

論文

締付金具を用いた鉄筋継手の破壊性状

山口隆一*, 齊藤史朗**, 楊威**

*工修, 株式会社 IHI 基盤技術研究所 (〒235-8501 神奈川県横浜市磯子区新中原町 1 番地)

**工修, 株式会社 IHI インフラシステム (〒108-0023 東京都港区芝浦 3 丁目 17 番 12 号 (吾妻ビル))

本研究では継ぐ鉄筋同士をボルトと締付金具によって締め付ける鉄筋継手工法に関して、破壊性状を明らかにすることを目的に本工法の継手長を極端に短くした場合の静的曲げ実験を行った。その結果、RC はりの曲げ引張側に配置した継手部の鉄筋端部に隙間が確認され、鉄筋が周囲のコンクリートおよび締付金具に対して相対ずれを生じていることが分かった。このことから本工法の継手長を極端に短くした場合は、鉄筋端部の相対ずれが起点となって周囲のコンクリートに割裂破壊を生じさせたものと考えられる。その結果、鉄筋とコンクリートとの付着作用が消失して引張補強材としての機能を失い、RC はり部材としての耐荷力を失ったものと考えられる。

キーワード：継手, 締付金具, 破壊性状

1. はじめに

供用中の道路橋の幅員を拡幅する場合、既設のコンクリート床版の一部をはつて鉄筋を露出させ、その鉄筋と新設床版側の鉄筋を重ね継手によって構造的に一体化させるのが一般的である。しかし、既設のコンクリート床版をはつる作業は時間とコストを要し、交通規制する時間も長くなる。これらを解決するため、鉄筋の重ね継手長を短くして既設コンクリートをはつる量を最小にする必要がある。また、床版取替工事も同様に現場作業を省力化する目的で鉄筋の重ね継手長を短くし、現場打ちコンクリート量を減らすことが求められる。

このため、著者らは継ぐ鉄筋同士をボルトと締付金具によって締め付ける鉄筋継手工法(写真 1)を考案し、これまでに本工法を RC はりに適用した場合の曲げ耐荷

性能とせん断耐荷性能を実験的に検証した¹⁾²⁾。その結果、曲げ耐荷性能に関しては、締付金具を用いて継手長を 15D (鉄筋径の 15 倍) とした場合、締付金具を用いない継手長 30D のものと同等の耐荷性能、同等以上の変形性能を有していることが判った。また、これは通常のコンクリートと異形鉄筋の付着に加えて、締付金具のボルト部分によるコンクリート定着効果等が抵抗メカニズムとして寄与しているものと推測された。さらに、同じ形状の試験体を用いて曲げ耐荷性能のばらつきを確認したところ、多少のばらつきは認められるものの、鉄筋の降伏荷重を大きく超えた範囲でのばらつきであることが判った。一方、せん断耐荷性能に関しては、締付金具やそれを締め付けるためのボルト等のコンクリートと付着が無い鋼材が存在するため、これらの鋼材とコンクリートの界面が弱点となりコンクリートの斜め引張に対する有効断面積が減少する影響が確認されたが、過密な配筋状況であっても最大耐力が 15% 以上計算値³⁾⁴⁾を上回ることが判った。

以上に示すこれまでの検証から締付金具を用いて継手長を 15D とした場合に優れた性能を有することが判った。しかし、これらの破壊は継手部分そのものの破壊ではなく、RC はりのコンクリートの曲げ圧縮破壊やせん断破壊によるものであり、本継手工法の破壊性状は不明確であった。そこで、本研究では締付金具を用いて継手長を 10D (鉄筋径の 10 倍) と極端に短くしたものを RC はりに適用した場合の静的曲げ実験を実施し、締付金具を用いた鉄筋継手の破壊性状を明らかにすることを目的とした。



写真-1 締付金具を用いた鉄筋継手

2. 実験概要

実験供試体は長さ 3.5m, 幅 1.0m, 厚さ 0.16m の RC はりとし, 供試体中央における支間方向の鉄筋に継手を設けたものとした. また, 供試体の支点間距離は 3.0m とし, 載荷点の間隔 (等曲げ区間) を 1.0m とした 4 点曲げ実験とした. 供試体に用いた鉄筋は SD345 で, 鉄筋径が 16mm のものとした (ミルシートの降伏応力: 421MPa). コンクリートに関しては呼び強度を 30N/mm^2 とした (30-8-20N, 水セメント比 51.5%). 載荷実験は材齢 14 日で実施し, そのときの圧縮強度は 32.5N/mm^2 であった.

実験供試体は支間方向鉄筋の継手方法と継手長を変えた全 3 体とした. 実験パラメータを表-1 に示す. ここで, C1 供試体は通常の重ね継手とし, 継手長は既往の文献⁵⁾⁶⁾より $36.11D = 580\text{mm}$ とした. 例として継手長を極端に短くした C3 供試体の実験供試体図を図-1 に示す. ここで, C2 および C3 供試体に用いた締付金具は板

表-1 実験パラメータ

No.	締付金具の有無	継手長 (mm)	備考
C1	無し	$36.11D^* = 580$	重ね継手
C2	有り	$20D = 320$	
C3	有り	$10D = 160$	

*ここで, D は鉄筋径とした.

厚 2.3mm の SPHC (JIS G3131) とし, 図-1 の右下に示す形状の板材を曲げ加工して製作した. また, ボルトは M10 (JIS 規格品) とし, インパクトレンチで締め付けた.

計測項目は載荷荷重, 供試体の鉛直変位, 等曲げ区間におけるひび割れ幅とした. 荷重の載荷方法は単調増加載荷とし, 供試体全幅に線荷重として与えた. 載荷ピッチは 50kN まで 2kN ピッチとし, その後下側の鉄筋が降伏するまで 4kN ピッチとした. 鉄筋降伏後は荷重制御から変位制御に切り替え 1mm ピッチごとに載荷した.

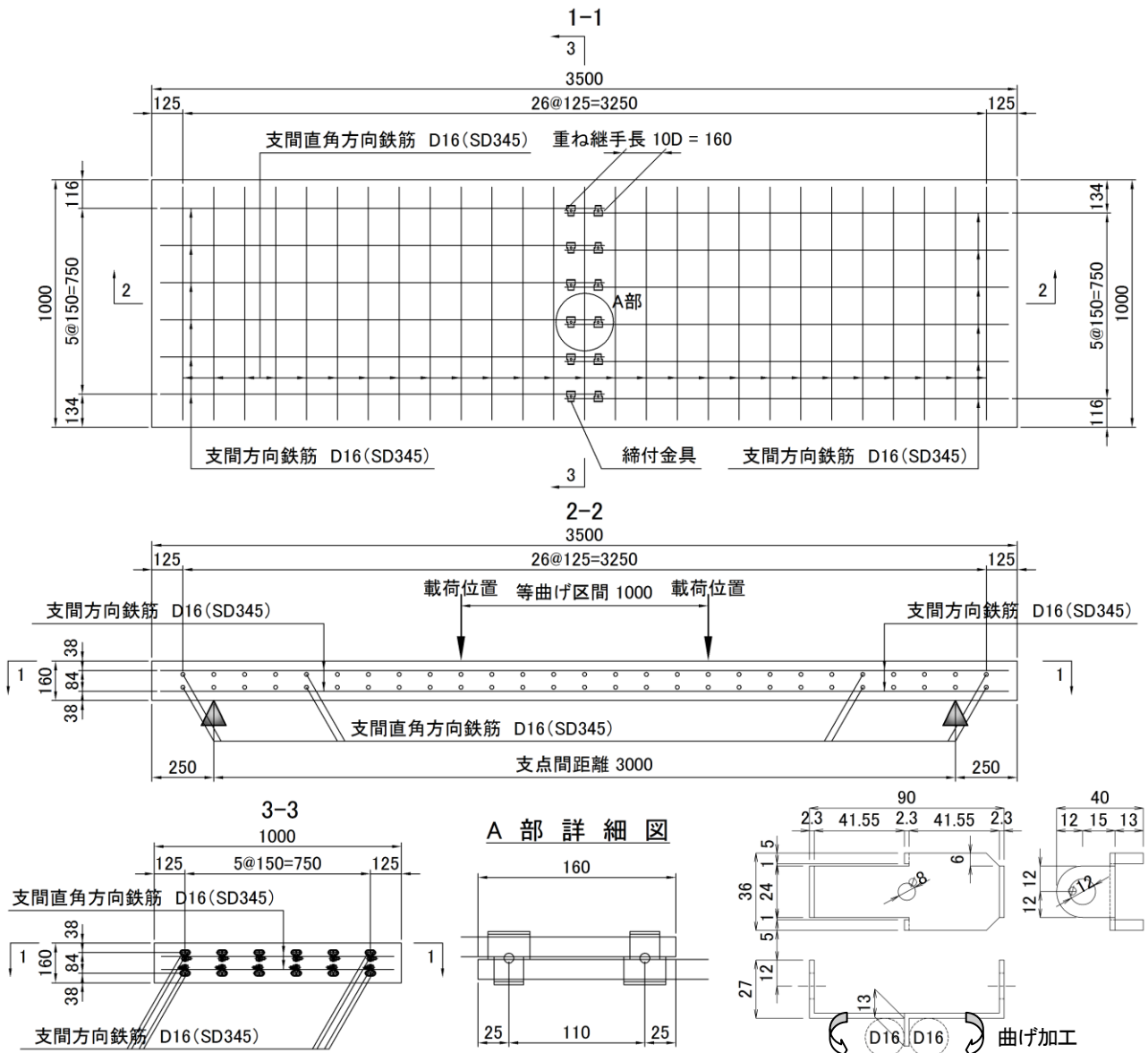
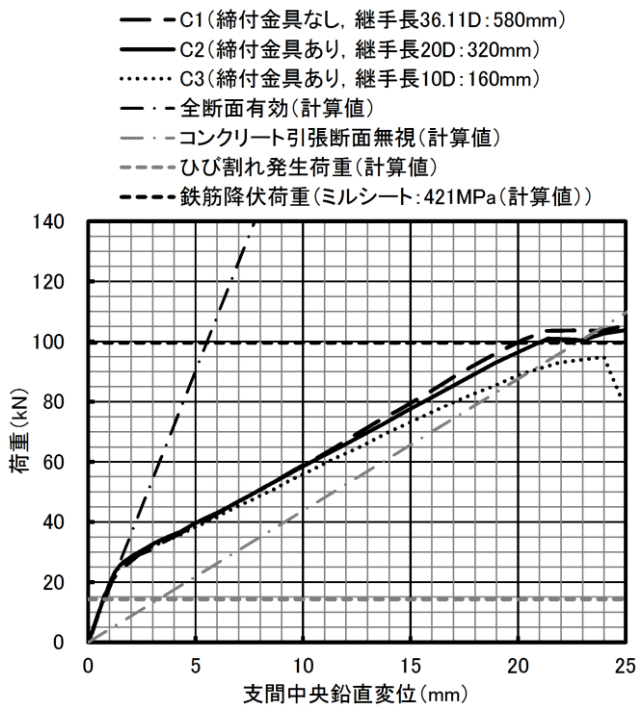
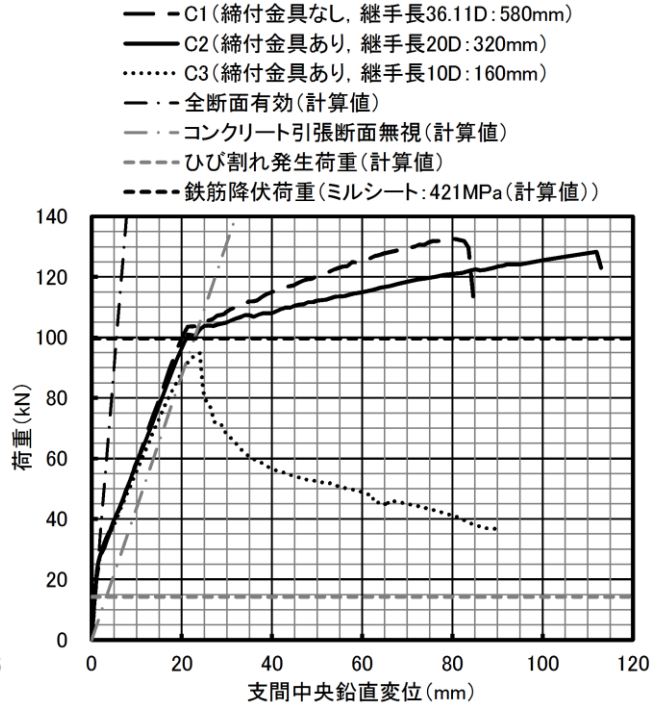


図-1 実験供試体図 (C3 供試体)



(a) 支間中央鉛直変位 25mm まで



(b) 支間中央鉛直変位 120mm まで

図-2 荷重-変位関係

3. 実験結果および評価

3.1 荷重-変位関係

全供試体の荷重-変位関係を図-2 に示す。ここで、図-2 には初等はり理論に基づき平面保持を仮定して引張側のコンクリートが引張応力に対して抵抗するものとして計算した計算値（全断面有効）と、中立軸より下側の引張応力が生じているコンクリート断面を無視した場合の計算値（コンクリート引張断面無視）も比較のためプロットした。また、全断面有効として計算したひび割れ発生荷重と、コンクリート引張断面無視として計算した鉄筋降伏荷重（ミルシートの 421MPa）もプロットした。ここで、(a) は主に下縁側鉄筋降伏近辺までのものとし、(b) は載荷実験終了までのものとした。

これらより、全ての供試体でひび割れ発生前までは全断面有効の計算値と一致した挙動を示した。その後 25kN 付近で曲げひび割れが発生し、曲げ剛性が低下した。

その後 C1 および C2 供試体に関しては、ひび割れの分散とともに引張断面無視の計算値に近づく挙動を示し、下縁側鉄筋が降伏した（支間中央鉛直変位が 21mm 程度）。この降伏荷重は平面保持を仮定した鉄筋降伏荷重とほぼ一致した。鉄筋降伏後はひび割れ位置における鉄筋に変形が集中し、ひずみ硬化することで荷重が再度増加した（支間中央鉛直変位が 23~24mm 程度）。ここで、ひずみ硬化後から最大荷重までの荷重-変位曲線の傾きが異なるのは後述するひび割れ分散性の違いによるものであり、等曲げ区間に入るひび割れの本数が多い C2 供試体

はそれぞれのひび割れ位置での鉄筋が降伏し、ひずみ硬化を起こすため変形が大きく、結果として荷重-変位曲線の傾きが小さくなったものとする。最大荷重に関しては C1 供試体で 132.5kN、C2 供試体で 128.3kN でありほぼ同等であった。また、C1 および C2 供試体は、一般的な RC はりの曲げ載荷実験で見られるように、曲げ引張側の鉄筋が降伏してひずみ硬化したあとに載荷点付近の曲げ圧縮側コンクリートが圧壊する破壊性状であった。以上のことから締付金具を用いて継手長を 20D とした C2 供試体は、継手部での破壊が生じていないものと推測される。

これに対して C3 供試体はひび割れ発生以降の 40kN 程度まで他の供試体と同様の挙動を示したが、荷重の増加とともに C1 および C2 供試体との相違が顕著となり、鉄筋の降伏荷重に至る直前の 90~95kN で剛性が低下し、支間中央鉛直変位が 24mm を超えた 94.9kN で荷重が急激に低下して部材としての耐力を失った。これは、後述する支間中央部の曲げ引張側に配置した鉄筋継手部の鉄筋端部が、周囲のコンクリートおよび締付金具に対して相対ずれ（すべり、引き抜け）を生じ、コンクリートが割裂破壊しコンクリートとの付着作用が消失することで曲げ引張側の鉄筋が引張補強材としての機能を失ったことに起因するものとする。

3.2 荷重-ひび割れ幅関係

図-3 から図-5 に各供試体の等曲げ区間におけるコンクリート曲げ引張側の荷重-ひび割れ幅関係を示す。

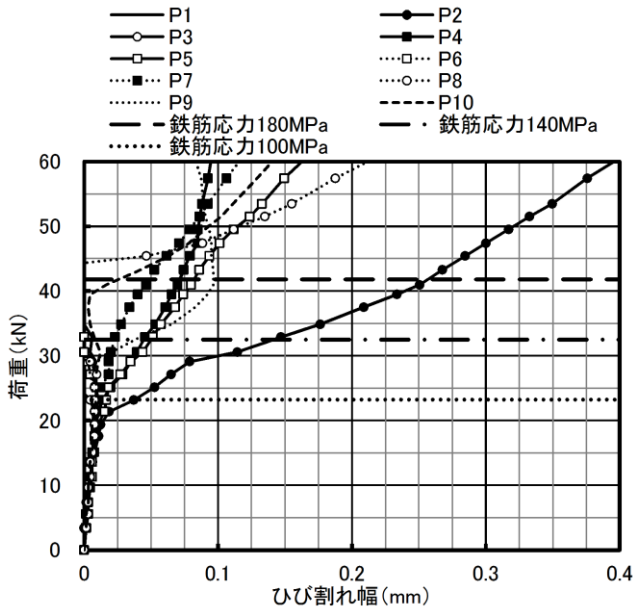


図-3 荷重-ひび割れ幅関係 (C1 供試体)

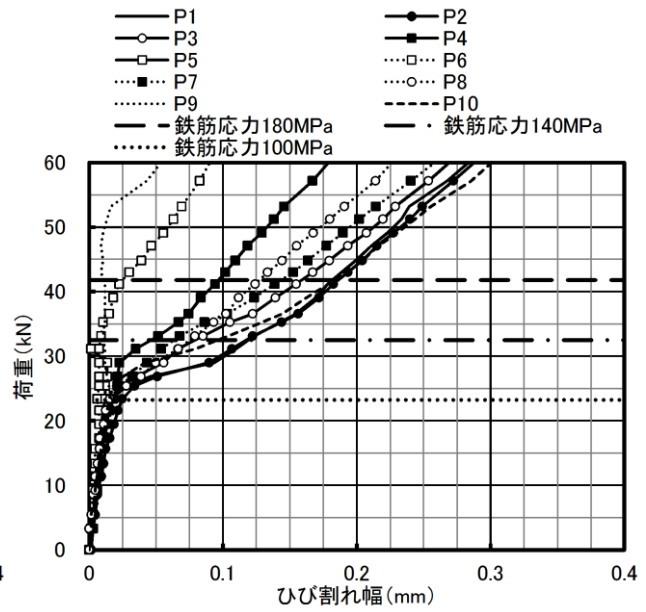


図-4 荷重-ひび割れ幅関係 (C2 供試体)

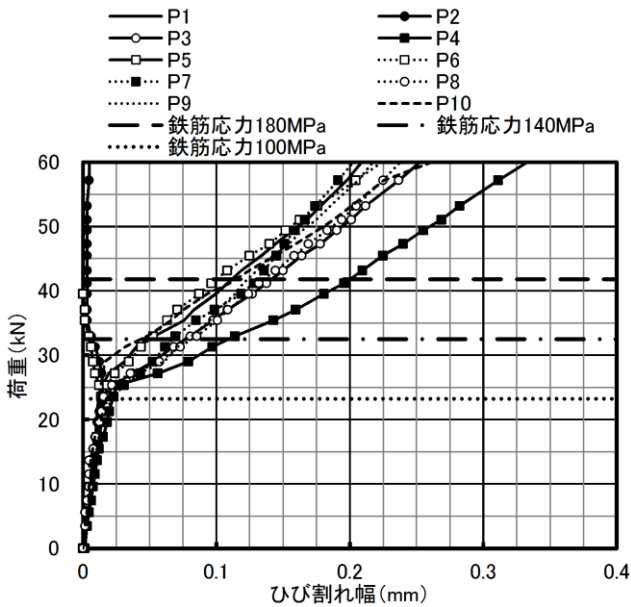


図-5 荷重-ひび割れ幅関係 (C3 供試体)

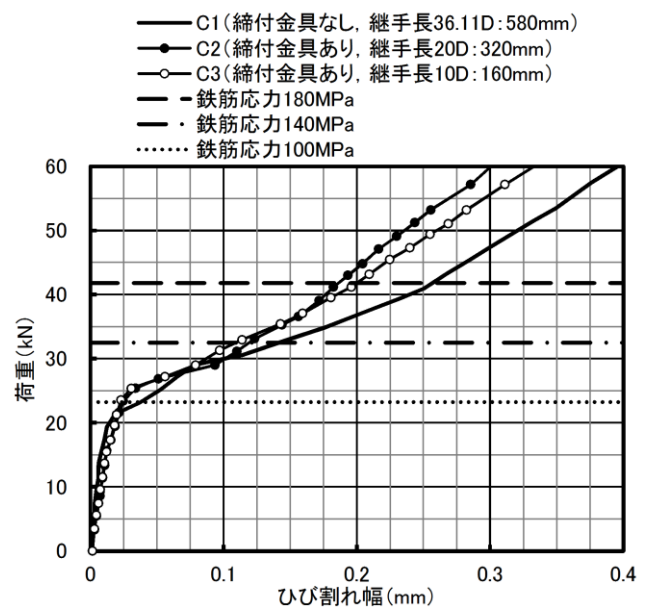


図-6 荷重-最大ひび割れ幅関係

また、各供試体の最大ひび割れ幅と荷重との関係を図-6に示す。ここで、ひび割れ幅は等曲げ区間を10等分した各領域 (P1~P10 と称す) に発生したひび割れの開口変位をクリップゲージによって計測したものである。さらに、ひび割れ幅は耐久性上の観点から常時発生する荷重 (死荷重や活荷重) に対して設計を行うため、常時の許容応力 (100~180MPa) 付近に着目した。

図-3 から図-5 より、C2 および C3 供試体は C1 と比較して等曲げ区間に多くの曲げひび割れが発生し、ひび割れ分散性が良いことが分かる。しかし、C3 供試体は鉄筋継手端部付近の P4 でのひび割れ幅が C2 供試体のひび割れ幅と比較して大きく、鉄筋継手部の鉄筋端部が周囲

のコンクリートおよび締付金具に対して相対ずれ (すべり、引き抜け) を生じる現象が比較的早期から現れているものと考えられる。また、このことは前述した荷重-変位関係 (図-2 (a)) の挙動からも説明できる。

図-6 より、最大ひび割れ幅は C1 供試体が最も大きい結果となった。これは後述するように鉄筋を重ね継手している範囲では鉄筋比が大きいためにひび割れの発生が抑制され、ひび割れ間隔が大きいことに起因するものと考えられる。また、図-4 より C2 供試体の最大ひび割れ幅は P1, P2, P10 のいずれかであり、鉄筋継手部の鉄筋端部位置に相当する P4 や P7 とは別の場所で発生したひび割れであることが明らかになった。これらのことから締付



写真-2 実験終了後のひび割れ性状 (C1 供試体)

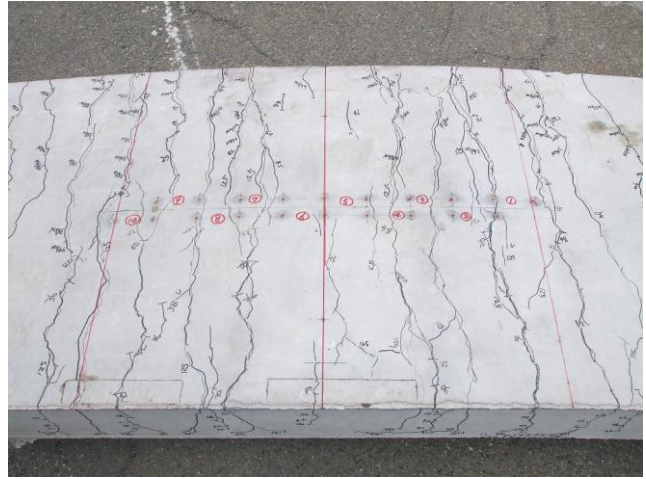


写真-3 実験終了後のひび割れ性状 (C2 供試体)

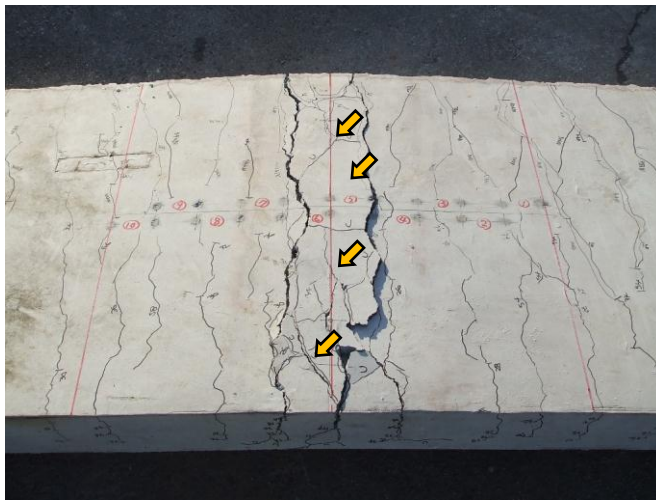


写真-4 実験終了後のひび割れ性状 (C3 供試体)

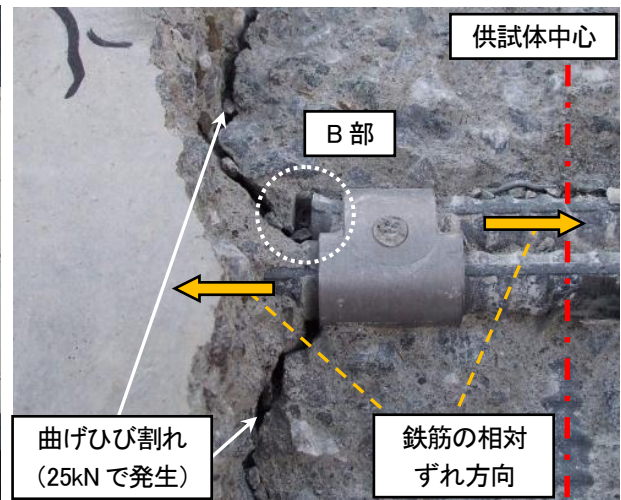


写真-5 実験終了後の C3 供試体内部の鉄筋継手の状況

金具を用いて継手長を20Dとした場合の静的荷重下における耐荷性状およびひび割れ性状は、縮付金具を用いない通常の重ね継手と同等かそれ以上の性能を有することが明らかになった。

3.3 実験終了後のひび割れ性状および C3 供試体の破壊性状

各供試体の実験終了後の等曲げ区間近傍におけるひび割れ性状を写真-2 から写真-4 にそれぞれ示す。

写真-2 から写真-4 より支間中央部の鉄筋継手部は鉄筋が重なっていて鉄筋比が大きいために曲げひび割れの発生が抑制され、供試体全幅にわたる支間直角方向の顕著なひび割れは発生しなかった。このため、継手長の短い縮付金具を用いた C2 および C3 供試体のひび割れ間隔は C1 供試体と比較して小さく、ひび割れ分散性が良い結果であった。

C3 供試体に関しては C1 および C2 供試体に発生した支間直角方向の曲げひび割れに加え、写真-4 に示すよ

うな鉄筋継手部で鉄筋位置に沿った支間方向の割裂ひび割れが発生した。また、鉄筋継手部におけるかぶりコンクリートが面外方向に浮きが生じている状態であり、実験終了後に供試体内部を観察すると曲げ引張側の鉄筋高さにおいて水平方向の割裂ひび割れが確認された。これらの支間方向の割裂ひび割れと曲げ引張側の鉄筋高さにおける水平方向の割裂ひび割れは目視によるひび割れ観察では確認できなかったことから、観察をやめた 80kN (計算上で鉄筋の降伏応力の規格値: 345MPa となる載荷荷重) 以降に発生したものと考えられる。

写真-5 に実験終了後の C3 供試体内部の鉄筋継手部の状況を示す。ここで、写真-5 に示す曲げひび割れは、前述の図-5 に示す P4 で計測されたひび割れに相当し、荷重載荷初期の 25kN 程度で発生したものである。

写真-5 より、縮付金具を用いて継手長を 10D とした C3 供試体の場合は、曲げ引張側に配置した鉄筋継手部の鉄筋端部 (写真-5 に示す B 部) に隙間が確認され、鉄筋が周囲のコンクリートおよび縮付金具に対して相対ず

れ(すべり, 引き抜け)を生じていることが分かった。ここで, C3 供試体における実験終了後の鉄筋継手長は, コンクリート打設前が 160mm であったのに対して, 平均で 152.5mm と 7.5mm 減少していた。

以上のことから締付金具を用いて継手長を 10D と極端に短くした C3 供試体は B 部における鉄筋端部の相対ずれが起点となって最大荷重 (94.9kN) 付近で周囲のコンクリートを割裂破壊させたものとする。その結果, 鉄筋とコンクリートとの付着作用が消失して曲げ引張側の鉄筋が引張補強材としての機能を失ったことで RC はり部材としての耐荷力を失ったものと考えられる。

4. 結論

本研究で得られた主な結論を以下に示す。

- (1) 締付金具を用いない通常の重ね継手とした C1 供試体と締付金具を用いて継手長を 20D とした C2 供試体の最大荷重はそれぞれ 132.5kN, 128.3kN でありほぼ同等であった。また, C1 および C2 供試体は, 曲げ圧縮側コンクリートが圧壊する破壊性状であった。以上のことから締付金具を用いて継手長を 20D とした C2 供試体は, 継手部での破壊が生じていないものと推測される。
- (2) 締付金具を用いて継手長を 10D とした C3 供試体は荷重の増加とともに C1 および C2 供試体との相違が顕著となり, 鉄筋の降伏荷重に至る直前の 90~95kN で剛性が低下し, 94.9kN で荷重が急激に低下して部材としての耐力を失った。
- (3) C2 および C3 供試体は C1 と比較してひび割れ分散性が良いことが分かった。このため, 最大ひび割れ幅は C1 供試体が最も大きい結果となった。また, C2 供試体の最大ひび割れ幅は鉄筋継手部の鉄筋端部位置とは別の場所で発生したひび割れであることが明らかになった。これらのことから締付金具を用いて継手長を 20D とした場合の静的荷重下における耐荷性状およびひび割れ性状は, 締付金具を用いない通常の重ね継手と同等かそれ以上の性能を有することが明らかになった。

(4) C3 供試体は C1 および C2 供試体に発生した支間直角方向の曲げひび割れに加え, 鉄筋継手部で鉄筋位置に沿った支間方向の割裂ひび割れが発生した。また, 曲げ引張側の鉄筋高さにおいて水平方向の割裂ひび割れが確認された。

(5) 実験終了後の C3 供試体内部の鉄筋継手部の状況より, 曲げ引張側に配置した鉄筋継手部の鉄筋端部に隙間が確認され, 鉄筋が周囲のコンクリートおよび締付金具に対して相対ずれ(すべり, 引き抜け)を生じていることが分かった。このことから締付金具を用いても継手長が極端に短い C3 供試体は鉄筋端部の相対ずれが起点となって最大荷重 (94.9kN) 付近で周囲のコンクリートを割裂破壊させたものとする。その結果, 鉄筋とコンクリートとの付着作用が消失して曲げ引張側の鉄筋が引張補強材としての機能を失ったことで RC はり部材としての耐荷力を失ったものと考えられる。

参考文献

- 1) 山口, 齊藤, 楊, 松井: 締付金具を用いた鉄筋継手を有する RC はり部材の静的曲げ耐荷性能, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, V-187, 2014
- 2) 山口, 倉田, 楊, 松井: 締付金具を用いた鉄筋継手を有する RC はりの諸特性, 土木学会第 69 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, V-188, 2014
- 3) 二羽, 山田, 横沢, 岡村: せん断補強筋を用いない RC はりのせん断強度式の再評価, 土木学会論文集, 第 372 号/V-5, pp.167-176, 1986
- 4) 池田, 山口, 野川: 鉄筋コンクリートはりのせん断抵抗に対する曲げモーメントの影響について, 土木学会第 39 回年次学術講演会講演概要集, 第 V 部門, pp.393-394, 1984
- 5) 公益社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編, 2012
- 6) 公益社団法人 土木学会: コンクリート標準示方書設計編, 2012