

# PC吊り構造の歴史

百島 祐信\*

## 1. まえがき

プレストレストコンクリート(以下、PCと称す)技術は第二次大戦後間もなくわが国に技術導入され、昭和30年代になってから橋の分野で目覚ましい発展を遂げた。しかし、技術面から吊り構造への応用はなおしばらくの時間的な遅れがあり、わが国の橋の分野においても昭和50年代になって本格的な適用が始まっている。

PCの吊り構造は大別すると次のとおりになる。

### ① 斜張構造 cable stayed structure

斜張橋 — 英：cable stayed bridge

独：Schrägseilbrücke

斜張屋根 — 英：cable stayed roof

独：Schrägseildach

### ② 吊り構造 suspension structure

吊り屋根 — 英：suspension roof

独：Hängedach

吊床版橋 — 英：stress ribbon bridge

独：Spannbandbrücke

吊橋 — 英：suspension bridge

独：Hängebrücke

以上の構造に関してわが国での技術の導入、開発、発展について述べることにする。

## 2. 斜張構造

### 2.1 斜張橋

#### (1) 鋼斜張橋からPC斜張橋へ

鋼斜張橋はヨーロッパにおいて開発され、1960年にはケルンにおけるライン河に支間308mのゼフェリン橋(Severinbrücke)が建設されており、わが国においても1968年に尾道・向島間に最大支間215m、幅員10.4mの尾道大橋<sup>1)</sup>、1970年に大阪市道の淀川を渡る地点上に最大支間216m、幅員18mの豊里大橋<sup>2)</sup>、東京都の首都高速道路の小松川に最大支間160m、幅員15mの荒川大橋<sup>2)</sup>が斜張橋として完成している。

PC斜張橋が世界の注目を浴びたのはベネズエラのマラカ

イボ橋(Maracaibo Bridge)<sup>3)</sup>(写真-1)の建設であろう。この橋はマラカイボ海を渡る全長8680mの橋の中央部分が支間160m+5@235m+160m=1495mという極めて大規模な斜張構造で構成され、1962年にはすでに完成しており、1966年のパリにおける第5回FIP国際会議で詳しく発表され、多大な反響を与えた。

わが国では、1970年の大阪万国博覧会の会場の東歩道橋<sup>4)</sup>(写真-2)として建設されたのが本格的なPC斜張橋の始まりである。また、鉄道橋で最初に架設されたのは久慈線(現・三陸鉄道)小本川橋梁<sup>5)</sup>(写真-3)で1979年に竣工



写真-1 マラカイボ橋



写真-2 万博東歩道橋

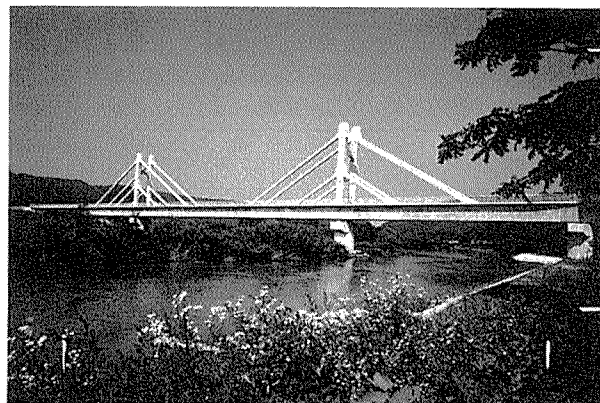


写真-3 小本川橋梁



\* Sukenobu MOMOSHIMA

本協会名誉会員  
リテックエンジニアリング(株)顧問

している。

(2) 補助支柱 (Hilfispylon) と斜張材を用いた張出し架設  
これは斜張構造の原理を仮設構造物として応用したもので、1960年にドイツのシュヴァインフルトでメイン河に架設された橋長250 m、5径間連続桁橋のシュヴァインフルト橋 (Mainbrücke Schweinfurt) が最初で、さらにライン河のベンドルフ橋 (Mainbrücke Bendorf)<sup>6)</sup>の側径間と取付け高架橋の施工に適用された。これは補助支柱とPC斜張材の転用が可能な多径間のPC桁橋の施工に有用である。

わが国では1963年に支間32 m + 5@37.6 m + 32 m、幅員6 mの神奈川県酒匂川に架かる報徳橋<sup>7)</sup>で、また1964年に首都高速道路の支間40 m + 40 m、幅員16.5 mの渋谷高架橋青山側取付け高架橋<sup>8)</sup>で成功裡に適用されている。さらに、張出し架設されるコンクリートアーチ橋にも適用範囲が拡大されている (写真-4)。

(3) 日本における初期のPC斜張橋

表-1に示すように、万国博覧会会場PC斜張橋 (1969年竣工)<sup>4)</sup>をはじめ住宅公団・並木大橋<sup>9)</sup> (写真-5) など、初期 (1981年までに竣工) のPC斜張橋はほとんどの場合支間40 m前後の歩道橋である。松ヶ山橋 (1978年竣工)<sup>10)</sup> (写真-6) は支間96 mの道路橋であるが、幅員は3 mで設計荷重はTL-6という軽車両交通用であった。

鉄道橋として最初のPC斜張橋は、久慈線 (現・三陸鉄道) 小本川橋梁 (1979年竣工)<sup>5)</sup>で支間は46 m + 85 m + 46 mの単線橋であるが、斜張材がPC構造である点特徴的である。

本格的な道路橋は1982年竣工の支間52 m + 29 m、幅員9 mの道路公団・錦岡3号橋<sup>11)</sup> (写真-7)、1983年竣工の支間38 m + 38 m、幅員16 mの北九州市・豊後橋<sup>12)</sup> (写真-8) が

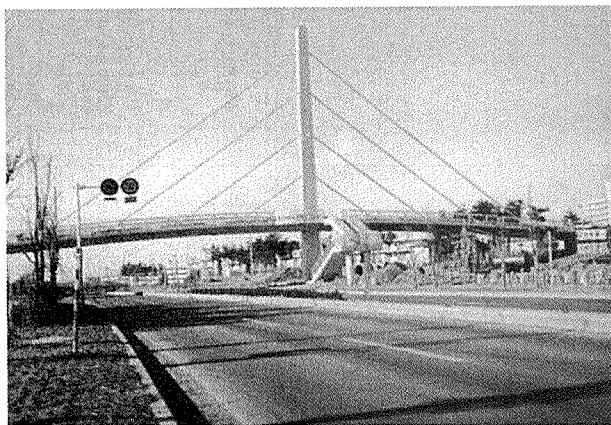


写真-5 並木大橋

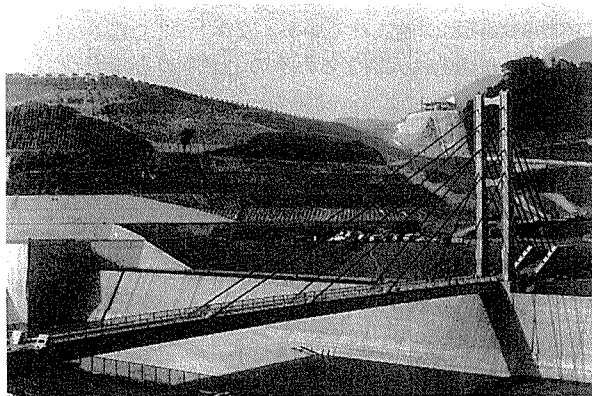


写真-6 松ヶ山橋

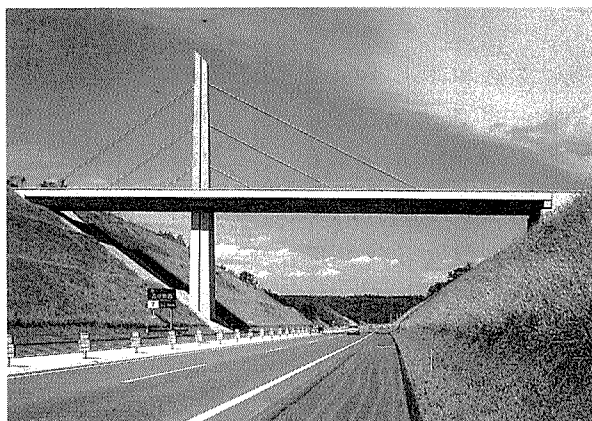


写真-7 錦岡3号橋

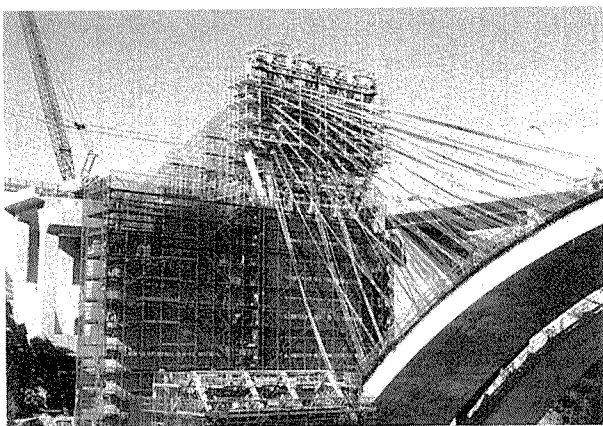


写真-4 茶間川橋



写真-8 豊後橋

表-1 わが国の初期のPC斜張橋 (支間長は少数点以下、四捨五入)

橋名	所在地	支間長 (m)	幅員 (m)	竣工年	橋種
万博東歩道橋	大阪府	38+38	12.6	1969	歩道橋
並木大橋	茨城県	40+40	6.0	1978	歩道橋
松ヶ山橋	神奈川県	96	3.0	1978	道路橋
南多摩PC斜張橋	東京都	36+36	7.3	1978	歩道橋
小本川橋梁	岩手県	46+85+46	3.7	1979	鉄道橋
宇部カントリー橋	山口県	17+38+17	3.0	1980	歩道橋
勝本ダム大橋	長崎県	27+27	4.0	1980	歩道橋
やすらぎ橋	富山県	64	3.0	1981	歩道橋
一本杉公園連絡橋	東京都	18+57	5.0	1981	歩道橋

この構造の道路橋への適用の始まりである。

(4) 本格的なPC斜張橋の建設ブーム

わが国で1970年代に始まったPC斜張橋の設計・施工の技術開発の成果は、1980年代の末に入ってから急速に華開いた。

ドイツでは1972年にマイン河に支間148m+94m、幅員31mのヘキスト化学工場専用橋(2. Mainbrücke Farbwerke Hoechst)<sup>13)</sup>、さらに大規模斜張橋が1970年代の初めにはイタリア、スペイン、アルゼンチンなどの諸外国でも盛んに建設され、また、フランスでは1977年にセーヌ川に支間144m+320m+144m、幅員16mのプロトヌ橋(Pont de Brotonne)<sup>14)</sup>(写真-9)が竣工した。

これらに刺激されて、わが国でも諸外国の技術を参考にし、さらに下記の諸問題が精力的に検討された。

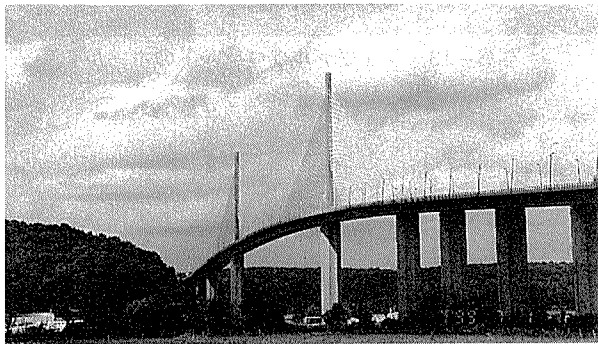


写真-9 プロトヌ橋

表-2 支間100m以上のわが国の初期のPC斜張橋  
(支間長は少数点以下、四捨五入)

橋名	所在地	支間長(m)	幅員(m)	竣工年	橋種
新綾部大橋	京都府	110+78	7.8	1988	道路橋
十勝中央大橋(塔PC)	北海道	100+250+100	11.5	1988	道路橋
戸田公園大橋	埼玉県	134+45	5.3	1988	道路橋
日中大橋	山形県	101+101	4.0	1989	道路橋
呼子大橋	佐賀県	121+250+121	7.5	1989	道路橋
志摩丸山橋	三重県	113+113	10.5	1989	道路橋
ミュンヘン大橋	北海道	107+63	22.0	1991	道路橋
東名足柄橋	静岡県	92+185+92	14.5	1991	道路橋
ツインハープ橋	北海道	69+140+69	27.0	1991	道路橋
白屋橋	奈良県	124+99	5.0	1991	道路橋
生口橋(側径間PC)	愛媛県	50+490+150	20.9	1991	道路橋
青森ベイブリッジ	青森県	128+240+128	21.5	1992	道路橋
碓氷橋	群馬県	110+110	17.0	1992	道路橋
唄げんか大橋	大分県	60+170+60	11.5	1993	道路橋
松川浦大橋	福島県	70+145+70	9.8	1993	道路橋
秩父公園橋	埼玉県	195+195	16.0	1993	道路橋
春田橋	福島県	108+108	9.8	1994	道路橋
田尻スカイブリッジ	大阪府	168+168	21.5	1994	道路橋
南宮橋	長野県	140+140	9.8	1995	道路橋
十勝大橋	北海道	124+251+124	26.0	1995	道路橋
伊唐大橋	鹿児島県	120+260+120	7.8	1996	道路橋
小川橋	群馬県	114+114	15.5	1996	道路橋
サンマリブリッジ	静岡県	144+56	10.5	1996	道路橋
大芝大橋	広島県	99+210+99	5.0	1997	道路橋
合角大橋	埼玉県	127+127	7.0	1997	道路橋
新猪名川大橋	兵庫県	199+199	18.0	1998	道路橋
能登島農道橋	石川県	109+230+109	8.0	1999	道路橋
鮎の瀬大橋	熊本県	90+200+99	7.8	1999	道路橋
多々羅大橋(側径間PC)	広島県・愛媛県	270+890+320	25.0	1999	道路橋

- ① 斜張材定着の方法と主塔の設計法
- ② 斜張材の防錆方法
- ③ 耐震設計手法
- ④ 耐風設計手法
- ⑤ 審美的処置

その結果、支間100m以上の橋が表-2に示すように多数建設されるに至った。現在では、伊唐大橋がわが国最大支間260mを有するPC斜張橋として1996年に完成している。

この表のうち生口橋<sup>15)</sup>(写真-10)は中央径間が鋼桁、側径間がPC桁であり、このような複合構造も開発されている。なお、複合斜張橋としては世界最大となる多々羅大橋が1999年に竣工している。

(5) エクストラロード橋および斜版橋

エクストラロード橋および斜版橋は桁高の範囲内に設置される外ケーブルをさらに有効に活用するため、偏向部を桁外に突出させて緊張するというエクストラロードプレッシングを用いた橋梁で、構造特性、経済性、景観などの面においてPC桁橋と斜張橋の中間的な性状を示すものである。

世界で初めてこの構造が採用されたのは、1994年に完成した小田原ブルーウェイブリッジ(写真-11)である。

外国では、1999年フィリピンに現在エクストラロード橋としては世界最大支間を誇る第2マクタン橋(中央支間185m、写真-12)が、日本からのOECF工事として竣工している。わが国では表-3に示すように支間100m以上の道路橋、鉄道橋が施工され、複合構造としてさらに大規模な支間275mの木曾川・揖斐川橋が施工中である。



写真-10 生口橋

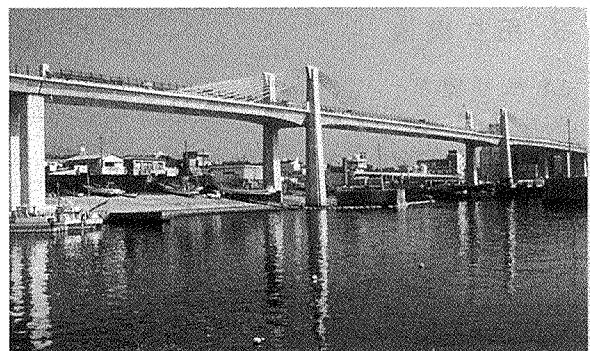


写真-11 小田原ブルーウェイブリッジ

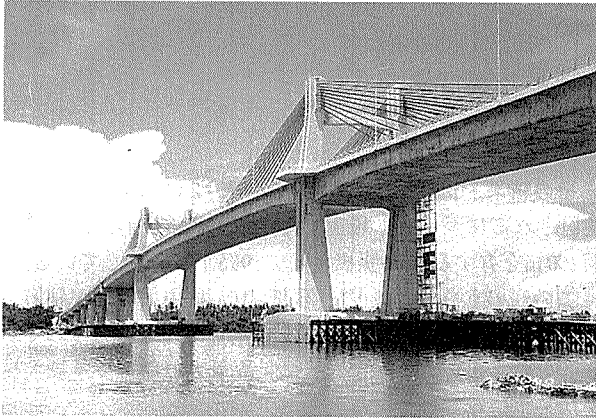


写真 - 12 第2マクタン橋

表 - 3 支間100m以上のわが国のPCエクストラードロード橋

橋名	所在地	支間長 (m)	幅員 (m)	竣工年	橋種
小田原ブルーウェイブリッジ	神奈川県	73.3+122.3+73.3	13.0	1994	道路橋
屋代南橋梁	長野県	64.2+105.0×2+64.2	12.8	1995	鉄道橋
名取川橋梁	宮城県	51+103+103+52	9.3	1996	鉄道橋
つくはら橋	兵庫県	65.4+180.0+76.4	12.8	1997	道路橋
蟹沢大橋	秋田県	99.3+180.0+99.3	17.5	1998	道路橋
唐櫃新橋(西)	兵庫県	74.1+140.0+69.1	11.5	1998	道路橋
唐櫃新橋(東)	兵庫県	66.1+120.0+72.1	11.5	1998	道路橋
第2マクタン橋	フィリピン	111.5+185.0+111.5	21.0	1999	道路橋
士狩大橋	北海道	94.0+140.0×3+94.0	23.0	2000	道路橋
またき大橋	沖縄県	109.3+89.3	11.3	2000	道路橋
佐敷大橋	熊本県	60.8+105.0+57.5	11.0	2000	道路橋
都田川橋	静岡県	133.0+133.0	19.9	2001	道路橋
保津橋	京都府	33+50+76+100+76+31	15.3	2001	道路橋
木曾川橋	三重県	160+275×3+160	33.0	2001	道路橋
揖斐川橋	三重県	154+271.5×4+157	33.0	2001	道路橋
指久保橋	青森県	114.0+114.0	11.3	2002	道路橋
新川大橋	静岡県	38.5+45.0+90.0+130.0+80.5	25.8	2002	道路橋

斜版橋としてはスイスにあるガンター橋、アメリカ合衆国のパートクリーク橋等、数橋の例がある。

## 2.2 斜張屋根

片持ち梁に斜張材を用いて大空間を構成する方法が考えられ、1960年代の初めにドイツのフランクフルト空港において大型のジェット機を収容するため55mの張出し空間を両側にもつ格納庫<sup>16)</sup>が施工された。さらに、1966年のFIP国際会議においてもモランディがローマ空港に張出し空間60m、幅員200mの格納庫<sup>17)</sup>を計画し施工している旨の報告がなされている。

## 3. 吊り構造

### 3.1 吊り屋根

PC吊り屋根は殻(シェル)構造の延長線上の構造であり、シェル構造が圧縮を主としたものと反対に、吊り構造は引張りを主とした構造である。したがって、この技術はすでに1940年代後半という比較的早い時期から体育館、ホールなどの建築構造物に使われており、1960年代までに多くの建物が建設されている。その例として、ドイツでは長径74m、短径49mのシュヴァルトツヴァルトのホール(1953年)<sup>18)</sup>(写真-13)、長径65m、短径40mのヴッパタールの水泳プー

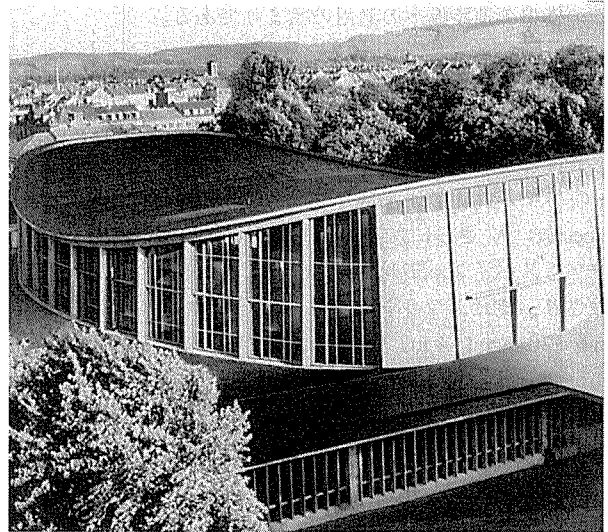


写真 - 13 シュヴァルトツヴァルトのホール

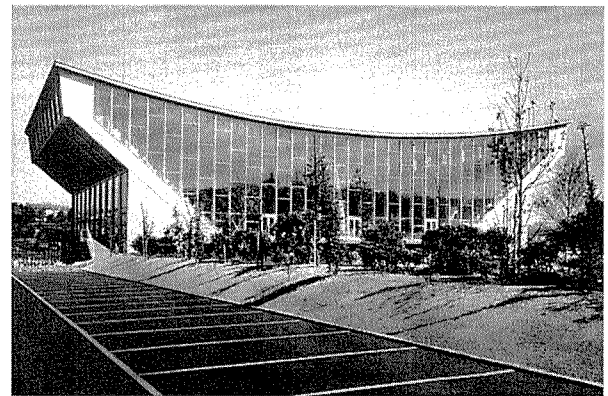


写真 - 14 ヴッパタールの水泳プール

ル(1957年、写真-14)などがある。また、アメリカでも1960年代以降プレキャスト部材や軽量コンクリートを用いた吊り屋根の建設例が多く見られる。

わが国では、鋼構造の吊り屋根として1964年の東京オリンピックのための代々木公園の水泳競技場など、大規模構造物が施工されている。一方、PC構造でも愛媛県の西条体育館(1961年)<sup>19)</sup>、仙台スポーツセンター(1963年)<sup>20)</sup>、アメリカンスカールの体育館(1964年)<sup>21)</sup>、岩手県営体育館(1968年)<sup>22)</sup>などが1960年代に建設されている。その後の吊り屋根としては、熊本県民総合運動公園陸上競技場(1989年)<sup>23)</sup>などがある。

### 3.2 吊床版橋

吊床版橋のアイデアは、吊り屋根における構造理論の延長としてウルリッヒ・フィンスターワルダーが1958年にボスポラス海峡架橋に提案し、「Spannbandbrücke」と名付けたときに始まる。

#### (1) ボスポラス海峡架橋、鳴門海峡架橋への提案

ボスポラス海峡に新しい架橋計画が生じたとき、その構造形式としては一般に吊橋が考えられていたが、ドイツのDyckerhoff & Widmann社(以下、D&W社)は支間396m+408m+396m=1200m、幅員20mの3径間吊床版橋<sup>24)</sup>を提案した。その斬新な構想は、当時あまりにも冒険的であるとして採用されなかった。

1960年代初期に、わが国において本州四国連絡橋の計画が浮上したときにも、D&W社は全長1774m、幅員29mで中央部に支間610mの吊床版を備えた案を、鳴門海峡の架橋構造として提案<sup>25)</sup>(写真-15)した。しかしながら当時、建設省は鳴門海峡の架橋は鉄道・道路併用橋を企図していたので、この案は珍しがられただけで採用には至らなかった。

また、1960年代後半に天草連絡道路の計画が実現の運びになったときにも、九州本土の三角と大矢野島を結ぶ天草1号橋(現・天門橋)に対して、支間360m、幅員2@5.7mの吊床版橋が提案<sup>25)</sup>された。しかし、これも当時世界的に実績がなく冒険的であることと、道路線形として凹型は例がないとの理由で、参考程度の検討がなされたのみであった。

### (2) 初期の吊床版橋

このように大規模の計画が先行したが、実橋としては、スイスにおいてセメント工場の材料運搬用ベルトコンベアのための支間216m、幅員3.2mの吊床版橋<sup>24)</sup>(写真-16)が1964年に竣工し、続いてスイスのチューリッヒ湖畔のペフィコンにある支間40m、幅員2.8mのビルヘルワイド橋(Bircherweid Brücke)<sup>24)</sup>(写真-17)という歩道橋が1967年

に竣工した。さらに、開発の先駆者であったD&W社の手によって、1970年に支間48.5m+39.5m+48.5m=136.5mの3径間の歩道橋<sup>24)</sup>(写真-18)がドイツのフライブルグに竣工した。

わが国における最初の吊床版橋は、1970年に大阪で開催された万国博覧会の会場へのアクセスのために建設された、支間27m、幅員5.4mの歩道橋<sup>26)</sup>(写真-19)で、1969年に竣工した。

### (3) 吊床版橋の現状

その後、わが国においても構造解析手法の研究開発が進み、現在までに50を超える吊床版橋が建設されている。表-4に、国内の主な吊床版橋の施工実績を示す。さらに、この構造に用いられる材料も単にPC鋼材とコンクリートの組合せのみならず、繊維補強コンクリートや新素材を用いた緊張材などが用いられて、その経済性の向上や適用範囲の拡大が図られてきており、支間88mの千振湖橋(1992年、写真-20)では軽車両の通行ができるまでになった。

本格的な道路橋への適用の一手法として、吊床版の経済性と線形の兼合いから、緊張力を節減した比較的緩い曲線



写真-15 大鳴門橋計画案

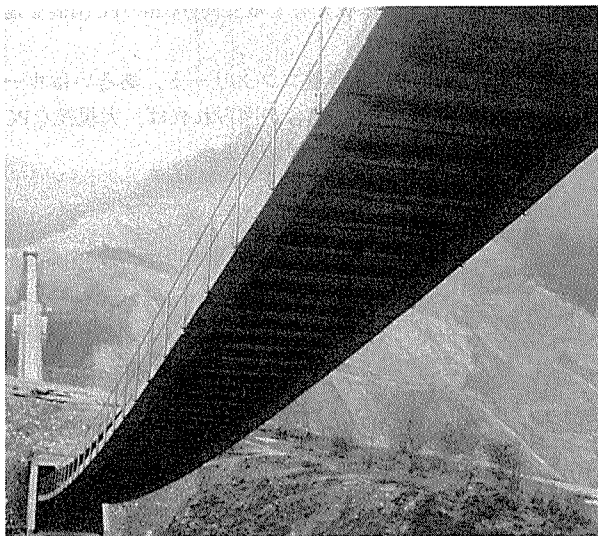


写真-16 セメント工場の吊床版橋



写真-17 ビルヘルワイド橋

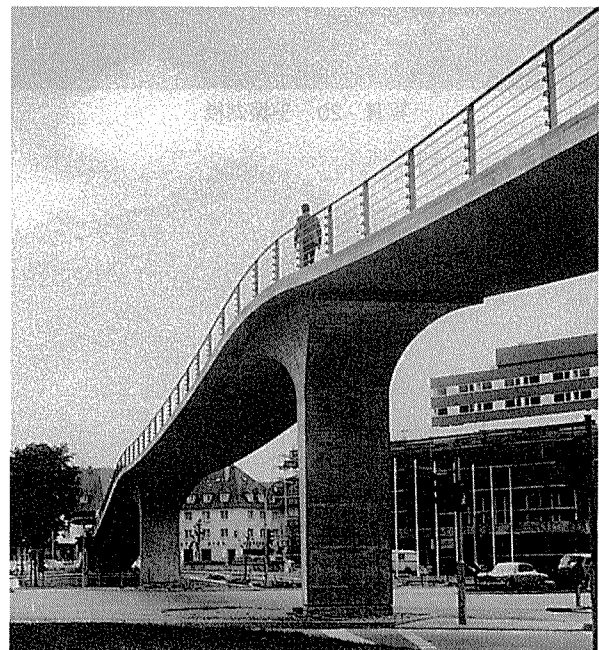


写真-18 フライブルグの3径間連続の吊床版橋

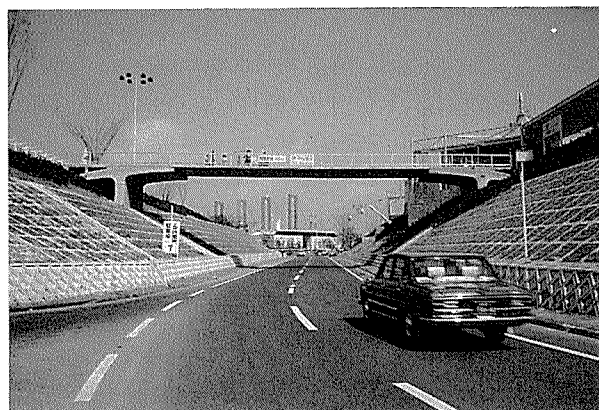


写真-19 大阪万博9号橋

表 - 4 国内の主な吊床版橋の施工実績

橋名	所在地	完成年	最大支間長 (m)	構造・橋種	備考
万博9号橋	大阪府	1968	21.0	単径間，歩道橋	日本初の吊床版橋
速日峰橋	宮崎県	1977	46.3	単径間上路式，道路橋	上路式道路橋
双龍橋	宮崎県	1984	36.5	2径間，歩道橋	日本初の多径間吊床版橋
梅の木森公園吊橋	熊本県	1989	105.0	単径間，歩道橋	日本初の100m超吊床版橋
サザンヤードC.C.バーディー橋	茨城県	1990	46.5	単径間，歩道橋	主ケーブルにAFRPロッド使用
亀甲橋	三重県	1991	37.5	三方向，歩道橋	三方向吊床版橋
千振湖橋	栃木県	1992	88.0	単径間，歩道橋	自動車荷重を考慮
陣屋の森吊橋	大分県	1993	123.0	単径間，歩道橋	支間長国内第2位
潮騒橋	静岡県	1995	61.0	4径間上路式，歩道橋	日本初の多径間上路式吊床版橋
夢吊橋 (ふれあい橋)	広島県	1996	147.6	単径間，歩道橋	支間長国内第1位



写真 - 20 千振湖橋



写真 - 21 速日峰橋

の床版に鉛直材に支持された車道版を別に建て込む方式が、ドイツのPASSAUにおける支間120 m，幅員28.5 mのシャンツル橋 (Schanzlbrücke)<sup>24)</sup>で計画された。

この構造形式は、わが国では速日峰橋 (1977年)<sup>27)</sup> (写真-21)において、初めて施工された。

### 3.3 吊橋

PC構造の吊橋への適用は、鋼構造に比して必ずしも有利と言えない面があり、その実施例もあまり多いとは言えない。

一つの事例として、第5回FIP国際会議 (1966年，パリ)において、ベルギーに支間40 m + 100 m + 40 mのマリアケルケ橋 (Mariakerke Bridge) が建設されたことが発表されている。大規模なPC吊橋としては、1969年に入札に付されたボスポ

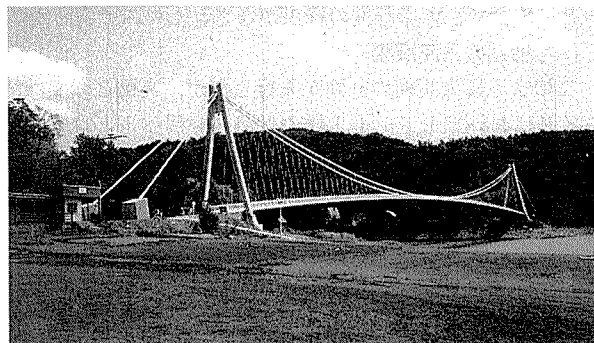


写真 - 22 チェコの吊橋

ラス海峡の架橋計画において、吊床版橋の提案者であるD&W社が、他の建設会社および鋼構造製作会社とともに、一面吊りのPC吊橋<sup>28)</sup>を代案設計として提案したが、これは実現しなかった。しかし、1990年にチェコのジリーストラスキーがプレストレスト床版を有する支間200 mのPC吊橋を建設した (写真-22)。

今後は吊床版と同様、軽量コンクリート，あるいはカーボンファイバーなど材料の適合が図られれば，大規模なPC吊橋の実現もあり得るものと思われる。

## 4. あとがき

これまで，PC吊り構造の歴史を振り返って，斜張構造および吊り構造のわが国での技術の導入，開発，発展について述べたが，今後PCの技術を若い人々の力でより一層高めることを期待する。

なお，本稿執筆作業にあたり，住友電気工業(株)および鹿島建設(株)土木設計本部の皆さまには多大な資料提供をいただいた。ここに，謝意を表す次第である。

### 参考文献

- 1) 土木学会：橋，1968～1969
- 2) 土木学会：橋，1970～1971
- 3) Brücken über den See von Maracaibo, Der Bauingenieur, Heft 10, 1962
- 4) 佐藤，則武：万国博会場内 PC斜張橋について，プレストレストコンクリート，Vol.20, No.4, 1978
- 5) 沢野，小林 (哲)：久慈線小本川PC橋梁について，プレストレストコンクリート，Vol.20, No.4, 1978
- 6) Finsfevolder, Schambeck：Die Spaunbetonbrücke über den Rhein bei Bendorf, Los I, Beton- und Stahlbeton bau, Heft 3, 1965, Beton- und Stahlbeton bau, Heft 4, 1965
- 7) 神奈川県土木部，住友建設：報徳橋架換工事報告，プレストレストコンクリート，Vol.5, No.4, 1963

- 8) 津野, 上野, 藤田: 渋谷高架橋の設計と施工について(3) Pylonを併用したDywidag工法, , プレストレストコンクリート, Vol.7, No.1, 1965
- 9) 高橋, 小野, 富田: 筑波研究学園都市 大角豆地区7号歩道橋, プレストレストコンクリート, Vol.20, No.4, 1978
- 10) 浜田, 大工原, 森, 中上: 三保ダム松ヶ山橋上部工の設計と施工について, プレストレストコンクリート, Vol.20, No.4, 1978
- 11) 高速道路調査会: 高速道路の橋, 1986.4
- 12) 古賀, 西本, 三橋, 中村: PC斜張橋“豊後橋”の設計と施工について, プレストレストコンクリート, Vol.26, No.2, 1984
- 13) Schambeck, Finsterwalder: Spannbetonschrägseil-brücken, Festschrift 50 jährigen Dienstjubiläums von Dr/-Ing. U. Finsterwalder
- 14) Bault, Mathivat: Le Pont de Brotonne, Travaux, Fev. 1976
- 15) 多田, 西本, 山岸, 矢野: 生口橋上部工の設計(上)・(下), 橋梁と基礎, 1990.7, 9
- 16) Seifert: Bau der Flugzeughalle III Frankfurt/Main, Der Bauingenieur, Heft 4, 1960
- 17) Wittfoht: Spannbeton-Kongress Paris 1966-Arbeitssitzung VII, Beton-und Stahlbetonbau, Heft 1221, 1966
- 18) 坪井, 田中, 東: 空間と構造フォーラム, p.121, 1980
- 19) 岡本: PC造HPシェル屋根の設計と施工, プレストレストコンクリート, Vol.3, No.1, 1961
- 20) 矢野: 吊屋根の耐力実験—仙台スポーツセンター, プレストレストコンクリート, Vol.6, No.1, 1963
- 21) 本岡, 丸太: アメリカンスクールのPC体育館—プール上屋の設計, プレストレストコンクリート, Vol.6, No.1, 1963
- 22) 北: 岩手県営体育館の吊屋根構造の施工について, プレストレストコンクリート, Vol.10, No.5, 1968
- 23) プレストレストコンクリート技術協会: Prestressed Concrete Year Book, 1998
- 24) Verlag G.Braun Karlsruhe: Festschrift Vlrlich Finsterwalder 50 Jahre Fur Dywidag, 1973
- 25) 根本: 吊床版橋, 季刊カラム, No.68, 1978.4
- 26) 百島, 内藤, 富田: 万国博9号歩道橋の設計施工について, プレストレストコンクリート, Vol.11, No.4, 1969
- 27) 甲斐, 徳光, 松下, 荒川, 別府, 藤本: 速日峰橋の設計と施工(その1)・(その2), プレストレストコンクリート, Vol.19, No.6, 1967, Vol.21, No.5, 1969
- 28) Finsterwalder, Jungwirth: Entwurf einer weit-gespannten Hängebrücke mit Konstruktionsgedanken aus dem Spannbeton-Brücken, DYWIDAG-BERICHTS, 1970.3

【2000年9月25日受付】