

外ケーブル補強工法における定着部緊結PC鋼棒の張力損失に関する検討

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 ○浅井 洋  
 (社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 正会員 藤原 保久  
 日本道路公団 試験研究所 正会員 博士(工学) 長田 光司  
 日本道路公団 試験研究所 正会員 野島 昭二

1. はじめに

わが国において、PC橋が本格的に建設され始めて約40年が経過した。PC橋は導入されたプレストレス力によってひび割れを制御し、耐久性に優れた構造物と位置づけられてきた。近年、海浜地区や凍結防止剤散布地区などの厳しい環境下では鉄筋の腐食にとどまらず、PC鋼材の腐食や破断が認められる場合がある。また、車両の大型化に対応した耐荷力の向上およびひび割れ制御が求められる。このような場合、外ケーブル方式による補強工法が採用されている。本工法は、既設橋梁に新たなPC鋼材を配置し、プレストレスを導入することで応力状態を改善し、耐荷力を回復もしくは向上させる工法である。外ケーブルは主桁部材に設けた定着部に定着される。定着部はコンクリート製が多く採用されており、PC鋼棒を用いた摩擦接合で主桁部材に緊結している。通常、PC鋼棒長は約1mと短いため、セット量の影響を大きく受け、張力損失が大きいことが懸念されていた<sup>1,2)</sup>。このような背景のもと、JH試験研究所とプレストレスト・コンクリート建設業協会は、PC橋の補修補強技術の確立を目指し、平成15年度から3年計画で共同研究を実施している。本稿は、その一環として外ケーブル方式による補強工法の定着部の合理的な設計手法を確立することを目的として実施した定着部実験のうち、緊結用PC鋼棒張力の経時測定結果について述べると共に、実橋で測定した結果についても比較して検討した。

2. 実験方法

室内実験供試体は、実橋の補強で使用した定着部を実物大で模擬した(図-1)。主桁部コンクリートを製作・養生し、約1ヶ月間空中養生し、コンクリート表面をサンドブラストなどで処理した後、定着部コンクリートを施工した。定着部は、緊結用PC鋼棒を4本配置した構造であり、材齢3日で緊張し、その後のセットロスおよび鋼棒張力の経時変化を測定した。緊張定着方法は、鋼棒用ジャッキを使用し、ジャッキ内に装着したラチェットスパナでナットを締め込み定着した。定着部の全鋼棒を緊張した後、再度張力調整を行った。鋼棒張力を約1ヶ月測定し、再緊張を行ってセットロスを測定した。PC鋼棒(対称ネジ)には、φ23mmおよびφ32mmを使用し、導入張力を4種類とした(表-1)。また、主桁部材の接合面に傾斜角を設けた実験供試体を2体製作し、傾斜角を有することが張力損失に及ぼす影響についても検討した。PC鋼棒の張力は、ロードセルに取り付けたひずみゲージで測定した。ロードセルは、4本のPC鋼棒のうち1本のみ配置し、ひずみゲージは全鋼棒の表裏に取り付けた。使用したコンクリートを表-2に示す。また、表中には、供用

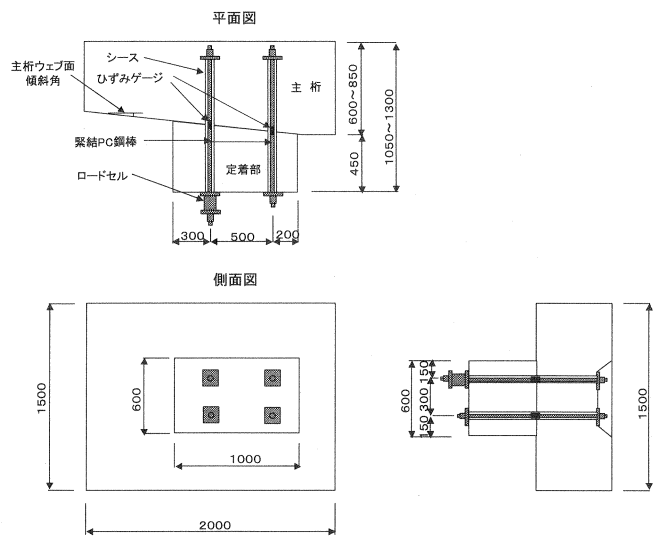


図-1 室内実験供試体

されていた橋梁を撤去し、補修補強実験に供したポストテンションT桁 (以下、撤去桁) や外ケーブル方式によって補強した橋梁 (以下、実橋) において鋼棒張力変化を測定しており、定着部コンクリートの配合を合わせて表記した。

### 3. 実験結果

#### (1) セットにおける張力損失

PC 鋼棒定着前後の張力損失量と定着直前張力との比をセットロス率とし、定着直前張力との関係を図-2 に示す。セットロス率は、初回の緊張定着時の値を示した。室内試験で実施したφ23mm 鋼棒のセットロス率

の最大値は3.0%であり、φ32mm 鋼棒に比べてセットロス率は小さい。細径の鋼棒のセットロス率が小さい原因は、定着時のナット締め込み力と導入張力との差が小さいことなどが考えられる。同図において、黒塗り

で示したデータは、撤去桁および実橋の値である。撤去桁および実橋Aの定着作業では、センターホールジャッキを使用して緊張し、定着ナットをハンマーで軽くたたいて締めつけた。スパナを使用した室内実験および実橋Bに比べてセットロス率が大きく、バラツキも大きい傾向を示している。室内実験のセットロス率が正規分布するものとして危険率2.5% (平均値+2×標準偏差) のセットロス率を図中に示す。φ23mm 鋼棒では3.2%であるのに対して、φ32mm では8.0%のセットロス率を考慮する必要がある。また、ハンマーによるナット定着や他の定着方法を行う場合には、別途セットロス率を検討する必要がある。室内実験のセットロス率からセット量を算出すると、φ23mm およびφ32mm の平均セット量は、それぞれ0.07mm および0.14mm であり、通常の伸び測定ではセットロスを推測することは困難であると考えられる。

室内実験における初回と再緊張時のセットロス率の比を図-3 に示す。度数は、再セットロス率比の範囲に該当するサンプル数であり、正規分布するものとして、各鋼棒径の正規分布曲線を図中に示した。φ23mm 鋼棒は、平均0.77 であり、再緊張がセットロスの低減に有効であることが確認できる。一方、φ32mm 鋼棒は、平均1.05 であり、初回と再緊張時のセットロスにほとんど差は認められない結果となった。撤去桁で測定したセットロス率比を図-4 に示す。撤去桁は、7 日後に再緊張を実施した。撤去桁では再緊張によってセットロス率の低減が顕著に認められ、セットロス低減に有効な結果が得られている。このように、定着方法によって再緊張がセットロスに及ぼす影響は異なる。

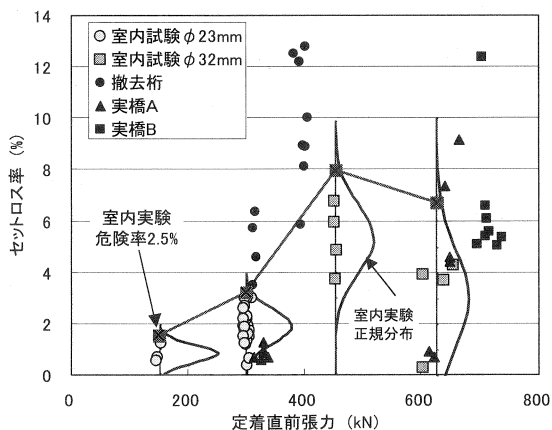
表-1 室内実験供試体

試験体	PC鋼棒	導入張力	定着部平均応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	傾斜角	
1	φ23mm	0.3Pu	0.97	0°	
2		0.6Pu	1.93		6°
3					12°
4					
5					
6					
7					
8					
9	φ32mm	0.45Pu	2.90	0°	
10		0.6Pu	3.86		

Pu:PC鋼棒の引張荷重

表-2 コンクリート配合

	セメントの種類	粗骨材最大寸法 Gmax (mm)	スラブ厚 sl (cm)	水セメント比 W/C (%)	空気量 Air (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )			
							水 W	セメント C	粗骨材 S	粗骨材 G
室内実験	早強セメント	20	12	43.0	4.5	40.3	176	410	686	1022
撤去桁実験	早強セメント	20	12	37.0	4.5	40.3	184	497	640	1003
実橋A	早強セメント	20	8	38.0	4.5	41.7	175	461	679	986
実橋B	無収縮モルタル	-	JISレポート 8秒	36.0	-	-	338	938	938	-



	PC鋼棒径	定着方法	サンプル数	平均値 (%)	標準偏差 (%)		
室内実験	φ23mm	プレート+ナット	スパナ	30	1.805	0.708	
	φ32mm		8	4.163	1.932		
撤去桁	φ23mm		プレート+ナット	ハンマー	4	5.028	1.264
	φ26mm			8	9.903	2.450	
実橋A	φ23mm	プレート+ナット		ハンマー	6	0.841	0.252
	φ32mm			6	4.511	3.380	
実橋B	φ32mm		アンカー+グロケット+ナット	スパナ	8	6.428	2.455

図-2 セットロス率

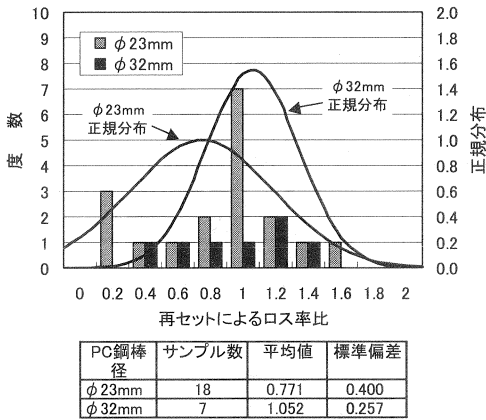


図-3 室内実験再セットロス率比

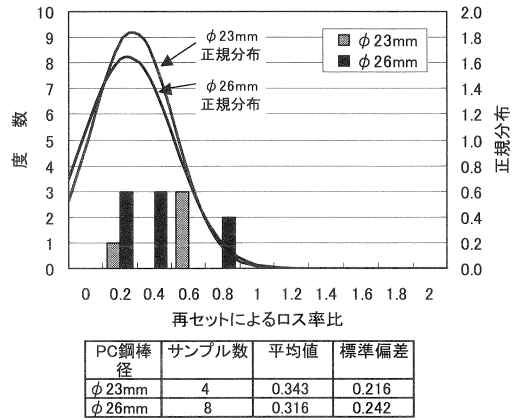


図-4 撤去桁再セットロス率比

(2) クリープによる張力損失

室内実験では、ロードセルとひずみゲージを取り付けたPC鋼棒の張力変化を測定し、ひずみゲージでは測定できない鋼棒のリラクゼーションによる損失量を確認した。定着荷重に対する有効張力の比を有効率として、φ23mm 鋼棒およびφ32mm 鋼棒の経時変化を図-5 に示す。導入した張力は、PC鋼棒の引張強度の60%である。φ32mm 鋼棒の有効率はφ23mmに比べて若干大きい、概ね同じ傾向で低下している。ロードセルとひずみゲージの測定値には、1ヶ月の間に約2%の差が生じており、PC鋼棒のリラクゼーションによる張力損失を示している。PC鋼棒張力の損失量は、ひずみゲージで測定した値より大きいことに注意しなければならない。計算値は、定着部および主桁コンクリートのクリープをコンクリート標準示方書に基づいて算出し、鋼棒張力損失に換算して算出したものである。なお、冬季に屋内で実験を行ったことから、相対湿度を45%として算出した。定着後約1ヶ月のひずみゲージによる有効率は、φ23mmの場合、実測値と同程度であり、φ32mmは若干小さい値であった。図-6は、各試験体のロードセル測定値である。張力が小さいNo.1の有効率は大きい、No.9およびNo.10ではほとんど差が無く、張力による顕著な差は認められない。また、主桁部材に傾斜を設けたNo.7およびNo.8は、傾斜が無いNo.2~No.6と同程度の有効率を示しており、傾斜角が12度以下の範囲では、傾斜角が鋼棒張力に及

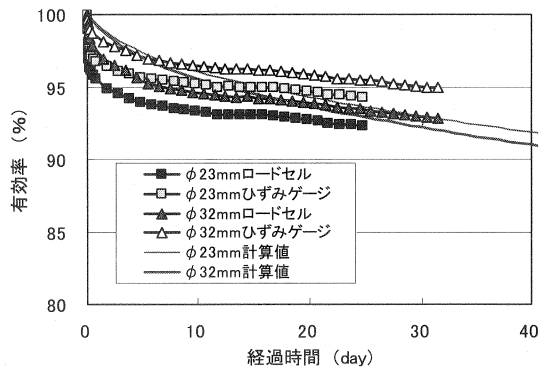


図-5 測定方法の比較

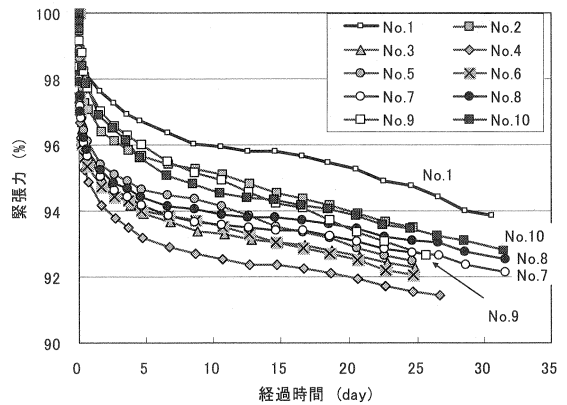


図-6 室内試験有効率経時変化

ばす影響は認められなかった。

室内実験で測定した3週間後の有効率分布を図-7に示す。クリープ変形による鋼棒の有効率の平均(ひずみゲージ測定値)は、3週間で94.6%であり、鋼棒のリラクゼーションを考慮すると93.1%である。クリープによる計算値はφ23mm鋼棒(0.6Pu導入)が94.2%、φ32mm鋼棒(0.6Pu導入)が93.5%であり、現行の計算手法は妥当であると言える。また、ばらつきを考慮すると1.6%(標準偏差の2倍、危険率2.5%)程度の有効率の低減を考慮する必要があると考えられる。

(3) 実橋との比較

実橋および撤去桁の有効率の経時変化を図-8に示す。図中には各構造物で測定した有効率の最大値および最小値を示した鋼棒のみを表示した。有効率はひずみゲージで測定した結果である。撤去桁では、7日後に再緊張を行っている。実橋Bは、定着部に無収縮モルタルを使用しており、コンクリートを使用した他の構造物と異なる傾向を示している。定着部に無収縮モルタルを使用する場合、クリープ等による損失を別途検討する必要がある。実橋Aおよび撤去桁の有効率は、概ね室内実験で測定した範囲内であり、室内実験は実橋の傾向を反映できているものと考えられる。

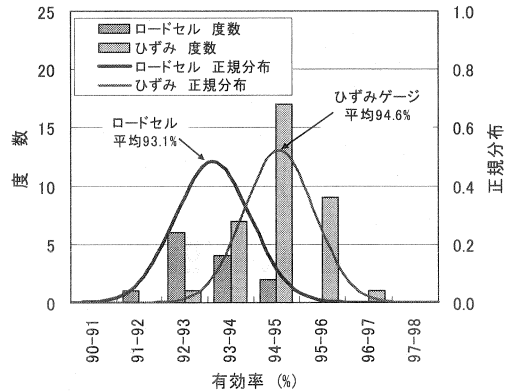
4. まとめ

- (1) 定着時に生じるセット量が、PC鋼棒張力損失に与える影響は大きく、φ32mm鋼棒よりφ23mm鋼棒のセットロス率が小さい。
- (2) セットロス率はナット定着方法によって異なり、スパナなどで締め込むことで低減することができる。スパナを使用した場合に考慮しなければならないセットロス率は8%程度である。
- (3) 再緊張によってセットロス率は小さくなる傾向を示し、セットロス低減に効果的である。
- (4) コンクリート製定着部および主桁のクリープによる損失は、現行の計算式で精度良く算出できる。
- (5) 実橋におけるクリープによる損失のばらつきは、3週間後で1.6%程度である。
- (6) 本研究で実施した室内実験の有効率は、実橋の傾向を反映していた。

謝辞：本研究に際し、ご指導頂きました池田尚治博士(横浜国大名誉教授)および実橋における張力測定に際し、ご協力頂きました関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長田光司, 下登新一, 野島昭二, 藤原保久: 外ケーブルにより補強するPC橋の定着部に関する検討, 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. 457-460, 2004
- 2) 野島昭二, 會澤信一, 佐藤正明, 吉田光秀: 外ケーブル補強に関する補強効果の経時的検証, 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. 461-466, 2004



測定方法	サンプル数	平均値 (%)	標準偏差 (%)
ロードセル	13	93.11	0.822
ひずみゲージ	35	94.56	0.762

図-7 有効率分布

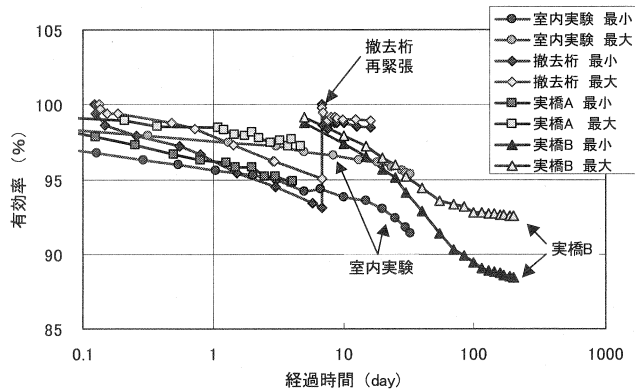


図-8 実橋の経時変化