

太径PC鋼材と定着具を使用したプレテンション工法の実験的検証

オリエンタル建設(株) 正会員 ○立花 弘
 オリエンタル建設(株) 正会員 工修 原 健悟
 神鋼鋼線工業(株) 工修 児玉 幹雄
 神鋼鋼線工業(株) 工修 堀井 智紀

1. はじめに

近年、工期の短縮化や品質管理の面から建物のプレキャスト(以下 PCa)化が進んでおり、梁や柱などの主要構造部材をPCa化することが多くなっている。スパン10m~15m程度のプレキャストプレストレストコンクリート(以下 PCaPC)大梁を有する積層構造物においては、マルチストランドを使用したポストテンション方式で計画されることが多いが、現場での通線、緊張、グラウト等煩雑な作業が発生する。これらの現場での作業の煩雑さを解消する手段としてプレテンション方式による工場での部材製作が考えられる。

一般的なプレテンション方式では、7本よりのφ12.7やφ15.2のPC鋼より線を用い、コンクリートとの付着によりプレストレスを伝達させている。しかし、定着端部から45φ~65φ程度の伝達長を必要とするためその区間ではプレストレスが低下してしまう。そのため、小梁や床などの二次部材には使用されるが、大梁に対しては梁・柱の接合面に発生する地震等の繰返し荷重による大きな応力に対し、定着端部からのプレストレスの導入が必要となるため適用されていない。

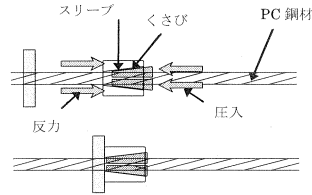


図-1 圧入定着模式図

そこで、本研究ではPC鋼より線の引き込みによるプレストレスの減少を極力抑えるため、あらかじめくさびをスリーブに圧入した定着具を用い、また柱・梁接合部における取り合いを考慮し、より少ない本数で所定のプレストレスを導入させる必要から19本よりPC鋼より線(以下、太径PC鋼材)を使用したプレテンション方式による工法(以下、圧入定着プレテンション工法)の確立を目的とし、各種の試験を行った。図-1に圧入定着の模式図を、図-2に伝達長のイメージを示す。

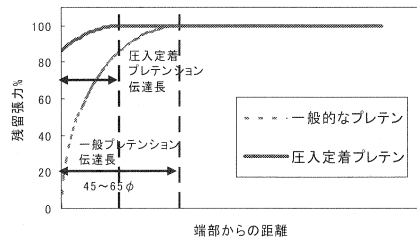


図-2 伝達長のイメージ

2. 定着具性能試験

2-1 試験要因

プレストレスの減少抑制の要因となる、くさびの圧入力と引き込み量の関係を把握するため定着具性能試験を行った。試験はφ21.8のPC鋼より線を対象にポストテンション方式で一般的に用いられる定着具を使用して行った。図-3に定着具を示す。試験要因は圧入時の仮緊張力と圧入力とした。試験要因を表-1に示す。試験体の最終緊張力を

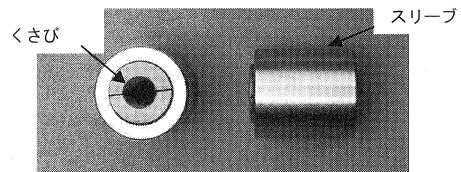


図-3 定着具

表-1 試験要因

試験体No.	圧入時の仮緊張力 (kN)	圧入力 (kN)
22-00-100	0	401.1
22-50-25	200.6	100.3
22-50-50	200.6	200.6
22-50-100	200.6	401.1
22-100-100	401.1	401.1

0.9Py(=445.5kN)とし、圧入時の仮緊張力をプレストレス導入直後の許容引張力である0.7Pu(=401.1kN)の0、50、100%の3水準、圧入力を0.7Puの25、50、100%の3水準とした。

2-2 試験装置および測定項目

試験装置を図-4に示す。試験は、1. 上部クロスヘッドによる初期緊張力の導入 (圧入前仮緊張) 2. センターホールジャッキによる定着具の圧入 3. 上部クロスヘッドによる最終緊張力の導入 4. 反力板と定着具のクリアランスをゼロに調整 5. 反力を上部クロスヘッドから定着具に移行 (緊張力解放) の手順で行い5.における定着具反力とくさびの引き込み量を測定した。

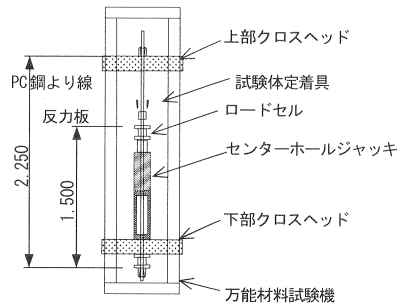


図-4 試験体の概要

2-3 試験結果

圧入力の差がくさびの引き込み量に与える影響を図-5に

示す。各試験体とも定着具反力が50kN以下での引き込み量は0.1mm以下とごく僅かである。しかし、定着具反力が圧入力の50~70%程度に達した段階からくさびの引き込みが生じる結果となり、圧入力が大きいほどくさびの引き込み量が小さくなる傾向が得られた。仮緊張力の差が引き込み量に及ぼす影響を図-6に示す。圧入時の仮緊張力が大きくなってくさびの引き込み量の差は0.01mm程度しか生じておらず、仮緊張力が引き込み量に与える影響はほとんどなかった。これらの結果から、くさびの引き込み量を小さくする方法として、仮緊張力の影響はほとんどないが、導入する圧入力を大きくすることは有効であることが確認された。

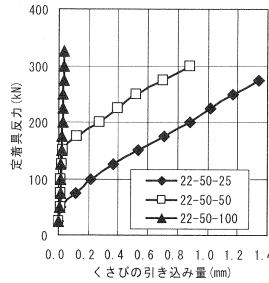


図-5 圧入力の影響

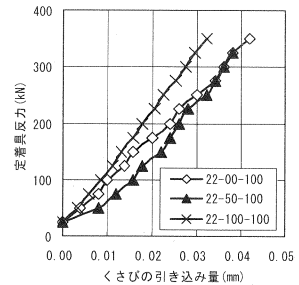


図-6 圧入時の緊張力の影響

3. プレストレス導入試験

3-1 試験概要

本工法の性能を確認するため、φ17.8およびφ21.8の太径PC鋼材を用い、圧入定着プレテンション工法によって製作した試験体に対しプレストレス導入試験および載荷試験を実施した。試験体の製作はPC鋼より線に仮緊張力を与えた状態でくさびの圧入を行った後、最終緊張力を導入している。その後コンクリートを打設し、所定の強度が発現した後に緊張力を解放している。計測項目を以下の(a)~(d)とした。

- (a) プレストレス導入時のくさびおよびPC鋼より線の引き込み量 (セット量)
- (b) プレストレス導入直後の伝達長

表-2 試験要因

No	試験体	鋼材	導入力 (kN)	圧入力 (kN)	備考
1	SD18-0	SWPR19φ17.8	270.9	—	定着具を用いない通常プレテンション
2	SD18-1/2			135.5	定着具を使用し、導入緊張力の50%でくさび圧入
3	SD18-3/4			203.2	定着具を使用し、導入緊張力の75%でくさび圧入
4	SD18-1			270.9	定着具を使用し、導入緊張力の100%でくさび圧入
5	SD22-0	SWPR19φ21.8	401.1	—	定着具を用いない通常プレテンション
6	SD22-1/2			200.6	定着具を使用し、導入緊張力の50%でくさび圧入
7	SD22-3/4			300.8	定着具を使用し、導入緊張力の75%でくさび圧入
8	SD22-1			401.1	定着具を使用し、導入緊張力の100%でくさび圧入

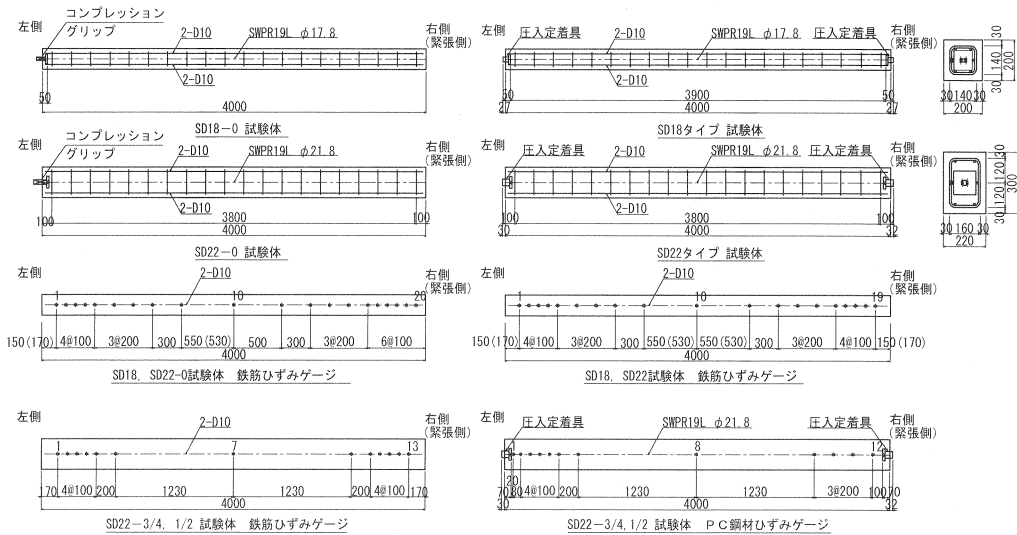


図-7 試験体形状および鉄筋, PC鋼材ひずみゲージ位置図

(c) 経時変化による伝達長の変化

(d) 静的曲げ試験による曲げ耐力の確認

試験要因を表-2に, 試験体形状と鉄筋, PC鋼材ひずみゲージ設置位置を図-7に示す。試験体はPC鋼より線の両端部に導入緊張力の50, 75, 100%でくさびを圧入した定着具を用いたものと, 通常のプロテンション方式と同様に定着具を使用せずコンクリートとの付着のみで定着させるものを製作した。ここで試験体は部材長が短く両端とも付着定着とすると, 試験体中央でプレストレスが一定とならないため, 片方の端部にはコンプレッショングリップを使用している。

3-2 使用材料

コンクリート強度を表-3に, 試験体に使用した支圧板の寸法を表-4に示す。プレストレスの導入はコンクリートの所定の強度が発現した段階で行った。また支圧板は, 実際の施工時における柱・梁接合部の取り合いを考慮し, プレストレス導入直後の支圧応力度を上回る支圧強度を有する程度で, 通常よりもコンパクトなサイズとした。

3-3 試験結果

(a) くさびおよびPC鋼より線の引き込み量

計測は, くさびとPC鋼より線それぞれに固定したアングルに変位計をセットして行い, PC鋼より線の引き込み量は, それぞれの変位計によって計測された変位の差とした。変位の計測状況を写真-1に示す。

SD18およびSD22試験体のプレストレス導入時におけるくさび, PC鋼より線の引き込み量をそれぞれ図-8, 図-9に示す。定着具性能試験同様, くさびの引き込み

表-3 コンクリート材料試験結果

No.	材令	コンクリート			備考
		圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)	
SD-18	1	37.7	2.8	27000	プレストレス導入
	31	65.4	4.4	34000	曲げ載荷試験
SD-22	3	34.6	3.2	27700	プレストレス導入
	32	45.2	3.9	29100	曲げ載荷試験

表-4 支圧板寸法

種別	A(mm)	B(mm)	t(mm)
SD-18	95	95	20
SD-22	115	115	25

A:支圧板縦長さ, B:横長さ, t:厚さ

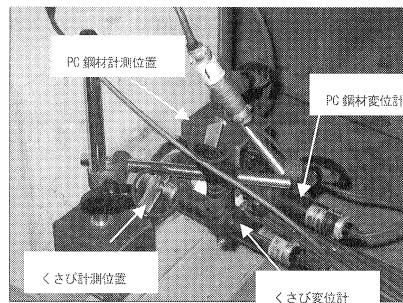


写真-1 引き込み量計測状況

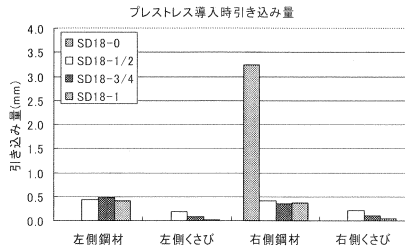


図-8 SD18 引き込み量

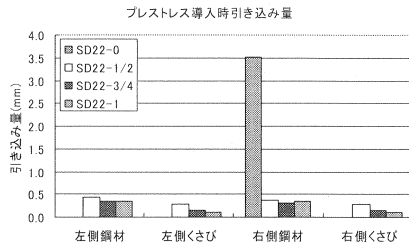


図-9 SD22 引き込み量

量は、くさびの圧入力が大きいほど小さくなる傾向を示した。一方PC鋼より線の引き込み量においても通常のプレテンション方式の試験体と比較して、圧入定着プレテンション工法の各試験体では大幅に小さくなった。以上のことからくさび、PC鋼より線とも引き込み量は、圧入力が大きいほど小さくなることが確認できた。

(b) プレストレス導入直後の伝達長

SD18 および SD22 試験体のプレストレス導入時における鉄筋ひずみを図-10~13に示す。また、SD22-1/2 および SD22-3/4 に関してはPC鋼より線のひずみも計測した。図-14にPC鋼より線ひずみの結果を示す。図中の実線および破線で示した縦線は、鉄筋およびPC鋼より線ひずみが一定となる位置を示している。この位置は、試験体中央におけるひずみの±5%程度の範囲内で、その位置から中央部はほぼ一定のプレストレスが導入されている。また図中の計算値はコンクリートの弾性変形によるPC鋼より線ひずみの減少量であり、以下の式により求めた。

$$\Delta \varepsilon_p = n \times \sigma_{cpG} / E_p$$

ここで、 $\Delta \varepsilon_p$: PC鋼より線ひずみの減少量、 n : ヤング係数比 $n = E_p / E_c$ 、 E_p : PC鋼より線のヤング係数 (N/mm^2)、 E_c : 緊張時材令におけるコンクリートのヤング係数 (N/mm^2)、 σ_{cpG} : PC鋼より線緊張によるPC鋼より線の図心位置におけるコンクリート応力度 (N/mm^2)

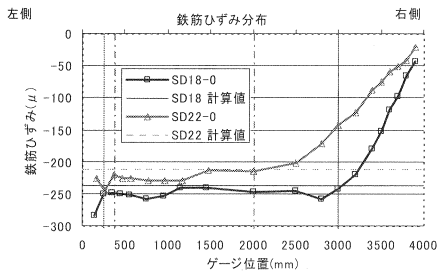


図-10 鉄筋ひずみ分布 (SD18, SD22-0)

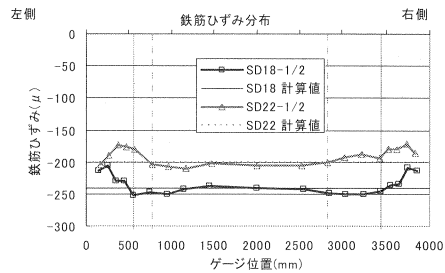


図-11 鉄筋ひずみ分布 (SD18, SD22-1/2)

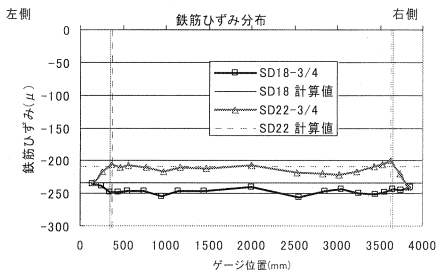


図-12 鉄筋ひずみ分布 (SD18, SD22-3/4)

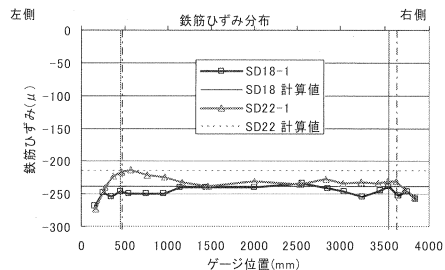


図-13 鉄筋ひずみ分布 (SD18, SD22-1)

表-5 鉄筋ひずみから求めた伝達長

No.	左側	右側	平均
SD18-0	-	53φ 954mm	-
	25φ 450mm	25φ 450mm	25φ 450mm
SD18-1/2	13φ 234mm	13φ 234mm	13φ 234mm
SD18-1	19φ 342mm	19φ 342mm	19φ 342mm
	-	89φ 1958mm	-
SD22-1/2	29φ 638mm	47φ 1034mm	29φ 638mm
	11φ 242mm	11φ 242mm	11φ 242mm
SD22-3/4	15φ 330mm	11φ 242mm	15φ 330mm

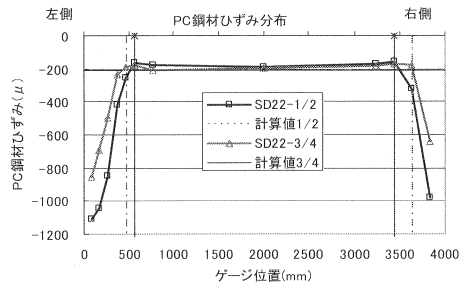


図-1-4 PC鋼より線ひずみ分布 (SD22-1/2, 3/4)

プレストレス伝達長は、鉄筋ひずみが一定となる位置とした。また後にSD22-1/2および3/4の試験体についてPC鋼より線にもひずみゲージを貼り付けて試験を行い、鉄筋で計測したひずみによる伝達長が妥当であるかをPC鋼より線で計測したひずみでも確認した。表-5および表-6にプレストレスの伝達長の結果を示す。計測の結果、くさびを圧入した定着具を使用することで、通常のプレテンション方式より伝達長が極端に短くなることが確認できた。さらに圧入力が導入緊張力の75%以上であればプレストレスの伝達長は11φ~19φ程度になり、柱せいの寸法を600mmとしても、梁・柱接合部内で伝達長を確保できることが確認できた。なお、PC鋼より線ひずみから求めた伝達長において、左側の伝達長が長くなった原因は、ひずみゲージを右側より多く設置することによって生じたPC鋼より線の付着力低下が影響したためと考えられる。

表-6 PC鋼より線ひずみから求めた伝達長

No.	左側	右側	平均
SD22-1/2	23φ	23φ	23φ
SD22-3/4	19φ	14φ	17φ

(c) プレストレス伝達長の経時変化

プレストレス導入時と28日後のSD18-3/4, SD22-3/4の鉄筋ひずみ分布および変動率を図-15および図-16に示す。ひずみ分布の変化はコンクリートのクリープおよび乾燥収縮, PC鋼より線のリラクゼーションによるプレストレスの減少分のみで全体的に安定して挙動しており、変動率は定着端部では応力集中による乱れがあるものの、ほぼ一定に変動していた。ここで、ひずみ変動率は28日後のひずみ変動量を導入時のひずみで除したものである。

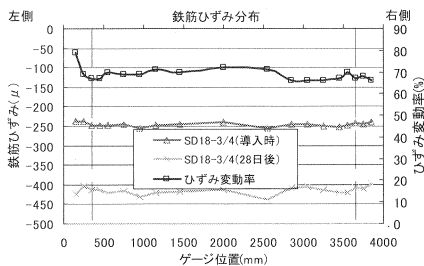


図-1-5 SD18-3/4の鉄筋ひずみ経時変化

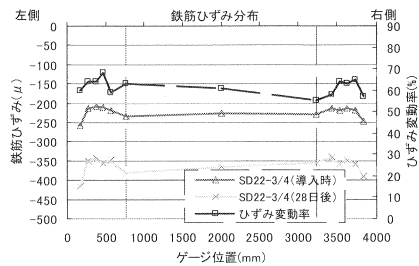


図-1-6 SD22-3/4の鉄筋ひずみ経時変化

(d) 静的曲げ試験による曲げ耐力の確認

導入緊張力の100%で圧入した試験体SD18-1およびSD22-1に対し静的曲げ載荷を行い、終局曲げ耐力を計測した。試験体と変位の計測位置を図-17に示す。載荷方法は日本建築学会のプレストレストコンクリート設計施工基準に基づきフルプレストレス時、ひび割れ耐力、終局曲げ耐力を算出しそれぞれの段階まで2回ずつ載

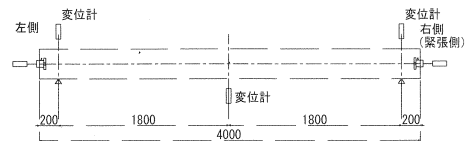


図-1-7 試験体形状および計測位置

荷した後、破壊まで載荷した。載荷サイクルを図-18に、設計終局耐力を表-7に示す。図-19および20に荷重-変位関係を、表-8に荷重載荷時のくさびおよびPC鋼より線の引き込み量を示す。

両試験体とも、載荷時のコンクリート強度に違いはあるが、設計終局曲げ耐力を上回り、SD18-1で57.9kN、SD22-1で114.4kNでコンクリート上縁が曲げ圧縮破壊した。また、終局荷重時におけるくさびおよびPC鋼より線の引き込みはほとんど発生していないことから、PC鋼より線とコンクリートとの着着切れが定着位置まで及んでおらず定着具が健全な状態であることが確認された。

4. まとめ

本研究における定着具性能試験およびプレストレス導入試験から以下の知見を得た。

(a) あらかじめくさびを圧入することによりくさびやPC鋼より線の引き込み(セット)を小さくすることができプレストレスの減少を抑制できる。

(b) くさびへ導入する圧入力を導入緊張力の75%以上で行えば、伝達長を20φ程度にすることができ、梁・柱接合部内で伝達長を収めることができる。

(c) 鉄筋ひずみの経時変化による変動は通常のPC部材と同様に全体的に一定に減少している。

(d) 曲げ耐力は設計値以上の値となり、また定着具も健全な状態を保持した。

本工法を用いることにより、プレテンション方式プレキャスト部材の建物の主要部材への適用が可能になるものと思われる。

参考文献

- 1) プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説, 日本建築学会, pp.225-230, 1998
- 2) コンクリート標準示方書 構造性能照査編, 土木学会, pp.150-158, 2002

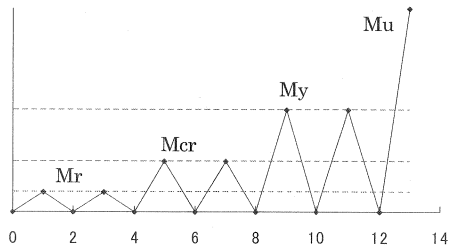


図-18 載荷サイクル

表-7 部材耐力

試験体	PC鋼材	導入時緊張力		部材耐力(kN)		
		Po	鋼材本数 n	P-Mr	P-Mcr	P-My
SD18-1	SWPR19φ17.8	264.0	1	8.08	19.60	39.76
SD22-1	SWPR19φ21.8	396.0	1	19.58	48.10	92.26

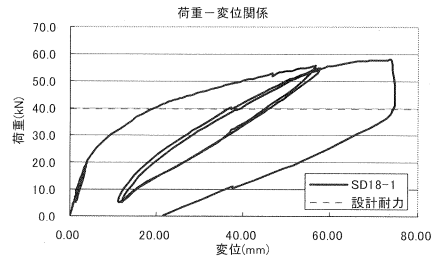


図-19 SD18-1 荷重-変位関係

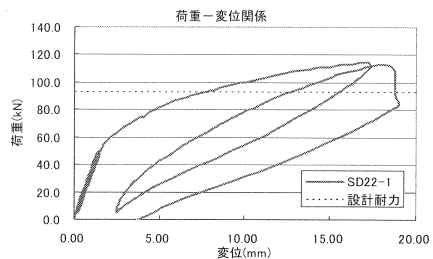


図-20 SD22-1 荷重-変位関係

表-8 くさびおよびPC鋼より線の引き込み量

種別	左側鋼材	左側くさび	右側鋼材	右側くさび
	mm	mm	mm	mm
SD18-1	-0.004	0.000	0.002	-0.002
SD22-1	0.004	-0.004	0.000	0.000