

ループ継手を用いた部材の曲げ挙動に与えるループ鉄筋の曲げ内径の影響

三井住友建設(株) 正会員 工修 ○竹山 忠臣
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 佐々木 亘
 三井住友建設(株) 正会員 博(工) 篠崎 裕生
 岐阜大学 正会員 博(工) 内田 裕市

キーワード：ループ継手，ループ鉄筋，曲げ内径，支圧力

1. はじめに

近年，供用開始後数十年経過した道路橋のRC床版の劣化が顕在化しており，RC床版からプレキャストPC床版への床版取替え工事が増加している。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床版同士の継手部には，直鉄筋の重ね継手よりも重ね継手長を短くすることができる，ループ継手を用いることを標準としている。この技術指針¹⁾では，ループ鉄筋の曲げ内径は5φ以上と規定されており，取替え後の床版厚がループ継手の仕様で決まってしまう場合がある。

ループ継手を用いる場合であっても，ループ鉄筋の曲げ内径を5φよりも小さくすることが出来れば，床版厚の低減は可能である。しかし，ループ継手に関する既往の研究としては，ループ継手の重ね継手長に関する検討²⁾などはなされているものの，ループ継手の詳細な定着メカニズムは明らかになっていないのが現状である。鉄筋の曲げ内半径を1φとすると，鉄筋の曲げ内側にき裂が発生する可能性があるとの報告³⁾があるが，鉄筋の曲げ内半径を小さくし，部材レベルの検討を行った場合の挙動については必ずしも明らかでない。

本検討では，プレキャスト床版の継手部にループ継手を用い，ループ鉄筋の曲げ内径が床版の曲げ挙動に与える影響を実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1 試験体

本検討で使用した試験体の平面図を図-1，継手部の詳細図を図-2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

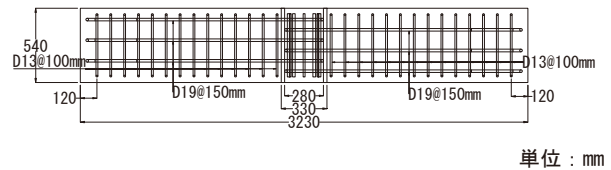
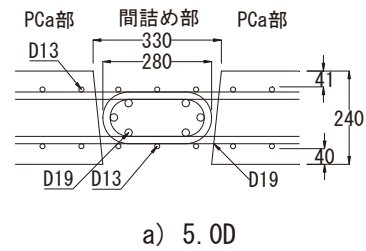
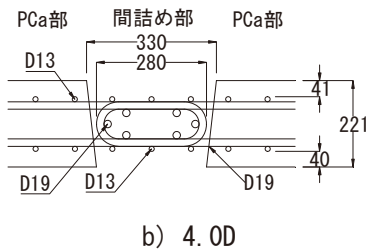


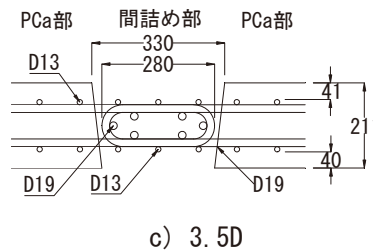
図-1 試験体平面図



a) 5.0D



b) 4.0D



c) 3.5D

単位：mm

図-2 間詰め部詳細図

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間詰め部と称する。

本検討では、床版の曲げ挙動に与える影響をループ鉄筋の曲げ内径5φ (試験体名：5.0D) , 4φ (試験体名：4.0D) , 3.5φ (試験体名：3.5D) で検討した。ループ鉄筋にはD19を用い、鉄筋は全てSD345を用いた。全ての試験体のかぶり (40mm) , 重ね継手長 (280mm) は同一であり、ループ鉄筋の曲げ内径に伴う床版厚とプレキャスト部の帯鉄筋の形状がそれぞれ異なるものである。試験体数は各1体とした。載荷試験時の目標圧縮強度は、プレキャスト部に用いるコンクリートが50~60N/mm², 間詰め部のコンクリート (以下、間詰めコンクリート) が50N/mm²とした。

2.2 試験方法

図-3に試験方法を示す。試験は等曲げスパン650mm, 支点間距離を2850mmとした4点曲げ試験を行った。計測位置図を図-3, 図-4に示す。荷重の測定には、容量300kNのロードセルを用いた。たわみの測定には、等曲げスパンでは容量100mmの変位計, 支点直上では容量25mmの変位計, それ以外の箇所では容量50mmの変位計を用いた。なお、試験体中央と支点直上では、試験体のたわみを両側面で測定した。

軸方向鉄筋のひずみは、間詰め部のみで測定することとし、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。なお、全てのひずみゲージは部材中で、同一断面高さになるように、鉄筋の両側面に設置した。なお、図は5.0D試験体を一例として示している。4.0Dおよび3.5D試験体におけるループ鉄筋の曲げ内径と曲げ始点位置はそれぞれ異なるため、ひずみゲージの設置位置も異なる。

3. 実験結果

3.1 荷重-変位関係

表-1に載荷試験時の強度試験結果を示す。ひび割れ発生強度は、割裂引張強度試験で供試体にひずみゲージを設置し、計測値が不連続となった値とした。プレキャスト部のコンクリートと間詰めコンクリートの圧縮強度はいずれもほぼ目標値と同程度であった。

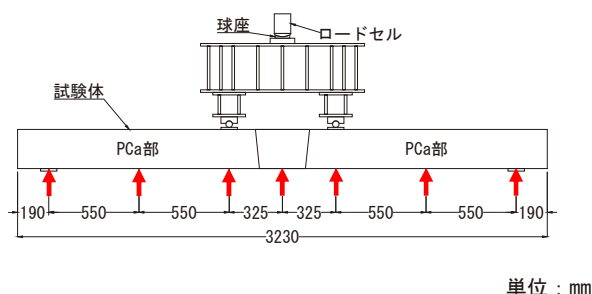
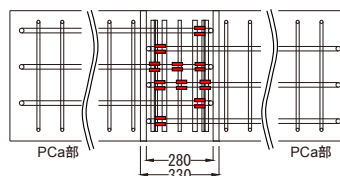
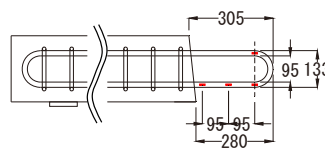


図-3 試験方法



a) 鉄筋ひずみ (引張側)



b) 鉄筋ひずみ詳細図 (軸方向)

単位：mm

図-4 計測位置図

表-1 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)		ポアソン比		割裂引張強度 (N/mm ²)		ひび割れ発生強度 (N/mm ²)	
	PCa部	間詰め部	PCa部	間詰め部	PCa部	間詰め部	PCa部	間詰め部	PCa部	間詰め部
5.0D	64.3	50.5	32.9	34.0	0.216	0.213	3.93	3.26	-	2.87
4.0D		47.0		32.7		0.183		4.04		3.21
3.5D		48.3		32.4		0.199		3.73		2.86

表-2 実験結果

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	
5.0D	27.4	29.9	31.0	98.5	96.4	125.3	136.5	上縁の圧壊(間詰め部)
4.0D	8.9	26.7	28.9	89.3	87.0	115.5	119.7	上縁の圧壊(間詰め部)
3.5D	8.9	22.5	30.9	83.1	77.7	107.4	102.0	上縁の圧壊(間詰め部)

表-2に実験結果, 図-5に荷重-変位関係の結果, 図-6に試験終了後のひび割れ図を示す。計算値は, 本試験体を継手のないはり部材と仮定し, 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。全ての試験体の破壊位置は間詰め部であったため, 計算に用いるコンクリートの圧縮強度と引張強度は, 荷重試験時の間詰めコンクリートの実験値を用いた。引張強度は荷重試験時の間詰め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。

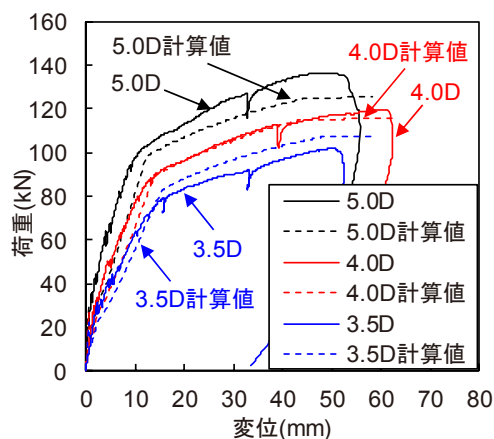


図-5 荷重-変位関係

いずれの試験体もプレキャスト部と間詰め部の目地部分に目開きが発生した後, 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。

5.0Dと4.0Dは, 鉄筋降伏荷重の実験値が計算値よりも若干小さかったが, 鉄筋降伏以降の実験値と計算値の挙動が一致し, 最大荷重は実験値が計算値を上回っているのに対して, 3.5Dの最大荷重は, 実験値が計算値を下回っている。3.5Dは鉄筋降伏以降, ループ鉄筋に沿った付着割裂ひび割れが試験体の側面に発生し, 最大荷重時に目地部付近におけるひび割れ幅が1.0mm以上に拡幅した。このひび割れの拡幅により, 継手部における連続性を失ったことが, 3.5Dの耐力の実験値が計算値を下回った原因として考えられる。

3.2 鉄筋ひずみ

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²⁾。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小さくなれば, 曲線部に生じる支圧力が大きくなる。中村ら²⁾は, ループ継手のループ鉄筋の曲線部による支圧力をループ鉄筋の曲げ始点に発生するひず

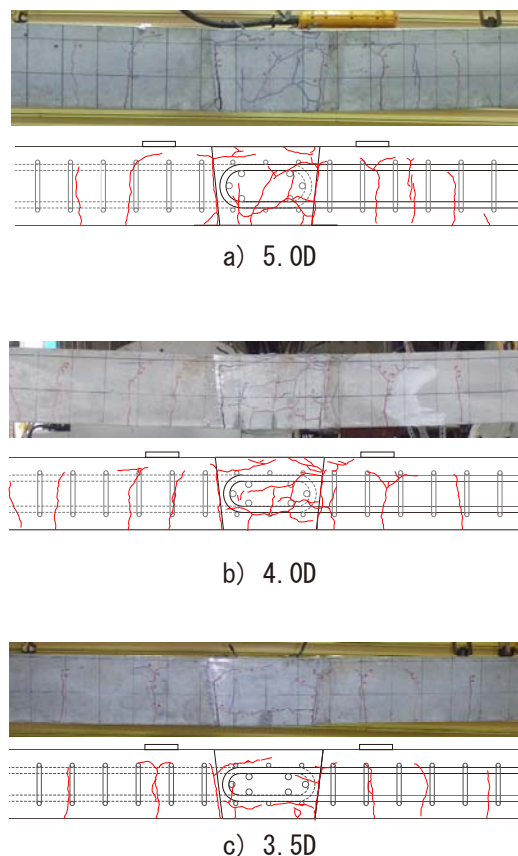


図-6 ひび割れ図 (試験終了後)

みに着目して算出しており、重ね継手長を短くするとループ鉄筋内部に発生する支圧力が大きくなり、ループ継手部が破壊する可能性があるとしている。図-7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、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ている⁴⁾。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間詰め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 (mm)、 d ：鉄筋公称径 (mm)

いずれの試験体も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。3.5Dの付着応力は鉄筋降伏直後に低下している。これは、試験体側面に発生した付着割裂ひび割れにより、鉄筋とコンクリートに付着切れが生じたことが原因として考えられる。

図-8に最大荷重時におけるループ鉄筋の曲げ始点位置の鉄筋ひずみ分布を示す。ループ鉄筋の曲げ内径を小さくするにつれて、ループ鉄筋の曲げ始点位置のひずみの最大値が大きくなっており、ループ鉄筋内部に生じる支圧力も大きくなっていることが分かる。

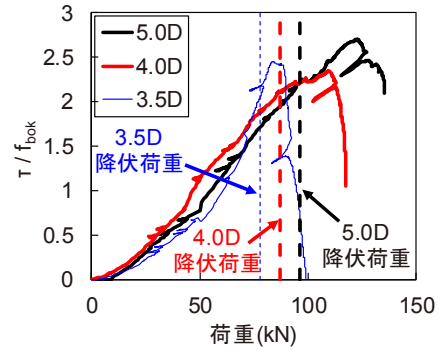
4. まとめ

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鉄筋の曲げ内径の影響について検討した。本検討で得られた知見を以下に示す。

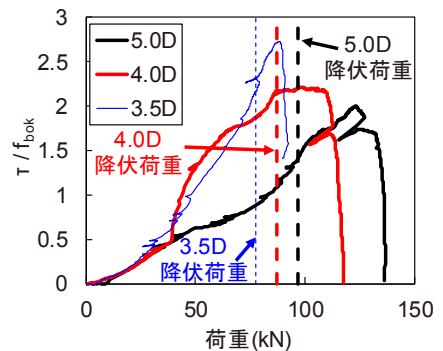
- 1) ループ鉄筋の曲げ内径を鉄筋径の3.5倍にすることで、部材の曲げ耐力の実験値が計算値を下回る。
- 2) ループ鉄筋の曲げ内径を小さくするにつれて、ループ鉄筋内部に生じる支圧力が大きくなる。

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) 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.
- 3) 佐々木一則，久利良夫，五十嵐弘行，宮川豊章：鉄筋曲げ加工部のひずみおよび応力分布に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 30，No. 1，pp. 987-992，2008
- 4) 例えば，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



a) L側



b) R側

図-7 付着応力度と載荷荷重の関係

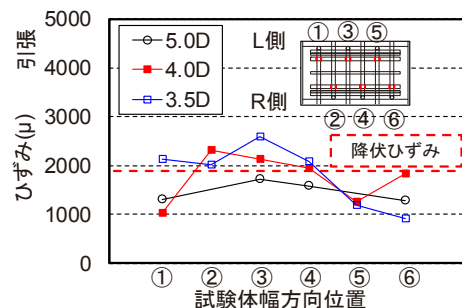


図-8 鉄筋ひずみ分布 (曲げ始点)