

プレキャスト部材のループ継手適用にかかる実験的検討

- プレキャスト橋脚およびケーソン -

技術本部 土木技術第二部	荒井 信章
土木本部 土木統括部基礎部	別所 辰保
九州支店 土木工事統括部 PC 工事部	山本 博輝
九州支店 久留米工場	内野 修

概要:近年、プレキャスト(以下 PCa とする。)部材は幅広く用いられるようになり、またその大型化も進んできている。PCa 橋脚、PCa ケーソンも例外ではない。これらは、径および部材高さの最大値は運搬に係る車両制限令等によって決定される。さらに大きい径への適用を考える場合、部材をシールドセグメントのように工場部材を分割して製作し、現場で組み立てる技術を確認する必要がある。部材を接合する場合の課題としては、帯鉄筋の連続化、接合面の曲げ・せん断耐力の伝達である。これらの課題を解決するための接合方法として、ループ継手の適用の検討を行う。ループ継手とは、ループ型に加工した鉄筋を重ね合わせて配置するものであり、必要継手長を重ね継手より短くすることができるという長所がある。ループ継手は PCaPC 床版の接合に採用されており、有効であることが認知されている。そこで、橋脚・ケーソンにおけるループ継手の有効性を証明するために、正負交番載荷による耐震性能試験および組立試験を行った。試験結果は終局時においても RC 部材と同等の曲げ・せん断耐力を得られることから帯鉄筋の継手構造として有効であることが確認され、組立時の真円性を確保できることが確認された。よって、PCa 橋脚およびケーソンにおける PCa 部材の接合方法として、ループ継手は耐震性能が高く、実施工に適していることが確認された。

Key Words: プレキャスト橋脚, プレキャストケーソン, ループ継手, 耐震性能, 組立精度

1. はじめに

PCa 橋脚およびケーソンにおいて、PCa 部材は運搬上の規定により、その寸法および重量に制限があり小型構造物への適用に限られていた。しかし、部材を分割し、現地で接合することにより大型構造物への適用が可能となる。そのためには分割された PCa 部材を接合する継手方法の確立が必要である。継手方法としては、これまでの床版の接合に多く適用され、各種の検討試験が実施され実績もあるループ継手を適用することとした。本稿ではその適用にかかる耐震性能試験および組立試験結果について述べる。

2. 試験内容

実験は小型供試体を用いた耐震性能試験と実物大供試体を用いた組立試験および載荷試験を行った。



荒井 信章



別所 辰保



山本 博輝



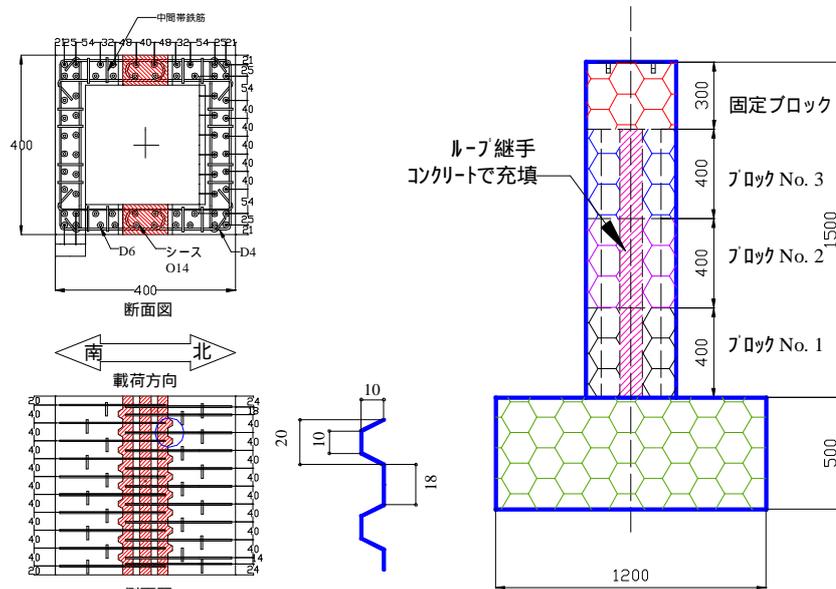
内野 修

(1) 耐震性能試験

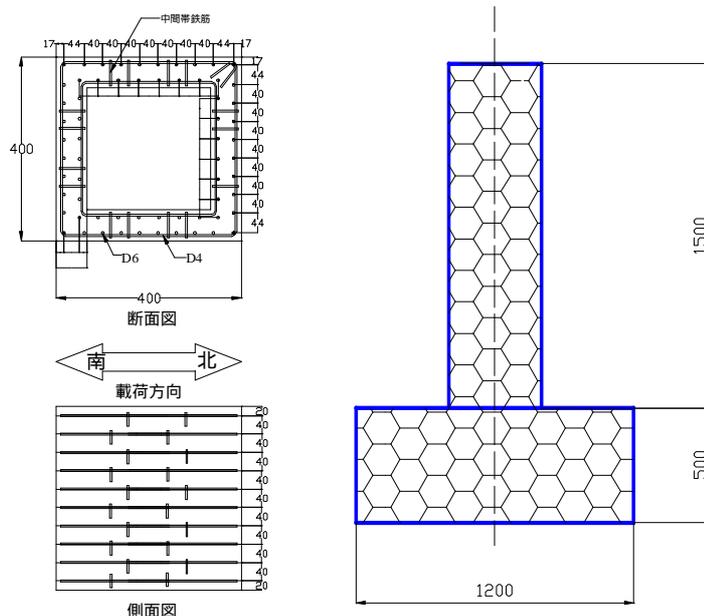
1) 供試体

供試体は中空正方形断面とした。実構造物との縮小率は 1/7.5 である。供試体 No.1 は、PCa コンクリート柱であり、縦と横に分割したブロックの横方向の接合にはループ継手を用いた。縦方向の接合は、PCa 部材にあらかじめ埋め込まれたシースに軸方向鉄筋をモルタルグラウトで定着する方法である。軸方向鉄筋は、フーチングとの定着を考慮し、必要定着長以上にフーチングに挿入している。ブロックの上下間の接合面は型枠仕上げであるため平滑である。接合面はエポキシ樹脂にて接着する。供試体は自重のみで接合している。実施工では、ブロックの上下間は型枠面またはマッチキャスト方式で製造する。接合面はエポキシ樹脂にて接着し、PC 鋼棒により 0.5N/mm² 程度のプレストレスを与えて接合する。以前に PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験²⁾を行い、ブロックの上下間を接合した場合について鉄筋コンクリート(以下 RC)柱と同程度以上の耐力を確認している。

供試体 No.2 は、No.1 と同諸元の RC 柱である。フーチング部を打設後、接合面を粗面仕上げし、柱部を打設する。形状寸法を図-1 に、供試体 No.1 作成のフローを図-2 に示す。供試体制作状況を写真-1~4 に、供試体を写真-5, 6 に示す。



供試体No.1



供試体No.2

図-1 ブロックの形状寸法

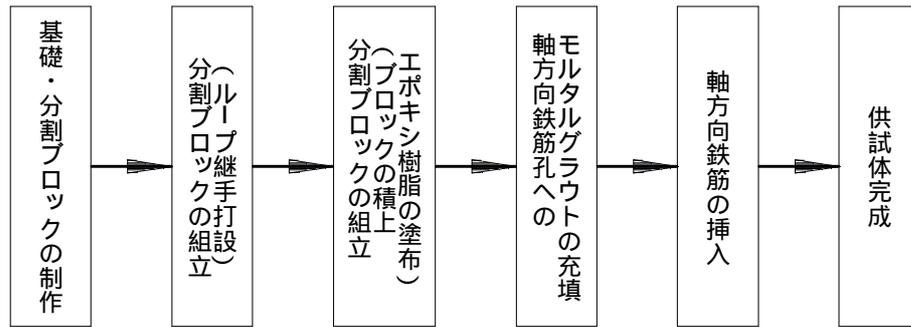


図-2 供試体 No.1 作成のフロー



写真-1 供試体 No.1 ループ継手



写真-2 供試体 No.1 ループ継手組立

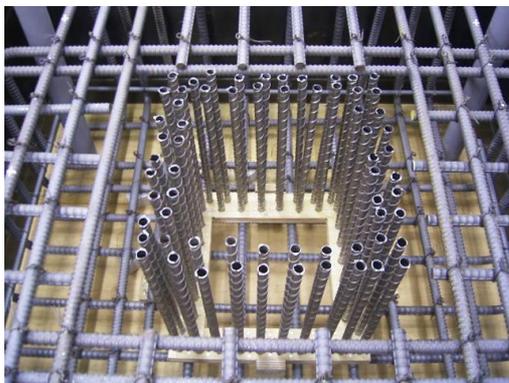


写真-3 供試体 No.1 フーチング シース配置



写真-4 供試体 No.2 配筋状況



写真-5 供試体 No.1



写真-6 供試体 No.2

2) ループ継手

ループ継手は PC 床版設計・施工マニュアル(案)¹⁾の RC ループ継手の設計に基づき設計を行った。RC ループ継手長算出は DIN1045 によるものである。

必要継手長 $La = f \cdot a_o \cdot (A_{se}/A_{sv}) \cdot k \quad 1.5dB$

f : 鉄筋の定着形状による係数
フック付き鉄筋, ループ鉄筋に対して 0.5

a_o : 基本定着長
 $a_o = (s a / 4 \quad o a) \cdot$

s a : s(鉄筋の降伏強度) / 設計安全係数
 $= 311 / 1.75 = 178 \text{ N/mm}^2 (1744 \text{ kgf/cm}^2)$

o a : c_k=40N/mm² に対して o a=2.4N/mm² (24kgf/cm²)
: 鉄筋の公称直径

A_{se} : 必要鉄筋断面積/配置鉄筋断面積 1/3
/A_{sv} ここでは, 1.0 とする。

k : 継手鉄筋のずれ量の影響を考慮した係数
重ね継手位置が一断面に集中する場合, 2.2

d_B : 鉄筋曲げ直径

$La = 0.5 \times 1744 / (4 \times 24) \times 0.4 \times 1.0 \times 2.2 = 8.0 \text{ (cm)} \quad 1.5 \times 4.8 = 7.2$

よって, 供試体のループ継手長は 8.8cm であり, 必要継手長の 8.0 cm を満足している。ループ継手詳細図を図-3 に示す。

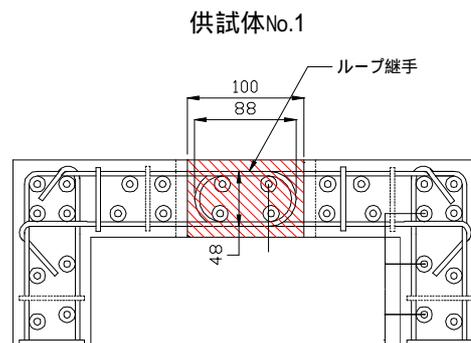


図-3 ループ継手詳細図

2) 材料

・ 鉄筋

軸方向鉄筋には異形鉄筋を用いた。表-1 に鉄筋の特性値を示す。

・ モルタル

供試体は, 鉄筋のあきおよび充填性を考慮して, コンクリートの代わりに同強度のモルタルを用いた。石灰石微粉末を混和材として用い, 高流動性能を高めたモルタルとした。表-2 に試験時供試体の圧縮強度試験結果を示す。

・ モルタルグラウト

鉄筋のグラウト接合継手用のプレミックスモルタルを用いた。流動性から水セメント比を 0.40 と決め, 流動性を長時間保つために遅延材を添加した。圧縮強度試験結果を表-2 に示す。

表-1 鉄筋の特性値

鉄筋 No.	降伏強度 N/mm ²	降伏ひずみ ×10 ⁻⁶	ヤング係数 N/mm ²	引張り強さ N/mm ²
D4	311	2200	1.9×10 ³	526
D6	342	2150	2.1×10 ³	568

表-2 試験当日の圧縮強度

供試体 No.	フーチング N/mm ²	モルタル N/mm ²	継手部 N/mm ²	グラウト N/mm ²
1	91.8	41.2	42.1	55.0
2	91.3	37.7	-	-

3) 計測

・ 変位計

変位計の設置位置を図-4 に示す。柱基部の鉄筋の座屈によるコンクリート表面のはらみ出しを測定するために, 変位計をフーチングから 50mm ずつ離れた箇所に 2 箇所設置した。载荷による変位制御を行うため柱頭部にも設置した。

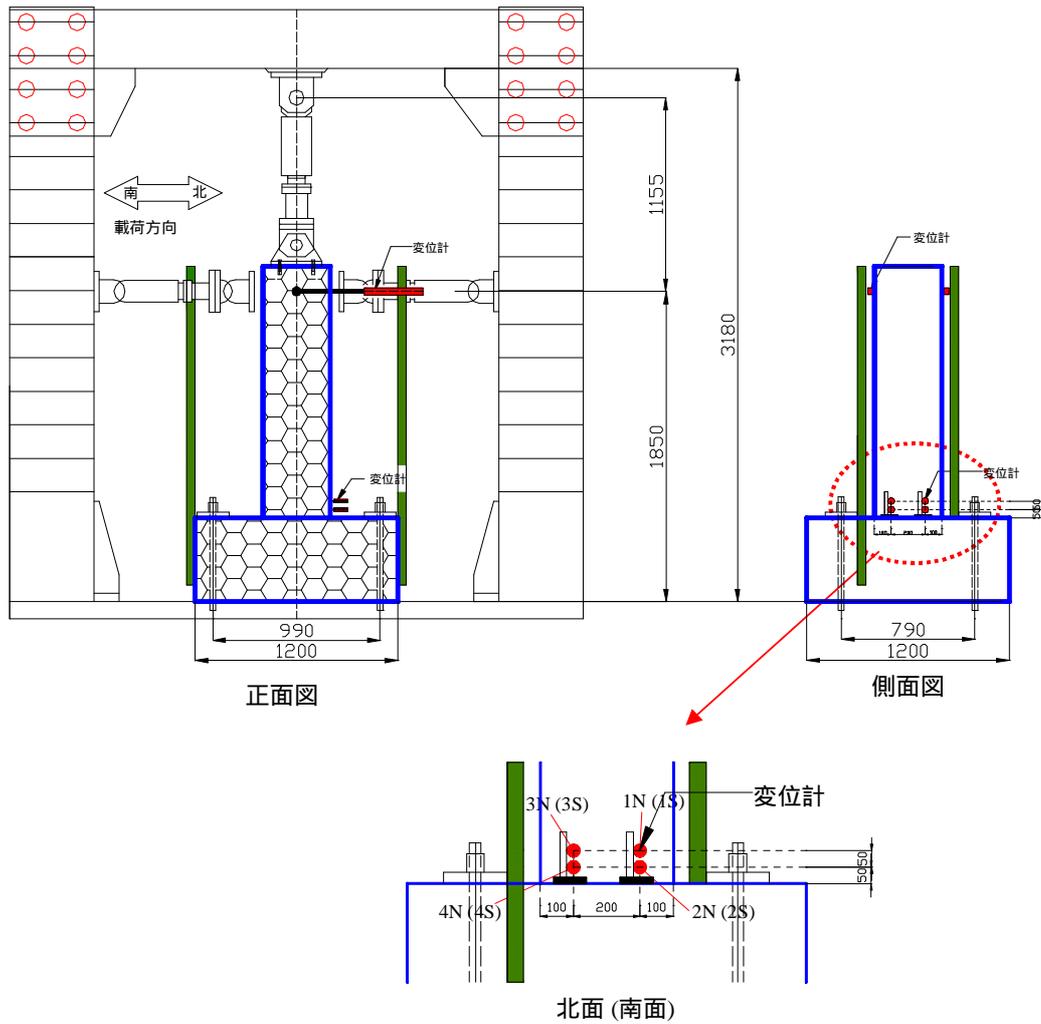


図-4 変位計設置位置

・ ひずみゲージ

ひずみゲージを軸方向鉄筋のひずみを測定するために A~D の 4 箇所設置した。ひずみゲージの位置と付番を図-5 に示す。継手部におけるせん断力の測定を目的として供試体 No.1 にひずみゲージを 12 箇所設置した。ひずみゲージ位置と付番を図-6 に示す。

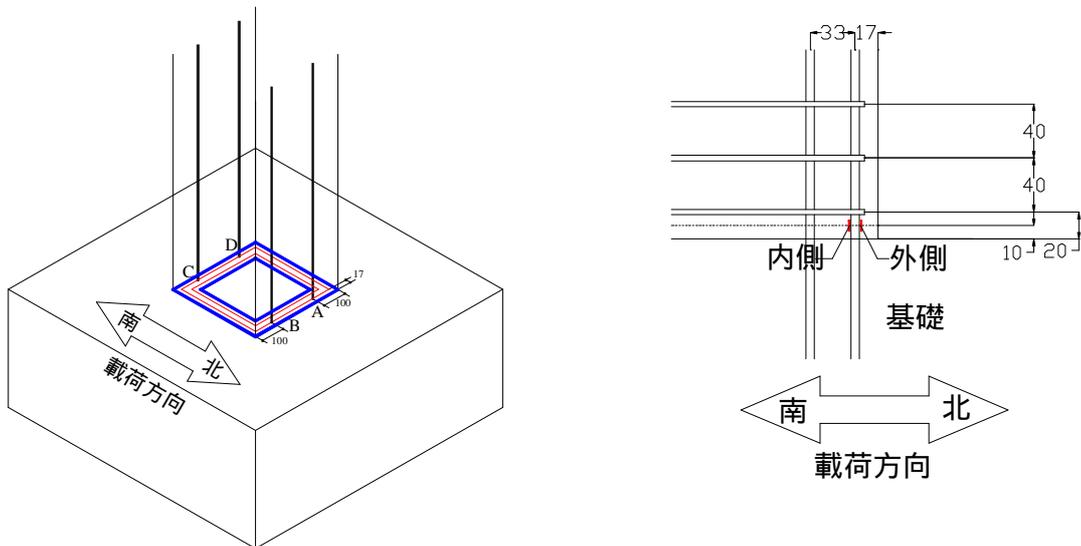


図-5 ひずみゲージ設置位置(供試体 No.1, 2)

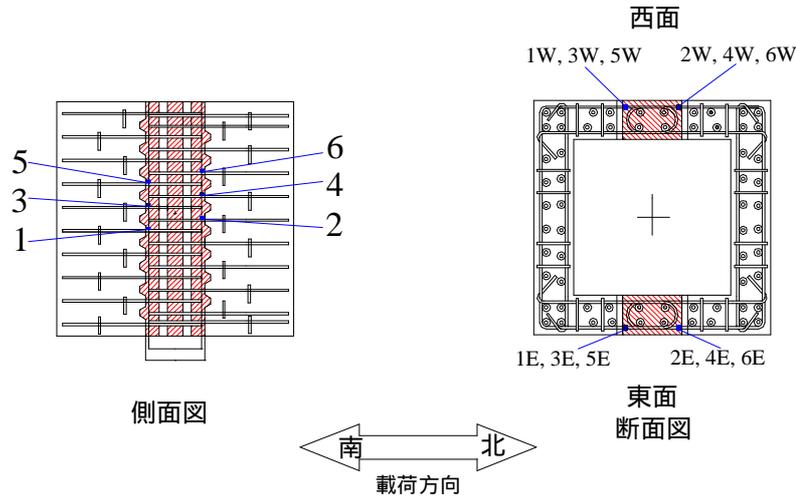


図-6 ループ継手部ひずみゲージ設置位置

4) 荷重方法

鉛直方向は軸力を 120kN(実際の 1/7.5)の一定となるように制御装置の確認を行いながらマニュアル操作で軸力を保持した。水平方向は交番繰り返しの水平荷重を荷重した。荷重方向は、ループ継手部にせん断力が作用するように、ループ継手面と平行とした。

荷重は最初の荷重ステップは水平荷重で 50kN を荷重し、それ以降は変位制御で行った。柱頭部の変位計の値をリアルタイムで測定し、マニュアル操作を行った。降伏変位 δy を 6mm として、最大変位を $\pm 2\delta y$, $\pm 3\delta y$, $\pm 4\delta y$ のように降伏変位の整数倍とした交番繰返しを行った。

荷重速度は、0.05mm/s 程度とした。軸方向鉄筋の降伏変位は、PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験²⁾の結果と比較するために、以前の実験で得られた降伏変位 y を用いた。また有限要素プログラムを使用して降伏変位を算出し、同程度の変位であることを確認した。

荷重装置図を図-7 に、荷重ステップを図-8 に、実験状況を写真-7 に示す。

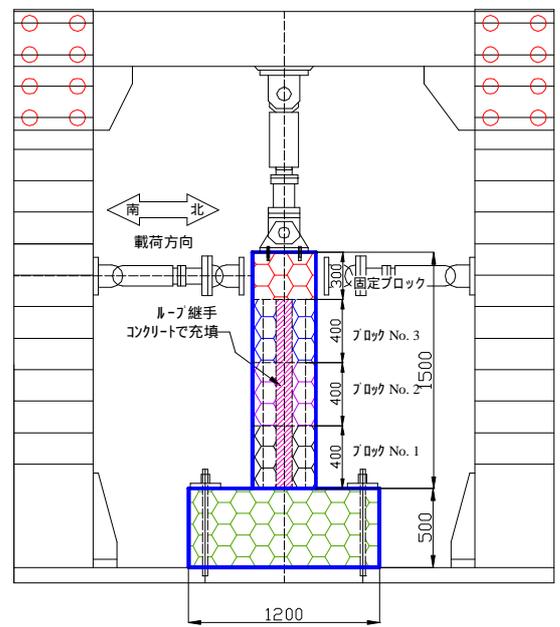


図-7 荷重装置図

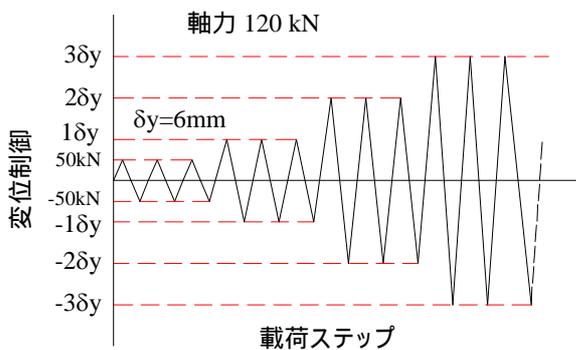


図-8 荷重ステップ



写真-7 実験状況

(2) 組立試験および載荷試験

1) 供試体

供試体の形状は下記の通りである。

外径 3500mm 部材厚 350mm

外径 φ3500mm の部材を用い 2 分割し、ループ継手により接合を行った。PCa および継手部は同等の設計基準強度(40N/mm²)のコンクリート打設を行った。また、継手部の接合面は粗面仕上げを行っている。供試体

はループ継手の有無を考慮し、4 体製作した。供試体諸元を表-3 に、供試体図面を図-9 に示す。

表-3 供試体諸元

供試体 No.	部材高 (mm)	ループ継手	用途
1	500	無	曲げ試験
2	500	有	曲げ試験
3	1000	無	せん断試験
4	1000	有	せん断試験

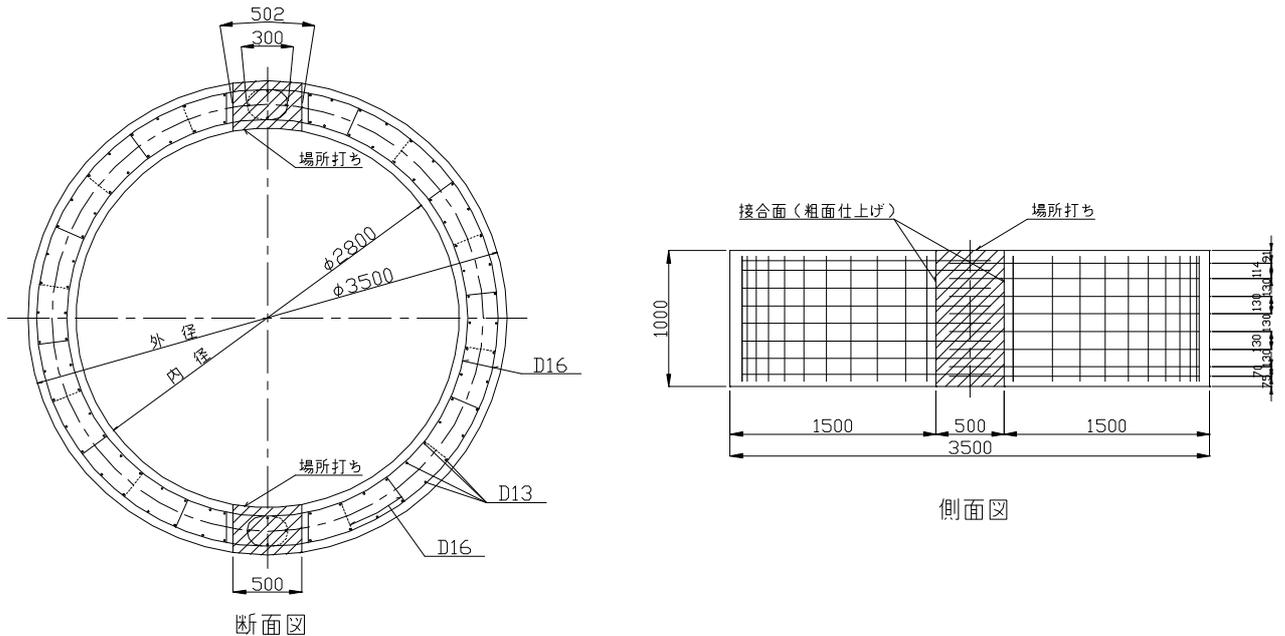


図-9 供試体図面

2) ループ継手

耐震性能試験と同様にの RC ループ継手の設計に基づき設計を行った。

必要継手長 $La = f \cdot a_o \cdot (A_{se}/A_{sv}) \cdot k \quad 1.5dB$

f : 鉄筋の定着形状による係数
フック付き鉄筋, ループ鉄筋に対して 0.5

a_o : 基本定着長
 $a_o = (sa/4 \quad oa) \cdot$

sa : 道路橋示方書より 1600kgf/cm²

oa : $ck=40N/mm^2$ に対して $oa=2.4N/mm^2 (24kgf/cm^2)$

: 鉄筋の公称直径

A_{se}k : 必要鉄筋断面積/配置鉄筋断面積 1/3

/A_{sv} : ここでは, 1.0 とする。

k : 継手鉄筋のずらし量の影響を考慮した係数
重ね継手位置が一断面に集中する場合, 2.2

dB : 鉄筋曲げ直径

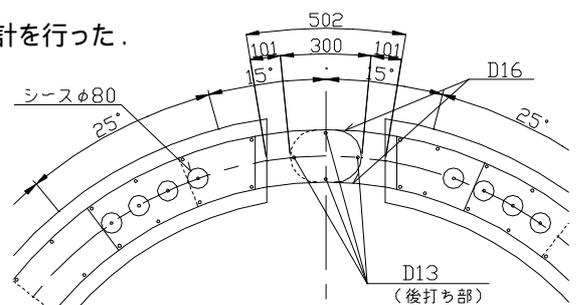


図-10 ループ継手詳細図

$La = 0.5 \times 1600 / (4 \times 24) \times 1.6 \times 1.0 \times 2.2 = 29.3 (cm) \quad \setminus \quad 1.5 \times 20 = 30 (cm)$

よって、供試体のループ継手長は、必要継手長の 30.0 cm とした。ループ継手詳細図を図-10 に示す。

3) 荷重試験

荷重試験は、曲げ・せん断荷重試験を行った。荷重方法は、図-11のように No.1～No.4 供試体をそれぞれ1体ずつ架台上に設置し、荷重を行った。供試体は片持ち支持とし、曲げ試験体は1点荷重、せん断試験体は2点荷重とした。荷重概要図のように、供試体を設置する架台には高さ 2.0m の継手のないプレキャストケーソンと半割りの状態のプレキャストケーソンを用い、PC鋼棒を用いプレストレスによって供試体と接合した。荷重はPC鋼棒とセンターホールジャッキを用いた。

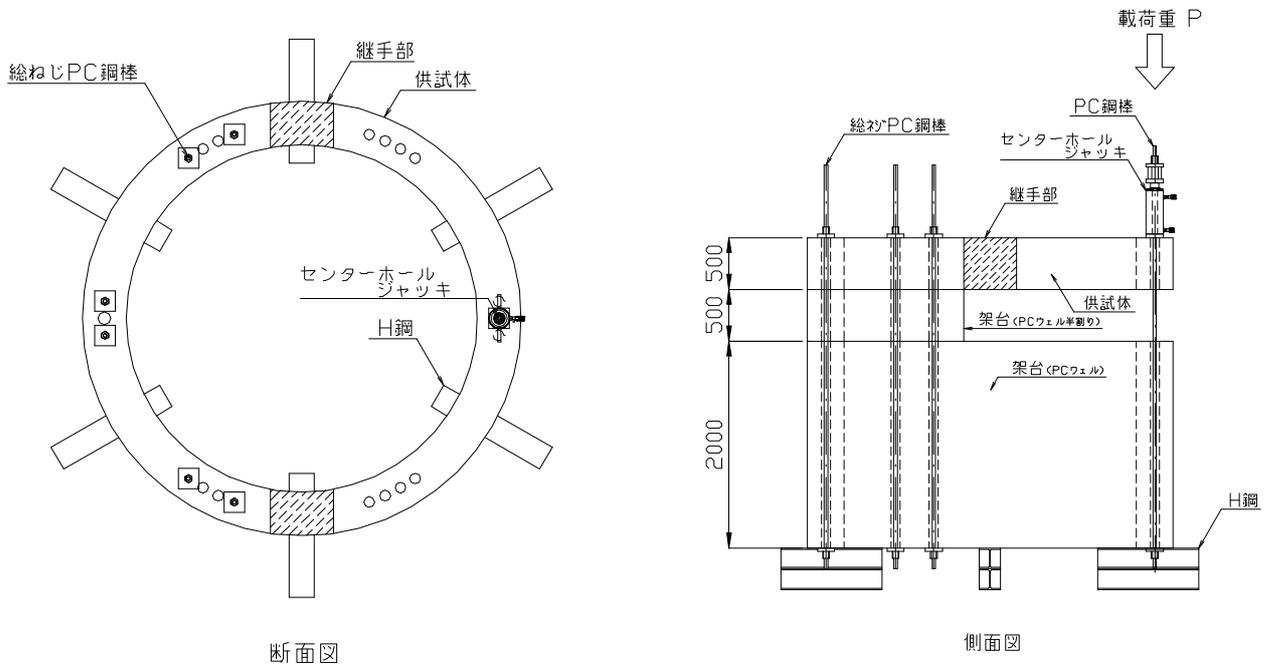


図-11 荷重装置図

3. 試験結果

(1) 耐震性能試験

1) ループ継手部のせん断挙動

供試体 No.1 において、ループ継手部のループ筋に貼付した 12 カ所のひずみゲージのうち 3 カ所が鉄筋の降伏を示した。しかし、ひび割れの状況は終局時に至るまで供試体 No.2 と同じであり、せん断による損傷は見られなかった。供試体のひび割れを写真-8・9 に、ループ筋ひずみゲージ値を図-12 に示す。

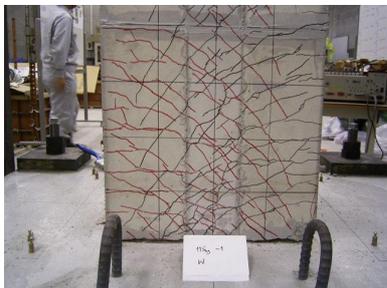


写真-8 供試体 No.1 ひび割れ

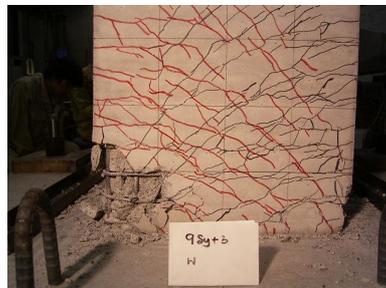


写真-9 供試体 No.2 ひび割れ

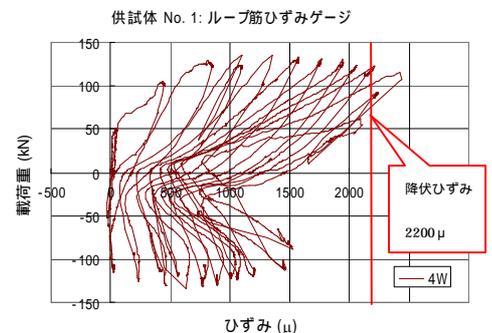


図-12 ループ筋ひずみゲージ値

2) 破壊状況

供試体 No.2 では、9 δ_y のときに、軸方向鉄筋の座屈とともに、かぶりコンクリートが剥落した。軸方向鉄筋の座屈は、コンクリート表面の相対変位と目視によって確認した。供試体 No.1 では、フーチングと柱の接合部に生じたひび割れが荷重の上昇とともに拡大した。10 δ_y のときに、軸方向鉄筋の破断が始まった。軸方向鉄筋の座屈によるはらみ出しは観測されなかった。供試体破壊状況を写真-10～12 に示す。



写真-10 供試体 No.2 破壊状況

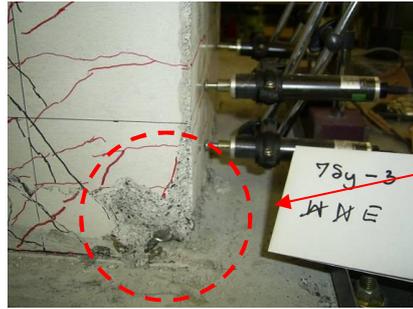


写真-11 供試体 No.1 破壊状況

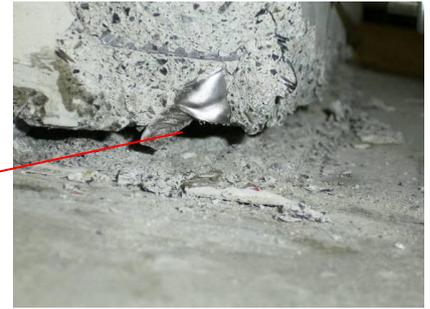


写真-12 供試体 No.1 破壊状況

3) 荷重-変位関係

荷重-変位関係の履歴図および包絡線を図-13～15に示す。供試体 No.1の最大荷重は供試体 No.2よりも大きい。これは、シーリング中のモルタルグラウトの強度が供試体 No.2のそれよりも大きいためであると思われる。両供試体において、荷重は $9\delta_y$ から $10\delta_y$ にかけて大きく下がっている。この結果から、両供試体の終局変位は $9\delta_y$ であり、PCaコンクリート柱(供試体 No.1)のじん性は通常のRC柱(供試体 No.2)と同等であるといえる。

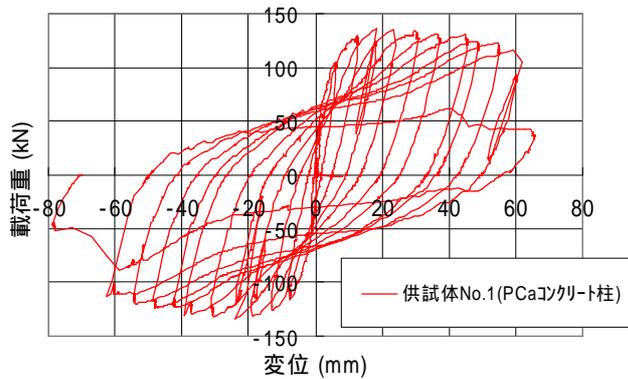


図-13 荷重-変位関係の履歴図

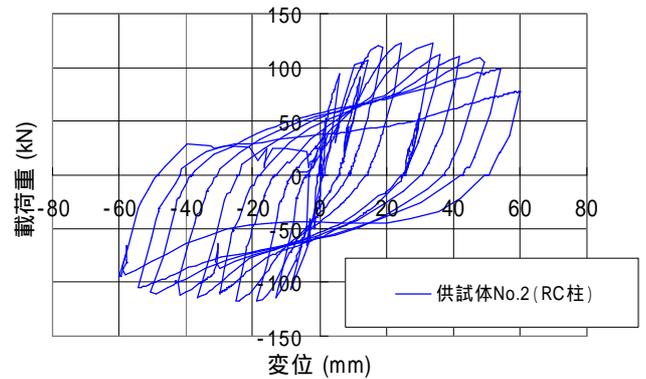


図-14 荷重-変位関係の履歴図

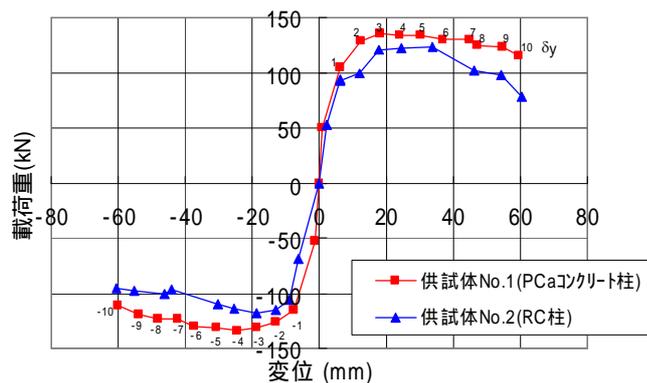


図-15 荷重-変位関係の包絡線

(2) 組立試験および載荷試験

1) 組立精度

組立では、H鋼により水平に作業架台を製作し、クレーンを用いて片側を荷台上に設置し固定した。続いて、もう片側をループ鉄筋が干渉しないように横にスライドさせながら設置した。その後、継手部に型枠を設置してコンクリート打設を行った。写真-13は部材の設置状況であり、写真-14は継手部施工後の状況である。表-4に組立精度を示す。



写真-13 部材設置状況



写真-14 継手部施工後

表-4 組立精度

供試体 No.	外 径	計測値 (D1)	計測値 (D2)	摘 要
		継手方向	継手直角方向	
2	3,500	3,501	3,502	
4	3,500	3,500	3,498	
誤差	最大値	+1	+2	許容値: +6, -3
	最小値	±0	-2	許容値: +6, -3

組立精度試験の結果は、外径 3,500mm に対し、誤差±2mmの精度であり、プレキャストケーソン単体ブロックの製作精度を満足するものであった。

2) 載荷試験

・ 曲げ載荷試験

曲げ載荷試験に使用した供試体と、破壊荷重を表-5 に、荷重-変位関係の包絡線を図-16 に示す。

表-5 より No.1, No.2 供試体の破壊荷重は、ほぼ同値であることがわかる。破壊形態はどちらの供試体も、曲げ圧縮破壊をしていることが確認された。

図-16 より、No.1, No.2 供試体は、ほぼ同じ荷重-変位関係であることがわかる。破壊荷重もほぼ同等であることから、ループ鉄筋を用いることによって、連続した鉄筋と同等の曲げ耐荷性状を発揮し得たと考えられる。

表-5 曲げ破壊荷重

供試体 No.	部材高	ループ 継手	破壊荷重 (kN)	破壊形態
	(mm)			
1	500	無	159	曲げ破壊
2	500	有	160	曲げ破壊

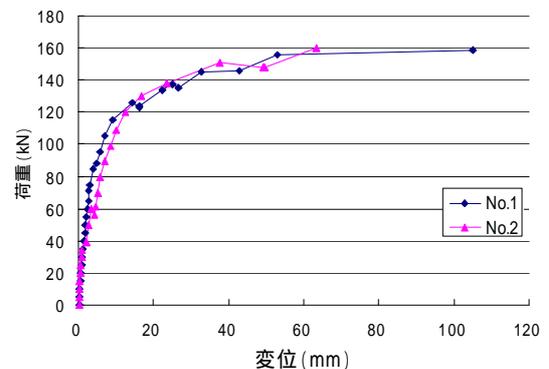


図-16 荷重-変位関係の包絡線

・せん断載荷試験

せん断載荷試験に使用した供試体と、破壊荷重を表-6に、荷重-変位関係の包絡線を図-17に示す。

表-6より、破壊荷重はNo.3, No.4 供試体ともほとんど差はなくせん断破壊を示し、継手の有無による最大荷重への影響は無いことが確認された。

図-17より、継手のないNo.3 供試体と、ループ継手を有するNo.4 供試体の荷重-変位関係の包絡線を比較すると破壊までの履歴に差はない。破壊荷重もほぼ同等であることから、ループ鉄筋を用いることによって、連続した鉄筋と同等のせん断耐荷性状を發揮し得たと考えられる。

表-6 せん断破壊荷重

供試体 No.	部材高 (mm)	ループ 継手	破壊荷重 (kN)	破壊形態
3	1000	無	937	せん断破壊
4	1000	有	943	せん断破壊

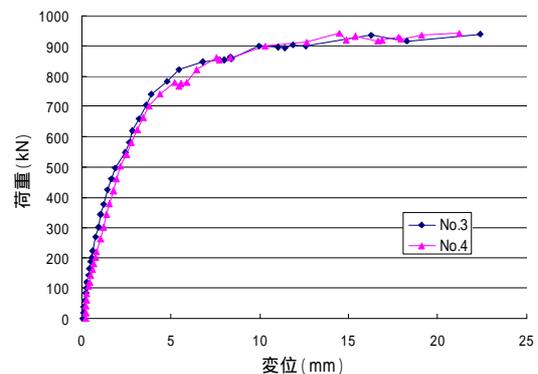


図-17 荷重-変位関係の包絡線

4. まとめ

(1) 耐震性能試験

- 1) PCa コンクリート供試体の最大荷重は、RC 供試体よりも大きい結果となった。
- 2) ループ継手を用いた接合は、地震荷重下における面内せん断力に対して十分な強度を有している。
- 3) ループ継手で接合し、鉄筋を後挿入する PCa コンクリート供試体のじん性は、通常の RC 供試体と同等であった。

(2) 組立試験および載荷試験

- 1) 組立精度は良好で、セグメント組立時の真円性を確保できることが確認された。
- 2) ループ継手を用い接合した部材は、連続した鉄筋と同等の曲げ・せん断耐荷性状を發揮した。

5. おわりに

PCa 橋脚およびケーソンにおける PCa 部材の接合方法として、経済性が高く実績の多数あるループ継手を提案し、既存の実験で確認されていない性能の試験を行った。その結果、ループ継手は耐震性能が高く、実施工に適していることが確認された。

謝辞

本試験において、終始、ご指導ご協力をいただいた高知工科大学 島 弘 教授および学生の方々に深謝の意を表します。また、ループ継手に緊張力を導入するシステムに関しては、本社 機工部の協力を得た。

参考文献

- 1) 社団法人プレストレストコンクリート建設業協会: PC 床版設計・施工マニュアル(案), 平成 11 年 5 月
- 2) 中井, 塩井他: PRC プレキャスト部材の一接合法に関する耐震性能試験, コンクリート工学協会誌, Vol.38,
- 3) 丹羽, 黒田他: プレキャスト・場所打ちコンクリート接合部に用いる鉄筋継手方法の実験的研究, コンクリート工学論文集, Vol.15-2, 2004.5, pp.99-107