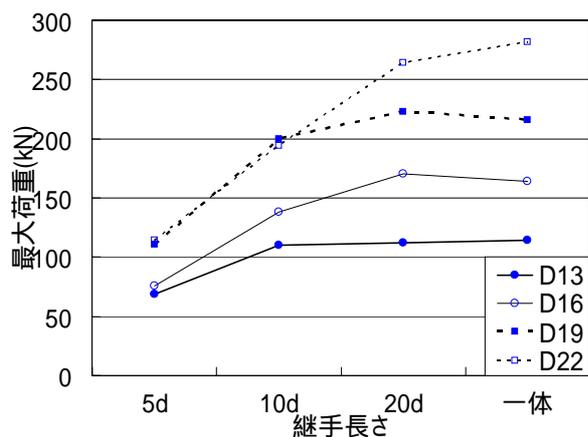


図 - 2 重ね継手長さ と 最大荷重 の 関係

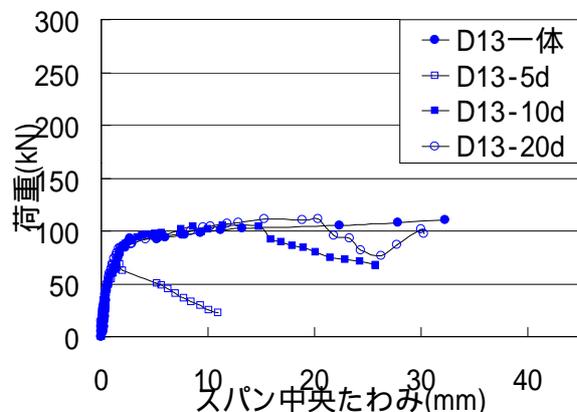


図 - 3 D13 荷重 と 中央たわみ の 関係

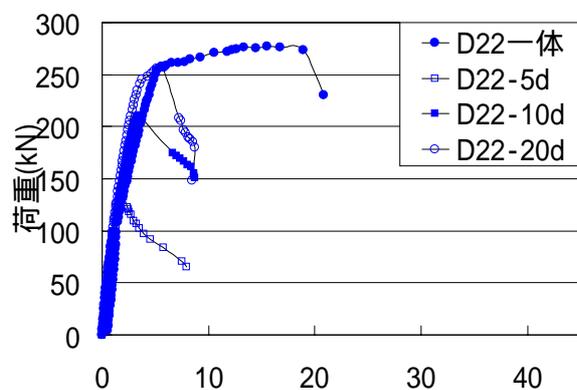


図 - 4 D22 荷重 と 中央たわみ の 関係

各主鉄筋径のはりの最大荷重と重ね継手長さの関係を図 - 2 に示す。この図から、D13 の場合は、重ね継手長さが主鉄筋径の 10 倍程度あれば、一体供試体と比べてほぼ同程度の強度であるのに対し、それより太い主鉄筋では、重ね継手長さが主鉄筋径の 10 倍程度では一体供試体と比較して強度は大きく劣っていた。その傾向は主鉄筋径が大きくなるほど著しい。しかし、重ね継手長さが主鉄筋径の 20 倍程度あれば、一体供試体と同程度の強度を発揮した。大部分の接合はりは、最終的には、概ね凸側ブロックの主鉄筋の先端部付近のひび割れが急激に大きくなり耐力を失った。なお、主鉄筋径が小さく重ね継手長さが長い場合には、一体はりとはほぼ同様の曲げ破壊を生じた。

次に D13 および D22 供試体について荷重とスパン中央たわみの関係を図 - 3、図 - 4 に示す。まず D13 供試体について見てみると、強度は先ほど述べたように、重ね継手長さが主鉄筋径の 10 倍以上あれば一体供試体と同程度であるが、塑性域での変形能力が多少低下する傾向にあった。また、D22 供試体の場合には、強度は重ね継手長さが主鉄筋径の 10 倍程度では一体供試体に比べて不足しており、最大耐力到達後の荷重の減退も急激で、主鉄筋が急激にすべり始めたことがうかがえた。重ね継手長さが主鉄筋径の 20 倍では強度は一体供試体と同程度といえるが、塑性域での変形能力がほとんどなかった。

以上のことから、主鉄筋径が大きくなるほど一体供試体の場合と同一の強度を発揮するのに必要な重ね継手長さの対鉄筋径比が大きくなり、また継手部を有する場合、塑性変形能力が低下し、この傾向は主鉄筋径が大きくなるほど著しいことがいえる。

3.3 シースの有無

S_n シリーズでは、凹側継手部の主鉄筋の周りに空間を得るために、PC 鋼材用シースを埋め込んだ。このシースによる継手部の拘束の影響を調べるために、 N_n シリーズではシースを用いず、型枠によって主鉄筋周りに空洞を設けた供試体

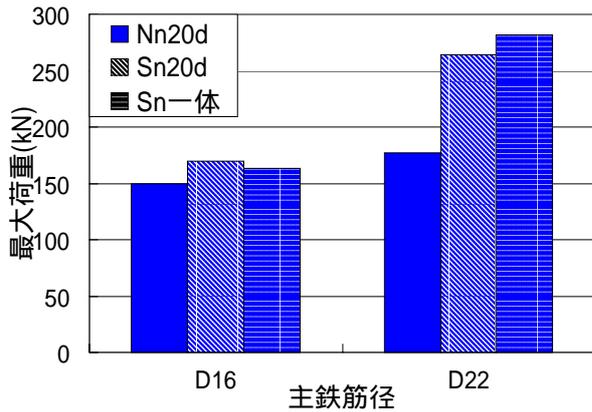


図 - 5 Nn と Sn の最大荷重比較

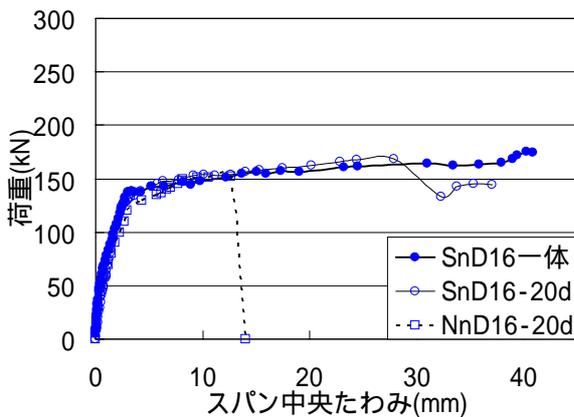


図 - 6 Nn と Sn の荷重と中央たわみの関係

について曲げ載荷試験を行った。

Nn シリーズと Sn シリーズの最大荷重の比較を図 - 5 に示す。この結果から主鉄筋径が D16 では、シースがなくても一体供試体とほぼ同程度の強度を有するが、D22 になるとシースがない供試体では一体供試体やシースの埋め込んだ供試体に比べて大きく強度が低下し、シースによる拘束の効果が大きいと言える。次に、D16 の Nn シリーズと Sn シリーズの荷重とスパン中央たわみの関係を図 - 6 に示す。この結果からわかるように、シースのない供試体は先ほど述べたように、シースのある場合と比較して、最大荷重はほぼ同程度であるのに対し、塑性域での変形能力が極めて小さい。Nn シリーズの D22 では、継手長さが主鉄筋径の 20 倍であるにもかかわらず、Sn シリーズの主鉄筋径の 5 倍と 10 倍の間の強度しか発揮できず、最大耐力後の荷重低下も急激で、主鉄筋の引き抜け破壊を起こした。このことから、シースによる主

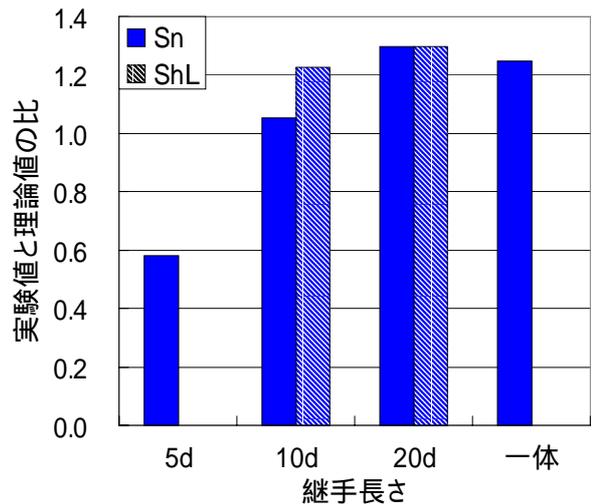


図 - 7 D16 最大荷重の実験値と理論値の比

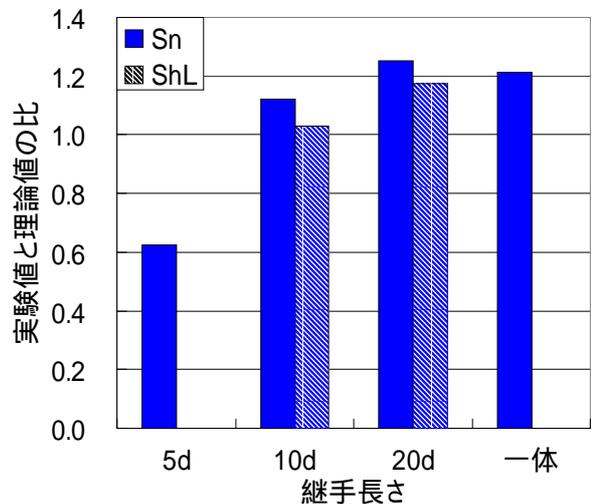


図 - 8 D19 最大荷重の実験値と理論値の比

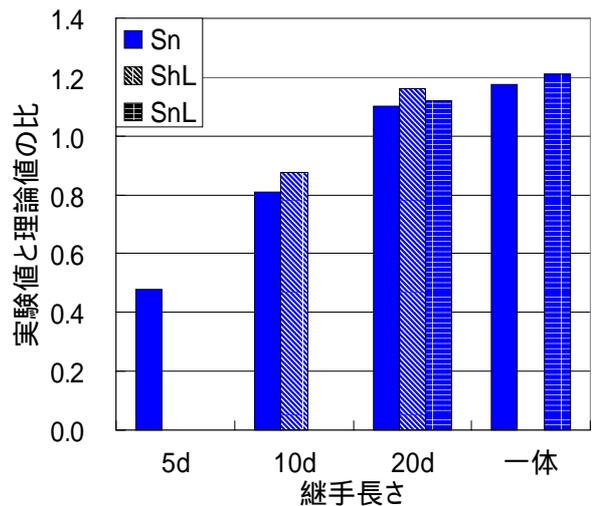


図 - 9 D22 最大荷重の実験値と理論値の比

鉄筋の重ね継手部のわずかな拘束が、継手部の性能向上にかなり大きな影響を与えていることがうかがえ、今後その定量化が必要である。

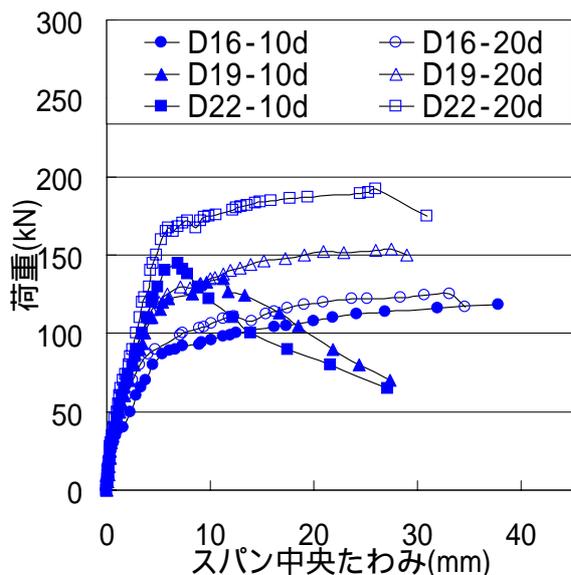
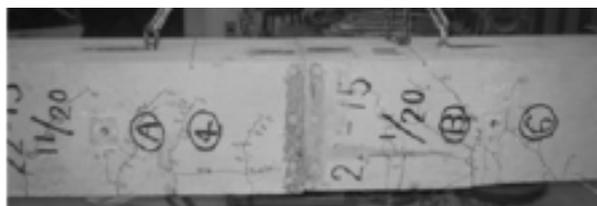


図 - 10 ShL の荷重と中央たわみの関係



(a) Sn シリーズ



(b) SnL シリーズ

写真 - 2 破壊状況

3.4 供試体寸法および充てん材の影響

D16, D19, D22 供試体の最大荷重の実験値と理論値の比をそれぞれ図 - 7, 図 - 8, 図 - 9 に示す。また ShL シリーズについて、荷重とスパン中央たわみの関係を図 - 10 に示す。凸側、凹側それぞれ長さ 750mm のブロックを接合した場合、主鉄筋径が大きくなり、継手長さが長くなると、その端がせん断スパンに入ってしまう。この影響について、図 - 9 において Sn シリーズと SnL シリーズを比べてみると、両者の値はほぼ同じとみなすことができ、また最終的な破壊性状も似ているところから、この影響は

ほとんどないと考えて差し支えない。このときの破壊状況を写真 - 2 に示す。

次に、充てん材に超高強度モルタルを使用すると、D16, D19 に関しては、継手長さが主鉄筋径の 10 倍以上あれば一体はりとはほぼ同じ強度を発揮し、D22 では 20d あれば一体はりと同じ強度を発揮した。普通モルタルを充てんした場合と比較して、同一程度ないし若干増加する傾向であった。さらに図 - 10 より、塑性変形能力に関しても超高強度モルタルを充てんした場合、大幅に改善され、すべての主鉄筋径について継手長さが主鉄筋径の 20 倍あれば、一体供試体と同程度の塑性変形能力を有しており、D16 では継手長さが主鉄筋径の 10 倍あれば一体供試体と同程度であった。

4. まとめ

鉄筋コンクリートプレキャストブロックの接合における主鉄筋の重ね継手に関する実験で以下のことが明らかになった。

- (1) 主鉄筋径が大きくなるほど一体供試体の場合と同一の強度を発揮するのに必要な重ね継手長さの対鉄筋径比が大きくなるとともに、塑性変形能力が低下する。
- (2) 重ね継手部をシーす等でわずかに拘束すると重ね継手の性能を向上させるのに効果がある。
- (3) 重ね継手部の充てん材に超高強度モルタルを用いると、重ね継手の性能がかなり改善される。

以上の結果から、本実験に関する限り、PC 鋼材用シーすを埋め込んだものでは、主鉄筋径が 22mm 以下の場合、主鉄筋径の 20 倍以上の継手長さがあれば、一体供試体の場合と同程度の強度を有し、充てん材には超高強度モルタルを使用することで、塑性域での変形能力も確保できると考えられる。