

論文 超速硬高流動コンクリートを用いて接合した CFRP 補強プレキャスト部材の曲げ, せん断試験

林 悠志*1・吉澤 弘之*2・林田 道弥*2

要旨: シールドで直接切削するための CFRP 格子筋を用いた 2 つのプレキャスト部材を, 現場での杭部材としての接合を想定し, 垂直に立てた状態で超速硬高流動コンクリートを打設することで接合した。接合した供試体を用いた耐力試験を行った結果, 曲げ試験, せん断試験ともに, 許容応力時耐力を大きく超えた。また, 破壊面の観察を行った結果, 接合部に十分にコンクリートが充填されており, 立てた状態で超速硬高流動コンクリートを打設して, 短時間に接合することが可能であることが確認できた。

キーワード: シールド, 直接発進壁, 現場接合, 超速硬高流動コンクリート, CFRP 格子筋

1. はじめに

シールドマシンで直接切削可能な仮壁を構築する際に, CFRP を補強筋としたプレキャスト部材が用いられることが多い。この中で近年, 空頭制限があり杭長を長くできない場合や, シールド径が大きいいため杭長や重量の問題により輸送困難なケースが増加してきた。このため現場において短時間で確実に, プレキャスト部材を接合一体化する技術が求められている。今回, 超速硬高流動コンクリートを用いて 2 分割された CFRP 補強プレキャスト部材を, 垂直に立てた状態で超速硬高流動コンクリートを打設することにより接合した。接合した供試体の耐力を確認するために曲げ試験とせん断試験を行った。

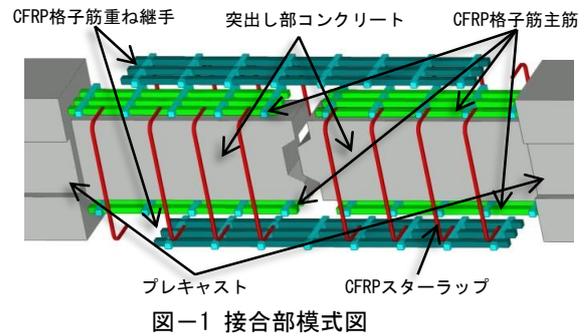


図-1 接合部模式図

2. 杭部材の接合

2.1 組立

図-1 に接合部の模式図を示す。それぞれのプレキャスト部材の接合部は, 写真-1 のように CFRP 格子筋が突出して, そこに重ね継手を配置し力を伝達させる構造にした。プレキャストに用いたコンクリートは呼び強度 45N/mm², スランプ 15cm, 粗骨材サイズ 20mm のものを使用した。突出し部コンクリート等のプレキャスト部接合部は, プレキャストの打設時に遅延材塗布, 洗い出しを行った。超速硬高流動コンクリートを打設して接合するまで 3 日間の水分養生を施した。2 つのプレキャスト部材に, 写真-2 のように重ね継手とスターラップを配筋した後に型枠を組立てた。型枠は厚さ 12mm のコンパネ製で, 流動孔を側型枠の最下部に, 空気抜き用の流出孔を型枠最上部付近に設置し, 各面に補強用の型鋼をねじ留した。



写真-1 プレキャスト接合部



写真-2 接合部配筋

2.2 接合

型枠を組立てた後に, 写真-3 の様に壁面に固定して垂直に立てた状態で, 呼び強度 50N/mm², スランプフロー 650mm, 粗骨材サイズ 15mm の超速硬高流動コンクリ

ートを連続練りミキサーで計量, 練り混ぜを行いながら, 圧送ポンプを用いて型枠内に流し込んだ。使用した超速硬高流動コンクリートの配合表を表-1 に示す。ポンプ

*1 日鉄ケミカル&マテリアル(株) コンポジット事業部 (正会員)

*2 日鉄ケミカル&マテリアル(株) コンポジット事業部

は連続稼働させずに、型枠パイプはコンクリートを分離させないために最小限に使用しながら、1体あたり約15分間で打設は終了した。打設終了後、3.5時間で、8.9N/mm²、4時間で25.0N/mm²の強度が発現しているのが確認できたので、横置きして脱型した。脱型後、外観を確認したが、写真-4に示すように問題なく、プレキャスト部材を立てた状態で打設・接合することが確認できた。

3. 試験方法

3.1 材料

(1) コンクリート

耐力試験当日のコンクリートの圧縮強度を測定した。表-2に試験結果を示す。後述する曲げ耐力、せん断耐力の予測値は、測定された超速硬高流動コンクリートの圧縮強度をもとに算出した。

(2) CFRP 格子筋

使用したCFRP格子筋の機械的性質を表-3に示す。スターラップに用いるC8、C10の引張強度、及び許容応力度は曲げ成形により強度低減するため、CM19、C16等に用いる直筋の半分としている。

3.2 曲げ試験

(1) 供試体

図-2のような杭を模した、高さ490mm、幅250mm、2つを接合すると全長4500mmの曲げ試験用のCFRP補強プレキャスト部材を製作した。引張側・圧縮側の筋材はともに同じCFRP格子筋を用い、主筋はCM19を60mmピッチで3本、配筋筋はC16を150mmピッチで配筋した。重ね継手長さは、供試体と試験機の都合上、理想的な設計値570mm(筋番サイズ19×30倍)より短い450mmとした。先行研究にて筋番サイズの30倍以上の継手長さを確保すれば、重ね継手強度はCFRP格子筋の引張強度以上になることを確認している。重ね継手用のCFRP格子筋はプレキャスト部材の格子筋と同様の筋材を用いている。プレキャスト部材のスターラップD13を150ピッチで配筋した。等曲げ区間、せん断スパンになる範囲のスターラップはC10、2本を150mmピッチで、型枠組立前に配筋し、超速硬高流動コンクリートを打設して2つのプレキャスト部材を接合して供試体を作製した。

(2) 試験概要

スパンは4200mm、等曲げ区間は1300mm、せん断スパン比は3.49である。荷重制御10kNピッチで載荷し、100kN、200kN毎に除荷してひび割れを観察した後に、最後に破壊まで載荷した。載荷荷重、変位を測定項目とした。

3.3 せん断試験

(1) 供試体

表-1 超速硬高流動コンクリート配合表

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				SP (C×%)	遅延剤 (C×%)
		W	C	S	G		
33.5	55.5	175	522	903	759	0.56	0.65

※ セメントは超速硬タイプを使用した。



写真-3 打設状況



写真-4 脱型後外観

表-2 コンクリート圧縮強度試験結果

	プレキャスト部	超速硬高流動コンクリート
平均 N=3 (N/mm ²)	58.9	56.3
材齢 (日)	92	27

表-3 CFRP 格子筋の機械的性質

筋番	標準断面積 (mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	許容応力度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)
CM19	148	1200	540	165
C16	100	1200	540	100
C10	39.2	600	270	100
C8	26.4	600	270	100

※ C8、C10はスターラップに使用した。

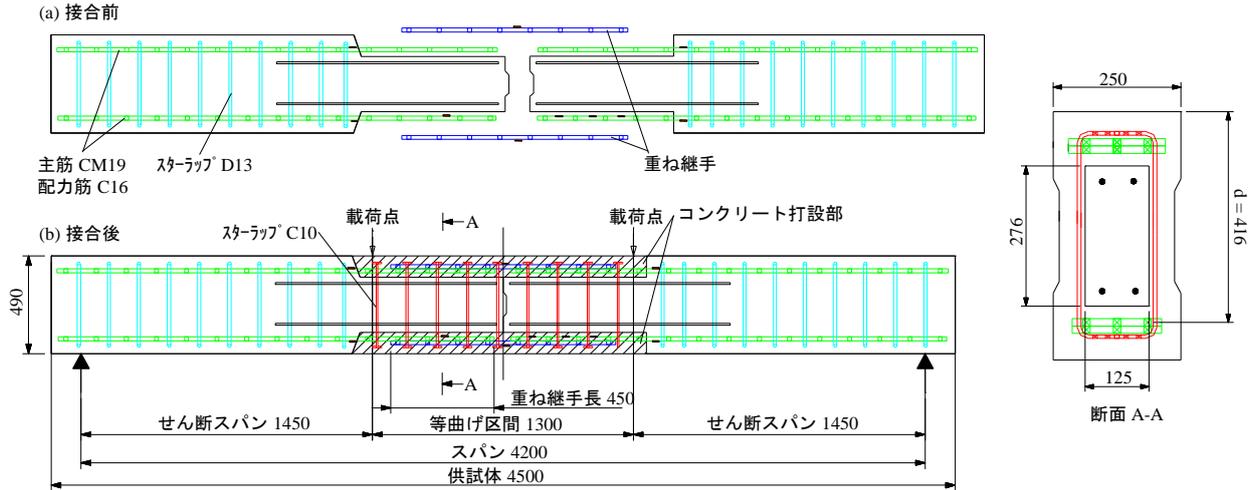


図-2 曲げ供試体模式図

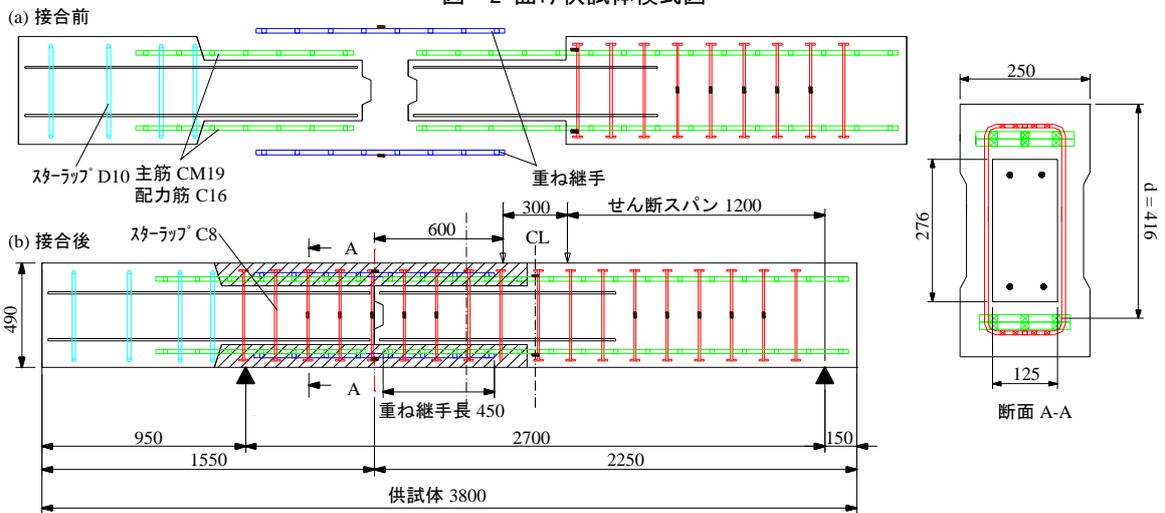


図-3 せん断供試体模式図

曲げ供試体と同様に、図-3 のような杭を模した、高さ 490mm、幅 250mm、2つを接合すると全長 3800mm のせん断試験用の CFRP 補強プレキャスト部材を製作した。主筋、配力筋は曲げ供試体と同様の筋材を用い、重ね継手長さは曲げ供試体と同じ 450mm とした。プレキャスト部材のスターラップは、C8、2本を 150 ピッチで配筋した。スパン内になる範囲のスターラップは C8、2本を 150mm ピッチで、曲げ供試体と同様に型枠組立前に配筋し、超速硬高流動コンクリートを打設して 2つのプレキャスト部材を接合して供試体を作製した。

(2) 試験概要

スパンは 2700mm、せん断スパンは 1200mm、等曲げ区間は 300mm とした。せん断スパン比は 2.88 である。片側のせん断スパン中央に打ち継目が位置するようにし、片側のせん断スパン内に重ね継手全域が来るように配置した。今回の試験でせん断スパン中央に鉛直打ち継目を配置したのは、せん断スパンの中央に打ち継目がある場合に、せん断耐力が一番低くなるという既往の研究¹⁾を

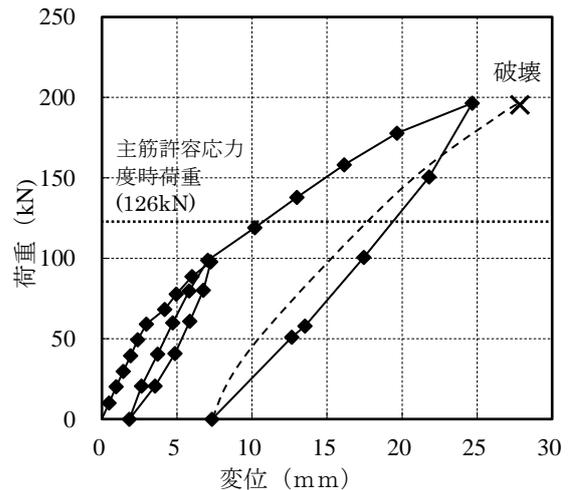


図-4 荷重-変位線図(曲げ試験)

表-4 曲げ試験結果・予測比較 (kN)

	予測値	試験結果
ひび割れ荷重	46.3	59.2
許容応力度時荷重	126	—
終局荷重	278	196

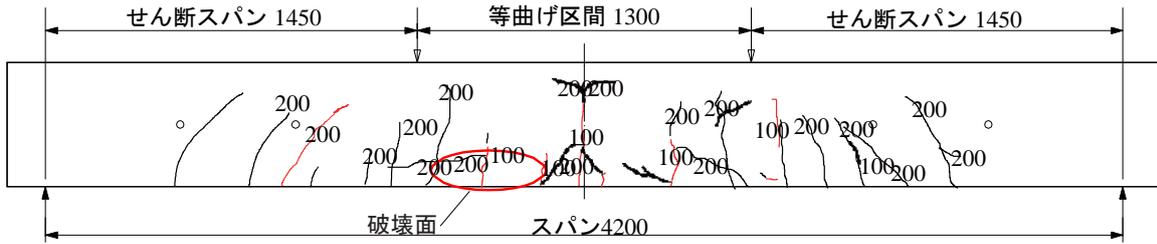


図-5 ひび割れ状況(曲げ試験)

参考にしたためである。せん断試験は、引張側主筋の破断による曲げ破壊と、スターラップのせん断破壊がほぼ同時に生じるが、僅かながら曲げ破壊が先行する予測である。荷重制御 10kN ピッチで載荷し、100kN, 200kN, 250kN 毎に除荷してひび割れを観察した後に、最後に破壊まで載荷した。載荷荷重, 変位, 等曲げ区間の主筋とせん断スパン区間のスターラップのひずみを測定項目とした。

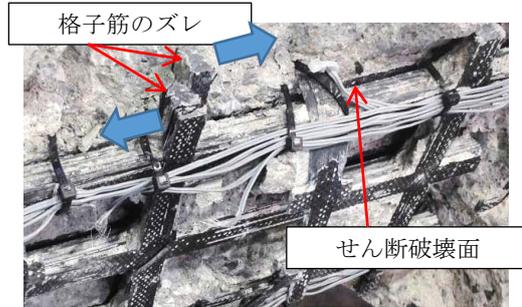


写真-5 終局時破壊面(曲げ試験)

4. 試験結果

4.1 曲げ試験

(1) 荷重-変位線図

試験での荷重変位の関係を図-4 に示す。200kN 載荷後に除荷し、変位計を取り外したため、これ以降の変位は計測されていない。100kN, 200kN 載荷後に除荷し、再載荷時の 196kN で終局となった。載荷荷重が 126kN 時に引張側主筋の許容応力度に達するが、それを大きく超えた約 1.6 倍の耐力を得ることができた。表-4 に示した終局荷重の予測値は、引張側主筋の引張破壊時の荷重を想定している。最大荷重の実測値は筋材破断が同時に生じると想定した場合の予測値より、約 30%程度低い結果となった。これは、筋材の引張破壊を想定していたが、実際の破壊モードは継手破壊であったためであると考えられる。今回の試験では、試験の制約上、継手長さが 450mm と理想的な設計値 570mm より短く、継手長さを長くすれば耐力の向上が見込めると考えられる。

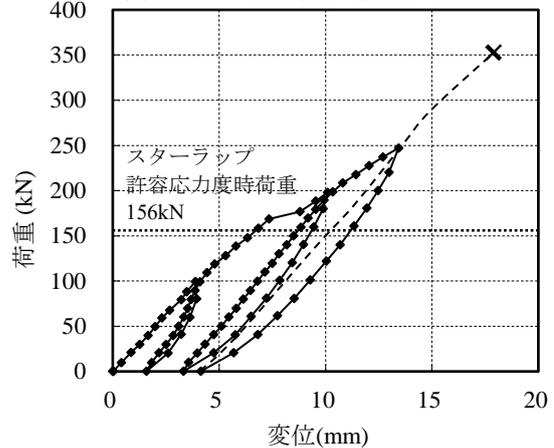


図-6 荷重-変位線図(せん断試験)

表-5 せん断試験結果・予測比較(kN)

	予測値	試験結果
ひび割れ荷重	56	約 20(予想)
許容応力度時荷重	156	—
終局荷重	曲げ	335
	せん断	355 ²⁾
		359

(2) 破壊様相

図-5 に示すように、初期ひび割れは接合部である等曲げ区間中央で生じたが、今回の終局破壊は重ね継手の破壊である。終局時には供試体は大きな音とともに、等曲げ区間左側、主筋下部のコンクリートが大きく脱落した。この脱落部を、試験後に余分なコンクリートを除去し詳細に観察した。写真-5 に示すように、破壊部を詳細に観察したところ、配筋時にはプレキャスト部材と重ね継手の格子筋は揃っていたが、終局破壊時には所定位置からズレており、また格子筋と格子筋の間にせん断破壊面があることが分かる。これは重ね継手部の格子筋がずれ、格子内のコンクリートが純せん断で破壊している

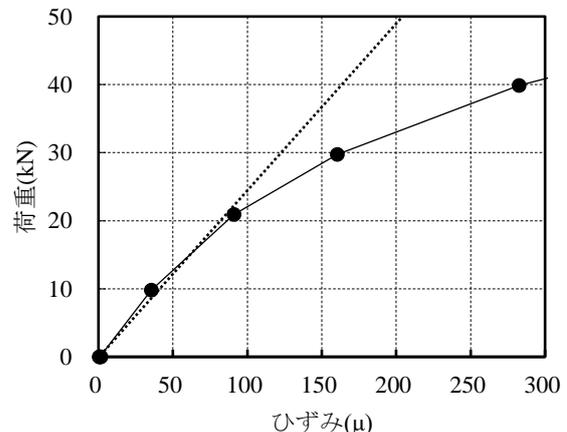


図-7 引張側主筋ひずみ(平均)

継手の CFRP 格子筋が所定位置からズレており、重ね継手部の 2 枚の CFRP 格子筋境界にある格子内のコンクリートが純せん断で破壊していた。そのため、本せん断試験の破壊形態は継手破壊である。

(3) 接合の影響

図-9(a)に打継部、図-9(b)にプレキャスト部(右側)のコンクリートと、スターラップそれぞれのせん断抵抗とせん断力の関係を示す。スターラップが受け持つせん断抵抗は、スターラップのひずみにスターラップの弾性係数と断面積を乗じ算出した。コンクリートが受け持つせん断抵抗は、せん断力からスターラップが受け持つせん断抵抗を減じて算出している。図-9(a)に示す打継部のコンクリートの受け持つせん断抵抗と、図-9(b)に示すプレキャスト部のコンクリートが受け持つせん断抵抗を比較すると、せん断ひび割れ発生後の打継部のコンクリートが、プレキャスト部のコンクリートと同等以上にせん断力を負担している。そのため今回のせん断試験では、せん断耐力に及ぼす打継の影響は無かったと考えられる。また、曲げ試験と同様に、継手破壊面において CFRP 格子筋内には非常に緻密にコンクリートが充填されており、供試体を垂直に立てた状態で、問題なく超速硬高流動コンクリートによる打設、接合が可能であることが分かった。

5. 結論

- ・ 現場作業を想定し、2 体の杭部材を切削可能部材と超速硬高流動コンクリートを用いて接合することができた。
- ・ 曲げ試験、せん断試験ともに、破壊した試験体の観察では、重ね継手部のコンクリートの充填は十分であり、プレキャスト部材を立てた状態で超速硬高流動コンクリートを用いた打設・接合には問題が無い。
- ・ 曲げ試験体は継手の破壊で終局となった。しかしながら、破壊時の耐力は、主筋が許容応力度時の曲げ耐力の 1.6 倍以上と十分に高い値であった。
- ・ せん断試験体は継手の破壊で終局となった。しかしながら、破壊時の耐力は、主筋が許容応力度時のせん断耐力の 2 倍以上と十分に高い値であった。

参考文献

- 1) 辻 幸和, 杉山 隆文等, 「鉛直打継目を有する RC はりの鋼板補強に関する基礎研究」, 土木学会論文集, No. 571, V-36, p.169-183, 1997.
- 2) 趙 唯堅, 丸山 久一, 「連続繊維補強コンクリートはりのせん断耐荷機構とせん断耐力評価」, 土木学会論文集, No. 578, p.1-17, V-37, 1997.