

(120) アフターボンドPC鋼棒の採用

日本道路公団名古屋建設局構造技術課 正会員 長井 正  
 川田建設（株）富山支店工事部 神能 公  
 川田建設（株）工事本部技術部設計課 正会員 ○今井 平佳  
 神鋼鋼線工業（株）加工製品事業部 大西 睦彦

1. はじめに

アフターボンドPC鋼材とは、グラウト注入不要なポストテンション工法用の緊張材として開発されたもので、その構成はPC鋼材の表面を未硬化の常温硬化性樹脂とポリエチレンシースで被覆したものである。樹脂の硬化時間は、樹脂の配合成分量によりコントロールすることができ、プレストレス導入後に樹脂の硬化が始まるように設定しておくことにより、鋼材配置及びプレストレス導入などの施工性に優れ、使用時にはコンクリートと一体化したボンド部材が得られるものである。従来、アフターボンド方式で使用されてきたPC鋼材は、7本より及び19本よりのPC鋼より線である。近年のPC橋におけるポストテンション工法では、アフターボンドPC鋼材の使用実績が増えている。

その理由として、

- ①グラウトの充填を工場で行うため、グラウトの品質の均一化が図れること
- ②PC鋼材の挿入及び組立を工場で行うため、現場作業の省力化が図れること
- ③現場でのグラウト作業が不要なため、グラウト注入及び排出用の管が不要となり配筋が簡略化すること

等があげられる。

しかし、アフターボンド鋼材の使用はPC鋼より線による実績のみで床版横締めや鉛直締めに使用されているPC鋼棒の実績はない。

本報告は、美濃工事事務所管内の東海北陸自動車道竜牙谷（リュウガダニ）橋において、鉛直締めにアフターボンドPC鋼棒を採用した事例を報告するものである。

2. 採用の理由及び問題点

竜牙谷橋は、東海北陸自動車道の一宮JCを起点に平野部から山間部に入った所に位置した積雪寒冷地にある。そのため供用開始後、冬季期間に凍結防止剤が散布されることが想定される。また、本橋で配置されるPC鋼材のうち鉛直鋼棒だけは、床版上面に緊張用切り欠きを設けるため、防錆に対する対処が最も重要となる。アフターボンドPC鋼材は、工場でグラウトを前充填し現場での作業が不要なことにより、品質の均一化が図れ耐久性の向上も期待できる。これが本橋の鉛直鋼材への採用理由となった。

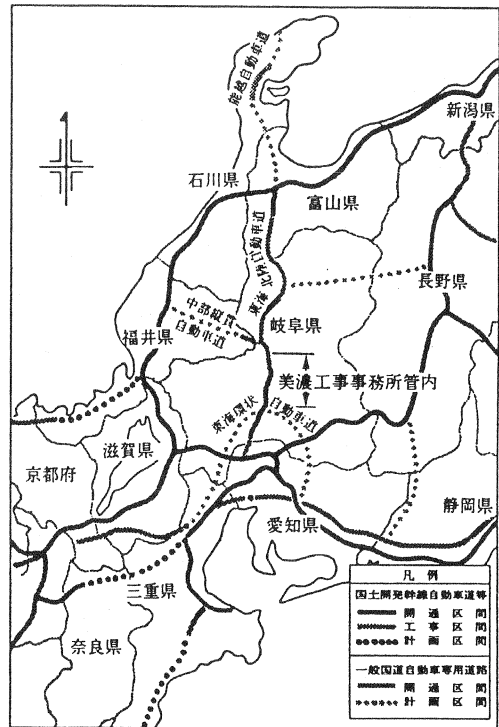


図-1 東海北陸自動車道路線図

土木構造物においてアフターボンド鋼材の使用実績は、プレストレストコンクリート橋梁でP C鋼より線を用いた床版横締め採用されているのみでP C鋼棒の使用や鉛直鋼材への採用実績はない。そのため、鉛直鋼材にP C鋼棒をアフターボンド方式で採用することの問題点として以下の点が想定できた。

- ①床版とウエブのコンクリートの温度特性の違いによるエポキシ樹脂への影響
- ②P C鋼棒とエポキシ樹脂、シースとコンクリートの付着強度
- ③床版とウエブの施工時期の違いによるシースの耐久性

上記の問題点に関して

- ①実橋でのコンクリートの温度測定
- ②P C鋼棒の付着強度試験

を実施し検証を行った。

### 3. エポキシ樹脂の配合

本計測は、コンクリートの温度測定によりエポキシ樹脂の配合の決定及び硬化時期の推定を行うために温度計測を行った。エポキシ樹脂配合の決定は、温度上昇が大きく要因となる柱頭部に着目し、同一路線内の同一形式の橋梁である貝付（カイズケ）橋の柱頭部でコンクリートの温度測定をし、その結果をモデル化して竜牙谷橋で採用するアフターボンドP C鋼棒の樹脂の配合を決定した。

柱頭部温度計測位置は、図-1のとおりである。

コンクリートの打設は、下段が平成5年12月7日、中段が平成5年12月13日、上段が平成5年12月22日と3回で行われ、打設後7～10日間の各計測位置のコンクリート温度変化をグラフにプロットしている。今回のプロット開始時刻は、打設日の正午とし、48時間までは2時間毎に、それ以降は4時間毎とした。図-3

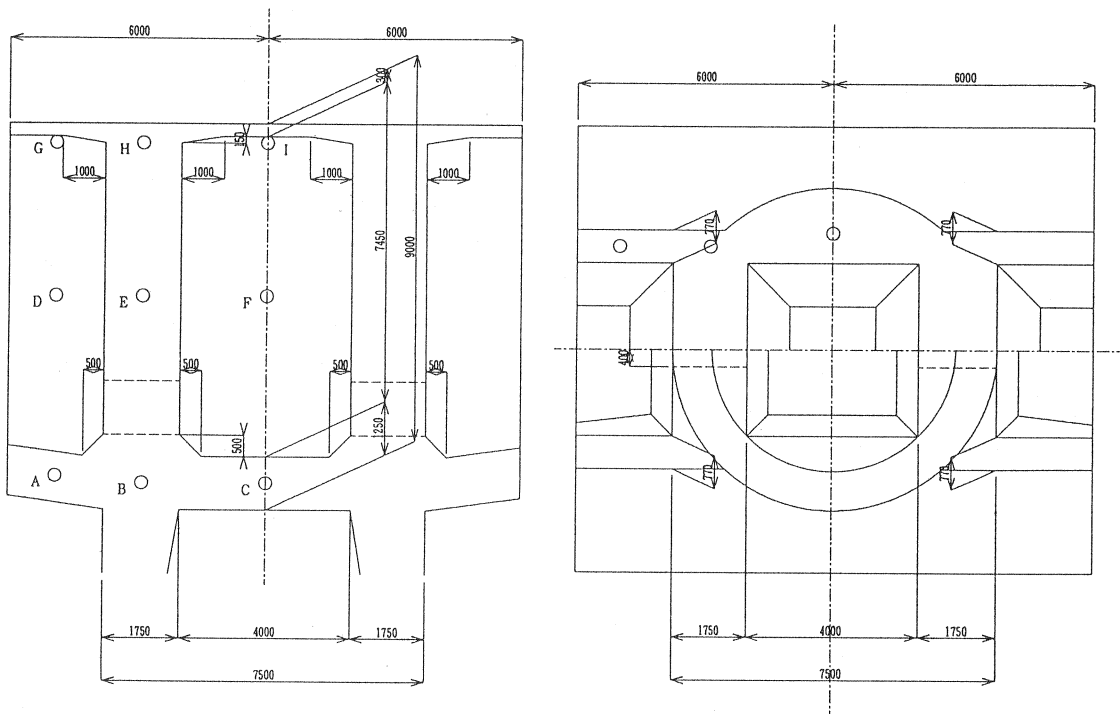


図-2 貝付橋温度測定位置

～図-5には、温度測定結果を示す。

コンクリートの温度履歴として貝付橋の柱頭部中段の温度計測結果を用い、温度条件をモデル化しエポキシ樹脂の配合を決定した(図-6)。配合決定の温度条件として、80℃:2日、60℃:3日、40℃:4日、その後常温(20℃)とし、硬化条件として、樹脂攪拌から硬化までに要する期間として1年、緊張可能期間として4~6ヶ月を目標とした。室内試験において、何タイプかの配合の樹脂にこのモデル化した温度と時間を漸次変化させて与え、その後の常温下で稠度測定を行い、従来の稠度時間曲線より決定した。その結果、常温雰囲気下で1年半緊張可能タイプが上記の目標値を満足すると判定した。ここで緊張可能時期とは、樹脂の稠度試験で300以上の値を示す期間とする。

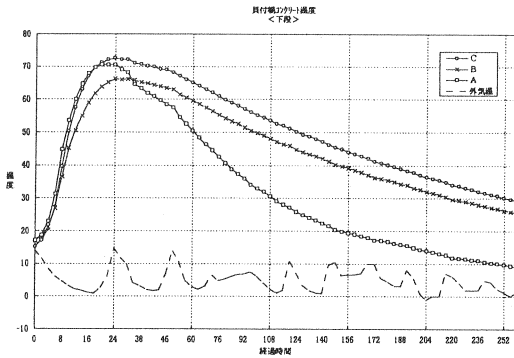


図-3 貝付橋柱頭部下段温度

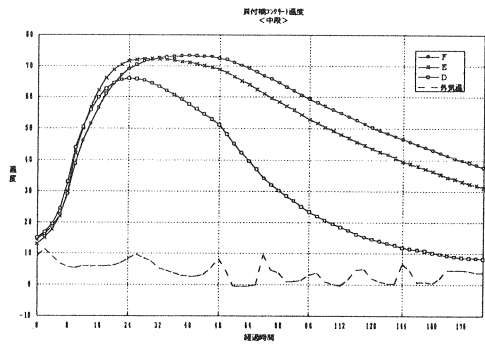


図-4 貝付橋柱頭部中段温度

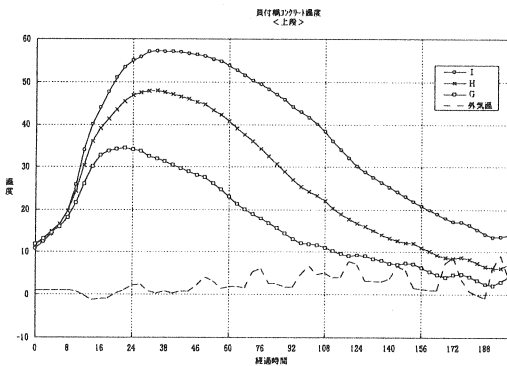


図-6 貝付橋中段温度とモデル化

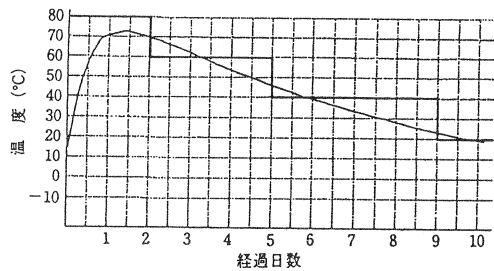


図-5 貝付橋柱頭部上段温度

#### 4. 付着強度特性の確認実験

本実験は、アフターボンドP C鋼棒を使用するにあたり、コンクリートとの付着特性を確認するものである。特に、アフターボンドP C鋼より線とコンクリートとの付着特性については、これまでの実験より4~5 N/mm<sup>2</sup>の付着強度を有することが確認されているが、アフターボンドP C鋼棒については明らかにされていない。

そこで本実験は、

- ①アフターボンドP C鋼棒とグラウトタイプP C鋼棒の付着強度の比較
  - ②シースの種類による付着強度への影響
  - ③シース内径の違いによる付着強度への影響
- の把握を行う。

実験方法は、図-7に示すようにコンクリート供試体となるP C鋼棒を配置し、750KN センターホルジャッキを使用して、P C鋼棒に引き抜き力を载荷する。その時の荷重をロードセルで測定し、また反対側の自由端側に取り付けた変位計によりP C鋼棒の変位を測定する。

本実験で使用するP C鋼棒は、現地で使用するφ32mmを使用し、供試体の種類も表-1に示すように従来のセメントグラウトタイプとアフターボンドタイプが比較できる構成とした。

表-2にコンクリートの配合及び強度を示す。

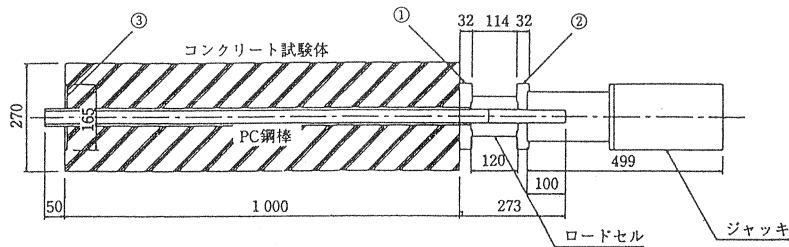


図-7 実験方法

表-1 供試体の種類

記号	付着長 (cm)	シースの種類	シース内径 (mm)	充填材 (グラウトの種類)	試験数 N
M40A	100	メタル (WS型)	4.0	アフターボンド樹脂	3
M40B		メタル (WS型)	4.0	セメントグラウト	3
P42A		ポリエチレン	4.2	アフターボンド樹脂	3
M45A		メタル (WS型)	4.5	アフターボンド樹脂	3

表-2 コンクリートの配合

単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤 g/m <sup>3</sup>	圧縮強度 kgf/mm <sup>2</sup>
水	セメント	細骨材	粗骨材		
186	477	632	1031	1193	58.8

実験による考察は、以下の通りである。

- 1) 本実験により、アフターボンドP C鋼棒のコンクリートとの付着強度は、従来のセメントグラウトを行ったP C鋼棒とのコンクリート付着強度と同等以上の結果が得られた。
- 2) アフターボンドP C鋼棒で内径45mmのシースを用いた(樹脂厚約 6.5mm)方が、内径40mm(樹脂厚約 4mm)より付着強度が高くなった。しかしながら、引き抜きによる滑りはいずれもP C鋼棒とアフターボンド樹脂の界面で起こっており、かつ内部での樹脂の破損は見られなかった。このことから、付着強度の差は樹脂の厚みによるものでなく、後述するP C鋼棒の表面状況の差によるものと考えられる。
- 3) ポリエチレンシースを用いたアフターボンドP C鋼棒が、最も付着強度が高くなった。これは、スパイラルシースと異なりシースとコンクリートの間で付着がなく、引き抜き力が働くときまずシースとコンクリートの界面で動き始める。この時、シースの凸凹でコンクリートを押し開ける力(割裂力)が働くが、その反力としてP C鋼棒に圧縮力が働き把握力となる。このため付着荷重として、アフターボンド樹脂との接着力+把握力が働くため他のものより高い荷重となり、結果としてコンクリートの割裂が見られた。

(No.3のみ樹脂とPC鋼棒の間で滑りが生じたので、割裂は見られなかった。)

4) 今回の試験では、アフターボンドPC鋼棒の引き抜き荷重のバラツキが、従来の場合より大きくなっていった。今回用いたPC鋼棒は特に前処理は行わず、ネジ加工したときの油が十分に取れなかったからであろう。このためこの油脂分が、PC鋼棒とアフターボンド樹脂の界面に存在すると付着力が低下し、付着強度のバラツキの原因となったものと考えられる。実際の製作時に、PC鋼棒の表面をアセトンなどの有機溶剤で脱脂すれば、このバラツキは改善できると考えられる。

表-3 実験結果

記号		引抜き荷重 kN	最大付着強度 N/mm <sup>2</sup>	備考
M40A	No.1	158.4	1.58	PC鋼棒とアフターボンド樹脂の間で滑り
	No.2	179.5	1.78	
	No.3	218.6	2.18	
	平均	185.4	1.84	
M40B	No.1	138.6	1.38	PC鋼棒とセメントグラウトの間で滑り
	No.2	149.1	1.48	
	No.3	149.4	1.48	
	平均	146.1	1.45	
P42A	No.1	372.3	3.71	PC鋼棒とアフターボンド樹脂の間で滑り No.1とNo.2ではコンクリートが割裂
	No.2	328.5	3.26	
	No.3	180.4	1.79	
	平均	294.2	2.92	
M45A	No.1	195.2	1.94	PC鋼棒とアフターボンド樹脂の間で滑り
	No.2	210.4	2.01	
	No.3	190.7	1.89	
	平均	199.1	1.97	

### 5. アフターボンドPC鋼棒の仕様

シースの選定は、PC鋼棒の配置時期が1サイクル内で下床版配筋後の初期であることを考慮してセメントグラウトと同様にメタルシーソとした。タイプとしては肉厚が厚く耐久性が高い3000番シリーズとした。PC鋼棒はネジ加工後脱脂しアフターボンドとの付着性を良くした。定着具は可撓性に富むメタルシーソと組み合わせるためPC鋼棒と直角性の保てるFAB工法N型定着具とした。

樹脂の注入は、PC鋼棒、定着具、シーソを組み立てた後、工場内でセメントグラウトと同様に定着具のグラウト注入孔より注入した。

写真-1にアフターボンドPC鋼棒を示す。

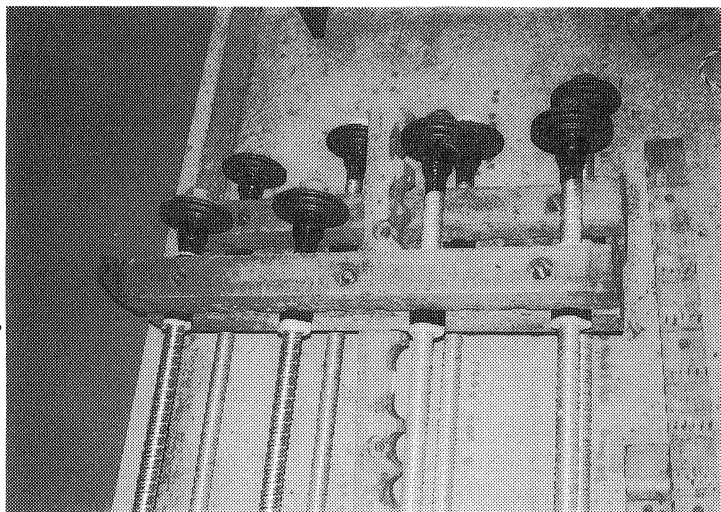
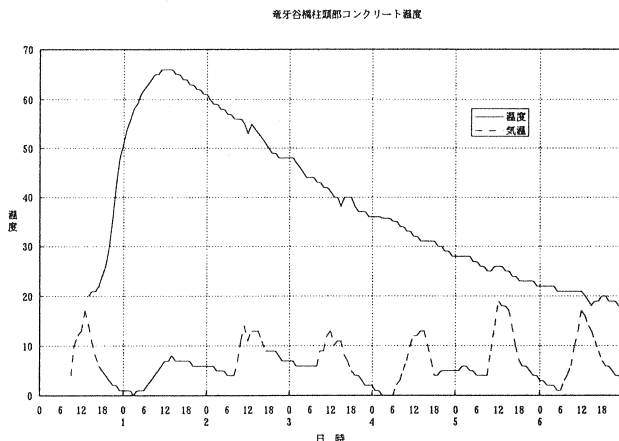


写真-1 アフターボンドPC鋼棒

### 6. 実橋での温度に対する検証

貝付橋の温度計測により想定した温度履歴と竜牙谷橋の温度履歴とに相違があるかを確認するために、実橋のコンクリート温度を計測し、エポキシ樹脂の配合の確認を行った。測定の間所として柱頭部、張出ブロック及び側径間閉合部とした。

温度計測の結果(図-8~10)、実橋



の温度履歴は想定温度より低く、室内試験結果より推定すると、実橋配置のアフターボンドP C鋼棒の緊張可能期間は、約8ヶ月、硬化までに約1年6ヶ月を要することになる。また、最寒期や夏期のコンクリート打設時には、ピーク温度が本計測結果より上下すると思われるが、仮に10°C下がれば、緊張可能期間は11ヶ月、硬化までに2年を要し、10°C上がればほぼ想定した期間で硬化すると推測できる。

### 7. おわりに

竜牙谷橋でのアフターボンドP C鋼棒の採用は、同時期に同路線で施工された野首(ノクビ)橋とともに日本では最初の事例である。今回、橋梁で最も温度の高い部分に配置される鉛直鋼棒に使用できたことにより、今後、アフターボンド工法をアフターボンド樹脂の配合を調整することによりP C鋼より線、P C鋼棒問わず鉛直締めや横桁横締めを使用できることが明らかになった。

また、シーすや定着具との組み合わせは従来のセメントグラウトと同様になったが、今後は組み合わせを考えることにより取り扱い性の向上やコストダウンを図ることができる。

図-8 竜牙谷橋柱頭部コンクリート温度

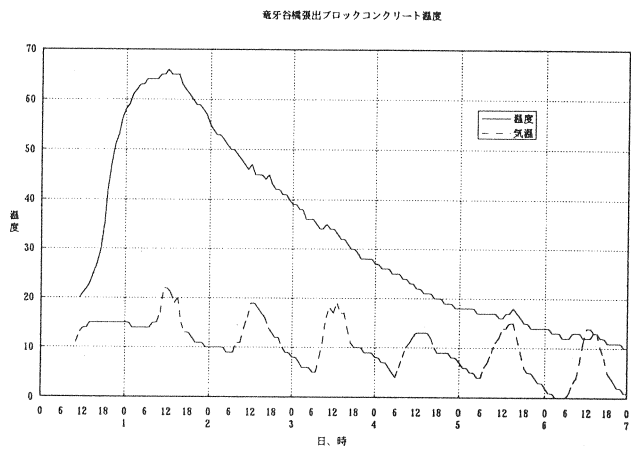


図-9 竜牙谷橋張出ブロックコンクリート温度

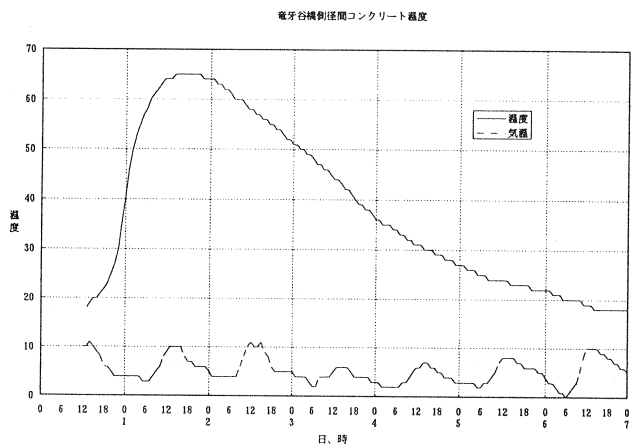


図-10 竜牙谷橋側径間コンクリート温度

### 参考文献

- 1) 三吉健爾、松谷輝雄、椋原健一、南敏和：「アフターボンドP C tendonの摩擦係数試験」日本建築学会大会学術講演梗概集 (1989年10月)
- 2) 鈴木計夫、小林剛、南敏和、白濱昭二：「アフターボンドP C鋼材について」プレストレストコンクリート技術協会第28回研究発表会講演概要 (1988年11月)
- 3) 林寄勉、南敏和、小林剛：「アフターボンドP C鋼材の諸特性について」プレストレストコンクリート、vol.32, No.4, Jul, 1990
- 4) 森山陽一、五寶光基、南雲広幸、大塚一雄：「アフターボンドP C鋼棒の鉛直締め鋼材への適用について」土木学会第49回年次学術講演会 (1995年9月)
- 5) 森山陽一、長井正、神能公、今井平佳：「鉛直鋼材にアフターボンド方式鋼棒を用いたP C橋の施工」プレストレストコンクリート、vol.38, No.3, May, 1996