

(61) プレキャスト床版の新しい継手構造部のせん断耐力

極東工業㈱ 技術本部 ○ 岩田 雅靖
 極東工業㈱ 技術本部 正会員 平田 雅也
 広島大学 工学部 第四類 藤井 堅

1. はじめに

近年、鋼少主桁橋の床版としてプレキャスト床版の採用が多くなってきている。工場製品であるプレキャスト床版は、現場で架設したのち継手部を現場で一体化することにより、工期の短縮が可能である。この継手部の構造としてはループ継手の施工実績が多いが、ループ継手は工場製作時の型枠作業が煩雑になること、継手部施工時に鉄筋を横からループ鉄筋内に挿入しなければならないという施工上の問題があり、施工性の改善が急務である。

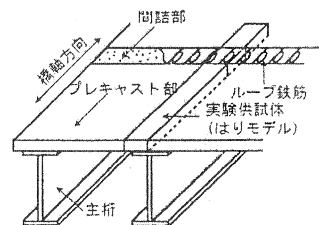
この施工性の改善のため、ループ継手と同等の機能を有する構造として直鉄筋重ね継手を提案し、静的曲げ載荷実験を行なった結果、ループ継手と同等な曲げ耐力を有することが確認できた。しかし、継手部にせん断力が主として作用する場合の終局挙動については十分な検証がなされていない。

本研究では、本継手構造の実用化のため、プレキャスト床版の継手部に均等にせん断力が作用する場合のループ継手・直鉄筋重ね継手・継手なしの3種類の終局挙動を実験的に比較し、本継手構造が十分なせん断耐力およびせん断伝達耐力を有するかどうかを調べた。

2. 実験概要

2.1 実験供試体

実験供試体は図一に示すようにプレキャスト床版の継手部をモデル化したものであり、継手タイプはループ継手・直鉄筋重ね継手・継手なしの3種類の供試体を製作した。供試体タイプを表一に示す。実際の床版ではプレキャスト床版を並べて間詰部にコンクリートを打設するので、打継面は間詰部の両側に行うことができるが、本実験では打継面が二つあることによる相互の影響をなくするよう打継面を一面とした。すなわち始めに片方の床版部を打設し、後日、間詰部ともう一方の床版部を同時に打設して供試体を製作した。



図一 プレキャスト床版の概略図

供試体製作に用いたコンクリートは、1回目打設の床版部および2回目打設の床版部、また継手ともに $\sigma_{ck} = 40 \text{ N/mm}^2$ の早強コンクリートを用いた。表一に主な配合を表一にコンクリートの圧縮強度を示す。また床版部と継手部との打継目で付着を確保する目的でプレキャスト部のコンクリート打設の際、予め型枠に凝結遅延材を塗り、脱枠後に高圧洗浄水によりレイタンス処理を行なっている。鉄筋はSD345 (D16・D19)を用いた。各材料特性を表一四および表一五に示す。

表一 プレキャスト床版の供試体タイプ

供試体名	継手タイプ	継手全長	寸法 (mm)	数量
Type A	ループ継手	300mm	2200×500×200	1
Type C ₀	直鉄筋重ね	300mm	2200×1000×200	1
Type C ₁	直鉄筋重ね	300mm	2200×500×200	1
Type C ₂	直鉄筋重ね	300mm	2200×500×200	1
Type E	継手なし	-----	2200×500×200	1

表二 使用コンクリート

水セメント比	呼び強度 (N/mm ²)	スラング	粗骨材 最大寸法	混和剤
38%	40	8cm	20mm	高性能AE減水剤

2.2 継手タイプ

各供試体における継手構造の詳細を以下に述べる。

Type A : ループ継手

図-2はループ継手の構造を示したものである。この構造は引張鉄筋と圧縮鉄筋をつないでループ状に加工し、継手としたもので、コンクリートとの支圧力による拘束効果が期待できる。施工上、現場への運搬・設置は容易であるが、ループ内側に補強鉄筋を配筋するには構造上、床版端部から挿入せざるを得ず、床版幅と同じ幅の作業床が必要であり、施工性に難がある。

Type C : 直鉄筋重ね継手

図-3は直鉄筋重ね継手の構造を示したものである。床版部から継手部へ鉄筋を突き出した形状で、各々は単独で千鳥に配置されており、隣接して重ねた状態ではない。この構造は施工が容易であるがループ継手で指摘されているようなループ内コアコンクリートの拘束効果は期待しないで、鉄筋とコンクリートとの付着力に依存した継手といえる。重ね継手長はすべて 200 mm とした。今回はループ継手との配筋を同等とするため、ループ内に配置した補強鉄筋と同じ位置に、配筋を行なった。

Type E : 継手なし

継手を持たない床版であり、ループ継手と直鉄筋重ね継手の強度評価の基準となる。

2.3 荷重方法

図-4に荷重位置および支持条件を示す。せん断耐力実験の供試体 Type A・C₀・C₁・Eは、支間 1.4m で打継目から 20cm の位置を荷重点とした。せん断伝達耐力試験の供試体 Type C₂は支間 1.13m で打継目から 8cm の位置を荷重点とした。いずれも 2 辺支持、線荷重 (8.8cm×55cm) 荷重で、荷重には 500KN の油圧式アクチュエーターを用いた。

3. 静的せん断荷重試験結果と考察

3.1 せん断耐荷力

3.1.1 耐荷力

表-6には理論に基づいて算出した曲げひび割れ発生荷重と終局荷重 P_u を実験結果と比較して示す。なお、本実験では、床版継手部においてせん断破壊が先行するように設計したが、いずれの供試体も、せん断スパンにおける斜めひび割れのほかに床版引張側部に曲げに起因すると思われるひび割れが確認された。そこで供試体ごとに、せん断および曲げひび割れ発生荷重を求めて実験値と比較し、曲げ破壊とせん断破壊のどちらが先行しているか、破壊形態の判断を行った。せん断ひび割れ発生荷重の実験値は Type A, C₀, C₁ 側面の打継目のひび割れを目視で確認することが困難であったため、πゲージの変位より推定して打継目でのひび割れ幅から求めた。なお Type E については荷重時に確認した荷重および鉄筋のひずみ

表-3 コンクリートの圧縮強度

	材齢 (日)	スランプ (cm)	空気量 (%)	強度 (N/mm ²)
プレキャスト床版	7	10.0	4.6	41.9
	14			50.2
	28			56.3
継手部	7	8.5	4.8	45.8
	14			52.4
	28			57.7

表-4 コンクリートの材料特性

	供試体数	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
プレキャスト床版	5	41.8	28.2	0.20
継手部	5	52.6	32.6	0.24

表-5 鉄筋の材料特性

	降伏点 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	破断伸び (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	ポアソン比
D16	405	567	28.1	207	0.31
D19	411	566	29.5	212	0.31

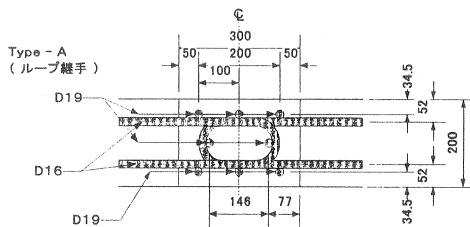


図-2 ループ継手

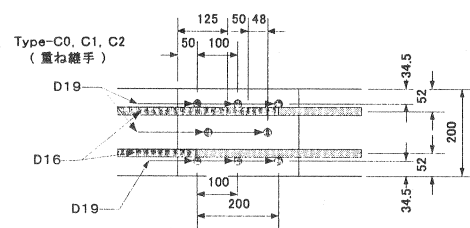


図-3 直鉄筋重ね継手

から求めた。曲げひび割れ発生荷重の実験値に関しても同様である。また、せん断耐力、曲げ耐力について計算値、実験値の照査を行い終局耐力について検討した。実験から得られたせん断ひび割れ発生荷重 V および曲げひび割れ荷重 M を比較すると、 V と M は同程度か、若干後者のほうが高い値を示している。このことから、本実験ではほぼ同時に両ひび割れが発生したか、もしくは、まずせん断ひび割れが発生した後、曲げひび割れが発生したと推定される。継手のない Type E のみ、せん断による斜めひび割れが卓越して現われたが、他の供試体では、せん断ひび割れは確認できず床版部の曲げひび割れが多く発生した。これらのことから、本実験供試体では、最終的には曲げによる崩壊と考えられる。

図-5 は荷重を換算断面積で除した P/A_c と載荷点のたわみの関係を示す。図-5 において Type A, C1 とともに最高荷重到達後、たわみが増加して供試体が大きく変形し、荷重が困難となったため除荷した。Type Co は載荷初期に、荷重が低下しているが、操作上のミスで一度除荷した後、再載荷を行ったものである。Type Co は幅が広い供試体で板 (スラブ) としての挙動を調査する目的で作成したが、その挙動は、Type A, C1, E の挙動とほぼ等しく、はりの挙動に近いことがわかる。Type E のみ最高荷重到達後、せん断破壊による急激な耐力低下がみられた。

表-6 終局荷重、ひび割れ発生荷重および耐力

供試体の種類		Type A	Type Co	Type C1	Type E	
継手の種類		ループ継手	重ね継手	重ね継手	継手なし	
供試体寸法 (mm) 長さ×幅		2200×500	2200×1100	2200×500	2200×500	
換算断面積 A_c ($\text{mm}^2 \times 10^3$)		108	239	108	107	
終局荷重 P_u (kN)		154	345	160	149	
P_u/A_c (kN/ mm^2)		1420	1440	1470	1390	
ひび割れ発生	せん断 (kN)	実験値 V	45.30	74.80	43.40	43.00
		計算値 V_{cr}	83.20	110.00	83.20	83.20
		V/V_{cr}	0.54	0.68	0.52	0.52
	曲げ (kN)	実験値 M	48.40	74.80	43.40	45.90
		計算値 M_{cr}	51.70	114.00	51.70	63.40
		M/M_{cr}	0.93	0.66	0.84	0.72
耐力	せん断 (kN)	実験値 V'	99.20	222.00	103.00	95.80
		計算値 V_u	83.20	110.00	83.20	83.20
		V'/V_u	1.19	2.02	1.23	1.15
	曲げ (kN \cdot mm)	実験値 M'	495	1110	514	479
		計算値 M_u	324	757	324	365
		M'/M_u	1.52	1.46	1.58	1.31

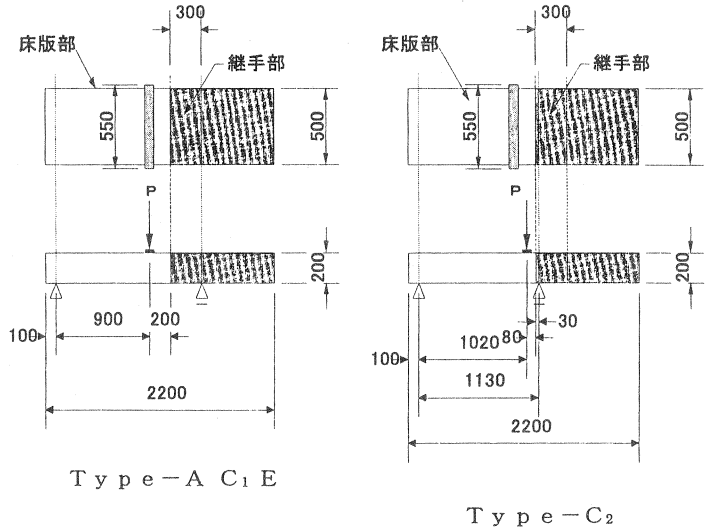


図-4 載荷位置および支持条件

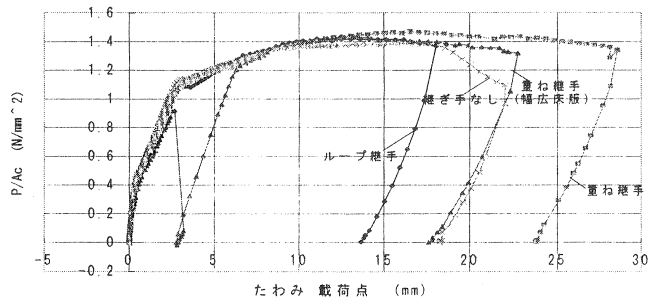


図-5 P/A_c -たわみの関係

3.1.2 ひび割れ・ずれ特性

継手を有する供試体の継手部打継目下面のひび割れ幅と側面の打継目の鉛直方向に生じるずれをそれぞれεゲージ, クリップゲージにより測定した。

図-6に Type A, および Type C₁の打継目における鉄筋の平均付着応力度 τ₀ と, 側面打継目鉛直方向に生じるずれの関係を示す。τ₀は式 $\tau_0 = V / (u \cdot j \cdot d)$ により算出した。ずれは測定位置上と下の平均値を示した (ここに V: せん断力, u: 鉄筋の周長, d: 有効高さ, j = 1/1.15)。図-6より, いずれの供試体も, ひび割れ発生時 (τ₀=5.0N/mm² 付近) 以後継目部のずれ量が急激に増加するが, Type A (ループ継手), Type C₁ (重ね継手) ともに鉛直方向ずれ挙動はほぼ同等で, 重ね継手でもループ継手と変わらない耐力を有しているといえる。

図-7に Type A, C₀, C₁の打継目での鉄筋の応力とひび割れ幅の関係を示す。実験から得られた主鉄筋のひずみに鉄筋長を掛けたものと床版長との差をひび割れの本数で除したものをひび割れ幅と仮定し, これを実験値と比較すると, いずれの供試体も実験値の方がかなり大きい結果となった。これは, 打継目にひび割れが集中したためと思われるが, 鉄筋の抜け出しも考えられ, なお検討すべきものと考えられる。

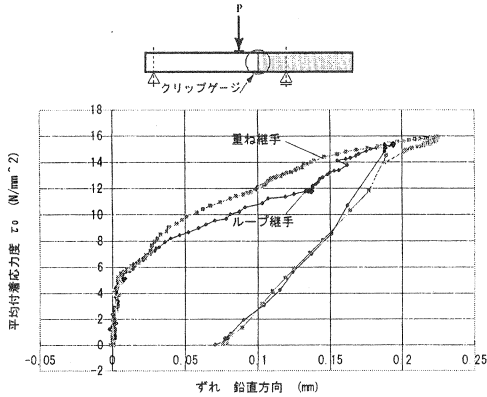


図-6 平均付着応力度-鉛直方向ずれ関係

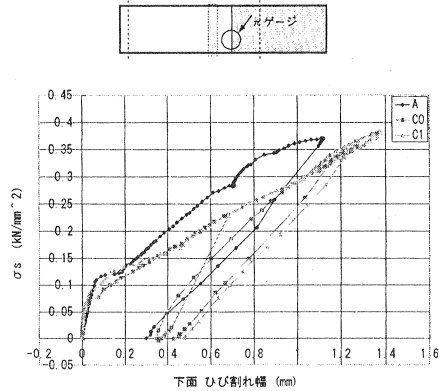


図-7 応力-下面ひび割れ幅関係

3.2 せん断伝達耐力および鉄筋ひずみ分布

図-8 a)に, Type C₂における圧縮鉄筋の種々の荷重に対するひずみ分布, また, 図-8 b)には引張鉄筋のひずみ分布, そして図-9に側面の崩壊状況を比較して示す。表-7に Type C₂のせん断伝達耐力および曲げひび割れ発生荷重の実験値, 計算値を示す。曲げひび割れ発生荷重は, 打継目からプレキャスト床版側へ x だけ離れた面でのひび割れが発生するときの曲げモーメントに対応する荷重をはり理論から算出した。

図-8 b)より, 荷重約 P=150~200 kN から載荷点付近 (打継目から 100 mm の位置) の引張鉄筋のひずみが急増しているのが分かる。図-9の供試体のひび割れ状況を見ると P=166kN からひび割れが進展し, 終局状態では上

表-7 せん断伝達耐力および曲げひび割れ発生荷重

	せん断伝達耐力	打継目から床版側へ x 離れた曲げひび割れ発生荷重			
		x=100mm	x=300mm	x=400mm	x=500mm
実験値 ①	384kN	166kN	166kN	322kN	322kN
計算値 ②	602kN	164kN	210kN	244kN	292kN
①/②	0.64	1.01	0.79	1.31	1.1

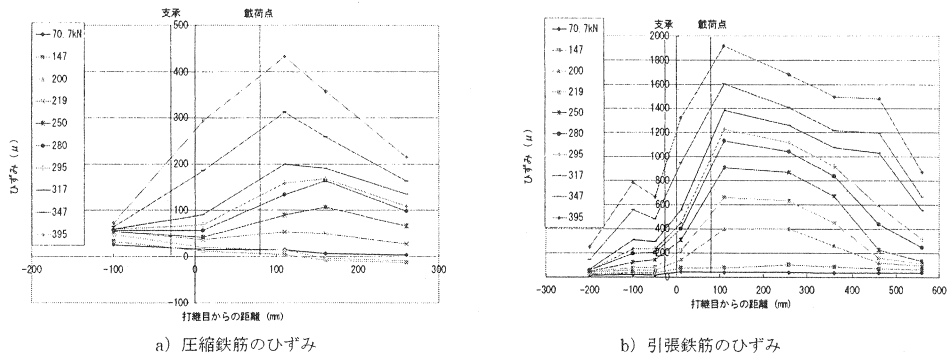


図-8 鉄筋のひずみ (Type C2)

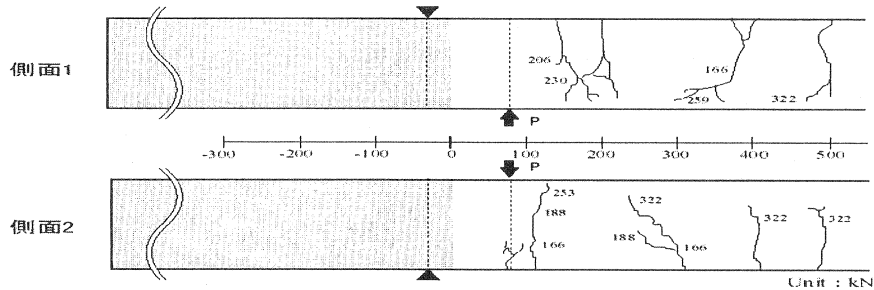


図-9 継手部近傍のひび割れ (Type C2)

面にまで現れていることに気づく。これらのことからこの引張鉄筋のひずみは荷重点近傍のひび割れの進展に伴って急増したと考えられる。さらに図-8 a)の圧縮鉄筋においても引張ひずみが $P=300\sim 400\text{kN}$ から急増しているのは、この荷重では図-9に示すように側面のひび割れが上面にまで到達したためと考えられる。

表-7に示すように、本実験供試体の打継面でのせん断伝達耐力は計算値 602kN で、表中の位置 x における曲げひび割れ荷重よりもかなり大きい値を示している。したがって、Type C2については、曲げ破壊に起因するものと判断できる。ちなみに曲げ破壊する時の終局荷重の計算値は $P=327\text{kN}$ 、一方実験から得た耐荷力は $P_u=425\text{kN}$ であり、このことから曲げ破壊が裏付けられるといえるが、逆に、本継手が十分なせん断伝達耐力を有することも表-7は示している。

3.3 崩壊性状

3.3.1 せん断耐荷力実験

継手を有する供試体は共通して、最初のひび割れは荷重点付近引張側(スラブ下面)で発生、その後は荷重につれて、荷重点から床版側の支承にかけて次第に曲げひび割れが発生して進展し、また荷重点付近においてはひび割れが進展した。終局時では大きなひび割れが荷重点下で発生し、崩壊に至った。また、供試体下面の打継目に沿うひび割れが見られた。

Type A (ループ継手)の供試体は継手付近で、継目部に沿って引張り鉄筋の位置までひび割れの進展が見られ、その後、荷重点方向へ向かう斜めひび割れを確認、また継手部の斜めひび割れも確認した。

Type C₀ (直鉄筋重ね継手:床版モデル)の供試体は、最終的には床版部上面で圧縮破壊に至った。ループ継手の供試体とは違って、側面の継目部に沿って鉛直に伸びるひび割れが確認できたが、斜めひび割れは見られなかった。継手にもひび割れは確認できなかった。

Type C₁（直鉄筋重ね継手：はりモデル）の供試体は、床版部と打継目のひび割れ性状は、Type C₀と同様であったが、終局状態では斜めひび割れも現われた。

Type E（継手なし）の供試体は、載荷点付近のひび割れ発生とほぼ同時に、継手部の支承側に斜めひび割れを確認した。載荷を進めるにつれ、載荷点から床版側の支承にかけて曲げひび割れが多数発生し、載荷点付近のひび割れ幅も増大した。また継手部の支承側のひび割れが載荷点方向へ斜めに進展した。

せん断耐荷力実験では、継手を有する供試体の崩壊状況のみから判断すれば、床版部に曲げひび割れが多数発生していることから、曲げ破壊先行型の破壊形式であると考えられる。Type Eは、明らかにせん断による斜めひびわれが確認された。一方、継手を有する供試体ではこのような斜めひび割れはあまり発生しておらず、継手部がせん断に対する強度を十分に有しており、曲げ耐力の低い床版部で曲げ破壊を起こしたと判断される。これは、前述の実験値と計算値の比較からも言えることである。

3.3.2 せん断伝達実験

最初に、載荷点床版側にひび割れが発生し載荷を進めるに従って、床版部から支承にかけて曲げひび割れが発生した。供試体側面の打継目において、ひび割れは確認できなかったが、下面に打継目に沿うひび割れが確認された。

この実験でも、最終的な崩壊は曲げによるものと考えられるが、前述の実験値と計算値との比較から、継手部は十分なせん断伝達耐荷力を有していると考えられる。

4. 結論

既往の研究により、直鉄筋重ね継手はループ継手に比べ大幅な施工省力化の可能性があることがわかっている。本研究では、その実用化に向けプレキャスト床版継手部の静的せん断耐荷実験を行い、継手部全体にせん断力が作用する場合の崩壊挙動、また打継目においてせん断力が作用する場合の終局挙動（せん断伝達耐力）について調べた。これらの実験結果から、得られた知見をまとめれば以下ようになる。

- ① 本研究で提案した直鉄筋重ね継手は、曲げ強度のみならずせん断力が支配的に作用する場合にも、ループ継手と同様の終局耐力を有しており、静的載荷ではループ継手に劣る点は見られなかった。
- ② 本実験で提案した直鉄筋重ね継手は、打継目鉛直方向のずれ挙動はループ継手とほぼ等しい。しかしループ継手も含めて、打継目での鉄筋の抜け出しについては、なお検討の必要がある。
- ③ 本実験の供試体すべてにおいて打継目にひび割れが発生した。今回の実験では、継手部より先に床版に多くの曲げひび割れが確認されたことから、終局状態は、曲げ破壊と考えられる。
- ④ せん断伝達耐力実験では、ひび割れは打継目に集中し、上下にずれるような局所的な変形はほとんど見られなかった。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書 同解説，1996
- 2) 藤井・戸川・平田：プレキャスト床版の新しい床版構造に関する実験的研究，プレストレストコンクリート協会 第9回 シンポジウム論文集 1999. 10
- 3) 古内・上田・角田：反曲点を有する鉄筋コンクリートはりのせん断耐荷機構について コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2 1992