

ループ継手への短繊維補強コンクリートの適用

Application of Fiber Reinforced Concrete to Loop Splice Joint

技術研究所 竹山 忠臣 TAKEYAMA TADAOMI
 技術研究所 石澤 正大 KOKUZAWA MASAHIRO
 技術研究所 佐々木 亘 SASAKI WATARU
 技術研究所 篠崎 裕生 SHINOZAKI HIROO
 技術研究所 樋口 正典 HIGUCHI MASANORI

本研究では、ループ継手を用いた部材の曲げ挙動に与えるループ継手内部のループ鉄筋と直交方向の鉄筋量および継手部に短繊維補強コンクリートを適用した影響について検討を行った。継手部材の曲げ試験の結果、ループ鉄筋の直交方向の鉄筋量を減らすと、耐力や変形状などに大きな変化は生じないが、終局時にループ鉄筋の直線部に付着割裂ひび割れが生じ、ループ鉄筋内側に発生する支圧力が大きくなる傾向が見られた。継手部に短繊維補強コンクリートを用いると、これらの現象が改善され、ループ鉄筋の直交方向の鉄筋の配筋を省略することができる可能性が示された。

キーワード：ループ継手，繊維補強コンクリート，直交方向鉄筋，支圧力

This paper describes the influences of the amount of the perpendicular reinforcing bars and of usage of fiber reinforced concrete to the joint position on the flexural properties of loop splice joint. The result of bending test of joint member showed that there was little effect of decreasing amount of perpendicular reinforcing bars in loop bars on proof strength and on deformation behavior. But, if those reinforcing bars were decreased, some splitting cracks along the straight position of loop bars were appeared in the ultimate force level and bearing stress in the loop bars tended to increase. On the other hand, using fiber reinforced concrete at joint position, that phenomenon was improved and it's showed the possibility of omission of those perpendicular reinforcing bars in loop splice joint.

Key Words: Loop Splice Joint, Fiber Reinforced Concrete, Perpendicular Reinforcing, Bearing Force

1. はじめに

近年、鋼桁と RC 床版からなる道路橋の RC 床版の劣化が顕在化しており、プレキャスト PC 床版への取替え工事が各地で進められている。プレストレストコンクリート工学会の更新用プレキャスト PC 床版技術指針¹⁾（以下、技術指針）では、プレキャスト PC 床版同士の接合部には、直鉄筋の重ね継手よりも重ね継手長を短くすることのできる、ループ継手²⁾を用いることを標準としている。ループ継手は、図-1 に示すように、ループ鉄筋の直線部の付着力とループ鉄筋の曲線部の支圧力で定着する構造となる。これまで、ループ継手の重ね継手長に関する検討³⁾等は多くなされているが、ループ鉄筋内側に配置するループ鉄筋と直交する鉄筋の機能や、継手部のコンクリートに要求される性能などは十分に明らかにされていないのが現状である。



図-1 ループ継手の定着メカニズム

施工上、ループ鉄筋内側に配置するループ鉄筋の直交方向の鉄筋（以下、直交方向鉄筋）は、継手部を組み立てた後に挿入する必要があるため、施工性が悪い。このため、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋を削減することができれば、実工事における施工の合理化が期待できる。

本検討では、プレキャスト床版継手の曲げ試験により、ループ鉄筋内側に配置する直交方向鉄筋量の影響と、継手部に短繊維補強コンクリートを用いることの効果について検討を行い、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋の削減の可能性を検討した。

2. 実験概要

(1) 試験体

本検討で使用した試験体の形状寸法を図-2に、一覧を表-1に示す。試験体は、プレキャスト床版およびプレキャスト床版同士のループ継手による接合部を模擬したものである。以下、プレキャスト床版を模擬した部分をプレキャスト部、接合部を模擬した部分を継手部と称する。

試験体の継手部の詳細図を図-3に示す。本研究では、ループ鉄筋の曲げ内径を全て 4ϕ ($=76\text{mm}$) で一定とした。技術指針¹⁾では、 5ϕ 以上との規定があるが、筆者らの実験⁴⁾により、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋が標準量であれば、 4ϕ でも継手部の耐力が、所要の性能を満足することを確認している。本検討では、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋に対する条件がより厳しくなる 4ϕ を用いることで、その影響を検討した。

ループ鉄筋は全て D19 (SD345) を用いた。全ての試験体の厚さ (221mm)、かぶり (40mm) と重ね継手長 (280mm) は同一とした。試験体数は各 1 体とした。継手部のコンクリートを普通コンクリートとした場合は、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋の D19 を 6 本 (片側 3 本 \times 2, B3-N) と、2 本 (片側 1 本 \times 2, B1-N) に減らしたケースを設定した。継手部のコンクリートに短繊維補強コンクリートを用いた場合は、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋を 6 本 (B3-Vf0.75)、2 本 (B1-Vf0.75)、0 本 (B0-Vf0.75, B0-Vf1.5) に減らしたケースを設定した。

プレキャスト部のコンクリートは、打込み後3日間の湿布養生を行った後に脱枠をし、継手部と接する面の目粗しを行い、継手部のコンクリートを打設した。打込み後3日間の湿布養生を行った後、試験体齢まで型枠を残置した。試験体製作と荷重試験は2つの時期に分けて実施した。荷重試験は、継手部のコンクリートの材齢が27~35日の間になるように実施した。

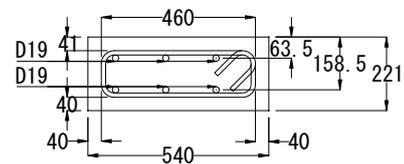
プレキャスト部に用いるコンクリートは荷重試験時の目標圧縮強度を $50\sim 60\text{N/mm}^2$ とし、レディーミクスト

コンクリート (42-15-20H) を用いた。

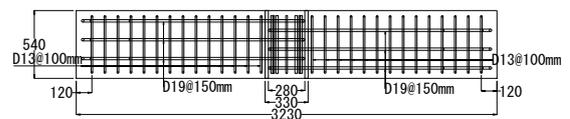
継手部のコンクリートの配合を表-2に示す。荷重試験時の目標圧縮強度を 50N/mm^2 とし、水セメント比を 50.0%とした。セメントは早強ポルトランドセメント (密度 3.13g/cm^3) を用いた。スランブおよび空気量は打込み時の目標値をそれぞれ 15.0cm および 4.5%として、

表-1 試験体一覧

試験体名	直交方向鉄筋量 ※ループ鉄筋内	継手部	
		種類	繊維混入量 (vol.%)
B3-N	D19 \times 6本 (3本 \times 2)	普通 コンクリート	-
B1-N	D19 \times 2本 (1本 \times 2)		
B3-Vf0.75	D19 \times 6本 (3本 \times 2)	短繊維 補強 コンクリート	0.75
B1-Vf0.75	D19 \times 2本 (1本 \times 2)		
B0-Vf0.75	-		
B0-Vf1.5	-		



a) 断面図 (プレキャスト部)



b) 試験体平面図

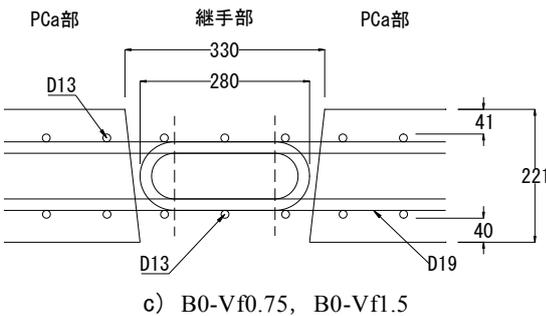
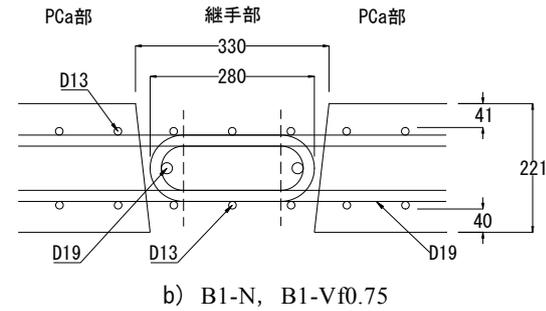
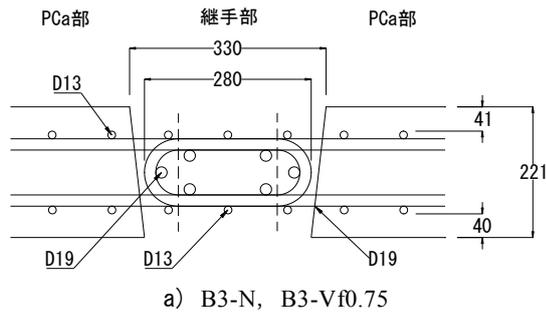
単位 : mm

図-2 試験体形状図

表-2 配合表

種類	W/C (%)	s/a (%)	V _f ^{※1} (vol.%)	単体量(kg/m ³)					
				水 W	セメント C	細骨材 S		粗骨材 G	短繊維 Fb
						山砂 S1	砕砂 S2		
B3-N, B1-N	50.0	45.2	0	160	320	332	488	1003	-
B3-Vf0.75, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75		52.3	0.75	175	350	366	539	832	58.9
B0-Vf1.5		60.2	1.5	175	350	417	613	686	117.8

※1 : 繊維混入量



単位：mm

図-3 継手部

高性能 AE 減水剤, AE 剤および, 消泡剤の使用量により調整した。短繊維補強コンクリートでは, 繊維長 30mm, 繊維径 0.62mm, アスペクト比 48, 引張強度 1100N/mm² で両端にフック加工が施されている鋼繊維 (写真-1) を使用した。短繊維混入量は, B3-Vf0.75, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75 が 0.75vol.%, B0-Vf1.5 が 1.5 vol.%とした。表-3 に強度試験結果, 図-4 に継手部のコンクリートの引張軟化曲線を示す。ひび割れ発生強度は, 割裂引張強度試験で供試体の端面中心, 荷重方向と垂直になるようにひずみゲージを設置し, 計測値が不連続となった値⁵⁾とした。引張軟化曲線は, JCI 試験方法⁶⁾に準じ, 100×100×400mm の角柱供試体を用いた切欠きよりの 3 点曲げ载荷によって得られた荷重-開口変位曲線を逆解析することで算出した。プレキャスト部のコンクリートの圧縮強度は, いずれも目標値と同程度であったが, 継手部のコンクリートの圧縮強度は, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75, B0-Vf1.5 で, 目標値に対して若干高い結果

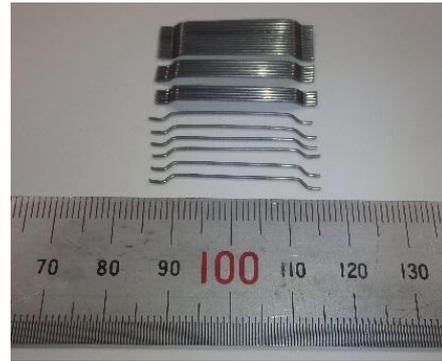


写真-1 鋼繊維

表-3 強度試験結果

試験体名	圧縮強度 (N/mm ²)		ヤング係数 (kN/mm ²)		ひび割れ発生強度 (N/mm ²) 下段割裂引張強度	
	Pca部	継手部	Pca部	継手部	Pca部	継手部
B3-N	64.3	47.0	32.9	32.7	3.93	4.04
B1-N	54.4	53.7	33.7	33.0	3.37	3.44
B3-Vf0.75	64.3	46.2	32.9	30.1	3.93	2.62
B1-Vf0.75	54.4	58.7	33.7	33.2	3.37	4.85
B0-Vf0.75					3.45	-
B0-Vf1.5					3.37	4.85
					3.45	-
					3.37	4.57
					3.45	-

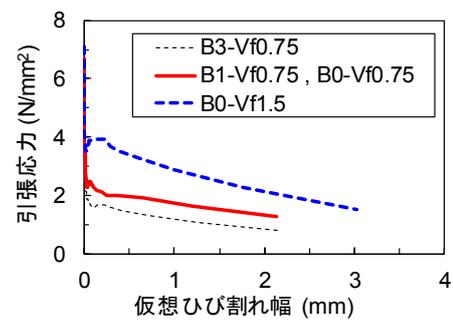


図-4 引張軟化曲線

となった。引張軟化特性は, B3-Vf0.75 と B1-Vf0.75, B0-Vf0.75 は打設時期が異なるため, 若干後の方が引張軟化特性は上回っているが, ほぼ同程度であり, 繊維混入量が 0.75vol.%の試験体で引張軟化特性に大きな差は見られなかった。また, B0-Vf1.5 は, 同一ひび割れ幅の時, 繊維混入量が 0.75vol.%の試験体と比較して, 引張応力が 2 倍程度になっており, 本検討の範囲では, 繊維混入量に比例して引張軟化時の応力も変化した。

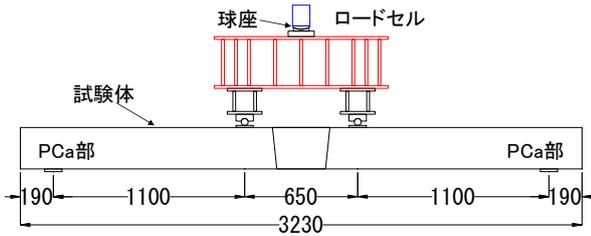
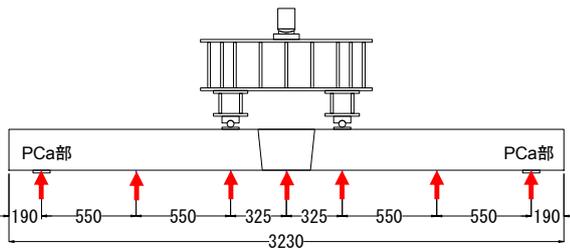
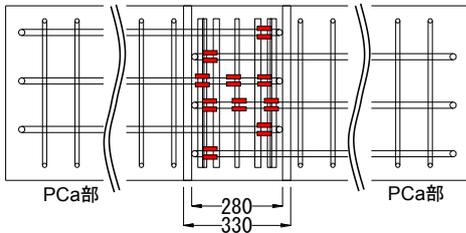


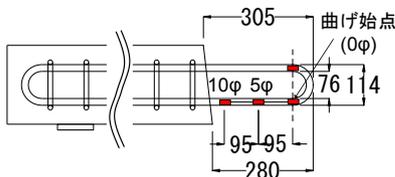
図-5 試験方法



a) たわみ測定位置



b) 鉄筋ひずみ平面図 (下端筋)



c) 鉄筋ひずみ詳細図 (側面図)

単位 : mm

図-6 計測位置図

(2) 試験方法

図-5 に試験方法を示す。試験には、容量 2000kN の万能試験機を使用し、4点曲げ載荷試験を行った。

図-6 に計測位置図を示す。荷重の測定には、ロードセルを用い、図に示す位置のたわみを測定した。軸方向の鉄筋のひずみは、ループ鉄筋の挙動を詳細に把握するため、全てのループ鉄筋の引張側の曲げ始点にひずみゲージを設置した。また、試験体幅方向の中央のループ鉄筋を対象とし、ループ鉄筋の曲げ始点から 95mm 毎 (0φ, 5φ, 10φ) にひずみゲージを設置して鉄筋ひずみを測定した。

3. 実験結果

(1) 荷重-変位関係

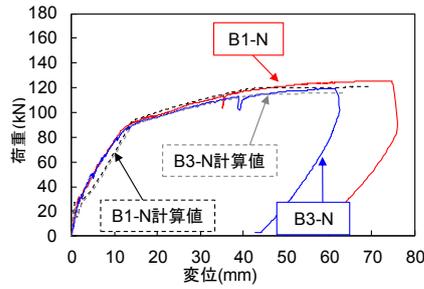
表-4 に試験結果を、図-7 に荷重-変位関係の結果を、写真-2 に載荷終了後の試験体側面の破壊状況を示す。ループ継手を用いた部材の性能は、継手部のない一様な部材の性能と同等であることが求められるが⁷⁾、計算値は、本試験体を継手のない部材と仮定し、ファイバーモデルを用いて算出した。材料モデルはコンクリート標準示方書に準じた。B1-N, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75, B0-Vf1.5 の破壊位置はプレキャスト部, B3-N の破壊位置は継手部であったため、B1-N, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75, B0-Vf1.5 は載荷試験時のプレキャスト部のコンクリート, B3-N は載荷試験時の継手部のコンクリートの圧縮強度の実験値を用いた。B1-N, B1-Vf0.75, B0-Vf0.75, B0-Vf1.5 の引張強度は載荷試験時のプレキャスト部のコンクリートのひび割れ発生強度, B3-N の引張強度は載荷試験時の継手部のコンクリートのひび割れ発生強度を用いた。鉄筋降伏強度は引張試験による結果を用いた。

いずれの試験体もプレキャスト部と継手部の目地部

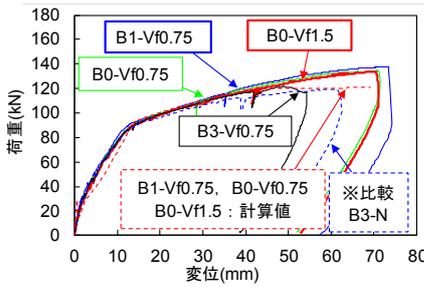
表-4 試験結果

試験体名	目開き確認荷重 ※目視 (kN)	曲げひび割れ発生荷重 P_{ck} (kN)		引張側鉄筋降伏荷重 P_{sy} (kN)		最大荷重 P_{max} (kN)		備考
		計算値	実験値	計算値	実験値	計算値	実験値	
B3-N	8.9	26.7	28.9	89.3	87.0	115.5	119.7	上縁の圧壊(継手部)
B1-N	7.9	28.9	31.2	93.0	88.9	120.7	125.7	上縁の圧壊(PCa部)
B3-Vf0.75	5.0	22.7	28.1	-	86.8	-	121.6	上縁の圧壊(継手部)
B1-Vf0.75	4.9	28.9	23.0	93.0	89.1	120.7	137.9	上縁の圧壊(PCa部)
B0-Vf0.75	6.0		26.0		88.7		134.7	上縁の圧壊(PCa部)
B0-Vf1.5	8.9		19.9		89.6		134.1	上縁の圧壊(PCa部)

※下線 : プレキャスト部のコンクリートの強度試験結果より算出



a) 直交方向鉄筋の影響（普通コンクリート）



b) 直交方向鉄筋の影響（短繊維補強コンクリート）

図-7 荷重－変位関係

分に目開きが発生し、プレキャスト部にひび割れが発生し、引張側鉄筋が降伏した後、上縁が圧壊する曲げ引張破壊に至った。B3-N と B1-N は、引張側鉄筋が降伏した後、目地部に近い位置からループ鉄筋に沿った付着割裂ひび割れが試験体側面に発生し、最大荷重時には、ループ鉄筋の曲線部までひび割れが進展し、破壊に至った。B1-Vf0.75、B0-Vf0.75 は、引張側鉄筋が降伏した後、ループ鉄筋に沿った付着割裂ひび割れが試験体側面に発生したが、最大荷重時でも付着割裂ひび割れがループ鉄筋の曲線部まで進展することはなかった。B0-Vf1.5 は、最大荷重時でも、ループ鉄筋に沿った付着割裂ひび割れが試験体側面に発生することはなかった。鋼繊維混入により、付着割裂ひび割れの進展に対する抵抗性が向上していると考えられる。

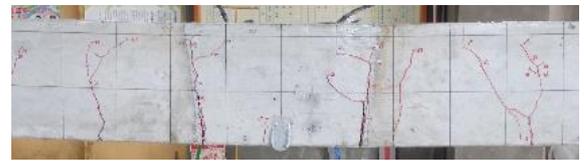
いずれの試験体も曲げひび割れ発生荷重は、実験値と計算値で若干のばらつきが見られるが、全ての試験体の鉄筋降伏荷重の実験値は、ほとんど同程度であった。継手部のコンクリートを普通コンクリートとし、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋量を変化させた B1-N と B3-N の最大荷重は、いずれも計算値とほぼ同程度ないしそれ以上であった。継手部のコンクリートを短繊維補強コンクリートとし、直交方向鉄筋量を変化させた場合の最大荷重は、B3-Vf0.75、B3-N がほぼ同程度であった。また、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋量を標準量よりも減らした B1-N、B1-Vf0.75、B0-Vf0.75、B0-Vf1.5 は、直交方向鉄筋量が標準量の B3-N、B3-Vf0.75 に比べて、荷重－変位関係の変形量が大きくなっている。B1-N、B1-



a) B3-N



b) B1-N



c) B3-Vf0.75



d) B1-Bf0.75



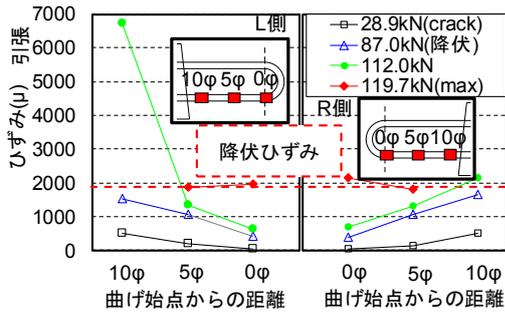
e) B0-Vf0.75



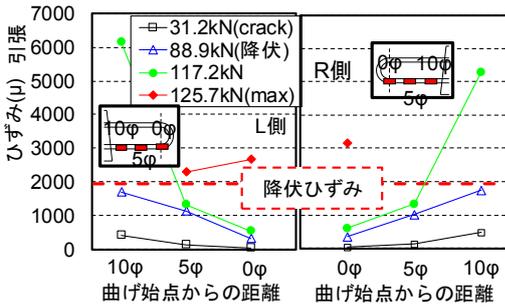
f) B0-Vf1.5

写真-2 ひび割れ状況（試験体側面）

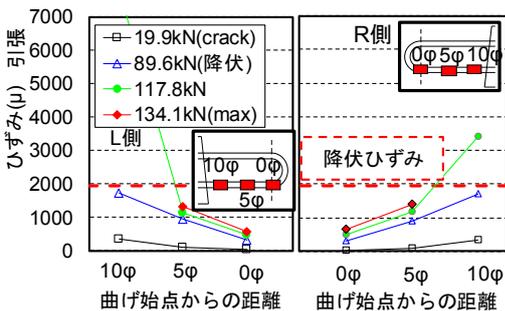
Vf0.75、B0-Vf0.75、B0-Vf1.5 は継手部のコンクリートの圧縮強度がプレキャスト部のコンクリートの圧縮強度を上回っており、試験体の破壊位置が、本来曲率の大きくなる継手部ではなく、プレキャスト部となったことが原因と考えられる。これより、本検討の範囲では、ルー



a) B3-N



b) B1-N



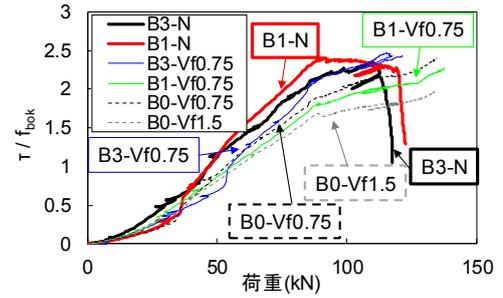
c) B0-Vf1.5

図-8 軸方向鉄筋のひずみ分布

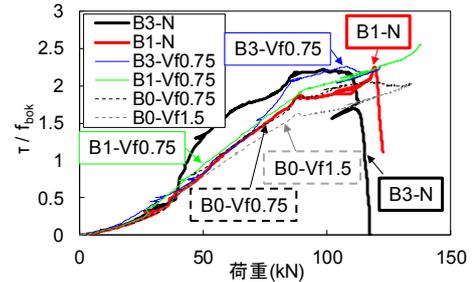
ブ鉄筋内側の直交方向鉄筋量を減らしても部材の耐力に与える影響は小さいことが分かった。

(2) 鉄筋ひずみ

図-8 に軸方向鉄筋のひずみ分布を示す。図中の左側が L 側のプレキャスト部からなるループ鉄筋のひずみ、図中の右側が R 側のプレキャスト部からなるループ鉄筋のひずみを示している。いずれの試験体も、曲げひび割れ発生時はループ鉄筋の曲げ始点から 10φ の位置（目地部に近い位置）のひずみが大きくなり、ループ鉄筋の曲げ始点のひずみが小さくなった。ループ鉄筋の曲げ始点から 10φ の位置のひずみは、最大荷重前にひずみゲージが剥れ、ひずみの測定が不可能となる傾向が見られた。なお、本報では軸方向鉄筋のひずみ分布に明確な差が生じた B3-N, B1-N, B0-Vf1.5 の 3 試験体の結果



a) L 側



b) R 側

図-9 付着応力と載荷荷重の関係

を示した。中村ら³⁾は、ループ鉄筋の曲げ始点に発生するひずみに着目し、支圧力を算出しており、重ね継手長を短くするとループ鉄筋内側に発生する支圧力が大きくなり、ループ継手破壊の可能性があるとしている。B1-N のループ鉄筋の曲げ始点位置のひずみは、B3-N の曲げ始点位置のひずみよりも 5 割程度大きくなっている。B1-N は、ループ鉄筋内側の直交方向鉄筋量を減らしていることから、コンクリートには支圧力が局所化していると思われる。B0-Vf1.5 は、最大荷重時にループ鉄筋の曲げ始点から 5φ の位置のひずみは降伏ひずみに達していない。これは、短繊維混入により鉄筋とコンクリートに付着切れが生じにくくなっているためであると思われる。

ループ鉄筋の曲げ始点から 10φ の位置のひずみは最大荷重前にひずみの測定が不可能となったため、本検討では 5φ と 0φ（曲げ始点位置）のひずみに着目する。ループ定着は、ループ鉄筋の直線部の付着力と曲線部の支圧力で定着する構造である。すなわち、同一の鉄筋の引張力に対して直線部の付着力が大きくなれば、曲線部に生じる支圧力が小さくなる。図-9 にループ鉄筋の曲げ始点から 5φ と 0φ のひずみの測定値から算出した平均付着応力度と最大荷重までの関係を示す。なお、継手部のコンクリートの圧縮強度がそれぞれ異なることから、平均付着応力度 τ は $f_{bok} (=0.28f_c^{2/3})$ で除して無次元化した^{8),9)}。平均付着応力度 τ は式(1)から算出し、ループ鉄筋の曲げ始点から 5φ と 0φ のいずれかのひずみが降

伏ひずみに達したり、ひずみゲージの値が測定不可能になった後は除外している。コンクリートの圧縮強度は、継手部のコンクリートの実験値を用いた。

$$\tau = \frac{\Delta T}{\Delta x \cdot \pi \cdot d} \quad (1)$$

ここに、 τ ：平均付着応力度 (N/mm²)、 ΔT ：鉄筋からコンクリートに伝達された力 (N)、 Δx ： ΔT の力が伝達される距離 (5φ：95mm) (mm)、 d ：鉄筋公称径 (mm)

B3-N と B1-N は、ひび割れ発生後からコンクリートに伝達される付着応力が大きくなり、最大荷重前に付着応力が低下している。これは、付着割裂ひび割れの発生により、鉄筋とコンクリートに付着切れが生じているためである。B3-Vf0.75、B1-Vf0.75、B0-Vf0.75、B0-Vf1.5 は最大荷重付近でも付着応力は低下することなく上昇している。これは、短繊維混入により、付着割裂ひび割れの進展に対する抵抗性が高くなり、鉄筋とコンクリートに付着切れが生じにくくなっているためであると考えられる。B0-Vf1.5 の付着応力は、若干ばらつきがあるが、最大荷重付近でも繊維混入量 0.75vol.% の試験体に比べ、2 割程度低下している。これは、繊維混入量の増加に伴い、ひび割れ進展に対する抵抗性がさらに高くなったためであると考えられる。これより、ループ継手におけるループ鉄筋内側の直交方向鉄筋量を減らしても、継手部に短繊維補強コンクリートを用いることで、ループ鉄筋の直線部の付着力を大きくすることができるため、曲線部に生じる支圧力を小さくすることができると考えられる。

4. まとめ

本検討では、ループ継手を対象とし、ループ鉄筋内側のループ鉄筋の直交方向の鉄筋量が部材性能に与える影響を継手部に用いるコンクリートが普通コンクリートの場合と短繊維補強コンクリートの場合で検討した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- ① 本検討の範囲では、ループ鉄筋内側のループ鉄筋の直交方向の鉄筋量を変化させ、継手部に用いるコンクリートの種類を変化させても、部材耐力に及ぼす影響は小さい。
- ② 継手部に短繊維補強コンクリートを用いることで、ループ鉄筋の直線部の付着力が高くなり、曲

線部に発生する支圧力が抑制される。

- ③ 本検討では、ループ継手の継手部に短繊維補強コンクリートを用いてループ鉄筋内側のループ鉄筋に直交する鉄筋の配筋の省略を試みた。その結果、本検討の範囲で検討した短繊維補強コンクリートを用いれば、ループ鉄筋内側のループ鉄筋の直交方向の鉄筋の配筋を省略することができる可能性がある。

本検討では鉄筋とコンクリートの付着に関する検討が不十分であること、短繊維補強コンクリートを使用した部材の引張性能を定量的に評価できていないため、今後十分な検討を行っていく必要があると考えている。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート工学会：更新用プレキャスト PC 床版技術指針，2016.3
- 2) F・レオンハルト，E・メニッヒ（横道英雄訳）：鉄筋コンクリートの配筋，鹿島出版会，pp.68-69，1985
- 3) 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
- 4) 竹山忠臣，佐々木亘，篠崎裕生，内田裕市：ループ継手の曲げ耐荷挙動に与えるループ径および短繊維補強コンクリートの効果に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.39，2017(掲載決定)
- 5) 土木学会：超高強度繊維補強コンクリートの設計・施工指針(案)，コンクリートライブラリー，No.113，2004.8
- 6) JCI 基準：切欠きはりをを用いた繊維補強コンクリートの荷重-変位曲線試験方法 JCI-S-002-2003
- 7) 中井博，川口昌宏，柳沼善明，阪野雅則，鍵和田功：プレキャスト RC 床版ループ鉄筋重ね継手の強度，および疲労に関する実験的研究，構造工学論文集，Vol.41A，pp.1069-1076，1995.3
- 8) 松林卓，竹内秀聡，原夏生，三島徹也：鋼繊維補強コンクリートによる鉄筋の付着性能向上に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.3，pp.607-612，2007
- 9) 山尾芳秀，周礼良，二羽淳一郎：付着応力-すべり関係に関する実験的研究，土木学会論文集，No.343，pp.219-228，1984.3