

曾根高架橋ほか 2 橋の橋梁補強工事

永井 淳一^{*1}・山口 慶三^{*2}・北川 琢也^{*3}・中井 裕司^{*4}

1. はじめに

曾根高架橋他 2 橋は、姫路バイパスに架設されたプレキャスト桁の PC 橋であり、兵庫県高砂市と姫路市の境に位置している。姫路バイパスは、一般国道 2 号の慢性的交通渋滞に対して、市街地の通過交通を回避する幹線道として昭和 50 年に供用を開始した。供用後 20 年経過し、老朽化と重交通によりジョイントに著しい損傷がみられ、発生する騒音及び走行性の改善が必要とされていた。よって、本工事は曾根高架橋(写真-1)のほか天川にかけられた 2 橋(写真-2)について外ケーブル補強を

実施し、主桁連結を行うことにより既設橋梁のノージョイント化による走行性および環境の改善を目的とし、加えて、近年の規制緩和措置に伴う設計荷重の見直しによる荷重増に対しての主桁補強(車両大型化への対応)を目的として計画されたものである。

2. 工事概要

図-1 に一般図を、工事概要を以下に示す。

工 事 名：姫路バイパス 曾根高架橋他 2 橋橋梁補強工事

路 線 名：一般国道 2 号(姫路バイパス)

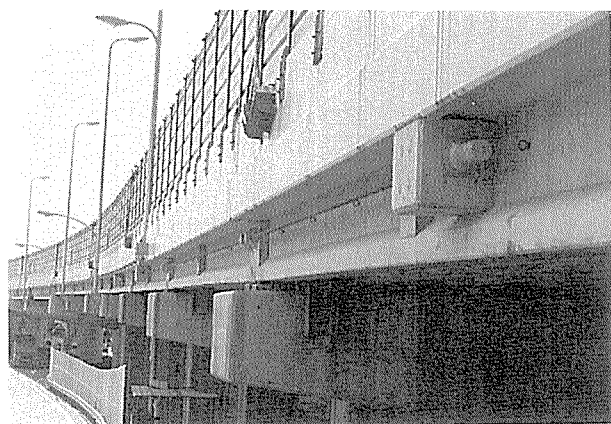


写真-1 完成 曾根高架橋

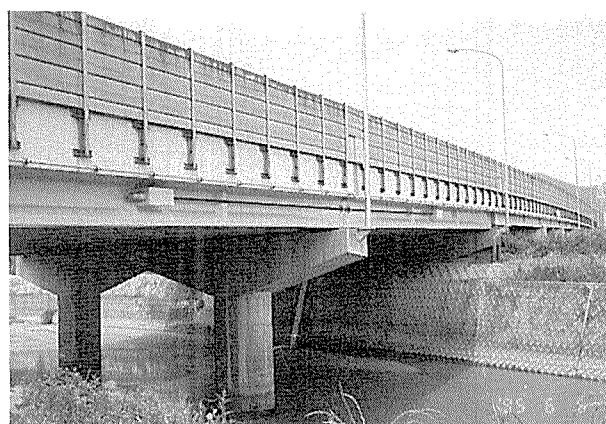
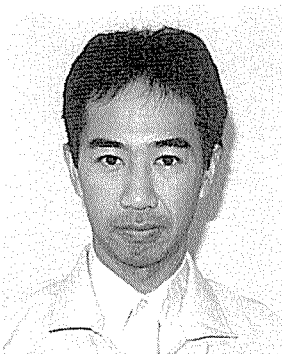
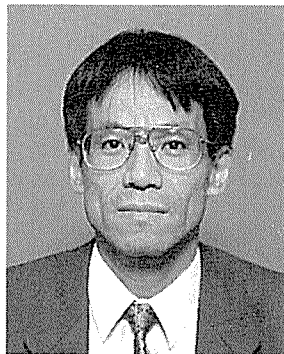


写真-2 完成 天川第 2 橋



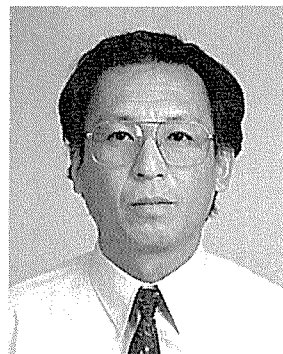
^{*1} Jun-ichi NAGAI
JH 日本道路公団
大阪管理局
西宮北管理事務所
(建設当時：大阪管理局)



^{*2} Keizou YAMAGUCHI
JH 日本道路公団
大阪管理局
姫路管理事務所



^{*3} Takuya KITAGAWA
オリエンタル建設(株)
大阪支店
工事部



^{*4} Hiroshi NAKAI
住友建設(株)
技術研究所

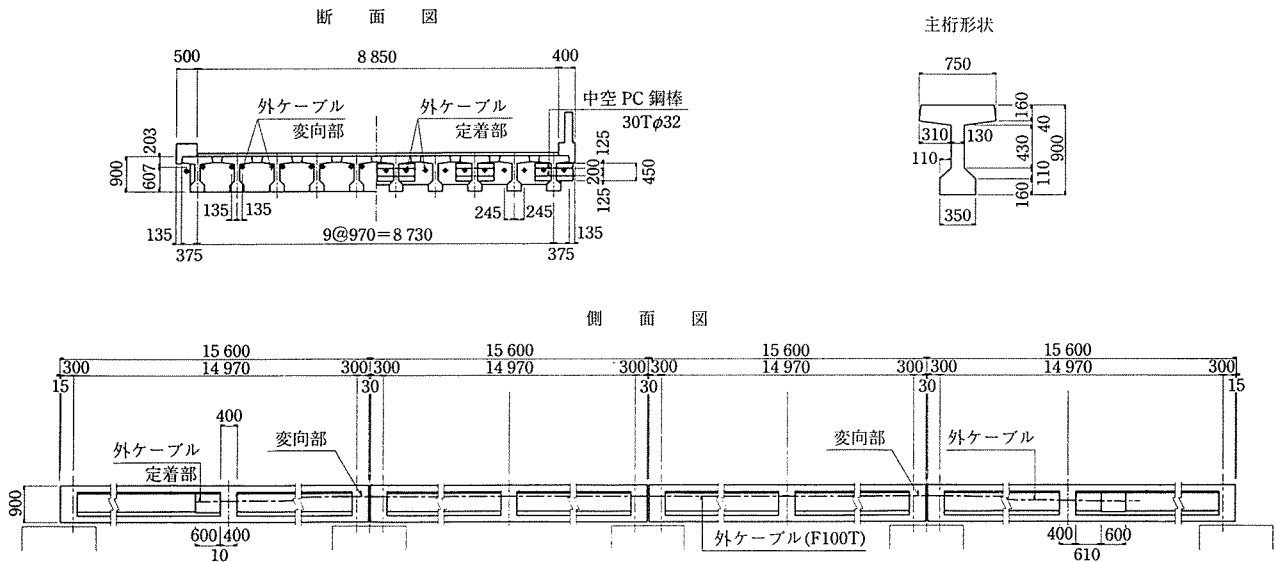


図-1 4径間連結一般図

工事場所：兵庫県高砂市春日野町～姫路市別所町
連結規模：

(曾根高架橋) プレテンション方式単純T桁橋
4径間連結 4×15.600 (上り線)
3径間連結 3×15.600 (上り線)
6径間連結 6×15.600 (下り線)

(天川第2橋) ポストテンション方式単純T桁橋
2径間連結 2×26.060 (上下線)

(天川第3橋) ポストテンション方式単純T桁橋
2径間連結 2×24.050 (上下線)

外ケーブル：SEEE F100T タイプ
F200T タイプ

定着体緊張材：中空PC鋼棒 30T (φ32)
アラミド緊張材 9-φ7.4

コンクリート：定着体 高流動コンクリート
 $\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$
遊間部 高流動化超速硬コンクリート
 $\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$

3. 設計概要

単純桁が連続した橋梁でのジョイントをなくす方法としては、主桁連結工法、床版連結工法、横桁連結工法、埋設ジョイント工法等がある。本工事では主桁の補強も含めて行うものとし、単純桁の連続化をめざす主桁連結工法を採用した。

主桁連結工法は、単純桁の遊間部にコンクリートを充填し、連続した外ケーブルのプレストレス導入により隣接する桁相互を結合する工法である。連結部の設計では主桁の補強レベルを考慮して、活荷重 (B 荷重) を全幅載荷とせず、車線部のみの載荷とし実供用荷重をにら

で仮想のトレーラー荷重 (60 tf) を用いた。外ケーブル選定において、導入プレストレスがこの載荷状態に対して主桁連結部上縁に引張応力を発生させないことを条件とした。活荷重による断面力の解析は、既設構造と連結構造の両方を対象とし、ねじりの影響を考慮した平面格子解析にて行った。

従来プレキャスト桁に外ケーブルを用いる場合、外ケーブル定着体は、ブラケットタイプを主桁ウェブに取り付ける方法が採用されている。この施工において定着体と既設桁との一体化は、PC 鋼棒を用いたポストテンション方式で行うのが一般的であるが、ポストテンション方式では、以下の課題が残されている。

- 1) 鋼材の長さが 1 m 程度ときわめて短いため定着時のセットロスが大きく影響する。
- 2) 緊張時の鋼材の伸び量が小さいため (計算値 3 mm)、セットロス等の影響が大きく緊張管理が困難である。
- 3) 既設の桁間での緊張作業となり作業スペースが狭い。

今回の工事では、ポストテンション方式の問題点を改善すべく、定着体横締め緊張材をプレテンション方式にて施工する計画を立案した。この定着体横締め緊張材には中空 PC 鋼棒、アラミド緊張材を採用して、以下に両者の概要について説明する。

中空 PC 鋼棒は、「アバットを必要としないプレテンションシステム」である。システムを構成する各部の名称とプレストレス導入システムは、それぞれ図-2 および図-3 に示す。本システムは外側の中空 PC 鋼棒と内側の反力 PC 鋼棒から成り、互いに反力を取らせることにより反力 PC 鋼棒には圧縮力を、中空 PC 鋼棒には引

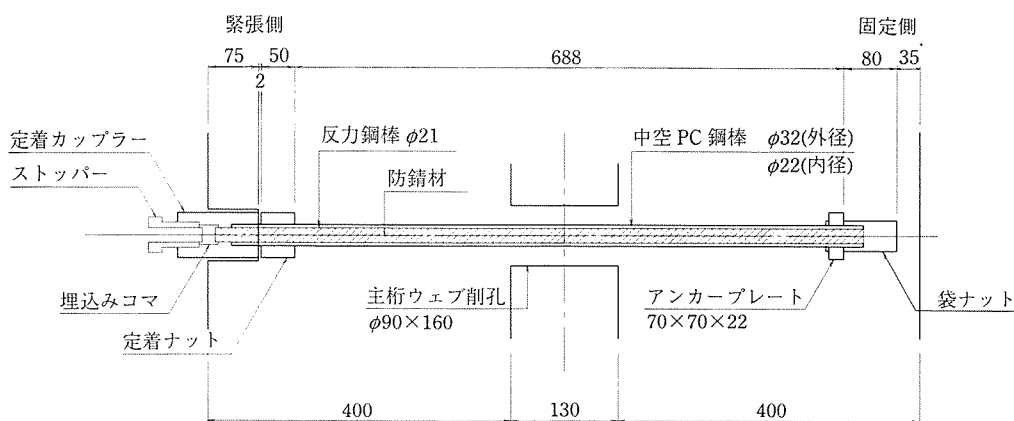
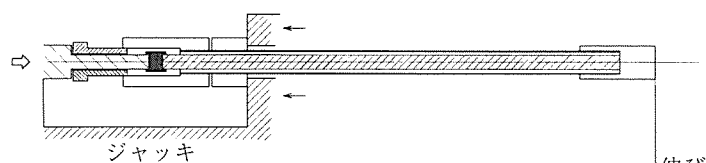
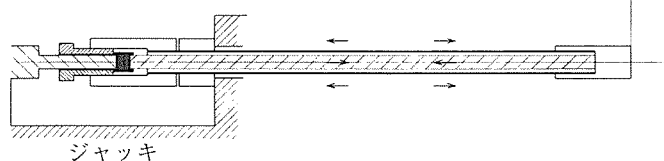


図-2 中空 PC 鋼棒

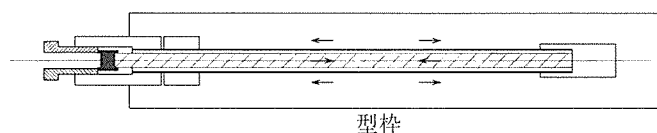
1. 緊張（反力 PC 鋼棒の押込み）



2. 押込み力の固定



3. 型枠内に組立て後、コンクリート打設



4. プレストレス導入（反力鋼棒撤去）

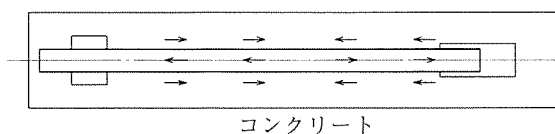


図-3 プレストレス導入システム

張力を与えてコンクリートの硬化後、力の釣合いを解放することにより付着力を介してコンクリート部材にプレストレスを導入する新しいプレテンション方式である。使用する PC 鋼棒の機械的性質と形状を表-1に示す。

アラミド緊張材は、高分子材料であるアラミド繊維を樹脂で固めて緊張材としたものであり、従来の PC 鋼棒と同等の引張耐力を有し、軽量で耐食性に優れている。

今回工事で使用するアラミド緊張材は、プレテンション材として付着を期待できるよう表面に凹凸を持たせた異形ロッドを使用した。アラミド緊張材のプレストレス

表-1 中空 PC 鋼棒の機械的性質と形状

	中空 PC 鋼棒	反力 PC 鋼棒
引張強度 (kgf/mm ²)	95	110
降伏点強度 (kgf/mm ²)	110	125
許容緊張荷重 (tf)	32.4	—
許容圧縮荷重 (tf)	—	30.3
外径 (mm)	32	21
内径 (mm)	22	—
厚さ (mm)	5	—
公称断面積 (mm ²)	424.1	346.4

導入には、従来のプレテンション方式と同様に反力を保持する反力台を必要とする。またアラミド緊張材の定着部は、ナット定着用のねじ加工を施した外筒管にアラミド緊張材を挿入し、その外筒管に無収縮モルタルを充填材として注入して付着定着体とする。アラミド緊張材の力学特性を表-2に示す。

表-2 アラミド緊張材の力学特性

弾性係数 (kgf/mm ²)	5400
引張強度 (kgf/mm ²)	180
リラクゼーション率 (%)	23 (100年推定値)
破断伸度 (%)	3.3
引張耐力 (tf)	68.4
公称断面積 (mm ²)	381.6

4. 外ケーブル定着体耐力確認実験

中空鋼棒、アラミド緊張材を外ケーブル定着体の緊張材として使用するの、初めての試みである。このため工事施工前に、両者を使用した定着体の耐力を確認する目的で実橋モデルの実験を行った。そのうち中空 PC 鋼棒を使用した実験について述べる (図-4)。

写真-3に示すように、実橋モデルに近いプレキャスト

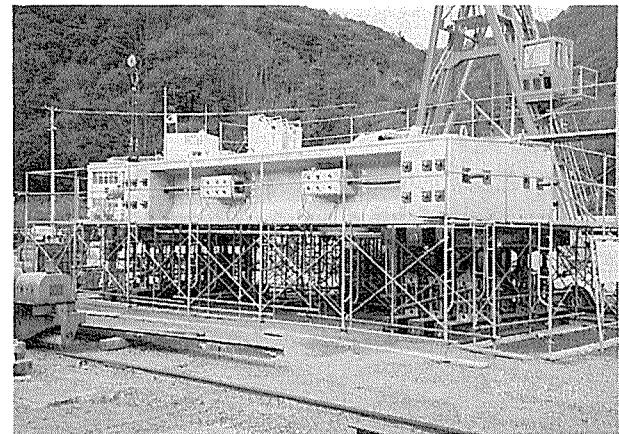


写真-3 定着体確認実験

ト桁を製作し、後打ちコンクリートを打設した外ケーブル定着体に中空 PC 鋼棒によるプレストレスの導入を行った。その後、外ケーブルを設計荷重の2倍以上の引張力で載荷し定着体耐力を確認した。実験ケースとしては施工の対象であるポストテンション桁およびプレテンション桁に対して、各々中桁および耳桁の定着体を想定した。ここでは、プレテンション桁についての実験ケースを報告する。

定着体の耐力および滑動の確認は、実橋での外ケーブ

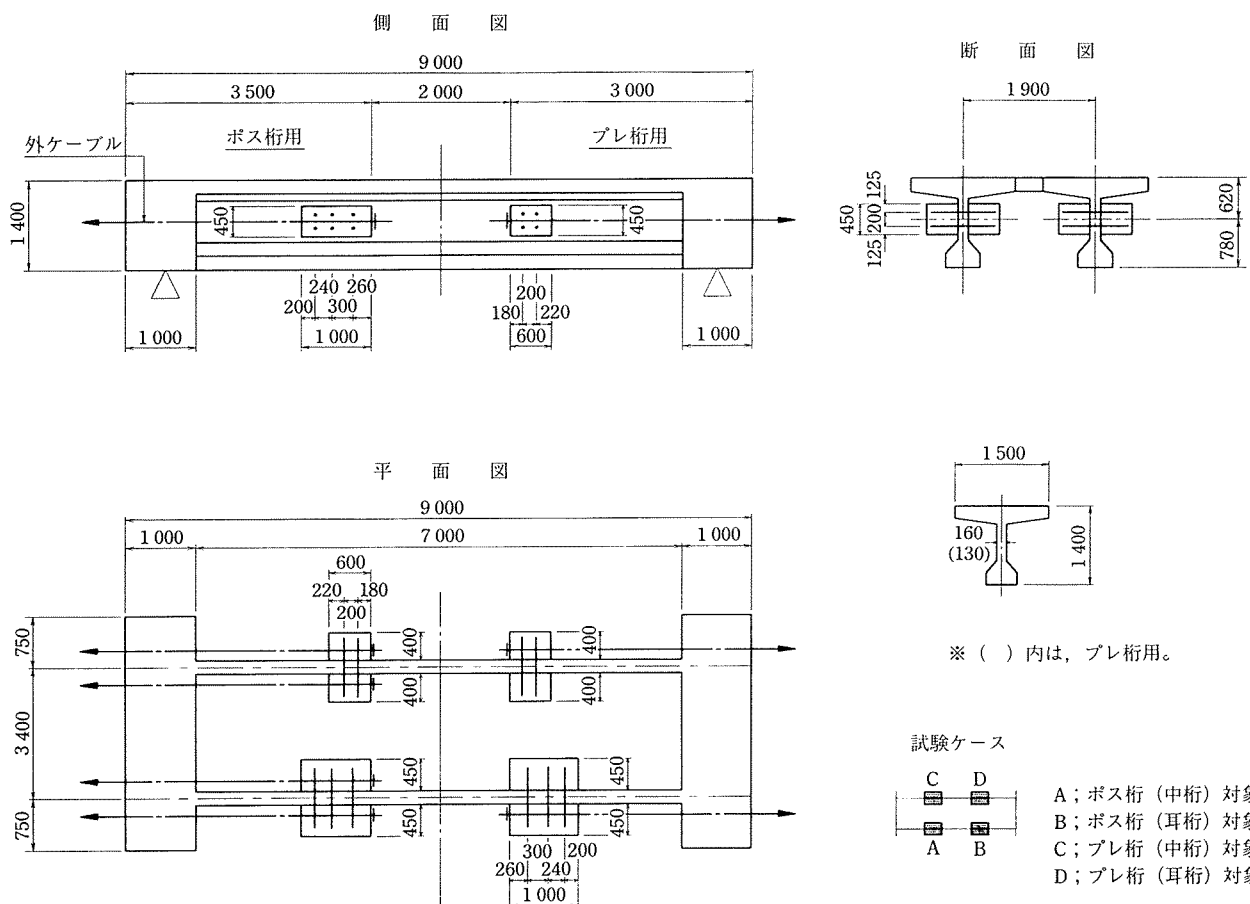


図-4 実験装置

ルの設計引張力を踏まえて定着体に配置したひずみゲージおよび変位計を用いて測定した（写真-4）。測定位置および載荷荷重と変位の関係をそれぞれ図-5、図-6に示す。

次に定着体下面のひずみについて、測定位置および載荷荷重とひずみの関係をそれぞれ図-7、図-8に示す。設計荷重（ $P=60$ tf）範囲内において、ひずみ分布は直線上となし設計値とほぼ一致し、定着体の変位の挙動は弾性的であると考えられる。設計荷重を超えた $P=85$ tf 付近において最大ひずみは定着体中央に移行し、定着体固定側のひずみは増加しなくなる。この載荷状態では定着体の固定側にウェブとの縁切れ（剝離）がみられ、その影響が変位のみだれとして現れている。

これは、載荷荷重が $P=75$ tf の時、定着体の固定側縁端部の縁応力度が計算上 $\sigma=0$ kgf/cm² となることより、実験結果と解析値がよく一致していることを表していると考えられ、妥当な結果が得られたと判断する。

また、実験の1ケースである耳桁用の耐力確認は、ウェブに対して偏載荷重が作用する外ケーブルの片側のみの配置を想定したものである。このケースでのウェ

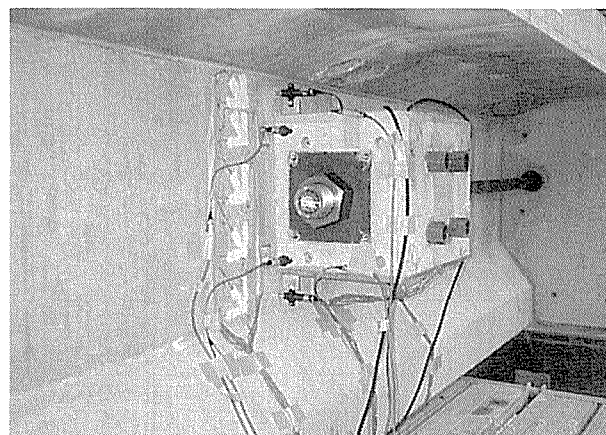


写真-4 定着体測定

ブひずみは、中桁用の実験で発生したような均等なひずみ分布とならずウェブ表裏に大きなひずみの差が見られ、外ケーブルによる引張力がウェブに均等に伝達されていないと考えられる。これが桁に悪影響を及ぼすと考えられ、何らかの補強が必要となるため、実際の施工において耳桁用の外ケーブルは、中桁と同様にウェブ両側に配置することとした。

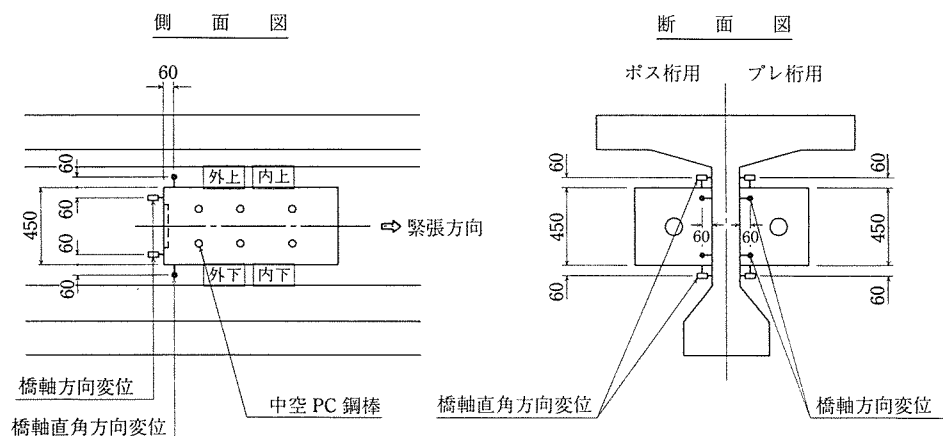


図-5 載荷状況および定着体変位測定位置

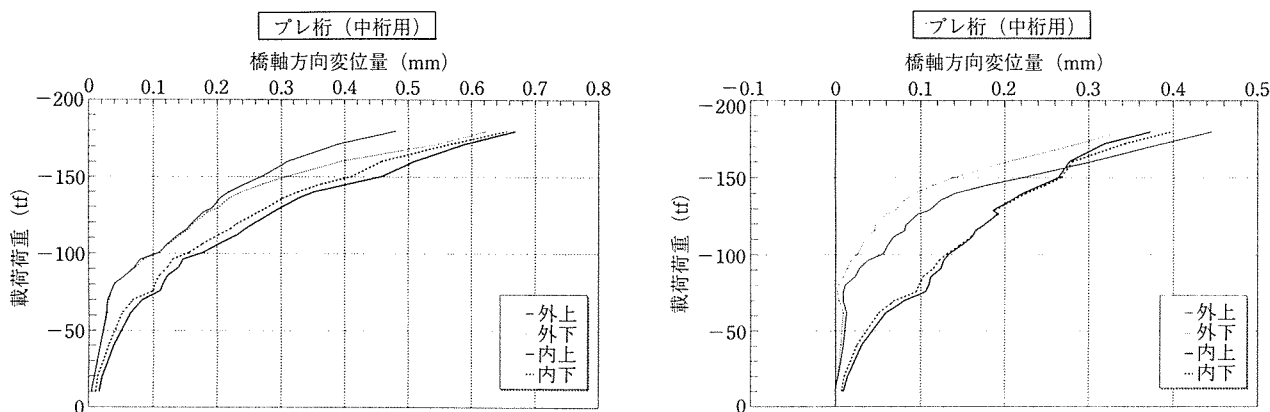


図-6 定着体変位

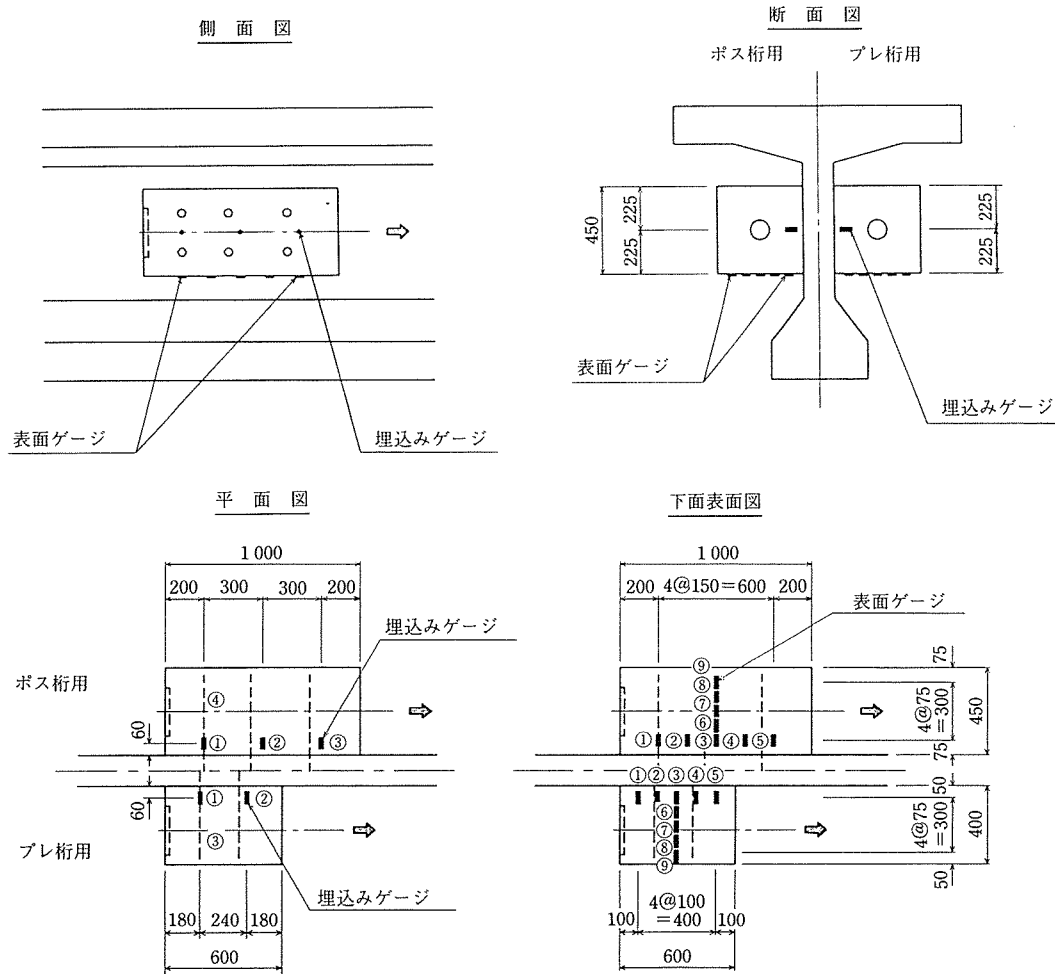


図-7 ひずみ測定位置

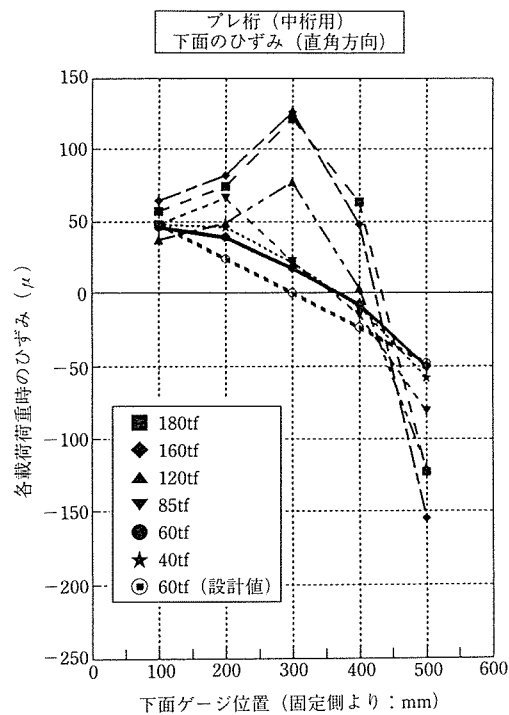


図-8 ひずみ図

5. 施 工

施工順序を図-9に示す。以下に今回の補強工事の主な工種である外ケーブル定着体工，遊間部コンクリート工および外ケーブル工について報告する。

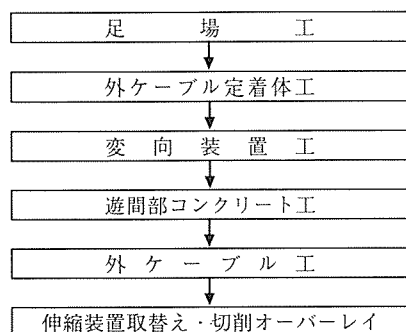


図-9 施工順序

5.1 定着体の緊張材

(1) 中空 PC 鋼棒を用いた定着体の施工

中空 PC 鋼棒は，プレテンション桁の曽根高架橋と，斜角のある天川第2橋に使用した。

その施工手順はまず，現場において中空 PC 鋼棒，反力 PC 鋼棒，固定治具を組み立て，その中空 PC 鋼棒にジャッキを用いて緊張力を与えることにより，緊張済みユニットを製作した。また緊張作業（写真-5）では，ロードセルおよび高感度ひずみ計を使用して管理を行い，固定治具セット後の伸び量の変化に対応した。

次に，探査を行って削孔した既設桁の貫通孔にこのユニットを配置し，鉄筋・型枠を組み立て，コンクリートを打設した（写真-6）。コンクリートの硬化後，電動レンチを使用して固定治具を開放し定着体にプレストレスを導入した（写真-7）。

中空 PC 鋼棒を使用したことによる改善点を従来の PC 鋼棒と比較して以下に示す。

- 1) プレテンション方式であるため解放時のセットロスがなく，ロードセル・高感度ひずみ計を使用して精度の高い緊張管理が行える。またグラウト作業，定着具の防錆処理が省ける。
- 2) 中空 PC 鋼棒の組立緊張が，任意の場所で行える。緊張機器を定めた場所に固定でき，緊張作業を集中して行える。また反力 PC 鋼棒，固定治具については転用が可能である。
- 3) 中空 PC 鋼棒は大きい定着具を必要とせず小さい部材への配置が，容易に行える。またプレストレスの導入は，簡単なレンチによる解放作業のみであり，現場での管理作業を必要としないため，足場上での煩雑な作業が省略される。



写真-5 中空鋼棒緊張

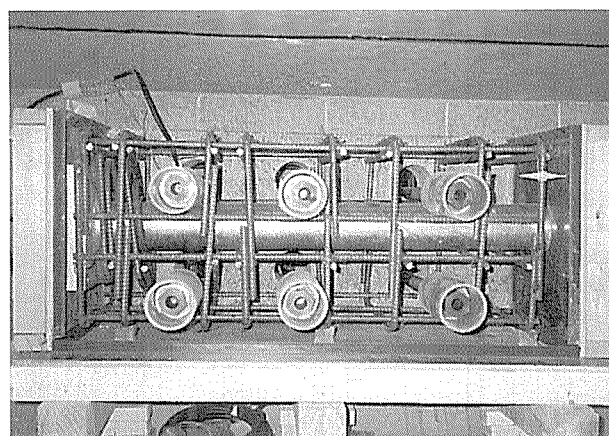


写真-6 中空鋼棒配置



写真-7 中空鋼棒 プレストレス導入

(2) アラミド緊張材を用いた定着体の施工

アラミド緊張材の緊張作業には，仮設材として鋼製の反力架台（アバット）が必要となる。また各桁間の定着体を一括緊張することから斜角が小さい橋梁を選定し，ポストテンション桁の天川第3橋に採用した。

アラミド緊張材は，ロールの荷姿で現場に搬入した。

伸線作業にはアンリーラーを用いて，高速切断機にて使用長に切断した。アラミドの定着方法は，前述の付着定着とし，定着具を現場で製作した（写真-8）。その定



写真-8 アラミド緊張材定着部製作

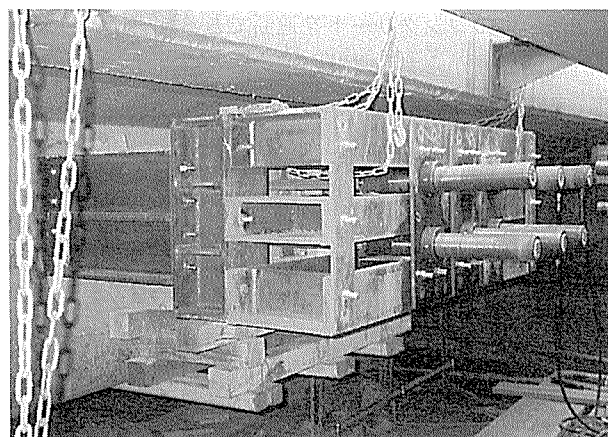


写真-9 反力架台

着具の外筒管の充填材は無収縮モルタルに AE 減水剤を添加したものを使用した。鉄筋型枠を組み立てた後、耳桁にはアラミド緊張材の反力を保持する反力架台を組み立て（写真-9）、桁間には上記反力を伝達させ主桁の変形を拘束する中間支持架台をセットする（写真-10）。

アラミド緊張材は、あらかじめ型枠にあけておいた孔を通して配置する。片引きにて橋軸直角方向に一括緊張し、コンクリートの打設硬化後、外ケーブル定着体間のコンクリートに被覆されていないアラミド緊張材の切断により、プレストレスが導入される。

アラミド緊張材をプレテンション方式により定着体横締めを使用した場合と、通常の PC 鋼棒を用いたポストテンション方式との比較を以下に示す。

- 1) 緊張架台の組立て作業が追加されるが、アラミド緊張材は軽量で取扱いが容易である。また一括緊張により定着体個々の緊張作業が省け、煩雑な緊張管理も不要となる。
- 2) プレテンション方式のため、セットロスが発生しない。
- 3) アラミド緊張材の力学特性から伸び量が大きく、コンクリートのクリープ乾燥収縮による緊張力の減少を無視できる。
- 4) 耐食性に優れており後処理を必要としない。

5.2 定着体コンクリートの打設

定着体のコンクリートは、プレテンション桁と同じ強度 $\sigma_{ck}=500 \text{ kgf/cm}^2$ （早強セメント）とした。通常ではこの強度のコンクリートの取扱いは難しく、緊張材がプレテンション材であり充填の確実性から高性能減水剤を使用した流動性の高いコンクリートを採用した。配合

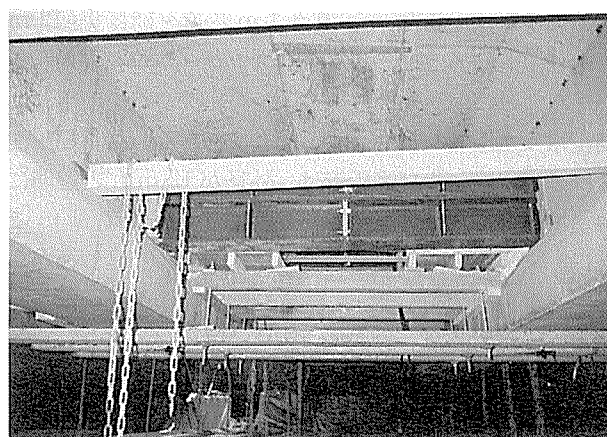


写真-10 中間支持架台

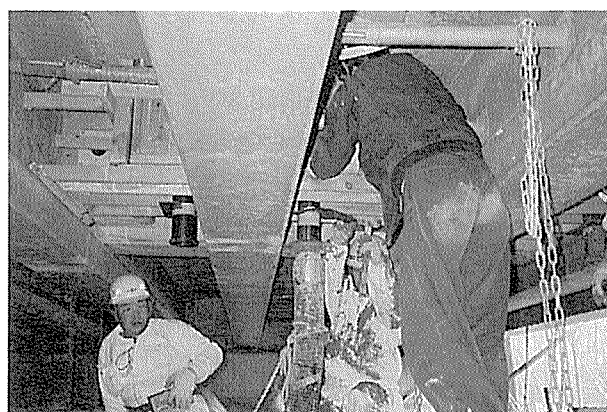


写真-11 定着体 コンクリート打設

においては試験練りを行い決定した。表-3 にその配合を示す。

プレテンション桁では、定着体と既設桁の床版の空気が小さく上面からの打設が困難である。この理由からポ

表-3 定着体コンクリート配合表

セメント 種類	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	水セメント 比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)				
						セメント	水	細骨材	粗骨材	減水剤
早 強	20	50±5	4±1	35.0	42.0	471	165	694	984	8.01

ンプ圧送中のコンクリートを遮断できる配管を底枠に取り付け、底面からコンクリートをポンプ圧送して打設した（写真-11）。締固めは型枠バイブレーターを使用した。プレストレス導入時にコンクリートのひずみ変化を測定した。その結果は、設計計算における弾性変形に等しいひずみが得られており、コンクリートと緊張材の付着は充分確保されたと判断できた。

5.3 遊間部コンクリートの打設

連結部となる中間支点遊間部は、外ケーブルの緊張力を隣接した主桁に伝達する役割を担っており、コンクリートの充填性および付着性を確保するために、前作業である遊間部の清掃を入念に行う必要がある。よって本工事では、高圧水を使用した清掃を試みた。この遊間部の大きさは、幅 3 cm・高さ 1 m 程度・延長 9～12 m であり、遊間形成材として発泡スチロールが埋設されていたが、この発泡スチロールは、高圧洗浄機を使用した高圧水（水圧 200 kgf/cm²）により取り除いた。高圧洗浄機の噴出口および高圧管は、外径が 12 mm と遊間に容易に挿入できる大きさであり、また高圧管は、1 m ごとに接続できる構造となっている。このことは側面から中央付近の施工を可能とし、本線の通行規制に関係なく除去作業が行えた。除去後、広角の噴出口に取り替え、接合面の不純物の除去および目荒らしを行った。変向部の削孔施工で採取したコアでは、発泡スチロールの除去ほか打継面の清掃も確認された。また高圧水により発泡スチロールは、砕かれて水を含んでおり飛散することなく回収することができた。この高圧水を使用した施工方法は、後処理にも良好といえる。

一方、打設スペースが遊間幅の 3 cm しかないので、コンクリートは、締固めが不要であることが要求されるとともに、車両による振動の影響を少なくする速硬性が必要であることを考慮して、高流動化超速硬コンクリートを用いることとした。また試験練りの結果を基に遊間幅を考慮して最大骨材寸法を 10 mm として配合した（表-4）。コンクリートの打設は、充填性の確認を必要とすることから、本線を車線規制して片車線ずつ施工した。

ジョイントの撤去およびはつり殻などの清掃を行った後、型枠を組み立てた。車線間の仕切型枠は、硬化したあと容易に脱型可能なゴムチューブを用いた。桁下スペース 3 cm 程度しかなく、底枠の組立作業が困難であることからサンドジャッキの原理を応用して桁下に砂を

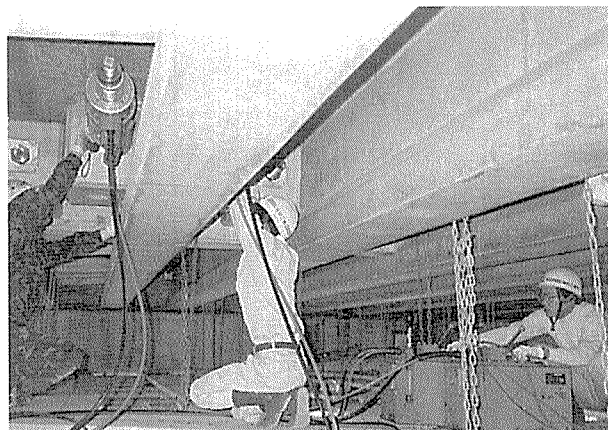


写真-12 外ケーブル緊張

挿入して型枠として使用した。コンクリートは、ジェットモビル車を配置して遊間上部より打設した。この施工では、高流動化超速硬コンクリートの高い充填性が確認された。また舗装の切削施工時に、確認を行った結果では打継面でのひびわれの発生も認められず、通行車両の振動に関係なくコンクリートの付着が、確保できたと考えている。

5.4 外ケーブルの緊張

外ケーブルの配線は、後挿入で施工することから変向部には、あらかじめメッキ鋼管（鞘管）を配置しておいた。外ケーブルはウィンチを使用して片側定着体より引き込み配置した。外ケーブルの緊張は、実験結果より主桁ウェブに偏荷重を作用させない方法で行うものとした。

ジャッキを 2 セット準備して主桁両サイドに配置したケーブルを同時に緊張した（写真-12）。変向装置には、緊張時の摩擦抵抗を少なくし、なおかつ緊張力の垂直分力を支持できる MC ナイロンを使用した。この摩擦低減を緊張計算に考慮して緊張作業を行った結果は、計算値に近い値でありその効果を確認した。

6. あとがき

定着体確認実験では、設計荷重状態において十分な耐力があることを確認でき、また終局限界状態においても計算値以上のせん断伝達耐力を保有していることが確認できた。このことで実橋においても極めて短い緊張材を使用した緊張管理の精度向上と現場の省力化を可能とした。

表-4 高流動化超速硬コンクリート配合表

セメント 種 類	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランブ フ ロー (cm)	水セメ ント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m ³)							
					セメント	フライ アッシュ	水	細骨材	粗骨材	減水剤	消泡剤	遅延材
超早強	10	55 ± 5	33.5	48.5	450	150	201	696	757	15.0	0.30	1.80

本工事では初めての試みとしてプレテンション方式の緊張材を外ケーブル定着体に採用して施工した。一定の効果は認められたが、課題すべてを解決したわけではない。その課題を以下に示す。

- 1) 中空 PC 鋼棒では、現場での組立て、緊張作業が余分な作業であり、緊張済み緊張材としての製品化が望まれる。
- 2) アラミド緊張材では、緊張に要する仮設材（反力架台）の軽量化に関する改善が望まれる。

最後に、本報告が類似した工事の参考になれば幸いです。

参 考 文 献

- 1) 鈴木・横田・手塚：中空 PC 鋼棒を利用した新しいプレストレス導入工法，FIP シンポジウム，1993 年
- 2) 今井・横田・新谷：アバット装置を必要としない新しいプレテンション方式についての概要，プレストレストコンクリートシンポジウム，1994 年
- 3) 佐藤・永井・福田・木島：アラミド緊張材を用いた外ケーブル用定着構造の実験的研究，土木学会第 50 回年次学術講演会，1995 年

【1995 年 9 月 28 日受付】