

## プレキャスト床版の新しい継手構造に関する定点载荷疲労試験

極東工業 (株) 技術部開発課 正会員 ○ 戸川 邦彦  
 同 上 岩田 雅靖  
 広島大学 大学院工学研究科 藤井 堅  
 同 上 中茂 康則

### 1. はじめに

プレキャスト床版の接合は、間詰コンクリートを打設した後、プレストレスを導入して一体化を図る方法と、プレストレスを導入せずRC構造として一体化を図る方法がある。プレストレスを導入しない継手形式の場合、鉄筋をループ状に加工したループ鉄筋重ね継手が近年主流となりつつあり、また研究も数多く報告されている。しかし、鉄筋のループ加工が煩雑であったり、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ことなど、製作・施工上の問題点を抱えている。

そこで、施工性の向上を目的とした新形式継手構造として、重ね継手を考案した。この継手構造については、静的曲げ载荷試験および静的せん断载荷試験結果から、ループ継手と比較して十分な静的強度を有していることが確認されている。しかし、疲労耐久性については、まだ明らかにされていない。

そこで本研究では、新形式継手の疲労耐久性を確認するために、定点载荷疲労試験を実施した。また、併せて静的载荷試験も行っており、両者の挙動を比較し、疲労試験後の残存耐荷力を明らかにした。

### 2. 試験の概要

#### 2.1 実験供試体および载荷概要

図-1 にプレキャスト床版の概念図を示す。継手が橋軸方向(配力筋方向)の曲げモーメントを受ける場合を想定しているので、図-1、図-2 に示すように、橋梁の床版から継手部が中央になるように取り出した継手モデルを採用した。

実験供試体は、中央にループ継手を有する供試体(Type A)、重ね継手を有する供試体(Type B)、継手のない供試体(Type C)の3種類、それぞれ2体ずつを製作した。各タイプ1体は静的载荷試験、もう1体は定点载荷疲労試験に使用する。

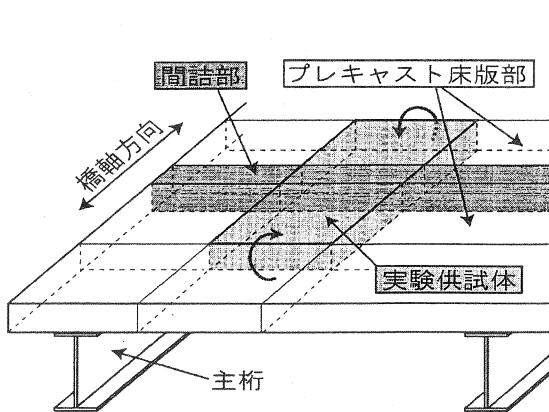


図-1 プレキャスト床版の概念図

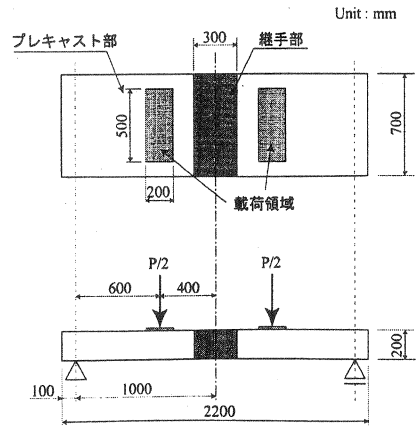


図-2 载荷状態

各供試体タイプを表-1 に示す。供試体寸法は全て 2200mm×700mm×200mm で、継手のない Type C 以外は中央に 300mm の間詰コンクリートを打設した継手部を有する。橋軸方向の曲げモーメントを再現するために、供試体を図-2 のように配置し、支間 2m、載荷点間距離 80cm で 2 辺支持 2 点載荷の純曲げ載荷とした。載荷点には輪荷重 (20cm×50cm) に相当する領域に等分布荷重を作用させた。載荷装置には、50tf の油圧式アクチュエーターを用いた。

2.2 継手タイプ

以下に、各供試体の継手構造の詳細と特徴について述べる。

① Type A : ループ継手

鉄筋をループ状に加工し、継手として使用したものである。引張鉄筋と圧縮鉄筋が一本化しているため、コンクリートとの支圧力による拘束効果が期待できる。鉄筋加工の必要性や、ループ内側に補強鉄筋を挿入するなど、P C 版の製作や現場での作業が複雑化する。

② Type B : 重ね継手

単純な直鉄筋重ね継手で、施工はとても容易である。また、その特徴として、図-3 のように鉄筋同士は一切接触していない。本供試体の重ね長はループ継手と同じ 250mm とした。

③ Type C : 継手なし

継手を持たない床版であり、他の供試体との比較対象として製作した。

2.3 材料特性

プレキャスト床版部には、早強コンクリートを使用した。また継手部には、プレキャスト床版部と同強度のコンクリートを使用し、乾燥収縮保証として膨張材を添加した。そして、それぞれについて材齢 7, 14, 28 日の圧縮強度を測定した。さらに静的載荷試験時、疲労試験開始時、疲労試験終了時における材料試験も行った。表-2 に各供試体の載荷時材齢におけるコンクリートの材料試験結果を示す。

鉄筋は、SD345 (D19、D16) を使用した。表-3 に鉄筋の材料試験結果を示す。

3. 静的載荷試験結果と考察

3.1 耐荷力

表-4 に、継手のない供試体 (Type C) のひび割れ発生荷重、引張鉄筋降伏荷重、終局荷重を、はり理論に

表-1 供試体タイプ

供試体名	継手タイプ	重ね長 (mm)	継手全長 (mm)
Type A	ループ継手	250	300
Type B	重ね継手	250	300
Type C	継手なし	—	—

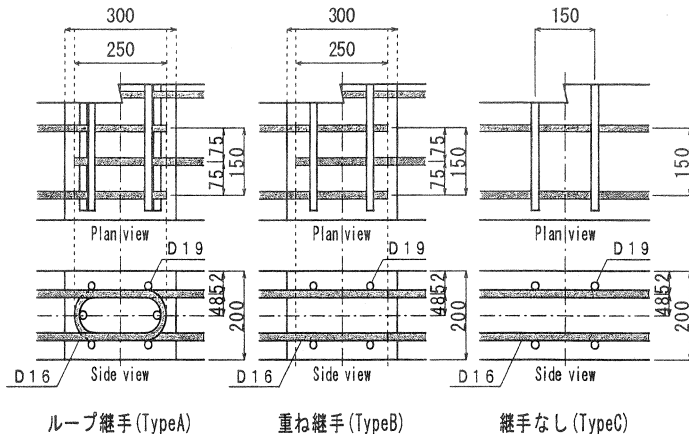


図-3 継手体タイプ

表-2 コンクリートの材料特性

供試体数	圧縮強度試験		引張強度試験	
	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (KN/mm <sup>2</sup> )	供試体数	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )
6.0	57.0	30.9	3.0	4.1
6.0	55.2	31.0	3.0	4.1

表-3 鉄筋の材料特性

		降伏強度	引張強度	伸び	弾性係数	ポアソン比
		(N/mm <sup>2</sup> )	(N/mm <sup>2</sup> )	(%)	(KN/mm <sup>2</sup> )	
D16	1	357	537	22.1	181	0.31
	2	358	538	21.9	182	0.28
	3	358	538	22.0	184	0.30
	平均	358	538	22.0	182	0.30

基づいて計算した結果を示す。なお、鉄筋の降伏強度  $f_y=358\text{N/mm}^2$ 、コンクリートの引張強度  $f_t=4.1\text{N/mm}^2$ 、およびコンクリートの圧縮強度  $f_c=57.0\text{N/mm}^2$  は、表-2 および表-3 の材料試験結果を用いた。

表-5 に、静的曲げ載荷試験結果から得られた最高荷重と、表-4 に示す終局荷重との比を示す。表-5 から Type A, B, C はほぼ同程度の終局耐力を有しており、はり理論から得られる終局耐力に比べて、どの供試体タイプも 30%程度高いことがわかる。またループ継手、重ね継手ともに、継手のない供試体(Type C)よりも最高荷重は、若干大きいことがわかる。

表-4 はり理論値

ひび割れ発生 (KN)	Per	降伏 $P_y$ (KN)	終局 $P_u$ (KN)
65.9		159	210

表-5 耐荷力

	Type A	Type B	Type C
最高荷重 $P_{max}$ (KN)	275	281	265
$P_{max}/P_u$	1.31	1.34	1.26

### 3.2 ひび割れ幅

図-4 に、打ち継目部における荷重とひび割れ幅の関係を示す。P=25kN 付近(ひび割れ発生時)から、打ち継目部のひび割れ幅が徐々に増加し、引張鉄筋の降伏とともにひび割れ幅が急激に増加しているのがわかる。

土木学会コンクリート標準示方書(設計編)によると、一般の環境条件下で異形鉄筋の場合、許容ひび割れ幅は  $0.005c$  ( $c$ : コンクリートのかぶり)で表される。本実験供試体のかぶりは  $2.5\text{cm}$  であり、許容ひび割れ幅は  $0.125\text{mm}$  となる。また、本供試体に対する設計荷重( $54.9\text{kN}$ )のときのひび割れ幅は、図-4 より、Type A, B とともに約  $0.11\text{mm}$  で許容ひび割れ幅程度である。また、Type A と Type B の同一載荷荷重に対するひび割れ幅を比較すると、Type A (ループ継手) のひび割れ幅が若干大きくなっている。

ループ継手(Type A)の圧縮側鉄筋は、ひび割れの抑制に効果があるといわれているが、圧縮側鉄筋と連続していない Type B も、ほぼ同様のひび割れ幅曲線となっており、ひび割れ幅についての挙動は同様であると考えられる。

### 3.3 鉄筋ひずみ

継目部近傍の鉄筋のひずみと荷重との関係を図-5 に示す。継手のない Type C については、他のタイプと比較するためにひび割れ付近のひずみ測定位置を示す。Type A, B とともに P=25kN 付近からひずみの増加がみられるのに対して、Type C では P=50kN まではひずみがほとんど増加していない。これは、Type A, B が、継手のない Type C よりも小さな荷重で、打ち継目部にひび割れが発生したためである。

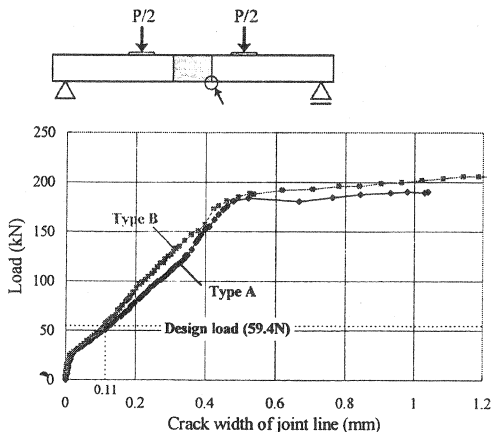


図-4 荷重と継目部のひび割れ幅との関係

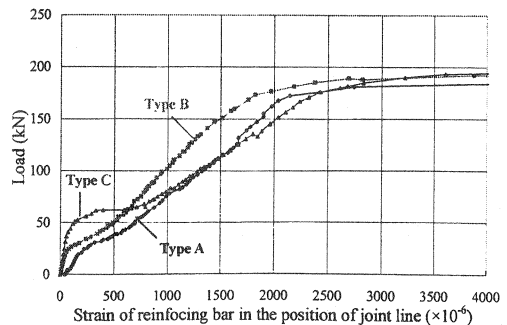


図-5 継目部近傍での荷重-鉄筋ひずみ関係

4. 定点載荷疲労試験

4.1 載荷ステップ

載荷荷重と繰り返し載荷回数を表-6 に示す。上限荷重と載荷回数の設定は、まず設計荷重( $P_d=54.9\text{kN}$ )以上である  $58.8\text{kN}(6.0\text{tf})$  で 50 万回、次にひび割れ発生荷重(理論値  $P_{cr}=65.9\text{kN}$ )以上である  $78.4\text{kN}(8.0\text{tf})$  で更に 50 万回載荷することとした。その後は徐々に荷重を上げて合計 130 万回の載荷回数とした。

表-6 載荷荷重と繰り返し回数

下限荷重 (KN)	上限荷重 (KN)	載荷回数
9.8	58.8	500,000
9.8	78.4	500,000
9.8	88.2	100,000
9.8	118.0	100,000
9.8	147.0	100,000

4.2 ひび割れ幅

図-6 に、疲労試験における載荷回数と、打ち継目部のひび割れ幅との関係を示す。具体的には、所定回数後に除荷した状態での残留ひび割れ幅(破線)、および所定荷重(上限荷重)を載荷した状態でのひび割れ幅(実線)である。継手のない Type C については最初に発生したひび割れの幅を測定した。図-7 は、設計荷重( $P=54.9\text{kN}$ )に近い荷重  $P=58.8\text{kN}(6.0\text{tf})$  を載荷した状態でのひび割れ幅と載荷回数との関係である。

本実験の供試体(かぶり 2.5cm)の許容ひび割れ幅は、0.125mm であるが、図-6 からわかるように設計荷重に近い上限荷重での疲労試験(50 万回)で 0.15~0.20mm のひび割れ幅となっている。継目部のひび割れを許容ひび割れ幅以下に抑えるためには、継目部処理や鉄筋量の検討が今後必要である。しかし、ループ継手と比較すると、図-6 より、重ね継手(Type B)はループ継手(Type A)よりも小さなひび割れ幅であり、ループ継手に劣ってはいない。また図-7 に示すように、Type B は 110 万回までの疲労試験においては目立ったひび割れ幅の増加はみられないことから、 $P=88.2\text{kN}(9.0\text{tf})$  程度までの繰返し荷重に対しては、十分な強度を有しているといえる。 $P=118\text{kN}(12.0\text{tf})$  以降について、静的載荷試験のひび割れ幅(図-4)は、 $P=118\text{kN}(12.0\text{tf})$  時で、それぞれ、0.32mm(Type A)、0.27mm(Type B)、また、 $P=147\text{kN}(15.0\text{tf})$  時は、0.38mm(Type A)、0.36mm(Type B)であるのに対し、図-6 におけるひび割れ幅は、Type A, B ともにこれらの値よりも大きな値を示しており、上限荷重  $118\text{kN}(12.0\text{tf})$  以上の疲労試験では、ひび割れ幅が急増することがわかる。

また Type C が最も小さなひび割れ幅を示しているのは、継手のある Type A, B では、最初のひび割れが打ち継目部に発生し、そこにひび割れが集中するが、継手のない Type C では、ひび割れが分散して発生し一箇所に集中しないためである。

以上のひび割れ状況におけるプレキャスト床版構造の特徴は、継手をもつ Type A, B は継手をもたない Type C よりも早い段階で継目部に沿ってひび割れが発生するということである。Type A, B の継目部のひび割れ幅が Type C のひび割れ幅よりも大きいことなどから、継目部のひび割れがプレキャスト床版において弱点となる可能性があり、いかにして継目部のひび割れ幅を小さく抑えるかが今後の課題である。しかし Type A と Type B を比較すると、両者のひび割れの進展状況がよく似ていることや、Type A よりも Type B の方がひび割れ幅が小さいことなどから、重ね継手はループ継手と同等の疲労強度をもっている。

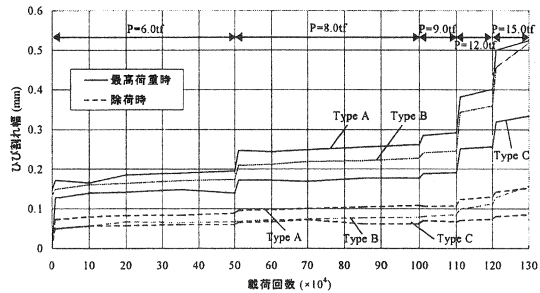


図-6 最高荷重時と除荷時のひび割れ幅

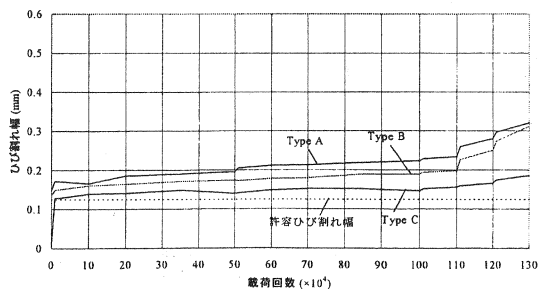


図-7 P=58.8kN (6.0tf) 時のひび割れ幅

### 4.3 鉄筋ひずみ

図-8は、Type AとType Bの打ち継目部の、載荷回数～ひずみ関係を比較したグラフである。Type A, Bともに、ほとんど同じひずみ挙動を示しているのがわかる。

### 4.4 残存耐力

疲労試験終了後の残存耐力を調べるために、130万回の繰返し載荷を行った後、破壊まで静的に載荷した。図-9は、供試体のタイプ別に床版中央の荷重～たわみの関係を、静的載荷試験結果と比較したものである。また、表-7に各供試体タイプの静的載荷試験と残存耐力試験における、ひび割れ発生荷重・降伏荷重・終局荷重を比較した。

図-9から、疲労試験後の供試体には、すでに疲労試験中にひび割れが発生しているため、ひび割れ発生による傾きの変化がない。また、図-9の曲線の傾きから、すべての供試体タイプに共通して、ひび割れ発生前までは静的載荷試験の剛性が高いが、その後鉄筋の降伏までの剛性は、疲労試験後の供試体の方が高いことがわかる。

表-7からわかるように、鉄筋の降伏荷重は、すべての供試体において疲労試験後の供試体の方が大きな値を示している。耐力が大きくなった原因について、十分な検討はできなかったが、試験実施の時期の違いによる(材齢の違いによる)影響も考えられる。

以上の結果から、全てのタイプの供試体において、繰返し載荷による剛性の低下がないことや、疲労後も十分な耐力を有することがわかった。

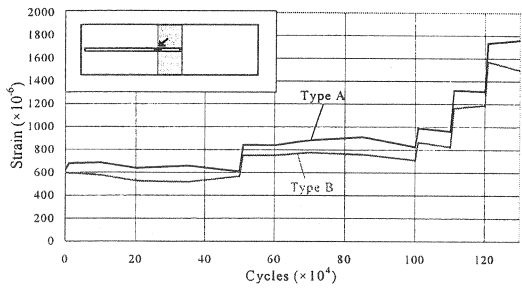


図-8 打ち継目部での載荷回数～ひずみ関係

表-7 供試体タイプ

供試体	試験	ひび割れ発生 $P_{cr}$ (kN)	降伏 $P_y$ (kN)	終局 $P_u$ (kN)
Type A (LAP継手)	静的載荷試験	25	185	275
	残存耐力試験	—	190	284
Type B (重LAP継手)	静的載荷試験	25	190	281
	残存耐力試験	—	195	291
Type C (継手なし)	静的載荷試験	60	190	265
	残存耐力試験	—	193	270

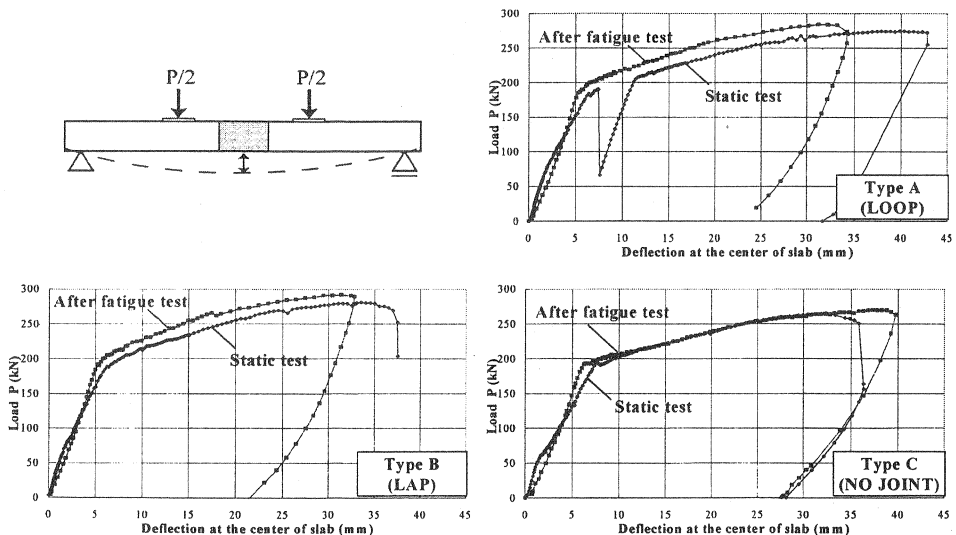
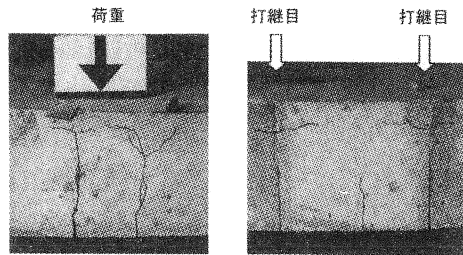


図-9 静的載荷試験と残存耐力試験における荷重～たわみ曲線

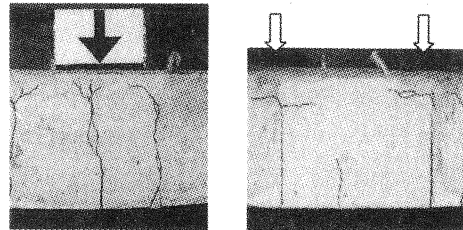
#### 4.5 崩壊状況

写真-1に残存耐力試験終了後の崩壊状況を示す。

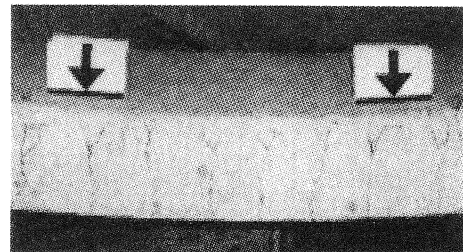
終局荷重時のひび割れ状況や崩壊形式は、静的荷重試験と残存耐力試験の間にはほとんど差はなかった。違いとしては、Type Aにおいても継手部中央付近にひび割れが発生したことである。終局状態では、Type A, Type B ともに、コンクリート上面が載荷点で圧壊した。



a) 載荷点及び打継目部の崩壊状況 (TYPE A)



b) 載荷点及び打継目部の崩壊状況 (TYPE B)



c) 供試体中央付近の崩壊状況 (TYPE C)

写真-1 残存耐力試験終了後の崩壊状況

#### 5. 結果

以下に、本実験から得られた結果をまとめる。

- 1) 静的曲げ荷重試験において、重ね継手はループ継手と同等の耐荷力を有しており、ループ継手に劣る点はみられなかった。
- 2) 疲労試験においても、重ね継手は、ひび割れ挙動やひずみ挙動でループ継手に劣る点はなく、十分な疲労強度を有していることがわかった。また、懸念されていた繰返し荷重による打継目部での鉄筋の抜け出しなどは確認されなかった。
- 3) 疲労試験終了後の供試体を用いた静的曲げ荷重試験でも、剛性の低下や終局耐力の低下はみられず、十分な耐久性を有していることがわかった。
- 4) 静的荷重試験および疲労試験において、最終的な破壊は載荷点付近のコンクリート上面の圧壊であり、継手部が最も弱点になるとは言えないことがわかった。
- 5) 静的荷重試験および疲労試験において、ループ継手と重ね継手の両方に、早期に継目部に沿ったひび割れが発生し、疲労試験では、そのひび割れが許容ひび割れ幅以上となった。継目部のひび割れ制御については、なお改善の余地がある。

以上の結果から、新形式継手構造・重ね継手は、ループ継手に静的強度のみならず疲労強度においても劣っていないことがわかった。また、重ね継手は施工面でループ継手に比べ大幅な省力化が可能であることから、実用化が大いに期待できる。

#### 参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説、1996
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書（設計編）、1996
- 3) 藤井・戸川・平田：プレキャスト床版の新しい継手構造に関する実験的研究，プレストレストコンクリート技術協会 第9回シンポジウム論文集，pp405-410，1999.10
- 3) 岩田・平田・藤井：プレキャスト床版の新しい継手構造部のせん断耐力，プレストレストコンクリート技術協会 第10回シンポジウム論文集，pp327-332，2000.10