

# PC 鋼材の中間定着工法

## An Intermediate Anchor System of PC Wires

篠崎 裕生 HIROO SHINOZAKI

浅井 洋 HIROSHI ASAI

土木技術部 藤原 保久 YASUHISA FUJIWARA

建築技術部 加納 嘉 YOSHIMI KANOU

PC 構造物を部分的に解体する際などに、残存部のプレストレスに影響を与えることなく PC 鋼材を切断するために用いられる工法を中間定着工法と呼ぶ。中間定着工法には、膨張材あるいはくさびを用いた工法があり、これらは対象とする PC 鋼材が束ね線か PC 鋼棒のような単線で用いられているか、また永久定着具として利用するか仮定着かによって使い分ける。ここでは、これまでに施工された中間定着工法を紹介するとともに、適用上の留意点をまとめた。

**キーワード：**PC 鋼材，中間定着工法，膨張材，仮定着

An intermediate anchor system would be needed for cutting PC wire without affecting prestress of remained part in case of splitting apart a PC structure. Wedge type and friction grip type which are composed of steel sleeve and expanding cement grout are available for intermediate anchor system. The choice of these types depends on the wire type (in sheaves or single) and on service duration such as permanent use or tentative use. In this paper, some application examples are introduced using in actual construction and consideration upon implementation of the system are summarized.

**Key Words:** PC Wire, Intermediate Anchor System, Expanding Cement Grout, Temporary Grip

### 1. はじめに

PC 鋼材の中間定着工法は、残存部のプレストレスに影響を与えることなく PC 構造物の部分的な解体などを行うために用いられる工法である。中間定着工法では、解体部と残存部の境界において PC 鋼材をはつり出し、くさびや膨張材により定着具を固定した後にコンクリートを埋め戻す方法が一般的に用いられる。コンクリートを埋め戻した後は、解体部で PC 鋼材を切断しても中間定着体があるため残存部のプレストレスに影響を与えることはない。

橋梁の分野では、損傷を受けたゲルバー部の撤去工事<sup>1-3)</sup>(名神高速道路石山高架橋, PC 鋼材 BBRV46-φ5mm)や橋梁を部分供用しながら架け替える際の横締め緊張材の切断工事(川崎縦貫道路浮島橋, PC 鋼材 12φ7mm)で、膨張材を用いた中間定着工法の実績がある。また、PC 床版橋を供用しながら分割撤去する際にくさびを用いた中間定着工法<sup>4)</sup>(1T21.8)や、下路式ロ

ーゼアーチ橋の劣化した吊材の交換において、安全に既設の吊材を切断するために、くさびによる中間定着により応力開放を図った例<sup>5-7)</sup>などがある。

PC 建築の分野では、地上 4 階建ての校舎において、校舎から歩廊に張り出した PC 大梁の歩廊部分を解体する際に、膨張材による中間定着工法が用いられた(7S12.7)例<sup>8)</sup>がある。

中間定着工法は、対象とする PC 鋼材が束ね線か PC 鋼棒のような単線で用いられているか、また永久定着具として利用するか仮定着かによって適する定着体が異なる。本報告では、これらの中間定着工法の適用事例を紹介するとともに、施工上の留意点を述べた。

### 2. 膨張材を用いた中間定着工法

#### (1) 工法の概要

膨張材を用いた中間定着工法は、くさび定着具を取り付けることが困難な PC 鋼線の束ね線(例えば 12φ

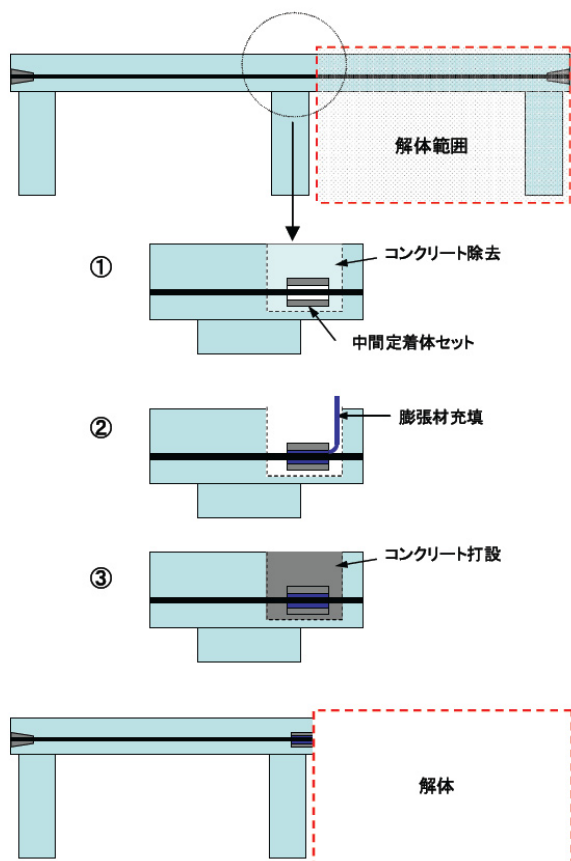
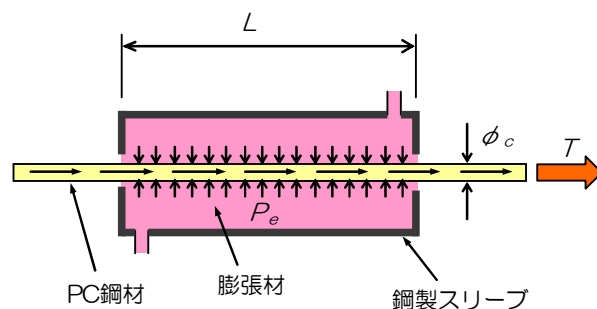


図-1 膨張材を用いた中間定着工法

5mm や 12S12.4 など) に対して適用される。施工は、はつり出した PC 鋼材に中間定着体と呼ばれる鋼製スリーブを取り付け、内部に膨張材を注入してその膨張圧で PC 鋼材を固定するものである。固定後、コンクリートを埋め戻してから中間定着体の後ろで PC 鋼材を切断することができる (図-1)。なお、膨張材による定着は長期的な定着性能を保証するものではないため、切断後はくさびによる永久定着具を中間定着体の後ろに設置する。

本工法における定着の概念と定着力の計算方法を図-2 に示す。膨張材の体積膨張を鋼製スリーブが拘束することにより、PC 鋼材に膨張圧  $P_e$  が作用する。定着力  $T$  は、膨張圧  $P_e$  に PC 鋼材の表面積 ( $U \times L$ ) と PC 鋼材と膨張材間の摩擦係数  $\mu$  を乗じたものとなる。ここでの摩擦係数は、PC 鋼材と膨張材間の粘着力による負担も含めた見かけの摩擦係数である。

PC 鋼材の周長  $U$  は、図-3 に示すように PC 鋼材と等断面積の円の周長としている。これは、束ね線の内部やより線間の空隙には膨張材が浸入しないことを前提とし、なおかつ、束ね線やより線表面の凹凸による接触面積の増加は無視するとの考えによる。束ね線の実験結果<sup>2)</sup>から、このような仮定のもとに定着力から逆算した摩擦係数  $\mu$  がおおむね 0.3 以上になることを確認している。



$$T = U \times L \times \mu \cdot P_e \quad \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

$T$  : PC 鋼材の定着力 (N)

$U$  : PC 鋼材の周長 (mm) =  $\pi \times \phi_c$  ( $\phi_c$  は鋼材直径)

$L$  : 中間定着体の長さ (mm)

$\mu$  : PC 鋼材と膨張材間の摩擦係数 (= 0.3)

$P_e$  : 単位面積あたりの膨張圧 (N/mm<sup>2</sup>)

図-2 定着の概念と定着力の計算方法

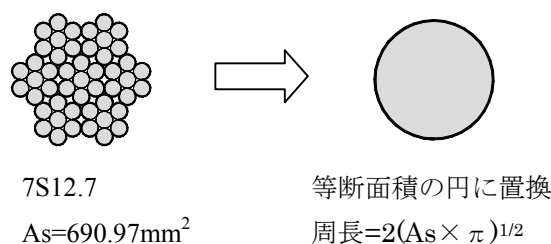
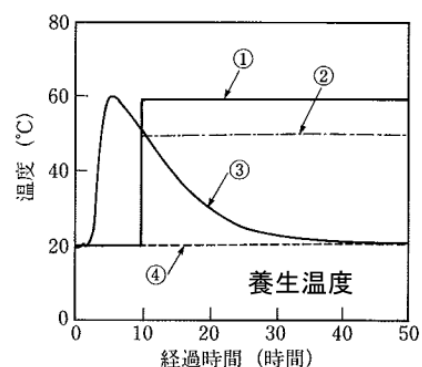
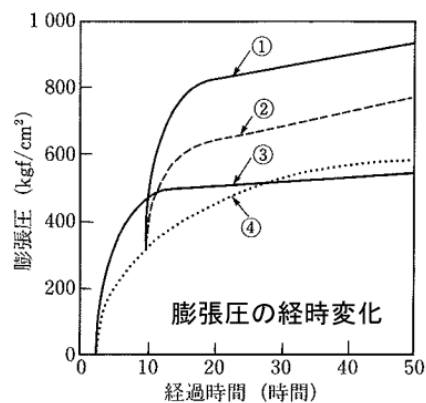


図-3 PC 鋼より線の換算周長

図-4 膨張材の養生温度と膨張圧発現特性<sup>2)</sup>

実際の構造物では PC 鋼線の配置が図-3 左のように軸対称になっておらず、扁平状になっていることが一般的であるが、そのような配置状況でも同等の摩擦係数が得られることを束ね線で確認している<sup>2)</sup>。

膨張材は、石灰および珪酸塩を主成分とするセメント系の粉末材料で、静的破砕材と同様のメカニズムで膨張する材料であるが、膨張圧を制御し易いように、反応速度を抑制している。本材料は、水を加えて練り混ぜるだけで使用でき、練り混ぜ後はスラリー状となり狭い空隙にも比較的容易に充填できるものである。図-4 は、膨張材の養生温度を変えて膨張圧を測定した結果である<sup>2)</sup>。下図が養生温度の経時変化で、上図がそれぞれに対応した膨張圧の経時変化となる。20℃一定の条件(④)では 48 時間後に 50N/mm<sup>2</sup>以上の膨張圧を発現する。10 時間後に養生温度を上げたケース(①, ②)では、温度に応じて膨張圧も大きくなる事が分かる。しかし、③のケースのように養生の初期に高い温度履歴を受けた場合には膨張圧が早い時間で頭打ちとなる。このように、膨張圧は養生温度の影響を大きく受けるため、適切な養生温度管理が必要である。

## (2) 施工例 1 (ゲルバー受け桁の撤去<sup>1-3)</sup>)

東名高速道路石山高架橋は、昭和 38 年供用開始のゲルバー桁を有する 5 径間連続桁橋である(図-5)。昭和 49 年に、ゲルバー受け桁部においてクラックが発見され、その後も損傷が進行していたため、供用後 33 年を経て抜本的な対策が施されることとなった。工事は、橋脚上でゲルバー受け桁を撤去し、新たに箱桁を架設する大規模なものである。

ゲルバー受け桁部には主ケーブル(BBRV46-φ5mm)の定着具が配置されているため、何も対策をせずに受け桁部を解体・撤去するとグラウトと PC 鋼材の摩擦のみで緊張力を保持することとなり、構造性能への影響が懸念された。そこで、受け桁切断位置の手前ではつり出した PC 鋼材に中間定着体(写真-1)を設置することとした。中間定着体は、長さ 500mm、内径 55mm の鋼製スリーブで、2 分割してあるものを計 14 本のボルトで一体化した。定着体を膨張材で固定した後、コンクリートを埋め戻してから中間定着体の後ろの受け桁部

を解体する。膨張圧の管理値は 40N/mm<sup>2</sup>とした。

中間定着体の設置工事は、ウォータージェットによるコンクリートのはつりから超速硬セメントによる埋め戻しまでの工程を夜 8:00～翌朝 6:00 までの 10 時間(実作業時間 8 時間)で行った。1 昼夜あたりの施工箇所数は 2 箇所(1 箇所当たり 4～6 個の中間定着体を設置)で、8 昼夜 16 箇所、合計 83 個の中間定着体を設置した。

定着体設置から 1 年経過後に受け桁部を解体した。解体後、中間定着体の後ろの鋼線それぞれに、図-6 に示すくさびによる永久定着具を設置した。これは、短時間に設置することが出来るように、内部に配置したバネの力によりくさびを圧入する構造となっている。本定着具は静的および動的荷重に対する性能試験を実施して、安全性を確認している<sup>1)</sup>。

## (3) 施工例 2 (横締め緊張材の切断)

浮島橋は総幅員 22.5m のポストテンション単純プレ

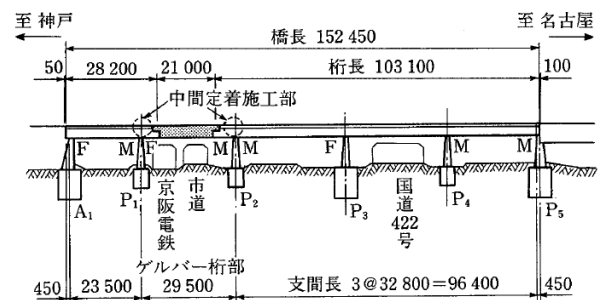


図-5 石山高架橋の概要<sup>2)</sup>

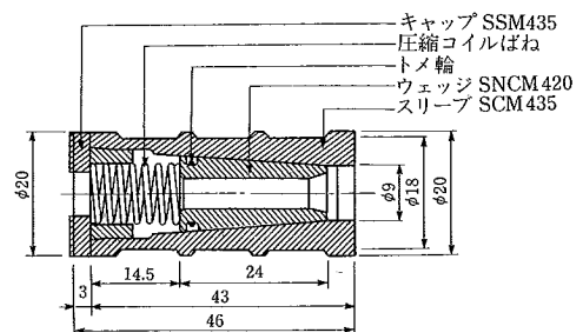


図-6 くさびによる永久定着具<sup>1)</sup>

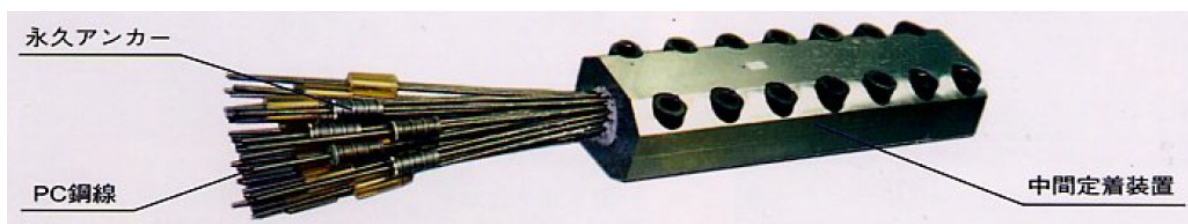


写真-1 石山高架橋で使用した中間定着体<sup>3)</sup>

キャスト箱桁橋で、川崎縦貫道の整備に伴い供用しながら新橋に架替える必要があった（図-7）。供用側の横締め緊張材（12φ7mm）の緊張力を保持したまま切断するため、膨張材を用いた中間定着工法を採用した。

中間定着体は長さ 300mm、内径 50mm の鋼製スリーブである。膨張圧の管理基準値は  $52\text{N/mm}^2$  とした。施工上、3日間で膨張圧基準値を満足するため、打設後 12 時間は  $25^\circ\text{C}$ 、その後 60 時間は  $35^\circ\text{C}$  の養生温度に設定した。

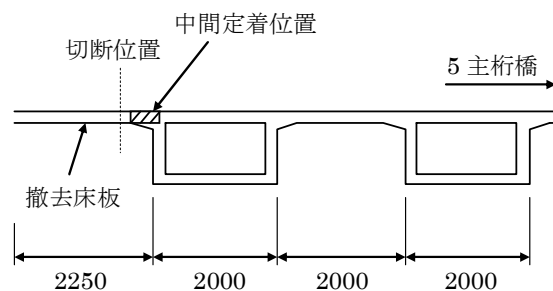


図-7 浮島橋断面図および中間定着位置<sup>1)</sup>

#### （４）施工例３（PC 大梁の部分解体<sup>6)</sup>）

本工事は、地上 4 階建て校舎を解体・増築する工事である。写真-2(1)に建物解体部を示す。解体・撤去する箇所は、老朽化した写真右側の地上 4 階建て校舎と正面の渡り廊下部である。左側の校舎は RC 造 6 階建てで、大空間を確保するため PC 大梁を各階に採用した構造である。渡り廊下部の 2, 3 階部分の PC 大梁は、左側校舎の PC 大梁からの PC 鋼材が連続して配置されている。

この渡り廊下部の PC 大梁を無措置で取り壊した場合、グラウトの未充填や劣化などがあると校舎側 PC 梁のプレストレスが低下することが懸念される。そこで、解体

部と残存部の境界で新たに定着部を設け、PC 鋼材の定着を確保した上で解体することとした。

中間定着する PC 鋼材は 7S12.7、必要定着力は  $742\text{kN}$  ( $0.68P_y$ ,  $P_y$  は降伏強度) である。膨張圧を  $40\text{N/mm}^2$  と見込み、摩擦係数を 0.3 と仮定して式(1)から定着体の長さを 500mm とした。内径は 55mm で、実構造物で使用されているシースの外径 50mm よりも若干大きい径とすることで、PC 鋼より線がどのような状態で配置されていても定着体を設置できるようにした。適用に当たっては定着力試験を実施して安全性を確認した。施工は



(1)解体する PC 大梁



(2)中間定着体の設置



(3)永久定着具



(4)解体後の状況

写真-2 膨張材を用いた中間定着工法による PC 大梁の解体

2本のPC大梁にそれぞれ4箇所ずつ定着体を設置した。

定着体を設置した後、コンクリートを埋め戻し解体を行った。定着体の後ろには、くさびによる永久定着具を設置し(写真-2(3))、PC鋼材を設計緊張力の約80%まで緊張してくさびとPC鋼材を一体化させた。

### 3. くさびを用いた中間定着工法

#### (1) 工法の概要

くさびを用いた中間定着工法は、PC鋼棒やシングルストランド(例えば1T12.7など)のように、くさび定着具を取り付けることができる場合に利用される工法である。一般的には、写真-3のような半割りの鋼製スリーブにくさびをセットしたものが用いられる。単にくさびをセットしただけではセットロスが非常に大きくなるので、ジャッキ等でくさびを圧入する。

圧入荷重は、一般的なPC定着工法で用いられるジャッキの圧入荷重が参考になる。表-1は、SM工法(住友電工スチールワイヤー株式会社)とFKKシングルストランドシステム(極東鋼弦コンクリート振興株式会社)における圧入荷重と圧入後のセット量(設計値)をまとめたものである。PC鋼材径が大きくなるに従って圧入荷重も大きくする必要がある。また、圧入しても数ミリのセット量が必ず生じる点に注意が必要である。

くさびと鋼製スリーブによる定着体をはつり出したPC鋼材に設置し、コンクリートを埋め戻した後は、これを永久定着具として利用できる。すなわち、膨張材を用いた中間定着工法のように、中間定着体の後ろに永久定着具を付ける必要はない。

#### (2) 施工例1(ゲルバー桁撤去)

長崎県の鈴田橋は、全長798mの長大PC橋である。

中央部の7径間連続ラーメン橋(485m)に1箇所設けられたゲルバーヒンジ部において、アルカリ骨材反応によるひび割れが顕著となったためゲルバー部を撤去して連続化工事を行うこととなった。工事は、まず、図-8に示す位置で桁を切断してゲルバー部を撤去した後、撤去部前後の桁の鉄筋を接続・再構築してコンクリートを打設し連続化する。連続化に伴い、不足するプレストレスについては、外ケーブルを新たに設置することで補った。工事の状況を写真-4に示す。

本連続化工事では、必要なプレストレスは全て外ケーブルで補うため、桁内のPC鋼棒(φ32mm)は中間定着をすることなく切断する。PC鋼棒は、シーす内のPCグラウトによりコンクリートとの一体化が図られているが、切断したまま供用すると桁の振動などで付着劣化し

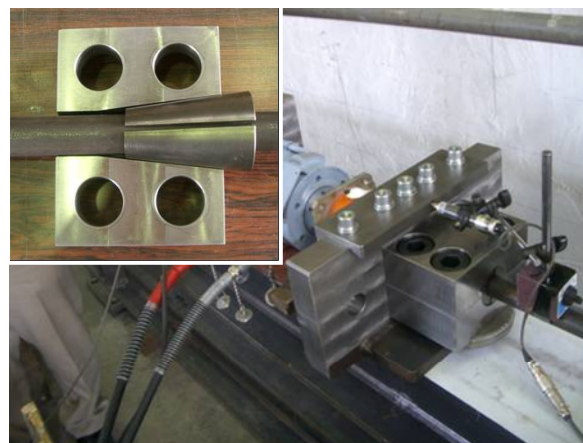


写真-3 鋼製スリーブとくさびの例

表-1 PC鋼より線のくさび圧入荷重とセット量

| PC 鋼材  | SM 工法        |              | FKK シングル     |              |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|
|        | 圧入荷重<br>(kN) | セット量<br>(mm) | 圧入荷重<br>(kN) | セット量<br>(mm) |
| 1T12.4 | 11.0         | 3.0          | 25.1         | 3.0          |
| 1T12.7 |              |              |              |              |
| 1T15.2 |              |              |              |              |
| 1T17.8 | 22.0         | 3.5          | 46.0         | 4.0          |
| 1T19.3 | 24.1         |              |              |              |
| 1T21.8 |              |              |              |              |
| 1T28.6 | 51.8         | 5.0          | 75.4         | 5.0          |



写真-4 ゲルバーヒンジ撤去工事状況

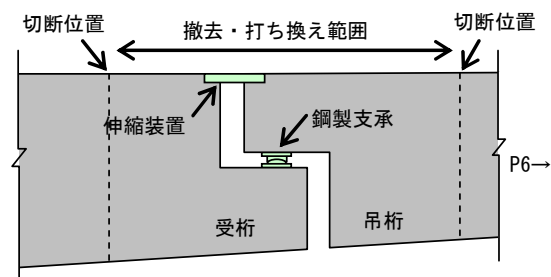


図-8 ゲルバーヒンジ部切断位置

て鋼棒が突出するなどの懸念があったため、くさびによる定着体を設置することとした。PC 鋼棒の定着は、端部をネジ切り加工してナットで行われるのが一般的であるが、今回は現場でのネジ切り加工が困難なため、くさびを用いた。

くさびによる定着具は、写真-5 に示すように、ネジ切り加工してある円筒状のメスコーンとくさびで構成されている。適用に当たっては、定着効率試験を実施し安全性を確認した。本定着具の定着効率は、PC 鋼棒破断荷重の 95%以上である。また、実際の施工を模した緊張試験により、セットロスが十分小さくなる引張荷重が 200kN（設計荷重の約 40%）程度であることを確認し、定着荷重として設定した。

### （３）施工例 2（PC 単純床板橋の分割撤去<sup>4)</sup>）

プレテンション I 形桁を 30 本配置した PC 単純床板橋（橋長 12.8m、橋幅 10.3m）を供用しながら分割撤去する工事である。I 形桁は  $\phi 24\text{mm}$  の横締め PC 鋼棒により一体化されているため、分割撤去する際に PC 鋼棒を切断する必要がある。そこで、くさびを用いた中間定着体を設置して、残存部のプレストレスに影響を与えないように施工を行った。

図-9 は、施工前に実施したくさびの圧入試験の結果である。圧入圧力を上げると、くさびのめり込み量（図中右軸のウェッジ移動量）が増加し、約 4MPa（31kN）でほぼ一定値となっている。圧入圧力を 10MPa（77kN）まで増加させた後、緊張力を開放したところ、2.5mm のセット量が生じた。そこで、実施工では圧入圧力を 10MPa とし、セット量の管理値を 3.0mm としている。

### （４）施工例 3（下路式ローゼアーチ橋の吊材交換<sup>5)</sup>）

君津新橋は、RC アーチリブと PC 下弦材で構成される下路式ローゼアーチ橋である（写真-6）。建設後 36 年でアーチリブと下弦材を繋ぐ吊材（ $\phi 32\text{mm}$  PC 鋼棒）が 1 本破断し、他の吊材も腐食していることが判明したため、吊材を全数交換することとなった。交換に当たっては、一般的には鋼棒端部にジャッキを装着して緊張力を開放して撤去する。しかし、本工事では PC 鋼棒端部で必要となるネジ切り長が確保できなかったため、くさびを用いた中間定着工法を利用した応力開放装置（写真-7）により切断することとした。

応力開放装置は、PC 鋼棒を切断位置の上下 2 箇所に配置したくさび定着具で PC 鋼棒を掴み、別途配置した開放用 PC 鋼棒と 2 台のジャッキにより定着具間の緊張力を開放するものである。



写真-5 PC 鋼棒の定着具設置状況

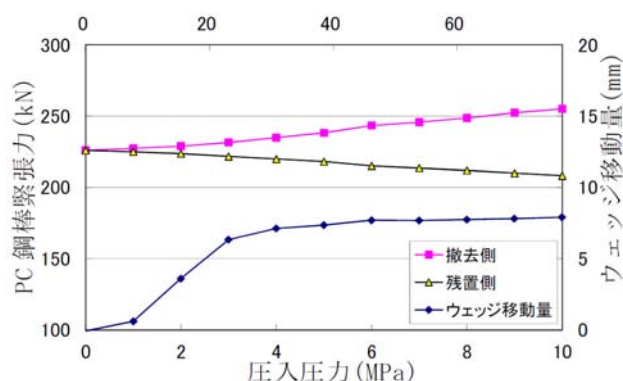


図-9 くさび圧入時の挙動<sup>4)</sup>



写真-6 君津新橋<sup>6)</sup>



写真-7 くさび定着による応力開放装置<sup>7)</sup>

表-2 中間定着工法の比較

| 項目                  | 膨張材を用いた方法                                                                                                                                                                     | くさびを用いた方法                                                                                                                                                                         |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 適用できる PC 鋼材         | PC 鋼線を束ねたもの<br>PC 鋼より線を束ねたもの<br>(くさびが利用できないもの)                                                                                                                                | PC 鋼単線, PC 鋼より線単線 (シングルストランド), PC 鋼棒など                                                                                                                                            |
| 定着力の長期性能            | 膨張圧の永続性は保証されていない (別途永久定着具を付ける必要がある)                                                                                                                                           | 永久定着具として利用できる                                                                                                                                                                     |
| 施工上の留意点             | 膨張材の養生温度や膨張圧の管理が重要                                                                                                                                                            | くさび圧入荷重の設定とセットロスの管理が重要                                                                                                                                                            |
| 適用事例 (中間定着した PC 鋼材) | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PC 箱桁橋を供用しながら架け替える際の横締め緊張材の切断工事 (12 φ 7mm)</li> <li>・ 劣化したゲルバーヒンジ部の解体 (46 φ 5mm)</li> <li>・ 建築構造物における PC 大梁の部分解体 (7S12.7)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ PC 床版橋を供用しながら分割撤去 (1T21.8)</li> <li>・ ゲルバーヒンジ部解体後の主桁 PC 鋼棒のあと定着 (PC 鋼棒 φ 32mm)</li> <li>・ 下路式ローゼアーチ橋吊材交換時の応力開放 (PC 鋼棒 φ 32mm)</li> </ul> |

写真-7 (右) は実験室で実施した開放試験の状況である。開放試験により、くさびを用いた中間定着により PC 鋼棒の緊張力を開放・切断できることを確認した。

また、実物 PC 鋼棒の張力を正確に把握することが困難なため、ある程度の張力が残存することを想定し、設計引張力 403kN の約 35% (約 140kN) の張力が残存している状態で PC 鋼棒を切断した。その結果、この程度の張力が残存しても安全に切断できることが確認できた。

実施工に当たっては、吊材切断による構造への影響を確認するため、隣接する吊材の張力測定、下弦材のたわみを計測した。

#### 4. おわりに

膨張材およびくさびを用いた中間定着工法の概要と施工例を紹介した。膨張材による中間定着は、PC 鋼束ね線の場合にくさび定着ができない場合に用いられる。

現時点では膨張材の長期性能が保証されておらず鋼材切断後にくさび定着を付加する必要がある。一方、くさびによる中間定着は、PC 鋼棒やシングルストランドで用いられ、永久定着具として利用可能である。実績および施工上の留意点と合わせてこれらをまとめて表-2 に示す。これら中間定着工法は、今後、社会資本の再構築が進められていく中で有用な技術であり、さらに安全・確実な工法となるよう、改良・開発を進めていく予定である。

#### 5. 参考文献

1) 永田孝夫, 渡辺泰行, 江口洋一, 菊池秀二, 長橋弘和, 高橋寛正: 石山高架橋切断・架替え工事に伴う

設計・施工, 橋梁と基礎, pp.20-28, 1997.9

- 2) 渡辺泰行, 菊池秀二, 長橋弘和, 中島規道: 中間定着工法の開発とその施工, プレストレストコンクリート Vol.40, No.3, pp.36-40, 1998.3
- 3) 日本道路公団名古屋管理局栗東管理事務所: 名神高速道路 石山高架橋ゲルバー桁架替工事報告, 全建道友, pp.63-68, 1997.2
- 4) 太田誠, 山本悦治, 木戸浩幸, 米澤利之: 横締め PC 鋼棒の中間定着による供用中の PC 単純床板橋の分割撤去, 第 20 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.49-52, 2011.10
- 5) 麻生隆徳, 林俊弥, 石山一幸, 石井祐二: 君津新橋の恒久対策設計, 第 19 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.93-96, 2010.10
- 6) 林俊弥, 熊谷裕司, 渡辺昭三, 大石眞也: 君津新橋のリニューアル工事, 第 19 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.97-100, 2010.10
- 7) 浅井洋, 林俊弥, 藤原保久, 竹之井勇: PC 鋼棒緊張力開放装置の開発と実用化—アーチ橋吊材への適用—, 第 19 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.101-104, 2010.10
- 8) 篠崎裕生, 加納嘉, 浅井洋, 安川和公: 中間定着工法を用いた PC 大梁の部分解体—膨張材を用いた PC 鋼より線の仮定着—, プレストレストコンクリート Vol.55, No.1, pp.33-38, 2013.1