

論文 充填材の種類および挿入側鉄筋のヘッド加工がモルタル充填継手の耐荷性能に及ぼす影響

森本 健斗*1・村上 力也*2・尾上 幸造*3

要旨: 本研究では、モルタル充填継手の引張耐力を向上させる要素のうち、充填材の膨張性能および挿入側鉄筋のヘッド加工のどちらがより支配的であるかを検証することを目的として種々のパラメータを設定し一軸引張試験を実施した。その結果、セメント系低膨張型充填材を使用し挿入側鉄筋にヘッド加工を施した場合は母材破断を達成することができなかつたが、高膨張型充填材を使用した場合はヘッド加工なしでも母材破断を達成することができた。このことからモルタル充填継手の耐荷性能に関して充填材の膨張性能がヘッド加工より支配的な要因である可能性が示された。

キーワード: モルタル充填継手, 充填材, ヘッド加工, 定着長, 一軸引張試験

1. はじめに

近年の少子高齢化の波は土木建設業界にも及んでおり、土木建設業界の高齢化や現場における若い技術者の不足が大きな問題としてクローズアップされている。また、戦後に建設された多くの社会資本が一斉にその更新を迎えようとしている。この様な問題に対して、プレキャスト(以下, PCa)コンクリート製品を利用することは、現場における省力化および工期短縮につながるため有力な解決策の一つとして考えられている。

国土交通省では ICT (Information and Communication Technology) を現場に導入することによって、建設業界全体の生産性向上を図り、より魅力ある建設現場を目指す「i-Construction」を進めている¹⁾。i-Construction の取組みの一環として、PCa コンクリート製品は天候の影響を受けにくく上質な製品を作製できることから、建設現場の生産性を大きく向上できると期待されている²⁾。

PCa コンクリート製品を実際に使用する場合には製品同士の接合部に継手が用いられる。継手の種類として従来より重ね継手、摩擦圧接継手、ねじ筋鉄筋接手などがあるが、誤差吸収能力に優れている点や施工の容易さなどからモルタル充填継手が PCa コンクリート製品同士の接合に多用されている。

このように PCa コンクリート製品を製作するうえでモルタル充填継手は他の継手と比較して優れていると考えられるが一定の定着長を確保する必要があり、それにより構造が比較的大きくなることで薄肉部への定着には不向きであることが改善すべき点として挙げられている³⁾。また、定着長が増加することによってせん断補強筋の配置間隔が長くなり、構造上せん断に対する耐力は不利になることも指摘されている⁵⁾。

このような問題に対して著者らは、将来的に橋梁高欄部等への適用を念頭に置き、定着長を可能な限り短縮することを目的に、構造や充填材に着目したモルタル充填継手の合理化・低コスト化に取り組んでいる。図-1 に充填材として高膨張型充填材を用い、挿入側鉄筋のヘッド加工の有無がモルタル充填継手の耐荷性能に及ぼす効果を比較した結果⁶⁾を示す。これまでの検討により、モルタル充填継手の引張耐力を向上させる要素として、高膨張型充填材の使用および挿入側鉄筋のヘッド加工が重要であることを確認している。しかしながら、これらの要因のうちどちらがより支配的な要因であるかについては定かでない。このことが明らかになれば継手の簡素化および単純化を図るうえで有益である。そこで本研究では、これら2つの要因に着目しつつ、定着長や開口径をパラメータに加え、膨張材の種類および挿入側鉄筋のヘッド加工の有無がモルタル充填継手の耐荷性能に及ぼす影響について実験的に検討した。

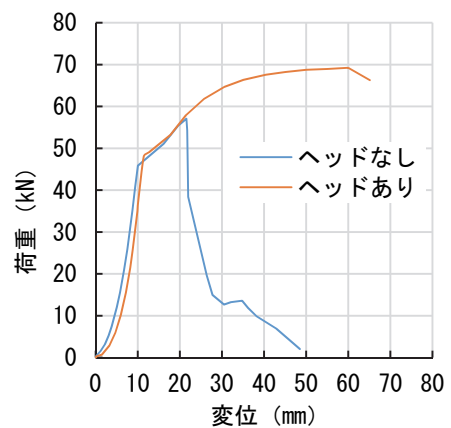


図-1 既往の結果におけるヘッド加工の効果⁶⁾

*1 熊本大学 大学院自然科学教育部 (学生会員)

*2 極東興和 (株) 営業本部技術企画部技術企画課 修士 (工学) (正会員)

*3 熊本大学 大学院先端科学研究部 (工学系) 社会基盤環境部門 博士 (工学) (正会員)

2. 実験概要

2.1 使用材料

(1) 鉄筋およびスリーブ

本研究で使用したモルタル充填継手の外観を写真-1に示す。異形鉄筋およびスリーブは摩擦圧接により接合されている。本研究で対象とした異形鉄筋にはSD345のD13を使用した。またスリーブに関してはS45Cを使用した。

(2) 充填材

表-1に本研究で使用した充填材の主な特徴を示す。詳細として高膨張型充填材は適応温度範囲が20~30℃となっており、施工条件が厳しくまた高価であるという問題がある。一方のセメント系低膨張型充填材は施工性に富んでおり水平施工が可能という特徴を有している。

2.2 供試体のパラメータ

表-2に本研究で検討した実験パラメータを示す。また、図-2に本研究で使用した継手の断面図を示す。凹凸とは図-2に示すようなスリーブ内部の円周上の加工のことである。凹凸の形状として高さは1mm、間隔は5mmとした。異形鉄筋とヘッド間の接合に関してはスリーブと異形鉄筋同様に摩擦圧接接合を施した。シリーズ1ではヘッド付きの鉄筋(図-3)を用いスリーブ内径をパラメータとした。実際の現場では施工誤差が生じるため、実際に継手として利用する際にはスリーブ内径を拡大することが考えられる。そこでスリーブ内径を変化させることで耐荷性能に差が生じるかどうかを検討した。シリーズ2および3に関してはヘッドなしの鉄筋を用い定着長と充填材の種類をパラメータとして引張試験を実

施した。

2.3 供試体の作製方法

供試体を作製するにあたって写真-2のような治具を使用した。充填材の練混ぜに際しては、プラスチック容器内に所定量の水と粉体を入れ、1分間ハンドミキサーにより攪拌しかきおとしを行った後、再度1分間ハンドミキサーで攪拌した。スリーブ内部に十分に充填材を注入した後に、挿入側鉄筋の先端がスリーブ内底部から約5mm上部の位置に来るように養生テープで固定した。なお養生は全ての供試体について20℃室内環境にて7日間の気中養生を基本とし、一部の供試体に関しては比較のため7日間の気中養生に加え、7日間の追加養生(水中養生)を実施した。

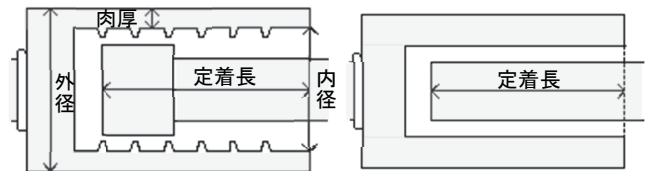


図-2 スリーブ内部の形状

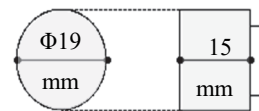


図-3 ヘッド鉄筋の寸法

表-1 充填材の特徴

	主な特徴
高膨張型 充填材	<ul style="list-style-type: none"> 石灰及び珪酸塩を主成分とする セメント系の材料 50 N/mm²以上の膨張圧を發揮
セメント系 低膨張型 充填材	<ul style="list-style-type: none"> 材齢7日で圧縮強度 119 N/mm² 0打フロー値 180 mm



写真-1 モルタル充填
継手の外観

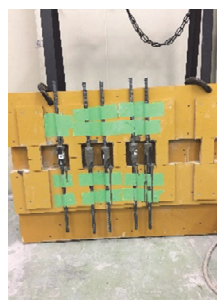


写真-2 供試体の作製状況

表-2 実験パラメータ

番号	充填材	スリーブ				挿入側鉄筋	
		凹凸	外径 (mm)	内径 (mm)	肉厚 (mm)	定着長 (mm)	ヘッド
シリーズ1	セメント系 低膨張型 充填材	あり	32	26	3	3.5d	あり
			38	32			
			44	38			
シリーズ2	セメント系 低膨張型 充填材	なし	34	20	7	3.5d	なし
						4d	
						5d	
						6d	
						7d	
						8d	
						9d	
						10d	
シリーズ3	高膨張型 充填材	なし	34	20	7	4d	なし
						5d	
						6d	
						7d	
						8d	
						9d	
						10d	

2.4 一軸引張試験の方法

引張試験を行うにあたって万能試験機（容量：1000 kN）を使用した。つかみの長さは定着長+16d（mm）とした。載荷速度は、異形鉄筋の降伏以前は約 1.6 mm/分、降伏以降は 6.8 mm/分とした。また引張試験後の結果について、試験中に引抜きが生じた場合は引抜き破壊（写真-3）、異形鉄筋部分が破断した場合は母材破断（写真-4）と判定した。シリーズ 1 に関しては各 No.毎に 3 本の供試体を作製した。また、シリーズ 2、シリーズ 3 に関しては各 No.毎に 1 本の供試体を作製した。ここで、引張試験の際の荷重-変位曲線は、載荷直後には図-1 に示すように下に凸であり、その後直線部が現れて降伏に至る。この下に凸な領域は鉄筋とつかみの治具が噛み合うまでの移行期間であり、材料特性を表してはいないと考えられる。そこで本研究では、以下の手順によって実験データを補正した。すなわち、下に凸の部分についてはデータを除外するとともに降伏以前の直線部を線形近似した際の x 切片分を変位のデータから差し引いて負の方向に平行移動し、さらに直線部の開始点と原点とを直線で結んだ。

3. 結果および考察

3.1 シリーズ 1

シリーズ 1 の実験により得られたスリーブ内径別の荷重-変位曲線を図-4 に示す。結果は 3 種類とも降伏以前に引抜き破壊が生じた。セメント系低膨張型充填材を使用した場合は挿入側鉄筋にヘッド加工を施した場合でも母材破断しないことがわかった。最大耐荷力に着目すると、 $\Phi 38$ mm が最も大きくなり、 $\Phi 44$ mm が最も小さくなったことから耐荷力に関して最適なスリーブ内径が存在すると考えられる。

シリーズ 1 に関しては追加で 1 週間の水中養生を行うことで耐荷力が改善するかについて検討した。図-5 に結果を示す。養生後の値に関しては 2 体の最大耐荷力を平均することで算出している。概ね追加養生することによって耐荷力が向上する傾向にあることがわかった。これは充填材の未水和部分が水和反応することによって強度が上昇したためと考えられる。また養生後の耐荷力についてスリーブ内径間の差が小さくなっていることもわかる。ただし、いずれも母材破断には至らなかった。

写真-5 および 6 は引抜き破壊した際の充填材の破壊の様子である。写真-6 より異形鉄筋軸方向にひび割れが進行していることからリングテンションによる充填材の割裂が内部で発生していたと考えられる。リングテンションとは、横ふし前面のコンクリートに鉄筋軸方向の支圧力と同時に鉄筋半径方向への圧縮力が作用し、周辺コンクリートに生じる鉄筋周方向への割裂引張力のこと



写真-3 引抜き破壊



写真-4 母材破断

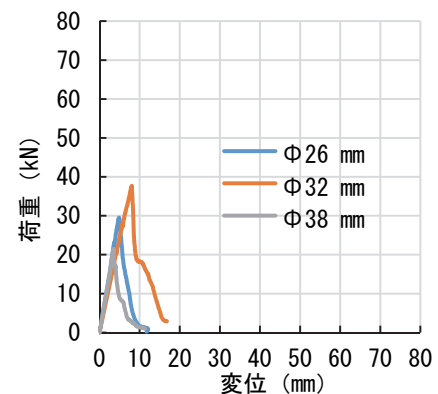


図-4 スリーブ内径別の荷重-変位曲線

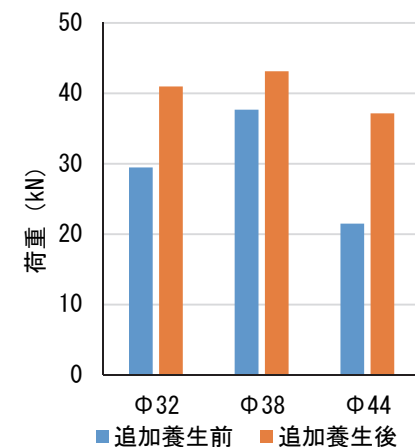


図-5 追加養生後の耐荷力の変化



写真-5 破壊の様子
(追加養生前)



写真-6 破壊の様子
(追加養生後)

で、鉄筋コンクリート部材の脆性的な破壊モードの一つであり付着劣化をもたらすものである。この破壊は異形鉄筋の横ふしによる機械的な噛み合いによって付着抵抗を発揮する際のくさび作用に起因する破壊形式である⁷⁾。同様の円錐状の破壊形式は既往の文献⁸⁾でも報告されている。

3.2 シリーズ 2

図-6 および 7 にシリーズ 2 の実験により得られた荷重-変位曲線を示す。結果は全ての供試体において引抜き破壊となった。全体的な荷重-変位曲線の傾向として、最大耐荷力を記録した後に徐々に耐荷力が減少した。異なる傾向を示した 9d に関しては一度充填材の内部破壊が生じた後に再度、未破壊部分が荷重に対して抵抗することで最大耐荷力を更新したと考えられる。また定着長と最大荷重の相関について図-8 に示す。同図より定着長が増加するほど耐荷性能が向上することがわかる。しかしながら 10d の最大耐荷力が非常に低かったことから、本研究で使用しているスリーブの形状に関しては定着長が増加することによって性能が大幅に向上するとは判断しにくいと考えられる。写真-7 および 8 と写真-5 および 6 を比較すると、拔出し後の充填材の表面の状態と形状が異なっていることがわかる。表面に関してシリーズ 1 のすべり面がシリーズ 2 と比較して粗くなっている。これは内部の凹凸加工によってすべり面が変化していると考えられる。また、シリーズ 2 では挿入側鉄筋先端付近における充填材の引張破壊および充填材とスリーブに内面の付着切れが観察された。

図-9 はスリーブの形状は異なるが定着長が同じ 3.5d の供試体 (シリーズ 1 の No.1 とシリーズ 2 の No.1) の荷重-変位曲線を比較したグラフである。挿入側にヘッド付き鉄筋を用いた供試体はおよそ 20 kN 耐荷力が向上していることがわかる。これはヘッド加工を挿入側鉄筋に用いることで先端部の破壊後もヘッドによって付着抵抗を支持するためと考えられる。この時、ヘッドにおける摩擦圧接面側の段差部において生じるくさび効果によ

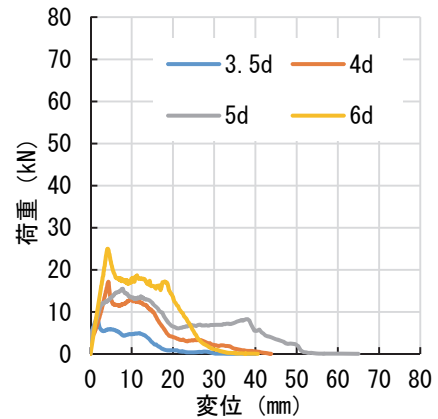


図-6 シリーズ 2 の荷重-変位曲線 (3.5d~6d)

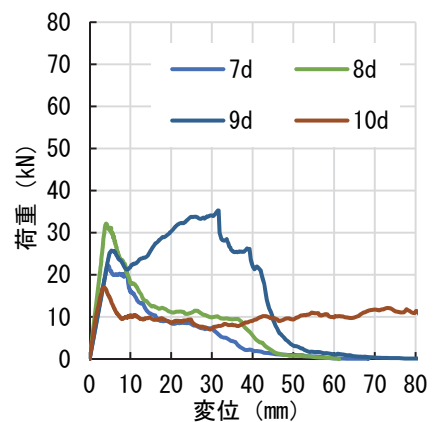


図-7 シリーズ 2 の荷重-変位曲線 (7d~10d)

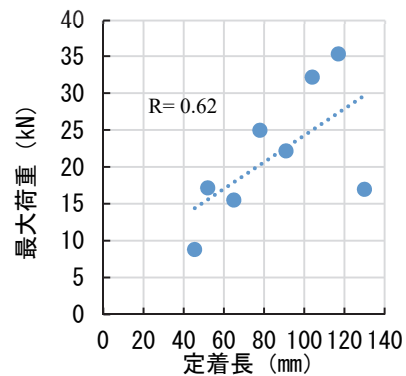


図-8 最大荷重と定着長の関係



写真-7 破壊の様子
(3.5d)



写真-8 破壊の様子
(右から 4d~10d)

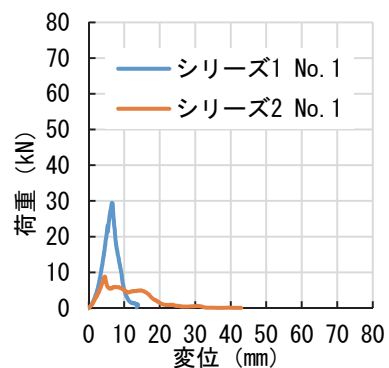


図-9 挿入側鉄筋における
ヘッド加工の有無による比較

り異形鉄筋の滑りが発生せず荷重の増加と共に端面の充填材が粉末状になることで引抜き破壊が生じたと考えられる⁹⁾。これらの結果より本研究の目的の一つである定着長の短縮や低コスト化という観点から見た場合に、ヘッド加工を施す方がより有効である可能性がある。

シリーズ2のようなスリーブ部の定着長を変化させた既往の研究に関して、林ら⁸⁾の研究では定着長の増大は継手の強度および剛性を顕著に増大させるとあり本研究においても類似の傾向を得られたと考える。しかし林らの研究で使用した継手に関しては充填材の圧縮強度が66.6 N/mm²にもかかわらず定着長6dで降伏点強度を満たしており10dに至っては母材破断している。このことに関してスリーブ内部の形状が関係していると考えられる。林らの研究で使用した継手内部には内面突起加工が施されており、これによってスリーブ内部の表面と充填材の付着が良好になることで異形鉄筋と充填材間での滑り破壊が卓越したと考えられる。

3.3 シリーズ3

図-10および11はシリーズ3の実験により得られた荷重-変位曲線である。全ての供試体において一般的な異形鉄筋の引張試験と同様の挙動を示し、母材破断に至った。定着長が3.5dの供試体では引抜き破壊という結果⁶⁾であったが僅かな定着長の増加で母材破断を達成することがわかった。写真-9および10は母材破断および母材破断後の充填材の様子である。破断時には供試体の下側が破断した。また、写真-10から引抜きが進んでいる様子は見られず高膨張型充填材が継手の耐荷性能向上に対して非常に有効であることがわかる。

母材破断を達成した供試体に関してその性能を定量的に把握するため、引張強度を対象に継手性能判定基準との比較検討を行った¹⁰⁾。表-3に結果を示す。供試体の定着長別の引張強度を比較すると差は小さいことがわかる。また本研究で使用した継手の引張強度は単体試験の性能判定基準における1方向引張試験の要求性能である $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{y0}$ または σ_{b0} を達成しており、SA級からB級の要求性能を満たしていることがわかる。

4. まとめ

スリーブの定着長、内径、充填材の種類、および挿入側鉄筋のヘッド加工の有無をパラメータとしてモルタル充填継手の引張試験を実施した。本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- 1) セメント系低膨張型充填材を使用して引張試験を実施した場合、ヘッド鉄筋を使用しても降伏以前に引抜き破壊が生じること、また追加養生を行うことで強度の向上が見込めることが明らかとなった。既往の文献⁸⁾によるとセメント系低膨張型充填材の

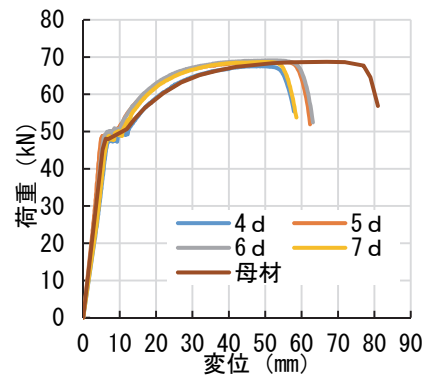


図-10 シリーズ3の荷重-変位曲線 (4d~7d)

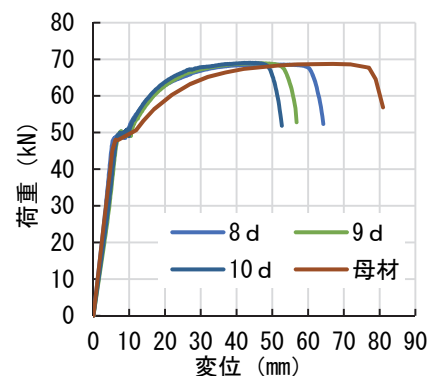


図-11 シリーズ3の荷重-変位曲線 (8d~10d)



写真-9 母材破断の様子 (4d)

写真-10 試験後の充填材の様子 (4d)

表-3 引張強度の照査

	σ_b	$\sigma_b / 1.35\sigma_{y0}$	σ_b / σ_{b0}
4d	533	1.09	1.14
5d	543	1.11	1.17
6d	545	1.12	1.17
7d	542	1.11	1.16
8d	541	1.11	1.16
9d	544	1.11	1.17
10d	545	1.12	1.17

ここで、

σ_b : 接合鉄筋の引張強度 (N/mm²)

σ_{y0} : 母材の規格降伏点 (345 N/mm²)

σ_{b0} : 母材の規格強度 (490 N/mm²)

強度に関する性能判定基準

SA級, A級, B級 $\sigma_b \geq 1.35\sigma_{y0}$ または σ_{b0}

C級 $\sigma_b \geq \sigma_{y0}$

強度であれば十分に母材破断を達成しているためスリーブ内部の形状および充填材の圧縮強度間には最適な組み合わせがあることが示唆される。

- 2) スリーブ内部の凹凸加工およびヘッド鉄筋の有無により、引抜き破壊時に充填材の形状が変化することが明らかとなった。特に、本研究で使用したスリーブおよび挿入側鉄筋にヘッド鉄筋を用いた供試体の破壊形式はヘッドの付け根から異形鉄筋軸方向に割裂が生じるものであった。この割裂の進行は充填材の養生期間が経過するほど顕著に現れた。
- 3) スリーブ内径をパラメータとして引張試験を実施した結果、内径の増加によってある程度の耐荷力の向上が確認された。また、定着長をパラメータとした場合、定着長の増加に応じて最大耐荷力が増加することがわかった。
- 4) ヘッド加工なし異形鉄筋の引抜き破壊に関して先端部分周辺の充填材の破壊が生じることで、充填材とスリーブ間の付着抵抗が失われ滑り破壊が生じ耐荷力が徐々に減少することが明らかとなった。しかし、本実験においてはシリーズ2の9dのように引き抜きが生じた後も耐荷力が増加する場合も存在した。
- 5) 高膨張型充填材を使用した引張試験では挿入側鉄筋にヘッド加工がない場合であっても4dの定着長で母材破断を達成した。母材破断を達成するためには充填材の膨張性能がヘッド加工より支配的な要因であることが明らかとなった。さらに、これらの供試体に関して鉄筋継手性能判定基準による引張強度の照査を行ったところ、いずれの供試体も要求性能を満たしていることを確認した。

継手性能判定基準は強度以外にも剛性、靱性およびすべり量に関しても要求性能を満たす必要があり、今後は母材破断を達成した供試体を使用し、性能判定を行う必要があると考えている。また、基準内には繰返し試験の要求性能も記載されており本供試体が繰返しに対しても十分な性能を発揮するかを確認するために疲労試験に関しても実施する予定である。さらに継手単体の性能のみならず実際の梁供試体を用いた曲げ試験を実施することでかぶりや配筋について検討し実際の構造物への利用に向けた取組みを実施する予定である。

謝辞：

実験の実施に際し熊本大学工学部技術部の戸田善統氏、濱崎ありさ氏、同研究室の田原正隆氏、大田賢志氏のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) コンクリート生産性向上検討協議会：コンクリート工における生産性向上 <http://www.mlit.go.jp/tec/i-concrete.html> (閲覧日：2019年11月28日)
- 2) 機械式鉄筋継手工法技術検討委員会：現場打ちコンクリート構造物に適用する機械式継手工法ガイドライン，2017，3
- 3) 大橋茂信，榎谷栄治，吉野次彦，寺戸一哉：モルタル充填継手を有する鉄筋コンクリート部材の力学的性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol. 21，pp. 295-300，No. 3，1999
- 4) 高津比呂人，木村秀樹：柱梁接合部内にスリーブ継手を有する梁主筋の付着性状に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 29，pp. 631-636，No. 3，2007
- 5) 安田瑛紀，松本浩嗣，松本智夫，二羽淳一郎：モルタル充填継手と集約配筋がRCはりのせん断性状に与える影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 37，pp. 517-522，No. 2，2015
- 6) 森本健斗，尾上幸造，村上力也：機械式継手部の耐荷性能に及ぼす各種パラメータの影響に関する実験的検討，土木学会令和元年度年次学術講演会公演概要集，V-618，2019.9
- 7) 長友克寛，松島学，佐藤裕一，松原三郎：横補強筋の無いRC部材のサイドスプリット型付着破壊モデルの提案，コンクリート工学年次論文集，Vol. 26，pp. 835-840，No. 2，2004
- 8) 林芳尚，清水良平，中塚侑，鈴木計夫：鋼管スリーブを用いたグラウト充填継手における鉄筋の付着応力度-すべり特性，日本建築学会構造系論文集 第462号，pp. 131-139，1994.8
- 9) 森田司朗：鉄筋とコンクリートとの付着性状—異形鉄筋の付着破壊について—，コンクリート工学ジャーナル，Vol. 16，pp. 1-10，No. 10，Oct. 1978
- 10) 鉄筋継手性能判定基準 <http://www.major-enclo.co.jp/data3.pdf> (閲覧日：2019年11月28日)