

## 外ケーブル橋へのアプローチ

井澤 亮\*<sup>1</sup>・岡島 武博\*<sup>2</sup>・石栗 利宏\*<sup>3</sup>・平辻 千晴\*<sup>4</sup>

### 1. まえがき

近年、わが国においても外ケーブルの実用化の具体的な検討が進み、実橋への使用も何例か見られる。橋梁の補修、補強あるいはひびわれの制御を目的として用いられるものは別として、外ケーブルの使用方式は、①集中式全外ケーブル方式、②分散式全外ケーブル方式、③分散式混合ケーブル方式の三つに分類される。わが国の外ケーブル方式の橋梁は③の分散式混合ケーブル方式で、外ケーブルと内ケーブルを併用したものが大半であるが、海外では全外ケーブル方式の橋梁もかなり見受けられる。

外ケーブルの種類においては、①ケーブルの取換えを考えない場合、②PC鋼材の取換えのみを考える場合、③ケーブルの取換えおよび再緊張を考える場合に大別される。さらに外ケーブルの使用にさいしては、ケーブルのシステムに防錆上の配慮が充分に行われることが必要である。

このような観点から、初めてドイツで集中式全外ケーブル方式を鉄道橋に用いるために検討した内容の文献を目にした。これには、外ケーブルの使用にさいしての設計上の検討事項、ケーブル選定上の注意点、施工を加味したケーブル配置上の課題、外ケーブルの試験検討、適用上のチェック項目などに注目して、報告がされている。

この文献をベースに関連の資料も参考にして、外ケーブルのPC橋への適用について述べる。

### 2. サンプルプロジェクトにおける試設計

この試設計は、すでに建設されているドイツのウエストファレン・リッペ道路公社で設計された道路橋(図-1参照)およびスイスのチシノで建設された橋梁にならって、B3「Bruchsaler Kurve」を横断する3径間の単純箱桁橋の片側ライン上部構造を基本モデルとして

実施された。

まず、この鉄道橋について管理、検査、メンテナンスでのアンボンドケーブルの利点を考えて、ドイツ国有鉄道の中央本部では1987年4月にカールスルーエのプロジェクトグループに、外ケーブル方式鉄道橋の実用化について検討させた。このグループの主導のもとカールスルーエ大学の石造建設および建設材料学部、ならびにドイツ国有鉄道の中央本部とによって、この新しい設計の適用上の技術的前提が入念に作りあげられた。この目的に沿って偏向ケーブルの試験なども必要となった。そしてこの新しい構造設計に対しドイツ国有鉄道から各部分の承認を得ることができた。

### 3. 設計上の検討

#### 3.1 検討モデルの選定

まず、図-2に示す3つの案が検討された。

第1案 ケーブルの直線配置を基本とし、プレストレスは、52 MN。

第2案 支間中央にサドルを配置し、プレストレスは、44 MN。

第3案 2つのサドルを配置し、プレストレスは、45 MN。

なおこれらのプレストレスは、最大許容引張力を $0.7\beta_z$ とし、 $g+\Delta g+V_\infty+\Delta T+0.7P$ の荷重状態でコンクリートに引張応力が生じないという仮定のもとに決定された。

ただし、ここに

$\beta_z$ : ケーブル引張強度

$g$ : 死荷重

$\Delta g$ : 付加荷重

$V_\infty$ : 有効プレストレス

$\Delta T$ : 温度差

$P$ : 満載荷重

上記の3つの代案の比較の結果、第1, 2案は、据付

\*<sup>1</sup> Ryo IZAWA: 日本 BBR ビューロー ((株)富士ピー・エス)

\*<sup>2</sup> Takehiro OKAJIMA: 日本 BBR ビューロー (ドーピー建設工業(株))

\*<sup>3</sup> Toshihiro ISHIGURI: 日本 BBR ビューロー (鈴木金属工業(株))

\*<sup>4</sup> Chiharu HIRATSUJI: 日本 BBR ビューロー ((株)ピー・エス)

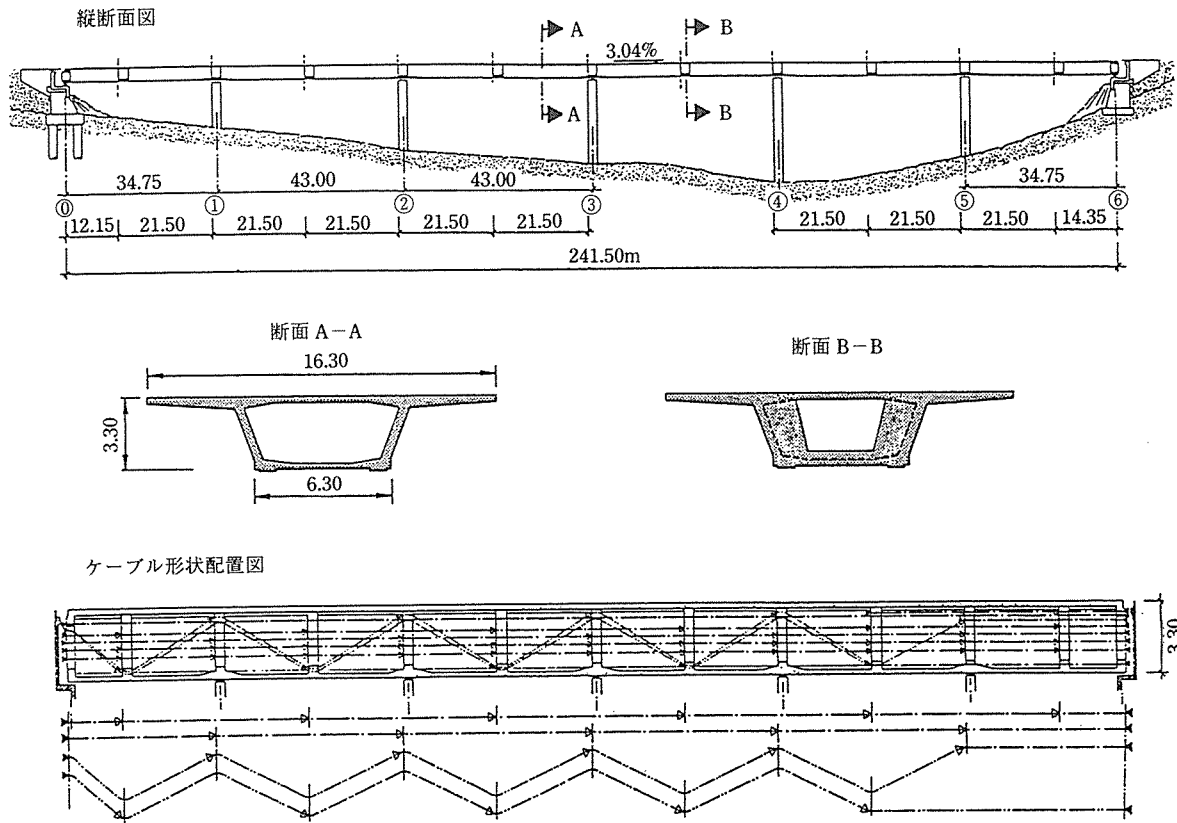


図-1 外ケーブルを用いた道路橋

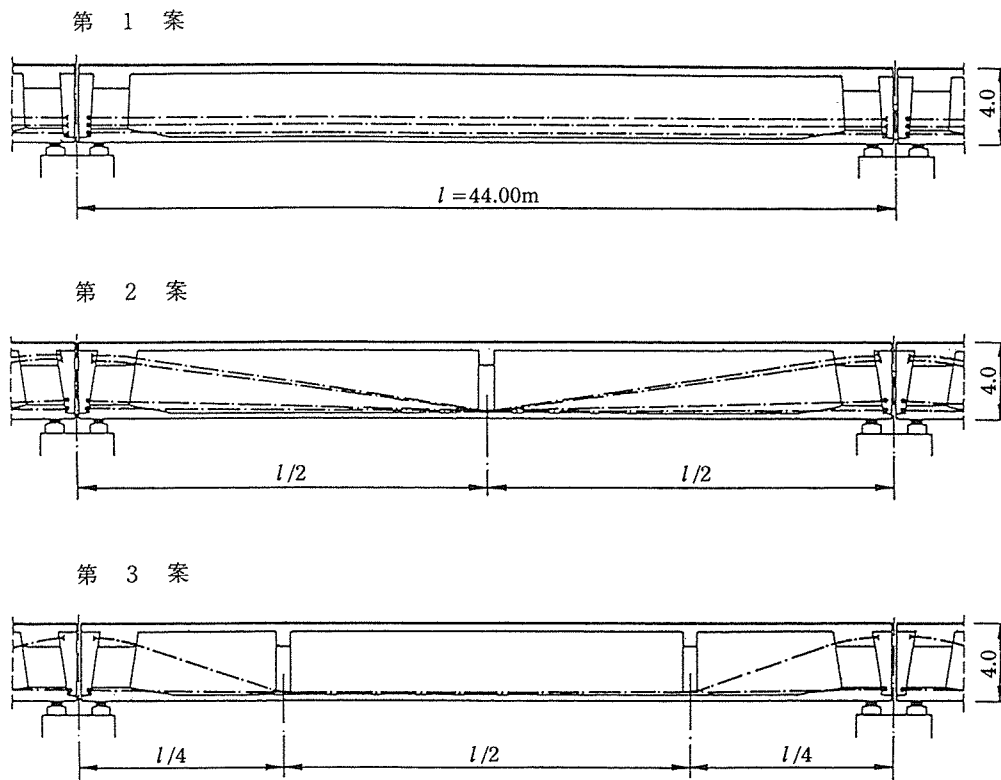


図-2 比較検討用ケーブル配置図

け・維持および交換が容易で、PC鋼材も節約できるためさらに詳しい検討を行うこととした。

第3案については、サドルの作成に要する労力と工費がかかりすぎ、PC鋼材の節約分を補うことができないため、これ以上の詳しい検討は行わないこととした。

なお、初期引張力の  $0.7\beta_z$  は、活荷重載荷状態での応力の変動が  $22\text{ N/mm}^2$  を超えないというベルリンの建設技術研究所に従って DIN 4227, part 6 を適用し、静的荷重として取り扱った。

クリープ、乾燥収縮およびリラクゼーションによる損失は、12%として計算している。またこの値は、プレストレスに直接影響を与えるケーブルとコンクリート構

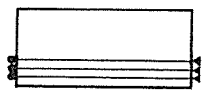
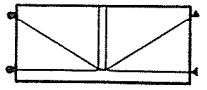
造との温度差についても考慮している。

### 3.2 プレストレス量に関する検討

プレストレスの導入量に関しては、特に見込みのクリープ変形に関する留意点についてドイツ国有鉄道の考えがあり、この種の問題について一連の研究が独占的に行われてきた。

表-1は、図-3に示す断面を持つ第1, 2案について、プレストレスの程度による支間中央部での必要鉄筋量を示している。この程度は、使用状態でコンクリートに引張応力度が生じてはならないという DS 804に従って、予期される活荷重の割合として定義されている。この仮定のもとで、終局荷重時におけるプレストレスの増

表-1 下床版（スパン中央における）プレストレス力  $V_0$ 、PC鋼材断面積、必要な軸方向鉄筋量

比較検討案		プレストレス導入の条件		
		$g+P+V=0$ $\kappa_p=1$	$g+P/2+V=0$ $\kappa_p=0.5$	$g+V=0$ $\kappa_p=1$
 1	$V_0$ [MN]	52.0	42.4	35.1
	PC鋼材量 [cm <sup>2</sup> ]	420	343	283
	鉄筋量 [cm <sup>2</sup> ]	289	378	562
	鉄筋比 [%]	1.85	2.42	3.60
 2	$V_0$ [MN]	44.0	40.0	33.5
	PC鋼材量 [cm <sup>2</sup> ]	358	323	270
	鉄筋量 [cm <sup>2</sup> ]	283	371	463
	鉄筋比 [%]	1.81	2.07	2.97

記号・注

- 固定側アンカー
- ▲— 緊張側アンカー
- $g$  = 静荷重
- $P$  = 活荷重
- $V$  = プレストレス
- $V_0$  = 時間  $t=0$  におけるプレストレス

※鉄筋量は破壊に対する必要安全度を基準に計算する。  
PC鋼材中の引張力の増加は考慮しない。

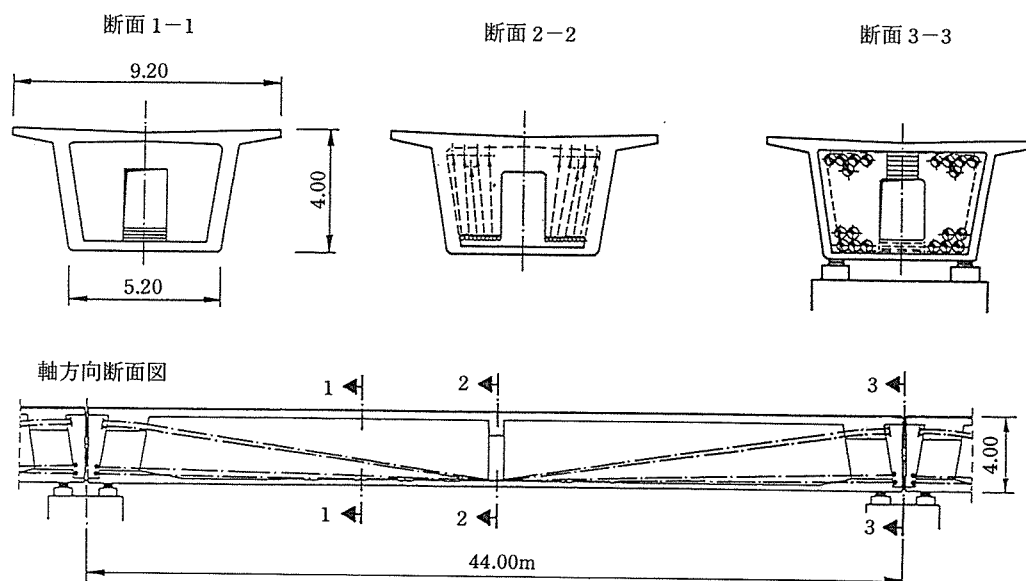


図-3 検討用断面図—第2案の場合

◇報文◇

分14%は考慮されていない。

表-1では、下スラブ補強鉄筋の配置を容易にするために、補強鉄筋の割合が、2.4%の場合、プレストレスの量は $0.5\beta_z$ 以下とすべきでないことを示している。

結局プレストレスの量は $0.7\beta_z$ が採用された。

### 3.3 変位に関する検討

表-2は、 $g+\Delta g+V_0+\Delta T^{5.0}$ と $g+\Delta g+V_0+\Delta T^{-2.5}+P^*$ の $t=0$ と $t=\infty$ での変位を表している。

$\Delta f$ の欄は、ドイツ国有鉄道の規準による満載荷重の63%のもとでのたわみを示している。ここでまた次のようなことが言える。

下向きなたわみ変化は、過度の上向きの変位の原因とならないように十分に制御されるので、プレストレス量は $0.5\sim 0.7\beta_z$ が適当である。

### 3.4 サンプルプロジェクトでの考察

第1, 2案の明確な見解が、2つの試験プロジェクトにおいて示された。それらは、第2案において支点上横桁が傾いているという点で、ドイツ国有鉄道の標準プロジェクトとは異なっている。このことは、支持点方向への荷重分配という点で適切な方策であるが、実際には、

橋軸方向に橋脚を拡幅しなくても、容易に緊張材の取換えが行えるよう考慮したものである。

ケーブルは、低い位置から始まりサドルにより偏向され、反対側の上の部分で定着するように設計されている。この方式により、新しいケーブルの挿入や再緊張のためのスペースが十分に確保される。

次の章では、使用しているサドルとケーブルの種類について述べる。

## 4. 外ケーブルの検討

### 4.1 外ケーブルの分類

外部ケーブルの採用を契機として、ドイツでは今までに実用上経験したことのない数多くの特殊な問題が生じるようになった。これらの問題はドイツ国有鉄道が新たに得た経験に基づいて研究が進められているが、外ケーブルのタイプについてもいくつかの標準的なタイプが検討されており、表-3の3種のケーブルシステムの調査が進められている。

TYPE 1のケーブルは1900 kN (193.7 tf)~3400 kN (346.7 tf)の間の許容荷重( $0.55\beta_z$ )を有し、緊張材の強度は1470/1670 N/mm<sup>2</sup> (150/170 kgf/mm<sup>2</sup>)で

表-2 変形量の比較表

時間 $t=0$ における変形, 単位 mm				
検討案	$\kappa_p$	$f(g+\Delta g+V_0+\Delta T^{5.0})$	$f(g+\Delta g+V_0+\Delta T^{-2.5}+P^*)$	$\Delta(f)$
1	1	-3.8	5.6	9.4
	0.5	-2.0	7.7	9.7
	0	0.3	10.9	10.6
2	1	-1.4	8.0	9.4
	0.5	0.3	10.0	9.7
	0	3.1	13.7	10.6
時間 $t=\infty$ における変形, 単位 mm				
検討案	$\kappa_p$	$f(g+\Delta g+V_0+\Delta T^{5.0}+K+S+R)$	$f(g+\Delta g+V_0+\Delta T^{-2.5}+P^*+K+S+R)$	$\Delta(f)$
1	1	2.0	11.4	9.4
	0.5	8.6	18.3	9.7
	0	16.8	27.4	10.6
2	1	8.5	17.9	9.4
	0.5	14.6	24.3	9.7
	0	24.3	35.0	10.6

記号

- $g$ =静荷重
- $\Delta g$ =付加静荷重
- $k$ =クリープ
- $s$ =乾燥収縮
- $R$ =レラクセーション
- $V_0$ =時間  $t=0$  におけるプレストレス
- $V_\infty$ =時間  $t=\infty$  におけるプレストレス
- $\Delta T^{XO}$ =温度勾配  
上縁の温度が下縁の温度より華氏  $XO$  度高い
- $P^*$ =等級別 UIC 図表による  $p^*=0.63 p$
- $\Delta f$ =それぞれの場合の変形量の差
- $\kappa_p$ =プレストレスの程度

表-3 ケーブルタイプ比較表

	Type 1	Type 2	Type 3
開発会社	Stahlton (スイス)	Dyckerhoff & Widmann (ドイツ)	SUSPA (ドイツ)
PC鋼材	PC鋼線 7.0mm	PC鋼より線7本より 0.6" (15.2mm)	PC鋼線 7.0mm
本数	54~96	15	54~96
品質 ( $\sigma_t/\sigma_u$ )	1 470/1 670N/mm <sup>2</sup> (150/170kgf/mm <sup>2</sup> )	1 570/1 770N/mm <sup>2</sup> (160/180kgf/mm <sup>2</sup> )	1 470/1 670N/mm <sup>2</sup> (150/170kgf/mm <sup>2</sup> )
テンドン 許容荷重	1 900kN~3 400kN (193.7tonf~346.7tonf)	2 025kN (206.5tonf)	1 900kN~3 400kN (193.7tonf~346.7tonf)
シース 方式	PE管 アンボンド	PE管 ボンド (モノストランドはアンボンドタイプ)	PE管+スパイラルシース (内) アンボンド
充填材	Densojet	セメントグラウト	Densojet
断面形状			

直径7mmのワイヤ、54本~96本から構成され、PE管の中に配置されている。鋼線とPE管との間のスペースには防錆材「Denso Jet Compound」またはセメントグラウトが充填される。防錆材「Denso Jet Compound」は常に可塑性があり、溶融しやすい石油系の防錆材でPC鋼材に高い粘着力を有する被膜を与える。表-4にその主な特性を示す。

保護管は、外套管、シース、スリーブ、ジョイントとも高密度ポリエチレン(HDPE)を使用し、ケーブルを保護している。

TYPE 2はディビダーク式のケーブルを示す。そのケーブルは15本の直径15.2mm(0.6")通称モノストランド(アンボンドタイプ)で構成され、材料強度1 570/1 770 N/mm<sup>2</sup>(160/180 kgf/mm<sup>2</sup>)を有し、PE被覆管の中に収められている。モノストランドと被覆管とのスペースはセメントグラウトで充填される。

表-4 防錆材(Denso Jet Compound)の特性

特性	単位	特性値	適用規格
密度(23℃)	gr/m	0.90	ISO 2811
体積熱収縮係数(100℃~23℃)	/℃	0.603	ISO 2811
針入度(23℃)	mm	100	DIN 53401
滴点	℃	63±3	DIN 51801
粘度(50℃)	mPa·s	2 360	-
粘度(65℃)	mPa·s	500	-
粘度(85℃)	mPa·s	210	-
水分吸収性(23℃) 1日後 30日後	重量%	<0.01	DIN 53495
	重量%	0.08	DIN 53495
中和度	mgKOH/g	1.0	DIN 53401
電気固有抵抗	Ω·cm	>10 <sup>9</sup>	DIN 53482
永久使用温度限界	℃	max.+40	-

TYPE 3のケーブルはTYPE 1と同様な構成を有し、緊張材とケーブルのPE被覆管の間には薄肉鋼管(鋼製スパイラルシース)が配置されている。この鋼管はサドル部においてPE管の上に加えられる緊張材の高い横方向圧力に耐える役目を果たすものである。

#### 4.2 外ケーブルの定着方式

##### (1) TYPE 1 (Stahlton) および TYPE 3 (SUSPA ; ズスパ)

TYPE 1およびTYPE 3のケーブルは線径7.0mmのPC鋼線束から構成され、冷間加工により造られたボタンヘッドをアンカーヘッドを介してナットで定着することを特徴とする。

図-4および写真-1にTYPE 1の場合の緊張側の定着装置を示す。図-4によるとケーブルはアンボンドタイプでボタンヘッドにより定着はセットロスもなく確実にできる。

また、ナットの調整により応力調節、再緊張、ケーブル取り替えが可能である。

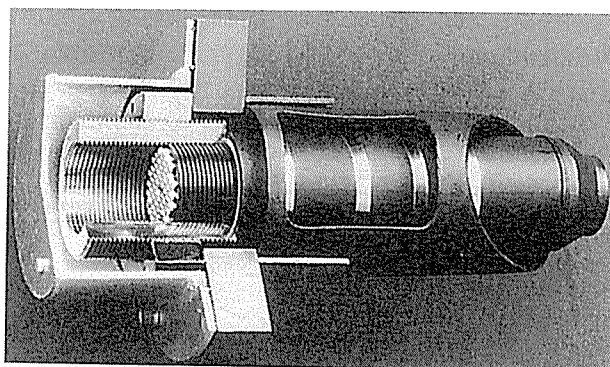


写真-1 Type 1およびType 3のケーブル定着部

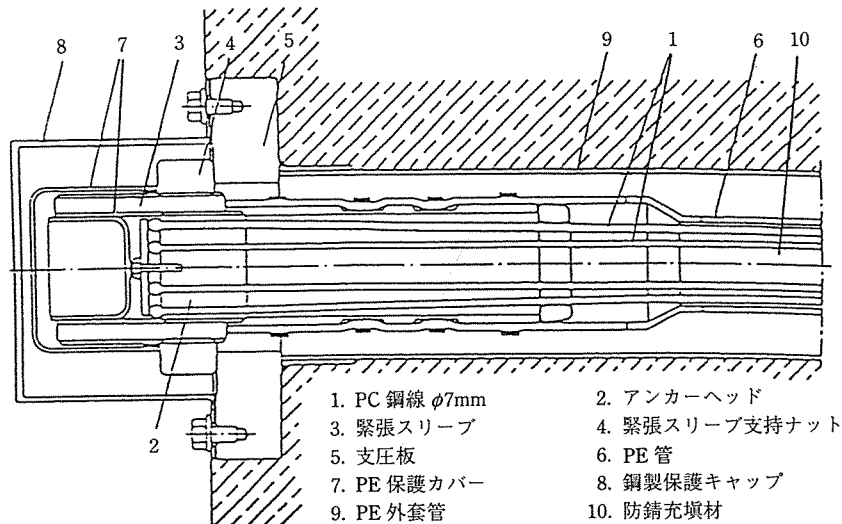


図-4 TYPE 1 の場合の定着装置

(2) TYPE 2 (ディビダー式)

TYPE 2 の場合の定着装置の例を図-5 および写真-2 に示す。図-5 は PC 鋼より線 7 本より  $\phi 15.2 \text{ mm}$  ( $0.6''$ ) 19 本で構成され、 $0.55 \beta_z$  の許容緊張力を有して

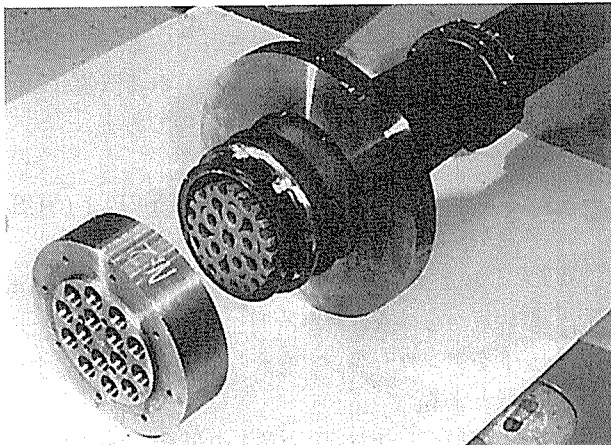


写真-2 Type 2 のケーブル定着部

いる。この緊張材に用いる許容総プレストレスング荷重は  $2\,600 \text{ kN}$  ( $265 \text{ tf}$ ) となる。付着を生じない場合の定着部に関しては、支圧板背後のコンクリート局部応力はすでに計算されていた設計応力とほぼ同等であることが示された。

端部定着では、PE シース管は鋳鉄製トランペットシースのフランジで接続されている。このトランペットシースに収納され、防錆材「Denso Jet」で充填されたグリースポットはアンカーヘッドで定着される部分の PC 鋼材とセメントグラウトされる PC 鋼材の境界を定めるものである。このグリースポット内でストランドは PE 被覆を取り除かれている。したがって、ストランドはアンカーヘッドの背面まで引き出され、このタイプのケーブルに対しても通常どおり、プレストレス導入後、くさび定着が行われている。

4.3 実験による検討

外ケーブルの検討を行うにさいして、サドルにおける

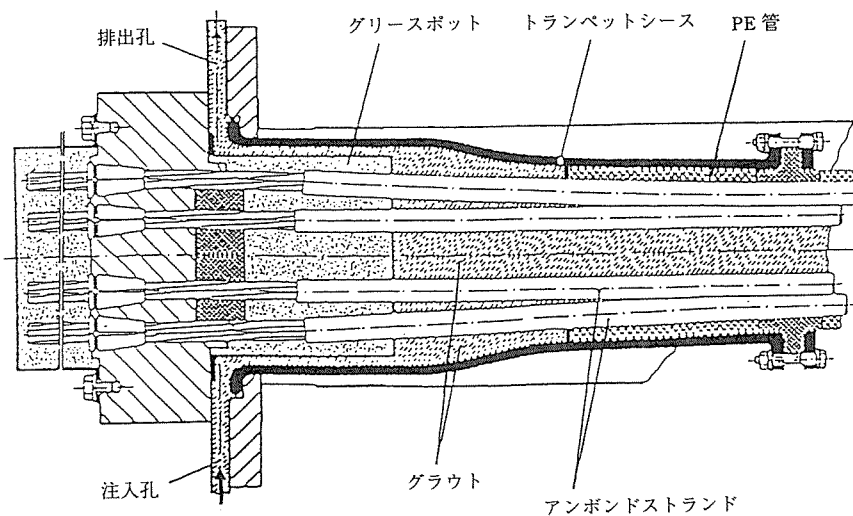


図-5 TYPE 2 の場合の定着装置

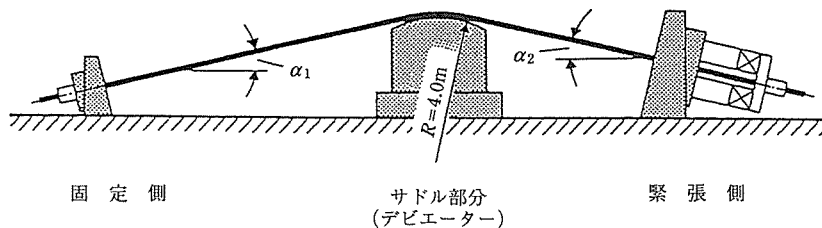


図-6 実験装置

主として動的応力のもとでの緊張材の挙動を実験で調べた。

### (1) 実験装置, 実験方法

TYPE 2 (ディビダークシステム) を用いた試験例を図-6 に示す。

緊張材は、両端において鋼製の緊張ブロックで支持した。緊張材の右側には油圧ジャッキとロードセルを取り付けた。左側にはもう一つのロードセルを緊張力の分配を調節するために取り付けた。

ディビダークシステムでは偏向装置は長方形開口部を有するコンクリート製サドルとした。この開口部において半径 4 m で湾曲した鋼管を挿入し、緊張材の軸方向の設置調節を行った。この開口部で鋼管のまわりの自由なスペースには早強モルタルを充填した。緊張材を装着する前に鋼管を除去した。

緊張材はこの実験装置のサドルの部分での周囲温度の調節が可能であり、サドル部分の垂直振動によりケーブルに応力振幅を与えた。

サドルでは各種のストランドを特殊なスペーサーによって外側の PE 管の中に引き込んだ。これらにサドル部分でセメントグラウトにより予め注入を行った。3 日で硬化後、ケーブルの緊張が可能となった。その後、定着部分のポットをグリースで充填した。緊張材のまわりの空間を一定のケーブル力緊張のもとで 3 日間で硬化するセメントグラウトで注入した。試験開始前に端部定着具から再びグリースを注入した。

### (2) 実験結果

前項で示した実験を行った結果、次のことが見いだされた。

- ① ケーブル緊張力はサドルの両側において徐々に増加していく。
- ② 各ストランドの PE シースばかりでなく、外側の PE 管もサドルとの間の相対的な移動が観察された。

実験条件は表-5 に示すとおりであり、ストランドの最大荷重は  $0.7\beta_z$  である。緊張材とサドルとの相対変位は、計算上約 0.4 mm と予想されていたが、試験中の動きについては表-6 に示すとおりであった。

ケーブル, PE シース, PE 管との間の相対変位はサ

表-5 実験条件

	No. 1	No. 2
最大応力 $N/mm^2$	$0.7\beta_z$	
応力振幅 $N/mm^2$	20	35
温度 $^{\circ}C$	35 (サドル部)	
偏向角度	$4^{\circ}$	$2^{\circ}$

表-6 ケーブルとサドル間の相対変位

試験経過	相対変位の状況
試験開始時	鋼相互間 (ケーブルとサドル) の移動を観測
300 000 回以下	移動量が初期の発生より減少していく
300 000 回以降	変化なし

表-7 サドル前後における 300 000 回以下のケーブルの移動量

サドル前面 (緊張ジャッキ側)	サドル背面 (固定側)
0.15 mm	0.02 mm

表-8 サドル部でのケーブル張力の変動

偏向角	$4^{\circ}$	$2^{\circ}$
張力変動 $N/mm^2$	20 から 2.6 に減少	35 から 20 に減少

ドル前後で下記のとおりであった。

サドル前面 (緊張ジャッキ側) > サドル背後 (固定側) 300 000 回以降のストランドの移動量は、表-7 のとおりである。

サドル端部 (右側) での緊張変動は表-8 に示すとおりである。

総括として今までに試験された緊張材すべてについて次のように言うことができる。

- 半径 4 m のサドルによる最大偏向角  $6^{\circ}$  では、最初のプレストレスングにおける張力損失は約 1~2 % であった。
  - サドル位置での最大変位 0.6 mm (それ以上の値は発生しないように考えられる) まで、そして  $-15^{\circ}C \sim +35^{\circ}C$  までの温度では、応力振幅約  $30 N/mm^2$  で  $2.5 \times 10^6$  回の荷重サイクルのもとでは何ら損傷は観察されなかった。
  - 角度  $4^{\circ}$  以上ではサドルは固定点として働く。
- ディビダークシステムは、さらにケーブル内の各々のストランドの張力を解放した後、交換また再緊張することが可能であることも実際に証明した。

## 5. 実橋への詳細設計

サンプルプロジェクトの詳細設計は、鉄道が谷間を横断する場所に計画されたドイツ国鉄の、標準設計計画を基本として決定された。

橋脚間隔 44 m を有する 3 径間のこの橋梁の箱桁断面は、この標準設計の構造上の必要条件に合致している。ただし列車荷重としては単線で計画がなされた。各々の径間についての詳細構造については省略するが、外ケーブルおよびサドルについては、もう少し詳しく述べてみる。

### 5.1 外ケーブルの配置について

サンプルプロジェクトとして 3 タイプのケーブルについて検討が加えられたが、最終案では Type 1 (スイスの Stahlton 製, Type 3 と同タイプ) と Type 2 (ドイツのディビダークシステム) を併用することとなった。

図-9 に示すように、3 径間のうち 2 つの径間は、試設計した第 2 案 (支間中央にサドルを設ける形式) を採用した。それぞれの径間に Type 3 と Type 2 のケーブルを使用することとなった。

詳細設計でのケーブル配置は検討段階と同様であったが、ケーブル端の固定定着具は桁端の横桁の上部に、緊張定着具は下部に配置するように変更された。試設計では、端横桁を橋脚天端幅に合わせて傾斜させることにより、必要とする緊張の作業空間と通路を上方に確保することとしていた。しかし詳細設計では美観を損なわないことから橋脚頭部を拡幅することとした。端横桁を直にしても、その空間を十分確保できるためである。

残りの 1 径間の上部構造は、偏向のない直線ケーブルを配置する構造で建設するものとした。この径間では図-9 に示す断面 C, D において片側半分を Type 1 ケーブル、他の半分に Type 2 を使用することとした。また緊張定着具は橋台側に配置された。

これら 3 径間の上部構造に配置するケーブルを決定した施工を行うと同時に、鉄道橋での実用的な供用中実験も開始することとした。

### 5.2 サドルについて

ここではサドルとこれに関連する外ケーブルについて少し触れておく。

この橋梁では、偏向装置は横桁サドル形式としている。サドルはケーブルの機能が損なわれないように設計しなければならない。また、ケーブルの配置誤差、偏向装置の設置誤差等の施工に対して調整できる構造とする必要がある。このような考慮からケーブルは工場で作られたものを用い、サドルもプレハブ化している。そして箱桁の支間中央で正確な幅を保って 8 ケーブルを配置するため、できるだけ密な間隔で 8 ケーブルを箱桁の側



写真-3 外ケーブルの配置状況

面に対して、各々の偏向させる必要があった (写真-3 参照)。

サドル部分は鋼製とし、これをプレキャストコンクリートに埋設したサドルを考案した。この部材を図-7 に示すように偏向横桁下部にはめ込み、グラウトを充填して固定する方法をとった。サドルの最小曲げ半径は 4 m とした (写真-4 参照)。

また、ケーブルは前項 (4.2) からわかるように、DIN 8074 と 8075 による  $\phi 90$  mm,  $t=5.1$  mm のポリエチレンパイプ (PE 管) で被覆されている。その径は端部で一回り上の PE 着を使って拡幅され、定着部の鋼製ソケットに鋼製リングで強固緊結されている (写真-1 参照)。これは緊張時との引張りに耐える接続を可能にするためである。また偏向点ではケーブル (Type 3) は部分的に二重の被覆管となっている。この部分は押し成形による PE 層でカバーされた鋼製スパイラルシー

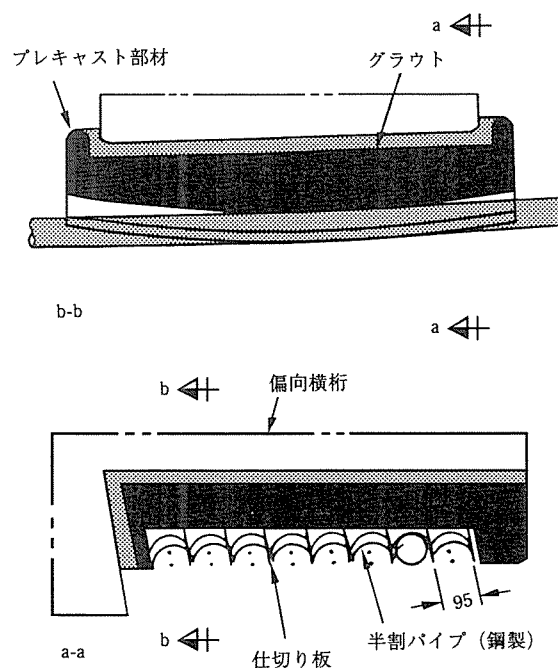


図-7 偏向横桁に設置するサドル図



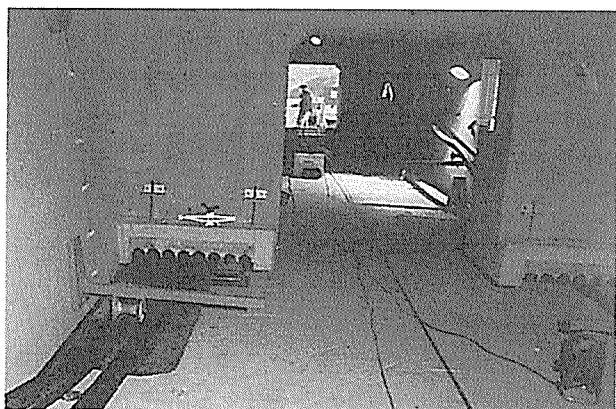


写真-4 偏向横桁に設置した偏向サドル

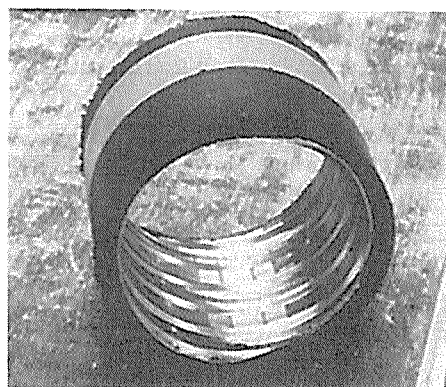


写真-5 偏向部用ケーブルの二重被覆管 (Type 3)

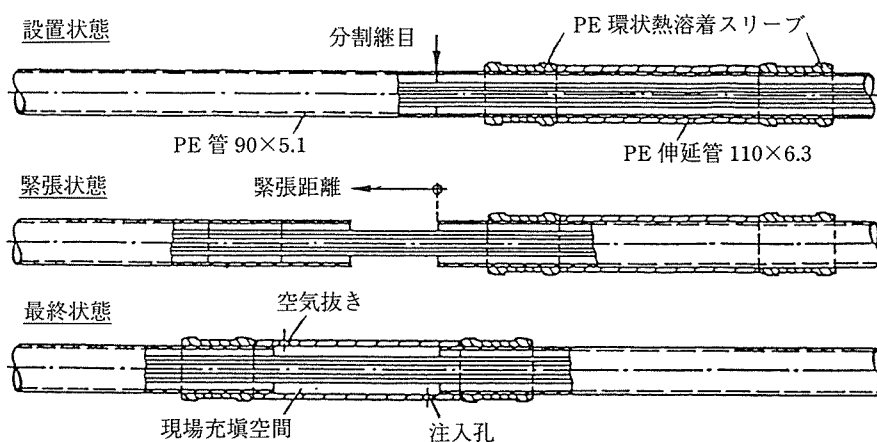


図-8 PE管の接続概念図

スで構成されている（写真-5 参照）。これは緊張時に PC 鋼材が偏向部で PE 管を直接圧迫しないようにしたためである。この二重被覆部の両端は通常の PE 管で、相互の接続は PE 環状熱溶着スリーブで接合が行われる（図-8 参照）。

## 6. 実橋での調査項目

外ケーブルの適用性について設定上、性能上など多くの観点から種々の検討がなされた内容が前項までに述べられている。しかし最終的には実橋での適用性を調べるため、完成構造物について調査をすることとなった。この調査での測定項目としては、外力、温度および変位測定である。この調査によって次のような疑問点について検討を行うこととした。

- ケーブル緊張時に偏向サドル部分でどのような摩擦が起きるか。
- 使用状態で、活荷重による応力変動はどのくらいか。
- サドルにおける摩擦変化はどのようなものか。
- クリープ、コンクリートの収縮のみでなく緊張材のリラクゼーションによるプレストレスの損失はどれほど

あるか。

- 箱形断面桁のウェブと緊張材の温度差の影響はどのようなものか。
- 箱桁内部の平均温度はどのくらいか。
- 橋梁支持点における拘束に起因して、温度変化はよってプレストレスが影響をうけるが、変形はどのようになるか。

この最後の疑問点に対する回答を得るには、緊張材の温度、箱桁内部コンクリートの温度、箱桁外部コンクリートの温度の測定が必要であった。またプレストレスの変化および端部横桁間の相対変化の測定も必要であった。

これらの項目を調査するため図-9 に示すような計測装置が取り付けられている。測定はすでにケーブルの所期緊張時から実施されている。次いでプレストレスの損失のチェックが建設後 1.5~3 年後に実施されることになっている。さらに防錆材や「Denso Jet」によるケーブルの充填状態およびセメントグラウトの充填状態について調査し、もし必要があれば、ケーブルを抽出し試験を行うことになっている。

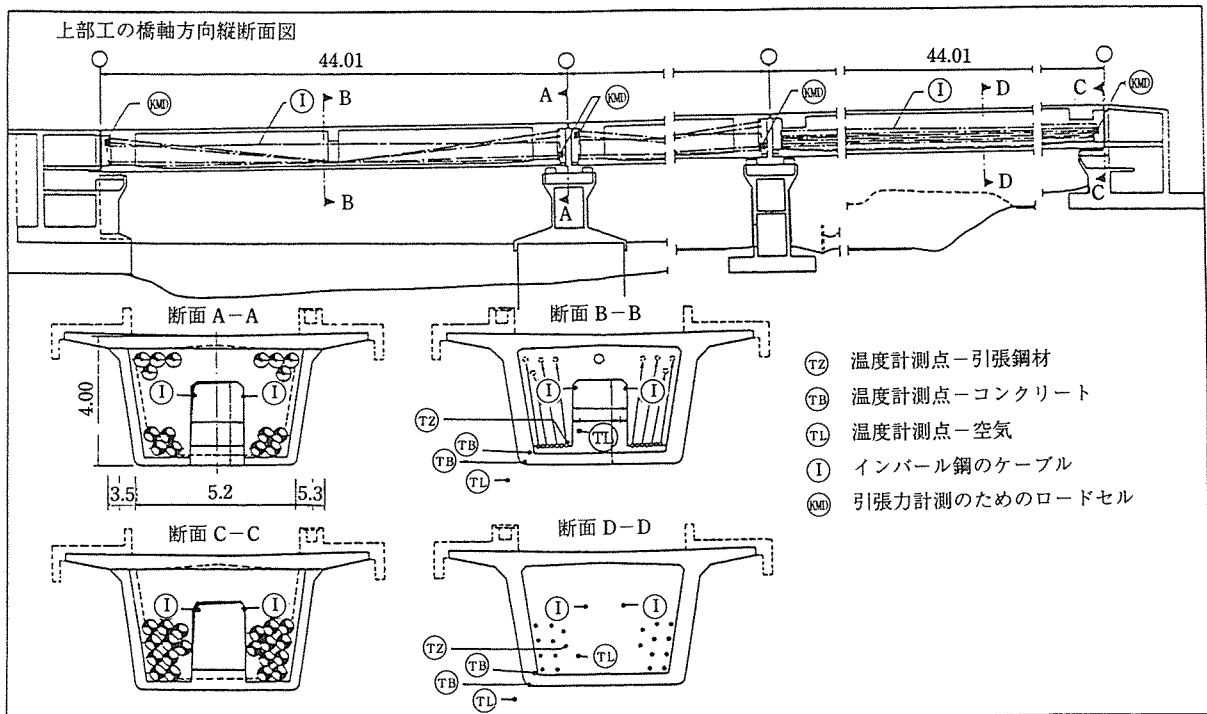


図-9 PC 鉄道橋, 計測装置配置図

## 7. あとがき

米国, スイス, フランスなどで注目されている最近の動向に追随するために, ドイツでは外ケーブル工法の適用が国有鉄道において3橋梁で試されることとなった。

しかしドイツにおいては, 内ケーブル方式と外ケーブル方式には各々利点, 欠点があり, 必ずしも新しいコンクリート橋に多用されるとは見られていない。今後, おそらく主に既存の橋梁の補修・補強に使われるとの見方が強い。

日本においては, 全外ケーブル方式の橋梁の研究が行われると同時に, 既存の橋梁の補修・補強にも使用例が増加すると思われる。外ケーブルを使用するに際して, 事前に検討しておく内容として本資料が参考になれば幸いである。

## 参考文献

- 1) Eibl, J., Prommerberger, G. : Vorspannung ohne Verbund. -Erste Brückenüberbauten mit externer Vorspannung für die Deutsche Bundesbahn. Prommersberger, G. (Hrsg) : Ingenieurbauwerke, IBW Band 5 Tunnelbautechnik ; Ettlingen 1989, S. 165~179;
- 2) Eibl, J. und Voß, W. : Zwei Autobahnbrücken mit externer Vorspannung. Beton-und Stahlbetonbau 84 (1989), H. 11, S. 183~287
- 3) Schütt, K. : Entwicklung und Anwendung eines Spanngliedes für externe Vorspannung. Beton-und Stahlbetonbau 86 (1991) H. 4, S. 91~95
- 4) Schütt, K. : Testing of the suitability of BBRV tendons for use as external post-tensioning. Congress Report, Vol. 3, S. 102~104, XI FIP Congress Hamburg 1990.
- 5) 古賀政二郎, 富沢三郎 : 「アウトケーブル方式の PC 橋梁 - その現状と展望」プレストレストコンクリート, Vol. 31, No. 1, Jan. 1989
- 6) 睦好宏史 : 「外ケーブル PC 構造物の現状と問題点」コンクリート工学, Vol. 34, No. 4, 1993. 8

【1995年2月16日受付】