

SLJスラブの連続桁への適用に関する実験的研究

オリエンタル白石 (株)	正会員	○渡瀬 博
オリエンタル白石 (株)	正会員	大谷 悟司
オリエンタル白石 (株)	正会員 工博	二井谷教治
オリエンタル白石 (株)	正会員 工修	阿部 浩幸

1. はじめに

高度成長時代に建設された橋梁は既に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、昭和40年代からRC床版のひび割れによる損傷が報告されるようになった。損傷を受けたRC床版の補修技術は、鋼板接着工法、炭素繊維接着工法、縦桁増設工法、床版増厚工法などが開発され、昭和50年代後半には急速施工が可能なプレキャストPC床版の開発も進められた。

昭和48年道路橋示方書以前の薄い床版の取替えは、プレキャストPC床版にプレストレスを導入し接合するPC接合が一般的であり、鉄筋による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では2方向PC床版の最小床版厚は床版支間に関係なく16cmであり、床版死荷重の増加なしに短期間の交通規制で取替えが可能なためと考えられる。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際に、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構造とすることが望まれていた。RC接合として重ね継手があるが、接合部の長さが長くなるなどの理由から、ループ鉄筋を用いた継手構造の実績が増えている。しかし、この継手は鉄筋の曲げ加工の制限により床版厚が薄い場合の適用が不可能な継手構造である。

そこで、筆者らは接合部の長さが短く、かつ薄い床版に適用できる新しいRC継手構造として写真-1に示すような鉄筋の先端に小さな鋼管を圧着した鉄筋（以下、エンドバンド鉄筋という）を用いた接合構造（以下、エンドバンド継手という、継手長さ=15d、d：鉄筋径）を開発¹⁾し、エンドバンド継手を用いたプレキャストPC床版（以下、SLJスラブという）の曲げモーメントおよび繰返しせん断力に対する耐荷力および疲労耐久性について検討を行い、高い性能を有していることを確認した²⁾。

本研究は、このような耐久性の高いSLJスラブの連続桁橋への適用性を確認するため、負曲げモーメントを受ける中間支点部を模擬した供試体により、曲げ疲労試験および曲げ疲労試験後の静的曲げ載荷試験を行うことで、その適用性を検討した。以下に、この試験結果について報告する。



写真-1 エンドバンド鉄筋

2. 性能確認試験

2.1 概要

SLJスラブを連続桁橋の中間支点上に適用するため、床版厚さおよびエンドバンド鉄筋径を2径間連続鋼桁橋の試設計を行って決定した。試設計の条件は、支間35m、全幅員8.2m、床版支間2.8m、設計荷重はB活荷重とした。これより床版厚さは180mm、エンドバンド鉄筋は上下筋ともD22となった。

まず、試設計により決定した床版厚さでエンドバンド鉄筋を用いた供試体により、SLJスラブが曲げモーメントに対して曲げ耐力が十分であることを確認するため、静的曲げ載荷試験を行った。

その後、負の曲げモーメントを受ける中間支点部を模擬した供試体により、SLJスラブの疲労耐久性を確認するため曲げ疲労試験を行い、曲げ疲労試験後に同じ供試体を用いて静的曲げ載荷試験を行い、曲げ耐力の確認を行った。

2.2 静的曲げ荷重試験

(1) 供試体および試験方法

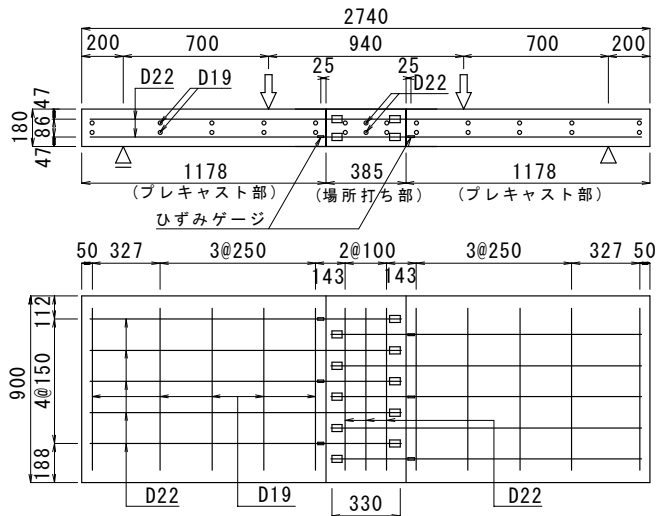
供試体は、エンドバンド継手としたもの (図-1 (a))、継手長さ=15d=330mm、d:鉄筋径)と重ね継手としたもの (図-1 (b))、継手長さ=30d=660mm)の2体とした。接合部の長さは前者が385mmであり、後者が740mmである。供試体の形状は、接合部を含む全長で2740mmであり、幅900mm、厚さ180mmである。プレキャスト部はRC構造とし、支間方向の鉄筋は試設計で決まったD22を上側および下側に150mm間隔で配置した。供試体の打継目地の処理は遅延剤を用いた洗出しとした。

荷重試験は、接合部を含む940mmを等曲げ区間とし、支間2340mmの単純支持で、破壊まで単調荷重とした。

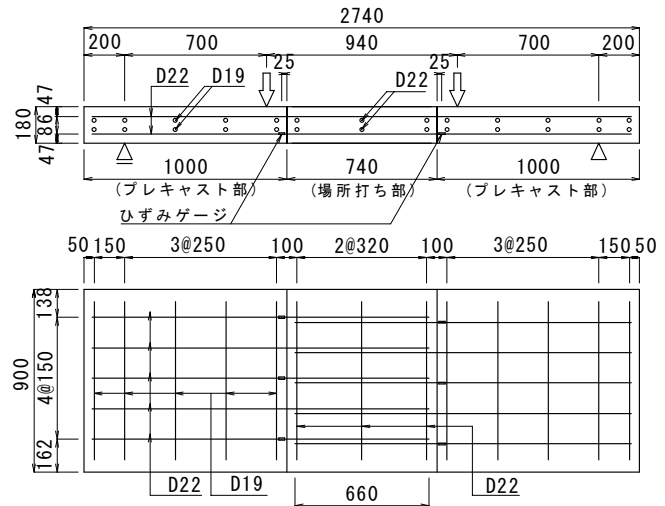
荷重試験時のコンクリート強度は、エンドバンド継手および重ね継手供試体とも、プレキャスト部で約75N/mm²、接合部で約66N/mm²であった。

(2) 試験結果と考察

図-2にエンドバンド継手および重ね継手供試体の荷重と支間中央変位の関係を示す。同図には、供試体に使用したコンクリートおよび鉄筋の材料強度を用いて算出した計算曲げ破壊荷重も示す。エンドバンド継手の変位は、荷重荷重約250kN付近で引張鉄筋の降伏により勾配が緩やかになり、その後は、十分な靱性を有する挙動を示した後に、エンドバンド鉄筋鋼管部の定着破壊により荷重が低下した。重ね継手と比較すると、荷重荷重約100kN程度までは同じであるが、その後破壊までは、同じ荷重に対して変位が大きい。この理由と



(a) エンドバンド継手 (単位: mm)



(b) 重ね継手 (単位: mm)

図-1 供試体の形状寸法および鋼材配置図

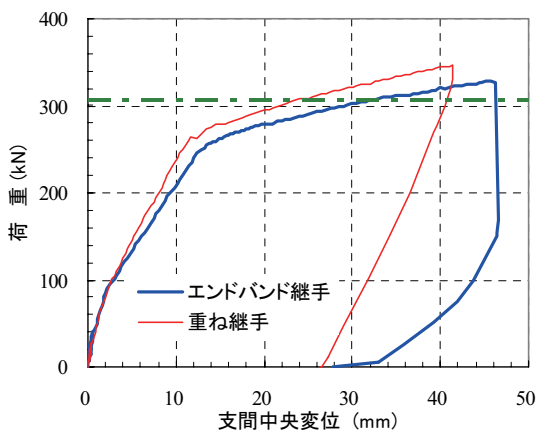


図-2 荷重-支間中央変位の関係

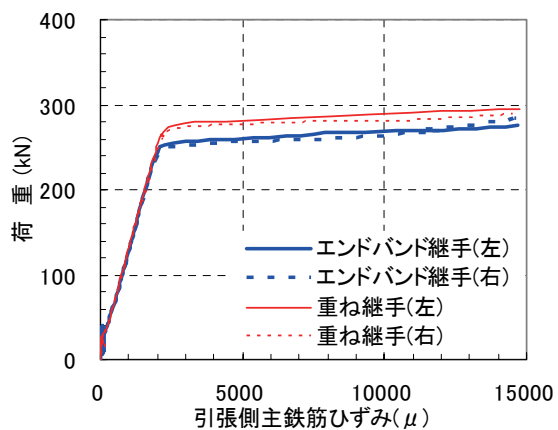


図-3 荷重-引張側主鉄筋ひずみの関係

しては、エンドバンド継手の継手区間が重ね継手のそれと比べ半分であるため、その半分の区間は鉄筋量が少なく曲げ剛性が小さいことが、変位の差となって現われたものと推察される。またエンドバンド継手の破壊荷重は重ね継手より約5%程度小さい値であるが、計算曲げ破壊荷重に対して約7%程度大きな値であった。

図-3にエンドバンド継手および重ね継手供試体の荷重と支間方向の引張側主鉄筋の接合目地位置におけるひずみの関係を示す。エンドバンド継手は、載荷荷重約250kN程度において降伏に至り、その後破壊まで重ね継手と同様の挙動を示している。

以上より、D22のエンドバンド鉄筋を用いて継手長さを15dとしたSLJスラブのエンドバンド継手供試体は、同じ鉄筋径で継手長さ30dの重ね継手供試体、および実際の材料強度より算出した破壊耐力とほぼ同じ耐力を有しており、重ね継手供試体とほぼ同様の挙動を示したことから、エンドバンド継手は静的曲げ耐力性能において重ね継手と同等の性能を有していることが確認できた。

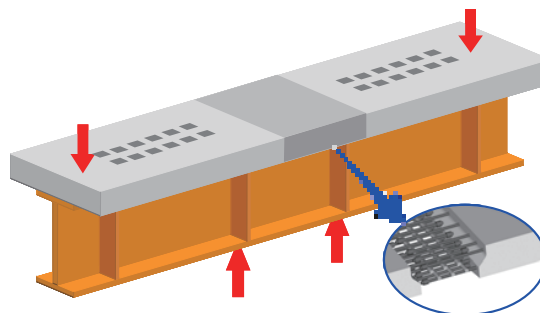


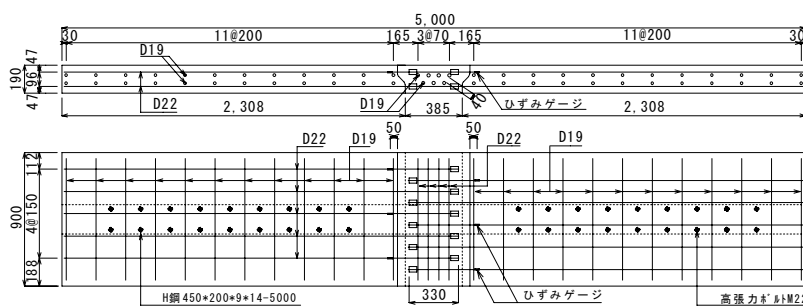
図-4 供試体概要

2.3 曲げ疲労試験

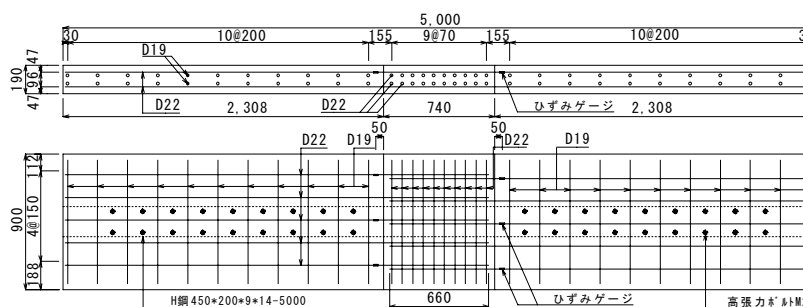
(1) 供試体および試験方法

供試体は、図-4に示すように、鋼桁上に床版を有する構造とし、床版と鋼桁とはボルトにより結合して合成桁とした。鋼桁の諸元は、曲げ疲労試験時に弾性体であること、床版の全断面が引張応力を受けることから決定した。

床版部はエンドバンド継手としたもの(図-5(a))、継手長さ=15d=330mm、d:鉄筋径)と重ね継手としたもの(図-5(b))、継手長さ=30d=660mm)の2体とした。接合部の長さは前者が385mmであり、後者が740mmである。床版の形状は、接合部を含む全長で5000mmであり、幅900mm、厚さ190mmである。なお、床版厚さは、接合部の支間直角方向の上側および下側に配置する鉄筋がD22であり、この鉄筋の所定のあき(粗骨材最大寸法の4/3倍以上または40mm以上)を確保することから190mmとした。プレキャスト部はRC構造とし、橋軸方向の鉄筋はD22を上側および下側に150mm間隔で配置した。また供試体の打継目地の処理は遅延剤を用いた洗出しとした。なおエンドバンド継手供試体の接合面形状は、負曲げを受ける際の接合面の曲げ疲労性能を忠実に確認することを目的として、実際に用いる形状とした。



(a) エンドバンド継手 (単位: mm)



(b) 重ね継手 (単位: mm)

図-5 供試体(床版)の形状寸法および鋼材配置図

疲労試験は、床版部に負の曲げモーメントが作用するよう载荷するため、図-4に示した供試体を上下反転させ、接合部を含む940mmを等曲げ区間とし、支間4700mmの単純支持で繰返し载荷を行った。繰返し荷重は、引張縁の鉄筋応力度が設計の許容応力度である140N/mm²となる荷重300kNを上限とし、応力振幅を100N/mm²として、下限荷重を75kNとした。また、繰返し载荷の周期は2.5Hz、载荷回数は200万回とし、繰返し载荷の1, 2, 3, 1×10³, 1×10⁴, 1×10⁵, 1×10⁶回において、静的に上限荷重の300kNまで単調载荷を行った。

载荷試験時のコンクリートの強度は、エンドバンド継手供試体ではプレキャスト部で約76N/mm²、接合部で66N/mm²であり、重ね継手の供試体ではプレキャスト部で約73N/mm²、接合部で63N/mm²であった。曲げ疲労試験状況を写真-2に示す。また、図-6にエンドバンド継手供試体の桁高方向のひずみ分布を示す。桁高方向のひずみ分布は、それぞれの繰返し回数において、ほぼ直線な関係であることから、鋼桁と床版は十分に合成され、おおむね一体となって挙動していると考えられる。なお、重ね継手の供試体においても同様な傾向であった。



写真-2 曲げ疲労試験状況

(2) 試験結果と考察

図-7に支間中央位置の変位と繰返し回数の関係を示す。エンドバンド継手および重ね継手供試体とも繰返し回数の増加とともに変位が徐々に増加している。重ね継手は繰返し回数10万回以降に変位が急激に増加しているのに対して、エンドバンド継手は、1万回以降では変位の急激な増加は見られず、重ね継手の増加変位が1.4mmであるのに対し、エンドバンド継手の増加変位は0.6mmと小さい結果であった。また、繰返し回数が200万回での残留変位は、重ね継手では0.90mm、エンドバンド継手では0.73mmであった。

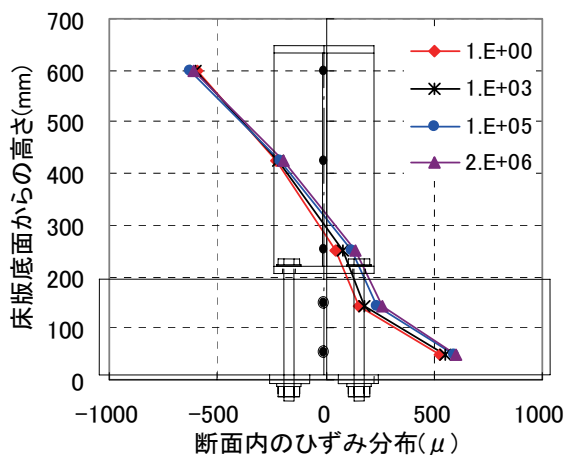


図-6 桁高方向のひずみ分布 (エンドバンド継手)

図-8に支間方向の引張側主鉄筋の接合目地位置におけるひずみと繰返し回数の関係を示す。重ね継手は繰返し回数が10万回以降に鉄筋ひずみの増加が大きくなっているのに対して、エンドバンド継手の鉄筋ひ

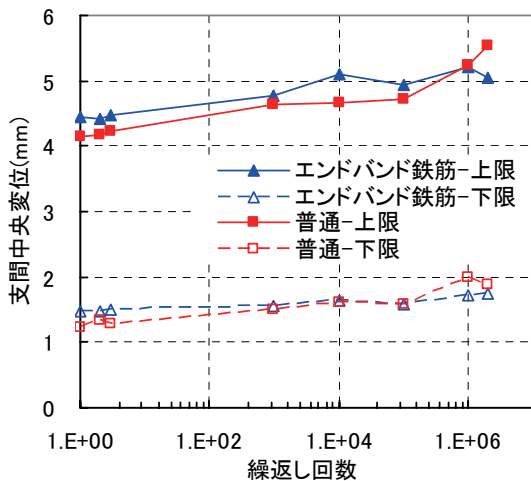


図-7 支間中央変位—繰返し回数の関係

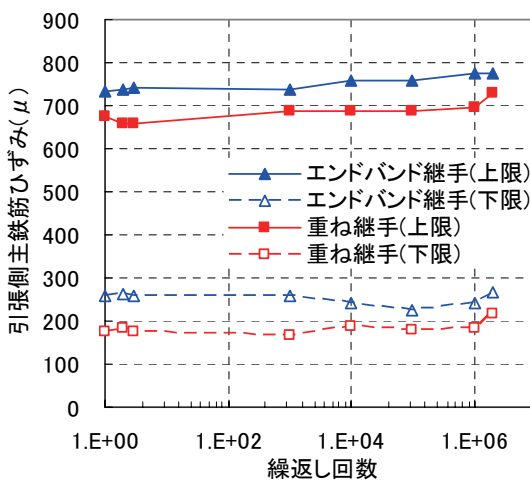


図-8 引張側主鉄筋ひずみ—繰返し回数の関係

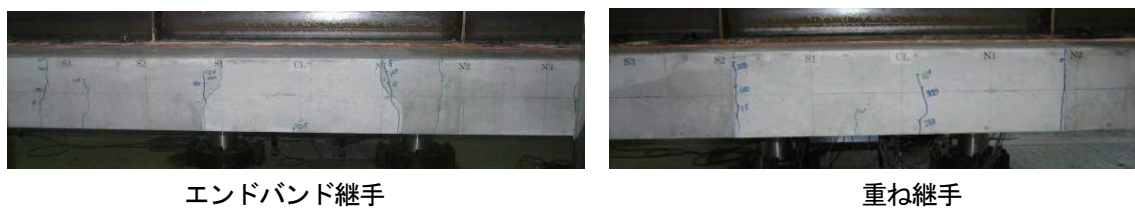


写真-3 ひび割れ状況

ずみは、繰返し回数とともにほぼ一定の割合で増加している。また、重ね継手は初期荷重から 200 万回までのひずみ増分は 55μ であるのに対し、エンドバンド継手は 45μ と、繰返し荷重による鉄筋ひずみ増分は比較的小さい結果であった。

写真-3 に疲労試験終了後の供試体の床版部のひび割れ状況を示す。ひび割れは、エンドバンド継手および重ね継手供試体とも、一箇所に集中することなく 200~300mm の間隔で分散して発生した。

以上より、エンドバンド継手は負の曲げモーメントを受ける 200 万回の繰返し荷重において、増加変位、ひずみ増分とも小さく、重ね継手と同等以上の疲労耐久性を有していることが確認できた。

2.4 疲労試験後の静的曲げ試験

(1) 供試体および試験方法

曲げ疲労荷重後の曲げ耐力を確認するため、200 万回繰返し荷重を行った供試体の静的曲げ荷重試験を行った。曲げ耐力はエンドバンド継手および重ね継手について確認を行うことから、2.3 で実施した供試体に対して、鋼桁を取り外し床版部のみについての静的曲げ試験を行った。荷重試験は、接合部を含む 940mm を等曲げ区間とし、支間 2340mm の単純支持で、破壊まで単調荷重とした。荷重試験時のコンクリート強度は、エンドバンド継手および重ね継手の供試体とも、プレキャスト部で約 79N/mm^2 、接合部で 70N/mm^2 であった。

(2) 試験結果と考察

図-9 にエンドバンド継手および重ね継手供試体の荷重と支間中央変位の関係を示す。同図には、供試体に使用したコンクリートおよび鉄筋の材料強度を用いて算出した破壊荷重も示す。エンドバンド継手は、重ね継手とほぼ同様な挙動を示し、荷重荷重 300kN 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達しており、十分な靱性を有する挙動を示した後に破壊に至っている。破壊荷重は重ね継手より約 4% 大きな値であり、実際の材料強度を用いて算出した破壊荷重に対して約 21% 大きな値であった。

図-10 にエンドバンド継手および重ね継手供試体の荷重と引張側主鉄筋の接合目地位置におけるひずみの関係を示す。この図より、鉄筋ひずみもエンドバンド継手および重ね継手ともほぼ同様な挙動を示し、いずれの供試体とも荷重荷重約 350kN において、降伏に至っている。

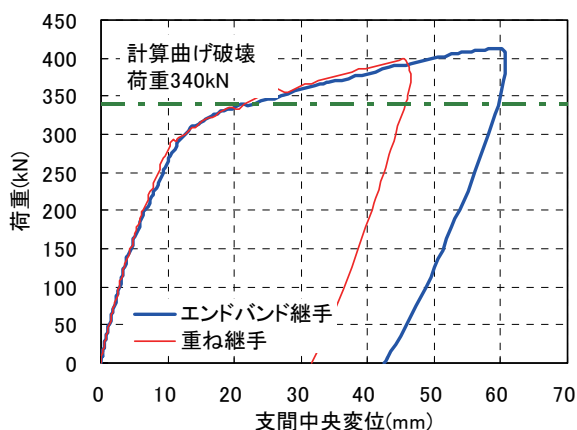


図-9 荷重-支間中央変位の関係

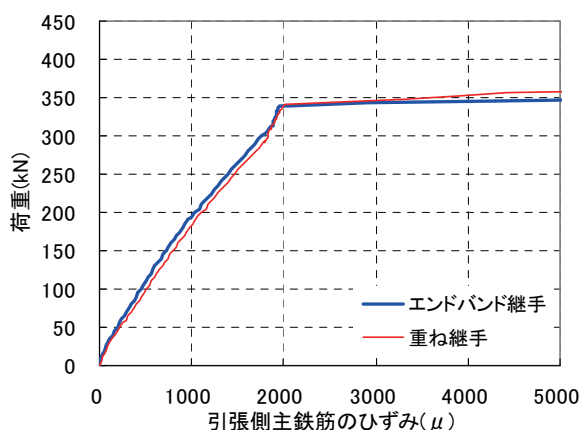


図-10 荷重-引張側主鉄筋ひずみの関係

写真-4にエンドバンド継手および重ね継手の供試体の破壊時の下面に生じたひび割れ状況を示す。ひび割れは両者とも約120mm程度の間隔で発生していた。また、エンドバンド継手は重ね継手に比べて支間方向（エンドバンド鉄筋の方向）のひび割れが多く発生している。これは、エンドバンド継手供試体の終局状態では、エンドバンド鉄筋の鋼管部における支圧力の影響により軸方向ひび割れが多くなったものと考えられる。また、図-9に示したように、エンドバンド継手供試体の方が荷重および変位ともに重ね継ぎ手供試体より大きいことから、破壊時に引張側の鉄筋には大きな引張力が作用し、付着切れによるひび割れが多く発生したとも考えられる。

以上より、エンドバンド継手は負の曲げモーメントを受ける200万回の繰返し載荷後の曲げ耐力は、重ね継手および実際の材料強度より算出した破壊荷重以上の耐力を有していることが確認できた。

3. まとめ

SLJ スラブの連続桁橋への適用を確認するため、負の曲げモーメントを受ける中間支点部を模擬した供試体により、曲げ疲労試験および疲労試験後の静的曲げ載荷試験を行った結果、今回の試験範囲において以下のことが確認できた。

- ①負の曲げモーメントを受ける200万回の繰返し載荷において、エンドバンド継手は重ね継手と比較して、変位の増加、鉄筋ひずみの増分においても小さく、重ね継手と同等以上の疲労耐久性を有している。
- ②負の曲げモーメントを受ける200万回の繰返し載荷後の曲げ耐力において、エンドバンド継手は重ね継手および実際の材料強度より算出した破壊荷重以上の耐力を有している。

以上より、SLJ スラブは負の曲げモーメントに対しても十分な耐荷力および疲労耐久性を有していることから連続桁への適用は十分に可能であると考えられる。

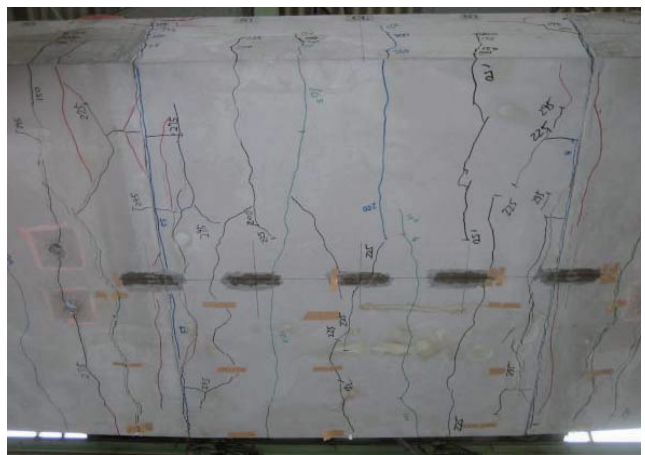
なおSLJスラブは平成19年度に2件の施工を実施したとともに、NETIS（新技術情報提供システム）への登録（登録番号：KT-070081-A）を行った。

4. 参考文献

- 1) 阿部浩幸ら：プレキャスト PC 床版の新しい RC 接合構造に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 29, No. 3, pp. 493-498, 2007
- 2) 阿部浩幸ら：新しい RC 接合構造を用いたプレキャスト PC 床版に関する研究，プレストレストコンクリート，Vol. 50, No. 1, pp. 45-53, 2008. 01



エンドバンド継手



重ね継手

写真-4 破壊時のひび割れ状況