

土留め構造物用等边角型 PC パイルの 継手部に関する実験的研究

中村 敏之*1・佐藤 祐輔*2・阿部 浩幸*3・原 健悟*4

1. はじめに

土留め構造物用等边角型 PC パイル（以下、PC 壁体と称する）とは、円形の中空を有した矩形のプレキャスト PC 土留め杭である。高い剛性を有しているため構造形式は自立式杭であり、仮設材なしでそのまま土留め杭本体利用が可能である。施工は中空部を利用した中掘圧入工法で連続して打ち込み、背面地山を乱さず低騒音振動で連壁を構築する。用途としては、道路擁壁、河川護岸、地下調整池などに用いられ、近年、市街地を中心に施工実績が増加している。

通常、PC 壁体は他の PC パイルと同様に遠心成形によって製造され、座板どうしを溶接により継ぐことで、長尺も可能としている。著者らは従来から通常のプレテンアバットを保有した工場での製造、ならびに継杭としての性能保証を目的に、かつコストパフォーマンスのよい製造を目指した PC 鋼材偏心配置による PC 壁体を提案している。

本研究では、その製造方法および曲げ性能の実証実験について報告する。

2. PC 壁体の構造概要

PC 壁体は、部材の中空部にオーガスクリューを挿入して、現地盤から先端部を掘削しながら上方に排土し、圧入によって所定の位置まで沈設する。その後、片側を設計地盤まで掘削することによって土留め壁を構築する。PC 壁体部材は、断面寸法が□500（等辺 500 × 500 mm）から□900（等辺 900 × 900 mm）まで 100 mm 間隔で規格化されており、有効プレストレスによって A 種（ $\sigma_c = 4 \text{ N/mm}^2$ ）、B 種（ $\sigma_c = 8 \text{ N/mm}^2$ ）、C 種（ $\sigma_c = 10 \text{ N/mm}^2$ ）に分類される。断面や有効プレストレスの選定は、壁高さや現場条件によって決定され、その組合せで□500A 種などと種別される。部材 1 本の長さは運搬や杭打ち機能力の制約から 5 ~ 15 m としている。それ以上の長さが必要な場合は、下部材を沈設後、上部材を重ねて、端面に取り付けた鋼製の継手座板を現場溶接することによって接合する。PC 壁体は曲げ剛性が高いため、控え杭や土留めアンカーを必要としない自立式工法により壁高さ 3 ~ 9 m までの自立式壁体構造に対応している。また、上部工反力を負担する場合は、継杭とすることによって、支持地盤まで貫入し、先端根固めで支持力を得ることができる。PC 壁体の土留め構造を図

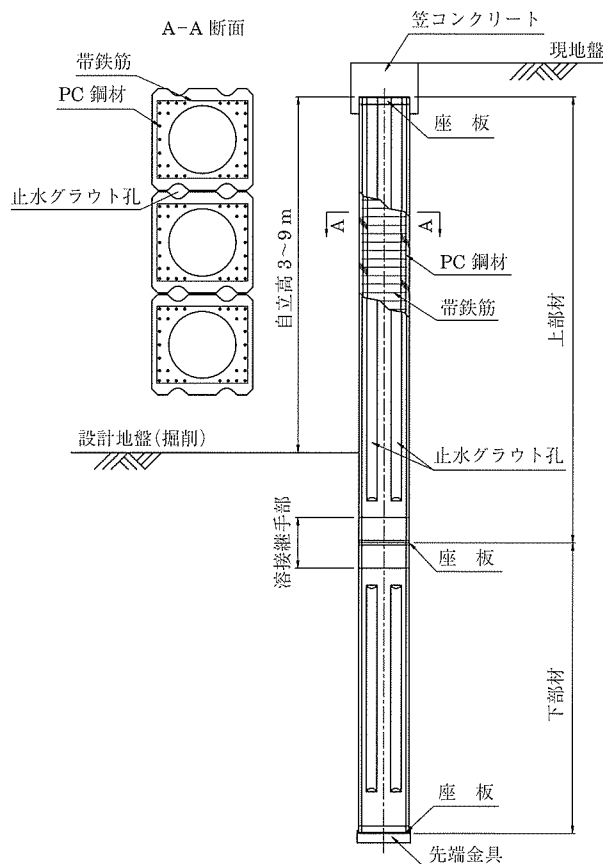


図 - 1 PC 壁体の土留め構造

- 1 に示す。

3. 溶接継手部構造

杭の継手は、標準部と同等の性能が求められる。これらを満足するためには、部材端部のプレストレスロスや端部座板とコンクリートとの界面の開きを制御することが必要である。そのため、遠心成形で製造される場合は、先端ボタンヘッド加工した PC 鋼棒を端部座板に定着することにより、端部のプレストレスの減少を抑え、全長にわたり必要なプレストレスを与える構造となっている。一方、PC 工場製造する場合、PC 鋼材の配置は製造ライン全長にわたり、両端部のアバットに定着する。その途中に配置された型枠にコンクリートを打設後、所定の強度となったとこ

*1 Toshiyuki NAKAMURA : オリエンタル建設(株) 本社 技術部

*2 Yusuke SATO : オリエンタル建設(株) 本社 技術部

*3 Hiroyuki ABE : オリエンタル建設(株) 本社 海外事業部

*4 Kengo HARA : オリエンタル建設(株) 本社 技術研究所

ろでアバット間の緊張力を開放し部材にプレストレスを与える。そのとき、一般的に部材端部からPC鋼材径の65倍の位置までプレストレスロスが発生する。PC壁体を製造する場合、このプレストレスロスにより部材端部の有効プレストレスが所定値とならず、また、遠心成形方法におけるボタンヘッド加工したPC鋼棒の定着と比較して座板がコンクリートに一体化されていないことによって、溶接継手部の性能が満足しないものであった。

そこで端部のプレストレスロスを低減するために、アバット間に配置したPC鋼材の座板部分をネジ加工した異形細径PC鋼棒に置き換え、プレストレス導入前に座板にナット定着することとした。また、座板とコンクリートを一体化し、応力伝達を改善するため、座板に鉄板(補強バンド)を巻いて溶接し、補強バンドにフープ鉄筋を溶接固定する補強構造を考案した。これまでに□600C種で3種類の補強構造について実証実験を行い、このバンド-フープ筋補強構造のみが良好な結果を得られたことが報告されている²⁾。そこで今回は、PC壁体のなかで最大、かつ□600C種の約3倍の設計耐力である□900C種について、同様な構造が性能を満足することを確認した。図-2にバンド-フープ筋補強の溶接継手部構造を示す。

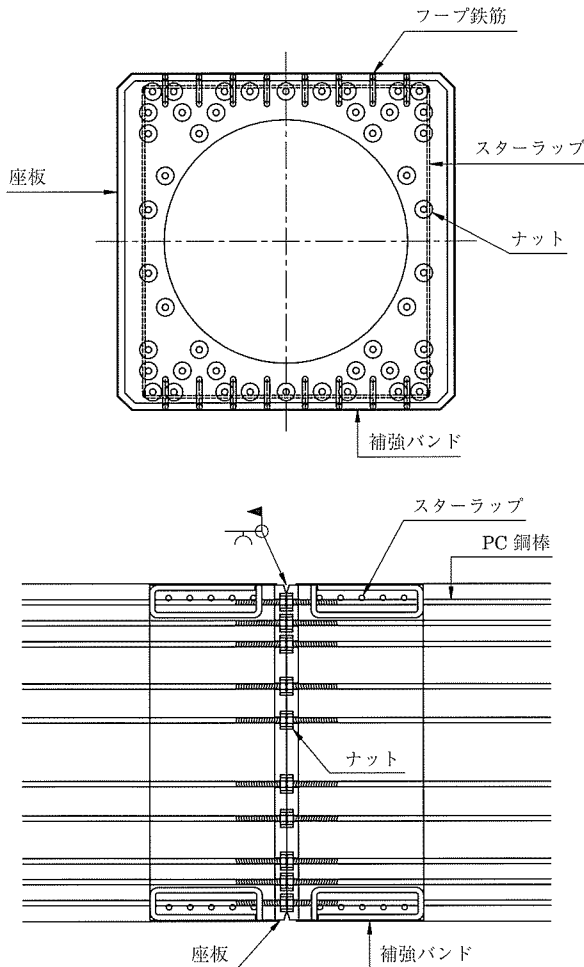


図-2 溶接継手部構造

4. PC鋼材偏心配置構造

4.1 設計概念

PC壁体部材は、主に背面土からの土圧、水圧などの外力に対して、コンクリート応力度と頂部変位が許容値を満足するように設計される。図-3に示すように、自立式の土留め壁などの場合、その断面には外力によって背面土側には引張応力、掘削面側には圧縮応力が作用し、頂部は掘削面側に変形する。従来の部材はPC鋼材を図心に配置し、外力による発生応力度にかかわらず、断面一様にプレストレスを与えている。そこで、PC鋼材を図心を断面の引張側に偏心配置することにより、引張応力および圧縮応力に対して有効にプレストレスを与える構造とした。また、プレストレスによる部材の反りを背面土側に発生させることにより頂部の倒れを小さくすることができる。コストパフォーマンスの面でも、PC鋼材を偏心させることによって、鋼材本数が減少することで経済的となり、それにともない緊張力が減少することでアバットへの負担が軽減できるという利点がある。

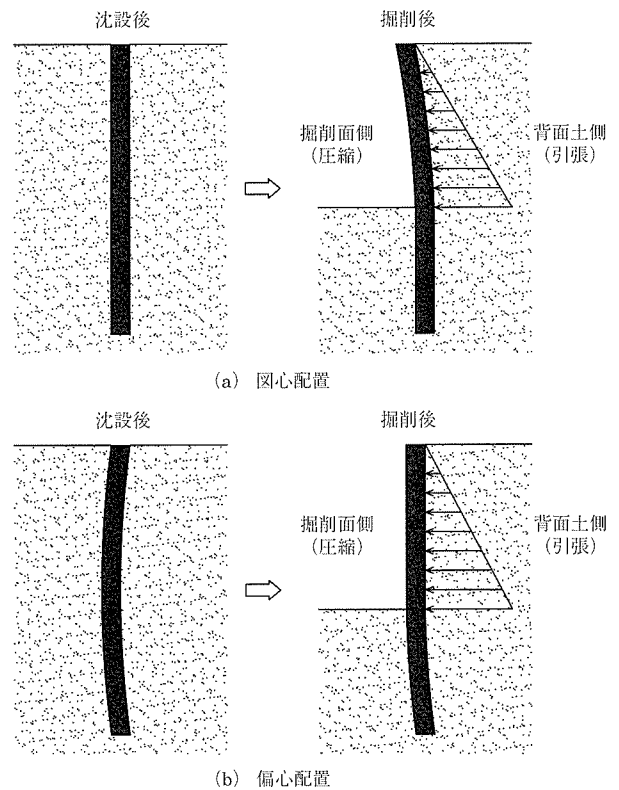


図-3 設計概念

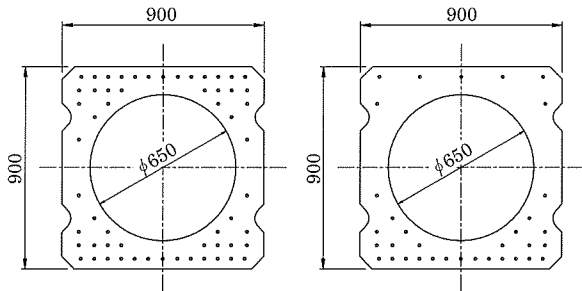
4.2 PC鋼材を偏心配置とした部材の設計

PC鋼材を偏心配置とした部材の設計は、有効プレストレス量、反り量および曲げ耐力を制限するものとした。

一般的にPC壁体部材は、標準規格の曲げ性能以上を有するものとして設計される。有効プレストレスによってA種、B種、C種に分類され、PC鋼材を図心に配置することにより、断面一様に所定の有効プレストレスを与えている。

それに対し、PC 鋼材偏心配置では、設計時に引張応力の作用する背面土側のみ在所定の有効プレストレス以上を与えるものとし、圧縮応力の作用する掘削面側ではプレストレス導入直後に引張応力を発生させない PC 鋼材配置とした。反り量の制限は、中掘圧入施工時に中空部表面とオーガスクリューが干渉しない 30 mm 以内とした。曲げ耐力については、標準規格以上の性能を有するものとした。

ここで、□900C 種の PC 鋼材図心配置と偏心配置の断面図を図 - 4 に、設計断面性能を表 - 1 に示す。なお、反り量の計算は部材長 15 m、材齢 90 日における値としている。



(a) □900C 種 PC 鋼材図心配置 (b) □900C 種 PC 鋼材偏心配置

図 - 4 PC 鋼材図心配置と偏心配置

表 - 1 設計断面性能

		標準規格	図心	偏心
タ イ プ		□900C 種		
コンクリート強度		60 N/mm ²		
鋼材種類		—	φ 12.6	
鋼材本数	本	—	58	34
緊張力	kN	—	7 613	4 463
有効プレストレス	掘削面側	N/mm ²	10	10.3
	背面土側	N/mm ²	10	13.0
許容モーメント	常時	kN・m	1 054	1 128
	地震時	kN・m	1 476	1 565
基準モーメント	ひび割れ	kN・m	1 581	1 674
	破壊	kN・m	3 232	3 519
反り (L = 15m, 材齢 90 日)	mm	—	- 3.6	26.3

5. 試験体概要

5.1 試験体および断面諸元

試験体は、PC 壁体 □900C 種、L = 7 m を使用し、2 体の継手座板を溶接することにより L = 14 m の継杭とした。また、PC 鋼材は図 - 4 (b) に示す偏心配置とした。試験体製作は、PC 工場において通常のプレテンアバットを用いて振動締固め方式にて行なった。試験体形状および配筋図を図 - 5 に示す。表 - 2 に試験体断面諸元を示す。

表 - 2 試験体断面諸元

高さ×幅		mm	900 × 900
PC 鋼材	径	mm	12.6
	本数	本	34
コンクリート断面積	総断面	cm ²	4 588
	換算断面	cm ²	4 831
断面 2 次モーメント	総断面	cm ⁴	4 409 979
	換算断面	cm ⁴	4 716 154
基準曲げモーメント	ひび割れ	kN・m	1 887
	破壊	kN・m	3 254

継手部構造として、厚さ t = 28 mm の接合鉄板 (SM490) に溶接された厚さ t = 3.2 mm の補強バンド (SS400) の上下面に D 13 フープ鉄筋を溶接固定し、そのフープ鉄筋に D 13 スターラップを配置する形状とした。スターラップは、標準部は D 6 を配置しているが、補強バンド内では D 13 を採用した。溶接継手部座板形状を図 - 6、写真 - 1 に示す。

5.2 使用材料

(1) コンクリート

使用したコンクリート (設計基準強度 $f_{ck} = 60 \text{ N/mm}^2$) の方配合を表 - 3 に、材料特性を表 - 4 に示す。

(2) PC 鋼材

使用した PC 鋼材の規格を表 - 5 に示す。

5.3 プレストレス導入

(1) PC 鋼材緊張力

計画上の PC 鋼材初期緊張力を、ナット定着によるプレ

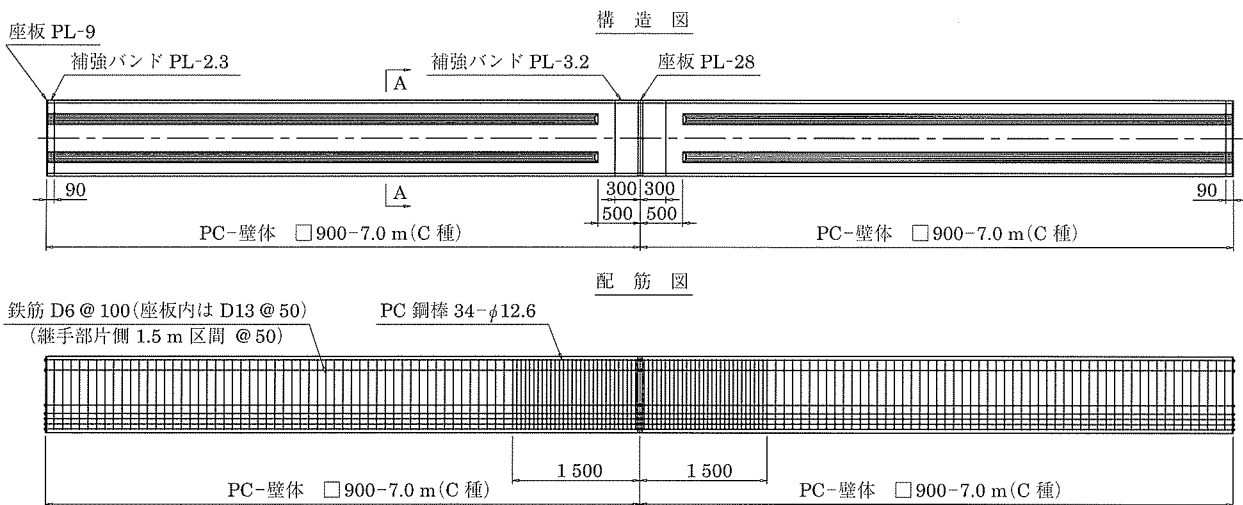


図 - 5 試験体形状および配筋図

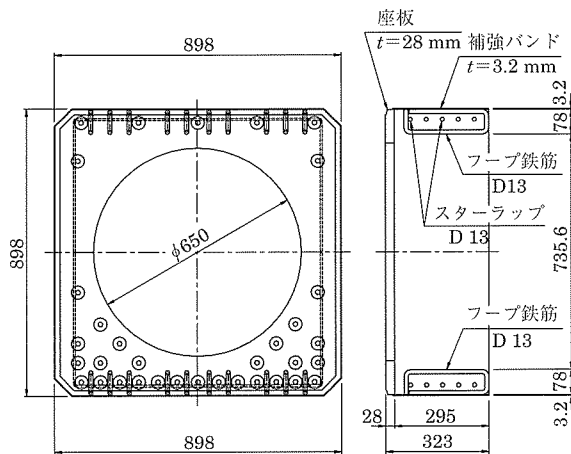


図 - 6 継手部座板形状

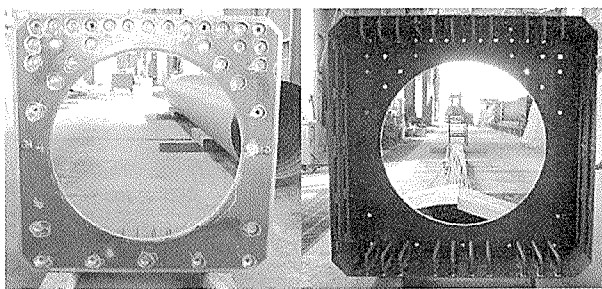


写真 - 1 溶接継手部座板

表 - 3 コンクリートの示方配合

W/C %	S/A %	水 kg	セメント kg	細骨材 kg	粗骨材 kg	混和剤 kg
36	40	150	417	715	1 093	3.96

表 - 4 コンクリートの材料特性

荷重試験時	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²
材齢 26 日	70.0	5.1	41.1

表 - 5 PC 鋼材の規格

異形細径 PC 鋼棒：SBPD φ 12.6			
断面積 mm ²	引張強度 N/mm ²	降伏強度 N/mm ²	弾性係数 kN/mm ²
125	1 420	1 275	200

ストレスロスを考慮して

$$\sigma p_i = 1 150 \text{ N/mm}^2$$

$$P_i = \sigma p_i \cdot A_p = 1 150 \times 125 = 144 \text{ kN}$$

とした。緊張力は PC 鋼材のアバットに設置した 200 kN ロードセルにより測定した。導入緊張力は、 $P = 145 \text{ kN}$ と計画緊張力を少し上回る値であった。

(2) 反り量

プレストレス導入直後の試験体（製作時 1 体の部材長 $L = 7 \text{ m}$ ）の反り量は 3 mm であった。設計反り量は 3.5 mm であるため、ほぼ設計値どおりであった。また、2 体を接合後（ $L = 14 \text{ m}$ ）の反り量は、設計値に対して約 2 倍となった。これは、たわみ角によって座板が傾いたことによるもので、設計反り量によって製作時に座板の鉛直角度を調節することによって対処できると考える。

6. 荷重試験

6.1 荷重方法

荷重方法を図 - 7 に示す。荷重方法は、荷重スパン 1 000 mm の中央 2 点荷重とし、単純支持（支間 13.0 m）で行った。荷重試験状況を写真 - 2 に示す。荷重は 25 kN ずつ荷重し、設計ひび割れ荷重でひび割れの発生状況を確認した後に荷重除荷し、その後破壊までの漸増荷重とした。荷重ステップを図 - 8 に示す。

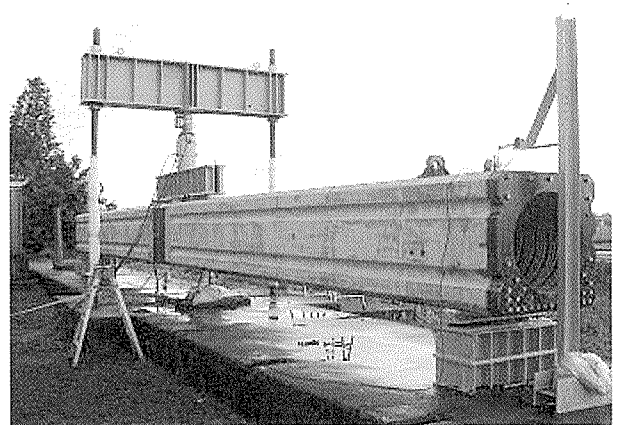


写真 - 2 荷重試験状況

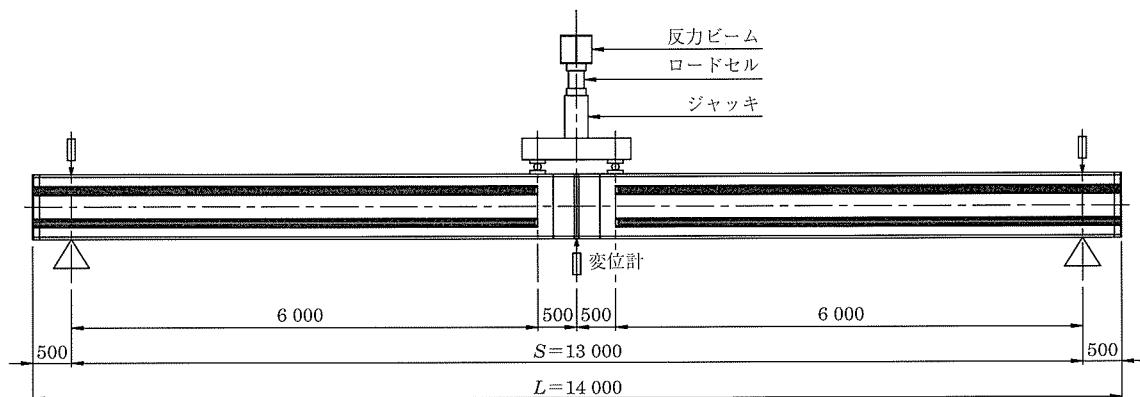


図 - 7 荷重方法

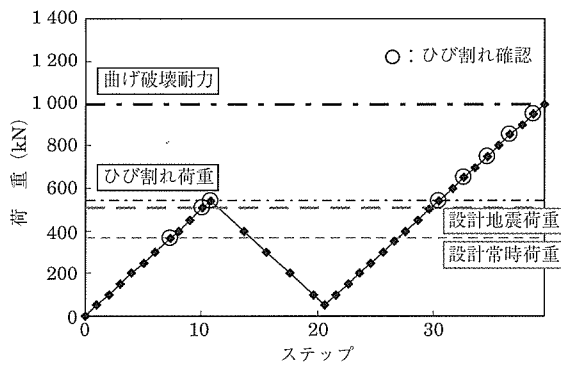


図 - 8 荷重ステップ

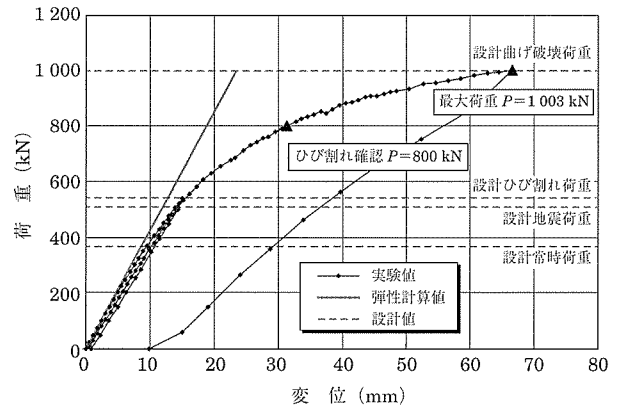


図 - 10 荷重-変位の関係

6.2 計測項目

計測項目は、たわみ、コンクリート表面ひずみおよび PC 鋼材ひずみとした。変位計は図 - 7 に示すように支間中央、支点に設置した。また、下面の補強バンドのずれを π ゲージで測定した。計測位置を図 - 9 に示す。

ひび割れの確認は、荷重途中で目視によるものとした。なお、ひび割れ発生荷重は、引張縁側コンクリート表面に目視による曲げひび割れが確認された時点の荷重とした。たわみおよび各ひずみは 25 kN ごとに計測を行い、ひび割れは設計荷重時および設計ひび割れ発生荷重時、それ以降 100 kN ごとに確認した。

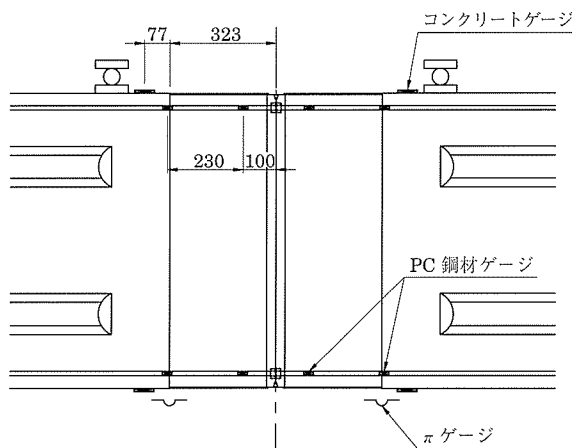


図 - 9 計測位置

6.3 試験結果および考察

(1) 変形性能および耐力

図 - 10 に荷重と接合部中央変位の関係を、表 - 6 に設計値と計測値の比較を示す。設計載荷荷重には、自重曲げモ

ーメント 237 kN・m、荷重装置重量 8.9 kN を考慮している。また、設計変位量は全断面有効弾性計算値としている。

変形性能は、設計ひび割れ発生荷重まで弾性計算結果とほぼ同じ挙動を示し、設計常時荷重においては計算たわみ量 10.1 mm に対し 94 % で十分な曲げ剛性が確認された。

耐力については、設計曲げ破壊荷重 997 kN を超える最大荷重 1 003 kN に至っても、コンクリートの圧壊や PC 鋼材の破断による荷重低下は見られなかった。最大荷重において、写真 - 3、4 に示すように、補強バンドの側面が 2 mm 程度浮いている状態が見られ、下面では π ゲージの測定値において 4.5 mm 程度のずれが見られた。

(2) ひび割れ状況

目視でのひび割れ発生は荷重 800 kN 時に確認され、設計ひび割れ発生荷重 541 kN に対して 147 % であった。図 - 11 にひび割れ発生荷重時および最大荷重時のひび割れ発生状



写真 - 3 最大荷重時の継手部の状況 (側面)

表 - 6 各設計荷重および変位と実験結果

荷重	設計曲げモーメント (kN・m)	載荷荷重 (kN)		変位量 (mm)	
		設計値	計測値	設計値	計測値
常時	1 363	366	367	10.1	9.5
地震時	1 782	506	506	13.9	13.8
ひび割れ	1 887	541	800	14.9	—
曲げ耐力	3 254	997	1 003	—	—

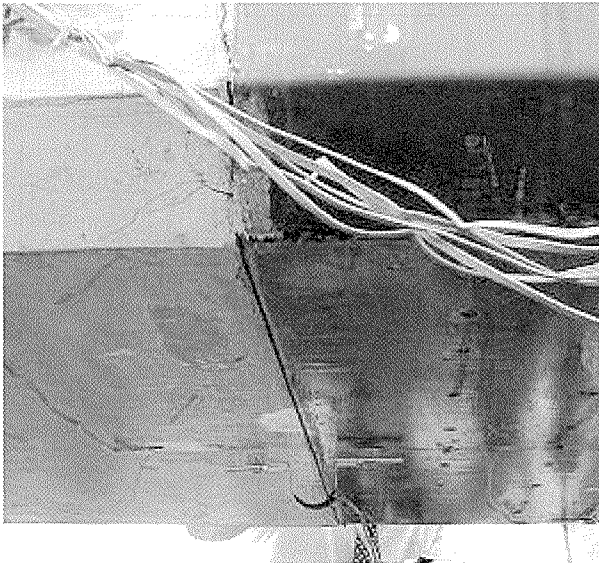
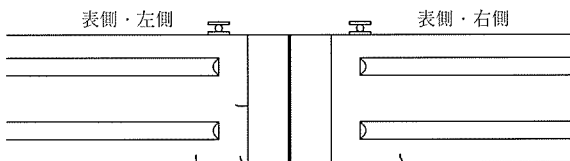
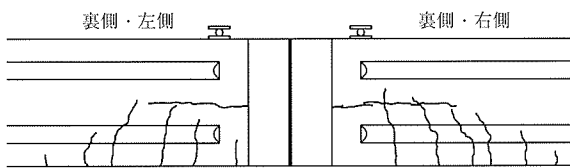
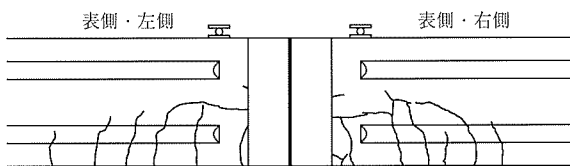


写真 - 4 最大荷重時の継手部の状況 (底面)



(a) ひび割れ発生時 ($P=800$ kN)



(b) 最大荷重時 ($P=1003$ kN)

図 - 11 ひび割れ発生状況

況を示す。最大荷重でも、ひび割れは一箇所に集中せずに分散していた。

(3) コンクリートおよび PC 鋼材増加ひずみ

図 - 12 に荷重と上縁の溶接継手部近傍に貼付したコンクリート表面ひずみの関係を、図 - 13 に荷重と下縁に配置した PC 鋼材の増加ひずみの関係を示す。圧縮ひずみ (負側) の最大値は約 2000μ と一般的な曲げ圧縮最終ひずみ 2500μ に達していない。このことより、試験体は破壊までには

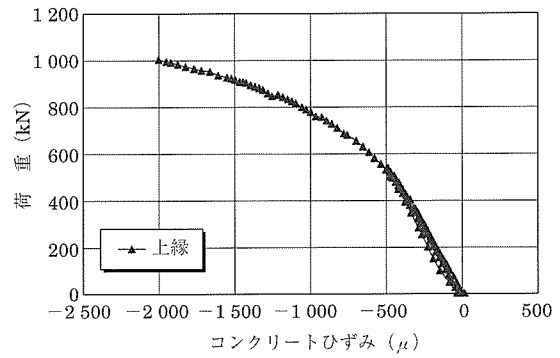


図 - 12 荷重-コンクリートひずみの関係

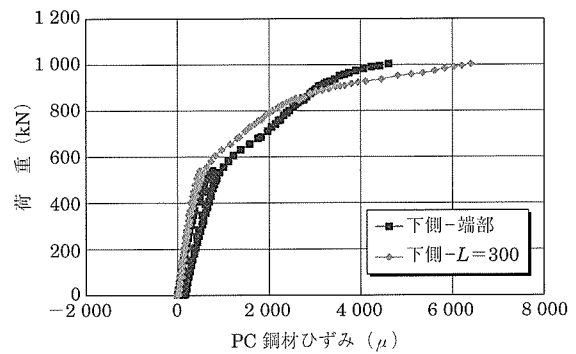


図 - 13 荷重-PC 鋼材ひずみの関係

余裕があったことがわかる。また、PC 鋼材は異形細径 PC 鋼棒 SBPD $\phi 12.6$ を使用したので、降伏強度 $\sigma_{py} = 1275$ N/mm² をひずみに換算すると公称降伏ひずみは 6375μ である。設計上の有効応力度 $\sigma_{pe} = 760$ N/mm² をひずみに換算すると 3800μ になるので、公称降伏ひずみまでの増加ひずみは 2575μ である。最大荷重時に下縁側の PC 鋼材の端部、 $L = 300$ mm 内側位置のいずれにおいてもひずみは荷重とともに増加して公称降伏ひずみを上回り、同時に曲げ圧縮域のコンクリートひずみの急増も見られなかった。また、コンクリートと座板の界面や補強バンド脇などにひび割れが集中しなかったことから、PC 鋼材の付着性状は良好であったことが推測される。

7. おわりに

本研究では、特殊な遠心成形機を用いず、一般の PC 工場で製造可能な PC 壁体を提供し、独自に考案した溶接継手部構造の曲げ性能実証実験を行った。その結果、十分な設計曲げ性能を有していることが確認され、継抗製造の実用化が可能となった。また、PC 鋼材偏心配置構造とすることの有効性も確認された。

橋梁を中心としたプレストレストコンクリート関連の工場の多くは、プレテンアバットを用いた振動締め方法で製造しており、遠心成形によらない製造方法で提供できる高剛性な PC 土留め杭の実用化により、新たな分野への参入も期待される。さらに、プレストレストコンクリートの特徴を生かした PC 鋼材偏心配置とすることによって、より経済的な製品の提供が可能となった。また、アバットへ

の負担も減るため、既製のアバット能力でより大口径の断面への適用もうかがえる。

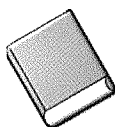
今後、自立式高剛性なプレキャスト PC 土留め杭、PC 壁体工法を経済的な都市型構造物として広く普及されるよう努めていきたい。

最後に、今回の研究にあたり多大なご意見・ご指導をいただいた PC 一壁体工業会関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (財) 土木研究センター：建設技術審査証明報告書土木系材料・製品・技術（建技審証第 0150 号）土留め構造物用等辺角型プレストレストコンクリートパイル「PC 一壁体」，2001.9
- 2) 渡瀬，阿部，佐藤，松崎：PC 壁体継手部の静的曲げ載荷性能に関する実験報告，第 13 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，pp.517 - 520，2004.10

【2007 年 4 月 25 日受付】



新刊図書案内

National Report

— The Second *fib* Congress 2006 —
 — Naples ITALY (英・和文併記) —
 2006 年 5 月

頒布価格：会員特価 6,000 円（送料 500 円）

：非会員価格 7,200 円（送料 500 円）

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会