

論文 プレキャスト PC 床版の新しい RC 接合構造に関する研究

阿部 浩幸^{*1}・原 健梧^{*2}・澤田 浩昭^{*3}・中村 雅之^{*4}

要旨：プレキャスト PC 床版の RC 接合構造としてループ継手があるが、床版厚の薄い場合に適用できない。また、鉄筋重ね継手を用いると、接合部が長くなるという課題がある。そこで、それらを解消する構造として、重ね継手鉄筋の先端に小さな鋼管を圧着接合した材料（エンドバンド鉄筋）を用いた新しい継手を開発した。この構造に関する基礎的な試験を行い、重ね継手と同等の性能を有していることを確認した。

キーワード：プレキャスト PC 床版，RC 接合，エンドバンド鉄筋，重ね継手長さ

1. はじめに

高度成長時代に建設された橋梁はすでに 30 年近く経過し、建設時には考えられなかった交通量の激増や車輦の大型化に伴い、RC 床版のひび割れによる損傷が生じて深刻な問題となっている。その事象は、昭和 40 年代から多く報告されるようになり、それを受けて、昭和 48 年度版の道路橋示方書では、床版に対する規定が改定された。床版損傷の主な要因として、設計輪荷重を超過する重車輦の通行、昭和 39 年の示方書に規定されている鉄筋の過大な許容応力度 1800kgf/cm^2 、床版厚の不足により剛性が小さく過大なたわみの発生、昭和 39 年までの配筋鉄筋量の規定は主鉄筋断面の 25%と鉄筋量の不足、などが考えられている¹⁾。特に、床版厚の影響が最も大きいと考えられ、文献 2)の調査によると、床版厚 22cm 以上の床版の補修率は 10%程度であるのに対し、22cm 未満のそれは 30～50%と報告されている。

損傷を受けた RC 床版の補修技術として鋼板接着工法、炭素繊維接着工法、縦桁増設工法、床版増厚工法などの開発が進められ、昭和 50 年代後半に RC 床版の打替技術として急速施工が可能なプレキャスト床版の開発も進められた³⁾。

昭和 48 年道路橋示方書以前の薄い床版の取替えとしては、プレキャスト PC 床版をプレストレス導入する接合する PC 接合が一般的で、RC 接合は用いられていない。その理由として、現在の道路橋示方書コンクリート橋編では 2 方向 PC 床版の最小床版厚は支間に関係なく 16cm であり、床版死荷重の増加なしに、かつ、短期間の交通規制で取替えが可能なためと考えられる。西日本高速道路子野川橋では、以上の理由からこの形式の工法が採用されている⁴⁾。しかし、軸方向にプレストレスを導入する方法では床版の一部が損傷したときに径間全部の床版を対象とした補修が必要となること、現場での緊張作業が必要でコスト高になることなどから、RC 構造とする形式が望まれていた。RC 接合として直鉄筋重ね継手が存在するが、接合部の長さが長くなるなどの理由から、日本ではループ鉄筋を用いた継手の実績が増加している。しかし、この継手は鉄筋曲げ加工の制限より床版厚が薄い場合の適用が不可能な構造である。

そこで、接合部の長さが短く、かつ、薄い床版に適用できる継手構造として、重ね継手鉄筋の先端に小さな鋼管を圧着接合した材料（エンドバンド鉄筋と呼ぶ、写真 - 1）を用いた新し

*1 オリエンタル建設（株） 技術研究所 工修（正会員）

*2 オリエンタル建設（株） 技術研究所

*3 オリエンタル建設（株） 東北支店 工事部

*4 オリエンタル建設（株） 本社 技術部（正会員）



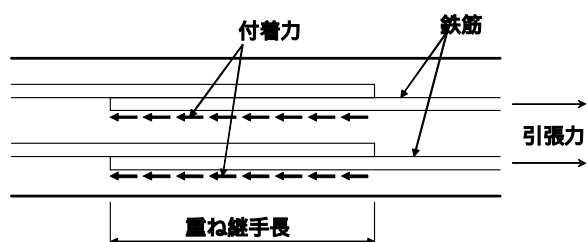
写真 - 1 エンドバンド鉄筋

い継手を開発した。この継手を用いて接合されたプレキャスト床版として要求される性能は、曲げモーメントに対するものと押し抜きせん断に対するものが挙げられる。本報告では、曲げモーメントに関する試験について報告する。

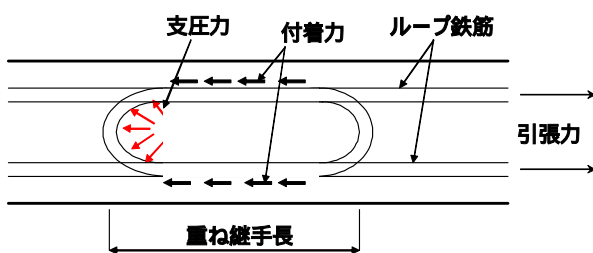
2. エンドバンド鉄筋

通常使用される直鉄筋の重ね継手は、図 - 1 (a) に示すように、鉄筋に引張力が作用した場合、鉄筋間の引張力はコンクリートとの付着力を介してそれぞれの鉄筋に伝達される。そのため、十分な重ね継手長が確保されていなければ所定の性能は確保されない。同図(b)のループ継手は、上述の付着力に加え、ループ加工部に支圧力も働き、重ね継手に比べ継手長を短くできる。ループ鉄筋継手と同様に、鉄筋部分の付着力と支圧力との複合定着を考慮したのがエンドバンド鉄筋による継手である(図 - 1(c))。先端に取り付けた鋼管の厚さ部分が、支圧面として抵抗する。この形式には、建築分野のプレキャスト梁の接合方法として研究報告⁵⁾されている鉄筋コブ重ね継手がある。今回の目的である薄い床版は、接合部鉄筋配置スペースの余裕がほとんどないことから、支圧を受ける部分による部材厚増加を極力抑える必要がある。かつ、床版接合は継手を行う鉄筋の本数が多いことから、簡易な構造で製品コストを抑える必要であった。以上を満足するものとして、エンドバンド鉄筋を開発した。

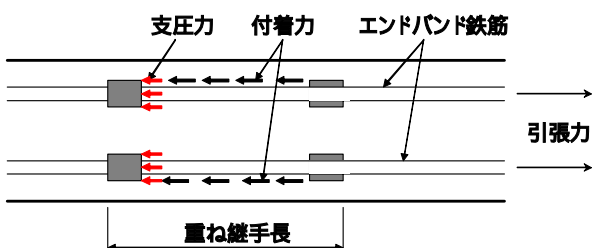
使用鉄筋を決定するため、最小床版厚を 17cm



(a) 鉄筋重ね継手



(b) ループ鉄筋重ね継手



(c) エンドバンド鉄筋重ね継手

図 - 1 プレキャスト床版の RC 継手

とし、接合部コンクリートは早期交通開放を目的にプレキャスト床版部の強度と同等のものが使用される事例を考慮して設計基準強度 $f_c=50\text{N/mm}^2$ を条件として想定した。以上の条件で、平成 8 年度版道路橋示方書に沿った 1 方向 PC 床版の軸方向必要鉄筋量を計算し、使用鉄筋として D19 を決定した。本検討は、D19 のエンドバンド鉄筋の継手について行うこととした。鉄筋 D19 に圧着する鋼管の部材厚は、接合部が重ね継ぎ手と同程度の性能を有するように汎用品である鋼管材料 5 mm を選択し、その長さは 30 mm とした。

この鉄筋の性能確認のため、土木学会規定の「鉄筋の付着強度試験方法」⁶⁾を参考に付着試験を行った。試験体の形状を図 - 2 に、試験結果の 1 例を図 - 3 示す。結果は、変位 $0.002 \times$ 鉄筋径において普通鉄筋と同等以上の耐荷力を有し、

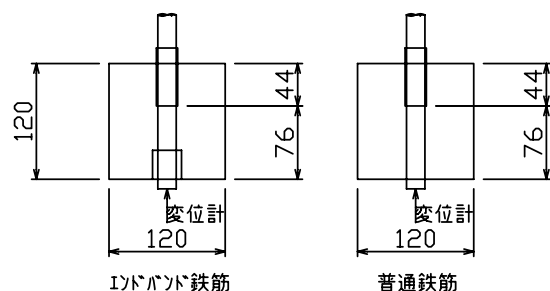


図 - 2 付着試験の試験体寸法

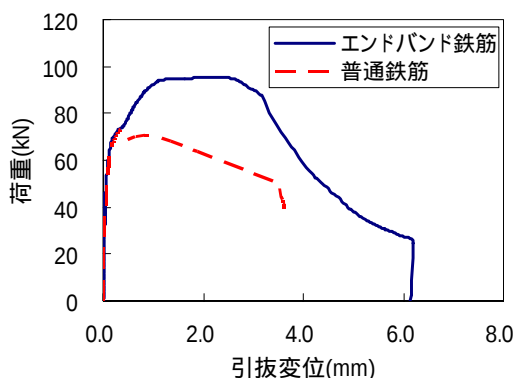


図 - 3 付着試験の試験体寸法

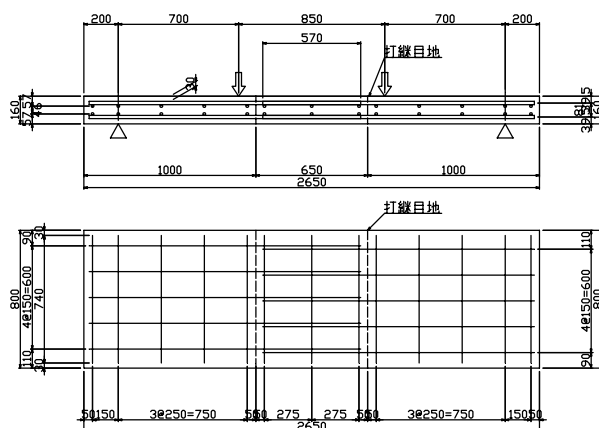
最大耐力（付着強度）はエンドバンド鉄筋の方が普通鉄筋に比べ約 1.3 倍大きな値を示していた。この結果より、エンドバンド鉄筋の付着抵抗挙動として初期の挙動は普通鉄筋と同様に鉄筋部分の付着が働き、その後に鋼管断面部分の支圧抵抗が働いていくことにより、初期段階で普通鉄筋と同じ挙動でその後大きな変形を伴ってピークを迎えたと考えられる。

3. 継手性能確認試験

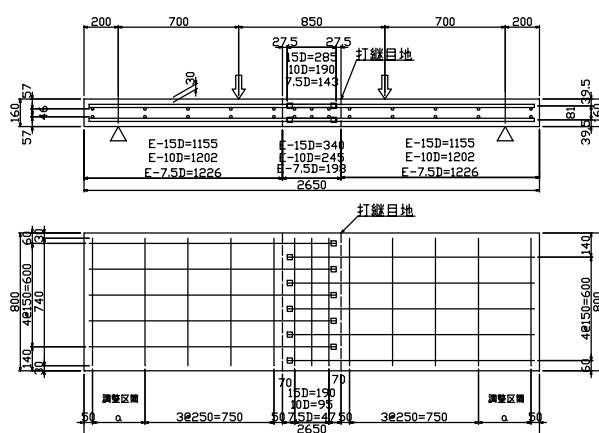
3.1 静的曲げ性能

(1) 供試体および試験方法

一般の鉄筋重ね継手は、鉄筋同士を接触するように配置するが、ループ鉄筋継手や鉄筋コブ継手等の付着力と支圧力を組み合わせるシステムの場合、鉄筋同士の間隔を開けた状態でも性能が確保されている。この特徴は、継手数が多くなる取替えプレキャスト床版を急速施工する場合に、重要な要素となる。そこで、本接合においても、鉄筋間隔を開けた状態で所定曲げ抵抗性が得られる継手長の確認を目的に試験を行



(a) N-30D 供試体（鉄筋重ね継手 30d）



(b) E-15D, E-10D, E-7.5D 供試体
(エンドバンド重ね継手、間隔を開けて配置)

図 - 4 供試体寸法と配筋図

表 - 1 コンクリート強度およびヤング係数

No.		Pca部		接合部	
		圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)	圧縮強度 (N/mm ²)	ヤング係数 (kN/mm ²)
N-30D	普通重ね継手	57.1	34.1	57.2	32.0
E-15DL	エンドバンド重ね継手	56.8	34.0	56.1	32.2
E-15D	エンドバンド重ね継手 (間隔を開けて配置)	59.1	31.3	59.4	31.5
E-10D					
E-7.5D					

うこととした。供試体は、基準供試体として重ね継手長さを鉄筋径の 30 倍とした普通鉄筋のものを N-30D（図 - 4 (a)）とし、継手するエンドバンド鉄筋を隣り合うように配置して重ね長さを 15 倍とした E-15DL、そして、継手する鉄筋を配置間隔の中間に配置して重ね継手長を 7.5 倍、10 倍および 15 倍とした E-7.5D, E-10D および E-15D（図 - 4 (b)）、の 5 体とした。供試体の形状は、全長 2650mm を一定として接合部長

によりプレキャスト部長を調整した。鉄筋配置間隔は設計で決まった 150 mmとした。供試体の打ち継ぎ目処理は、遅延剤を用いた洗い出しとした。

試験は、接合部を含む 850 mmを等曲げ区間とし、支間 2250 mmの単純支持状態で行った。載荷試験時のコンクリート強度およびヤング係数を表 - 1 に示す。鉄筋は、降伏応力度 389N/mm^2 、弾性係数 184 k N/mm^2 であり、鋼管は素材強度 400 N/mm^2 以上である。

(2) 試験結果と考察

図 - 5 に各供試体の荷重と支間中央たわみの関係を示す。E-15D および E-15DL は、基準供試体 N-30D とほぼ同様な挙動を示し、荷重 150kN 付近で勾配が緩やかになり、その後、変位が大きく増加して最大荷重に到達した。一方、E-10D は、ほぼ同じ荷重で勾配が変化するものの変位の伸びは小さく、かつ、最大荷重も小さかった。E-7.5D は、勾配の変曲点は明確でなく、かつ、最大荷重は最も小さい結果となった。表 - 2 に各供試体の材料強度を用いてコンクリートの引張を無視した断面釣合いモーメントより求めた曲げ破壊耐力の計算値と実験値の比較を示す。E-15D および E-15DL は、計算値を上回っているものの、E-10D および E-7.5D は計算値を下回り、重ね継手長さが短いほど計算値に対する比率が小さい。

図 - 6 に打ち継ぎ目地部の引張鉄筋ひずみと荷重の関係を示す。各供試体ともに荷重約 150kN において、降伏を示すひずみ増加を示している。しかし、図 - 7 に示す打ち継ぎ目地部のひび割れ幅の挙動は、E-10D および E-7.5D とともに鉄筋降伏による勾配変化後のひび割れ幅の増加量が小さい。これは、鉄筋の付着抵抗が不足したことにより、鉄筋降伏後に引抜が発生したと考えられる。

破壊状況は、E-15DL および E-15D とともに N-30D と同様に打ち継ぎ目近傍の上縁コンクリートの圧縮破壊を起こし、目地部の下面に 3~4 本の供試体幅方向のひび割れが発生していた。

表 - 2 破壊荷重の計算値と実験値

No.	計算値 (kN)	実験値 (kN)	実験値/計算値
N-30D	191.5	195.3	1.02
E-15DL	191.5	197.3	1.11
E-15D	194.9	215.6	1.13
E-10D		161.5	0.83
E-7.5D		143.7	0.74

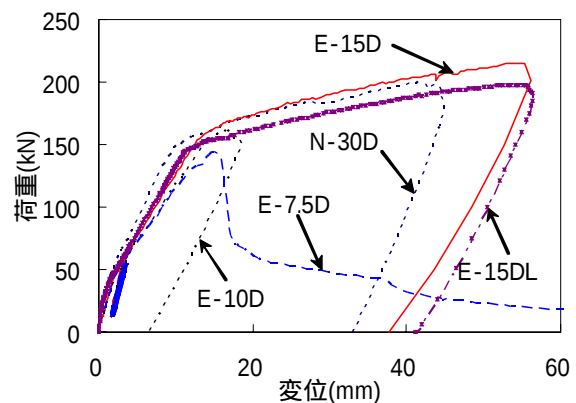


図 - 5 荷重 - たわみの比較

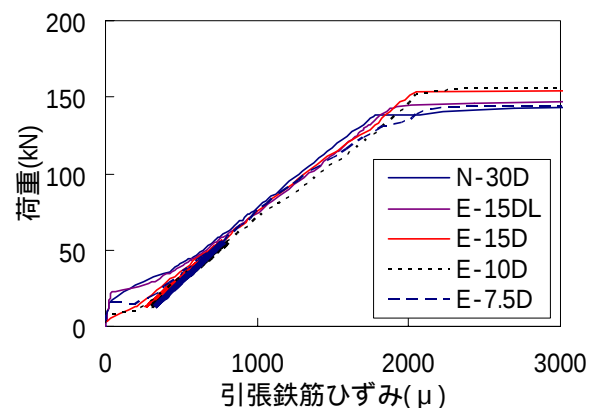


図 - 6 荷重 - 目地部引張鉄筋ひずみの比較

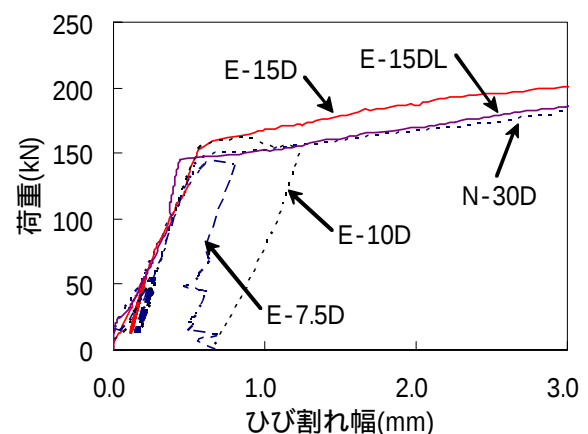


図 - 7 荷重 - 目地部ひび割れ幅の比較

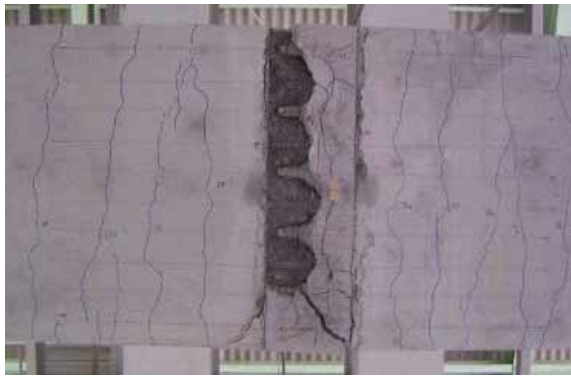


写真 - 2 E-7.5D 供試体の破壊状況（下面）

一方，E-10D および E-7.5D の場合，上縁コンクリートの圧縮破壊は見られなかった。E-7.5D の下面の破壊状況を写真 - 2 に示すが，鉄筋端部に取り付けた鋼管の支圧面より三角状にコンクリートが残っている。通常の重ね継手の場合，付着抵抗力が低下する際に鉄筋に沿ったひび割れが発生するが，本継手は鉄筋端部に取り付けた鋼管が引張力を伝達していることによりこのような破壊を示したと考えられる。

以上のことより，E-10D および E-7.5D は鉄筋降伏まで継手としての性能を満足したが，破壊までの性能を有していないこと，E-15DL および E-15D は計算耐力以上の耐力を示したことより継手としての性能を満足していることが示された。また，重ね長さが鉄筋径の 15 倍の場合において，継手鉄筋の間隔をある程度設けても，同様な性能を示すことがわかった。

3.2 曲げ疲労性能

(1) 供試体および試験方法

静的曲げ試験において，必要性能を満足したエンドバンド鉄筋を用いて重ね継手長を鉄筋径の 15 倍で，かつ，継手鉄筋の間隔を開けて配置した状態で接合されたプレキャスト PC 床版の曲げ疲労に対する性能確認を目的に試験を行うこととした。

供試体を図 - 8 に示す。床版支間 2.8m の 1 方向 PC 版の設計を行い，支間方向の継手鉄筋として D19 を 150 mm 間隔で配置し，重ね継手部長さは 285 mm とした。プレキャスト部は，設計荷重時でフルプレストレスとなるように緊張力を導

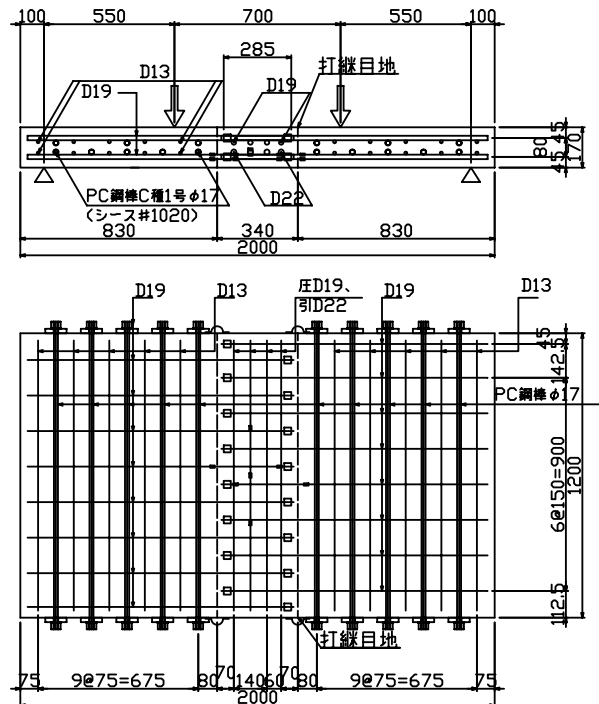


図 - 8 疲労試験用供試体

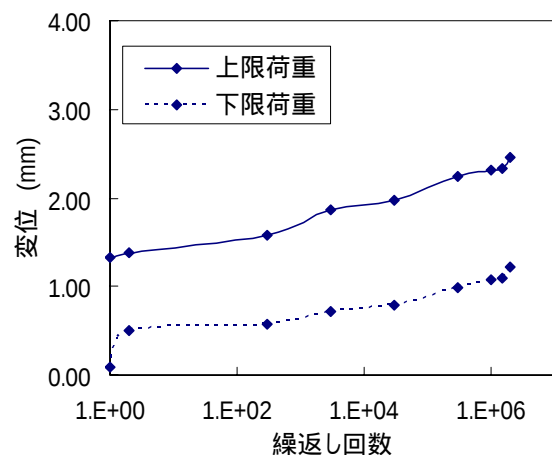


図 - 9 繰返し回数とたわみの関係

入した。接合部の支間直角方向は RC 構造として設計を行い，上筋として D19 を，下筋として D22 を配置した。使用したエンドバンド鉄筋の引張試験結果は，降伏応力 374N/mm^2 ，弾性係数 179kN/mm^2 であった。使用したコンクリートの試験時平均圧縮強度は，接合部で 54.5N/mm^2 ，プレキャスト部で 59.9N/mm^2 ，であった。

試験方法は，疲労荷重として引張鉄筋応力が設計許容応力度の 140N/mm^2 となる計算荷重 130kN を上限とし，試験機の制御に支障のない最低荷重 20kN を下限荷重として，200 万回の繰返し载荷を行った。その後，破壊までの静的

載荷を行い、破壊荷重の確認を行った。

(2)試験結果と考察

図 - 9 に繰返し回数と支間中央のたわみの関係を示す。繰返しとともに変位が徐々に増加している。これは、ひび割れが分散して発生したことによるもので、上・下限荷重時の変位はほぼ同じように変動していることから、供試体の曲げ剛性に大きな変化はないと考えられる。

図 - 10 に打ち継ぎ目地位置の最大鉄筋ひずみの推移を示す。下限荷重の初期に急激な増加を示しているがこれはひび割れ発生による影響である。200 万回疲労によるひずみの増加は上限荷重で約 100 μ と降伏ひずみまで約 1,300 μ と十分な余裕があった。このことより、たわみの増加は目地部以外の部位にひび割れが発生したことによると考えられる。

図 - 11 に 200 万回繰返し載荷後に行った静的曲げ載荷の荷重とたわみの関係を示す。前述の静的曲げ挙動と同様に鉄筋が降伏する荷重約 350kN で勾配が大きく変化し、その後もたわみが増加し、最大荷重を迎えている。最大荷重は、計算値を約 10%程度上回る 469kN であった。最大荷重時において上縁コンクリートが圧縮破壊して、荷重低下するものであった。

以上より、本接合部は曲げ疲労に対して必要性能を満足していることが確認された。

4. まとめ

今回行った試験の範囲において、以下のことが確認された。床版の接合としてエンドバンド鉄筋を用いた継手の重ね継手長さは鉄筋径の 15 倍が必要であること、その場合に継手する鉄筋どうしの間隔を開けた状態でも静的曲げ性能および曲げ疲労性能を満足すること、が得られた。

参考文献

- 1) 江本幸雄：PC 合成床版の力学的特性に関する研究，九州工業大学大学院修士論文，1994.6
- 2) 実松秀雄：鉄筋コンクリート床版の損傷と現

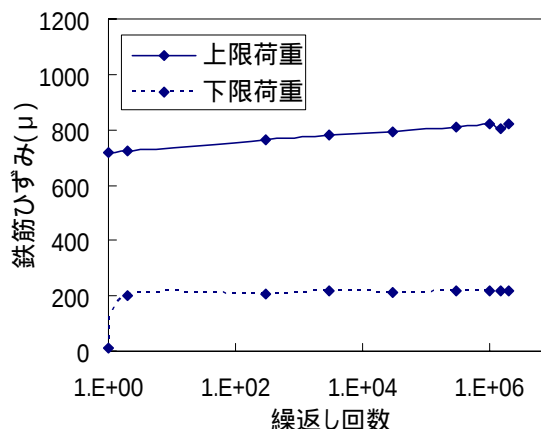


図 - 10 繰返し回数と打ち継ぎ目部の鉄筋ひずみの関係

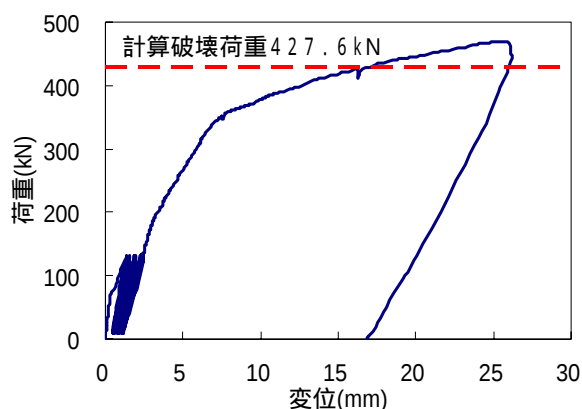


図 - 11 繰返し載荷後の荷重とたわみの関係

状，鉄筋コンクリート床版の損傷と疲労設計のアプローチ，土木学会関西支部，pp.5-25，1977.7

- 3) 日本橋梁建設協会：既存床版工法調査書，1992
- 4) 角昌隆：プレキャスト PC 床版，プレストレストコンクリート，Vol.48, No.6, pp.48-49, Nov.2006
- 5) 角彰ら：プレキャストはりのジョイントを目的とした鉄筋こぶ重ね継手工法の開発，コンクリート工学，Vol.39, No.2, pp.36-42, 2001.2
- 6) 土木学会：コンクリート標準示方書[規準編] 土木学会規準，p.p.199-202，2002.3