

論文 プレキャスト床版用クランプ継手の曲げ・せん断耐荷力と耐久性

石崎 茂^{*1}・松井 繁之^{*2}・金 閔七^{*3}・久保 圭吾^{*4}

要旨：プレキャスト床版の現場継手に、これまで一般に使用されているループ継手と比べ施工性・経済性に優れた特殊クランプを用いた新しい継手工法を開発した。本継手の曲げ・せん断耐荷力、および耐久性を確認しその破壊機構を解明するために、静的載荷試験、および疲労試験を実施した。その結果、従来のループ継手と比べて静的耐荷力では遜色なく、疲労性状においても設計荷重程度の荷重の繰り返し載荷に対しては、継手部の剛性低下度もループ継手に比べ遜色なく、十分に実用性を有していることがわかった。

キーワード：プレキャスト床版, 継手, 静的耐荷力, 耐久性

1. はじめに

近年、道路橋の少数主桁化に伴う床版の長支間化や現場施工の省力化のため、道路橋の床版にプレキャストコンクリート床版を採用する例が増加しつつある。このプレキャスト床版の現場継手工法として、これまで、図-1(a)に示すようなRCループ継手が一般に使用されている。しかし、ループ鉄筋内部に配置される主鉄筋の現場挿入が困難であるだけでなく、最終ブロックの落とし込み施工が不可能であり、かつ、現場重ね継手長が長く現場打ちコンクリート量が多いなど、いくつかの問題点を残してい

る。そこで、現場施工が容易で、かつ、重ね継手長を短くすることが可能なプレキャスト床版の現場継手工法として、図-1(b)に示すような継手構造を考案した¹⁾。本継手は、特殊なクランプにより、ループ鉄筋と主鉄筋とを連結し、そのインターロック作用により、配力鉄筋方向の曲げモーメントとせん断力を伝達させるものである。なお、今回の実験では、クランプ継手の重ね継手長をループ継手の240mmに対して120mmとすることで、継手部コンクリート量を大幅に少なくし、さらに、アゴ状突起の形状を、プレキャスト版の直上からの落とし込み施工を可能とする片持ち構造とした。本文では、このクランプ継手の曲げ・せん断耐荷力、および耐久性を確認し、その破壊機構を解明するために実施した静的耐荷力試験、および曲げ疲労試験の結果について報告する。

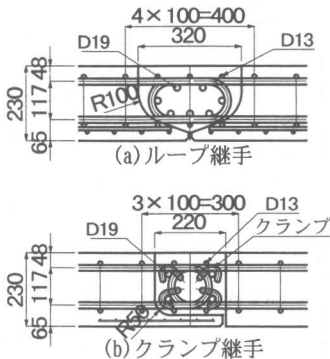


図-1 継手構造

2. 静的耐荷力試験

2.1 供試体および試験概要

本試験に用いた供試体は、床版厚23cmの実物大床版より配力鉄筋方向に鉄筋4本を含む断

*1 (株)酒井鉄工所 技術開発部部長 (正会員)
 *2 大阪大学大学院教授 工学研究科 土木工学専攻 工博 (正会員)
 *3 大阪大学大学院 工学研究科 土木工学専攻 工修 (正会員)
 *4 (株)酒井鉄工所 技術開発部

面を取り出した梁モデルとし、支間中央位置に継手を配置した曲げ試験用供試体と、せん断スパン部に継手を設けたせん断試験用の2種類とした。せん断試験に適用したせん断スパン比(a/d)は、腹鉄筋のないRC梁がせん断引張り破壊を生じると考えられる $a/d = 3.3$ とした。また、クランプの取り付け位置は、上側鉄筋と下側鉄筋の両方に取り付けたものと、下側のみとした場合の2種類とした。このとき、比較のため、ループ継手の供試体も同時に製作した。表-1に供試体の種類を、図-2に供試体の配筋および荷重位置を示す。なお、荷重は単調増加荷重とし、油圧ジャッキにより、荷重フレーム、ローラー、荷重板を介して荷重した。荷重時の測定項目は、

表-1 供試体の種類と名称

		曲げ試験	せん断試験
クランプ継手	クランプ上下	A1	B1
	クランプ下	A2	B2
ループ継手		C	D

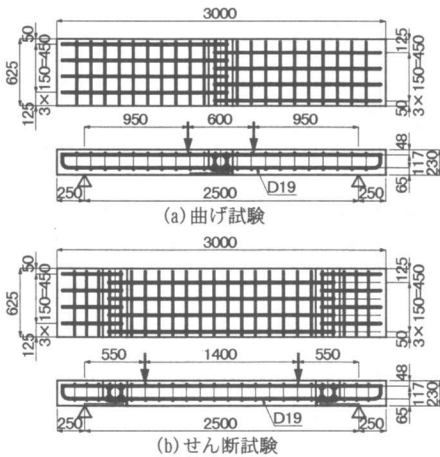


図-2 静的試験供試体および荷重位置

表-2 材料試験の結果

		強度	弾性係数
		(N/mm^2)	(N/mm^2)
コンクリート	プレキャスト部	$\sigma_{ck} = 57$	28400
	間詰部(膨張)	$\sigma_{ck} = 51$	27500
鉄筋		$\sigma_{sy} = 380$	182000

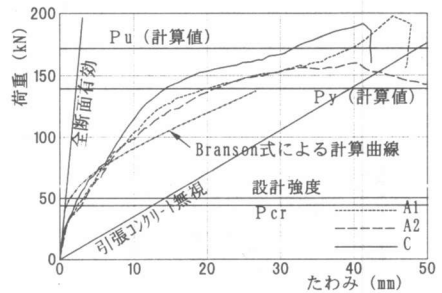
表-3 各供試体の破壊荷重と破壊様式

	名称	破壊荷重	破壊部位	破壊形態
曲げ試験	A1	198 kN	継手部	曲げ破壊
	A2	160 kN	継手部	曲げ破壊
	C	192 kN	継手部	曲げ破壊
せん断試験	B1	381 kN	一般部	曲げ破壊
	B2	412 kN	一般部	曲げ破壊
	D	403 kN	一般部	曲げ破壊

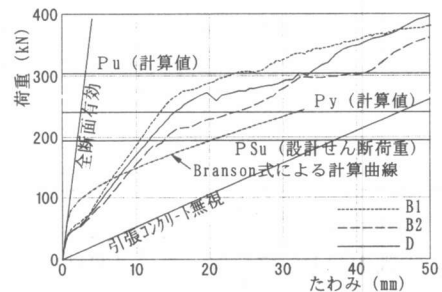
梁のたわみ、鉄筋のひずみ、およびコンクリート打ち継ぎ目部の開口量とした。なお、供試体に用いたコンクリート、および鉄筋の材料特性は表-2に示すとおりであった。

2.2 試験結果

曲げ・せん断試験における各供試体の破壊荷重と破壊部位、および破壊様式を表-3に示す。曲げ試験では、いずれの供試体も継手部で曲げ破壊しており、上下にクランプを設けたA1供試体は、ループ継手とほぼ同等の耐荷力を有していた。せん断試験では、全供試体とも一般部で曲げ破壊が先行し、継手部は健全であったことから、継手部は十分なせん断強度を有していることが分かった。図-3に曲げ・せん断試験における各供試体の荷重-たわみ曲線を示す。これらの図より、曲げ試験では、いずれの供試体も設計強度の3倍以上の耐荷力を有しており、静的強度では問題ないことがわかる。曲線の形状は、コンクリートのひび割れ開始点と、下側鉄筋が降伏する計算降伏荷重付近で、変曲点を有する形状であった。せん断試験では、継手のないRC梁の曲げ降伏荷重を超える荷重に対しても継手部にせん断ひび割れは発生せず、継手の



(a) 曲げ試験



(b) せん断試験

図-3 荷重-たわみ曲線

強度低下もほとんどなく、土木学会式²⁾による設計せん断荷重の計算値より十分大きな耐荷力を有していることが確認された。また、本図には、Branson式により計算した変位曲線も併記した。この中で、曲げ・せん断試験とも、計算値より小さい荷重で変曲点を有しているのは、この荷重で打ち継ぎ目部に初期ひびわれが発生したためと考えられる。しかし、その後の荷重に対するたわみの増加は少なく、継手部の剛性が高いことが分かった。

図-4(a)は、曲げ試験における荷重と打ち継ぎ目の開口量の関係を示している。ここで、クランプ継手の開口量がループ継手に比べ若干大きめの値となっているのは、継手部底面のアゴ状突起の継手位置が、フープ中心から偏心しているためと考えられる。図-4(b)は、せん断試験における荷重と打ち継ぎ目の開口量の関係を示している。これより、上下にクランプを設けたB1供試体は、他の供試体と比べ、計算せん断荷重まではほぼ直線的に変化しており、開口量も小さいことから、クランプのインターロック作用により円滑なせん断力の伝達機構を有していることがわかる。図-5は曲げ試験にお

ける継手部鉄筋のひずみと荷重の関係を示したものである。クランプ継手では、ひずみが100kN付近、ループ継手では、20kN付近と70kN付近で変曲点を有している。これは、コンクリート打ち継ぎ目にひび割れが生じたことによるものである。また、クランプ継手において、100kN以下の荷重で曲線が折れ曲がっているのは、クランプと主鉄筋のかみ合わせ部に、多少のコンクリート未充填部が存在していたためと考えられるが、鉄筋のひずみは、ループ継手と大差なく、クランプのインターロック作用により十分な応力伝達が行われているものと推定できる。また、下側鉄筋が、降伏した後の荷重に対しては、上下にクランプを設けたA1供試体では、上側の鉄筋が引張降伏するまで耐荷力が向上することがわかった。曲げ供試体の最終ひび割れ状況を図-6に示す。各供試体の破壊は、打ち継ぎ目部、および、中央部にひび割れが生じた後、下側鉄筋が降伏し、上側コンクリートが圧縮破壊するものであった。また、上下にクランプを設けたA1供試体は、クランプが下側のみのA2供試体と比べ、上側クランプの効果によりひびわれの進展が抑制されることがわかった。

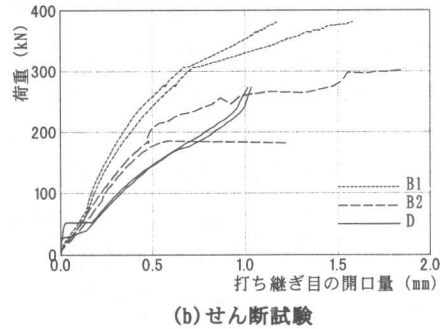
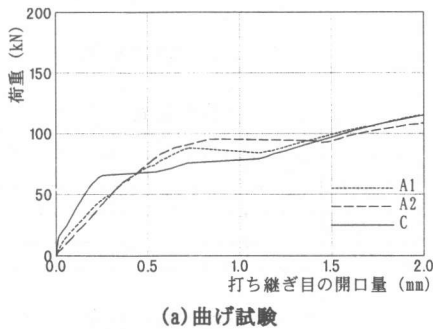
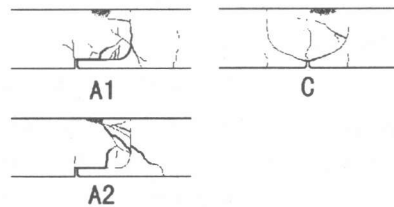
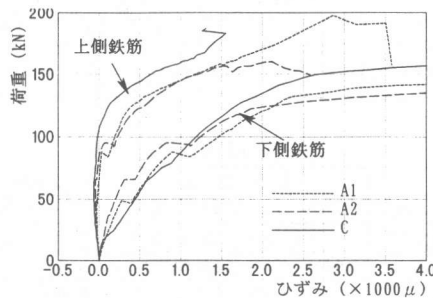


図-4 継ぎ目の開口量



3. 疲労試験

3.1 供試体および試験概要

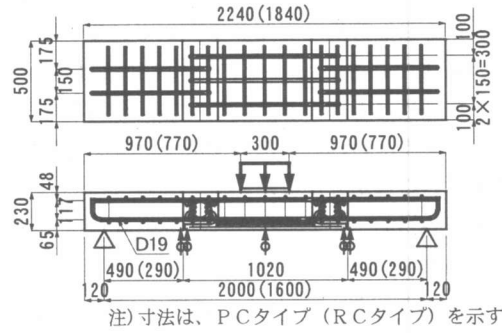
本試験に用いた供試体は、静的試験と同様、床版厚23cmの実物大床版とし、配力鉄筋方向に50cm幅を取り出したはりモデルとした。通常、床版は曲げモーメントにより設計されるが、実際のRC床版では、ひび割れの進展によって、はり状化した鉄筋コンクリートが押し抜きせん断により破壊する。そこで、床版厚が23cmとなるRCおよびPC（プレストレストコンクリート）の実橋床版を想定し、この床版に作用する最大曲げモーメントと最大せん断力をFEM解析により求め、はり供試体の継手位置で、これらと等価な断面力が作用するように、供試体の支間および継手位置を決定した。表-4に想定した床版の支間および配力鉄筋方向の断面力を示す。なお、床版支間は、せん断力の割合が大きい単純版を想定しており、衝撃を含んだ値とした。さらに、支間中央部での曲げ破壊よりも継手部での曲げ、せん断破壊が先行するように、鉄筋の配置は中央部を3本とし両端部を2本とした。図-7に供試体形状寸法図を示す。継手位置の基準線は、クランプ継手では鉄筋2本側の打ち継ぎ面とし、ループ継手の場合は、鉄筋が2本となるループ端部位置としている。また、比較のため、2本の端部鉄筋を中央部まで連続させ、打ち継ぎ目を設けない供試体も用意した。供試体の種類を表-5に、材料試験の結果を表-6に示す。荷重は、着目点での鉄筋応力が許容応力度となる設計荷重を基本荷重として表-7に示す荷重振幅と繰り返し回数にて荷重した。また、実験中の測定項目は、たわみ、継手の開口量、ひび割れなどとした。

3.2 試験結果

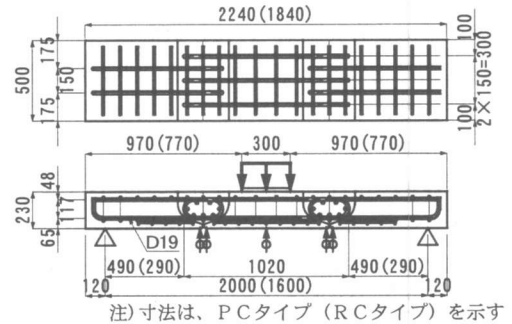
図-8に、本試験による支間中央でのたわみと荷重回数の関係を示す。これより、図-8(a)のRCタイプでは、上下にクランプを設けたA1供試体とループ継手のB供試体で、たわみはほぼ同じとなったが、下側のみクランプを設けたA2供試体は、約5000回から、急激にたわみが増加

表-4 FEM解析により想定した断面力

	RCタイプ	PCタイプ
想定床版支間	1.8 m	3.7 m
最大曲げモーメント	27 kN・m	39 kN・m
最大せん断力	91 kN	95 kN



(a) クランプ継手



(b) ループ継手

図-7 疲労試験供試体

表-5 供試体の種類と名称

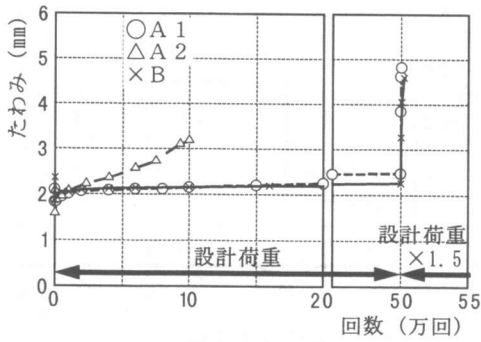
		RCタイプ	PCタイプ
クランプ継手	上下	A1	C1
	下	A2	C2
ループ継手		B	D
継手なし			E

表-6 材料試験の結果

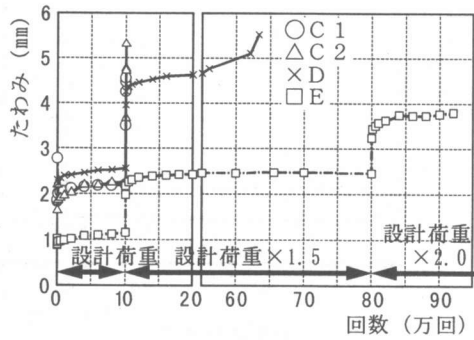
		強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
コンクリート	プレキャスト部	$\sigma_{ck} = 53$	31600
	間詰部 (膨張)	$\sigma_{ck} = 49$	27500
鉄筋		$\sigma_{sy} = 380$	194000

表-7 荷重荷重と回数

		荷重振幅	荷重回数
RCタイプ	10kN~78kN (設計荷重)		0~50万回
	10kN~118kN (設計荷重×1.5)		50万回~
PCタイプ	10kN~49kN (設計荷重)		0~10万回
	10kN~74kN (設計荷重×1.5)		10~80万回
		10kN~98kN (設計荷重×2.0)	80~100万回

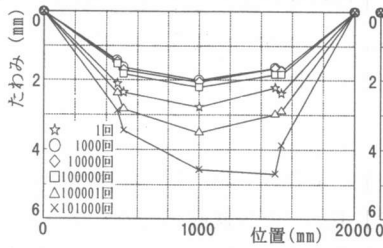


(a) RCタイプ

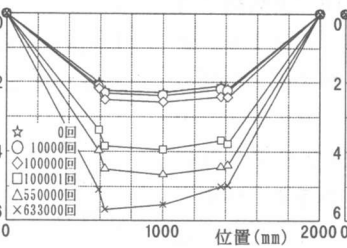


(b) PCタイプ

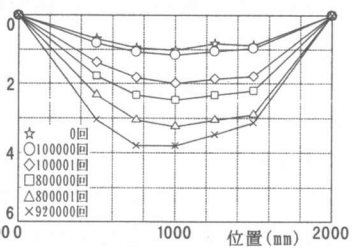
図-8 たわみ-回数曲線



(a) 上下クランプ



(b) ループ



(c) 無継手

図-9 たわみ分布

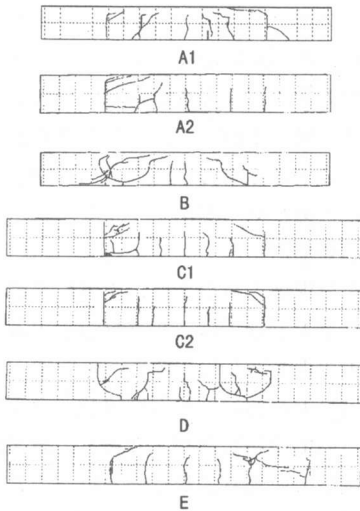


図-10 ひび割れ図

し始め破壊に至った。これは、RCタイプの荷重では、せん断力の割合が大きいため、クランプを下側のみに配置した場合、せん断力の伝達が十分行われなためと考えられる。さらに、設計荷重の1.5倍の荷重を載荷すると、A1供試体、B供試体ともに、たわみが急増し破壊に至った。また、図-8(b)のPCタイプの供試体では、設計荷重程度の荷重では、ループ継手のD供試体より、クランプ継手のA1、A2供試体の方

がたわみは小さかった。また、上下にクランプを設けたC1供試体と下側のみクランプを設けたC2供試体のたわみは、ほぼ等しく、PCタイプの荷重では、クランプが下側のみでも十分な応力伝達が行われていた。しかし、設計荷重の1.5倍の荷重を載荷すると、クランプ継手では荷重直後から、たわみが急増し破壊に至ったが、ループ継手では、たわみは急増したものの、たわみ量4.6mm程度で定常状態となり、55万回程度までたわみは安定し、その後破壊に至った。継手のないB供試体のたわみは、他の供試体の1/2程度と小さく、設計荷重の1.5倍の荷重で70万回、さらに2倍の荷重による10万回程度の繰り返し載荷に対しても、たわみの増加曲線は緩慢であったが、その後、鉄筋本数を変えている付近で、急激にひび割れが発生し破壊した。図-9に、上下クランプ継手、ループ継手、および無継手のPCタイプ供試体における各載荷回数毎のたわみ分布を示す。この図からクランプ継手、ループ継手とも継手部の打ち継ぎ目にひび割れが発生しこの部分で回転変形するが、継手のない供試体には打ち継ぎ目がないため、この部分にひび割れが発生せず、回転変形を生

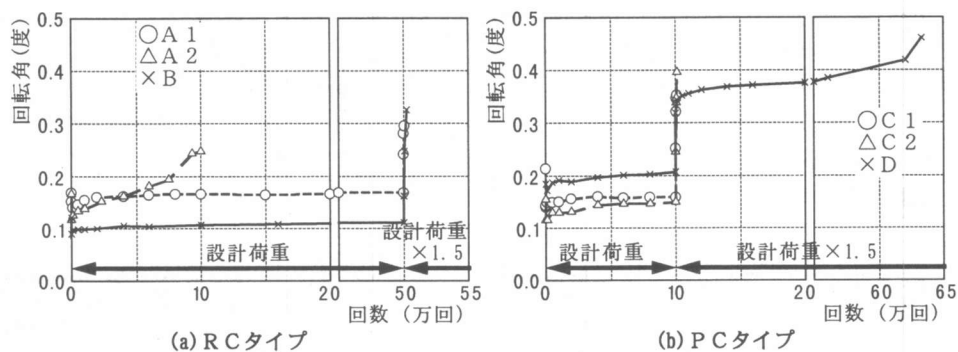


図-11 継手の回転角

じないことが確認された。図-10は実験終了時のひび割れ状況を示している。この図より、RCタイプ供試体の破壊性状は、継手部におけるせん断破壊の性状を呈しており、PCタイプでは継手部における曲げ破壊の性状を呈していることが読み取れる。これは、継手部に作用する曲げモーメントとせん断力の割合の違いによるものと考えられる。また、PCタイプ供試体における、クランプ継手では、垂直な打ち継ぎ目にひび割れの開きが集中し、アゴ状突起部にはほとんど開きが生じないのに対し、ループ継手では、両側でひび割れの開きが生じていることが確認された。図-11は継手での回転角を示したものである。せん断力が支配的となるRCタイプにおいて、上下クランプのA1供試体とループ継手のB供試体では、回転角はA1供試体の方が大きくなった。これは、せん断力が支配的な継手では、継手部にせん断クラックが進展することにより、クランプのインターロック作用が低下し、これによって重ね継手長が短い場合、継手部で回転変形が大きくなると考えられる。一方、曲げモーメントが支配的なPCタイプでは、設計荷重の荷重に対し、回転角はクランプ継手の方が若干小さくなっている。よって、クランプ継手は、曲げが支配的な場合は、回転変形に対する剛性が高く、優れた継手性能を有することがわかった。しかし、設計荷重の1.5倍の荷重を載荷した場合、クランプ継手では、垂直な打ち継ぎ目部に応力が集中する上、重ね継手長が短いことによる局所的な応力が作用したため曲げ破壊したが、ループ継手では、両側のひび割れ、および重ね継手長が長いことに

より、応力集中が緩和されるため、設計荷重の1.5倍の荷重で450000回の載荷まで破壊がおこらなかったものと推察できる。

4. まとめ

今回の試験により以下のことが確認された。

- ①クランプ継手は、引張鉄筋側のみクランプを取り付けた場合でも、静的な曲げ・せん断耐力はループ継手と比べ遜色ない。
- ②上下にクランプを設けた方が下側のみの場合に比べ、静的曲げ耐力が向上する。
- ③せん断力の割合が大きい場合、クランプ継手の疲労性状は、下側のみにクランプを設ける場合、上下に設ける場合に比べ耐久性が著しく低下する。このため、実用上クランプは、上下に設ける必要がある。
- ④設計荷重程度の荷重では、上下にクランプを有するクランプ継手は、ループ継手と遜色なく、十分な実用性を有している。

今回は静的な曲げ・せん断試験、および疲労試験について報告したが、今後は、継手部の純せん断試験、引張り試験などを行うとともに、重ね継手長の異なるクランプ継手の疲労試験を実施することにより、重ね継手長と継手強度の関係を調べ、本継手の構造を改善する予定である。さらに、輪荷重走行試験機による疲労試験により実用性の検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 久保, 石崎, 野瀬: 特殊クランプを用いたプレキャスト床版の現場継手工法, 土木学会第54回年次学術講演会概要集, CS, pp. 322-323, 1999. 9
- 2) コンクリート標準示方書設計編, 土木学会, pp60-65, 1996