

プレテンション部材の端部緊張力改善方法に関する検討

技術本部 開発技術部 大柳修一
技術本部 開発技術部 青山敏幸

概要: プレテンション方式における端部緊張力の低下を最小限に抑える方法として、異形 PC 鋼棒の使用によりコンクリートとの付着力を向上させる方法、および PC 鋼材の端部に突起を配置し、機械的に定着する方法が考えられる。これらの効果を確認するため、PC 鋼材の定着実験を行った。その結果、プレテンション緊張材として、端部ネジキリ加工の異形 PC 鋼棒を用いる方法は、端部緊張力の導入に対して有効であり、異形 PC 鋼棒端部に突起を設ける方法は、時間の経過に伴う緊張力低下の抑制に対して有効であることを確認した。

Key Words: プレテンション方式, 端部緊張力, 定着長, 異形 PC 鋼棒, 突起

1. はじめに

昭和26年にプレテンション PC マクラギが製品化されて以来、プレテンション部材は、橋梁・舗装版等各方面でさまざまな構造物に適用されている。プレテンション部材の特徴は、PC 鋼材とコンクリートの付着による緊張力伝達にあるが、その特性上、部材端部近傍には緊張力を伝達することができず、適用部材によっては弱点となる場合がある。

プレテンション方式における端部緊張力の低下を最小限に抑える方法として、異形 PC 鋼棒の使用により PC 鋼材とコンクリートの付着力を向上させる方法、および部材端部に突起を設け機械的に定着する方法が考えられる。これらの効果を確認するため PC 鋼材の定着実験を行った。

本稿では、今回実施した定着試験について報告するとともに、定着試験後に実施した供試体の載荷実験についても報告する。

2. 試験概要

(1) 供試体

供試体の形状、供試体の種類、および供試体の端部形状をそれぞれ図-1、表-1、および図-2 に示す。

供試体寸法は、150×300×3000mm とし、PC 鋼材を断面図心位置に 2 本配置した。供試体のパラメータは、鋼材の種類、および端部の突起とし、合計 5 体を製作した。各供試体の初期緊張力は 370kN(=185kN×2 本)とした。

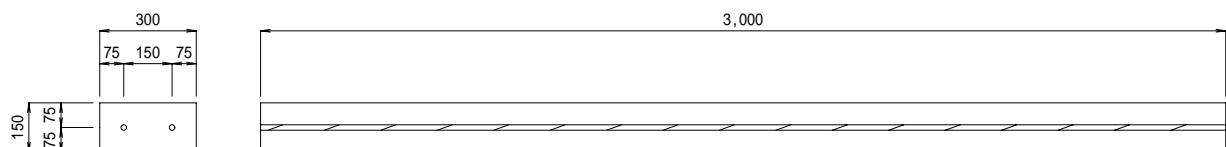


図-1 供試体の形状・寸法



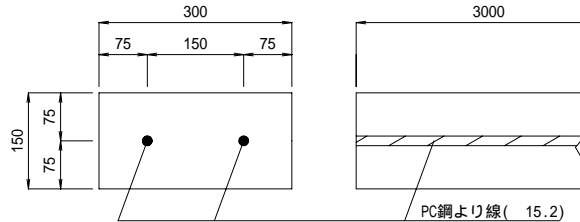
大柳修一



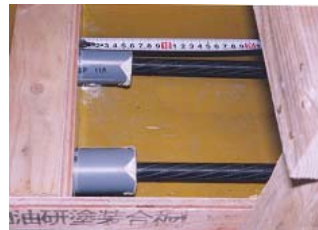
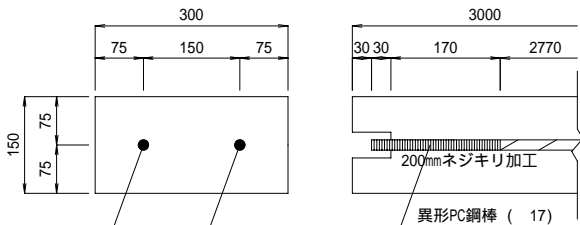
青山敏幸

表-1 供試体種類

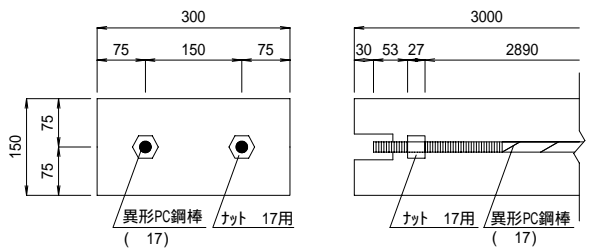
No.	供試体名称	緊張材	突起	緊張力
1	より線	SWPR7BN 1S15.2	なし	185kN/本
2	異形鋼棒	SBPD930/1080 17	ナット (50mm)	
3	鋼棒ナット		ナット (90mm)	
4	鋼棒小型支圧板			
5	鋼棒通常支圧板			



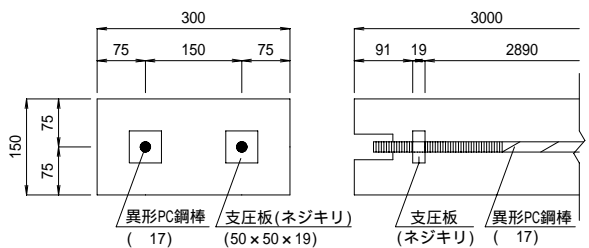
No.1(より線)



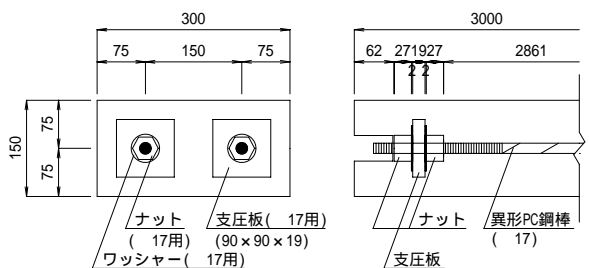
No.2(异形鋼棒)



No.3(鋼棒ナット)



No.4(鋼棒小型支圧板)



No.5(鋼棒通常支圧板)

図-2 供試体の端部形状

(2) 使用材料

a) コンクリート

コンクリートの配合を表-2 に示す。コンクリートの配合は、緊張力導入日である材齢 5 日後にコンクリート強度が 30N/mm² ~ 35N/mm² になるよう決定した。コンクリートの養生は、気中養生とした。

表-2 コンクリートの配合

スランブ (cm)	W/C (%)	Air (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	Ad
8±2.5	46	8±2.5	39.9	169	367	697	1110	4.77

b) PC 鋼材

今回使用したPC鋼より線(15.2mm)、および異形PC鋼棒(17mm)の機械的性質を表-3に、異形PC鋼棒の形状を写真-1にそれぞれ示す。

表-3 鋼材の機械的性質

種類	外径 (mm)	公称断面積 (mm ²)	0.2%永久伸び に対する荷重 (kN)	引張荷重 (kN)	伸び (%)
PC 鋼より線	15.3	140.7	248	272	7.2
異形 PC 鋼棒	16.87	227.0	245	262	13

c) 突起

端部緊張力の低下を抑えるため、ナットおよび鋼製支圧板を用いた。通常支圧板は、ポストテンション方式で用いる標準品を使用し、小型支圧板は支圧面積がナットと通常支圧板の中間となる大きさのものとした。形状・寸法を表-4に示す。

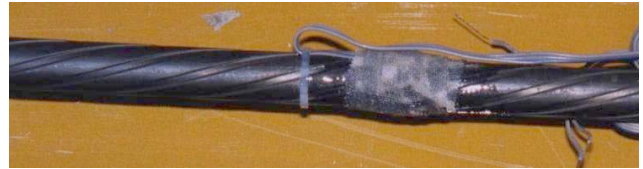


写真-1 異形 PC 鋼棒(ウルボン)の形状

d) より線 - 鋼棒カップラー

今回は、PC 鋼より線を用いた供試体と異形 PC 鋼棒を用いた供試体を同時に製作するため、PC

表-4 突起の寸法

種類	形状	高さ (mm)	幅 (mm)
ナット	六角	27	35 × 40.4
小型支圧板	正方形	19	50 × 50
通常支圧板	正方形	19	90 × 90

鋼より線と異形 PC 鋼棒を接続するためのカップラーを使用した。より線ジョイントカップラーの形状を図-3に示す。

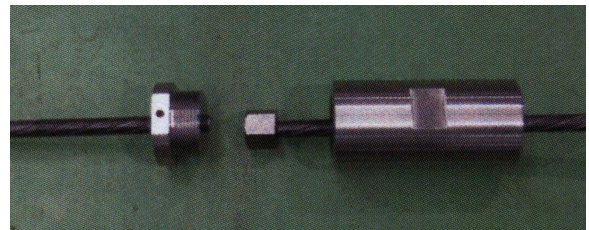
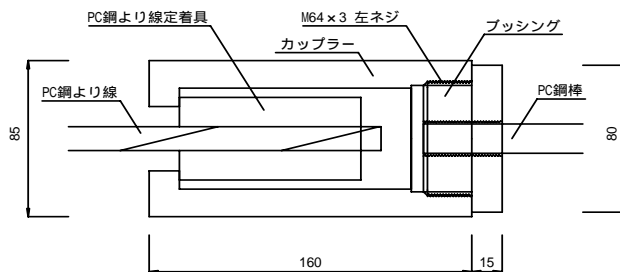


図-3 より線 - 鋼棒カップラーの形状・寸法

(3) 試験項目

a) プレストレス導入率・定着長測定試験

プレストレス導入率と定着長は、鋼材に貼付したひずみゲージにより測定した。鋼材のひずみゲージ位置を図-4に示す。プレストレス導入時のコンクリート圧縮強度は、 32.4N/mm^2 であった。

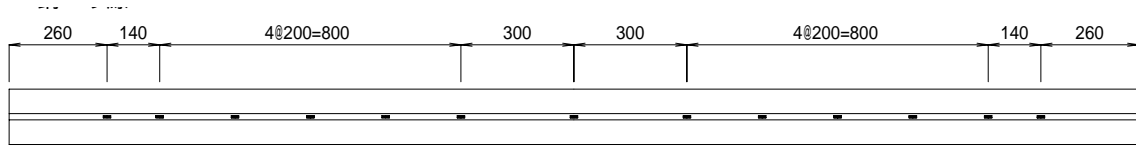


図-4 鋼材ひずみゲージ位置

b) 静的荷重試験

定着長測定試験から約半年後に表-1に示す5体の荷重試験を実施した。荷重方法を図-5に、荷重状況を写真-2にそれぞれ示す。供試体は縦置きとした。今回は、供試体にスターラップを配置していないこと、試験前に実施した計算結果より破壊形態が曲げとせん断の判断が難しい設定となったため、せん断スパン比を極力大きくするためにスパン2600mmの1点荷重とした。

荷重ステップは、図-6に示すように「ひび割れ発生荷重」、「鋼材降伏荷重」に対して荷重、除荷を3回繰り返し、最後に供試体が破壊するまで荷重した。ここで、ひび割れ発生荷重は、荷重試験中に目視観察によりひび割れが認められた際の荷重、鋼材降伏荷重は、スパン中央の鋼材ひずみが計算値により算出した降伏ひずみ($=0.84 p_u/E_s$)に達した際の荷重とした。測定項目は、荷重および図-7に示す位置の変位、鋼材ひずみ、およびコンクリートひずみとした。

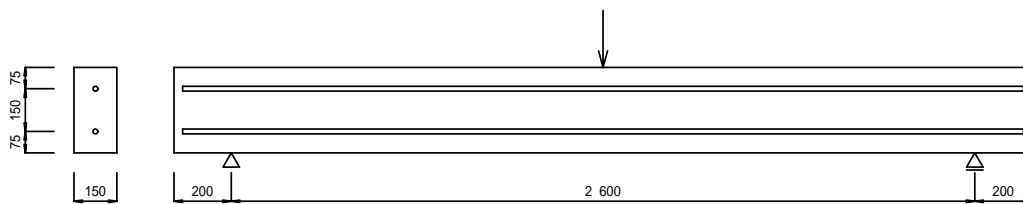


図-5 荷重方法

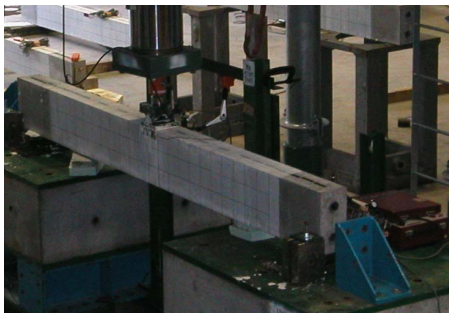


写真-2 荷重状況

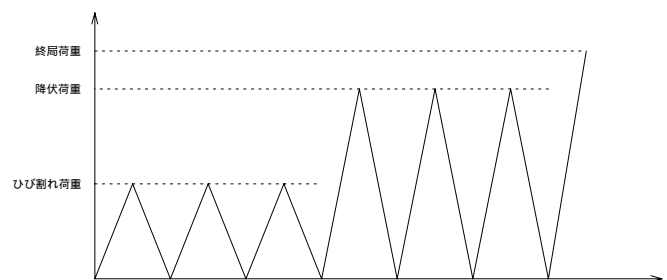


図-6 荷重ステップ

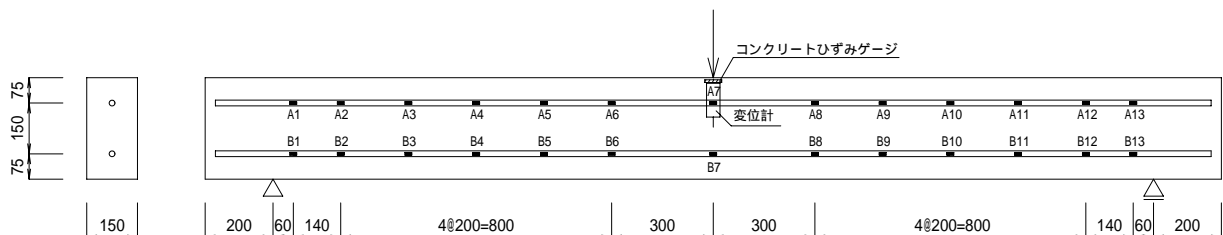


図-7 測定位置

3. プレストレス導入率・定着長測定試験結果

(1) プレストレス導入率

a) プレストレス導入直後

プレストレス導入率の軸方向分布を図-8 に示す。プレストレス導入率は、PC 鋼材各部のひずみを支間中央部の PC 鋼材ひずみで除して算出した。

図-8 に示す結果から、端部より260mm(最端部鋼材ひずみゲージ位置)におけるプレストレス導入率の平均値は、No.1(より線)が45%程度であるのに対して、異形PC鋼棒を用いた No.2(異形鋼棒)が81%、No.3(鋼棒ナット)が91%、No.4(鋼棒小型支圧板)97%、No.5(鋼棒通常支圧板)が96%であり、異形PC鋼棒の使用は、端部緊張力の低下を抑える効果が認められる結果となった。一方No.3(鋼棒ナット)、No.4(鋼棒小型支圧板)、No.5(鋼棒通常支圧板)の結果から、突起の違いによるプレストレス導入率の著しい差異は認められなかった。

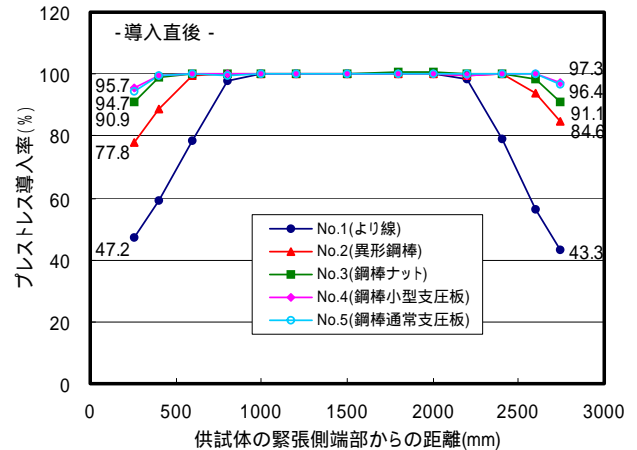


図-8 プレストレス導入率(導入直後)

b) 経時変化

プレストレス導入から1週間、鋼材ひずみを計測した。突起背面位置(供試体端部から 260mm)でのプレストレス導入率の経時変化を表-5 に、供試体軸方向のプレストレス導入率の結果を図-9 にそれぞれ示す。

No.1(より線)では、スパン中央のプレストレス量に対して導入直後は、緊張側で 47.2%、固定側で 43.3%、導入 7 日後では緊張側で 38.1%、固定側で 34.4%となり、時間の経過に伴いプレストレスが若干低下していることがわかる。また、No.2(異形鋼棒)は、スパン中央のプレストレス量に対して導入 7 日後では緊張側で 71.8%、固定側で 79.6%と、導入直後に比べて端部におけるプレストレスの低下傾向が認められた。この理由としては、今回用いた供試体はプレストレス導入時のコンクリートの圧縮強度が、工場で製造されるプレテンション部材に比べて若干小さかったこと、および供試体の端部には、コンクリートを横拘束するスターラップが配置されていなかったこと等が考えられる。一方、端部に突起を設けた供試体の導入 7 日後のプレストレス導入率は、No.3(鋼棒ナット)は、緊張側で 85.4%、固定側で 84.6%、No.4(鋼棒小型支圧板)は緊張側で 93.5%、固定側で 95%、No.5(鋼棒通常支圧板)は緊張側で 92.3%、固定側で 94.6%のプレストレスが導入されている。

以上、端部のプレストレス導入率の経時変化については、端部に突起を設けることにより、プレストレスの低下を抑制できると考えられる。

表-5 支圧板背面(端部から 260mm)位置でのプレストレス導入率の経時変化

		緊張側			固定側		
		導入直後	7 日後	低下率	導入直後	7 日後	低下率
No.1	より線	47.2%	38.1%	9.1%	43.3%	34.4%	8.9%
No.2	異形鋼棒	77.8%	71.8%	6.0%	84.6%	79.6%	5.0%
No.3	鋼棒ナット	90.9%	85.4%	5.5%	91.1%	84.6%	6.5%
No.4	鋼棒小型支圧板	95.7%	93.5%	2.2%	97.3%	95.0%	2.8%
No.5	鋼棒通常支圧板	94.7%	92.3%	2.4%	96.4%	94.6%	1.8%

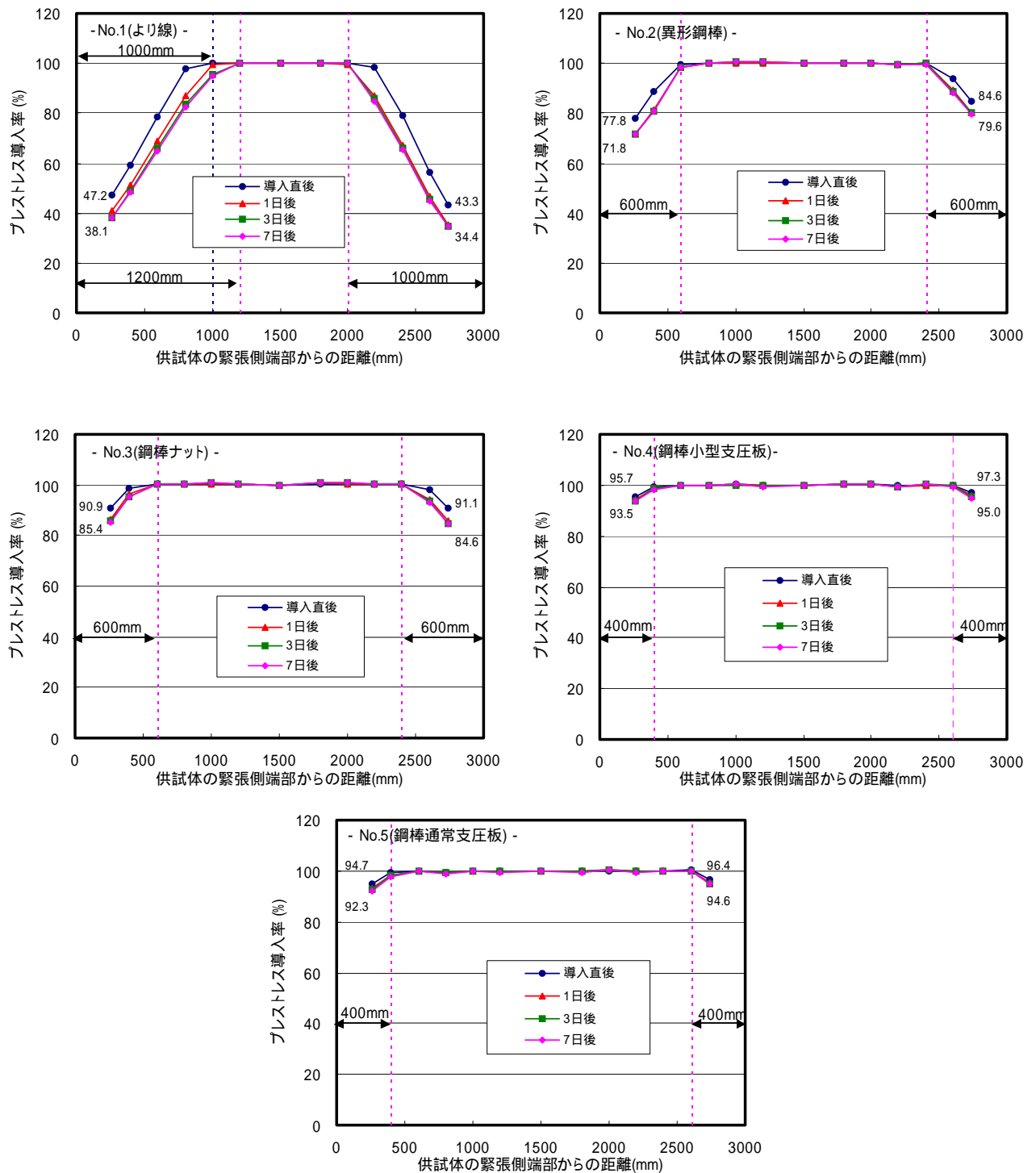


図-9 プレストレス導入率の経時変化

(2) 定着長の推定

各供試体の推定定着長を表-7 に示す。

導入直後において、No.1(より線)は定着長の平均値が 1000mm(66)であるのに対して、No.2(异形鋼棒)、No.3(鋼棒ナット)は 600mm(35)、No.4(鋼棒小型支圧板)、No.5(鋼棒通常支圧板)は 400mm(26)であり、PC 鋼より線を用いた供試体に比べて定着長が 40% ~ 55%程度に改善されている。

導入 7 日後において、No.1(より線)の定着長の平均値は 1100mm(72)であり、道路橋示方書に示されているプレテンション部材の定着長の 65 より若干大きな値となった。この理由としては、今回用いた供試体の端部にはコンクリートを横拘束するスターラップが配置されていなかったこと、プレストレス導入時のコンクリートの圧縮強度が、工

場で製造されるプレテンション部材に比べて若干小さかったこと等が考えられる。一方、No.2(異形鋼棒), No.3(鋼棒ナット), No.4(鋼棒小型支圧板), No.5(鋼棒通常支圧板)は、時間の経過に伴う定着長の増加は認められなかった。

今回用いた異形 PC 鋼棒は、端部に設けたネジキリ加工部で鋼材とコンクリートの付着力が大幅に改善され、結果として定着長も短くなったものと推定される。

表-6 各供試体の推定定着長

		緊張側			固定側		
		導入直後	7日後	変化量	導入直後	7日後	変化量
No.1	より線	1000mm	1200mm	200mm 増	1000mm	1000mm	変化なし
No.2	異形鋼棒	600mm	600mm	変化なし	600mm	600mm	変化なし
No.3	鋼棒ナット	400mm	600mm	変化なし	400mm	600mm	変化なし
No.4	鋼棒小型支圧板	400mm	400mm	変化なし	400mm	400mm	変化なし
No.5	鋼棒通常支圧板	400mm	400mm	変化なし	400mm	400mm	変化なし

4. 静的載荷試験結果

(1) 耐荷性能

各供試体の載荷試験時のひび割れ発生荷重, 最大荷重の実験値と計算値を表-7 に示す。

ひび割れ発生荷重, 曲げ破壊荷重は, コンクリート標準示方書¹⁾に準拠して, 安全係数は考慮しないものとして算出した。コンクリートの圧縮強度, PC 鋼材の引張強度は実測値を用い, せん断破壊荷重は, コンクリート標準示方書に基づく式(せん断破壊荷重²⁾)と, 修正圧縮場理論の簡易式²⁾(せん断破壊荷重³⁾)を用いて計算を行った。

試験の結果, 全ての供試体のひび割れ発生荷重は, 計算値以上の値を示しており, プレストレス導入から約半年後においても所定のプレストレスが導入されていることを確認した。

破壊形態は, 異形鋼棒を用いた No.2(異形鋼棒), No.3(鋼棒ナット), No.4(鋼棒小型支圧板), No.5(鋼棒通常支圧板)は, 全て曲げ引張破壊した。また実験値は, 異形鋼棒を用いた全ての供試体で計算値を上回っていることから, 異形鋼棒を用いた供試体は, 十分な定着性能を有していたと考えられる。

一方, No.1(より線)は斜めひび割れが発生し, せん断圧縮破壊した。今回の供試体は, 降伏荷重までの載荷途中でプレストレスが消失したこと, および供試体にスターラップを配置していなかったため, 載荷途中で斜めひび割れが発生し, その結果せん断破壊したものと考えられる。

表-7 各供試体の載荷試験の結果

(kN)

		ひび割れ発生荷重		破壊荷重			破壊モード	
		試験値	計算値	試験値	計算値			
					曲げ	せん断		せん断
No.1	より線	44.0	38.2	72.0	86.7	71.8	126.8	せん断圧縮
No.2	異形鋼棒	46.0	37.1	87.1	79.0	85.0	151.6	曲げ引張
No.3	鋼棒ナット	42.0	37.1	89.1	79.0	85.0	151.6	曲げ引張
No.4	鋼棒小型支圧板	47.0	37.1	87.1	79.0	85.0	151.6	曲げ引張
No.5	鋼棒通常支圧板	43.5	37.1	89.5	79.0	85.0	151.6	曲げ引張

(2) 変形性能

各供試体の荷重 - 変位の関係を図-10 に示す。ここで、図-10 に示す凡例中のひび割れ荷重は、3 回にわたりひび割れ荷重まで繰返し荷重を加力した際の履歴を示す。降伏荷重は、3 回にわたり鋼材の降伏荷重まで繰返し荷重を加力した際の履歴を示す。破壊荷重は、供試体が破壊に至り、荷重を除荷するまでの履歴を示す。

図に示すように、異形鋼棒を用いた No.2(異形鋼棒), No.3(鋼棒ナット), No.4(鋼棒小型支圧板), No.5(鋼棒通常支圧板)は、ほぼ同様な荷重 - 変位の関係を示しており、はりが破壊するまで十分な定着性能を有していたと考えられる。

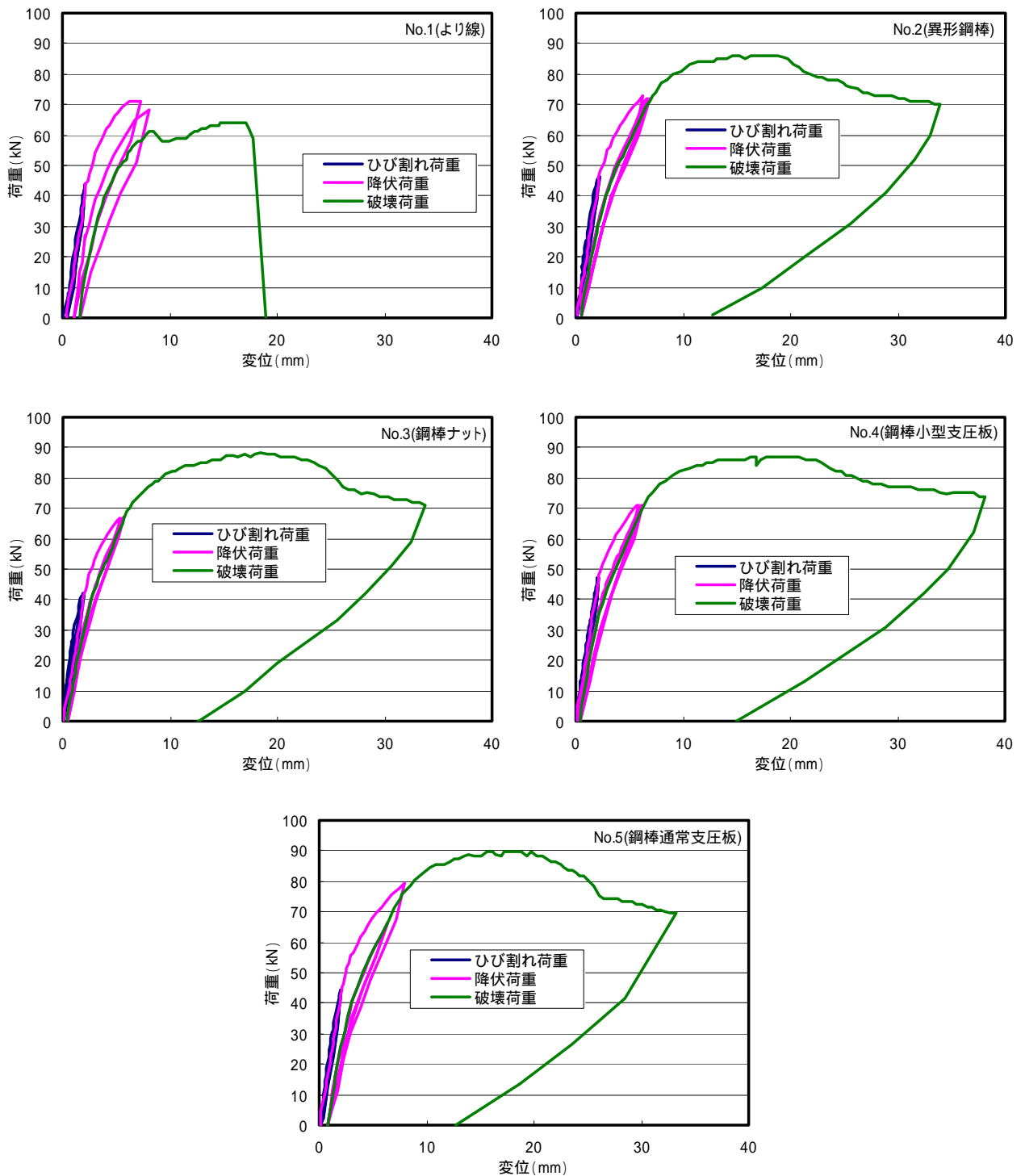


図-10 荷重 - 変位の関係

(3) ひび割れ分散性

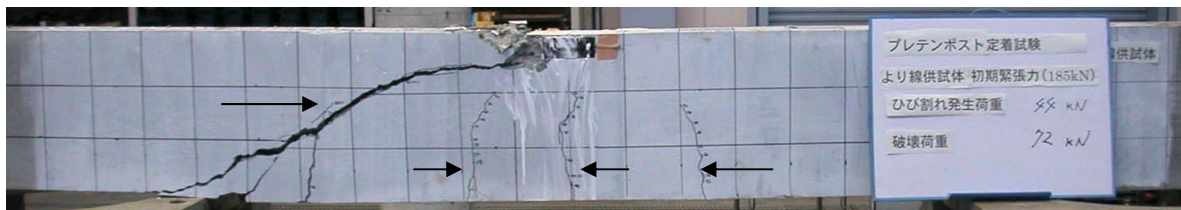
各供試体のひび割れ発生状況を写真-3に示す。

全ての供試体は、スパン中央、あるいはスパン中央部から約10cm程度離れた点の間でひび割れが発生し、ひび割れ発生荷重までの繰返し荷重では、若干ひび割れが進展する傾向がみられたが供試体の挙動に変化は認められなかった。

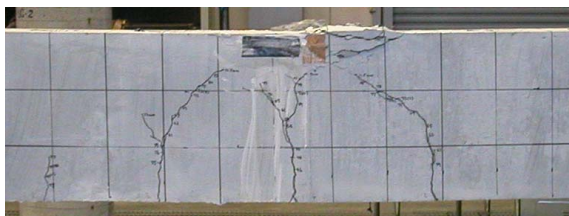
No.1(より線)は、降伏荷重1回目载荷の途中でひび割れ、が発生後、72kNでひび割れが急激に発生したため、スパン中央のひずみが降伏ひずみに達していなかったが除荷した。降伏荷重2回目载荷時、65kNでひび割れは進展し、68kNでさらにひび割れが進展したため除荷した。3回目载荷時、64kN以降荷重は低下していき、59kNに低下したときに、斜めひび割れが進展し、最終的にコンクリートの圧壊によるせん断圧縮破壊を引き起こした。

一方、異形PC鋼棒を用いたNo.2(異形鋼棒)、No.3(鋼棒ナット)、No.4(鋼棒小型支圧板)、No.5(鋼棒通常支圧板)は、荷重の増加に伴い20cm程度のひび割れ間隔でひび割れが段階的に発生した後、最終的にコンクリート上縁のコンクリートの圧壊により終局を迎えた。

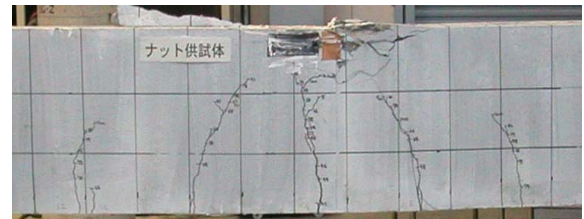
以上、ひび割れ分散性からも異形PC鋼棒を用いた供試体は、曲げ破壊型のひび割れ性状を示しており、部材が破壊に至るまで定着部は十分な性能を有していたと考えられる。



No.1(より線)



No.2(异形鋼棒)



No.3(鋼棒ナット)



No.4(鋼棒小型支圧板)



No.5(鋼棒通常支圧板)

写真-3 ひび割れ発生状況

(4) 除荷時の軸方向鋼材ひずみ分布

繰返し荷重により、供試体に導入されたプレストレスが低下するか否かを検討した。各供試体ひび割れ発生荷重、降伏荷重載荷後に荷重を除荷した時に測定した軸方向鋼材ひずみの分布を図-11に示す。鋼材ひずみは、載荷前の値をゼロとしている。すなわち、ひずみの値がマイナスを示せばプレストレスが低下していることを示す。

No.1(より線)は、降伏荷重までの载荷途中に発生した斜めひび割れ発生箇所の近傍で鋼材ひずみがマイナスになっており、プレストレスが低下している。一方、異形鋼棒を用いた No.2 ~ Mo.5 は、鋼材ひずみがマイナス側に移行しておらず、繰返し荷重に対しても鋼材とコンクリートの付着力の著しい低下は生じていないものと考えられる。

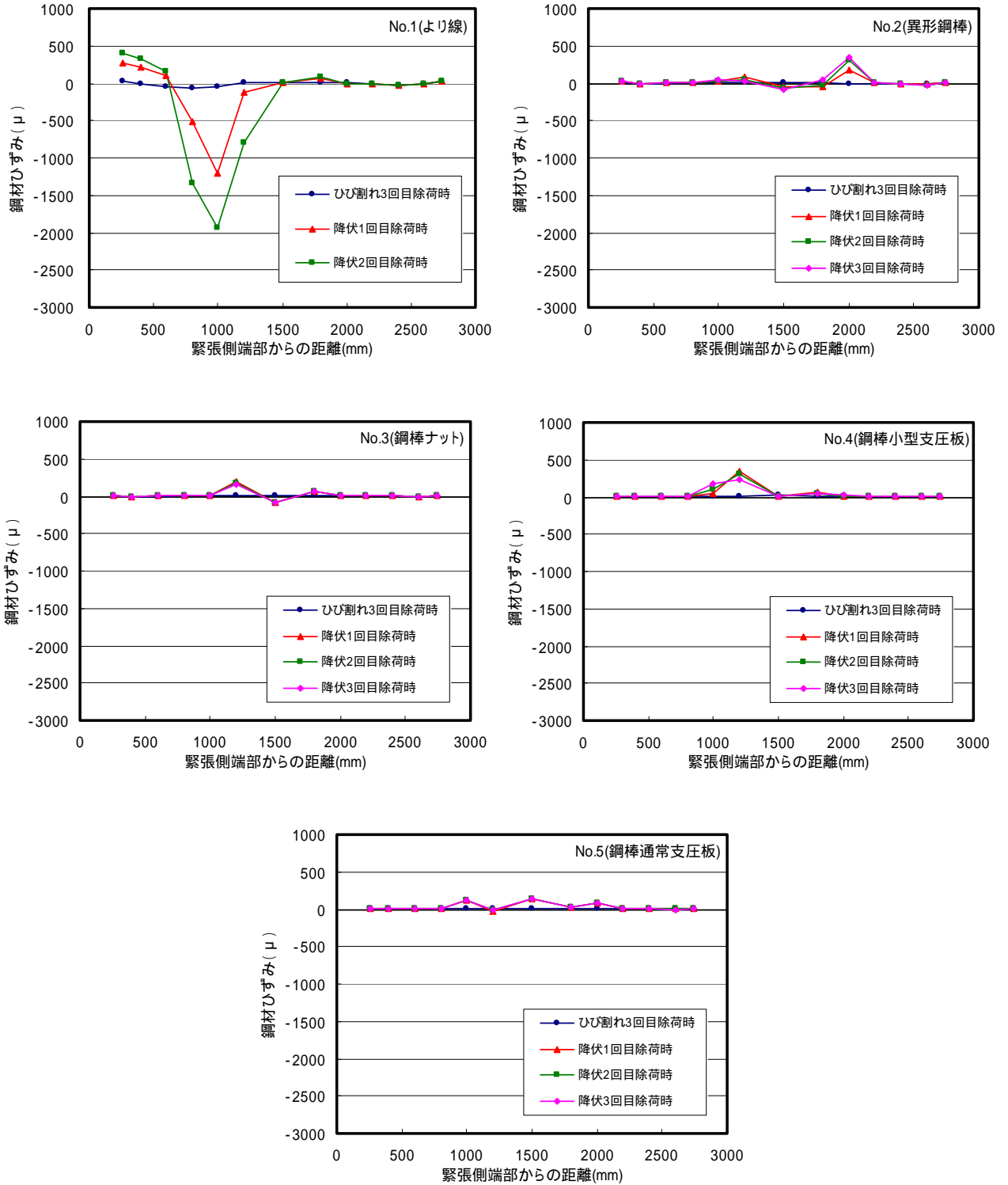


図-11 除荷時の軸方向鋼材ひずみの分布

(5) 載荷試験のまとめ

耐荷性能、変形性能、ひび割れ分散性、除荷時の軸方向鋼材ひずみ分布等の結果から、異形 PC 鋼棒を使用した全ての供試体は、はりの力学的挙動に関しても問題はないものと考えられる。

一方、PC 鋼より線を用いた No.1(より線)は、せん断破壊を引き起こした。原因としては、今回の供試体は、スターラップを配置していなかったため載荷中に斜めひび割れが発生し、その結果としてプレストレスが消失し、せん断耐力が低下したためと考えられる。

5. 結論

プレテンション方式における端部緊張力の低下を最小限に抑える方法として、異形 PC 鋼棒の使用と部材端部に突起を設ける効果について実験的に検証した。その結果、以下の知見が得られた。

- ・プレテンション緊張材として、端部ネジキリ加工の異形 PC 鋼棒を用いた方法は、端部緊張力の導入に対して有効である。
- ・異形 PC 鋼棒の端部に突起を設けることは、端部緊張力の導入に対して有効であるとともに、時間経過に伴う緊張力低下の抑制に対して有効である。

6. 今後の課題

今回は、供試体端部に所定のかぶりを設けるために箱抜き部内側にカップラーを用いることにより、供試体間を接合した。ただし、本方法を用いた場合には片側から順次鋼材の配置を決めていかなければならないこと、鋼棒間の接合に労力と時間を要する等、作業的に煩雑な点があった。今後は製作方法の効率化、コストの削減等総合的な観点から実用化に向けて改良を進めていきたい。

参考文献

- 1) 土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書[構造性能照査編]
- 2) 鄭慶玉・松井繁之：外ケーブルのせん断補強効果に関する解析的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.20, No3, pp.385-390,1998