

論文 コンクリート部材の一体化に関する実験的研究

川口 哲生*1・二羽 淳一郎*2・喜多 俊介*1・村田 裕志*1

要旨：PC 橋梁の軽量化やコスト削減を図るに当たり，ウェブ部材にプレキャストプレテンション部材を用いることが検討されている。本研究では，ウェブフランジ間の接合部の挙動を把握し，合理的な接合方法について検討することを目的としている。そこで，プレキャスト RC 部材を対象に，複数のコンクリート部材を合理的に一体化させるために，接合方法を 3 通りに変化させた 2 面せん断試験を行った。その結果，打継ぎ面を有する突合せ型タイプでは，打継ぎ面を有しない一体型タイプに比べて耐力は 1/3 程度になるものの，突合せタイプに，せん断キーを導入したキー接合タイプでは，打継ぎ面を有しない一体型タイプとほぼ同等の耐力を有することが確認された。

キーワード：プレキャスト部材，2 面せん断試験，プレテンションウェブ部材，せん断キー

1. はじめに

近年，PC 橋梁の軽量化とコスト削減に効果的な，鋼-コンクリート複合構造橋梁が，注目を浴びている。そのため，異種材料を合理的に一体化させるための接合方法に関する研究が多く行われている¹⁾。そのような背景の中，さらなる軽量化，コストの削減，施工の簡易化のために，PC 橋梁のウェブ部材に，プレキャストプレテンション部材を適用することが検討されている。その際には，コンクリート部材であるウェブフランジ間の合理的な接合方法の検討が必要であるが，コンクリート部材間の接合部の挙動は十分に把握されていない。そこで，本研究では，鋼-コンクリート部材の接合方法の検討に広く実施されている 2 面せん断試験を参考に実験的な検討を行うことにした。しかし，これは実際の構造物の一部を取り出したものであり，厳密にはあくまでも要素試験であることに注意が必要である。実験に際し，3 通りの接合方法について検討を行った。3 通りの接合方法として想定した接合方法は，鉛直方向の打継ぎ面を有するタイプ（**図-1**）（以降，突合せタイプと呼称），またそれに，機械的にせん断耐力を向上させることを目的としてせん断キーを設

け，機械的にせん断抵抗力を向上させたタイプ（以降，キー接合タイプと呼称），ならびに，比較用に打継ぎ面を有しないタイプ（以降，一体型タイプと呼称）である。

2. 実験概要

2-1. 試験体概要

図-1～**図-2** に実験に使用した試験体の概要を示す。試験体は，**図-1**～**図-2** に示すように 2 つの部分から成っている（以下，**図-1**～**図-2** の A 部をウェブ部，B 部をフランジ部と呼称）。

一体型タイプでは，ウェブ部，フランジ部を同時に製作し，打継ぎ面を有さないものとした。次に，突合せタイプについては，ウェブ部，フランジ部を別に製作し，鉛直方向の打継ぎ面を有するタイプとした。キー接合タイプについては，突合せタイプの打継ぎ面にせん断キーを設け，機械的にせん断抵抗力を向上させることにした。またキーは実大寸法を想定した。全ての試験体に対して，ずれ止め筋として，D13 SD295A($f_y=340$ MPa)を 5 段配置した。これは，道路橋示方書に示す最小の鉄筋径で

*1 東京工業大学大学院 理工学研究科土木工学専攻（正会員）

*2 東京工業大学大学院教授 理工学研究科土木工学専攻 工博（正会員）

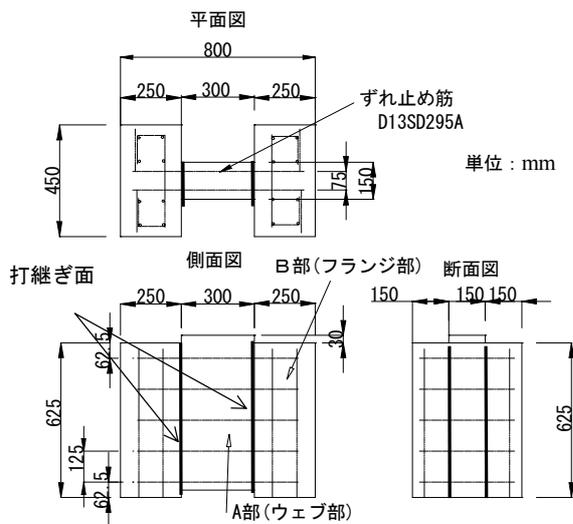


図-1 一体型および突合せ接合タイプ
試験体概要

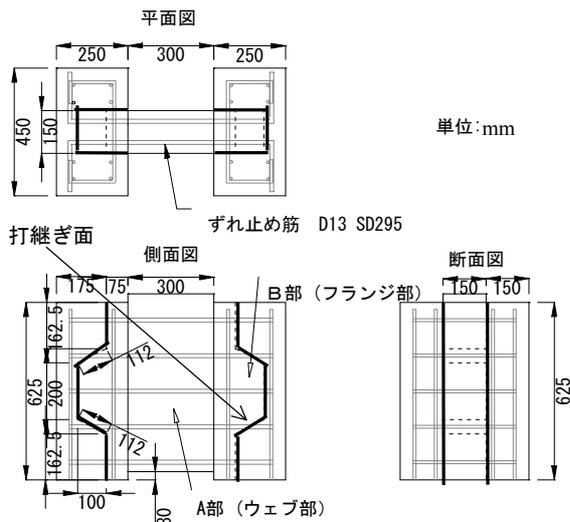


図-2 キー接合タイプ試験体概要

表-1 使用材料

名称	密度	特記事項
セメント	3.16	早強ポルトランドセメント
砂	2.59	千葉県子櫃産 粗粒率 2.5
碎石	2.62	東京都青梅産 粗粒率 7.0
高性能 AE 減水剤	1.1	ポリカルボン酸系
凝結遅延剤	1.28	

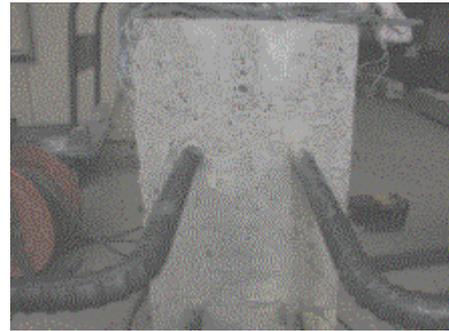


写真-1 目荒らし状況 (突合せタイプウェブ部)

ある 2)。試験体がせん断破壊するように、フランジ部に D10SD295A($f_y=340$ MPa)の組み立て筋を配置し、十分な定着が得られるようにした。ウェブ部厚さを 150mm とし、ウェブ部のかぶりを 50mm とした。

2-2. 試験体の作製

一体型タイプの試験体作製では、ウェブ部、フランジ部の打設を同時に行った。突き合わせタイプとキー接合タイプでは、先ずウェブ部の打設を行い、1 週間の気中養生後、フランジ部を打設した。ウェブ部の打設時において、型枠の側面に、凝結遅延剤を塗布した紙を貼り付け、脱形後ワイヤブラシを用いて目荒らしした 3)。(写真-1)。またウェブ部のコンクリートは流動性を高め、締固めを十分に行った。そして、接合面に空隙が生じないようにし、耐荷力への影響を抑制した。

試験体製作に用いた使用材料を表-1 に示す。また示方配合を、表-2 に示す。使用したセメントは全ケースとも、早強ポルトランドセメントで、養生条件はウェブ部は2週間、フランジ部は1週間の気中養生とした。試験体の目標設計基準強度は 30MPa とした。最大骨材寸法は 15mm とし、高性能 AE 減水剤を用いて、スランプの調整を行った。ウェブ製作時には、目標スランプを $8\text{cm} \pm 2\text{cm}$ とし、フランジ部では、目標スランプを $14\text{cm} \pm 2\text{cm}$ とし、流動性を高めた。

表-2 示方配合

試験体名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
			W	C	S	G	高性能 AE 減水剤
一体型	58	51	218	327	963	899	0
突合せ・キー	50	51	170	340	957	919	1

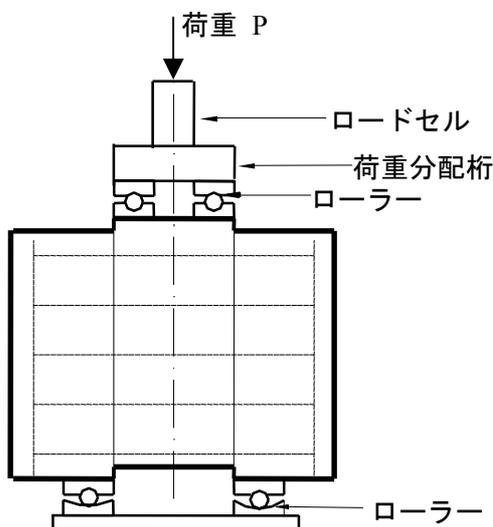


図-3 荷重概要図

2-3. 荷重方法

図-3 に荷重状況の概要図を示す。図-3 に示すように、分配桁を用い静的単調に荷重した(写真-3)。また、支点にはローラー支点を用いた。ロードセルの容量は 2000kN である。

写真-4 にローラー支点の写真を示す。また、支圧板と試験体との間に、テフロンシートを挿入し、試験体が摩擦により、拘束されることを防止した。荷重は、2000kN 万能試験機を用い、静的に単調に荷重した。

2-4. 計測方法と計測項目

図-4 に計測機器設置状況を示す。変位は、フランジ底部から 312.5mm (中央部) の点の鉛直変位を図-4 のように 4 点について計測した。また、水平方向の変位を図-4 の様に計測した。また、ずれ止め筋に発生するひずみに関しては、図-4 のように、接合部面に位置する箇所



写真-3 荷重状況

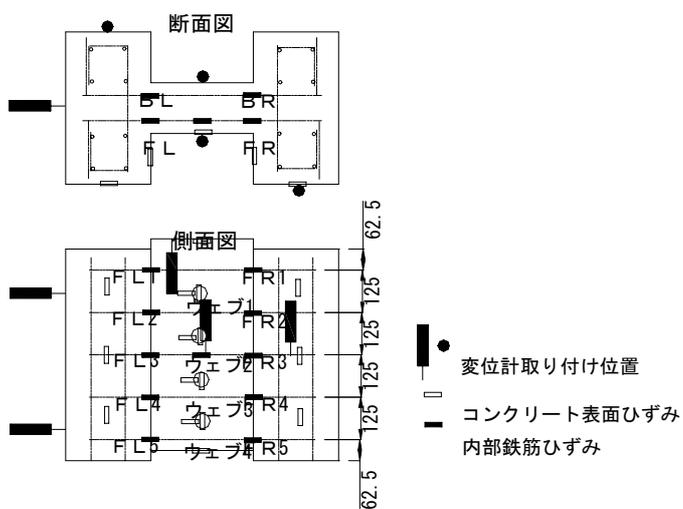


図-4 計測機器設置状況



写真-4 ローラー支点

ひずみゲージを貼り付けた。コンクリート表面には、図-4 のように、ウェブ部に 4 段、フランジ部に 3 段にわたり、ひずみゲージを貼り付け、コンクリートに発生するひずみを測定した。

表-3 実験結果一覧

試験体名称	部材名	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	破壊エネルギー (N/m)	最大荷重 (kN)
一体型		30.1	3.19	132.5	1618.0
突合せ接合	ウェブ部	33.8	2.49	135.2	602.9
	フランジ部	29.7	2.25	109.7	
キー接合	ウェブ部	33.7	2.39	140.2	1659.4
	フランジ部	32.6	2.37	132.6	

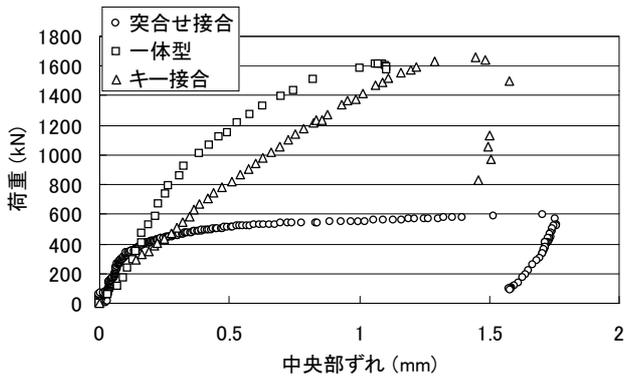


図-6 荷重-中央部ずれ関係

3. 試験結果と考察

3-1. 破壊荷重と破壊形式

表-3に、試験結果を示す。なお、JCIのコンクリートの破壊特性の標準試験法(案)⁴⁾に基づき、破壊エネルギーを測定している。図-5に、終局状態におけるひび割れ性状を示す。破壊荷重は、一体型で1618kN、突合せ型で603kN、キー接合型で1659kNで破壊した。一体型の試験体の破壊性状は、先ずウェブ部に曲げひび割れが発生し、その後斜めひび割れが発生した。その後、終局時にはウェブ部の載荷点付近のコンクリートが圧壊し、急激に耐荷力を失った。次に突合せタイプでは、ウェブ部-フランジ部間の接合面に大きなひび割れが入り、ウェブ部の一部に若干の水平方向のひび割れが見られた。その後、荷重はほとんど増加しないまま変形のみが増加していき、終局に至った。キー接合タイプでは、一体型タイプと同様に、先ず曲げひび割れが発生し、その後、斜めひび割れが発生した。その後、終局時にはウェブ部の載荷点付近のコンクリートが圧壊し耐力を失った。

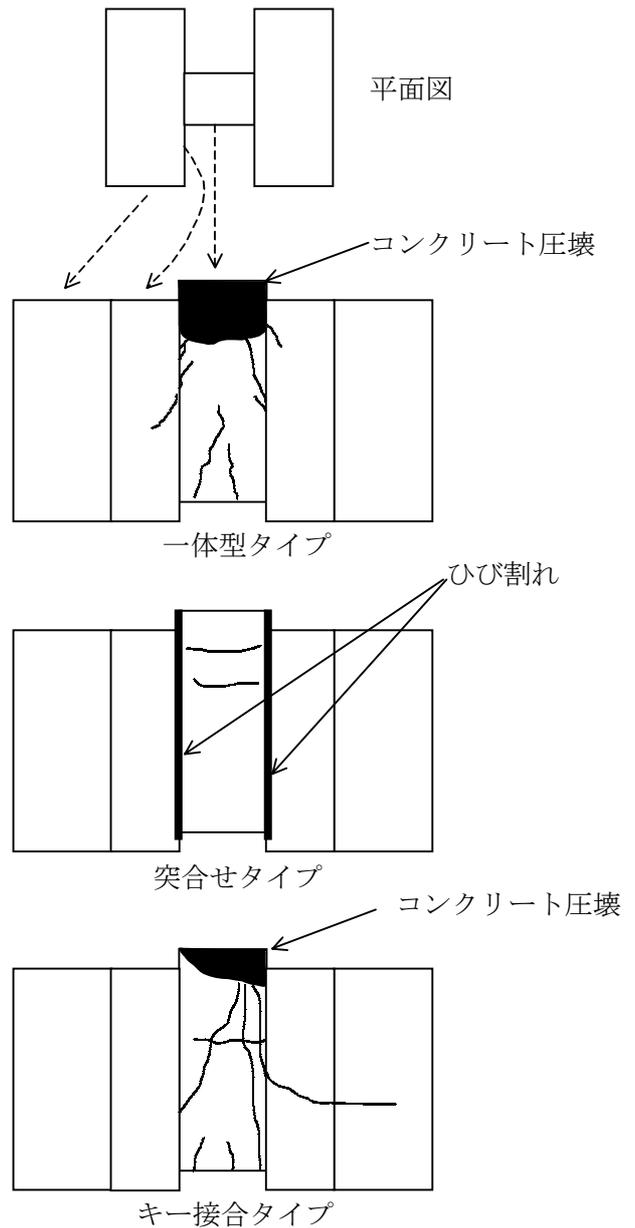


図-5 ひび割れ性状図

3-2. 荷重とずれ関係

図-6に荷重と中央部ずれ関係を示す。耐荷力は、一体型とキー接合では、ほぼ同等であった。また、300kN程度までは、剛性は3つのケ

ース共に同等であるが、それ以降はキー接合タイプは一体型タイプに比べて若干低下していた。さらに、終局時の中央部ずれは、一体型タイプ、キー接合タイプ、突合せ型タイプの順に大きくなっていることが確認された。

3-3. 試験体のひずみ発生状況

図-7~図-9に、各ケースの鉄筋のひずみ分布を示す(図中の高さは、フランジ部底面よりの高さ)。これより、一体型、キー接合タイプの試験体において、ずれ止め筋の一部が降伏していることが分かる($\epsilon_y=1560\mu$)。しかし、突合せタイプでは、ずれ止め筋は降伏していないことがわかる。また、初期の荷重レベルでは、ずれ止め筋の上段部では、圧縮を受けていることがわかる。また、キー接合では、上から3~5段目のずれ止め筋が大きく変形していることが分かる。これより、せん断キーより下側で大きく変形していることが考えられる。また、一体型タイプ、キー接合タイプでは、ずれ止め筋が降伏していることより、ずれ止め筋がずれに対して十分に抵抗していることが考えられる。次に、荷重とコンクリート鉛直方向の表面ひずみ(ウェブ部)の関係を図-10~図-12に示す。これより、一体型とキー接合タイプでは、ウェブは相対的に上部の方が大きく変形していることがわかる。また、一体型とキー接合タイプに比べて、突合せタイプでは、大きなひずみが発生していないことが分かる。以上より、突合せタイプでは、接合面でのせん断力の伝達が不十

分で十分に一体化しておらず、ウェブ部フランジ部の接合面で局所的に両者がずれて破壊していると考えられる。

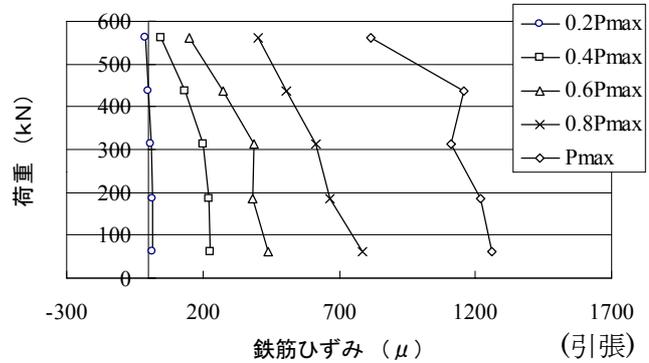


図-8 鉄筋ひずみ分布(突合せタイプ)

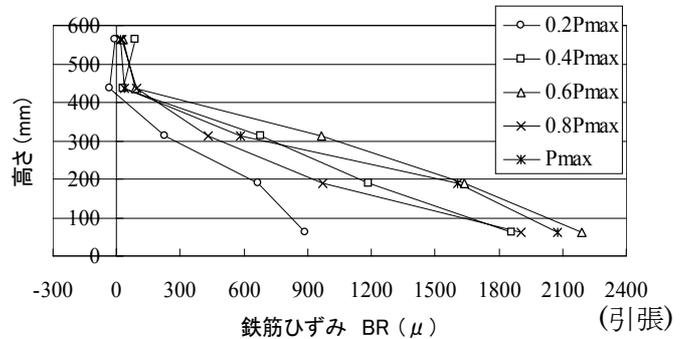


図-9 鉄筋ひずみ分布(キー接合タイプ)

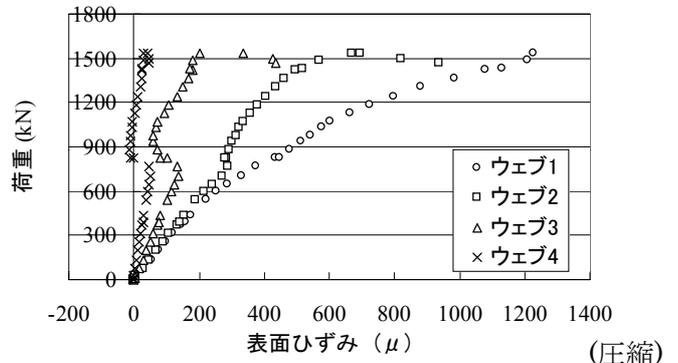


図-10 荷重-コンクリート表面鉛直方向ひずみ関係(一体型タイプ)

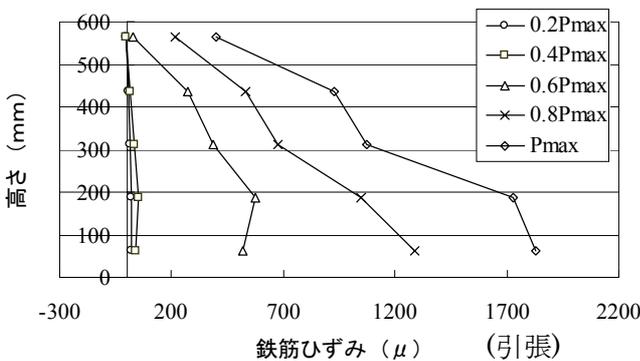


図-7 鉄筋ひずみ分布(一体型タイプ)

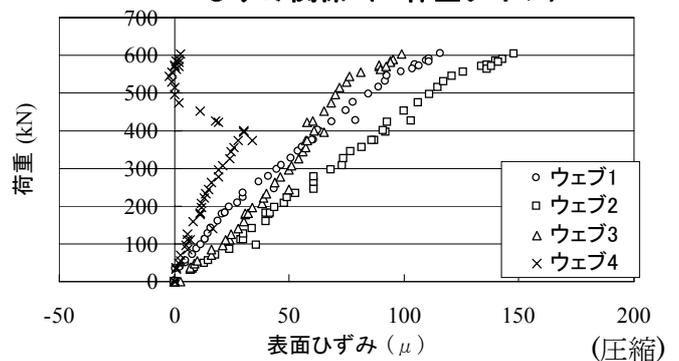


図-11 荷重-コンクリート表面鉛直方向ひずみ関係(突合せタイプ)

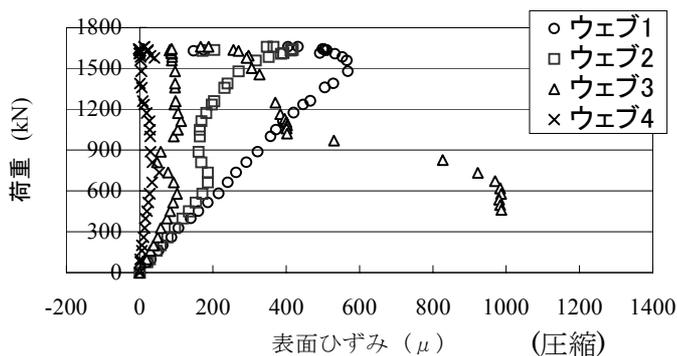


図-12 荷重-コンクリート表面鉛直方向ひずみ関係 (キー接合タイプ)

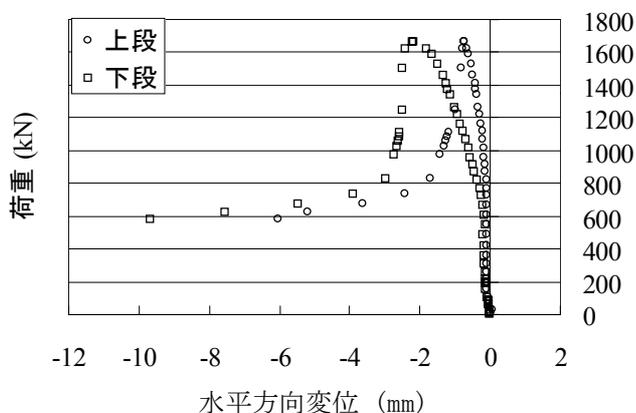


図-13 荷重-水平方向変位関係 (キー接合タイプ)

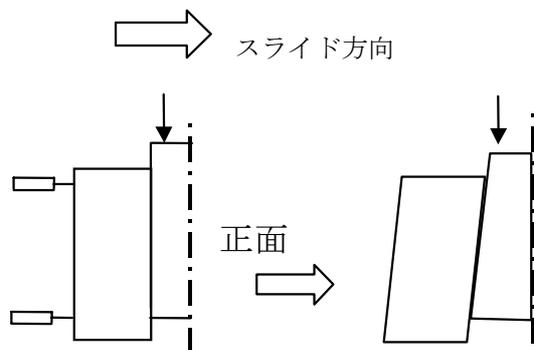


図-14 試験体変形概要図 (キー接合タイプ)

次に1例として、図-13にキー接合タイプの荷重-水平変位関係を示す。これより、試験体は、一度水平方向にスライドしており、支点による拘束は除去されていると考えられる。さらに試験体は、図-14のように変形していることが分かる。また、一体型タイプと、突合せタイプにも同様の傾向が見られた。

4. まとめ

本研究によって、得られた結果を以下にまとめる。

1) 突合せ接合タイプは、一体型タイプに比べて、耐荷力は1/3程度まで低下する。しかしながら、せん断キーを導入したキー接合タイプでは、一体型タイプと同等の耐荷力が得られることが確認された。

2) 突合せタイプの剛性は、一体型タイプに比べて大きく低下するが、キー接合タイプは、一体型タイプに比べて、若干の低下にとどまることが確認された。

3) 本研究の範囲内では、突合せタイプの試験体は、接合面で局所的にずれ破壊するのに対し、一体型、キー接合型は同様に、ウェブ部が圧壊して破壊に至ることが確認された。

4) 一体型タイプとキー接合タイプでは、同様にずれ止め筋のひずみが大きく出ることから、いずれも一体化していると判断される。

謝辞 本研究は、PC技術協会プレテンションウェブ橋梁技術研究委員会(委員長 池田尚治)の研究の一環として行われたものであり、ご協力いただいた関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 横田弘, 清宮理: 鋼・コンクリート合成部材での形鋼によるずれ止めの耐荷力, 運輸省港湾技術研究所港湾技研資料, No. 595, 1987. 9
- 2) 日本道路協会: 道路橋示方書, II コンクリート橋編, pp. 236-244, 1996
- 3) 土木学会: 平成 8 年度制定コンクリート標準示方書施工編: p. 99-102, 1996
- 4) JCI コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会: コンクリートの破壊特性の試験方法に関する調査研究委員会報告書, pp. 5-8, 2001