

個性を競う北米のPC橋

小村 敏*

1. はじめに

昨今の北米のPC橋の業界は、活況を呈している。その原因を、ヨーロッパの橋梁建設が一段落して、多くの橋梁技術者が仕事を求めてアメリカに流れ込み、それら技術者が持ち込んだノウハウとアメリカのプレキャスト桁製造技術が組み合わせられた結果に求めたい。別の見方をすると、アメリカは、地方分権の思想が強く、中央の統制なしに、その環境の中で、アメリカ人が彼らとともに、新しいアイデアを生かせる機会も多かったからかとも思う。殊に独立独歩の精神の強い南部、南西部、西部では、斜張橋を始めとして、斬新なアイデアでユニークな長大PC橋が多く架設されている^{1), 2)}。

本稿では、北米のPC橋の発展の歴史をたどり、上記のユニークな橋を紹介しながら、北米のPC橋の現状報告を試みてみたい。

2. 北米におけるPC橋の発祥と変遷

2.1 アメリカ合衆国

北米のPC業界は、他の国と異なり、タンクなどのループ状にプレストレスする構造からスタートしている³⁾。その後、建築に利用され始めたPC鋼材を直線状に配置するプレテンション工法による工場プレキャスト製品を中心に発展を始めた。さらにポストテンション工法が導入されて、橋に使われ、支間を伸ばし始めた。アメリカでは、Pontchartrain Causeway に代表される

ような何マイルにわたって続く橋が多く、それらはプレキャスト製品を用いて建設されていた。サンフランシスコの地下鉄 BART システムでも 30 000 本のプレキャスト逆台形箱桁を用いて高架部分が建設されている⁴⁾。

アメリカで最初に建設された本格的な PC 橋は、1950 年のペンシルバニアの Walnut Lane Memorial Bridge である⁵⁾。この橋は、支間 49 m の I 桁 13 本を並列したマグネル工法によるポストテンショニングの橋である。しかし度々の補修で壊れてきたが、40 年間の供用による痛みが激しく、遂に 1990 年に架替えに着手し、翌年に完成して現在新しい橋で供用されている。この最初の橋から 40 年間のアメリカの PC 橋の発展の過程を、国内橋梁台帳 (National Bridge Inventory, NBI)⁶⁾ の資料をもとにトレースしてみたい。

NBI には、1950 年から 1989 年までに建設された橋長 6 m 以上の道路橋約 31 万橋を含む全体で約 58 万橋のデータが網羅されている。橋を木橋、鋼橋、RC 橋、PC 橋と分けた場合、PC 橋は最も伸びが大きい橋種で、1950 年初頭から 1960 年初頭にかけてピークを示している。

支間的に見ると、1950~54 年期には、30 m までのレ

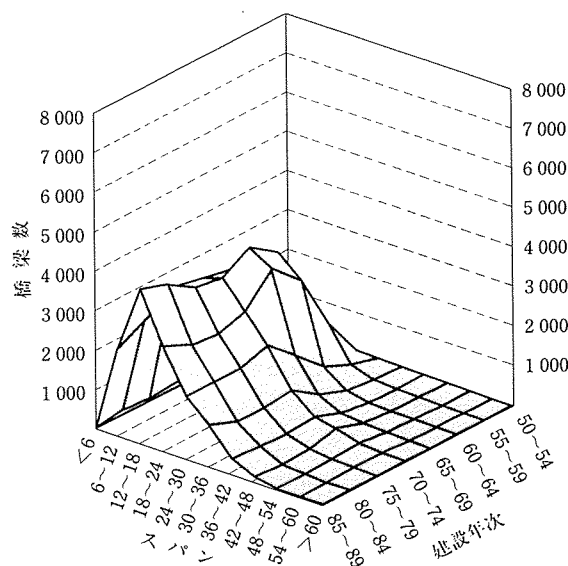


図-1 建設年次別、スパンレンジごとの PC 橋建設数



* Tsutomu KOMURA
(株) 白石 常務取締役

ンジに限られていたが、1985～89 年期にはあらゆるスパンレンジに広がり、1980 年以降は、橋の半数は PC 橋の時代になっている。1985～89 年期には、スパン 18～36 m までの橋の 65 % が PC 橋になり、1970 年代には、42～60 m のスパンで 30 % のシェアを占め、ピークを示している。

桁断面で見ると、最も採用頻度の高いのは、多主桁並列型で 40 年間の橋全体の約 10 % を占めている。第二は、多重箱桁形式で、これには多室一箱桁も含まれ、約 6 % の率を示している。ただし 1970 年代にアメリカに移入されたセグメント形式の箱桁とチャンネル型桁（エッジビーム）の 2 形式が、1988 年まで分類として制定されていなかったで、この統計ではいずれかの分類に振り分けられていて、正確な数字は分からない。さらに、近年になって、単純桁が減少し、連続桁が多くなり、スパンもそれに応じて長くなっている。

地域的に見ると、アメリカ南東部、南中部、北中部、北西部では、多主桁並列橋が多く、オハイオ州を中心とする東部、南部の 11 州では多主箱桁橋が一般的である。連続桁は、ミズーリ、カリフォルニア州に多い。これらの地域分布は、アメリカのセメント、鉄筋、PC 鋼材の工場の所在地と大に関連している。

このような発展過程、国内事情から、PC 橋は、通常の桁橋から、現在は張出し架設や径間一括架設されたセグメント箱桁橋と、斜張橋の二工法が隆盛になっている。さらに、これらの工法は、地域的にも、従来から PC が盛んであったフロリダ、テキサス、カリフォルニアを含む南部、西部地方が一頭地を抜いている。

2.2 カナダ

カナダについては、アメリカと同様な発展の過程をたどって発展しているが、同種の資料を入手できなかったで、カナダプレストレストコンクリート協会 (CPCI) の 25 周年記念講演 (1986 年) からトレースしてみたい⁷⁾。

カナダの最初の PC 橋は、1952 年建設の北ヴァンクーヴァーの Mosquito Creek Bridge である。その後 PC 橋は発展を続けるが、1954 年のカルガリーの Chin Coulee Bridge は、支間 18.3 m、20 径間の曲線橋で、当時としては特出される橋である。1959 年にはプレキャスト桁を用いて支間を 43 m に伸ばしている。この橋を契機に架設機械も改良され、重量 65 t (支間相当 40 m) までの橋は、プレキャスト桁で製作されるようになった。

その後スパンは徐々に伸び、架設地点の制約の多い処では、支保工のいらないセグメント形式が多くなり、断面も I 桁から箱桁に移り、スパン 50 m 時代に入っている。ケベックの Mules River Bridge は、40+81+40 m

の 3 径間連続箱桁で、北米最初のセグメントタイプの PC 橋である。一方プレキャストのセグメントタイプの最初は、ケベックの Lievre River Bridge で、支間割り 40+79+40 m である。これらの実績を背景に、1986 年のヴァンクーヴァーの斜張橋 Annacis Bridge (最大支間 465 m) へと引き継がれていく訳である。

3. セグメントタイプ箱桁橋

3.1 概 説^{3), 8), 9)}

前述したように、このタイプの最初の橋梁は、1964 年に場所打ちで、1967 年にプレキャストで、共にカナダのケベックで建設されている。アメリカに導入されたのは、1970 年代に入ってからである。その後ポステンション工法の普及に伴って、この工法は、コンクリートの橋を実際的にし、かつ経済性でも有利に、スパンを伸ばし、その範囲を広げていった。本節では、北米で建設されたこの種の橋一般について述べ、有名橋梁について解説を加えてみたい。

この形式の経済性は、60～200 m のスパンの橋梁にあるといわれている。Houston Ship Channel Bridge (228 m) の例もあるが、長径間になると鋼材量、コンクリート量が増し材料的に不経済になり、斜張橋がその位置を奪いつつある。

工法的には、場所打ちとプレキャスト材使用の二工法がある。初期には、ほとんどが場所打ちであったが、工期や前述の理由もあって、アメリカではプレキャストセグメントの使用の割合が増加している。断面的には、逆台形箱桁に代表される中空箱桁が一般的である。

架設方法としては、アメリカでは三つの方法が一般的であるが、その組合せも随所に見られる。第一は、つり合い張出し架設である。足場、支保工なしに、橋脚上に設置された架設作業車内で作業を行い、バランスを取りながら、左右に張り出して進む。アメリカの水上交通があるところの橋は、この架設工法を採用することが多い。

プレキャストセグメントの場合は、陸上、水上のクレーンで桁を吊り上げたり、自走式のガントリークレーンを用いて架設する。場所打ちの場合は、2 台の架設作業車を用いて、左右バランスを保ちながら、打設、緊張作業を進めていく。90～260 m までのスパンではこの方法が最も経済的である。セグメントの長さは、幅員によって様々だが、重量で見るとアメリカの平均では、場所打ち、プレキャストとも 45～55 t が一般的である。

スパンが長くなるにつれて、桁高を変化させて、橋脚付近の主桁の曲げに抵抗させる方法がある。アラバマの Dauphin Island Bridge は、主径間 122 m の橋で、橋脚上で 7 m、支間中央で 2 m (36 m の取付けスパンの箱桁が 2 m の桁高) の桁高で、両者は円弧で結ばれて

表-1 北米で著名なセグメント箱桁橋梁

	橋名・場所	供用年	形式	架設工法	主径間等	特 記 事 項
1	Mules River Bridge (Quebec)	1964	CIP	張出し架設	40+81+40 m	北米で最初の場所打ちセグメント箱桁橋。
2	Vail Pass Bridge (Colorado)	1977	CIP	片押し張出し架設	31~69 m	この方式で21橋架設されているが、そのうちの4橋。
3	Wabash River Bridge (Indiana)	1978	PC	自走式ガーダー利用架設	4 @ 57+2 @ 28.5 m	北米で最初にランチョンガーダーを利用して架設された橋。
4	Shubenacadie Bridge (Nova Scotia)	1979	CIP	張出し架設	113+213+113 m	アンバランスモーメントを橋脚を固定して取った橋。
5	Seven Mile Bridge (Florida)	1979	CIP	径間一括架設 自走式ガーダー利用架設	264 @ 43.2 m 総延長約 11 km	7セグメント (l=41 m) を仮緊張して一括架設。中間支点上のコンクリートを打設して (43.2 m に) 外ケーブルで最終緊張。
6	Denny Creek Bridge (Washington)	1980	CIP	径間一括架設	20 スパン 43~57 m	アメリカで最初の径間一括架設。
7	Dauphin Island Bridge (Alabama)	1982	PC	張出し架設	最大スパン 112 m アプローチスパン 36 m	建設当時は全米最長の桁橋。橋脚上 7 m, 径間中央, 側径間端部 2 m の桁高でアプローチに合わせる。
8	Houston Ship Channel Bridge (Texas)	1982	CIP	張出し架設	114+228+114 m	現在北米最長の桁橋, 橋脚上桁高 14.5 m。
9	MARTA Rapid Transit (Georgia)	1983	PC	径間一括架設	70 @ 44 m	アメリカ初の箱桁鉄道橋。ロングライン装置で桁製作。
10	Linn Cove Viaduct (North Carolina)	1983	PC	片押し張出し架設 一部に仮支柱を使用	30+48+4 @ 55+50+30 m	上下部ともプレキャスト材使用。既設桁を利用した尺取り工法で施工。PCI 賞 (1984), PCA 賞 (1989) 受賞。
11	Glenwood Canyon Bridge (Colorado)	1986	PC	エレクトロントラス利用架設	全長 906 m, 5 径間連続桁が基本	径間ごとに尺取り方式で既設桁を利用して架設。PCI 賞 (1986) 受賞。
12	Barton Creek Boulevard Bridge (Texas)	1987	CIP	張出し架設	47+102+57 m	桁高一定の世界最初のフィンバック橋。
13	Ramp B Bridge over US-26 (Kentucky)	1987	PC		全長 116 m 3 径間連続桁	連続曲線跨道橋。PCI 賞 (1988) 受賞。
14	Zilwaukee Bridge (Michigan)	1988	PC	自走式ランチョンガーダー利用架設	100~120 m 全長 2.4 km	途中にヒンジをもつ連続桁。架設中に仮固定ヒンジなどの破損事故あり。
15	Biloxi I-110 Viaduct (Mississippi)	1988	PC CIP	架設ガーダー利用径間一括架設 仮ピロン, ガーダー利用張出し架設	24.4~54.9 m	交通阻害なしに都市内で工事。曲線部は場所打ち, その他はプレキャスト材使用。PCI 賞 (1989) 受賞。
16	Santa Fe/Dartmouth Railroad Bridge (Colorado)	1990	PC		21~29 m 5 径間連続桁	鉄道橋。床版は場所打ち。
17	Wando River Bridge (South Carolina)	1990	PC	張出し架設, 仮支柱利用	91+122+91 m アプローチスパン 46 m	架設時に左右 46 m の間隔で仮支柱を設置。桁高を橋脚上 6 m, 径間中央で 3 m でアプローチに合わせる。

* [形式] CIP: 場所打ちで施工, PC: プレキャストセグメント使用

いる。1982 年竣工の時点では、米大陸最長のプレキャスト PC 橋であった。Houston Ship Channel Bridge は、橋脚上で 14.5 m の桁高をもった変断面の場所打ちの桁橋で、中央径間 228 m は、現在米大陸一の長さを誇っている。

径間一括架設工法は、スパン 75 m 以下の橋の架設に有利である。場所打ちの場合は、径間全部をカバーする架設作業車を支保工の代わりにして作業が進められ、1 径間終わった後にその作業車が前進して、作業を繰り返す。Denny Creek Bridge では、まず逆台形箱桁の U 形部分を打設し、作業車を前進させ、U 部分を支保工にして、上床版を打設、次いで張出し床版をその箱桁を利用して打設の三段階方式を採用している。

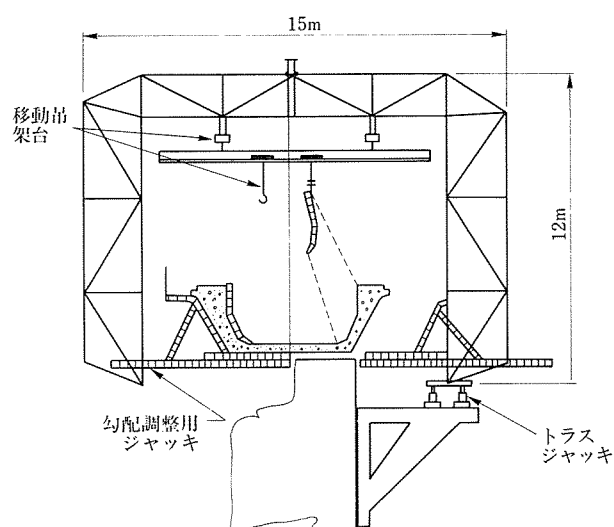


図-2 Denny Creek Bridge で用いられた架設作業車

プレキャストセグメントの場合は、隣接する橋脚間に架けられたエレクションガーダーなどの架設機械の上か下に、プレストレスで連結されたセグメントが置かれるのが一般的である。吊上げは、架設機械上に設置されたクレーンで行われている。

フロリダの Long Key Bridge をトレースして建設された同じフロリダの Seven Mile Bridge は、この方法でつくられた世界最長（橋梁延長約 11 km）のプレキャストセグメント使用の桁橋である。地上で製作された 7 ブロックのセグメントを 41 m の長さで仮緊張して一体化し、バージで海上を運び、自走式ガントリークレーンで高さ 20 m の架設位置まで引き上げ、橋脚付近の桁を場所打ちして（最終スパン 43.2 m）、最終緊張を外ケーブルで行って完成している。この工法は、フロリダに多く、断面から見ると、スパン 40 m クラスで、ブロック長さ 5.5 m、桁高 2.1~2.4 m、重量約 60 t のものが一般的である。

第三の方法は、原理的にはつり合い張出し架設と同じ

で、アンカー重量を既設桁に取りながら、片方に張出し架設する方法である。通常 3 セグメントまでは片持ち張出し架設され、その後は仮ピロンを橋脚上に立て、それから斜材で吊るか、途中に仮ベントを立てて支えて張り出していく。

3.2 Precast Segmental Bridges, Florida¹⁰⁾

フロリダには多くのプレキャストセグメントタイプの桁橋が建設されている。Long Key Bridge が端緒であるが、Seven Mile Bridge は、延長約 11 km の世界最長のプレキャストセグメントを用いた橋梁である。支間長 43.0 m で、径間数 264 であり、気の遠くなるアメリカならではの橋である。

フロリダの場合、架設方法としては、張出し架設と、径間一括架設の二種類が採用されている。張出し架設は、インターチェンジとか曲線橋に適用され、径間一括架設は、水上で直線桁の場合に多い。

セグメントは、現地近くでつくられることが多いが、Seven Mile Bridge の場合、施工業者が、タンパ湾付近に工場をもっており、合計 2 154 個のセグメントが 1 週 28 個のペースで製作されている。そのうち 3 個のセグメント（比率 0.2 %）が不適格なものとして排除されている。因みに、Sunshine Skyway Bridge のアプローチ部では、584 個のセグメント（排除率 0.5 %、3 個）で 1 週 10 個のペースで生産されている。

Seven Mile Bridge と Sunshine Skyway Bridge のアプローチとも径間一括架設が行われている。Seven Mile Bridge の場合、前述したとおりの架設方法で架設されているが、当初は週当たり 3 径間であったが、後半は週当たり 5 径間、1 日当たり 1 スパンと進み、契約工期を 6 か月短縮している。

最終ケーブルの緊結は外ケーブルで行われているが、これはコンクリート内に埋め込まれたダクトの破損、誤配置を避けるため考案されたもので、将来のケーブル交換も容易な利点もある。海上構造物にエポキシ樹脂塗布鉄筋が用いられたのも、フロリダのこの橋が最初である。

3.3 Linn Cove Viaduct, North Carolina¹¹⁾

この橋は、ノースカロライナの国立公園内に建設されたパークウェイの一部を成すものである。環境問題に関しては、アメリカも議論の多いところで、道路ルート、構造形式について 10 年間の検討期間を要している。

最終的に採用された橋梁形式は、全長 379 m（支間割り 30+48+4 @ 55+50+30 m、幅員 11 m）のプレキャストセグメントタイプの連続桁である。断面は、桁高 2.7 m の箱形で、一ブロックの長さは 2.6 m である。この橋は、平面的に最小半径 76 m の曲線部を含む二つのカーブが入っており、縦断的にも 10 % 勾配で上り、

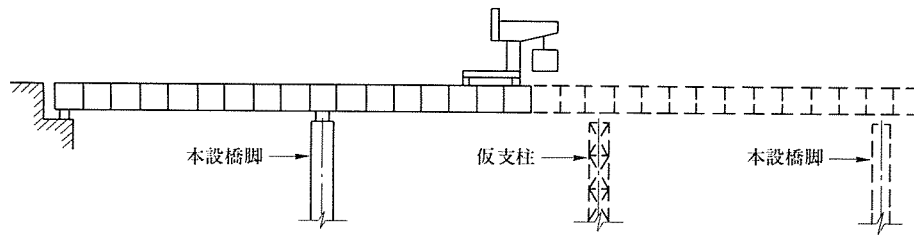


図-3 Linn Cove Viaduct 架設方法略図

55 m の緩和区間を挟んで、10 % の下り勾配で下がる線形になっている。

環境保護のため一切の工事用道路の設置は認められず、南側橋台（この橋台は場所打ちで施工）付近からのみ既設道路を使って施工を行うこととされた。立木も直接道路線形内にあるもの以外の伐採は認められず、横からはみだす小枝などはシルトフェンスで保護された。転石一つの撤去も許されず、途中の溪流の汚染度も絶えずモニターされた。

高地寒冷気候の関係で、工事可能期間が短く、工期短縮と環境保全の目的もあって、冬期に全部材（橋脚を含めて）を工場で製作する方法を採用した。橋脚の設置可能位置の選定から、最大支間 55 m が決定され、最適桁高、PC 鋼材量などの条件も勘案して、桁高を 2.7 m とした。さらに施工段階を追っての模型実験が並行して行われ、クリープ、乾燥収縮の長期変形も、現場測定とコンピュータ解析で追従された。

プレキャストセグメントは、ショートラインシステムで製作されている。前述したように、水平、垂直両方向にカーブしているため、新旧ブロック間の隔壁と型枠を調整することで、変形ブロックを製作した。したがって 153 個のセグメントは一つとして同じ形のものはない。55 t の重量をもつセグメントどうしの結合を容易にし、かつ端部を保護するため、間隙にはゴム系のシール材が入れられて、硬化後除去されている。このセグメントの製作工程で、二方向にカーブしているため、製作曲線は、将来の変形も予測し、絶えず修正されながら厳重に管理された。21 セグメントが連結されて、現場で間隙が充填されるが、最初と最後のセグメントでは、平面的に 10.2 cm、縦断的に 1.8 m ずれている構造である。

橋脚は、せん孔設置された 9 本の径 22.9 cm の杭の上に径 6.1 m（厚さ 1.5 m）のフーチングセグメントを置き、最初の橋脚セグメントの位置確保のための鋼製フレームとプレストレスで一体化され、その後橋脚セグメントが橋上から降下されて半固定される。種々の調整後にコンクリートが打設されて、間隙にはエポキシ樹脂が注入される。この樹脂は応力用ではなく、腐食防止用である。次のセグメントが降下され、PC 鋼棒で仮締めされながら立ち上がっていく。最終的には、ストランドで

縦締めされて橋脚は完成する。

上部工は、セグメントがトラックで張出し桁の先端から 2 つ手前のセグメントの所まで運搬され、クレーンで前方に展開される。鋼ビームによって位置を調節しつつ、所定位置まで吊り下げられる。仮締め鋼棒で大まかに半固定したのち、ケーブルウィンチで引き寄せられ、間隙にエポキシ樹脂が塗布され、最終ストランドで緊結されて後、仮鋼棒が撤去される。スパンが長い場合に、図-3 のように仮ベントが設置され、架設応力を減少させている。この作業サイクルは 4～6 時間であった。

このような形で 1983 年に完成したこの橋は、アメリカのプレキャストセグメント橋の記念碑的な存在である。PCA 賞始め 8 つの賞を受賞しているが、特に、第一回の大統領賞をレーガン大統領から授与されている。受賞理由として、大統領は、「Line Cove Viaduct は単にノースカロライナのグランドファザー山の道路でなく、山そのものであり、山の一部である高架橋である」と述べている。

3.4 Barton Creek Boulevard Bridge, Texas¹²⁾

この橋梁は、斜張橋かセグメント桁か、分類に苦しいタイプである。テキサスのオースチン郊外に 1987 年 2 月に完成した Barton Creek Boulevard Bridge は、構造的にユニークな橋軸中心にせびれをもつ 4 車線のフィンバック (Fin-back) 橋である。この形状は、通常の斜張橋形式より 15 % 安く、支間 100～250 m 程度の鋼橋に十分対抗できる構造であるとされている。

中間橋脚を立ち上げたのち、脚上に架設作業車を載せる柱頭部を打設し、そこを起点として左右に作業車を張り出して工事を開始する。現場作業が橋上に制限されるため、作業車でセグメント（長さ 3.4 m、桁高 2.7 m の

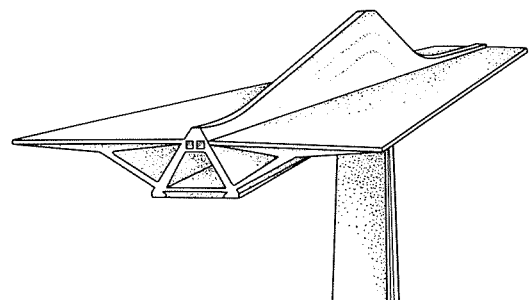


図-4 Barton Creek Boulevard Bridge 概念図

台形箱桁)を打設し緊結する。箱桁内には、斜めストラットが設けられ、上床版を支持する。両側に3つのセグメントが架設されると、三角形に橋脚上で1.7 mまでフィンが立上げられ、その中に配置されたPC鋼材が緊張され、死荷重を支える。セグメント3つ目ごとにこの作業が繰り返され、全部で54個のセグメントが架設され、最終的にはフィンは支間中央で零になる三角形となる。曲げとせん断に対して、このせびれで処理しているのが最大特徴である。

4. 斜 張 橋

4.1 概 説^{13), 14)}

斜張橋は、目下のところ世界的なブームである。大河や海峡の大支間を渡るには最も適した構造で、通常のPCタイプで700 mまで、鋼とコンクリートスラブの合成構造を考えれば1 000 mは可能と、Leonhardt 博士は指摘している。表-2に示すように、北米では多くの斜張橋が架設されているが、いずれも海や大河を渡るもので、船舶の航行があり、その衝突を避けるためスパンを伸ばす必要があるものである。以下それら北米の斜張橋の概説的な説明を加えてみたい。

桁の断面形状は、逆台形箱桁かエッジビームタイプが多い。スパン150 m以下、幅員20 m以下の橋では、スラブ桁(厚さ50~60 cm)だけでも十分であるが、スパンが伸び、幅員が広がるにつれて、エッジビームが必要になってくる。このエッジビームは、PC桁か鋼桁で、中間はコンクリートスラブで連結されているのが普通である。二面吊りの場合、このエッジビームにケーブルが定着され、中間のスラブは荷重を支えるばかりでなく、斜張橋の軸圧縮力に抵抗している。ビームの桁高は、通常1.0~1.5 m(場合によっては2.0 m程度まで)に抑えられている。横方向の剛度保持のために、スラブに鋼横桁を埋め込んだり、コンクリート横桁を設け

たりしている。プレストレスで横締めした例も多い。両ビームを繋ぐスラブは当初から一体となっているもの、場所打ちのもの、プレキャスト板があるが、いずれも合成構造として、橋軸方向、直角方向の力に抵抗している。今後は工期の点から、プレキャスト部材の使用が多くなると思われる。Annacis Bridgeは、そのよい例である。

一面吊りになると、箱断面となる。一室箱断面で一面吊りの場合、ケーブルの定着と床版支間の低減を図って、中間に斜めストラットを設けているケースが多い。この箱桁の製作方法は、ドイツ式の場所打ちと、フランス式のプレキャストブロック型と設計者によってはっきりと分かれている。James River Bridgeでは、プレキャスト箱桁2個を、デルタ形のプレキャスト横桁で繋ぎ、そこに一面吊りのケーブルを定着した特異な例である。

4.2 East Huntington Bridge, West Virginia and Ohio (max span=274.3 m)^{15), 16)}

この橋は、オハイオ河に架かるもので、各種の制約の中での鋼橋との競争設計の所産である。例えば、河中の橋脚は、鋼橋の荷重を想定してすでに施工されていた。全長は607.6 mで、南側取付け区間195.6 mは、場所打ちのセグメントタイプで張出し施工された。中央部は128 mの高さをもつタワーから62本のケーブルで吊られた2径間連続斜張橋(274+185 m)である。この長さは、対称3径間連続橋であれば500 mスパンに相当する。残りの北側スパン(13.7 m)はプレキャストセグメントを結合したPC桁である。現在アメリカで流行する3つのタイプが一橋で使われた珍しい例で、橋全体の伸縮が橋端2個の伸縮装置で処理されている。

河中の橋脚がすでに出来上がっていたため、桁重量はその設計値以下であることが要求された。そこで斜張橋部は、高強度コンクリート(560 kgf/cm²)を用いた工

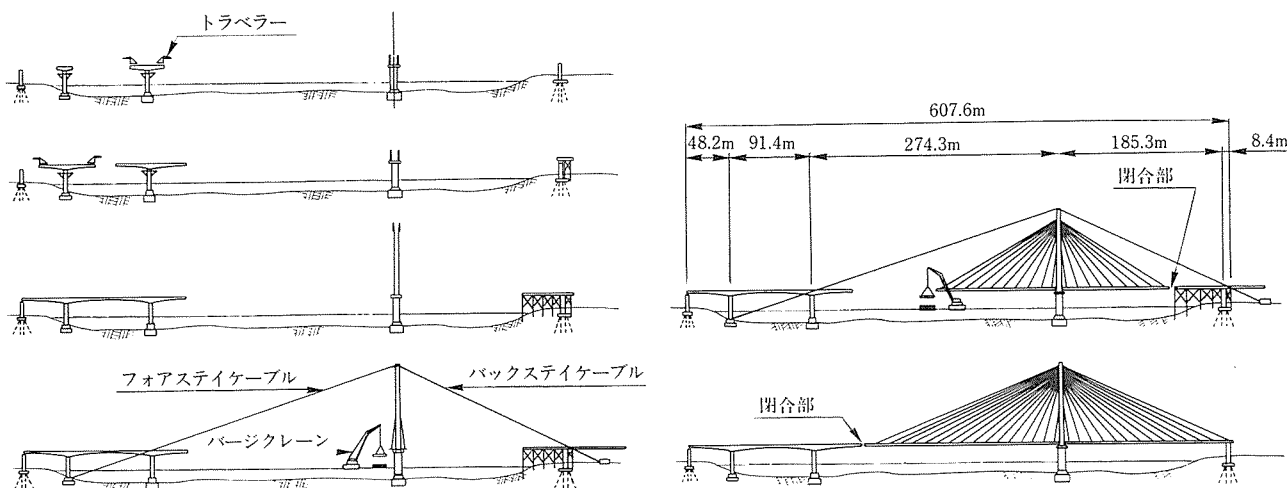


図-5 East Huntington Bridge 架設順序図

表-2 北米で近年完成した長大径間斜張橋

	橋 名・場 所	供用年	形式	支間割り	幅 員	桁 構 成	ケーブル	タワー	照明	特 記 事 項
1	Puerto Coalzacolcos II (Mexico)	1984	PC	30.2+49.4+112.4+ 288.0+112.4+60.0+ 45.8=698.2 m	16.5 m (18.1 m)	PC ①逆台形 斜めストラット h=3.0 m	①ファン形 PC 鋼より線 クレシネー式くさび定着	RC 逆 Y 形 H=63.4 m	有	旧橋の架替え。架橋地条件と環境条件から PC 斜張橋に。
2	East Huntingon Bridge (West Virginia & Ohio)	1985	PC	48.2+91.4+274.3+ 185.3+8.4=607.6 m	9.14 m (12.2 m)	PC ② EB 鋼横桁 h=1.0~1.5 m	②ファン形 BBR ケーブル HiAm 定着	RC 逆 Y 形 H=87.0 m		高強度コンクリート使用で軽量化。斜張橋、場所打ち連続桁、プレキャスト箱桁が一体化された橋。
3	Alex Fraser (Annacis) Bridge (British Columbia)	1986	複合	50.2+182.8+465.0+ 182.8+50.0=930.5 m	25.4 m (32.0 m)	鋼② EB プレキャスト PC スラブ h=2.1 m	②ファン形 平行線ケーブル ワイヤー定着	RC H 形 H=102.1 m	有	極度のプレキャスト化で上下部を 30 か月で施工。建設当時は世界最長の斜張橋。PCI 賞 (1986) 受賞。
4	Sunshine Skyway Bridge (Florida)	1987	PC	42.7+3 @ 73.2+ 164.6+365.8+ 164.6+3 @ 73.2+ 42.7=1 219.2 m	12.2×2=24.4 m (29.0 m)	PC ①逆台形 斜めストラット h=4.3 m	①ハープ形 PC 鋼より線 VSL くさび定着	RC 1 本柱 H=73.5 m	有	落橋した橋の代替。プレキャスト桁使用。最終緊張は外ケーブル。PCI 賞 (1987) 受賞。
5	Puente Tampico (Mexico)	1988	複合	48.0+3 @ 70.0+ 360.0+3 @ 70.0+ 48.0=876.0 m	15.5 m (18.1 m)	鋼①逆台形 (中央)+ PC ①逆台形 (側) h=2.75 m	①ファン形 PC 鋼より線 フレシネー式くさび定着	PC 逆 Y 形 H=75.5 m	有	長さに対する PC への不安と軽量化の観点から複合斜張橋に。PCA 賞 (1989) 受賞。
6	Sky Bridge (British Columbia)	1988	PC	138.0+340.0+138.0 =616.0 m	9.6 m (12.6 m)	PC ② EB プレキャスト PC スラブ h=1.11 m	②ファン形 BBR ケーブル HiAm 定着	RC A 形 H=79.0 m	有	鉄道専用の PC 斜張橋としては世界最長。PCI 賞 (1989) 受賞。
7	Necks River Bridge (Texas)	1988	PC	43.0+85.0+195.0+ 85.0+43.0=451.0 m	17.0 m (18.5 m)	PC (多) 逆台形	②ハープ形	RC 2 本柱		テキサス州最初の斜張橋。アメリカでは珍しい多重箱桁橋。
8	Dame Point Bridge (Florida)	1989	PC	198.0+396.0+198.0 =792.0 m	27.1 m (34.7 m)	PC ② EB 場所打ちスラブ h=1.5~1.9 m	②ハープ形 PC 鋼棒 ディビダークねじ定着	RC 門形 H=90.9 m	有	桁とタワーが剛結で、径間中央にヒンジを持つ。PCA 賞 (1991) 受賞。
9	James River Bridge (Virginia)	1990	PC	3 @ 45.0+192.0+ 3 @ 45.0=462.0 m	17.7×2=35.4 m (38.3 m)	PC ①逆台形×2 デルタ形プレキャスト PC 横桁 h=3.66 m	①ハープ形 PC 鋼より線 ストロングホールド定着	RC 1 本柱 H=40.9 m		プレキャスト箱桁 2 つをデルタ形横桁でつなぎ、桁高低減を図る。
10	Talmadge Memorial Bridge (Georgia)	1991	PC	143.2+335.3+143.2 =621.6 m	10.4×2=20.8 m (24.2 m)	PC ② EB 場所打ちスラブ h=2.13 m	②ファン形 PC 鋼より線 ストロングホールド定着	RC H 形 H=69.3 m	有	水バラスト荷重で打設荷重を調節。脚ごとにワーゲンを転用。
11	Houston Ship Channel Bridge (Texas)	1993 (予定)	複合	146.9+381.0+146.9 =674.8 m	21.95×2=43.90 m (47.66 m)	鋼② EB プレキャスト RC スラ ブ h=1.54 m	②ファン形 PC 鋼より線 VSL くさび定着	RC ダブルダイア モンド形 (一部 PC) H=81.1 m	有	海底トンネルの代替。橋脚の形が珍しい。

*[幅員] 外書きは有効幅員, () は総幅員。 [桁構成] ②EB: 2 エッジビーム。 [ケーブル] ①: 一面吊り, ②: 二面吊り。 [タワー] 高さは路面上からの高さ。

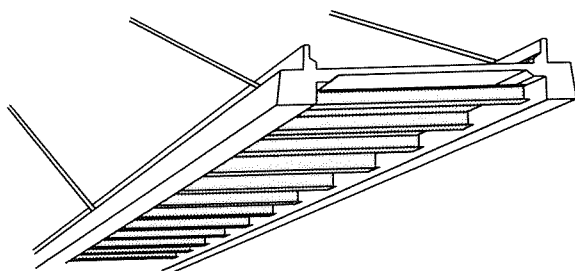


図-6 East Huntington Bridge 床組構成図

場プレキャスト製品で小型化を図り、軽量化に努めた。桁は、1ブロック長さ13.6 m、幅12.2 m、桁高1.5 m、重量227 tのチャンネル型の断面の鉄筋コンクリート桁で、いわゆるエッジビームタイプである。両端のエッジビームは、高さ1.5 m、幅1 mの断面をもち、高さ84 cmの鋼横桁（間隔2.75 m）が埋め込まれ、剛性を強化している。

4.3 Alex Fraser (Annacis) Bridge, British Columbia, Canada

(max span=465.0 m)^{14), 17), 18), 19)}

本橋は、ヴァンクーヴァーのフレーザー河を渡る最長径間465 mをもつ5径間連続複合斜張橋である。斜張橋の構造特性を生かし、単純な構成で、非常に短い工期（30か月）で、かつ経済的に建設された橋である。

全長は930.5 mで、支間割りは、表-2のとおりである。タワーは、H形で構成されており、フィンランドから輸入されたジャンピング型枠を使用して立ち上げられた。タワーの平均立上がり速度は3.90 mを3日で、約150 mの高さを冬期を含めて9か月で完成している。コンクリート強度は、355 kgf/cm²である。



写真-1 Alex Fraser Bridge

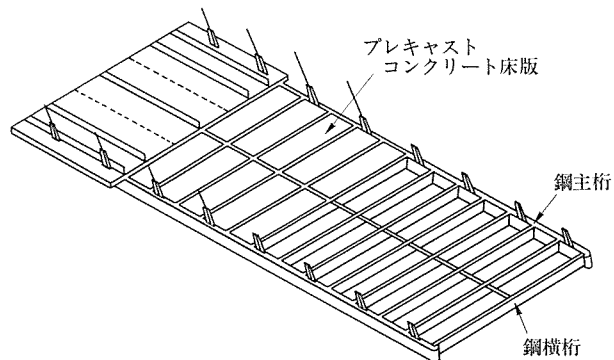


図-7 Alex Fraser Bridge 概念図

斜張橋のケーブルは、二面吊りで、現場作業の単純化と架設サイクル短縮のため、工場で製作された亜鉛メッキ鋼線からなるロングレイケーブルが使用されている。主桁上の定着は、9 mごとにガセットプレートを主桁上フランジに溶接し、それにパイプと座金でソケットを固定する簡単な方法である。これも工期の短縮に役立っている。

主桁は、桁高2.1 mのフランジ厚が35 mmから800 mmまで変化する鋼桁で、ケーブル定着のために幅員方向両端に置かれたエッジビームタイプ（主桁間隔28 m）である。鋼横桁が、4.5 m間隔に配置され、その格子の上に強度560 kgf/cm²の114枚のプレキャストスラブ（13.5×4 m、厚さ21.5 cm）が置かれ、ジベルを打たれた両フランジ上にコンクリートが打設され合成構造になっている。このプレキャストパネルは、運搬時の安全を考えてパネル長手方向にプレストレスが導入されている。この合成床版が、軸圧縮力の伝達部材、地震、風などの横力の伝達部材として使われている。

4.4 Sunshine Skyway Bridge, Florida

(max span=365.8 m)^{14), 20), 21)}

この橋は、フロリダ西海岸のタンパ湾を横断するI-275（全長6.7 km）の中の斜張橋である。主径間部は、航路を横断するため、支間長365.8 m、桁下空間53

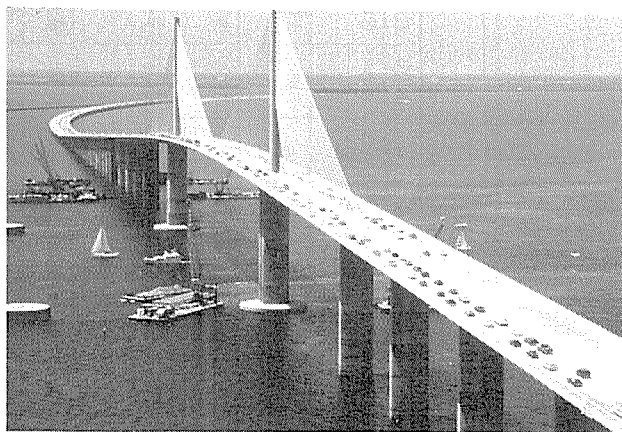


写真-2 Sunshine Skyway Bridge

m を要求されていた。この橋に近接して建設されていた旧橋は、トラス橋であったが、貨物船の衝突で落橋した状態であった。

この橋のほとんどの部材（桁、杭、橋脚）は、プレキャスト材で製作された。その数は、2 600 にも及び、1 週間 17 個ずつの割合で製作されている。プレキャスト桁は、逆台形で、桁高 4.3 m、幅 29 m、長さ 3.6 m である。この桁がバージで運搬されて、吊り上げられ、PC 鋼棒で仮締めされる。8 個のセグメントが張り出して、最初の一面吊りのケーブルが張られ、以後 2 個ごとに、ケーブルで桁を吊り、最終的に 21 本のケーブルでサポートされている。最終的な長手方向の緊張は、箱桁中の外ケーブルで行われ、将来取替え可能になっている。箱桁内部は、斜めストラットで補強され、床版支間の短縮とケーブル定着部を補強する形になっている。

4.5 Puente Tampico, Mexico

(max span=360.0 m)¹⁴⁾

この橋は、メキシコ湾に注ぐパヌコ河 (Rio Panuco) の河口部を横断する道路橋である。この地区はハリケーンの通過地帯であり、船舶の洪水時の衝突を避けるため、最大支間長は、河川全幅の 360 m とすることが決定され、形式としては、斜張橋が採用された。

環境条件からコンクリート案が有力とされたが、360 m の長さに対する不安さと、地盤耐力がないため、主径間部を軽い鋼橋として、側径間部は経済的な短い支間の PC 橋とし、その重さを利用して、負反力を取ることとした。

斜張橋部の主桁とタワーの横桁は、耐風安定性から鉛直方向ばかりでなくすべて剛結構造になっており、連続桁の連結部はヒンジ構造で繋がれている。主桁断面は、逆台形（桁高全高 2.75 m）で、鋼、PC とも閉断面で、両者の接合部は、タワーより中央径間側に 33.25 m の位置にある。この接合部には、PC 鋼材が配置され、引張力を取る構造になっている。

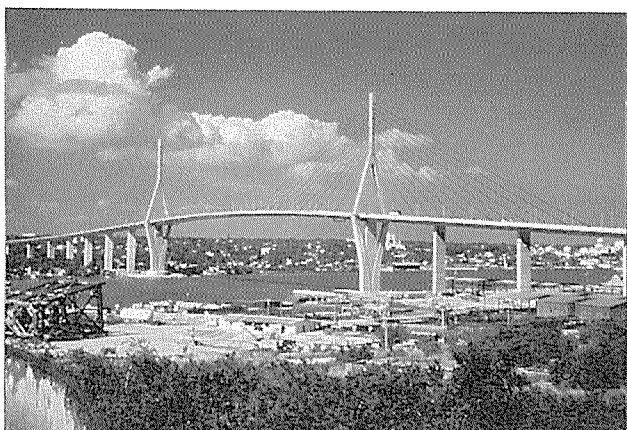


写真-3 Puente Tampico

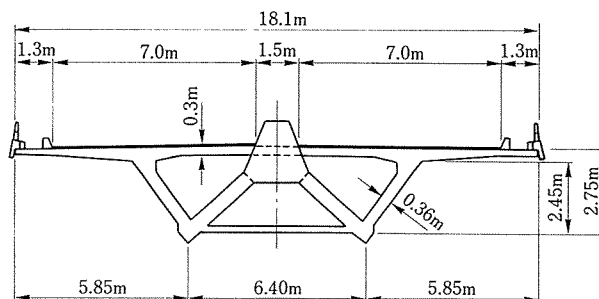


図-8 Puente Tampico PC 桁断面図

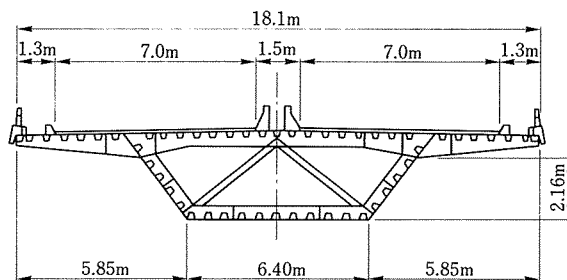


図-9 Puente Tampico 鋼桁断面図

ケーブルは、亜鉛メッキを施した 15 mm の PC 鋼より線からなる平行ストランドで、PE 管で被覆され、その中にはペトロリウムワックスが充填されている。

側径間および中央径間張出し部の PC 桁は、支保工上で架設された一連を除き、張出し架設が採用されている。鋼橋部は 12 m のブロックで、南アフリカで製作された後、現地に搬入された。2 ブロック (150 t) を現地で溶接して地組し、バージで架設位置に運んだ後、吊り上げて架設した。桁を現場溶接後、ケーブルを架設する繰返しで工事は進められた。ハリケーンシーズンを避けて、5 か月で架設を終えることができた。

4.6 James River Bridge, Virginia

(max span=192.0 m)²²⁾

この橋は、ヴァージニアのジェームズ河を渡るユニークな斜張橋である。全幅員 37.8 m で、取付け部と同じ桁高の 2 つの箱桁を並列し、その箱桁を連結するために、デルタ形の横桁を配置した一面吊りの PC 斜張橋である。このデルタ形の横桁は、6 m 間隔に配置され、一面吊りのケーブルの力を、この横桁を介して箱桁に分配する役目を果たしている。航路の関係で、中央径間は 192 m が、桁下空間は 43.5 m が要求され、全体の支間割りには、図-10 のとおりの 7 径間連続斜張橋である。

橋脚は、2.4×5.4 m の断面をもち、長さ 4.2 m のプレキャスト部材で構成され、エポキシ樹脂塗布のうえプレストレスされて立ち上げられた。タワーも同様に、プレキャスト部材で構成されている。

上部工のプレキャストセグメントは、幅 17.68 m、桁高 3.66 m で、側径間では長さが 6 m、中央径間では 3

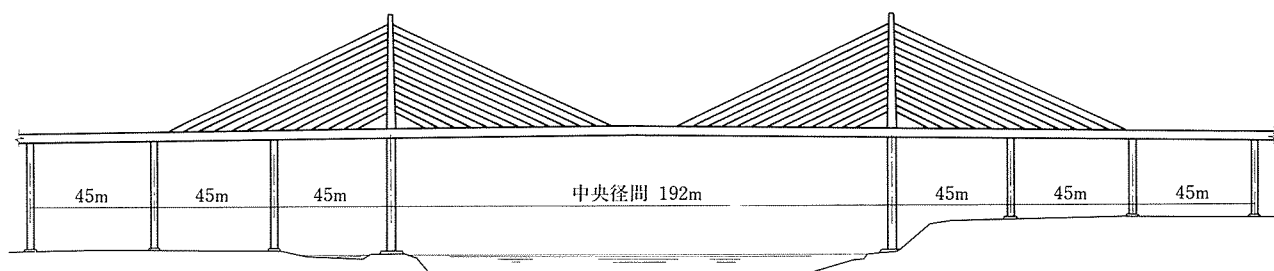


図-10 James River Bridge 一般図

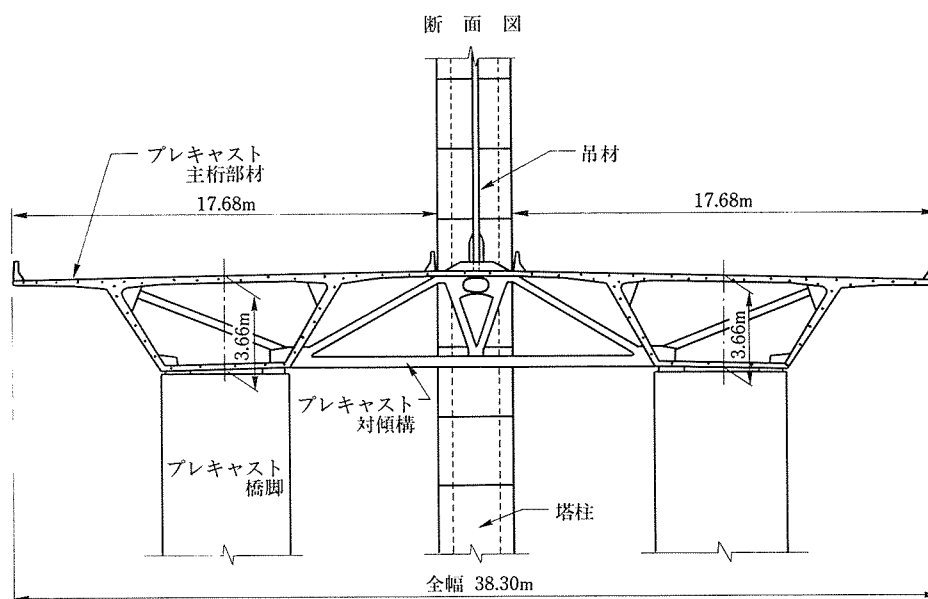


図-11 James River Bridge 断面図

m である。取付け部の径間一括架設後、中央径間は、橋脚上に長さ 3 m の標準セグメントがまず設置され、脚とセグメントの間にコンクリートが打設されて、プレストレスで固定する。その後両側に吊り下げトラスを用いて、4 個のセグメントが架設された後、デルタ形の横桁が設置され、両箱桁間のスラブのコンクリートが打設されて、横方向にプレストレスが導入されて一体化される。セグメントどうしは、PC 鋼棒で仮締めされた後に、位置を定めて、最終プレストレスが導入される。デルタ形横桁の 3 個おきに、ケーブルが定着されて、張り出す形で架設されている。

4.7 Talmadge Memorial Bridge, Georgia

(max span=335.3 m)^{14), 23), 24), 25)}

この橋も、船舶の衝突によって破損した橋の代替として計画されたものである。架設場所は、南北戦争当時に有名なジョージア州のサバンナでサバンナ河を渡河している。タワー橋脚は、両河岸に置かれ、中央径間は 335 m となり、桁下空間は 56.4 m で二面吊りの 3 径間連続 PC 斜張橋である。桁は、エッジビームタイプで、桁高 2.13 m、スラブ厚 27.9 cm と非常に薄い。

タワーは、高さ 125.6 m で柱の上部と下部にタイを

有する RC 門型ラーメンで下の方でわずかに絞られている構造である。まず北側の橋脚が構築され、この部分の桁がつくられているうちに、南側の橋脚が立ち上げられた。橋脚の上に、両側 15 m 張り出す形で柱頭部がつくられ、塔脚用のブラケットと、すでに陸上側で製作された 9.3 m の長さの張出し部が設置された。

架設は、2 台の架設作業車を転用して北側のタワーから行われた。7 日に 2 セグメントの割合で架設が進み、早い時は 6 日で済ませたこともあった。コンクリート打

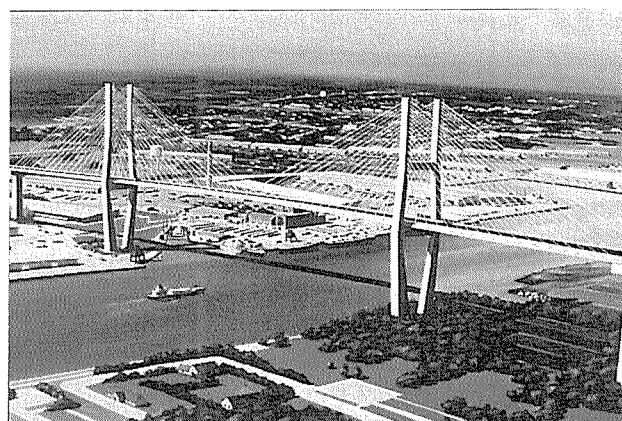


写真-4 Talmadge Memorial Bridge

設前のバランスを取るため、水バラストが用いられているのも、この橋の一大特徴である。水は、48 m の高さにあるタワーのクロスタイに低圧ポンプで上げられ、4 時間で作業車のタンクに移送されながら、打設量に応じて調整される。さらに施工時の耐風性を考え、地上に、桁の仮アンカーを設置している。これは、閉合後撤去される。また将来の凍結防止剤の散布を考えて、鉄筋は樹脂鉄筋を用いている。

4.8 Houston Ship Channel Bridge, Texas

(max span=381.0 m)¹⁴⁾

この橋は、ヒューストンの東のガルベトン湾に架かる斜張橋である。この兩岸のベイタウンとラポルトは、海底トンネルで結ばれているが、危険物を積載した車両は通行禁止となっており、不便をかこっていたので、新しい橋を架けて、この悩みを解消することとなった。146.9+381.0+146.9 m の支間割りで、幅員は、21.95 m × 2 の上下車線分離の橋で、桁下空間は 53 m である。

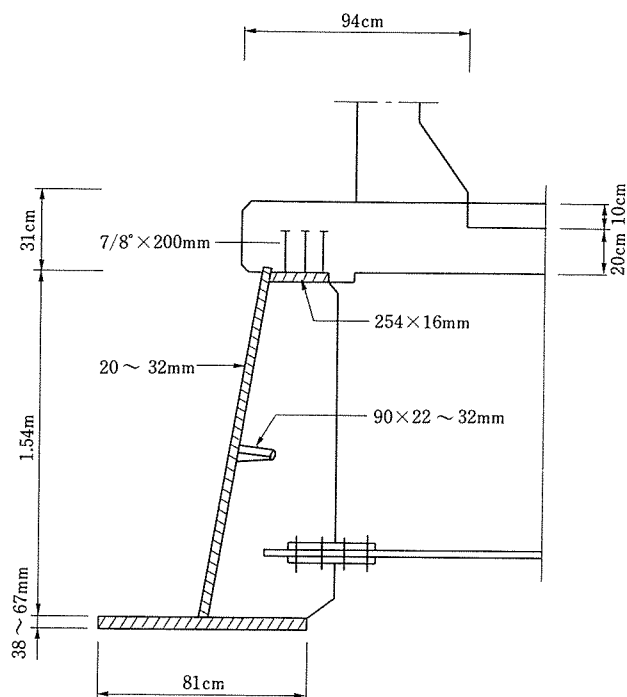


図-13 Houston Ship Channel Bridge 主桁断面図



写真-5 Houston Ship Channel Bridge タワー

桁断面は、ウェブ高 1.54 m の鋼桁が両側に配置されたエッジビームタイプである。この鋼桁には、ケーブル定着のためのアンカーボックスが取り付けられており、ケーブルの広がり角度に合わせて橋軸直角方向内側に傾斜している。スラブは、20 cm 厚さのプレキャスト材で、活荷重には合成桁として抵抗している。

タワーは、ダブルダイヤモンドといわれるユニークな形状をしている。上下線分離した構造を支えるため案出された形で、橋軸直角方向のハリケーンに対しては、トラス効果により大きな抵抗が期待される。上下車線を別に支えているタワーは、中央部で結合され、この部分にプレストレスが導入されている。ケーブルは上下線とも二面吊りで、全部で 192 本である。定着は、VSL システムが用いられている。

5. あとがき

以上北米の最近の PC 橋を、アメリカを中心に紹介してみた。Lacey V. Murrow Bridge を始めとするアメリカ特有のコンクリート浮橋や、Shelby Creek Bridge や Joseph Palmer Knapp Bridge などのスレンダーのプレキャスト I 桁にも触れてみたいと思ったが、紙面の関係で省略させていただいた。もっと多くの橋を採りあげたり、採りあげた橋についても詳しく紹介したかった。

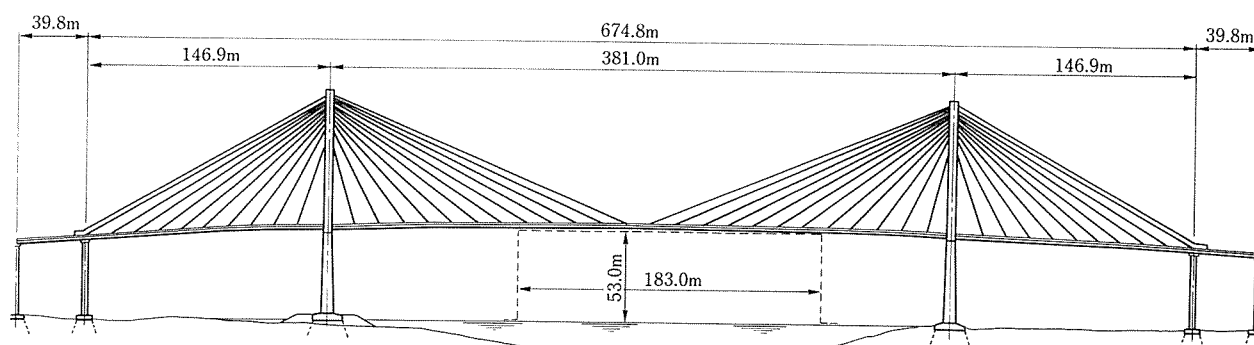


図-12 Houston Ship Channel Bridge 一般図

たが、これも紙面の関係で表面的になり、一部は表で済ませただけにしたが、御容赦されたい。ユニークさではおもしろい各種学協会の表彰橋梁も調査したが、次号以下で紹介できればと思っている。

最後に、本稿に御協力いただいた高野晴夫氏（首都高速道路公団）、上平謙二氏（ドーピー建設工業）に深く感謝をいたしたい。高野氏には、文献の収集に御努力いただき、上平氏には写真を提供していただいた。合わせて写真を撮影していただいた方々（海洋架橋調査会調査団）にも感謝をいたしたい。

参 考 文 献

- 1) (財) 高速道路調査会：PC 橋の新しい構造事例に関する研究報告書，1990. 3
- 2) 小村，宮地，野村：PC 橋の新しい構造事例，(社) プレストレストコンクリート技術協会“新たな展開を示す PC 構造 講習会”，1991. 2
- 3) Lin, T. Y. & Burns, N. H. : Design of Prestressed Concrete Structures, John Wiley & Sons. Inc., 1981
- 4) Gerwick, Jr., B. C. : The Global Advance—Emerging Opportunities at Home and America, PCI Journal, 1991. 11, 12
- 5) Zollman, C. C., Depman, F. & Nagle J. : Building and Rebuilding of Philadelphia's Walnut Lane Memorial Bridge, PCI Journal, 1992. 5, 6 & 7, 8
- 6) Dunker, K. F. & Rabbat, B. G. : Performance of Prestressed Concrete Bridges in the United States—The First 40 Years, PCI Journal, 1992. 5, 6
- 7) Fowler, J. R. & Adams, R. V. : CPCI Celebrates 25 th Anniversary, PCI Journal, 1986. 11, 12
- 8) Muller, J. M. & McCallister, L. F. : Esthetics and Concrete Segmental Bridges in the United States, ACI Concrete International, 1988. 5
- 9) Hurd, M. K. : Segmental box-girder bridge construction, ACI Concrete International, 1986. 9
- 10) Moreton, A. J. : Segmental Bridge Construction in Florida—A Review and Prospective, PCI Journal, 1989. 5, 6
- 11) Muller, J. M. & Barker, J. M. : Design and Construction of Linn Cove Viaduct, PCI Journal, 1985. 9, 10
- 12) Lawson, M. : Unique bridge spans watershed, ENR, 1986. 9. 25
- 13) Leonhardt, F. : Cable Stayed Bridge With Prestressed Concrete, PCI Journal, 1987. 9, 10
- 14) (財) 海洋架橋調査会：「橋と景観——北アメリカ篇」長大橋の橋梁計画と景観設計に関する調査研究委員会報告書，1990. 12
- 15) Grant, A. : Design and Construction of the East Huntington Bridge, PCI Journal, 1987. 1, 2
- 16) Tang, M. C. : Construction of East Huntington Bridge, PCI Journal, 1987. 11, 12
- 17) Soast, A. : Stayed girder reaches a record with simplicity, ENR, 1986. 5. 22
- 18) Taylor, P. R. & Torrejon, J. E. : Annacis Bridge, ACI Concrete International, 1987. 7
- 19) Taylor, P. R. & Torrejon, J. E. : Annacis Bridge—design and construction of the cable-stayed span, FIP Notes, 1987, No. 4
- 20) Soast, A. : Skyway bridge boasts a record and innovations, ENR, 1986. 9. 11
- 21) Sunshine Skyway Bridge Closes the Gap, PCI Journal, 1986. 11, 12
- 22) Carr, F. H. & May, M. : Delta frames hold key to bridge, ENR, 1988. 5. 26
- 23) Carr, F. H. Simple bridge design pays off handsomely, ENR, 1988. 6. 22
- 24) Green, P. : High deck spans Savannah river, ENR, 1990. 12. 3
- 25) Green, P. : Firm makes bridges easier to build, ENR, 1992. 3. 20

【1992 年 11 月 24 日受付】

◀刊行物案内▶

PC 定 着 工 法

(1988 年版)

体 裁：B 5 判 126 頁

頒布価格：3 300 円（会員特価 3 000 円）（送料 350 円）

内 容：PC 定着工法総論，一般ケーブル（総論，18 工法），斜張ケーブル（総論，8 工法），シングルストランドケーブル（総論，8 工法），アンボンドケーブル（総論，7 工法），アースアンカーケーブル（総論，10 工法），プレテンション工法総論，PC 定着工法の評定