

報告 ダブルループ鉄筋継手を用いたRCはりの力学的性状

森田 俊哉^{*1}・辻 幸和^{*2}・飯塚 豊^{*3}・松山 哲也^{*4}

要旨：分割式ボックスカルバートのコスト低減を目的として、プレキャスト部材と現場打ちコンクリートの接合方法に、ダブルループ鉄筋継手を提案した。橋梁床版の接合を目的としたシングルループ鉄筋継手は多くの実績を有するが、この種のループ鉄筋継手をボックスカルバート等へ適用した例はこれまでなかった。そこで、ダブルループ鉄筋継手を用いた RC はりの曲げ実験および曲げせん断実験を行った。その結果、ループ鉄筋の重ね継手長が 8φ かつ 120mm 以上で、ループ鉄筋内に 4 本以上の配筋鉄筋を配置し、ループ鉄筋の突出長が 20φ であれば、鉄筋が連続した打継ぎ試験体と同等の力学的性状を有することを確認した。

キーワード：ボックスカルバート、プレキャスト部材、ダブルループ鉄筋継手

1. はじめに

近年、現場施工の省力化等を目的として、プレキャストコンクリート製（以下 PCa）ボックスカルバートが多く使用されている。さらに、大型化への対応として筆者らはボックスカルバートを分割式とし、PCa 部材の接合材料を開発してきた¹⁾。しかし、この PCa 分割式ボックスカルバートは、従来の場所打ち工法と比較した場合、コスト低減が必要とされていた。そこで、部材の一部を場所打ちコンクリートとすることにより、コスト低減を行うこととした。しかし、打継ぎ部の鉄筋継手として従来の重ね継手²⁾を使用すれば、継手長が長くなるため部材寸法の制約が多くなり、コスト高となる。したがって、ループ鉄筋継手をダブルに使用することにより、継手長を短くしてコスト低減を行った。

これまで、ループ鉄筋継手は、橋梁床版を対象に研究が行われてきた³⁾⁴⁾。その結果、シングルループ鉄筋継手は多くの実績を有するようになってきている。しかし、ボックスカルバート等へのこの種のループ鉄筋継手の適用はほとんどない。

本研究では、ダブルループ鉄筋継手の配置方法を決定するため、ループ鉄筋の曲げ半径を一定にして、ループ鉄筋の突出長およびループ鉄筋の重ね継手長を要因とした鉄筋コンクリートはりを作製し、曲げ強度実験を行った結果を報告する。

2. 実験概要

2.1 試験体概要

試験体の設計は、分割式ボックスカルバートの底版部にダブルループ鉄筋継手を配置することを想定し、以下のように検討した。

試験体の形状寸法は、高さが 200mm、奥行きが 500mm、長さが 3300mm とし、実製品の約 1/2 サイズとした。鉄筋の量と材質、コンクリート強度、養生条件については、実製品と同様とした。

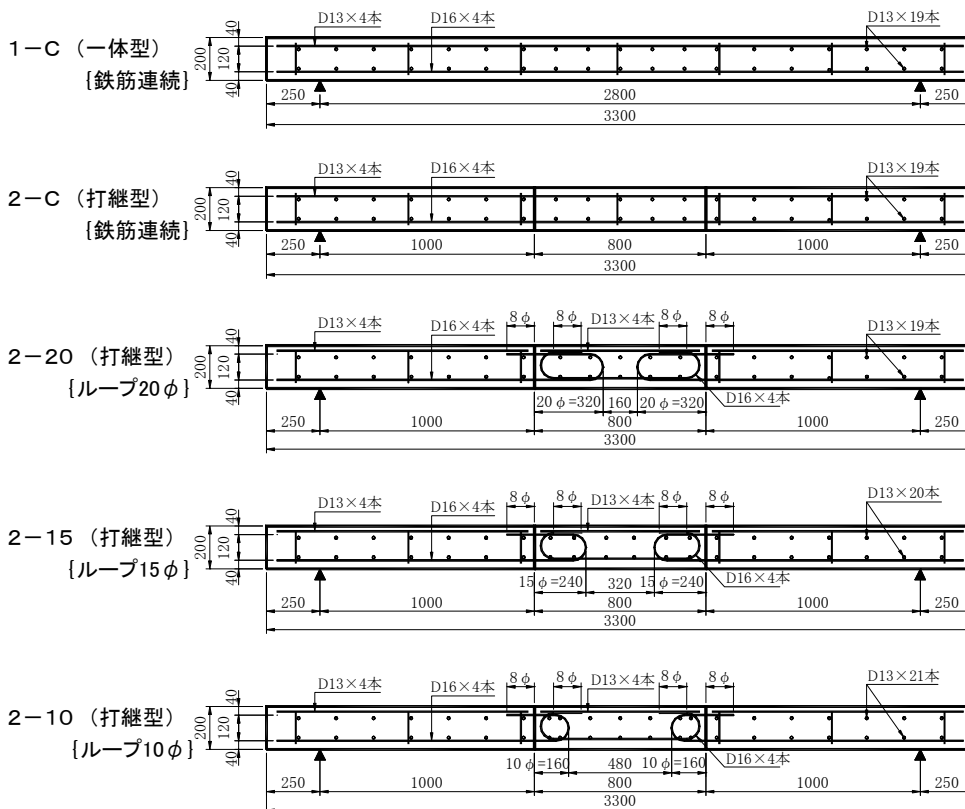
試験体の種類は、打継ぎ部の有無（一体型と打継ぎ型）、打継ぎ部鉄筋の連続性および打継ぎ部におけるループ鉄筋の配置方法の組合せとした。ループ鉄筋の配置は、D16 のループ鉄筋の突出長として 20φ、15φ、10φ の 3 種類とした。な

*1 (株)カイエーテクノ 技術開発部 部長 (正会員)

*2 群馬大学 工学部建設工学科 教授 工博 (正会員)

*3 (株)カイエーテクノ 技術開発部 次長

*4 日本興業(株) 技術開発部 副部長 (正会員)



図－1 試験体の形状寸法および配筋

お、これらのφは、鉄筋直径である。

打継ぎ部の寸法は、試験体の全長が3300mm、曲げモーメントの一定区間が1200mmと400mmとしたため、D16のループ鉄筋の突出長を最大で20φの320mmを考慮して、中央部に800mmをとった。打継ぎ面は、凹凸の形成や粗面仕上げを行わず、また接着剤も用いない、無処理とした。

PCa部材中のループ鉄筋の先端が埋め込まれる長さは、8φとした。また打継ぎ部において、ループ鉄筋端部の直線部とD13の圧縮鉄筋が重なる長さは、D16のループ鉄筋の直径に対し8φかつ120mm以上とし、実際は8φの一定とした。PCa部材からのループ鉄筋と現場打ちコンクリート中のループ鉄筋が重なるダブルループ鉄筋内の配力鉄筋としては、全ての試験体についてD13を4本配置した。なお、ループ鉄筋の曲げ内半径は各突出長とも2.5φ以上とし、実際は3.25φとした。突出長20φのループ鉄筋の配置を写真－1に示す。

以上の検討結果より、本実験で作製した試験体の種類は、打継ぎ部の有無と鉄筋の配置方法を要因とした5種類であり、その内容を表－1に示す。また、試験体の形状寸法および配筋を、図－1に、打継ぎ部の配筋を図－2に示す。



写真－1 打継ぎ部の配筋（20φ）

表－1 試験体の種類

呼称	打継ぎ部形状	打継ぎ部鉄筋	突出長
1-C	一体型	連続	—
2-C	打継ぎ型		
2-20		ループ継手	20φ
2-15			15φ
2-10			10φ

2.2 試験体の作製

試験体の作製状況を以下に示す。すなわち、PCa 部材の鉄筋を配置してコンクリートを打ち込み、蒸気養生を行う。その後、PCa 部材間の打継ぎ部に鉄筋を配置して、現場打ちコンクリートを打ち込むことにより、RC はり試験体を作製した。

試験体の作製に使用した材料の諸元を、表-2に示す。コンクリートの圧縮強度については、試験体と同一養生を行った円柱供試体により計測した値である。

2.3 荷重方法

(1) 曲げ強度実験のスパンおよび荷重位置

荷重時のスパンは、試験体端部から 250mm の位置を支持点とし、2800mm と一定とした。荷重位置は、打継ぎ部に曲げモーメントのみが作用する曲げ実験、および打継ぎ部に曲げモーメントとせん断力が同時に作用する曲げせん断実験を行なう 2 種類を採用した。各試験におけるスパンおよび荷重位置を、図-3に示す。

(2) 荷重方法

荷重は、一次荷重として引張側主鉄筋が計算値で 200N/mm^2 に達する荷重まで荷重し、除荷後、二次荷重として同じく 300N/mm^2 に達する荷重まで荷重し、除荷後、試験体が破壊するまで荷重した。一次荷重と二次荷重の上限の荷重を、

表-3に示す。なお、これらの荷重は、試験体および荷重治具の自重により生じる応力度を考慮して算出した値である。

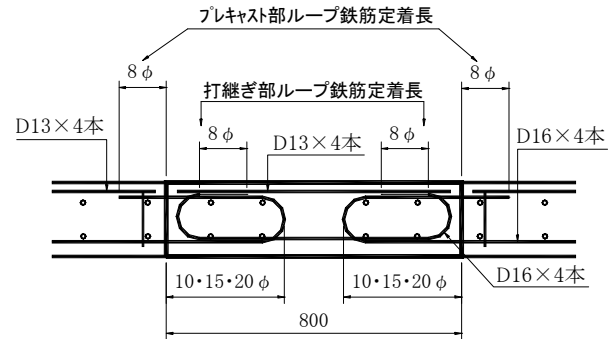


図-2 打継ぎ部の配筋図

表-2 使用材料の諸元値

粗骨材の最大寸法 (mm)	水セメント比 (%)	養生方法		圧縮強度(N/mm ²)	
		Pca部	打継ぎ部	Pca部	打継ぎ部
20	44	蒸気養生	一般養生	$\sigma_{14}=48.3$	$\sigma_{28}=47.2$
鉄筋					
呼び名	材質	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)		
D13	SD345	399	569		
D16	SD345	403	562		

表-3 各荷重時の荷重

	一次荷重時 (kN)	二次荷重時 (kN)
曲げ実験	47.4	74.8
曲げせん断実験	31.2	49.4

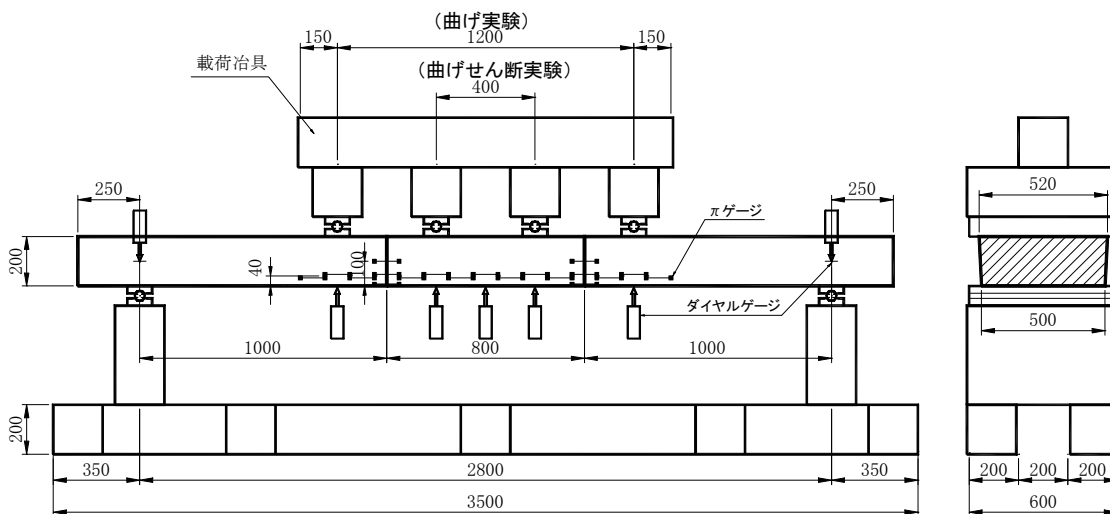


図-3 スパン、荷重位置および変位、ひび割れ計測位置

(3) 計測内容

試験体の変位とひび割れ幅の計測位置については、図-3に示す。ダイヤルゲージと測長が100mmの π ゲージを用いた。 π ゲージは側面の引張側主鉄筋の位置に設置したが、打継目においては下縁から5mmと100mmにも設置した。また、コンクリートのひずみは、圧縮縁について3箇所、測長が60mmのひずみゲージを用いて計測した。

載荷時における各計測項目と方法および計測数を、表-4に示す。また、鉄筋のひずみ計測位置を、図-4に示す。測長が6mmのひずみゲージを用いた。

3. 試験結果と考察

3.1 曲げひび割れ発生荷重と最大荷重

曲げ強度実験結果を、表-5に示す。図-5には曲げひび割れ発生荷重を示す。打継目があると、曲げひび割れはそこに最初に発生した。その発生荷重は、曲げモーメントが一定の区間に打継目がある場合で、打継目がないRCはりの1/3から1/4の値であった。また打継目がある試験体の曲げひび割れ発生荷重は、打継ぎ部のループ鉄筋突出長が15 ϕ と20 ϕ の場合には、曲げ実験と曲げせん断実験のいずれの載荷方法においても、打継ぎ部のループ鉄筋突出長の違いによる影響はほとんどなく、鉄筋が連続した打継ぎ試験体との差もほとんどないことが認められる。

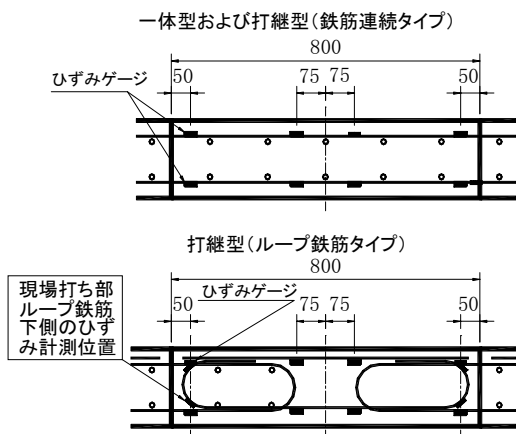


図-4 鉄筋のひずみ計測位置

表-4 計測項目、方法、箇所数

計測項目	計測方法	計測点数
荷重	ロードセル	1
変位	ダイヤルゲージ	10
ひび割れ幅	π ゲージ	19
鉄筋のひずみ	ひずみゲージ	24または36
コンクリートのひずみ	ひずみゲージ	3

※鉄筋のひずみは、鉄筋が連続する場合は24点、ループ継手の場合は36点

表-5 曲げ強度実験結果

載荷実験方法	呼称	曲げひび割れ発生荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	最大ひび割れ幅(mm)		
				一次載荷時	二次載荷時	増加量
曲げ実験	1-C	38.3	140.0	0.10	0.30	0.20
	2-C	12.6	137.2	0.20	0.31	0.11
	2-20	12.6	148.9	0.23	0.34	0.11
	2-15	11.7	143.8	0.26	0.41	0.15
	2-10	7.9	153.6	0.19	0.37	0.18
曲げせん断実験	1-C	23.8	99.4	0.10	0.19	0.09
	2-C	10.7	103.2	0.18	0.25	0.07
	2-20	11.7	101.3	0.18	0.30	0.12
	2-15	9.0	98.5	0.19	0.32	0.13
	2-10	10.7	105.5	0.17	0.39	0.22

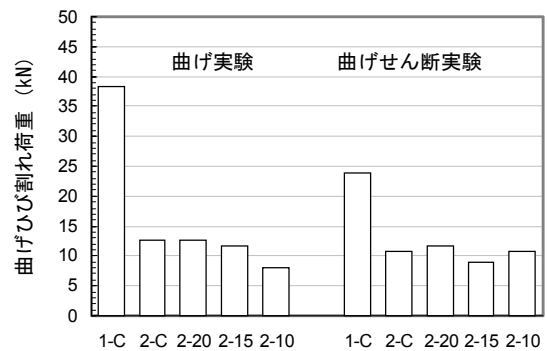


図-5 曲げひび割れ発生荷重

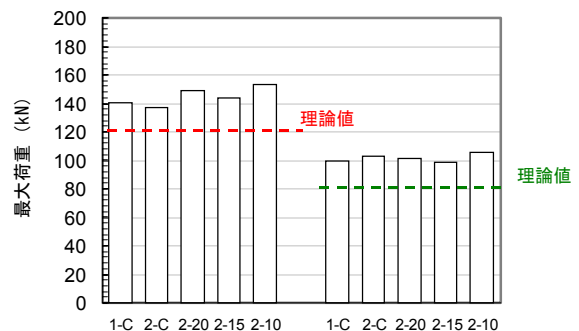


図-6 最大荷重

最大荷重を図-6に示す。曲げ実験のいずれのRCはりも、引張側の主鉄筋が降伏した後で圧縮側のコンクリートが圧壊する曲げ引張破壊であった。曲げせん断実験のRCはりでは、斜めひび割れの発達が著しくなったが、曲げ実験のRCはりと同様な曲げ引張破壊となった。図-6には、それぞれの曲げ引張破壊の理論値も追記している。曲げ実験と曲げせん断実験のいずれの载荷方法においても、最大荷重は理論値より少し大きく、打継目の有無、打継ぎ部の鉄筋の配置にかかわらず、ほぼ等しくなることが認められた。

3.2 曲げひび割れ幅

一次载荷において引張側の主鉄筋が計算値で 200N/mm^2 となった荷重時、および二次载荷で 300N/mm^2 となった荷重時におけるはり側面の引張側主鉄筋位置の曲げひび割れ幅についても表-5に示している。一次载荷時においては、打継目があるとその位置にひび割れが集中してひび割れ幅も卓越するため、打継目がないRCはりに比べて約2倍のひび割れ幅となっている。そして、打継ぎ部の鉄筋配置方法の影響はほとんど受けていない。このような傾向は、打継目が曲げモーメントが一定の区間にある場合と、せん断力も作用する区間にある場合についても同様に認められる。

引張側主鉄筋の引張応力度が1.5倍に増加した二次载荷時においても曲げモーメントが一定の区間の場合は、一次载荷時と同様な傾向が認められる。すなわち、ある打継目に卓越した曲げひび割れ幅は、一次载荷時ほど著しくはないが、少し大きくなっている。

しかしながら、一次载荷時には認められなかった、打継ぎ部の鉄筋の配置方法によっても異なっている。すなわち、ダブルループ鉄筋の突出長が 20ϕ と長いRCはりは、 15ϕ のRCはりよりも曲げひび割れ幅が小さくなっているとともに、突出長が長いRCはりほど、一次载荷時から二次载荷時までのひび割れ幅の増加量が小さくなっている。そして、曲げひび割れが十分

に発達したと考えられる二次载荷の荷重段階では、曲げモーメントが一定の区間に打継目があることによる曲げひび割れ幅の増加は、一次载荷時よりも小さくなっており、 20ϕ の突出長をとると主鉄筋を連続したRCはりとはほぼ等しい曲げひび割れ幅となる。

曲げせん断実験のRCはりでは、曲げひび割れから斜めひび割れに移行し、荷重の増加とともに発達した。そして、打継ぎ部のあるRCはりでは、 π ゲージで測定した最大値が打継目の曲げひび割れ幅ではなく、斜めひび割れ幅となっており、その値を表-5に示している。

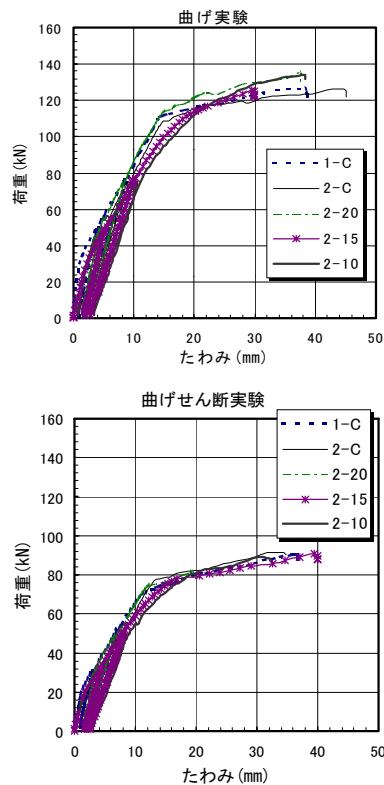


図-7 試験体中央のたわみ

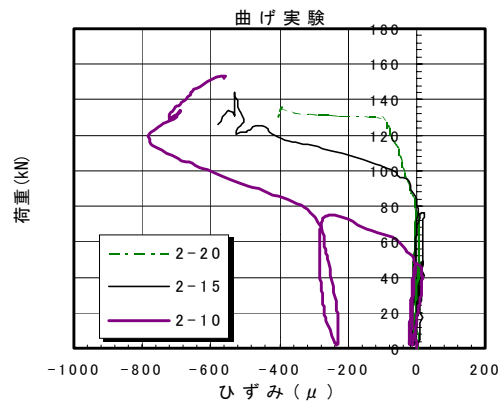


図-8 ループ鉄筋のひずみ

3.3 たわみ

はり中央部のたわみを、図-7に示す。打継ぎ部がないRCはりのたわみは、ダブルループ鉄筋の突出長が10φと15φに比べて少し小さくなっている。しかしながら、打継ぎ部があるRCはりでも、引張側主鉄筋が連続しているRCはりとは20φの突出長のダブルループ鉄筋を配置したRCはりでは、たわみが打継ぎ部のないRCはりよりも大きくなることは認められない。

3.4 ループ鉄筋のループ部ひずみ

現場打ちコンクリート部に配置したループ鉄筋の図-4に示す下側のループ部のひずみを、図-8に示す。小さい荷重の段階では、わずかな引張ひずみが生じている。荷重が増加して、ある荷重を越えると、圧縮側のひずみに移り、ループ鉄筋の突出長が短いほど、そのような圧縮ひずみへ移る荷重は小さくなり、かつ圧縮ひずみが大きくなっている。そして、ひずみがループを描く現象が著しくなっている。

このように、ループ鉄筋のループ部のひずみが増えることは、ループ部にずれが生じたと思われる。そして、ループ鉄筋の突出長が20φから10φに短くなるほど、ループ鉄筋のずれが大きくなると思われる。

4. まとめ

ボックスカルバートを、3分割として工場で作製し、運搬して、据え付ける際に、底板部の一部を現場打ちコンクリートを併用する3分割工法を開発した。その工法の基盤要素であるダブルループ鉄筋継手の性能を、RCはりを作製して実験的に検討した。本研究で次のことが明らかになった。

- 1) ループ鉄筋の突出長を10φから20φに変化させても、曲げ破壊耐力はほぼ等しく、この耐力は打継ぎ部のない場合とほぼ等しい。
- 2) 打継ぎ部を設置すると、その打継目において曲げひび割れが小さい荷重段階で発生し、

曲げひび割れ幅も大きくなる。そして、曲げひび割れ幅が大きくなる現象は、引張側主鉄筋の応力度が 200N/mm^2 における荷重の場合が著しく、 300N/mm^2 に増加した場合は緩和される。また、この荷重段階では、ループ鉄筋の突出長を20φとすると、10φや15φの突出長のRCはりよりも曲げひび割れ幅が小さくなり、荷重の増加による曲げひび割れ幅の増加量も小さくなる。そして、主鉄筋を連続したRCはりとはほぼ等しい値となる。

- 3) 中央部のたわみは、打継ぎ部の有無や鉄筋の配置方法の種類にかかわらず、ほぼ等しい値となった。
- 4) 打継目が曲げモーメントだけでなくせん断力も作用する位置にある場合は、ループ鉄筋の突出長が異なると、斜めひび割れの発生状況が異なる場合がある。その場合でも、ループ鉄筋の突出長として20φを確保すると、主鉄筋が連続している場合および打継ぎ部がない場合とほぼ同様な斜めひび割れ発生状況となる。

参考文献

- 1) 栖原健太郎, 片平千朋, 森田俊哉, 辻 幸和: 鋳鉄製カップラーで接合したRCはりの力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.637-642, 1998
- 2) コンクリート標準示方書{構造性能照査編}, 土木学会, pp.137-143, 2002
- 3) 酒井秀昭, 上杉泰右, 上平謙二: ダブルループ継手構造を有するRC床版の力学的特性に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.45-61, 2004.5
- 4) 辻 幸和: ループ継手を有するプレキャスト床版の間詰め部に用いる膨張コンクリート, プレストレストコンクリート, Vol.44, No.3, pp.18-22, 2002.5