

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 27 年 6 月 26 日現在

機関番号：12401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2012～2014

課題番号：24360176

研究課題名(和文) 耐久性を考慮した鉄筋継手の合理的設計・施工法に関する研究

研究課題名(英文) Rational design and construction method of splice considering durability

研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI, Hiroshi)

埼玉大学・理工学研究科・教授

研究者番号：60134334

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,500,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、鉄筋コンクリート構造物における鉄筋継手の性能、継手位置と継手集中度、継手間隔が部材の力学的性状に及ぼす影響を明らかにすることである。その結果、継手が十分な強度、伸び能力を持たない場合、部材の性能が著しく低下することが明らかとなった。さらに、性能が劣る継手をカバーするために、リカバリー継手を新たに開発した。リカバリー継手を用いたRC梁部材の載荷実験から、荷重-変位およびひび割れ幅に関して、継手を持たないRC部材と同等の性能まで回復することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The objective of this study is to clarify the influence of quality of splices, position of splices, a number of splices at a certain section and spacing of splices on the mechanical properties of the splice itself and the RC beams. The test results express the lower behavior in load carrying capacity, ductility and cracking of the RC beams using low quality splices compared to the beam using perfect splices or the control beam without splices. To improve the properties of such splices, a new type of corrective splice is developed. RC beams using the corrective splices exhibit almost the same load-displacement relationship and crack width as a control beam without splices.

研究分野：コンクリート構造

キーワード：鉄筋継手 鉄筋コンクリート 機械式継手 ガス圧接継手 リカバリー継手

## 1. 研究開始当初の背景

鉄筋コンクリート (RC) 構造物では、土木、建築を問わず、必ず鉄筋継手が用いられる。現在継手として、重ね継手、ガス圧接継手、機械式継手、溶接継手が一般に用いられている。土木分野では、「継手を同一断面に配置させないことを原則とし、継手位置を軸方向に相互にずらす距離は、継手の長さに鉄筋直径の 25 倍を加えた長さ以上必要」としている。これに従えば、太径鉄筋(例えば D51)で機械式継手を用いた場合には、継手間距離は 1500mm 以上必要となる。近年、鉄筋量の増大による過密配筋、プレキャスト化、先組鉄筋などに対して、本指針では施工できないことが明らかにされている。一方、最近の継手の性能および品質は格段に進歩し、優れている。従って、実情に即した鉄筋継手設計法の開発が早急に必要である。また、ガス圧接継手、機械式継手を用いた場合には、鉄筋母材より継手部のかぶり小さくなる。このために、外部からの塩化物イオンがコンクリート中に浸透していくと、鉄筋母材よりも継手部が腐食しやすくなる。ガス圧接あるいは機械式継手部が腐食した場合の継手の力学的性能および部材としての性状はこれまで全く明らかにされていない。

## 2. 研究の目的

本研究は先に述べたように、鉄筋継手の現状に即した合理的な設計・施工法の確立と継手部の耐久性に焦点を絞ったもので、以下のことを明らかにする。

- (1) 鉄筋継手の種類 (本研究では主に機械式継手)、性能(等級)、継手位置と継手集中度、継手間隔が RC 部材の力学的性状に及ぼす影響を実験により明らかにする。
- (2) 継手の性能が鉄筋母材より劣ると判断された場合、継手の性能を向上させるリカバリー継手を開発する。
- (3) RC 部材中の継手部の塩化物イオンによ

る腐食性状を明らかにする。

(4) 上記の成果より、鉄筋継手の現状に即した合理的な設計・施工法を提案する。

## 3. 研究の方法

### (1) 継手単体の性能試験

RC 梁の曲げ試験に使用する機械式継手の性能を明らかにするため、D19 - SD345 鉄筋を用いた継手単体の引張試験を行った。現在使用されている継手の多くは A 級以上の十分な性能を有しているため、本研究では、ねじ節鉄筋継手の挿入長さ、エポキシ樹脂の注入の有無をパラメータとして不良継手を作法的に製作し、継手の性能を変化させた。挿入長さは、ねじ節が 4 山以上カプラに入っていれば、十分な応力伝達が可能であるため、挿入長さを 16mm(2 山)、24mm(3 山)、48mm(6 山)とし、各 3 本ずつ継手単体の引張試験を行った。引張試験に用いたねじ節鉄筋継手の寸法を図 - 1 に示す。なお、ロックナットは、鉄筋と継手を固定するために用いた。

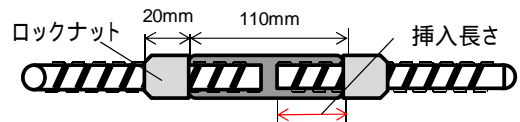


図 - 1 ねじ節鉄筋継手の寸法

### (2) RC 梁の載荷実験

継手単体の引張試験によって得られた結果をもとに RC 梁に用いる継手の実験要因も同様に、鉄筋の挿入長さ、エポキシ樹脂の有無とすることで、継手部の剛性と伸び能力を変化させた。継手間隔は、同一断面に設置した  $0d$ 、 $25d+l$ 、 $12.5d+l$  ( $d$ : 鉄筋径、 $l$ : 継手長さ) ずらした 3 種類とした。また継手のない試験体も作製した。断面は  $300 \times 300\text{mm}$  とし、軸方向鉄筋 D19 を 4 本、せん断補強筋には D10 をせん断スパン内にのみ 100mm 間隔で設置した。なお、同一試験体に配置した 4 本の継手はすべてを同じ性能とした。試験体の形状寸法および配筋状態を図 - 2 に、実験要因を表 - 1 に示す。

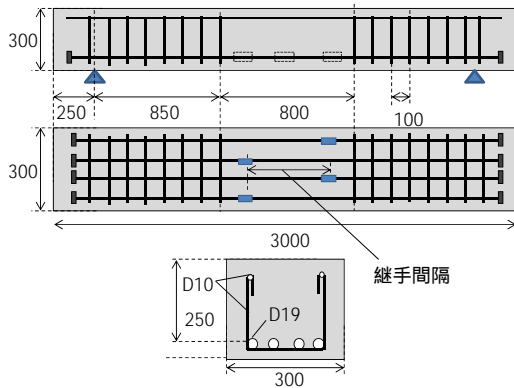


図 - 2 試験体の形状寸法と配筋位置

表 - 1 実験要因

試験体名	ねじ鉄筋継手の挿入長さ	継手間隔	エポキシ樹脂
No splice	継手なし	—	—
M6-0d-EPO	48mm(6山)	0mm	有り
M6-0d	48mm(6山)	0mm	無し
M3-25d	24mm(3山)	625mm	無し
M3-12.5d	24mm(3山)	388mm	無し
M3-0d	24mm(3山)	0mm	無し
M2-25d	16mm(2山)	625mm	無し
M2-12.5d	16mm(2山)	388mm	無し

### (3) 継手の腐食性能実験

R C 部材中の継手部の塩化物イオンによる腐食程度を母材部と比較するために、図 - 3 に示すように、電気腐食促進実験により継手と母材を強制的に錆びさせて、継手部の腐食性状を明らかにした。

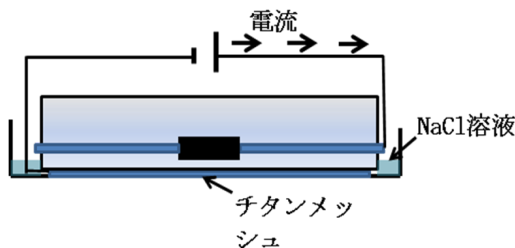


図 - 3 電気腐食促進実験

### (4) 主筋にスリーブグラウト式機械式鉄筋継手を有する十字形柱梁接合部架構の耐震性能

## の検討

鉄筋コンクリート造骨組の柱主筋や梁主筋に A 級性能を有するスリーブグラウト式機械式鉄筋継手を設けた梁曲げ降伏型の平面十字形柱梁接合部架構試験体を作製し、水平繰返し載荷実験を行い、継手のない試験体と比較して鉄筋継手の有無が構造性能に及ぼす影響を検討した。試験体の設計は、すべて柱梁接合部の接合部せん断力が現行の規定のせん断強度以下とし、柱主筋量は、柱と梁の曲げ強度の比（柱梁強度比）の 1.0 に対する余裕度をできるだけ小さくし、設計応力になるべく近く配筋量が決定される場合を想定した。

## 4. 研究成果

### (1) 継手の単体性能

継手単体の応力 - ひずみ曲線を図 - 4 に示す。継手部のひずみは、継手を跨ぐ長さ 180mm の変位を変位計で測定し、検長距離で除して求めた平均ひずみである。

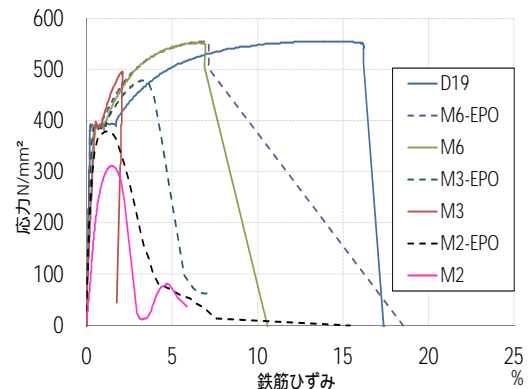


図 - 4 応力 - ひずみ関係

挿入長さが 2 山(M2)の継手は、母材鉄筋降伏以前に鉄筋の抜け出しによって破壊した。挿入長さが 3 山(M3)の継手は、母材鉄筋降伏後、ひずみ硬化域に達してから、鉄筋の抜け出しによって破壊したが、6 山(M6)の継手は母材鉄筋の破断による破壊となった。抜け出し破壊を生じた場合は、ねじ山がすべて潰れていたことから、挿入長さが強度、変形に大きな影響を及ぼしている。また、エポキシ樹脂を注入していない試験体はすべて、低い荷重段階から抜け出しが発生し、降伏ひずみが大きくなることが認められ

たのに対し、注入したものは挿入長さが小さくとも初期の抜け出しは抑えられ、剛性は母材鉄筋とほぼ同等であった。伸び能力(終局ひずみを降伏ひずみで除した値)は、降伏ひずみが挿入長さに大きく影響するため違いが見られた。以上の結果より、挿入長さは強度、伸び能力に大きく影響し、樹脂の注入の有無は、継手の剛性に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。

## (2) R C 梁の載荷実験

静的曲げ載荷実験によって得られた荷重 - 変位曲線の包絡線のうち、継手を同一断面に配置したものを図 - 5 に示す。同一断面に継手を設置した試験体の中でも、十分な挿入長さを確保した 6 山(M6)の試験体はすべて、継手なしと同等の挙動を示し、鉄筋降伏後、コンクリートが圧壊する曲げ引張破壊となった。

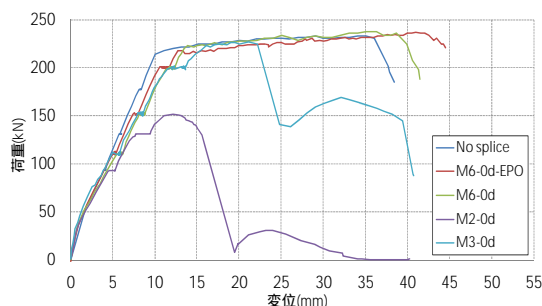


図 - 5 荷重 変位関係

すなわち、これまで言われているとおり、本来継手が持つべき強度、伸び能力を有していれば継手を同一断面に設置しても、継手がないものと同等である。また、継手単体の引張試験から得られた挿入長さによる剛性の違いは、主筋が降伏する前では、R C 梁の剛性にほとんど影響を及ぼさないことが分かった。これは、継手長さ(150mm)が梁全体(3000mm)に比べて小さいことから継手の性能が、梁全体に及ぼす影響は小さいものと考えられるからである。しかし、継手単体の性能が継手部のひび割れ幅に影響を及ぼす可能性がある。一方、3 山同一断面の試験体(M3 - 0d)は最大耐力に達して間もなく、ひび割れが継手部に集中し、4 本中 2 本の鉄筋が継手部から抜け

出し、耐力が約半分程度にまで低減する結果となった。その後は耐力を維持するものの残りの鉄筋も抜け出し終局に至った。

一方、継手間隔をある長さ確保することで、靱性能の向上が見られた。12.5d+I (M3-12.5d ,M2-12.5d) と 25d+I (M3-25d ,M2-25d) 離した場合では、多少の違いが見られるがほぼ同様の傾向を示した。最大耐力に達した後に鉄筋が 1 本抜け出すのが、継手を同一断面に配置していないため、耐力の低下を抑えることができ、最大耐力の約 80%を維持することができた。この維持できる残存耐力は残りの主筋本数に依存するが、継手間隔をある長さ確保することで同時に同一断面の 2 本以上が抜け出すことを避けることが可能であると考えられる。

以上のことから、継手単体が十分な強度、伸び能力を有している場合においては、R C 部材の力学的性状に及ぼす影響は少なく同一断面に配置することが可能である。また、継手をずらして配置する場合は、鉄筋抜け出した後もある程度の耐力を維持することが認められた。

## (3) 継手部の腐食性能

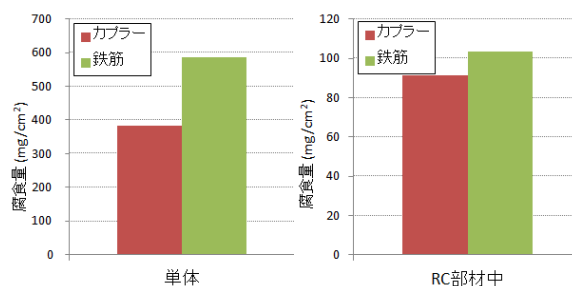


図 - 6 継手部と鉄筋部の腐食量の比較

機械式継手について、継手部と鉄筋部の腐食量を比較するために継手単体および R C 部材中において腐食促進実験を行なった。実験結果を図-6 に示す。ここで腐食量は腐食による質量減少量を供試体の全表面積で除したものである。継手単体ではカブラーの腐食量が鉄筋に比べて非常に小さく、カブラーは鉄筋よりも腐食の進行が遅いことがわかるが、R C 部材中においては、継手部の腐食量は鉄筋部よりも小さいもののその差は単体試験よりも小さくなるのがわかる。これは、継手部のひび割れ性状が鉄筋

部よりも劣ることで、鉄筋部に比べて継手部が腐食しやすい環境に置かれることが原因であるといえる。従って、機械式継手を有するRC部材は継手部の腐食ひび割れ性能が低く、RC部材の耐久性において弱点となる可能性が示唆された。

#### (4) 主筋にスリーブグラウト式機械式鉄筋継手を有する十字形柱梁接合部架構の耐震性能の検討

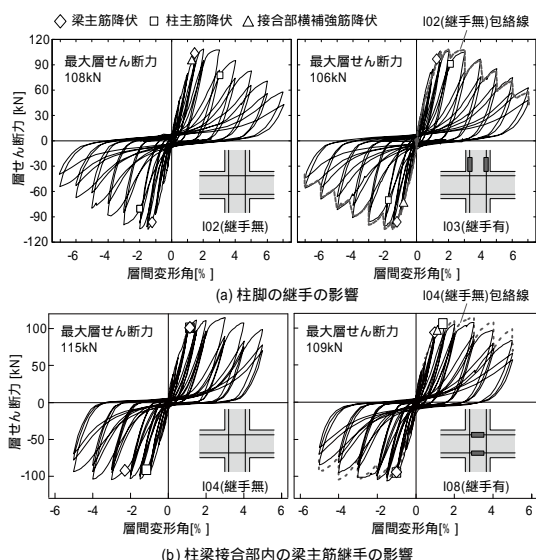


図 - 7 十字形部分架構の層せん断力と層間変形角の関係

柱主筋に鉄筋継手を設けた柱梁強度比が1.3の試験体(D2, D3)では、柱脚の鉄筋継手のコンクリートかぶり厚さを確保するために、柱主筋位置を内側によせたが、破壊性状、層せん断力と層間変形角の復元力特性、履歴消費エネルギーへの影響は小さく最大耐力後の耐力低下はむしろ継手有りのほうが小さかった。

柱梁接合部内の梁主筋に鉄筋継手を設けた柱梁強度比1.2の試験体(D4, D8)では、梁主筋に機械式継手を設けると最大耐力が継手のない試験体に対して最大耐力が5%小さく、1サイクル間の消費エネルギーは継手を設けた試験体が常に大きいと同程度であり、層間変形角4%を超えるような大変形時には継手を設けた試験体の方が耐力低下が大きいなど、継手を設けた方の構造性能が若干低下した。

すなわち、鉄筋継手の位置や有無によらず

柱梁強度比の1.0に対する余裕度が小さいと、復元力特性にも顕著なピンチング化が起こり、特に梁主筋に鉄筋継手を設けた場合には、架構の最大耐力の低下や、最大耐力後の耐力低下を引き起こすなど、構造性能を若干低下させる要因となる場合があることが確かめられた。

#### (5) 結論

本研究の範囲内より得られた知見を以下に記す。

機械式継手をRC部材の同一断面に配置しても、本来継手が持つべき強度・伸び能力を有していれば、継手がないものと同様であることが明らかとなった。

機械式継手の性能が低い場合、低い荷重段階ではRC部材にほとんど影響を及ぼさないが、ひび割れ幅や残留変位、たわみ性状は主筋応力が鉄筋の規格降伏強度の95%を超えた点から急激に増加する傾向があることが明らかとなった。

継手間隔は、ひび割れが継手部に集中しないという観点からひび割れ間隔の2倍以上の距離を確保する必要がある。本実験ケースにおいては、鉄筋比が0.9%以上あれば、継手間隔を従来規定されている長さより小さくすることが可能であると考えられる。

単体の継手性能が母材よりも劣ると判断された場合、リカバリー継手を用いることによって、母材と同等以上の性能に回復することが明らかとなった。

機械式継手を有するRC部材は、継手なしおよびガス圧継手と比較して鉄筋の腐食率に対する腐食ひび割れの発生が早いことがわかった。また、腐食ひび割れはかぶりの大きさに関係なくカブラー部分より発生し、そこから鉄筋に沿って進展することが明らかとなった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 5 件)

Dac Phuong NGUYEN and Hiroshi MUTSUYOSHI, “Experimental study on performance of mechanical splices in RC beams”, ACI Structural Journal(in press).

Dac Phuong NGUYEN and Hiroshi MUTSUYOSHI, Influence of insufficiently embedded mechanical splices on mechanical behavior of RC members, Proceedings of JCI, 2015.

Dac Phuong NGUYEN, Hiroshi MUTSUYOSHI and

Erina Maeda, "Improving insufficient insertion length mechanical splices in RC structures", Proceedings of JCI, Vol.36, No.1, pp.1924-1929, 2014.

大野拓也・Nguyen Dac Phuong・睦好宏史・牧剛史: 機械式鉄筋継手の性能が RC 部材の力学的性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.589-594, 2013.

焦博文, 楠原文雄・塩原等: 主筋に機械式継手を有する鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の耐震実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.35, No.2, pp.295-300, 2013.

〔学会発表〕(計 6 件)

Dac Phuong Nguyen, Hiroshi Mutsuyoshi, Takuya Ohno, "Experimental study on RC beams using mechanical splices with different quality and staggering length", Proceedings of The East Asia-Pacific conference on structural engineering and construction EASEC 13, 2013.9.13 (北海道大学, 札幌市)

前田依里奈・睦好宏史・Nguyen Dac Phuong: ねじ節鉄筋継手単体性能が鉄筋コンクリート部材の力学的性状に及ぼす影響, 第 67 回土木学会年次学術講演会講演概要集, 2013.9.4 (日本大学, 習志野市)

塩原等, 焦博文, 楠原文雄: 接合部降伏する鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の大変形時挙動 その 1 実験概要及び実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.723-724, 2013 年 8 月 30 日。(北海道大学, 札幌市)

焦博文, 塩原等, 楠原文雄: 接合部降伏する鉄筋コンクリート造十字形柱梁接合部の大変形時挙動 その 2 実験概要及び実験結果, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.725-726, 2013 年 8 月 30 日。(北海道大学, 札幌市)

Dac Phuong NGUYEN, Hiroshi MUTSUYOSHI, Takuya Ohno and Takaomi Gotou, "Behavior of reinforced concrete members using mechanical splices at the same cross section", Proceedings of the Seventh International Structural Engineering and Construction conference (ISEC-7), New Developments in Structural Engineering and Construction, Vol. 1, pp. 385 - 390, 2013.6.20 (ハワイ大学, ホノルル市, アメリカ)

Dac Phuong NGUYEN, Hiroshi MUTSUYOSHI, Takuya OHNO and Takaomi GOTOU, "Behavior of reinforced concrete columns using mechanical splices at the same cross section under seismic load", Proceedings

of the first JAEE International Symposium on Earthquake Engineering, Vol.1, pp. 367-374, 2012.11.9 (国立オリンピック記念青年センター, 東京都)

Dac Phuong NGUYEN, Hiroshi MUTSUYOSHI, Takuya Ohno, "Behavior of reinforced concrete members using mechanical splices of steel bars under cyclic lateral loading", Proceedings of the Fourteenth JSCE International Summer Symposium, pp. 133-134, 2012.9.5 (名古屋大学, 名古屋市)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

睦好 宏史 (MUTSUYOSHI, Hiroshi)  
埼玉大学・理工学研究科・教授  
研究者番号: 60134334

### (2) 研究分担者

牧 剛史 (MAKI, Takeshi)  
埼玉大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号: 60292645

### 研究分担者

塩原 等 (SHIOHARA, Hitoshi)  
東京大学・工学研究科・教授)  
研究者番号: 50272365

### (3) 連携研究者

佐藤 勉 (SATOU, Tsutomu)  
公益財団法人鉄道総合技術研究所・研究員  
研究者番号: 70443299