

プレキャスト部材の接合コンクリートの性能評価

辻 幸和*1・李 春鶴*2・池田 正志*3

プレキャスト部材の接合に用いるコンクリートは、充填コンクリートと称しているが、これまでその所要性能について報告されたものはほとんどない。本稿では、接合コンクリートとして新たに提案し、それに不可欠な膨張コンクリートを用いた場合の性能確認を目的とした実験結果を報告する。すなわち、単位膨張材量と補強材により拘束程度を変化させた接合コンクリートを有する梁供試体を用いて、接合コンクリートの性能を評価した曲げ実験結果を報告する。そして、プレキャスト部材を接合するのに有用なループ鉄筋とダブルループ鉄筋を例に、プレキャスト部材を十分に一体化させるためには、膨張コンクリートの初期材齢に生じる膨張力を有効に拘束する必要があることを示した。

キーワード：プレキャスト部材、接合コンクリート、膨張コンクリート、性能評価、接合方法、ループ鉄筋、ダブルループ鉄筋

1. はじめに

コンクリート構造物のプレキャスト化が進んでおり、プレキャスト部材の接合には充填コンクリートまたは充填モルタルの施工が避けられない。しかしながら、充填コンクリートなどの所要性能については、ほとんど報告されておらず、これまでは無収縮に近い性能を有する材料を用いていたにすぎない。本稿では、膨張コンクリートを用いることで、その長さ変化率を制御できる充填コンクリートを、新たに「接合コンクリート」として提案する。

著者らは、炭素繊維および耐アルカリガラス繊維の連続繊維補強材を、膨張コンクリートと併用して有効に利用する研究結果を、これまで報告してきた^{1)~3)}。接合コンクリートには、膨張コンクリートが不可欠である。

本稿では、これまでに報告してきた単位膨張材量と補強材により拘束程度を変化させた実験結果^{1)~3)}を、プレキャスト部材との一体性および曲げ特性に視点を置いて、接合コンクリートの所要性能についてまとめ直した結果を報告する。そして接合コンクリートの所要性能には、膨張コンクリートの膨張力だけでなく、その膨張を拘束する程度が重要である。そのため、ヤング係数の異なる鉄筋、炭素

繊維および耐アルカリガラス繊維³⁾を拘束材に用いることで、拘束程度を変化させ、評価する。そののちに、プレキャスト部材を接合するのに有用なループ鉄筋⁴⁾とダブルループ鉄筋⁵⁾を例に、これらを接合コンクリート中で有効に機能させるための配置方法を検討した結果についても報告する。

2. 実験の概要

2.1 梁供試体

接合コンクリートを用いた梁供試体の形状寸法を、図-1に示す。幅が150 mm、高さが200 mmの矩形断面で、長さは450 mmの2体のプレキャスト部材とそれらの間に長さが300 mmの接合コンクリートを組み合わせた、長さが1200 mmの梁供試体である。

梁供試体の種類を表-1に示す。補強材の種類、格子状FRPの格子間隔および単位膨張材量を変化させた接合コンクリートを有する梁供試体（以下、Jと称する）を15体とし、補強材の種類、格子状FRPの格子間隔のみを変化させた接合コンクリートの無い一体型の供試体（以下、0と称する）を5体とした、合計20体を作製した。

接合コンクリートの拘束として軸方向には、下側に配置

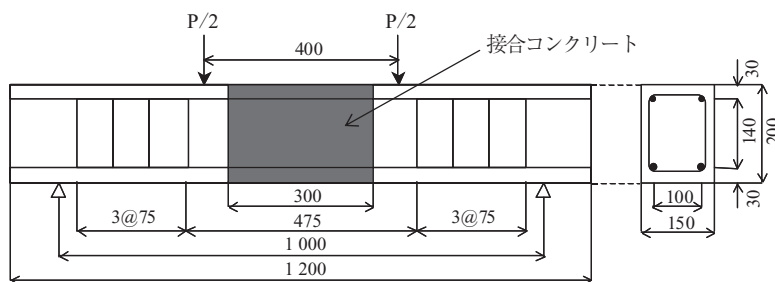


図-1 接合コンクリートを用いた梁供試体の形状寸法 (mm)

*1 Yukikazu TSUJI : NPO法人 持続可能な社会基盤研究会 理事長, 群馬大学・前橋工科大学 名誉教授

*2 Li-Chunhe : 宮崎大学 工学教育研究部 准教授

*3 Masashi IKEDA : 群馬大学 理工学部 技術専門員

表 - 1 梁供試体の種類

| 供試体名 | 補強材 | | 単位膨張材量 (kg/m ³) | 接合部の 有無 | |
|--------|------|--------------|--------------------------------|------------|----|
| | 種類 | 格子間隔 (cm) | | | |
| S-0 | 鉄筋 | - | 0 | 無 | |
| S-0J | | | | 有 | |
| S-25J | | | | | 25 |
| S-40J | | | | | 40 |
| Ca-0 | | | | | 5 |
| Cb-0 | 15 | | | | |
| Ca-0J | 5 | | | | |
| Cb-0J | 15 | | | | |
| Ca-25J | 5 | 25 | 有 | | |
| Cb-25J | 15 | | | | |
| Ca-40J | 5 | | | | |
| Cb-40J | 15 | | | | |
| Ga-0 | GFRP | - | 0 | 無 | |
| Gb-0 | | | | 有 | |
| Ga-0J | | | | | 5 |
| Gb-0J | | | | | 15 |
| Ga-25J | | | | | 5 |
| Gb-25J | | | | | 15 |
| Ga-40J | | | | | 5 |
| Gb-40J | | | | | 15 |
| Ga-40J | | | | | 5 |
| Gb-40J | 15 | | | | |

表 - 2 補強材の力学的特性

| 補強材の種類 | 種類 | 名称 | 繊維束の本数 (本) | 繊維含有率 (%) | 見かけの断面積 (mm ²) | | | 引張耐力 (kN/本) | 引張強度 (N/mm ²) | ヤング係数 (kN/mm ²) |
|------------|-----|----|---------------|--------------|----------------------------|------|-------|----------------|------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | 繊維束 | 樹脂 | 総断面積 | | | |
| 格子状 FRP | C10 | | 42 | 43.3 | 20.4 | 26.7 | 47.1 | 47.3 | 10.1 | 149.0 |
| | C13 | | 70 | 41.8 | 34.0 | 47.4 | 81.4 | 72.8 | 8.9 | 148.0 |
| | G10 | | 30 | 42.2 | 28.5 | 39.0 | 67.5 | 54.6 | 8.1 | 32.3 |
| | G13 | | 50 | 43.3 | 47.5 | 62.1 | 109.6 | 87.6 | 8.0 | 33.3 |
| 鉄筋 | D10 | | SD345 | | - | - | 71.3 | 40.5 | 3.9 | 205.8 |
| | D13 | | SD345 | | - | - | 126.7 | 68.6 | 3.7 | 205.8 |
| | D6 | | SD295A | | - | - | 31.7 | 15.3 | 3.4 | 205.8 |

表 - 3 コンクリートの配合および圧縮強度

| 打込み部 | 粗骨材の 最大寸法 (mm) | スランプ (cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | | 圧縮強度 (N/mm ²) | |
|------------|----------------------|--------------|------------|------------|------------|--------------------------|-----|----|-----|-----|------------------------------|---------------|
| | | | | | | W | C | E | S | G | | 高性能 AE 減水剤 |
| 両端部 | 15 | 8 ± 2 | 4 ± 0.5 | 50 | 48.6 | 182 | 364 | - | 843 | 985 | - | 49.2 |
| 0シリーズ | | | | | | 180 | 360 | - | 847 | 990 | 0.36 | 43.6 |
| 0Jシリーズ接合部 | | | | | | 182 | 364 | - | 843 | 985 | - | 46.8 |
| 25Jシリーズ接合部 | | | | | | 182 | 339 | 25 | 843 | 985 | 0.73 | 40.9 |
| 40Jシリーズ接合部 | | | | | | 182 | 324 | 40 | 843 | 985 | 0.73 | 31.1 |
| | | | | | | | | | | | | |

した引張補強材に SD345 の D13 (以下, S13 と称する) を 2 本, または S13 に引張耐力が相当する格子状 FRP (C13 または G13) を, それぞれ配置した。また上側に配置する圧縮補強材には, SD345 の D10 (以下, S10 と称する) を 2 本, または S10 に引張耐力が相当する格子状 FRP (C10 または G10) を, それぞれ配置した。すなわち, 補強材のヤング係数を 3 種類に変化させることで, 接合コンクリートの拘束程度を変化させた。プレキャスト部材には軸方向に加えて, スターラップとして SD295 の D6 を加工し, 75 mm 間隔で片側 4 本ずつ配置した。

補強材の格子状 FRP は炭素繊維または耐アルカリガラス繊維をビニルエステル樹脂で被覆し, 二次元格子状に成型したもの (以下, それぞれ CFRP, C および GFRP, G と称する) の 2 種類である。格子状 FRP の配置寸法は, 軸方向に 10 cm の間隔で 2 本とし, それに直角な方向に格子間隔が 5 cm (以下, a と称する) と, 格子間隔が 15 cm (以下, b と称する) の 2 種類とした。

また, 補強材の力学的特性を表 - 2 に示す。軸方向補強材は, 1 本あたりの引張耐力が最大で 2 倍程度, ヤング係数が最大で 6 倍程度それぞれ異なっている。

コンクリートの配合は, W/C を 50%, s/a を 48.6%, 目標スランプを 8 cm, 目標空気量を 4% と一定にした。膨張材は, エトリンガイト・石灰複合系の低添加型の膨張材 20 型⁶⁾を用い, 単位膨張材量を 25 kg/m³ と 40 kg/m³ に採り, セメントと置換して 2 種類の膨張コンクリートに使用した。そして, 膨張材を用いない普通コンクリートも使用した。

表 - 3 には, コンクリートの配合および無拘束で養生したあとの圧縮強度を示す。単位膨張材量が増加すると, 材齢 1 日に脱型して自由膨張させた圧縮強度は低下することが確認できるが, 梁供試体においては一軸方向に拘束されているため, このような著しい強度低下はない。

プレキャスト部材の接合面は, 打込み後材齢 24 時間でグリーンカットし, 材齢 14 日まで湿布養生したのち, 接合コンクリートを打ち込んだ。接合コンクリートは, 材齢



写真 - 1 グリーンカット断面

1 日から 3 日まで水中養生し, そののちに湿布養生に切り換え, 材齢 28 日まで養生した。一体型の供試体も同様に, 材齢 3 日まで水中養生し, その後湿布養生に切り換え, 材齢 28 日まで養生した。グリーンカットは, 粗骨材が浮き出る程度とし, その接合面の状況を, 写真 - 1 に示す。

膨張材をセメントと置換した 2 種類の膨張コンクリートについては, JIS A 6202 (コンクリート用膨張材) 附属書 B に規定されている A 法一軸拘束器具を用いて供試体を作製した。養生方法としては, 梁供試体と同様の養生方法と, 材齢 28 日まで水中養生するものの, 2 種類を実施した。

2.2 膨張率およびケミカルプレストレインの測定

膨張材をセメントと 25 kg/m³ 置換した 25 J シリーズと 40 kg/m³ 置換した 40 J シリーズの 2 種類の膨張コンクリートについては, A 法一軸拘束供試体により打込み終了後から材齢 28 日までの間, φ 11 mm の PC 鋼棒表面にゲージ長が 6 mm のワイヤストレインゲージを貼付して, 2 時間ごとに膨張率を測定した。

また, 接合コンクリートに生じる膨張ひずみであるケミカルプレストレインを測定した。このケミカルプレストレインの測定には, 接合コンクリートの打込み時に補強材の中央位置に貼付しておいたゲージ長が 6 mm のワイヤストレインゲージを用いて行った。0 シリーズと 0 J シリーズについては, 打込み終了後から材齢 3 日までの間, 2 時間

ごとに、そのあとは材齢 28 日まで 1 日ごとに、それぞれ測定を行った。25J シリーズと 40J シリーズについては、打込み終了後から材齢 28 日までの間、2 時間ごとに測定を行った。

2.3 曲げ強度試験

梁供試体の荷重試験は、図 - 1 に示したように、支点間距離が 1 000 mm で、接合コンクリートの長さの 300 mm を含めた荷重点間距離が 400 mm である、対称 2 点集中静的漸増荷重試験とした。測定項目は、補強材のひずみとともに、梁側面の引張補強材位置における曲げモーメント一定区間のひび割れ幅である。このひび割れ幅の測定は、測定長が 100 mm の π 型変位計を用いて行った。

3. 接合コンクリートの膨張率およびケミカルプレストレインの分布

膨張コンクリートを使用した 25J シリーズと 40J シリーズの 2 種類の接合コンクリートについて、A 法一軸拘束供試体により測定した膨張率の経時変化を、図 - 2 に示す。水中養生したものの膨張率は、湿布養生したものより若干大きくなったが、その差は微小である。

膨張率は材齢 3 日程度まで著しく増加し、そののちは徐々に増加している。そして、単位膨張材量を 25 kg/m^3 から 40 kg/m^3 に増加すると、膨張率は約 3 倍になっている。

膨張コンクリートを使用した接合コンクリートの 25J シリーズと 40J シリーズについては、補強材に導入されたケミカルプレストレインも、A 法一軸拘束供試体の膨張率と同様に、材齢 3 日程度まで著しく増加し、そののちは徐々に増加していく傾向がある。なお、膨張材を用いない 0 シ

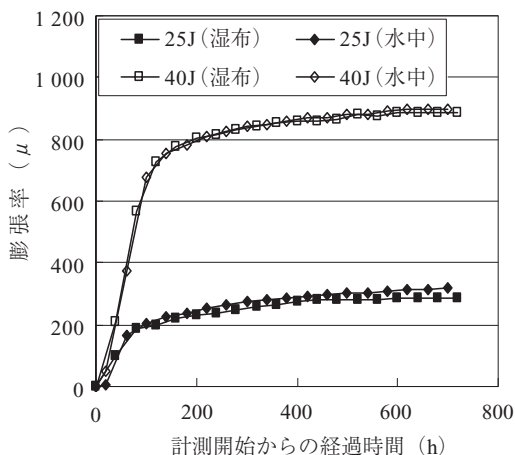


図 - 2 膨張率の経時変化 (A 法一軸拘束供試体)

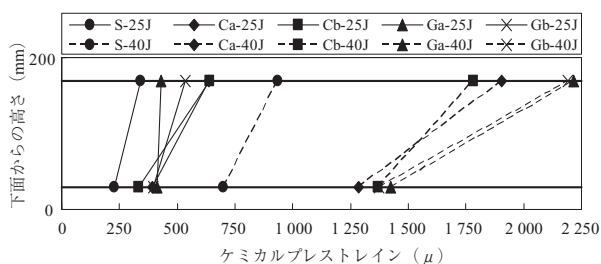


図 - 3 接合コンクリートのケミカルプレストレインの分布

リーズおよび 0J シリーズでは、ケミカルプレストレインはいずれも 0 に近く、少し収縮しているものもあった。

材齢 28 日における膨張コンクリートを用いた接合コンクリートの補強材に導入されたケミカルプレストレインの分布を、図 - 3 に示す。25J シリーズおよび 40J シリーズは、コンクリートの膨張によるケミカルプレストレインの導入が顕著に認められる。そのケミカルプレストレインの値は、A 法一軸拘束供試体の膨張率と同様に、40J シリーズは 25J シリーズと比較して、3 倍程度になっている。また、いずれの補強材についても、引張補強材よりも断面積が小さい圧縮補強材について、大きいケミカルプレストレインが導入されている。

ケミカルプレストレインの大きさは、25J シリーズでは FRP の補強材の種類が及ぼす影響はほとんど認められないが、40J シリーズの場合は、G シリーズがもっとも大きく、C シリーズ、S シリーズの順に小さくなっていることが明瞭である。これは、各補強材のヤング係数は鉄筋がもっとも大きく、CFRP、GFRP の順に小さいためで、接合コンクリートの拘束程度に対応している。

接合コンクリートに導入されたケミカルプレストレスは、25J シリーズよりも 40J シリーズが大きくなっている。また、圧縮補強材側よりも引張補強材側に大きく、40J シリーズの場合、引張補強材側に導入されたケミカルプレストレスは、S シリーズがもっとも大きく、C シリーズ、G シリーズの順に小さくなると推定でき、ケミカルプレストレスも接合コンクリートの拘束程度に対応している。

4. 曲げひび割れ性状

4.1 曲げひび割れ発生位置

曲げひび割れが最初に発生した位置を、表 - 4 に示す。最初の曲げひび割れは、接合コンクリートを有するほとんどの梁供試体においては、接合面に発生した。これに対して、単位膨張材量が 40 kg/m^3 である 40J シリーズの供試体では、5 体中 2 体の S-40J と Ca-40J の梁供試体において、荷重点直下に発生した。これは、拘束の程度が大きいため、接合コンクリートには、膨張コンクリートを使用したことによる大きなケミカルプレストレスが導入されたこととともに、接合面の付着性状が改善されたためである。そして、曲げ強度が相対的に小さくなったプレキャスト部材の普通コンクリートの荷重点直下において、曲げひび割れが生じたのである。

4.2 曲げひび割れ発生モーメント

曲げひび割れ発生モーメントを図 - 4 に、0 シリーズの接合面が無い曲げモーメント一定区間に生じた曲げひび割れ発生モーメントを基準とした各シリーズの曲げひび割れ発生モーメント比を図 - 5 に、それぞれ示す。補強材に導入されたケミカルプレストレインに対応した梁供試体下縁に導入されたケミカルプレストレスの量により、曲げひび割れ発生モーメントは、ヤング係数の大きな補強材を用いた S、C シリーズでは、G シリーズに比べて単位膨張材量が増加するにしたがい大きくなっている。

また図 - 5 より、接合コンクリートの無い一体型の 0

表 - 4 曲げひび割れの発生位置
および破壊形式

| 供試体名 | 曲げひび割れの発生位置* | 破壊形式** |
|--------|--------------|--------|
| S-0 | BMC | FTF |
| Ca-0 | BMC | SCF |
| Cb-0 | BMC | FCF |
| Ga-0 | BMC | FCF |
| Gb-0 | BMC | SCF |
| S-0J | JS | FTF |
| Ca-0J | JS | SCF |
| Cb-0J | JS | RTF |
| Ga-0J | JS | FCF |
| Gb-0J | JS | SCF |
| S-25J | JS | FTF |
| Ca-25J | JS | SCF |
| Cb-25J | JS | SCF |
| Ga-25J | JS | FCF |
| Gb-25J | JS | SCF |
| S-40J | LP | FTF |
| Ca-40J | LP | FCF |
| Cb-40J | JS | SCF |
| Ga-40J | JS | FCF |
| Gb-40J | JS | FCF |

* : BMC 曲げモーメント一定区間
JS 接合面
LP 載荷点直下
** : FTF 曲げ引張破壊
FCF 曲げ圧縮破壊
SCF せん断圧縮破壊
RTF 補強材破断型曲げ破壊

シリーズと比較して、接合部を設けた膨張材を用いない普通コンクリートの0Jシリーズの曲げひび割れ発生モーメント比は、補強材の種類にかかわらずすべて、1.0より小さくなり、0.5程度に曲げひび割れ発生モーメント比が低下しているものもある。しかしながら、ヤング係数の小

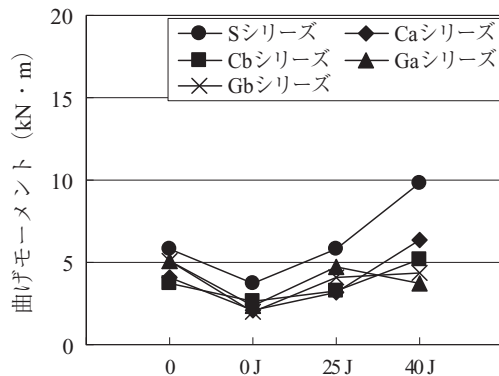


図 - 4 曲げひび割れ発生モーメント

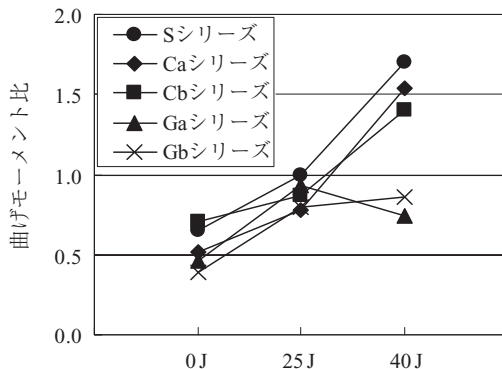


図 - 5 曲げひび割れ発生モーメント比

い補強材のGFRPを用いた供試体以外は、接合コンクリートの25Jシリーズで1.0に近づき、40Jシリーズでは1.5倍程度まで増加している。

補強材の違いによる比較では、FRPを補強材に用いたCa, Cb, Ga, Gbシリーズは、鉄筋を補強材に用いたSシリーズよりも、曲げひび割れ発生モーメントおよび曲げひび割れ発生モーメント比は小さくなっている。そして、ガラス繊維を用いたGa, Gbシリーズは、炭素繊維を用いたCa, Cbシリーズよりヤング係数が小さいため、曲げひび割れ発生モーメントおよび曲げひび割れ発生モーメント比はともに小さくなっている。補強材のヤング係数が小さい順に接合コンクリートの拘束程度が小さく、導入されたケミカルプレストレスが小さくなったためである。

以上のように、プレキャスト部材を接合した場合、接合コンクリートに膨張コンクリートを使用することにより、拘束程度によるものの、接合部を有することによる曲げひび割れの早期の発生を軽減でき、また接合部の無いものと同等に改善できることから、プレキャスト部材との一体性を向上できることが示唆される。

4.3 曲げひび割れ幅が0.1 mm到達時の曲げモーメント

曲げひび割れ幅が0.1 mmに到達したときの曲げモーメントを、図-6に示す。曲げひび割れが発達して、その幅が0.1 mmに到達したときの曲げモーメントも、接合部があると低下する。その場合でも、接合コンクリートに膨張材を25 kg/m³用いるとその低下が軽減している。そして40 kg/m³用いると、炭素繊維を拘束に用いたCa, Cbシリーズと鉄筋を用いたSシリーズでは、接合部が無い梁とほぼ同等まで改善されていることが認められる。

鉄筋を用いた梁供試体は、曲げひび割れ発生モーメントについて、図-4と対比して、FRPを用いた梁供試体よりも大きくなっている。その曲げひび割れ幅が0.1 mmに到達したときの曲げモーメントでは、その大きさが顕著である。

4.4 ひび割れの発達状況

ひび割れの発達状況の例を、図-7に示す。接合コンクリートを設けた梁供試体は一般に、接合面に最初の曲げひび割れが発生したが、(b)と(c)に示したように、S-40JとCa-40J供試体は載荷点直下に発生した。荷重の増加に

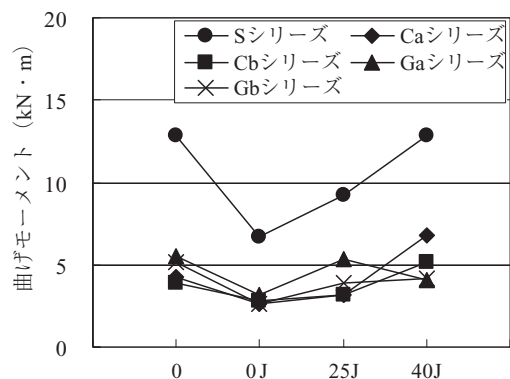


図 - 6 曲げひび割れ幅0.1 mm到達時の曲げモーメント

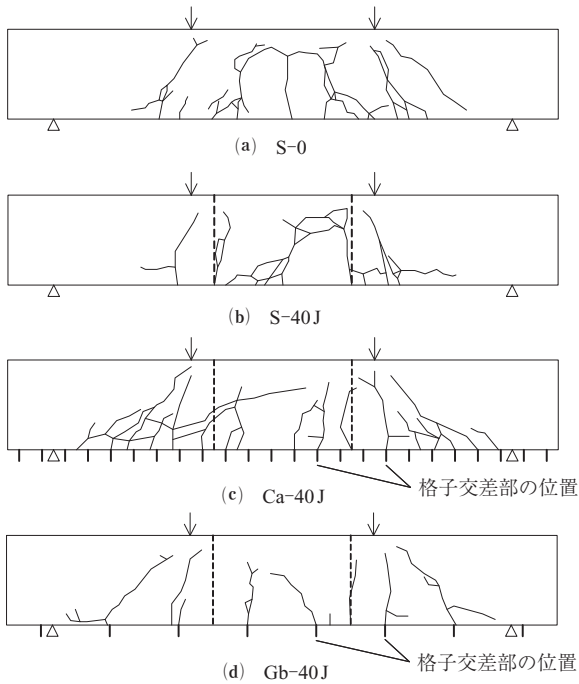


図 - 7 ひび割れの発達状況

に伴い、最初に発生した曲げひび割れは発達するとともに、新たな曲げひび割れが曲げモーメント一定区間とせん断スパンに発生して発達した。

曲げモーメント一定区間には、接合部の無い S-0 供試体では曲げひび割れがほぼ均等に発生して発達した。S-40J と Ca-40J の接合コンクリートを用いた梁では、両接合面に次のひび割れが発生して発達したものの、接合コンクリートではひび割れ幅の狭い不規則な発生であった。

ヤング係数の小さいガラス繊維の補強材を用いた Gb-40J 供試体では、接合面に最初のひび割れが発生して発達したとともに、格子交差部に曲げひび割れが発生して発達した。異形鉄筋と比較すると、一般に FRP とコンクリートの付着は小さいが、そのなかでも格子状 FRP は格子交差部で付着を確保できるため、付着性状は改善される。しかしながら、ほとんどの付着を格子交差部で受けつつため、格子交差部に高い応力が集中してしまい、曲げひび割れがそこに発生したのと考えられる。

5. 破壊モーメントおよび破壊形式

破壊モーメントを図 - 8 に、破壊形式を表 - 4 に示す。また、各破壊の様子を写真 - 2 に示す。

破壊モーメントについては、鉄筋を補強材に用いた梁供試体は接合部の有無と単位膨張材量にかかわらず、ほぼ等しい値となっている。いずれも、鉄筋が降伏して曲げ引張破壊を生じたためである。

FRP を補強材に用いた供試体は、このような一定の傾向が認められない。すなわち、FRP を補強材に用いた梁供試体は、図 - 7 の (c) と (d) において示したように、斜めひび割れが発達し、せん断圧縮破壊になりやすい傾向が認められる。これは、FRP は強度と比較してヤング係数が小さ

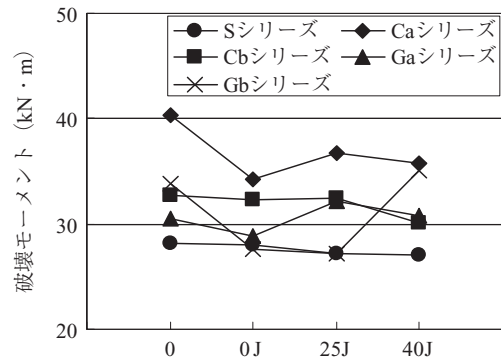
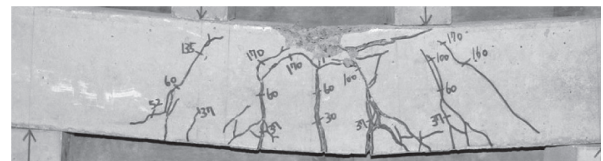
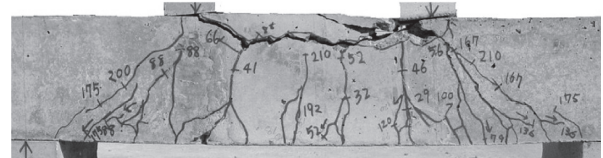


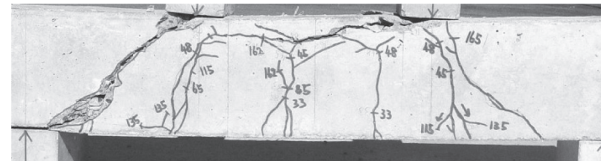
図 - 8 破壊モーメント



(a) 曲げ引張破壊



(b) 曲げ圧縮破壊



(c) せん断圧縮破壊

写真 - 2 破壊の様子

く、塑性域がなくて降伏する現象がないためである。また、GFRP を補強材に用いた梁ではとくにヤング係数が小さいため、ひずみが大きくなり、補強材が破断する前にコンクリート圧縮縁が圧壊する曲げ圧縮破壊になったものが多い。また CFRP はヤング係数が GFRP と比較して約 4.5 倍大きい、変形能力が小さいため、それを用いた梁では補強材破断型の曲げ破壊になったものもある。

6. ループ鉄筋を有する接合コンクリートの膨張性状

プレキャスト床版は、橋軸方向に接合部があり、接合コンクリートを用いて一体化している。そのため接合コンクリートに膨張コンクリートを用い、その内部にはループ鉄筋を用いて、図 - 9 に示すような形状寸法がこれまで一般に用いられてきた。この工法が成立するためには、ループ鉄筋の内的拘束により膨張コンクリートが橋軸方向に有効に拘束されて、接合コンクリートがプレキャスト床版と一体化がなされ、力学的特性がプレキャスト床版と同等以上となっていることが前提となる。

この検証のため、ループ鉄筋にゲージ長が 6 mm のワイ

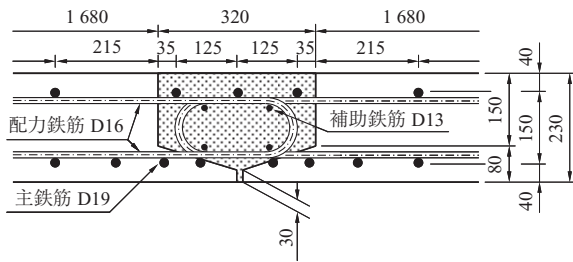


図 - 9 床版の形状寸法および接合コンクリート

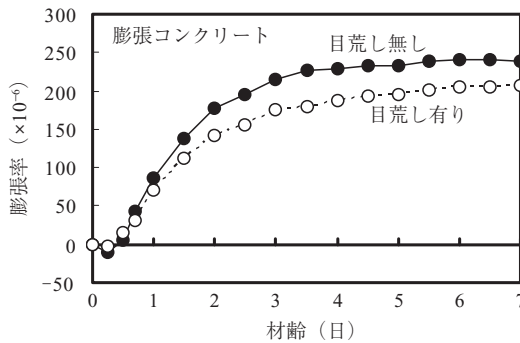


図 - 10 ループ鉄筋の引張ひずみ (膨張率)

ヤストレインゲージを貼付して、膨張率を測定した。その一例を、図 - 10 に示す^{4,7)}。プレキャスト床版から 150 mm のループを開始する前の直線部分の位置においての測定結果である。

プレキャスト床版の接合面に施した目荒しの有無により測定値に少し相違が生じたが、約 200×10^{-6} の膨張率がいずれの場合にも生じている。この膨張率は、拘束鋼材比が約 1% の JIS A 6202 附属書 B の B 法一軸拘束器具で測定した膨張率が 320×10^{-6} であったのに対して、筆者の一人が提案した仕事量⁸⁾ が拘束の程度にかかわらず一定であるとの仮説を採用すると、 275×10^{-6} となる。すなわち、ワイヤストレインゲージを貼付した先のループ部分の鉄筋の付着により、膨張コンクリートの橋軸方向の膨張を拘束したことで生じた 200×10^{-6} の膨張率は、その約 75% に相当する。

ワイヤストレインゲージの位置からプレキャスト床版の接合面まではまだ 150 mm あり、この間の付着によっても膨張は拘束される。そのため、プレキャスト床版の接合面においては 100% の 275×10^{-6} の膨張率が、この形状寸法のループ鉄筋に生じていたと推測できる。

以上のように、プレキャスト床版と間詰め部の接合コンクリートとの接合面においてはケミカルプレストレスが、ループ鉄筋にはケミカルプレストレスがそれぞれ有効に導入され、接合面の一体性が確保されることになる。そのため、屋外に 1 年間放置したあとでも、普通コンクリートを用いた場合はプレキャスト床版との境界に沿ってひび割れが発生したが、膨張コンクリートを用いた場合はひび割れの発生は認められなかったのである⁴⁾。また、この境界面の加圧漏水量も著しく減少したのである⁴⁾。

接合コンクリート中には、図 - 9 に示したように、橋

軸直角方向の主鉄筋が D19 を 3 本と D13 の補助鉄筋が 4 本それぞれ配置している。接合コンクリートの橋軸直角方向の膨張は、これらの内的拘束の主鉄筋と補助鉄筋ならびにプレキャスト床版接合の摩擦により拘束されている。なお、ループ鉄筋の内部に配置する補助鉄筋は太くしがちであるが、そのように太い鉄筋は、ループ鉄筋の内部に配置するのが非常に困難になるため、呼び名 D13 で充分である。

ループ鉄筋の形状寸法が不適切であり、その直線部が短い場合は、この部分の付着による膨張の拘束が不十分になる。そして、膨張コンクリートだけが膨張して、ループ鉄筋に導入されるケミカルプレストレスが不十分となる。

接合コンクリートに用いる膨張コンクリートの膨張エネルギーに応じた適切なループ鉄筋の形状寸法、ならびにそれに直角方向に配置される主鉄筋と補助鉄筋の量と配置方法、または短繊維を併用する場合はその種類と混入率などは、実験などにより選定することが重要である⁷⁾。

7. プレキャスト部材のダブルループ鉄筋による接合方法

現場施工の省力化等を目的として多用されているプレキャストコンクリート構造物において、大型化へ対応するために分割したプレキャストコンクリート部材の接合方法を開発した^{9,10)}。またコストの低減を主目的として、部材の一部を場所打ちコンクリートとし、プレキャスト部材と場所打ちコンクリートの接合方法に、図 - 11 に示すようなダブルループ鉄筋が使用されている⁵⁾。すなわち、ボックスカルバートのように 3 分割として工場で製造し、運搬して、据え付ける際に、底版部の一部を場所打ちコンクリートを併用する 3 分割工法である。

写真 - 3 には実験の状況を、図 - 12 にはその実験例を示す⁵⁾。接合コンクリートの幅が 500 mm で、高さが 200 mm で、長さを 800 mm としている。そのなかに配置するループ鉄筋をダブルとし、プレキャスト床版から突出する D16 の長さを鉄筋の呼び名の ϕ に対して 10ϕ 、 15ϕ 、 20ϕ に変化させた。それにともなって、ダブルループ鉄筋となるループ長を 10ϕ 、 15ϕ 、 20ϕ に変化させている。

本接合方法は、橋梁床版では実績を有するが¹¹⁾、抗土圧構造物であるボックスカルバート等の接合への適用はこれまでほとんど報告されていない。そこで、ダブルループ鉄筋を用いて接合した鉄筋コンクリート (RC) 梁の曲げ

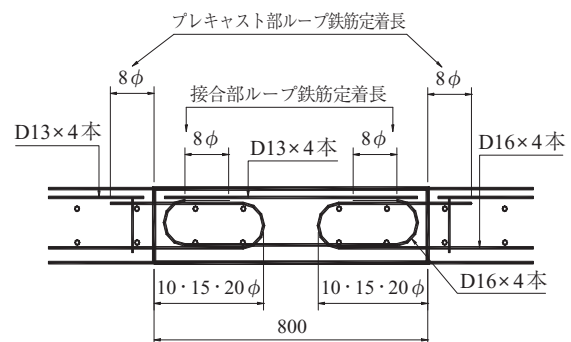


図 - 11 ダブルループ鉄筋の詳細例

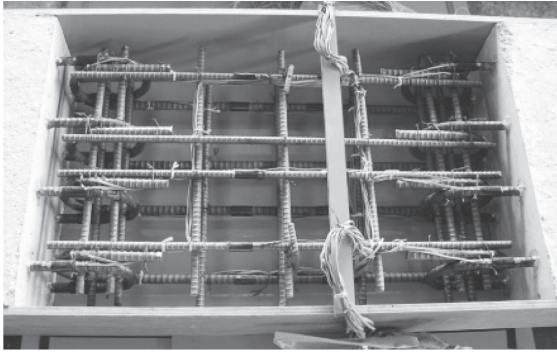


写真 - 3 ダブルループ鉄筋の例
(突出長, ループ長 10 φ)

実験および曲げせん断実験を行った。その結果、以下の現象が認められた⁵⁾。

- 1) ループ鉄筋の突出長であるループ長を 10 φ から 20 φ に変化させても、曲げ破壊耐力はほぼ等しく、この耐力は接合部の無い一体型の場合とほぼ等しい。
- 2) 接合部を設置すると、その接合コンクリートの接合面において曲げひび割れが小さい荷重段階で発生し、曲げひび割れ幅も大きくなる。ループ鉄筋の突出長を 20 φ とすると、10 φ と 15 φ の突出長の RC 梁よりも曲げひび割れ幅が小さくなり、荷重の増加による曲げひび割れ幅の増加量も小さくなる。そして、主鉄筋を連続

した接合型の RC 梁とほぼ等しい値となる。

- 3) 接合面が曲げモーメントだけでなくせん断力も作用する位置にある場合は、ループ鉄筋の突出長が異なると、斜めひび割れの発生状況が異なる場合がある。その場合でも、ループ鉄筋の突出長として 20 φ を確保すると、主鉄筋が連続している場合および接合部が無い場合とほぼ同様な斜めひび割れの発生状況となる。

以上のように、ループ鉄筋の内部に 4 本の配力鉄筋を配置し、ループ鉄筋の突出長が 20 φ であれば、鉄筋が連続した接合部のある供試体と同等の力学的性状を有することを確認した。

この実験では、膨張材を用いていない結果であるが、ループ鉄筋の突出長が 20 φ は、6 章で述べた図 - 9 のループ鉄筋とほぼ同様な配置である。そのため、接合コンクリートに膨張材を用いると、材齢初期における膨張コンクリートの膨張の拘束には、ループ鉄筋の内部付着により有効に拘束され、接合部の一体化が確保できるのである。ループ鉄筋の突出長を 20 φ 確保できない場合は、部材軸に対して直角方向にも主鉄筋とともに補助鉄筋を配置して、この方向の膨張も内的に拘束すること、あるいは短繊維を混入して多軸方向に拘束することなどにより、ループ鉄筋の付着による膨張コンクリートの膨張を有効に拘束させることが必要となる。

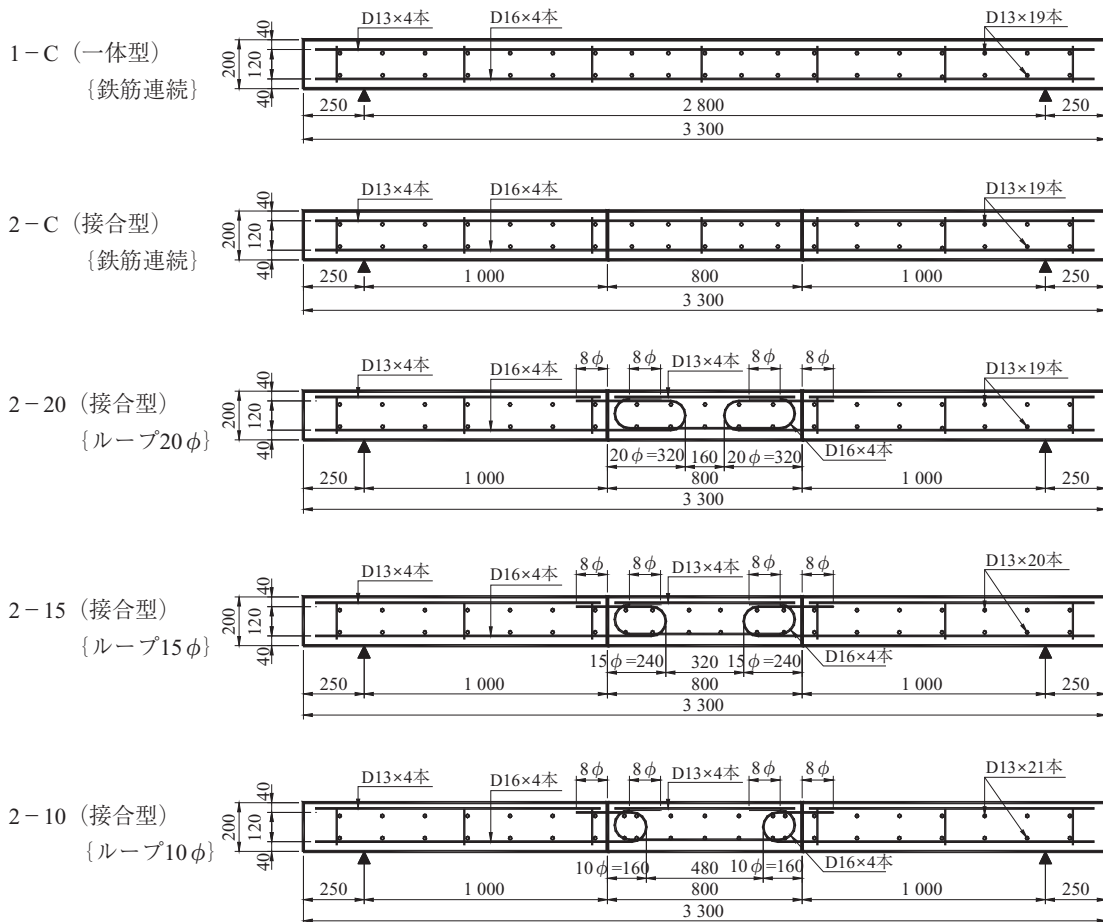


図 - 12 ダブルループ鉄筋の配置 (突出長, ループ長 20 φ, 15 φ, 10 φ)

8. おわりに

プレキャスト部材の有効な接合には膨張コンクリートが不可欠であり、それを用いた接合コンクリートの名称を提案した。そしてその性能は、コンクリートの膨張力だけでなく、その膨張を拘束する程度の影響を大きく受けることを実験結果により示した。すなわち、単位膨張材量と異なる補強材により拘束程度を変化させた接合コンクリートを有する梁供試体を用いて、接合コンクリートの性能を評価した曲げ実験結果を報告した。そして、プレキャスト部材を接合するのに有用なループ鉄筋とダブルループ鉄筋を用いて、膨張コンクリートの初期材齢に生じる膨張力を有効に拘束しないと、プレキャスト部材を一体化させる効果が減少することを示した。

本稿が、プレキャスト部材の有効な適用において不可欠な接合方法の改善に寄与できれば、幸甚である。

謝 辞

本報告の2章から5章の実験は、萩原淳弘氏（栃木県勤務）にご助力をいただいた。付記して、厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 丸岡正知, 石田知子, 辻幸和, 西須稔: 格子状FRPで補強したCPC梁の曲げ・せん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.1005-1010 (1993)

- 2) 松浪康行, 西須稔, 杉山隆文, 辻幸和: 異なる位置に鉛直打継目を設けてFRPを補強材に用いたCPC梁の力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.989-994 (1995)
- 3) 萩原淳弘, 辻幸和, 李春鶴, 池田正志: 鉛直打継目を有する連続繊維補強材を用いたCPC梁の曲げ性状, 第15回プレレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.303-308, 2006
- 4) 辻幸和: ループ継手を有するプレキャスト床版の間詰め部に用いる膨張コンクリート, プレストレストコンクリート, Vol.44, No.3, pp.18-22, 2002.5
- 5) 森田俊哉, 辻幸和, 飯塚豊, 松山哲也: ダブルループ鉄筋継手を有するRC梁の力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.28, No.2, pp.607-612 (2006)
- 6) JISA 6202: 2017 (コンクリート用膨張材), 2017年2月20日
- 7) 辻幸和, 栖原健太郎: 鉄筋等の内的拘束を受ける膨張コンクリートの膨張性状, コンクリートテクノ, Vol.35, No.12, pp.44~51, Dec. 2016
- 8) 辻幸和: ケミカルプレストレスおよび膨張分布の推定方法, コンクリート工学, Vol.19, No.6, pp.99~105, 1981.6
- 9) 栖原健太郎, 片平千朋, 森田俊哉, 辻幸和: 鑄鉄製カップラーで接合したRC梁の力学的性状, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.3, pp.637-642 (1998)
- 10) 森田俊哉, 萩原淳弘, 飯塚豊, 辻幸和: 鑄鉄製接合具で接合したプレキャストRC梁の曲げ・せん断性状, コンクリート工学年次論文報告集, 第30巻, No.3, pp.601-606 (2008)
- 11) 酒井秀昭, 上杉泰右, 上平謙二: ダブルループ継手構造を有するRC床版の力学的特性に関する研究, 土木学会論文集, No.760/V-63, pp.45-61, 2004.5

[2017年3月29日受付]



刊行物案内

更新用プレキャストPC床版技術指針

平成28年3月

定 価 8,000 円/送料 300 円

会員特価 6,000 円/送料 300 円

公益社団法人 プレストレストコンクリート工学会