

## 鋼・コンクリート複合プレキャスト PC 橋脚における接合部に関する実験的研究

三井住友建設株式会社	正会員	工修	○三加	崇
三井住友建設株式会社	正会員	工修	平	喜彦
三井住友建設株式会社	正会員	工修	内堀	裕之
三井住友建設株式会社	正会員		浅井	洋

### 1. 目的

大規模地震が発生した場合、幹線道路などの重要構造物では早期に通行を再開できる復旧性が求められている。従来の RC 橋脚では、かぶりコンクリートの剥落やコンクリート内部に配置されている主鉄筋の座屈に対し比較的大掛かりな補修や補強が必要になる。そこで、残留変形を小さくするとともに損傷部材を限定し、これを取り替えることで早期復旧を可能とする橋脚として、鋼・コンクリート複合構造のプレキャスト PC 橋脚 (以下 P&PH 橋脚) の開発を行っている<sup>1)</sup>。P&PH 橋脚は、内型枠を兼ねた鋼殻とコンクリートからなる鋼・コンクリート複合構造のプレキャストセグメントを積み重ね、セグメント間をつなぎ材および PC 鋼材で接続した中空断面の橋脚である。復旧性向上を目的に、つなぎ材には取替え可能なねじ鉄筋などを使用し、セグメント間の間詰め材には充填が容易な無収縮モルタルなどを使用している。

本実験では、P&PH 橋脚における接合部の挙動が本構造に与える影響が大きいことから、コンクリート、鋼殻、つなぎ材および間詰め材から接合部の挙動を把握するために、接合部をモデル化した梁部材の正負交番載荷実験を実施し、接合部の挙動を確認した。

### 2. 試験体概要

試験体は、P&PH 橋脚におけるセグメント間の接合部をモデル化した梁試験体で実施した。接合部には曲げおよびせん断が作用するが、ここでは曲げによる影響について着目した。図-1 に示すように梁長 3.25m のコンクリート、示すように梁長 3.25m のコンクリート、鋼殻からなる構造である。中央部は、つなぎ材および間詰め材 (ここではモルタルを使用) からなる接合部を設けた。なお、P&PH 橋脚は中空断面ではあるが、試験体の接合部における挙動を確認するため、H型断面で実験を行った。つなぎ材の定着方法は、図-2 に示すように case1 としてつなぎ材に引張力のみが作用する定着方法、case2 として引張力および圧縮力が作用する定着方法の 2 種類について実施した。つなぎ材の引張固定長は 100mm である。

実験時の材齢におけるコンクリートおよび間詰め材の材料特性および鋼殻の鋼材、つなぎ材の材料特性を、表-1 に示す。間詰め材の圧縮強度は、コンクリートと比較して、2 割ほど圧縮強度が高い性状となっている。また、鋼殻に使用した鋼材の材質は SM490、つなぎ材は M16 の全ねじボルトを使用し、材質は SS400 である。

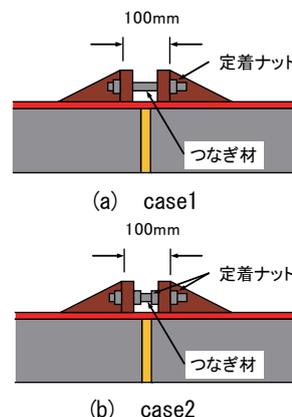


図-2 つなぎ材定着方法

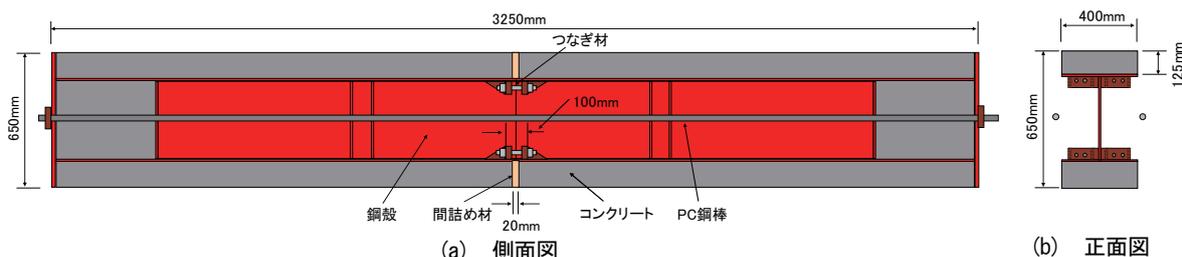


図-1 試験体図

### 3. 試験方法

試験方法は、図-3 に示す2点荷重による正負交番荷重試験を実施した。支間長は 3.0m とし、荷重点の影響を小さくするため、荷重スパンを 1.5m に設定した。荷重方法は、つなぎ材の降伏時における中央部の変形量を  $1 \delta_{yo}$  とし、図-4 に示すように各  $\delta_{yo}$  において3回繰り返した。荷重試験は2回実施し、1回目はつなぎ材のひずみが 20000  $\mu$  発生するまで荷重を実施した。その後、接合部のつなぎ材を交換、間詰め材の打ち替えを行った後に、2回目の荷重を実施した。なお、荷重試験を2回実施する目的は、1回目に損傷を受けた接合部において、つなぎ材交換および間詰め材の打ち替えをすることによる挙動の影響を確認する目的である。

### 4. 解析方法

解析方法は、図-5 に示すファイバーモデルによって解析を行った。セグメント部の要素は、コンクリートの圧縮および鋼殻の圧縮と引張を考慮している。接合部のモデルは、コンクリートと鋼殻がともに圧縮のみ考慮したモデルである。つなぎ材の要素長は、引張定着長である 100mm とし、接合部要素に剛結した。接合部の要素長は、定着部の寸法として 340mm と設定した。これは、つなぎ材の引張力を鋼殻へ伝達する定着部の長さをモデル化した。材料モデルは、材料試験結果からコンクリートおよび間詰め材はトリリニアによるモデル化を行い、鋼材はバイリニアによるモデル化を行った。

### 5. 実験結果

#### (1) 変位

荷重荷重と中央変位の関係について case1 を図-6、case2 を図-7 に示す。 $+1 \delta_{yo}$  は case1 で 2.7mm、case2 で 2.6mm とほぼ同じであった。case1 および case2 における中央変位の履歴は、1回目と2回目ではほぼ同じ挙動をしている。つなぎ材および間詰め材を交換したときの接合部の挙動は、ほぼ同じであることがわかる。

解析結果と実験値の中央変位を比較すると、変形は比較的一致していることがわかる。なお、解析値は間詰め材の圧縮強度発生時のひずみまでを示している。つなぎ材が降伏している  $2 \delta_{yo}$  以降の履歴において case1 では、荷重除荷時につなぎ材の引張力が開放されると、変形の進行が大きくなっている

表-1 材料物性

(a) コンクリート, 間詰め材				(b) つなぎ材, 鋼殻		
		圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	弾性係数 (N/mm <sup>2</sup> )
コンクリート	1回目	41.1	23200	つなぎ材	422.4	215000
	2回目	43.3	22300			
間詰め材	1回目	52.5	18100	鋼殻	355.4	211000
	2回目	54.9	20500			

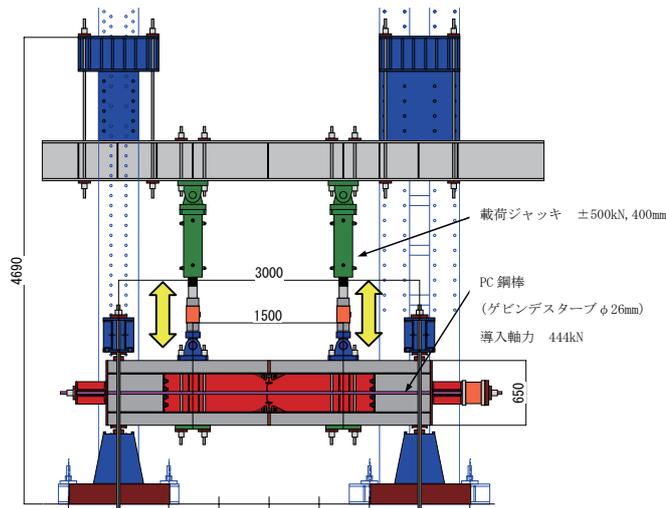


図-3 荷重方法

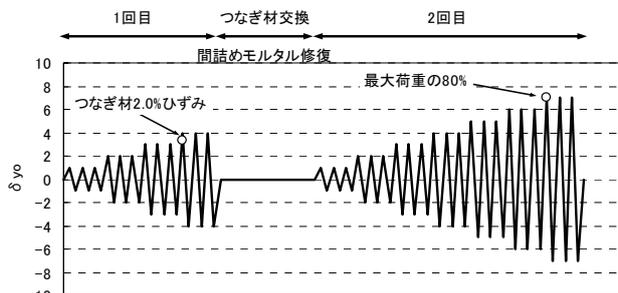
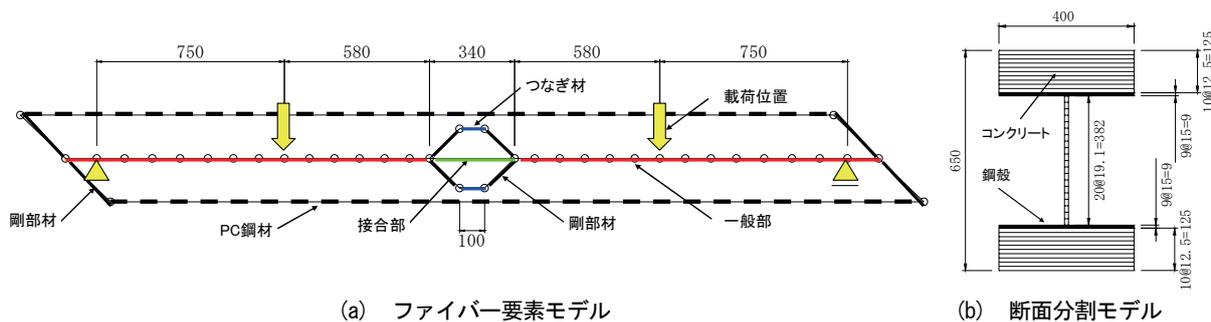


図-4 荷重ステップ



写真-1 荷重状況



(a) ファイバー要素モデル

(b) 断面分割モデル

図-5 解析モデル

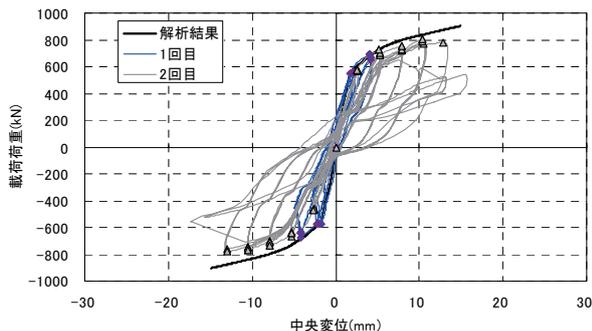


図-6 載荷荷重と中央変位の関係 (case1)

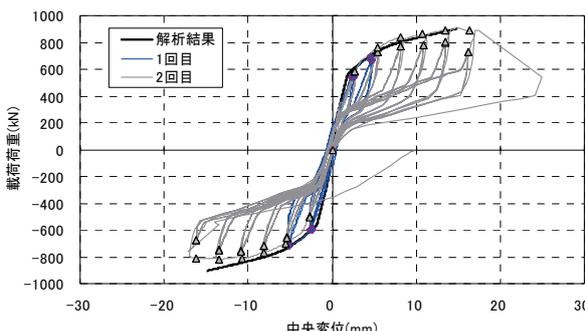


図-7 載荷荷重と中央変位の関係 (case2)

ことがわかる。case2 では case1 と同様に荷重除荷時につなぎ材の引張力が開放されると、一時的に変形の進行が大きくなっているが、つなぎ材に圧縮力が作用することによって変形の進行が小さくなる。これは、引張側の固定長が100mm に対し、圧縮側の固定長は50mm であり、つなぎ材が降伏しているため、つなぎ材の圧縮力を受け持つ定着ナットに緩みが生じ、引張力が開放された後、つなぎ材に圧縮力が作用するまで差によるものと考えられる。破壊形態は、case1 では+7 δ yo の1 回目の載荷中に、接合部のつなぎ材の破断であった。case2 でも+5 δ yo の2 回目の載荷中において、つなぎ材が破断した。

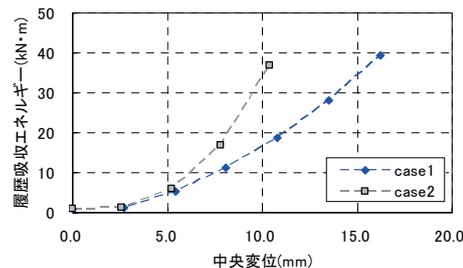


図-8 履歴吸収エネルギーと中央変位の関係

図-8 に case1 および case2 において、載荷荷重と中央変位のループの面積から算出した、履歴吸収エネルギーと中央変位の関係を示す。case1 と比較して case2 では、同じ変位量におけるエネルギー吸収能が向上していることがわかる。これは、case1 では引張降伏したつなぎ材の引張力が除荷時に開放され、変形が急速に小さくなるのに対し、case2 では、つなぎ材に圧縮力を受け持たせることで変形の進行を抑えているためである。

(2) 目開きおよびひび割れ

目開きは、case1 で 353kN, case2 で 305kN の荷重で発生した。発生箇所は、間詰め材とコンクリートの界面である。接合部の鋼殻はメタルタッチにより引張を負担しない構造であるため、間詰め材とコンクリートの付着力で抵抗する。セグメント部は、鋼殻が引張を負担するため、接合部と比較してひび割れに抵抗する。ひび割れは、接合部から 150mm の箇所に鋼板側から外面に向かって発生している。これは、つなぎ材の引張力による定着部の局所的な曲げ変形によるものである。それ以外には、接合部近傍にはひび割れは発生していない。

(3) ひずみ

case1 および case2 の載荷荷重と接合部近傍のコンクリート上縁ひずみの関係を図-9, 図-10 に示す。case1 では、+6 δ yo で試験体のコンクリートの圧縮縁が 3500 μ まで発生していることから、圧縮破壊の直前であ

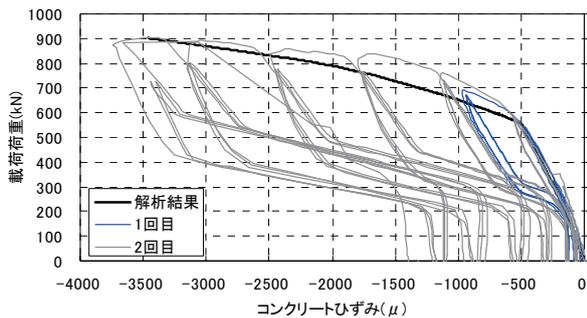


図-9 載荷荷重とコンクリートひずみの関係 (case1)

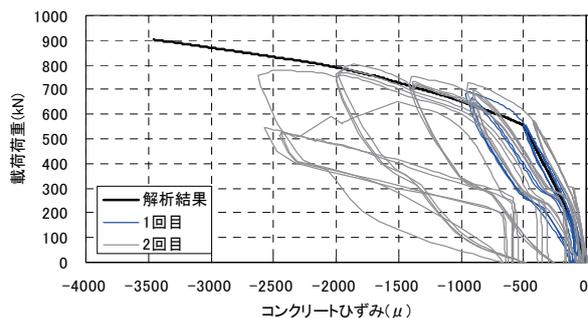


図-10 載荷荷重とコンクリートひずみの関係 (case2)

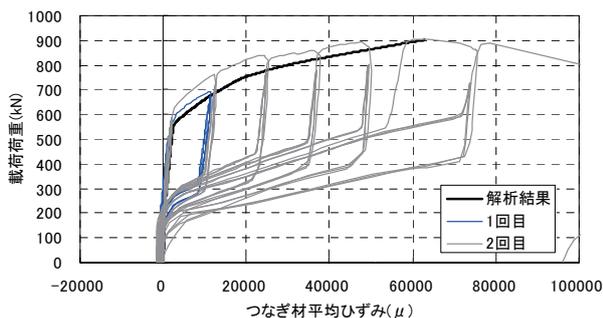


図-11 載荷荷重とつなぎ材平均ひずみの関係 (case1)

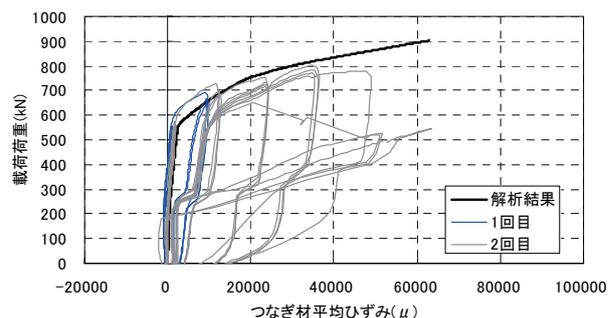


図-12 載荷荷重とつなぎ材平均ひずみの関係 (case2)

ったと推定される。case2 では、 $+5 \delta_{yo}$  においてコンクリートの  $2500 \mu$  の圧縮ひずみが発生している。つなぎ材が圧縮を負担するため、case1 の同じ  $+5 \delta_{yo}$  と比較して圧縮ひずみは小さい。また、解析結果と比較すると case1, case2 とともに比較的良く再現できている。

case1 および case2 の載荷荷重と目開きから換算したつなぎ材の平均ひずみとの関係を図-11、図-12 に示す。つなぎ材の平均ひずみは、case1 で  $80000 \mu$ 、case2 で  $50000 \mu$  まで発生してつなぎ材が破断した。これは、塑性変形を超える大きな繰り返し荷重が作用した場合、少ない繰り返し回数で破断する低サイクル疲労<sup>2)</sup>によるものと考えられる。また、case1 では引張力のみがつなぎ材に作用するのに対して、case2 は引張力と圧縮力が交互に作用する。そのため、case1 と比較して case2 のつなぎ材に発生するひずみ量の幅が大きいため、小さい引張ひずみで破断したものである。

## 6. まとめ

P&PH 橋脚の接合部をモデル化した梁試験体による正負交番載荷実験によって得られた知見を以下に示す。

- ・間詰め材およびつなぎ材を交換した挙動は、交換前とほぼ同じ挙動であった。
- ・接合部に目開きが発生することにより、接合部近傍にコンクリートの曲げひび割れは発生しなかった。
- ・つなぎ材の圧縮に抵抗する部材を付加することで、エネルギー吸収能が向上した。
- ・つなぎ材に圧縮と引張が作用する定着方法は、引張のみが作用する定着方法と比較してつなぎ材に発生するひずみ量の幅が大きく、つなぎ材が早期に破断した。
- ・ファイバー解析によって、変形およびひずみの骨格曲線の推定が可能であることがわかった。

## 参考文献

- 1) 鈴鹿良和, 浅井 洋, 平 喜彦, 春日 昭夫: プレキャスト PC 複合橋脚に関する基礎的研究, 第 15 回プレスト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, 2006 年 10 月, pp445-448
- 2) 浅井 洋, 春日 昭夫, 飯田 宇朗, 梅原 秀哲: SD490 鉄筋を軸方向鉄筋に用いた RC 橋脚の実用化に関する研究, 土木学会論文集, No. 760, V-63, 2004 年 5 月, pp91-108