高性能な間詰め材で一体化させた新しい鉄筋継手構造の開発 論文

北村 健*1・趙 唯堅*2・細谷 学*3・岩城 一郎*4

要旨:プレキャスト構造の施工を行う際に、プレキャスト部材同士の接合作業に手間を要し、構造的に弱部 になる懸念がある。本研究では、2種類のプレキャスト部材の接合に関する新しい鉄筋継手構造を考案した。 これらは、プレキャスト部材から突出させた鉄筋先端にお互いに噛み合う構造の鋼製治具を配置したもので、 高性能な間詰め材を用いて一体化を図る構造である。基礎的な性能検証として,1組の接合部位を模擬した引 張試験を実施した。いずれの手法においても、鉄筋継手部の横拘束や間詰め材の繊維補強を行うことにより、 鉄筋の規格降伏強度と同等の性能を発揮できることを確認した。 キーワード: RC 接合, プレキャスト, 鉄筋継手, 繊維補強モルタル

1. はじめに

昨今, 少子高齢化に伴う建設労働人口の減少を踏まえ, 施工の省力化に対する要望が強くなっている。そのよう な社会環境の中で、プレキャスト部材を適用することに より,構造物の品質を確保もしくは向上させ,さらに現 場負担を少なくする取組みが注力されている。

プレキャスト部材の接合構造として従来は,重ね継手, ループ継手、機械式継手などが挙げられる。しかしなが ら,これらの継手構造は,継手構造の寸法上の制約から, プレキャスト部材間の後施工部分の幅に 400~500mm 程 度を必要とする。そのため、現場で施工する後施工箇所 のボリュームが比較的大きくなり、現場施工の省力化へ のメリットが少なくなる。また、プレキャスト部材を適 用する場合,部材間の接合部が施工上の不具合などもあ り構造的に弱部になる可能性を指摘されており、高耐 久・高品質の接合方法が求められている。

これらを勘案すると,極力,接合部位を縮小すること により,現場施工の省力化や弱部になるリスクを減らす とともに、更に高品質な間詰め材を供給することにより 高耐久な接合構造が実現すると思われる。

そこで本研究は、プレキャスト部材の接合を念頭にお き, 広範囲に適用可能な新しい鉄筋の継手構造の開発を 目指すものである。

3. 鉄筋の継手構造

2.1 継手構造のコンセプト

本継手構造のコンセプトとして、現場での接合作業が 簡単で手間が掛からない,かつ,安定した品質を確保で きることとした。前述の通りプレキャスト部材間に適用 される継手構造は,重ね継手,ループ継手,機械式継手 等が挙げられる。標準的な重ね継手 1)やループ継手 2)3)

*1 大成建設(株) 土木技術部 課長 工修 (正会員) *2 大成建設(株) 技術センター土木技術研究所 次長 工博 (正会員) *3 大成建設(株) 土木技術部 次長 工博 (正会員) *4 日本大学 工学部 土木工学科教授 工博 (正会員)

は,継手部に所定の継手長を確保する必要があるため, 必然的に後施工箇所を大きく設ける必要が生じる。そこ で、この接合幅を改善するための継手方法がいくつか開 発されている4)5)。一方,機械式継手では、トルク固定方 式やモルタル充填方式など多岐に渡る方法が適用可能で あるが、比較的規模の小さいプレキャスト部材間への適 用は可能であっても断面の大きな(鉄筋継手箇所が多数 ある)構造に対しては、継手箇所での鉄筋配置にズレが 生じ接合が困難となったり、また、配置できたとしても 各々の鉄筋の接合作業に手間を要することが懸念される。

そこで、プレキャスト部材の端部に配置した鉄筋継手 治具の周囲を高性能な間詰め材で打込み・養生するのみ で,鉄筋(プレキャスト部材)の接合が完了する構造を 検討する。

ここに、そのような接合形式として以下の2つを考案 した。なお、鉄筋継手治具同士のクリアランスが小さい ため、いずれの接合形式においても間詰め材は無収縮モ ルタルを使用するものと設定した。

2.2 継手構造の概要

(1) 継手構造 A

プレキャスト部材から突出する鉄筋の先端にプレートを 取付けておく。また、プレートは、図-1 に示すように





図-2 継手構造 B の概要図

表-1 鋼材の材料特性

材料種類	仕様	力学特性(N/mm ²)		
		ヤング係数	降伏強度	引張強度
先端冶具	SM 490	1.91×10 ⁵	354	540
鉄筋	SD345,D19	1.80×10 ⁵	387	556

表-2 セメント系材料の材料特性

		力学特性(N/mm ²)	
材料種類	仕様	ヤング係数	圧縮強度
コンクリート (模擬床版)	C40-早強	_	48.7
無収縮モルタル① (間詰め部)	繊維なし	3.30×10 ⁴	113
無収縮モルタル② (間詰め部)	鋼繊維 (混入率1.0vo1%)	3.35×10 ⁴	109

対向する鉄筋が通過する位置に切欠きを設けておく。こ のような先端治具が取付けた鉄筋をお互いに噛み合う様 に配置し、先端治具の内部ならびに周囲を高性能な間詰 め材で打込み・養生すると共に一体化する。

図-1 の継手概要図では、プレキャスト部材を左右に 移動させることにより容易に所定の位置に設置できる。

(2) 継手構造 B

片側の鉄筋には、円形もしくは矩形のプレートを取付 けておく(以下,T型と記載する)。一方,対向する鉄筋 の先端には、先のプレートを包み込む形状(以下,C型 と記載する)の治具を取付けておく。配置後、先端治具 の内部ならびに外周を高性能な間詰め材で打込み・養生 することにより一体化する。

図-2 の継手概要図では、上下方向に移動することにより容易に所定の位置に設置できる。

3. 継手構造の引張試験

継手構造(A ならびに B)に対して,1 組の接合箇所 を設けた試験体を製作し,引張試験を行うことにより, その静的耐力ならびに破壊に至る変状を確認する。

3.1 使用材料

鉄筋は D19 (SD345) の1 種類とした。また,先端治 具の材質は,全て SM490 とし,鉄筋との接合は摩擦圧接 を施した。コンクリート材料として,プレキャスト部材 を模擬したコンクリート部分は,設計基準強度 40N/mm²,



図-3 試験体の形状図

接合部の間詰め部分は,設計基準強度を 80N/mm² とした。 なお,間詰め材には無収縮モルタルを適用しているが, 補強繊維の混入の有無による継手耐力への影響も確認し た。混入した繊維は,極細鋼繊維(繊維直径 0.16mm, 繊維長 6mm),引張強度 2,800N/mm² である。試験時の材 料試験の結果を表-1,表-2 に示す。

3.2 試験体

先端治具の標準配置の方向は、図-1 ならびに図-2

	鉄筋の 接合形式	間詰め材への 繊維混入の有無	側面拘束 の有無
CASE1	貫通鉄筋	有	無
CASE2	接合案A	無	有
CASE3	接合案A	有	有
CASE4	接合案A	有	無
CASE5	接合案B	無	有
CASE6	接合案B	有	有
CASE7	接合案B	有	無

表-3 試験ケース





図-5 載荷パターン

に示すように考えているが,引張試験は,90度回転させ た状態で実施する。これは,接合部の上下面が最小のか ぶりとなり,載荷時のひび割れ発生が想定される面とな ることから,その両面のひび割れ発生状況を確認できる ように配慮したためである。

試験体の製作は、いずれの継手構造に関しても以下の 方法で行った。まず、接合用の鉄筋がプレキャスト部材 を模擬した試験体コンクリート部から突出させた状態で 打込み・養生した。その後、突出した鉄筋継手治具を組 み合わせて配置し、外周の型組を行い、間詰め材の無収 縮モルタルを打込み・養生した。試験体の形状寸法を図 -3 に示す。

3.3 試験ケース

本継手方法は、間詰め部を介して鉄筋を一体化させる 構造である。そのため、継手の構造性能に影響を与える 要素として、治具の仕様のほか、間詰め材の強度や補強 繊維の有無、側方の拘束状態(プレキャスト部材内の配



置が最外縁であれば側方拘束が小さくなる等の配置条件 によるもの)が考えられる。そこで、これらを勘案して 選定をした実験ケースを**表-3**に示す。

3.4 載荷方法

(1) 載荷装置

架台は, 試験体を囲むようにロ型の鋼製フレームを使 用した。載荷器具は, 緊張側に 50t のセンターホールジ ャッキを設置し, 固定側は鉄筋を固定する定着具を配置 した。また, 側方拘束があるケースでは, なじみをとる ための側方拘束ジャッキ2個を設置し, 試験時には各々 1kN を載荷後に固定した状態とした。載荷試験装置の概 要を図-4に示す。

(2) 載荷方法

載荷は、前述の通り 50t センターホールジャッキによ り行った。継手指針のを参考に、鉄筋の許容応力度レベ ル、高応力レベル(0.95fy)および高ひずみレベル(5 ε y) の3段階で、引張側(一方向)の繰り返し載荷とした。 なお、繰り返し回数は各4回とした。また、ここでの鉄 筋の許容応力度レベルは、プレキャスト部材の一例とし て道路橋床版を考慮し、道路橋示方書つにおける RC 床 版の鉄筋における許容応力度の推奨値(120N/mm²)を採 用し、高ひずみレベルは、接合面の鉄筋ひずみが 8,625 μ となるように載荷を行った。載荷パターンを図-5 に 示す。

3.5 計測

計測は、荷重、側方拘束の荷重、鉄筋のひずみ(試験 体外部ならびにコンクリート-間詰め材境界),接合治具





鋼材の表面ひずみ,間詰め幅の変化量とした。計測機器 の配置図を図-6に示す。

4. 試験結果

4.1 継手構造 A

(1) 破壊状況

破壊状況の一例として CASE3 の状況を写真-1に示す。 先端継手冶具の両方の圧接部を結ぶような方向に斜めの ひび割れが大きく進展し,最終的に片側の先端冶具と鉄 筋の圧接部で破断した。CASE4 も同様に破断した。

(2) 荷重-間詰め幅変位量

継手構造Aと,基準となる貫通鉄筋におけるケースの 荷重-間詰め幅変位の関係を併せて図-7に示す。最大荷 重は,CASE3>CASE2>CASE4の順で小さくなっており,



側方拘束や間詰め材への繊維の混入が継手耐力に一定の 効果を有することを確認した。また, CASE3 においては, 鉄筋の規格降伏強度以上の耐荷性能を有することも確認 された。なお,側方拘束の効果が確認されたことから, プレキャスト部材へ適用する際は配置条件に留意する必 要があると考えられる。

(3) 側方拘束力

CASE2 ならびに CASE3 における荷重-側方拘束力の関係を図-8 に示す。両ケースとも、載荷初期段階から緊張側と固定側のひずみ差が生じている。本継手構造は、対向する鉄筋が偏心配置のため、載荷初期段階から局所的な回転力が作用することで差が生じると考えられる。

(4) 鉄筋ひずみ (露出部)

試験体から露出した部分の鉄筋ひずみを計測した結 果を図-9に示す。側面拘束した場合(CASE3),鉄筋断 面の対称配置のひずみはほぼ同等である。一方,側方拘 束を行わない場合(CASE4)は,載荷初期段階からひず み差が急激に増加し,3000µ程度まで広がっている。こ のことからも,載荷直後から試験体全体に回転力が作用 していること示していると考えられる。

(5) 鉄筋ひずみ(試験体内部)

引張荷重-内部鉄筋ひずみの関係を図-10 に示す。全 てのケースで鉄筋の継手内側 (S2 ゲージ) において載荷 荷重 52~70kN 程度で引張側が降伏に至っている。間詰 め材への繊維を混入した場合(CASE3 および CASE4)は、



70kN 程度で降伏した後も荷重が増進し最終的に破断に 至っている。一方,繊維の混入のない場合(CASE2)は, 載荷荷重 35kN 程度で急激に増加し,52kN 程度で最も早 く引張側が降伏に至っている。これは 35kN 程度でひび 割れが発生した後,繊維の混入がないことから急激にひ び割れが進展したためと考えられる。

(6) 先端治具ひずみ

先端治具のひずみを図-11 に示す。材質を SM490 材 としており,実降伏強度は 354N/mm² (ひずみ換算 1,853 μ)である。計測箇所が最大値を示しているわけではな いが,先端治具自体は計測箇所では降伏に至っていない ことがわかる。

4.2 継手構造 B

(1) 破壊状況

破壊状況の一例として CASE6の状況を写真-2に示す。 C型治具が開口側で広がり、その形状に沿うようにひび 割れが入っていた。側方拘束がない場合(CASE7)、この ひび割れの幅が、特に大きく進展していた。なお、試験 終了後に間詰め材を撤去すると、全てのケースで C型治 具は降伏していた。

(2) 荷重-間詰め幅変位量

継手構造 B と,基準となる貫通鉄筋におけるケースの 荷重-間詰め幅変位の関係を図-12に示す。最大荷重は, CASE6>CASE5>CASE7の順で小さくなっている。継手 構造 A の場合と同様に,側方拘束や間詰め材への繊維の 混入が継手耐力に一定の効果を有することを確認された。 また,CASE6においては,貫通鉄筋(CASE1)に近い耐荷 性能を有していることが確認された。なお,鉄筋の許容 応力度レベルの載荷時での間詰め幅の変位量は,CASE1 の約 0.2mm に対し,CASE6 は約 0.4mm であった。

(3) 側方拘束力

側方拘束力は,間詰め材への繊維を混入しない場合 (CASE5)で載荷荷重 45kN 程度,混入した場合(CASE6)で 載荷荷重 63kN 程度までほとんど作用せず,その後,徐々 に増えていることがわかる。これは,引張荷重の増加と ともに間詰め部のひび割れが発生し,さらに C型の先端 治具(開口部は緊張側)が開くことにより,試験体が側



方(試験時の上方)に膨らもうとする影響と考えられる。

(4) 鉄筋ひずみ (露出部)

試験体から露出した部分の鉄筋ひずみを計測した結果を図-14に示す。載荷初期段階では,側面拘束の有無



に関わらず,鉄筋対称箇所で同等のひずみが発生してい る。側方拘束がある場合(CAS6)は最後までこの傾向を維 持したが,側方拘束が無い場合(CASE7)は74kN程度 で一気に差が生じた。これは間詰め部のひび割れ発生や 先端冶具の変形とともに,試験体が上方へ浮き上がる挙 動を示す一方,鉄筋の固定端や緊張端は上下方向に動か ないため,鉄筋の軸対称性が失われ,鉄筋に大きな曲げ (回転)が発生したと考えられる。

(5) 鉄筋ひずみ(試験体内部)

引張荷重-内部鉄筋ひずみの関係を図-15 に示す。傾向としては,露出部の鉄筋と同様である。しかしながら, 全てのケースで載荷初期段階から緩やかに鉄筋対称箇所のひずみの差が広がり,約 70~90kN で引張側から降伏しはじめた。側方拘束がある場合(CASE5 および CASE6)は,部分的な降伏後も荷重が増進したが,側方拘束のない場合(CASE7)は載荷荷重 74kN 程度で一気に降伏している。これは,ひび割れ発生後に先端冶具が先行して降伏し,急激な治具の変形に伴う浮き上がりによる影響と推定される。

(6) 先端治具ひずみ

先端治具のひずみを図-16 に示す。側方拘束がある場 合(CASE5 および CASE6)は、載荷荷重 100kN 程度まで 線形的な挙動を示した。その後、繊維を混入しない場合 (CASE5) は引張側で一気に降伏したのに対し、繊維を 混入した場合(CASE6) は、計測箇所では最後まで降伏 ひずみを確認するに至らなかった。これは、繊維の混入 がひび割れの進展を抑制し,治具外周の間詰め部が先端 治具の変形を拘束したためと考えられる。一方,横方向 拘束が無い場合(CASE7)は,載荷荷重 62kN 程度で先端治 具に急激にひずみが増加し,74kN で降伏している。これ は間詰め材のひび割れが発生後,先端治具の変形が一気 に進展した結果と想定される。

5.まとめ

鉄筋の継手構造に対する引張試験を実施し,新しい鉄 筋継手の耐荷力ならびに破壊状態を確認した。 (1)継手構造 A の場合,対向する鉄筋が偏心しているため, 鉄筋に引張力が作用すると鉄筋継手付近に回転力(曲げ モーメント)が生じる。全ケースで先端治具(プレート) の降伏は確認されず,破壊時は先端冶具と鉄筋の摩擦圧 接部で破断する傾向があった。鉄筋継手に作用する曲げ モーメントの影響と想定され,側方拘束がある状態,か つ,間詰め材の繊維補強を行う場合,継手の耐荷力は鉄 筋の規格降伏強度を確保できた。

(2)継手構造 B の場合,間詰め材のひび割れとそれに伴う 先端治具(C型)の変形が進展し,先端治具(C型)が降伏し て破壊に至っている。側方拘束がある状態,かつ,間詰 め材の繊維補強を行った場合,継手の耐荷力は鉄筋の規 格降伏強度を確保できた。今後,C型治具の仕様(板厚, 材質)を見直すことにより,継手耐力ならびに耐久性の 向上を検討していく。

参考文献

- 1) 土木学会:コンクリート標準示方書 2012 年制定, pp330-349, 2012.12
- 2) DIN1045, pp.133-148, 1988.7
- 中村定明,三浦 尚: RC ループ継手の力学挙動に 関する基礎的研究,土木学会論文集, No.774, V-65, pp.17-26, 2004.11
- 4) 大信田秀治,横田正幸,仁井谷教治,中川宏希:エ ンドバンド鉄筋を用いた新しい連結桁の設計・施工, プレストレストコンクリート技術協会 第 19 回シ ンポジウム論文集, pp.5-8, 2010.10
- 吉松秀和,松井繁之,大澤浩二,中山良直,水野浩, 表 真也:床版取替え用プレキャスト PC 床版の合 理化継手の開発,土木学会 構造工学論文集 Vol60A, pp.1159-1168, 2014.3
- 6) 土木学会:鉄筋定着・継手指針[2007 年版], コンク リートライブラリー128, pp.41-46, 2007.8
- 7) 日本道路協会:道路橋示方書・同解説(鋼橋編), pp.276-277, 2012.3