

ポーランドの代表的なプレストレストコンクリート橋システムについて

ヴォイチェフ ラドムスキ^{*1}・榎谷 浩^{*2}

1. まえがき

各国における橋梁工学の現状は、その国の地理的状況や地形条件に大きく関係している場合が多い。ポーランドは日本と異なり島や半島はなく、しかも国土の90%は海拔300m以下であるため、平坦な国土といえる。そのため、ポーランドの橋梁は中小スパンの橋梁が大部分である^{註)}。

表-1にポーランドの道路橋の一般情報を簡単に示す。小スパンに分類される橋梁ではいくつかの代表的なコンクリート橋梁建設システムが適用されており、それらはずぎの2つの建設方法に分類される。

- 1) 現場でプレキャストユニット(桁)を組み立てる方法
- 2) プレキャストユニット(桁)の組立と場所打ちの組合せによる方法

ここで、前者は上部構造がすべてプレキャスト構造と考えることができ、後者は一種の複合構造(コンクリート+コンクリート)と考えることができる。

代表的な橋梁建設システムのためのプレキャスト桁は、工場において鉄筋コンクリート桁あるいはプレストレストコンクリート桁として製作される。ここでは、プレストレストコンクリート桁から構成される橋梁建設システムについて主に述べることにする。

表-1 ポーランドの道路橋の一般情報(1989年)

分類	橋梁数	延長
鋼橋	3 306 (14.9%)	93 943 m (21.3%)
コンクリート橋、石橋	17 835 (80.5%)	326 327 m (74.1%)
レンガ橋	1 014 (4.6%)	19 859 m (4.6%)
木橋、仮橋		
橋梁全体	22 155 (100%)	440 129 m (100%)
道路の総延長	341 076 km	
橋梁の密度	22 155 : 342 076=0.065 橋/km	

2. ポーランドにおける道路橋建設のための代表的なプレキャストコンクリートユニット

ポーランドにおいて道路橋建設のために使用されている代表的なプレキャストコンクリートユニット(桁)の基本データは表-2に示すとおりである。この表に示されているように、大部分のプレキャスト桁は複合構造の橋梁(プレキャストと場所打ちの組合せによって造られる橋梁)である。供用中の挙動の観察から、ポーランドではプレキャスト桁だけで造られる橋梁に比べ、このタイプの構造は優れていると考えられている。2種の桁

長さ	15m	18m	21m
緊張力	126kN		
クラスB h=1.25m			
桁の重量	137.1kN	165.0kN	193.1kN
緊張材の数	25	35	41
クラスC h=1.00m			
桁の重量	91.2kN	110.0kN	128.0kN
緊張材の数	20	26	28

クラスBとC：ポーランドの活荷重の分類

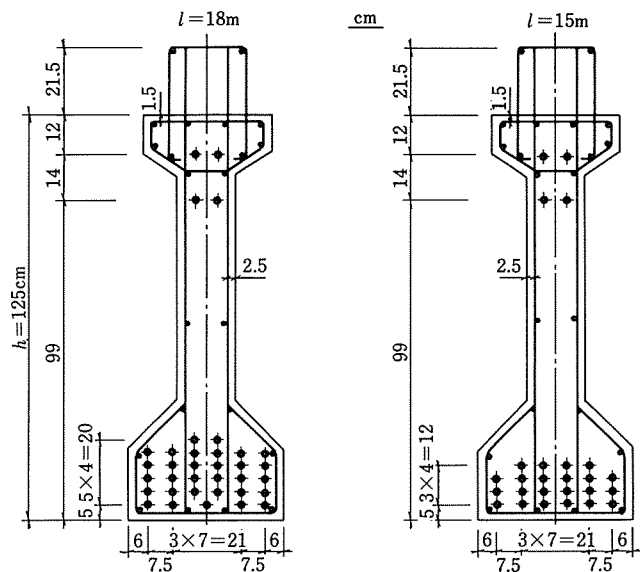





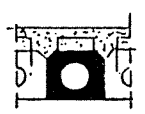
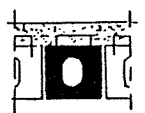
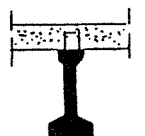
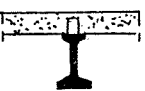

図-1 WBS桁

^{*1} Wojciech RADOMSKI：金沢大学工学部土木建設工学科(現在：ワルシャワ工科大学)

^{*2} Hiroshi MASUYA：金沢大学工学部土木建設工学科

注) スパン長Lを便宜上以下の3つのクラスに分類する。小スパン(L<25m)、中スパン(25m<L<70m)、大スパン(L>70m)

表-2 ポーランドにおける橋梁建設用の典型的なプレキャストコンクリートユニット

建設方法	名称	断面形状	コンクリート(MP)の規格	長さ m	高さ m	重量 kN	緊張材	
(1)	Płońsk (初めて建設された地点名)		B 40	15	0.84	142	54×7φ2.5 mm	
				18	0.94	178	54×7φ2.5 mm	
(2)	Kujan* (同上)		B 40	8	0.29	17.3	鋼より線あるいは フレシネ緊張線	
				9				
				10				
				12				0.43
(2)	New Kujan†		B 40	18	0.75	97	18×7φ5 mm または 20×7φ5 mm	
(2)	Gromnik (同上)		B 30	6	0.38	18.8	—	
				9	0.46	36.0	—	
				12	0.56	55.4	—	
(2)	Wągrowiec (同上)		B 30	6	0.42	24.3	—	
				9	—	37.3	—	
				12	0.68	69.4	—	
				15	—	87.8	—	
(2)	WBS† (Warszawa Bureau Studiów の略)		B 40	15	1.25	137	25×7φ5 mm	
				B 35	1.00	91	20×7φ5 mm	
				B 40	18	1.25	165	35×7φ5 mm
				B 35	1.00	110	26×7φ5 mm	
				B 40	21	1.25	193	41×7φ5 mm
				B 35	1.00	128	28×7φ5 mm	
(2)	New WBS**		B 40	30	1.60	—	8×7×7φ5 mm	
				B 40	36	1.95	—	6×12×7φ5 mm
(2)	"U" beam*		B 40	15	1.00	180	36×7φ5 mm	
				18	1.00	—	—	
				21	1.20	—	—	
				24	1.20	330	60×7φ5 mm	

(1) 現場でのプレキャストユニットの組立による工法

(2) プレキャストと場所打ちの組合せによる工法

* 1955年に開発されたが、現在ではあまり使用されない。

** 桁は3つのセグメントとして製作され、現場にてプレストレッシングにより1つの部材となる。

† 荷重レベルにより桁高さとプレストレスト量が決まる。

(すなわち Gromnik と Wągrowiec) 以外の桁はすべてプレストレストコンクリート桁である。その中の WBS 桁は最もよく使用されており、図-1 にその断面形状を示す。

プレストレストコンクリート製のプレキャスト桁を使用した橋の上部構造の建設方法については次節で述べることとし、ここでは、分割された桁(セグメント)を使用する方法(New WBS 桁は表-2 に与えられている)についてもう少し説明する。

分割桁は通常スパン長が 24 m 以上の場合に用いられる。これは 1 本ものでは桁の輸送が大きさや重量の点で

難しいためである。

ポーランドでは 1956 年に初めてこの分割桁を用いた橋梁が建設された。しかしながら、ポーランドにおいて、この形式の建設技術の発展がみとめられてきたのは最近の 10 年である。

ここでは、New WBS 分割桁の概念とその応用に関して、長さ 30 m の桁を例にして、すなわち、WBS-30 桁(図-2)を用いて説明する。この桁は 3 つの鉄筋コンクリートセグメントに分けられる。すなわち、長さ 8 m で重量 12 tf の両側のセグメントと長さ 12 m で重量 17 tf のまん中のセグメントに分けられる。各セグメントに

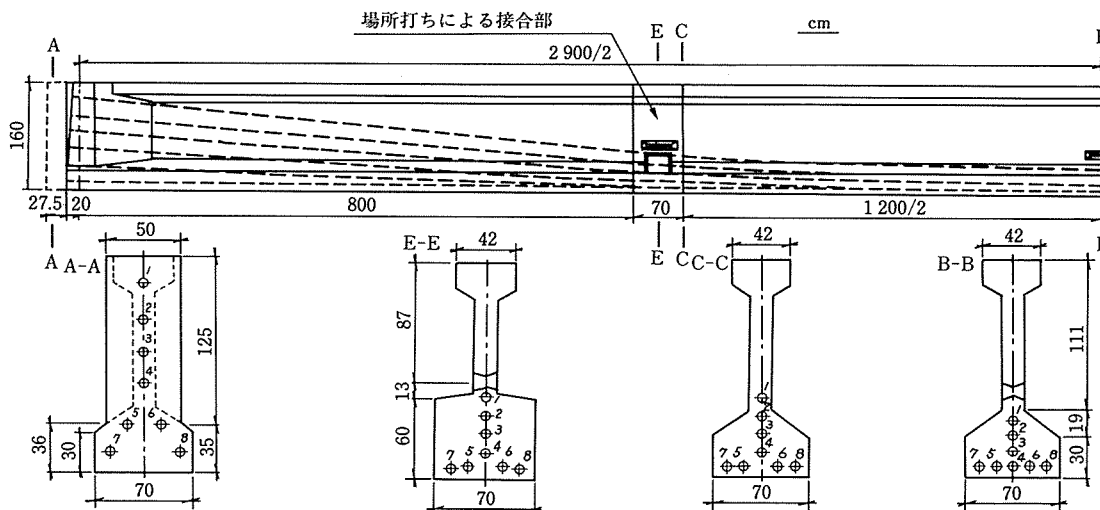


図-2 WBS分割桁

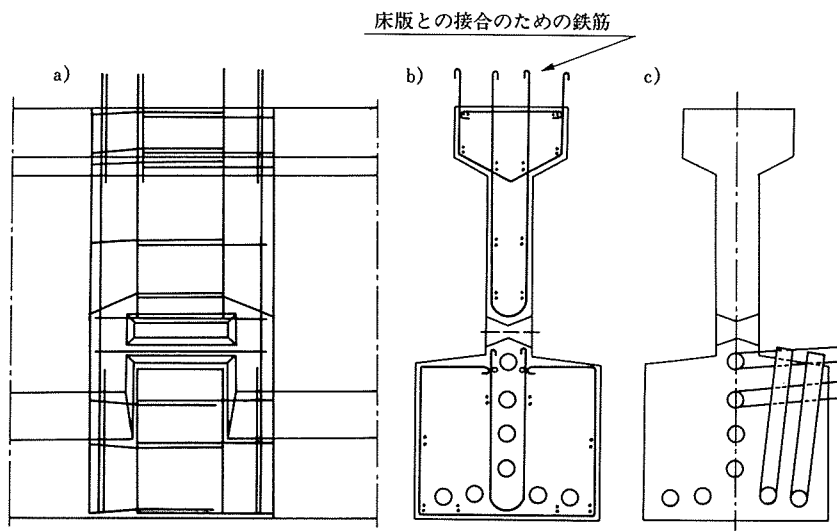


図-3 分割桁 WBS の接合部
 a), b) 鉄筋コンクリート製接合部の側面図と断面図
 c) 緊張材用ダクトの注入用三股パイプ

は、図-2 に示すように緊張材のために 8 個のダクトが設けられている。各セグメントの両端から出ているまっすぐな鉄筋は、50 cm の長さにならってオーバーラップしている。また緊張材用ダクトのシースは 10 cm の長さでオーバーラップしている。セグメントは 70 cm の長さの鉄筋コンクリート（コンクリート規格は B 30）のコンネクターで場所打ちにより接合させた後、プレストレスが導入される（図-3）。

コンネクターの打設を行う前に緊張材のためのダクトが接合され、注入のためのパイプ（三股パイプ）が設けられる。すべての接合が終了した後、最後に緊張材がダクトに通される。鉄筋コンクリートの接合部の型枠が取り除かれコンクリートが適切な強度に達した後、プレストレス導入が行われる。このプロセスは梁の両端面より

行われ、実際多くの場合、緊張材定着部の穴よりダクトへの注入が行われる。吐け口用のパイプは上述の注入パイプの 1 つに設けられる。また、鉄筋コンクリート製の接合部のまん中の部分には横桁を支えるためのリブと横桁からの鉄筋を入れる隙間がある。

これらの WBS システムの桁の荷重容量については、実験的に検証されている¹⁾。例えば、厚さ 12 cm の床版を接合した WBS-30 桁は、完全な崩壊にいたるまで試験されている。この場合の破壊荷重は 1.88 MN であったが、計算上の破壊荷重は 1.36 MN であった。破壊は桁の圧縮域のコンクリートの圧壊により生じ、同時に引張側の緊張材も引張強度に達していた。図-4 にその桁のクラック図を示すが、セグメントの間の接合部にはほとんどクラックが生じていないことがわかる。

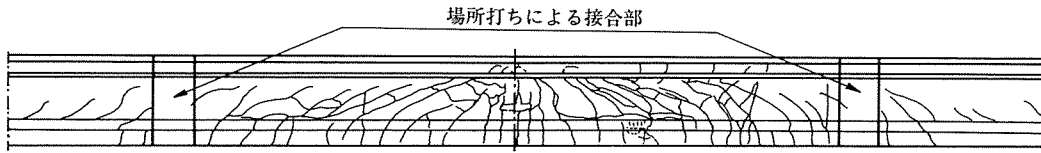


図-4 WBS-30 桁の破壊時のクラック図

3. ポーランドにおける典型的なコンクリート道路橋

3.1 現場でのプレキャスト桁の組立

上述の建設方法に対応した2つの典型的なシステムがポーランドでは主に適用されている。すなわち、

- 1) T 桁から構成されるシステム (Płońsk システム)
- 2) U 桁から構成されるシステム (すなわち π 桁システム)

である。

Płońsk (プロンスク) システムの T 桁の基本的な情報は表-2 に与えられている。このシステムによると有効スパン長さが 14.5 m と 17.5 m の単純支持形式の橋梁を建設することができる。桁は橋脚上に 1.5 m の間隔で配置され、図-5 に示すように両側の桁の上フランジから出てオーバーラップしている鉄筋は溶接されるか、あるいはループ結合される。桁の本数は橋梁上部構

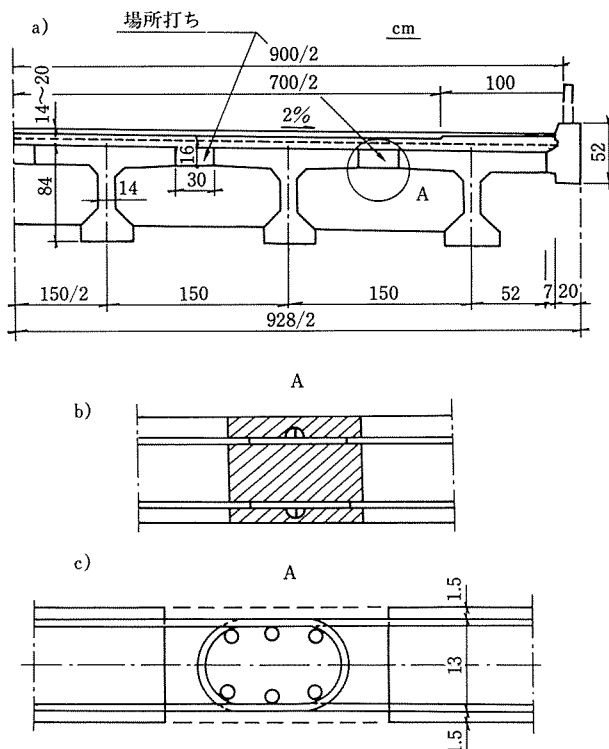


図-5 Płońsk システムの一例
a) 上部構造の断面図
b) 溶接による接合
c) ループ筋による接合

造の幅により決まる。Płońsk システムは床版の幅が 15 m のものまで適用できる。桁はプレキャスト鉄筋コンクリート製の長方形の横桁、あるいは最近では場所打ちの矩形鉄筋コンクリート桁により支えられている。このシステムの適用例を図-5 に示す。

多くの Płońsk システムまた π 桁システムがポーランドでは適用されてきたが、調べてみるとこれらのタイプの挙動はあまりよいとはいえないのが現状である。供用開始後比較的早い時期にすでにプレキャスト接合部の縦方向に沿ってクラックの発生していること、横方向の支持が弱すぎることを、そして単純支持のため各スパン間のエクステンションジョイントが多いことが理由としてあげられる。

3.2 プレキャストと場所打ちの組合せ

この建設方法は現在、スパン長が 24 m までのコンクリート製道路橋にポーランドで最もよく用いられている方法である。Gromnik と Wągrowiec システムは鉄筋コンクリート桁により構成されているので、ここでは説明を省略する。一方、WBS システムと U 桁システムはプレストレストコンクリート桁により構成されており、表-2 に示されている。

WBS システムはプレキャストプレストレストコンクリート I 桁と場所打ちの鉄筋コンクリート床版から構成され、桁の上面に設けられているスターラップにより桁と床版の相互結合がなされている。桁はまっすぐな鋼より線 $\phi 15.5$ mm ($6\phi 5$ mm + $1\phi 5.5$ mm) で緊張されており、緊張力は 126 kN である。緊張材の数は桁の長さで決まり、20 本から 41 本である。緊張材は桁端付近では付着のない状態である。

プレキャスト I 桁は、橋脚上に、軸方向に 1.1 m から 2.0 m の空間をあけて配置される。また桁は場所打ちの鉄筋コンクリート製横桁により支持される。15 m のスパンでは、支持点で厚さ 0.3 m の 2 つの横桁で支持され、スパン長が 18 m と 21 m では、さらに支間中央で厚さ 0.4 m の横桁により支持される。次に、鉄筋コンクリート床版はネジで上フランジに固定された型枠を用いて場所打ちされる。床版の厚さは設計活荷重の大きさにより決まり、18 cm または 21 cm である。どちらの場合においても B 30 のコンクリートが使用される。

桁の本数は橋の上部構造の幅で定まり、WBS システ

ムでは、床版の全幅が9.70 mから11.30 mまでの典型的な橋梁に対応できる。また、このシステムでは直橋以外に斜角が45度のもので対応できる。スパンは単純支持されるか、あるいは特別な補強によるたわみ性のある短い板を上部に用いて連続化される。後者の場合、上部構造は死荷重に対して単純支持、活荷重に対しては連続な構造と考えられる。WBSシステムの橋梁は、建設後は複合した多重桁形式のコンクリート構造と考えることができる。図-6にWBSシステムの適用例を示す。

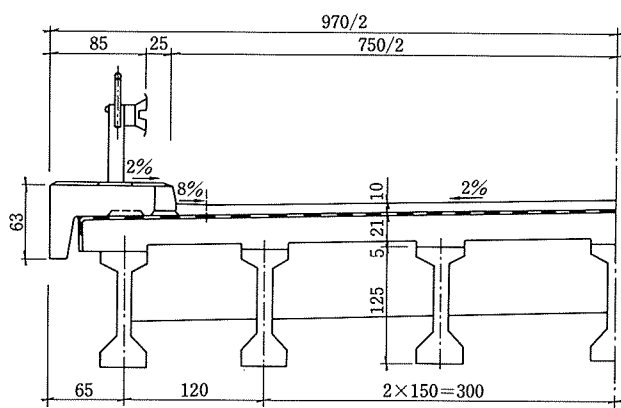


図-6 WBSシステムの適用例

U桁システムはプレテンションコンクリート桁と場所打ちの鉄筋コンクリート製床版から構成される。桁と床版の結合は桁の2つの上面から出ているスターラップによりなされる。表-2にU桁の特徴があげられている。桁の重量は長さに応じて180 kNから330 kNまで変化し、緊張材の数は桁の形式により36本から60本まで変化する。緊張材1本での緊張力は135.8 kNである。床版厚は21 cmと一定であり、B 30のコンクリートが使用されている。床版は、図-7に示すように、桁

長さ	15m, 18m	21m, 24m
高さ	1.00m	1.20m
桁の重量	180+330kN	
緊張材の数	36~60	
緊張力	135.8kN	

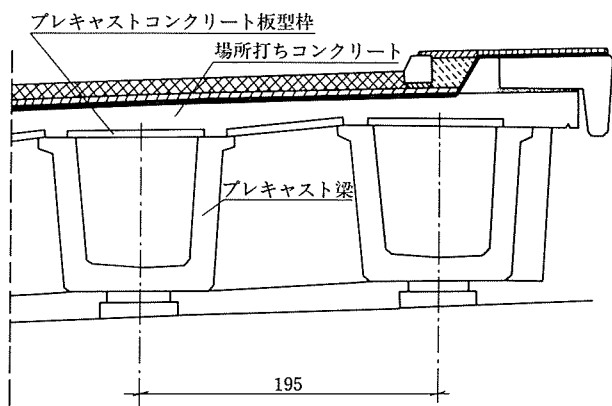


図-7 U桁システムの適用例

の上面に型枠として厚さ5 cmのプレキャストコンクリート板を設置して打設される。

桁の数は上部構造の幅により定まり、通常は橋脚上に2.20 m間隔で並べられるが、個々の場合に依りて、別の間隔で配置することも可能である。桁は橋脚上において場所打ちの横桁で横方向に支えられる。U桁システムによれば、幅が9.00 mから15.50 mまでの典型的な橋梁建設が可能である。

WBSシステムやU桁システムを用いて建設された橋梁の供用中の挙動に問題はなく、これらのシステム、特にWBSシステムはポーランドではプレキャスト桁で構成されるシステムの中で最もよいシステムと考えられている。床版や場所打ちの横桁は十分に橋梁の上部構造の横剛性を保証するものであり、活荷重が作用しても主桁とは比較的優れた相互作用を示している。そのため、これらのシステムでは横方向のプレストレスは十分なされていない。

4. あとがき

以上述べてきた典型的な橋梁構造は、ポーランドの橋梁工学の一分野に過ぎない。ポーランドにはもちろん他の形式のコンクリート橋が多く存在する。ポーランドの地形的状況から考えると中程度のスパンから成る比較的に長い橋梁に対しては、押し出し工法が最も適当と考えられる。この方法は最近ポーランドで発展してきている。例えば、この工法により昨年ポーランドとチェコスロバキアの国境(Cieszyn地域)に完成した全長760 mの橋梁がある(写真-1)。この橋梁は縦断勾配が4%で平面的にも曲率をもった曲線橋である。そのため、押し出し工法では特に困難があった。そこでこの橋梁はポーランドのGliwiceのSilesian工科大学の橋梁構造研究室のスタッフにより設計され監督された。

ポーランドの地形的条件や経済的問題などのため、コンクリート道路橋の80%はさまざまなタイプのプレ

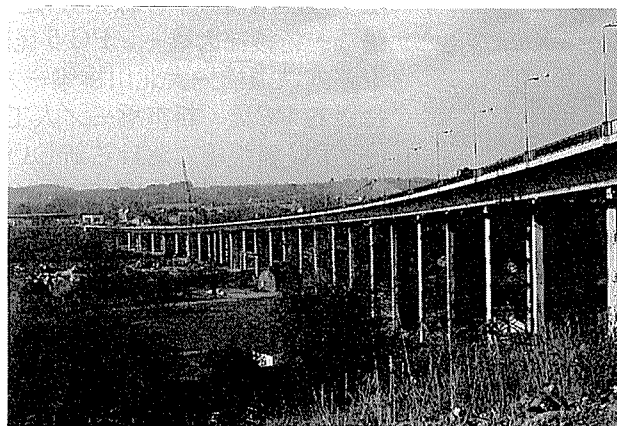


写真-1 押し出し工法により建設されたポーランドとチェコスロバキア国境の橋

◇報文◇

キャスト桁を使用して建設されているのが現状であるが、ここではこれらのタイプの橋梁について簡単にしか述べる事ができなかった。

以上、ポーランドにおけるプレストレストコンクリート橋の実状について述べてきたが、現在、ヨーロッパの政治状況の変化に伴い、ヨーロッパ横断道路などのヨーロッパ全体としての計画が進められており、ポーランド国内を2本の大きな幹線（ロンドン-モスクワ、スカンジナビア-ギリシャ）が建設されることになっている。今後、ポーランドでは経済改革とともに関連道路整備に

伴う橋梁建設分野においても発展が大きく期待されている。

参 考 文 献

- 1) Rybak, M. and Alexandrowicz, K. : 'Segmental prestressed concrete bridges' in 'Problems of construction of contemporaneous concrete bridges', Biblioteka Drogownictwa, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1982, pp. 53-89 (in Polish)

【1992年1月6日受付】

◀刊行物案内▶

Prestressed Concrete in JAPAN

—1990—

(FIP Hamburg, 1990)

[日本のプレストレストコンクリート (1990年 FIP ハンブルグ大会)]

<英・和文併記>

本書は、1990年のFIPハンブルグ大会に提供するために本協会において編纂・発行したもので、最近の日本の代表的なPC構造物28件についての設計・施工概要を英文・和文併記の形で、報告しています。写真・図も豊富で、海外において好評を博しました。

体 裁 : A4判 140頁

定 価 : 3000円 (送料 : 350円)

内 容 : 鉄筋コンクリート固定アーチ—別府明礬橋—バイプレ工法による中央公園橋—PCラーメン橋—東名阪高架橋—本州四国連絡橋 児島・坂出ルート—PC橋梁群—PC・V脚ラーメン橋—常磐自動車道 十王川橋—CLCA工法により施工されたコンクリートアーチ橋—城址橋—PCケーブルを用いた曲線桁の片持ち張出し工法—万江川橋 (下り線)—逆ランガーコンクリートアーチ橋—中谷川橋—PC斜張橋—新綾部大橋—PC5径間連続ラーメン箱桁橋—岡谷高架橋—複線3主PC下路式鉄道橋—大北川橋梁—北陸自動車道“親不知海岸高架橋”の施工—新素材によるPC橋—新宮橋—人工軽量骨材コンクリートを使用した鉄道橋—汐見川橋—PC斜張橋における新しい片持ち張出し工法—衝原大橋—架設アウトケーブルを用いた不等径間Tラーメン橋—筒石川橋 (上部工)—大型移動吊り支保工により施工した都市内PC高架線—PC斜張橋—呼子大橋—FC合成床工法による人工地盤—プレキャストPC高層建物—日立物流ハイテクセンター—出雲大社神楽殿—LNG地上式タンク用PC製防液堤—横浜市におけるPC卵形消化タンク—PCタンク—大名調整池—PCプレキャスト版による供用中の滑走路の改修舗装工事—横浜博覧会「海のパビリオン」—H.M.S. (多角形浮体構造物)—PCスノーシェルター—正善寺シェルター—プレストレストコンクリート構造ウェブジェット